

建築火災安全性能設計 確認指南之研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 105 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

建築火災安全性能設計 確認指南之研究

研究主持人： 蔡銘儒

研究 期程： 中華民國 105 年 3 月至 105 年 12 月

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 105 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

Study on the guide of Validation of Building
Fire Safety Performance Design

By
Ming Ju Tsai

Dec 31, 2016

目次

目次..... I

表次..... III

圖次..... V

摘要..... VII

ABSTRACT..... XIV

第一章 緒論..... 1

 第一節 研究緣起與目的..... 1

 第二節 研究方法與步驟..... 3

第二章 國外防火安全工程技術規範與標準發展現況..... 5

 第一節 美國防火安全工程技術規範與標準發展現況..... 6

 第二節 日本防火安全工程技術規範與標準發展現況..... 15

 第三節 英國防火安全工程技術規範與標準發展現況..... 23

 第四節 澳洲防火安全工程技術規範與標準發展現況..... 26

 第五節 紐西蘭防火安全工程技術規範與標準發展現況..... 29

 第六節 中國大陸防火安全工程技術規範與標準發展現況..... 39

 第七節 國際防火安全工程標準發展現況..... 42

 第八節 小結..... 49

第三章 國內建築物防火性能設計實施現況..... 51

 第一節 建築物防火避難性能設計..... 52

 第二節 建築物防火避難避難綜合檢討..... 62

 第三節 消防安全性能設計與同等性能替代申請..... 69

 第四節 小結..... 78

第四章 防火安全工程標準..... 81

 第一節 防火安全工程標準架構..... 81

 第二節 防火安全工程通則..... 83

 第三節 驗證、查證及確認定義..... 93

建築火災安全性能設計確認指南之研究

第四節 防火安全工程計算方法的確認指南草案.....	97
第五節 小結.....	99
第五章 結論與建議.....	102
第一節 結論.....	102
第二節 建議.....	104
附錄一 研究業務協調會議紀錄與意見回覆.....	105
附錄二 期中審查會議紀錄與意見回覆.....	108
附錄三 期末審查會議紀錄與意見回覆.....	113
附錄四 防火安全工程 - 通則(草案).....	118
附錄五 防火安全工程-計算方法的查證、確認程序及要求—第1部：一般....	139
附錄六 防火安全工程-火災風險評估-第1部：一般(草案).....	187
附錄七 防火安全工程 —設計火災情境和設計火災的選擇-第1部:設計火災情境的選擇(草案).....	211
附錄八 防火安全工程-控制代數方程式的要求-火羽流(草案).....	242
附錄九 防火安全工程-控制代數方程式的要求-煙層(草案).....	260
附錄十 防火安全工程-控制代數方程式的要求-天花板噴流(草案).....	289
附錄十一 防火安全工程-控制代數方程式的要求-通風氣流(草案).....	306
附錄十二 防火安全工程 —火災區域模式使用指引(草案).....	342
附錄十三 防火安全工程 —火災中結構之性能(草案).....	363
附錄十四 防火安全工程 —設計住戶行為的情境選擇.....	386
附錄十五 防火安全工程計算方法的確認指南(草案).....	407
參考書目.....	511

表次

表 2.1 日本建築法規系統	20
表 2.2 日本建築基準法行政的背景	20
表 2.3 GB 與對應 ISO 標準	41
表 2.4 ISO 防火安全工程標準體系發展現況	46
表 3.1 規定檢討指定之驗證項目項目	54
表 3.2 性能設計概要書內容	58
表 3.3 國內建築物性能式設計案件數-依年度	60
表 3.4 國內建築物性能式設計以火災模擬程式評估案件數	61
表 3.5 避難計畫之避難人數計算	64
表 4.1 SIMULEX 人體內建的軀體形式	101

圖次

圖 2.1 建築基準法「技術基準」之構成	17
圖 2.2 日本建築基準法性能規定化之流程	21
圖 2.3 管理環境-防火安全條文	30
圖 2.4 防火安全工程系列標準與總則及其他相關輔助配套文件關係圖	45
圖 3.1 建築物防火避難性能設計計畫書審查評定作業流程	57
圖 3.2 防火避難安全驗證方法選用架構	58
圖 3.3 建築物防火避難綜合檢討報告書審查評定作業流程	68
圖 3.4 審核認可機制及流程圖	70
圖 4.1 防火安全工程程序流程圖 -- 設計，實施與維護	85
圖 4.2 身體軀幹示意圖	101

摘要

關鍵字：防火安全工程、性能設計、火災模式

一、研究緣起

現今建築物逐漸往高層化、大型化、集合化、高密度化及多元複合化發展，並隨著新材料、新工法、新設備及新技術的發展與創新，加上新穎的設計理念，若使用傳統規格式法規 (Route A)，對設計者而言，將顯得綁手綁腳，若依避難性能驗證法 (Route B) 設計，或依建築消防機關所認定之性能設計 (Route C) 進行特定空間規劃的性能設計評估，將有助於防火設計之合理化、科學化，且符合成本經濟效益，更將使建築與消防技術發展能順應時代需求，亦增加設計彈性。

由於性能設計 (Route C) 大都採火災電腦模擬作為評估工具，至於電腦模擬能否真實的反映現實火災，模擬不確定度如何，是否能符合需要解決的現實問題。尤其是在性能化設計中，火災模擬的可信度直接關係到設計結果的可信度。目前，查證(verification)與確認(validation)是評估數值模型可信度的主要手段，2015 年度「防煙區劃性能設計驗證與確認之研究-以無塵室為例」研究成果，已依 ISO 16730-1 完成「防火安全工程-計算方法的評估查證與確認」中華民國國家標準草案。

但要對一個電腦模擬模式作完整的評估是不可能的，本年度將以「防火安全工程」為方向進行研究，以提供實施評估過程包括依標準火災試驗對預測能力進行比較、全尺度火災實驗、現場經驗、已發表的文獻、及先前已評估過的模式，以確保使用模式者能判斷模式的科學與技術基礎的適當性、選定的模式適合預期用途、及了解模式預測結果的可信賴程度，適當的評估有助於防止火災模式的無意誤用。本研究延續 104 年研究計畫「防煙區劃性能設計驗證與確認之研究-以無塵室為例」，研究中已研擬「防火安全工程-計算方法的查證、確認程序及要求—第 1 部：一般(草案)」國家標準草案，為使計算方法的查證、確認程序及要求可

以落實，本研究擬研擬「建築防火安全性能設計確認指南」，內容以 ISO 防火安全工程為主，ISO 已公布之防火安全工程標準則以研擬 CNS 草案為目標，技術規範及技術報告則整理為指南形式，供設計者於電腦評估時進行查證與確認之用，俾利建築物火災模擬程式評估設計之可靠性。

二、研究方法

本研究以文獻分析、國內外防火安全工程技術標準發展探討、房間火災發煙量成長模擬實驗、防火安全工程標準草案與電腦模擬確認指南研擬三步驟進行：

1. 文獻分析

蒐集國外防火安全技術標準與發展現況，ISO 防火安全工程系列標準、技術規範及技術報告等，以研擬建築防火性能設計相關標準及「建築防火安全性能設計確認指南」。

2. 國內外防火安全工程技術標準發展探討

自 94 年度至 103 年度申請性能式設計案件統計共 130 件，以火災模擬程式進行評估之案件 50 件約佔 38%，顯示火災模擬程式於驗證性能設計中扮演相當重要的角色，模擬結果是否合理將攸關建築物之安全，本研究旨在通過瞭解國際防火安全工程技術標準的發展，作為相關國內建築防火性能設計標準、電腦模擬確認指南研訂參考。

3. 防火安全工程相關標準草案與電腦模擬確認指南研擬

英國 1985 年制定第一部防火性能化標準《防火安全工程原理應用指南》，美國於 2001 年公佈《國際化建築性能規範》和《國際防火性能規範》，澳洲、紐西蘭、法國等國家專門制定了消防安全工程的國家標準，日本將相關標準引入《建築基準法》。國際標準化組織 (ISO) 也先後發佈了 20 多項《防火安全工程》系列國際標準。自 94 年度至 103 年度以火災模擬程式進行評估之案件，約佔申請性能式設計案件 38%，但在此 10 年間主要由評定機構邀請之專家學者，依其專長大都就設計者之書面資料進行審查及驗證，偶有地方消防機關就個案於結構

與設備完成後，要求以熱煙試驗測試確認其排煙功能，但一直未有具體規範或標準，是以本研究將以火災工程國際標準為藍本，研訂 CNS 草案，並參考火災工程國際標準技術規範及技術報告，以「建築防火安全性能設計確認指南」模式研擬，以供主管機關作為規範、設計者進行評估及確認，審查者執行審查及驗證參考。

三、重要發現

性能規定化深奧的個別對應及放寬調整的工學理論不足，再者，從規格替代獲得的性能，只限防火設計者、技術者理解的語言，沒有被呈現為可由一般市民能夠理解的性能，防火安全性積極的討論動機認為是欠缺的，對於火災或人員避難電腦模擬程式的使用，在日本設計方會應用作為初步設計評估用，但正式提出案件審查時不會採用電腦模擬結果，至多當作補充資料，仍然會使用普遍接受的工具所計算得到的結果作為正式提送資料。所謂普遍接受的工具係指 Route-B 檢證法之煙層下降時間計算法、人員完成避難時間計算法，如特殊空間的煙層蓄積，則另採用日本建築研究所 BRI-2002 簡易二層法。其原因係一般電腦模擬程式裡有太多假設前提條件過於單純，不足以反映真實情況，或者是電腦程式有許多未透露用途目的原始碼，只有設計者清楚，旁人難以檢核其正確性。因此在日本即使是歐美已常使用的電腦模擬軟體，其模擬結果仍然受到質疑，本研究經蒐集分析國內外性能設計執行情況與國際標準，提出以下結論：

1. 目前無論設計或審核均無一可依循的火災模擬程式應用規範，若設計者使用錯誤將無法檢核，以 FORUM 立場使用材料性質數據作為輸入及要求查證及確認，並就實行性能設計國家大多制定有相關之標準與規範據以實施。
2. 防火性能設計自計畫開始至使用管理，是一系列程序循環，除非達到建築物使用壽命拆除，否則使用管理過程(包括裝修)中有任何使用變更，皆應作評估以確認原設計性能未受影響；因此，有必要建立防火性能設計評估、設計、查證與確認，以及使用管理維護之依據規範或標準，ISO 防火安全工程系列標準為國際上大多數國家所共識之標準。

3. 電腦模擬僅適於供設計評估用，若用於設計結果作為審核依據，應經過被認可之適當查證及確認程序，並已使用之材料性質數據作為輸入，避難模式則應以國人之身體尺寸等本土化資料進行模擬。
4. 對於包含適用於特定火災現象之代數方程式與計算機模式的計算方法（例：火羽流、天花板噴流、煙層、通風口氣流或火勢成長），可以區別需要確認的已開發方程式，以及已確認，特別是已發佈成為國際標準或技術規範的方程式/模式。任何方程式或模型只應在其確認的範圍內使用，否則，需要提供其證明。
5. 防火安全工程程序可行的話宜在計畫最早的階段（例：可包含建築概念設計，結構、通風、衛生設備，電力設計）開始。在計劃進行的過程中，防火安全設計宜與其他所有工程設計專業整合，例如在考量聲學或熱力工程（採用可燃的吸音/吸熱材料），或是加強安全（逃生方法的限制）的結果可能產生未預期的防火安全設計問題。
6. 情境的首要步驟通常包含危險的描述，需要以系統與組織的方式（使用現有技術）進行危險鑑別，以確保沒有遺漏。火災情境應依危險鑑別，考量火災情境（對於火災行為）及行為情境（對於人的行為）兩種情境，在已發生可能性、頻率、危害性以及風險程度，作為最壞情境之選擇。
7. 當防火安全設計在建築環境中已建置，在建築環境的生命週期當中，宜實施防火安全管理與自主的檢驗，管理與檢驗程序可確保防火安全工程師所用的設計火災情境與實況相應的，如建築環境的使用方式、使用性質或燃料載量變更，或是翻新或裝修，經自主檢查或其他方式鑑別為重大變更，必須在所有利益相關/受影響之各方同意下，宜重複或審查由鑑別防火安全目標、功能要求及性能基準或危險鑑別開始之防火安全設計程序。最好將防止未適當公告利益相關/受影響之各方，而不當使用或佔用設施的防火安全設計元件或設備納入。

8. 針對使用性能式設計方法之防火安全從業人員，包括防火安全工程、消防工程以及具權限的主管機關行政人員，在防火安全工程領域應具有適當的資格及能力。
9. 結構防火性能基準可依據 CNS 12514-1(ISO 834-1)採用既有耐火試驗標準推斷。然而，此基準一般針對單一構件以規定的條件表示而不以單一構件或整體結構之性能條件。此外，當其量測時，雖然這些性能基準可能仍然有用，但必須質疑其相關性及量測方式，當使用防火安全工程設計及分析允許更多實際的評估，性能基準不宜設定為固定值，依據 CNS 12514-1，但宜表示在防火安全條件及人、財產及內容，及環境之保護，且宜考慮結構中不同構件之間的交互作用。

四、主要建議事項

建議一：

制定防火安全工程標準：立即可行建議

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關與機構：內政部營建署、消防署、內政部建築研究所

目前 ISO 已制定防火安全工程系列標準，以目前 CNS 朝國際調和原則，因此建議就 ISO 已完成制定且公布之防火安全工程相關標準及技術規範，已研擬草案，後續將協助經濟部標準檢驗局依標準制定程序，完成制定為 CNS 防火安全工程標準。

建議二：

制定「建築防火安全性能設計確認指南」：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關與機構：內政部營建署、消防署

本所 2015 年已研訂「防火安全工程-計算方法的查證、確認程序及要求—第 1 部：一般(草案)」，但標準草案未有具體查證與確認方法，ISO/TR 16730-2:2013 火災區域模式範例、ISO/TR 16730-3:2013 CFD 模式範例、ISO/TR 16730-4:2013 結構模式範例及 ISO/TR 16730-5:2013 逃生模式範例，上述 4 項範例 ISO 目前為

建築火災安全性能設計確認指南之研究

技術報告，為使性能設計電腦模擬評估提高其可靠性，可以此 4 項範例以指南模式供設計、驗證與審核參考。

ABSTRACT

Key Word : Fire safety engineering 、 Performance design 、 Fire modeling

Nowadays, buildings are moving towards high-rise, large-scale, integrated, high-density and multi-composite development. And with the new materials, new construction methods, new equipment and new technology development and innovation, coupled with innovative design concepts, If the use of traditional regulatory regulations (Route A), the designer, will appear constrain, Performance evaluation of a specific spatial plan is to be carried out in accordance with the Route B design or by Route C, as Identified by the building fire agency, Will contribute to the rationalization of fire protection design, scientific, and in line with the cost of economic benefits, but also to building and fire technology development to meet the needs of the times, but also increase the design flexibility.

As the performance design (Route C) most of the fire computer simulation as an assessment tool, as for the computer simulation can reflect the reality of real fire, simulation of uncertainty, whether it can meet the practical problems to be solved. Especially in the performance-based design, the credibility of fire simulation is directly related to the credibility of the design results. At present, verification and validation are the primary means of assessing the credibility of numerical models, 2015 Study of verification and Validation Of Smoke Compartments Performance Design-In Clean Room Case Research, Completed the draft of the National Standard of the Republic of China for Fire safety engineering — Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods with ISO 16730-1.

But it is impossible to make a complete assessment of a computer simulation model, This year will be conducted under the direction of "Fire Safety Engineering",

To provide an implementation assessment process that includes a comparison of predictive capabilities against standard fire tests, full scale fire experiments, field experience, published literature, and previously evaluated models, To ensure that the use of the model can determine the appropriateness of the scientific and technical basis of the model, the selected model is appropriate for the intended use and the degree of trustworthiness of the model prediction results, Appropriate assessment helps prevent unintentional misuse of fire patterns.

This study extends the 2015 research project " Study of verification and Validation Of Smoke Compartments Performance Design-In Clean Room Case ", The draft of the National Standard for Fire safety engineering — Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods —Part 1: General (Draft), In order to the calculation method, verification and validation procedures and requirements can be implemented, This study is intended to develop a "Building Fire Safety Performance Design validation Guidelines", Content to ISO fire safety engineering, ISO has published the fire safety engineering standards to develop CNS draft as the goal, Technical specifications and technical reports are compiled into a guide form, For the designer to carry out verification and validation in the computer assessment purposes, Facilitates building fire simulation programs to assess design reliability.

第一章 緒論

依聯合國人口預測，指出 2006 年 12 月世界將會以都市為主，約 35 億人都擠進佔地球 13,391 百萬公頃土地表面積僅 1% 的都市，台灣也在人口不斷攀升，建築物亦朝向都市集中的情況下，為滿足居住與使用需求，建築物已有高層化、集合化、大型化及多元複合化發展，且隨產業型態改變，各種新形式、大空間、多功能、高層複雜化建築日益增多，各種新技術、新工法、新設備及新材料不斷使用，現行建築技術規則、各類場所消防安全設備設置標準等規範無法含蓋及滿足這些特殊建築之趨勢，如：巨蛋體育場、大型購物商場、展覽中心、住商複合式之高層建築等，此類場所多以性能式設計排除「建築技術規則」之規定，然排除「建築技術規則」規定皆須提出相關驗證證明以證實該場所屬安全場所，目前性能設計多以火災模擬程式進行評估，但評估結果之可信度卻無相關查證與確認規範，因此若有一系列查證與確認規範，將可強化火災模擬結果之可靠度，並加以提升我國防火安全。

第一節 研究緣起與目的

一、 研究緣起

現今建築物逐漸往高層化、大型化、集合化、高密度化及多元複合化發展，並隨著新材料、新工法、新設備及新技術的發展與創新，加上新穎的設計理念，若使用傳統規格式法規 (Route A)，對設計者而言，將顯得綁手綁腳，若依避難性能驗證法 (Route B) 設計，或依建築消防機關所認定之性能設計 (Route C) 進行特定空間規劃的性能設計評估，將有助於防火設計之合理化、科學化，且符合成本經濟效益¹，更將使建築與消防技術發展能順應時代需求，亦增加設計彈性。

由於性能設計 (Route C) 大都採火災電腦模擬作為評估工具，至於電腦模擬能否真實的反映現實火災，模擬不確定度如何，是否能符合需要解決的現實問

¹ 沈子勝、陳佳君，「台灣性能審議制度與發展」，建築防火前瞻科技國際研討會論文集，2011。

建築火災安全性能設計確認指南之研究

題。尤其是在性能化設計中，火災模擬的可信度直接關係到設計結果的可信度。目前，查證(verification)與確認(validation)是評估數值模型可信度的主要手段，2015 年度「防煙區劃性能設計驗證與確認之研究-以無塵室為例」研究成果，已依 ISO 16730-1 完成「防火安全工程-計算方法的評估查證與確認」中華民國國家標準草案。

但要對一個電腦模擬模式作完整的評估是不可能的，本年度將以「防火安全工程」為方向進行研究，以提供實施評估過程包括依標準火災試驗對預測能力進行比較、全尺度火災實驗、現場經驗、已發表的文獻、及先前已評估過的模式，以確保使用模式者能判斷模式的科學與技術基礎的適當性、選定的模式適合預期用途、及了解模式預測結果的可信賴程度，適當的評估有助於防止火災模式的無意誤用。本研究延續 104 年研究計畫「防煙區劃性能設計驗證與確認之研究-以無塵室為例」，研究中已研擬「防火安全工程-計算方法的查證、確認程序及要求—第 1 部：一般(草案)」國家標準草案，為使計算方法的查證、確認程序及要求可以落實，本研究擬研擬「建築防火安全性能設計確認指南」，內容以 ISO 防火安全工程為主，ISO 已公布之防火安全工程標準則以研擬 CNS 草案為目標，技術規範及技術報告則整理為指南形式，供設計者於電腦評估時進行查證與確認之用，俾利建築物火災模擬程式評估設計之可靠性。

二、 研究目的

1. 探討性能設計者電腦模擬查證與確認方法。
2. 探討 ISO 防火安全工程標準、技術規範及技術報告，並研擬防火安全工程國家標準、規範及技術以供設計者對模擬評估結果進行查證與確認參考。
3. 研擬「建築防火安全性能設計確認指南」及防火安全工程相關 CNS 標準草案供設計者及審核者對模擬評估參考。

第二節 研究方法與步驟

本研究以文獻分析、國內外防火安全工程技術標準發展探討、房間火災發煙量成長模擬實驗、防火安全工程標準草案與電腦模擬確認指南研擬三步驟進行：

1. 文獻分析

蒐集國外防火安全技術標準與發展現況，ISO 防火安全工程系列標準、技術規範及技術報告等，以研擬建築防火性能設計相關標準及「建築防火安全性能設計確認指南」。

2. 國內外防火安全工程技術標準發展探討

自 94 年度至 103 年度申請性能式設計案件統計共 130 件，以火災模擬程式進行評估之案件 50 件約佔 38%²，顯示火災模擬程式於驗證性能設計中扮演相當重要的角色，模擬結果是否合理將攸關建築物之安全，本研究旨在通過瞭解國際防火安全工程技術標準的發展，作為相關國內建築防火性能設計標準、電腦模擬確認指南研訂參考。

3. 防火安全工程相關標準草案與電腦模擬確認指南研擬

英國 1985 年制定第一部防火性能化標準《防火安全工程原理應用指南》，美國於 2001 年公佈《國際化建築性能規範》和《國際防火性能規範》，澳洲、紐西蘭、法國等國家專門制定了消防安全工程的國家標準，日本將相關標準引入《建築基準法》。國際標準化組織 (ISO) 也先後發佈了 20 多項《防火安全工程》系列國際標準³。自 94 年度至 103 年度以火災模擬程式進行評估之案件，約佔申請性能式設計案件 38%，但在此 10 年間主要由評定機構邀請之專家學者，依其專長大都就設計者之書面資料進行審查及驗證，偶有地方消防機關就個案於結構與設備完成後，要求以熱煙試驗測試確認其排煙功能，但一直未有具體規範或標準，是以本研究將以火災工程國際標準為藍本，研訂 CNS 草案，並參考火災工程國際標準技術規範及技術報告，以「建築防火安全性能設計確認指南」模式研

²蔡緯芳、蔡匡忠，「建築物火災模擬工具應用參考指南之研究」，內政部建築研究所，2015。

³「《消防安全工程》系列標準發佈實施」，中國消防線上，2015。

建築火災安全性能設計確認指南之研究

擬，以供主管機關作為規範、設計者進行評估及確認，審查者執行審查及驗證參考。

第二章 國外防火安全工程技術規範與標準發展現況

現今許多國家已檢討其防火工程法規系統(Fire Engineering Regulatory System)，希望兼容火災防護工程(fire protection engineering)及防火安全工程(fire safety engineering)兩種不同的工程理念，而現行推動性能法規的國家或國際組織大都保留或修正原有規格式條文，成為勿需經過驗證的「可接受方案」；歸納整理法規內含的目標、功能及性能需求（基準），以定性概括的方式來闡述，提供設計者因使用新工法、新設備、新技術或設計特殊構造建築物時，不能符合規格式條文或希望使用較規格式相關規定以上之性能等級時，遵循規定的另一套機制，一般稱為「替代方案」（alternative solutions）；而如何讓相關人員(stakeholders)包括主管機關、業主、設計師、工程師、甚至使用人等，認同替代方案符合法規中所提出的性能需求，這就是為什麼需要有系統的程序(Systematic process)來做合理的分析，並運用認可的「工程方法及工具」來評估及驗證所提的方案，達到所謂的防火安全工程（FSE, Fire Safety Engineering)的性能等級(performance level)⁴。

因此，自1980年開始，世界上幾個主要發達國家，如英、美、日、澳洲及紐西蘭等，開始研究及制定“以性能為基礎“或者”以目標為基礎“的建築技術法規及標準，有的國家還制定出版了相應的設計指南。我國建築物防火安全設計與評估尚未建立完整性能法規體系與標準，本研究主要參考國外防火安全工程技術標準，作為未來擬訂國內防火安全工程設計、評估、確認參考。

⁴曾偉文、吳明朗，「防火安全性能設計之評估等級與方法」，第三屆消防性能化規範發展研討會，2006。

第一節 美國防火安全工程技術規範與標準發展現況

美國在防火安全工程方面的研究開始較早。1971年4月，美國聯邦總務署（General Services Administration, GSA）在維吉尼亞召開了高層建築防火安全國際會議，其議題之一就是建築物防火安全的系統設計方法。此後，美國不同部門和機構進一步展開了建築物防火安全工程的研究以及相關方法的標準化工作。1972年，GSA在相關研究基礎上開發了事件邏輯圖。經過幾次修改之後，其研究成果最終形成了以目標為基礎的建築防火安全系統方法，即《附錄D》。《附錄D》是美國建築防火安全設計系統方法的基礎文件。

隨著防火安全工程方法研究的不斷發展，美國的規範組織，如美國消防協會（National Fire Protection Association-NFPA）和美國國際法規委員會（International Code Council-ICC），開始在其既有規範中增加性能化的內容或者制定新的性能化規範。

到2012年止，NFPA在其很多最新版的規範中都加入了性能化的要求。如NFPA 1 Fire Code和NFPA 101 Life Safety Code，都是在規範中增加一個章節，專門規定採用性能化設計方法時應滿足的規定和要求。ICC也在國際防火安全工程研究熱潮的推動下，於1996年開始著手起草“建築物及設施性能法規（Performance Code for Buildings and Facilities）”，2001年出版了第一版。本性能化規範在範圍上與其模式規範一致，但更強調性能。《建築物及設施性能法規》2012年版已經出版⁵。

由劉慶男、丁育群⁶研究整理，對於ICC建築物及設施性能法規、NFPA生命安全法規性能式選項及消防工程師協會（Society of Fire Protection Engineers）-性能式建築物消防分析與設計指導書，有關本研究相關資訊摘要如下。

一、國際法規委員會（International Code Council）- 建築物及設施性能法規

⁵邱培芳，郝愛玲，「國外消防安全工程技術標準發展現狀研究」，工程建設標準化，53-56，2014。

⁶劉慶男、丁育群，「性能式建築防火設計審議機制整合之研究—以防火避難設計審議為例」，內政部建築研究所研究，2002。

(Performance Code for Buildings and Facilities, ICCPC) 之概述

國際法規委員會的建築物及設施法規最初是由國際法規委員會消防與建築物性能法規起草委員會共同發展的。國際法規委員會的建築物及設施法規清楚地定義其目標在於達到法定程度的使用者安全，財產保護及社區福利。它提供了一個架構以達成規定之目標，各目標並以可承受之損害程度及設計事件如火災及自然災害強度的觀點審視。性能法規並讓使用者能夠有系統地達成各種不同的解決方案。應該注意的是，規格法規被視為可接受之解決方案，並與性能法規相符合。

政府單位採用國際法規委員會所訂定的建築物及設施性能法規，是參照該地區法律制定的程序來採行認證完成。採認時，政府單位在要求特定條款內加入適當的資訊，例如施行單位名稱。這些需填充之處於施行條文樣本內以等大的大寫字母顯示。

基本上，其建議政府單位全數採用本法規，緣於大部分性能設計之可靠性倚賴建築物及防火系統妥善的維護。國際法規委員會的建築物及設施性能法規是由法規執行官員、企業代表、設計專業及其他相關人士所提出的更改建議，加以審議更新。更改建議透過一個公開的法規發展過程以詳細地審視，在此過程中，所有相關及受到影響人士及機構皆可參予。法規發展更替程序及制定法律的政府單位亦皆可對本法規內容加以改變。

二、國家消防協會 (National Fire Protection Association) - 生命安全法規性能式選項 (Life Safety Code, Performance Based Option, LSC - PBO) 之概述

在許多建築法規及技術標準中，「等效」或「替代」字句其實已經存在了很長的時間，但都是針對單一或數個建築系統，並不同於建築整體分析性能的概念。國家消防協會所出版的三百多項技術標準中，至少有八項以上已經隱含有性能的概念，而在西元兩千年全新改版的生命安全法規中，開始將性能式選項做為符合生命安全法規的方式之一，有完整的章節敘述相關規定，這是在美國所發行的第一個與消防相關的性能式法規。該法規不僅適用於建築物消防安全，舉凡牽涉生命安全的議題，例如群眾管理、保全、緊急醫護等層面都可適用。

生命安全法規的內容分為三大類：

〔1〕基礎篇（第一章到第四章、第六章到第十一章）

〔2〕性能式選項篇（第五章）

〔3〕用途篇（第十二章到第四十二章）

基礎篇為強制符合內容，若同一項目在用途篇也有敘述，則依照用途篇之規定，或採用其中較嚴格者。基礎篇各章標題為：

第一章 行政管理

第二章 法定參考資料

第三章 字詞定義

第四章 一般規定

第六章 用途與危險物分類

第七章 避難方法

第八章 防火特徵

第九章 公用設施與防火設備

第十章 內部裝修

第十一章 特殊結構與高層建築

性能式選項篇說明符合法規主旨目標的不同做法。用途篇則依據各類建築用途，各以專章說明新建以及既有建築物的規範事項，範圍涵蓋了新建建築物與既有建築物。

性能式法規的目的並非完全取代傳統法規，而是允許設計人員藉以置換傳統規格式法規的條文規定；性能式的作業程序一方面提供更多設計自由，彌補規格式法規相對較弱的合理性與彈性，一方面改善性能式設計的審議流程，及因應規格式法規尚未涵蓋的建築問題。當引用性能式法規時，建築專案關係人與主管機關在設計發展過程中需互相充分合作，藉助科學方法建構設計及分析安全性，採用數值量化的審查方式，而最終核可的設計內容即成為建築物的管理依據；設計

單位與主管機關對於法規的主旨目標、建築物應有的安全水準、可能發生的火災情境、假設條件及安全因子等議題，必須在進行性能式設計之前事先獲得共識。生命安全法規性能式選項的內容也說明如何選擇計算方法、必備的輸入資訊，以及設計文件必備要項等資訊。

三、消防工程師協會 (Society of Fire Protection Engineers) - 性能式建築物消防分析與設計指導書 (Engineering Guide to Performance Based Fire Protection Analysis and Design of Buildings)之概述

性能式設計強調專業之及早參與，並非常注重設計目標、機能、性能之逐層界定。SFPE 防火性能法規建築設計程序如下：

1. 釐定專案規模 [Defining Project Scope]
2. 確認目標 [Identifying Goals]
3. 釐定參與人員與設計目標 [Defining Stakeholder and Design Objectives]
4. 發展性能基準 [Developing Performance Criteria]
5. 發展設計火災場景 [Developing Design Fire Scenarios]
6. 發展替代設計 [Developing Trial Designs]
7. 評估替代設計 [Evaluating Trial Designs]
8. 發展防火工程設計計劃書 [Developing a Fire Protection Engineering Design Brief]
9. 施工圖說 [Documentation and Specifications]

■ ICCPC 性能法規之審議基準

對評估方法與工具之建置，依照ICC Appendix E Use of Computer Models E102.1 使用與請照規定。

1. 所有電腦作業必須於設計專業之指導下運作。州政府及執法當局雖對電腦程式(防火、結構、機械、節能)操作人員無須證照，但此人員必須具

備知識及經驗以確認此程式限制及設計性能基準目標是否符合性能法規目標。

2. 電腦數據應為執照圖說內涵(包括程式名稱、簡短說明、分析及適用、輸出入單位及如何支援設計), 附屬程式, 不確定性、假設、限制、分析範圍及簡例可包含於內。
3. 背景數據應提交以確內特殊場域之接受與否。

E103.1 責任。電腦僅為高速計算之工具, 設計專業應對數據及背景之結合適用於其所提交之設計文件負責。

■ NFPA 生命安全法規性能式設計審議基準

(一) 替代方案之審議基準

替代方案的原始發展目的, 是提供美國政府一項方便的管理工具, 用以維護屬於政府的公有建築物的消防安全。此方案可以在生命安全法規與其他不同的設計之間作出安全性差異的比較。進行評量的過程首先將建築物分成數個區域, 以不同參數代表各類系統或設施對於安全度的效應, 逐項予以評分, 以總得分數來評估整體安全水準。是具有較高安全度的系統可以補償安全度較低的系統, 但各項參數的數值並非與安全度成線性關係, 數值得大小僅可做為相對安全程度的參考; 此外, 該方案的原理也引用了相對風險的概念。

此方案可作為符合生命安全法規主旨目標的替代方案, 但不可完全取代法規, 必須與法規合併使用。建築設計人員可依照指引, 將實施評量的結果做為申請許可的送審文件之一。NFPA 提供了一系列的表格與計算方法, 適用於不同用途的建築物。評量作業的實施已發展出輔助電腦軟體, 程式與使用手冊皆可在網站自由下載。

(二) NFPA-LSC-PBO 之審議基準

NFPA 性能式審議以生命安全法規性能式選項之規定內涵包括:

1. 一般規定 [General Requirements]

5.1.1 應用

以性能方式符合生命安全法規，不僅必須遵循法規的性能式選項篇的全部內容，還必須遵守基礎篇的第一章到第三章，以及第四章的相關內容(4.1~4.4，4.6.9.2)。

5.1.5 數據來源

送審報告中必須清楚註明所有引用數據的出處及應有的保守度，並提出數據來源是否恰當之判斷。

2. 性能標準〔Performance Criteria〕

5.2.1 在每一項設計火災情境、設計假設與設計規格條件下，所有不在起火點現場的人員，都不應遭受立即或者漸增的火災威脅危險。

3. 保留規格式規定〔Retained Prescriptive Requirements〕

採用性能式選項進行建築設計，仍須遵守生命安全法規的逃生避難設施規格式規定的部分內容。

5.3.1 系統與特徵

應符合各項相關的NFPA 技術標準（包括維護、測試、可靠度維持等）。

5.3.2 逃生避難設施

必須遵循5.2，5.4~5.8，逃生避難設施的變更程序，以及欄杆、門、梯、坡道、逃生爬梯、標示、緊急照明等相關的規定。

目前已知的逃生避難數學模式，尚無法量化分析逃生標示及照明對於避難速度與效果的影響，因此，生命安全法規要求性能式設計必須符合上述內容。

5.3.3 等效

依據1.5 的規定。

1.5 「等效」僅僅適用單一或者幾項系統或元件；當針對生命安全系統以工程方法作整體分析時，則成為性能式的設計。生命安全法規並不限制使用具有相同等級或是更優越性能的系統、方法或元件，但使用者必須提出充分的

技術文件供主管機關審查。生命安全法規可接受的幾種等效類別（但不限此述）：

- (1) 法規中明定可替代之項目
- (2) NFPA 101A - 符合生命安全法規的替代方案
- (3) 新版法規 - 必須整體引用，不可僅摘出局部引用

欲採用等效方式來符合法規，必須

- (1) 將法規中的相關條文內容載明（界定欲採用等效替代的範圍）
- (2) 提出相關條文的解釋（了解原法規規定的主旨目標）
- (3) 提出替代方案（建議內容）
- (4) 提出支援性質的佐證（審查評估的參考）
- (5) 比對替代方案與原法規規定之安全基準（證明可滿足法規目標）

4. 設計特徵及假設條件〔Performance-Based Design Characteristics and Assumptions〕

參考前述的「採用生命安全法規性能式設計的流程」。

5. 設計火災情境〔Design Fire Scenarios〕

提出設計中至少應考慮的八類火災情境。

6. 性能評定〔Evaluation of Proposed Designs〕

擬採用之性能評定方法必須事先與主管機關溝通並徵得同意。

7. 安全因子〔Safety Factors〕

必須足以反映不確定度（誤差）。

8. 送審文件內容要項〔Documentation Requirements〕

- (1) 參考技術文件及資料
- (2) 建築物設計規格

- (3) 性能標準及依據來源
- (4) 建築物的人群特徵
- (5) 設計火災情境
- (6) 輸入資料-數學模式或評估方法引用的資料，必須提出敏感度分析
- (7) 輸出結果-數學模式或評估方法產生的資料，必須提出敏感度分析
- (8) 安全因子
- (9) 說明仍應遵守之規格式規定
- (10) 數學模式分析的特徵 -
 - a. 依ASTM E1472 電腦軟體文件標準指引製作
 - b. 介紹所用的模式，說明所用的假設、方法、限制
 - c. 證明模式及方法應用於設計中的適當性
- (11) 舉證執行模式分析的能力
- (12) 性能評定 - 總結說明性能評定結果
- (13) 聲明採用性能式設計 -
 - a. 提供起造人及管理者書面聲明
 - b. 聲明該建築物是在特定的設計標準及假設條件下，採性能式設計方法
經主觀機關審核許可
 - c. 聲明該建築物進行任何實體或用途或設計假設變更之前，都必須重新
評估並且向主管機關提出申請

由於大部分性能審議案件之複雜，建管人員很難具備完全之知識進行審議，因此制度之設計往往朝向開放民間參與，藉由設計及工程專業之投入，並擔負部分責任。然則隨專案投入參與者之增加，及建管審議在設計階段早期即參與專案，各專業權責之劃分也越趨重要。

而以英美法系，實務之爭議當然藉由司法訴訟解決其法律責任，是以模式法

規僅將性能設計個專業之權利責任原則描述清楚，實際之實踐則由不同之組織團體依其在社會上所扮演之角色予以補充與實踐。美國各設計與工程專業團體往往發展標準契約範本供其會員作為參考，例如建築師協會(AIA)所訂與業主間簽訂之服務契約範本。

ICCPC 所擬定之人員責任對於設計專業及特別專家的責任如下：

- 103.3.3.1 主任設計師。當需要多名設計專業時，主任設計師應負責在送交設計至法規管理人員之前確保所有設計原件為完整且周全。在法規審核過程中，主任設計師應送交所有必要的指定報告、畫圖及設計圖說，以證明其符合本法規。主任設計師的責任尚包括設計專業的所有責任。
- 103.3.3.2 責任。設計專業於使用本法規時，針對以性能為主之設計，應負責運用104.3 條內註明之性能必要條件及可接受方法。本法規要求設計分析及輔助文件說明設計方法及確認設計目標並符合本法規。
- 103.3.3.3 輔助文件。設計專業應負責提供適當的設計分析、研究、計算及文件以證明其符合本法規的適用性能必要條件及適用規格法規條款。
- 103.3.3.4 可接受方法。設計專業應使用官方文件或設計指南來決定檢測及確認方法，以選擇與已擇定的建築物系統方式相配合的建築材料。
- 103.3.5 參考資料。針對以性能為主之設計，設計專業應負責紀錄適用的設計指南或官方文件，說明這些文件是如何被使用以證明設計解決方案及顯示對本法規條款的符合。非官方文件或設計指南的使用將需要法規管理人員的證明以取得許可。
- 103.3.3.6 約束條款之紀錄。設計專業應紀錄所有約束條款並訂立變更時應獲法規管理人員核准之條件。
- 103.3.3.7 符合約束條款。設計專業應審核完成的施工原件、設備、家具、程序及容量以確認符合約束條款及已通過的設計圖說內之重要設計特徵。法規管理人員可能會要求主任設計師再案件完成後提出報告已確認確實符合約束條款及重要設計特徵，作為取得必要執照的條件。

103.3.3.8 特別專家。特別專家的工作範圍應限制於一專業領域，此專業領域在送交法規管理人員的文件當中已註明。特別專家執行設計功能時，此特別專家應設想該設計階段的責任。

配合性能設計電腦模擬使用，美國材料試驗協會（ASTM）制定ASTM E1355，對於火災模型的查證和確認進行了概念性的規定；並制定ASTM E 1472火災模擬程式文件化標準、ASTM E 1895火災模擬程式使用及限制標準以及ASTM E1591-火災成長模擬資料取得標準等配套標準。

第二節 日本防火安全工程技術規範與標準發展現況

由劉慶男、丁育群[6]研究所整理，1996年3月26日，由建設省、法務省、厚生省、通商產業省所共同發表之「降低住宅建設成本之緊急重點計畫」當中，由於規格式規定阻礙材料及構造方法之選擇自由、妨礙降低住宅建設成本，在此前提之下，日本建築基準法實施大修正廢除舊有第38條規定提出將建築基準改為性能化規定之概念，以降低住宅建設成本，2000.6 確定技術的細項並且告示開始以性能法規。

建築法規「性能化」成為社會議題，始於橋本首相（橋本龍太郎）訪美時之行動計畫，主要著眼於積極引進包括海外建築技術之建築相關技術，以減低建築成本為重點。性能化規定除了規定性能之外，也規定了驗證該性能之試驗和分析方法。

建築基準法中關於建築構造、防火、避難、建築設備等相關技術基準，均定有規定。這些建築法令之技術基準，又可分為「規格式規定」與「性能規定」兩大類。

「性能規定」表示建築物、建築空間或局部，其相關物理性質之「性能」，並規定其必要之性能數值。為達到性能規定，可以不計手段與方法；原則上，只要能滿足性能要求，各種計畫、構造都可以實現。由於如此，可實現多樣化的設計，並擅於因應各種新材料、新技術，相關之技術基準可以有極大之彈性空間。

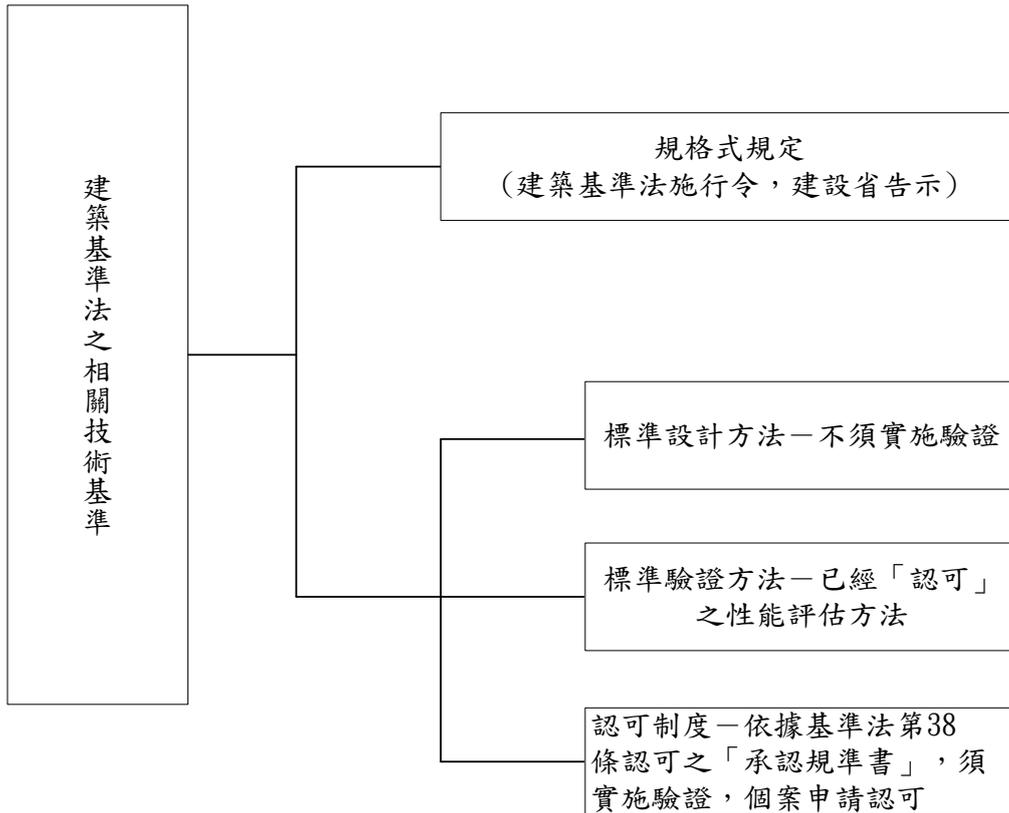
但僅規定必要之性能數值，並不能簡單地分辨各設計案是否滿足性能規定。

因此亦需建立判別其性能是否符合規定之「試驗方法、解析方法」及「判定方法」；就上述問題事先充分準備，以期在技術面及社會環境，對於上述之試驗、解析、判定技術得以順利推動。

建築基準法修正後，已形成「性能、規格並存」之法規架構，原則上，法規體系將改為性能化規定，但不可能所有規定都可改為性能規定，部分內容仍將以規格規定之形式留存。尤其是關於防火安全及環境衛生之規定，不可能均訂定一定數值，完全改為性能化規定。如同前述，要改為性能規定必須具備以下各項條件：

- a. 所要求之性能項目，必須清楚明白
- b. 測試性能之物理數值，必須清楚明白
- c. 測試性能之具體條件，必須清楚明白
- d. 實務上能夠實際測試其性能
- e. 法令基準之規制數值，應得到社會之認同

以上關於規格式及性能式並存之法規架構，如圖2.1所示。



資料來源：劉慶男、丁育群，「性能式建築防火設計審議機制整合之研究—以防火避難設計審議為例」，內政部建築研究所研究，2002。

圖 2.1 建築基準法「技術基準」之構成

通常在性能規定體系當中，首先會明訂該性能規定之目的，再次則為達到此一目的之必要性能值，及驗證該性能之方法。此外，亦有不需性能驗證就已經知道具備該性能之「視同符合之規格」、「適合規準書」等。故往後各設計案可依下述2種方法進行設計：

- 以性能驗證法進行性能評估，以確定是否達到規定之性能值，採用此法者必須經由驗證，以證明合於性能規定，
- 依據「視同符合性能之規格」及「適合規準書」設計，以得到符合規定之性能要求，採用此法者，則不需經過驗證程序。

採用「視同符合性能之規格」作為設計之依據時，無需實施驗證將法令規定方式改為性能規定，並不是說屬於規格規定之「規準類、設計規準」等，就從此銷聲匿跡；而是指法令之規制改為表示所要求之性能而已。用來判斷是否符合性

能要求之「性能評估法」中，訂定具備該性能之具體規格，以及可達到該性能之標準設計方法等等，一般稱之為「視同符合性能之規格」、「適合規準書」或「承認規準書」，採用此種方法設計時，無需再實施性能驗證。

上述規準書之內容，相當於原有之規格式規定。但規格式規定屬於法令規定，具有強制力；「視同符合性能之規格」之類則屬於性能要求之標準範例，雖可提供作為設計之準據，但並不具有強制性，可由設計者或業主自由選用。

依據性能法規之設計步驟

(1)法令當中針對建築物及其局部所定應具備之性能、驗證是否達到該性能之標準方法（試驗方法及分析方法），以及視同符合該性能之規格範例。每個設計案針對許多性能規定，設計時可以選擇「通過性能驗證」，或依據「視同符合性能之規格」進行設計2種方式，由設計者自行決定。而藉由哪種方式達到性能要求，設計步驟也會因此有所不同。

(2)設計步驟之進行，首先需先設定設計目標及限制條件，相對於該目標及條件，再設定建築計畫、架構、材料等，最後尚需確認建築計畫等是否符合目標及條件。設計就是不斷重複檢討這些步驟來進行。

(3)若簡化設計步驟，可以下述三項表示之：

①設定目標及限制條件

②規格之設定

③驗證規格是否能達到目標及法規條件之要求

(4)法令當中會明文規定性能驗證之試驗方法及分析方法，或「視同符合之規格」之標準範例。此外，也有許多通過「認定」之例外案例，設計時應充分掌握這些資訊。

(5)依據「視同符合性能之規格」設計時

①設計步驟其實與依據規格式規定設計相同。也就是說，規定中已經設定目標之性能，只要依據「視同符合性能之規格」設計，就可得到滿足該性能之規格。實際上，「視同符合性能之規格」就是設計目標。設計者以此設定上述

步驟 之規格，同時也進行了步驟之驗證。

- ②但「視同符合性能之規格」只是具備該性能範例之一，若無法與設計理念相融合，可改用他種「視同符合性能之規格」設計之，或轉換為以下將說明之性能驗證方式。反之，若依規格式規定設計，就無法如此變通，因為設計者必須遵照規定中之規格進行設計。

(6)選擇通過性能驗證設計時

- ①其步驟與依據規格式規定設計，可謂大不相同。在步驟②設定好規格後，必須檢驗其是否符合步驟①之目標；藉由試驗及分析，確定具備該性能之後，才能進行下一步驟。若未達到性能目標，就必須回到步驟②，重新設定新規格。
- ②在設計實務上，試驗及分析等性能驗證方法應該是家常便飯。針對各種目標及限制條件，分析設計之內容是否滿足性能目標，也可以看成是一種法令要求外之設計行為。

S. M. Lo⁷探討香港及日本防火安全工程性能設計發展，日本建築基準法基本上分為3個部分：

- (1) 通則
- (2) 建築法規，及
- (3) 都市計畫法規

通則規定的行政規定，如證明符合要求措施等，建築法規規定結構安全、防火安全及衛生要求，都市計畫法規規定土地利用規劃要求如建築高容積形狀控制、防火區域及其他限制，表2.1為建築法規系統及表2.2概述過去十年BSL發展。

⁷ S.M. Lo, L.J. Gao and K.K. Yuen, THE DEVELOPMENT OF PERFORMANCE-BASED FIRE SAFETY ENGINEERING DESIGN IN HONG KONG AND JAPAN, International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes, Volume 9, Number 3, p.133-139, 2007.

表 2.1 日本建築法規系統

層級	規定	範例
法規	性能要求 -防火安全 -結構安全 -其他	耐火性能：建築物必須能抵抗常態火災期間溫度直到火災結束。
施行令	性能基準	為每個主要建築構件如柱及梁之耐火性能基準
省令/告示	查證方法	耐火性設計-採用的方法預測火災特性及確認主要建築構件在火災下能維持穩定性
	規範	指定設計

資料來源：S.M. Lo[7]

表 2.2 日本建築基準法行政的背景

項目	管理	備註
依據文件	建築基準法依據： 施行令 省令 告示	定量(技術)性能標準及認為滿足(規定)下列規定的條款： 施行令 省令 告示
建立法規的組織	在國土交通省的議案基礎上，各委員會已經在國土發展技術研究中心成立。 委員會的目的是作業在設計方法及研究成果公佈。	建築物綜合防火設計法編輯委員會是負責發佈建築防火設計法(由日本建築心公佈)4卷： 1. 綜合防火設計法 2. 出火擴大防止設計法 3. 避難安全設計法 4. 耐火設計法
批准/檢查	中期檢查 最終檢驗	由當地政府機構或民營結構檢查公司/組織執行檢查。
建築設計方法	3個選項： 1. 依照規定要求-認為滿足設計 2. 依照公佈的” 建築物綜合防火設計法” 規定提供的查證(verification)方法 3. 性能方法-建築設計者必須證明其構造方法或材料滿足建築基準法性能條款。	對於性能方法-指定(認可)性能評估機關將進行試驗及評估結果。 性能評估機關-由國土交通省在建築基準法下指定的組織執行評估及認可(例如日本建築中心)

資料來源：S.M. Lo[7]

日本採用避難安全驗證法的替代式設計自實施以來，根據新基準性能設計實施案例不斷增加，設計者對於相關的性能式法規也產生了一些意見及評論。

水上 点晴⁸在”建築物防火區劃設計風險評估及性能設計技術”一文中，指出在日本建築領域1990年代末期隨著社會趨勢作放寬調整，1998年建築基準法進行性能化規定。但，2005、2007年持續對於耐震、耐火真相隱瞞問題起反作用，隨之可見建築確認審查的嚴格、僵硬化以及規格規定，與當初目的似乎在相反方向擺動。原因之一，在性能規定化的深奧的個別對應及放寬調整的工學理論不足，再者，從規格替代獲得的性能，只限防火設計者、技術者理解的語言，沒有被呈現為可由一般市民能夠理解的性能，防火安全性積極的討論動機認為是欠缺的，如圖2.2。



資料來源：水上 点晴”建築物防火區劃設計風險評估及性能設計技術”

圖 2.2 日本建築基準法性能規定化之流程

何明錦⁹「建築防火性能設計研習行程」出國報告中，於拜訪萩原 一郎博士對於日本防火性能檢證相關問題提出討論，萩原博士係日本推動建築物性能防火設計技術的重要人士之一，參與國土交通省「防火關係指針編集委員會」，且為「避難關係指針編集工作小組」召集人，於2001年完成「避難安全檢證法之解說、計算例及其解說」一書，成為日本建築物性能防火設計技術的聖典，本所於

⁸水上 点晴，”建物の防火区画設計におけるリスク評価と性能設計手法”，日本建築研究所 BRI-H25 講演会テキスト。

⁹何明錦、蔡緯芳、雷明遠、蘇鴻奇，「推展智慧城市與都市防災先期計畫」之「建築防火性能設計研習行程」出國報告，內政部建築研究所，2016。

2004 年亦參考該書編定「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」，該手冊現為我國建築物防火避難性能設計及綜合檢討評定業務必要之參考工具書，國內業有約 500 案建築物參考應用。

請教萩原博士有關日本性能設計有關驗證及評定作法，概有幾項可供我方參考：

- (1) 在日本採性能設計方式(所謂 Route-C)的範圍，可以是全棟建築物或某單一樓層。舉例，全棟建築物可依使用特性分層採用一般傳統方式(Route-A)、檢證法方式(Route-B)或性能設計方式(Route-C)。
- (2) 使用「避難安全檢證法之解說、計算例及其解說」之煙層高度及避難時間計算法，如運用於採用 Route-B 方式的案例，則必須依該書完成煙層下降時間及完成避難時間之計算，倘運用於採用 Route-C 方式的案例，則煙層下降時間或完成避難時間之計算可採用其他方法，如採用電腦模擬程式評估，但必須經過審查委員會同意後為之。
- (3) 對於火災或人員避難電腦模擬程式的使用，在日本設計方會應用作為初步設計評估用，但正式提出案件審查時不會採用電腦模擬結果，至多當作補充資料，仍然會使用普遍接受的工具所計算得到的結果作為正式提送資料。所謂普遍接受的工具係指上揭 Route-B 檢證法之煙層下降時間計算法、人員完成避難時間計算法，如特殊空間的煙層蓄積，則另採用日本建築研究所 BRI-2002 簡易二層法。其原因係一般電腦模擬程式裡有太多假設前提條件過於單純，不足以反映真實情況，或者是電腦程式有許多未透露用途目的原始碼，只有設計者清楚，旁人難以檢核其正確性。因此在日本即使是歐美已常使用的電腦模擬軟體，其模擬結果仍然受到質疑。

第三節 英國防火安全工程技術規範與標準發展現況

由邱培芳[5]對英國防火安全技術標準發展現況探討，1985年以前，英國的建築規範是規格式的，到1976年，其規範已達307頁，並且非常深奧難懂。防火安全工程研究興起後，在70年代末80年代初，英國對其《建築規程》進行修改，並在1985年出版。《建築規程》內容也從307頁減到了23頁。規程的用語多數是性能化語言，言簡意賅，只規定工程項目的防火安全目標及功能目標，至於如何達到，則通過其詳盡的配套文件予以保證。

為了編制相關配套文件，為防火安全工程師及審查人員提供設計及審查依據，英國標準協會（BSI）組織相關人員負責編寫了一部將防火安全工程原理應用到建築防火安全設計的實施規程，這就是1997年頒布的《防火安全工程原理應用指南》BSDD240。BSDD240雖然存在許多不足之處，但它為防火工程師和相關人員以及建築防火審核人員提供了指導。與BSDD240相比，《建築設計、管理和使用防火安全技術規範》BS 9999更具操作性。該標準於2008年10月開始執行，取代了原先的《建築設計、建造和使用防火標準》BS 5588的第0和5~12部分以及《建築設計、管理和使用防火安全規範》BS9999。

經過多次修訂，英國防火安全工程技術標準具有了較強的科學性和可操作性，從實施的角度對其建築技術法規進行闡釋，確保其順利實施。

曾博章¹⁰考察報告整理，英國的建築法（Building Act 1984）為其國內各地區之建築法源，各地區並依該法訂定自有之建築規範，以倫敦為例，其適用英格蘭及威爾斯地區之建築規範（The Building Regulations 2000, Building and Buildings England and Wales），該規範所屬設計作業標準文書（Approved Document A, B, C, …）係經國務局審核通過之法令，其中Approved Document A明文建築結構安全相關規定，Approved Document B明文防火安全相關規定，並分成針對住宅而定之卷1（Volume 1），及針對住宅以外建築物而定之卷2（Volume 2）。

¹⁰曾博章、顏宏霖，「研究建築物性能法規訂定與審查制度之推展」，內政部消防署出國報告，2012。

英國建築物防火安全設計原則建築物防火安全設計主要分為建築及消防 2 部分，建築物結構設計部分由建築師負責，消防安全設計部分由專業工程師負責，設計時所有設計規劃應符合當地建築規範 (Building Regulations)，實踐方式並依循國務局審核通過之設計作業標準文書，設計原則架構如圖 7。英國重視的是人身安全，所有建築物與消防安全規劃都應以人員安全避難為準則，建築物本身的結構設計要能承受足以讓內部人員逃離建築物之燃燒時間。

防火安全設計者如不在制式規範中進行設計，則必須依據相關國家標準，如 BS (英國國家標準)、NFPA Fire Code (美國防火協會防火規範) 等，佐以檢測機構實驗結果、實驗數據、實驗方式等資料證明其設計邏輯及理念足以符合現行法令規定或超越其安全水平，並維護民眾生命財產及場所公共安全。以 BS 9999 為例，其可用以提供設計者設計建築物之防火安全設計、管理及使用等面向之英國國家標準之一 (如圖 8)，其規範內容包含下列主要事項：

第1章：總則 (General)

第2章：風險數據資料評估 (Risk profiles and assessing risk)

第3章：確認火災防護措施之有效性 (Ensuring effective fire protection)

第4章：防火安全管理 (Managing fire safety)

第5章：設計逃生方法 (Designing means of escape)

第6章：消防搶救通道及設施 (Access and facilities for fire-fighting)

第7章：建築結構設計 (Designing the building structure)

第8章：特殊風險防護 (Special risk protection)

第9章：管理使用中之建築物 (Managing occupied buildings)

一個設計案的設計過程，除了由建築團隊、結構團隊及其他設計團隊的參與之外，防火安全團隊也必須在設計案的初步設計規劃參與設計，其中必須透過不斷的協調溝通、互相妥協，以達到最好的結果。無論是一般設計規劃案件或是特殊場所設計，都必須符合建築規範 (Building Regulations) 的最低限度要求。

特殊空間的防火安全設計，須由專業消防工程人員設計，如果設計或使用的設備不在制式法規中，則設計團隊必須提出實驗與測試報告，作為證據，證明所規劃與使用的器材設備能夠符合最低安全標準甚至超越。意即特殊、規模龐大或不適用制式規範之申請案，防火安全目標除應考量符合當地建築規範外，需提出相關證明文件以取得認可。此類設計案之防火安全設備及措施等項目，係根據原設計需求進行設計及規劃，案內設計、產品或設施可能不適用現行設計作業標準文書或其他公認的標準，因此，設計團隊必須假設許多滿足建築物空間內部建築及消防安全無虞之數據，並檢附原始建物設計規劃的信心程度、建物本身設計的設備與敏感度、考慮建物失敗的危險程度等分析文件、實驗數據或佐證資料，再將相關資料報給 LABC 審核。

以英國認證檢測機構 (Building Research Establishment, BRE) 為例，其測試設備、場地、技術、研究、人員等能量，可透過消防工程理論知識重新檢視建築物設計、實驗量測大量數據、與標準規範之安全程度進行結果比較，最後產出實驗報告 (流程圖如圖 14)，提供申請者性能式設計申請案之分析文件、實驗數據或佐證資料。例如以 BS 相關規範及技術手冊作為建築物設計時之防火工程設計標準，並依下列 7 個步驟為測試及實驗主軸，分析防火對象之火災風險：

- 步驟 1 - 火災發生及成長情形 (Initiation and development of fire)
- 步驟 2 - 火災初期室內遠離火源處之煙流動情形 (Smoke movement beyond the room of origin)
- 步驟 3 - 火災時建築物結構狀態 (Response of structure to fire)
- 步驟 4 - 災偵測及滅火系統動作情形 (Activation of detection and suppression systems)
- 步驟 5 - 避難逃生 (Evacuation)
- 步驟 6 - 消防隊介入 (Fire service intervention)
- 步驟 7 - 火災風險評估 (Fire risk assessment)

第四節 澳洲防火安全工程技術規範與標準發展現況

由劉慶男、丁育群[6]研究整理，澳洲自1994年起澳洲建築法規局(ABCB)負責管理、發展、及頒布「澳洲建築技術規則(BCA)」。澳洲建築法規局的總部在坎培拉，並允許各州透過建築技術規則委員會(BCC)分別發展建築技術規則。委員會包括各州代表及各行政區代表以便獲得全面性建議。

1996版的建築技術規則是第一個性能式的版本包括5級結構如下：

1. 目標
2. 功能陳述
3. 性能規定
4. 建築解決方案-視為滿意或替選方案
5. 評估方法

建築技術規則不僅於每章中有性能規定，也包括對可接受的解決方案(視為滿足的替選方案)的規定。條文中清楚規定發展替選方案的機會可藉由防火工程分析、或其它符合性能規定的方式判定。技術規則的特色之一是為”視為符合規定條文”所做的一系列州立附錄條款(State Appendices)。傳統上，澳洲規格式規定，每一州可以有其主要單行法，現在這些單行條款在技術規則中所佔的比例已經比以前少多了。它們反映了澳洲幅員的廣大，因地理導致的不同狀況及各州不同「特殊想法」的遺痕。

A0.9 章節中的基準及性能規定意指建物的每一部份都有專屬的設計接受條件，包括：

- (1) 視為符合規定條文
- (2) 一或多個替選方案或
- (3) 上述兩者的部分組合

同樣的，符合性能規定的設計解決方案可以用下述設計方案來滿足：

- (1) 與視為滿意條文同等的安全級數或
- (2) 其它能滿足性能規定的解決方案

澳洲在防火工程設計方面，沿用英國防火設計體系，分為六個子系統評估架構，並發展出「防火工程設計準則」，提供各州政府及行政區政府內，相關防火工程設計人員，從事防火工程設計之用。對於一般建築物來說，在BCA 中所指定的(“被視為要滿足”)建築防火安全設計方案會是適當的。考量到整個建築建築防火安全的防火工程設計方法，通常能提供更基本和更經濟的方案。然而，對於某些大型且複雜的建築而言，它可能是建立建築防火安全可接受等級的唯一可行方法。

在這些指導方針中所述之消防工程，需要更加詳細的考量，但是對於翻新的和又新又複雜的建築物來說，可以獲得更多適當的、有效的、符合成本效益的設計。

很多時候，可以將建築防火安全設計的目標視為BCA 附錄文件。例如，財產保護一定是很多建築物業主和保險業者的主要目標。但是在儀器方面連續操作才是很重點，例如電腦中心、電話交換機房。對於老舊的大樓而言，澳洲古蹟的保護就可能是一個重要的目標。防火工程師必須發展出一套宣示這些目標的防火保護方法。火災一個極複雜的現象，儘管在過去20 年來有一些重大的進步，但在現今仍然有很多的未知。故無法設下適用於所有建築物簡單的、循序漸進的建築防火安全設計步驟。因此，這些彈性且形式化的程序，就必須以性能法規為基準的建築物防火安全設計階段建立，而且在提出設計評估時，同樣可以讓執法當局遵循。

關於設計方面，正常來說，這些指導方針會由合格且有經驗的建築防火安全設計工程師來使用。當法規檢查當局官員認為他們本身沒有足夠的消防工程專業知識來評估和批准以性能為基準的防火工程設計時，建議其藉助合格的防火工程師。然而，建築物批准最後的決定被公認是建築調查員的工作。而最佳的設計應在計畫開始時所有團體之間所建立的高信任度和溝通有關。關於建築建築防火安全設計的決定，必須隨時考慮法規的要求，且應尋求建築調查員和當地消防當

局的建議。

所有防火工程設計都必須審核，可以由地方當局(市政府)所進行的內部審核，或者是由其他顧問所做的審核，特別是當主管機關沒有足夠的專家時，第三人專業審查十分重要。在澳洲，審核通常由合格的建築調查員(The Certifying Building Surveyor)執行，雖然像其他工程專業一樣，調查員可以向第三審核者要求更多的符合法規的證據。審核以專業的方式執行，必須具備良好的文件記錄，更重要的是應於國內有一致性。防火審核報告的基本文件包含下列：

1. 執行審核者的姓名與資料。
2. 審核者與設計者的關係和任何其他可能的利益衝突。
3. 設計者所用的設計概念的確認。
4. 設計被接受或駁回的基本的陳述：
 - (1) 該設計達到核准文件規定要求的“可接受的方案”或者
 - (2) 該設計是一個依防火工程原則所設計的“替代方案”，基於下列之一而被接受：
 - a. 達到建築法規性能需求的意見，或者
 - b. 相等於前述的可接受方案的意見，或者
 - c. 其他基準。
5. 陳述是否整個設計過程被檢查過，或者僅是設計方案。
6. 表達對任何設計過程步驟的關心，即使整個設計方案是被接受的。(舉例來說，是否電腦模型被不正確的使用，甚至即使他不會影響到最後結果)。
7. 任何額外被建議的分析。
8. 工地中任何必須檢察過程的確認與修改。
9. 確認標上日期的繪圖與說明書(防火工程設計審核文件的一部份)的時程。

由邱培芳[5]對澳洲防火安全技術標準發展現況探討，澳洲在防火安全工程研究方面幾乎與英、美同步。20世紀70年代末，為了對建築物進行防火安全

功能和消防投入分析，他們開始了對建築火災危險評估模型的研究。在多年的研究基礎上，澳洲於1989年起草了《全國建築防火系統規範草案》NBFSSC。1996年，澳洲正式頒布了第一部性能化的《澳洲建築規範》，簡稱BCA96。第一版規範出版之後，澳洲規範理事會立即根據規範在實施過程中出現的問題對規範進行修訂。到2004版出版之前，BCA96共進行了13次較小的修訂。之後，澳洲規範理事會每年都對《澳洲建築規範》進行修訂，現在使用的是《澳洲建築規範》2008年的版本，新出版的規範更多地考慮了各州的不同情況，提高了其在各州的可操作性。

為了配合BCA96的順利實施，澳洲消防規範改革中心在同年（1996年）頒布了《消防工程指南》。指南為消防安全工程方法在建築設計中應用提供了清楚而明確的程序，幫助相關人員理解BCA96的基本理念和選擇合適的評估方法。目前，澳洲有關部門正在對其《消防工程指南》進行修訂，使其與世界接軌，提高其在世界範圍內的影響力和其建築行業在國際市場中的競爭力。

第五節 紐西蘭防火安全工程技術規範與標準發展現況

由王鵬智¹¹出國報告，1991年12月紐西蘭政府法律通過了建築法。這法案合併了先前與建築工程相關的法令，設立建築工業官署(Building Industry Authority)，並且要求所有新建築要與建築法規(Building Code)一致。在建築法第六條清楚的指出，基於經濟和權益的考量，主要防火目標在於住戶的健康與安全，保護鄰居財產和消防隊的防火搶救任務。特別值得一提的是紐西蘭建築法規並不包含財產保護（包括建築結構和建築物所有人財產在內）。假如財產保護的設計被視為必需的，設計者必須在法案和法規的要求之外設立任何額外的功能需求(performance requirements)。

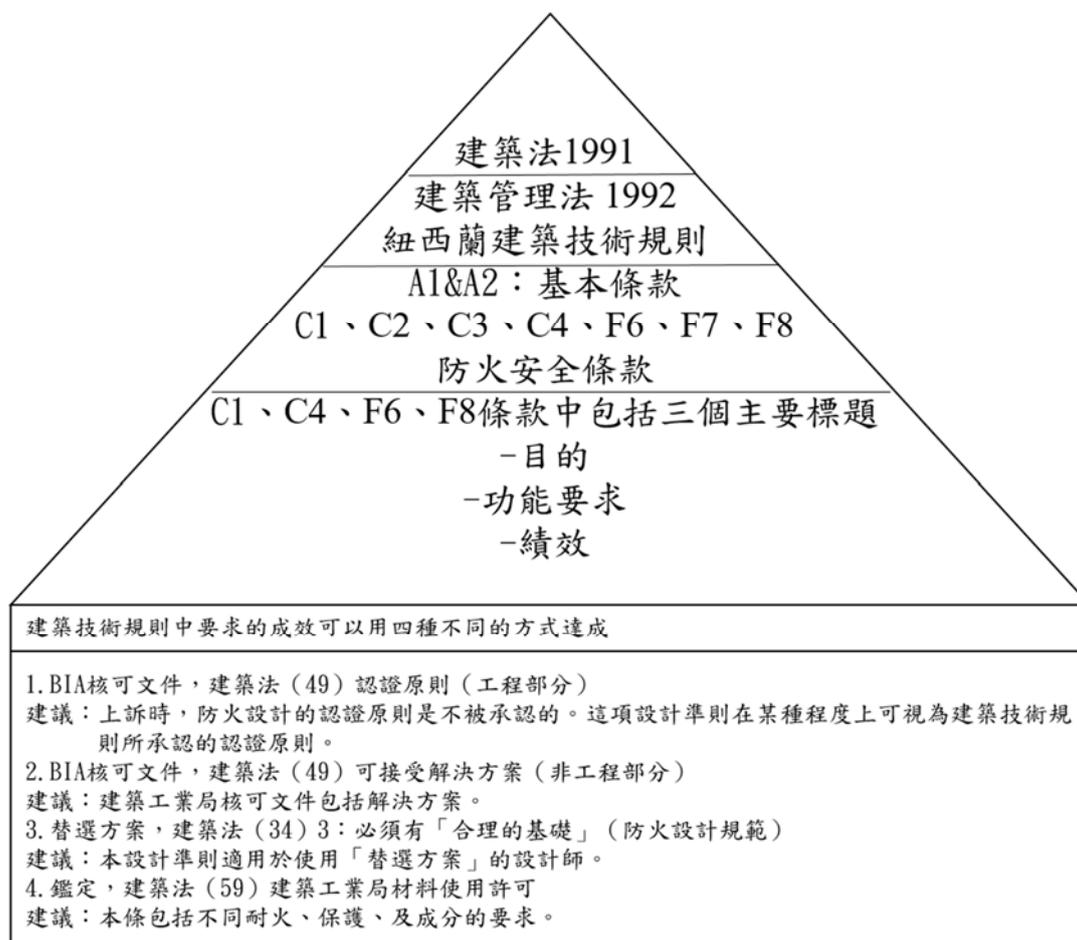
1. 建築法 1991

圖 2.3 為紐西蘭建築管理系統的整體架構。三角形中的項目為對所有建物的

¹¹ 王鵬智「紐西蘭性能式防火法規實施制度考察」，內政部建築研究所出國報告，2001。

法律要求，以及建物變更使用的選擇。下方領域列舉了四種替選方案來滿足法律要求。地方主管機關 (TA) 依法為唯一建築管理機關。建築管理包括新建及原有建築物並透過紐西蘭建築技術規則中的管理條文建立基準 (詳附錄 A)。並為建築法中「目的及原則」的延伸，其中尤其特別注重防火安全的規範。建築法 (6) 1 條的目的是提供：

- (1) 對建築工作及使用的必要控制和確保建物在防火安全的前提上確保安全性及衛生；以及
- (2) 與其它建物使用及自然和建物管理等相關條文的配合



資料來源：王鵬智「紐西蘭性能式防火法規實施制度考察」

圖 2.3 管理環境-防火安全條文

2. 建築技術規範(The Building Code)

包含在 1992 建築管理規則(Building Regulations)內的建築技術規範是依

照建築法的第六部份而發佈的。有關防火安全規定參考附錄 A。

建築法規是一個性能式(performance-based)法規，它指明功能目標，準許以一種被認可的查證方式(Verification Method) (如結構設計法規) 或者可接受方案(Acceptable Solution)來達成此目標。在防火安全中沒有被認可的鑑定方式，所以必須使用可接受方案。再不然，1991 建築法第三十四節准許”替代方案(alternative solutions)” ，例如特定防火工程設計中地方當局對能達到建築法規中功能條例的“合理根據(reasonable grounds)”感到滿意。注意建築法規中的條例通常是不定量的，所以設計者必須藉由經驗、訓練和工程判斷來引導。

3. 核准文件(The Approved Documents)

建築工業官署(BIA, 2000)發行的核准文件包含可接受方案，它是一種能達到建築法規需求的指定方法。對許多小或者簡單的建築物來說，依據可接受方案來設計將令人感到滿意。甚至在那些額外需求被設立或者特定防火工程設計被企求的案例中，可接受方案很可能被用於開始點。

(二) 消防法 1975

1. 與建築法 1991 間的介面

建築法 1991 中防火安全相關要求的目的是在於保障人身的安全，使其不受火災傷害或因而生病，並防止火災蔓延至「鄰接」地區及設置防火裝置。並非「所有」建物都在此法的範圍，例如它對住宅類建物的規範就很少。相對的，消防法 1975 著重於保障生命及財產的安全（所有財產），對保障所有基地內財物及鄰接基地財物的規定不同，為建築法與消防法在基本設定上的差異。紐西蘭消防法 1975 的摘要詳本章附錄 2。

建築法經由 7 (2) 條提醒大眾注意消防法

7. 所有適用於本法的建築工作均需同時符合下列法條

(2) 除有不利於本條的特殊規定外，承攬任何建築工作應該要求符合比建築技術規則更多或更嚴格之相關規範。

總之，消防法 (21) 5 及 (21) 6 說明了：

21 (5) 若有技術規則條款中的實施項目及標準是依據本條第 (4) 款規定並得到當局認可。當局有權批准此一條款或標準。

21 (6) 儘管有 21 (5) 的規定，若條款涉及比建築法 1991 或技術規則更多或更嚴格的結果要求時，當局不應批准上述法條中之條款及標準。

因此，消防法的要求標準不能高於建築法 1991，或建築技術規則。

2. 避難計畫

消防法 21A 規劃了特定建築物所需的特定計畫要求並由紐西蘭消防隊核可。對這項於建築管理法 1992 中防火安全和避難部分的避難要求的實行，反映了安裝防火安全系統來符合住宅火災危險的本質及建物居住者需求的適合性。洒水設施的安裝，配合警鈴的設置可以在某些居住型態下由完全遵循避難要求的限制下提供了一些喘息的空間。

3. 供水系統

紐西蘭救火隊依消防法 17 (91) b 及 30 (3) 條的規定曾提出「防火供水設施規範」(1992 年 6 月實施)。紐西蘭消防隊使用建築法 (64) (2) (c) 的規定針對有關特定建築物使用的防火系統的不適當供水做出處分。

4. 進入建物 (防火安全規劃及調查)

消防隊得以下列理由進入建築物：

- 例如事先救火規劃或危急情況控制
- 災後調查

並要求消防隊在判定建物不符合建築法 1991 相關條文時向地方建管機關通報。

5. 早期規劃

為了於建築物規劃的早期及考慮到法律責任，聰明的設計師會在建築計畫開始之早期就向消防隊確認規劃過程中是否有任何議題牽涉到

- 避難
- 建物棟線和
- 防火安全系統

這些諮詢項目應會同所有權人一同進行，如此可確認某些特定建築計畫中是否有牽涉其它對生命安全、財產保護等要求需超過建築技術規則所規範。

所有防火工程設計都必須審查，這可以是一個由地方當局(市政府)所做的自辦審查，或者是由其他顧問所做的審查，特別是當認證當局沒有足夠的專家。審查一般以專業的行式執行，應有良好完整的文件記錄且審查原則於國內一致，是非常重要的。防火審查報告的基本文件包含下列：

- (1) 執行審查者的姓名與資料。
- (2) 審查者與設計者的關係和任何其他可能的利益衝突。
- (3) 設計者所用的設計理論的確認。
- (4) 一個基本的陳述指出設計被接受或退回：
 - (a) 該設計案達到核准文件規定要求的“可接受方案”；或者
 - (b) 該設計案係防火工程原則的“替代方案”基於以下認定：
 - (i) 一個此設計達到建築法規功能需求的意見，或者
 - (ii) 一個此設計相等於前述的可接受方案的意見，或者
 - (iii) 一些其他標準。
- (5) 陳述是否整個設計過程被檢查過，或者僅是設計解答。
- (6) 表達對任何設計過程的關心，即使整個設計解答是被接受的。(舉例來說，假如電腦模型被不正確的使用，甚至假如他不會影響到最後結果)。

- (7) 任何額外被建議的分析。
- (8) 工地中任何必須檢察過程的確認與修改。
- (9) 確認標上日期的繪圖與說明的流程表，當成防火工程審查的一部份。

在澳洲，審查通常由合格的建築調查員(The Certifying Building Surveyor)執行，雖然像其他建築條例一樣，調查員可以向審查者要求更多的符合法規證據。

「專業防火工程」獨立成為一項特定的技術原則是必須的。它能在建築管理的環境中施作。這一項認證應包發展專業防火工程固定架構以進行施作、建立技術之市中心技巧、以及建立教育及經驗的統一標準。

對於防火工程「知識狀態」的出現的建議如下：

- 一般狀況所有防火工程設計符合地方建管機關的技術核可應由專業火災工程師「設計審查」
- 依建築法(33)(5)，直到更進一步的建立知識領域前，地方建管機關對獨立於設計師的廠商聲明關於未經設計審查而執行的部分的無條件接受應不被鼓勵(小設計除外)

這些約束是基於基本面的考量，直到一般大眾和規範者經由信心的給予對防火工程專業發展出充足的自信前，來接受查核的結果。

可使用特定防火工程設計在：

- (1) 核准文件不適用時；或者
- (2) 核准文件指明特定防火工程設計時；或者
- (3) 屋主的需求在那些建築法規之外時；或者
- (4) 特定防火工程設計會產生額外的經濟或安全效益時。

不管是在可接受方案的延伸方面或者從設計上最重要的原則來說，這文件為實行特定防火工程設計提供一個架構。

1. 功能鑑定(Quantifying performance)

沒有一個簡單的方法可以鑑定建築物在一個可能火災中的功能和安全性。建築法規的功能需求是定質不定量的。在最終的分析，功能需求被接受與否是一個以最好裝備來判斷的意見問題。一些防火工程的觀點可以合理的準確度被算出，但是其他的只能被大概的估算或者需要主觀的判斷。沒有一個全面性的架構可以准許一個簡單的數據被放在安全上。用風險評估(risk assessment)來估計防火安全的方法正在發展中。基於或包含風險評估的防火設計指南已在澳洲(FCRC, 1996)，加拿大(Yung et al, 1997)，瑞典(Frantzich et al, 1997)和美國(Fitzgerald, 1993)製出。其他風險評估模型正在發展中。

2. 業主的需求(Owner' s requirements)

在設計過程的早期必須對建築物設立功能需求。這些是經由屋主和設計師，保險公司還有其他相關者商議諮詢而設立的。每件案例應基於建築物被提議的使用(和未來的使用)以及假如火災發生時對屋主的可能影響來作評估。功能需求必須達到建築法規的最低需求，而在一些案例中將為更廣泛的保護做基礎。任何防火工程的設計都應該被檢驗以確保達到建築法規的最低需求。

3. 設計考量(Design considerations)

影響一個特定防火工程設計功能的因素包含：

- 建築幾何和所意欲的使用；
- 鄰接房地產的所在位置；
- 火災發生的機率；
- 燃載量和分部；
- 房客的數量和位置；
- 消防隊最可能產生的反應；
- 可利用的供水；和
- 影響防火安全的建築管理執行。

4. 管理維護時程表(Compliance Schedule in New Zealand)

建築法第四十四節要求建築物的特定防火安全系統須做定期檢驗，維修並且報告過程。每個新建築物都須由設計者於整套文件資料中提供管理維護時程表。管理維護時程表詳細的提供了建築物中特定系統所需的維護，包括自動噴水系統、防火門、火警系統、緊急照明、逃生路線、壓力系統、防火梯級豎板、指標、火災逃生設備和水龍帶捲筒。檢驗和維修通常含蓋完全裝置、適何的系統的形式和系統失常所造成的影響。建築物被使用時管理維護時程表的使用期限為十二個月。過了期限之後建築物內必須掛上 (the Building Warrant of Fitness) 證書並於每十二個月更新一次。屋主有責任聘任一位獨立合格人員 (Independent Qualified Person(IQP)) 來做這些檢驗。

防火安全是靠著在任何建築物有生命期間，可能是五十或者壹百年或者更久的時間，成功的執行活動系統防火保護測量。在建築物的生命期中不管是活動或是被動系統必須規定定期維修、做好房屋保養和檢察所有的系統。特定活動系統必須依建築物良好狀態保證方案定期檢察，但其他如被動系統和房屋保養不包括在內。必須提供特別的監視假如特定防火工程設計給予建築物的使用一些限制，像是家具類型的限制、儲藏室物品的高度、居住人數或者經過相鄰房間的出口路線等。

建築法第六十四節處理因防火和出口而被視為危險的建築物，並應建議地方當局尋求紐西蘭消防局(New Zealand FireService)的建議。消防局將會依 1992 建築管理法中的防火安全與避難來評估建築物，且將於某些範圍內講示被動系統和保養方法。

5. 設計文件(Design documentation)

防火工程設計需要被理性和持續性的文件化，每個計劃案的提出應是一個書寫報告包含：

- (1) 名字和人物介紹和防火設計的大概責任，包含和各種商業合作。
- (2) 實際做防火設計的人名與介紹。
- (3) 設計哲學的陳述至少包含。
 - (a) 功能需求成為設計的基礎。
 - (b) 建築法規和功能需求的差異。
 - (c) 整體的策略以達到功能需求。
 - (d) 防火工程分析的整體觀點。
 - (e) 建築設計和防火保護特徵的概略。
 - (f) 關於建築物的長程生命和使用的假說。
- (4) 清楚的描述火災情境和為何使用它們。
- (5) 關於消防功能的假說。
- (6) 計算並提供足夠的資料讓整個過程清楚而精確的跟從附加算式和假說的參考資料，參考資料應是被仔細檢閱過的文獻。重要參考資料的複製可置於附錄中。
- (7) 與其數據的列出，寧可詳盡的電腦輸入資料和概略的輸出與圖表。實際列出可被放入附錄中。
- (8) 陳述任何工地上所需的檢驗過程。
- (9) 將繪圖時間表和說明當成整套防火設計的一部份，包含適用的圖號和時間。

送件應包含適當的合約製圖顯現防火安全需求。這些可以是分開的防火工程製圖或是適當做上計號的建築圖。製圖必須與書面報告和說明一致。合約上的說明必須支持顯示在繪圖上的需求。這應是一個分開的防火章節，提供整體資料包含繪圖的參考資料和其他所有有防火相關資料的說明的相交參考資料。檢驗過程應被包圍在內。

6. 防火工程設計手冊

該手冊 (FEDG) 提供了設計原則給想提出或查核特別的防火設計來符合紐西蘭技術規則的人。手冊可視為「合理基礎」的一部份，設計師可提出此方案並由地方建管機關依建築法將其視為替選方案。

防火工程設計手冊是用來

- (a) 維持適當的資格，並進行防火工程工作教育訓練及體驗。
- (b) 希望於工作的過程中能經由本原則（和其它途徑）參考到不同的防火工程相關文獻。

由邱培芳[5]對紐西蘭防火安全技術標準發展現況探討，紐西蘭第一版性能化建築規範於1992年出版。其製訂依據是紐西蘭《建築法》和《建築技術規範》。《建築法》是紐西蘭建築領域的最高法律，強制性地規定了所有建築物及其組成部分必須滿足某些條款的要求。《建築技術規範》是《建築法》的下層規定。而《紐西蘭建築技術規則》是《建築技術規範》的一部份，規定所有建築必須滿足其穩定性、消防安全、濕度、用戶安全、服務設施以及節能等的相關要求。性能化的《紐西蘭建築技術規則》不規定如何做才能滿足相關要求，而是僅提出了性能判定標準，具體做法則依據設計人員的設計需要而定。為了便於操作，紐西蘭建築和住房部根據建築規範的條文順序，編寫了《核准文件》，相當於澳洲或者美國的《消防工程指南》。紐西蘭的《核准文件》為非強制性，包括驗證方法和可接受方案。一般而言，按照《核准文件》的要求進行的設計，即被認為能夠滿足相關建築法規或規範的要求。當然，除了《核准文件》中提供的方法外，設計師也可以採用其他的設計方法來滿足相關規範的要求。

之後，那些普通的設計師，一夜之間變成了消防安全工程師，開始進行性能化設計。審批人員也因為缺乏性能化設計的相關知識，審批依據僅僅是設計單位提供的粗略的消防設計報告。20世紀90年代建造的房屋，大多數存在嚴重的品質問題，並且現在已經逐步顯現出來。這些問題的出現，讓人們對性能化設

計產生了懷疑。因此，2004 年，紐西蘭對其《建築法》做了重大修改，加強了對建築審批的控制。其性能化建築規範目前正在修訂，使其與2004 年版本的《建築法》保持一致。

第六節 中國大陸防火安全工程技術規範與標準發展現況

邱培芳[5] 指出中國大陸從20 世紀80 年代初期開始進行火災模化方面的研究，在火災科學、火災動力學、建築火災煙氣運動等方面展開了大量工作，並且開始了建設工程消防性能化設計導則和規範的編制工作。在中國大陸《工程建設標準體系（工程防火部分）》框架細化表中，性能化規範屬於專用類規範。

中國大陸的防火安全工程研究現況與國際上幾個發達國家相比，在如下幾個方面還存在著一定的差距：

- (1) 缺乏全國統一的消防安全工程數據庫。防火安全工程的應用，特別是火災風險評估，需要龐大的數據庫作為支撐，但中國大陸至今還沒有國家統一的消防安全工程數據庫。
- (2) 沒有建立自己的火災模型，缺乏對國外模型的評估和驗證。目前中國大陸幾大評估機構所使用的火災模型，幾乎都是國外不同機構開發的商用模型。使用的數據也多數來自國外，雖然可以對有些輸入數據進行調整，但因為缺乏統一的數據庫，輸入數據的選擇存在很多人為因素。因此，應結合國外火災模型的開發經驗及中國大陸在火災模擬方面的研究現況，開發建立在本土數據庫基礎之上且適合中國大陸實際情況的火災模型，同時對國外模型是否真的適合中國大陸的實際情況，其模擬結果是否科學、合理等進行進一步評估和驗證。
- (3) 沒有系統展開火災中人對火的反應及運動規律的研究。建築物特性、火災特性和人員特性，是全面、科學進行火災預防、滅火和人員安全逃生的三大要素。忽略任何一個要素，都不可能保證消防研究、設計甚至消防安全管理的科學性。雖然中國大陸公安部天津消防研究所在“九五”和“十五”期間，在人員疏散方面也做過一些研究，取得了一定成果，但並沒有系統

地研究人在火災中是如何表現的。所以，儘管不少有遠見之士早已提出了人在火災中心理和行為研究的重要性的必要性，但目前尚無專門的研究部門和人員能夠系統、深入地從事此領域的研究。

依據中國大陸《消防安全工程》系列標準發佈實施說明¹²，據不完全統計，2006年以來，中國大陸各地共有600多個建設工程項目採用了消防安全性能化設計和評估方法進行了總體或局部的消防設計，其中不乏像首都機場T3航廈、國家博物館、上海世博會場館、上海虹橋綜合交通樞紐中心等建築面積在數十萬平方公尺以上的超大型、地標性工程建設項目。

消防安全工程系列標準，制定了綱領性標準《消防安全工程 總則》，規定了消防性能化設計和評估方法的一般原則、設計思維、基本流程、設計報告的編寫和應用要求，為消防性能化設計人員在設計過程中具體使用《消防安全工程指南》和《消防安全工程》兩個系列標準提供了根本遵循。制定火災風險評估的步驟和程式，對火災事件發生概率、後果嚴重性、不確定性等技術指標提供標準化計算方法，計算結果為火災場景的設定和選擇、不確定性分析輸入參數的設置等工作環節提供決策依據。規定火災場景的設定和選擇方法，使消防性能化設計人員能夠根據火災風險評估結果合理設定火災的發展階段，以及影響火災發展進程的各種消防措施和環境條件，並在此基礎上針對消防安全目標選擇最適合用於分析的火災場景。對火災發生發展過程，火災煙氣流動、煙氣層沉降、火羽流、頂棚射流、開口氣流、結構對火響應、起火封閉間火災對外蔓延等火災現象，以及火災探測、啟動和滅火等消防性能化設計必須涵蓋的工作對象提供標準化的定義和計算方法，為消防安全研究人員，從事建設工程防火規範制定、消防安全性能化設計、火災危險性評估的專業人員在工程實踐中應用消防安全工程方法提供可靠技術指導。提供消防性能化設計中的人員疏散評估方法，規定了安全疏散時間的計算方法，火災煙氣和高溫對安全疏散時間的影響等內容，明確了利用人員疏散評估結果評估消防設計方案可靠性的性能化評估要求。規定各種消防安全工程計算方法的準確性驗證和評價要求，可用於評判各類計算方法反映真實火災過程的精確程度以及評價計算結果的不確定性，為消防性能化設計人員合理選擇計算

¹² 「《消防安全工程》系列標準發佈實施」，中國消防線上，2015。

方法和處理計算結果提供詳細的技術指南。

2015年6月2日，消防安全工程系列共14部推薦性標準經中國大陸國家質檢總局、國家標準化管理委員會批准發佈，自8月1日起實施。這14部標準如表2.2。

表 2.3 GB 與對應 ISO 標準

GB	對應 ISO
GB/T 31592 消防安全工程 總則	ISO 23932 : 2009
GB/T 31593.1 消防安全工程 第 1 部分：計算方法的評估、查證和確認	ISO 16730 : 2008
GB/T 31593.2 消防安全工程 第 2 部分：所需數據類型與資訊	無
GB/T 31593.3 消防安全工程 第 3 部分：火災風險評估指南	ISO/TS 16732 : 2005
GB/T 31593.4 消防安全工程 第 4 部分：設定火災場景和設定火災的選擇	ISO/TS 16733 : 2006
GB/T 31593.5 消防安全工程 第 5 部分：火羽流的計算要求	ISO 16734 : 2006
GB/T 31593.6 消防安全工程 第 6 部分：煙氣層的計算要求	ISO 16735 : 2006
GB/T 31593.7 消防安全工程 第 7 部分：天花板噴流的計算要求	ISO 16736 : 2006
GB/T 31593.8 消防安全工程 第 8 部分：開口氣流的計算要求	ISO 16737 : 2006
GB/T 31593.9 消防安全工程 第 9 部分：人員疏散評估指南	ISO/TR 16738 : 2009
GB/T 31540.1 消防安全工程指南 第 1 部分：性能化在設計中的應用	ISO/TR 13387-1 : 1999
GB/T 31540.2 消防安全工程指南 第 2 部分：火災發生、發展及煙氣的生成	ISO/TR 13387-4 : 1999
GB/T 31540.3 消防安全工程指南 第 3 部分：結構響應和室內火災的對外蔓延	ISO/TR 13387-6 : 1999
GB/T 31540.4 消防安全工程指南 第 4 部分：探測、啟動和滅火	ISO/TR 13387-7 : 1999

資料來源：本研究整理

上述標準由中國大陸公安部消防局、公安部天津消防研究所、公安部四川消防研究所、中國科技大學、中國建築科學研究院等單位起草編寫。

第七節 國際防火安全工程標準發展現況

國際標準化組織¹³ (ISO) 是一個由不同國家標準化機構組成的世界範圍的聯合會，是非政府組織，現有157個成員國。TC92 是ISO 組織下設的200 多個技術委員會 (TC) 之一，其主要研究領域是防火安全。其工作主要涉及安全、健康和環境問題。意在通過防火安全工程技術，使其製訂的標準利於降低人員和財產損失，並使設計更經濟有效。

TC92 下設4 個分技術委員會。SC1 主要研究火災發生和增長；SC2 研究火災控制技術；SC3 研究火災對人和環境的威脅；SC4 研究防火安全工程。

2009 年10 月在美國舉行的TC92 全會上，TC92 開始修訂其未來工作計劃，各分委會也開始根據TC92 的工作計劃制定自己的工作目標和未來發展規劃。因為SC4 的主要研究對象是防火安全工程，其主要工作目標也是圍繞防火安全工程展開，主要包括：

- (1) 為防火安全工程在實際工程中的應用提供必要的文件，為性能化設計和評估提供技術支持和指導；
- (2) 開發新的工程設計和評估方法，用於驗證是否達合理的防火安全目標；
- (3) 將防火安全工程中應用比較成熟的技術和評估方法標準化，包括確定其準確性和局限性；
- (4) 為性能化防火設計和評估提供盡可能全面的標準。

對於未來幾年的發展規劃，初步確定為如下幾項：

- (1) 防火安全工程程序；
- (2) 風險評估模型的應用，又分為“為風險和危害的量化評估制定指南”以及“研究與不同活動、系統類型和目標有關的設計火災情境”；
- (3) 可接受工程方法的應用，包括為防火安全工程中不同類型計算方法和工具的驗證程序提供案例；

¹³ 邱培芳、倪照鵬，「國際消防安全工程標準體系最新發展動態」，工程建設標準化，2015。

- (4) 防火安全工程方法，包括“不同構件之間的相互作用對結構性能的影響”和“防火安全工程的操作性標準—防火法規與性能化設計的銜接以及主動、被動消防系統的聯合”等；
- (5) 防火安全工程方法輸入數據，包括“每個SC4工作組以及TC92 的其他分委會應確定其領域內的必要數據以及獲取途徑”、“確定疏散過程中所需數據”、“相關計算方法”和“計算模型驗證的相關數據”等。

SC4 目前共有7 個工作組和1 個顧問組，負責9 個主要標準文件的製修訂工作以及十多個案例的編寫工作。

防火安全工程系列標準不是9 個標準（ISO16730 ~ ISO16738）的簡單組合，而是一個完整的體系。在該體系中，除了這9 個主要標準外，還有一個起統領作用的《防火安全工程—總則》ISO23932 和其他輔助配套文件，從而提高各標準的可操作性，確保標準的科學實施。該系列標準與總則和其他相關輔助配套文件的關係見圖2.4，防火安全工程系列國際標準發展現況如表2.3。

Louis¹⁴火災環境數值模擬利用計算模型在火災研究及防火安全工程已為日益廣泛，為危險評估、調查及性能的設計使用這些模式準確預測火災行為的能力是很高的實用性。因此，FORUM立場支持準確模式發展，使用材料性質數據作為輸入，為火災研究團體的適當之長期目標。一般，準確數值火災模式必須表示許多非線性，一個長度及時間尺度寬廣範圍以上耦合現象。援引火災模式使用在火災防護工程已知信心程度要求，由於必要的程序是目前充分明確定義在實踐中使用，FORUM的立場是要求查證及確認，包括：

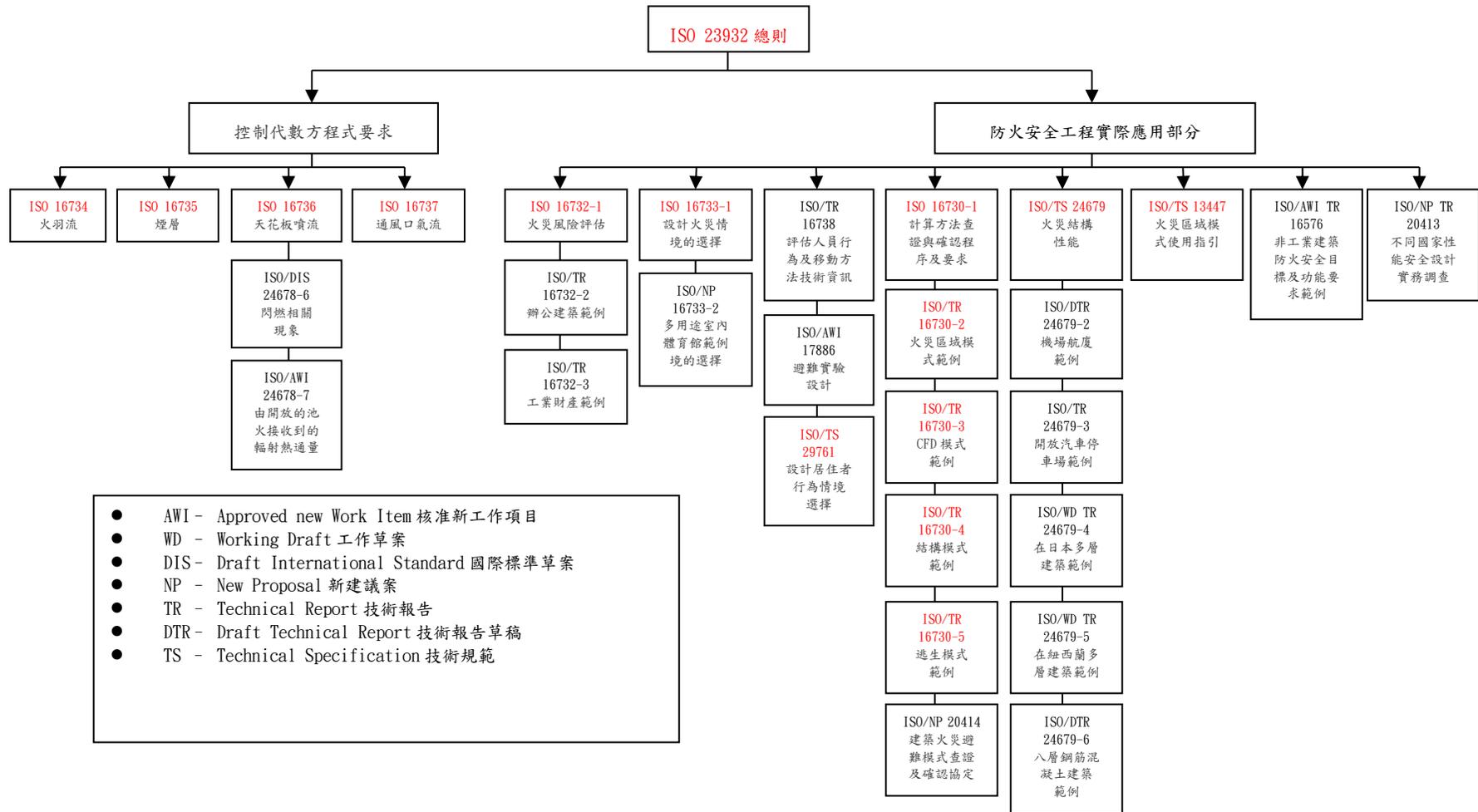
- 由開發者識別編碼查證及減少編碼錯誤
- 計算查證包括離散的特性(通常是網格)及輸入參數關係建立適當的模式運用
- 模式確認在關心的參數空間，基於一個已建立的度量及應用高品質實驗數據，提供模式預測能力的定量評估

¹⁴ Louis A. Gritzo, Paul E. Senseny, Yibing Xin, and J. Russell Thomas, “The International FORUM of Fire Research Directors: A Position Paper on Verification and Validation of Numerical Fire Models”, Volume 40, Issue 5, pp. 485–490, 2005.

建築火災安全性能設計確認指南之研究

- 查證研究的文件，依照既定的準則，在公開文獻中有足夠的嚴謹性及細節，以用作日後分析增加信心的基礎

查證及確認主要障礙是增加開發者及分析者必要工作量及成本。雖然這個成本是由FORUM認可及公認的，適當嚴謹的工作量去提高由決策者接受模式結果是明確需要，及逐步促進知識狀態。



資料來源：本研究整理

圖 2.4 防火安全工程系列標準與總則及其他相關輔助配套文件關係圖

表 2.4 ISO 防火安全工程標準體系發展現況

<p>ISO 23932:2009 Fire safety engineering -- General principles 總則</p> <p>ISO/AWI 23932-1 Fire safety engineering -- General principles 總則 -- Part 1: General 一般</p>
<p>ISO 16734:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations 控制代數方程式要求 -- Fire plumes 火羽流</p> <p>ISO 16735:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Smoke layers 煙層</p> <p>ISO 16736:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Ceiling jet flows 天花板噴流</p> <p>ISO 16737:2012 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Vent flows 通風口氣流</p> <p>ISO/DIS 24678-6 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations 控制代數方程式要求 -- Part 6: Flashover related phenomena 閃燃相關現象</p> <p>ISO/AWI 24678-7 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Part 7: Radiation heat flux received from an open pool fire 由開放的池火接收到的輻射熱通量</p>
<p>ISO 16732-1:2012 Fire safety engineering -- Fire risk assessment 火災風險評估 -- Part 1: General 一般</p> <p>ISO/TR 16732-2:2012 Fire Safety Engineering -- Fire risk assessment -- Part 2: Example of an office building 辦公建築範例</p> <p>ISO/TR 16732-3:2013 Fire safety engineering -- Fire risk assessment -- Part 3: Example of an industrial property 工業財產範例</p>
<p>ISO/TS 16733:2006 Fire safety engineering -- Selection of design fire scenarios and design fires 設計火災情境及設計火災的選擇</p> <p>ISO 16733-1:2015 Fire safety engineering -- Selection of design fire scenarios and design fires 設計火災情境及設計火災的選擇 -- Part 1: Selection of design fire scenarios 設計火災情境的選擇</p> <p>ISO/NP 16733-2 Fire safety engineering -- Selection of design fire scenarios and design fires -- Part 2: Example of a multipurpose covered stadium 多用途室內體育館範例</p>
<p>ISO/TR 16738:2009 Fire-safety engineering -- Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people 評估人員行為及移動方法技術資訊</p> <p>ISO/AWI 17886 Fire safety engineering -- Design of evacuation experiments 避難實驗設計</p> <p>ISO/TS 29761:2015 Fire safety engineering -- Selection of design occupant behavioural scenarios 設計居住者行為情境選擇</p>

表 2.3 ISO 防火安全工程標準體系發展現況(續)

ISO 16730-1:2015 Fire safety engineering -- Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods 計算方法查證與確認程序及要求 -- Part 1: General 一般
ISO/TR 16730-2:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods 計算方法評估、查證與確認 -- Part 2: Example of a fire zone model 火災區域模式範例
ISO/TR 16730-3:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 3: Example of a CFD model CFD 模式範例
ISO/TR 16730-4:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 4: Example of a structural model 結構模式範例
ISO/TR 16730-5:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 5: Example of an Egress model 逃生模式範例
ISO/NP 20414 Fire safety engineering -- Verification and validation protocol for building fire evacuation models 建築火災避難模式查證及確認協定
ISO/TS 13447:2013 Fire safety engineering -- Guidance for use of fire zone models 火災區域模式使用指引
ISO/AWI TR 16576 Fire safety engineering -- Example of fire safety objectives and functional requirements for non-industrial buildings 非工業建築防火安全目標及功能要求範例
ISO/NP TR 20413 Fire safety engineering -- Survey of performance-based safety design practices in different countries 不同國家性能安全設計實務調查
ISO/TS 24679:2011 Fire safety engineering -- Performance of structures in fire 火災結構性能
ISO/DTR 24679-2 Fire safety Engineering -- Performance of structure in fire -- Part 2: Example of an airport terminal 機場航廈範例
ISO/TR 24679-3:2015 Fire safety engineering -- Performance of structure in fire -- Part 3: Example of an open car park 開放汽車停車場範例
ISO/WD TR 24679-4 Fire safety engineering -- Performance of structures in fire -- Part 4: Example of a multi-storey building in Japan 在日本多層建築範例
ISO/WD TR 24679-5 Fire safety engineering -- Performance of structures in fire -- Part 5: Example of a multi-storey building in New Zealand 在紐西蘭多層建築範例
ISO/DTR 24679-6 Fire safety engineering -- Performance of structures in fire -- Part 6: Example of an eight-storey reinforced concrete building 八層鋼筋混凝土建築範例

表 2.3 ISO 防火安全工程標準體系發展現況(續)

PWI - Preliminary Work Item 前期工作項目
NP or NWIP - New Proposal / New Work Item Proposal 新提案/新工作項目提案
AWI - Approved new Work Item 核准新工作項目
WD - Working Draft 工作草案
CD - Committee Draft 委員會草案
FCD - Final Committee Draft 最終委員會草案
DIS - Draft International Standard 國際標準草案
FDIS - Final Draft International Standard 最終草案國際標準
PRF - Proof of a new International Standard 一個新的國際標準證明
IS - International Standard 國際標準
NP Amd - New Proposal Amendment 新建議修正案
AWI Amd - Approved new Work Item Amendment 核准新工作項目修正案
WD Amd - Working Draft Amendment 工作草案修正案
CD Amd / PDamd - Committee Draft Amendment / Proposed Draft Amendment 修訂委員會 修訂草案/擬議草案
FPDamd / DAM (DAmd) - Final Proposed Draft Amendment / Draft Amendment 修正案最終 擬議修正草案/草案
FDAM (FDAmd) - Final Draft Amendment 最終修訂草案
PRF Amd -
Amd - Amendment 修正案
TR - Technical Report 技術報告
DTR - Draft Technical Report 技術報告草稿
TS - Technical Specification 技術規範
DTS - Draft Technical Specification 起草技術規範
PAS - Publicly Available Specification 公共可用規範
TTA - Technology Trends Assessment 技術趨勢評估
IWA - International Workshop Agreement 國際研討會協議
Cor - Technical Corrigendum 技術勘誤

資料來源：本研究整理

第八節 小結

邱培芳[5] 探討國外防火安全工程技術標準特點後總結：

- (1) “以性能為基礎”是防火安全工程技術標準的共同特徵。
- (2) 防火安全工程技術標準與其技術法規相一致，並制定保證技術標準實施的配套文件。
- (3) 美國對防火安全工程研究較早，但標準制定方面比較謹慎。NFPA 只是在其原有規範中加入了性能化的章節，並沒有將整本規範全部性能化，這與英國、澳洲及紐西蘭有所不同。其在實際工程中的應用也不是很廣。
- (4) 紐西蘭在防火安全工程技術標準的實施方面比較特殊。紐西蘭從規格式規範往性能化的轉變可以說是一夜之間天翻地覆。隨著防火安全工程技術標準的實施，其防火安全工程基礎科學研究的欠缺和人員儲備不足等問題逐步顯現出來。
- (5) 缺乏全國統一的防火安全工程數據庫。
- (6) 沒有建立自己的火災模型，缺乏對國外模型的評估和驗證。
- (7) 沒有系統展開火災中人對火的反應及運動規律的研究。

另對於水上 点睛在”建築物防火區劃設計風險評估及性能設計技術”一文中，指出在日本建築基準法進行性能化問題，以及萩原 一郎所述對於火災或人員避難電腦模擬程式的使用，在日本設計方會應用作為初步設計評估用，但正式提出案件審查時不會採用電腦模擬結果，至多當作補充資料，仍然會使用普遍接受的工具所計算得到的結果作為正式提送資料。其原因係一般電腦模擬程式裡有太多假設前提條件過於單純，不足以反映真實情況，或者是電腦程式有許多未透露用途目的的原始碼，只有設計者清楚，旁人難以檢核其正確性。因此在日本即使是歐美已常使用的電腦模擬軟體，其模擬結果仍然受到質疑。

因此，防火安全工程技術標準與其技術法規，並制定保證技術標準實施的配套文件，基礎科學的研究與防火安全工程實驗數據庫建立，電腦模擬程式之的評

建築火災安全性能設計確認指南之研究

估、查證與確認，以及性能設計、審核的人員儲備，為國內建築防火性能設計所要積極努力方向。

第三章 國內建築物防火性能設計實施現況

建築物在產業型態的改變下，高層化、複合化使用建築物日益增多，現行的建築技術規則無法全面予以規範，因此，內政部建築研究所自 1999 年起即開始進行建築物防火避難性能化之相關研究，並將建築物防火避難性能驗證分為 Route A、B、C，一般建築物均應符合法規 (Route A) — 建築技術規則第三、四、五、十一、十二章防火避難有關規定，若依建築技術規則於 2003 年 8 月 19 日公布(2004 年 1 月 1 日施行)總則編第三條但有關建築物之防火及避難設施，經檢具申請書、建築物防火避難性能設計計畫書及評定書向中央主管建築機關申請認可者，得不適用本規則建築設計施工編第三章、第四章一部或全部，或第五章、第十一章、第十二章有關建築物防火避難一部或全部之規定。

總則編第三條之 4 所列建築物應檢具防火避難綜合檢討報告書及評定書，或建築物防火避難性能設計計畫書及評定書，經中央主管建築機關認可；如檢具建築物防火避難性能設計計畫書及評定書者，並得適用本編第三條規定：

- 一、高度達二十五層或九十公尺以上之高層建築物。但僅供建築物用途類 組 H-2 組使用者，不受此限。
- 二、供建築物使用類組 B-2 組使用之總樓地板面積達三〇、〇〇〇平方公尺以上之建築物。
- 三、與地下公共運輸系統相連接之地下街或地下商場。

前述防火避難性能設計計畫書及評定書，應依內政部訂頒之「建築物防火避難性能設計計畫書申請認可要點」申請辦理，防火避難綜合檢討報告書及評定書應依內政部訂頒之「防火避難綜合檢討報告書申請認可要點」申請辦理。

其中防火避難計畫應包括基本特徵及避難計畫及驗證，其避難驗證應依認可要點第五點進行樓層避難安全驗證，驗證方法得以採用 Route B 或 Route C，現

今多採用內政部建築研究所之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」進行驗證，面積小於200 m²之居室則採用內政部建築研究所公開授權之煙層簡易二層驗證法。屬第二類建築物屬挑空、電影院等空間則依個案另採用美國NIST 研發公開之煙控模擬軟體FDS 進行煙層下降時間之驗證。

若適用各類場所消防安全設備設置標準有困難，則可依「內政部消防技術審議委員會消防安全性能設計與同等性能替代申請及審查作業須知」申請辦理。

第一節 建築物防火避難性能設計

建築技術規則總則編2003年08月19日修訂，於第三條規定建築物之設計、施工、構造及設備，依本規則各編規定。但有關建築物之防火及避難設施，經檢具申請書、建築物防火避難性能設計計畫書及評定書向中央主管建築機關申請認可者，得不適用本規則建築設計施工編第三章、第四章一部或全部，或第五章、第十一章、第十二章有關建築物防火避難一部或全部之規定。

前項之建築物防火避難性能設計評定書，應由中央主管建築機關指定之機關（構）、學校或團體辦理。

第一項之申請書、建築物防火避難性能設計計畫書及評定書格式、應記載事項、得免適用之條文、認可程序及其他應遵循事項，由中央主管建築機關另定之。

依前述第三項規定內政部於2004.09.20台內營字第0930086265號令訂定「建築物防火避難性能設計計畫書申請認可要點」，內政部96.11.19台內營字第0960806688號令修正第五點規定，內政部98.12.23台內營字第0980811462號令修正第二點規定，申請認可之案件，應由申請人備具申請書、建築物防火避難性能設計計畫書及建築物防火避難性能設計評定書，向中央主管建築機關申請辦理。建築物防火避難性能設計評定書應由申請人檢具建築物防火避難性能設計計畫書向中央主管建築機關指定之評定專業機構辦理。

建築物防火避難性能設計計畫書應載明下列事項：

(一)建築物之概要：

1. 建築概要表。
2. 周圍現況圖。
3. 建築計畫概要。
4. 設備計畫概要（防災設備機器一覽表詳）。
5. 相關附圖。

(1)相關樓層平面圖。

(2)各向立面圖。

(3)相關剖面圖。

(4)其他詳圖。

(二)申請免適用之本規則規定及理由，並應以圖面清楚標示申請免適用本規則規定之位置。

(三)對應免適用條文採取之對策。

(四)性能驗證之條件、方法及結果。

(五)經營管理計畫。

1. 各設備之作動程序。
2. 維護管理體制。
3. 維護管理方法。

前項第四款性能驗證方法，得依評定專業機構之要求採下列方式進行：

(一)數值模擬。

(二)模型試驗。

(三)全尺寸試驗。

(四)其他。

建築物申請免適用建築技術規則建築設計施工編第三章、第四章一部或全部，或第五章、第十一章、第十二章有關建築防火避難一部或全部之規定者，應依表

3.1 規定檢討指定之驗證項目。

表 3.1 規定檢討指定之驗證項目項目

項目	排除法規（建築設計施工編）	規定概要	驗證項目
建築構造	第七十條	防火構造建築物主要構造部分之防火時效	(一)結構耐火性能驗證 (二)整棟避難安全性能驗證
防火區劃	第七十九條	防火構造建築物之面積防火區劃方法	(一)火災延燒防止性能驗證 (二)整棟避難安全性能驗證
	第七十九條之二第一項	防火構造建築物之垂直防火區劃方法	(一)火災延燒防止性能驗證 (二)整棟避難安全性能驗證
	第七十九條之三	防止上層延燒	(一)火災延燒防止性能驗證 (二)整棟避難安全性能驗證
	第八十三條	防火構造建築物之十一樓以上部分面積防火區劃方法	(一)火災延燒防止性能驗證 (二)整棟避難安全性能驗證
裝修材料限制	第八十八條	建築物之內部裝修材料	(一)火災延燒防止性能驗證 (二)樓層避難安全性能驗證
避難設施	第九十條	直通樓梯開向屋外出入口	整棟避難安全性能驗證
	第九十條之一	避難層開向屋外出入口寬度	整棟避難安全性能驗證
	第九十一條	避難層以外樓層出入口寬度	樓層避難安全性能驗證
	第九十二條	走廊寬度	樓層避難安全性能驗證
	第九十三條第二款	到達直通樓梯之步行距離	樓層避難安全性能驗證
	第九十四條	避難層步行距離	整棟避難安全性能驗證
	第九十八條	直通樓梯總寬度	整棟避難安全性能驗證
其他			驗證項目由評定機構擬定後，送中央主管建築機關核定。

資料來源：建築物防火避難性能設計計畫書申請認可要點

屬建築技術規則總則編第三條之四第一項各款所列建築物者，除依建築物防火避難性能設計計畫書應載明事項規定外，並應記載防火避難綜合檢討報告書申請認可要點第三點規定應記載事項；屬建築技術規則總則編第三條之三 A-1 類組者，並應依大型空間暫時避難據點規劃設計指導原則檢討設置暫時避難據點。

避難安全性能驗證之避難人數，準用防火避難綜合檢討報告書申請認可要點第四點規定計算。但以實際使用人數估算並經評定機構核定者，不在此限。

樓層避難安全性能驗證，依防火避難綜合檢討報告書申請認可要點第五點辦理。

整棟避難安全性能驗證，指以該建築物整棟為對象，驗證整棟建築物內任一居室發生火災時，位於該棟建築物內所有避難人員，從開始避難到避難完成為止，各居室及從各居室通往直通樓梯之走廊等設施，需能保持火災所能產生之煙層不造成避難障礙之高度或蔓延至直通樓梯間之性能表現。並依下列步驟驗證：

- (一)驗證整棟建築物內各樓層均具備樓層避難安全性能。
- (二)繼而驗證整棟建築物內所有避難人員通過避難層屋外出入口到達戶外完成避難所需時間小於煙層從起火室之樓層流入直通樓梯或流入其他樓層所需之時間。
- (三)分別假設整棟建築物任一居室為起火室，驗證整棟避難完成時間均小於煙層流入直通樓梯或其他樓層之時間。

建築物防火避難性能設計評定書應載明下列事項：

- (一)評定書編號、評定日期。
- (二)評定專業機構名稱、負責人及評定人員姓名、簽章。
- (三)建築物起造人及設計人。
- (四)建築物概要。

- (五)評定基準（規範或原則）以及評定結果（含審查會議紀錄）。
- (六)免適用之條文、對應免適用之條文採取之對策。並應輔以圖說標示其於建築物之位置。
- (七)注意事項。
- (八)其他相關之補充資料。

建築物防火避難性能設計計畫書審查評定作業流程如圖 3.1，圖 3.2 為防火避難安全驗證方法選用架構。

防火避難性能評估工具

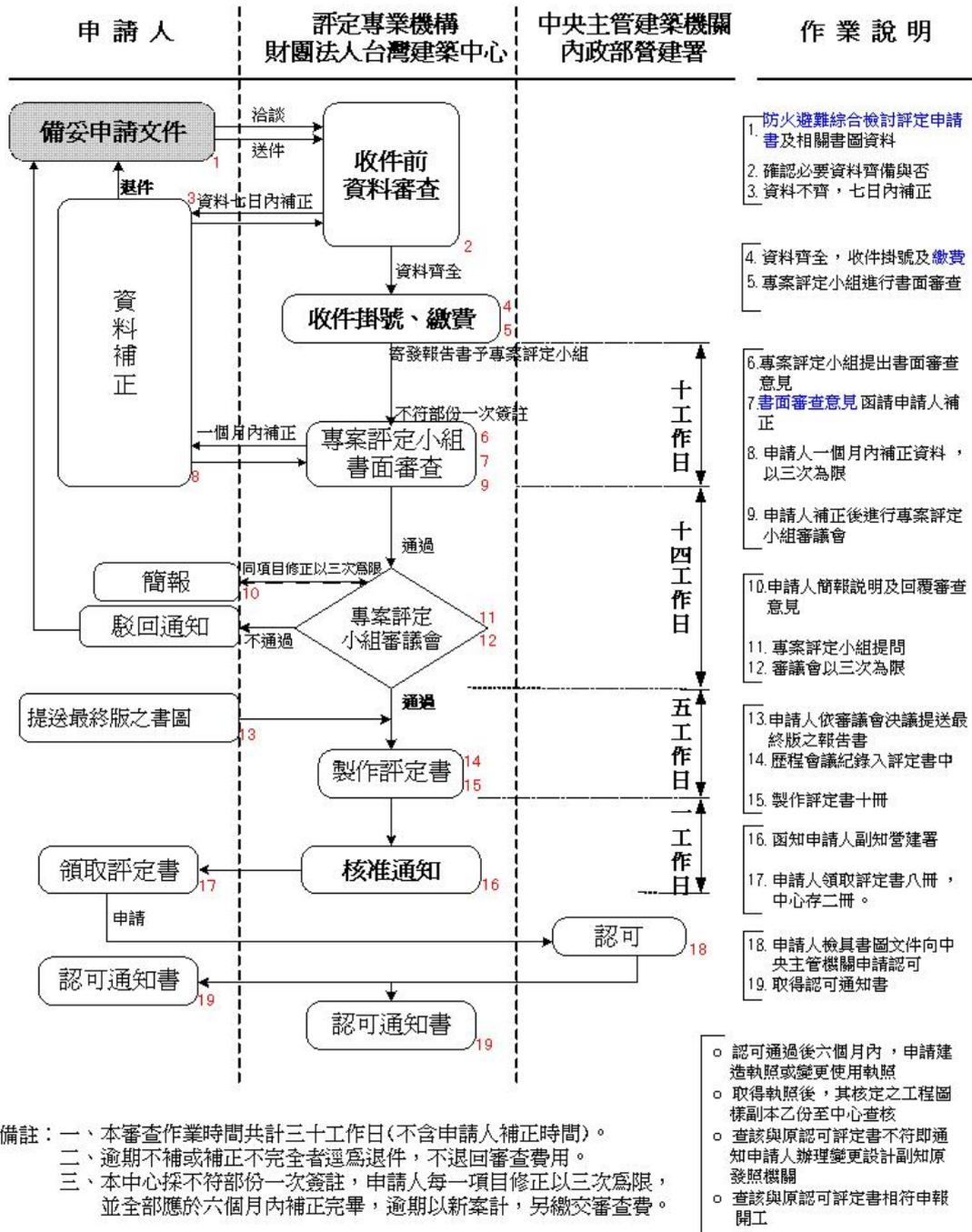
1. 替代性方法（Route B）部份：

- (1)樓層避難安全性能驗證：評定基準採用內政部建築研究所出版之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」。
- (2)整棟避難安全性能驗證：評定基準採用內政部建築研究所出版之「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」。
- (3)簡易二層性能驗證：參考內政部建築研究所公開授權之「簡易二層驗證技術手冊之研究」。
- (4)火災延燒防止性能驗證：參考建築中心出版之「火災延燒防止性能驗證技術手冊」。
- (5)結構耐火性能驗證：參考內政部建築研究所出版之「建築物構造防火性能驗證技術手冊」。

2. Route C 部份：

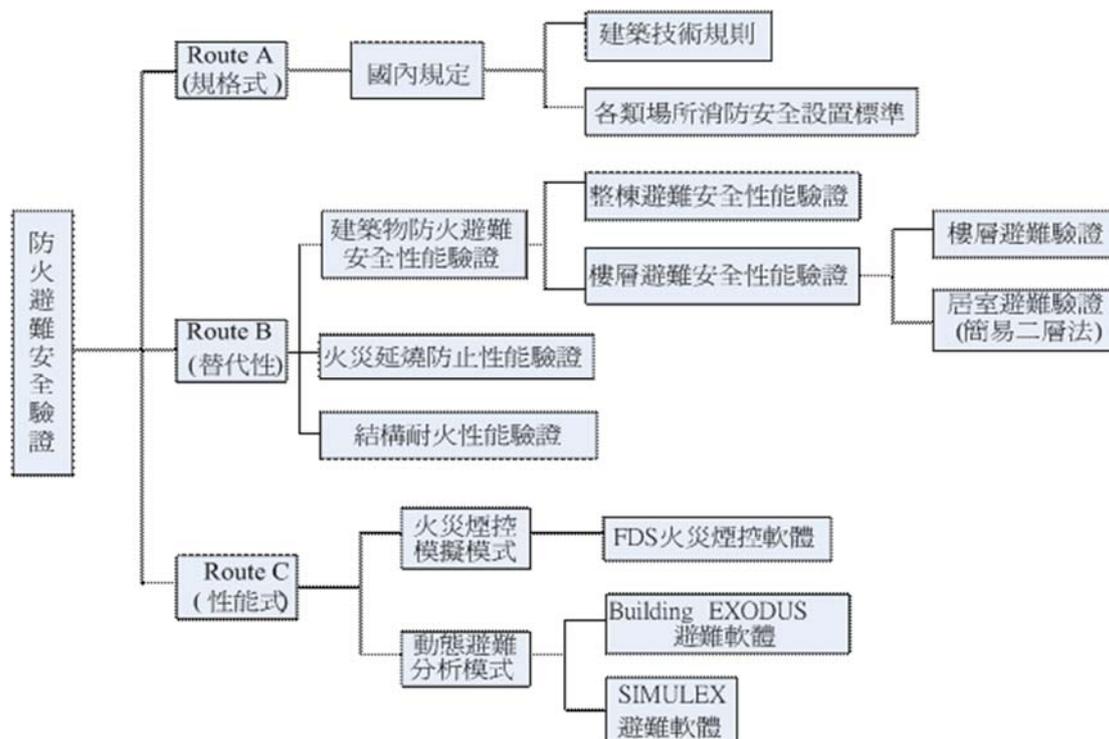
- (1)火災煙控分析模式：FDS 煙控軟體：
- (2)動態避難分析模式：Building EXODUS、Simulex

其它軟體介紹：火災模擬專用軟體(kameleon、SMARTFIRE、JASMINE 等)、通用 CFD 模擬軟體(STAR-CD、PHOENICS、FLUENT 等)。



資料來源：財團法人台灣建築中心

圖 3.1 建築物防火避難性能設計計畫書審查評定作業流程



資料來源：財團法人台灣建築中心

圖 3.2 防火避難安全驗證方法選用架構

財團法人台灣建築中心為執行評定業務，制訂「建築物防火避難審查評定作業要點」，由其要點所要求之性能設計概要書內容如表 3.2。

表 3.2 性能設計概要書內容

項 目	內 容 要 求
性能設計概要書設計範圍	定義出設計工作的範圍。例如：消防安全設備設置、新建建築物、變更用途或增建等。
提出性能式設計各項目概論	說明性能設計主要理由
	欲排除適用現有的法規的相關說明
	相關性能式法規或原理說明
	性能設計方案說明
建築物基本說明	性能設計可以接受的程度說明
	建築物之分類和使用
	建築外牆邊界線等
	每層樓地板大小和佈局隔間

表 3.2 性能設計概要書內容(續)

使用者特性	使用人數、人員避難逃生的準則等，去計算收容人數和出口容量
	生理上的因素，如：殘障、年老的人
	防火安全管理人員說明
設計火災情境	評估建築物潛在火災危害，包括起火源和可燃物。描述一個真實火災情境，說明為什麼使用、假設這個火災情境。任何的假設都必須是合理的，例如：選擇火災昇溫的參數。
實驗設計	消防安全評估分析
	參數或相關假設說明
	所有防火安全設施連續動作機制說明
性能式設計評價方法	決定評估的方法(如：定性或定量的方式)。這個方法的選擇必須是文獻立論根據的(如：限制因素、假設)，考慮是否很有效及合適於此方法。
	假如定量分析是可被接受的，陳述這個方法、具體說明設計目標、研究、不確定及安全的因素。並需製一個表格，內容是要列出場所危害及可容忍的數值比較。
	假如定性分析是可被接受的，這個工程上的理論準則必須提供清楚的文件和適當的文獻當立理基礎。
設計參數	設定、選擇設計參數，例如：人群設計、設計火災等。
討論和諮商紀錄之附註	性能式設計於設計初就必須不斷與專家學者進行討論、研究，此部分得視為概要書設計文獻的參考。
文獻	提供相關文獻資訊
專業設計簽證	所有參與設計案人員，按所負責權責部分署名背書並提出設計專業資格證明

蔡綽芳[2]統計財團法人台灣建築中心於 94 年度至 103 年度申請性能式設計案件數，資料統計至 103 年 12 月 31 日如表 3.3。從統計結果顯示近年以火災模擬程式評估案件有逐漸增多之趨勢，而以 FDS 火災模擬程式進行評估之案件最多，其次為 BRI 2002 及 CFAST，其中 102 年 19 件案件中有 8 件使用 FDS 火災模擬程式進行評估，103 年 17 件案件中有 10 件使用 FDS 火災模擬程式評估，顯示火災模擬程式於評估性能設計中扮演相當重要的角色，模擬結果是否合理將攸關建築物之安全。

建築防火安全性能設計確認指南之研究

表 3.4 為我國建築物性能式設計以火災模擬程式評估案件數，統計結果顯示火災模擬程式多用於評估供集會表演場所 (A-1 類) (如：電影院)，因電影院內高低差較大，無法使用建築物防火避難安全性能驗證技術手冊進行驗證，因此，使用火災模擬程式進行評估較能預估煙層下降時間。另火災模擬程式亦著重於評估挑空空間之建築型態，此種建築型態亦無法使用建築物防火避難安全性能驗證技術手冊進行驗證，而使用火災模擬程式將可有效評估各種對避難人員造成影響之指標，如：CO 濃度、溫度、熱通量、能見度等。

表 3.3 國內建築物性能式設計案件數-依年度

		94 年度	95 年度	96 年度	97 年度	98 年度	99 年度	100 年度	101 年度	102 年度	103 年度	合計
申請 案件	性能設計	1	5	7	4	11	7	4	6	13	7	65
	性能設計 (含綜合檢討)	5	6	7	10	12	18	17	9	15	19	17
採用 FDS 模擬		1	2	3	4	8	3	5	3	8	10	47
採用 BRI 2002 模擬		1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2
採用 CFAST 模擬		-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1

資料來源：蔡緯芳、蔡匡忠，「建築物火災模擬工具應用參考指南之研究」，內政部建築研究所，2015。

表 3.4 國內建築物性能式設計以火災模擬程式評估案件數

	94 年度	95 年度	96 年度	97 年度	98 年度	99 年度	100 年度	101 年度	102 年度	103 年度	合計
A-1 類組 電影院	1	1	-	3	4	2	2	1	3	4	21
A-1 類組 運動場	-	-	1	1	1	-	1		1	1	6
A-1 類組 表演場	-	-	-	-	1	-	-	-	2	2	5
A-2 類組 運輸場所	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
B-1 類組 娛樂場所	-	-	-	-	-	-		1	-	-	1
B-2 類組 百貨商場	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	3
B-2 類組 會展中心	-	-	-	-	-	1	2	-	2	1	6
B-3 類組 餐飲場所	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	3
B-4 類組 旅館	-	-	1	-	-	-	-	-	1	2	4
C-2 類組 一般廠庫	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
D-1 類組 健身休閒場 所	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
D-2 類組 文教設施	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2
D-2 類組 博物館	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	2
G-2 類組 一般事務所	-	-	-	-	1	-	1	-	-	2	4
H-1 類組 宿舍	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1

資料來源：蔡綽芳、蔡匡忠，「建築物火災模擬工具應用參考指南之研究」，內政部建築研究所，

2015。

第二節 建築物防火避難避難綜合檢討

防火避難綜合檢討報告書申請認可要點，內政部於 2004.1.9 台內營字第 0920091078 號令訂定，2005.10.14 台內營字第 0940085713 號令修正第七點規定及 2007.11.19 台內營字第 0960806688 號令修正第三點規定，申請認可之案件，應由申請人備具申請書、防火避難綜合檢討報告書及防火避難綜合評定書，向中央主管建築機關申請辦理。防火避難綜合評定書應由申請人檢具防火避難綜合檢討報告書向中央主管建築機關指定之評定專業機構辦理。

防火避難綜合檢討報告書應載明下列事項：

(一) 建築物之概要：

1. 建築概要表。
2. 周圍現況圖。
3. 建築計畫概要。
4. 設備計畫概要。

(二) 防火避難計畫基本原則：

1. 防火避難計畫上之特徵。
2. 基地與道路之關係。
3. 避難層之位置。
4. 防火區劃及防煙區劃。
5. 安全區劃。
6. 各層區劃圖。
7. 防災設備系統概要。
8. 防災設備機器一覽表。
9. 內裝計畫。

10. 特定事項。

(三) 火災感知、通報及避難誘導 (圖面應將各項設備合併記入)：

1. 火警自動警報設備。
2. 緊急電話。
3. 向消防機關通報之設備。
4. 緊急廣播設備。
5. 緊急照明設備及標示設備。
6. 避難指示之方法。

(四) 避難計畫：

1. 避難計畫概要。
2. 標準樓層之避難計畫。
3. 特殊樓層之避難計畫。
4. 避難安全性能驗證。
5. 屬建築技術規則總則編第三條之四第一項第二款者，應依大型空間暫時避難據點規劃設計指導原則檢討設置暫時避難據點。

(五) 排煙及消防活動：

1. 排煙設備概要。
2. 排煙系統說明圖。
3. 排煙口位置圖。
4. 緊急用進口位置。
5. 緊急用昇降機。
6. 室內消防栓設備。
7. 各種滅火設備、其他。

建築防火安全性能設計確認指南之研究

8. 消防車輛救災活動空間。

9. 如設有屋頂直昇機停機坪者，並應包括屋頂直昇機停機坪。

(六) 管理經營：

1. 中央管理室。

2. 各設備之作動程序。

3. 維護管理體制。

4. 維護管理方法。

(七) 附圖：

1. 各層平面圖。

2. 各向立面圖。

3. 剖面圖。

4. 其他詳圖。

避難計畫之避難人數，依表 3.5 計算。

表 3.5 避難計畫之避難人數計算

組別	使用人數
A-1 集會表演	1. 有固定席位者： 固定席位部分：以實際席位數計。 站席部分：2.00 (人/m ²) 2. 無固定席位者： (1) 座椅型式：1.45 (人/m ²) (2) 桌椅型式：0.75 (人/m ²) (3) 站席：2.00 (人/m ²) 3. 舞臺：0.75 (人/m ²)
A-2 運輸場所	1. 大廳、候機(車)室及月臺： 有座椅部分：1.45 (人/m ²) 無座椅部分：2.00 (人/m ²) 2. 行政辦公區：0.3 (人/m ²) 3. 其他附屬設施：依實際用途比照其他類組。
B-1 娛樂場所	1. 夜總會、舞廳： 舞臺：0.75 (人/m ²) 舞池：2.0 (人/m ²) 休息區：0.75 (人/m ²) 2. 酒家：1.00 (人/m ²) 3. 公共浴室：1.00 (人/m ²)

表 3.5 避難計畫之避難人數計算(續)

B-2 商場百貨	1. 商場、市場： 有購物車：0.55 (人/m ²) 無購物車：0.75 (人/m ²) 2. 百貨公司：1.00 (人/m ²) 3. 拍賣會場：1.50 (人/m ²)
B-3 餐飲場所	0.75 (人/m ²)
B-4 旅館	客房區：住房人數×1.1 餐廳：0.75 (人/m ²) 宴會廳：1.00 (人/m ²) 會議廳：同 A-1 組。
C-1 特殊廠庫	1. 汽車庫：0.04 (人/m ²) 2. 修理廠： 工作區：0.10 (人/m ²) 儲藏區：0.04 (人/m ²) 3. 電影攝影場、電視播放室： 有現場觀眾：1.45 (人/m ²) 無現場觀眾：0.75 (人/m ²)
C-2 一般廠庫	1. 倉庫：0.03 (人/m ²) 2. 工廠： 製造區：0.10 (人/m ²) 儲藏區：0.04 (人/m ²)
C 一般廠庫	1. 體育館：同 A-1 組。 2. 室內游泳池： 游泳池 / 更衣室：0.30 (人/m ²) 休息區：0.75 (人/m ²) 3. 保齡球館：除球道部分之外：0.75 (人/m ²) 4. 溜冰場： 溜冰區：0.25 (人/m ²) 休息區：0.75 (人/m ²) 5. 遊藝場：1.00 (人/m ²)
D-2 文教設施	1. 圖書館： 閱覽區：0.40 (人/m ²) 書架區：0.15 (人/m ²) 辦公區：0.3 (人/m ²) 2. 其他使用項目：0.5 (人/m ²)
D-3 國小校舍	小學教室：0.50 (人/m ²) 集會場所：同 A-1 組。 電腦室 / 研究室：0.40 (人/m ²) 實驗室：依實際狀況。 餐廳：0.75 (人/m ²) 行政辦公區：0.30 (人/m ²)
D-4 校舍	大學教室：0.80 (人/m ²) 中學教室：0.70 (人/m ²) 集會場所：同 A-1 組。 電腦室 / 研究室：0.40 (人/m ²) 實驗室：依實際狀況。 餐廳：0.75 (人/m ²) 行政辦公區：0.30 (人/m ²)
D-5 補教托育	1.0 (人/m ²)

表 3.5 避難計畫之避難人數計算(續)

E 宗教、殯葬類	1. 集會堂部分：同 A-1 組。 2. 其他附屬設施：依實際狀況。
F-1 醫療照護	門診區(含候診區、掛號區)：0.3 (人/m ²) 病房區：病床數×2.0 診療區：0.08 (人/m ²) 行政辦公區：0.3 (人/m ²)
F-2 社會福利	0.3 (人/m ²)
F-3 兒童福利	0.50 (人/m ²)
F-4 戒護場所	0.50 (人/m ²)
G-1 金融證券	營業廳：0.7 (人/m ²) 其他：同 G-2 組。
G-2 辦公場所	辦公區：0.30 (人/m ²) 會議室：0.60 (人/m ²) 會議廳：同 A-1 組。 餐廳：0.75 (人/m ²)
G-3 店舖診所	店舖：0.5 (人/m ²) 餐飲：0.75 (人/m ²) 診所：0.3 (人/m ²)
H-1 宿舍安養	1. 寄宿舍：0.40 (人/m ²) 2. 養老院、安養(收容)中心：0.25 (人/m ²)
H-2 住宅	0.08 (人/m ²)
I 危險廠庫	0.04 (人/m ²)
<p>說明：</p> <p>一、表列樓地板面積之計算，不包括法定防空避難設備面積，室內停車空間面積、騎樓及機械房、變電室、直通樓梯間、電梯間、蓄水池及屋頂突出物面積等類似用途部分。</p> <p>二依本表計算之避難人數未達整數時，其零數以一人計之。</p>	

避難安全性能驗證，係指以建築物之單一樓層為對象，驗證對象樓層任一居室發生火災時，位於該樓層之所有避難人員從該樓層任一點進入直通樓梯完成避難為止，該樓層各居室或經由走廊到達直通樓梯等避難路徑上之煙層下降高度不得形成避難障礙。並依下列步驟驗證：

- (一)應先驗證可能成為起火室之居室人員安全避難至居室外部，完成避難所需之時間小於火災發生至煙層下降高度達形成避難障礙所需之時間。
- (二)繼而驗證該樓層起火室以外之其他各居室人員安全避難至直通樓梯，完成避難所需時間小於避難路徑上煙層下降高度達形成避難障礙所需之時間。

(三)分別假設該樓層內各居室為起火室，驗證樓層避難完成時間均小於煙層下降高度達形成避難障礙之時間。

防火避難綜合評定書應載明下列事項：

- (一)評定書編號、評定日期。
- (二)評定專業機構名稱、負責人及評定人員姓名、簽章。
- (三)建築物起造人及設計人。
- (四)建築物概要。
- (五)評定基準（規範或原則）以及評定結果（含審查會議紀錄）。
- (六)注意事項。
- (七)其他相關之補充資料。

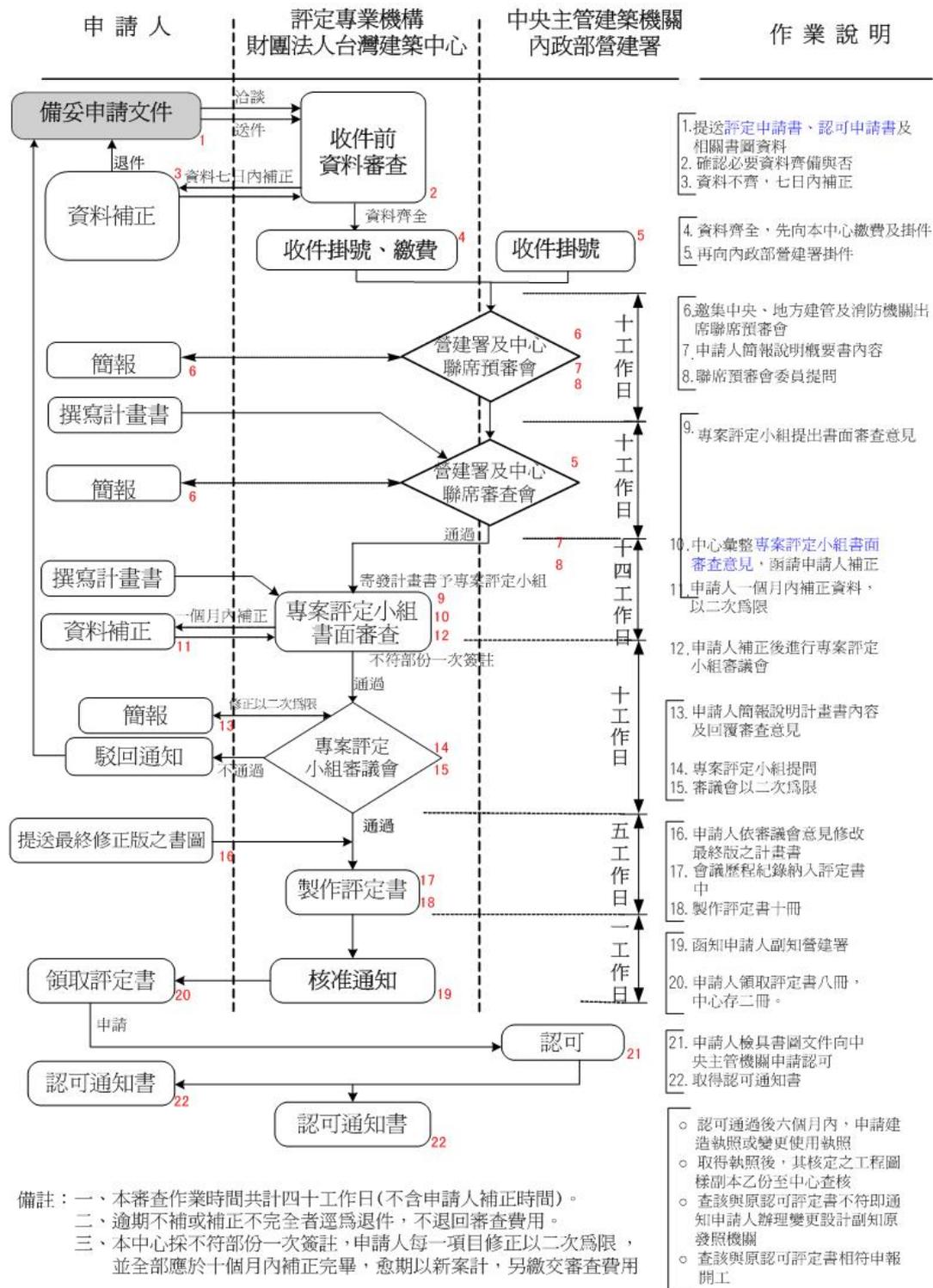
建築物起造人自防火避難綜合檢討報告書認可通過之日起六個月內，應依認可結果送請直轄市、縣（市）主管建築機關據以核發建造執照或同意變更使用。但經直轄市、縣（市）主管建築機關同意並保留建造執照之廢止權者，認可通過之證明文件得於申報開工前補送。

起造人經領得建造執照，依建造執照核定之工程圖樣製作副本乙份送原評定專業機構，評定專業機構認為不符認可內容者，應將不符之處詳為列舉，送原核發建造執照之主管建築機關通知起造人辦理變更設計，經原評定專業機構查核與認可內容相符並函復准予備查者，始得申報開工。

建築物防火避難綜合檢討報告書審查評定作業流程如圖 3.3，防火避難綜合檢討自民國 2004 年 12 月 15 日經內政部指定防火避難綜合檢討評定書專業機構起，迄今已逾 10 年，由林慶元¹⁵統計財團法人台灣建築中心評定案例至 2015 年 12 月 31 日之綜合檢討評定案已有近 485 案，其中非僅供 H-2 類組使用之高

¹⁵ 林慶元，「防火避難綜合檢討評定後建築物之使用安全查核驗證研究(期中報告)」，內政部建築研究所，2016。

層建築物占 94%、30,000 平方公尺以上供 B-2 類組使用者占 6%。並統計至 2015 年 8 月 31 日止已有 121 案已領得建築物使用執照。



資料來源：財團法人台灣建築中心

圖 3.3 建築物防火避難綜合檢討報告書審查評定作業流程

第三節 消防安全性能設計與同等性能替代申請

消防法於 2010 年 4 月 30 日修正，同年 5 月 19 日修正公布第六、三十五、三十七條條文，依據第六條第一項規定本法所定各類場所之管理權人對其實際支配管理之場所，應設置並維護其消防安全設備；場所之分類及消防安全設備設置之標準，由中央主管機關定之。據此，制定各類場所消防安全設備設置標準，同條第三項規定第一項所定各類場所因用途、構造特殊，或引用與依第一項所定標準同等以上效能之技術、工法或設備者，得檢附具體證明，經中央主管機關核准，不適用依第一項所定標準之全部或一部。

消防法第六條第三項規定主要以消防安全設備審核辦理，由消防安全設備審核作業規定第貳點規定，內政部消防技術審議委員會決議應經審核認可始准使用之消防安全設備品目，依其種類計有下列二十三項，其中第廿三項，因場所用途、構造特殊，或引用與「各類場所消防安全設備設置標準」同等以上效能之消防技術、工法及設備，適用上揭準確有困難之場所。據此，制定「內政部消防技術審議委員會消防安全性能設計與同等性能替代申請及審查作業須知」。

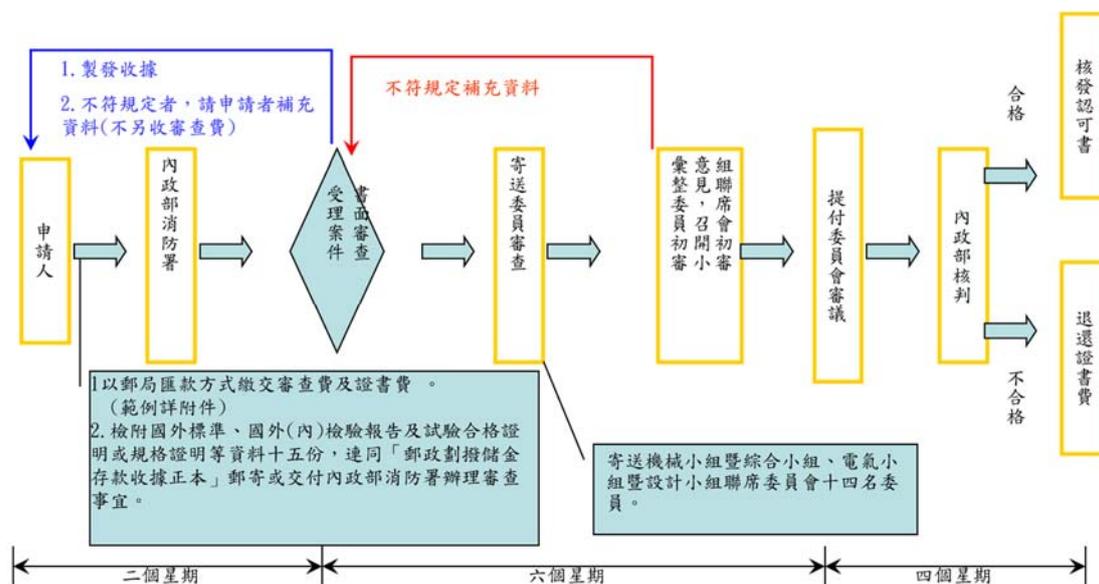
■ 適用範圍：

- (一) 各類場所因場所用途、構造特殊，申請無法適用各類場所消防安全設備設置標準（以下簡稱設置標準），全部或部分條文者。
- (二) 引用與本標準同等以上效能之消防技術、工法或設備，申請同等性能替代者。

■ 作業程序(如圖 3.4)：

- (一) 資料查對：申請人填具申請書檢附相關資料，向本部消防署提出申請，確認下列各項：
 1. 申請對象及適用法條。
 2. 建築物申請範圍及性能設計範圍界定。

- (二) 核對送審資料：申請人應依作業須知三、四、五點檢附建築物性能設計相關送審資料乙份，經作業單位審查齊全者，提付預審。資料不足，經通知補充未齊者，得逕予退件。
- (三) 交付預審：申請人應就設計範圍、空間用途特性、設計目標、判定基準、評估程序、方法、情境、工具及引用數據資料製作簡報，併前揭資料製作 15 份，由業務單位送各委員審閱，並於預審會議時蒞會說明。
- (四) 交付審議：經預審同意之案件，申請人應依預審結果於 6 個月內製作評估結果報告 15 份提出申請，由業務單位寄送委員查核，並應於審查會議時蒞會說明。無法如期提出申請者，應於到期前 1 個月申請展延，以 1 次為限。
- (五) 提會備查：審議結果經提本委員會會議備查後，通知申請人審查結果。審議通過者，逕予核定審核認可書；審議未通過者，得補充資料再予審議。



資料來源：內政部消防署

圖 3.4 審核認可機制及流程圖

■ 資料查對應檢附資料：

- (一) 申請書包括申請事由、建築概況、用途、樓層數、申請範圍等。
- (二) 公司登記證明文件或個人證明文件。

- (三) 適用對象物概要及適用法令說明。
- (四) 申請範圍之建築設計概要圖及消防安全設備設計圖。
- (五) 地方消防主管機關審查相關資料。
- (六) 性能設計範圍界定及必要性分析。
- (七) 國外相關法規、標準或設計案例。

申請同等性能之消防安全設備者，免檢附前項第四款至第六款之資料。

■ 申請性能設計之案件，送審資料應檢附資料：

- (一) 預審通過報告書。
- (二) 申請書包括申請事由、建築概況、用途、樓層數、申請範圍說明等。
- (三) 申請人為公司者，其營利事業登記、公司設立登記。
- (四) 申請範圍之建築物設計概要、避難梯與出入口位置、防火區劃等圖說。
- (五) 申請範圍之相關消防安全設備圖說。
- (六) 申請建築物經地方消防主管機關審查之結果。
- (七) 性能設計評估報告書。
- (八) 引用國內外法規、標準、規範等文獻及圖說資料。

■ 申請同等性能設備之案件，送審資料應檢附資料：

- (一) 預審通過報告書。
- (二) 申請書包括申請事由、建築概況、用途、樓層數、申請範圍說明等。
- (三) 申請人為公司者，其營利事業登記、公司設立登記。
- (四) 所有權人授權代理證明書、產品公告證明書、最近一次完稅證明文件等相關資料。
- (五) 原廠英(中)文型錄、性能說明、規格構件細目(詳細圖說)、設計安裝手冊(英、中文)。

- (六) 生產國法規、測試標準、測試結果分析表等文件及圖說資料。
- (七) 所附測試報告如為國外測試機構開具者，應經我國駐外單位簽證、當地法院或公證公司公證。
- (八) 施工安全規範及維護手冊。
 - 消防安全設備圖說應包括須依設置標準設置及無法適用該標準或同等性能之設備。
 - 性能設計評估報告書應包括項目：
 - (一) 設計目標 (Design Objectives)：建立符合建築及消防相關法規之安全策略，確保人命、財產及搶救人員等之安全、或基於營運目的上之需求。
 - (二) 性能基準 (Performance Criteria)：設計基準與性能基準之分析、性能要件間之關係。
 - (三) 危害界定 (Hazard Identification)：敘明建築物可能的起火源、建築材料、可燃物成分、用途、使用情形，並說明其火載量。
 - (四) 設計火災 (Design Fire)：說明起火點、火災規模等火災設計之運用，以及決定或不接受之依據、假設與限制。
 - (五) 火災情境 (Fire Scenario)：提出各種可能發生的火災過程，並說明其依據、假設與限制。
 - (六) 嘗試概念設計 (Trial Concept Design)：依專業知識說明建築設計或提供額外的防火方法，建立多個防火策略，滿足消防安全目標和標準的成本效益。
 - (七) 評估方法 (Methods of Evaluation)：建立一個或以上的試驗概念設計和重大火災情境後，應利用適當工程計算、電腦模擬或實驗量化評估。
 - (八) 選定設計方案 (Select the Final Design)：分析替代設計方案之選擇、以及決定或不接受之依據、假設與限制。需含括特殊設計方案之目的、火災規模評估、性能基準設計之目的及建築物變更使用、物品、人員等替代設計方案之選擇，並就其評估結果對照比較。

■ 評估方法得包括之項目：

(一) 設計工具與方法之使用 (Design Tools and Methods Used)：係指國際通用之分析評估或設計所使用之工程工具與方法，需含括參考文獻、數值、軟體版本等資料之使用、限制、輸入參數、驗證數值、程序及靈敏度分析，其內容應含下列各項：

1. 煙控模擬或避難模擬分析檢證工具之選用理由、計算方法、條件、過程、結果分析、煙層高度定義及模擬分布圖（應包含各區域煙層下降之情形並附加詳細說明）、煙層高度隨時間變化之曲線圖、溫度變化模擬圖、熱釋放率曲線圖，內容架構如下：

(1) 場所特性因子分析：

- a. 範圍與限制。
- b. 防災措施現況。
- c. 火災發生潛在性。

(2) 避難性能檢證模式：

- a. 火災境況之檢討與分析。
- b. 避難安全之臨界條件（基準）。
- c. 避難性能檢證之流程。

(3) 避難時間之計算：

- a. 工具選用之理由。
- b. 計算方法。
- c. 計算條件：包括避難人數、人員性別、年齡、活動力等假設條件，人員避難開始時間（包括火災警報動作時間、避難反應時間等）、步行速度及出口流量係數等參數的引用，避難路徑的選用及避難安全指標值等。
- d. 計算過程。

e. 結果分析與討論。

(4) 火與煙流動電腦模擬計算：

a. 工具選用之理由。

b. 計算方法：包括控制方程式、格點分割、輸入參數及臨界（邊界）條件等。

c. 計算條件。

d. 計算過程。

e. 煙層高度模擬分布圖：包括各區域煙層下降之情形，並附加詳細說明。

f. 煙層高度隨時間變化之曲線圖。

g. 溫度變化模擬圖。

h. 熱釋放率曲線圖。

i. 結果分析與討論。

2. 針對不同之火源大小、位置及數目等情境，提供完整之模擬分析及選用依據資料。

3. 將各種可能發生之情況，以其他案例佐證本設計之假設條件正確，且確屬安全無慮。

(二) 電腦模擬文件應檢附下列資料或電子檔案：

1. 技術文件：

(1) 問題及功能：說明界定火災問題模式及執行功能。

(2) 技術說明：說明物理理論或定律及數學上演算機制之基礎。

(3) 程式描述：列出該程序及使用上的相關附屬程式或額外資料。

(4) 資料庫：提供資料來源、內容及使用之背景。

2. 使用手冊：

- (1) 技術文件：概述技術。
- (2) 程式敘述：完善之程式說明書。
- (3) 操作及安裝資訊：提供程式安裝之操作手冊。
- (4) 程式考量：描述每一主要選項之作用，及解決之問題。
- (5) 輸入資料：描述輸入資料技術及要求。
- (6) 輸出資料：描述程式輸出選項及內容。
- (7) 問題案例：提供有關輸出的樣品檔案資料，供使用者核對程式的正確性。

(三) 檢附各種設備之測試、檢驗與維護要件，測試程序、維護時程等防火安全考量，並說明該場所之安全管理作業規範。

另對煙控設計案件制定申請審核認可注意事項如下：

一、基本資料

1. 申請書包括申請事由、建築概況、用途、樓層數、申請範圍說明等。
2. 詳細說明本案空間無法適用「各類場所消防安全設備設置標準」規定之條文及引用該設置標準第2條但書規定之理由，並明確界定申請範圍。
3. 申請書之案件名稱與建築圖、設計圖應相符。
4. 申請範圍之建築物設計概要、避難梯與出入口位置、防火區劃等圖說。
5. 臚列性能設計小組成員名單及其相關設計經驗、專長背景、技師證照等資料。
6. 營利事業登記證、公司登記證明、完稅證明等公司基本資料。
7. 建築物詳細地址或地籍編號證明文件。
8. 工程委託書應載明日期。
9. 建築圖說應經建築師簽章。

10. 申請範圍之相關消防安全設備圖說，並應經消防設備師簽章。
11. 消防安全設備之設置一覽表。
12. 申請建築物經地方消防主管機關審查之結果。
13. 本案煙控設計之設計人為誰，應確定，並應於設計文件簽名負責，方能確定設計之責任歸屬。
14. 翻譯資料應與原文意思相符。
15. 申請資料檔案光碟。

二、設計資料

1. 申請面積範圍與計算空間應相符。
2. 排煙設備之平面、立面設計詳圖，並明確說明其尺寸、有效開口面積、數量及設置位置。
3. 自然排煙之屋頂開窗面積，應以排煙時開窗直接開向戶外開口面積檢討；不應直接採取安裝窗戶之面積，請予補正。
4. 補氣口之設置數量、位置、開啟方式及有效開口面積等資料。
5. 排煙機之壓損計算，每台排煙機之馬達馬力數。
6. 排煙機之偵測啟動方式及時機
7. 排煙機之緊急電源檢討
8. 自然排煙窗之規範功能、詳細尺寸圖、窗之開口有效面積。
9. 機械排煙口位於自然排煙窗正下方，且機械排煙與自然排煙同時啟動，可能造成風機從自然排煙口抽取外面空氣（即「氣流短路」）之現象，而無法期待排煙效果，請說明為何如此設計。
10. 檢討所用模擬工具之幾何形狀（尺寸）、邊界條件（補氣口、排氣口之尺寸位置及啟閉連動方式）、設計火源、模擬情境及格點分析合理性，並將相關資料列入參數表中。

11. 各模擬情境輸入參數資料 (Input Data File)。
12. 最壞情境 (worst case) 之選定依據及理由。
13. 請說明火災情境可燃物之材質及設定理由。
14. 說明起火點 (火源) 位置位置選定之原因及理由。
15. 可燃物採FDS內設值為丙烷發煙量過低，應依現場實際狀況再予檢討；另所採NFPA 92B設計理念，應就所提供之相關公式檢討電腦模擬結果的合理性。
16. 格點設定之依據為何？與採用之火災規模有何關係？是否符合FDS設計手冊之規定？請提供相關分析佐證資料。
17. 各情境模擬格點之配置圖及差異說明。
18. 環境溫度設定應以台北地區近十年室外最高溫度紀錄為依據，並考量屋頂之隔熱性，探討層流對自然排煙之影響。
19. 計算時是否確實有考量自然排煙窗開啟時間及鐵捲門之作動。
20. 性能設計評估報告書。
21. 引用國內外法規、標準、規範等文獻及圖說資料。
22. 避難性能驗證應將以能見度判定之方式納入合格判定標準。
23. 詳細檢討煙流路徑與人員避難路徑之安全性。
24. 每一個避難情境人員計算之依據、考量因素、是否取安全係數等說明與佐證資料。
25. 在逃生避難計算，請說明收容人數係依何種標準處理，另所有人群均設計一屬性者，其中各年齡層分布 (例如老人、小孩等) 亦請列出。
26. 避難出入口數量、位置、尺寸等圖說，及出入口平時保持關閉，如何於狀況發生時，保持模擬狀態條件之說明資料。
27. 相關區劃之防火材料使用數量對照表。

28. 各模擬情境中相關消防安全設備之動作時序及動作流程，如：排煙機之偵測啟動方式及流程…等。
29. 排煙窗與火警系統之連動控制系統架構圖應設計清楚，以便能與火警系統整合。
30. 自然排煙口壓力感知器、排煙風機、排煙窗與開口面積、火災探測裝置、自然排煙口設置位置等圖說，及模擬輸入之火災發生、感知、移報、確認、排煙啟動等程序所需時間佐證，俾供審查人員、地方消防機關勘驗時查證。
31. 針對本煙控設計案之竣工查驗計畫及有關書表（須含有關能見度、開啟時間、動作時間等測試程序及作業）。

三、其他

1. 營運單位應加強現場管理及操作人員之教育訓練，確保相關消防設備措施正常運作及引導人員順利避難逃生，且走廊、通道等供避難路徑不得擺設攤位或可燃物。
2. 針對挑高空間之緊急應變組織架構圖、應變流程圖及任務分工等計畫。

第四節 小結

建築防火主要於建築技術規則總則編第三條及第三條之4自2004年起納入性能設計，據此，訂定「建築物防火避難性能設計計畫書申請認可要點」及「防火避難綜合檢討報告書申請認可要點」，做為申請辦理之依據。消防方面則於消防法第六條自2010年納入，並以消防安全設備審核作業為主，若因場所用途、構造特殊，或引用與「各類場所消防安全設備設置標準」同等以上效能之消防技術、工法及設備，適用上揭準確有困難之場所，以「內政部消防技術審議委員會消防安全性能設計與同等性能替代申請及審查作業須知」辦理審核認可，煙控設計案件另依「煙控設計案件申請審核認可注意事項」提出相關設計資料供審核。

由建築物防火避難性能設計之性能驗證方法，得依評定專業機構之要求採數值模擬、模型試驗、全尺寸試驗或其他方式進行，而防火安全性能設計與同等性能替代，評估方法 (Methods of Evaluation) - 建立一個或以上的試驗概念設計和重大火災情境後，應利用適當工程計算、電腦模擬或實驗量化評估。由蔡綽芳[2]研究整理建築物防火避難性能設計，除以「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」外約38%以電腦模擬作為驗證，但就萩原 一郎所述，電腦模擬僅是合作評估工具，如消防安全性能設計與同等性能替代，蔡綽芳[2]研究提到在數值模擬分析多用於探討複雜的全尺寸火災，但目前無論設計或審核均無一可依循的火災模擬程式應用規範，若設計者使用錯誤將無法檢核，以FORUM立場使用材料性質數據作為輸入及要求查證及確認，並就實行性能設計國家大多制定有相關之標準與規範據以實施。

財團法人台灣建築中心執行長許銘文¹⁶執行內政部建築研究所補助計畫，邀請防火標章審查委員會召集人沈子勝教授、防火避難性能評定委員會召集人林慶元教授拜訪內政部營建署高組長等長官座談，會議決議從公安申報辦法推動，建立專章以納入性能設計評定認可後管理追蹤機制。其訪談內容記錄中有關沈召集人子勝及林召集人慶元提出性能設計方面之疑慮如下：

沈召集人子勝：

「防火避難性能評定認可已有十餘年，建築中心統計有近500 件評定案中約有150 件領得使用執照，近期評定案中不乏已在使用之建築物因裝修或變更使用用途申請重新評定，審查時常見隔間變無隔間的情形。同時，評定通過案件透過內政部建築研究所防火標章申請時之現勘過程中發現多未遵守原評定之限制條件，例如避難通道之淨空、防災中心緊急應變人力之支援、救災動線之維持及火載限制等，其公共安全實在令人擔憂。

林召集人慶元：

現今評定案件中許多已領得使用執照，也有建築物因裝修及變使來重新申請評定，在此過程中，評定委員也常出入已評定之建築物發現原評定要求之避難

¹⁶ 許銘文，「105 年度建築物防火避難安全推廣計畫期末報告」，內政部建築研究所補助計畫報告，2016。

據點、避難動線已失去原避難功能，甚而有破壞問題，這些情形諸多涉及原評定時委員要求事項變動，也不知道是否有重新申請評定，其防火安全令人堪慮。

現今室內裝修管理辦法中針對小規模範圍之裝修採簡易裝修不必送審即可施工之簽證制度，但綜檢及性能案件不能限縮在此，我們透過防火標章現勘發現許多案件透過切割成小範圍採簡易裝修後，已失去原本之整體防火避難安全，裝修範圍看似符合法規要求，但從該範圍居室出來後，僅有一方向可逃生，而此方向之防火門又非往避難方向開啟，其安全性能存在太多疑問。

因此，本研究將繼2013年研訂「煙控系統性能現場驗證法-熱煙試驗法(標準草案)」、2015年研訂「防火安全工程-計算方法的評估驗證與確認(標準草案)」，以ISO防火安全工程已公布之標準為基礎研擬國內防火安全工程系列標準草案，並延續「防火安全工程-計算方法的評估驗證與確認(標準草案)」以ISO16730-2~5技術報告為基礎以指南模式整理，以作為國內防火安全性能設計參考。

第四章 防火安全工程標準

絕大多數的防火安全設計依靠於區域、國家或地方法規的規格規定。目前，這些規定允許各種不同的工程方法，而工程方法所需的資訊通常仍是由常規測試方法獲得。防火安全工程 (Fire Safety Engineering, FSE) 此學科，在世界各地逐漸地使用於支援性能式設計，亦即仰賴工程方法以決定特定的設計是否符合規定的性能目標。目前已應用於法規環境的概念，例如 "等值概念"，FSE 將此概念應用於設計特定層面的性能式分析，以獲得 "等效" 的性能，用以補充規格式設計。防火安全工程標準以制定可量化防火安全目標為性能式分析的第一步，強調防火安全設計的規格式與性能式方法之間的差異。所述目標使用在火災風險評估途徑，在本質上可以是完全確定性的，或是同時包含確定性與機率性的層面。

防火安全工程標準支援性能式防火安全設計新的基礎結構，包含兩個防火安全標準的基本型式：

- a) 描述基本概念的概念性標準，包含支援性能式設計的工程與試驗方法一般性要求。
- b) 由概念性標準修正，適用於建築環境的特定形態，如結構系統，運輸系統與製造過程等之標準。概念性標準的優點在於有寬廣的適用性，如做為地區/區域採用時的導引，以及新形式的狀況，而組態標準則較具特定性與較詳細。

此關於防火安全工程通用設計原則與設計哲理的標準，包含對防火安全性能式設計程序的全面概述。因此，也是指導制定適用於各種一般與特定防火安全設計情況下的其他標準之範本。於是，應將此標準視為防火安全工程設計過程的綱要，而不是詳細的設計方法。

第一節 防火安全工程標準架構

本研究將以 ISO 防火安全工標準為主，區分為總則、控制代數方程式要求及實際應用等三部分研擬標準草案，以供性能設計程序、評估參考。

一、通則：

ISO 23932:2009 Fire safety engineering -- General principles

二、控制代數方程式要求：

1. ISO 16734:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Fire plumes
2. ISO 16735:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Smoke layers
3. ISO 16736:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Ceiling jet flows
4. ISO 16737:2012 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Vent flows

三、實際應用：

1. ISO 16732-1:2012 Fire safety engineering -- Fire risk assessment -- Part 1: General
2. ISO 16733-1:2015 Fire safety engineering -- Selection of design fire scenarios and design fires -- Part 1: Selection of design fire scenarios
3. ISO/TS 29761:2015 Fire safety engineering -- Selection of design occupant behavioural scenarios
4. ISO 16730-1:2015 Fire safety engineering -- Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods -- Part 1: General
5. ISO/TR 16730-2:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 2: Example of a fire zone model
6. ISO/TR 16730-3:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 3: Example of a CFD model
7. ISO/TR 16730-4:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and

- validation of calculation methods -- Part 4: Example of a structural model
8. ISO/TR 16730-5:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 5: Example of an Egress model
 9. ISO/TS 13447:2013 Fire safety engineering -- Guidance for use of fire zone models
 10. ISO/TS 24679:2011 Fire safety engineering -- Performance of structures in fire

第二節 防火安全工程通則

提供工程師以性能式為基準，用以評估新建與既有建築環境防火安全程度的方法之通則。防火安全的評估，是基於量化火災與人的行為之工程方法，以及這些行為對生命安全，財產與環境造成的結果之知識。

標準的目的不是提供詳細的技術設計指引，但包含實務的防火安全工程師與同儕審核者（可要求審核防火安全工程師工作的實體）所需的關鍵元素，以處理在設計過程不同階段與其連繫。標準所包含的資訊，不只是直接對工程師有用處，也可指引發展一套一致性防火安全工程文件之樣版，涵蓋在性能式設計與評估工程方法與試驗方法的任務。

標準包含的防火安全設計基本原則與相關防火安全目標，可適用於其他任何處理與火災相關現象的文件（例：火災成長，熱氣與流出物移動，結構與區劃行為）。相關防火安全目標包含，例：

- 生命安全；
- 財產保全；
- 運作持續；
- 環境保護；
- 文物保存。

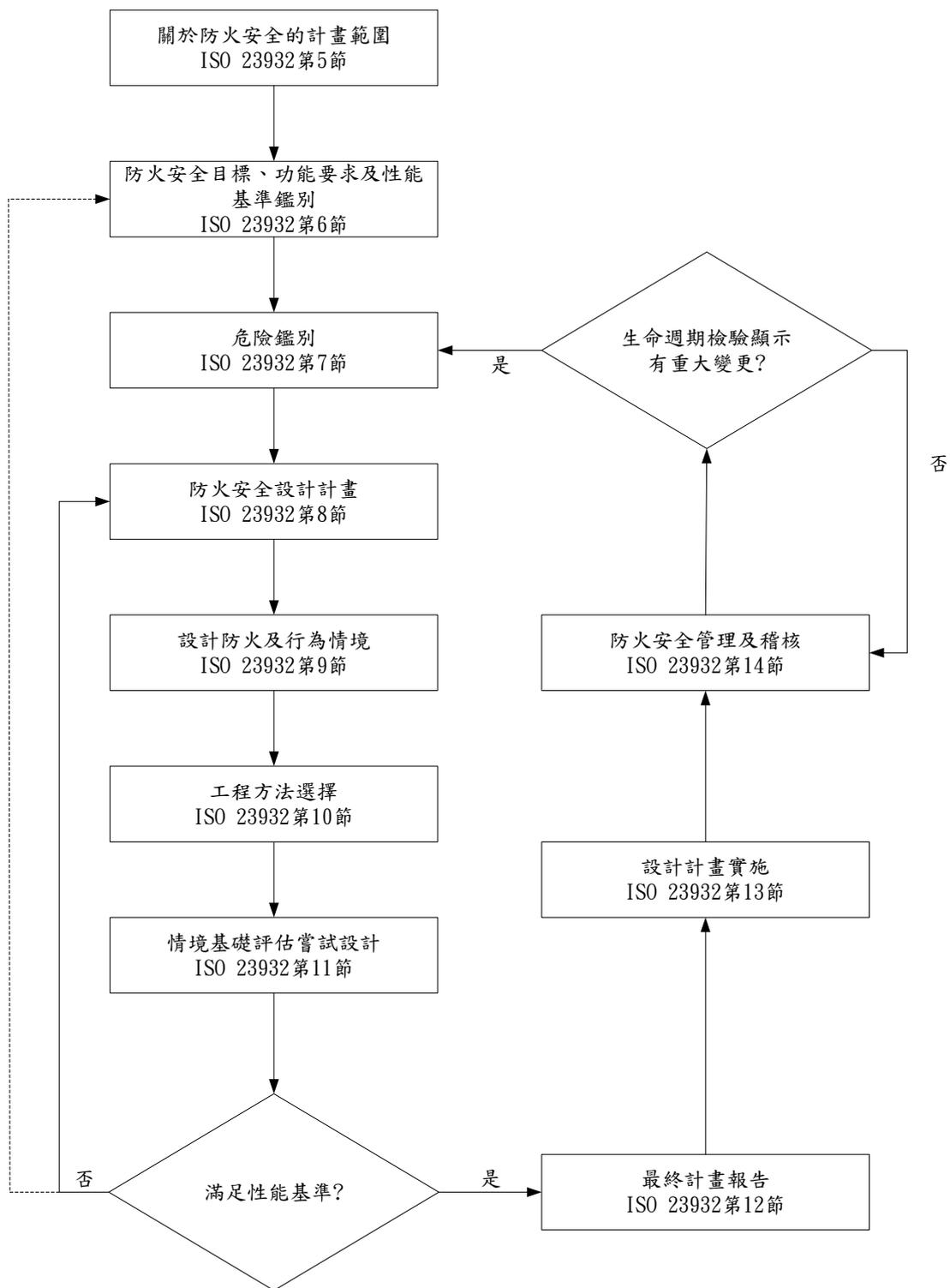
此外，這些基本原則可應用於建築環境所有的型態（例：建築、運輸系統及工業裝置）。由於涵蓋防火安全設計的規格式法規還會與性能式設計共存一些時日，標準考量將符合規格式法規的防火安全設計，做為新建築環境工程設計的比較基礎。

火災是複雜的現象，其牽涉到建築環境、住戶或建築環境使用者及消防單位的流體動力、熱流、機械與化學反應。因此，基本上標準所敘述的防火安全設計

程序，將會是所有牽涉無法適當地包含在規格式要求的建築專案之整合。火災作用會造成改變後續火災行為之變化，從而導至火災作用的修改。此一事實使得在整個專案使用期限當中，防火安全設計與其他所有構件設計特性持續交互作用。例如，邊界可能因火災而破壞，而額外的通風進行，造成火災強度的增加。住戶的動作也可能影響火災的發展，例如門/窗開啟或關閉，或是試圖滅火。

圖 4.1 為 ISO 23932¹⁷對建築環境防火安全工程程序(設計，實施與維護)的綱要，圖中顯示制定完全符合所有利害/受影響之關係人之目標的防火安全工程程序所需的各個步驟。在定義專案確切的範圍之後，第一步牽涉到制訂防火安全目標，相關的功能要求及各種達成防火安全目標所需之設計功能（例如火災防護）的量化性能基準。然後根據初步的危險因素鑑別，開始制定具體的防火安全設定計畫，包含可滿足量化性能基準的嘗試設計元件。必須決定一套可用於考驗這些設計功能的性能設計火災情境。使用之工程方法的選定，對於性能基準是否達成，是由嘗試設計的工程分析所決定。若嘗試設計不能滿足性能基準，需要修改直到符合要求的最終設計規畫達成。最終專案報告，包含所有必須的文件之產生與確認。最終設計規畫之實施，導致建築環境的建立。即使建築實作已完成，防火安全工程過程仍應持續定期檢查及不斷的防火安全管理程序，以確保防火安全性能目標之維持。

¹⁷ ISO 23932 : 2009 Fire safety engineering — General principles.



資料來源：ISO 23932 Fire safety engineering — General principles

圖 4.1 防火安全工程程序流程圖 -- 設計，實施與維護

以下就各個階段簡述如下：

一、防火安全工程程序的計畫範圍

不論是新建建築環境，修建或翻新既有建築環境，或是評估是否符合新的法規，防火安全工程程序宜在計畫最早的階段（例：可包含建築概念設計，結構、通風、衛生設備，電力設計）開始。在計劃進行的過程中，防火安全設計宜與其他所有工程設計專業整合，例如在考量聲學或熱力工程（採用可燃的吸音/吸熱材料），或是加強安全（逃生方法的限制）的結果可能產生未預期的防火安全設計問題。

進行新建建築環境因應火災行動，必須提供給防火安全設計者初步設計計畫。初步計畫宜包含各個設計部分的目的/功能、各個設計部分的尺度（包括開口）與資訊，及在新建築環境中規畫安裝、儲存或使用的所有固定物、家俱、裝飾、設備與可燃物品的預定位置的說明，以及工業裝置程序的描述與分析。既有建築整修時，也必須提供類似的資訊。

在此階段，設計工作的合約與組織背景必須明確定義，包括防火安全工程方法適用的範圍（整個建築環境或是僅有部分）及設計團隊各個成員的功能與責任。

二、防火安全目標、功能要求及性能基準鑑別

透過所有利害/受影響之關係人之討論，協商及/或折衷過程，確定防火安全目標（包括法定法規聲明），將這些目標納入防火安全設計所需的功能性（如火災防護系統）之功能要求，以及確立量化的性能基準，以確定功能性結果達成防火安全目標。

此程序提供下列問題的回答：

關於目標： 對於所有可預見的火災，需求/預期的結果為何？

關於功能的要求： 如何將這些結果通過設計的功能性達成？

關於性能基準 如何以工程方式量測設計的適合度？

三、危險鑑別

危險鑑別包含會影響建築環境之內部與外部危險，如單一特性及各種特性，可燃材料或產品，設備或其他熱源，天然災害及活動所共同的危害。

- a) 內部危險考量以下所列：
- 構造產品及物品；
 - 正常使用及防火安全設備；
 - 使用性質類型及相關之建築環境利用；
 - 使用或活動類型。
- b) 外部危險考量以下所列：
- 鄰近活動；
 - 天然環境災害。

四、防火安全設計計畫

試用防火安全設計計畫（不論是衍生自確定性火災風險分析，或是由其他手段所獲得）是防火安全對策的闡述，包含一套防火安全設計元件。呈現足以評估針對火災情境下是否符合防火安全目標的詳細資訊。設計計畫可依據防火安全對策定義建築環境所有的功能，或可定義某些功能符合 "視同符合" 解決方案。然而，無論是何情況，分析中需要考量所有部件之間的交互作用。

五、火災與行為情境

情境的首要步驟通常包含危險的描述。需要以系統與組織的方式(使用現有技術) 進行危險鑑別，以確保沒有遺漏。

依此危險鑑別，可發展為兩種情境：

- 火災情境（對於火災行為）；
- 行為情境（對於人的行為），處理健康與生命安全，以及與某些火災情境相關的火災發展之可能影響。

（一）火災情境

展開火災情境的第一個步驟為描述導致引起火災之相關危險事件，即鑑別潛在的火災情境，在引起火災之後，會有與防火或防煙措施之有效性相關的事件，以減低火災的影響；最後，此情境以火災後續結果，以及這些結果出現的可能性或頻率來描述。

在某些事例中，部分防護措施的失效會對其他火災防護措施的有效性有不良的影響，如一扇開啟的防火門不僅是無效的防火屏障，也會導致氣體滅火系統因藥劑耗損而失效。另一個事例為，導致多處火災的地震也可能造成灑水系統管線失效，或用以防護此類火災的區劃損壞。在行成火災情境時，需要特別注意確

認鑑別並說明所有此類單一事件造成的多重失效。

在防火安全工程中的關鍵是火災情境選擇需求分析。在任何建築環境(建築物或其他結構)可能的火災情境可能非常多數且不可能將所有情境量化。必須將可能性的多數情境組合降低至適合分析的設計火災情境的少數組合。

火災情境特性包含起火、成長段、全盛期及衰減階段之描述連同可能的煙及火災蔓延路徑，包括與提出的建築環境火災防護功能之交互作用，必須考慮每個火災情境可能的結果。可能需要不同設計火災情境組合以評估每一目標提出設計的充分性。

設計火災情境選擇後續，必須說明情境量化所依據的火災假設特性，設計火災情境要能適合於防火安全工程分析目標且設計的解決方案與考慮的最差情況下的情境是要可信的及能匹配。

由於使用者瞭解參數中特定的方法是否可使用是非常重要的，因此設計火災情境選擇宜經由防火安全工程和風險評估領域能力鑑定及適任者為之。

(二) 行為情境

如果生命安全是考量的目標，對工程設計的評估需要評估從火災引燃之後，直至住戶到達安全地點的期間，住戶是否受到防護，在任何時間點，住戶在建築中的位置，以及在平時使用期間與緊急狀況，住戶位置隨時間的改變路徑，取決於建築與住戶，建築預定使用的防火安全管理系統特性，以及發展中之火災情境有關的各種參數之交互作用。

為考量這些可能性及潛在火場情境的後果，需要定義可能出現在建築中的住戶類別。住戶對火災的反應受到整個與住戶及建築特性相關的各種變數之影響。前者如住戶數量，於不同時間點，在建築中分佈的情況，其對於建築的熟悉度，其能力與殘障狀況，其對於所面臨的煙霧及任何影響生理的火災氣流之反應，行為與其他特性；建築特性包含其使用方式，佈置與服務；警示的提供，逃生方法及緊急管理策略；所有這些特性與制定之火災情境之交互作用，以及緊急介入(消防隊與救援設施)的提供。

這些屬性構成在評估設計時考量的住戶行為情境。設計的行為情境可代表建築環境中單一區間或一組相似區間的狀況。在火災避難期間要考慮任何結構可包含不同行為情境的變化。雖然在特定案例中，個別情境可以稍微變化，但可用少量的設計行為情境可代表不同類型結構當中不同區間的狀況。

即使有尖端的計算資源協助，也無法分析所有的情境。因此需要將此可能性之無限集合減少至可控制地，適合分析的情境小集合，整體地代表各種具代表性之住戶特性的組合。

火災情境設計及選擇可參照 ISO 16733-1¹⁸、ISO/TS 29761¹⁹，進行火災情境設計及選擇之風險評估可參考 ISO 16732-1²⁰。

六、工程方法的選擇

需要選擇工程方法，以評估提案的或現有的設定計畫是否符合防火安全目標。此一選擇過程牽涉決定哪一種工程方法，在一或多個火災情境中展示其結果能符合性能基準，並具備可接受的準確度與效率。

(一) 計算方法

1. 確定性方法

確定性方法通常是評估各個設計火災情境結果的嚴重性，並將之與性能基準所描述的閾值比較。情境的相對可能性並未明確地考量，但是其他機率性條件，如可靠度，可自主評估。

2. 火災風險評估

防火安全設計計畫的火災風險評估，包含風險分析與當設計實施時預測結果的傷害機率與嚴重性的量化組合，並結合這些風險接受度的評估。

3. 確認與查證

需要遵循詳細的計算方法之確認與查證準則，以評估特定之計算方法是否適當，火災能對建築環境，其住戶與環境有多重的衝擊。需要對用於預測這些衝擊的方程式與模式做確認。

對於這些包含適用於特定火災現象之代數方程式與計算機模式的計算方法（例：火羽流²¹、天花板噴流²²、煙層²³、通風口氣流²⁴或火勢成長），可以區別需要

¹⁸ ISO 16733-1:2015 Fire safety engineering -- Selection of design fire scenarios and design fires -- Part 1: Selection of design fire scenarios

¹⁹ ISO/TS 29761:2015 Fire safety engineering -- Selection of design occupant behavioural scenarios

²⁰ ISO 16732-1:2012 Fire safety engineering -- Fire risk assessment -- Part 1: General

²¹ ISO 16734:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Fire plumes

²² ISO 16735:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Smoke layers

²³ ISO 16736:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Ceiling jet flows

確認的已開發方程式，以及已確認，特別是已發佈成為國際標準或技術規範的方程式/模式。任何方程式或模型只應在其確認的範圍內使用，否則，需要提供其證明。

(二)由測試方法與調查獲得的資料

得自試驗方法或實驗及調查的資料，通常用於各種類型的工程方法之輸入，以決定火災風險評估的機率，宜顯示得自試驗方法或調查的資料，滿足所使用的相關工程方法或火災風險評估技術的特定要求，且適合正在考量的設計，宜顯示得自試驗方法或調查的資料，滿足紀錄在測試方法或調查標準的特定可靠度（例：重複性與再現性量測）與準確度要求。

(三)參考火場情境試驗結果之分析

當計算方法無法獲得，或是因牽涉的現象之複雜性而不適用，則可透過分析得自具有與最大尺度建築環境相當（依據工程判斷），足以影響結果的特徵尺度之火災試驗的結果評估設計。此種試驗需要設計以仿製所有關心情況之火災行為的重要特徵，此試驗稱為參考火災情境試驗。得自此種火災試驗的結果宜加以分析，以顯示所獲結論適用於相關的設計狀況，且此種結論並非由試驗資料外推法所得，此種試驗限制使用於簡單構型的建築環境或其部分。

(四)工程判斷

當計算方法及/或資料不是可用的（或不完全適用），且由於資源有限參考尺度試驗的性能是不可能的，可以需要利用工程判斷以同意已使用的資料，或是決定如果防火安全設計的某些部分符合性能基準而符合目標。預期此為具有相關領域專業能力與經驗之個人所組成團隊的作為。

七、嘗試設計的情境基準評估

嘗試防火安全設計計畫宜使用工程方法進行工程分析加以評估，以決定在各個設計火災情境是否達到定性性能基準，此一評估量化嘗試設計的性能，取決於性能基準是以確定性或機率性方式表示，評估可能牽涉各個設計火災情境的特

²⁴ ISO 16737:2012 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Vent flows

定計算，或是適用於設計火災情境範圍之計算的機率性表達方式。

(一) 設計火災情境的量化

1. 輸入資料
2. 結果的評估
3. 事件發生頻率的評估
4. 安全係數與不確定度

與評估中各元件相關的不確定度程度宜量化，並結合以獲得整體的不確定度程度，整體程度提供決定應用的安全係數（或是安全裕度）之基礎，許多不確定度在機率性分析中明確地量化。

目前仍無法量化設計過程中所有階段的不確定度程度，也沒有一般公認的組合不確定度方法存在，評估中的解決方案所獲得的安全係數牽涉到設計工程師某種程度的專業判斷，同樣的在後續過程中，也牽涉到負責評估及審核解決方案的人員之專業判斷。若可能，這些判斷宜以對選定情境，模式與資料的基礎與限制之理解的方式告知，並宜明確的記載在最終設計的報告及呈現。

對於重要的實作案例，設計是基於單一分析表達式，在結構與其他工程領域的方法已發展，已導出相應的預設風險或失效水準之安全係數（偏係數）。此方法通常被稱為 "可靠度基準設計"，並假設相關不確定度已以統計方式量化。

(二) 性能基準比較

需要將防火安全設計在各個設計火災情境的評估結果進行比較，包含結果與頻率，以及相關防火安全目標的性能基準，若在一或多個目標/設計情境的比較不滿意，以下為可能的反應。

- 嘗試設計宜修正，以符合任何未由原始嘗試設計符合的性能基準，任何因為嘗試設計的情境基準評估所述行動所造成防火安全設定計畫的變更，宜重覆執行危險鑑別、防火安全設計計畫、火災與行為情境、工程方法的選擇與初步報告及嘗試設計的情境基準評估所述的程序。
- 當考慮的目標是自願性的，可在利益相關/受影響之各方同意下，變更目標或性能基準。

建築防火安全性能設計確認指南之研究

-- 在某些情況下，可能需要審查專案的範圍。在此狀況，程序宜返回關於防火安全工程程序的計畫範圍。

八、防火安全設計計畫的實施

(一) 變更的鑑別與處置

(二) 建築環境符合性確認

(三) 專案文件更新

九、防火安全管理與檢驗

當防火安全設計在建築環境中已建置，在建築環境的生命週期當中，宜實施防火安全管理與自主的檢驗，管理與檢驗程序可確保防火安全工程師所用的設計火災情境與實況相應的。

(一) 防火安全管理

1. 防火安全管理要求

防火安全管理在火災的預防與控制、住戶避難至防護區域以及防火安全系統的維護等方面扮演極重要的角色。在某些特定的位置，特別是有大量民眾聚集的地點，有效的管理程序對快速而有次序的避難是有其關鍵的重要性。對有效的防火安全管理的量測，是起火機率降低及增強成功避難的可能性之證明。

2. 防火安全手冊或資訊系統

管理程序與火災防護系統失效的可能性宜計入考慮，通常難以確定防火安全管理系統在建築環境使用期限內能保持良好的維護，因此，特別重要。為達此目的，防火安全手冊或防火安全資訊系統可有效地紀錄火災防護系統維護，以及在緊急狀況下可遵循的查核表，內部檢驗程序也宜實施。

3. 消防單位聯絡者

成功的防火安全管理中重要的一個元件，是在建築環境的使用期限內，有效的與消防單位人員聯繫，連繫宜包含與目前狀況相關的火災前規畫，如消防單位人員熟悉火災危險的位置，及火災防護系統的操作。

(二) 自主檢驗

1. 檢驗程序

若對火災防護與管理程序定期進行自主的檢驗，如每年至少一次，則可合理地假設火災防護系統與避難程序能夠較沒有定期自主稽核者更可能有效地工作。沒有實施自主稽核的建築環境，可能需要增加火災防護量測以達成可接受的安全水準。

2. 變更

當建築環境的使用方式、使用性質或燃料載量變更，或是翻新或裝修，經自主檢查或其他方式鑑別為重大變更，必須在所有利益相關/受影響之各方同意下，宜重複或審查由鑑別防火安全目標、功能要求及性能基準或危險鑑別開始之防火安全設計程序。最好將防止未適當公告利益相關/受影響之各方，而不當使用或佔用設施的防火安全設計元件或設備納入。

第三節 驗證、查證及確認定義

由建築物防火避難性能設計計畫書應載明下列事項中對性能驗證方法，得依評定專業機構之要求採下列方式進行：

- (一) 數值模擬。
- (二) 模型試驗。
- (三) 全尺寸試驗。
- (四) 其他。

以及「內政部消防技術審議委員會消防安全性能設計與同等性能替代申請及審查作業須知」，性能設計評估報告書應包括項目(七)評估方法(Methods of Evaluation)：建立一個或以上的試驗概念設計和重大火災情境後，應利用適當工程計算、電腦模擬或實驗量化評估。

由蔡綽芳[2]研究整理建築物防火避難性能設計，除以「建築物防火避難

安全性能驗證技術手冊」外，約 38%以電腦模擬作為驗證，而消防安全性能設計與同等性能替代申請煙控部分，亦主要以電腦模擬評估，但依萩原 一郎所述對於火災或人員避難電腦模擬程式的使用，在日本設計方會應用作為初步設計評估用，但正式提出案件審查時不會採用電腦模擬結果，至多當作補充資料，仍然會使用普遍接受的工具所計算得到的結果作為正式提送資料。據此，電腦模擬僅適用於評估用，更不適用於驗證，但依 FORUM 立場電腦模擬是要求查證及確認，但何謂驗證(certification)、查證(verification)及確認(validation)，經常被混淆，以下就此 3 個詞彙相關標準之用語及定義摘錄說明。

1. 驗證(certification)

CNS 17000 符合性評鑑－詞彙與一般原則 5.5 驗證(certification)：

有關於產品、過程、系統或人員之第三者陳述(attestation)(一項陳述之提出，其係基於對滿足特定要求事項(經陳述之需求或期望，可予陳述於引用文件中，諸如規章、標準及技術規範)已予展現之審查(關於符合性評鑑受評對象滿足所指定要求之情況，對選擇與決定活動之適合性、適切性及有效性以及對這些活動的結果作查證)後而作之決定。

2. 查證(verification)及確認(validation)

CNS 12680 品質管理系統－基本原理與詞彙

查證(verification)

經由客觀證據(可經由觀察、量測、試驗或其他方法而獲得)之提供，證實業已滿足規定的要求。

證實可包括如下之活動：

- 執行替代的計算，
- 將新設計規範與類似經認可的設計規範相比較，
- 從事試驗與展示，及
- 在發佈前審查文件。

確認(validation)

經由客觀證據之提供，證實業已滿足意圖用途或應用之要求。

ASTM E1355 Standard Guide for Evaluating the Predictive Capability of Deterministic Fire Models

模式評估(model evaluation)

係指量化某模式實施行特定用途時所得的選定結果準確度的過程。

模式確認(model validation)

係指判定某計算方法從其預期用途觀點能準確代表真實世界程度的過程。

備考：確認的根本策略是指出及量化概念與計算模式在預期用途上的誤差與不確定度。

模式查證(model verification)

係指判定某計算方法的實施，能準確代表開發者計算方法的概念描述，及計算方法的解決方案的過程。

備考：計算模式查證的根本策略是指出及量化計算模式及其解答的誤差。

ISO 16730-1:2015 Fire safety engineering — Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods —Part 1: General

確認 (validation)

從計算方法預期用途的角度來確定計算方法準確表述真實世界程度的過程。

查證 (verification)

確定計算方法準確的實現開發者對該法之概念性描述、和該法之解決方案的過程。

備考：計算模式的驗證基本策略在於確定和量化計算模式和解決方案的誤

差。

ISO 16730:2008 Fire safety engineering — Assessment, verification and validation of calculation methods

評估 (assessment)

從計算方法之預定用途、準確展示開發者對該法之概念性描述、和該法之解決方案角度，來確定計算方法能正確展現真實世界的過程。

備考：評估計算方法適用性的關鍵進程在於查證及確認。

由以上標準之用語與定義可見：

驗證是由第三者對受評對象審查滿足所指定要求之情況，對選擇與決定活動之適合性、適切性及有效性以及對這些活動的結果作查證後而作之決定，即為目前「辦理建築物防火避難性能設計評定書及防火避難綜合檢討評定書專業機構指定要點」，所指定之評定書專業機構。

評估是由性能設計者對於使用電腦模擬，要能量化某模式實施行特定用途時所得的選定結果準確度能正確展現真實世界的過程。

查證是由模式開發者，確定計算方法準確的實現開發者對該法之概念性描述、和該法之解決方案的過程。

確認是模式使用者，從模式預期用途的角度來確定計算方法準確表述真實世界程度的過程。

ISO 16730-1:2015 防火安全工程-計算方法之查證與確認程序及要求-第1部：一般，已於蔡銘儒²⁵「防煙區劃性能設計驗證與確認之研究-以無塵室為例」研究中完成草案研擬，由於ISO 16730後續部分尚為技術報告如下。

1. ISO/TR 16730-2:2013 Fire safety engineering - Assessment, verification and validation of calculation methods- Part 2: Example of a fire zone model.
2. ISO/TR 16730-3:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 3: Example

²⁵ 蔡銘儒，「防煙區劃性能設計驗證與確認之研究-以無塵室為例」，內政部建築研究所，2015。

- of a CFD model CFD.
3. ISO/TR 16730-4:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 4: Example of a structural model.
 4. ISO/TR 16730-5:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 5: Example of an Egress model.

本研究將以此 4 部分技術報告整理，並以指南形式供電腦模擬之查證與確認參考。

第四節 防火安全工程計算方法的確認指南草案

防火安全工程的目標是協助完成一個可接受的防火安全預測程度，這項工作的一部分包括計算方法使用於：

- 火災情況或火災結果預期發生的事件過程預測，及
- 評估衡量減輕火災對人員、財產、環境及其他目標不利影響的火災防護能力。

查證及確認是建立這些計算方法可信度必須的主要原則，可參照 ISO 16730-1 引導一般防火安全工程計算方法的查證及確認程序。

計算方法潛在使用及被要求接受結果者，須要確信計算方法提供足夠準確預測火災過程及結果作為具體應用計畫。為了提供此一保證，計算方法選擇須要查證數理的準確度及確認現象再現的能力。一個嚴謹的查證與確認過程是品質保證的關鍵要素。

並無固定的準確度要求可適用於所有的計算方法，準確程度取決於計算方法的使用目的，只要誤差、不確定度及計算方法的適用性限制是已知，並非所有計算方法須要論證高準確度。

查證及確認標準的重點在計算方法預測的準確度。然而，其他因素，例如易用性、關聯性、完整性及發展狀況，在評估最適當方法供使用於特定應用中扮演重要角色。在防火安全工程領域內計算方法供特殊用途的適合性評估，是由品

質保證方法的使用支持滿足要求的證明，量測相關品質特徵屬性建立度量導引是在本標準簡要概述。

查證及確認標準意圖包含要使用的部分或全部要素：

- a) 計算方法開發者(執行開發行為的個人或組織，包括要求分析、設計及組件測試)- 特定計算方法的用途文件，或許是為特定應用，計算方法發展部分包括精確度鑑別、適用性限制及無關測試；
- b) 計算方法開發者(維護計算機模式、供應計算機模式及評估計算機模式品質，作為品質保證及品質控制的個人或組織)-軟體開發過程文件以保證應用工具品質，確保使用者在適當發展技術時是被遵行；
- c) 計算方法使用者(使用計算方法完成分析的個人或組織)-使自己確保為特定應用使用適當的方法及提供足夠的準確度；
- d) 性能規範及標準發展者-裁定計算方法於已知應用是否適當。
- e) 許可機構/人員(審查或許可使用的評估方法及工具的個人或組織)-確保提交的計算方法明確展示該計算方法在其適用性限制範圍內使用，並具有可接受的準確程度，及
- f) 教育者-教導實證應用及計算方法的接受性。

使用者瞭解可能使用特定方法論之內的參數是重要的，所以查證及確認標準使用者在防火安全工程與風險評估領域宜有適當資格及權責。

本研究依ISO 16730系列標準技術報告匯整於附錄，以供性能設計以電腦模擬之確認參考。

第五節 小結

防火安全工程程序宜在計畫最早的階段（例：可包含建築概念設計，結構、通風、衛生設備，電力設計）開始。在計畫進行的過程中，防火安全設計宜與其他所有工程設計專業整合，例如在考量聲學或熱力工程（採用可燃的吸音/吸熱材料），或是加強安全（逃生方法的限制）的結果可能產生未預期的防火安全設計問題。

依此危險鑑別，火災情境為兩種情境：

- 火災情境（對於火災行為）；
- 行為情境（對於人的行為），處理健康與生命安全，以及與某些火災情境相關的火災發展之可能影響。

通常以火災情境進行評估及設計，常未考慮行為情境，比如某藝術中心之表演場所之二、三樓觀眾席，其座位前走道僅為一個人寬度，且其護欄高度未及一般成人腰部高度，諸如此情境在發生事件時，人員之避難過程可能產生不可預期之危，應於設計時予以考量。

在電腦模擬評估設計，需要遵循詳細的計算方法之確認與查證準則，以評估特定之計算方法是否適當，火災能對建築環境，其住戶與環境有多重的衝擊，需要對用於預測這些衝擊的方程式與模式做確認。

對於這些包含適用於特定火災現象之代數方程式與計算機模式的計算方法（例：火羽流、天花板噴流、煙層、通風口氣流或火勢成長），可以區別需要確認的已開發方程式，以及已確認，特別是已發佈成為國際標準或技術規範的方程式/模式。任何方程式或模型只應在其確認的範圍內使用，否則，需要提供其證明。

當防火安全設計在建築環境中已建置，在建築環境的生命週期當中，宜實施防火安全管理與自主的檢驗，管理與檢驗程序可確保防火安全工程師所用的設計火災情境與實況相應的。

當建築環境的使用方式、使用性質或燃料載量變更，或是翻新或裝修，經自主檢查或其他方式鑑別為重大變更，必須在所有利益相關/受影響之各方同意下，宜重複或審查由鑑別防火安全目標、功能要求及性能基準或危險鑑別開始之防火安全設計程序。最好將防止未適當公告利益相關/受影響之各方，而不當使用或佔用設施的防火安全設計元件或設備納入。

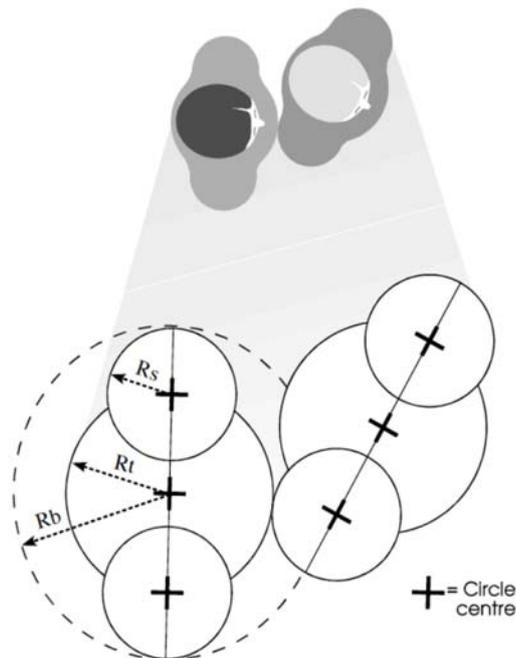
在避難模式方面，通常使用的步行速度，是密度的函數，密度的計算中包含身材尺度(如圖 4.1)。使用人體(成人，青年及兒童)穿著不同型式的服裝(含不同季節)的尺度，空手及負有包裹、背包、行李或孩童二者，用來計算個人水平投影的面積。此一量測為橢圓形的面積，其軸分別為人體肩膀高度的寬度，及胸部高度的厚度，而這些資料依不同地區、國家有其人體尺寸上之差異，在 *Occupational Safety and Health in Business and Industry* 文獻中美國 18 至 45 歲之間，男性與女性勞工代表的平均身材尺度，平均肩膀寬度(男性 0.455 m，女性 0.417 m)與胸部厚度(男性 0.231 m，女性 0.234 m)。加上服裝的體積，包含夏季服裝，春秋季外出服與冬季外出服的資料。每個類別的服裝之間增加 0.02 m。基於此，在美國人身材尺度的肩膀寬與胸部厚度上增加 0.02 m。以獲得美國人個人水平投影的面積，包括男性與女性的平均值。其結果較由蘇聯或奧地利受試者所得之值小 0.0906 m²。

由性能設計申請案例中使用的模式以 SIMULEX 為例，SIMULEX 是由英國的 Fire Safety Group 所發展，提供之人體尺寸如表 4.2，套用於國內應以國人之身材及穿著尺度進行修正為宜。

表 4.1 SIMULEX 人體內建的軀體形式

人員類別	R(b)[m]	R(t) [m]	R(s) [m]
中型	0.25	0.15	0.1
成年男子	0.27	0.16	0.1
成年女子	0.24	0.14	0.09
孩童	0.21	0.12	0.07
年長者	0.25	0.15	0.09
NFPA-1 m/s	0.25	0.15	0.1
SFPE-1.4 m/s	0.25	0.15	0.1

資料來源：大型展覽館場活動期間人群疏散及避難引導研究



資料來源：大型展覽館場活動期間人群疏散及避難引導研究

圖 4.2 身體軀幹示意圖

第五章 結論與建議

第一節 結論

性能規定化深奧的個別對應及放寬調整的工學理論不足，再者，從規格替代獲得的性能，只限防火設計者、技術者理解的語言，沒有被呈現為可由一般市民能夠理解的性能，防火安全性積極的討論動機認為是欠缺的，對於火災或人員避難電腦模擬程式的使用，在日本設計方會應用作為初步設計評估用，但正式提出案件審查時不會採用電腦模擬結果，至多當作補充資料，仍然會使用普遍接受的工具所計算得到的結果作為正式提送資料。所謂普遍接受的工具係指 Route-B 檢證法之煙層下降時間計算法、人員完成避難時間計算法，如特殊空間的煙層蓄積，則另採用日本建築研究所 BRI-2002 簡易二層法。其原因係一般電腦模擬程式裡有太多假設前提條件過於單純，不足以反映真實情況，或者是電腦程式有許多未透露用途目的原始碼，只有設計者清楚，旁人難以檢核其正確性。因此在日本即使是歐美已常使用的電腦模擬軟體，其模擬結果仍然受到質疑，本研究經蒐集分析國內外性能設計執行情況與國際標準，提出以下結論：

1. 目前無論設計或審核均無一可依循的火災模擬程式應用規範，若設計者使用錯誤將無法檢核，以 FORUM 立場使用材料性質數據作為輸入及要求查證及確認，並就實行性能設計國家大多制定有相關之標準與規範據以實施。
2. 防火性能設計自計畫開始至使用管理，是一系列程序循環，除非達到建築物使用壽命拆除，否則使用管理過程(包括裝修)中有任何使用變更，皆應作評估以確認原設計性能未受影響；因此，有必要建立防火性能設計評估、設計、查證與確認，以及使用管理維護之依據規範或標準，ISO 防火安全工程系列標準為國際上大多數國家所共識之標準。
3. 電腦模擬僅適於供設計評估用，若用於設計結果作為審核依據，應經過被認可之適當查證及確認程序，並已使用之材料性質數據作為輸入，避難模式則應以國人之身體尺寸等本土化資料進行模擬。

4. 對於包含適用於特定火災現象之代數方程式與計算機模式的計算方法（例：火羽流、天花板噴流、煙層、通風口氣流或火勢成長），可以區別需要確認的已開發方程式，以及已確認，特別是已發佈成為國際標準或技術規範的方程式/模式。任何方程式或模型只應在其確認的範圍內使用，否則，需要提供其證明。
5. 防火安全工程程序可行的話宜在計畫最早的階段（例：可包含建築概念設計，結構、通風、衛生設備，電力設計）開始。在計劃進行的過程中，防火安全設計宜與其他所有工程設計專業整合，例如在考量聲學或熱力工程（採用可燃的吸音/吸熱材料），或是加強安全（逃生方法的限制）的結果可能產生未預期的防火安全設計問題。
6. 情境的首要步驟通常包含危險的描述，需要以系統與組織的方式（使用現有技術）進行危險鑑別，以確保沒有遺漏。火災情境應依危險鑑別，考量火災情境（對於火災行為）及行為情境（對於人的行為）兩種情境，在已發生可能性、頻率、危害性以及風險程度，作為最壞情境之選擇。
7. 當防火安全設計在建築環境中已建置，在建築環境的生命週期當中，宜實施防火安全管理與自主的檢驗，管理與檢驗程序可確保防火安全工程師所用的設計火災情境與實況相應的，如建築環境的使用方式、使用性質或燃料載量變更，或是翻新或裝修，經自主檢查或其他方式鑑別為重大變更，必須在所有利益相關/受影響之各方同意下，宜重複或審查由鑑別防火安全目標、功能要求及性能基準或危險鑑別開始之防火安全設計程序。最好將防止未適當公告利益相關/受影響之各方，而不當使用或佔用設施的防火安全設計元件或設備納入。
8. 針對使用性能式設計方法之防火安全從業人員，包括防火安全工程、消防工程以及具權限的主管機關行政人員，在防火安全工程領域應具有適當的資格及能力。
9. 結構防火性能基準可依據 CNS 12514-1(ISO 834-1)採用既有耐火試驗標準推斷。然而，此基準一般針對單一構件以規定的條件表示而不以單一構件或整

體結構之性能條件。此外，當其量測時，雖然這些性能基準可能仍然有用，但必須質疑其相關性及量測方式，當使用防火安全工程設計及分析允許更多實際的評估，性能基準不宜設定為固定值，依據 CNS 12514-1，但宜表示在防火安全條件及人、財產及內容，及環境之保護，且宜考慮結構中不同構件之間的交互作用。

第二節 建議

建議一：

制定防火安全工程標準：立即可行建議

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關與機構：內政部營建署、消防署、內政部建築研究所

目前 ISO 已制定防火安全工程系列標準，以目前 CNS 朝國際調和原則，因此建議就 ISO 已完成制定且公布之防火安全工程相關標準及技術規範，已研擬草案，後續將協助經濟部標準檢驗局依標準制定程序，完成制定為 CNS 防火安全工程標準。

建議二：

制定「建築防火安全性能設計確認指南」：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關與機構：內政部營建署、消防署

本所 2015 年已研訂「防火安全工程-計算方法的查證、確認程序及要求—第 1 部：一般(草案)」，但標準草案未有具體查證與確認方法，ISO/TR 16730-2:2013 火災區域模式範例、ISO/TR 16730-3:2013 CFD 模式範例、ISO/TR 16730-4:2013 結構模式範例及 ISO/TR 16730-5:2013 逃生模式範例，上述 4 項範例 ISO 目前為技術報告，為使性能設計電腦模擬評估提高其可靠性，可以此 4 項範例以指南模式供設計、驗證與審核參考。

附錄一 研究業務協調會議紀錄與意見回覆

內政部建築研究所 105 年度第 2 次研究業務協調會議紀錄

一、時間：104 年 2 月 23 日(星期二)下午 2 時正

二、地點：本所簡報室

三、主席：何所長明錦

記錄：張志源、蔡銘儒、黃國倫、
陳麒任、許閔涵、張乃修

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、研究案主持人簡報：(略)

七、發言要點：

(二)「建築防火安全性能設計確認指南之研究」案：

1. 本案研究課題名稱、範圍過大為能於年度內可完成，請再檢討，研究過程能落實可行，可請實際執行過模擬與確認之專家提供諮詢意見。
2. 本所 104 年協同研究案「建築物火災模擬工具應用參考指南之研究」，完成相關指南，本案可納入參考。
3. 本年度所長領隊赴日本「智慧城市及都市防災研習行程」參訪，蒐集日本對於建築防火性能設計以電腦模擬方面資訊可供本案參考。
4. 對於查證、確認及驗證等名詞用法不一，可加以界定釐清，對於模擬確認之實驗設計必須適切，以能確實達到確認真實火災之防火效能。
5. 可尋求外部資源投入，並請同仁分工研究，以使規範完整並得以提早完成提供使用者參考實行。

八、會議結論：

1. 自行研究所需試體之設計、製作及發包，請確實依本所內部控

建築防火安全性能設計確認指南之研究

制要求之時限，如質如期完成。

2. 請參考與會同仁之寶貴意見，並請納入研究內容參採修正，使研究成果更為豐富完整。

九、散會：(下午 4 時 10 分)

意見回覆

項次	審查意見	回覆意見
1	本案研究課題名稱、範圍過大為能於年度內可完成，請再檢討，研究過程能落實可行，可請實際執行過模擬與確認之專家提供諮詢意見。	已於內文中說明將以 ISO 已公布之防火安全工程標準為主進行標準草案研擬，至於確認部分 ISO 現階段為範例技術報告，本研究將就技術報告整理以指南形式呈現，初步完成將請專家提供諮詢意見。
2	本所 104 年協同研究案「建築物火災模擬工具應用參考指南之研究」，完成相關指南，本案可納入參考。	將納入參考。
3	本年度所長領隊赴日本「智慧城市及都市防災研習行程」參訪，蒐集日本對於建築防火性能設計以電腦模擬方面資訊可供本案參考。	已將重要資訊納入。
4	對於查證、確認及驗證等名詞用法不一，可加以界定釐清，對於模擬確認之實驗設計必須適切，以能確實達到確認真實火災之防火效能。	將於研究內容中就相關標準名詞釋義整理加以界定釐清，本研究主要以整理及草擬標準供參考使用，未進行實驗。
5	可尋求外部資源投入，並請同仁分工研究，以使規範完整並得以提早完成提供使用者參考實行。	歷年研究完成之標準草案皆直接洽請經濟部標準檢驗局負責標準制修訂業務承辦人，納入年度規劃，以提早完成提供使用者參考實行，研究過程由防火實驗中心同仁協助進行。

避免綜合各國的規範反而會有漏洞。

4. 成果應用可著重在大型聚會(如競技場 Arena、會議中心 Convention center、體育場 Stadium)以及混合用途設施使用之規範。

陳教授啟仁

1. 研究初步結論及建議應為可行，又以 ISO 已制定之標準及模式規範亦合乎 CNS 國際化接軌之策略方向。
2. 研究中敘及雖不以電腦模擬作為評估之主要依據，但國內仍然有不少研究單位、工程顧問單位使用，建請可將國內資料不足的模擬參數臚列整理並研究補足，亦十分重要。

許建築師中光

1. 模擬情境設定之準則，是否考慮納入。
2. 建議應有空間網點密度佈建標準及疏密運算結果比對過程。
3. 動態模擬建議應包括火警探測器運作部分。

鄭教授紹材(書面意見)

建議說明期中報告中所欲建立的「火災安全工程標準」與預期成果中的「火災安全工程設計程序」CNS 標準草案，是否相同?說明關聯性。

中華民國消防設備師公會全國聯合會(劉秘書長大衛)

1. 請說明防火安全工程與消防安全工程之差異為何?
2. ISO 技術資料能否融入消防工程實務?

財團法人台灣建築中心(顏工程師正雄)

有關本研究「建築火災安全性能設計確認指南之研究」建議應清楚交代申請者針對電腦模擬相關前提條件，模擬結果輸出等內容。研究提供相關審查、評定機構作為電腦模擬驗證之審查規範。

計畫主持人回應(蔡主任銘儒)

建築防火安全性能設計確認指南之研究

1. 性能設有國外顧問之參與部分宜由申請者衡量，至於有國外顧問或國際研討會交流部分，建議可由本所相關科技計畫納入規畫參考。
2. 台北大巨蛋目前已非單純技術性問題，現階段暫不適合納入研究，對於選擇以國外較完整的「整套系統」為基準及著重在大型聚會場所等，將納入後續研究。
3. 本研究今年度係以 ISO 標準、技術規範及技術報告為主，研擬 CNS 草案或參考指南，委員及機關代表意見將儘可能納入草案或參考指南研擬時參考。

九、會議結論：

- (一) 本次會議 3 案期中報告，經審查結果原則通過。請詳實記載與會審查委員及出席代表意見，並請計畫主持人參採，於期末審查時作適當回應。
- (二) 請計畫主持人掌握研究時程，並請留意成果報告格式，以符規定。

十、散會(上午 11 時 40 分)

意見回覆

項次	審查意見	回覆意見
1	查證、確認及驗證，可否使用淺顯文字說明。	此名詞係為標準詞彙，詳細說明於第四章第三節。
2	同意研究者的看法 (P.17)，電腦模擬只可當作設計的評估。	感謝委員認同。
3	此研究非常重要，國內對此經驗仍不足，建議有國外顧問之參與或有國際研討會交流。	感謝委員支持，國外顧問之參與或有國際研討會交流，建議由本所後續科技計劃納入參考。
4	可以台北大巨蛋為例，來衡量台灣性能設計規範需加強修正部分。	本研究期望以 ISO 標準研訂 CNS 標準，相關性能設計可先依據 ISO 標準加以規範。
5	建議未來性能設計規範參考的選擇以國外較完整的整套系統為基準，避免綜合各國的規範反而會有漏洞。	ISO 標準已有完整架構，並陸續制訂相關配套標準，可較為一致性。
6	成果應用可著重在大型聚會(如競技場 Arena、會議中心 Convention center、體育場 Stadium)以及混合用途設施使用之規範。	依據 ISO 標準可包括委員所述設施，並可用於新建或既有建築無法適用規格式規定者。
7	研究初步結論及建議應為可行，又以 ISO 已制定之標準及模式規範亦合乎 CNS 國際化接軌之策略方向。	感謝委員肯定。
8	研究中敘及雖不以電腦模擬作為評估之主要依據，但國內仍然有不少研究單位、工程顧問單位使用，建請可將國內資料不足的模擬參數臚列整理並研究補足，亦十分重要。	本年度著重於 ISO 防火安全工程標準能完整建立，委員意見將那入後續研就參考。
9	模擬情境設定之準則，是否考慮納入。	ISO 23932 步驟 5 於第 9 節為火災及行為情境分析，另於 ISO 16733-1 為設計火災情境的選擇、ISO/TS 29761 為設計住戶行為情境選擇，以及 ISO 16732-1 為火災風險評估通則為火災情境分析所需，在本研究皆已納入。
10	建議應有空間網點密度佈建標準及疏密運算結果比對過程。	依不同電腦程式而不同方式及限制，為電腦模擬需先考量，本研

		究為建立標準為目標，此技術性問題納入後續研究參考。
11	動態模擬建議應包括火警探測器運作部分。	同上說明。
12	建議說明期中報告中所欲建立的「火災安全工程標準」與預期成果中的「火災安全工程設計程序」CNS標準草案，是否相同?說明關聯性。	感謝委員指正，基本上係相同，本研究將以「火災安全工程標準」(本文已統一修正為「防火安全工程標準」)系列標準為主，「防火安全工程設計程序」為 ISO 23932 防火安全工程-通則，本標準為防火安全工程之程序準則。
13	請說明防火安全工程與消防安全工程之差異為何?	原則上相同，如中國大陸即譯為消防安全工程，國內有稱為消防亦有稱為防火，本研究係依 CNS 14996 建築物防火詞彙-防火安全用語(Glossary of terms used for fire protection in building - Fire safety)修正援用。
14	ISO 技術資料能否融入消防工程實務?	ISO 防火安全工程為防火性能設計程序標準，在其系列標準中亦包括火羽流、煙層、天花板噴流及通風口氣流等標準，應可融入防火工程實務。
15	有關本研究「建築火災安全性能設計確認指南之研究」建議應清楚交代申請者針對電腦模擬相關前提條件，模擬結果輸出等內容。研究提供相關審查、評定機構作為電腦模擬驗證之審查規範。	本研究以建立防火安全工程系列標準為主，因應不同電腦模擬程式，各有其使用限制與要求，標準為提供指引通則，電腦模擬相關前提條件，模擬結果輸出等內容等，宜由評定機構依不同電腦程式參照標準規定加以規範。

附錄三 期末審查會議紀錄與意見回覆

內政部建築研究所

本所 105 年度自行研究「長照服務機構防火避難安全改善之調查研究」、「建築火災安全性能設計確認指南之研究」及「木構造樓板與屋頂耐火性能技術精進研究」等 3 案期末審查會議紀錄

一、時間：105 年 12 月 8 日（星期四）上午 9 時 30 分

二、地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第 4 會議室

三、主持人：蔡組長綽芳 記錄：雷明遠、蔡銘儒、蘇鴻奇

四、出席人員：如簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、承辦單位報告：(略)

七、研究計畫簡報：(略)

八、出席人員審查意見：(依發言順序排列)

(二)「建築火災安全性能設計確認指南之研究」案

洪建築師育成

1. 未來實際運用時在使用申請因一般建築單位及監造單位未必有能力認定，建議台灣能參考國外建立檢查員的制度，由專業第三方的檢查員來鑑定。

吳科長明郎

1. 本研究針對電腦模擬評估性能設計作法，提供查證及確認方式之國外先進國家作法，極有參考價值，期待後續導入國家標準或相關確認指南，提供設計者、業者及主管機關參酌應用。

2. 海科館、衛武營等案例分析，包括採樣設計參數原由，使用條件變更等是否符合原性能設計理念之驗證作法，建議結合 ISO 23932 等國際標準作為後續追蹤及研究。

王科長鵬智

1. 國際間相關資料蒐集十分完整，本土的設計課題也有探討，值得肯定。
2. 國內建築設計採性能設計者，包括 Route B 及 Route C。目前兩者皆無確認方法與制度，本研究如何查證或確認，其關聯性如何？
3. 配合 CNS 規定的訂定，是否建議往後 RouteC 應以該規範設計，唯確認指南僅以 CFST 及 CFD 兩方式與業界常用的 FDS 的關係？能否適用。
4. 指南有關結構模式，皆以木構造為範例，似乎與國內構造不同。

曾榮譽理事長順正

1. 以基隆海科館為例，自然煙控應考慮建築外部環境因素。

許建築師中光

1. 現多以完全封閉獨立空間為電腦模擬對象，對不能完全封閉及刻意設計進氣方式之空間，是否亦將納入考慮。
2. 數據模擬之火、煙數據紀錄常有突躍情況，是否探究其可能原因及應檢討修正之對應事項。

計畫主持人回應(蔡主任銘儒)

1. 委員意見將納入成果報告中修正及加強。
2. 相關建議將納入後續研究參考。

九、會議結論：

- (一) 本次會議 3 案期末報告，經與會審查委員及出席代表同意，審查結果原則通過。
- (二) 請詳細記錄與會審查委員及出席代表之意見，並請計畫主持人參採及確

依本部規定格式修正成果報告，注意文字圖表之智慧財產權，如有引述相關資料，應註明資料來源，對於成果報告之結論與建議事項內容，須考量應為具體可行，並適時將研究成果投稿建築相關學報或期刊。

十、散會(上午 11 時 50 分)

意見回覆

項次	審查意見	回覆意見
1	未來實際運用時在使用申請因一般建築單位及監造單位未必有能力認定，建議台灣能參考國外建立檢查員的制度，由專業第三方的檢查員來鑑定。	感謝委員意見，將納入後續研究第三方驗證機構規範參考。
2	本研究針對電腦模擬評估性能設計作法，提供查證及確認方式之國外先進國家作法，極有參考價值，期待後續導入國家標準或相關確認指南，提供設計者、業者及主管機關參酌應用。	感謝委員肯定，後續會積極將標準草案送交經濟部標準檢驗局進行 CNS 標準制定。
3	海科館、衛武營等案例分析，包括採樣設計參數原由，使用條件變更等是否符合原性能設計理念之驗證作法，建議結合 ISO 23932 等國際標準作為後續追蹤及研究。	ISO 23932 為性能設計之標準作業規範，包括其相關標準，制定為 CNS 標準可提供設計、評估及驗證等規定，亦包括後續變更之作業規定，至於後續追蹤於 105 年「防火避難綜合檢討評定後建築物之使用安全查核驗證研究」已就 Route B 進行研擬規範，106 年預計進行「建築物防火避難性能設計評定認可之使用安全查核驗證研究」係針對 Route C 部分進行研究。
4	國際間相關資料蒐集十分完整，本土的設計課題也有探討，值得肯定。	感謝委員肯定。
5	國內建築設計採性能設計者，包括 Route B 及 Route C。目前兩者皆無確認方法與制度，本研究如何查證或確認，其關聯性如何？	本研究主要建立性能設計標準，查證與確認部分以 ISO 技術報告彙整作為範例供設計者進行查證與確認方式參考，本研究中查證與確認主要係針對數值模擬部分，即 Route C 部分，惟 Route B 及 Route C 於避難設計上通常以煙控煙層沉降至危及避難高度時間與人員避難時間比較，則可以 CNS 15937 「煙控系統性能現場

		試驗法－熱煙試驗」進行確認。
6	配合 CNS 規定的訂定，是否建議往後 RouteC 應以該規範設計，唯確認指南僅以 CFST 及 CFD 兩方式與業界常用的 FDS 的關係？能否適用。	完成 CNS 標準制定後可供主管機關引用，至於確認指南以 CFST 及 CFD 兩方式，係提供區域模式及場模式確認範例，使用 FDS 者仍可參照其確認模式進行。
7	指南有關結構模式，皆以木構造為範例，似乎與國內構造不同。	指南有關結構模式，以木構造為範例，其他構造仍可參照其確認模式進行。
8	以基隆海科館為例，自然煙控應考慮建築外部環境因素。	感謝委員提點，有關自然煙控應考慮建築外部環境因素部分，於 102 年「建築火災煙控系統驗證現場熱煙試驗法建立之研究」已有作探討，此外 103 年「建築火災煙及熱控制系統標準之研究-防煙壁規範」中引用標準 ISO 21927-2 Smoke and heat control systems —Part 2: Specification for natural smoke and heat exhaust ventilators 預計於 106 年經濟部標準檢驗局將起草審議制定為 CNS 標準。
9	現多以完全封閉獨立空間為電腦模擬對象，對不能完全封閉及刻意設計進氣方式之空間，是否亦將納入考慮。	細能設計標準為指引示與規範，並未限定完全封閉獨立空間或刻意設計進氣方式之空間，標準可適用刻意設計進氣方式之空間。
10	數據模擬之火、煙數據紀錄常有突躍情況，是否探究其可能原因及應檢討修正之對應事項。	對模擬結果有進行適切之查證與確認，將可排除此類現象發生或可作出合理解釋。

附錄四 防火安全工程 - 通則(草案)

Fire safety engineering — General principles

前言

本標準係依據 2009 年發行之第 1 版 ISO 23932，不變更技術內容，制定成為中華民國國家標準者。

本標準係依標準法之規定，經國家標準審查委員會審定，由主管機關公布之中華民國國家標準。

依標準法第四條之規定，國家標準採自願性方式實施。但經各該目的事業主管機關引用全部或部分內容為法規者，從其規定。

本標準並未建議所有安全事項，使用本標準前應適當建立相關維護安全與健康作業，並且遵守相關法規之規定。

本標準之部分內容，可能涉及專利權、商標權與著作權，主管機關及標準專責機關不負責任何或所有此類專利權、商標權與著作權之鑑別。

緒論

絕大多數的防火安全設計依靠於區域、國家或地方法規的規格式規定。目前，這些規定允許各種不同的工程方法，而工程方法所需的資訊通常仍由常規試驗方法獲得。防火安全工程 (Fire Safety Engineering, FSE) 此學科，在世界各地逐漸地使用於支援性能式設計，亦即仰賴工程方法以決定特定的設計是否符合規定的性能目標。目前已應用於法規環境的概念，如 "等值概念"，FSE 將此概念應用於設計特定層面的性能式分析，以獲得 "等效" 的性能，用以補充規格式設計。由 ISO/TC 92/SC 4 所制定之 ISO/TR 13387 的八個部分，已概述了 FSE 的基本方法。

本標準以制定可量化防火安全目標為性能式分析的第一步，強調防火安全設計的規格式與性能式方法之間的差異。所述目標使用在火災風險評估途徑，在本質上可以是完全確定性的，或是同時包含確定性與機率性的層面。

本標準支援性能式防火安全設計新的基礎結構，包含兩個防火安全標準的基本型式：

- a) 描述基本概念的概念性標準，包含支援性能式設計的工程與試驗方法一般性要求；符合 ISO/TC 92 架構報告的原則與現象標準。
- b) 由概念性標準修正，適用於建築環境的特定形態，如結構系統，運輸系統與製

造過程等之標準；符合 ISO/TC 92 架構報告的組態標準。概念性標準的優點在於有寬廣的適用性，如做為地區/區域採用時的導引，以及新形式的狀況，而組態標準則較具特定性與較詳細。

此關於防火安全工程通用設計原則與設計哲理的標準，包含對防火安全性能式設計程序的全面概述，因此符合 ISO/TC 92 架構報告中描述的原則標準。因此，也是指導制定適用於各種一般與特定防火安全設計情況下的其他標準之範本。於是，應將此標準視為防火安全工程設計過程的綱要，而不是詳細的設計方法。

1. 適用範圍

此標準提供工程師以性能式為基準，用以評估新建與既有建築環境防火安全程度的方法之通則。防火安全的評估，是基於量化火災與人的行為之工程方法，以及這些行為對生命安全，財產與環境造成的結果之知識。

本標準的目的不是提供詳細的技術設計指引，但包含實務的防火安全工程師與同儕審核者（可要求審核防火安全工程師工作的實體）所需的關鍵元素，以處理在設計過程不同階段與其連繫。本標準所包含的資訊，不只是直接對工程師有用處，也可指引發展一套一致性防火安全工程文件之樣版，涵蓋在性能式設計與評估工程方法與試驗方法的任務。

本標準包含的防火安全設計基本原則與相關防火安全目標，可適用於其他任何處理與火災相關現象的文件（例：火災成長，熱氣與流出物移動，結構與區劃行為）。相關防火安全目標包含，例：

- 生命安全；
- 財產保全；
- 運作持續；
- 環境保護；
- 文物保存。

此外，這些基本原則可應用於建築環境所有的型態（例：建築、運輸系統及工業裝置）。

由於涵蓋防火安全設計的規格式法規還會與性能式設計共存一些時日，此標準考量將符合規格式法規的防火安全設計，做為新建築環境工程設計的比較基礎。

2 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。下列引用標準適用最新版(包括補充增修)。

CNS 14651 建築物防火詞彙－ 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙－ 防火試驗用語

CNS 14996 建築物防火詞彙－ 防火安全用語

3 用語及定義

CNS 14651、CNS 14652、CNS 14996、ISO 13943 所規定及下列用語及定義適用於本標準。

3.1 工程判斷(engineering judgement)

由透過教育、經驗與被認可的技能等方式取得資格之專業人士或專業團隊所實施的程序，以補足、增加、接受或拒絕工程分析的元件。

3.2 防火安全手冊(fire-safety manual)

防火安全資訊系統(fire-safety information system)

詳列用於持續實施應用的防火安全管理程序之文件或計算機系統。

3.3 防火安全對策(fire-safety strategy)

用於達成防火安全目的之設計功能的規格，經全面性的說明與規定，構成試用設計的基礎。

3.4 功能要求(functional requirement)

考量建築環境特性，達成特定防火安全目標的手段之陳述。

備考：法定功能要求是由建築法規或國家法規所要求；自願性功能是由其他利害/受影響之關係人所提出。

3.5 利害/受影響關係人(interested/affected party)

受防火安全設計影響之關係人，包括所有權人及其他財產利害關係人，或是具有管轄權負責公共衛生與福利的主管機關。

3.6 法定目標(mandatory objective)

受到建築法規或國家法規要求的防火安全目標，如生命安全及環境保護。

3.7 性能基準(performance criteria)

評估建築環境設計的安全性時，構成協議基礎之量化工程規格。

3.8 安全係數(safety factor)

為補償方法、計算、輸入資料與假設之不確定度，對計算值的乘數調整

3.9 試用設計(trial design)

為進行防火安全工程分析目的所選定的設計

3.10 不確定度(uncertainty)

量化資料、變數、參數或數學關係中系統性或隨機的誤差，或是未包含相關的元素。

3.11 確認(validation)

(火災計算模式) 從使用目的的角度，決定計算方法正確地呈現真實世界程度的程序，如在其應用在模式處理的所有問題時，確認假設的正確，以及模式中控制方程式的應用。

3.12 查證(verification)

(火災計算模式) 決定計算方法實施正確地呈現開發者對計算方法的概念，以計算方法解法結果之程序。

備考：查證計算模式的基本策略為辨識及量化計算模式及其解法結果的誤差。

3.13 自願性目標(voluntary objective)

在強制目標之外，由利害/受影響之關係人所提出的要求。

4 防火安全工程程序的概述

火災是複雜的現象，其牽涉到建築環境、住戶或建築環境使用者及消防單位的流體動力、熱流、機械與化學反應（負載）。因此，基本上此標準所敘述的防火安全設計程序，將會是所有牽涉無法適當地包含在規格式要求的建築專案之整合。火災作用（負載）會造成改變後續火災行為之變化，從而導至火災作用（負載）的修改。此一事實使得在整個專案使用期限當中，防火安全設計與其他所有構件設計特性持續交互作用。如邊界可能因火災而破壞，而額外的通風進行，造成火災強度的增加。建築住戶的動作也可能影響火災的發展，如門/窗開啟或關閉，或是試圖滅火。

圖 1 中的為建築環境防火安全工程程序(設計、實施與維護)的綱要，以及引用的章節對此程序有更詳細的說明。

圖 1 顯示制定完全符合所有利害/受影響之關係人之目標的防火安全工程程序

所需的各個步驟。在定義專案確切的範圍（第 5 節）之後，第一步（第 6 節）牽涉到制訂防火安全目標、相關的功能要求及各種達成防火安全目標所需之設計功能（例：火災防護）的量化性能基準。然後根據初步的危險因素鑑別（第 7 節），開始制定具體的防火安全設定計畫（第 8 節），包含可能滿足量化性能基準的試用設計元件。必須決定一套可用於考驗這些設計功能的性能設計火災情境（第 9 節）。性能基準是否達成，是由試用設計的工程分析所決定，如第 11 節所述，使用之工程方法的選定如第 10 節所示。若試用設計不能滿足性能基準，需要修改直到符合要求的最終設計規畫達成。最終專案報告，包含所有必須的文件之產生與確認（第 12 節）。在第 13 節中討論最終設計規畫之實施，導致建築環境的組立。即使實施已完成，第 14 節所述防火安全工程過程仍會持續定期檢驗及不斷的防火安全管理程序。

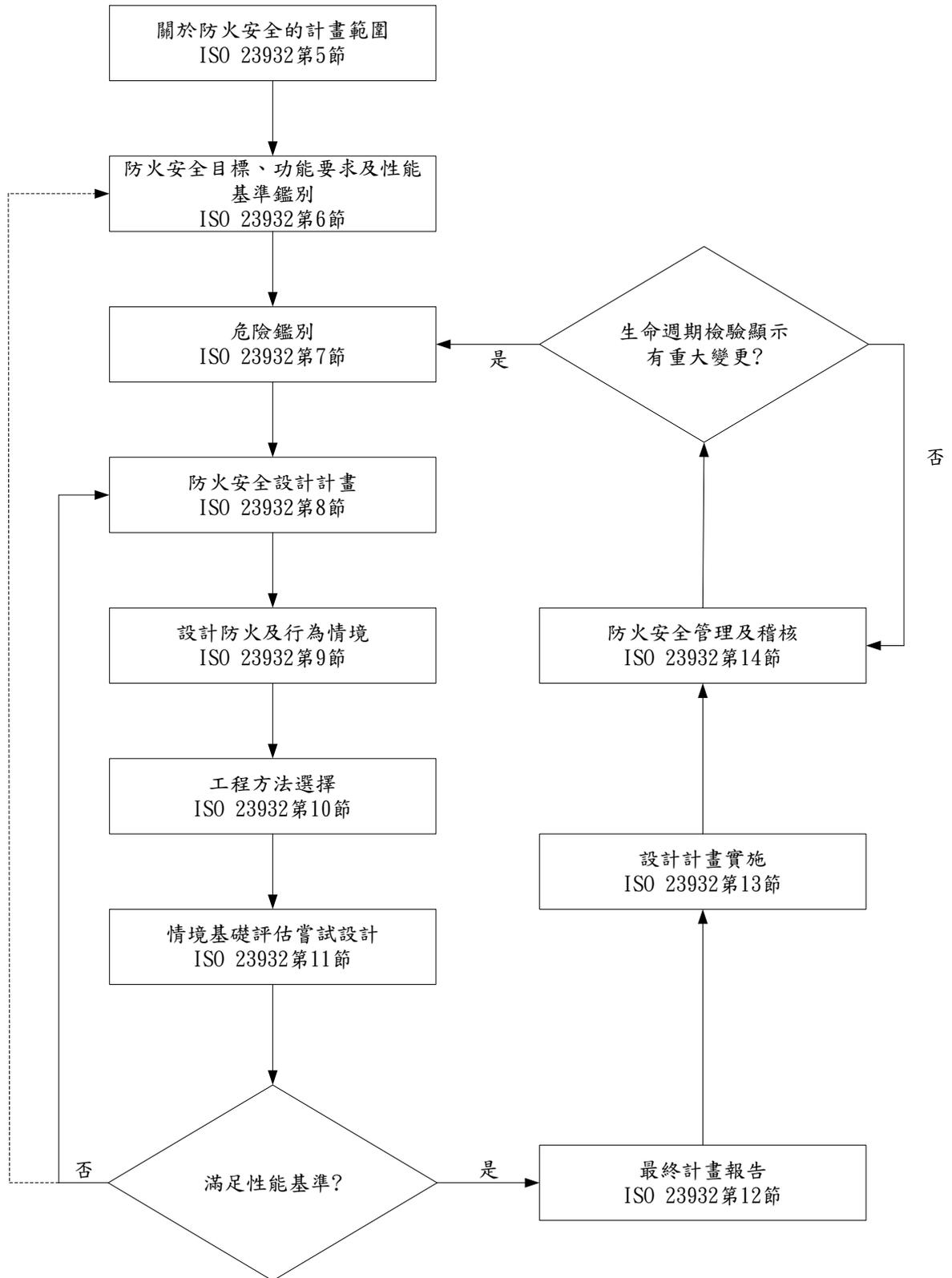


圖 1 防火安全工程程序流程圖 -- 設計，實施與維護

5 關於防火安全工程程序的計畫範圍

不論是新建建築環境，修建或翻新既有建築環境，或是評估是否符合新的法規，防火安全工程程序宜在計畫最早的階段（例：可包含建築概念設計，結構、通風、衛生設備，電力設計）開始。在計畫進行的過程中，防火安全設計宜與其他所有工程設計專業整合。此類整合的必要性是非常明顯的，如在考量聲學或熱力工程（採用可燃的吸音/吸熱材料），或是加強安全（逃生方法的限制）的結果可能產生未預期的防火安全設計問題。

為進行新建建築環境因應火災行動（負載）的確定，必須提供給防火安全設計者初步設計計畫。初步計畫宜包含各個設計部分的目的/功能、各個設計部分的尺度（包括開口）與資訊，及在新建築環境中規畫安裝、儲存或使用的所有固定物、家俱、裝飾、設備與可燃物品的預定位置的說明，以及工業裝置程序的描述與分析。處理既有建築整修時，也必須提供類似的資訊。此種情況不是初步計畫，但在既有構件提供基礎說明。

在此階段，設計工作的合約與組織背景必須明確的定義，包括防火安全工程方法適用的範圍（整個建築環境或是僅有部分）及設計團隊各個成員的功能與責任。

6 鑑別防火安全目標、功能要求及性能基準

6.1 一般描述

宜透過所有利害/受影響之關係人之討論，協商及/或折衷過程，確定防火安全目標（包括法定法規聲明），宜將這些目標納入防火安全設計所需的功能性（如火災防護系統）之功能要求，以及確立量化的性能基準，以確定功能性結果達成防火安全目標。

此程序提供下列問題的回答；參照 6.3 至 6.5。

- 關於目標： 對於所有可預見的火災，需求/預期的結果為何？
- 關於功能的要求： 如何將這些結果通過設計的功能性達成？
- 關於性能基準 如何以工程方式量測設計的適合度？

6.2 與規定性法規的適用性

規定性法規一般提供防火安全設計元件之 "可接受之解決方案" 或是 "視同滿足" 法規要求的特定防火安全設計特性。在某些狀況，這些法規也可提供明確法

規目標及/或有關法規意圖之功能陳述。若是如此，宜使用附加的法規資訊，以協助準備目標陳述，及列出 6.3 至 6.5 所討論的功能要求。若無法規意圖的資訊，需要自主制定一套目標與功能的要求，以識別如何使用性能基準量測火災情境的影響。

此外，若是發展規定的可接受解決方案之替代方案時，性能基準不一定是絕對的，可以由可接受的解決方案達到相對的性能。若是使用相對的性能基準，比較基準需要明確且完整的解釋。

6.3 利益相關/受影響防火安全目標

6.3.1 一般

處理性能基準規範或法規時，需要以所有利害/受影響之關係人所能理解的條款，確定一套廣泛的防火安全相關目標陳述(如期望的結果)。利害/受影響之關係人包含權責主管機關、業主、開發者、員工及其他未來的住戶、緊急應變人員、保險業者與鄰居。業主之外的利益相關關係人可由權責主管機關，或是第三方專業人員代表。

由於在大多數國家，防火安全是法規事務，這些要求的修改範圍通常受到限制，且需要提供符合規定的法規目標之證明。在另一方面，也可以有一些其他自願的目標，比如業務中斷最小化或提供比法規要求更高的安全層次。若是如此，工程分析可以用於目標的修訂，如達成在安全性與利害/受影響之關係人可接受的成本之間的平衡。

目標陳述通常處理一個或多個在 6.3.2 至 6.3.6 所討論的部分。

6.3.2 生命安全

生命安全目標通常以要求減少或避免住戶及其他受影響的人，在建築環境內外受相當程度的傷害。為了安全對於可能受傷害之前住戶能對火災合理地反應並開始避難，安全目標通常要求設備或其他產品以減少火災發生的可能性。

生命安全目標的實例為 "未陷入火場中的住戶不受煙或火焰的傷害"。消防單位的作業涉及高風險，而這些人員的生命安全目標為減少受傷的風險。

6.3.3 財產保全

財產保全目標通常尋求減少或避免建築環境以及其內容物損壞，如設備。

財產保障目標的實例為 "財產損失不宜佔建築環境及其內容物總價值的大部分"。

6.3.4 運作持續性

商業或運作持續性目標通常尋求減少運作被中斷的時間長度，但也可以陳述如下：

- 運作中斷的經濟性成本，包括市場佔有率及就業機會的損失；
- 特定程序之安全性所須之功能持續性。

商業持續性目標的實例為 "正常商業作業不宜中斷一個顯著期"。不限於商業的運作持續性目標實例為 "運輸、電力、資訊、健康照護及有關社區/區域/國家所需之基礎設施功能不宜中斷一個顯著期"。

6.3.5 環境保護

環境保護目標通常尋求減少或避免火災對自然環境的品質有立即或長期的影響。火災引起對自然環境嚴重長期影響並不常見，但是，如油輪或離岸火災將引起廣泛的海洋污染。若政府對環境品質有要求，可能指定最小環境保護目標以符合這些要求的項目。

環境保護目標的實例為 "在火災事件中，應限制毒性排出物釋放到大氣的量"。

6.3.6 文物保存

文物保存目標通常尋求避免利害關係價值不是主要經濟性的物體損壞或變化。這些不可替代的物體通常是古老及唯一的，具有文化或其他象徵性的重要性。然而，文物的保護也可能是經濟性議題，取決於保護所需的成本。

文物保護目標的實例為 "在博物館內損壞的風險目標，在火災事件中，應極少化"。

6.4 功能性要求

各個防火安全目標宜與一個以上防火安全設計需要滿足的功能性要求相關。功能性規範是達成防火安全目標所需之狀況的聲明。亦即，將達成目標的手段制定在功能的要求中，其為防火安全設計所要管控的元件主體，如結構、區劃或其他定義的空間，建築環境構造或火災防護系統所用材料與產品。要求之功能的規格提供防火安全設計對策的第一層次的細節。要求本身提供防火安全設計對策的第二層次的細節。目標是以非量化火災結果方式陳述，功能要求則是以視同必須達成之防火安全設計功能的方式陳述。功能性要求也是定性的，但其應用於元件設計階段，因此更有意義，且更能直接應用在工程中。如在高樓層建築中，生命安全目標通常發展為避免結構破壞，以及保護逃生路徑不受火災危害影響，直至避難完成等功能要求。第一項為關於結構穩定性的功能要求，而第二項為生命安全的功能要求。

這兩項功能要求的實例為 "在設計的火災情境下，在住戶避難及消防單位完成工作之前，不可有永久性結構損壞的情形" 及 "在設計的火災情境下，在住戶避難完畢前，避難用空間不可有受到火災危害影響的情形"。

6.5 性能基準

6.5.1 一般

性能基準是確定性或機率性（例：火災風險量測）型式的工程度量，以決定防火安全設計是否滿足各個功能要求。性能基準是量化的工程量測，可顯性或隱性地陳述可靠度與有效性考量。

6.5 顯性性能基準

各個功能要求宜制定顯性性能基準。如功能要求為 "在設計的火災情境下，在住戶避難及消防單位完成工作之前，不可有不可接受的結構變形的情形" 通常發展為，在預測的或可能的住戶避難及必要的消防作業完成前，量化的結構耐火性基準。另外，功能要求為 "在設計的火災情境下，在住戶避難完畢前，避難用空間不可有受到火災危害影響的情形" 通常發展為，住戶避難及消防單位工作期間，能見度及有毒（例：一氧化碳）與刺激性氣體濃度的量化基準。

6.5 隱性性能基準

若無法在顯性性能基準取得可能的協議，或是評估是基於視同滿足基準，可能需要使用特定防火安全工程元件，遵循規格式法規的要求去比較不同替代方案設計計畫的性能，與設計計畫預測或已知或可能的性能。若是如此，個別設計功能的性能為隱性，且只能由對指定主要設計元件之參考設計計畫的性能之計算（預測）或參考尺度試驗（已知行為），或是統計調查（既設機率）獲得。

7 危險鑑別

危險鑑別包含會影響建築環境之內部與外部危險，如單一特性及各種特性，可燃材料或產品，設備或其他熱源，天然災害及活動所共同的危害。

b) 內部危險宜至少考量以下所列：

- 構造產品及物品；
- 正常使用及防火安全設備；
- 使用性質類型及相關之建築環境利用；
- 使用或活動類型。

b) 外部危險宜至少考量以下所列：

- 鄰近活動；
- 天然環境災害。

在鑑別中，可使用適用於相似類型建築環境或環境條件的火災事故資料。

8 防火安全設計計畫

試用防火安全設計計畫（不論是衍生自確定性火災風險分析，或是由其他手段所獲得）是防火安全對策的闡述，包含一套防火安全設計元件。

此計畫宜在火災設計報告中說明與記載，呈現足以評估針對火災情境(第 11 節)下是否符合防火安全目標的詳細資訊，也宜記錄在火災設計報告。設計計畫可依據防火安全對策定義建築環境所有的功能，或可定義某些功能符合 "視同符合" 解決方案。然而，無論是何情況，分析中需要考量所有部件之間的交互作用。

ISO/TR 13387 提供了將功能與設計元件組織為次系統 (SS) 的有用方法：

- SS1：起火與釋出產物；
- SS2：火勢蔓延與釋出物的擴散；
- SS3：區劃化與結構穩定性；
- SS4：偵測，啟動與抑制；
- SS5：人類行為與避難；
- (SS6：消防人員介入)。

9 火災與行為情境

9.1 一般

情境的首要步驟通常包含危險的描述。需要以系統與組織的方式(使用現有技術)進行危險鑑別 (第 7 節)，以確保沒有遺漏。

依此危險鑑別，可發展為兩種情境：

- 火災情境 (對於火災行為)；
- 行為情境 (對於人的行為)，處理健康與生命安全，以及與某些火災情境相關的火災發展之可能影響。

9.2 火災情境

9.2.1 鑑別潛在的火災情境

展開火災情境的第一個步驟為描述導致引起火災之相關危險事件。在引起火災之

後，會有與防火或防煙措施之有效性相關的事件，以減低火災的影響。最後，此情境以火災後續結果，以及這些結果出現的可能性或頻率來描述。

在某些事例中，部分防護措施的失效會對其他火災防護措施的有效性有不良的影響，如一扇開啟的防火門不僅是無效的防火屏障，也會導致氣體滅火系統因藥劑耗損而失效。另一個事例為，導致多處火災的地震也可能造成灑水系統管線失效，或用以防護此類火災的區劃損壞。在行成火災情境時，需要特別注意確認鑑別並說明所有此類單一事件造成的多重失效。

9.2.2 設計火災情境的選擇

9.2.2.1 一般

宜使用標準化的方法鑑別用於分析的設計火災情境可管理群組。需要與利益相關/受影響之各方諮詢，以確保所有情境均已被考慮。若性能基準為機率的形式，設計火災情境的宜選擇這樣的計算基礎須在火災風險量測中產生可接受的正確估計。若性能基準為確定性的形式，設計火災情境宜選擇顯現在此情境中，能提供可接受的安全性設計，可以依賴在其他未分析的所有情境中均能提供可接受的安全性。

設計火災情境的選擇可透過定性（或定量）風險分析進行。

9.2.2.2 使用定性火災風險評估進行設計火災情境選擇

定性火災風險評估程序適於鑑別及選擇，能夠考驗所有制定之功能要求的設計火災情境群組，當

- 設計計畫的主要元件，包含如被動式或主動式火災防護，已決定（不論是由業主或利益相關/受影響之各方）。
- 利益相關/受影響之各方同意建築環境內火災的潛在影響只會產生可接受的損失（例：基於規定受危害之住戶數量，或受危害之財產數值等）。

定性分析宜使用可能性及後果來描述選擇過程中的各個火災情境。

9.2.2.3 使用定量火災風險評估進行設計火災情境及設計元件選擇

定量火災風險評估程序適用於做為選擇設計火災情境與相當的設計元件之方法，當

- 關於設計計畫的主要元件之決定，包含被動式及主動式火災防護，尚未完成（不論是由業主或利益相關/受影響之各方）。
- 同意建築環境內火災的潛在影響，不受法規的管制。

在此火災風險評估中，會定量分析各種潛在火災情境，以建立整體火災風險的量

測。定量火災風險評估允許選擇降低整體火災風險需要之主要設計元件（主動式：如撒水防護，或被動式，如區劃或其他元件）。做為定量火災風險評估的直接結果，可在所有已分析的火災情境群組當中，鑑別整體火災風險的關鍵貢獻者。

9.3 行為情境的選擇

若生命安全是考量的目標，對工程設計的評估需要評估從火災引燃之後，直至住戶到達安全地點的期間，住戶是否受到防護。

在任何時間點，住戶在建築中的位置，以及在平時使用期間與緊急狀況，住戶位置隨時間的改變路徑，取決於建築與住戶，建築預定使用的防火安全管理系統特性，以及發展中之火災情境有關的各種參數之交互作用。

為考量這些可能性及潛在火場情境的後果，需要定義可能出現在建築中的住戶類別。住戶對火災的反應受到整個與住戶及建築特性相關的各種變數之影響。前者如住戶數量，於不同時間點，在建築中分佈的情況，其對於建築的熟悉度，其能力與殘障狀況，其對於所面臨的煙霧及任何影響生理的火災氣流之反應，行為與其他特性；建築特性包含其使用方式，佈置與服務；警示的提供，逃生方法及緊急管理策略；所有這些特性與制定之火災情境之交互作用，以及緊急介入（消防隊與救援設施）的提供。

這些屬性構成在評估設計時考量的住戶行為情境。設計的行為情境可代表建築環境中單一區間或一組相似區間的狀況。在火災避難期間要考慮任何結構可包含不同行為情境的變化。雖然在特定案例中，個別情境可以稍微變化，但可用少量的設計行為情境可代表不同類型結構當中不同區間的狀況。

即使有尖端的計算資源協助，也無法分析所有的情境。因此需要將此可能性之無限集合減少至可控制地，適合分析的情境小集合，整體地代表各種具代表性之住戶特性的組合。

10 工程方法的選擇與初步報告

10.1 選用的工程方法

需要選擇工程方法，以評估提案的或現有的設定計畫是否符合防火安全目標。此一選擇過程牽涉決定哪一種工程方法，如下述，在一或多個火災情境中展示其結果能符合性能基準，並具備可接受的準確度與效率。

10.1.1 計算方法

10.1.1.1 確定性方法

確定性方法通常是評估各個設計火災情境結果的嚴重性，並將之與性能基準所描述的閾值比較。情境的相對可能性並未明確地考量，但是其他機率性條件，如可

靠度，可自主評估。

10.1.1.2 火災風險評估

防火安全設計計畫的火災風險評估，包含風險分析與當設計實施時預測結果的傷害機率與嚴重性的量化組合，並結合這些風險接受度的評估。

10.1.1.3 確認與查證

需要遵循詳細的計算方法之確認與查證準則，以評估特定之計算方法是否適當。

火災能對建築環境，其住戶與環境有多重的衝擊。需要對用於預測這些衝擊的方程式與模式做確認。

對於這些包含適用於特定火災現象之代數方程式與計算模式的計算方法（例：火羽流、天花板噴流、煙層、通風氣流或火勢成長），可以區別需要確認的已開發方程式，以及已確認，特別是已發佈成為國際標準或技術規範的方程式/模式。任何方程式或模型只應在其確認的範圍內使用，否則，需要提供其證明。

10.1.2 由測試方法與調查獲得的資料

得自試驗方法或實驗及調查的資料，通常用於各種類型的工程方法之輸入，以決定火災風險評估的機率。

宜顯示得自試驗方法或調查的資料，符合所使用的相關工程方法或火災風險評估技術的特定要求，且適合正在考量的設計。

宜顯示得自試驗方法或調查的資料，滿足紀錄在測試方法或調查標準的特定可靠度（例：重複性與再現性量測）與準確度要求。

10.1.3 參考火場情境試驗結果之分析

當計算方法無法獲得，或是因牽涉的現象之複雜性而不適用，則可透過分析得自具有與最大尺度建築環境相當（依據工程判斷），足以影響結果的特徵尺度之火災試驗的結果評估設計。此種試驗需要設計以仿製所有關心情況之火災行為的重要特徵，此試驗稱為參考火災情境試驗。得自此種火災試驗的結果宜加以分析，以顯示所獲結論適用於相關的設計狀況，且此種結論並非由試驗資料外推法所得。此種試驗限制使用於簡單構型的建築環境或其部分。

10.1.4 工程判斷

當計算方法及/或資料不是可用的（或不完全適用），且由於資源有限參考尺度試驗的性能是不可能的，可以需要利用工程判斷以同意已使用的資料，或是決定如果防火安全設計的某些部分符合性能基準而符合目標。預期此為具有相關領域專業能力與經驗之個人所組成團隊的作為。

10.2 初步定性報告

在此評估的階段中，需要將用於評估的設計情境與工程方法之選擇文件，包含在初步定性報告資訊中。報告中也宜包含專案的範圍，防火安全目標，功能的要求以及選定的性能基準。

初步報告宜取得利益相關/受影響之各方的同意，特別是在處理法規目標時，需主管機關同意。

在收到這些利益相關/受影響之各方的意見之後，可能需要變更初步報告中的一個或多個項目。

11 嘗試設計的情境基準評估

嘗試防火安全設計計畫宜使用工程方法進行工程分析加以評估，以決定在各個設計火災情境是否達到定性性能基準。

此一評估量化嘗試設計的性能，取決於性能基準是以確定性或機率性方式表示，評估可能牽涉各個設計火災情境的特定計算，或是適用於設計火災情境範圍之計算的機率性表達方式。

11.1 設計火災情境的量化

11.1.1 輸入資料

須足夠準確的資料，以決定各個設計火災情境所使用的設計火災，並量化這些設計火災情境的影響。資料可自試驗及/或調查，或是文獻中獲得。

來自試驗及調查的資料，需要考量以下情況加以檢驗

- 獲得資料之方法的有效性；
- 試驗及調查結果的適用範圍；
- 伴隨這些資料的不確定性。

在主要的實例中，建議經由使用資料，將計算方法所得結果與有效的實驗或統計結果進行比較來管控資料集。

對於由文獻中取得的資料，也需要進行相同查證程序。

11.1.2 結果的評估

估算各個設計火災情境的結果時，需要考量火災防護系統的性能（例：有效性，信心水準，反應時間），以及任何火災防護系統與火災嚴重性之間的交互作用。

在處理健康與生命安全情況時，行為情境已經被考量。這些分析將考量

a) 測定火災行為透過確定性分析評估設計火災情境，或是評估火災風險評估中所有代表性的火災情境，宜包含下列火災行為層面

- 設計建築環境中火災的成長，
- 由建築環境中設計火災所造成的流體運動，
- 主動火災防護系統的功能與可靠度，
- 被動火災防護系統的功能與可靠度，
- 防火安全管理的效應。

b) 火災衝擊的確定。評估火災行為，考量相關目標，宜辨識火災對下列事物的衝擊：

- 生命安全，
- 財物，
- 工作連續性，
- 環境之保護，
- 文物之保存。

11.1.3 事件發生頻率的評估

對於評估中的各個設計火災情境，需要對其發生機率進行適當而詳細的評估。

11.1.4 安全係數與不確定度

與任何工程評估相同，評估防火安全設計計畫會有許多不確定性的來源。這些可以包括不確定性相關與

- a) 情境的選擇與定義；
- b) 火災防護功能量測；
- c) 為選定情境所選擇的適當工程方法；
- d) 選定之工程方法的有效性；
- e) 輸入資料與選擇參數的值；
- f) 分析中做成的假設。

與評估中各元件相關的不確定度程度宜量化，並結合以獲得整體的不確定度程度，整體程度提供決定應用的安全係數（或是安全裕度）之基礎。

許多不確定度在機率性分析中明確地量化。

目前仍無法量化設計過程中所有階段的不確定度程度，也沒有一般公認的組合不確定度方法存在。

評估中的解決方案所獲得的安全係數牽涉到設計工程師某種程度的專業判斷，同樣的在後續過程中，也牽涉到負責評估及審核解決方案的人員之專業判斷。若可能，這些判斷宜以對選定情境，模式與資料的基礎與限制之理解的方式告知，並宜明確的記載在最終設計的報告及呈現。

對於重要的實作案例，設計是基於單一分析表達式，在結構與其他工程領域的方法已發展，已導出相應的預設風險或失效水準之安全係數（偏係數）。此方法通常被稱為 "可靠度基準設計"，並假設相關不確定度已以統計方式量化。ISO/TR 13387-1:1999, 附錄 E 提供了方法的一般性描述。

11.2 性能基準比較

需要將防火安全設計在各個設計火災情境的評估結果進行比較，包含結果與頻率，以及相關防火安全目標的性能基準。若一個或多個目標/設計情境的比較不滿意，以下為可能的反應。

- 嘗試設計宜修正，以符合任何未由原始嘗試設計符合的性能基準。任何因為第 11 節所述行動所造成防火安全設定計畫的變更，宜重覆執行第 7 至第 11 節所述的程序。
- 當考慮的目標是自願性的，可在利益相關/受影響之各方同意下，變更目標或性能基準。
- 在某些情況下，可能需要審查專案的範圍。在此狀況，程序宜返回第 5 節。

12 最終專案報告

12.1 專案文件

12.1.1 一般

宜發布三種不同性質文件：

- 建築環境使用狀況報告；
- 已進行之建築環境使用狀況的防火安全工程評估報告；
- 在建築環境使用期限中，檢驗與維護程序手冊。

12.1.2 防火安全工程評估報告

報告應明確與完整的說明評估的基礎（包括所有假設）並應至少包含以下事

項：

- 專案範圍；
- 最終初步定性報告的內容（見 10.2）或其參考資料；
- 防火安全策略的提案；
- 評估中使用的工程方法與輸入資料的提案，並敘明其選擇；
- 在設計火災情境評估嘗試設計的步驟，及結果；
- 將結果與性能基準做比較；
- 總結結論；

12.1.3 建築環境使用狀況

建築環境使用狀況，符合其設計之假設，應紀錄在報告中。此做為業主管理者在建築環境使用期限內管理的資訊，此報告宜包含

a) 建築環境與其活動的描述，如以下建築的範例：

- 樓層數，以及各樓層的面積，
- 建築物相對於地界線及街道的位置，
- 建築環境的用途，
- 建築環境各部分的用途/功能與尺度，
- 所有固定物，家俱，裝潢，設備與可燃性物品的位置描述。
- 對於工業裝置，程序的說明與分析，
- 各個空間的使用性質，
- 消防單位作業的出入口，
- 最終避難所位置與功能，
- 至最終避難所的避難方向，與

b) 評估中所做的假設，須遵循，例：

- 火載量的上限與位置，
- 住戶的上限與位置，
- 主動式火災防護措施（包含內部消防員），

- 被動式火災防護措施，
- 逃生試轉，
- 檢驗與維護。

12.1.4 檢驗與維護程序

報告應列出

- 初始設計輸入資料是否滿足（如初始活動的變更或演變，燃料量的增加等）；
- 那些防護系統需要定期檢驗與維護，以及當必須進行時如何進行。

12.2 整體專案審查

12.1 所述的三份報告需要利害/受影響之關係人接受完全同意，以確保所有要求都已考慮在內，且最終專案計畫滿足所有防火安全目標。

12.3 主管機關同意

在處理法規防火安全目標時，一般需要主管機關的同意。就此而言，若有需要，最終評估報告應與其他兩份報告一起提供。主管機關可能直接提供其意見，或是要求第三方對最終設計提出同儕審查。第三方同儕審查可能導致進一步的評估及/或最終設計的修改。若是如此，對於修改部分，程序宜重新執行。

13 防火安全設計計畫的實施

13.1 變更的鑑別與處置

需準備構造/製造查證報告。

若從最終設計計畫的偏差是需要的，應做紀錄，取決於其對防火安全性的影響，可能需要利益相關/受影響之各方，或是主管機關的同意。

不論如何，若是對於偏差的重要性有疑慮，宜與參與防火安全評估的防火安全工程師諮詢。

13.2 建築環境符合性確認

宜有效證明或佐證使用在構造中所用的產品或製造所用的構件，是依照防火安全評估中所做假設完成，在適用時，適當被驗證。

在特定的用途中，現地試驗被指定用來證實預期的操作，如主動防護或偵檢設備，這些試驗應實施並紀錄。

宜證明或佐證構造與製造已依紀錄的設計有效完成。

13.3 專案文件更新

若在建築環境構造時做了偏差，需要更新第 12 節所提及的三份報告。

14 防火安全管理與檢驗

14.1 一般

當防火安全設計在建築環境中已建置，在建築環境的生命週期當中，宜實施防火安全管理與自主的檢驗。管理與檢驗程序可確保防火安全工程師所用的設計火災情境與實況相應的。

14.2 防火安全管理

14.2.1 防火安全管理要求

防火安全管理在火災的預防與控制，住戶避難至防護區域以及防火安全系統的維護等方面扮演極重要的角色。在某些特定的位置，特別是有大量民眾聚集的地點，有效的管理程序對快速而有次序的避難是有其關鍵的重要性。對有效的防火安全管理的量測，是起火機率降低及增強成功避難的可能性之證明。

14.2.2 防火安全手冊或資訊系統

管理程序與火災防護系統失效的可能性宜計入考慮。通常難以確定防火安全管理系統在建築環境使用期限內能保持良好的維護，因此，特別重要。為達此目的，防火安全手冊或防火安全資訊系統可有效地紀錄火災防護系統維護，以及在緊急狀況下可遵循的查核表。內部檢驗程序也宜實施。

14.2.3 消防單位聯絡者

成功的防火安全管理中重要的一個元件是，在建築環境的使用期限內，有效的與消防單位人員聯繫。連繫宜包含與目前狀況相關的火災前規畫，如消防單位人員熟悉火災危險的位置，及火災防護系統的操作。

14.3 自主檢驗

14.3.1 檢驗程序

若對火災防護與管理程序定期進行自主的檢驗，如每年至少一次，則可合理地假設火災防護系統與避難程序能夠較沒有定期自主稽核者更可能有效地工作。沒有實施自主稽核的建築環境，可能需要增加火災防護量測以達成可接受的安全水準。

14.3.2 變更

當建築環境的使用方式、使用性質或燃料載量變更，或是翻新或裝修，經自主檢查或其他方式鑑別為重大變更，必須在所有利益相關/受影響之各方同意下，宜重複或審查由第 6 節或第 7 節開始之防火安全設計程序。最好將防止未適當公告利益相關/受影響之各方，而不當使用或佔用設施的防火安全設計元件或設備納入。

參考資料

- [1] ISO/TR 13387 (all parts), *Fire safety engineering*.
- [2] ISO/TR 13387-1:1999, *Fire safety engineering — Part 1: Application of fire performance concepts to design objectives*.
- [3] ISO/TS 16732, *Fire safety engineering — Guidance on fire risk assessment*.
- [4] ISO/TS 16733, *Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires*.

附錄五 防火安全工程-計算方法的查證、確認程序及要求—第1部：一般

Fire safety engineering —Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods— Part 1 : General 緒論

防火安全工程的目標是協助完成可接受的防火安全預測程度，這項工作的一部分包括計算方法使用於：

-火災情況或火災結果預期發生的事件過程預測，及

-評估衡量減輕火災對人員、財產、環境及其他目標不利影響的火災防護能力。

查證及確認是建立這些計算方法可信度必須的主要原則，本標準引導一般防火安全工程計算方法的查證及確認程序。

計算方法潛在使用及被要求接受結果者，須要確信計算方法提供足夠準確預測火災過程及結果作為具體應用計畫。為了提供此一保證，計算方法選擇須要查證數理的準確度及確認現象再現的能力。嚴謹的查證與確認過程是品質保證的關鍵要素。

並無固定的準確度要求可適用於所有的計算方法，準確程度取決於計算方法的使用目的，只要誤差、不確定度及計算方法的適用性限制是已知，並非所有計算方法須要論證高準確度。

本標準的重點在計算方法預測的準確度。然而，其他因素，例如易用性、關聯性、完整性及發展狀況，在評估最適當方法供使用於特定應用中扮演重要角色。在防火安全工程領域內計算方法供特殊用途的適合性評估，是由品質保證方法的使用支持滿足要求的證明，量測相關品質特徵屬性建立度量導引是在本標準簡要概述。

本標準意圖包含要使用的部分或全部要素

a)計算方法開發者(執行開發行為的個人或組織，包括要求分析、設計及組件測試)- 特定計算方法的用途文件，或許是為特定應用，計算方法發展部分包括精確度鑑別、適用性限制及無關測試；

b)計算方法開發者(維護計算機模式、供應計算機模式及評估計算機模式品質，作為品質保證及品質控制的個人或組織)-軟體開發過程文件以保證應用工具品質，確保使用者在適當發展技術時是被遵行；

c)計算方法使用者(使用計算方法完成分析的個人或組織)-使自己確保為特定應用使用適當的方法及提供足夠的準確度；

d)性能規範及標準發展者-裁定計算方法於已知應用是否適當。

e)許可機構/人員(審查或許可使用的評估方法及工具的個人或組織)-確保提交的計算方法明確展示該計算方法在其適用性限制範圍內使用，並具有可接受的準確程度，及

f)教育者-教導實證應用及計算方法的接受性。

使用者瞭解可能使用特定方法論之內的參數是重要的，所以本標準使用者在防火安全工程與風險評估領域宜有適當資格及權責。

提供性能式方法論供工程師評估新建或既有建築環境火災安全程度的一般原則，說明於ISO 23932。防火安全是在量化火災行為及生命安全、財產與環境行為的結果知識為基礎，經過工程途徑的評估。ISO 23932提供設計穩健性能式防火安全程式的過程(必須的步驟)及基本要素。

ISO 23932是支援防火工程國際標準的集合，可用在方法及需要數據供防火安全設計步驟概述在ISO 23932：2009第4節及圖1所示(摘自ISO 23932：2009第4節)。此系列國際

標準稱為全球防火安全工程分析及資訊系統。當使用本系列防火工程國際標準，此全球性方式及標準系統提供火災評估之間相關的認知。此系列標準包括ISO 16733-1[1]、ISO 16732-1、ISO 16734、ISO 16735、ISO 16736、ISO 16737、ISO/TS 24679、ISO 16730-1、ISO 29761[2]、ISO /TS 13447及其他支援技術報告提供應用這些標準指引及範例。支援全球防火安全工程分析及資訊系統的每一國際標準，包括語言介紹供連結ISO 23932在防火安全工程設計過程綱要步驟，ISO 23932要求在試驗設計的情境為基礎的評估採用的計算方法，進行查證與確認（ISO 23932：2009第11節）。根據ISO 23932的要求，本標準提供火災計算方法查證與確認程序及要求。此防火安全工程程序流程顯示於圖1及說明於ISO 23932。

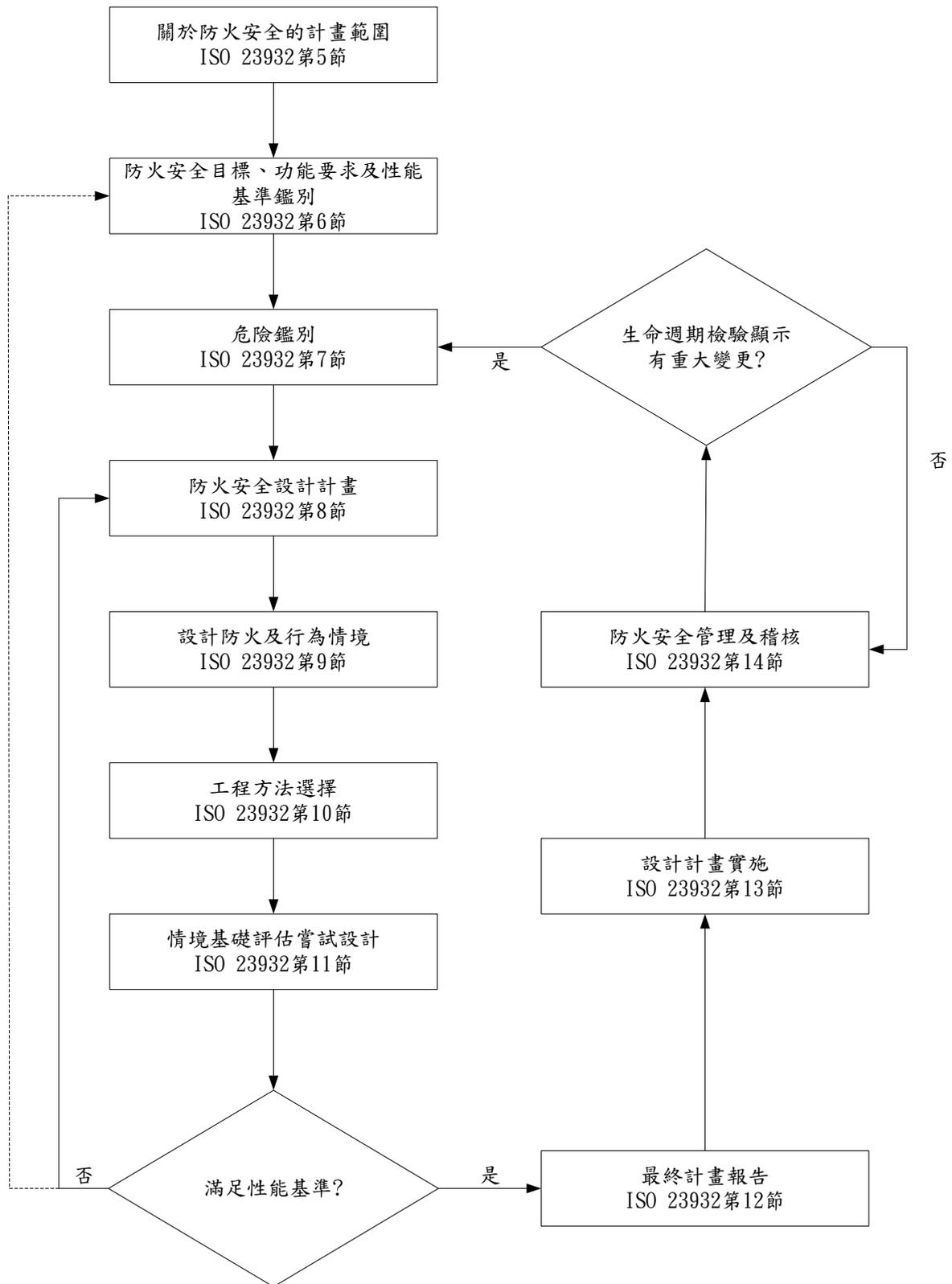


圖1 防火安全工程設計程序流程圖(摘自 ISO 23932 : 2009)

1. 適用範圍

本標準對所有類型計算方法使用供防火安全工程以指定的具體程序及要求為目的工具，建立查證及確認的架構。本標準不涉及特定的火災模式，但可適用於本標準所述計算方法之分析模式、代數相關及複雜數值模式。

本標準包括：

- (a) 決定相關方程式及計算方法被正確執行的過程（查證）、及確認計算方法是真實世界的準確再現（確認）；
- (b) 充分論證計算方法的科學及技術基礎的文件要求；
- (c) 對計算方法預測結果與數據進行檢查的要求；
- (d) 使用本標準的開發者及/或計算方法的使用者，以及由使用計算方法得到結果的這些評估之使用指引。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年分者，適用該年分之版次，不適用於其後之修訂版（包括補充增修）。無加註年分者，適用該最新版（包括補充增修）。

ISO 23932, *Fire safety engineering — General principles*

ISO 13943, *Fire safety — Vocabulary*

ISO/IEC 25000, *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and*

Evaluation (SQuaRE) — Guide to SQuaRE

ISO/IEC 25010:2011, *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements*

and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models

ISO/IEC 25040:2011, *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements*

and Evaluation (SQuaRE) — Evaluation process

CNS 14651 建築物防火詞彙— 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙— 防火試驗用語

CNS 14996 建築物防火詞彙— 防火安全用語

3. 用語及定義

ISO 13943、CNS 14651、CNS 14652、CNS 14996 所規定及下列用語及定義適用於本標準。

3.1 準確度 (accuracy)

準確度實際上包含近似值及量測值等。

備考：準確度包含誤差(3.9)及不確定度(3.23)。

3.2 計算方法(calculation method)

使用數學程序預測火災相關現象。

備考：計算方法可以涉及人以及物件或火災的行為；可以是機率性以及確定性的；並且可以是代數公式以及複雜的計算機模式。

3.3 校正(calibration)

(模式)計算模式中調整模擬參數的過程，在於提高與實驗數據一致的目的。

3.4 計算機模式(computer model)

電腦化模式(computerized model)

操作實現概念模式的計算機程式。

3.5 概念模式(conceptual model)

對所有資訊的組成、數學模擬數據及說明此(物理)系統或關心的過程之數學方程的說明。

3.6 內定值(default value)

如果系統或使用者沒有變換設定或狀態，初始值是取自程式的標準設定或狀態。

3.7 確定性模式(deterministic model)

使用科學之數學算式計算方法，讓每次對該計算方法輸入相同數據值時都能產生相同的結果。

3.8 工程判斷(engineering judgment)

由教育方式、經驗及能力認可具資格之專業人員來補數、增補、接受或去除進行定量分析因素的過程。

3.9 誤差(error)

在任何階段或計算作業可辨識缺失值，並不是由於知識缺乏。

3.10 火災模式(fire model)

火災發展系統再現或相關過程，包括火災動力學及火災衝擊。

3.11 數學模式(mathematical model)

說明某種物理系統行為的一組方程式。

3.12 量測(measure)

其值被指定為測定結果之變量。

3.13 測定(measurement)

具有決定量測值目標之系列操作。

3.14 度量(metric)

所需品質特性之量測、定量的或定性的相對結果。

3.15 模擬 (modeling)

模式的建構或修改過程。

3.16 數值模式 (numerical model)

物理 (火災) 模式的數值表示法。

3.17 物理模式 (physical model)

以簡化的物理情況試圖再現火災現象的模式(例如比例模型 (scale models))。

3.18 機率模式 (probabilistic model)

把現象視為一系列連續事件或狀態的模式，於其中，以數學法則支配一事件到另一事件的轉移(例如從引燃到確定燃燒)，以及分配到每個轉移點的機率。

3.19 精確度(precision)

在實施及計算方法的解的誤差，準確地表示計算方法開發者的概念說明。

3.20 靈敏度分析(sensitivity analysis)

(計算方法)研究變化特定參數如何影響計算方法生成的結果。

3.21 模擬 (simulation)

計算方法的運用或使用。

3.22 模擬模式 (simulation model)

將假設可能存在於實際情況的動態關係作為相應變量的一系列基本操作模式。

3.23 不確定度 (uncertainty)

在模擬過程中，因知識缺乏而可能於任何階段或活動所存在的潛在缺失值。

3.24 確認 (validation)

從計算方法預期用途的角度來確定計算方法準確表述真實世界程度的過程。

3.25 查證 (verification)

確定計算方法準確的實現開發者對該法之概念性說明、及該法之解法的過程。

備考：計算模式的查證基本策略在於確定及量化計算模式及其解法的誤差。

4. 文件

4.1 一般

技術文件宜充分詳細記載所有可在規定的準確度內，可由具有相應資格之獨立個人或團體進行複製的計算結果。

包括計算機軟體在內之計算方法的充分且詳細記載文件，係為評估計算方法之科學及技術基礎的適當性及計算過程準確度所不可或缺。此外，適當的文件可協助防止計算方法的無意誤用。對任一特定計算方法的查證及確認報告宜形成文件的一部分。計算方法的有效性包括將結果與來自實際火災事件或統計調查、試驗及實驗數據的比對，並應透過

應用品質保證方法來加以說明。這些方法給予的量測或量測組應與先前定義基準進行比較，以證明計算方法是否已符合所約定的品質要求。

文件應包括

- 解釋計算方法之科學依據的技術文件，參照4.2，及
- 使用手冊，在計算機程式的情況，參照4.3。

技術文件及使用手冊的必要要求說明在4.2及4.3。該列表相當冗長但並無意排除其他可幫助使用者在評估計算方法的適用性及可用性形式之資訊。

4.2 技術文件

4.2.1 一般

技術文件係為評估計算方法的科學依據所需。計算方法的技術文件提供是由模式開發者完成的任務。技術文件必須徹底說明計算的方法及依據，證明其充分的執行能力，並為使用者提供正確應用計算方法所需的資訊。如果計算方法是利用經由迴歸的實驗結果所導出之代數方程式或應用分析解法時，使用者應依靠源自標準或類似材料之相關文件，例如科學文獻。當防火安全工程使用發展中標準包含計算方法，應使用計算方法的來源資料，並在適用時，再附以4.2.2至4.2.4的技術文件。

4.2.2 計算方法的說明

計算方法的說明應包括下列的完整細節

a) 目的：

- 1) 定義欲解決的問題或執行的功能；
- 2) 說明計算方法的結果；
- 3) 包括任何可行性研究及論證說明。

b) 理論：

- 1) 如適用，說明基本概念模式（控制現象）；
- 2) 如適用，說明計算方法所依據現象的理論基礎及物理定律；

c) 理論的實施，如適用：

- 1) 目前控制方程式；
- 2) 說明並提供所應用及參考的數學技術、程序及計算算法；
- 3) 識別所有內含於邏輯的假設；並考慮有關由所述計算方法適用範圍所引起的輸入參數限制；
- 4) 討論通過重要算法所得到結果的精確度(誤差)，及在計算機模式個案，任何

特定計算機能力的相依性；

5) 說明靈敏度分析結果；

d) 輸入：

1) 說明所需的輸入；

2) 提供所需數據來源的資訊；

3) 對於計算機模式，列出任何需要的輔助程式或外部的資料檔案；

4) 為計算機模式提供來源、內容及使用的資料庫資訊。

4.2.3 計算方法的查證及確認說明

必須完全地說明計算方法的查證及確認，其細節如下：

a) 依據第5節的規定來評估計算方法預測能力的任何努力結果，宜以定量方式予以呈現；

b) 對已經執行分析試驗、比對試驗、實驗確認及核碼之參考文獻的審查。如果，在計算方法的查證係基於貝他測試(beta testing)的計算機模式情況下，該文件宜包括那些參與測試的輪廓說明（例：計算方法發展任何程度的參與，或係為初級使用者；是否被給予任何對最終產品等預定使用者無可用的額外指示等），及

c) 計算方法符合本標準的程度。

至少對計算機模式而言，技術文件應匯集在單一文件，如手冊。無論何時明確的代數公式用於解決防火安全工程的問題時，如上所示相關的技術文件可能引用來源。

品質保證方法應被用來確定該軟體適合其預期的目的，此過程進一步定義在5.6，在被支持及使用的相關品質保證方法，以達到在量測或一組(導出)量測容許的計算方法品質尺度及確定該計算方法足夠準確符合預定使用者的要求[參照，由ISO/IEC系列軟體品質要求及評估 (*Software Quality Requirements and Evaluation, SquaRE*) 文件中之內部及外部度量及使用品質的概念範例]。欲瞭解進一步資訊，參閱ISO/IEC 25000系列(及其後的)文件。在一般情況下，計算方法的評估目的旨在針對計算方法的品質與使用者需求表達進行比較，有時甚至是透過不同的計算方法予以比較。

4.2.4 作業範例

技術文件應包括至少一個(或多個)作業範例。可能需要明確顯示代數公式及數學模式的作業範例，詳情參閱4.3.9。作業範例的目的旨在說明所需的輸入數據及其限制，以及所考慮計算方法結果(多個)的適用範圍。例如在計算中已被確認之所需輸入數據及其預期範圍或限制，比如，幾何、材料特性及邊界條件。計算方法適用範圍及準確度應載明於文件內。

備考：在安全判定及實施的火災防護量測重要的誤差，將由通過確認過程決定計算方法的使用情境設定範圍外之結果(參照5.3的要求以鑑定由確認過程建立可適用範圍)

計算方法的標準應包括資訊附錄中的作業範例。透過標準(如 ISO 16734 至 ISO 16737)對計算方法指定作業範例所需的組件，指引如何正確應用標準及對標準本身資訊參數限制及輸入要求。從真實世界的問題所採取的例子可能是：(發展)鋼構件溫度；火災對核電廠電纜的損傷。由於在公開文獻中已有可用的實例，因此，標準計算方法對在資訊附件中列入工作範例的要求，也能以透過參照教科書所包括諸如此類的範例來予以達成。

4.3 使用手冊

4.3.1 一般

使用手冊僅在計算機模式的情況下才需要。計算機模式的使用手冊宜能讓使用者瞭解模式的應用及方法、再現計算機操作環境及納入手冊樣本問題的結果，以及在規定範圍之參數及極端情況下的數據輸入修改及程式運行。在製備輸入數據及結果的解釋方面，該手冊宜足夠簡明以作為有用的參考文件。有關安裝、維護及程式設計文件宜包括在使用手冊中或是分開提供。計算機的安裝程式宜具有足夠的資訊說明。所有形式的文件宜包含名稱、足夠界定計算方法特定版本、確定負責維護計算方法及提供進一步協助的組織。

對於計算機模式，使用手冊必須提供讓使用者得以正確應用計算機模式的必要資訊訊息，應包括的項目列示於4.3.2至4.3.10。

4.3.2 程式說明書

程式說明書如下：

- a) 模式的自備說明書；
- b) 所執行基本處理任務、所採用計算方法及程序(可以是有用的流程圖)的說明，及；
- c) 執行典型運行所需技能類型的說明。

4.3.3 安裝及操作指令

安裝及操作指令如下：

- a) 識別所需的最低硬體配置；
- b) 識別計算機程式已被執行成功；
- c) 識別所使用的程式設計語言、軟體操作系統及版本；
- d) 提供用於安裝程式的指令；
- e) 提供執行特定運行的特定人員時間及設置時間；及
- f) 提供適用的計算機系統於執行典型應用，估計所需之執行時間的必要資訊。

4.3.4 程式考慮

程式考慮如下：

- a) 說明可用於解決各種問題之每個主要選項的功能指導及選擇這些選項的指引；
- b) 識別適用範圍的限制(例如，在情境範圍以外的基本理論已知或認為是有效的，或輸入數據範圍以外的計算方法是被測試的)；及
- c) 列出軟體的限制及/或極限，其中包括適當的數據範圍，及超越範圍時的程式行為，在這個資訊宜源自於並與所包含的技術文件一致。

4.3.5 輸入數據說明

輸入數據說明如下：

- a) 名稱及說明每個輸入變數、其尺度單位、的內定值(如果有的話)及來源(如果沒有廣泛可用的)；
- b) 說明任何特殊的輸入技術；
- c) 基於所述數據的穩定性、準確度、實用性、模式的適用性，以及產生的輸出進行限制的識別；
- d) 說明任何預設變數及用來設置使用者定義值變數的過程，及
- e) 在得以連續處理的情況下，依情況逐項說明數據保留或重新初始化的條件。

4.3.6 外部資料檔案

外部資料檔案如下：

- a) 說明任何外部資料檔案的內容及組織，及
- b) 提供建立、修改或編輯這些檔案的任何輔助程式參考。

4.3.7 系統控制要求

系統控制要求如下：

- a) 設置及運行該程式所須的程序細節；
- b) 列出操作系統控制指令；
- c) 列出程式的提示，與適當的回應範圍，及
- d) 如果可能的話，說明在執行期間如何停止程式，如何恢復或退出，中斷之後的檔案及數據；

4.3.8 輸出資訊

輸出資訊如下：

- a) 說明程式輸出、任何圖形顯示以及圖表常用程式，及
- b) 在適當情況下，提供適當的指令以判斷程式是否已被收斂至好的解。

4.3.9 樣本問題/作業範例

此樣本問題/作業範例提供與輸出相關的樣本數據檔案，以讓使用者查證程式的正確操作。這些樣本問題宜行使大部分的可用程控選項(參照4.2.4的”比較”)；

4.3.10 誤差處置

誤差處置如下：

- a) 列出程式可能會產生的誤差資訊；
- b) 提供出現誤差資訊時的相應操作指令表列；
- c) 說明當違反限制時的程式行為，及
- d) 說明恢復過程。

5. 方法論

5.1 一般

計算方法的查證及確認係為用於決定計算方法之預定用途(確認)、準確展示開發者對該法之概念性說明及該法之解決方案角度(查證)，來確定計算方法能否正確展現真實世界的過程。查證是用來確認該方程式是否被正確地用於解決問題的過程。假設正確的方程式被利用，則下一步驟為確認，以確保該預期結果能與真實世界匹配。

在圖2中，有關建模與模擬階段及適用於計算機火災模式的查證及確認流程，都以一種非常普遍的方式被呈現。

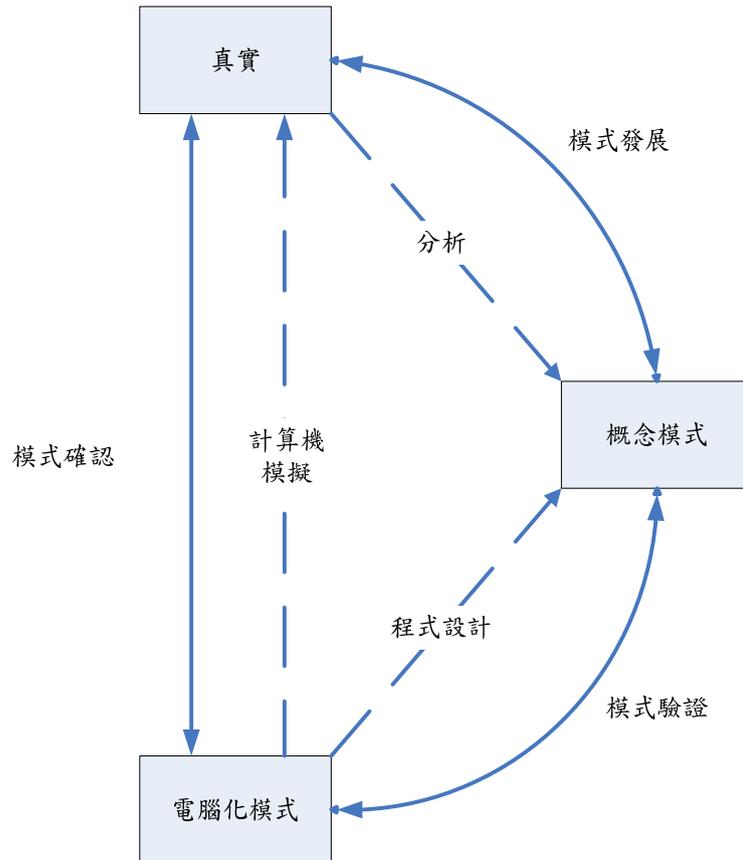


圖2—範例：計算機（化）模式的開發階段

概念模式是透過分析真實世界（有時為一種物理系統）所產生，並且由說明該物理系統的數學建模數據及方程式所組成（例如Navier-Stokes方程式、能量與質量守恆定律，以及其他物理模式諸如紊流模式、人的行為方面、結構行為、及風險等）。查證負責處理概念模式及計算機模式之間的關係，而確認則處理計算機模式與真實之間的關係。

圖3改進圖2並以一般使用的流程圖形式予以資訊顯示，其中展示了所認為適當代數公式的潛在用途。

該過程始於說明真實世界中(所需的知識)試驗及實驗或調查。基於對真實世界行為的感知，概念模式遂以詳細(文字)說明開發的過程，之後再進一步發展成為(一組)數學關係。從這些解(或解決方案)可以透過從高度複雜程度逐步降至較不太複雜的程度地分解確定，再施加近似直到此種程度，以使問題得以同時以足夠的準確度及可接受的解決方案效果被解決（例如在時間及計算機性能）。

計算機模式計算方法的理論基礎宜由一或多個沒有參與模式開發，但完全精通於火災現象及計算技術基礎科學的專家進行審查。這種審查宜包括對文件完整性所進行的評估，特別是數值的近似值。審查者儘量能利用公開的科學文獻來證明所使用方法是否具有足夠的科學證據。用於代碼之常數及預設值數據的準確度及適用性，也應在計算方法及用途的範圍中予以評估。這是特別相關如當數值常數數據使用於對特定情境可具有特定值

時。作輸入數據之實際上限及下限變量宜明確界定，以將應用限制到已被證實範圍的適用性。

在分解成可被處理系統的步驟之間，必須進行查證及確認的處理，以便能永久地檢查解決方案中可能的誤差來源；由於火災相關現象數學公式的複雜性，在圖3範例顯示明細，那是不須要為（經驗）計算方法進行評估，也就是代數公式，其他也涵蓋在文件中及表示在分流框中。

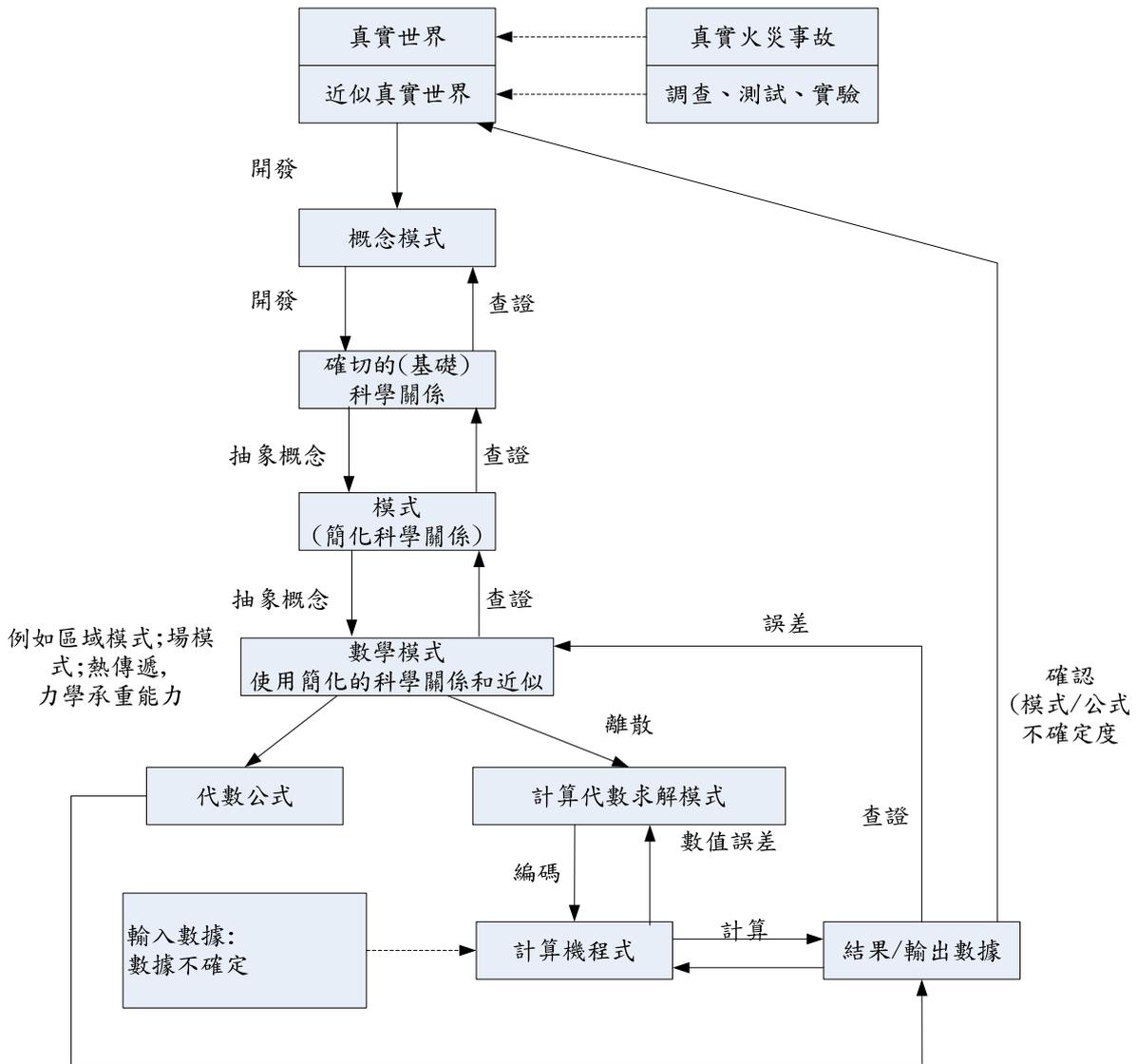


圖3—模式查證及確認步驟流程圖

該方法不僅只限於火災延燒及類似的問題，但也可以適用於人的行為及移動、結構行為及風險評估計算方法的確認及查證（風險=發生機率 × 結果；參照 ISO16732-1）。

5.2 查證

查證是確認計算方法的執行能準確地展示開發者的概念說明及計算方法之解決方案的過程。除非被執行的方程式能正確地解決問題且該執行能準確地展示開發者的概念說明及計算方法之解決方案，這並不意味著該控制方程式本身的適當性。

查證過程的目的，在於檢查代碼的正確性並評估數值誤差，可分為三類的控制：捨入誤差、截尾誤差及離散化誤差。捨入誤差是因為計算機使用有限值位數來表示實數所導致；截尾誤差這種現象發生於當連續過程被限定數位所取代時；例如，當無窮級數被限定數位所截尾或迭代在符合收斂準則後被終止的情況；離散化誤差發生在導數被均差之離散模擬所近似化的過程。計算方法的查證宜包括所使用方法的分析，並討論其於特定選擇情況下所固有的局限性。

5.2.1 編碼檢查

程式碼可透過手動或通過使用碼的結構基礎，來檢查計算機編碼中的不規則性及不一致性，這也適用於編碼修訂。將用於檢查碼及發現任何缺陷的技術與方法被詳細且清楚的識別及記錄下來，增加該程式可靠處理數據能力信心程度，但卻無法對該程式的使用提供任何適合度或準確度。誤差呈現未必會導致程式的失效，但將這些“錯誤”予以文件化，將能減少使用的功能受到影響。

5.2.2 時序及空間離散化

數學模式通常以差分或積分方程式的形式來表示。該模式一般而言相當複雜，且其分析解決方案通常難以找到。數值技術在尋找近似解方面係屬須要。在數值方法中，連續的數學模式被進行離散，亦即，透過離散以求得數值模式的近似值。離散化是在時間及空間（格子）所完成的。

連續的數學模式可被許許多不同的方式離散成許許多不同的離散模式。要取得連續模式解決方案的良好近似值，離散模式必須模擬連續模式的屬性及行為。這意味著，當離散參數（時間步驟，空間網格等）降低時，離散的解決方案宜被收斂到連續問題的解決方案（當其存在時）。這能在一致性及穩定性的要求被滿足後實現。一致性係指離散模式在某種意義程度上，接近於連續模式，亦即一種範數。穩定性意味著誤差項並未隨程式的進展而增加。

空間及時間離散的誤差形式順序宜予以解釋及討論。其可能無法被徹查，但在查證方程式實施成離散數值形式的過程，分析係屬必須完成過程的一部分。

許多有關火災的問題涉及到不同物理過程的相互作用，如化學或熱過程及機械反應。與該過程相關的時間及空間尺度基本上可能不同，這往往導致數值計算的困難。因此，在求解微分方程式時，必須對時間及空間的步驟做出選擇，以確保穩定性（特別是相對於瞬時計算的時間步驟）及計算的足夠收斂。有些數值技術可以被利用，以便動態性的監視離散參數在穩定性及準確度要求的符合性（例如，就空間離散而言，將後驗誤差估計耦合到動態網格細化）。建議利用這種方法，特別是，例如在區域模式中所遇到之非線性問題的時間穩定性議題。在這種情況下，編碼文件宜廣泛解釋這是如何被完成，且解決所使用算法有效性的數值實驗宜被呈現。對於特定的計算，這不會阻止使用者執行時間及空間收斂的研究；這個任務應被系統性地完成及離散參數的選擇留給使用者。

5.2.3 迭代收斂及一致性試驗

檢查概念模式以作為電腦程序執行的正確完成是很重要的。為了這個目的，以下的程序在適用時宜被執行。

- a) 檢查殘餘誤差準則。
- b) 檢查輸出變數的穩定性。
- c) 應用總體檢查於適當數量的守恆。
- d) 在可能的範圍內，對分析解決方案進行比較。
- e) 與已知且已被查證及確認之更完整模式中所獲得更準確的解決方案進行比較。
- f) 為不限流量問題檢查人工邊界條件的影響。

5.2.4 查核模式的數值處理

模式查證的關鍵部分在於方程式及方法的確保，這在說明方法的文件中已被指出並按預期實施。這些包括了文件的評估，在計算機編碼中執行方程式及分析所使用的離散與數值方法。

5.3 確認

5.3.1 一般

本節提供計算方法的準確度應用範圍確定程序。須要嚴密的確認程序，去設定計算方法的適用範圍及確定計算方法在可接受範圍的準確度，這適用於本標準所涵蓋之任何型式的計算方法，相關性是有效預測工具，並且被以相同方式作為計算機模式使用相似方法查證。

一般的閉合型式解決方案不存有火災的問題，即使是最簡單的情況。也就是說，這種類型的問題不存在於閉合形式解答。然而，有兩種檢查可以做到此點。第一種類型是，透過個別演算法對實驗工作進行確認。第二個簡單的實驗則如傳導及輻射，其結果是屬漸近似的，及對於這些現象某些部分提供解析解。例如，對於簡單的無火災單室測試案例，溫度應漸近及平衡到單一數值。而模式應能夠複製這種行為。最後，在對其中具有解析答案的情況下，可對情境計算解決方案，儘管這些可能不會自然發生。

代數方程式或計算機模式與實驗的比較之間差異，是從預期使用的計算方法的觀點，基於計算方法不確定度的程度是對真實世界的準確再現(確認)，以及在開發者的計算方法概念說明及解的誤差(查證)。

本標準規定二項程序，其中任何可由當事人引導確認所遵循。這些都是”盲的”及”開放”的確認程序。在盲的程序，當事人進行確認只應由被確認具備實驗的初始及邊界條件行使計算方法是需要的，包括任何參數(例如熱釋放率)，這些模式的預測能力沒有被測試，當事人不做任何正在被確認的計算方法輸出實驗測定的存取。在開放程序，當事人是具備實驗的初始及邊界條件，以及被行使前正在被確認的計算方法輸出參數測定的計算方法，有關於這個問題的文獻中使用的其他定義，如”先驗”、”後驗”、”全盲”

及”半盲”。本標準採用及使用只有兩個術語，”盲”及”開放”，如上定義，覆蓋範圍條件在確認過程將會遭遇。

有幾個優點及這兩個確認過程的利弊^[20]，他是由當感興趣當事人決定那個過程最符合他們的需要，本標準的使用者將遵守以下開放或盲任一確認程序的要求。

宜被使用在開放或盲任一確認程序的過程說明在5.3.2及5.3.3。

在所有情況，確認宜定義比較度量，然後宜選擇值的性質比較，模式的總熱釋放率確認並不表示模式其他參數被確認。數個模式行為交互作用能導致與總熱釋放曲線的同意，而是用不正確燃燒項目熱釋放產物的考慮。

區域模式主要解決每層的總體質量及能量平衡，此模式確認過程第一步驟將會是核對熱釋放及質量損失率，然後比較每層相關的值，如層界面、溫度及組成，可以完成的。

為計算流體動力學(CFD)模式，總體及局部能量、質量、質量每種及動量的確認有被確認，完整模式的確認將需要總體數據如總質量損失或熱釋放率(HRR)，及局部數據如氣流速度、局部氣體成分及局部溫度。

5.3.2 開放確認程序

沒有要求開放確認程序稽查，宜遵循開放確認過程的程序顯示如下：

- a) 行使計算方法前當事人進行確認，由他們的計算方法預測是已經或是考慮到實驗的初始及邊界條件，以及輸出參數的測定。
- b) 行使計算方法前使用計算方法的邊界條件及輸入值宜已建立及文件化。
- c) 在任何情況下計算方法被重新進行，變動用於輸入值的實驗邊界條件，除了在風險評估的不確定度分析部分，其中在實驗數據不確定度的影響是被檢查。

5.3.3 盲確認程序

盲確認程序要求稽核員去確認本節規定的程序是被遵循。此稽核員也許被引導任一根據，要求被公認的組織執行確認或更正式的根據ISO 19011及ISO /IEC 17021-1”第一”或”第二方”稽核，或”第三方稽核及認證”。在ISO 9000系列標準的稽核及程序綜合在(參考)附錄A。本標準使用者滿足以下任一要求，使用者稽核計劃設計，或根據ISO 9000系列標準的要求及指引。

盲確認過程的程序如下：

- a) 當事人進行確認只宜由被確認具備實驗初始及邊界條件去行使計算方法是需要的，當事人不宜有任何計算方法輸出的實驗測定存取是正被確認的；
- b) 盲確認過程只能是當進行新的確認實驗使用，或當確認實驗無法公開使用及當事人進行確認存在；

- c) 確認過程使用的實驗規範，包括初始及邊界條件，如此計算方法的分析宜有足夠詳細的所有必要輸入數據；
- d) 根據確認的目的，某些參數如熱釋放率也許在確認使用作為邊界條件及輸入計算方法中使用，為這樣的確認行事宜鑑別這些參數；
- e) 當事人進行確認宜提供計算輸出的實驗測定確認之後計算方法已行使及結果，提供稽核員；
- f) 使用實驗產出結果於計算方法確認也許於行使計算方法被進行之前或之後；
- g) 在一些情況下，實驗的初始及邊界條件提供當事人進行確認，實驗後必須修改，以反映實驗的真實狀況，在這樣的情況下，如果計算是在進行實驗之前，經修改的邊界條件宜提供當事人進行計算方法重新行使確認；
- h) 在所有情況下，宜同意計算方法在邊界條件及輸入之前最終計算方法的行使及預先此計算輸出的實驗測定之釋放是正被確認；
- i) 在任何情況下計算方法可以被重新行使一次，正被確認的計算輸出的實驗測定是被釋放；
- j) 正被確認的計算方法之結果宜提供給稽核員之前計算輸出的實驗測定是被釋放；
- k) 當事人進行確認宜制定符合本標準的特定確認程序，此程序宜由稽核員啟始確認過程之前被認可。

5.3.4 確認報告

開放及盲確認過程的結果宜文件化包括如下：

- a) 實驗及測定的說明，包括在測定的不確定度(參見附錄B)；
 - b) 計算方法使用的輸入數據；
 - c) 運用已建立在量化條件上的度量的計算方法輸出與實驗數據的比較；
 - d) 運用已建立在量化條件上的度量的差異製表；
- 備考：此差異是由於計算方法中的誤差及不確定度。
- e) 實驗的邊界及初始條件及因此導致火災情境該確認是可適用的。

5.3.5 預測與數據的比較特別考量

由於從代數公式的結果大多屬於單值預測，這同樣適用於從計算機模式所得出之單值預測。單值預測應核對(實驗、調查)數據，特別是當這些都可用於問題的考慮、且如果它們係產生自一套對應的初始及邊界條件。

對於時間值與預測與數據比較，附錄C說明了兩種方法如用於量化兩曲線相似及差異，

例如，模式預測及實驗的上層溫度時間歷程。一種方法通過處理該曲線為無限維向量，然後用向量分析去說明差異。此分析提供確任火災模式定量的方法及量化實驗數據的不確定度，第二種方法，稱為正規化歐氏距離，認為整個火災期間中計算結果及測定之間的差異，此度量提供總體誤差資訊及給出編碼功能的全面概述。

附錄C介紹了兩種方法及說明其應用。

5.4 機率模式的理論及實驗基準審查

機率模式用來作為風險評估一部分的方程式，通常由情境所定義空間中之機率函數所定義的風險及那些從其他容易獲得的機率導出之所需機率。公式正確性的審查宜回答以下問題。

a) 模式是否僅使用明確定義的機率變數及參數？

機率模式及風險評估通常使用經驗資料庫或工程判斷來產生機率變數及參數。單值變數或參數估計值的準確度證據是透過對估計與從獨立數據以相同方式計算的替代估計比較而得的。例如，取自專家小組的判斷值可與取自第二組專家的判斷值予以比較。在這樣的情況下，特別要注意的是，宜以專家被認為最有可能影響該判斷的特性。此外，以經驗為基礎的機率（例如引燃機率）能透過基於不同地方或不同的時間的經歷與類似的機率進行比較來查證。

風險評估的輸出變數通常是基於機率及結果，而後者是從確定性模式導出。確定性模式預測可依本標準所說明的方式進行查證。風險的組合計算，無論是對整體、子系統或其它部分的計算，都可透過與實際損失進行比較而予以確認。其中機率值是經驗基數，用於確認的損失經驗，宜取自與設置機率值同一地點及時間。

b) 按照機率法則執行機率變數、參數及計算（例如機率必須介於0及1之間）？

c) 公式採用條件機率是否全部完成？例如，對於公式 $P(A) = [P(A|B) \times P(B)] + [P(A|\sim B) \times P(\sim B)]$ ，如果表達式的第二部分被省略，則無論是 $P(\sim B)$ 或者更常見的 $P(A|\sim B)$ 為零或接近於零的明確情況表明，係屬必須。

d) 風險是否由聯結至風險機率量測的明確表達及情境結果所限定？如果不是，是否有基本的表達？

e) 定義風險的表達式是否在情境條件擷取所有可能情境？如果沒有，計算對計算被省略的情境發生影響是否全面解決？

f) 與機率變數及參數相關的不確定度在計算中有否被明確的處理？隨機不確定度及系統性偏差的來源有無被考慮及解決？

g) 如果任何方程式是從晚整形式簡化，有無比較準確度與完整的對應？

5.5 靈敏度分析

計算方法的靈敏度分析，是在具體參數變化如何由計算方法影響結果產生的研究。預測會對輸入數據的不確定度產生靈敏，嚴格至相關物理及化學的模擬及使用不適當數值的處理。設計良好及執行靈敏度分析將被用於：

a) 確定計算方法的主要變數，

b) 定義每個輸入變數可接受的範圍值，

- c) 對變動的輸入數據顯示輸出變數的靈敏度，
- d) 告知並提醒潛在使用者在選擇輸入及執行模式時有關必要照護層級及程度，及
- e) 提供哪個參數宜在大尺度實驗中進行監測的理解。

進行複雜火災模式的靈敏度分析是一項艱鉅的任務。許多模式需要大量輸入數據，並生成在一段模擬時間眾多的輸出變數預測。選擇使用的技術依賴於研究所要求的目標、結果、可用資源、以及模式分析的複雜性。附錄D為介紹可進行靈敏度方法。

5.6 品質保證

計算機程式的評估以確定對預期目的是否適當是必要的，驗證也許可用於建立計算機程式的充分性，這種程式的品質可以應用品質保證模式評估，”外部品保”對最終使用者是重要的，而”內部品保”對程式正常運作是重要的，這使得程序的使用引導兩者的評估。軟體品質屬性分類為八個特性(功能適合性、性能效率、相容性、可用性、可靠性、安全性、可維護性及可攜性)，進一步細分為子特性(參見圖4)，對於每個特性及子特性，軟體的品質宜由一組量測內部屬性來決定，特性及子特性宜由包含軟體系統提供的能力由外部範圍量測，火災安全計算方法品質保證要素是決定於方法的適合性及準確度(功能適合性)。

因為防火安全工程開發初步階段及擴展應用，火災計算方法確認需要嚴格的品質控制要求，火災發展是複雜現象，涉及非常廣泛的情境範圍及許多因素能影響其發展，火災計算方法品質保證最關鍵元素是確認範圍的決定及辨識，以及因此適用性，例如，有那些計算方法已被確認的特定火災情境?適當確認程序，論述在5.3，用於決定計算方法準確度供適合的度量及用於建立應用性範圍，是品質保證的關鍵，正確的使用火災計算方法的準確度去決定安全因素須要在更廣泛的防火安全工程背景應用，如ISO 23932要求的，是判定火災安全品質保證的最終目標。

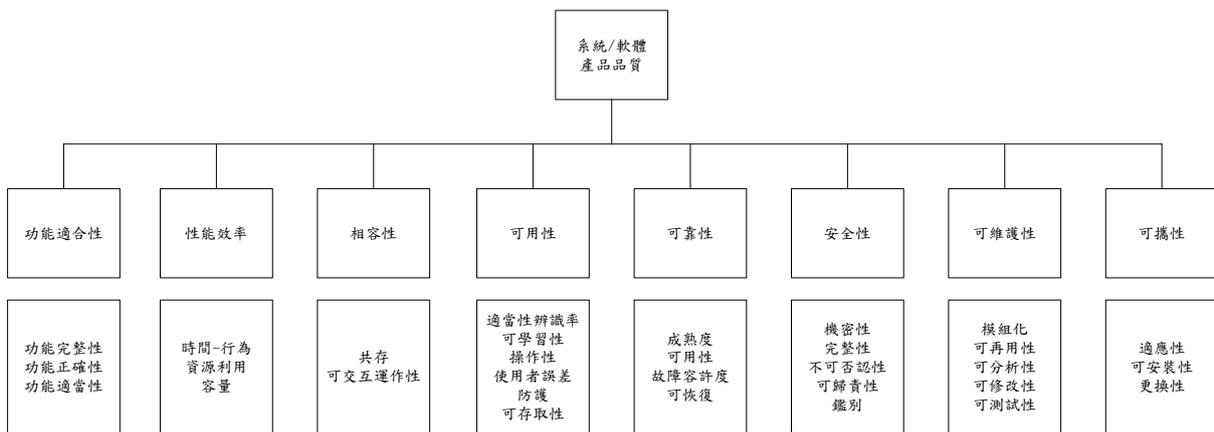


圖4 外部及內部品質的品質模式之特性及子特性說明

對計算方法的品質評估或評價，程序綱要在ISO/IEC 25000系列標準，基礎在ISO/IEC 25010：2011，及ISO/IEC 25040：2011應用，附錄E(參考)是程序簡略版。

6. 確認計算方法所要求的參考數據

6.1 一般要求

確認計算方法的參考數據可從實驗、多個類似或單一文件齊全的火災事件調查，或其他被確認的計算方法獲得，作為適當的參數及其他值進行確認。

用來定義、設置或估計的計算方法的值之數據，該值不能被用於確認。必須是獨立的數據被用於確認。

用於確認計算方法值及數據之間的差異，其值可能是由於該值的誤差或數據的誤差。

為了支持對計算方法的確認的結論，確認進行必須評估參考數據的誤差幅度及性質，及評估這些誤差對值及數據之間差異的衝擊。因此，有必要將參考數據的完整性、品質、精確度以及偏差可用於確認之前予以特徵化。

在實驗數據上，測試程序的重複性及再現性是數據來源必須進行評估。參考數據的精確度及偏差特徵數據來源可從儀器或量測設備可用的精確度及偏差特徵獲得。

對（統計）調查的數據，必須對調查設計及取得樣本的代表性進行評估。基於樣本尺度不確定度也必須調查。

至於鑑識分析數據必須說明這些數據是如何被收集。

從其他確認計算方法的數據，從這些方法的確認與精確度、偏差及來源的特徵及誤差的幅度在一起的證據是必要項。

參考數據的收集條件及由計算方法所假設條件之間的對應關係亦需要予以評估。這包括了初始及邊界條件。例如，如果實驗所提供之群體避難性能的參考數據只針對年輕、健康成年人組合的，則這些數據將不足以確認計算方法被應用到更多混合的群體。

有必要對整個計算方法予以確認，並個別確認其子系統及子模式。每個這些級別的確認為適當的數據必須被識別及獲得。

必須對應用於原始數據之任何減少、轉換或解釋程序進行評估，以便產生適用於確認所使用的參考數據。例如，如果原始調查數據只限於被選定城市中的高層辦公建築，那在其他國家之其他城市的其他類型、高度的建築的適用性將是不確定的。此種不完全的符合必須被注意及評估。

評估由計算方法的開發參考數據之產生及審查的獨立性是必要的。

計算方法的充分確認須要對全方位案例及條件的全方位輸出進行評估。須要參考數據支持作為完整評估的可能，並須明確註明輸出範圍及案例評估的任何限制，如果可能在確認成功完成的計算方法的應用限制形式。例如，如果實驗數據僅適用於天花板溫度，則其在房間其他地方溫度的計算方法預測並沒有直接被確認。

6.2 確認數據的特定要求

首先是模式或分析技術的預測與適當的數據比較，正如本標準前言綱要，模式是理論概念的實現，實驗數據是真實世界的表現必須明確，在此情境確保適當的模式及輸入數據代表正在使用的實驗是重要的，這兩種表示有限制及固有誤差，及此兩者適當的不確定性陳述必須包含在比較，正確性確認的感覺是該模式得出相應的答案為輸入數據表示該情境在考慮之下。

確認過程包括輸入數據的有效性範圍的陳述。

該數據包括，在一般情況

- 保證環境數據的完整性(例如，在建築物的溫度梯度或建築物室內及室外之間的溫差，風效應)，及
- 使用正確的特性數據；如果使用常數，靈敏度分析必須顯示在輸出的影響；如果使用常數代替，例如，與溫度相關的變數，必須評估這種模式或計算方法適用範圍近似(對照上文)的結果。

應參考從文獻來源中取得的數據，文獻的實例是手冊、標準、期刊、研究報告，當同儕審查的文獻數據不可用，這些數據應當對證據進行查驗。

同樣的原理應用，任一計算方法或模式獨立的真實世界現象再現熟悉程度，這些也許使用於預測火災過程在建築物或避難過程，或兩者，而人的行為方面也可能影響結果及宜基於相同原理評估，在確定性的火災模式數據看，例如ASTM E1591-00。^[3]

附錄 A
(參考)

CNS 12680系列標準稽核指引

A.1 範圍

本附錄概述包含在CNS 12680系列標準稽核計劃的政策及指引。

A.2 參考文獻

參考文獻CNS 12680：2016[77]、CNS 14809：2013[78]及ISO/IEC 17021-1：2015[79]列於參考書目。

A.3 稽核政策、定義及導引概要

CNS 14809：2013規定稽核在品質管理系統的要求，稽核是用於確定滿足品質管理系統要求的程度，第一方稽核是指揮，或代表，該組織本身內部目的，並能形成組織的自我符合聲明基礎，第二方稽核是由組織的客戶或其他客戶代表人員進行，第三方稽核是由外部獨立組織進行，這些組織，通常被認可，並提供如CNS 14809：2013符合證明或登錄與要求。

CNS 14809：2013提供品質管理系統稽核指引，稽核基礎的原則是被討論的，這些原則幫助使用者瞭解稽核主要的性質及在瞭解載於CNS 14809：2013導則是重要的，指導建立及管理稽核計劃、制定稽核計劃目標，及協調也提供稽核活動，以及指導相關管理系統稽核員及稽核團隊的能力及評鑑，不同學科在CNS 14809：2013導則的特定應用，包括安全管理系統是在附錄中提供。

ISO/IEC 17021規定了管理系統的第三方認證要求及包含在CNS 14809導則基本的部分，ISO/IEC 17021也包含管理系統認證稽核的要求，CNS 14809提供所有使用者指導，包括小型及中型組織，並集中在通常稱為”內部稽核”(第一方)及”客戶對供應商進行稽核”(第二方)，第三方認證稽核的要求包含在ISO/IEC 17021。

附錄B
(參考)
不確定度

B.1 測定數據的不確定度

B.1.1 一般

多數 B.1 係取自 Tylou 及 Kuyatt^[1]。

B.1 是在模式確認經驗提供輔助實驗者表達其測定不確定度及模式使用者判斷實驗數據有效性。並非所有發表的實驗數據都包含數據不確定度的資訊。

在一般情況下，測定的結果大都是受限於測定的近似結果或特定值，因此，其結果唯有在附有不確定度的定量敘述時，方可說是一項完成的測定。在所使用的國際度量衡委員會的方法中，任一量測結果的不確定度通常由幾個部分組成，可根據用於估算其數值的方法分為兩類：

- A類：藉用統計方法評估；
- B類：藉由其它平均值評估。

不確定度通常分為兩個部分：隨機性及系統性。量測不確定度以被估計的標準偏差來表示，又稱為標準不確定度並以建議的符號 u_i 來代表，及等於正平方根的估計變異數 u_i^2 。A類不確定度分量可透過統計估計標準偏差 s_i 來表示，等於正平方根的統計估計變異數 s_i^2 ，而自由度相關聯數值則以 v_i 來表示。對此種標準不確定度的分量， $u_i = s_i$ 。相同的，B類不確定度分量由值 u_j 來表示，其可被認為是近似對應標準偏差；等於 u_j^2 的正平方根，可被認為是對應變異數的近似及建立於所有可用資訊的假設機率分佈而得。由於數量 u_j^2 被看作是變異數而 u_j 則被視為標準偏差，對於這樣分量，標準不確定度被簡化為 u_j 。

B.1.2 A類標準不確定度的評估

A類標準不確定度評估，可以根據處理數據的任何有效統計方法。一例是使用最小二乘法來計算一系列獨立觀察平均值的標準偏差來將一條曲線擬合數據，以便估計曲線的參數及其標準偏差。本附錄並不試圖給出進行統計評估的詳細統計技術。進行比較的細節參見[9-12]。

B.1.3 B類標準不確定度評估

B類標準不確定度評估通常是建立於利用所有可用的相關資訊，其中可能包括科學判斷在內。

- a) 以前的測定數據，
- b) 相關材料及儀器的行為與特性、經驗或者一般知識，
- c) 製造商的規格，及
- d) 校正及其他報告所提供的數據，以及從手冊取得之分配給參考數據的不確定度。

由於不確定度分量評估的可靠性取決於可用資訊的品質，因此建議其中測定所需的所有

參數被改變至確實可行的最大程度，以使評估能盡可能基於觀測到的數據被進行。只要可行，採用建立在測定過程經驗模式的長期量化數據，而對所使用可以指示測定過程是根據統計控制的檢查標準及控制圖表，宜盡力取得其不確定度分量的可靠評估。

B.1.4 組合標準不確定度

量測結果的組合標準不確定度，建議使用符號 u_c ，用來表示結果的估計標準偏差。使用組合標準偏差的通常方法所組合各個標準偏差 u_i 而得，無論是來自A類或B類評估所產生。這種方法通常被稱為“不確定度傳播定律”或“及的平方根法”。組合標準不確定度 u_c 是一種廣泛使用不確定度的量測。

B.1.5 擴充不確定度

雖然組合標準不確定度 u_c 是用來表達許多測定結果的不確定度，但通常還需要一種關於測定結果之時間間隔的定義方法， y ，在其中， Y 的測定值可被確信地宣稱為存在(lie)。這一量測被稱為“擴充不確定度”，其建議符號為 U ，並通過涵蓋因數乘以 $u_c(y)$ 而得，其建議符號為 k 。因此， $U = kU(y)$ 並且可以確信地宣稱 $y - U \leq Y \leq y + U$ ，通常寫為 $Y = y \pm U$ 。

在一般情況下，涵蓋因數 k 被選作期望信賴度，通常， k 的範圍為2至3，在常態分佈及 u_c 具有可忽略的不確定度，假設 $k = 2$ 定義了具有大約95%信賴區間，而假設 $k = 3$ 則定義了大於99%的信賴區間。目前國際上的做法是使用 k 值等於2。

B.1.6 報告不確定度

要報告量測不確定度，則須報告用來獲取它的 U 及連同的涵蓋因數 k ，或者報告 u_c 。當報告測定結果及其不確定度時，須包括以下在報告本身的資訊或引用發布的文件：

- 表列標準不確定度的所有分量及其自由度，在適當情況下，以及得到的 u_c 值；各分量應根據用於估計其數值的方法來識別（統計或其他平均數）；
- 詳細說明標準不確定度的各成分如何被進行評估。

附錄 C
(參考)
確認方法範例

C.1 一般

火災模式確認的關鍵在於量化模式預測及實驗測定或兩個模式預測或兩個實驗數據集之間差異的能力。這些技術已看過是使用在比較模式及實驗、比較模式彼此之間、及比較在即時系統所用之探測器對火災探測及預測數據的模式預測為有效的。

C.2 功能分析方法

在本附錄說明的第一個確認方法使用被稱為功能性分析的數學技術。該功能分析係為線性代數、分析及幾何的概括。這是1900年左右Hilbert及其他人的研究成果。功能分析在一些領域變得越來越重要，其中包括涉及微分方程式的理論物理、經濟學及工程學，以及數值方法、近似理論議題及應用數學技術。向量表示法對問題予以說明，而在這些向量上的適當操作可被定義為允許基本物理系統特性的定量分析。初級向量操作是一種範數、一種向量長度及內積的度量、以及一種兩個向量之間角度的度量。

以獲得的兩個曲線全面比較，這種單點比較可以擴展到多個點。其中每個這些曲線可以表示為多維向量，並在每個時間點被定義為額外的維度。使用此種向量符號，最大值簡單比較的直接延伸是實驗及模式數據向量差的範數。

範數的概念對向量的長度提供了定義。兩個向量之間的距離是兩個向量長度的差異。它以符號 $\|\cdot\|$ 表示，其中 \vec{x} 是n-維向量 $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$ 的映射。對於這個例子，其峰值的比較被稱為最小上界(sup)範數或基於最大絕對值一種常態。在擴展最小上界(sup)範數中，所有的數據也可以透過在每個時間點 \vec{E} 之測量值的向量來表示。該模型在同一時間點的預測可由向量 \vec{m} 來表示。這兩個向量之間的距離是向量之差的範數或 $\|\vec{E} - \vec{m}\|$ 。得以方便的將此正常化成相對差的實驗數據來表達：

$$\frac{\|\vec{E} - \vec{m}\|}{\|\vec{E}\|} \quad (1)$$

向量差的計算是因為作為比較兩條曲線的最大值的簡單例子，考慮了實驗及模式每個時間點之間的差。最初，歐幾里德範數是最直觀地被用於計算長度

$$\|\vec{x}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (2)$$

如後面將討論的，其它的幾何形狀也可用於即時比較。對於在圖C.1的實例，兩個向量之間的距離 $\|\vec{E} - \vec{m}\|$ 是14.1而其相對差為0.056。對於這些簡單的曲線，峰值的比較對整體定提供了很好的測量，幾乎是相同於公式(1)的整體比較，因為這兩條曲線被選擇為不同之處僅在峰值。至於對更複雜的曲線，最大值的比較可能不是好的指標。本附錄後面將對此介紹幾個範例。

當差 $\|\vec{E} - \vec{m}\|$ 與相對差 $\|\vec{E} - \vec{m}\|/\|\vec{E}\|$ ，提供實驗數據及模式預測之間差的測量，其他的計算則對差的來源提供了有用的資訊。當比較向量時，基本上有兩種幾何向量來考慮：兩個向量之間的長度差與角度(非零)。內積 (\vec{x}, \vec{y}) 的兩個向量是兩個向量的長度及其間角度餘弦的乘積，或

$$(\vec{x}, \vec{y}) = \|\vec{x}\| \|\vec{y}\| \cos(\angle(\vec{x}, \vec{y})) \quad (3)$$

或

$$\cos(\angle(\vec{x}, \vec{y})) = \frac{\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} \quad (4)$$

選擇內積為標準點積，給出了符合典型歐幾里德幾何觀念的結果

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (5)$$

對於這個例子，其餘弦 $\cos(\angle(\vec{x}, \vec{y})) = 0.99$ 。在視覺上，兩個向量之間的這種角度表示兩個向量形狀的度量符合良好。當角度的餘弦趨近一致時，曲線的整體形狀成為相等的。

在一般情況下，內積是簡單的函數，其當成兩個向量並返回至一數。該數目可以是實數或複數；對我們而言，只有真正的內積才會被考慮。下列的原則對內積及範數提供了的足夠定義，以便能夠執行向量的計算。^[13]

	內積	範數
I	$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle \geq 0$	$\ \vec{x}\ \geq 0$
II	$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = 0 \Leftrightarrow \vec{x} = 0$	$\ \vec{x}\ = 0 \Leftrightarrow \vec{x} = 0$
III	$\langle \alpha \vec{x}, \vec{y} \rangle = \alpha \langle \vec{x}, \vec{y} \rangle$	$\ \alpha \vec{x}\ = \alpha \ \vec{x}\ $
IV	$\langle \vec{x} + \vec{y}, \vec{z} \rangle = \langle \vec{x}, \vec{z} \rangle + \langle \vec{y}, \vec{z} \rangle$	$\ \vec{x} + \vec{y}\ \leq \ \vec{x}\ + \ \vec{y}\ $
V	$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \overline{\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle}$	

這些原則為歐氏空間中的其他幾何形狀提供了適當的規則來定義內積及範數。Hellinger將另外三個定義，正割、歐幾里德與正割的混合考慮在內。為了保持一致性，該範數可用內積來定義。確保使用於計算中之範數及內積定義的適當性與一致性。由於向量及本身之間的角度被定義為零，因此由公式（3）導出

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \|\vec{x}\|^2 \text{ 或 } \|\vec{x}\| = \sqrt{\langle \vec{x}, \vec{x} \rangle} \quad (6)$$

Hellinger在函數 X 的內積，使得 $x(0) = 0$ ，這是基於函數一階導數定義

$$\langle x(t), y(t) \rangle = \int_0^T x'(t) y'(t) dt \quad (7)$$

對於離散向量，可以最初差值給定近似值：

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{i-1})(y_i - y_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \quad (8)$$

基於曲線之一階導數或正切，Hellinger對內積及範數對兩個向量形狀的比較提供了靈敏測量。Hellinger在內積的變化可基於所述正割而非正切來定義如

$$\langle x(t), y(t) \rangle = \int_{pT}^T \frac{(x(t)-x(t-pT))(y(t)-y(t-pT))}{(pT)^2} dt \quad (9)$$

其中 $0 < p \leq 0.5$ 限定了正割的長度。正割內積為 $p \rightarrow 0$ 的限制係為 Hellinger 積分。對於離散的向量，可將之近似至類似於 Hellinger 幾何

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{\sum_{i=1, s}^n (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{t_i - t_{i-s}} \quad (10)$$

當 $s = 1$ 時，正割定義等效於離散 Hellinger 內積。正割內積及範數依 p 或 s 的值，提供數據的平滑程度，從而更好的向量之間的大尺度差異測量。對固有小尺度雜訊的實驗數據或數值不穩定的模式預測，正割提供一種過濾以與基本無雜訊曲線的整體功能的形式進行比較。最後，歐幾里德及正割內積的混合提供歐幾里德範數的順位排序與正割函數形式的比較之間的平衡。從上面的原則中，可得知兩個內乘積之及也是內積。在本標準中，歐氏內積及正割內積的簡單的加權總及是被考慮的，或

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i + \frac{1}{n-s} \frac{\sum_{i=1, s}^n (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{t_i - t_{i-s}} \quad (11)$$

加權因子使歐幾里德內積及正割內積對組合中的貢獻相等。

圖C.2示出了數據與三個模式預測對比的簡單例子。模式1僅是將實驗數據乘以0.9。模式2具有與模式1相同的峰值，但峰移位了-25秒。模式3具有與模式2及模式1相同的峰值，但與實驗數據峰值中心周圍穩定狀態20秒。只有極大值的比較展示，所有三種模式是相等的與相對差為0.1。很明顯地，這種比較不足擷取三種模式之間的差異。表C.1展示利用其他內積及範數定義之三種模式的實驗數據向量及模式預測之間的相對差及餘弦。

在同一排序的模式所有的度量順位，其中以模式1最接近實驗數據，其次是模式2及3。順位排序符合比較上的視覺判讀。模式1顯然是最好的，具有相同的功能形式及正確峰值定時，但比實驗數據略低。相反的，模式2的峰值與實驗顯著偏移，呈現最壞的情況。儘管模型3不具有正確的峰值類型（細長的穩定狀態而非尖銳的峰），但確實呈現正確的一般形式。

模型1的相對差與所有度量相同的，就如同它本來就應該是如此。通過選擇，模型1的向量形式 \vec{m} 簡化為 $\vec{m} = 0.9\vec{E}$ 。因此，相對差， $\|\vec{E} - \vec{m}\|/\|\vec{E}\|$ ，不管範數的定義，就是 $\|\vec{E} - 0.9\vec{E}\|/\|\vec{E}\|$ 或 0.1。同樣的，在所有的比較中，模型1及實驗之間的角度餘弦是 1.0。

雖然歐幾里德相對差及餘弦兩者對所有模式的順位適當，餘弦對模式預測之間並未提供許多差異。而 Hellinger 及正割值則提供了更廣泛的範圍，因為他們具體地比較實驗及模式的函數形式。

模式 CFAST 與五種不同實尺度火災試驗的比較範例展示於表C.2。這種技術由下列組成。

- a) 在一簡單幾何單室被選定使用軟墊家具，其具良好特點及實際火源作為燃燒項目之單房試驗，^[14]
- b) 一間單室火災試驗使用家具作為火源^[15]提供類似以更實際火源進行測試的第一個試驗，
- c) 一個三房配置中，一系列簡單的穩態燃氣燃燒器火災的11次重複試驗的平均是被引

用。

d) 考慮比前面數據集更複雜的氣體燃燒器於多室配置中所進行的一系列火災試驗^[16]，及

e) 進行一系列全尺度實驗以評估區域煙控系統，與無加壓梯間。^[17]

試驗e)是在一個八層的飯店中進行，其中每層樓有多個房間且一座樓梯間連接各個樓層。從這些相同測試所得之數據被選用在在本標準中，以提供使用範數及內積之量化等效比較的例子。其中的幾何、實驗測量及模式預測細節是可用的^[18]。表C.1提出了混合相對差範數、公式(1)、及從這五個試驗數據選擇實驗數據向量及模式預測之間角度餘弦。為了更好理解這些量化的比較，圖C.3展示出了包含在表C.2變數之一的實驗數據及模型預測。

圖C.3展示單室試驗上層溫度的比較。在該試驗中，兩個測定位置都可從實驗數據中得知。預測溫度表現出與量測值明顯的相似性。兩個測定位置峰值在相似的時間點，與可比較的上升及下降。對於這兩個位置，峰值溫度高於模式預測，其中一個位置稍高於其他位置。無論是相對差範數及餘弦都反映了這些趨勢。用於實驗位置之一的相對差範數稍高(0.36與0.31)，這反映了此測定位置較高的溫度。在所有類似曲線形狀中，兩個曲線的餘弦顯示了類似的值(0.93及0.95)。

在實驗及模式的檢查，該技術提供了對幅度與函數形式一致比較量化與目視檢查比較的能力。

表C.1—使用幾種不同的內積的定義比較“虛構”的實驗數據與三個模式預測

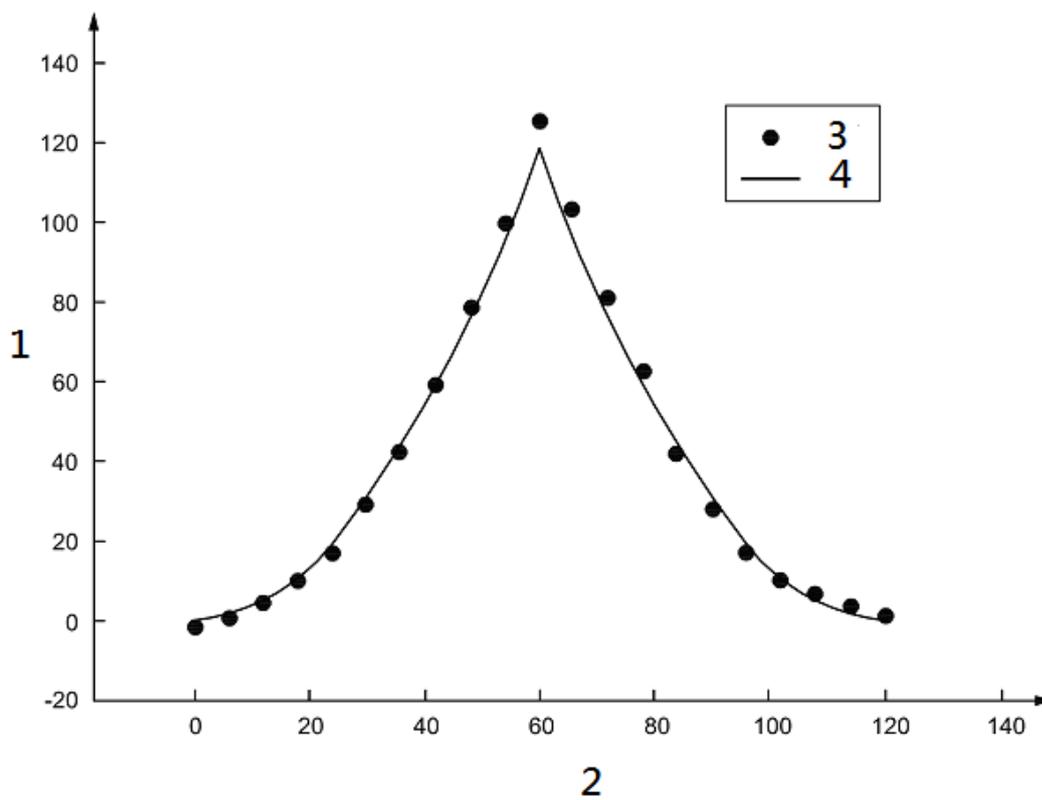
幾何學	模式	相對差	餘弦
歐基里德	1	0.10	1.00
	2	0.40	0.92
	3	0.20	0.98
Hellinger	1	0.10	1.00
	2	0.94	0.58
	3	0.74	0.77
正割	1	0.10	1.00
	2	0.92	0.58
	3	0.66	0.83
混合	1	0.10	1.00
	2	0.64	0.78
	3	0.43	0.91

表C.2—幾個試驗的實驗測定及模式預測的比較

試驗模式	位置/區劃	相對差	餘弦	相對差	餘弦	相對差	餘弦
溫度及位置		上層溫度		下層溫度		界面位置	
單室家具試驗	1	0.31	0.95	0.47	0.92	1.38	-0.60
	2	0.36	0.93	0.63	0.78	0.63	0.78
三房試驗與走廊	1	0.25	0.97	-	-	-	-
	2	0.26	0.99	-	-	-	-
	3	0.26	0.98	-	-	-	-
四房試驗與走廊	1	0.51	0.93	0.33	0.95	2.26	0.06
	2	0.54	0.91	0.52	0.87	-	-
	3	0.36	0.97	0.78	0.86	-	-
	4	0.20	0.98	-	-	-	-
多層建築	1	0.28	0.97	-	-	-	-
	2	0.27	0.96	-	-	-	-
	7	2.99	0.20	-	-	-	-
氣體濃度		氧氣		一氧化碳		二氧化碳	
單室家具試驗	1	0.48	0.90	0.93	0.66	0.69	0.93
四房試驗與走廊	1	0.85	0.53	1.05	0.61	1.16	0.63
	2	0.93	0.39	1.02	0.57	0.90	0.63
多層建築	2	0.74	0.68	0.72	0.90	0.87	0.93
熱釋放、壓力及通風口氣流		熱釋放		壓力		通風口氣流	
註：當對比較數據不可用時，表值是被標記-							

表C.2(續)

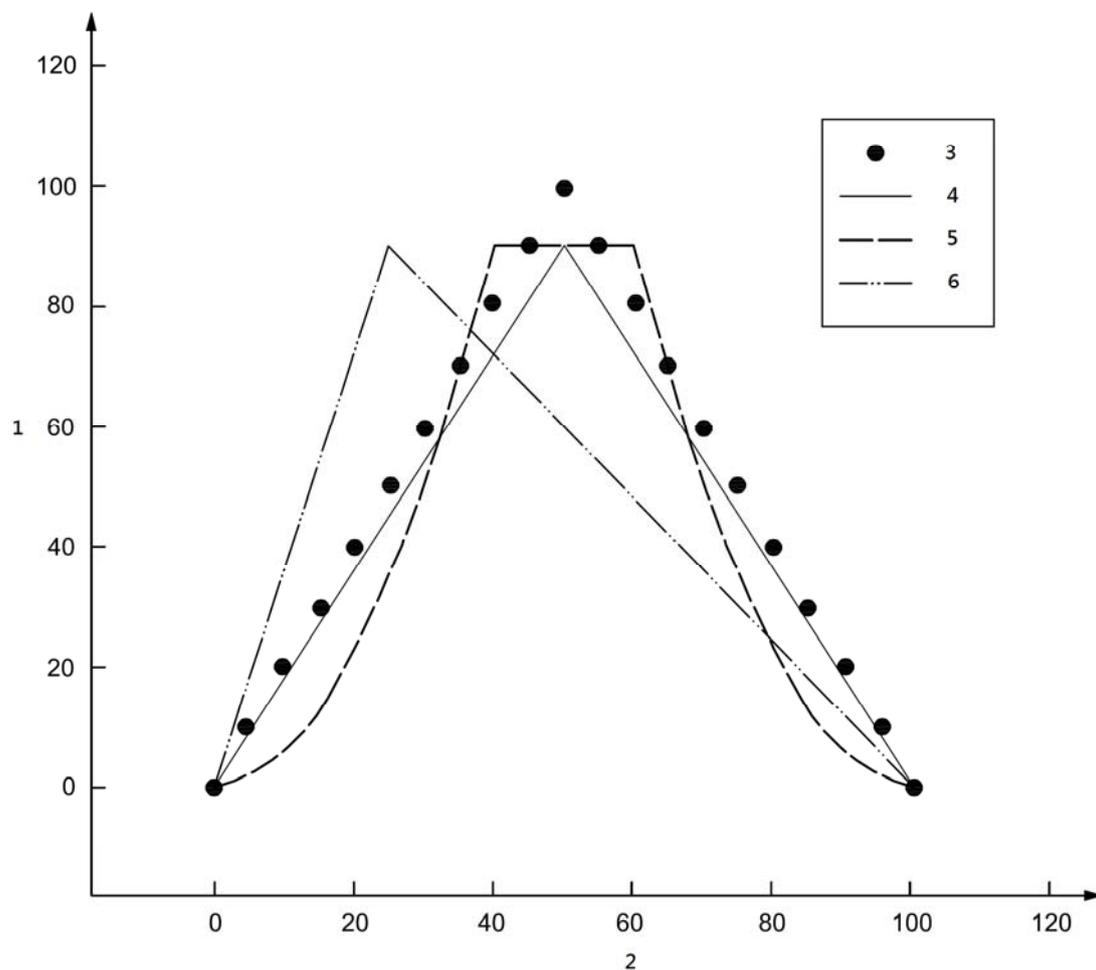
試驗模式	位置/區劃	相對差	餘弦	相對差	餘弦	相對差	餘弦
溫度及位置		上層溫度		下層溫度		界面位置	
單室家具試驗		0.19	0.98	-	-	0.61	0.79
單室試驗與牆燃燒		0.21	0.98	1.31	0.80	-	-
三房試驗與走廊	1	0.43	0.98	0.15	0.99	0.14	0.99
	2	-	-	0.68	0.98	0.20	0.98
四房試驗與走廊		-	-	6.57	0.74	-	-
多層建築	1	-	-	1.12	-0.41	-	-
註：當對比較數據不可用時，表值是被標記-							



說明

- 1 測定
- 2 時間
- 3 實驗
- 4 模式

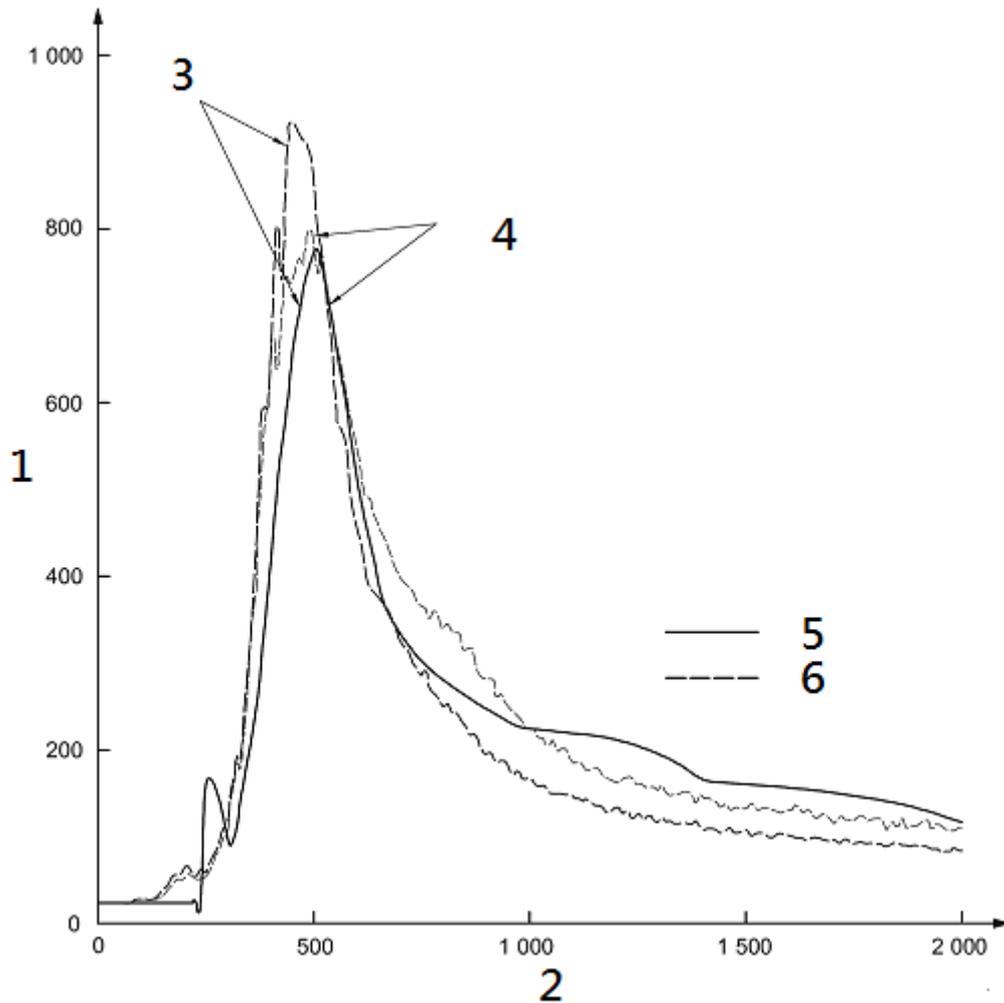
圖C.1—實驗數據與模式預測比較的簡單例子



說明

- 1 測定
- 2 時間
- 3 列6對列7
- 4 列6對列9
- 5 列6對列11
- 6 列6對列13

圖C.2—實驗數據一例的三種可能模式預測



說明

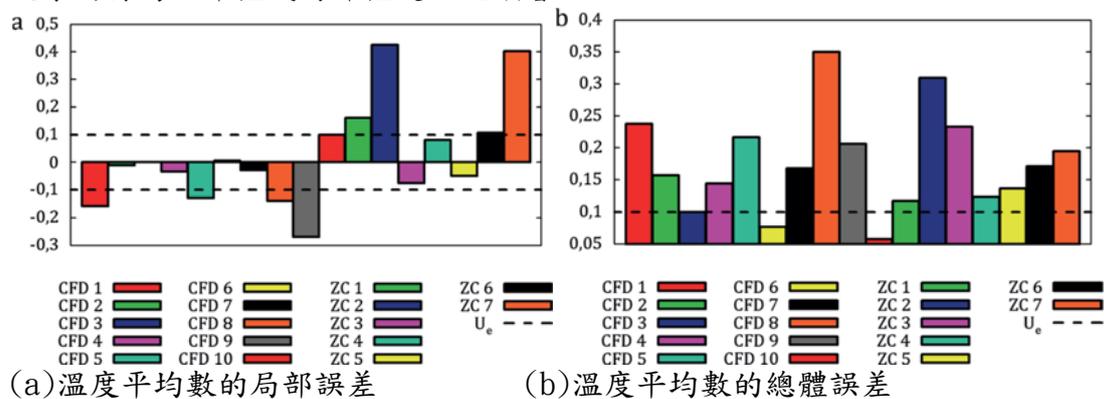
- 1 溫度 (°C)
- 2 時間 (S)
- 3 相對差=0.36；餘弦=0.95
- 4 相對差=0.31；餘弦=0.93
- 5 模式
- 6 實驗

圖C.3—單室試驗上層溫度的比較

C.3 歐幾里德方法

第二個範例是由PRISME基準組中的OECD實驗研究計劃架構合作工作^[21]，這個數值研究包含17個參與者使用8個火災模式(3個CFD或場模式及5個區域模式)，確認過程目的的定義在評估數值模式也是一個關鍵議題，明顯的，在確認過程選擇比較數量及度量直接取決於預期使用，實驗在一個密閉及機械通風區劃全尺度池火組合，計算被限定在”開放”，因此，牆及燃料性質是被規定以及燃料燃燒率、通風條件及試驗數據，確認過程，是整個火災持續期間六個量比較：氣體溫度、氧氣濃度、牆壁溫度、牆壁總熱通量、區劃壓力及通風流率，兩個度量使用於模

式量化評估，第一個度量，在火災模式確認作業也使用USNRC及EPRI^[22]，考慮數值及實驗結果被表示在最大值之間差異項，此度量僅考慮瞬時值，並表現為局部誤差的測定，第二個度量，稱為常態化歐幾里德距離，考慮計算數值結果及持續火災期間測定之間的差異，此度量提供總體誤差資訊及給了一個編碼的全面檢視能力，研究顯示計算機確認過程規範考慮多於一個度量的重要(圖C.4顯示一個結果範例)，在此項作業，度量能力的評估在一個密閉區劃火災案例顯示時間相依現象的行為，峰值或局部值是如此顯著。



圖C.4 溫度平均數的局部(a)及總體(b)誤差

附錄D
(參考)
靈敏度分析方法

兩種基本方法可獲得靈敏度資訊：

a) 局部法這些方法能為一組特定的輸入參數進行靈敏度量測，以及必須重複的輸入一系列參數，以獲得對整體模式的性能資訊。

有限差分法可以在不修改模式方程式組下被應用，但必須謹慎選擇輸入參數以獲得良好的估計值。直接法輔助模式解方程式組與從模式解方程式組導出靈敏度方程式，[6]靈敏度方程式是接著在合取解與模式的方程式系統得出靈敏度。直接法必須納入一個火災模式的設計，並且不經常可用於已經存在的火災模式。

b) 總體法產生被平均輸入參數的整體範圍靈敏度量測。

總體法須要輸入參數機率密度函數的知識，尤其是在一般未知的火災模式情況下。

局部法是最容易應用的，如果輸入資訊的範圍已知，則總體法較為適當，例如防火安全工程的風險計算。

即使可能定義靈敏度及建立各種方法對其計算，但在靈敏度分析上仍有相當的困難。Iman及Helton^[7]注意到以下一些使分析變得困難的計算機模式之複雜屬性：

- 許多的輸入及輸出變數；
- 模式的行為會存在著不連續性；
- 輸入變數之間會存在著相關性，以及相關的邊際機率分佈往往是非常態性；
- 模式預測屬於輸入變數的非線性、多變量、時間相關的函數；
- 單一輸入變數的相對重要性為時間的函數；
- 一個理想情況是考慮在模式變量，及評估每一輸入數據的靈敏度可能影響總體及局部值。

此外，靈敏度方程式也具有類似的性質。對於一個給定的模式輸出及輸入，可能存在模式輸出的靈敏時間區域，其中該模式輸出係對輸入及模式輸出對相同參數不靈敏區域具靈敏性。

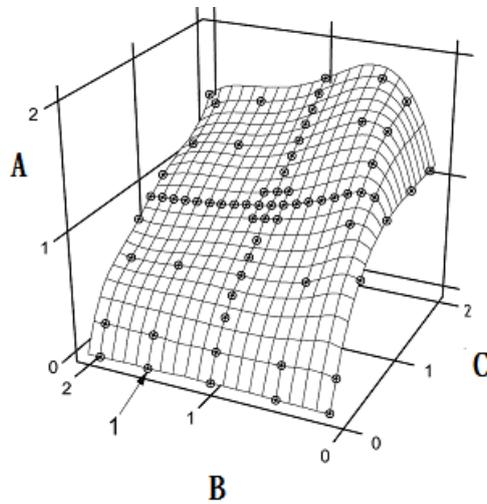
至少有兩大問題都可藉由火災模式的靈敏度分析予以解決。第一：“模式對一個特定的輸入有多靈敏？”這是一項試圖獲得相對於所有其他輸入之單一輸入重要性的整體理解。對於這個問題，模式的輸入範圍應盡可能的廣泛選擇，以代表模式的適用範圍。如此廣泛變化的模式輸出後續分析，可對被選擇輸出之輸入變數的相對重要性給出深入的了解，這種分析提供了模式行為的總體情況。

第二個問題是“指定一個特定輸入的必要性是如何？”與其理解模式的整體行為，這是為了取得對選擇輸入中不確定度之模式輸出影響的理解。在這個問題上，輸入的小擾動可能會被檢查到。如果一個特定的方案很重要，則用於此方案中的輸入擾動可被檢查。

依Iman及Helton^[7]所建議，平均相對差因此可為各個輸入及輸出的比較來特徵化模式的靈敏度。

圖D.1為一個火災模式的反應曲面，其中顯示了變化熱釋放率(HRR)的影響及上層溫度的通風口大小^[8]。其呈現了兩個HRR峰的效果及上層溫度峰的通風開口(在火災室中)。在該圖中，實際模式計算依重疊在由數據點之間樣條內插所生成的表面網格圓圈所指示的底數情境值被標準化。從表面上看來，很顯然地，HRR比通風口對峰值溫度更具影響。直到火災變為氧受限情況，表面的趨勢明顯地與預

期一致：溫度隨HRR的上升而升高及隨通風口寬度的增加而下降。當然，效應都未與HRR或通風開口呈線性關係。



說明：

- A 標準化溫度峰值
- B 標準化通風口寬度
- C 標準化HRR

圖D.1 特徵模式靈敏度的火災模式反應曲面以用於比較個別的輸入及輸出
例：改變熱釋放率及通風口尺度在上層溫度的效應

McGrattan and Toman[29]公佈一系列廣泛的計算與複雜火災模式的數值及實驗結果之間的比較，數值技術已經發展到建立複雜模式的靈敏度，當樣本有最佳化，即當計算時間是關鍵的，使得大量的計算變的昂貴，許多在防火安全工程重要應用是由計算高價的模式方程式所描述，如流體流動及其他運輸方程式的Navier-Stokes方程式，大多數這些計算高價的系統是強非線性的，線性近似如建議的ISO/IEC Guide 98-3(以下簡稱為GUM)^[23]可以被應用，但結果可能不值得信賴，因而蒙地卡羅(Monte-Carlo)模擬是被推薦，例如補稱1至GUM，^[24]這些模式已經成功應用於火災模式敏感度分析，^[25-27]特別是區域模式，^[28]然而蒙地卡羅法基於大量模式評估，因此不能實際應用，其結果，量測不確定度敘述與計算上高價模式通常遺漏或根據在原始近似值二者之一。替代方法去減少計算數(抽樣法)已經建立。

對於局部評估，許多抽樣法有特定要求，限制或假設(輸入必須是獨立的、輸出量可以局部近似為輸入量的多項式函數)，能限制其適用性，去應付及為涉及計算高價模式靈敏度評估挑戰，目前是跟隨兩種主要途徑：智慧抽樣法及替代模式。

智慧抽樣法如多項式混亂(Wiener混亂擴展)^[30-32]及拉丁(Latin)超立方體抽樣^[33,34]大幅減少函數評估數量及造成隨機抽樣比較要求計算成本。

在替代模式，計算廉價模式取代計算高價模式；統計模擬然後用於交待由替代模式、智慧抽樣法及替代模擬引入的不可避免的誤差，一個例子是關聯一個CFD模式至一個區域模式，接著去研究區域模式的靈敏度，在此情況下，在兩個模式輸

入相似的靈敏度應是連貫的。

用於報告靈敏度估計式也是很重要，不同模式的靈敏度估計式可以使用蒙地卡羅法及簡化抽樣法。執行靈敏度分析使用的技術不是等效於估計式的項目及計算成本，他們全變化於能力、限制及計算成本的項目，在參考文獻可用應用的例子，

^[28, 38, 39] 主要技術被使用

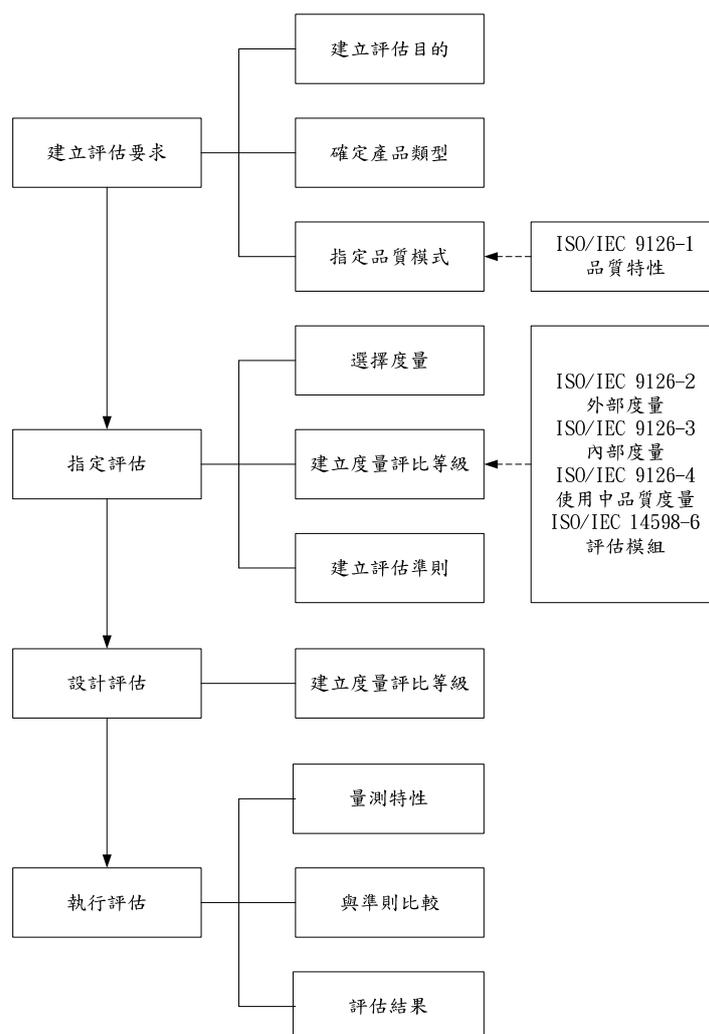
- 標準化秩迴歸係數(SRRC)，一個線性標準化迴歸係數 (SRC)變異數估計式的變式適合於非線性問題，
- Sobol指數估計首階靈敏度數量指數，
- 傅立葉幅靈敏度試驗(FAST)，^[36] 在一個傅立葉空間中多維分析被減少到一維問題，及
- 局部多項式平滑法，[37]分析點由多項式近似循環進行一個模式的近似。

附錄E
(參考)
品質保證方法

E.1 一般

本附錄概述品質保證方法在 ISO 標準於軟體開發一個廣泛條件。

評估的方法網要在圖 E.1(同時參見 5.6)及 E.2 至 E.6。



圖E.1—示意圖摘自 ISO/IEC 25040：2011

E.2 建立評估要求

E.2.1 建立評估的目的

在一般情況下，軟體產品評估的目的旨在將軟體產品品質與使用者表達的需求進行比較，甚至是透過不同軟體產品之間的比較來選擇一個軟體產品，或根據其競爭同業來進行排序。這個一般目標也許對軟體產品進行採購、開發過程、或操作條件時予以較好規定。

E.2.2 確定進行評估的產品類型

被評估的產品類型取決於評估的目的。作為第一步驟，評估者宜定義被評估的產品為中間產物（在開發生命週期）或最終產品。用來量測產品的評估可分為：外部度量，當產品是被操作之完整硬體/軟體系統的一部分時；內部度量可用來量測軟體（例如規範或來源編碼）的內部特性；量測該軟體使用於特定環境中的效果之使用中品質度量。

E.2.3 指定品質模式

為評估而指定的品質模式係為對軟體產品要求的定義參考。在此評估步驟中，所述的要求係為對相關品質特性的說明，這可根據使用者的需要而區分優先次序。

E.3 指定評估

E.3.1 選擇度量

軟體產品之品質要求的定量規範及測定只能透使用與所需品質特性有關的度量來制定。

度量可以是：

- 內部的，與軟體產品相關聯的架構、並得以預測最終產品的品質，
- 外部的，當產物在操作時的可量測性，及
- 使用中的品質，評估軟體產品的使用效果。

軟體產品評估過程中所使用度量的選擇，取決於評估目的、選定的品質特性、量測的容易性及經濟性。用於比較的度量也應該是有效及足夠準確，以得以進行可靠的比較。這意味著，量測宜客觀、有經驗、使用有效的量具、及再現性。

E.3.2 建立度量評比等級

對於每個被選定的度量，評比值應被定義為能表達被測定所要求程度之屬性的相關計量。所採用的計量能表達每個屬性的限制、識別量測值，例如無法接受、或最小限度的可接受、在目標範圍之內、或者是超過了要求。

E.3.3 建立評估基準

評估基準並不作強制性對產生用來表示產品品質之唯一指標的量測值予以總結，因為品質的特徵主要在於遵守規定的要求。在這樣的方式下，成本及進度對每個建立的要求以及其量測值也許相當的適當的。當評估過程是被用來選擇不同的產品時，其也許須從代表每個產品之感知商業價值測量值來建立一個模式，以便進行更多的客觀比較。

E.4 設計評估

E4.1 產生評估計劃

記錄評估方法及產生計劃草案需要解決下列的議題，例如

- 有關測定或查證的技術相關限制，

- 對每個測定或查證的評估方法應被記錄在文件，
- 識別用於測定的軟體工具，
- 在應用方法時，鑑定產品的組件，
- 在必要時，規範結果的解釋，及
- 環境的說明，

優化評估計劃以解決問題，如

- 修訂評估計劃草案以避免重複的評估行動，

依現有資源調整評估行動，解決如

- 測定及行動計劃時間表的程序，
- 產品及組件的傳送時程的考慮，
- 評估者及開發者之間的關係，及
- 存取開發及操作地點。

備考：當準備評估計劃，參考 ISO/IEC 25040：2011 對此議題有更廣泛的理解可能有用。

E.5 執行評估

E.5.1 採取量測

所選出被應用到軟體產品的度量，將產生所述度量的尺度值。

E.5.2 與基準比較

將量測值與所建立的規範基準進行比較。對於最終產品的測定，其值應與目標值進行比較。

量測值應被用來識別

- 產品的每個缺陷以及每個缺陷如何解決，
- 解決任何確定的缺陷所需執行的任何額外的評估；這個額外的評估能，例如，確認缺陷並不存在、或用於查證軟體的正確及可接受的性能、一旦設計變更或修改過後如何改正缺陷，
- 是否有必要限制或控制該軟體產品的使用，而在這種情況下，其限制是否對強制的要求有所影響、或需要對應用程式的設計、預算或時程進行額外的評估工作或產生影響，
- 對每個評估之任何評估範圍及/或結果限制之排除，例如：“此評估不包括對產品功能的詳細審查”，及
- 全部評估活動的整合結果，以對軟體產品的評估進行總體結論。

E.5.3 評估結果

在評估活動中，總結一組額定值及說明該軟體產品符合品質要求的程度。此總結是其他方面比較，如時間及成本。最後，基於管理的基準，作出一個有關接受或拒絕、或釋出或不釋出軟體產品的決定。評估結果影響了下一個軟體開發生命週期的步驟；例如，“資源開發過程是否應更改或需要更多的要求？”

透過兩種互補的方法進行得出結論說明：

- a) 利用闡明每個需求已獲得滿足的形式使用“要求符合聲明”的結論；
- b) 作出是否接受或不接受軟體產品的使用及考慮可能替代方案的最後決定；
例如，如果決定是不接受，則考慮修改產品或改變要求。

E.5.4 其他方面

評估者負責評估的結論，但他或她只能在評估規範規定的最終評估完全達成時方可就做此評論。評估者通常提供評估報告給評估請求者，其中可能含有一些結論，而後請求者將根據該報告而結束評估。這是因為最後的評估會考慮到組織的策略決策，例如成本、適合實施及所需的時間等因素。

E.6 範例指引(摘自ISO/IEC 25040：2011)

E.6.1 度量及測定基準的選擇

度量的選擇取決於產品業務目標及評估者的需要。需要通常都透過量測基準來規範。ISO/IEC 25040：2011模式支持多種評估需求，例如

- 使用者或使用者的業務單位可以利用使用中品質的度量來評估軟體產品的適用性，
- 採購方可利用外部量測之功能性、可靠性、可用性及效率的基準值或使用品質對軟體產品予以評估，
- 維護者可使用維護度量來評估軟體產品，
- 負責在不同環境中執行軟體者，可使用可攜性度量來評估軟體產品，及
- 開發者可利用任何品質特性的內部量測，針對準則值及使用的軟體產品進行評估。

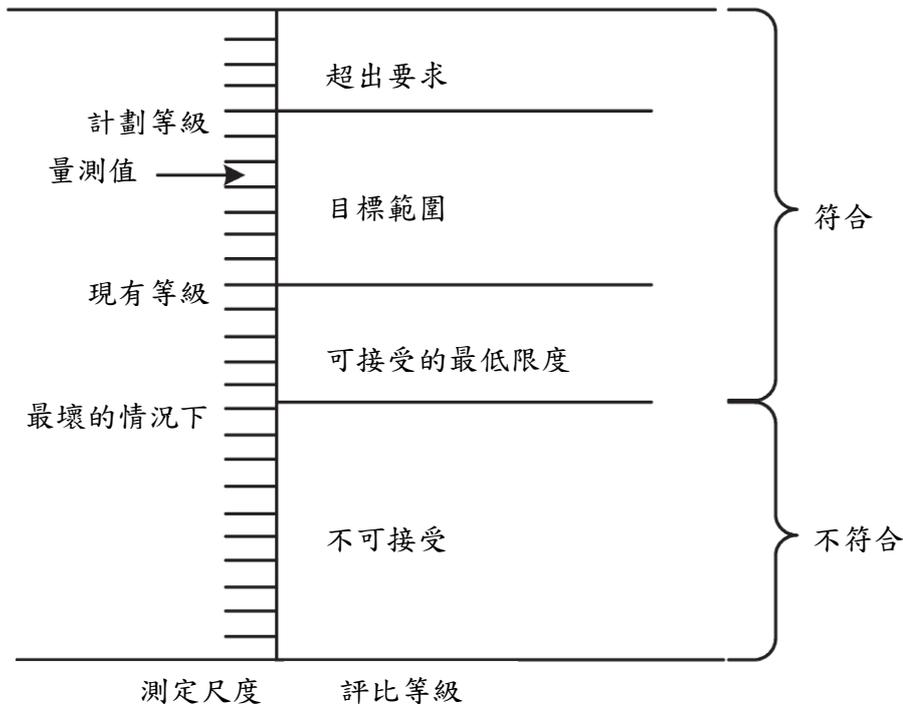
備考：ISO/IEC 25040：2011 提供選擇對軟體產品評估度量及量測準則之要求及導引。

E.6.2 度量評比等級

量化的特徵可用定量的品質度量來量測。其結果，即量測值，被映射在尺度上。這個值本身並不顯示滿意的程度。為了這個目的，尺度分割成對應於不同程度的要求的滿意範圍。範例如下

- 劃分尺度為兩類：不滿意或滿意，

- 一 劃分比例為四類，由現存的現有等級、或為替代產品、或最壞的情況、以及計劃的等級。現存的現有等級被規定來控制新的系統不會自目前的情況惡化。計劃中的等級係指依現有的資源被認為可以實現的程度。最壞的情況等級是指使用者接受的邊界限制，以防產品不符合計劃等級（見圖E.2）。



圖E.2—用於度量評比等級

E.6.3 評估度量：建立評估基準

軟體品質要求的規格應使用適當、定義良好的品質模式來定義。因此，宜使用ISO/IEC 25040：2011所述之品質模式及定義，除非有使用另一種模式的特定原因存在。

為了評估產品的品質，有必要概括不同特性的評估結果。評估者宜為此準備一套為不同品質特性的單獨準則程序，其中每個可以是單獨的子特徵或子特徵的加權組合。該程序通常包括其它方面，例如有助於軟體產品在特定環境中之品質評估的時間及成本。

參考資料

- [1] TAYLOR, B. N. and KUYATT, C.E. *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*, NIST Technical Note 1297. 1994.
- [2] COX. G. *Combustion Fundamentals of Fire*. Academic Press, London, 1995.
- [3] ASTM E 1591-00 *Standard Guide for Obtaining Data for Deterministic Fire Models*, ASTM, Philadelphia, 2000.
- [4] BEARD. A. The Limitations of Computer Models. *Fire Saf. J.* 1992, 18 pp. 375-391.
- [5] BEARD. A. Evaluation of Deterministic Fire Models: Part I — Introduction. *Fire Saf. J.* 1992, 19 pp. 295-306.
- [6] WIERZBICKI. A. *Models and Sensitivity of Control Systems*. Wiley and Sons, New York, 1984.
- [7] IMAN. R. L. and HELTON, J. C., An Investigation of Uncertainty and Sensitivity Analysis Techniques for Computer Models. *Risk Anal.* 1988, 8 (1) pp. 71-90.
- [8] PEACOCK. R., RENEKE, P. and FORNEY, C. Issues in Evaluation of Complex Fire Models, and M. Kostreva. *Fire Saf. J.* 1998, 30 p. 103.
- [9] PATANKAR. S.Y., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. Hemisphere, Washington, 1980.
- [10] MANDEL. J. *The Statistical Analysis of Experimental Data*. Dover Publishers, New York, NY, 1984.
- [11] NATRELLA, M. G. *Experimental Statistics*, NBS Handbook 91, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 1963; reprinted October, 1996.
- [12] BOX. G. E. P., Hunter, W. G. and Hunter, J. S. *Statistics for Experimenters*. John Wiley & Sons, New York, NY, 1978.
- [13] KREYSZIG. E., *Introductory Functional Analysis with Applications*. John Wiley and Sons, New York, 1989, pp. 63-4.
- [14] BABRAUSKAS. V., Upholstered Furniture Room Fires — Measurements, Comparison with Furniture Calorimeter Data, and Flashover Predictions. *J. Fire Sci.* 1984, 4 pp. 5-19.
- [15] LEE. B. T., Effect of Wall and Room Surfaces on the Rates of Heat, Smoke, and Carbon Monoxide Production in a Park Lodging Bedroom Fire, *Natl. Bur. Stand. NBSIR*, U.S, 1985, pp. 85-2998. p.
- [16] HESKESTAD. G., and HILL, J. P., Propagation of Fire and Smoke in a Corridor, *Proceedings of the 1987 ASME:JSME Thermal Engineering Joint Conference 1987*, Honolulu, HI, 371-379.
- [17] KLOTE. J.H., Fire Experiments of Zoned Smoke Control at the Plaza Hotel in Washington DC, *Natl. Inst. Stand. Technol. NISTIR*, 1990, pp. 90-4253. p.
- [18] PEACOCK. R. D., JONES, W. W., and BUKOWSKI, R. W., Verification of a

- Model of Fire and Smoke Transport. Fire Saf. J. 1999, 21 pp. 89–129.
- [19] Babuska I., & Oden J.T. Verification and validation in computational engineering and science: basic concepts. Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 2004, 193 pp. 4057–4066.
- [20] Dey M. Blind versus Open Fire Model Validation: Issues, Pros & Cons”, Deytec, Inc. Technical Report No. 2011-01, Yellow Spring, West Virginia, USA, October 2011. www.deytecinc.com/store/c14/Quality_Systems_Development.html.
- [22] Najafi B. Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, Volume 1: Main report, Technical Report NUREG-1824 and EPRI 1011999. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research (RES), Rockeville, MD 2005/Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, 2006.
- [23] ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*.
- [24] ISO/IEC Guide 98-3/Suppl.1:2008, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) / Supplement 1: Propagation of distributions using a Monte Carlo method*.
- [25] Elster C., & Toman B. Bayesian uncertainty analysis for a regression model versus application of GUM Supplement 1 to the least-squares estimate. Metrologia. 2011, 48 pp. 233–240.
- [26] Bich W., Cox M.G., Harris P.M. Evolution of the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Metrologia. 2006, 43 pp. S161–S166.
- [27] Garthwaite P.H., Kadane J.B., O’Hagan A. Statistical methods for elicitation probability distributions. JASA. 2005, 100 pp. 680–700.
- [28] Allard N. Fischer, F. Didieux, E. Guillaume, B. Iooss. Evaluation of the most influent input variables on quantities of interest in a fire simulation. Journal de la Société Française de Statistique. 2011, 152 (1). Available at: http://smf4.emath.fr/Publications/JSFdS/152_1/pdf/sfds_jsfds_152_1_103-117.pdf
- [29] McGrattan K.B., & Toman B. Quantifying the predictive uncertainty of complex numerical models. Metrologia. 2011, 48 pp. 173–180.
- [30] Wiener N. (October 1938). The Homogeneous Chaos. American Journal of Mathematics (American Journal of Mathematics, Vol. 60, No. 4) 60 (4): 897–936. doi.: JSTOR 2371268.
- [31] Processes S., & Series O.P. Lecture Notes in Statistics, Vol. 146 by Schoutens, Wim, 2000, XIII, 184 p., ISBN 978-0-387-95015-0.
- [32] Xiu D. Numerical Methods for Stochastic Computations: A Spectral Method Approach. Princeton University Press, 2010.

- [33] McKay M.D., Beckman R. J., Conover W. J. A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code (JSTOR Abstract). *Technometrics* (American Statistical Association) 21 (2): 239–245. doi: . ISSN 0040-1706. JSTOR 1268522. OSTI 5236110 (May 1979).
- [34] Iman R.L., Helton J.C., Campbell J.E. An approach to sensitivity analysis of computer models, Part 1. Introduction, input variable selection and preliminary variable assessment. *J. Qual. Technol.* 1981, 13 (3) pp. 174–183.
- [35] Sobol I.M. Sensitivity estimates for nonlinear mathematical models. *Mathematical and Computational Experiments.* 1993, 1 pp. 407–414.
- [36] Cukier R.I., Fortuin C.M., Schuler K.E., Petschek A.G., Schaibly J.H. Study of the sensitivity of coupled reaction systems to uncertainties in rate coefficients: Theory. *J. Chem. Phys.* 1973, 59 pp. 3873–3878.
- [37] Da Veiga S., Wahl F., Gamboa F. Local polynomial estimation for sensitivity analysis on models with correlated inputs. *Technometrics.* 2009, 51 (4) pp. 452–463.
- [38] Iooss B. Revue sur l’analyse de sensibilité globale de modèles numériques (Review of global sensitivity analysis of numerical models) [in French]. *Journal de la Société Française de Statistique.* 2011, 152 (1). Available at: http://smf4.emath.fr/Publications/JSFds/152_1/pdf/sfds_jsfds_152_1_3-25.pdf
- [39] Suard S. Sensitivity Analysis of a Fire Field Model in the Case of a Large-Scale Compartment Fire Scenario. *Numer. Heat Transf. A.* 2013, 63 pp. 879–905.
- [40] ISO/IEC 25010:2011, *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models* .
- [41] ISO/IEC 25040:2011, *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Evaluation process*.
- [42] ASTM E1355-97, *Standard Guide for Evaluating the Predictive Capability of Fire Models*, ASTM, Philadelphia, 1997.
- [43] ASTM E603–98a, *Standard Guide for Room Fire Tests*. ASTM, Philadelphia, 1998 .
- [44] ASTM E1472-92, *Standard Guide for Documenting Computer Software for Fire Models*, ASTM, Philadelphia, 1992.
- [45] ATKINSON. K.E., *An Introduction to Numerical Analysis*. John Wiley & Sons, Singapore, 1988 .
- [46] BABRAUSKAS. V., PEACOCK, R. D., JANSSENS, M. and BATHO, N.E., *Standardizing the Exchange of Fire Data - The FDMS*. *Fire Mater.* 1991, 15 pp. 85–92.

- [47] BABUSKA, I., and ODEN, J.T., Benchmark Computation: What is the Purpose and Meaning. IACM Bulletin, Vol. 7, No. 4, Oct. - Dec. 1992.
- [48] BEARD. A., On Comparison Between Theory and Experiment. Fire Saf. J. 1992, 19 pp. 307–308.
- [49] BEARD. A. Reliability and Computer Models Journal of Applied Fire Science. 1993-94, 3 (3) pp. 273–279.
- [50] BELYTSHENKO. T., HUGHES, J. R. T., Computational Methods for Transient Analysis. North-Holland, Elsevier Science Publishers, 1983.
- [51] BS 476 *Fire Tests on Building Materials and Structures Part 32: Guide to Full Scale Fire Tests Within Buildings*, British Standards Institution, London, 1989.
- [52] CILIA. M. A. and GRAY, W. G. Numerical Methods for Differential Equations. Prentice-Hall, 1992.
- [53] DAVIES. A. D. Some Tools for Fire Model Validation. Fire Technol. 1987, 23 pp. 95–114.
- [54] FIRE MODELLING. BRE Digest, 367, 1991.
- [55] FRIEDMAN. R. An International Survey of Computer Models for Fire and Smoke. J. Fire Prot. Eng. 1992, 4 pp. 81–92.
- [56] Guidelines for Model Developers, Model Evaluation Group, European Communities Directorate-General XII Science Research and Development, Commission of the European Communities DG X11/0/1 Rue de la for 200 B-1049 Brussels, Belgium, May 1994.
- [57] JACOBS. D. A. H. ed. The State of the Art in Numerical Analysis, Academic Press, London, 1977.
- [58] JARVIS. J.P., KOSTREVA, M.M., FORNEY, C.L., Tools for Validation and Analysis of Fire Models Combustion Institute/Eastern States Section. Chemical and Physical Processes in Combustion. 20th Fall Technical Meeting. Abstracts. November 2-5, 1987, Gaithersburg MD, 103 pp.1-4, 1987.
- [59] JOHNSON. C. Numerical Solutions of Partial Differential Equations by the Finite Element Method. Studentlitteratur, Lund, Sweden, 1987.
- [60] KAHANER. D., MOLER, C. and NASH, S. Numerical Methods and Software. Prentice-Hall, Inc, USA, 1989.
- [61] KHOUDJA, N., Procedures for Quantitative Sensitivity and Performance Validation of a Deterministic Fire Safety Model, NBS-GRC-88-544, National Institute of Standards and Technology .
- [62] MAGNUSSON. S.E., FRANTZICH, H., and HARADO, K., “Fire Safety Design Based on Calculations- Uncertainty Analysis and Safety Verification”, ISSN 1102-8246, ISRN LUTVDG/TVBB–3078–SE, Department of Fire Safety Engineering, Lund University.

- [63] MICHELL. A.R. and GRIFFITHS, D. F., *The Finite Difference Method in Partial Differential Equations*. John Wiley and Sons, 1980.
- [64] MITLER. H. E.. *Mathematical Modelling of Enclosure Fires*. Numerical Approaches to Combustion Modelling, ed. ORAN, E. S. and BORIS, J.P. Progress in Astronautics and Aeronautics 135, pp. 711–753, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1991.
- [65] Model Evaluation Protocol, Model Evaluation Group, European Communities Directorate-General XII Science Research and Development, Commission of the European Communities DG X11/0/1 Rue de la for 200 B-1049 Brussels, Belgium, May 1994.
- [66] NELSON. H. E. and DEAL, S. Comparing Compartment Fires with Compartment Fire Models”, *Fire Safety Science - Proceedings of the Third International Symposium*, ed. by COX G, and LANGFORD, B. pp. 719-728, Elsevier, New York, 1991.
- [67] NORDTEST Method NT FIRE 025, *Surface Products: Room Fire Tests in Full Scale*, NORDTEST, Helsingfors, Finland, 1986.
- [68] PEACOCK. R. D. BABRAUSKAS, V. Data for Room Fire Model Comparisons. *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.* 1991 July- August, 96 (4).
- [69] PORTIER, R. W. Fire Data Management system FDMS 2.0 Technical Documentation, NIST TN 1407, National Institute of Standards and Technology, U.S., Feb. 1994.
- [70] PORTIER, R. W. Programmers’ Reference Guide to FDMS File Formats, NISTIR 5162, National Institute of Standards and Technology, U.S., April, 1993.
- [71] RAHAKRISHNAN. K., *Combustion Kinetics and Sensitivity Analysis Computations*. Numerical Approaches to Combustion Modelling, ed. ORAN E.S. and BORIS, J.P. Progress in Astronautics and Aeronautics, pp. 83 - 128. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1991.
- [72] ISO/TS 16733:2006, *Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires*.
- [73] ISO 16734, *Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Fire plumes* .
- [74] ISO 16735, *Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Smoke layers*.
- [75] ISO 16736, *Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Ceiling jet flows*.
- [76] ISO 16737, *Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Vent flows*.

References for Annex A

[77] CNS 12680:2016, 品質管理系統—基本原理與詞彙。

[78] CNS 14809:2013, 管理系統稽核指導綱要。

[79] ISO/IEC 17021-1:2015, Conformity assessment — Requirements for bodies providing audit and certification of management systems — Part 1: Requirements.

附錄六 防火安全工程-火災風險評估-第1部：一般(草案)

Fire safety engineering — Fire risk assessment —

Part 1: General

緒論

本標準是由使用風險評估基準方法的防火安全從業人員所使用，任何防火安全從業人員均可能使用這些方法。所有的防火安全決策均牽涉到不確定度，不確定度的數學表達方式為機率，而風險評估是防火安全性分析中最廣泛使用機率，因而是最廣泛處理所有類型的不確定度的形式。

防火安全從業人員類型的例子包含消防安全工程師，主管機關，例如地政主管官員，消防單位人員，法規的執行者，法規的制訂者，保險人員，消防安全管理人員與風險管理人員。本標準的使用者應具備適當的資格，並能勝任消防安全工程及風險評估的工作。使用者瞭解使用的方法之應用限制尤為重要。

風險評估之前要進行兩個步驟：建立背景環境，包含需要達成的消防安全目標，將要進行的火災風險評估的目標，及相關的事實與假設；以及確認各種需要評估的危險。"危險"是可能造成傷害的事物。

火災風險評估的目標包含建築環境，例如大樓或其他建築結構，的任何部分之設計與控制。對於設計的火災風險評估，包含風險分析，對於設計應用時，其預計產生的傷害之機率與嚴重性，以及對此風險之可承擔度的評估。

火災風險評估可在重要的機率性特性，例如起火可能性或是防火措施的可靠度等方面，用於支援新建或現有建築環境，例如大樓，的火災防阻或火災防護決策。火災風險評估也可用於建立安全相關準則，評量提案之成本與風險減低的效益之平衡，或是檢視嚴重事件的特定可承擔風險。火災風險評估也可用於提供一般性的準則，或支援確定性分析中狀況及其他因素的抉擇。

火災風險評估的使用，符合部分 ISO 23932 及所有應用於本標準之任何 ISO 23932 規範。ISO 23932 確認火災風險評估的不同應用。其中一項限定目標的應用，在於確立確定性分析中火災情境設定的可管理數量。此一火災風險評估的用途在 ISO 23932:2009, 9.2.2.2 與 9.2.2.3 當中引用。關於此一應用的其他指示，包含在 ISO/TS 16733 當中。

其他在 ISO 23932:2009, 10.1.1.2 當中的引用，是在評估提案中或已存在的設

計規畫是否符合消防安全目標時，若消防安全目標的效能基準是以機率形式呈現時，做為計算的方法。此一應用是本標準之主要設計用途。在此應用中，設計火災情境的概念，如 ISO 23932 所述，可用火災情境群組的雙重概念，以及 ISO 16732 本部分當中所使用的代表性火災情境加以進一步的說明。使用者應將代表性火災情境視為火災風險評估中使用的設定火災情境類型。"代表性" 一詞與火災情境群組的關聯性必須建立，如此基於選定狀況的計算將在依據 ISO 23932 評量火災風險所需要的效能基準上，產生可承擔的估算精確性。

1. 適用範圍

本標準透過說明進行火災風險的量化與詮釋基本原則，提供火災風險評估的概念性基礎。這些火災風險原則適用於所有火災相關的現象與最終用途配置，亦即這些原則可適用於所有火災情境的類型。本標準當中所述的原則與概念可適用於任何防火安全目標，包含 ISO 23932:2009 第 1 節所列舉的 5 個典型範例目標：

- 生命安全；
- 財產保全；
- 運作持續；
- 環境保護；
- 文物保存。

本標準是有計畫地做為未來標準的指引，提供對於特定應用，例如只有特定類型之火災情境可能發生的情況，之風險評估原則之正式的實施程序。這些未來的標準將完成由本標準所開始的所有標準化過程，在此不僅規定火災風險評估所遵循的步驟，也提供在決定量化使用的特定方法是否落在可接受的範圍之指引。

風險的量化基本原則，在本標準中以進行火災風險評估所需採取的步驟之方式說明。在 ISO/TR 13387 當中，這些量化步驟起始置於整體火災風險管理的文本內容中，然後在防火安全工程的內容中討論。再以火災風險估算的步驟來描述情境的使用，與機率的特徵化（或是緊密相關的頻率量測）及結果，引導組合火災風險的量化。指引也提供產生的資訊之使用，亦即火災風險之詮釋。最後，有不確定度分析方法的指引，在此不確定度的結合與火災風險估計是估計及解釋與評估這些不確定度的意涵。

本標準並未結構化使符合任何國家法規，或其他要求關於火災風險評估的使用，或在火災風險評估名義下進行分析的類型。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。下列引用標準適用最新版(包括補充增修)。

CNS 14651 建築物防火詞彙－ 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙－ 防火試驗用語

CNS 14996 建築物防火詞彙－ 防火安全用語

ISO 13943 Fire safety — Vocabulary

3. 用語及定義

為本文件之用途，用語及定義適用於 ISO 13943 並採用以下應用。

3.1 接受基準(acceptance criterion)

(火災風險評估計算) 定義在特定火災風險量測尺度，形成評估建築環境設計之安全性的可接受依據之定性與定量基準。

備考：採自 ISO 13943:2008。

3.2 結果(consequence)

結果或事件的結果，表達積極地或消極地，定量的或定性的。

3.3 設計負載(design load)

(火災風險評估計算) 具有相當嚴重性的火場情境，以提供評估設計是否會造成不可接受的大結果之適當的基礎。

3.4 工程判斷(engineering judgement)

由透過教育、經驗與被認可的技能等方式取得資格之專業人士所實施的程序，以補充、輔助、接受或拒收定量分析的元件。

3.5 事件樹(event tree)

建立在單一起始狀況周圍之事件因果序列、時間繪圖。

[來源：ISO 13943:2008, 4.85]

3.6 故障樹(fault tree)

建立在關鍵的結果事件周圍之事件邏輯因果關係的繪圖，通常有一項無法接受結果的程度，和可能被描述為失效。

[來源：ISO 13943:2008, 4.95]

3.7 火災風險(fire risk)

(情境) 火災機率及其結果量化量測之組合。

備考：採自 ISO 13943:2008。

3.8 火災風險(fire risk)

(設計) 頻率及與設計相關情境的結果之組合。

備考：在定義 3.8，風險是一般由單位時間的風險表示，這也是在此定義中使用頻率代替機率的理由。頻率通常是為火災情敬群組計算（見 3.16）而為代表性火災情境計算結果（見 3.15）。

3.9 火災風險，可接受(fire risk, acceptable)

(火災風險評估計算) 滿足定義接受基準的風險。

3.10 火災風險評估(fire risk assessment)

(建築環境火災風險計算) 良適定義的程序，用於估算建築環境的火災風險，以及估計火災風險在良適定義的接受基準條件的評估。

3.11 火災風險曲線(fire-risk curve)

火災風險的圖形呈現

備考：通常為累計機率對累計結果之對數/對數坐標圖；若結果是依致死率量測，則此曲線也被稱為 fN-曲線，其中 f 表示頻率，而 N 表示死亡人數。

[來源：ISO 13943:2008, 4.125]

3.12 火災風險評定(fire risk evaluation)

依據火災風險分析，估計風險對接受基準定義之可接受風險之比較。

3.13 火災風險矩陣(fire risk matrix)

矩陣顯示，其 (1) 列或行定義為各種火場情境群組的頻率範圍，(2) 行或列定義為各種火場情境設計負載的範圍，(3) 單元項目為包含在該單元的列與行之情境群組特定可接受結果。

備考：火災風險矩陣隱涵著假設設計本身在考驗建築的火災尺度與強度沒有影響，而是將火災情境視為外界施加的負載。

3.14 火災情境(fire scenario)

隨時間對火災過程的定性描述，辨識火災特徵化而與其他可能火災區別的關鍵事

件。

備考 1：採自 ISO 13943:2008。

備考 2：火災情境描述通常包含引燃與火災成長的過程、火災全盛期階段、火災衰減階段，以及將衝擊火災過程的環境與系統。不像在確定性火災分析，火災情境是個別選擇以及使用在設計火災情境中，在火災風險評估中，火災情境是以火災情境群組當中之代表性火災情境應用。

3.15 火災情境，代表性(fire scenario, representative)

由火災情境群組當中選定之特定火災情境，其結果可用來合理的估計火災情境群組當中火災情境的平均結果。

備考：其他資訊請參見 ISO/TR 13387-1:1999, 8.2.1 a) 至 f)。

3.16 火災情境群組(fire scenario cluster)

火災情境的子集，通常定義為由可能的火災情境總體完整的分區的部分。

備考 1：其他資訊請參見 ISO/TR 13387-1:1999, 8.2.1 a) 至 f)。

備考 2：此子集通常定義為火災風險的計算為所有火災情境群組頻率乘以代表性火災情境結果之總體火災情境群組加總，而不會強加不當計算的負擔。

3.17 極限狀態(limit state)

(火災風險評估計算) 結果尺度的閾值或極限值，在可接受的最大結果與不可接受的在大結果之間畫定界限。

3.18 可靠度(reliability)

在給定狀況及給定時段當中，單元將執行必要的功能之機率。

3.19 個體風險(individual risk)

火災風險的量測，限定於個體結果經驗和依據個體的生活模式。

備考：在定義中沒有蘊涵或要求接受。

[來源：ISO 13943:2008, 4.195]

3.20 社會風險(societal risk)

每一受影響個體經驗的火災風險量測結合之結果。

備考：在定義中沒有蘊涵或要求接受。

[來源：ISO 13943:2008, 4.297]

3.21 風險接受(risk acceptance)

接受估計風險程度之決定，依據符合與接受基準，或者明確的決定修改這些基準。

3.22 風險迴避(risk aversion)

在給定的兩個選項中，其頻率與結果的乘積是相等的，則優先選擇較低結果的選項。

3.23 風險溝通(risk communication)

在決策者及其他可能影響或受影響，或是認定自己可能遭受風險影響之個人，團體或組織之間，交換或分享關於風險的資訊。

3.24 風險管理(risk management)

進行達成期望風險基準的步驟、程序與支援文化。

備考：風險管理是風險評估、風險處理、風險接受與風險溝通的總合。

3.25 風險處理(risk treatment)

風險變更的措施，通常是改變設計以外的其他事務，以及用來選擇與實施此措施的程序。

備考：不用變更設計的風險修正措施，包含變更防火安全管理程序。

3.26 靈敏度(sensitivity)

系統中一個小擾動造成系統狀態巨大變化的程度之量測。

3.27 不確定度(uncertainty)

對數據、變數、參數或數學關係中系統性和隨機誤差的量化，或是未包含相關的元素。

3.28 不確定度的傳播(propagation of uncertainty)

計算風險之不確定度的數學分析，其為計算中使用之變數、參數、數據和數學關係的不確定度之函數。

3.29 變異性(variability)

變數、參數或條件機率分佈函數的量化。

4. 火災風險評估的適用性

4.1 相對確定性防火安全工程分析，火災風險評估可提供優勢的情況

發生頻率低而結果嚴重的狀況是一項考驗。在此類狀況中，要在可承擔的成本之下達成防火安全目標幾乎是不可能的，但完全忽略此類狀況也是無法接受的。權衡此類狀況的結果及其頻率，如在風險評估中的作為，將此類狀況納入計算當中，而不使其成為支配計算的唯一狀況。以下任何狀況特性可產生低頻率，高結果的狀況。

若需要考量各種的火災情境或是結果，在輸入參數的微小改變是非常敏感，其共同應對與代表所有火災情境的設計火災情境的候選清單，可能無法產生。在此情況，火災風險評估可提供使用大量代表性火災情境的分析，較具彈性的架構，以及提供選定之情境可代表所有情境之定量證明。

可靠度本質上即為機率性。火災風險評估在分析任何結果對於可靠度有高度敏感性，或是在不同的設計規格下，可靠度有相當的差異的問題，有相當的優勢。

5. 火災風險管理的概述

風險管理包含風險評估，但通常也包含風險處理、風險接受與風險溝通。風險接受標識風險評估的結論。若風險無法接受，則需要進行另一項風險評估，而在各個風險評估之後，可選擇進行風險處理。風險溝通在風險接受之後進行（見圖 1）。火災風險評估也可在選定特定設計之前，用於評估其他設計，或是在修改這些設計以符合接受基準時使用。

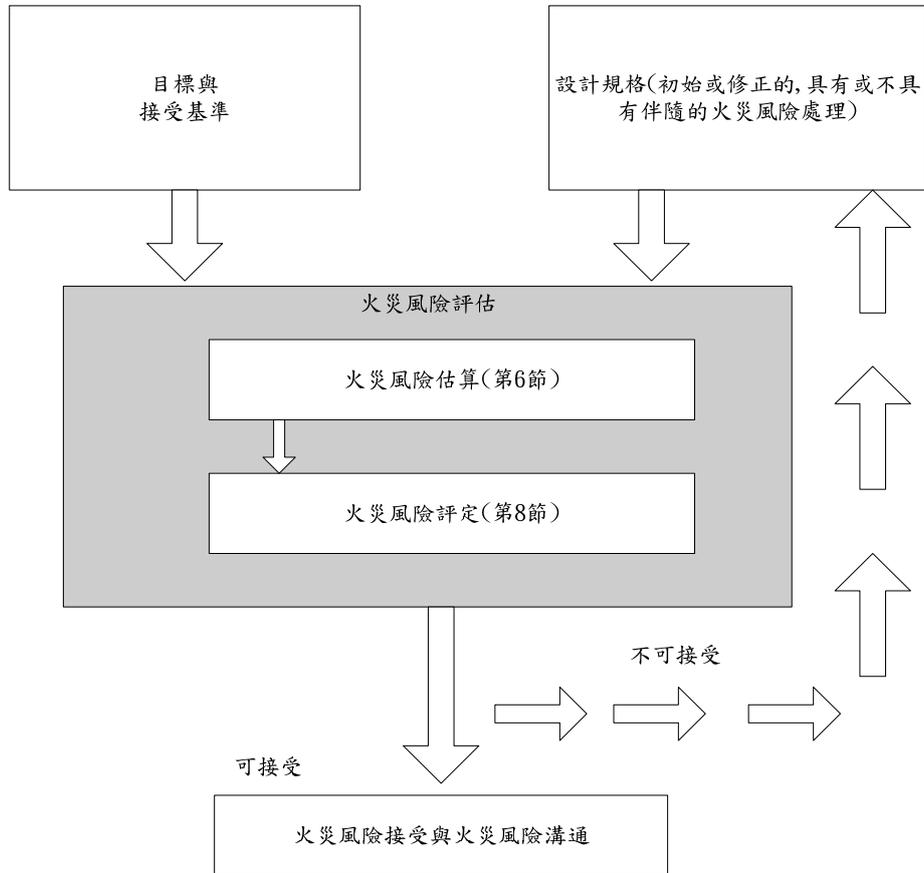


圖 1 火災風險管理流程圖

火災風險評估由設立目標與提出需要評估的建築環境之結構或其他部分的設計規格建議開始。然後開始估算與設計規格相關的風險，並加以評量。風險評量包括將估算的風險與接受基準比較。此項比較及隨後的步驟與行動在 ISO 2393:2009, 11.2 中說明。

6. 火災風險估算的步驟

6.1 火災風險估算的概述

圖 2 顯示在情境結構是明確的，且頻率與結果均已明確地以定量的方式計算之後，執行火災風險評量的步驟順序。稍後的章節將說明風險曲線、風險矩陣及其他技巧的用法，補充流程圖不足的細節。

火災風險評量以建立背景環境開始。背景環境提供一些在設立目標與設計規格所需的定量假定，以進行評量計算。例如，在為選擇設計特性時將會牽涉到許多定量的假設。若建築將會做為辦公大樓使用，即牽涉到房間的類型與面積，各類型房間的尺度，一天的型式中住戶的人數，以及住戶的混合特性。

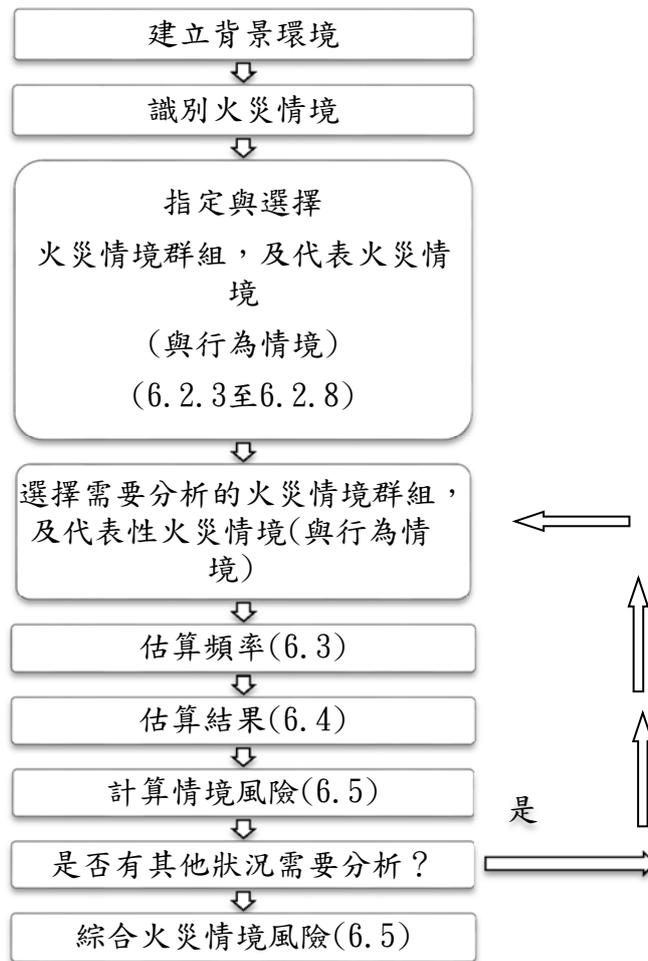


圖 2 火災風險估算流程圖

下一步驟為辨識危險，以做為規格的基礎，然後選擇火災情境群組與相關的代表性火災情境，做為估算的基礎。選擇分析要用的火災情境群組與相應的代表性火災情境，然後估算火災情境群組的頻率與結果。重複這些程序，直至所有選定的狀況與狀況群組都已進行分析。然後結合所有的情境之火災風險，計算設計的綜合火災風險。

對於確定性的評量，可選擇少數的火災情境，使用於簡化的風險計算（見 ISO/TS 16733:2006, 6.2.4）。若是用於確定性評量，最後一個步驟將不是結合火災情境的火災風險，而是選擇情境與最高的火災情境(或認知火災風險，例如如果明確考量風險規避)。替代的最終步驟並未顯示在圖 2 當中，是因為其並非火災風險估算的步驟。

6.2 火災風險評估情境的使用

6.2.1 情境規格與選擇概述

可分辨的火災情境數量過大，無法對每一個進行分析。因此，任何火災風險評估必須發展一可管理規模的情境結構，但也需要讓依此情況所做的火災風險估算在這些情境可合理地視為對整體火災風險的估算。要達成此目的之主要技術為危險的辨識，將情境結合為群組，並排除可忽略風險的情境。

6.2.2 火災情境辨識

宜依 ISO/TS 16733:2006, 6.2, 步驟 1 至 5, 系統化的辨識火災危險與火災情境。

6.2.3 將火災情境結合成為火災情境群組

在 6.2.2 當中執行的火災情境特徵化現在宜精緻直到為簡要的可能情境總體參數描述。例如，一個能辨識五種房間或區域（例如一般住戶的房間，一般非住戶的房間，逃生措施，隱密空間，外部位置），或是火災嚴重性增加率之三種範圍（例如，對應悶燒的線性成長，及對應有焰燃燒與快速燃燒，在 t -平方火災表徵的兩種 α 參數）。透過選取由每個參數的類型或範圍，使用者可定義特定的火災情境群組，這些群組結合更充分規定的情境（例如，在符合特定型式的房間中，各種特定的原點）。每個火災情境群組由一個代表性火災情境所代表，其結果將會用於特徵化群組中所有狀況的平均結果。

6.2.4 排除認為可忽略風險的情境時的注意事項

由於可能的火災情境數量非常大，若是基於可忽略的風險將某些情境排除，則將情境結合成為一套完整的火災情境群組的程序可以簡化。此一步驟宜明確地和定量地合理化，且宜只能在評斷風險可忽略之事實有強力的證據支持時，才可進行。特別要注意使用此步驟排除低頻率，高結果的情境之危險。個別發生頻率低的情境，在成為群組時可能不會是低頻率。估算為低頻率的情境，在發生頻率方面可能會有相當的不確定度，而不能確信地將其視為低頻率。

較保守的選擇程序，可得到較多罕見事件情境的群組。在此請注意保守的選擇程序與保守的估算頻率與結果之間的差異。保守的選擇程序可改善風險估算的準確度，而保守的估算會引入未知的偏差，並不能改善準確度。

6.2.5 展現火災情境的完整性

提供將潛在情境整體映射至火災情境群組，不論是應用於分析的選擇，或是明確的排除之對應關係，如 6.2.3 與 6.2.4 所述。如此將確定所有的情境均已考量，而其處理方式均已明確的選定，亦即情境的結構已完整。

若需要相互比較兩個或兩個以上候選的設計，而非以外部定義的接受基準比較，若是預期兩種設計在這些情境下的風險相似或相同，則可排除狀況群組的使用，即使如此會有相當的風險。在此，"相似" 表示預期在想要排除的情境之風險差異，相當程度地小於預期在想要在分析中使用的情境之風險差異。這些預期是基於工程判斷。由於共識性的工程判斷可能是分享對真實風險錯誤認知的結果，應此此類的排除宜儘量減少。

在所有的情境結構中，要在高頻率，低結果的情境，以及低頻率高結果的情境中求取平衡是困難的。但兩者均是重要的。

6.2.6 沒有明確情境結構的火災風險評估

有些風險評估方法並未使用明確的情境結構，例如使用風險曲線或風險矩陣的分析。即使沒有使用明確的情境結構，仍需要提供潛在的或隱含的情境結構是適當且足夠的證明。檢視關於規格隱含的假設的程序，包含或排除，以及潛在情境相對的可能性。

然後以工程判斷來辨視並紀錄這些假設偏差的來源，並建議修正分析以補償這些判讀的偏差。

6.2.7 行為情境

為了分析的目的，一般除了火災情境之外，還需要指定行為情境，在住戶的人數、特性與對應火災的行為，包含逃生，是被指定。其他有關行為變數的指引，請見 ISO/TR 16738 與 ISO/TS 16733:2006, 6.2.6。

6.2.8 選擇用於確定性分析的設計火災情境之火災風險評估

若目的為選擇用於確定性分析的設計火災情境，ISO/TS 16733 的指引說明所有分析步驟。

6.3 頻率與機率的估算

如圖 2 所示，必須依 6.2.1 至 6.2.7 所述，估算每個包含在最終情境結構的火災情境群組之頻率。6.3.1 說明替代方案頻率估算的一般方法，以及 6.3.2 與 6.3.3 依序提供估算引燃的頻率與系統狀態的機率之指引。其他的指引由 ISO/TS 16733:2006, 6.3.2 提供。

6.3.1 頻率與機率估算的方法

在此討論的機率與頻率為初始事件頻率與狀態機率，包含可靠度的量測。一些風險分析方法，例如狀態-轉變模式，需要其他的機率。有關估算所需的機率之詳細，廣泛適用的指引，見參考資料 [6]。

機率與頻率數值可由此三種方法中任一或所有獲得：(1) 直接由數據估算；(2) 從與相關之機率與頻率有關的模式推論其他的機率與頻率，例如由設備構件失效的頻率、相關的人為失誤、易引燃材料的鄰近度等推算火災引燃頻率；(3) 工程判斷。

注意頻率與機率是本身不確定度的表達式，也有附加不確定度於這些頻率與機率的估算。這些不確定度是在不確定度分析階段當中所要檢查的不確定度之部分。

在估算機率與頻率時，存在某些共同的錯誤與偏差，下列步驟是用於減低或避免錯誤與偏差的發生：

--注意人通常會低估低頻率與機率，並高估高頻率與機率。當使用判斷估算時，尋求對此一共同趨向的補償。不要補償對於低頻率之結果的蓄意高估，或是高頻率之結果的蓄意低估。

--不要假設情況與事件是統計獨立的。尋找共同原因事件，相關的高風險住戶特性，以及其他情況，其合併的機率會高於各部分機率的乘積。例如，在實務上，引燃機會增大通常與主動及被動防火系統與功能之性能與可靠度減低有關，其原因包括探測器及撒水頭的無法操作、貫穿牆壁、門受阻開啟，或是其他防火安全系統與功能的退化。

--在估算引燃頻率時，使用火災事故資料。在進行工程判斷時，對於涉及到特殊危險與性質條件的火災情境，常有高估其機率的情形，或是常常忽略尋常的火災情境，例如加熱設備或電力系統的火災。

--當選擇資料庫時，對於資料代表性的關心應不亞於資料的品質。工程師經常會倚賴對每次火災事故詳細而完整的調查所產生的資料庫。由於這些資料庫僅包含了少部分的火災，並偏向有大量傷亡與財產損失的火災，因而機率與頻率的估算時會產生誤導。

-- 防火安全系統與功能的備援對於高整體可靠度而言，既不必要且不足夠。估算可靠度時，不宜將備援視為高可靠度之可信賴的指標。

-- 不要在分析中使用估算頻率為零，從未發生或未紀錄在資料庫中的火災。相反地，使用具有可用於計算，合理的頻率之較大的情境群組，或是考慮使用極值統計方法已知為從未發的事件估算一個非零的頻率。

6.3.1.1 直接由資料估算頻率與機率

由資料估算的頻率與機率，通常是以比值的方式表達，其計算方式為以相關事件的數量為分子，而分母為給定之暴露的範圍或是事件發生的機會。頻率的分子量測包含時間單位（例如每年的事件數），人員（例如位於物業中每千人次的火災），高價物業（例如由所有建築與其內容物的總值所分類的火災），空間的實體（例如

每千棟一類型建築)或其他實體(例如每千家企業工作的此類建築的火災)。機率的分子量測包含事件的數量(例如在撒水頭防護範圍內,火災足以觸發操作的撒水頭之火災次數)。

分子或分母的資料庫可能是樣本(允許以合理的統計基準估算採樣之群體或母體的規模),或是普查型式的(整個相關群組之完整計算)。

根據資料的估算隱涵未來將與過去相同的假設。根據模式或是工程判斷的估算,不需要這些假設。

6.3.1.2 使用模式估算頻率與機率

使用模式的主要優點在於,與其他兩種估算方法不同,模式通常不僅提供分析設計所需的估算,同時也可瞭解設計變更與結果之頻率與機率的變更之間的關係,此點在原先的設計若無法在火災風險評估當中產生可接受的相關風險估算時,有其需要。

使用模式並未排除經驗或是主觀資料的需求,但會改變所需的資料類型。模式為基的估算需要能夠支援估算模式所用變數的數據資料,而非直接支援由資料估算頻率或機率的數據。關於這些模式的變數,其資料可能或多或少難以獲得。與直接使用資料的不確定度相比較,模式所需的輸入資料之不確定度,可能須要取捨模式的優點,在採用先進技術條件與基本的基礎。

最簡單的機率估算模式是貝式分析,其利用較易獲得的其他機率計算所需的機率。貝式分析是反向分析條件機率的數學技巧,因此,證據的主體(亦即,一組觀察值)可已知的機率分佈結合,可得假設相關參數的機率分佈之下的證據機率,從而得到能夠與證據最一致的參數機率分佈的最佳估算。

貝式法則,貝式分析的基礎,為一通用敘述,給定 x 之條件機率 y ,與 x 及 y 的聯合機率除以給定 y 之條件機率 x 相等。在貝式分析中,非觀測資訊,例如最佳專業估算,可以轉化為相當的觀測數值,並與觀測數據結合使用,以產生估算的機率與頻率,而不只是採樣的頻率。

貝式分析的概述請參閱參考資料 [7]。

蒙地卡羅取樣並非估算機率與頻率來源的替代方案,而是執行由特定機率分佈集合計算火災風險的數值方法。後者將做為選取特定火災情境樣本的基礎,其具有隱涵的等效加權機率,因此此一樣本的平均結果為對於整個情境總體的機率加權結果之最佳估算。關於蒙地卡羅取樣與變異數縮減的詳細指引,請見參考資料 [8] 與 [9]。

6.3.1.3 使用工程判斷估算頻率與機率

透過使用 Delphi 法或其他減低偏差並改善估算品質的步驟,可以讓不同工程師

的工程判斷更系統化與一致。Delphi 法的概述請參閱參考資料 [10]。Delphi 法與其他方法的比較，參閱參考資料 [11]。

工程判斷可以以點值或範圍的方式進行。後者將受估計量之間較少偏差的支配，將足以在風險矩陣或其他定量火災風險評估程序中使用。工程判斷基礎的估算之導出指引，參閱參考資料 [12]。

6.3.2 初始事件頻率

使用損失經驗做為頻率分子計算的資料，可以是特定的研究中建築，共用一個共同位置或業主，或是任何較大的特性聚集適於國家或國際資料庫的類型所有建築。這些的每一選擇在呈現關連性、可達成之詳細程度，資料可存取性以及支援精密估算的資料庫規模等方面均有其優劣點。

頻率的估算，可透過計算由部分而非所有火災情境特性估算所得的頻率得到。例如，由於工廠生產區域當中設備產生的火花而引起工廠火災的頻率，當其發生，將是由於火花合由工廠生產區域火災開始的頻率。在此計算中，重要的是不可未經舉證即假設統計獨立性。獨立性需要證明不只是假設。

在初始事件當中，違反獨立性最嚴重的事例在共同原因事件火災，例如地震同時引起多處火災引燃，並損壞撒水頭管路。每個火災及撒水頭管路的損壞均為罕見事件，但是聯合事件的頻率並非等於處理每個造成火災的特性之無條件性機率所得之低值，特定的火災發生，在給定其他特性之下要有效的估算，火災會具有此特性的條件機率。由於地震是共同原因，如此計算將會不適當地複合多特性事件的不可能性。如果地震發生，其本身未必可能的，則所有其他特性便成為可能。

6.3.3 狀態機率與可靠度

當引燃發生，每個防安全功能或系統將會有替代的可能狀態，例如探測器可能連接或未連接至電源、撒水頭的閥門開啟或關閉，以及門開啟或關閉。任何可能影響情境的頻率或結果的狀態條件必須被定址的，對此狀態要求機率的估算。

其他條件也有其狀態機率。對於行為情境的處理時，住戶人數，位置與條件均有重要的相關狀態機率。對於估算火災成長與住戶移動可能路徑時，常見移動的內容物之數量、位置與燃燒特性均有重要的相關狀態機率。

狀態機率指的是在引燃的時間條件。可靠度通常指的是引燃後事件的機率，例如探測器或撒水頭是否啟動，結構構件是否有無法接受的變形，而無法持續承受其載重。可靠度機率為成功或失效的機率，其中 "失效" 是指全面或部分無法執行要求的功能，而不僅只無法啟動。對於承重之結構構件，"失效" 通常是指崩塌。對於主動式火災防護系統，"失效" 一詞可用在只有當啟動未發生，或也可用於當啟動的結果是不可接受或與設計規格未一致。

這些是非引燃頻率的機率，但也需要火災風險評量的事例。行為情境將也需要估算頻率與機率。

可靠度適用於任何性能可能影響火災發展過程的建築物或產品的設計功能的性能，因而有助於所發生的火災情境規格及與其相關的結果之風險。也可能其設計功能的性能是由部分成功或部分失效的範圍的較好描述。

6.4 結果的估算

在圖 2 所顯示的估算程序，結果必須依 6.2.1 至 6.2.7，估算每個包含在最終情境結構的代表火災情境。6.4.1 至 6.4.3 描述結果估算的替代方法，分別為使用損失經驗、模式或是工程判斷。其他的指引由 ISO/TS 16733:2006, 6.3.3 提供。

6.4.1 結果估算的一般考量

結果估算通常包含計算程序整體連鎖的發展。依據火災情境的特性，第一計算估計不同火災效應的產出率，第二計算估計整個受影響空間中火災基礎條件變化率，以及第三計算估計在任何位置，火災基礎條件對防火安全目標的衝擊。由 ISO/TC 92/SC 1 所制定的標準提供了第一類計算的程序，由 ISO/TC 92/SC 4/WG 9 所制定的標準提供了第二類計算的程序，由 ISO/TC 92/SC 2 與 SC 3 所制定的標準提供了第三類計算的程序。

在估算結果時，需要顧慮的常見錯誤與偏差包含：

— 當選擇代表性火災情境時，注意不要假設火災情境群中的火災情境，是由嚴重性最低或最高的火災情境所支配。經常為了簡化估算，而將包含廣泛不同火災情境的群組，被定型地以嚴重性最低或最高的火災情境來認定。在太嚴重方向上錯誤的範例，縱火火災的平均結果，在統計上只略大於意外火災平均結果。這是錯誤地假設典型縱火火災使用助燃劑涉及多處起源，或是故意行為妨礙防火安全系統或功能操作。在太小嚴重方向上錯誤的範例，一些爐灶或煙囪火災不大且快速及容易撲滅，只有輕的損害，但其中某些則延燒並破壞整個建築。

— 對於任何涉及部分效能之防火安全系統、功能或程式的情境，要透過工程判斷來估算結果是困難的。充分的有效性或完全的無效，通常與系統、功能或程式，是更簡單、更容易於目視、更容易的模式，因此容易透過判斷來估算相同不存在。部分有效性通常包含不同類型的廣泛種類及性能劣化程度，以及使用者可能沒有足夠的經驗去選擇特定的部分有效性型式為估算目的。

6.4.2 由損失經驗估算結果

當使用損失經驗，可能是正在研究的建築(如果已經存在及其設計是預期修改，

如在建築修繕，因為明顯地，任何新建築不會有損失的歷程）之特定結構（或建築環境中其他部分），共用一個共同位置或業主，或是任何較大共同類型結構的聚集適於國家或國際資料庫的共同類型的所有結構。這些的每一選擇在呈現關連性、可達成之詳細程度，資料可存取性以及支援精密估算的資料庫規模等方面均有其優劣點。

根據損失經驗的估算隱涵未來將與過去相同的假設。根據模式或是工程判斷的估算，不需要這些假設。

6.4.3 由模式估算結果

模式使用在風險相關估算的一般指引，見 6.3.1.2 的前兩段。

不要假設更詳盡的模式導致更準確的最終風險估算。詳盡的模式通常需要大量的輸入資料，而其中某些種類的資料，例如現場觀測所得的資料，在較詳細的估算中受更大的不確定度的支配，因為實際案例的數量有限，要應用在大量的估算需求中更顯稀少。此外，可從一般確定性火災模式獲得的細節，較可用於支援相關頻率與機率估算之細節更多。此二處較大資料不確定度的來源，可能導致結合估算的不確定度與由較簡單模式所得者相同。

6.4.4 由工程判斷估算結果

在風險相關估算中，以更系統化方法得出及使用工程判斷之一般指引，參照 6.3.1.3。

6.5 情境火災風險與結合火災風險的計算

6.5.1 火災風險的數學公式化

依據目標與接受基準的形式，選擇適當的火災風險定義。這些定義將配合所有與設計相關的火災情境之頻率與機率組合的一般性數學公式：

對於所有的火災情境，風險 = $\sum f$ （頻率，特定火災情境的結果）

備考 採自 ISO/TR 13387。

最常用的兩項數學公式為：

a) 對於所有的火災情境，風險 = \sum （頻率 x 特定火災情境的結果）

備考：採自 ISO/TR 13387。

b) 風險 = 結果超過特定安全閾值之所有情境的頻率組合。

備考：採自 ISO/TR 13387。

上述第一項公式，將情境火災風險定義為期望值，亦即頻率乘以結果，且將組合火災風險估算定義為情境火災風險的總合。

上述第二項公式，將情境火災風險定義為產生不可接受之結果的情境之頻率，因此若結果無法接受，則其頻率乘以 1，若可接受，其頻率乘以 0。

6.5.2 事件樹，故障樹及火災風險的替代定義

依 6.5.1 所示的定義，使用事件樹，故障樹做為計算火災風險的有效型式。

在事件樹中的火災情境，是由初始條件，後續的中介事件，直至結束事件時序路徑。每個火災情境對應事件樹不同的分枝，而整體的支幹組成或代表所有火災情境。在故障樹中的火災情境，是由關鍵的結果事件及可能發生結果事件的完整設定之邏輯程序中，其中一個替代結果。決策樹分析的概述請參閱參考資料 [13]。

事件樹使用樹狀結構與邏輯及時間的排序，提供估算情境群組頻率的基礎。其他的指引由 ISO/TS 16733:2006, 6.3.1 提供。故障樹通常只用邏輯順序，而事件樹強調時間的排序。如果使用隨著時間追蹤發展的火災模式結果估算，則有事件樹格式與結果估算格式的平行構造。這有利於事件樹的使用。當使用 6.5.1 風險的第二項定義（結合結果超過特定閾值的頻率）則結果估算可以較不精細的，而可使用事件樹或故障樹求取所需的情境群組頻率。

6.5.3 由設計載重或極限狀態定義的風險

當使用安全性閾值時，有一個關於設計目的量測為設計載重，其中有一個定義火災情境的尺度設定為剛好足以超過特定的安全閾值。此被稱為足以造成故障的極限狀態。此一量測著重在結果，而非頻率。一項可接受的設計可能會在一個情境下產生更嚴重於設計載重的不可接受地大結果。在結構風險分析中，"設計載重" 為足夠大的機械載重，以提供適當的試驗基礎，以決定設計是否將失效。設計載重的嚴重性通常是以單一連續的火災尺度規模或強度定義。

極限狀態等同建築環境的條件恰好勉強可接受的結果，因此術語通常使用於描述火災情境的時間序列陳述當中。這些描述以狀態來定義情境，並提供辨識非極限狀態的基礎。在結構工程的環境中，"極限狀態" 定義為超過該結構之後便不再滿足設計性能要求的狀態。

6.5.4 風險計算的其他層面

如果使用工程判斷估算頻率與結果，不需要分別估算。相反地，風險估算中隱涵兩者的結合，可直接估算。可使用計算性的或非計算性的明確程序，以提供使用者之間在頻率的估算或結果的值，或是直接風險量測的估算，能夠有更大的一致性主觀估計。

風險的量測可以是無因次、無母數統計量的方式表達，例如排序值。相對於定量

風險量測，也有定性的風險量測，使用比例尺度數法則。半定量風險量測，使用由比例尺度變量的數值範圍定義的類別導出的無因次、無母數統計量。

頻率與結果均可以類別特徵化，不論是基於數值範圍分類，或是以直接指定的方式分類。如果是將頻率與結果依此特徵化，火災風險結果的特徵化之滙總，可建立風險矩陣，使用分類特徵化的頻率與結果以定義矩陣的列與行。每個項目代表一項不需另外計算的火災風險量測值。在此狀況，必須訂定規則以確立任何矩陣的項目落在可接受風險的閾值之上或之下。

為了設計的目的，可以不同的方式有效的建立風險矩陣。如果情境可以用單一的外部危險嚴重性（例如地震的震度或雷擊的能量）尺度特徵化，則可由此尺度導出的分類做為風險矩陣的列，而行則是對於特定危害嚴重性範圍的相應之發生頻率的範圍分類。矩陣單元的表值可以是定義的結果，其為危害嚴重性與設計性能的函數。可接受的風險可以用結果的閾值定義，一個單元接著一個單元的定義，不須建立形式的風險估算。注意此一方法隱涵危害的頻率與設計獨立之假設。對於火災危害，此一假設需要仔細的檢查與評估。

火災風險評估的結果，也可以用風險曲線的形式表現，此曲線是以頻率對結果為軸，平滑地連結各個代表特定分析之火災情境相關頻率與結果估算值的點，繪製而成。當特定設計的火災風險曲線已基於特定的假設建立完成，設計的變更則可透過風險估算程序，轉換為新的風險曲線。替代風險曲線對於圖形原點（亦即頻率 0，結果 0 的位置）的相對接近度，是替代設計的相對風險之量測。

7. 不確定度、靈敏度、精確度與偏差

不確定度是指所計算的風險量測和所計算的量測所要表現的標的真實風險之間的任何潛在差異。精確度是指這些偏差的統計大小，以所計算的風險量測周圍，誤差機率分佈的標準偏差為基礎。偏差是指任何在偏差分佈缺乏對稱的情形。

靈敏度分析不是量化不確定度，而是進行此項量化工作的起始步驟。靈敏度分析，透過量測涉及計算風險所用的變數或參數的一個值變化，所產生的風險量測改變的大小，檢查不確定度的傳播。如果靈敏度分析可與分量值誤差的可能大小資訊結合，則可能完全的計算隨機不確定度。靈敏度分析可用於設定不確定度分析的優先順序，由集中注意力在結果具有最大衝擊的變數與參數，以及其他最可能改變分析的結論。

不確定度不限於統計的變異，但也會發生在計算風險量測知識基礎的程序中之差距或誤差的結果。如果特定的現象未在計算中出現，例如計算避難時間的移動前時間，或是計算火災發展與影響時的紊流，則將是風險量測計算當中成為不確定度、一般偏差、不確定度的來源。

其他關於防火安全工程模式的不確定度分析技術指引，包含在 ISO 16730 當中。

7.1 不確定度分析的元素

火災風險評估會受到相關資料不足，或是對相關火災現象的科學知識不足所影響。在許多例子中，不確定度分析可用來表達此一不足的程度與重要性。

在火災風險評估中，不確定度分析涉及到頻率與結果估算之可量化的不確定度。不確定度也可為風險評估基準進行量化。較難量化的是與遺漏的現象或是資料與計算方法的誤用相關的誤差。

頻率與結果估算的不確定度量化，由量化來源資料的不確定度開始。

實驗室量測的不確定度量化，一般可以依賴已知的校正資料及實驗室儀器的精確度值獲得。如果是對於每個需要的量測值進行多次實驗，可能獲得較佳的量化結果。之後，實驗結果的機率分佈可以代表此部分的不確定度。

現場資料，例如火災經驗的統計資料，的不確定度量化，可由逐年或不同地點的差異獲得。每次的火災不是估算每年火災次數的資料點，但是在每個社區中每年的經驗可以是資料點。如果數據資料轉換為機率或頻率，例如引燃頻率或是可靠度機率，則可使用現場資料的變異性，合適的參數在機率分佈中的機率或頻率參數。

如果估算是系統性地在一過程與多數參與者進行徵求，主觀估算或主觀推導參數之不確定度的量化是可能的。則個別估算的變異性提供不確定度的量化依據。

這些方法都不是有用於量化不確定度中系統性偏差作用。例如，如果使用某一國家的火災經驗資料估算另一個國家的引燃頻率，有可能是系統性差異。可導出這些主觀估算的差異，並依據此差異量化不確定度。

一旦所有已辨識之火災風險計算參數的不確定度分佈已展開，則需計算這些不同型式之不確定度對最終風險估算的影響。因為初始風險計算可涉及到大量的火災情境之頻率與結果的計算，這是可能的某一情境的許多不確定度變異，可對應至其他需要計算的火災情境。此一事實可以減少計算的負擔。或者，可以使用蒙地卡羅或其他取樣方法來為火災風險估算計算使用之頻率與機率分佈。

在執行不確定度分析時，檢視所有參數的基本風險估算程序，或是可以用參數表達的假設，通常被視為變數，是非常重要的。任何此類參數涉及的不確定度。即使是光速及重力常數，在其量測均有不確定度，雖然這些不確定度太小而可以忽略。對火災模擬範例而言，如果火災成長是以 t 平方曲線表達，則不確定度不只涉及到參數 (α)，時間平方的火災成長係數，同時在於表達式中的指數值

(2)。對於所有參數進行不確定度分析是不切實際的，但考量每一參數，並有系統的加以辨識有潛力成為足夠大以改變不僅風險的估算而且依據這些估算所進行的決策之不確定度，是重要的。

7.2 確認與同儕審查

不確定度分析的目的在于提供火災風險估算的確認。如上所述，許多估算資料可在缺乏觀察依據之下，涉及到主觀工程判斷的使用。基於此一理由，當無法使用定量的確認方法時，可使用同儕審查。適當的同儕審查程度，其範圍可由領導專案的公司另外一位工程師執行，至由其他公司的工程師進行審查。若是設計的估算性能對於精確的機率估算靈敏度高，或是對於設計的元素沒有或很少的現場經驗可用，由其他公司的工程師進行審查的價值較高。這可以情況，如果設計與傳統的規定設計在多項設計元件方面不同，如果建築設計是複雜的與創新的，如果使用一項設計元件的性能改善，以補償多項元件性能的減低，或是如果情境的最大結果較傳統的規定設計更嚴重。

在同儕審查之外，主管機關需要獨立的第三方審查核准，如 ISO 23932:2009 12.3 所詳述。

8. 火災風險評估

在風險估算的不確定度分析之後，估算的結果必須透過與制定的接受基準比較做評量，如圖 2 所示。風險評量比較估算的風險與預定明確的基準，例如標準或目標風險程度，或是隱式基準，例如與其他替代設計或是符現有規定的要求之參考設計的估算風險比較。其他的指引包含在 ISO/TS 16733:2006, 6.3.4 及 6.3.5。

8.1 個體與社會風險

接受基準可以就個體或社會風險來定義。個體風險的量測範例為特定人遭受特定類型危害，例如人命損失，此特定意外事件類型結果的全年頻率。社會風險相應的量測範例為特定之最小人數將遭受的危害類型，如此意外事件類型結果的全年頻率。個體與社會風險很少相同。個體風險注重誰受到危害，而不特別關心致死總人數。社會風險著重在避免多重死亡，而不是單純地將多重受害者情況中個體的風險加總。

如果火災風險量測是不必要結果的頻率，例如死亡，則個體風險的估算，一般以每單位時間事件表示，為特定個體不必要結果的頻率。風險量測可以暴露於危險情況的表示，例如處於危險的位置。個體風險與個體受影響數無關。此處所提及

的個體可為個人但也可是一家公司，一個地點或建築，或是其他單一實體。

結合所有受影響之各方的結果，也影響事件的整體頻率。其將與所有受影響個體的個體風險總和相等，但可以如受影響或暴露個體數比率關係表示，在此情況，將是在直接可比較於組分個體風險量測形式。

在社會風險當中，由一個個體經歷的結果可能會抵銷由其他個體經歷的結果。例如，一家公司經歷的業務中斷損失，可剛好被一家未受火災影響的競爭者之業務增加所抵銷。

8.2 風險接受基準

風險接受基準為社會的或決策者價值的表達，因此，目前尚未準備好，可能永遠無法適當地國際標準化。然而，可能提供選擇基準格式與結構。

風險規避是在火災風險評估階段在風險估算期間，可考慮的多種風險認知現象之一。

。

8.2.1 從最近的經驗定義基線

通常由定義最近的經驗設定風險接受基準的第一個步驟，是使用關於特定損失類型與特定母體，已紀錄的損失經驗做為參考點。例如，一個擬議新建築估算風險的參考點，是相似建築結構，用途相同的大樓，在最近五至十年的風險經驗。

8.2.2 依據基線建立的基準

設定風險接受基準，通常第二個步驟是將基準設定為基線的部分。例如，如果基線是以現有的風險設定，則新風險的基準可與基線相同，可視為社會可接受，因為社會已允許其發生，或是低於基線，同時認為如果在新設計實行較新風險降低技術則較現有設計更負擔的起。

如果基準是以每個特定情境的可接受風險設定，則風險評估必須處理結合所有情境的風險的關聯。例如，基準設定為低於每個情境底線的一個數量級，將表示若是有十個以上的情境，結合風險高於基線。

通常的作法為新風險設定的基準會較現存風險為低。常見的作法為自願性風險設定的基準會較非自願性風險為低，但對於風險的本質是自願性或非自願性會有爭議。時常有對於自然成因的風險及其他風險，會設定不同的基準。時常有對於影響會延遲風險，會設定較高的基準。其他風險的特性也可以做為不同風險接受基準的依據。

8.2.3 可接受的頻率及多重死亡事件的修正基準

如果已定義年度可接受風險程度，則涉及到超過一人死亡的火災之隱涵年度可接受頻率，等於可接受年度風險除以事件所涉及的死亡人數。然而，通常社會對於風險的規避會較比例公式所顯示的為高。年度可接受頻率反映的風險規避將會低於隱涵年度可接受頻率。

風險規避可反映可接受年度風險除以事件中涉及到的死亡人數之冪函數(例如平方)或指數函數，設定為這些事件的可接受年度頻率。更廣泛的說，可以在年度頻率對結果的圖形中，定義一個可接受曲線。

8.2.4 基於 ALARP 的接受

進一步細分風險接受基準，是在頻率與結果的圖形中，建立三個可接受風險區域：

- 可接受風險（最左方區域）
- 合理務實降低風險原則（ALARP）風險（中間區域）
- 不可接受風險（最右方區域）

透過對數軸的使用，分隔區域的線可以定義為隱涵指數曲線。

當估算的風險落在 ALARP 區域，則無法明確的區別風險是否可以接受。此情況可導致更詳細與敘述的技術可行性與成本分析。如果提案不是技術可行，則可予以拒絕。同時，如果成本不成比例，則進一步減低風險的提案會被拒絕，如果風險的增加不成比例，則進一步減低成本提案會被拒絕。

8.3 安全係數與安全裕度

安全係數與安全裕度分別是應用於風險量測的乘項與加項，用以判讀風險資訊，以補償量測的不確定度。

如果使用安全係數，則與設計相關之可接受風險對估算風險的比例，宜等於或大於安全係數。如果使用安全裕度，則與設計相關之可接受風險減去估算風險的值，宜等於或大於安全裕度。

因為不確定度的考量，在設計的風險之估算點周圍有一風險機率分佈，在選擇不確定度機率分佈上的點，安全係數或安全裕度是相當的。例如，如果不確定度分佈是在風險估算點的常態分佈，而安全裕度相當於該不確定度分佈標準差的 1.64 倍，則有 95% 的機率設計滿足與可接受風險相關的安全裕度，事實上將有一個風險會低於可接受風險。

理想上，在風險估算的不確定度分佈周圍，宜可由與每個在風險計算中使用的變數之不確定度相關的分析計算而得。使用安全係數可較使用安全裕度更容易解讀

這些計算。不確定度分析是較定性，而無法提供充足的基礎，用以安全係數與安全裕度之間的選擇。

基於實際的理由，安全係數與安全裕度之間的選擇可以依據最終風險量測。

如果風險是以（不可接受的事件）頻率估算，則風險估算將以數量級（例如每百萬年的事件發生次數）的方式描述。由於非常小數，安全裕度是不方便使用，且可能導致僅可接受風險小於零的結論。應用在風險評估的對數中，安全係數較安全裕度更加實際。

如果估算風險作為期望值（例如每年死亡人數或每年的貨幣損失），則風險值將趨向落在適當的安全餘裕之範圍。

因為安全係數與安全裕度是用於在存在不確定度的情況下，評估風險的可接受性，安全係數與安全裕度的適合性與充分性取決於不確定度分析的充分性。良好設計用以處理自然變異性（例如建築物內不同住戶逃生之移動速率偏差）的安全係數與安全裕度，無法假設足以處理遺漏的變數（例如移動前的時間）。

部分的安全係數是基於不確定度，對火災情境規格與特性的調整。"安全概念方法" 是火災風險評估的用途之變異，用於辨識決定性分析的火災情境簡短列表。首先，使用火災風險評估以辨識火災情境群組列表，以及辨識每個群組的代表性火災情境。然後應用部分的安全係數定義每個代表性火災情境的特性，以便依據修正火災情境的評估將包含相關的不確定度。如此在計算最終情境結果或是情境風險時，則不需要執行其他的不確定度分析。

參考資料

- [1] ISO/TR 13387:1999 (all parts), *Fire safety engineering*.
- [2] ISO 16730, *Fire safety engineering — Assessment, verification and validation of calculation methods*.
- [3] ISO/TS 16733:2006, *Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires*.
- [4] ISO/TR 16738, *Fire safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people*.
- [5] ISO 23932:2009, *Fire safety engineering — General principles*.
- [6] LaChance, J.L., et al., *Handbook of Parameter Estimation for Probabilistic Risk Assessment*, Draft NUREG, US Nuclear Regulatory Commission and Sandia National Laboratories, Washington, DC and Albuquerque, NM, 27 November 2002.
- [7] Raiffa, H., *Decision Analysis*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1968.

- [8] Kleijnen, J.P.C., *Statistical Techniques in Simulation*, Part I, Marcel Dekker, 1974.
- [9] Kleijnen, J.P.C., and Van Groenendaal, W., *Simulation: A Statistical Perspective*, John Wiley, Chichester, UK, 1992.
- [10] Dalk ey, N., and Helmer, O., “An experimental application of the Delphi method to the use of experts,” *Management Science*, Vol. 9, 1963, pp. 458-467.
- [11] Woudenber g , F., “An evaluation of Delphi,” *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 40, 1991, pp. 131-150.
- [12] Kidd, A., ed., *Knowledge Elicitation for Expert Systems: A Practical Handbook*, Plenum Press, New York, 1987.
- [13] DeGroot, M. H., *Optimal Statistical Decisions*, McGraw Hill, New York, 1970.

附錄七 防火安全工程 —設計火災情境和設計火災的選擇-

第1部:設計火災情境的選擇(草案)

Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires —Part 1: Selection of design fire scenarios

緒論

在防火安全工程中的關鍵是火災情境選擇需求分析。在任何建築環境(建築物或其他結構)可能的火災情境可能非常多數且不可能將所有情境量化。必須將可能性的多數情境組合降低至適合分析的設計火災情境的少數組合。

火災情境特性包含火災啟始、成長階段、全盛期階段及衰減之描述連同可能的煙及火災蔓延路徑。此包括與提出的建築環境火災防護功能之交互作用。必須考慮每一火災情境可能的結果。

本標準介紹防火安全設計目標特定設計火災情境選擇之方法。可能有數個防火安全目標得以解決,包括生命安全(針對住戶和救援人員)、財產保全、環境防護及遺產保存。可能需要不同設計火災情境組合以評估每一目標提出設計的充分性。

設計火災情境選擇後續,必須說明情境量化所依據的火災假設特性。把這些假設的火災特性稱為“設計火災”。重要的是,設計火災適合於防火安全工程分析之目標且設計解決方案與考慮的可信的最差情況下的情境是匹配的。

本標準之使用者宜在防火安全工程和風險評估領域適當地經過鑑定的及適任。使用者瞭解參數中特定的方法可使用是重要的。

ISO 23932 為工程師提供性能式方法評估新的或既有的建築環境防火安全程度。依據火災行為的量化及於生命安全、財產、遺產及環境此行為結果的資訊,透過工程方法評估防火安全。ISO 23932 提供設計穩健的性能式防火安全計劃過程(必要步驟)及必要的元件。

ISO 23932 藉由一系列 ISO 防火安全工程標準支援可用在防火安全工程設計步驟的方法及需要的資料上,彙總在 ISO 23932:2009 第 4 節及圖 1。當使用此系列 ISO 防火安全工程標準時,此標準系統提供火災評估之間相互關係之認知。

每個標準包括在標準的介紹性資料術語,以連結 ISO 23932 防火安全工程設計過程所提綱要步驟中之標準。設計的火災情境的選擇形式符合 ISO 23932 及 ISO 23932 的所有要求應用在本標準之任何應用。例如 ISO 23932:2009, 9.2 一般描述鑑別及選擇火災情境(參照圖 1 中的突顯框)之程序。第 6 節描述鑑別及選擇設計火災情境之詳細方法。

1. 範圍

本標準說明使用在任何建築環境之防火安全工程分析設計火災情境之可信但保守的選擇方法,包括建築、結構或運輸系統。遵循本標準給定程序,使用定性的或半定量方法選擇一個可管理設計火災情境數。對於完全定量方法使用風險評估,讀者被引導到 ISO 16732-1。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年分者，適用該年分之版次，不適用於其後之修訂版(包括補充增修)。無加註年分者，適用該最新版(包括補充增修)。

CNS 14651 建築物防火詞彙－ 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙－ 防火試驗用語

CNS 14996 建築物防火詞彙－ 防火安全用語

ISO 13943, Fire safety — Vocabulary

ISO 16732-1, Fire safety engineering — Fire risk assessment —Part 1: General

ISO 23932:2009, Fire safety engineering — General principles

3 用語及定義

為本文件之用途，用語及定義適用於 ISO 13943 並採用以下應用。

3.1 設計火災(design fire)

對一個設計火災情境假設火災特徵的定量描述

備考：典型的情況就是對重要的火災變數隨時間變異的理想化描述，例如熱釋放率和有毒的物種產率，同時模擬其他重要的輸入數據例如火載量密度。

3.2 設計火災情境(design fire scenario)

將進行決定性防火安全工程分析的特定火災情境

備考：由於可能的火災情境之數目可能非常多，必須選擇大部分重要的情境(設計的火災情境)做為分析。設計火災情境的選擇是專為防火安全設計目的，且考慮潛勢情境可能性和結果。

3.3 火災情境(fire scenario)

火災對於時間的定性原因描述，識別關鍵事件火災特徵研究並從其他可能的火災中區分

備考：火災情境描述典型地包括引燃和火災成長過程，全盛期火災階段，火災衰減階段，以及將在火災過程衝擊的環境和系統。不像決定性火災分析，在此火災情境為個別選擇和使用作為設計火災情境，在火災風險評估中，火災情境使用作為代表性的火災情境(3.4)在火災情境群集中 (3.5)。

3.4 火災情境，代表性的(fire scenario, representative)

從火災情境群集 (3.5) 選擇特定的火災情境 (3.3) 這樣代表性的火災情境之結果可用來作為情境平均結果之合理估計在火災情境群集中

3.5 火災情境群集(fire scenario cluster)

火災情境子集 (3.3)，通常定義為可能火災情境總體完全劃分的一部分

備考：子集通常定義，以便火災風險計算例如為總和所有火災情境群集頻率之火

災情境群集乘以代表性的火災情境 (3.4) 結果未強加一個過度的計算負擔。

3.6 目標(target)

想要保護的人、物或環境從火災及其煙氣(煙，腐蝕性氣體等)之效應及/或抑制火災煙氣。

4 符號和簡略術語

A 開口面積， m^2

h 開口高度，m

\dot{m}_f 燃料質量損失率， kg/s

\dot{m}_{air} 空氣進入封閉區間輸入率，kg/s

Q 熱釋放率，kW

Q_0 參考熱釋放率，kW

r 燃料完全燃燒所需化學計量空氣，表示為空氣對燃料的質量比

t 時間(秒)

t_g 達到參考熱釋放率 Q_0 所需時間(s)

5 防火安全工程應用

5.1 防火安全工程程序

ISO 23932 為工程師提供新的或既有的建築環境一個性能為基礎的方法來評估防火安全等級。基於火災行為之量化和基於行為結果的知識透過一個工程方法針。對生命安全，財產，遺產和環境，評估防火安全。ISO 23932 提供程序(必須的步驟)和必要的元件去設計一個穩健性能為基礎之防火安全計劃。

本標準提供發展設計火災情境之指引在ISO 23932:2009，9.2。防火安全工程程序中的步驟以突顯框顯示於圖 1。

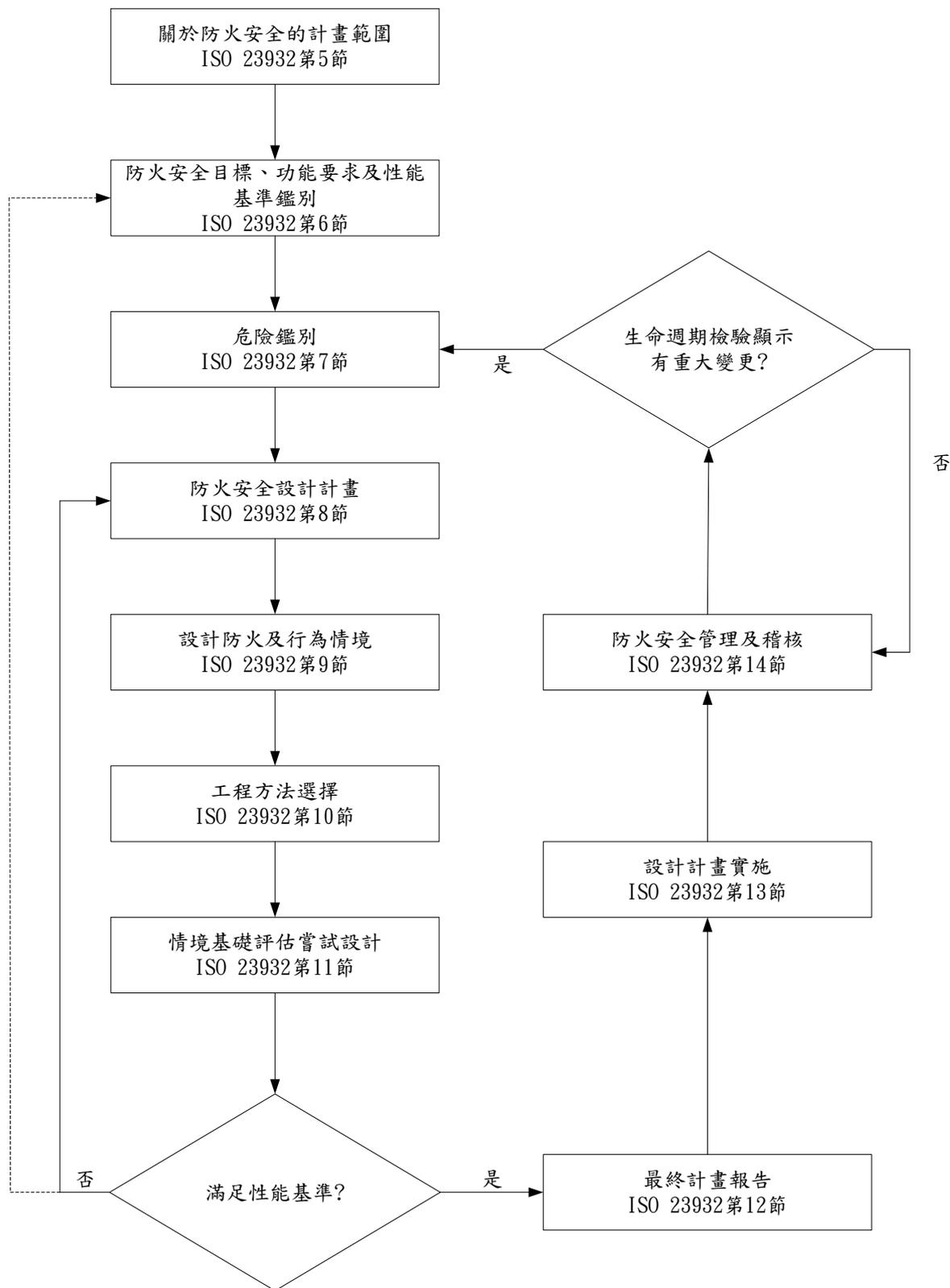


圖 1 防火安全工程設計程序流程圖(摘自 ISO 23932 : 2009)

5.1.1 建立計劃範圍

初步計畫應包含資訊說明設計的每一部分之目的和功能，和其預期安裝、貯存或用在建築環境中的固定裝置，家具，裝飾，設備和可燃產品。當此詳細資訊之類型不可用，應做假設，在計劃期間及結束時再次確認應檢查及確認其效度。設計工作的契約和組織的背景必須明確定義包括將應用範圍到防火安全工程方法。參見 ISO 23932:2009，第5節。

5.1.2 識別防火安全目的

應注意可能有數個防火安全目的包括生命安全(針對住戶和救援人員)，財物保全，環境保護和遺產保存及不同的設計火災情境的組合可能需要評估提議的設計充分針對每一個目的。

更多詳細討論參見 ISO 23932:2009，6.3。

5.1.3 決定功能需求

功能要求為一個情況的陳述必須實現防火安全目的(例如應避免場所中有害的火災效應用來避難)。為了可評估潛在可能的火災情境威脅功能要求之實現這些必須識別和說明。如果火災情境未威脅功能要求之實現，則其不相關。一個生命安全功能要求的範例可為“由有害的火災效應避免結構失效和防護逃生路徑直到避難完成”。

也可參見 ISO 23932:2009，6.4。

5.1.4 識別性能基準

應協定分析等級(確定性，機率性)和性能基準。性能基準是表達為確定性或機率性之工程度量(例如火災風險量測)形式來決定是否每一功能要求已由防火安全設計來滿足。對於生命安全功能要求，應發展性能基準。例如設定住戶可能暴露的一氧化碳的最大濃度或劑量。

參見 ISO 23932:2009，6.5。

5.1.5 危險辨識

危險辨識包括內部和外部兩者，可能在建築環境上有衝擊，危險獨特性質的使用和危險性共同的許多性質，可燃材料或產品，設備和其他熱源，天然災害和活動。

參見 ISO 23932:2009，第7節。

5.1.6 防火安全設計計畫

防火安全對策在一個嘗試的防火安全設計計畫應是詳盡的和在火災設計報告中提出足夠的詳細資訊文件，以允許當評估在設計火災情境時評量防火安全目的符合的項目。防火安全設計計畫應說明建築環境不同部分的功能及其貢獻以滿足防火安全對策。[圖 1](#) 說明防火安全設計程序如 ISO 23932 中之說明。

5.2 防火安全設計中設計火災情境之角色

設計火災情境為防火安全工程評估之基礎。如此評估意味著分析設計火災情境並從結果推論關於提出設計充分符合已設定的性能基準。適當的情境需求分析辨識為實現建築環境達到防火安全目的之關鍵。

事實上，可能的火災情境的數目在大部分建築環境接近無限大。不可能分析所有情境即使以大部分尖端的計算資源援助。必須降低此無窮組可能性到一個適合分析且代表可挑戰工程設計的火災範圍為分析主題之設計火災情境的可管理組合。

選擇每一個設計的火災情境來代表風險顯著的火災情境之群集。與群集相關之風險表示在群集發生機率(或概度)組合條件和結果的推論的特性。針對國際標準之目的，當設想確定性評估，一個定性概度估計和結果就足夠。對於一個完全風險評估，例如 ISO 16732-1 中所提大綱，進行定量的估計。

一旦選擇設計的火災情境，修正設計建築環境直到分析顯示性能基準相關聯相關的防火安全目的符合，且與設計相關的風險是可接受的低。

必須識別相關的設計火災情境在 ISO 23932:2009 10.2 中的初步定性報告說明，並透過他們的利害關係人共同地審查。在此過程中，可能消除低風險情境因此無法個別地或集體地影響設計之整體評估。重要的是要記住低結果結合高概度或高度結果結合低概度可能高或低風險，取決於是否結果或機率支配，機率及結果都無法完全地用在風險篩選之隔離。

設計火災情境的特性化為分析目的，包含火災的起始，成長和衰減其事件之說明，連同在一情況定義組合下可能的煙和火蔓延路徑。煙和火對人，財產，結構和環境的衝擊為設計火災情境潛在相關的結果之所有部分，且為該情境特性的部分當那些結果相關於指定的防火安全目的。火災成長、火和煙蔓延、火災衰減以及火和煙衝擊的特性化，包含時間序列的事件屬於“設計火災”。一些後來的事件是可從較早的事件來預測透過防火安全科學之使用，且情境中事件序列特性化與上述的科學是一致的重要。

5.3 防火安全設計中設計火災之角色

以下設計火災情境之辨識，將基於其情境量化必須說明假設的火災特性。這些

假設的火災特性和進一步相關火災發展被稱為”設計火災”。

一個從引燃到衰減之完整設計火災的描述是估計使用規定的初始條件和一系列的簡單的計算來估計參數，例如撒水頭作動時間，轉變到閃燃和全盛期燃燒期間。或者，設計火災可為初始情況的定量組合和隨後火災發展決定迭代或藉由使用現象考慮更複雜的模式計算，例如改變通風之暫態效應對於煙產量或從熱層到燃料表面熱回饋效應。

如同設計的火災情境，設計火災是適於相關的防火安全目的是重要的。例如，如果生命安全為一個目的，設計火災可選擇影響逃生措施。如果是低估設計火災的嚴重性，則應用工程方法來預測火災效應在別的方面能產生不準確地反映火災真實的衝擊的結果，且可能低估危險。反過來說，如果是高估嚴重性，不必要的花費可能造成。

特徵設計火災之指引附件 C 中給定。

6 設計火災情境

6.1 火災情境之特性

每一火災情境由獨特事件之發生所代表且與設施的本質和火災來源有關的狀況，以及與防火安全量測有關的特別狀況組合。後者以防火安全設計定義，而前者須規定情境特徵。因此，火災情境得予特徵與有因素如下：

涉及設施或建築環境本質：

- 通風條件包括可在火災過程期間提供空氣/氧氣來源之潛在開口位置和尺度；
- 周圍環境的情況；
- 互通在空間或區劃之間提供火和煙蔓延之潛在的路徑；
- 構造的材料及方法及區劃尺度；
- 防火安全量測的每一狀態和性能，包括主動系統和被動特徵；
- 自動或非自動(人的)方法進行火災之偵測、警報和抑制；
- 自動關閉門或其他區劃化的任意元件；
- 建築空氣處理系統或煙管理系統；
- 防火安全量測的每個可靠度。

關於火災來源：

- 初始引燃位置(在此位置之類別可能設為凸顯有人居住的與沒人居住空間，空間充滿有價值的內容物與大部分空的空間，或區域足夠接近暴露的結構元件與區域非如此接近。每一個這些二元的分類可能反而製成一個程度的問題，例如密集居住、些微居住、偶爾居住、本質無人居住)；
- 初始狀態為悶燒或發焰燃燒(其將首先基於第一個項目點燃和其次在點火熱源)；

—燃料初始引燃和可用性之燃燒環境是否足夠來支持火災成長到閃燃(其中更多內容物和家具、室內裝修等等，或者每單位面積燃料載重之詳細規格，可從現地調查直接提供高密度對低密度機率來推導，高可燃性對低可燃性空間。另外，這些可建立為幾個房間設計之一和選擇來代表所有空間可以或無法達到閃燃，在此機率是取自火災統計為依據於甚麼在設計性質歷史上過去的閃燃與否之火災百分比。

6.2 火災情境辨識

6.2.1 一般

針對設計火災情境的辨識需要一個系統的方法分析，用以識別重要的情境並提供一致的方法。可能的火災情境的數目在任何建築環境中可能非常大，且不可能將它們全部定量。必須降低此可能性的大組合到一個經得起分析易處理的設計火災情境組。當性能基準是在給定的一個確定性的形式，設計火災情境應選擇因此設計顯示對這些情境供應可接受的安全，也可信賴對所有未分析的情境供應可接受的安全。另外，當性能基準是在一個機率性形式，設計火災情境應選擇因此計算將產生一個可接受的火災風險準確估計為其依據，且在此情況可參考 ISO 16732-1 針對概率性風險評估程序。

設計火災情境適于防火安全工程任務之目的是重要的。例如，針對生命安全目的，設計火災情境宜代表對可能是位於建築物內，包括消防單位作業的人之考驗(也參見 ISO/TS 29761[1])，而針對一個結構的目的，設計火災情境宜代表對建築物結構系統的考驗。

有數個可能的方法來辨識可能使用的設計火災情境，包括下列。

a) 辨識指定的情境關於特定的建築環境的列表。這些情境可能列在國家法規或標準與管理者要求，這些要求被認為是一個最小的。而此方法如果可用，是最簡單及最容易的應用，如果僅使用這些情境對於一個個體建築環境有關的一些潛在重要情境可能被忽視有危險。一個指定情境範例在附錄 B中給定。

b) 應用定性或半定量系統的方法來決定一組可信的設計火災情境作為確定性分析。

c) 選擇一組已知可能性和結果之廣泛的情境，結構化使用如此技術例如事件樹來使定量火災風險評估能夠進行。當歷史的火災事件或其他統計的資料相關的特定的建築物環境可用此方法效果最佳，與以罕見事件統計為依據指定可能性須要特別慎重。

本標準其餘部分將主要關注於說明第二個方法。對於指定的情境，讀者宜參考相關的法規文件，且對於完全定量風險評估方法，讀者可參考 ISO 16732-1。整體而言，目的為確保設計火災情境選擇包含所有可信的情境和那些未選擇的

情境被同意為一個可接受的風險。

下列九個步驟說明辨識設計火災情境的系統程序，詳細地說明在本節其他小節。

步驟 1 — 識別特定的安全考驗

步驟 2 — 火災位置

步驟 3 — 火災類型

步驟 4 — 潛在複雜的危險導致其他火災情境

步驟 5 — 系統和功能對火災之衝擊

步驟 6 — 住戶行動對火災之衝擊

步驟 7 — 設計火災情境之選擇

步驟 8 — 在系統可用性及其可靠性為依據修正情境選擇

步驟 9 — 最後的選擇和文件化

6.2.2 步驟 1 識別特定的安全考驗

6.2.2.1 識別建築環境使用

識別可能對防火安全目的相關的使用或建築環境使用，以確保建築物內可計算所有不同類型的人。這對於多功能建築物格外重要，例如購物廣場、機場、運輸終點站和會議中心。

範例 1：機場可容納功能如出境報到櫃檯、停車庫、商店和空側行李處理系統。考慮到生命安全目的，每一項這些功能或用途可能與明顯不同的使用者有關聯。因此，避難策略應用到建築物不同的功能區域需求之火災情境將值得注意。

範例 2：一個製造業廠房可容納功能如接收和加工進口貨品、可燃材料倉庫、辦公室和行政部門支援，和製造過程。安全目的為防護業務核心設備部分，將需要去識別設備潛在暴露於有害煙濃度或熱的火災情境。

6.2.2.2 識別要防護的目標

防護目標取決於防火安全目的。為生命安全，建築環境之住戶或使用者為相關的目標。取決於建築物使用或功能，可能有不同的使用者群(例如工作人員、訪客，消防員)。為環境目的，可能是一條鄰近的河川；或為財產防護目的，一個有價值的商品貯存在建築環境內或建築物結構本身。當選擇一個設計火災情境時，防火安全目的和相關目標都必須考慮。

6.2.2.3 識別目標的重要特性

在此重要的特性是那些由火災造成對目標威脅的大部分影響。其中目標為建築

環境使用者，關注的特性可能包括使用者在選擇一個逃生路徑時之傾向，或他們的相關從事手控消防訓練程度或熟悉避難程序和建築環境配置。他們可能也包括住戶行動困難者群組在建築環境中形成他們更容易受火災和煙的影響。同樣，設備的一部分對於上升溫度、煙或燃燒氣體之敏感度，將協助辨識那些對象在建築環境中大部分易受傷害的且因此火災情境更可能要求使得其易受傷害的特定目標特性。

6.2.2.4 確定安全考驗

因為確定性分析的目標為使用嚴格選擇但可信的情境來試驗防火安全設計，識別在與火災相組合可能潛在導致設計失敗的問題或衝突，是迫切的，在此這些問題和衝突稱為安全考驗。

為了生命安全目的，這些問題經常導致非最佳反應或在緊急情況時移動的住戶特性。衝突經常包含建築環境使用和使用之間，或者使用者和建築環境配置之間不匹配。

典型的生命安全考驗包含建築環境使用和使用之間衝突是人員使用熟悉出口的趨勢。此趨勢意即人員將嘗試移往主要的入口/出口，在火災情況中為潛在的主要避難瓶頸。火災快速呈現主要入口無法使用，因此一個情境嚴格考驗防火安全設計。

財物防護考驗為一個對於暴露在上升溫度或特定的燃燒產物類型污染敏感的機器項目。

6.2.3 步驟 2 — 火災位置

步驟 2 一般包含在火災開始時之空間特性，以及在空間中特定位置的特性。此將在前一個步驟中經識別特定安全考驗的情境中考慮，且分離在外的情境不處理的。

大部分可能位置的辨識可使用火災統計來完成。另外，如果統計不可用，可在熱源的存在、燃料組合及住戶為基礎做一個評估之一。然而大多數可能的位置是值得注意的，可能不一定代表具有考驗性的或可信的最差情況之火災情境。大部分不利的或具考驗性的位置之辨識可使用火災統計針對損傷或貨幣損失來完成，且當統計的資料缺乏時可能也需要工程判斷。具考驗性的位置為那些特殊狀況和事件對於實現可用的防火安全目的可能有不利的衝擊。

包括以下範例：

- 在組件區域、無塵室或其他空間的火災，接近火災起始點具高密度弱勢人群或高度脆弱財物或與出入口至暴露的結構元件，在每一情況針對防火安全量測有效行動如此時間和空間可能不足；
- 在火災內或阻攔入口到逃生系統，可延遲或阻礙安全避難；

—房間或空間內的火災，包括防火安全系統外部涵蓋區域之隱藏空間和外牆表面。

其他火災情境可能需要之位置的範例包括下列：

a) 內部的：

- 火災中的構造產品(例如包含夾芯板突然坍塌可能威脅消防員)；
- 房間火災在此火災位置潛在增強火焰傳播和火災成長率(例如房間角落位置導致火災延燒穿過可燃天花板和牆壁材料將潛在考驗逃生設計)；
- 需要用來避難之樓梯間中的火災；
- 電纜橋架或管道火災(例如火災發展在隱藏或非居住區域和經由管道延燒到建築環境之其他部分威脅住戶逃生)；
- 屋頂火災(屋頂下)；
- 空腔空間(牆壁空腔，外牆，通風系統)中的火災；

b) 外部的：

- 火災源於鄰接的建築環境或植被；
- 屋頂上火災；
- 外牆覆層之火災暴露表面(例如如果使用可燃覆層，外牆垂直火災延燒可能導致引燃在建築物中不同的高度，考驗任何火災撤水系統的設計)。

對於其他位置特殊情況設計火災情境應同意在 QDR 期間。可能必須考慮可能發生超過建築環境使用期限的改變，例如，此處能源效率量測已造成對外牆包層內材料改變導致預期的火災行為改變。

也考慮要防護的目標位置，火災將不會發展，成為延燒狀況，或導致損壞情況在此關注的目標是位置，不可能設計火災情境。

附錄 A 包含關於由火災位置頻率來源資料指引。

6.2.4 步驟 3 —火災類型

火災類型是一系列的階段包括引燃、火災成長、全盛期、衰減和熄滅的特性所在。特別重要在定義火災類型將考驗設計和防火安全系統之初始強度和火災成長率，其可能相關於初始熱源的一些組合、首項引燃、引燃第一個大項目，和引燃任何其他項目在第一個大項目引燃前。

此方法步驟 2 典型包含兩步驟，初始引燃特性和初期火災特性，已為公認的。如首項引燃也是一個大項目，這兩步驟可視為相同。然而，許多火災以非常小的初始燃料項目開始，例如食物撒落在爐子上、垃圾桶內的垃圾、煙灰沉積在煙囪或堆積棉絨在乾衣機內。針對這些火災，初始引燃不會發生在相同時間或接近類似初期公認的火災。

火災事故統計提供一個適當的基礎用來辨識火災情境初始引燃情況，連同不同的初始點火情況頻率。這有系統的方法之目標為藉由相對風險篩選可能的火災情境。一個實際的方法使用火災事故統計和工程判斷為識別一組火災情境具高

可能性和最小的結果和其他火災情境組具高結果和最小的可能性。初始引燃情況辨識也可藉由使用風險分析來決定，例如故障樹方法、工程判斷或試驗。

從火災事故統計適用於考慮中的建築環境和住戶，藉由一些頻率和結果相關的基準排序初始熱源之組合和初始燃料項目。例如包括大部分可能的火災或那些具確定最小尺度之火災範圍、火焰延伸區在起源房間以外、火災尺度大於特定的區域、五個或更多死亡之結果，或多於貨幣低限指示的大損失定義的結果，例如最小的損失與損失最高價火災的 1%有關。在缺少足夠詳細火災事故資料之下，火災考慮火災傷害或死亡率之最大部分，或火災計入財產損失最大的部分，可能也考慮以貨幣項目來衡量。將考驗建築環境和注意防火安全目的特徵關係之火災類型識別也是重要的。

適當的統計可用在國家的基準、省或地方基準，或與設計中的建築環境相似性質。如果適當的國家統計不可用，則可使用從其他國家具相似之火災經驗資訊。必須注意在應用火災事故統計以確保資料對於正在考慮的建築環境是合適的，特別當使用的資料從其他國家因為差異可能在大小尺度。

其他火災類型之火災情境可能同意在針對特殊情況的嘗試防火安全設計計畫之發展期間。

可能必須考慮火災發展之悶燃階段為目的，例如睡眠中住戶的生命安全。然而，相關的火災事故統計將可容易得到悶燒火災與有焰火災之比較可能性較小，因為一些這些火災將轉變到有焰火災之前是包括在火災事故資料庫中。如果任何有焰火災情境包含非常小的初始燃料項目在結果加權排序引燃排序高，這些火災必須包含至少一個額外的實質尺度的燃料項目。工程判斷通常足夠估計多少大燃料項目是足夠接近一個定義類型的小火災將為隨後的引燃項目造成一個公認的火災。

附錄 A 包含火災類型頻率相關來源資料之指引。

6.2.5 步驟 4 — 潛在複雜的危險導致其他火災情境

必須考慮由潛在危險辨識可能發生的火災情境關聯的而發展嘗試的防火安全設計計畫與預期之性能或設計的使用。排除高危險位置也必須識別其他關鍵的高結果情境，其在步驟 2 中說明。範例包括：

— 對共同原因事件之易致災性，例如地震或恐怖主義，潛在具啟動多個嚴重的火災或同時停止多個防火安全措施；

— 可弱化建築環境結構和降低產生結構坍塌所須之火災嚴重性低限之非火災事件之易致災性；

— 使用易受影響而自燃、快速火勢延燒、爆炸、異常劇烈的火災、異常有毒的煙、燃燒產物異常環境的危害或被滅火媒介物污染、包埋的氧氣可分別從周圍空氣饋送火災之高危險材料，如果火災是以常規的方法(例如化學品槽)對抗，或其他異常嚴重的火災情況是異常困難或危險；

- 高危險操作之存在包括開放火焰接近易燃材料之使用；
- 在構造階段或維護操作期特殊危險出現。

如任何這些情境是同樣可能考慮及比那些先前辨識更嚴重的，需要包括在用來分析之組合中。可能取代在本質上相似較少危險的情境。

6.2.6 步驟 5 — 系統和功能對火災之衝擊

識別防火安全系統和功能，其如果失敗，可能影響防火安全目的之達成。少於完美的系統可靠性之衝擊將在 6.4 (步驟 8) 中分別考慮。

考慮之典型系統和功能包括下列各項：

a) 被動系統和功能：

- 內容、家具或材料控制（或許與阻燃處理，或者易燃性控制的其他主題）；
- 門和其他開口在火災起源之封閉空間和其他相關的區劃；窗戶，牆和天花板/樓板組件和其他區劃元件以及任何穿透系統，耐火性時效和易燃性性質；
- 結構元件包括防護和耐火性時效之方法；

b) 主動系統和功能：

- 主動抑制系統（撒水頭，氣體滅火等）；
- 煙控系統（自然或機械通風）；
- 火災偵測系統（煙，熱等）；
- 警報和通訊系統；
- 逃生系統（包括延長開門開關）；
- 防火安全管理；
- 消防人員操作。

6.2.7 步驟 6—住戶行動對火災之衝擊

人員採取的行動可能對於火災過程或煙的移動有顯著衝擊，有利的或其他的，且應在此步驟識別。疏忽行動或縱火導致火災開始可能已獲得在步驟 3 中使用的火災事故資料，且在此不需再考慮。相反地，下列引燃是必須考慮的行動。根據建築環境的本質，訓練過的工作人員或內部防火隊對於早期發展階段火災可有極深的影響，例如如果偵測到火災工作人員緊接著關門。也可以考慮城市消防員的有利行動，特別針對相關於財物防護或商業延續目的。另一方面，缺乏訓練的工作人員或臨時的訪客可能離開時開啟關鍵的門，讓火災快速的發展和煙傳送。在火災中火災的特性和其流出物也可阻止人員干預。

6.3 步驟 7 — 設計火災情境之選擇

6.3.1 一般

在步驟 1 到 6，多數潛在火災情境已辨識。從此大數目，選擇情境群和一組設計火災情境。

6.3.2 結合情境到情境群之內

在 6.2 中執行之情境特性現在應精細成簡要狀況，可能情境全體之參數描述。模式和其他計算程序可用來評估步驟 5 中指定之防火安全系統和功能之對於火災過程之效應，藉由應用例如 ISO 16735(煙層)或 ISO 16737(通風口氣流) [2][3]。應識別模式應用限制和使用程序。欲了解進一步指引，參見 ISO 16730-1 和 ISO/TS 13447 [4] [5]。

結合情境到情境群之內的過程包含辨識共同參數和火災特性。例如，一個可識別五個類型的房間或區域(例如一般住戶的房間、一般非住戶的房間、逃生之方法、隱藏空間、外部的的位置)或三個範圍針對火災嚴重性增加率(例如線性成長、對應於悶燒和兩個範圍針對 α 參數在 t 平方火災表示法、對應於火焰狀和快速火焰狀)。藉由每一參數選擇一類型或範圍，使用者定義一特定的情境群，其結合更完全特定的情境(例如適合特別的房間類型之每一房間特定的起點)。每一情境群以單一代表性的設計火災情境來表示，其結果將用來特徵化結果對於所有群集中的情境。

對於起火點位置和初始火災成長率兩者(例如悶燒，火焰狀，快速火焰狀或爆炸)，可能一些位置或火災成長率將考驗一些火災防護系統或功能，而其他位置或比率將考驗其他火災防護系統。此可能支配多代表性的情境之使用針對單一情境群或可能說明藉由選擇代表性的情境特性來考驗一個設計系統或在一個區域中的功能，而選擇特性來考驗不同的系統或其他區域的功能。

6.3.3 在排除認為可忽略風險情境之警告

因為有一個非常大數目的可能火災情境，如果在最初依據可忽略的風險可排除一些情境，結合情境進入一個共同全方位情境群組內之過程將簡化。此步驟應合理明確且定量且應僅當有強的證據事實支持可忽略的風險判斷時採取。使用此步驟來排除低頻率、高結果情境是格外危險的。如果看作是一個組合情境具低頻率個別地可能不是低頻率。

未必被考慮的情境可能也有足夠不確定度在其不可能確信地處理就其本身而言之估計。

6.3.4 論證情境結構是完整的

提供潛在情境全體映射到情境群內選擇為分析或具體地排除，如 6.3.2 和 6.3.3 規定。此將建立所有情境已經考慮且他們的處理是明確選擇，其方法情境結構

是完整的。

如果兩個或更多候選設計要成為比較相對於每一個其他而不是指定的可接受基準，則在一些情況中，情境群可排除即使他們包含顯著的風險。例如，如果兩個設計可預期有相似或相同風險在那些情境，在此情況，預期的情境風險差異的「相似」方法，建議為了排除大幅少於預期的情境風險差異，建議為明確的分析。設定這些期望在工程判斷的基礎上，然而，因為一致的工程判斷可反映一個真實風險的共同錯覺，這些種類的排除在數目上宜少。

6.3.5 情境選擇程序基於分析等級

有兩個分析等級可應用：

- 定性的基於工程判斷和簡單的風險篩選；
- 半定量使用同屬的資料從相似建築環境用來做情境頻率評估和確定性計算。

在此一個完全定量火災風險評估程序是設想使用建築環境特定的資料和情境機率和結果之決定，如在 ISO 16732-1 中之說明風險排序過程為設計火災情境之最後的選擇的一個適當依據，且此時讀者被引導到 ISO 16732-1。

在此一個簡化方法(定性的或半定量)來選擇設計火災情境，在較少詳細情境頻率資料可用時，應適當考慮 [6.3.6](#) 中的程序說明。

6.3.6 用於確定性分析設計火災情境之選擇

過程說明在此小節將聚焦於找出最壞可信的情況，亦即考驗防火安全目的之設計情境之完成。為此目的，步驟 1 到 6 說明在 [6.2](#) 可針對火災不同的位置和類型來簡化，藉由下列辨識：

- a) 那些目標/人/火災之方面和特性為考驗的，因為其增加無法接受的傷害透過目標及/或住戶特性之風險；
- b) 那些目標/人/火災方面和特性為考驗的，因為其增加無法接受的傷害之風險透過火災特性；
- c) 那些防火安全系統或功能方面和特性是考驗的，因為其降低系統或功能可操作性或有效性。

在此區劃建築環境以預防火災延燒，將必須考慮每一區劃內的位置來確保評估建築環境的所有部分。依據周圍目標/人、火災發展，和防火安全系統或功能的特性辨識編譯一個具有挑戰性的可管理的設計情境組。

對於定性和半定量的選擇過程，每一設計火災情境之頻率不需要明確的評估因為所有代表性的情境應被考慮且不與其他情境結合。可評估使用火災情境作為代表性的或設計火災情境藉由考慮是否情境能夠產生將超過性能基準情況之能力，或是否它們可由其他較大嚴重性代表性的情境所取代。

例如，針對半定量篩選，可發展分開的風險矩陣針對每一個結果類型。一個風險排序矩陣例子顯示在圖 2 中。在此例子，情境頻率出現在每一行且情境結果在每一列。因此，具最高風險的情境出現在矩陣右上方(較暗格子) 而較低風險情境出現在矩陣左下方。參見 ISO 31000 並參考資料[7]和[8]在使用風險排序矩陣時進一步的指引，。

範例 1 針對生命安全目的，一個高風險情境可能為預期的死亡人數或生命威脅傷害(高結果)造成一個火災情境的結果在建築環境生命週期以外可能發生數次(預期事件)。

範例 2 針對一個商業中斷目的，一個低風險情境可能為當停止期間預期及損害具可修復的(低結果)如此火災情境的結果將大概不會發生在建築環境生命週期以外(不可能事件)。

在此防火安全目的是生命安全，讀者也參考 ISO/TS 29761[1]對於更詳細討論在設計住戶行為情境和設計行為之選擇以及他們與設計的火災情境如何相關。



圖 2 風險排序矩陣

6.4 步驟 8 — 修正情境選擇依據系統可用性和可靠度

當火災成長上升的能力源於不到完美系統可靠度或如無法按照預期執行防火安全功能，對於任何設計，完全達到通常工程項目設置的防火安全目標和目的在此所設計的系統全部具完全功能和操作，是不可能的卻多餘的。

對於每一系統(如在步驟 5 中辨識)，考慮非操作的可能性(由於例行性維護、隨著使用年份老化，或人的行動或不行動等)。在此情況下，可接受的包括分析的情境但在系統失敗情況中修正要達到的設計火災或性能基準，如此一個較大的危險可能被視為可容忍的。

如果系統之可能性或功能未能如預期執行一直未被允許在先前識別的設計火災情境，則宜考慮失敗機率或

— 利益相關者和設計團隊同意失敗機率夠低，風險是可接受的，且用來分析的情境是不可信的，或者

— 利益相關者和設計團隊同意涵蓋情境做為一個設計火災情境且同意甚麼設計火災特性及/或性能基準將應用在分析中。這些不需與其他系統或功能如預期執行的情境相同。每當限定將要考慮的系統或功能性能應提供設計火災尺度修改的理由。

範例 1 考慮排煙系統設計對設有撒水頭的建築物，對於撒水頭操作失敗之情境，取決於可接受結果風險程度，排煙系統設計可依據小於要達到的預期火災尺度當無撒水頭或當撒水頭操作失敗時，也將假設計排煙系統能力在撒水頭失敗的情況下不會有不利的影響。

範例 2 考慮排煙系統設計，針對單一排煙風機操作失敗之情境。設計最小的樓板上方煙層高度等級可能降低相較於所有排煙風扇操作如預期之情境。

6.5 步驟 9 — 最後的選擇和文件化

對於每一防火安全目的，選擇最高排序的火災情境作分析。所選擇情境應代表累積風險主要部分(所有情境風險總和)。建議從利益相關者輸入到此選擇過程。文件化所選擇用於分析的火災情境。這些成為”設計火災情境”。也文件化未選擇用來分析的火災情境並說明原因。

在做最後的選擇時，有某些共同錯誤或偏差要謹防的，包括下列各項。

— 如果多種，高結果但不可能的情境從考慮中排除，謹慎排除不具有中度的或高度集中的可能性情境是重要的。只要可能最好結合相似情境，以便更多情境直接代表和分析，而非排除情境。

— 在此階段排除情境是不適當的，儘管其對風險重大的貢獻，因為唯一的設計選擇能產生一個可接受的結果對於該情境非常昂貴。由於排除或降低該風險的高成本宜在稍後階段做決定接受特定的情境之風險，在更詳細分析和僅與利益相關者之完全參與之後。

— 可以適當去排除一個情境，儘管其對風險重大的貢獻，因為沒有可識別設計選擇可降低或排除該風險。例如，除非設計選擇包括服裝選擇及管理住戶活動，風險對於接近火災起始點之人或那些無法行動自保者可能為在此階段可合理排除情境之基本例子。然而排除如此情境，宜文件化說明為何不可能以任何方法防護人或排除危險。排除一個情境如果住戶情況宜預期的(例如，夜店中喝醉的顧客)將是不適當的。在如此情況，額外的防護將是一個適當的設計決定。

附錄 A

(參考)

設計火災情境發展用之資料

A.1 一般

表 A.1 旨在指引使用者在應用本標準典型地需要的資料類型和來源。有時，對於特定的情境所須資料不是可得到需使用者應用工程判斷。在此情況下，選擇性的資料來源可從個人與領域觀測知識依據漫長的工作經驗。Delphi 由專家構成的小組有時也用來嘗試和排除意見歸類偏差成為一個專家估計狀況。關於工程判斷使用和估算頻率及機率進一步指引也請參見 ISO 16732-1。

A.2 設計火災情境發展用之資料

表 A.1 —設計火災情境發展之資料

資料要素	值及/或來源	參考
火災位置頻率	<p>如果火災統計可用於起源區域，則使用這些。如果不是，將區域分離為這些群體：(a)一般住戶空間，(b)可居住但非一般住戶空間(例如內室)，(c)逃生通道，(d)房間和區域包含識別的主要危險，(e)隱藏空間和外部位置。對於設計火災情境，處理每一個這些區域組合為一個組合由區域選擇的至少一個來表示。在一選擇空間中特定位置也將需要選擇，但這些可從選擇首先燃燒項目由工程判斷來推斷。</p> <p>關於估算頻率和機率之進一步指引也參見 ISO 16732-1。</p> <p>限制</p> <p>消防機關收集之火災事故資料可能不完全，在此僅有一些消防機關貢獻資料到一個更大的管轄單位。許多國家沒有有系統地收集火災資料。火災統計之國際調和性可能顯著限於一些情況，結果在規模等級不同。</p>	6.2.3

表 A.1 (接續)

資料要素	值及/或來源	參考
火災類型頻率 [(由初始引燃情況(或初始燃燒率)定義類型)]	<p>首先，依據初始燃燒率之範圍建立火災類型畫分，與初次引燃項目列表、首先引燃材料類型，及/或引燃熱源定義每一類型的內容(例如點燃菸草產品，明火，輻射或對流熱)。</p> <p>依據此項目組成，其他(次要)可燃項目和氧氣可用性之佈置，可使用工程判斷來推斷初始燃燒率，其可以擴展為初始悶燃，同屬的自由燃燒率和一閃火或引發爆炸。轉變到多個項目燃燒可能包含房間配置和通風情況之估計，和代數表達式之使用來估計當是否第二項目將引</p>	6.2.4

	<p>燃。轉變到整個房間涉入可能包含房間燃料負載和通風之估計和代數表達式之使用來估計當是否閃燃將發生。房間裝修可能相對於火焰延燒經第一個房間到鄰近的空間。屏障之存在，其特性和狀態可能對於火災延燒計算相關之樓層部分或至另外的樓層。</p> <p>如果指定項目首先引燃，首先引燃材料，且熱源符合可用火災事故資料庫之結構，則火災統計可直接使用來估計所需頻率。如果符合不是準確的，將必須使用工程判斷 結合火災統計來產生所需估計。</p> <p>限制</p> <p>消防機關所收集之火災事故資料可能不完整，在此僅有一些消防機關貢獻資料到一個更大的管轄單位。</p>	
<p>由火災類型階段轉變的時機和頻率</p>	<p>火災統計可用來估計特定火災類型將延燒從起源對象(初次項目引燃)到第一個房間或空間多項目之燃燒的機率，火災將延燒從多項目在第一個房間或空間至燃燒到第一個房間或空間外部(其可用來作為閃燃發生之替代)之機率，和火災將延燒從燃燒在單一樓層多個房間到多個樓層燃燒之機率，以及火災將延燒從在一棟建築物到其他建築或建築外部對象之燃燒機率。</p> <p>這些轉變時機，如果發生，可估計從實驗室實驗或計算，依據房間尺度，房間裝修，燃料負載，通風，和其他相關的因素。</p> <p>當足夠的資料可用來追蹤火災延燒從第一個項目引燃到其他鄰近項目在閃燃之前，然後新的因素(例如次要項目之引燃特性和位置)可能也需要考慮。否則可能選擇另一個代表性的熱釋放率隨時間之曲線作為火災起源房間。</p> <p>限制</p> <p>資料可能不足在此情況較少種資料可考慮從其他管轄單位或來源，否則可能必須利用工程判斷來同意待使用的資料。是可行，這是一個團隊努力包含個人與相關領域專家的意見和經驗。</p>	<p>6.2.4</p>

附錄 B

(參考)

一套明確的火災情境範例

B.1 一般

此範例敘述 10 個欲考慮為一個建築環境防火安全工程分析部分之一般火災設計情境組合。此範例依據列在數個國家法規文件之情境 [9][10]。預期每一情境組合將應用多次到不同的建築環境部分同意在眾多工程利益相關者、法規主管機構和同儕審查之中。分析不需要總是包含定量計算。

一套設計情境宜應用給定特定的防火安全目的。對於此範例防火安全目的包括生命安全、鄰近財產防護、輔助滅火和救援作業。一般情境組合在此描述用於說明可能包含之情境特性範圍。預期的此情境將進一步詳細發展且在適用範圍來符合已知管轄單位特別的要求。

火災設計情境組合討論在 [B.2](#) 到 [B.11](#)。

B.2 火災阻攔出口

此情境組合宜需要工程師來評估建築環境中逃生路徑之數目和可用性。宜允許待評估火災位置對逃生路徑可行性之衝擊。宜考慮住戶數目潛在影響，他們在建築環境中的位置和逃生路徑替選方案之可用性。

B.3 一般非居住房間中之火災威脅建築物其他部分中的住戶

此情境組合需要工程師評估一般非居住區域中未被偵測的潛在火災發展，然後延燒到建築環境其他部分，從火災遠端危及住戶。火和煙蔓延速率和延伸區到其住戶接收早期警報，並宜考慮從發展火災的效應防護。

B.4 隱藏空間中的火災

此情境組合需要工程師評估在一個隱藏空間內未偵測的潛在火災之發展(天花板通風部，底層地板空間，牆壁空腔等)，然後延燒到建築環境其他部分，從火災遠端危及住戶。宜考慮潛在火和煙蔓延速率及受限制的或局限程度。

B.5 悶燒火災

此情境組合需要工程師評估潛在對於悶燒火災使住戶失去能力對預期住戶的特性和活動(睡覺，警戒)和提供之火災和煙早期警報範圍加以考慮。

B.6 水平的火災延燒

此情境組合需要工程師評估潛在全盛期火災延燒或對建築環境水平偏移由於牆壁或屋頂裂口導致損害或由於火焰從牆壁和屋頂內之開口產生。在此鄰近的建築環境以距離來分離，熱傳遞主要藉由輻射和對流導致損害到鄰近的建築環境宜考慮。在此鄰近建築環境由構造分離，宜考慮構造提供耐火性之等級。也可能是適當的考慮自動抑制系統的出現和外部滅火資源的可用性。

B.7 垂直的火災延燒

此情境組合需要工程師評估潛在全盛期火災延燒威脅住戶或消防，由於建築環境垂直偏移導致典型地位於建築環境內不同高度損害。必須考慮材料易燃性和可燃性和外牆內使用的構造、任何牆壁中開口之尺度和位置，和由構造元件提

供防護在降低由於外部火羽流潛在允許火災延燒到建築環境中其他較高層的危險。可能必須考慮初始火災建築環境內部和外部兩者位置。

B.8 快速火災延燒包含內部的表面裝修

此情境組合需要工程師評估使用作為內部表面裝修材料的易燃性(牆壁,天花板,樓板)對於其潛在貢獻予火災成長率,煙和有毒氣體產生導致住戶失能之前避難。必須考慮住戶數目和位置,需要時間警報和疏散住戶以及表面裝修數量和配置。可能也適宜考慮由於電纜、管道、管的保溫材料或相似可燃部分潛在貢獻予火災危險。

B.9 火災考驗對於滅火和救援作業

此情境組合需要工程師評估潛在火災和煙危及位於建築環境內和周圍之火災救援人員。這些情境宜考驗上層樓結構穩定性和樓梯間於多層的建築環境預期由消防單位對於救援或滅火作業使用。可能也必須考慮由消防單位和器具可抵達和出入建築物方法(車輛設施),接收資訊關於事故和火災位置(火災控制中心,警報面板),接取消防水供給(消防栓)等等。

B.10 對於避難和生命安全評定之火災考驗

此情境組合需要工程師評估潛在住戶成為無行為能力之前於建築環境安全避難。火災位置和類型需要考慮對於數目,建築環境中住戶的位置和特性如此代表可信的最壞情況考驗住戶安全。

B.11 穩健性檢查

此情境組合需要工程師評估潛在對於防火安全功能包括建築環境內小於完美可靠的或不可用的和衝擊此將針對先前情境進行評估(B.2到B.10)。對於這些情境,可能可接受以修正的性能基準或修正的設計火災其一在假設系統失敗的情況下重新評估先前的情境評估,如此更大的危險或降低安全因素可考慮為可容忍。

附件 C
(參考)
設計火災

C.1 一般

初始，定義設計火災在設計火災情境條件。例如其可以定義在單一項目熱釋放率條件。然而，設計火災特性可隨後依據分析結果修正。例如，如果單一項目火災成長足夠強度可能在一個封閉空間中發生閃燃，必須修正設計火災來反應通風控制在閃燃後火災之特性。類似地，事件如撒水頭作動和窗戶破裂對設計火災產生衝擊。然而必須確保在一個保守的設計解決方案，設計火災是適於防火安全工程分析和結果之目的。

對於一個特定的設計火災情境可能有一個以上的設計火災。例如，當火災延燒在火災起源房間以外到另一個封閉空間，一個新的設計火災可需要代表火災在第二封閉空間。

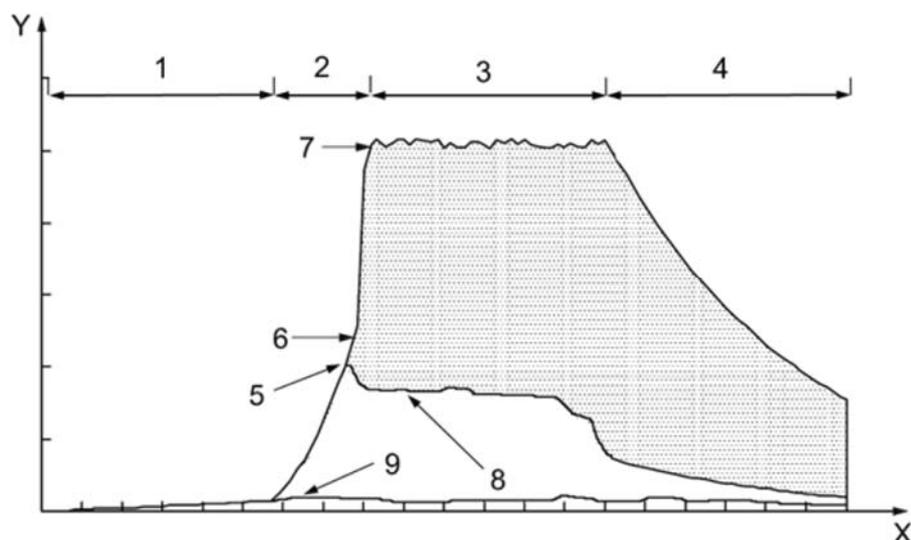
火災成長可從引燃到全盛期階段和最後衰退和最終熄滅。設計火災說明由整個火災之生命週期的變量值，如熱釋放率。

一個設計火災完全規格(參見圖 C.1) 可包括下列階段：

- 初期的階段：來源種類特徵，可為悶燒、有焰或輻射；
- 成長階段：涵蓋火災傳遞期間直到閃燃或完全燃料參與；
- 全盛期階段：其特徵為實質穩定燃燒率可能發生在通風或燃料控制火災；
- 衰退階段：涵蓋火災嚴重性衰退中的期間；
- 熄滅：當沒有更多能量被產生。

因此，一個設計火災必須了解火災完全持續時間描述。此描述包括下列：

- 設計火災情境提供之參數(房間尺度、火災位置、考慮的可燃材料 …)；
- 參數需要做火災發展評估(熱釋放率和其他參數取決於要使用的評估模式)；
- 任何以上參數造成改變之事件。



說明

- | | |
|---------|---------|
| 1 初期的 | 7 通風控制 |
| 2 成長 | 8 撒水頭控制 |
| 3 全盛期 | 9 閃燒 |
| 4 衰退 | X 時間 |
| 5 撒水頭作動 | Y 熱輸出 |
| 6 閃燃 | |

圖 C.1 設計火災範例

C.2 基本特性

C.2.1 設計火災通常表示在下列關於時間變量的特性[需要以防火安全目的且因此藉由分析]:

- 熱釋放率;
- 有毒的物種產生率;
- 煙產生率;
- 火災尺度(包括其發展與時間);
- 溫度/熱通量發展與時間。

C.2.2 決定有焰火災火災成長率特性之因素包括下列:

- 可燃物的性質;
- 燃料幾何配置;
- 封閉空間的幾何;
- 燃料可引燃性;
- 熱釋放率特性;
- 通風;
- 外部熱通量;
- 暴露的表面積。

C.2.3 初始火災成長率隨後藉由發生在設計火災情境中的事件來修正。這些事

件可往正或往負其中之一來修正火災熱釋放率。典型的事件其效應說明如下：

- 閃燃 轉變到一個整體表面參與之狀態；
- 低介面（熱和冷的）層 加速度；
- 撒水頭作啟動 穩定的或衰退；
- 手動火災抑制 穩定的或衰退；
- 燃料耗盡 衰減；
- 通風之變化 修正火災特性；
- 火焰碎屑 接著發生的引燃。

初始火災成長率之決定需要考慮這些方面是重要的。在簡單的燃料幾何定義下的情況，火災模式可用來預測火災成長率。在典型的燃料組合，實驗資料也可用[11]來協助決定火災成長率。

C.2.4 閃燃

閃燃是在一個封閉空間中從一個局部火災到所有可燃材料暴露的表面參與的快速轉變。發生有些常見在中小型封閉空間。

閃燃之效應在設計火災是修正熱釋放率和其他特性至那些適合於全盛期火災。全盛期火災可以是通風或者偶爾燃料控制。

假設在一封閉空間房間內發生閃燃，一般基準說明如下:[12]

- 在上層氣體溫度達 500 °C 至 600 °C ；
- 從上層氣體輻射到樓板達 20 kW/m² 。

C.2.5 全盛期火災

閃燃之後，火災趨向快速達到全盛期階段在此燃燒率受限於燃料或者可用通風。閃燃之後熱釋放率峰值可能採取通風控制和燃料控制熱釋放率較小的。從燃料控制狀態轉變到通風控制狀態發生大致如公式 (C.1) 給與：

$$\dot{m}_f \approx \frac{\dot{m}_{air}}{r} f \quad \text{kg/s} \quad (C.1)$$

更多特殊的基準發展對於特定的燃料例如燃燒木材堆 [13] 。

在決定結構的響應，後閃燃火災之特徵為火災氣體溫度。環境對流和輻射熱傳特性可能也對封閉空間的結構元件和邊界元件加熱有主要衝擊且謹慎選擇是重要的。

C.2.6 通風控制火災

在一區劃中通風控制燃燒速率可決定從空氣流入區劃考慮。研究顯示[12]進入防火區劃空氣流率正比於通風係數， $A\sqrt{h}$ 。然後燃料燃燒質量率可估計從燃燒反應考慮通風控制情況下燃料/空氣比大於化學計量比率這事實。能量釋放率可從考慮有效的燃料燃燒熱來決定[13]。

以上方法依據通風因數低估具分離通風開口在樓板和天花板高度區劃之火災嚴重性。其也可能不適用於大的區劃。

C. 2. 7 燃料控制火災

燃料控制火災發生頻率低於通風控制火災且僅有特定情況可預期，例如貯存類型住戶具高通風程度。

燃料控制火災之燃燒率依賴於燃料性質和表面積。在大部分實際的應用中，這些因數決定困難。簡單而言，良好定義之幾何例如木材堆，關係已發展關於燃料熱解率對初始燃料每單位面積質量和剩餘燃料每單位面積質量 [11]。

C. 2. 8 啟動自動抑制系統

自動抑制系統可在火災期間任何時間操作但一般預期的操作在前閃燃階段期間。熱釋放率隨撒水系統之啟動可取為剩餘常數，除非可顯示已設計的撒水系統抑制火災在一指定期間內。在後者情況，熱釋放率可假設以線性方式減少在一段指定的期間內。

相似地，依據相關的 ISO 或國家標準設計總充溢氣態制火系統的啟動，可假設在設計熄滅藥劑濃度達到後快速抑制火災。

C. 2. 9 消防單位介入

消防單位可能在火災發展期間的任何時間介入，但或許其能控制火災除非是出動的設備能力內。消防單位在火災的效應將取決因素如火災通報方法、建築環境從消防隊位置和距離、可用於消防單位之資源，現場通路情況且供水充足。設計火災考驗消防單位執行搶救和消防活動能力是重要的，且因而從其他設計火災預期對考驗其他防火安全系統設計火災可能不同。例如，較長的火災成長階段可能造成更多考驗的情況在消防單位抵達時間相較於一個衰退的火災。也可能必須考慮火災對消防單位人員之效應來評估他們的效能在執行搶救或消防活動中。

除非使用一個適當的模式對於消防隊介入和效能(例如,參見參考[14]和[15])，介入不宜考慮影響設計火災。

C. 2. 10 衰減

當大部分燃料在一個封閉空間已消耗，或火災無法延燒到鄰接的項目，一般燃燒率由於焦炭的堆積而減少。衰減開始尚未定義且對於準確預測是需要進一步研究。

在缺少具體的資訊下，設計火災的熱釋放率可採取當 80%可用燃料已消耗為開始衰減。衰減率可採取在一段期間內為一線性下降，使得滿足在衰變期間整體熱釋放率等於在可用燃料中剩餘能量的 20 %的條件。

C. 3 由設計火災情境提供之參數

對於每一情境，選擇房間中特定的位置或主要空間對於該情境已辨識。大部分可能的位置可從典型的已經辨識初始燃料項目之位置由工程判斷來推定。大部分考驗的位置將是特殊情況對防火安全量測性能有不利影響。包括下列範例：
— 位置非常接近房間住戶(有時參照“接近引燃”)，格外脆弱性質，或暴露結構元件(例如，在一停車庫)，如此對於進行防火安全量測以有效行動有不足時間和空間；

- 在角落或其他空間位置在此部分封閉空間導致異常快速的火災積聚；
- 從防火安全系統屏蔽的位置；
- 位置接近門口或其他連接空間開口，允許火災延燒到多個空間之前區劃規定可有效響應。

C.4 參數定義

C.4.1 對於大部分應用需要定義之參數

一些參數常用於防火安全工程評估且在其定量估計之前可開始是重要的。如下範例。

C.4.1.1 火災成長熱釋放率

大部分不包含可燃液體、氣體或輕質可燃的例如聚合物泡沫材料之火災成長相對緩慢。如火災尺度提高，火災成長率加速，此火災成長率通常表達在能量釋放率條件。對於設計目的，經常使用能量釋放的指數或冪次率，此代表一個上限對於可能的大範圍，在此情境實際的火災成長。大部分常用關係式是常用參考如” t^2 火災”。在如此火災中，以公式 (C.2) 給定熱釋放率：

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 \left(\frac{t}{t_g} \right)^2 \tag{C.2}$$

在此 t_g 為成長時間到達參考熱釋放率， \dot{Q}_0 。

t^2 火災從考慮因素中的燃料可導致超過最大可能的熱釋放率 \dot{Q} 值。此外，在大燃料層，第一個引燃部分可在燒完之前最後部分被引燃。這些因素宜考慮。

此值可任意選擇，但經常取為 1 MW。一般防火安全工程中使用之四個火災成長率類型，如表 C.1 中所示。

表 C.1 t^2 火災類型

成長率描述	特徵時間， t_g 秒
慢	600
中度	300
快速	150
極快速	75

對於特定的情境適當的類型選擇考慮以上因素說明是必須的。重要的工程判斷在選擇火災成長之適當類型是必須的。

對於良好定義設計火災情境，其中已知燃料幾何配置，類型選擇可依據實驗數據或數值模擬使用一個適當的火焰延燒模式。

火災成長率在貯存的物品中可能從 NFPA 204[16]和 SFPE 手冊得到指引[11]。在缺乏更多特定的資料之下，表 C.2 提供指引。

表 C.2 不同的設計火災情境典型的火災成長類型

設計火災情境	類型
包襯家具或堆疊家具接近可燃內裝材料	極快速
輕質家具	極快速
廢料堆中的包裝材料	極快速
非阻燃塑膠泡棉貯存	極快速
垂直貯存配置中的紙板或塑膠盒	極快速
寢具	快速
顯示器和襯墊工作站分隔	快速
辦公室家具	中度
商店櫃檯	中度
地板覆蓋物	慢

C.4.1.2 悶燒火災

悶燒火災典型地產生非常少的熱但可在一段足夠長的時間中，充滿一封閉空間未燃可燃氣體、有毒的燃燒產物例如一氧化碳和煙灰。卷吸進入這些悶燒火災是低的，造成高的單位燃燒質量煙釋放率和有毒的成分 [17]。

下列因素影響悶燒開始之可能性：

- 燃料特性；
- 通風限制；
- 引燃源強度。

悶燒火災可容易轉變成為有焰火災，特別當通風增加時。

與悶燒火災有關的主要危險是由於不完全燃燒結果產生的一氧化碳。不能維持的情況之發展由於能見度差也是在分析中考慮的一重要顯著危險，特別在住宅住戶中。

還有，目前無定量方法可用來預測潛在的悶燒。重要的是考慮容易產生悶燒材料的存在例如包襯家具、寢具和纖維素材料(特別是那些化學品處理者)。考慮能夠促進悶燒潛在引燃源存在，例如紙菸、熱物體和電氣火花也是重要的。

C.4.1.3 燃燒物

當特別的設計火災情境之燃料組合定義良好且不可能改變整個設計之建築環境使用期限，然後燃料組合實際的燃燒特性可用於設計火災。

一般項目範圍之熱釋放特性已由許多的實驗室使用設備例如家具量熱儀或依據氧氣消耗量熱法測定[18][19][20]。這些測定一般由燃燒物體在一儀器罩下於良好通風情況下進行。在封閉空間的實際火災中宜注意物體例如包襯家具之火災成長率可容易超過在開放情況下自然燃燒的測定(例如集煙罩下方)。從熱層

預熱和輻射回饋可增強火災成長率且可能導致通風火災與增加煙和有毒的物種產生。

牆壁和天花板內裝材料之燃燒特性可使用 ISO 9705 房間火災試驗測定 [21]。

設計火災可依據實際的一個參考燃料組合的燃燒特性如果其可證明

—火災特性為保守的且不可能超過在建築環境設計生命週期內實際的燃料組合，

—在其特性下的情況已測定代表在將要分析的設計火災情境中情況可能存在，和

—火災不可能延燒到尚未考慮的其他燃料組合。

C. 4. 2 當使用簡化的計算模式時需要定義的參數

儘管大部分進階的模式需要火災熱釋放率當輸入到一個封閉空間溫度或其他火災性質之計算，有一類特性較簡單的模式且須要較少複雜的輸入資料。例如，後閃燃火災之參數火災曲線討論在 C. 5. 2. 1 如輸入時不需要火災熱釋放率估計。反而，溫度直接預測，使用較簡單的資訊，例如封閉空間及其通風開口之幾何形狀，房間內裝材料之熱性質和燃料負載。

C. 5 火災發展之評估

對於一個給定設計火災情境，在 C. 4 中測定之參數可用使用簡單的計算方法來預測溫度/熱通量演化與時間和相關的排出物，進階的計算方法或特別試驗結果。此外，宜辨識到有一些特殊的情況必須使用指定火災的地方，不一定代表實際的風險，除了設計情境辨識。

C. 5. 1 指定的火災

法規主管機關或定性的設計審核小組可規定其他想要用於分析之設計火災特性。典型地，指定溫度/熱通量與時間。

C. 5. 2 簡單的計算模式

C. 5. 2. 1 參數火災

溫度源自通風控制火災已顯示 [12] 取決於能量釋放率(反過來是取決於通風)，封閉空間之熱性質和火災持續時間(取決於火載量密度)。不同的通風因素之火災氣體溫度曲線族和火載量密度共同稱為“參數火災”。已針對小區劃和纖維素燃料進行研究，於是參數火災直接相關於小區劃與纖維素燃料。可應用當熱氣流進出封閉空間是由封閉空間之牆壁中開口(通風口)控制。因此其不適用於封閉空間具重要流動通過樓板或天花板水平開口。

參數火災之溫度—時間曲線是說明於參考文獻 [22] 和 [23] 中。參數時間—溫度關係可用來計算在結構和閃燃之後火災延燒熱效應。閃燃前溫度和暴露持續時間一般小於其後閃燃值且一般可忽略和設計火災起始點取為閃燃時間。對流和輻射熱傳係數反應暴露情況可用來轉換溫度關係到熱通量關係。

C. 5. 2. 2 外部設計 火災

有兩類型火災可危害建築環境外部表面(或外觀):火災起源於建築環境內和那

些起源於外面。前者的範例為當火焰從一個發展或全盛期內部的火災發出從開口且隨後傳遞熱到外部表面(或外觀)。後者的範例為當火焰從在建築環境鄰近雜項貯存或廢棄物火災傳熱到外部表面。在此兩種情況，火焰熱傳可導致在外表面可燃內容物引燃且隨後持續的火焰延燒。這可導致可觀的損壞到外部表面或從距離遠端原始火災源之火災經由外部表面開口位置傳遞到內部。

一般而言，從火焰到外部表面最高的強加總熱傳，且因此，最大損害風險或持續的火焰延燒，發生由於火災源於外部和鄰近外部表面。從關注的設計火災情境選擇一個外部設計火災準確再現最大的預期熱通量暴露是重要的。

C.5.2.2.1 從一開口噴出之火焰

火焰從建築環境外部表面開口噴出可由外部表面沿著火焰長度之熱通量剖面來特徵化。火焰噴流從一個區劃的窗戶完全噴出在火災中可由火焰長度和沿著噴流溫度特徵化。已推導這些變數兩者之表達式且在一些國家法規中使用 [24]。

C.5.2.2.2 從鄰近燃燒物至外部表面之火災

火焰從燃燒物接近建築環境之外部表面其特徵應為熱通量剖面沿著火焰長度。

C.5.3 試驗

在一些情況，工程計算方法不可用，例如估算火災成長在複雜的材料系統或估算給定火災之響應對提出的防護系統，例如撒水頭，因為涉及交互作用複雜度。針對如此情況，唯一方法來預測給定情境之結果為使用一個或更多參考尺度試驗方法或為此目的特別發展的試驗方法。此試驗方法類型想要代表一個可能的”真實的”火災情況藉由呈現一個大範圍”真實的”火災現象在一個全尺度幾何形狀而維護良好定義、良好文件化和良好控制試驗環境。

參考尺度試驗方法直接使用來評估特定的嘗試設計策略，或者間接評估特定的工程計算方法之準確度，如果發現適合的，然後用來評估設計策略範圍。在所有情況中，適當的結果解譯從參考尺度試驗方法確保特定設計應用之效度特別重要。例如，如果一個參考尺度試驗環境是用來評估一個嘗試一倉庫中的撒水頭防護策略，必須分析試驗結果來查證火災防護的成功不受因素影響是重要的，例如氧氣消耗不可能在實際的火災中提出。

在一些特定情況，必須使用一個試驗結果和計算組合。一般計算方法的效率由評估試驗結果來決定，且執行真實情況情境之計算，考慮一些安全因素來處理方法比較試驗結果所得到的準確度。

參考書目

- [1] ISO/TS 297611), Fire safety engineering — Selection of design occupant behavioural scenarios and design behaviours.
- [2] ISO 16735, Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Smoke layers.
- [3] ISO 16737, Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Vent flows.
- [4] ISO 16730-1, Fire safety engineering — Assessment, verification and validation of calculation methods — Part 1: General.
- [5] ISO/TS 13447, Fire safety engineering — Guidance for use of fire zone models.
- [6] ISO 31000, Risk management — Principles and guidelines.
- [7] HADJISOPHOCLEOUS G.V., MEHAFFEY J.R. Fire Scenarios, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Chapter 11. National Fire Protection Assn, Quincy, Fourth Edition, 2008.
- [8] SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERS. SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection. Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, Quincy, MA, Second Edition, 2007.
- [9] THE MINISTRY OF BUSINESS, Innovation and Employment (MBIE). C/VM2 Verification Method: Framework for Fire Safety Design. Wellington, New Zealand, 2013.
- [10] NFPA 5000. Building Construction and Safety Code. National Fire Protection Assn, 2012.
- [11] BABRAUSKAS V. HEAT RELEASE RATES. THE SFPE HANDBOOK OF FIRE PROTECTION ENGINEERING. National Fire Protection Assn. Chapter 1. Quincy, Fourth Edition, 2008.
- [12] WALTON W. D. THOMAS P. H. Estimating Temperatures in Compartment Fires. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Chapter 6. National Fire Protection Assn, Quincy, Fourth Edition, 2008.
- [13] DRYSDALE D. An Introduction to Fire Dynamics. Chapter 10. John Wiley and Sons, New York, USA, Second Edition, 1999.
- [14] MARCHANT R., NABEEL K., WISE S. Development and Application of the Fire Brigade Intervention Model. Fire Technol. 2001, **37** pp. 263 – 278.
- [15] BÉNICHOU N., KASHEF A., HADJISOPHOCLEOUS G. Fire Department Response Model (FDRM) and Fire Department Effectiveness Model (FDEM) Theory Report, Internal Report No. 842, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, Ottawa 2002.

- [16] NFPA 204, Standard for Smoke and Heat Venting, National Fire Protection Assn, 2002.
- [17] OHLEMILLER T. J. SMOLDERING COMBUSTION. THE SFPE HANDBOOK OF FIRE PROTECTION ENGINEERING. National Fire Protection Assn. Chapter 9., Fourth Edition, 2008.
- [18] BABRAUSKAS V., LAWSON J. R., WALTON W. D., TWILLEY W. H. Upholstered Furniture Heat Release Rates Measured with a Furniture Calorimeter, NBSIR 82-2604. National Institute of Standards and Technology, Washington, 1982.
- [19] JANSSENS M. CALORIMETRY. THE SFPE HANDBOOK OF FIRE PROTECTION ENGINEERING. National Fire Protection Assn. Chapter 2., Fourth Edition, 2008.
- [20] CBUF. In: Fire safety of upholstered furniture — The final report on the CBUF research programme. (SUNDSTROM B., ed.). Interscience Communications Ltd, London, 1996.
- [21] ISO 9705, Fire tests — Full-scale room test for surface products.
- [22] WICKSTROM, U. Application of the standard fire curve for expressing natural fires for design purposes, Fire Safety: Science and Engineering, ASTM STP 882 or SP-RAPP 1986:19.
- [23] EN-1991-1-2:2002, EuroCode 1. Actions on structures, Part 1.2: General Actions — Actions on structures exposed to fires, Annex A.
- [24] EN 1991-1-2:2002, EuroCode 1. Actions on structures, Part 1.2: General Actions — Actions on structures exposed to fires, Annex B.

附錄八 防火安全工程-控制代數方程式的要求-火羽流(草案)

Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Fire plumes

緒論

本標準預期為從事防火安全工程計算的防火安全從業人員所用。包括防火安全工程師，主管機關，如地方官員，消防人員，執法人員與程式開發人員。我們預期本標準的使用者，在防火安全工程領域具有適當的資格與能力。特別重要的是，使用者需要瞭解能夠使用哪一個特定方法中的參數可以使用。

在防火安全設計中，符合本標準規範的代數方程式與其他工程計算方法一起使用。在此設計之前，先建立背景環境，包含須符合的防火安全目標與目的，以及暫行防火安全設計在特定之設定火災情境的性能基準。工程計算方法用於評估特定設計是否符合這些性能基準，若不符合，則應如何修改此設計。

工程計算的目標包含全新建築環境，例如大樓、船或車輛的防火安全設計，以及評估現有建築環境的安全性。

在本標準中討論的代數方程式非常適於量化設定火災情境的結果。這些方程式可讓從業人員迅速地決定暫行防火安全設計應如何修改，以符合協議之性能基準，直到最終設計文件的階段，而不需浪費時間於詳細的數值運算。因而非常有價值。這些代數方程式的適用領域包含估算煙流的熱傳導，對流與輻射二者；預測關係偵測器反應時間的天花板噴流特性，計算煙自通風開口的傳送，以及分析區劃火災危害，例如煙傳送與閃燃。對於火羽流，代數方程式通常用於估計火焰尺寸，如此方可計算潛在火災與易損目標之間的安全間隔距離。代數羽流方程式也可用於估計在包含可燃材料的建築環境中火焰在水平方向與垂直方向的蔓延。

在本標準中討論的代數方程式，可用於檢查各種計算火災成長及其結果的數值模式的結果。

1. 適用範圍

- 1.1 本標準中的要求控制計算特定火羽流特性的顯代數方程式之應用。
- 1.2 本標準為 ISO/TR 13387-3 所提供之一般要求，對使用顯代數方程式的火災動態計算個案的實作。
- 1.3 本標準的編排是依樣板格式，依下列一般要求型式提供關於代數火羽流方程式特定的資訊：

- a) 計算方法解決物理現象之描述；
- b) 計算程序文件化及其科學基礎；
- c) 計算方法的限制；
- d) 計算方法的輸入參數；
- e) 計算方法的適用範圍。

1.4 符合本標準中所有要求之代數方程式組的範例，依不同的火羽流型式在本標準個別的附錄中提供。目前，有一個參考附錄包含準穩態軸對稱火羽流的代數方程式。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年分者，適用該年分之版次，不適用於其後之修訂版(包括補充增修)。無加註年分者，適用該最新版(包括補充增修)。

CNS 14651 建築物防火詞彙— 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙— 防火試驗用語

CNS 14996 建築物防火詞彙— 防火安全用語

ISO/TR 13387-3:1999, Fire safety engineering — Part 3:Assessment and verification of mathematical fire models

ISO 13943, Fire safety — Vocabulary

3. 用語及定義

為本文件之用途，用語及定義適用於 ISO 13943 以及以下應用。

備考：關於附錄 A 中所用特定用語及定義，詳附錄 A。

4. 控制的物理現象說明要求

4.1 由火源產生的火羽流是一複雜的熱物理現象，可能是高瞬變，或是接近穩態。其包含接近火源的區域，在此通常為有焰燃燒（除非火源為悶燒），及距火源較遠的區域，在此沒有燃燒情形發生，但是只有受浮力支配的向上紊流。火羽流可受到許多環境參數顯著的影響，例如形成火源之燃燒材料的性質與布置、有焰還是悶燒、邊界限制的型式、空氣限制或抑制的程度，風流動或區劃空氣運動等。對於液態碳氫化合物源火災在無風(較少風)狀態的開放區域燃燒，由於大多數的環境因素為可忽略的影響，因此以代數方程式說明火羽流的問題簡化。

- 4.2 一般型態的火源，流動邊界（包含對稱）條件及其他可適用於分析的情境元素，應以圖表協助其描述。
- 4.3 要計算的火羽流特性，以及適用範圍應明確地辨識，包含由計算所得數值推導的特性（例如依據能量與質量守恆所推導的煙濃度與氣溫度的關係），以及這些與輻射熱傳遞至遠離羽流的目標的關係，如果適用。
- 4.4 應明確地辨識應用在火羽流區域（是否有焰/燃燒，火源影響的程度等）的特定方程式。
- 4.5 由於使用不同的方程式描述不同的羽流特性（見 A.4.3）或應用於不同區域（見 A.4.4），應顯示對於給定的數值，如果有一個以上的方法可以計算，則結果必須是與方法無關的。

5. 控制文件化的要求

- 5.1 控制文件化的一般要求可在 ISO/TR 13387-3 找到。
- 5.2 執行計算的程序應以代數方程組來描述。
- 5.3 每個方程式應在條款中呈現，包含說明方程式輸出，以及附註與方程式特殊限制的文字敘述。
- 5.4 方程組中的所有變數均應明確的定義，並給予適當的 SI 單位。最好是無因次係數的方程式。
- 5.5 應透過引用經認可的指南，同儕審核的科學文獻或推導，提供方程組的科學基礎。
- 5.6 範例應顯示如何使用所有符合第 4 節規範的輸入參數值評估方程組。

6. 控制限制的要求

- 6.1 代數方程組直接應用於計算符合第 4 節所描述之狀況的輸出參數之量化限制。
- 6.2 在更通用的計算方法中使用代數方程組時應特別注意，應檢查計算方法中使用的關連性，以及數值程序之一致性。例如，在區域模式中使用給定的羽流方程組，可能獲得與區域模式中另外的天花板噴流方程組不同的結果，由於區域中羽流與天花板噴流結合導至錯誤。

7. 控制輸入參數的要求

- 7.1 代數方程組的輸入參數應明確經辨識的，例如熱釋放率或幾何形狀尺度。

7.2 輸入參數的資料應在國際標準之中明確規定或經辨識的。

7.3 輸入參數的有效範圍應列出如 ISO/TR 13387-3 規定。

8. 控制適用性範圍的要求

8.1 一個以上量測數據的收集應經鑒定的，以建立方程組適用的範圍。這些數據需透過文件紀錄/標準化的程序評估，應具有相當程度的品質（例如 重複性，再現性）[見 ISO 5725（所有部分）]。

8.2 代數方程式適用的範圍，需要透過遵循計算方法之評估、查證與確認原則，與 8.1 所述之量測數據比較而決定。

8.3 第 4 節所述限制代數方程組的潛在誤差源應經鑒定的，例如，對點火源的假設。

附錄 A

(參考)

準穩態軸對稱火羽流方程式

A. 1 用語及定義

下列用語及定義適用於 ISO 13943 以及以下應用：

A. 1. 1 軸對稱(axisymmetric)

平均運動與特性，例如平均溫升，相對於垂直中心線對稱。

A. 1. 2 建築環境(built environment)

任何建築，結構或運輸工具。

例如建築以外的結構包含隧道、橋樑、離岸平臺及礦場。

A. 1. 3 羽流半徑特徵(characteristic plume radius)

羽流溫升對時間平均高於環境值的位置，其半徑為中心線值的一半。

A. 1. 4 燃燒效率係數(combustion efficiency factor)

在特定火災試驗條件之下所量測之燃燒熱對淨燃燒熱的比值。

A. 1. 5 熱釋放率的對流分數(convective fraction of heat release rate)

對流熱釋放率對熱釋放率的比率。

A. 1. 6 對流熱釋放率(convective heat release rate)

由火羽流上升運動載送的熱釋放率之組分。

備考：在平均火焰高度之上，此部分被認定不隨高度變化。

A. 1. 7 伴隨質量流率(entrained mass flow rate)

由周圍汲入火羽流的空氣。

備考：特定水平面的羽流質量流率，可以認定等於在此水平面之下汲入羽流的空氣質量率（在平均火焰高度，火源對羽流的貢獻度很小，通常小於 1%（參照參考資料 [15]））。

A. 1. 8 火羽流(fire plume)

由燃燒產生之浮力所導致的向上紊流流體運動，通常包含較低的火焰部分。

A. 1. 9 火焰(flame)

燃燒時，火羽流的發光區域。

A. 1. 10 燃料混燒率(fuel mass burning rate)

燃料蒸氣的質量生成率。

A. 1. 11 熱釋放率(heat release rate)

燃燒源(例如火源)所釋放的實際熱量速率。

A. 1. 12 噴流火焰(jet flame)

由動量而非浮力所支配的火焰。

A. 1. 13 平均火焰高度(mean flame height)

火焰高於火源底部的對時間平均高度，其定義為在此高度見到火焰的機率為

50%。

A. 1. 14 平均溫升(mean temperature rise)

在羽流中心線，其高於環境溫度之時間平均氣體溫升。

A. 1. 15 平均氣體垂直速度(mean vertical gas velocity)

在羽流中心線，氣體垂直運動速度對時間的平均值

A. 1. 16 淨燃燒熱(net heat of combustion)

材料完全燃燒，水在蒸氣相時，每單位質量損失所產生的熱量。

A. 1. 17 準穩定狀態(quasi-steady state)

假設在火源，熱釋放率的改變會立即影響整個流場。

A. 1. 18 輻射能量釋放係數(radiant energy release factor)

在火源中，以熱輻射釋放的熱量對淨燃燒熱的比例。

A. 1. 19 特定高度的羽流溫升空間平均值(spatial-average plume temperature rise at a given height)

與羽流質量流率及羽流對流熱釋放率相關的羽流平均溫升。

A. 1. 20 化學計量空氣-燃料質量比(stoichiometric air-fuel mass ratio)

完成化學反應的空氣對燃料質量比，亦即沒有燃料或氧氣殘留。

A. 1. 21 虛擬原點(virtual origin)

火羽流自火焰上方的起點

備考：虛擬原點的位置，在直徑小於等於 10 m 的可燃液體池火，可能高於燃燒燃料的平面，在直徑 10 m 至 20 m 的池火，可能低於燃料表面。 [參照公式 (A9)]

A. 2 附錄 A 中使用的符號與縮寫

A_s	火源平面面積 (m^2)
$b_{\Delta T}$	煙流半徑(m)，其平均溫升為中心線之值的一半。
c_p	恆定壓力之下的空氣比熱 ($kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
D	火源直徑 (m)
g	重力加速度 ($m \cdot s^{-2}$)
ΔH_c	淨燃燒熱 ($kJ \cdot kg^{-1}$)
L	火源底部以上的平均高度 (m)
\dot{m}_{ent}	吸入氣流量 ($kg \cdot s^{-1}$)
$\dot{m}_{ent,L}$	平均火焰高度的吸入氣流量 ($kg \cdot s^{-1}$)
\dot{m}_f	燃料燃燒率 ($kg \cdot s^{-1}$)
N	A. 4. 1 (-) 所定義的無因次參數
\dot{Q}	給定或實際量測的熱釋放率 (kW)
\dot{Q}''	單位地板面積的熱釋放 ($kW \cdot m^{-2}$)
\dot{Q}_c	對流熱釋放率 (kW)

s	化學量測空氣對燃料質量比 (-)
T_a	環境溫度 (K)
ΔT_0	煙流中心線對周圍環境的溫升平均值 (K)
ΔT_{0L}	平均火焰高度的煙流中心線溫升平均值 (K)
ΔT_{ave}	在平均火焰高度或高更處，煙流溫升的空間平均值 (K)
u_0	煙流中心線氣體垂直運動平均速度 ($m\ s^{-1}$)
z	高於火源底部的高度 (m)
z_V	虛擬原點高於火源底部的高度 (m)
ρ_a	環境空氣密度 ($kg\cdot m^{-3}$)
α	熱釋放率的對流分數 $1 - \frac{\chi_R}{\chi_a}(-)$
χ_a	燃燒效率係數 (-)
χ_R	輻射能量釋放係數 (-)

A.3 方程組處理的物理現象之描述

A.3.1 平均火焰高度值及對稱火羽流的被選性質

平均火焰高度值及計算所得位於或高於平均火焰高度的對稱火羽流的被選性質。

A.3.2 方程組適用的火場情境元件

方程組適用於靜態環境（亦即不受主動防火措施或風等干擾）中，位於平面面積形狀約為圓形或方形之準穩定狀態火源上方的羽流上升，火源應為水平，燃燒面向上，或是三維燃燒陣列，其平均火焰高度大於陣列高度。適用的火源包含在封閉空間外部，封閉空間內部（當火源本身及其火焰遠離封閉空間邊界）。當燃燒透過建築環境的頂部的（亦即坍塌的屋頂）火焰高度，大於建築環境的高度時，適用的火源也可為完全陷入火災的建築環境。見 A.6 有關者些情境元件的量化限制。

A.3.3 需計算的火羽流特性

方程式提供沿著羽流垂直中心線（對稱軸）位置的氣體溫度與速度。同時也計算平均火焰高度、羽流吸入質量流率、依據氣體溫升的特徵半徑，以及平均羽流溫升。

A.3.4 方程式適用的火羽流區域

火羽流可區分為高於平均火焰高度的區域與低於平均火焰高度的區域，方程式只適用於高於平均火焰高度的區域。

A. 3.5 方程組的自我一致性

本附錄所提供的方程組是由 G. Heskestad 所推導與審查 (參照 A.5)，以確保由不同方程式所計算得到的結果為一致 (亦即沒有衝突)。

A. 3.6 方程式所使用的標準與其他文件

公式 (A.4)，(A.9) 與 (A.18) 在 NFPA 204[38] 當中用於計算排煙與排熱。

A. 4 方程組文件彙編

A. 4.1 平均火焰高度

A. 4.1.1 平均火焰高度無因次公式化， $\frac{L}{D}$ ，來自參考資料[10]列於公式(A.1)至 (A.3) 計算，適用於廣泛的建築環境火場大氣與燃料條件。

$$\frac{L}{D} = -1.02 + 15.6N^{1/5} \quad (A.1)$$

$$N = \left[\frac{c_p T_a}{g \rho_a^2 (\Delta H_c / s)^3} \right] \frac{\dot{Q}^2}{D^5} \quad (A.2)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_f \chi_a \Delta H_c \quad (A.3)$$

A. 4.1.2 在一般大氣條件下 $\{g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} ; c_p = 1.00 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot \text{K})^{-1} ; \rho_a = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} ; T_a = 293 \text{ K} \text{ 及 } \frac{\Delta H_c}{s} = 3000 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，最後一個值是許多常用燃料的平均值，如參考資料 [35]，表 3-4.19，3-4.20 及 3-4.21}，平均火焰高度 L 是由參考資料 [6] 所得的方程 (A.4) 計算。

$$L = -1.02D + 0.235\dot{Q}^{2/5} \quad (A.4)$$

A. 4.2 火源底部上方虛擬原點高度

A. 4.2.1 虛擬原點高度 $\frac{z_v}{D}$ 的無因次公式化，來自參考資料 [7] 列於公式 (A.5) 至 (A.8) 計算，適用於廣泛的建築環境火場大氣與燃料條件：

$$\frac{z_v}{D} = -1.02 + 15.6(X - Y) \frac{\dot{Q}^{2/5}}{D} \quad (A.5)$$

$$X = \left[\frac{c_p T_a}{g \rho_a^2 (\Delta H_c / s)^3} \right]^{1/5} \quad (A.6)$$

$$Y = 0.158 \left[(c_p \rho_a)^{4/5} T_a^{3/5} g^{2/5} \right]^{-1/2} \alpha^{2/5} \frac{T_{0L}^{1/2}}{\Delta T_{0L}^{3/5}} \quad (A.7)$$

$$T_{0L} = \Delta T_{0L} + T_a \quad (A.8)$$

A.4.2.2 在一般大氣條件下 $\{g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}; c_p = 1.00 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}; \rho_a = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}; T_a = 293 \text{ K}; \alpha = 0.7; \Delta T_{0L} = 500 \text{ K}$ 及 $\frac{\Delta H_c}{s} = 3000 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ }, 最後一個值是許多常用燃料的平均值, 如參考資料 [35], 表 3-4.19, 3-4.20 及 3-4.21}, 虛擬原點高度 z_V 為 \dot{Q} 與 D 的函數, 列於公式 (A.9), 由參考資料 [7] 因次的相關, 與燃料的種類無關:

$$\frac{z_V}{D} = -1.02 + 0.083 \frac{\dot{Q}^{2/5}}{D} \quad (A.9)$$

A.4.2.3 在一般大氣條件下, 虛擬原點高度 z_V 為 \dot{Q}_c 與 L 的函數, $[g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}; c_p = 1.00 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}; \rho_a = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}; T_a = 293 \text{ K}; \Delta T_{0L} = 500 \text{ K}; \frac{\Delta H_c}{s} = 3000 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

列於公式 (A.10) 與 (A.11), 由參考資料 [7] 因次的相關, 與燃料的種類無關:

$$z_V = L - 0.175 \dot{Q}_c^{2/5} \quad (A.10)$$

$$\dot{Q}_c = \alpha \dot{Q} \quad (A.11)$$

A.4.3 平均火焰高度以上的平均中心線溫升

A.4.3.1 平均火焰高度以上的平均中心線溫升的無因次化公式 ΔT_0 來自參考資料 [39] 的公式 (A.12) 計算:

$$\Delta T_0 = 9.1 \left(\frac{T_a}{g c_p^2 \rho_a^2} \right)^{1/3} \dot{Q}_c^{2/3} (z - z_V)^{-5/3} \quad (A.12)$$

A.4.3.2 在一般大氣條件下 $[g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}; c_p = 1.00 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}; \rho_a = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}; T_a = 293 \text{ K}]$, 平均火焰高度以上的平均中心線溫升 ΔT_0 是由來自參考資料 [34] 因次的相關公式 (A.13) 計算。

$$\Delta T_0 = 25.0 \dot{Q}_c^{2/3} (z - z_V)^{-5/3} \quad (A.13)$$

A.4.4 平均火焰高度以上的平均中心線垂直氣體速度

A.4.4.1 平均火焰高度以上的平均中心線垂直氣體速度無因次化公式 u_0 由來自參考資料 [39] 的公式 (A.14) 計算:

$$u_0 = 3.4 \left(\frac{g}{c_p \rho_a T_a} \right)^{1/3} \dot{Q}_c^{1/3} (z - z_V)^{-1/3} \quad (\text{A. 14})$$

A. 4. 4. 2 在一般大氣條件下 [$g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; $c_p = 1.00 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$; $\rho_a = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $T_a = 293 \text{ K}$]，平均火焰高度以上的平均中心線垂直氣體速度 u_0 由來自參考資料 [34] 因次的相關公式 (A. 15) 計算：

$$u_0 = 1.03 \dot{Q}_c^{1/3} (z - z_V)^{-1/3} \quad (\text{A. 15})$$

A. 4. 5 平均火焰高度以上的特徵羽流半徑

計算平均溫升為中心線之半的羽流半徑 $b_{\Delta T}$ 之無因次化公式，來自參考資料 [39]，列於公式 (A. 16)

$$b_{\Delta T} = 0.12 \left(\frac{T_0}{T_a} \right)^{1/2} (z - z_V) \quad (\text{A. 16})$$

備考：對於氣體速度為中心線值之半的羽流半徑，會較平均溫升為中心線之半的羽流半徑 $b_{\Delta T}$ 略大約 10%。

A. 4. 6 平均火焰高度以上的羽流質量流率

A. 4. 6. 1 平均火焰高度以上 ($z \geq L$) 的無因次公式羽流質量流率 \dot{m}_{ent} 由來自參考資料 [15] 的方程式 (A. 17) 計算：

$$\dot{m}_{ent} = 0.196 \left(\frac{g \rho_a^2}{c_p T_a} \right)^{1/3} \dot{Q}_c^{1/3} (z - z_V)^{5/3} \left[1 + \frac{2.9 \dot{Q}_c^{2/3}}{(g^{1/2} c_p \rho_a T_a)^{2/3} (z - z_V)^{5/3}} \right] \quad (\text{A. 17})$$

A. 4. 6. 2 在一般大氣條件下 [$g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; $c_p = 1.00 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$; $\rho_a = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $T_a = 293 \text{ K}$]，平均火焰高度以上 ($z \geq L$) 的羽流質量流率，由來自參考資料 [34] 因次的相關公式 (A. 18) 計算。

$$\dot{m}_{ent} = 0.071 \dot{Q}_c^{1/3} (z - z_V)^{5/3} [1 + 0.027 \dot{Q}_c^{2/3} (z - z_V)^{-5/3}] \quad (\text{A. 18})$$

A. 4. 6. 3 位於平均火焰高度 $\dot{m}_{ent,L}$ [$z = L$ ，而來自公式 (A. 5) 至 (A. 8) 的 z_V 在公式 (A. 17) 取代] 中的無因次公式羽流質量流率，由來自參考資料 [34] 的因次的相關公式 (A. 19) 計算。

$$\dot{m}_{ent,L} = 0.878 \left[\left(\frac{T_{0L}}{T_a} \right)^{5/6} \left(\frac{T_a}{\Delta T_{0L}} \right) + 0.647 \right] \frac{\dot{Q}_c}{c_p T_a} \quad (\text{A. 19})$$

A. 4. 6. 4 在一般大氣條件下 $\dot{m}_{ent,L}$ [由公式 (A. 19) 獲得，其中 $c_p =$

$1.00 \text{ kJ}(\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}; T_a = 293 \text{ K}; \Delta T_{0L} = 500 \text{ K}$ ，由來自參考資料 [34] 的尺度相關公式 (A. 20) 計算。

$$\dot{m}_{\text{ent,L}} = 0.0059 \cdot \dot{Q}_c \quad (\text{A. 20})$$

A. 4. 7 平均火焰高度以上對空間的平均羽流溫升

平均火焰高度以上對空間的平均羽流溫升 ΔT_{ave} 由來自參考資料 [34] 的無因次表達式 (A. 21) 計算。

$$\Delta T_{\text{ave}} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{m}_{\text{ent}} \cdot c_p} \quad (\text{A. 21})$$

A. 5 方程組的科學依據

軸對稱火羽流的理論可追溯到 Schmidt [1], Rouse 等人 [2], Morton 等人 [3] 與 Yokoi [4] 的早期論述，及 Morton [5] 對大密度缺失的修正，以及由 Heskestad [6] 從公開試驗所建立的經驗係數。虛擬原點 (z_v) 是由 Heskestad [7] 所發展，參照其他作者，包含 Hasemi 與 Tokunaga [8] 及 Cetegen 等人 [9] 的工作成果。火焰高度公式可追溯至 Heskestad [10]。Yih [11], Thomas 等人 [12], McCaffrey [13], Cetegen 等人 [14], Heskestad [15], Delichatsios [16], Zukoski [17] 及 Zhou 與 Gore [18] 等均對汲入的預測提供貢獻。

許多作者也闡述了對稱性火羽流所產生的條件，包含 Cox 與 Chitty [19], Dai 等人 [20], Gengembre 等人 [21], George 等人 [22], Heskestad [23], [24], [25], Kung 與 Stavrianidis [26], McCaffrey [27], Orloff [28], Orloff 與 de Ris [29], Shabbir 與 George [30], Tamanini [31] 及 Thomas [32], [33]。

在 A. 4. 1 至 A. 4. 6 提及的公式，其依據紀錄在 Heskestad [34]。公式 (A. 19) 與 (A. 20) 是使用在 A. 4. 1 至 A. 4. 2 提及的公式，自 Heskestad [34] 推導而得。

A. 6 方程組限制

方程組不宜應用於下列方程式。

A. 6. 1 火源

方程組不宜應用於受滅火劑影響的火源；長寬比大於等於 2 的矩形火源，空氣輸入受限的三維火源，或是平均火焰高度小於本身高度 110% 之三維火源，含有噴流火焰（例如來自泄漏的管路或從加壓儲槽孔口流出）的火源；火焰分佈在廣大區域而有多處火羽流的火源。

A. 6. 2 火焰尺度

方程組不宜應用於封閉空間內，當平均火焰高度 L 大於內部垂直尺度 50% 之封閉空間，及/或 有效火焰直徑大於最小平面尺度的 10% 之封閉空間。

A. 6. 3 接近邊界

方程組不宜應用於火源本身或其火焰距邊界表面的距離於火源直徑 D 內的封閉區間。

A. 6. 4 空氣動力擾動

方程組不宜應用於受到空氣動力擾動的羽流，這些擾動可能發生來自流場中的妨礙，或是風的效應，通過封閉區間開口的機械或自然通風。

A. 6. 5 輸出參數

當計算所得的平均溫升 ΔT_0 遠低於（見 A. 58）在火災引燃之前，環境中隨高度而增加的溫度（例如，依據一個封閉空間底部至頂部之間的溫度分層），或是計算所平均溫升大於 ΔT_{0L} 時，方程組不宜應用。

A. 7 方程組輸入參數

A. 7. 1 火源熱釋放率

參數 \dot{Q} ，單位為(kW)，為火源特定環境條件下實際熱釋放率，透過蒐集產生的氣體，估算 O_2 、 CO_2 與 CO 的產生率，或另外機制，由熱量計量測而得。此參數通常由設計火災情境獲得。其他火源熱釋放率與熱量計的訊息來源，包含在 Tewarson [35] 與 Babrauskas [36] 等參考資料中。

A. 7. 2 對流部分

此無因次參數 α ，其範圍通常對暴露固態表面或燃燒的液態燃料池火為 0.6 至 0.7，但對於含氧液體燃料或低分子量氣體燃料，可達 0.8 以上。對於三維火源，此參數在火災成長的早期階段遠小於單一火源，在火災成長進階階段增加至 0.6 至 0.7。此參數通常由設計火災情境獲得，其額外資訊可從 Tewarson [35] 獲得。

A. 7. 3 火源直徑

此參數 D ，單位為(m)，為圓形火源的直徑。此參數通常由設計火災情境獲得。對於矩形火源如此火源，使用與圓形火源相同面積 A_s ，單位為 m^2 ，其有效直徑 D ，由公式 (A. 22) 獲得。

$$D = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}} \quad (A. 22)$$

A. 7. 4 火羽流高度

此參數 z ，單位為(m)，通常由設計火災情境獲得。

A. 7. 5 單位質量空氣的燃燒熱

此參數 $\frac{\Delta H_c}{s}$ ，單位為(kJ/kg)，對於特定的聚合物或其他材料，可由 Tewarson [35] (後者的值經過燃燒效率調整)，Babrauskas [36] 及化學工程師手冊 [37] 獲得。

對於未列於前述參考資料的燃料，此參數 $\frac{\Delta H_c}{s}$ 可要求試驗，包含使用熱量計取得 ΔH_c 及元素分析取得 s 。

A. 7. 6 輸入參數的有效範圍

熱釋放率與直徑參數 \dot{Q} 與 D ，通常宜依據在 McCaffrey [27] 獲得的資訊，滿足不等式 (A. 23) 的條件。

$$0.04 < \frac{\dot{Q}}{\rho_a c_p T_a \sqrt{g} D^{5/2}} < 2 \times 10^4 \quad (\text{A. 23})$$

參數 z 的有效範圍，通常由平均火焰高度至封閉空間頂部表面的高度，或是相應於符合 A. 8 要求的溫升之值。

A. 8 方程組的適用領域

此附錄所述之方程組的適用領域，可由 A. 5 所提及之科學文獻決定。

要保持此適用領域，周圍環境溫度的分層應限制，例如高度 z 的周圍溫度 T_a 與接近火源底部的周圍溫度 $(T_a)_{z=0}$ 相關，如同由參考資料[34]獲得之公式 (A. 24) 所給定的不等式條件。

$$(T_a)_z - (T_a)_{z=0} < 7\Delta T_0 \quad (\text{A. 24})$$

A. 9 計算範例

A. 9. 1 火焰高度

考慮直徑 1.8 m，裝有可燃液體的燃燒盤，其熱釋放率為 $2500 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在常態大氣條件下 (氣壓 101.3kPa，氣溫 293 K) 平均火焰高度 L ，單位為(m)，可由以下公式 (A. 4) 獲得：

$$L = -1.02 \times 1.8 + 0.235 \times (2500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/5} = 5.97$$

A. 9. 2 虛擬原點位置

考慮同 A. 9. 1 的火盤。由於熱釋放率為給定，虛擬原點 z_v ，單位為(m)，可由以下公式 (A. 9) 獲得：

$$z_V = -1.02 \times 1.8 + 0.083 \times (2500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/5} = 0.921$$

這表示，虛擬原點在火源底部上方 0.921 m 處，或在此例中為燃燒液面上方 0.921 m。

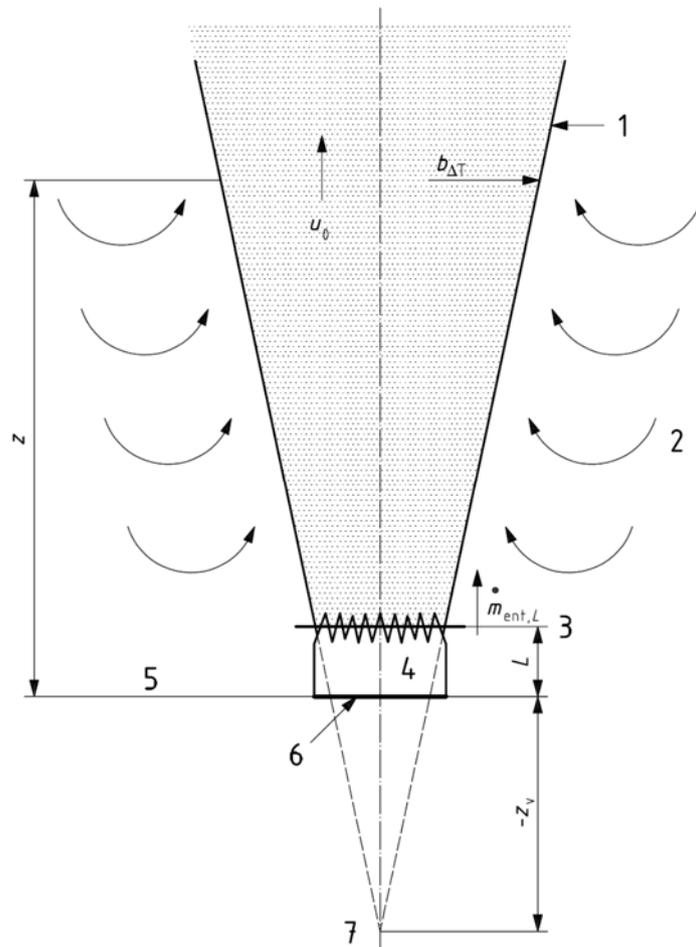
A. 4. 3 平均火焰高度以上的平均溫升

考慮 A. 91 所述的盆火，其熱釋放率的對流部分為 0.7。在可燃液體表面上方 9 m 高度之羽流中心線高於環境溫度的平均溫升，可由以下公式 (A. 13) 獲得：

$$\Delta T_0 = 25 \times (0.7 \times 2500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/3} \times (9 - 0.921)^{-5/3} = 208\text{K}$$

因此，平均火焰高度上方 3 m 的最大平均氣體溫度為 $208 + 20 = 228 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

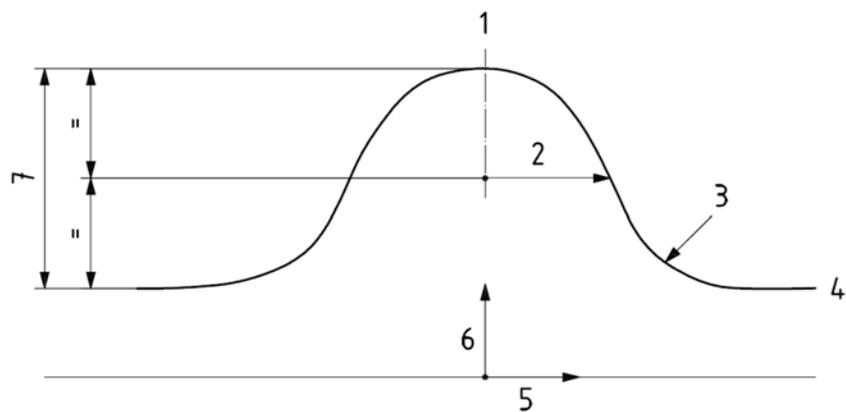
A. 10 圖示說明



說明

- | | | | |
|---|-----------|---|---------------|
| 1 | 標示羽流的特徵半徑 | 5 | 火焰底部 |
| 2 | 吸入空氣 | 6 | 火源平面面積， A_s |
| 3 | 平均火焰高度 | 7 | 虛擬原點 |
| 4 | 火源 | | |

圖 A. 1 描述羽流的參數之圖形



說明

- | | | | |
|---|--------|---|------|
| 1 | 羽流中心線 | 5 | 距離 |
| 2 | 特徵羽流半徑 | 6 | 溫度 |
| 3 | 溫度曲線 | 7 | 平均溫升 |
| 4 | 環境溫度 | | |

圖 A.2 羽流曲線圖

參考資料

- [1] SCHMIDT, W., *Turbulente Ausbreitung eines Stromes erhitzter Luft*, Z. Angew. Math. Mech., Vol. 21, pp. 265-278, 351-363.
- [2] ROUSE, H., YIH, C. S. and HUMPHREYS, H. W., *Gravitational Convection from a Boundary Source*, Tellus, Vol. 4, pp. 201-210, 1952.
- [3] MORTON, B. R., TAYLOR, G. I. and TURNER, J. S., *Turbulent Gravitational Convection from Maintained and Instantaneous Sources*, Proc. R. Soc. London, Vol. A234, pp. 1-23, 1956.
- [4] YOKOI, S., Report No. 34, Building Research Institute of Japan, 1960.
- [5] MORTON, B. R., *Modeling of Fire Plumes*, Tenth Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, pp. 973-982, 1965.
- [6] HESKESTAD, G., *Fire Plumes*, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (Ed. P. J. DiNenno), Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, pp. 1-107 to 1-115, 1988.
- [7] HESKESTAD, G., *Virtual Origins of Fire Plumes*, Fire Safety J., Vol. 5, pp. 109-114, 1983.
- [8] HASEMI, Y. and TOKUNAGA, T. *Flame Geometry Effects on the Buoyant Plumes from Turbulent Diffusion Flames*, Fire Sci. Technol., Vol. 4, pp. 15-26, 1984a.
- [9] CETEGEN, B. M., ZUKOSKI, E. E. and KUBOTA, T., *Entrainment in the Near and Far Field of Fire Plumes*, Combust. Sci. Technol., Vol. 39, pp. 305-331, 1984.
- [10] HESKESTAD, G., *Luminous Heights of Turbulent Diffusion Flames*, Fire Safety J., Vol. 5, pp. 103-108, 1983.
- [11] YIH, C. S., *Free Convection Due to a Point Source of Heat*, Proc. 1st US National Congress of Applied Mechanics, pp. 941-947, 1952.
- [12] THOMAS, P. H., BALDWIN, R. and HESELDEN, A. J. M., *Buoyant Diffusion Flames: Some Measurements of Air Entrainment, Heat Transfer and Flame Merging*, Tenth Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, pp. 983-996, 1965.
- [13] MCCAFFREY, B. J., *Purely Buoyant Diffusion Flames: Some Experimental Results*, NBSIR 79-1910, National Bureau of Standards, Washington, DC, 1979 [14] CETEGEN, B. M., ZUKOSKI, E. E. and KUBOTA, T., *Entrainment and Flame Geometry of Fire Plumes*, Report G8-9014, California Institute of Technology, Daniel and Florence Guggenheim Jet Propulsion Center, Pasadena, CA, 1982.

- [15] HESKESTAD, G., *Fire Plume Air Entrainment According to Two Competing Assumptions*, Twenty-first Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, pp. 111-120, 1986.
- [16] DELICHATSIOS, M. A., *Air Entrainment into Buoyant Jet Flames and Pool Fires*, Combustion and Flame, Vol. **70**, pp. 33-46, 1987.
- [17] ZUKOSKI, E. E., *Mass Flux in Fire Plumes*, Fire Safety Science - Proc. Fourth Int. Symposium (Ed. T. Kashiwagi), International Association for Fire Safety Science, pp. 137-147, 1994.
- [18] ZHOU, X. C. and GORE, J. P., *Air Entrainment Flow Field Induced by a Pool Fire*, Combustion and Flame, Vol. **100**, pp. 52-60, 1995.
- [19] COX, G. and CHITTY, R., *A Study of the Deterministic Properties of Unbounded Fire Plumes*, Combustion and Flame, Vol. **39**, pp. 191-209, 1980.
- [20] DAI, Z., TSENG, L. K. and FAITH, G. M., *Structure of Round, Fully Developed, Buoyant Turbulent Plumes*, J. Heat Transfer, Vol. **116**, pp. 409-417, 1994.
- [21] GENGEMBRE, E., CAMBRAY, P., KARMED, D. and BELLET, J. C., *Turbulent Diffusion Flames with Large Buoyancy Effects*, Combustion Sci. and Technology, Vol. **41**, pp. 55-67, 1984.
- [22] GEORGE, W. K., ALPERT, R. L. and TAMANINI, F., *Turbulence Measurements in an Axisymmetric Buoyant Plume*, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. **20**, pp. 1145-1154, 1977.
- [23] HESKESTAD, G., *Note on Maximum Rise of Fire Plumes in Temperature-Stratified Ambients*, Fire Safety J., Vol. **15**, pp. 271-276, 1989.
- [24] HESKESTAD, G., *A Reduced-Scale Mass Fire Experiment*, Combustion and Flame, Vol. **83**, pp. 293-301, 1991.
- [25] HESKESTAD, G., *Fire Plume Behavior in Temperature Stratified Ambients*, Combustion Sci. and Technology, Vol. **106**, pp. 207-228, 1995.
- [26] KUNG, H. C. and STAVRIANIDIS, P., *Buoyant Plumes of Large-Scale Pool Fires*, Nineteenth Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, pp. 905-912, 1983.
- [27] MCCAFFREY, B. J., *Flame Height*, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2nd Edition (Ed. P. J. DiNenno), Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, pp. 1-298 to 1-305, 1995.
- [28] ORLOFF, L., *Simplified Radiation Modeling of Pool Fires*, Eighteenth Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh,

- PA, pp. 549-561, 1981.
- [29] ORLOFF, L. and DE RIS, J.L., *Froude Modeling of Pool Fires*, Nineteenth Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, pp. 885-895, 1982.
- [30] SHABBIR, A. and GEORGE, W.K., *Experiments on a Round Turbulent Buoyant Plume*, J. Fluid Mech., Vol. **275**, pp. 1-32, 1994.
- [31] TAMANINI, F., *Direct Measurements of the Longitudinal Variation of Burning Rate and Product Yield in Turbulent Diffusion Flames*, Combustion and Flame, Vol. **51**, pp. 231-243, 1983.
- [32] THOMAS, P.H., *The Size of Flames from Natural Fires*, Ninth Symp. (Int.) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, pp. 844-859, 1963.
- [33] THOMAS, P.H., HINKLEY, P.L., THEOBALD, C.R. and SIMS, D.L., *Investigation into the Flow of Hot Gases in Roof Venting*, Fire Technical Paper No. 7, Joint Fire Research Organisation, London, HMSO, 1963.
- [34] HESKESTAD, G., *Fire Plumes, Flame Height and Air Entrainment*, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (Ed. P.J. DiNenno), 3rd Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 2-1 to 2-17, 2002.
- [35] TEWARSON, A., *Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires*, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (Ed. P.J. DiNenno), 3rd Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 3-82 to 3-161, 2002.
- [36] BABRAUSKAS, V., *Heat Release Rates*, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (Ed. P.J. DiNenno), 3rd Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 3-1 to 3-37, 2002.
- [37] Perry's Chemical Engineers' Handbook (Ed. D.W. Green), 7th Edition, McGraw-Hill, New York, NY, 1997.
- [38] NFPA 204, *Standard for Smoke and Heat Venting*, 2002 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, Clause 9.2.3, 2002
- [39] HESKESTAD, G., Fire Safety J., Vol. **7**, p. 25, 1984.
- [40] ISO 5725 (all parts), *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results*.

附錄九 防火安全工程-控制代數方程式的要求-煙層(草案)

Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Smoke layers

緒論

本標準預期為從事防火安全工程計算的防火安全從業人員所用。包括防火安全工程師，主管機關，如地方官員，消防人員，執法人員與程式開發人員。我們預期本標準的使用者，在防火安全工程領域具有適當的資格與能力。特別重要的是，使用者需要瞭解能夠使用哪一個特定方法中的參數可以使用。

在防火安全設計中，符合本標準規範的代數方程式與其他工程計算方法一起使用。在此設計之前，先建立背景環境，包含須符合的防火安全目標與目的，以及暫行防火安全設計在特定之設定火災情境的性能基準。工程計算方法用於評估特定設計是否符合這些性能基準，若不符合，則應如何修改此設計。

工程計算的目標包含全新建築環境，例如大樓、船或車輛的防火安全設計，以及評估現有建築環境的安全性。

在本標準中討論的代數方程式非常適於量化設定火災情境的結果。這些方程式可讓從業人員迅速地決定暫行防火安全設計應如何修改，以符合協議之性能基準，直到最終設計文件的階段，而不需浪費時間於詳細的數值運算。因而非常有價值。這些代數方程式的適用領域包含估算煙流的熱傳導，對流與輻射二者；預測關係偵測器反應時間的天花板噴流特性，計算煙自通風開口的傳送，以及分析區劃火災危害，例如煙傳送與閃燃。對於煙層，代數方程式通常用於估算煙充滿區劃內特定部分所需的時間，以及煙層內之溫度與濃度。

在本標準中討論的代數方程式，可用於檢查各種計算火災成長及其結果的數值模式的結果。

1. 適用範圍

1.1 本標準中的要求控制計算由火災產生之特定煙層特性的代數方程式組之應用。

1.2 本標準為 ISO/TR 13387-3 所提供之一般要求，對使用代數方程組的火災動力計算個案的實施。

1.3 本標準的編排是依樣版的型式，依下列一般要求型式提供關於代數煙層方程式特定的資訊：

- a) 計算方法解決物理現象之描述；
- b) 計算程序文件化及其科學基礎；
- c) 計算方法的限制；
- d) 計算方法的輸入參數；
- e) 計算方法的適用範圍。

1.4 符合本標準中所有要求之代數方程式組的範例，依不同的煙層情境型式在個別的附錄中提供。附錄 A 包含煙層的一般資訊與守恆要求，附錄 B 包含計算煙層特性的特定代數方程式。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年分者，適用該年分之版次，不適用於其後之修訂版(包括補充增修)。無加註年分者，適用該最新版(包括補充增修)。

CNS 14651 建築物防火詞彙— 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙— 防火試驗用語

CNS 14996 建築物防火詞彙— 防火安全用語

ISO 5725 (all parts), Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results

ISO/TR 13387-3 : 1999, Fire safety engineering — Part 3: Assessment and verification of mathematical fire models

ISO 13943, Fire safety — Vocabulary

ISO 16734:2006, Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Fire plumes

ISO 16737, Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Vent flows

3. 用語及定義

為本文件之用途，用語及定義適用於 ISO 13943 以及附錄 A 中所用特定用語及定義，見附錄 A。

4. 控制物理現象描述的要求

4.1 在封閉空間中，由火源產生的有浮力的煙層是一複雜的熱物理現象，可能是極度瞬變，或是接近穩態。煙層可包含牽涉有焰燃燒的區域以及無燃燒發生的區域。除了浮力之外，煙層可能受到機械風機產生的動力所影響。

4.2 一般型態的火源，包圍邊界條件及其他可適用於分析的情境元件，應以圖表協助其描述。

4.3 需要計算的煙層特性，以及有效的範圍應明確地辨識，包含由計算所得數值推導的特性（例如基於能量與質量守恆所推導的煙濃度與過量氣體溫度的關係），以及那些經由煙層傳送至物體與住戶的熱，如果適用。

4.4 應明確鑑別特定方程式適用之物理現象（例如簡單的煙填充，機械排煙等）。

4.5 由於使用不同的方程式描述不同的煙層特性（4.3）或應用於不同區域（4.4），應顯示對於給定的數值，如果有一個以上的方法可以計算，則結果必須是與方法無關的。

5. 控制文件化的要求

- 5.1 控制文件化的一般要求可在 ISO/TR 13387-3 找到。
 - 5.2 執行計算的程序應以代數方程組來描述。
 - 5.3 每個方程式應在次條款中呈現，包含說明方程式輸出，以及附註與方程式特殊限制的文字敘述。
 - 5.4 方程組中的所有變數均應明確的定義，並給予適當的 SI 單位。最好是無因次係數的方程式。
 - 5.5 應透過引用經認可的指南，同儕審核的科學文獻或推導，提供方程組的科學基礎。
 - 5.6 範例應顯示如何使用所有符合第 4 節規範的輸入參數值評估方程組。
6. 控制限制的要求
- 6.1 代數方程組直接應用於計算符合第 4 節所描述之狀況的輸出參數之量化限制。
 - 6.2 在更通用的計算方法中使用代數方程組時應特別注意，應檢查計算方法中使用的關連性，以及數值程序之一致性。
7. 控制輸入參數的要求
- 7.1 代數方程組的輸入參數應明確經辨識的，例如熱釋放率或幾何形狀尺度。
 - 7.2 輸入參數的資料應在國際標準之中明確規定或經辨識的。
 - 7.3 輸入參數的有效範圍應列出(見 ISO/TR 13387-3)。
8. 控制適用性範圍的要求
- 8.1 一個以上量測數據的收集應經鑒定的，以建立方程組適用的範圍。這些數據需透過文件紀錄/標準化的程序評估，應具有相當程度的品質(例如 重複性，再現性) [見 ISO 5725 (所有部分)]。
 - 8.2 代數方程式適用的範圍，需要透過遵循計算方法之評估、查證與確認原則，與 8.1 所述之量測數據比較而決定。
 - 8.3 第 4 節所述限制代數方程組的潛在誤差源應經鑒定的。

附錄 A
(參考)
煙層的一般特性

A.1 用語及定義

下列用語及定義適用於 ISO 13943 以及以下應用：

A.1.1 邊界(boundary)

限定封閉區間範圍表面。

A.1.2 封閉區間(enclosure)

由表面所界限的房間，空間或容積。

A.1.3 火羽流(fire plume)

由燃燒產生之浮力源所導致的向上紊流流體運動，通常包含起始的火焰部分。

A.1.9 火焰(flame)

燃燒時，火羽流的發光部分。

A.1.5 熱釋放率(heat release rate)

燃燒源(例如火源)所釋放熱的速率。

A.1.6 界面位置(interface position)

煙層界面相對於基準高度，通常為封閉區間最低的邊界的高度。

備考:也被稱為煙層高度

A.1.7 準穩定狀態(quasi-steady state)

假設在火源，熱釋放率的改變會影響整個最近流場。

A.1.8 煙(smoke)

空浮固態或液態微粒及材料經過熱解或燃燒釋出的氣體，連同夾帶或其他方式混入圍之中的空氣量。

A.1.9 煙層(smoke layer)

因火災產生而形成與累積在封閉區間最高邊界之下的相對均質之煙容積。

備考：也被稱為上層熱氣或熱氣層。

A.1.10 煙層界面(smoke layer interface)

分隔煙層與較低之無煙層的水平平面。

A.1.11 通風口(vent)

封閉區間邊界的開口，空氣與煙霧可經由此流動，由自然或機械產生的力所驅動。

A.1.12 通風氣流(vent flow)

通過封閉區間邊界開口的空氣或煙流。

A.2 方程組處理的物理現象之描述

A.2.1 計算方法的一般描述

本附錄描述用於計算封閉區間火災期間，在邊界之下方形成的煙層之界面位置、平均溫度及特定化學物質的平均濃度。這些計算方法是以質量、種類與能量守恆原理為基準，將煙層視為熱力控制體應用。

煙是由燃燒產生，累積在封閉的上層。假設煙形成溫度與氣體濃度相當均勻的一層。基於應用於煙層的質量、種類與能量守恆原理，可計算平均溫度、煙濃度及界面位置。關於火羽流與通風氣流，分別在 ISO 16734 與 ISO 16737 說明。

A.2.2 計算煙層特性

方程式可提供平均煙層溫度、氣體濃度及界面位置。

A.4 方程式組文件

A.3.1 一般

如圖 A.1 所示，煙層是由封閉區間內的火災所產生。質量、熱及特定化學物種守恆可在 A.3.2 至 A.3.4 中找到。

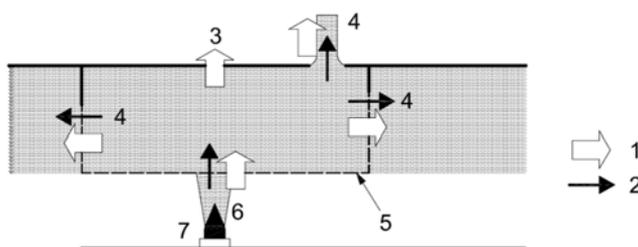
A.3.2 質量守恆

煙層中的質量守恆應考量應用在適當的選定控制體積中，如圖 A.1 當中虛線所示。通過控制體積每個界面的進入質量流率（流出氣流的值為負），應與煙層累積質量率相同。若必要，應考量煙羽流、通風氣流與其他氣流。

A.3.3 能量守恆

考量煙層中能量守恆的方式與考量質量守恆相同。通過控制體積每個界面的進入能量流（流出能量的值為負），應與煙層堆積能量的速率相同。此外，對於羽流與通風氣流，輻射損失與封閉區間邊界的熱吸收均應適當地考量。

備考：若無法決定火焰的輻射熱損失，能量流率可與熱釋放率近似，如附錄 B 中所應用。



說明

- | | | | |
|---|-------|---|------|
| 1 | 熱流 | 5 | 控制體積 |
| 2 | 質量流 | 6 | 煙羽流 |
| 3 | 牆壁熱吸收 | 7 | 火源 |
| 4 | 通風氣流 | | |

圖 A.1 封閉區間中的火源之煙流的總熱量與質量守恆

A.3.4 特定化學物種的守恆

特定化學物種的質量守恆，應以與總質量守恆相似的方式考量。此外，若在煙層中發生氣相化學反應，其反應率應適當地計入考量。

A.3.5 通過界面的火羽質量流率

火羽流在界面（煙層的底面）的質量流率應為火災熱釋放率與火源底部及煙層界面間垂直距離的函數。羽流方程式組的範例可在 ISO 16734 中找到。

A.3.6 通過通風口的煙質量流率

通過通風口的質量流率為煙層溫度及相鄰區劃的溫度，煙層及相鄰區劃的壓差，通風口寬度與高度等的函數。通風口特性方程組的範例可在 ISO 16737 中找到。

A.3.7 狀態方程式

煙層溫度與密度透過狀態方程式關聯。通常，煙接近理想氣體，其特性與空氣相同。

附錄 B

(參考)

符合附錄 A 要求的特定煙層方程式

B.1 附錄 B 中使用的符號與縮寫

見表 B.1

表 B.1

符號	說明	單位
A	封閉區間的樓地板面積	m ²
A _{vent}	排煙開口面積	m ²
A _{open}	新鮮空氣進氣口開口面積	m ²
A _{wall}	封閉區間邊界接觸煙層的表面積	m ²
C _D	氣流係數	1
C _V	封閉區間邊界材料的容積熱容量	kJ·m ⁻³ ·K ⁻¹
C _p	恆定壓力之下的空氣比熱 (= 1.0)	kJ kg ⁻¹ ·K ⁻¹
D _{wall}	封閉區間邊界材料的厚度	m
D	火源的直徑	m
g	重力加速度	m·s ⁻²
h _{wall}	封閉區間邊界的有效熱傳導係數	kW·m ⁻² ·K ⁻¹
H	封閉區間的高度	m
H _l	開口下沿的高度	m
H _u	開口上沿的高度	m
k	封閉區間邊界材料的導熱性	kW·m ⁻¹ ·K ⁻¹
L	平均火焰高度	m
m _a	進入封閉區間的空氣質量流率	kg·s ⁻¹
m _e	排煙的質量流率	kg·s ⁻¹
m _p	火羽流氣體的質量流率	kg·s ⁻¹
Δp	壓差	Pa
Q̇	火源的熱釋放率	kW
Q̇ _c	火源對流熱釋放率 (1 - χ)Q̇	kW
t	時間	s
t _c	封閉區間邊界材料熱吸收的特性時間	s
T ₀	參考溫度，通常為外界溫度	K
T _s	煙層溫度	K
Ṁ _e	機械排煙系統的體積流率	m ³ s ⁻¹
Y	特定化學物種的濃度	kg·kg ⁻¹

表 B.1 (續)

符號	說明	單位
C_D	參考狀態中，特定化學物種的濃度	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
z	高於火源底部的界面高度	m
α	火災成長率	$\text{kW} \cdot \text{s}^{-2}$
χ	熱釋放率中以熱輻射放射的部分	1
η	物種產率	kg/kJ
λ	煙注入過程中封閉區間所吸收熱的部分	1
ρ_0	參考溫度下的空氣密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
ρ_s	煙密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

B.2 方程組處理的物理現象之描述

B.2.1 一般

此計算方法可計算各種火災情境狀況發展之結果的平均溫度、煙濃度與界面位置。若其他方法經查證與確認適用於這些方法所應用的條件範圍，也可用於計算這些數值。

B.2.2 方程組適用的情境元件

方程組適用於靜態環境中火源上方的煙層。若氣流受到與火無關現象的顯著擾動，則方程組不適用。例如，若 暖通空調(HVAC) 系統造成的氣流，或外部風力之影響顯著時，宜計入考量。若主動滅火系統，例如撒水頭，與煙層有顯著的交互作用，則方程組不適用。

火源必須足夠小如此平均火焰高度必須小於界面位置，且特性羽流寬度需小於封閉區間的寬度（受到用於獲得羽流特性的方程式之限制）。

計算煙層狀況的方法發展為適用於兩個受限的階段。其中一個受限階段為在起火階段之簡單的封閉區間煙霧注入過程（通常為 t^2 火源），此時煙控設備尚未動作。另一個受限階段為擬穩態通風狀況，當煙產生率與自煙層流出速率相同時。其中的過渡階段（亦即煙霧仍在注入，但排煙系統正在動作），不在此附件的處理範圍。

B.2.3 計算煙層特性

方程式可提供氣流的溫度、氣體濃度及界面位置。

B.2.4 方程式適用的煙層狀況

顯式方程式適用於沒有排煙之封閉區間的暫態煙霧注入過程，及在自然或機械式排煙之下的擬穩態狀態。

B. 2.5 方程組的自我一致性

此方程組發展為自我一致。

B. 2.6 方程式所使用的標準與其他文件

未指定。

B. 3 方程組文件化

B. 3.1 方程組的範圍

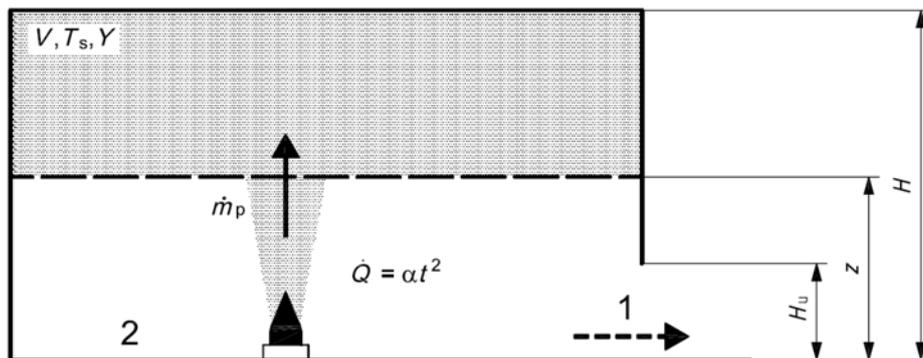
在此附錄中，提供四組不同的方程式。其中之一用於單一封閉區間在火災早期階段的煙霧注入程序。其他三組用於自然通風或機械排煙的穩態煙控。

B. 3.2 封閉區間煙霧注入程序

B. 3.2.1 方程式適用的程序

直到煙層界面向下移動至垂直開口的上沿之前，煙霧是累積封閉區間的上部，如圖 B.1 所示。由於熱膨脹的效應，多餘的空氣被排出封閉區間。

備考： 只要煙層底部高於開口的上沿，此假設均為有效。在煙層下降至開口的上沿以下，當新鮮空氣流入封閉區間時，煙流出封閉區間之外。



說明

- 1 因熱膨脹造成的過量空氣
- 2 樓地板面積 A

圖 B.1 質量守恆在封閉區間注入煙期間

下列為熱釋放率建立的方程式

$$\dot{Q}(t) = \alpha t^n \quad (\text{B. 1})$$

其中， $n = 0$ 表示穩定燃燒的火源， $n = 2$ 表示隨時間平方增長的火源。

輻射釋出部分 χ 。對流熱釋放率是由下列公式表示

$$\dot{Q}_c = (1 - \chi)\dot{Q} = (1 - \chi)\alpha t^n \quad (\text{B. 2})$$

在火源上方高度 z 的羽流質量流率公式，來自參考資料 [1]。

$$\dot{m}_p = 0.076(1 - \chi)^{1/3} Q^{1/3} z^{5/3} \quad (\text{B. 3})$$

備考：此方程式可解譯為 ISO 16734 附錄 A 羽流方程式的近似。此方程式只在上述的平均火焰高度有效。若得出的界面位置低於平均火焰高度，則計算結果可能不準確的。

B. 3. 2. 2 界面位置

界面位置是依羽流質量氣流以均勻密度累積在上層的計算。

$$z(t) = \left(\frac{0.076(1-\chi)^{1/3}\alpha^{1/3}}{\rho_s A} \frac{2}{n+3} t^{(1+\frac{n}{3})} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad (\text{B. 4})$$

備考：要計算界面位置，必須先假設煙密度。在實際的應用中， $\rho_s = 1.0$ 可讓大空間封閉區間（見參考資料 [2]）初期煙霧注入程序有守恆的結果。在煙霧注入的末期，熱膨脹是顯著。在此狀況，以下方程式 [3] 與 [4]，

可適用於 t^2 火源（亦即， $\dot{Q} = \alpha t^2$ ）

$$z(X) = H \left(1 - \frac{\Lambda X^{9/5}}{1 - T_s/T_0} \right) \quad (\text{B. 5})$$

其中

$$X = 0.0268 \frac{H^{2/3}}{A} \alpha^{1/3} (1 - \chi)^{1/3} t^{5/3} \quad (\text{B. 6})$$

$$\Lambda = 0.754 \frac{A^{4/5}}{H^{11/5}} \frac{(1-\lambda)\alpha^{2/5}}{(1-\chi)^{3/5}} \quad (\text{B. 7})$$

煙層溫度 T_s 是由來自下節的方程式(B. 9) 計算。

B. 3. 2. 3 煙層溫度

煙層溫度是以火災熱釋放的熱量將體積 $A(H-z)$ 的煙層加熱的方式計算。封閉區間邊界的吸收熱量予以忽略。

$$T_s(t) = \frac{(1-\lambda)}{c_p \rho_s A(H-z)} \frac{\alpha t^{n+1}}{n+1} + T_0 \quad (\text{B. 8})$$

備考 1：符號 λ 為封閉區間邊界的熱吸收部分。除非羽流、煙層及封閉區間之間的熱輻射交換的計算是耦合的，建議假設 $\lambda = 0$ ，亦即熱量全部用於加熱煙層。

備考 2：在實際的應用中， $\rho_s = 1.0$ 可讓大空間封閉區間初期煙霧注入程序有可接受的結果。

備考 3：在最後階段，當煙層的熱膨脹顯著時， t^2 火災的煙層溫度由以下方程式計算：

$$T_s(X) = T_0 \exp\left(-\frac{\Lambda X^{9/5}}{1-(1+X)^{-3/2}}\right) \quad (\text{B. 9})$$

其中 Λ 與 X 是由方程式 (B. 6) 與 (B. 7) 計算。

B. 3. 2. 4 特定化學物種的濃度

特定化學物種的濃度以產生的質量均勻的分佈在煙層中的方式計算。

$$Y(t) = \frac{\eta}{\rho_s A(H-z)} \frac{\alpha t^{n+1}}{n+1} + Y_0 \quad (\text{B. 10})$$

B. 3. 2. 5 計算範例

- 封閉區間中火源 $Q = 0.05t^2$ ($\alpha = 0.05 \text{ kW/s}^2$, $n = 2$, $D = 1\text{m}$) 如圖 B. 1 所示。
- 封閉區間樓地板面積 A 為 100 m^2 。
- 封閉區間高度 H 為 8 m 。門口開口高度 H_u 為 2 m 。
- 假設熱釋放的輻射部分 χ ，為 0.333 。
- 封閉區間邊界的熱吸收予以忽略 ($\lambda = 0$)。
- CO_2 產率 η 為 $7.61 \times 10^{-5} \text{ kg/kJ}$ 。
- 計算在第 60 秒時，界面高度、溫度與 CO_2 濃度。

使用方程式 (B. 4)，界面高度為

$$z = \left(\frac{0.076 (1-\chi)^{1/3} \alpha^{1/3}}{\rho_s A} \frac{2}{n+3} t \left(1 + \frac{n}{3} \right) + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} = \left(\frac{0.076 (1-0.333)^{1/3} \times 0.05^{1/3}}{1.0 \times 100} \frac{2}{2+3} 60 \left(1 + \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{8^{2/3}} \right)^{-3/2} = 5.04 \quad (\text{B. 11})$$

在方程式 (B. 8) 與 (B. 10) 中使用此結果，煙層溫度與 CO₂ 濃度為

$$T_s = \frac{(1-\lambda)}{c_p \rho_s A (H-z)} \frac{\alpha t^{n+1}}{n+1} + T_0 = \frac{(1-0.0)}{1.0 \times 1.0 \times 100 \times (8-5.04)} \frac{0.05 \times 60^{2+1}}{2+1} + 20 = 32.2 \quad (\text{B. 12})$$

$$Y = \frac{\eta}{\rho_s A (H-z)} \frac{\alpha t^{n+1}}{n+1} + Y_0 = \frac{7.61 \times 10^{-5}}{1.0 \times 100 \times (8-5.04)} \frac{0.05 \times 60^{2+1}}{2+1} + 0.0003 = 0.00123 \quad (\text{B. 13})$$

要使用羽流方程式 (B. 3)，火焰高度必須低於界面高度。在此特殊情況下，平均火焰高度遠低於界面高度，即

$$L = -1.02D + 0.235\dot{Q}^{2/5} = -1.02 \times 1.0 + 0.235 \times (0.05 \times 60^2)^{2/5} = 0.86 \quad (\text{B. 14})$$

此為依據 ISO 16734:2006 附錄 A 的計算。

以類似的方式，計算煙層高度、溫度與 CO₂ 濃度，如圖 2 所示。為了方程組的有效性，煙層底部必須高於平均火焰高度及門口開口的上沿。在此範例中，第 126 秒時，平均火焰高度與煙層高度幾乎相同

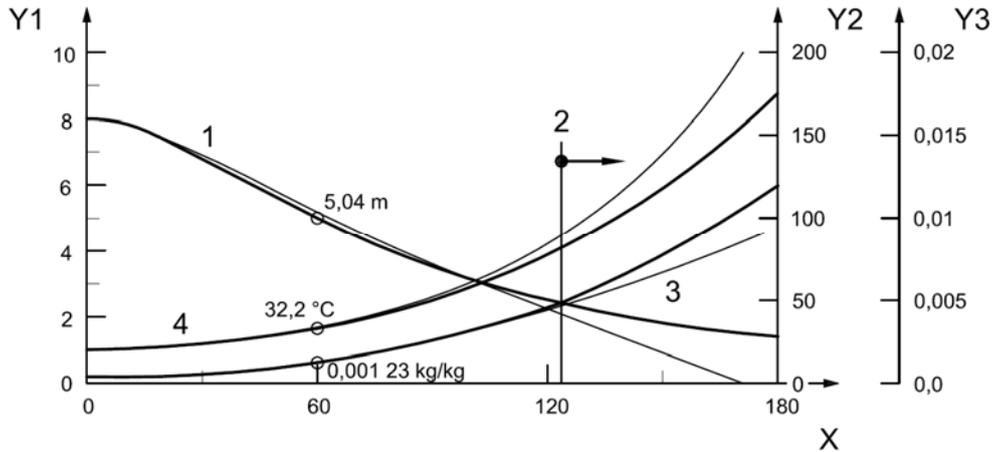
$$z = \left(\frac{0.076 (1-0.333)^{1/3} \times 0.05^{1/3}}{1.0 \times 100} \frac{2}{2+3} 126 \left(1 + \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{8^{2/3}} \right)^{-3/2} = 2.39 \quad (\text{B. 15})$$

$$L = -1.02D + 0.235\dot{Q}^{2/5} = -1.02 \times 1.0 + 0.235 \times (0.05 \times 126^2)^{2/5} = 2.38 \quad (\text{B. 16})$$

在第 142 秒時，煙層高度與門口開口的上沿高度幾乎重合。

$$z = \left(\frac{0.076 (1-0.333)^{1/3} \times 0.05^{1/3}}{1.0 \times 100} \frac{2}{2+3} 142 \left(1 + \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{8^{2/3}} \right)^{-3/2} = 2.01 \quad (\text{B. 17})$$

因此，使用此方程組限制於 126 秒之前的期間。



說明

- | | | | |
|----|-----------------------------|---|-----------------------------|
| X | 時間 (min) | 1 | 界面高度 |
| Y1 | 界面高度 (m) | 2 | 有效範圍之外 ($t > 126$ s) |
| Y2 | 煙層溫度 ($^{\circ}\text{C}$) | 3 | CO_2 濃度 |
| Y3 | CO_2 濃度 (kg/kg) | 4 | 煙層溫度 32.2°C |

圖 B.2 在封閉區間中煙霧注入過程期間的界面位置、

煙層溫度與 CO_2 濃度之計算結果

圖 B.2 的計算在 $A = 100 \text{ m}^2$, $H = 8 \text{ m}$, $Q = 0.05 \text{ t}^2$, $\chi = 0.333$, $\lambda = 0.0$ 時有效。粗線為方程式 (B.4), (B.8) 與 (B.10) 的計算結果。細線為方程式 (B.5), (B.9) 與 (B.11) 考量煙層熱膨脹的計算結果,。

B.3.3 機械排煙系統所進行的穩態煙控

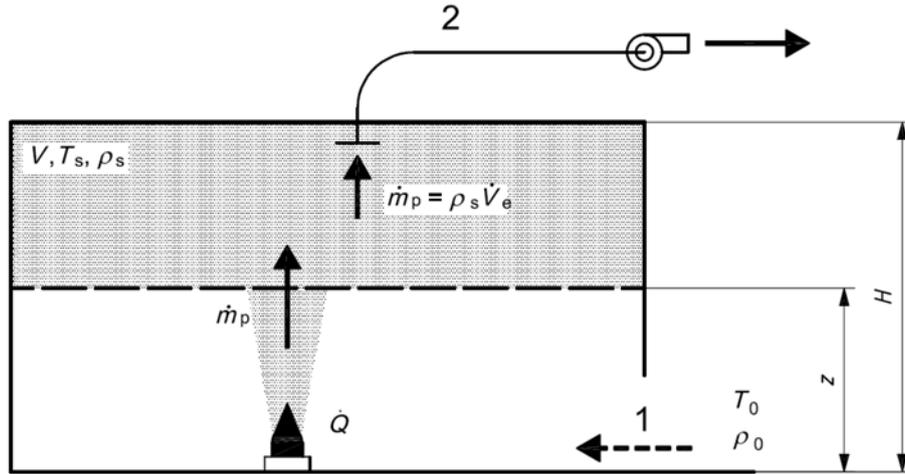
B.3.3.1 方程式適用的程序

在煙控階段期間,煙霧透過機械排煙系統排除,如圖 B.3 所示。計算在產生與排出率平衡的擬穩態之煙層性質。假設封閉區間邊界的低處有足夠的開口,空氣可輕易的流入。在此方程組中,熱釋放率假設為常數。火羽流的質量流率由方程式 (B.3) 計算。給定容積流率為嘗試設計參數,質量排氣率可由以下計算

$$\dot{m}_e = \rho_s \dot{V}_e \tag{B.18}$$

界面高度是依質量排氣率等於羽流質量流率的計算。

$$\dot{m}_e = \dot{m}_p \tag{B.19}$$



說明

- 1 流入空氣
- 2 排氣系統

圖 B.3 在機械排煙系統煙控期間質量守恆

B.3.3.2 界面位置

界面位置是依質量排氣率等於羽流質量流率的計算。

$$z = \frac{\dot{m}_e}{0.076\dot{Q}^{1/3}} \tag{B.20}$$

備考： 要計算界面位置，煙層密度(如溫度)必須已知。可由假設守恆或是組合下列方程式計算，如下節之範例所示。

B.3.3.3 煙層密度

煙層密度是由以下狀態方程式計算：

$$\rho_s = \frac{353}{T_s} \tag{B.21}$$

備考： 在多數工程計算中，煙層經常被認定為近似理想氣體。煙層溫度是由來自下節的方程式計算。

B. 3. 3. 4 煙層溫度

煙層溫度的計算是基於流入煙層的熱流等於排氣與封閉區間表面吸收之熱量損失總合。

$$T_s = \frac{\dot{Q}}{c_p m_p + h_{\text{wall}} A_{\text{wall}}} + T_0 \quad (\text{B. 22})$$

B. 3. 3. 5 有效熱傳導係數

有效熱傳導係數是依據封閉區間邊界構造材料所計算。熱傳導可由熱厚型行為（半無限體近似）或熱薄型行為（薄材質的穩態溫度曲線）近似。

$$h_{\text{wall}} = \begin{cases} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \sqrt{\frac{k C_v}{t_c}} & (D_{\text{wall}} \geq 4 \sqrt{\frac{k t_c}{C_v}}) \\ \frac{k}{D_{\text{wall}}} & (D_{\text{wall}} \leq 4 \sqrt{\frac{k t_c}{C_v}}) \end{cases} \quad (\text{B. 23})$$

備考： 特性時間 t_c 通常定為 1000 s。

B. 3. 3. 6 特定化學物種的濃度

特定化學物種的濃度以產生率等於排出率的方式計算。

$$Y = \frac{\eta \dot{Q}}{\dot{m}_e} + Y_0 \quad (\text{B. 24})$$

B. 3. 3. 7 計算範例

圖 B. 3 中，火源位於封閉區間的中央。

- 封閉區間的樓地板面積 A 為 100 m^2 ($10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$)。
- 封閉區間高度 H 為 8 m。火源的熱釋放率 Q 為 300 kW。
- 火源的輻射部分 χ 為 0.333。
- 火源直徑 D 為 1.0 m。

- 機械排煙率 V_e 為 $4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。
- 封閉區間邊界是由 100 mm 厚度的混凝土版所構成。
- 混凝土的熱性質假設為 $k = 0.0015 \text{ kW/m}\cdot\text{K}$ ， $C_v = 2026 \text{ kJ/m}^3\cdot\text{K}$ 。
- 參考溫度 T_0 為 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (293 K)，其相應的參考密度 ρ_0 為 1.205 kg/m^3 。

界面位置與溫度的方程組為相關聯的。這些方程式是迭代求解。在得到界面位置與溫度的結果，氣體濃度便可直接計算。

- 1) 假設界面高度為封閉區間總高度的 50% ，如下：

$$z = \frac{H}{2} = 4.0 \quad (\text{B. 25})$$

- 2) 由方程式 (B. 3) 計算界面高度的羽流質量流率：

$$\dot{m}_p = 0.076(1 - \chi)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{5/3} = 0.076 \times (1 - 0.333)^{1/3} \times 300^{1/3} \times 4^{5/3} = 4.48 \quad (\text{B. 26})$$

- 3) 由方程式 (B. 23) 計算有效的熱傳導係數：

封閉區間邊界假定為熱厚型行為，如下：

$$4 \sqrt{\frac{k}{C_v} t_c} = 4 \sqrt{\frac{0.0015}{2026} \times 1000} = 0.108 \geq 0.1 \quad (\text{B. 27})$$

因此，有效的熱傳導係數為

$$h_{\text{wall}} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \sqrt{\frac{kC_v}{t_c}} = \frac{\sqrt{3.14}}{2} \times \sqrt{\frac{0.0015 \times 2026}{1000}} = 0.049 \quad (\text{B. 28})$$

- 4) 由方程式 (B. 22) 計算煙層溫度：

$$A_{\text{wall}} = 100 + 40 \times (8 - 4) = 260 \quad (\text{B. 29})$$

$$T_s = \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_p + h_{\text{wall}} A_{\text{wall}}} + T_0 = \frac{300}{(1.0 \times 4.48) + (0.049 \times 260)} + 20 = 37.4 \quad (\text{B. 30})$$

- 5) 由方程式 (B. 21) 計算煙層密度：

$$\rho_s = \frac{353}{T_s} = \frac{353}{37.4 + 273} = 1.137 \quad (\text{B. 31})$$

- 6) 由方程式 (B. 21) 計算機械排煙系統的質量流率：

$$\dot{m}_e = \rho_s \dot{V}_e = 1.137 \times 4.0 = 4.55 \quad (\text{B. 32})$$

7) 由方程式(B. 20) 修正界面高度，使得羽流質量流率等於質量排氣率：

$$z = \left(\frac{\dot{m}_e}{0.076(1-\chi)^{1/3} \dot{Q}^{1/3}} \right)^{3/5} = \left(\frac{4.55}{0.076 \times (1-0.333)^{1/3} \times 300^{1/3}} \right)^{3/5} = 4.04 \quad (\text{B. 33})$$

8) 重複步驟 2) 至 7) 直到羽流質量流率與質量排氣率一致。

在此特殊範例中，三次迭代便足以獲得結果，如下

$$z = 4.04 \text{ m}, T_s = 37.4 \text{ }^\circ\text{C}, \dot{m}_p = \dot{m}_e = 4.55 \text{ kg/s} \quad (\text{B. 34}), (\text{B. 35}), (\text{B. 36})$$

9) 要使用羽流方程式 (B. 3)，平均火焰高度必須低於界面高度。在此特殊範例中，此條件達成，由於

$$L = -1.02D + 0.235\dot{Q}^{2/5} = -1.02 \times 1.0 + 0.235 \times 300^{2/5} = 1.28 < 4.04 \quad (\text{B. 37})$$

此為依據 ISO 16734:2006 附錄 A 的計算。

10) 由得自方程式(B. 24) 的值計算各種氣體濃度。對於在良好通風狀況的木材燃料，二氧化碳產率為 $\eta = 7.61 \times 10^{-5} \text{ kg/kJ}$ ：

$$Y = \frac{\eta \dot{Q}}{\dot{m}_e} + Y_0 = \frac{(7.61 \times 10^{-5}) \times 300}{4.55} + 0.0003 = 0.00532 \quad (\text{B. 38})$$

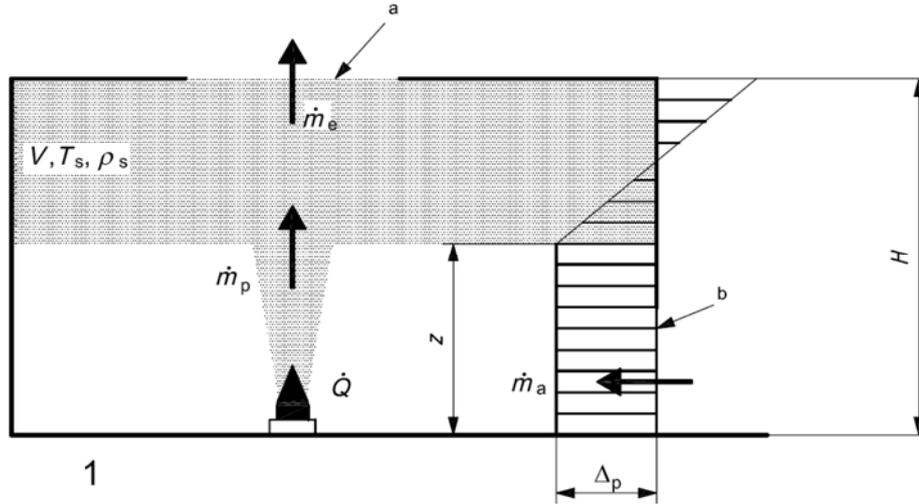
B. 3.4 水平通風口的穩態煙控

B. 3.4.1 方程式適用的程序

如圖 B. 4 所示，煙由自然通風排出。假設新鮮空氣可由封閉區間下部流入。計算在熱量與質量平衡的擬穩態之煙層性質。質量流率平衡如下：

$$\dot{m}_a = \dot{m}_p = \dot{m}_e \quad (\text{B. 39})$$

在此方程組中，熱釋放率假設為常數。由方程式(B. 3) 可得羽流質量流率。依據 ISO 16737 計算通過通風口的質量流率。



說明

- 1 樓地板面積 A
- a A_{vent}
- b A_{open}

圖 B.4 在水平通風口煙控期間的質量守恆

B. 3. 4. 2 界面位置

使用方程式(B. 20) 計算界面位置。

備考： 質量排氣率由方程式(B. 40) 計算。

B. 3. 4. 3 煙層密度

使用方程式(B. 21) 計算煙層密度。

B. 3. 4. 4 煙層溫度

使用方程式(B. 22) 計算煙層溫度。

B. 3. 4. 5 有效的熱傳導係數

使用方程式(B. 23) 計算有效的熱傳導係數。

B. 3. 4. 6 水平通風口排煙的質量流率

排煙的質量氣流率是由計算通過開口的氣流量之方程式計算。

$$\dot{m}_e = C_D A_{vent} \sqrt{2\rho_s [(\rho_0 - \rho_s)g(H - z) - \Delta p]} \quad (B. 40)$$

B. 3. 4. 7 樓地板高度的壓差

樓地板高度的壓差是由慣用的方程式應用在較低處開口計算通過開口的氣流量。

$$\Delta p = \frac{1}{2\rho_0} \left(\frac{\dot{m}_p}{C_D A_{\text{open}}} \right)^2 \quad (\text{B. 41})$$

B. 3. 4. 8 特定化學物種的濃度

使用方程式(B. 24) 計算特定化學物種的濃度 Y 。

B. 3. 4. 9 計算範例

圖 B4 中，位於封閉區間中的火源。

- 封閉區間的樓地板面積 A 為 100 m^2 ($10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$)。封閉區間高度 H 為 8 m
- 水平通風口的面積 A_{vent} 為 2 m^2 。
- 較低處進氣口面積 A_{open} 為 4 m^2 。
- 火源的熱釋放率 Q 為 300 kW 。
- 火源的輻射部分 χ 為 0.333 。
- CO_2 產率 η 為 $7.51 \times 10^{-5} \text{ kg/kJ}$ 。
- 火源直徑 D 為 1.0 m 。
- 參考溫度 T_0 為 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (293 K)。

封閉區間邊界是由混凝土所構成，特性與 B. 3. 3. 7 的範例中所使用者相同。

界面位置與溫度的方程式為相關聯的。這兩個方程式由迭代過程求解，在得到界面位置與溫度的結果之後，氣體濃度便可直接計算。

1) 假設界面高度為封閉區間總高度的 50 %，如下：

$$z = \frac{H}{2} = \frac{8.0}{2} = 4 \quad (\text{B. 42})$$

2) 由方程式(B. 3) 計算界面高度的羽流質量流率：

$$\dot{m}_p = 0.076(1 - \chi)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{5/3} = 0.076 \times (1 - 0.333)^{1/3} \times 300^{1/3} \times 4.0^{5/3} = 4.48 \quad (\text{B. 43})$$

3) 由方程式(B. 23) 計算有效的熱傳導係數：

步驟與 B. 3. 3. 7，步驟 3) 相同。

$$h_{\text{wall}} = 0.049 \quad (\text{B. 44})$$

4) 由方程式(B. 22) 計算煙層溫度：

$$A_{\text{wall}} = 100 + [40 \times (8 - 4, 0)] - 2.0 = 258 \quad (\text{B. 45})$$

$$T_s = \frac{\dot{Q}}{c_p m_p + h_{\text{wall}} A_{\text{wall}}} + T_0 = \frac{300}{(1 \times 4.48) + (0.049 \times 258)} + 20 = 37.5 \quad (\text{B. 46})$$

5) 由方程式(B. 21) 計算煙層密度：

$$\rho_s = \frac{353}{T_s} = \frac{353}{37.5 + 273} = 1.137 \quad (\text{B. 47})$$

6) 由方程式(B. 41) 計算參考高度的壓差：

$$\Delta p = \frac{1}{2\rho_0} \left(\frac{m_p}{C_D A_{\text{open}}} \right)^2 = \frac{1}{2 \times 1.205} \times \left(\frac{4.48}{0.7 \times 4.0} \right)^2 = 1.06 \quad (\text{B. 48})$$

7) 由方程式(B. 40) 計算水平通風口的質量流率：

$$\dot{m}_e = C_D A_{\text{vent}} \sqrt{2\rho_s [(\rho_0 - \rho_s)g(H - z) - \Delta p]} = 0.7 \times 2.0 \times \sqrt{2 \times 1.137 \times [(1.205 - 1.137) \times 9.8 \times (8.0 - 4.0) - 1.06]} = 2.68 \quad (\text{B. 49})$$

8) 由方程式(B. 20) 修正界面高度，使得羽流質量流率與質量排氣率平衡：

$$z = \left(\frac{\frac{\dot{m}_e + \dot{m}_p}{2}}{0.076(1-\chi)^{1/3} \dot{Q}^{1/3}} \right)^{3/5} = \left(\frac{\frac{2.68 + 4.48}{2}}{0.076 \times (1 - 0.333)^{1/3} \times 300^{1/3}} \right)^{3/5} = 3.50 \quad (\text{B. 50})$$

備考：為了數值穩定性，在迭代計算當中，方程式(B. 20) 中的質量排氣率 \dot{m}_e 由 $(\dot{m}_e + \dot{m}_p)/2$ 取代。在收斂之後，取得質量平衡 $\dot{m}_e = \dot{m}_p$ 。最終結果未受此變更影響。

9) 重複步驟 2) 至 8) 直到羽流質量流率與質量排氣量相等， $\dot{m}_p = \dot{m}_e$ 。

在此特殊範例中，四次迭代便足以獲得結果，如下：

$$z = 3.35\text{m}, T_s = 37.4^\circ\text{C}, \dot{m}_e = \dot{m}_p = 3.34 \text{ kg/s} \quad (\text{B. 51}), (\text{B. 52}), (\text{B. 53})$$

10) 要使用羽流方程式 (B. 3)，火焰高度必須低於界面高度。在此特殊範事例中，

平均火焰高度為 1.28 m，如同 B.3.3.7 節步驟 9)。

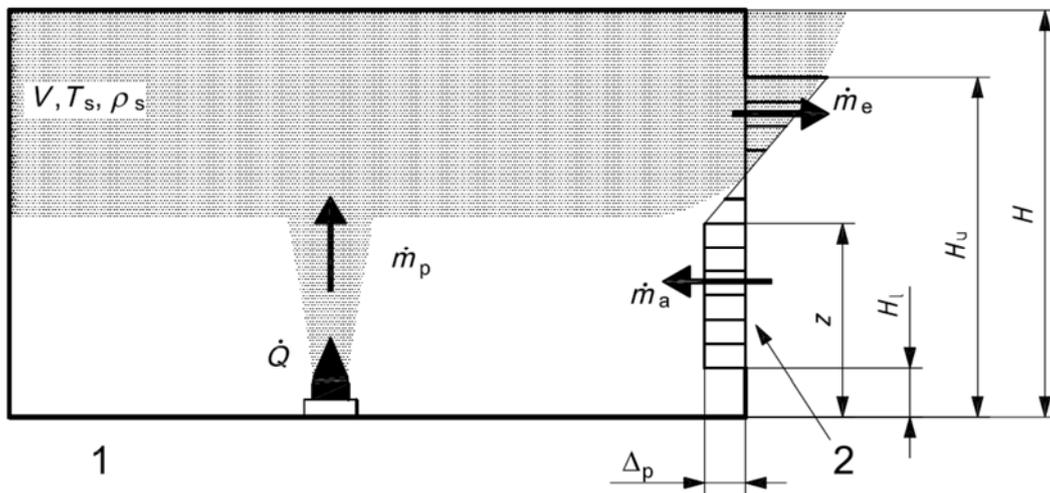
11) 由步驟 7) 得自方程式(B.24) 的值計算各種氣體濃度。

$$Y = \frac{\eta\dot{Q}}{\dot{m}_e} + Y_0 = \frac{(7.61 \times 10^{-5}) \times 300}{3.34} + 0.0003 = 0.00716 \quad (\text{B.54})$$

B.3.5 垂直通風口的穩態煙控

B.3.5.1 方程式適用的程序

在煙控階段期間，透過垂直通風口排煙，如圖 B.5 所示。假設新鮮空氣自通風口的下方流入，而煙流自通風口上方排出。計算在煙/熱產生率與排氣/流出率平衡的擬穩態之煙層性質。在此方程組中，熱釋放率假設為時間常數。由方程式(B.3) 可得羽流質量流率。依據 ISO 16737 計算通過通風口的質量流率。



說明

- 1 樓地板面積 A
- 2 開口寬度 B

圖 B.5 在垂直通風口煙控期間的質量守恆

B.3.5.2 界面位置

使用方程式(B.20) 計算界面位置。

備考： 在此方程組中，隱含界面高度的計算，以滿足穩態質量平衡 $\dot{m}_p = \dot{m}_a = \dot{m}_e$ 。細節請見本節的範例。

B.3.5.3 煙層密度

使用方程式(B.21) 計算煙層密度。

B.3.5.4 煙層溫度

使用方程式(B. 22) 計算煙層溫度。

B. 3. 5. 5 有效的熱傳導係數

使用方程式(B. 23) 計算有效的熱傳導係數。

B. 3. 5. 6 開口低處的壓差

計算開口低處的壓差，是基於質量排氣率 \dot{m}_e 等於羽流質量流率 \dot{m}_p 。

$$\Delta P = (\rho_0 - \rho_s)g(H_u - z) - \left(\frac{3(\rho_0 - \rho_s)g}{2 C_D B \sqrt{2\rho_s}} \dot{m}_p \right)^{2/3} \quad (\text{B. 55})$$

B. 3. 5. 7 通過開口低處部分的空氣質量流率

通過開口低處部分的空氣質量流率是由方程式(B. 55) 所得之壓差計算。

$$\dot{m}_a = C_D B(z - H_l) \sqrt{2\rho_0 \Delta P} + \frac{2}{3} C_D B \sqrt{2\rho_0(\rho_0 - \rho_s)g} \left(\frac{\Delta P}{(\rho_0 - \rho_s)g} \right)^{3/2} \quad (\text{B. 56})$$

B. 3. 5. 8 特定化學物種的濃度

使用方程式(B. 24) 計算特定化學物種的濃度。

B. 3. 5. 9 計算過程與範例

如圖 B. 5 所示，火源位於具有垂直通風口的封閉區間中。

- 封閉區間樓地板面積 A 為 100 m^2 。
- 垂直通風口的高度為 5 m ，位於距樓地板高度 1 m 的位置 ($H_l = 1 \text{ m}$, $H_u = 6 \text{ m}$)。
- 通風口寬度 B 為 4 m 。
- 火源的熱釋放率 \dot{Q} 為 300 kW 。
- 火源的輻射部分 χ 為 0.333 。
- CO_2 產率 η 為 $7,51 \times 10^{-5} \text{ kg/kJ}$ 。
- 火源直徑 D 為 1.0 m 。

封閉區間邊界是由混凝土所構成，特性與 B. 3. 3. 7 的範例中所使用者相同。

界面位置與溫度的方程式為相關聯的。這些方程組是迭代求解過程。在得到界面位置與溫度的結果之後，氣體濃度可直接計算。

1) 假設界面高度的下界 z_1 為開口高度的 1/3 :

$$z_1 = H_1 + \frac{H_u - H_1}{3} = 1.0 + \frac{6.0 - 1.0}{3} = 2.67 \quad (\text{B. 57})$$

2) 由方程式(B. 3) 計算界面高度的羽流質量流率 :

$$\dot{m}_p = 0.076(1 - \chi)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z_1^{5/3} = 0.076 \times (1 - 0.333)^{1/3} \times 300^{1/3} \times 2.67^{5/3} = 2.28 \quad (\text{B. 58})$$

3) 由方程式(B. 23) 計算有效的熱傳導係數，步驟與 B. 3. 3. 7 步驟 3) 相同 :

$$h_{\text{wall}} = 0.049 \quad (\text{B. 59})$$

4) 由方程式(B. 22) 計算煙層溫度 :

$$A_{\text{wall}} = 100 + 40 \times (8 - 2.67) - 4 \times (6 - 2.67) = 300$$

$$T_s = \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_p + h_{\text{wall}} A_{\text{wall}}} + T_0 = \frac{300}{1.0 \times 2.28 + 0.049 \times 300} + 20 = 37.7 \quad (\text{B. 60})$$

5) 由方程式(B. 21) 計算煙層密度 :

$$\rho_s = \frac{353}{T_s} = \frac{353}{37.7 + 273} = 1.136 \quad (\text{B. 61})$$

6) 由方程式(B. 55) 計算開口低處的壓差 :

$$\Delta P = (\rho_a - \rho_s)g(H_u - z_1) - \left[\frac{3(\rho_a - \rho_s)g}{2 C_D B \sqrt{2\rho_s}} \dot{m}_p \right]^{2/3}$$

$$= (1.205 - 1.136) \times 9.8 \times (6.0 - 2.67) - \left[\frac{3(1.205 - 1.136) \times 9.8}{2 \times 0.7 \times 4.0 \times \sqrt{2 \times 1.136}} \times 2.28 \right]^{2/3} = 1.58 \quad (\text{B. 62})$$

7) 由方程式(B. 56) 計算通過開口低處部分的空氣質量流率 :

$$\dot{m}_a = C_D B (z_1 - H_1) \sqrt{2\rho_a \Delta p} + \frac{2}{3} C_D B \sqrt{2\rho_a (\rho_a - \rho_s)} \left[\frac{\Delta p}{(\rho_a \rho_s) g} \right]^{3/2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.7 \times 4.0 \times (2.67 - 1.0) \times \sqrt{2 \times 1.205 \times 1.58} \\
 &+ \frac{2}{3} \times 0.7 \times 4.0 \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.136) \times 9.8} \times \left[\frac{1.58}{(1.205 - 1.136) \times 9.8} \right]^{3/2} \\
 &= 17.6 \qquad \qquad \qquad (B. 63)
 \end{aligned}$$

8) 計算質量流率的誤差：

$$\dot{m}_{\text{error},1} = \dot{m}_p - \dot{m}_a = 2.28 - 17.6 = -15.3$$

9) 羽流質量流率宜與空氣質量流率平衡。為尋求修正的解答，重複步驟 2) 至 8) 求解界面高度的上界 z_2 。對於第一項估算，界面高度的上界定為開口高度的 2/3：

$$z_2 = H_1 + \frac{2}{3}(H_u - H_1) = 1.0 + \frac{2}{3}(6.0 - 1.0) = 4.33 \qquad (B. 64)$$

為計算界面高度，計算以下數值：

$$\dot{m}_p = 5.13 \text{ kg/s}, T_s = 37.8 \text{ }^\circ\text{C}, \rho_s = 1.136 \text{ kg/m}^3, \Delta P = -0.022 \text{ Pa} \qquad (B. 65), (B. 66), (B. 67), (B. 68)$$

由於假設的界面位置太高，壓差為負值。在此情況，沒有空氣流入封閉區間：

$$\dot{m}_a = 0.0 \qquad (B. 69)$$

備考：基於封閉區間的穩態質量平衡，此一情況不是物理性質。在迭代過程期間，若有負壓差， \dot{m}_a 便設為零。在最終解，質量平衡是滿足的。

質量流率的誤差為

$$\dot{m}_{\text{error},2} = \dot{m}_p - \dot{m}_a = 5.13 - 0.0 = 5.13 \qquad (B. 70)$$

10) 在兩項計算所得值之間內插，以獲得新的界面高度估計值：

$$z_3 = z_1 - \frac{\dot{m}_{\text{error},1}}{\dot{m}_{\text{error},2} - \dot{m}_{\text{error},1}}(z_2 - z_1) = 2.67 - \frac{-15.3}{5.13 - (-15.3)} \times (4.33 - 2.67) = 3.92 \qquad (B. 71)$$

備考：此程序在圖 B. 6 中以虛線表示。

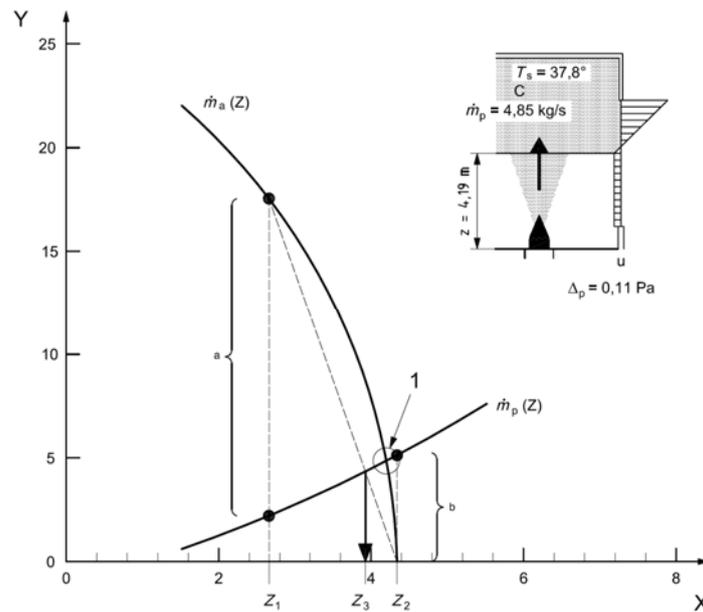
11) 重複步驟 2) 至 18)，計算在 z_3 的質量流率誤差：

$$\dot{m}_{\text{error},3} = -1.61 \quad (\text{B. 72})$$

12) 由於 $\dot{m}_{\text{error},3}$ 為負值， z_1 由 z_3 取代。重複步驟 2) 至 11)，直至 \dot{m}_{error} 足夠小。在迭代計算期間，若 $\dot{m}_{\text{error},3}$ 為正值，以 z_3 取代 z_2 。在此特殊範例中，需要七次迭代計算以達成收斂，如下：

$$z = 4.19 \text{ m}, T_s = 37.8^\circ\text{C}, \dot{m}_e = \dot{m}_p = \dot{m}_a = 4.85 \text{ kg/s} \quad (\text{B. 73}), (\text{B. 74}), (\text{B. 75})$$

備考：最終解為 $\dot{m}_p(z)$ 與 $\dot{m}_a(z)$ 的交點，如圖 B.6 中由圓圈所示之處。



說明

- X 界面高度 z (m)
- Y 質量流率 (kg/s)
- 1 解
- a $\dot{m}_{\text{error},1}$
- b $\dot{m}_{\text{error},2}$

圖 B.6 在垂直通風口煙控的圖解

13) 要使用羽流方程式 (B. 3)，火焰高度必須低於界面高度。在此特殊事例中，平均火焰高度為 1.28 m，如同 B. 3. 3. 7 節。

14) 使用質量流率由步驟 12) 得自方程式(B. 24) 的值計算各種氣體濃度。

$$Y = \frac{\eta\dot{Q}}{\dot{m}_e} + Y_0 = \frac{(7.61 \times 10^{-5}) \times 300}{4.85} + 0.0003 = 0.0050 \quad (\text{B. 76})$$

B.4 方程組的科學基礎

方程組是基於附錄 A 所述一般的熱量與質量守恆。對於煙霧注入的研究可追溯到 Turner 等人[5] 對於封閉區間中，尖銳密度界面的形成之流體動力學基礎研究。Zukoski [6], [7] 發展了特定用於早期起火階段的煙霧注入程序之相似的方程式。在 Zukoski 的理論性研究之後，Mulholland 等人[8] 執行了實驗性研究，以查證密度小幅改變的假設。Tanaka 等人.[2] 所做的實驗發現，若計入密度小幅改變，則量測數據能有良好的重現性。業已投入努力以擴展分析性方程式在包含體積膨脹的效應 (Delichatsios [3], [4])。

B.5 方程組限制

B.5.1 火羽流

方程組中的質量流率方程式假設與方程組限制相容性，關於火源，火焰尺度，邊界的近似性，空氣動力擾動等，描述在 ISO 16734。

B.5.2 煙層的均勻性

方程組假設煙層的性质為均勻的。若煙層性質相較於平均值有顯著的變異，則不建議使用此方程組。這種情況的範例在垂直方向窄小，軸狀的封閉區間，以及很長的通道。

B.6 輸出參數

方程組的輸出為界面位置、煙層溫度與物種濃度。此外，方程組還提供火羽流的質量流率與通風流量的資訊。

B.7 方程組輸入參數

B.7.1 火源熱釋放率

參數 Q 為火源在特定環境條件下實際熱釋放率，透過蒐集產生的氣體，估算 O_2 , CO_2 與 CO 的產生率，或另外機制，由熱量計量測而得。此參數通常由設計火災情境獲得。

B.7.2 熱釋放的輻射部分

參數 χ 取決於燃燒的燒料類型。通常值落在 0.3 至 0.4 的範圍內。詳情請見 ISO 16734:2006 A.7.2 對流部分。

B.7.3 在起始階段由封閉區間邊界所吸收的熱量部分

參數 λ 是計算起始煙霧注入程序所需。對於計算穩態煙控（機械，屋頂或側面通風口），封閉區間邊界的熱吸收可以用不同的方式計算。此參數值主要取決於封閉區間邊界的構造。在具有大熱慣性的封閉區間（例如混凝土構造）或是輕質，

非阻熱性的構造（例如玻璃房），封閉區間的熱吸收可以很顯著。然而，為計算準確值，需要在封閉區間內詳細熱輻射傳遞資料。在實際的應用中，建議設定為 $\lambda = 0$ 。

B. 7. 4 機械排煙的有效性

在 B. 3. 3 的方程組中，假設只有機械排煙系統排煙。然而，若煙層厚度不足，下層的空气層會夾雜進入機械排煙口（見參考資料 [9]）。在此狀況，容積排氣量應減去空氣夾雜率（見參考資料 [10]）。

B. 7. 5 物種產率

參數 η 取決於燃燒的燒料類型與燃料/空氣比。在此方程組中假設對封閉區間尺度而言相對較小的火災，可以使用通風良好火災數值（見參考資料 [11]）。

B. 8 方程組適用領域

方程式組與 Tanaka 與 Yamana [2] 在日本建築研究所的大型中庭所做的一系列實驗結果進行比較。房間的樓地板面積為 720 m^2 ，天花板高度為 26.3 m ，以及熱釋放率約為 1300 kW 。另外一項比較由 Karlsson 等人 [12] 所做，其比較了煙霧注入方程組與 Hägglund 等人 [13] 的實驗結果。房間尺度為 $5.62 \text{ m} \times 5.62 \text{ m}$ ，天花板高度為 6.15 m （有效高度為 5.95 m ），火源為燃燒煤油的盆火。熱釋放率為 186 kW 。在兩項比較中，方程組均提供了合理的準確度。對多房間煙霧蔓延，需求解另一組相似的方程組（見參考資料 [14]，[15]，[16]）。

參考資料

- [1] ZUKOSKI, E. E. Mass Flux in Fire Plumes, *Fire Safety Science — Proc. Fourth Int. Symposium* (ed. T.Kashiwagi), International Association for Fire Safety Science, pp. 137-147, 1994.
- [2] TANAKA, T. and YAMANA, T. Smoke Control in Large Scale Spaces (Part 1/Part 2), *Fire Science and Technology*, **5**, No. 1, Science University of Tokyo, 1985.
- [3] DELICHATSIOS, M. A. Closed form approximate solutions for smoke filling in enclosures including the volume expansion term, *Fire Safety Journal*, **38**, pp. 97 - 101, 2003.
- [4] DELICHATSIOS, M. A. Tenability Conditions and Filling Times for Fires in Large Spaces, *Fire Safety Journal*, **39**, pp. 643 - 662, 2004.
- [5] BAINES, W. D. and TURNER, J. S. Turbulent Buoyant Convection from a Source in a Confined Region, *Journal of Fluid Mechanics*, **37**(1), pp. 51-80, 1969.
- [6] ZUKOSKI, E. E. Development of a Stratified Ceiling Layer in the Early Stages of a Closed-room Fire, *Fire and materials*, **2**(2), pp. 54-62, 1978.
- [7] ZUKOSKI, E. E. Two-Layer Modeling of Smoke Movement in Building Fires, *Fire and materials*, **4**(1), pp. 17-27, 1980.
- [8] MULHOLLAND, G., HANDA, T., SUGAWA, O. and YAMAMOTO, H. Smoke Filling in an Enclosure, 20th Joint ASME/AIChE National Heat Transfer Conference, 81-HT-B, 1981.
- [9] SPRATT, D. and HESELDEN, A. J. M. Efficient Extraction of Smoke from a Thin Layer under a Ceiling, *Fire Research Note, No. 1001*, Building Research Establishment, 1974.
- [10] NII, D., NITTA, K., HARADA, K. and YAMAGUCHI, J. Air Entrainment into Mechanical Smoke Vent on Ceiling, Proceedings of the 7th International Symposium on Fire Safety Science, (Worcester, June 2002), pp. 729-740, 2003.
- [11] TEWARSON, A. Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 2nd ed., National Fire Protection Association, 1995.
- [12] KARLSSON, B. and QUINTIERE, J., G. Conservation Equations and Smoke Filling, Chapter 8 in *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press LLC, 2000.
- [13] HÄGGLUND B., JANSSON R. and NIREUS K. Smoke Filling Experiments in 6x6x6 meter Enclosure, FOA Report C20585-D6, National Defence Research

Establishment, Sweden, 1985.

- [14] TANAKA, T. A Model of Multiroom Fire Spread, NBSIR 83-2718, US Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1983.
- [15] TANAKA, T. A Model on Fire Spread in Small Scale Buildings, BRI Research Paper, No. 79 and 84, Building Research Institute, 1978, 1980.
- [16] PEACOCK, R., JONES, W., W., FORNEY, G., P., RENEKE, P., A., BUKOWSKI, R. and W., KLOTE J., H. An Update Guide for HAZARD I version 1.2, NISTIR 5410, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, 1994.

附錄十 防火安全工程-控制代數方程式的要求-天花板噴流(草案)

Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Ceiling jet flows

緒論

本標準預期為從事防火安全工程計算的防火安全從業人員所用。包括防火安全工程師，主管機關，如地方官員，消防人員，執法人員與程式開發人員。我們預期本標準的使用者，在防火安全工程領域具有適當的資格與能力。特別重要的是，使用者需要瞭解能夠使用哪一個特定方法中的參數可以使用。

在防火安全設計中，符合本標準規範的代數方程式與其他工程計算方法一起使用。在此設計之前，先建立背景環境，包含須符合的防火安全目標與目的，以及暫行防火安全設計在特定之設定火災情境的性能基準。工程計算方法用於評估特定設計是否符合這些性能基準，若不符合，則應如何修改此設計。

工程計算的目標包含全新建築環境，例如大樓、船或車輛的防火安全設計，以及評估現有建築環境的安全性。

在本標準中討論的代數方程式非常適於量化設定火災情境的結果。這些方程式可讓從業人員迅速地決定暫行防火安全設計應如何修改，以符合協議之性能基準，直到最終設計文件的階段，而不需浪費時間於詳細的數值運算。因而非常有價值。就此觀點，天花板噴流方程式可用於估算火災偵測及最早觸動的撒水頭的反應時間，以及某些結構構件損壞（例如塑料屋頂或天窗）的時間。

在本標準中討論的代數方程式，可用於檢查各種計算火災成長及其結果的數值模式的結果。

1. 範圍

- 1.1 本標準中的要求控制計算特定天花板噴流特性的顯代數方程式之應用。
- 1.2 本標準為 ISO/TR 13387-3 所提供之一般要求，對使用顯代數方程式的火災動態計算個案的實作。
- 1.3 本標準的編排是依樣板格式，依下列一般要求型式提供關於代數天花板噴流方程式特定的資訊：
 - a) 計算方法解決物理現象之描述；
 - b) 計算程序文件化及其科學基礎；
 - c) 計算方法的限制；
 - d) 計算方法的輸入參數；

e) 計算方法的適用範圍。

1.4 符合本標準中所有要求之代數方程式組的範例，依不同的天花板噴流型式在本標準個別的附錄中提供。目前，有一個參考附錄包含準穩態軸對稱天花板噴流的代數方程式。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年分者，適用該年分之版次，不適用於其後之修訂版(包括補充增修)。無加註年分者，適用該最新版(包括補充增修)。

CNS 14651 建築物防火詞彙— 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙— 防火試驗用語

CNS 14996 建築物防火詞彙— 防火安全用語

ISO/TR 13387-3:1999, Fire safety engineering — Part 3:Assessment and verification of mathematical fire models

ISO 13943, Fire safety — Vocabulary

3. 用語及定義

為本文件之用途，下列用語及定義適用於 ISO 13943 以及以下應用。

備考：關於附錄 A 中所用特定用語及定義，見附錄 A。

4. 控制的物理現象說明要求

4.1 一般火源類型，氣流邊界（包含對稱）條件及其他可適用於分析的情境元素，應以圖表協助其描述。

4.2 需要計算的天花板噴流特性，以及適用範圍應明確地辨識，包含由計算所得數值推導的特性（例如依據能量與質量守恆所推導的煙濃度與氣體溫度的關係），以及如果適用，這些與輻射熱傳送至遠離天花板噴流的目標的關係。

4.3 應明確地辨識應用在天花板噴流區域（是否在羽流轉向區域內，火源影響的程度等）的特定方程式。

4.4 由於使用不同的方程式描述不同的天花板噴流特性（見 A.4.2）或應用於不同天花板噴流區域（見 A.4.3），應顯示對於給定的數值，如果有一個以上的方法可以計算，則結果必須是與方法無關的。

5. 控制文件化的要求

5.1 控制文件化的一般要求可在 ISO/TR 13387-3 找到。

- 5.2 執行計算的程序應以代數方程組來描述。
- 5.3 每個方程式應在條款中呈現，包含說明方程式功能，附註與方程式特殊限制的文字敘述。
- 5.4 方程組中的所有變數均應明確的定義，並給予適當的 SI 單位。最好是無因次係數的方程式。
- 5.5 應透過引用經認可的指南，同儕審核的科學文獻或推導，提供方程組的科學基礎。
- 5.6 範例應顯示如何使用所有符合第 4 節規範的輸入參數值評估方程組。

6. 控制限制的要求

- 6.1 代數方程組直接應用於計算符合第 4 節所描述之狀況的輸出參數之量化限制。
- 6.2 在更通用的計算方法中使用代數方程組時應特別注意，應檢查計算方法中使用的關連性，以及數值程序之一致性。例如，在區域模式中使用給定的天花板噴流方程組，可能獲得與區域模式中另外的羽流方程組不同的結果，由於區域中羽流與天花板噴流結合導至錯誤。

7. 控制輸入參數的要求

- 7.1 代數方程組的輸入參數應說明。
- 7.2 輸入參數的資料應在國際標準之中明確規定或經辨識的。
- 7.3 輸入參數的有效範圍應列出如 ISO/TR 13387-3 規定。

8. 控制適用性範圍的要求

- 8.1 一個以上量測數據的收集應經鑒定的，以建立方程組適用的範圍。這些數據需透過文件紀錄/標準化的程序評估，應具有相當程度的品質（例如 重複性，再現性）[參照 ISO 5725（所有部分）]。
- 8.2 代數方程式適用的範圍，需要透過遵循計算方法之評估、查證與確認原則，與 8.1 所述之量測數據比較而決定。
- 8.3 第 4 節所述限制代數方程組的潛在誤差源應經鑒定的，例如，假設天花板噴流中沒有呈現有焰燃燒。

附錄 A

(參考)

準穩態軸對稱天花板噴流方程式

A.1 用語及定義

下列用語及定義適用於 ISO 13943 以及以下應用：

A.1.1 軸對稱(axisymmetric)

平均運動與特性，例如平均溫升，相對於垂直中心線對稱。

A.1.2 建築環境(built environment)

任何建築，結構或運輸工具。

例：建築以外的結構包含隧道、橋樑，離岸平臺及礦場。

A.1.3 天花板(ceiling)

任何建築環境內的封閉空間最高高度的邊界，例如建築內一間房間或載具內一個房艙。

A.1.4 天花板噴流(ceiling jet)

在天花板表面下方的一層氣體運動，由火羽流衝擊在天花板由熱氣產生的浮力所驅動。

A.1.5 天花板噴流溫度曲線的特性深度

(characteristic depth of ceiling jet temperature profile)

在天花板表面下方深度在給定的半徑 r 位置，此處天花板噴流的平均溫升高於環境溫度，為該半徑位置最大平均溫升的係數 e^{-1} 倍。

A.1.6 天花板噴流速度曲線的特性深度

(characteristic depth of ceiling jet velocity profile)

在天花板平面下方深度在給定的半徑 r 位置，此處天花板噴流的平均氣體速度為該半徑位置最大平均氣體速度的係數 e^{-1} 倍。

A.1.7 燃燒效率係數(combustion efficiency factor)

在特定火災試驗條件之下所量測之燃燒熱對淨燃燒熱的比值。

A.1.8 對流分數(convective fraction)

對流熱釋放率對熱釋放率的比率

A.1.9 對流熱通量(convective heat flux)

由於氣體的運動，目標表面單位面積的熱傳率，例如天花板噴流。

A.1.10 對流熱釋放率(convective heat release rate)

由火羽流上升運動載送的熱釋放率之組分。

備考：在平均火焰高度之上，此部分被認定不隨高度變化。

A.1.11 火羽流(fire plume)

由燃燒產生之浮力所導致的向上紊流流體運動，通常包含較低的火焰部分。

A.1.12 火羽流轉向區域(fire plume turning region)

火羽流轉換成為天花板噴流的流動區域，其定義為徑向距離對有效天花板高度的比率 $H - z_v$ 等於 0.15 至 0.2。

A. 1. 13 火源直徑(fire source diameter)

火源的有效直徑，等於圓形火源的直徑，或是與非圓形火源面積相等之等效圓形之半徑。

A. 1. 14 火焰(flame)

燃燒時，火羽流的發光區域。

A. 1. 15 燃料混燒率(fuel mass burning rate)

燃料蒸氣的質量生成率。

A. 1. 16 熱釋放率(heat release rate)

燃燒源(例如火源)所釋放的實際熱量速率。

A. 1. 17 噴流火焰(jet flame)

由動量而非浮力所支配的火焰。

A. 1. 18 平均火焰高度(mean flame height)

火焰高於火源底部的對時間平均高度，其定義為在此高度見到火焰的機率為50%。

A. 1. 19 平均氣體速度(mean gas velocity)

天花板噴流中，在給定徑向距離 r 的位置之時間平均氣體速度。

A. 1. 20 平均溫升(mean temperature rise)

天花板噴流中，在給定徑向距離 r 的位置，其高於環境溫度之時間平均氣體溫升。

A. 1. 21 淨燃燒熱(net heat of combustion)

在特定火災試驗條件下，每單位質量物質損失所產生的熱量。

A. 1. 22 準穩定狀態(quasi-steady state)

假設在火源，熱釋放率的改變會立即影響整個流場。

A. 1. 23 輻射能量釋放係數(radiant energy release factor)

在火源中，以熱輻射釋放的熱量對淨燃燒熱的比例

A. 2 附錄 A 中使用的符號與縮寫

A_c 天花板平面面積 (m^2)

A_s 火源平面面積 (m^2)

D 火源直徑 (m)

e 自然對數的底數

g 重力加速度 ($m \cdot s^{-2}$)

h 對流熱傳導率 ($kW \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)

ΔH_c 淨燃燒熱 ($kJ \cdot kg^{-1}$)

L 火源底部以上的平均高度 (m)

l_T 天花板噴流溫度曲線的特性深度

l_v	天花板噴流速度曲線的特性深度
\dot{m}_f	燃料燃燒率 ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$)
p	絕對空氣壓 (kPa)
\dot{q}_f	對流熱通量 ($\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$)
\dot{Q}	給定或實際量測的熱釋放率 (kW)
\dot{Q}_c	對流熱釋放率 (kW)
R_a	羽流瑞利數(Rayleigh number) (-)
r	距離羽流中心線的徑向距離 (m)
T_a	環境溫度 (K)
y	天花板之下的垂直距離 (m)
z_H	火源底部以上的天花板高度 (m)
z_V	火源底部以上虛擬原點的高度 (m)
ΔT	平均溫升 (K)
ΔT_c	在給定的天花板徑向位置，高於環境溫度的溫升 (K)
ΔT_{\max}	最大平均溫升 (K)
V_{\max}	最大平均氣體速度 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
α	熱釋放率的對流分數 $1 - \chi_R / \chi_a$ (-)
χ_a	燃燒效率係數 (-)
χ_R	輻射能釋放係數 (-)
ν	空氣的動黏度 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
θ	天花板表面的最大傾角 (rad)

A.3 方程組處理的物理現象之描述

A.3.1 選定的天花板噴流特性

選定需要計算的軸對稱，準穩態天花板噴流特性。

A.3.2 方程組適用的火場情境元件

方程組適用於本質上平坦，未受阻礙的天花板，受到來自平面區域大致上為圓形或矩形之準穩態火源的火羽流所衝擊。火源宜為水平，燃燒表面向上，或是三維燃燒陣列，其平均火焰高度大於陣列高度的 110%，並小於火源底部上方總天花板高度的 10%。

A.3.3 需計算的天花板噴流特性

方程式提供距離火羽流垂直中心線（對稱軸）徑向距離位置的最大氣體溫度與

速度。也提供天花板噴流特性深度與對天花板的對流熱傳率之計算。

A. 3.4 方程式適用的天花板噴流區域

天花板噴流可區分為在羽流轉向區域內部或出口的氣流，以及位於羽流轉向區域外部的氣流。與不同方程式適用於區域的內部與外部。

A. 3.5 方程組的自我一致性

本附錄所提供的方程組是由 R. L. Alpert 所推導與審查（見 A.5），以確保由不同方程式所計算得到的結果為一致（亦即沒有衝突）。

A. 3.6 方程式所使用的標準與其他文件

此方程組在 SFPE 的消防工程手冊 [8] 中討論。

A. 4 方程組文件彙編

A. 4.1 位於天花板噴流半徑 r 位置的最大平均溫升

A. 4.1.1 在羽流轉向區域的平均最大天花板噴流溫升 ΔT_{\max} ， $\frac{r}{z_H - z_V} \leq 0.18$ ，

是由來自參考資料 [4] 尺寸關聯方程式 (A.1) 至 (A.4) 計算。在此公式中，虛擬原點高度 z_V 是由參考資料 [26] 獲得：

$$\Delta T_{\max} = \frac{16.9}{\alpha^{2/3}} \frac{\dot{Q}_c^{2/3}}{(z_H - z_V)^{5/3}}$$

(A.1)

$$\dot{Q}_c = \alpha \dot{Q}$$

(A.2)

$$z_V = -1.02D + 0.083\dot{Q}_c^{2/5}$$

(A.3)

$$\dot{Q} = \dot{m}_f f \chi_a \Delta H_c$$

(A.4)

備考：在參考資料 [4] 的原始方程式中，公式是以熱釋放率而不是對流部分表達，並不包含虛擬羽流原點為置的修正。

A. 4.1.2 適用在許多燃燒材料條件下 [在公式 (A.1) 中， $\alpha = 0.7$ ；見 A.7.2]，

在羽流轉向區域中的平均最大天花板噴流溫升 ΔT_{\max} ， $\frac{r}{z_H - z_V} \leq 0.18$ ，

是由公式(A.5) 計算：

$$\Delta T_{\max} = 21.4 \frac{\dot{Q}_c^{2/3}}{(z_H - z_V)^{5/3}}$$

(A.5)

備考：公式(A.5) 中的係數 21.4，若 $\alpha = 0.6$ 時為 24，與同一公式在計算產生天花板噴流的羽流位於轉向區域高度之最大平均溫升時，所用的參數值 25 不

同。在轉向區域中沒有發生熱量損失或混流情形時，將預期相應的羽流與天花板噴流溫度一致。

A. 4. 1. 3 在羽流轉向區域外部的平均最大天花板噴流溫升 ΔT_{\max} ， $\frac{r}{z_H - z_V} > 0.18$ ，是由來自參考資料 [4] 尺度關聯方程式 (A. 6) 計算。

$$\Delta T_{\max} = \frac{5.38 \frac{\dot{Q}_c^{2/3}}{(z_H - z_V)^{5/3}}}{\alpha^{2/3} \left(\frac{r}{z_H - z_V}\right)^{2/3}}$$

(A. 6)

A. 4. 1. 4 適用在許多燃燒材料條件下[在公式 (A. 6)中， $\alpha = 0.7$ ；見 A. 7. 2]，羽流轉向區域外部的平均最大天花板噴流溫升 ΔT_{\max} ， $\frac{r}{z_H - z_V} > 0.18$

是由公式(A. 7) 計算：

$$\Delta T_{\max} = 6.82 \frac{\frac{\dot{Q}_c^{2/3}}{(z_H - z_V)^{5/3}}}{\left(\frac{r}{z_H - z_V}\right)^{2/3}} \quad (A. 7)$$

A. 4. 2 位於天花板噴流半徑 r 位置的平均最大速度

A. 4. 2. 1 在羽流轉向區域出口的平均最大天花板噴流速度 V_{\max} ， $\frac{r}{z_H - z_V} = 0.15$ ，是由來自參考資料 [4] 尺度關聯方程式 (A. 8) 計算。

$$\Delta V_{\max} = \frac{0.96}{\alpha^{1/3}} \left(\frac{\dot{Q}_c}{z_H - z_V}\right)^{1/3}$$

(A. 8)

在轉向區域（參照 A. 10）之中，火源產生的熱氣，其速度由火羽流的垂直向上移動改變為與天花板平行方向移動的天花板噴流。若不計方向的改變，氣流的速率宜近乎恆量（見參考資料 [7]）。

A. 4. 2. 2 適用在許多燃燒材料條件下[在公式 (A. 8)中， $\alpha = 0.7$ ；見 A. 7. 2]，羽流轉向區域出口的平均最大天花板噴流速度 V_{\max} ， $\frac{r}{z_H - z_V} = 0.15$ ，

是由公式(A. 9) 計算：

$$V_{\max} = 1.08 \left(\frac{\dot{Q}_c}{z_H - z_V}\right)^{1/3}$$

(A. 9)

A. 4. 2. 3 在羽流轉向區域外的平均最大天花板噴流速度 V_{\max} ， $\frac{r}{z_H - z_V} > 0.15$ ，是由來自參考資料 [4] 尺度關聯方程式 (A. 10) 計算。

$$V_{\max} = \frac{0.195 \left(\frac{\dot{Q}_c}{z_H - z_V} \right)^{1/3}}{\alpha^{1/3} \left(\frac{r}{z_H - z_V} \right)^{5/6}}$$

(A. 10)

A. 4. 2. 4 適用在許多燃燒材料條件下[在公式 (A. 10)中, $\alpha = 0.7$; 見 A. 7. 2] ,

羽流轉向區域外部的平均最大天花板噴流速度 V_{\max} , $\frac{r}{z_H - z_V} > 0.15$,

是由公式(A. 11) 計算 :

$$V_{\max} = 0.22 \frac{\left(\frac{\dot{Q}_c}{z_H - z_V} \right)^{1/3}}{\left(\frac{r}{z_H - z_V} \right)^{5/6}}$$

(A. 11)

A. 4. 3 羽流轉向區域外部天花板噴流的時間平均溫度曲線

A. 4. 3. 1 在天花板下方羽流轉向區域外部位置, 平均溫升 ΔT 隨著垂直距離 y

變動, $0.26 \leq \frac{r}{z_H - z_V} \leq 2.0$, 是由來自參考資料 [19] 尺度關聯方程式

(A. 12) 計算。

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_{\max}} = 4.24 \left(\frac{y}{l_T} + 0.094 \right)^{0.755} \exp \left(-2.57 \frac{y}{l_T} \right)$$

(A. 12)

A. 4. 3. 2 依據公式 (A. 12) 所得之溫度曲線, 由公式 (A. 13) 計算將可預期發生在天花板下方垂直距離 y 最大天花板噴流溫升 :

$$\frac{y}{l_T} = 0.20$$

(A. 13)

A. 4. 3. 3 依據溫度 l_T 的天花板噴流特性深度是由來自參考資料 [19] 的公式

(A. 14) 計算。

$$\frac{l_T}{z_H - z_V} = 0.112 \left[1 - \exp \left(-2.24 \frac{r}{z_H - z_V} \right) \right]$$

(A. 14)

A. 4. 4 羽流轉向區域外部之天花板噴流的時間平均速度曲線

A. 4. 4. 1 在天花板下方煙流轉向區域外部位置, 平均天花板噴流速度 V 隨著垂

直距離 y 變動, $0.26 \leq \frac{r}{z_H - z_V} \leq 0.75$, 是由來自參考資料 [19] 尺度

關聯方程式 (A. 15) 計算。

$$\frac{V}{V_{\max}} = 1.59 \left(\frac{y}{l_V} \right)^{0.14} \exp \left(-1.517 \frac{y}{l_V} \right)$$

(A. 15)

A. 4. 4. 2 依據公式 (A. 15) 所得之速度曲線，由公式 (A. 16) 計算可預期發生在天花板下方垂直距離 y 的最大天花板噴流速度：

$$\frac{y}{l_v} = 0.092$$

(A. 16)

A. 4. 4. 3 依據氣體速度 l_v 的天花板噴流特性深度是由來自參考資料 [19] 的公式 (A. 14) 計算。

$$\frac{l_v}{z_H - z_v} = 0.205 \left[1 - \exp \left(-1.75 \frac{r}{z_H - z_v} \right) \right]$$

(A. 17)

A. 4. 5 由天花板噴流至天花板的對流熱通量

A. 4. 5. 1 由最大平均溫升 ΔT_{\max} 之天花板噴流，至溫度高於環境溫度 ΔT_c 之天花板的對流熱通量 \dot{q}_c'' 可由公式 (A. 18) 計算。

$$\dot{q}_c'' = h (\Delta T_{\max} - \Delta T_c) \quad (A. 18)$$

A. 4. 5. 2 羽流轉向區域之內的對流熱傳導係數 h ， $\frac{r}{z_H - z_v} \leq 0.2$ 是由來自參考資

料 [12] 的公式 (A. 19) 至 (A. 21) 計算，其中， $g = 9.806 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ：

$$h = 2.28 \alpha^{2/3} \left(\frac{\dot{Q}_c}{z_H - z_v} \right)^{1/3} \text{Ra}^{-1/6}$$

(A. 19)

$$\text{Ra} = \frac{g \dot{Q}_c (z_H - z_v)^2}{3.5 p v^3}$$

(A. 20)

$$v = 6.06 \times 10^{-10} (\Delta T_{\max} + T_a)^{1.78}$$

(A. 21)

A. 4. 5. 3 對於在羽流轉向區域內，溫度為環境溫度之天花板的對流熱通量 \dot{q}_c'' ，

$\frac{r}{z_H - z_v} \leq 0.2$ 是由來自參考資料 [12] 的公式 (A. 22) 計算。

$$\dot{q}_c'' = 38.6 \frac{\dot{Q}_c}{(z_H - z_v)^2 \text{Ra}^{1/6}}$$

(A. 22)

A. 4. 5. 4 羽流轉向區域外部的對流熱傳係數 h ， $0.2 < \frac{r}{z_H - z_v} < 2.0$ ，是由來自

參考資料 [3]，[9] 與 [12] 的公式 (A. 23) 計算。

$$h = 0.892\alpha^{2/3} \left(\frac{\dot{Q}_c}{z_H - z_v} \right)^{1/3} Ra^{-1/6} \left(\frac{r}{z_H - z_v} \right)^{-0.633}$$

(A. 23)

A. 4. 5. 5 對於在羽流轉向區域外部，溫度為環境溫度之天花板的對流熱通量

\dot{q}_c'' ， $0.2 < \frac{r}{z_H - z_v} \leq 2.0$ ，是由來自參考資料 [12] 的公式 (A. 24) 計算。

$$\dot{q}_c'' = 4.8 \frac{\dot{Q}_c}{(z_H - z_v)^2 Ra^{1/6}} \left(\frac{r}{z_H - z_v} \right)^{-1.3}$$

(A. 24)

A. 5 方程組的科學基礎

軸對稱天花板噴流的理論可追溯到 Pickard 等人.[1] 與 Thomas [2] 的研究及 Alpert [3]，[4]，[7] 與 Heskestad [5]，[6] 的模式發展。所有研究結果均由 Alpert [8] 滙整。依據 Alpert [3] 的早期研究，及其自身使用特定之 1 m 高阻熱天花板，及相對弱的 (0.75 kW 至 2 kW) 火源所做的火災試驗，Motevalli 與 Marks [19] 發展出 A. 4. 3 與 A. 4. 4 當中之天花板噴流溫度與速度曲線的方程式。Veldman 等人.[9]，You (Yu) 與 Faeth [12]，Cooper [13] 與 You (Yu) [14]，已對於羽流觸及天花板所產生的對流熱傳進行研究。A. 4. 5. 2 當中，對天花板之對流熱通量公式是由 You (Yu) 與 Faeth [12] 所發展，並經由 Alpert [17] 與 Kokkala [20] 確認。Veldman 等人.[9]，You (Yu) 與 Faeth [12]，Alpert [13] 之研究的實驗資料，被用來推導 A. 4. 5. 4 與 A. 4. 5. 5 當中的熱通量方程式。其他關於對於平坦，未有阻礙的天花板之總熱通量的資訊，可由 Hasemi 等人 [23] 獲得。

A. 6 方程組限制

方程組不宜應用於下列情況。

A. 6. 1 火源

方程組不宜應用於瞬變，及/或受滅火劑影響的火源；長寬比大於等於 2 的矩形火源；空氣輸入受限的三維火源，或是平均火焰高度等於或小於三維火源本身高度；組成元素為噴流火焰的火源（例如來自泄漏的管路或從加壓燃料儲槽孔口流穿）；火焰分佈在廣大區域而有多重火羽流的火源。

A. 6. 2 火焰尺度

方程組不宜應用於平均火焰高度 L 大於天花板高度 z_H 50%，及/或火焰直徑 D 大於最小未受阻礙平面尺度之 10% 的情況。

A. 6. 3 空氣動力擾動

方程組不宜應用於受到空氣動力擾動影響的羽流所產生的天花板噴流，這些擾動

可能來自流場中的阻礙，或是風的效應，通過封閉體開口的機械或自然通風。

A. 6. 4 天花板阻礙與斜率

方程組不宜應用於天花板包含有樑或防煙幕或是其他邊界表面導至氣流形成非軸對稱，或是熱氣層下降至火源，及/或天花板為可燃及/或非水平的等情況（定量的限制請見 A. 8）。

A. 6. 5 接近邊界表面

方程組不宜應用於火源或其火焰距離邊界小於一個火源直徑 D ，或是火羽流軸線距離邊界表面小於兩個天花板高度 $2z_H$ 的狀況。

A. 6. 6 輸出參數

當計算所得的羽流轉向區域內最大平均溫升遠小於周圍環境中隨高度而增加的最大溫度，因溫度成層於火災起始前（見 A. 8），或當計算所得的羽流轉向區域內之最大平均溫升大於特性火焰尖端溫度時，方程組不宜應用。

A. 7 方程組輸入參數

A. 7. 1 火源熱釋放率

參數 \dot{Q} ，單位為(kW)，為火源在特定環境條件下實際熱釋放率，可由熱量計或其他特定方法量測。此參數通常由設計火災情境獲得。其他火源熱釋放率的訊息來源，包含在 Tewarson [24] 與 Babrauskas [25]等參考資料中。

A. 7. 2 對流部分

此無因次參數 α ，其範圍通常對暴露固態表面或燃燒的液態燃料池火為 0.6 至 0.7，但對於含氧液體燃料或低分子量氣體燃料，可達 0.8 以上。對於三維火源，此參數在火災成長的早期階段遠小於單一火源，在火災成長進階階段增加至 0.6 至 0.7。此參數通常由設計火災情境獲得，其額外資訊可從 Tewarson [24] 獲得。

A. 7. 3 火源直徑

此參數 D ，單位為(m)，為圓形火源的直徑。此參數通常由設計火災情境獲得。對於矩形火源如此實際火源，使用與圓形相同面積 A_s ，單位為 m^2 ，其有效直徑 D ，由公式 (A. 25) 獲得，。

$$D = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}}$$

(A. 25)

A. 7. 4 天花板高度

此參數 z_H ，單位為(m)，通常由設計火災情境獲得。

A. 7. 5 天花板噴流的徑向距離

此參數 r ，單位為(m)，通常由設計火災情境獲得。此參數的有效範圍通常為由公式 A. 4 所提供最小值，至最大值 $2z_H$ 。

A. 7. 6 輸入參數的有效範圍

參數 z_H 的有效範圍，其最小值與 A. 6 所述之火焰高度限制一致，最大值對應

於符合 A. 8 要求之羽流轉向區域的平均溫升。

A. 8 方程組適用領域

A. 8. 1 此附錄所述之方程組的適用領域，可由 A. 5 所提及之科學文獻決定。

A. 8. 2 要保持此適用領域，宜遵循以下條件：

A. 8. 2. 1 熱氣層的形成限制在天花板以下 $z_H/4$ 的深度之內，需要最大時間間隔 ΔT_{\max} ，單位為(s)，在準穩態火源起火之後受限制，近似自參考資料 [26] 的公式 (A. 26) 所估算的值。

$$\Delta T_{\max} = 25 \left[\left(\frac{z_H}{4} - z_v \right)^{-2/3} - (z_H - z_v)^{-2/3} \right] \frac{A_c}{\dot{Q}_c^{1/3}}$$

(A. 26)

A. 8. 2. 2 天花板表面的斜率限制在水平夾角角度 θ ，單位為弧度。如此一限制的結果，位於天花板高度， z_H ，自羽流觸及點以最大角度向上移動的最大天花板噴流速度，與相應無天花板斜率 ($\theta = 0$) 之速度比率

$\frac{V_{\max, \theta}}{V_{\max, \theta=0}}$ ，近似由來自參考資料 [8] 的公式 (A. 27) 求得。

$$\frac{V_{\max, \theta}}{V_{\max, \theta=0}} = \exp(3 \sin \theta)$$

(A. 27)

例如，要保持此一速度比率的值小於或等於 1.05 (亦即由傾斜天花板產生的增加速率最大為 5%)，則傾斜角度需小於 0.016 弧度，或大約為 1 度。

A. 8. 2. 3 周圍環境溫度的成層，可由量測接近天花板的周圍溫度與接近火源的周圍溫度之間差異， $(T_a)_{z_H} - (T_a)_{z=0}$ 限制小於 $7\Delta T_0$ 的值(參照參考資料 [26])。

A. 9 計算範例

A. 9. 1 平均最大天花板噴流溫升

考慮直徑 1.8 m，裝有可燃液體的燃燒盤，其熱釋放率為 2500 kWm^{-2} ，位於天花板下方，液面上方 12 m 高度。條件為熱釋放率的對流部分為 0.7。位於羽流轉向區域內之天花板噴流溫升 ΔT_{\max} ，單位為 K，可由以下之公式 (A. 5) 計算：

$$\Delta T_{\max} = 21.4 \times \frac{(0.7 \times 2500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/3}}{[12 + 1.02 \times 1.8 - 0.083 \times (2500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/5}]^{5/3}} = 105$$

位於羽流轉向區域外部，距羽流中心線徑向距離 5 m 位置的天花板噴流溫升 ΔT_{\max} ，單位為 K，可由以下之公式 (A. 7) 計算：

$$\Delta T_{\max} = 6.82 \times \frac{(0.7 \times 2500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/3}}{\left[\frac{5}{[12 + 1.02 \times 1.8 - 0.083 \times (2500 \times \pi \times 1.8^2/4)^{2/5}]^{2/3}} \right]^{2/3}} = 57$$

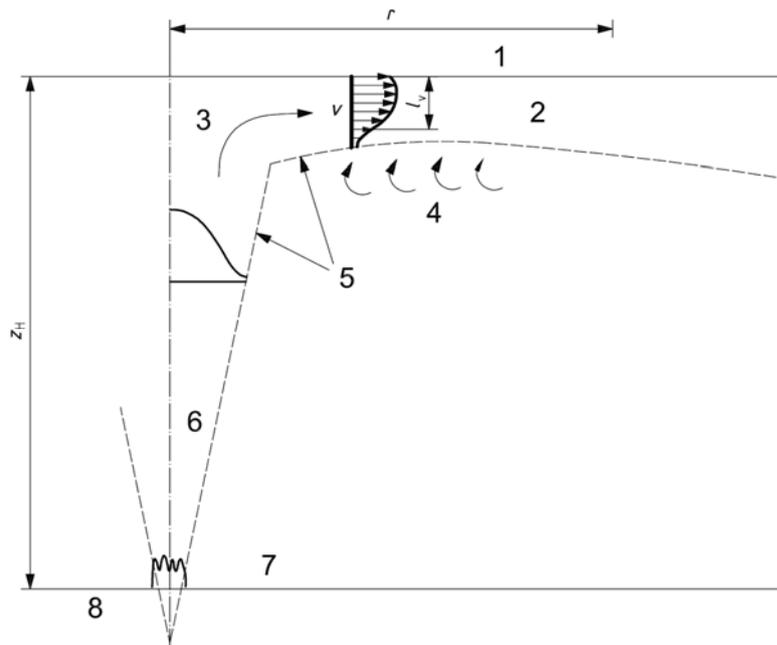
A. 9.2 依據氣體溫度的天花板噴流特性深度

考慮型態與 A. 9.1 相同的盆火。位於距煙流中心線徑向距離 5 m 位置，依據氣體溫度的天花板噴流特性深度 l_T ，單位為(m)，可由以下之公式 (A. 14) 計算：

$$l_T = \left[12 + 1.02 \times 1.8 - 0.083 \times (2500 \times \pi \times 1.8^2 / 4)^{2/5} \right] \times 0.112 \times \left[1 - \exp\left(-2.24 \times \frac{5}{12-0.921}\right) \right] = 0.79$$

其中 $z_v = 0.921$ m，為虛擬羽流原點在火源底部（即液面）上方的高度。

A. 10 說明圖形



說明

- 1 天花板
- 2 天花板噴流
- 3 轉向區域
- 4 少量汲入空氣
- 5 羽流特性半徑與天花板噴流深度
- 6 火羽流
- 7 火源底部
- 8 火源

圖 A. 1 描述天花板噴流之參數的說明圖形

參考資料

- [1] PICKARD, R.W., HIRD, D. and NASH, P. *The Thermal Testing of Heat-Sensitive Fire Detectors*, F.R. Note 247, Building Research Establishment, Borehamwood, Herts, UK (1957).
- [2] THOMAS, P.H. *The Distribution of Temperature and Velocity Due to Fires Beneath Ceilings*, F.R. Note 141, Building Research Establishment, Borehamwood, Herts, UK (1955).
- [3] ALPERT, R.L. *Fire Induced Turbulent Ceiling-Jet*, Technical Report Serial No. 19722-2, Factory Mutual Research Corporation, p. 35 (1971).
- [4] ALPERT, R.L. *Calculation of Response Time of Ceiling-Mounted Fire Detectors*, Fire Tech., 8, p. 181 (1972).
- [5] HESKESTAD, G. *Similarity Relations for the Initial Convective Flow Generated by Fire*, ASME Paper No. 72-WA/HT-17, The American Society of Mechanical Engineers (1972).
- [6] HESKESTAD, G. *Physical Modeling of Fire*, J. Fire and Flammability, 6, p. 253 (1975).
- [7] ALPERT, R.L., *Turbulent Ceiling-Jet Induced by Large-Scale Fires*, Comb. Sci. and Tech., 11, p. 197 (1975).
- [8] ALPERT, R.L. *Ceiling Jet Flows*, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, P.J. DiNenno, Editor, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 2-18 to 2-31 (2002).
- [9] VELDMAN, C.C., KUBOTA, T. and ZUKOSKI, E.E. *An Experimental Investigation of the Heat Transfer from a Buoyant Gas Plume to a Horizontal Ceiling — Part 1: Unobstructed Ceiling*, NBS-GCR-77-97, National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD (1977).
- [10] HESKESTAD, G. and DELICHATSIOS, M.A. *Environments of Fire Detectors*, NBS-GCR-77-86 and NBSGCR-77-95, National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD (1977).
- [11] HESKESTAD, G. and DELICHATSIOS, M.A. *The Initial Convective Flow in Fire*, 17th International Symposium on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA (1978).
- [12] YOU (YU), H.Z. and FAETH, G.M. *Ceiling Heat Transfer during Fire Plume and Fire Impingement*, Fire and Materials, 3, p. 140 (1979) [13] COOPER, L.Y. *Heat Transfer from a Buoyant Plume to an Unconfined Ceiling*, J. of Heat Trans., 104, p. 446 (1982).
- [14] YOU (YU), H.Z. *An Investigation of Fire-Plume Impingement on a*

- Horizontal Ceiling: 2-Impingement and Ceiling-Jet Regions*, Fire and Materials, 9, p. 46 (1985).
- [15] COOPER, L. Y. and WOODHOUSE, A. *The Buoyant Plume-Driven Adiabatic Ceiling Temperature Revisited*, J. of Heat Trans., 108, p. 822 (1986).
- [16] EVANS, D. D. and STROUP, D. W. *Methods to Calculate the Response Time of Heat and Smoke Detectors Installed below Large Unobstructed Ceilings*, Fire Tech., 22, p. 54 (1986).
- [17] ALPERT, R. L. *Convective Heat Transfer in the Impingement Region of a Buoyant Plume*, ASME J. of Heat Trans., 109, p. 120 (1987).
- [18] HESKESTAD, G. and DELICHATSIOS, M. A. *Update: The Initial Convective Flow in Fire*, Short Communication, Fire Safety J., 15, p. 471 (1989).
- [19] MOTEVALLI, V. and MARKS, C. H. *Characterizing the Unconfined Ceiling Jet under Steady-State Conditions: A Reassessment*, Fire Safety Science, Proceedings of the 3rd International Symposium, G. Cox and B. Langford, Eds., Elsevier Applied Science, New York, NY, p. 301 (1991).
- [20] KOKKALA, M. A. *Experimental Study of Heat Transfer to Ceiling from an Impinging Diffusion Flame*, Fire Safety Science - Proceedings of the Third International Symposium, G. Cox and B. Langford, Eds., Elsevier Applied Science, New York, NY, p. 261 (1991).
- [21] ATKINSON, G. T. and DRYSDALE, D. D. *Convective Heat Transfer from Fire Gases*, Fire Safety J., 19, p. 217 (1992).
- [22] HESKESTAD, G. and HAMADA, T. *Ceiling Jets of Strong Fire Plumes*, Fire Safety J., pp. 21, 69 (1993).
- [23] HASEMI, Y., YOKOBAYASHI, S., WAKAMATSU, T. and PTHELINTSEV, A. V. *Fire Safety of Building Components Exposed to a Localised Fire - Scope and Experiments on Ceiling/Beam System Exposed to a Localised Fire*, ASIAFLAM' 95, First International Conference, Interscience Communications Ltd., London, pp. 351-361 (1995).
- [24] TEWARSON, A. *Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires*, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, P. J. DiNenno, Editor, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 3-82 to 3-161 (2002).
- [25] BABRAUSKAS, V. *Heat Release Rates*, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, P. J. DiNenno, Editor, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 3-1 to 3-37 (2002).
- [26] HESKESTAD, G. *Fire Plumes, Flame Height and Air Entrainment*, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition, P. J. DiNenno,

Editor, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 2-1 to 2-17 (2002).

- [27] ISO 5725 (all parts), *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results*.

附錄十一 防火安全工程-控制代數方程式的要求-通風氣流(草案)

Fire safety engineering-Requirements governing algebraic equations-Vent flows

緒論

本標準預期為從事防火安全工程計算的防火安全從業人員所用。包括防火安全工程師，主管機關，如地方官員，消防人員，執法人員與程式開發人員。我們預期本標準的使用者，在防火安全工程領域具有適當的資格與能力。特別重要的是，使用者需要瞭解能夠使用哪一個特定方法中的參數可以使用。

在防火安全設計中，符合本標準規範的代數方程式與其他工程計算方法一起使用。在此設計之前，先建立背景環境，包含須符合的防火安全目標與目的，以及暫行防火安全設計在特定之設定火災情境的性能基準。工程計算方法用於評估特定設計是否符合這些性能基準，若不符合，則應如何修改此設計。

工程計算的目標包含全新建築環境，例如大樓、船或車輛的防火安全設計，以及評估現有建築環境的安全性。

在本標準中討論的代數方程式非常適於量化設定火災情境的結果。這些方程式可讓從業人員迅速地決定暫行防火安全設計應如何修改，以符合協議之性能基準，直到最終設計文件的階段，而不需浪費時間於詳細的數值運算。這些代數方程式的適用領域包含估算火羽流的熱傳導，包對流與輻射；預測關係偵測器反應時間的天花板噴流特性，計算煙自通風開口的傳送，及分析封閉區間火災危害，例如煙注入與閃燃。

在本標準中討論的代數方程式，可用於檢查各種計算火災成長及其結果的數值模式的結果。

1. 範圍

- 1.1 本標準中的特定要求為通風氣流特定特性的計算之代數方程組應用。
- 1.2 本標準為火災動力計算情況包括代數算式組的一般高階要求之實施。
- 1.3 本標準的編排是依樣板格式，依下列一般要求型式提供關於代數通風氣流方程式特定的資訊：
 - a) 計算方法解決物理現象之描述；
 - b) 計算程序文件化及其科學基礎；
 - c) 計算方法的限制；

- d) 計算方法的輸入參數；
- e) 計算方法的適用範圍。

備考：符合本標準中所有要求之代數方程組的範例，將依每一不同的通風氣流情境型式在個別的附錄中提供。目前，有兩個參考附錄，包含通風氣流的一般資訊與實用工程計算使用的特定代數算式。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。下列引用標準適用最新版(包括補充增修)。

CNS 14651 建築物防火詞彙— 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙— 防火試驗用語

CNS 14996 建築物防火詞彙— 防火安全用語

ISO 13943, *Fire safety — Vocabulary*

ISO 16730-1, *Fire safety engineering — Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods —Part 1: General*

ISO 5725 (all parts), *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results*

3. 用語及定義

為本文件之用途，下列用語及定義適用於 ISO 13943 以及以下應用，關於每個附錄中所用特定用語及定義，見該附錄。

4. 控制的物理現象說明要求

- 4.1 在封閉空間中，由火源產生的浮力氣流，通過一個以上開口的通風結果，是一複雜的熱物理現象，可以是高度地瞬變，或是接近穩態。通風氣流可能包含參與有焰燃燒的區域以及沒有燃燒發生的區域。除了浮力之外，通風氣流可受到外部風力或機械風機產生的動力所影響。
- 4.2 一般型態的氣流邊界條件及其他可適用於分析的情境元素，應以圖表協助其描述。
- 4.3 需要計算的通風氣流特性，以及適用範圍應明確地辨識，包含由計算所得數值推導的特性。
- 4.4 應明確地辨識應用在情境元素（例如雙氣層環境，均勻混合等）的特定方程式。
- 4.5 由於使用不同的方程式描述不同的通風氣流特性（4.3）或應用於不同情境（4.4），應顯示對於給定的數值，若有一個以上的方法可以計算，則結果必須是與方法無關的。

5. 控制文件化的要求

- 5.1 執行計算的程序應以代數方程組來描述。
- 5.2 每個方程式應在條款中呈現，包含說明方程式輸出，以及附註與方程式特殊限制的文字敘述。
- 5.3 方程組中的所有變數均應明確的定義，並給予適當的 SI 單位。最好是無因次係數的方程式。
- 5.4 應透過引用經認可的指南，同儕審核的科學文獻或推導，提供方程組的科學基礎。
- 5.5 範例應顯示如何使用所有符合第 4 節規範的輸入參數值評估方程組。

6. 控制限制的要求

- 6.1 代數方程組直接應用於計算符合第 4 節所描述之狀況的輸出參數之量化限制。
- 6.2 在更通用的計算方法中使用代數方程組時應特別注意，應檢查計算方法中使用的關連性，以及數值程序之一致性。

7. 控制輸入參數的要求

- 7.1 代數方程組的輸入參數應明確經辨識的，例如氣層溫度、壓力或幾何外形尺度。
- 7.2 輸入參數的資料應在標準之中明確規定或經辨識的。
- 7.3 輸入參數的有效範圍應列出如 ISO 16730-1 規定。

8. 控制適用性領域的要求

- 8.1 應辨識一個以上的量測資料群組，以建立方程組適用的領域。這些資料需透過文件紀錄/標準化的程序評估，具有相當程度的品質（例如 重複性，重現性-參照 ISO 5725）。
- 8.2 代數方程式適用的領域，需要透過遵循計算方法之評估、驗證與確認原則，與 8.1 所述之量測值比較而決定。
- 8.3 第 4 節所述限制代數方程組的潛在誤差源應經鑒定的，例如，封閉區間內有一個或以上均勻氣體層的假設。

附錄 A

(參考)

一般通風氣流的問題

A.1 用語及定義

為本文件之用途，下列用語及定義適用於 ISO 13943 以及以下應用：

A.1.1 邊界(boundary)

定義封閉區間範圍表面。

A.1.2 基準面(datum)

評估靜水壓分佈時，作為參考高度的高度。

A.1.3 封閉區間(enclosure)

由表面所界限的房間，空間或容積。

A.1.4 流量係數(flow coefficient)

經驗效率因數，說明通過通風口的實際與理論流率之差異。

A.1.5 靜水壓(hydrostatic pressure)

與高度相關的氣壓梯度。

A.1.6 界面位置(interface position)

煙層高度(smoke layer height)

煙層界面相對於基準面的高度，通常為封閉區間最低邊界的高度。

A.1.7 中性面高度(neutral plane height)

封閉區間中內部壓力與外部壓力相等的高度。

A.1.8 壓力差(pressure difference)

封閉區間中在特定高度內部壓力與外部壓力之間的差異。

A.1.9 煙(smoke)

空中浮游的固態或液態微粒氣流及材料經過熱解或燃燒釋出的氣體，以及吸入或混入氣流當中的大量空氣。

A.1.10 煙層(smoke layer)

上層熱氣層(hot upper layer)

熱氣層(hot gas layer)

因火災造成而形成與堆積在封閉區間最高邊界之下的相對均質的煙量。

A.1.11 煙層界面(smoke layer interface)

分隔煙層與較低之氣層的水平面。

A.1.11 通風口(vent)

封閉區間邊界的開口，空氣與煙可經由自然或機械產生的驅動力流動通過。

A.1.13 通風氣流(vent flow)

通過封閉區間邊界通風口的空氣或煙流。

A.2 方程組處理的物理現象之描述

A.2.1 範圍

本附錄紀錄可用於計算通過通風口之質量流率的通用方法。方程組是依據孔口流理論。

A.2.2 計算方法的一般描述

計算方法用於計算通過封閉區間邊界之通風口的氣流量，這些氣流是由封閉區間與相鄰空間的溫度差導致的壓力差所產生。壓力差也可能由火災氣體膨脹，機械通風，風力或作用於封閉區間邊界與通風口的其他力量而產生，但這些力量未在此標準中處理。給定通風口兩側的壓力差及通風口所連結的封閉區間的溫度，則質量流率可由孔口流理論計算。

封閉區間的特性，例如煙層界面高度、溫度及其他特性是由煙層之熱量與質量守恆原則所計算，如 ISO 16735 所描述。

A.2.3 需要計算的通風氣流特性

方程式提供質量流率、焓與化學物種流率。

A.3 此附錄中使用的符號與縮寫

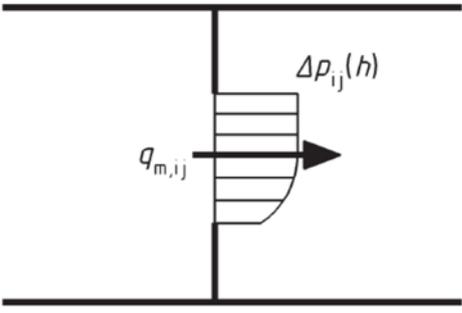
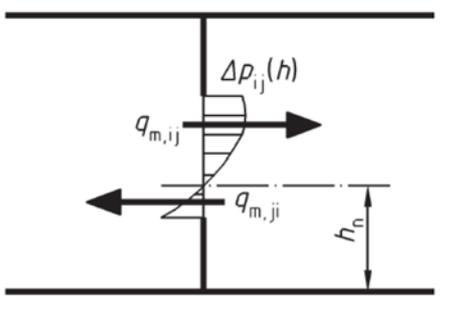
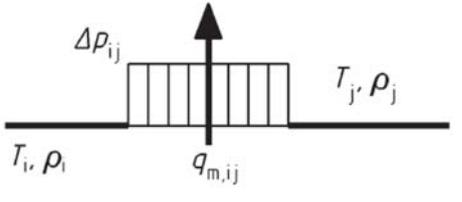
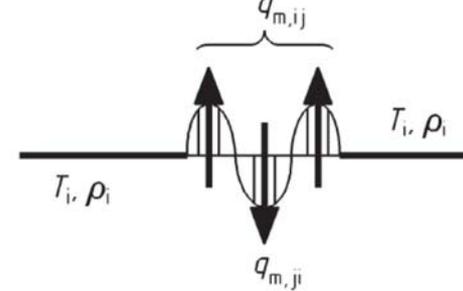
A	通風口面積 (m ²)
B	通風口寬度 (m)
C _D	流量係數 (-)
g	重力加速度 (m/s ²)
h _l	通風口下沿高於基準面的高度 (m)
h _u	通風口上沿高於基準面的高度 (m)
max(x ₁ , x ₂)	x ₁ 與 x ₂ 的最大值
q _{m,ij}	由封閉區間 i 流至封閉區間 j 的質量流率 (kg/s)
q _{m,ji}	由封閉區間 j 流至封閉區間 i 的質量流率 (kg/s)
p _i (h)	封閉區間 i 中基準面上方高度 h 的壓力 (Pa)
p _j (h)	封閉區間 j 中基準面上方高度 h 的壓力 (Pa)
T	溫度 (K)
T ₀	參考溫度 (K)
v	流速 (m/s)
ρ _i	封閉區間 i 中煙(或空氣)的氣體密度 (kg/m ³)
ρ _j	封閉區間 j 中煙(或空氣)的氣體密度 (kg/m ³)
ρ ₀	參考溫度下，煙(或空氣)的氣體密度 (kg/m ³)
Δp _{ij} (h)	封閉區間 i 與 j 之間，於高度 h 的壓力差為 p _i (h) - p _j (h)，(Pa)
ξ	高度的積分變數 (m)

A.4 方程組文件彙編

A.4 方程組表列

計算通過通風口的氣流速度是依據白努利方程式的孔口流理論。表 A.1 為計算通風氣流方法發展情況。對於垂直與水平通風口的情況，氣流可能為單向或雙向流動。對於水平通風口，雙向氣流只在壓力差很小的特殊狀況才會發生。在此詳述的公式是應用在通過垂直通風口，以及單向通過水平通風口的氣流。

表 A.1 計算通風氣流的狀況

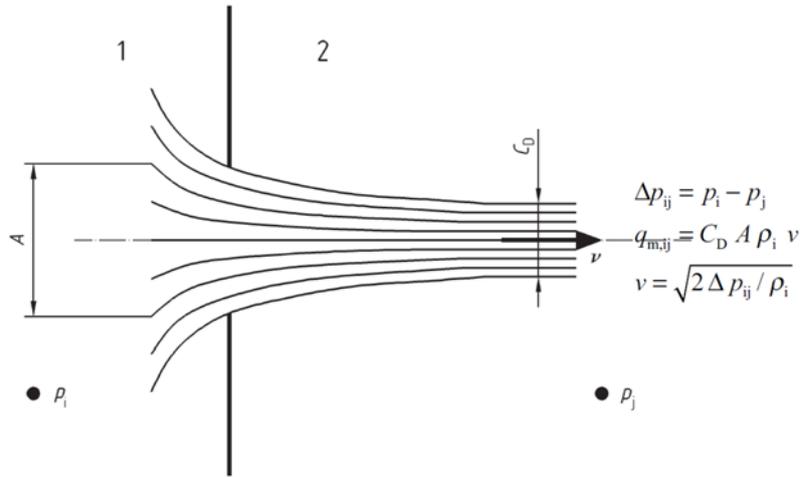
	單向氣流	雙向氣流
垂直通風口		
水平通風口		
		氣流不穩定目前沒有明確的公式可用。

A.4.2 孔口流 — 在通風口區域壓力均勻分佈

當一些行動造成壓力差，例如外部風力或機械風機，氣流通過通風口是由以下公式計算：

$$q_{m,ij} = C_D A \sqrt{2 \rho_i \Delta p_{ij}} \quad (A.1)$$

其中 $\Delta p_{ij} = p_i - p_j$ ，且假設通風口兩側的壓力差在整個通風口是分佈均勻的，如圖 A.1 所示。



說明

- 1 封閉區間 i
- 2 封閉區間 j

圖 A.1 等溫孔口流的流線與流量係數

A.4.3 靜水壓力差

當垂直溫度曲線 $T_i(h)$ 存在於封閉區間如圖 A.2 所示，基準面之上高度 h 的氣體密度 ρ_i

由以下公式計算

$$\rho_i(h) = \frac{\rho_0 T_0}{T_i(h)} \approx \frac{353}{T_i(h)}$$

(A.2)

封閉區間內的靜水壓是由氣體密度在高度範圍積分而得。

$$p_i(h) = p_i(0) - \int_0^h \rho_i(\zeta) g d\zeta$$

(A.3)

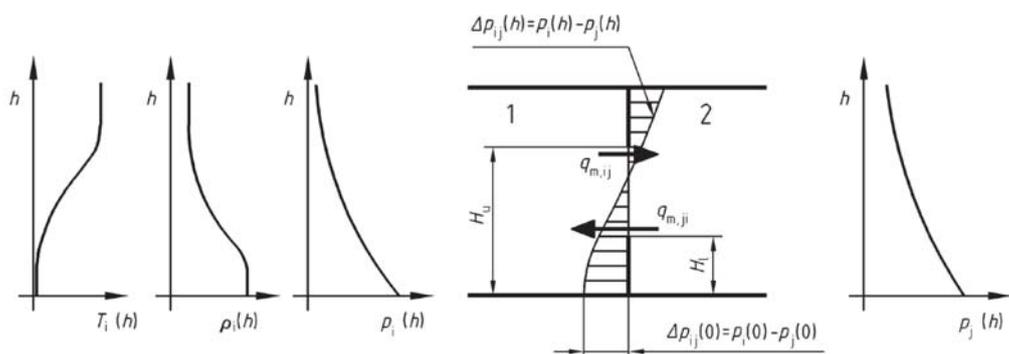
封閉區間 i 與 j 之間，於高度 h 的靜水壓力差為

$$\Delta p_{ij}(h) = p_i(h) - p_j(h)$$

$$= \{p_i(0) - p_j(0)\} - \int_0^h \{\rho_i(\zeta) - \rho_j(\zeta)\} g d\zeta$$

$$= \Delta p_{ij}(0) - \int_0^h \{\rho_i(\zeta) - \rho_j(\zeta)\} g d\zeta \quad (A.4)$$

備考：要推導公式 (A.2)，煙氣體要接近理想氣替，其特性在標準大氣壓之下應與空氣一致。



說明

- 1 封閉區間 i
- 2 封閉區間 j

圖 A.2 兩相鄰封閉區間之間的靜水壓力差

A.4.4 一般流動方程式 — 因壓力差流經垂直通風口的氣流

當通風口兩側的壓力差在通風口上的分佈不均勻時，通過通風口的氣流量是應用孔口流理論在通風口的每個部分來計算，如圖 A.2 所示。由公式 (A.4) 所得之靜水壓力差，封閉區間的質量流率是由以下公式計算

$$q_{m,ij} = C_D B \int_{h_i}^{h_u} \sqrt{2 \rho_i(\zeta) \max(\Delta p_{ij}(\zeta), 0)} d\zeta \quad (A.5)$$

$$q_{m,ji} = C_D B \int_{h_i}^{h_u} \sqrt{2 \rho_i(\zeta) \max(-\Delta p_{ij}(\zeta), 0)} d\zeta \quad (A.6)$$

附錄 B

(參考)

符合附錄 A 要求的特定通風氣流公式

B.1 方程組處理的物理現象之描述

B.1.1 一般

此附件提供的公式可用於計算通過通風口煙的質量流率。其他方法所應用條件範圍經查證與確認，這些方法得予使用計算這些數值。

B.1.2 方程組可適用的情境元件

方程組可應用於由火災引起的浮力所驅動通風口氣流。動態壓力效應，如風，並未計入考量。計算通風氣流條件的方法是依兩類型溫度曲線發展：其中之一為均勻溫度曲線，另一類型為二層曲線，如 ISO 16735 所計算。計算條件滙總於表 B.1。

表 B.1 通風氣流計算公式的條件

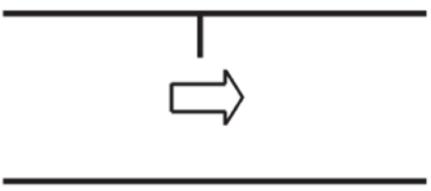
溫度曲線	通風口的配置	氣流型式	小節
均勻	單一通風口		B.3.1

表 B.1 (續)

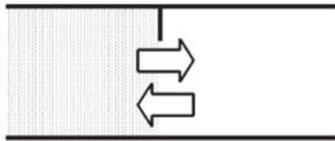
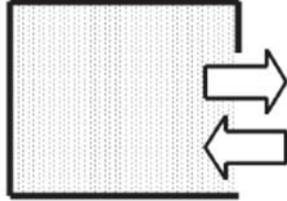
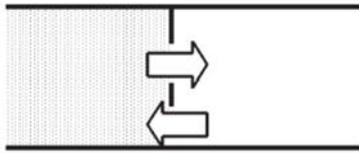
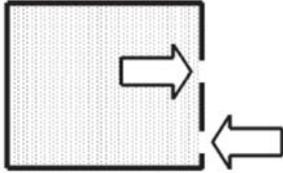
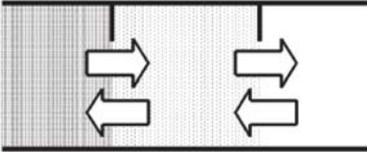
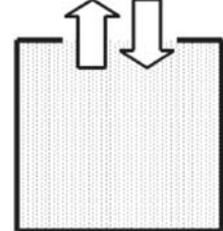
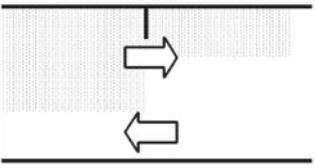
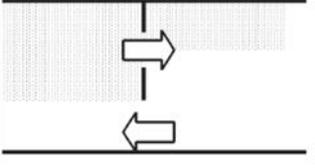
溫度曲線	通風口的配置	氣流型式	小節
單層	單一垂直通風口 (一般情況, 氣流可為單向或雙向任一)		B. 3. 2
	單一垂直通風口 (特殊情況, 氣流為雙向)		B. 3. 3
	多重垂直通風口 (一般情況, 氣流可為單向或雙向任一)		B. 3. 4
	多重垂直通風口 (在一個封閉區間有兩個小型垂直通風口的特殊情況, 氣流為雙向)		B. 3. 5
	多重串列垂直通風口(將多重串列通風口結合成為等效單一通風口)		B. 3. 6
	單一水平通風口 (不穩定雙向流)		B. 3. 7

表 B.1 (續)

溫度曲線	通風口的配置	氣流型式	小節
二層	單一垂直通風口 (一般情況, 氣流可為單向或雙向任一)		B. 3. 8
	多重垂直通風口 (一般情況, 氣流可為單向或雙向任一)		B. 3. 9

B. 1. 3 需要計算的通風氣流特性

公式提供計算通過通風口的煙與空氣質量流率。

B. 1. 4 公式適用的通風氣流條件

明確方程式提供在特定條件下通過垂直與水平通風口的煙流氣流量。

B. 1. 5 方程組的自相一致

方程組是以自相一致的方式發展。

B. 1. 6 方程式所使用的標準與其他文件

ISO 16735 : 2006 Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Smoke layers。

B. 2 此附錄中使用的符號與縮寫

除了在附錄 A 所用的符號與縮寫以外, 以下用語也在此附錄中使用。

$abs(x)$	x 的絕對值
A_{ij}	連結封閉區間 i 與 j 的通風口面積 (m^2)
B_{ij}	連結封閉區間 i 與 j 的通風口寬度 (m)
c_p	空氣與煙的比熱 ($kJ/kg \cdot K$)
h	基準面之上的高度 (m)
h_m	在二層環境的狀況中, 中層區段底部高於基準面的高度 (m)
h_n	中性面高於基準面的高度 (m)
h_t	在二層環境的情況中, 上層區段底部高於基準面的高度 (m)
\dot{H}_{ij}	由封閉區間 i 至封閉區間 j 的焓通量 (kW)
$\min(x_1, x_2)$	x_1 與 x_2 的最小值
$\dot{q}_{m,ij}$	由封閉區間 i 至封閉區間 j 化學物種的質量通量 (kg/s)
T_i	封閉區間 i 的溫度 (K)

T_j	封閉區間 j 的溫度 (K)
$T_{a,i}$	封閉區間 i 當中空氣層的溫度 (K)
$T_{a,j}$	封閉區間 j 當中空氣層的溫度 (K)
$T_{s,i}$	封閉區間 i 當中煙層的溫度 (K)
$T_{s,j}$	封閉區間 j 當中煙層的溫度 (K)
w_i	封閉區間 i 中化學物種的質量分率 (kg/kg)
$\rho_{a,i}$	封閉區間 i 中空氣層的氣體密度 (kg/m ³)
$\rho_{a,j}$	封閉區間 j 中空氣層的氣體密度 (kg/m ³)
$\rho_{s,i}$	封閉區間 i 中煙層的氣體密度 (kg/m ³)
$\rho_{s,j}$	封閉區間 j 中煙層的氣體密度 (kg/m ³)

B.3 方程組文件彙編

B.3.1 通過連結兩個溫度相同，分佈均勻的封閉區間之通風口氣流

當均勻溫度分佈的通風口兩側產生壓力差 Δp_{ij} ，如圖 B.1 所示，質量流率是由以下公式計算

$$q_{m,ij} = C_D A_{ij} \sqrt{2 \rho \Delta p_{ij}} \quad (B.1)$$

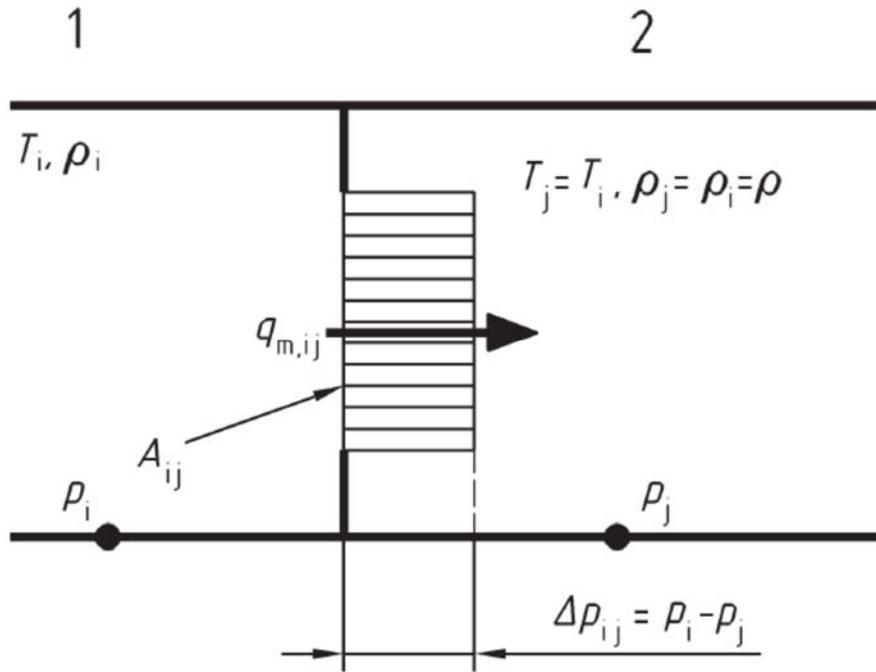
$$\Delta p_{ij} = p_i - p_j \quad (B.2)$$

使用質量流率計算焓與化學物種流的流量

$$\dot{H}_{ij} = c_p (T_i - T_j) q_{m,ij} \quad (B.3)$$

$$q_{m,ij} = w_i q_{m,ij} \quad (B.4)$$

備考：焓與化學物種流的公式在後續章節中不會重複，但公式 (B.3) 與 (B.4) 可應用於此附錄的所有情況。



說明

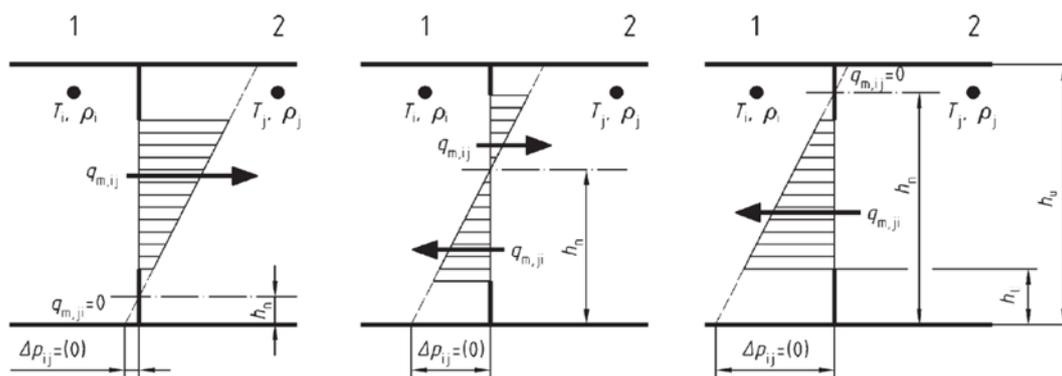
1 封閉區間 i

2 封閉區間 j

圖 B.1 在均勻溫度狀況下，垂直通風口兩側的壓力差，與相應之氣流方向

B.3.2 通過連結兩個溫度不同，分佈均勻的封閉區間之單一垂直通風口的氣流量 — 一般情況

如圖 B.1 所示，氣流型式是依中性面的位置分類。當中性面位於通風口的下沿之下，氣流是單向由封閉區間 i 至封閉區間 j。當中性面位於開口高度的範圍內，氣流為雙向。當中性面位於通風口的上沿之上，氣流是單向由封閉區間 j 至封閉區間 i。中性面的高度是由公式 (B.7) 解得。氣流率 $q_{m,ij}$, $q_{m,ji}$ 由公式 (B.8) 至 (B.11) 解得。此方程組所計算的結果以無因次的型式呈現在圖 B.4 當中。



說明

1 封閉區間 i

2 封閉區間 j

圖 B.2 垂直通風口兩側的壓力差與相應之氣流方向 ($\rho_i < \rho_j$)

B.3.2.1 封閉區間內的氣體密度

$$\rho_i = \frac{353}{T_i}$$

(B.5)

$$\rho_j = \frac{353}{T_j}$$

(B.6)

B.3.2.2 中性面高於樓板的高度

$$h_n = \frac{\Delta p_{ij}(0)}{(\rho_i - \rho_j)g}$$

(B.7)

B.3.2.3 質量流率

在 $T_i > T_j$ ($\rho_i < \rho_j$) 的情況下，

$$q_{m,ij} =$$

$$\begin{cases} \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_i (\rho_j - \rho_i) g} \{ (h_u - h_n)^{3/2} - (h_l - h_n)^{3/2} \} & (h_n < h_l) \\ \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_i (\rho_j - \rho_i) g} (h_u - h_n)^{3/2} & (h_l \leq h_n < h_u) \\ 0 & (h_u \leq h_n) \end{cases} \quad (B.8)$$

$$q_{m,ji} =$$

$$\begin{cases} 0 & (h_n < h_l) \\ \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_j (\rho_j - \rho_i)} g (h_n - h_l)^{3/2} & (h_l \leq h_n < h_u) \\ \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_j (\rho_j - \rho_i)} g \{ (h_n - h_l)^{3/2} - (h_n - h_u)^{3/2} \} & (h_u \leq h_n) \end{cases}$$

(B. 9)

在 $T_i < T_j$ ($\rho_i > \rho_j$) 的情況下，

$$\begin{cases} 0 & (h_n < h_l) \\ \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_i (\rho_i - \rho_j)} g (h_n - h_l)^{3/2} & (h_l \leq h_n < h_u) \\ \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_i (\rho_i - \rho_j)} g \{ (h_n - h_l)^{3/2} - (h_n - h_u)^{3/2} \} & (h_u \leq h_n) \end{cases}$$

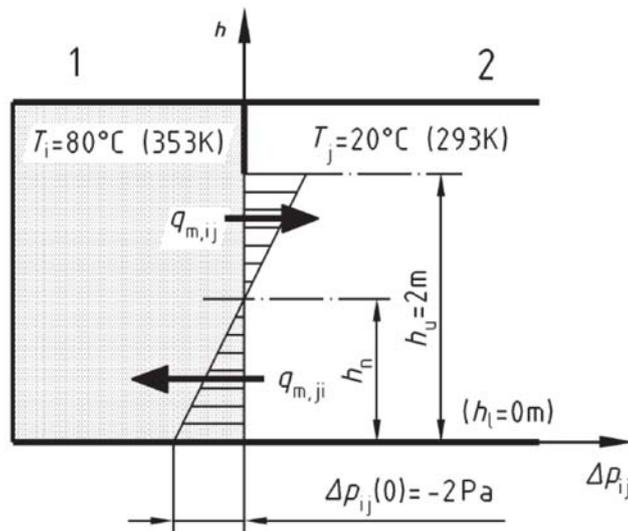
(B. 10)

$$\begin{cases} \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_j (\rho_i - \rho_j)} g \{ (h_u - h_n)^{3/2} - (h_l - h_n)^{3/2} \} & (h_n < h_l) \\ \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_j (\rho_i - \rho_j)} g (h_u - h_n)^{3/2} & (h_l \leq h_n < h_u) \\ 0 & (h_u \leq h_n) \end{cases}$$

(B. 11)

B. 3. 8 計算的範例

計算通過門口（寬 0.9 m，高 2.0 m）的氣流率。假設 T_i 為 80 °C (353 K) and T_j 為 20 °C (293 K)，在樓板高度封閉區間 j 的壓力大於封閉區間 i 2 Pa [$\Delta p_{ij}(0) = -2$ Pa]，如圖 B. 3 所示。



說明

1 封閉區間 i

2 封閉區間 j

圖 B.3 $T_i = 80\text{ }^\circ\text{C}$ (353K), $T_j = 20\text{ }^\circ\text{C}$ (293K), $B_{ij} = 0.9\text{ m}$, $h_u = 2\text{ m}$, $h_l = 0\text{ m}$, $\Delta p_{ij}(0) = -2\text{ Pa}$ 的氣流量

B.3.2.4.1 封閉區間內的氣體密度

使用公式 (B.5) 與 (B.6), 兩個區間的煙層之氣體密度為:

$$\rho_i = \frac{353}{T_i} = \frac{353}{353} = 1.000$$

(B.12)

$$\rho_j = \frac{353}{T_j} = \frac{353}{293} = 1.205 \quad (\text{B.13})$$

B.3.2.4.2 中性面高於樓板的高度

使用公式 (B.7), 中性面的高度為

$$h_n = \frac{\Delta p_{ij}(0)}{(\rho_i - \rho_j)g} = \frac{-2}{(1.0 - 1.205) \times 9.8} = 0.997 \quad (\text{B.14})$$

B.3.2.4.3 質量流率

當中性面高度 h_n 在 h_u 與 h_l 之間, 為雙向氣流。使用公式 (B.8) 與 (B.9), 進入與離開封閉區間 j 的質量流率之計算如下。

$$\begin{aligned} q_{m,ij} &= \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_i (\rho_j - \rho_i) g (h_u - h_n)^{3/2}} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \sqrt{2.0 \times (1.205 - 1.0) \times 9.8 \times (2.0 - 0.997)^{3/2}} \\ &= 0.846 \end{aligned} \quad (\text{B.15})$$

$$\begin{aligned} q_{m,ji} &= \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_j (\rho_j - \rho_i) g (h_n - h_l)^{3/2}} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.00) \times 9.8 \times (0.997 - 0.0)^{3/2}} \\ &= 0.919 \end{aligned} \quad (\text{B.16})$$

備考: 如為一般情況, 圖 B.4 提供一個無因次的圖表。無因次質量流率

$$q_{m,ij}^* = \frac{q_{m,ij}}{\sqrt{2 \rho_i (\rho_j - \rho_i) B_{ij} (h_u - h_l)^{3/2}}} \quad (\text{B.17})$$

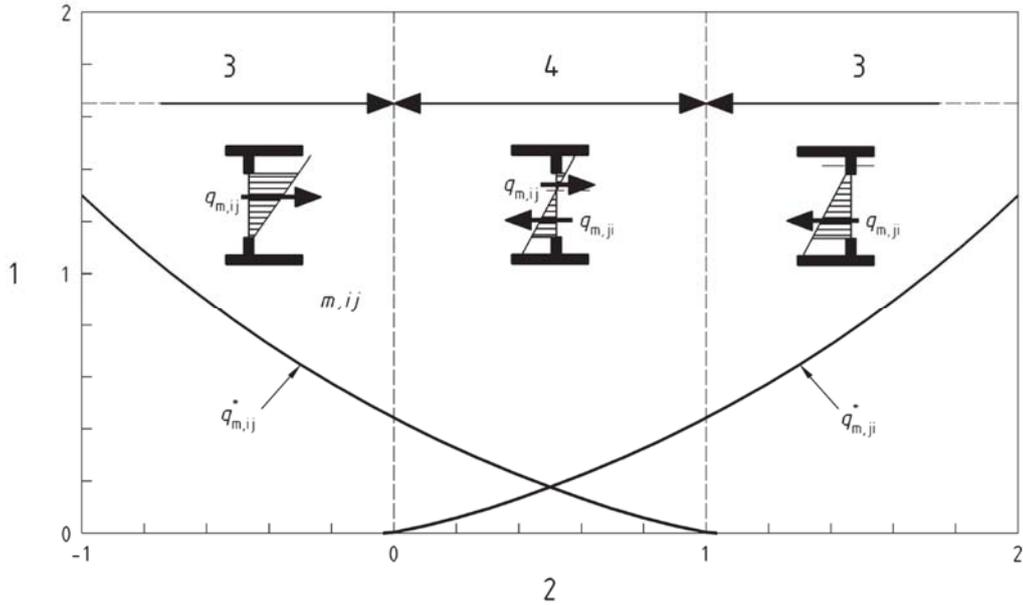
$$q_{m,ji}^* = \frac{q_{m,ji}}{\sqrt{2 \rho_j (\rho_j - \rho_i) B_{ij} (h_u - h_l)^{3/2}}}$$

(B.18)

對無因次中性面高度的描繪曲線

$$h_n^* = \frac{h_n - h_l}{h_u - h_l}$$

(B.19)



說明

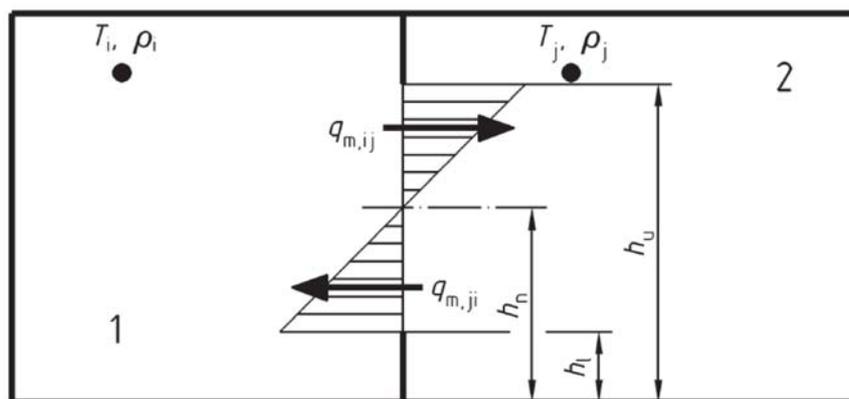
- 1 無因次質量流率 q_m^*
- 2 無因次中性面高度 h_m^*
- 3 單向氣流
- 4 雙向氣流

圖 B.4 在 $T_i > T_j$ 情況下通過垂直通氣口的無因次質量流率圖

B.3.3 通過連結兩個分佈均勻但溫度不同的封閉區間之單一垂直通風口的氣流 — 在一封閉區間單一開口的特殊情況

B.3.3.1 一般

如圖 B.5 所示，若封閉區間只有一個開口，則逸出封閉區間的質量流率 $q_{m,ij}$ 與進入封閉區間的質量流率 $q_{m,ji}$ 相等。如 B.3.2 的特殊情況，中性面 h_n 位於封閉區間 i 中符合質量平衡的位置。



說明

1 封閉區間 i

2 封閉區間 j

圖 B.5 在 $T_i > T_j$ ($\rho_i < \rho_j$) 情況下單一垂直通風口兩側壓力差及相應的流率

B. 3. 3. 2 中性面高於樓板的高度

$$h_n = \frac{h_u - h_l}{1 + (\rho_j / \rho_i)^{1/3}} + h_l$$

(B. 20)

B. 3. 3. 3 質量流率

$$q_{m,ij} = \frac{2}{3} C_D \sqrt{2 \rho_i (\rho_j - \rho_i) g \left(\frac{(\rho_j / \rho_i)^{1/3}}{1 + (\rho_j / \rho_i)^{1/3}} \right)^{3/2}} B_{ij} (h_u - h_l)^{3/2}$$

(B. 21)

$$q_{m,ji} = \frac{2}{3} C_D \sqrt{2 \rho_j (\rho_j - \rho_i) g \left(\frac{1}{1 + (\rho_j / \rho_i)^{1/3}} \right)^{3/2}} B_{ij} (h_u - h_l)^{3/2}$$

(B. 22)

備考 1：如質量流率相等時，用公式(B. 21) 或 (B. 22) 計算是足夠的。

備考 2：若封閉區間的溫度 T_i 高於 300°C ，係數乘以 $B_{ij}(h_u - h_l)^{3/2}$ 是相當於常數的，這將形成以下有用的關係 [3]：

$$q_{m,ij} = q_{m,ji} \approx 0.52 B_{ij} (h_u - h_l)^{3/2}$$

(B. 23)

$B_{ij}(h_u - h_l)^{3/2}$ 項目被稱為開口係數 ($\text{m}^{5/2}$)。

B. 3. 4 通過連結兩個分佈均勻但溫度不同的封閉區間之多重垂直通風口的氣流

B. 3. 4. 1 一般

在實際情況中，封閉區間可能有多個開口。通風氣流的質量流率之計算方法與

B. 3. 2 相似，但應用在每個通風口的公式為 (B. 7) 至 (B. 11)。

B. 3. 4. 2 計算的範例

如圖 B. 6 所示，連結封閉區間 i 與 j 之間有兩個通風口。通風口 1 的尺度 $B_{ij,1} = 0.9 \text{ m}$ (寬)， $h_{l,1} = 0.7 \text{ m}$ (下沿高度)，及 $h_{u,1} = 1.2 \text{ m}$ (上沿高度)。通風口 2 的尺度 $B_{ij,2} = 2.0 \text{ m}$ (寬)， $h_{l,2} = 1.8 \text{ m}$ (下沿高度)，及 $h_{u,2} = 4.0 \text{ m}$ (上沿高度)。假設 T_i 為 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ (353 K) 及 T_j 為 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (293 K)，在樓板高度封閉區間 j 的壓力大於封閉區間 i 5 Pa [$\Delta p_{ij}(0) = -5 \text{ Pa}$]。

B. 3. 4. 2. 1 兩個封閉區間內的氣體密度

使用公式 (B. 5) 與 (B. 6)，兩個封閉區間的氣體密度為：

$$\rho_i = \frac{353}{T_i} = \frac{353}{353} = 1.000$$

(B. 24)

$$\rho_j = \frac{353}{T_j} = \frac{353}{293} = 1.205$$

(B. 25)

B. 3. 4. 2. 2 中性面高於樓板的高度

使用公式 (B. 7)，中性面的高度為：

$$h_n = \frac{\Delta p_{ij}(0)}{(\rho_i - \rho_j)g} = \frac{-5}{(1.000 - 1.205) \times 9.8} = 2.491$$

(B. 26)

B. 3. 4. 2. 3 質量流率

每個通風口各自計算質量流率，對於通風口 1 而言，中性面高於通風口的上沿。因而氣流是單向由封閉區間 j 至封閉區間 i 。使用 (B. 9) 的最後一個公式，質量流率的計算如下

$$\begin{aligned} q_{m,ji,1} &= \frac{2}{3} C_D B_{ij,1} \sqrt{2 \rho_j (\rho_j - \rho_i) g \{ (h_n - h_{l,1})^{3/2} - (h_n - h_{u,1})^{3/2} \}} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.00) \times 9.8} \\ &\quad \times \{ (2.491 - 0.7)^{3/2} - (2.491 - 1.2)^{3/2} \} \\ &= 0.859 \end{aligned}$$

(B. 27)

對於通風口 2 而言，中性面位於通風口的範圍內。因而氣流為雙向流動。應用 (B. 8) 的第二個公式，封閉區間 i 至封閉區間 j 的質量流率計算如下

$$\begin{aligned} q_{m,ij,2} &= \frac{2}{3} C_D B_{ij,2} \sqrt{2 \rho_i (\rho_j - \rho_i) g (h_{u,2} - h_n)^{3/2}} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 2.0 \sqrt{2 \times 1.000 \times (1.205 - 1.000) \times 9.8 \times (4.0 - 2.491)^{3/2}} \\ &= 3.46 \end{aligned}$$

(B. 28)

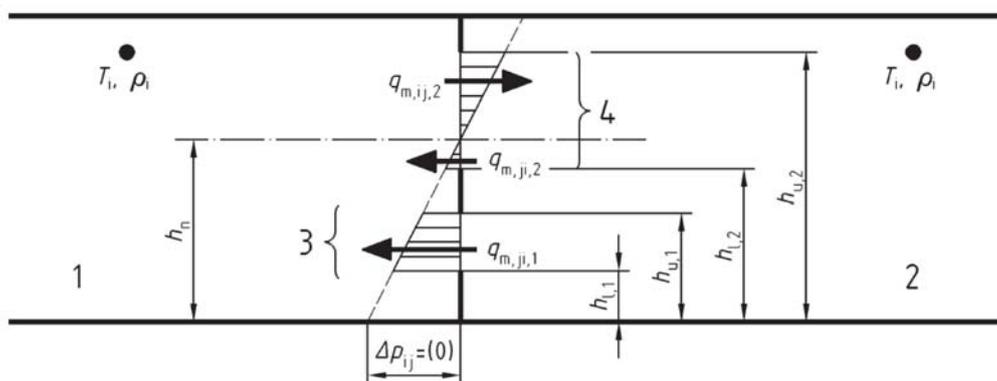
應用公式 (B. 9) 的第二個公式，封閉區間 j 至 封閉區間 i 的質量流率計算如下：

$$q_{m,ji,2} = \frac{2}{3} C_D B_{ij,2} \sqrt{2 \rho_j (\rho_j - \rho_i) g (h_n - h_{i,2})}^{3/2}$$

$$= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 2.0 \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.000) \times 9.8 \times (2.491 - 1.8)}^{3/2}$$

$$= 1.18$$

(B. 29)



說明

- 1 封閉區間 i
- 2 封閉區間 j
- 3 通風口 1
- 4 通風口 2

圖 B. 6 雙垂直通風口兩側的壓力差與相應之氣流方向 ($\rho_i < \rho_j$)

B. 3.5 通過連結兩個分佈均勻但溫度不同的封閉區間之多重垂直通風口的氣流 — 兩個小通風口的特殊情況

B. 3.5.1 計算公式的範圍

如為一個特殊況，豎井封閉區間在不同高度有兩個小通風口，如圖 B. 7 所示。內部溫度為 T_i ，而外部溫度為 T_j 。在此情況，內部與外部空間之間的壓力差計算如下：

$$\Delta p_{ij}(h) = (\rho_i - \rho_j) g (h_n - h)$$

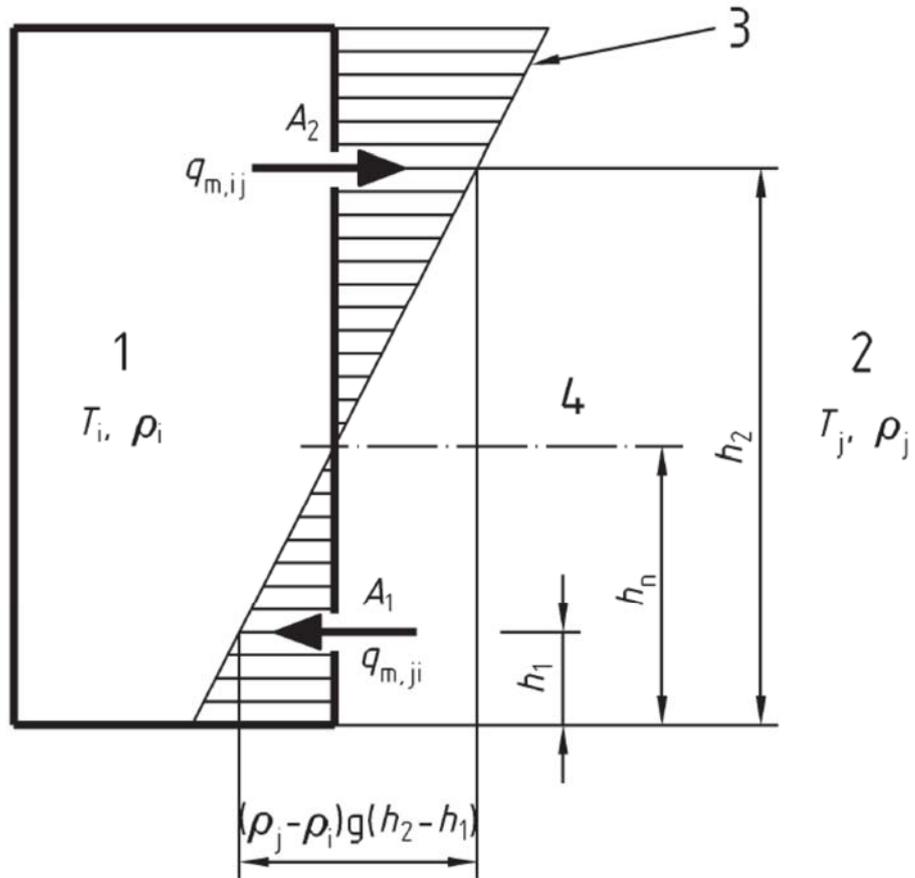
(B. 30)

在穩態中，中性面高度 h_n 位於進出質量流率平衡的位置。

$$h_n = \frac{1}{1 + \frac{\rho_j (A_1)^2}{\rho_i (A_2)^2}} (h_2 - h_1) + h_1$$

(B. 31)

在此情況中，一般公式簡化使用有效氣流面積的概念。



說明

- 1 豎井（封閉區間 i）
- 2 外部（封閉區間 j）
- 3 壓力差 $\Delta p_{ij}(h)$
- 4 中性面

圖 B.7 豎井封閉區間兩側壓力差與相應之氣流方向 ($\rho_i < \rho_j$)

B. 3. 5. 2 有效氣流面積

計算有效氣流面積，以估算兩個開口的總流阻。

$$A_{12} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{A_1}\right)^2 + \frac{\rho_j}{\rho_i} \left(\frac{1}{A_2}\right)^2}}$$

(B. 32)

B. 3. 5. 3 質量流率

使用有效氣流面積，流入與流出之質量流率的計算如下：

$$q_{m,ij} = q_{m,ji} = C_D A_{12} \sqrt{2 \rho_j (\rho_j - \rho_i) g (h_2 - h_1)}$$

(B. 33)

B. 3. 5. 4 計算的範例

上方與下方開口的面積為 $A_1 = 1.0 \text{ m}^2$ 及 $A_2 = 2.0 \text{ m}^2$ 。上方通風口位於下方通風口上方 20 m 處。豎井溫度為 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ (353 K)，外部溫度為 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (293 K)。使用公式 (B. 5) 與 (B. 6)，兩個封閉區間的空氣 (或煙層) 之氣體密度為：

$$\rho_i = \frac{353}{T_i} = \frac{353}{353} = 1.000$$

(B. 34)

$$\rho_j = \frac{353}{T_j} = \frac{353}{293} = 1.205$$

(B. 35)

有效氣流面積是由公式 (B. 32) 計算如下：

$$A_{12} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{A_1}\right)^2 + \frac{\rho_j}{\rho_i} \left(\frac{1}{A_2}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{1.0}\right)^2 + \frac{1.205}{1.000} \left(\frac{1}{2.0}\right)^2}} = 0.877$$

(B. 36)

質量流率是由公式 (B. 33) 計算如下：

$$q_{m,ij} = q_{m,ji} = 0.7 \times 0.877 \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.00) \times 9.8 \times 20} = 6.04$$

(B. 37)

備考：在實際計算中，公式 (B. 32) 內的密度分率 ρ_j/ρ_i 可取為 1.0。在此例中，

$$A_{12} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{A_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{A_2}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{1.00}\right)^2 + \left(\frac{1}{2.00}\right)^2}} = 0.894$$

(B. 38)

其結果與由公式 (B. 36) 計算的精確值之比較，誤差在 2% 以內。

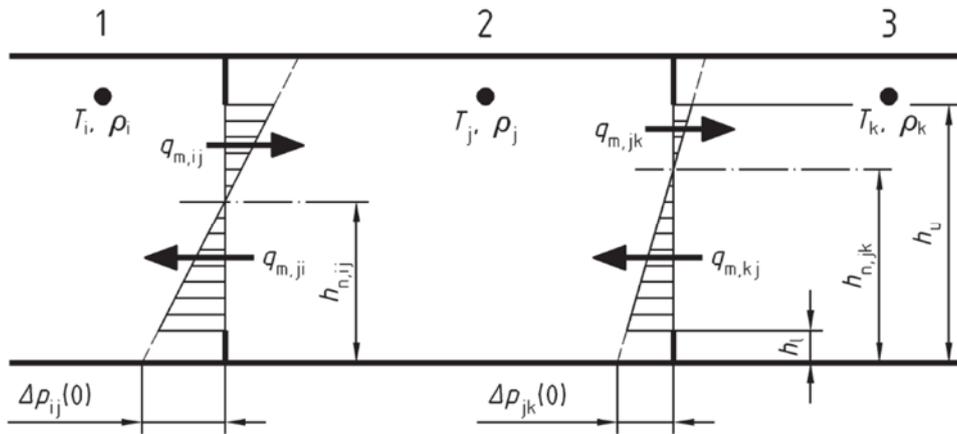
B. 3. 6 通過多重串列通風口的氣流

B. 3. 6. 1 計算公式的範圍

在實際的煙控設計中，多重通風口會結合成一個等效的單一通風口，在特定壓力差以下產生相同的質量流率。此一近似方法在計算可能有多重通風口的實際建築環境時是有用的。

如圖 B. 8 所示，有三個連結串聯的封閉區間。在給定封閉區間 i 與 k 的壓力後，計算質量流率。下方與上方通風口的高度相同，而寬度不同。封閉區間 i 與 k 的溫度為均勻分佈，但可能各自不同。封閉區間 j 的溫度不需使用，因為其

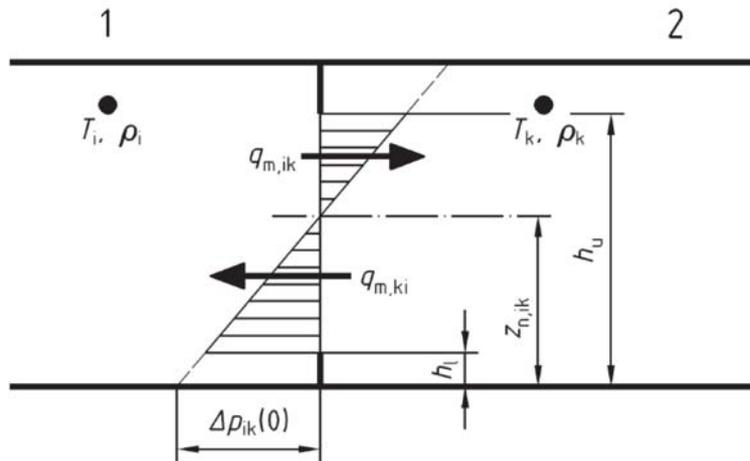
不會影響最終的計算結果。



說明

- 1 封閉區間 i
- 2 封閉區間 j
- 3 封閉區間 k

圖 B.8a 兩個串列開口及近似的單一開口之兩側的壓力差（在 $T_i > T_j > T_k$ 情況下）：原先的配置（所有通風口的上沿與下沿高度均相同，通風口寬度 B_{ij} 及 B_{jk} 可以不同）



說明

- 1 封閉區間 i
- 2 封閉區間 k

圖 B.8b 兩個串列開口及近似的單一開口之兩側的壓力差（在 $T_i > T_j > T_k$ 情況下）：以有效氣流寬度近似的單一通風口

B.3.6.2 有效通風口寬度

封閉區間 i 與 k 之間的質量流率由基本公式 (B.7) 至 (B.11) 計算，其中通風口寬度 B_{ij} 由有效寬度取代：

$$B_{ik} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{B_{ij}}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_{jk}}\right)^2}}$$

(B. 39)

備考：要結合兩個以上串列通風口，公式可以遞迴應用：

$$B_{i,j,k,\dots,m,n} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{B_{ij}}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_{jk}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{B_{mn}}\right)^2}}$$

(B. 40)

B. 3. 6. 3 計算的範例

封閉區間 i ， j 與 k 由串列的兩個通風口連結。通風口高度 $h_u = 2.1 \text{ m}$ ， $h_l = 0 \text{ m}$ 。通風口寬度 $B_{ij} = B_{jk} = 1 \text{ m}$ 。封閉區間的溫度 $T_i = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ (473 K)， $T_k = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (293 K)。封閉區間 i 與 k 之間在樓板高度的壓力差 $\Delta p_{ik}(0) = -6 \text{ Pa}$ 。

使用公式 (B. 5) 與 (B. 6)，兩個封閉區間的煙的氣體密度為：

$$\rho_i = \frac{353}{T_i} = \frac{353}{473} = 0.746$$

(B. 41)

$$\rho_k = \frac{353}{T_k} = \frac{353}{293} = 1.205$$

(B. 42)

使用公式 (B. 39)，有效通風口寬度為

$$B_{ik} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{B_{ij}}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_{jk}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{1.0}\right)^2 + \left(\frac{1}{1.0}\right)^2}} = 0.707$$

(B. 43)

使用公式 (B. 7)，(B. 8) 與 (B. 9)，質量流率的計算如下：

$$h_n = \frac{\Delta p_{ik}(0)}{(\rho_i - \rho_k)g} = \frac{-6}{(0.746 - 1.205) \times 9.8} = 1.335$$

(B. 44)

$$\begin{aligned} q_{m,ik} &= \frac{2}{3} C_D B_{ik} \sqrt{2 \rho_i (\rho_k - \rho_i) g (h_u - h_n)^{3/2}} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.707 \sqrt{2 \times 0.746 \times (1.205 - 0.746) \times 9.8 \times (2.1 - 1.335)^{3/2}} \\ &= 0.57 \end{aligned}$$

(B. 45)

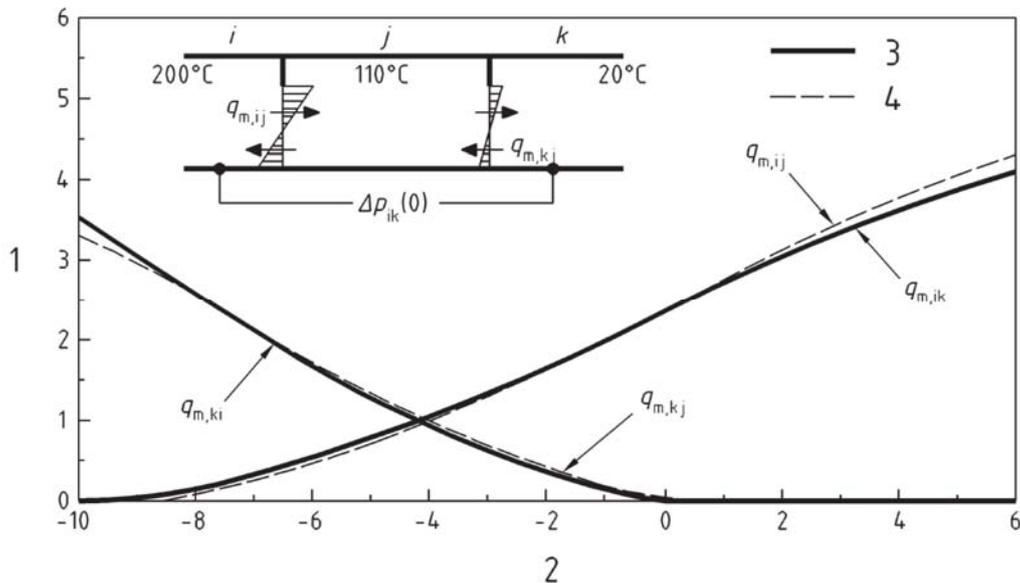
$$q_{m,ki} = \frac{2}{3} C_D B_{ik} \sqrt{2 \rho_k (\rho_k - \rho_i) g (h_n - h_i)^{3/2}}$$

$$= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.707 \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 0.746) \times 9.8 \times (1.335 - 0)^{3/2}}$$

$$= 1.68$$

(B. 46)

備考：考量兩個分離的通風口之精確的解為： $q_{m,ij} = 0.44$ ， $q_{m,ji} = 1.24$ ， $q_{m,jk} = 0.76$ 及 $q_{m,kj} = 1.56$ 。對於一般情況，圖 B. 9 比較在相同溫度曲線 ($T_i = 200^\circ\text{C}$ ， $T_j = 110^\circ\text{C}$ 與 $T_k = 20^\circ\text{C}$) 中，使用精確的計算方式與有效寬度方式所計算的結果。在兩個封閉區間之間，在樓板高度的壓力差在 -12 至 4 Pa 的範圍之間變化。流率 $q_{m,jk}$ 與 $q_{m,ji}$ 是使用有效通風口寬度計算，而流率 $q_{m,ij}$ ， $q_{m,ji}$ ， $q_{m,jk}$ 與 $q_{m,kj}$ 是以兩個獨立通風口與封閉區間 j 的質量平衡耦合計算。誤差夠小足以為大部分的工程計算接受。



說明

- 1 質量流率 [kg/s]
- 2 樓板高度的壓力差 $\Delta p_{ik}(0)$ [Pa]
- 3 有效寬度的近似值
- 4 精確的計算

圖 B. 9 計算結果與精確的計算比較 (在 $T_i = 473$ K, $T_j = 383$ K 與 $T_k = 293$ K 情況下，封閉區間 i 與 j 之間不同的壓力差)。

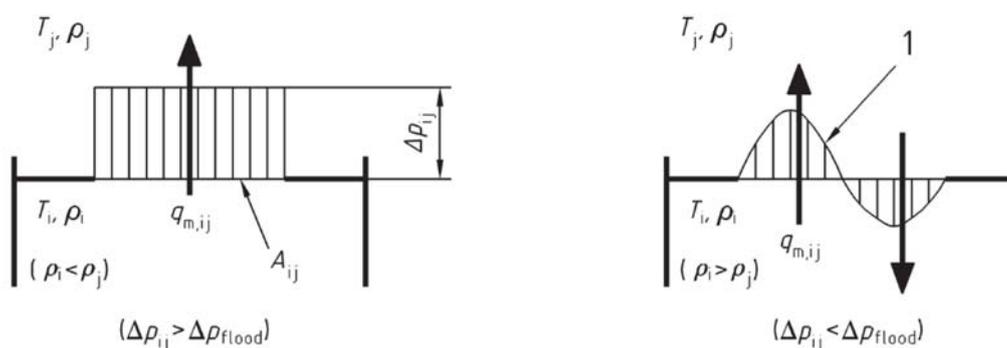
B. 3. 7 通過連結兩個分佈均勻但溫度不同的封閉區間之水平通風口的氣流

計算通過連結兩個溫度均勻封閉區間的水平通風口之氣流量的方式，與計算通垂直通風口的氣流量相似。

$$q_{m,ij} = C_D A_{ij} \sqrt{2 \rho_i \Delta p_{ij}}, \text{ (if } \Delta p_{ij} > \Delta p_{flood} \text{)}$$

(B. 47)

但是由於有最小溢流壓力差存在，在使用時宜注意。若是壓力差太小，可能會產生雙向氣流，如圖 B. 10 所示。產生雙向氣流的臨界條件 Δp_{flood} 仍在研究中。公式的範例是由 Yamada 等人 [4] 與 Cooper [5] 所發展。至今尚未確立雙向氣流情況下氣流率之明確的公式。



說明

1 速度曲線

圖 B. 10 垂直通風口兩側的壓力差與相應之氣流方向 ($\rho_i < \rho_j$)

B. 3. 8 二層環境 — 從連結兩個封閉區間之單一垂直通風口通過的氣流在二層環境，通過通風口的氣流比較複雜的。如圖 B. 11 所示，通過通風口的氣流分三個區段計算。底層區段與兩側的空氣層接觸。中層區段在任一側與煙層及空氣層接觸。上層區段與兩側的煙層接觸。

質量流率是由基本公式 (B. 7) 至 (B. 11) 對每個區段獨立進行計算。中層與上層區段的底部高度是由以下公式獲得：

$$h_m = \min(h_i, h_j)$$

(B. 48)

$$h_t = \max(h_i, h_j)$$

(B. 49)

在計算公式中做為基準面使用。

應計算每個區段中性面的高度。使用在各區段底部，封閉區間 i 與 j 之間的壓力差，中性面相對於區段底部的高度可以計算如下：

$$h_n = \frac{\Delta p_{ij}(h_m)}{(\rho_i - \rho_j)g}$$

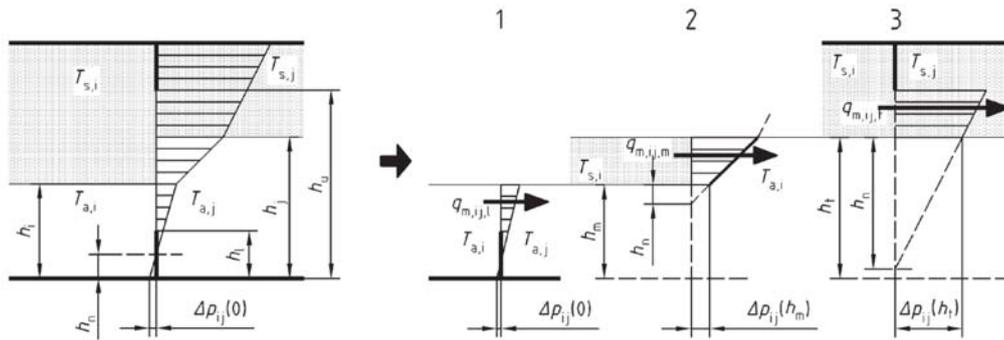
(B. 50)

對於中層區段，及

$$h_n = \frac{\Delta p_{ij}(h_t)}{(\rho_i - \rho_j)g}$$

(B. 51)

對於上層區段。



說明

1. 底層區段
2. 中層區段
3. 上層區段

圖 B. 11 在二層環境中的壓力差與質量流量曲線

B. 3. 8. 1 底層區段的質量流率

底層區段 ($h < h_m$) 的質量流率由 B. 3. 2 當中，適用於連結兩個均勻但不同溫度封閉區間之垂直通風口的公式所計算。應用公式 (B. 7) 至 (B. 11) 時，下列的取代是必須的

$$T_i \rightarrow T_{a,i} \quad (\text{B. 52})$$

$$T_j \rightarrow T_{a,j} \quad (\text{B. 53})$$

$$h_u \rightarrow \min(h_u, h_m) \quad (\text{B. 54})$$

B. 3. 8. 2 中層區段的質量流率

中層區段 ($h_m < h < h_u$) 的質量流率由公式 (B. 7) 至 (B. 11) 在經過以下的取代之後進行計算：

$$T_i \rightarrow \begin{cases} T_{s,i} & (h_i \leq h_j) \\ T_{a,i} & (h_i > h_j) \end{cases}$$

(B. 55)

$$T_j \rightarrow \begin{cases} T_{a,j} & (h_i \leq h_j) \\ T_{s,j} & (h_i > h_j) \end{cases}$$

(B. 56)

$$h_l \rightarrow \max(h_l, h_m, 0)$$

(B. 57)

$$h_u \rightarrow \min(h_t - h_m, h_u - h_m)$$

(B. 58)

中性面相對於區段底部的高度，是由以下公式計算：

$$h_n = \begin{cases} \frac{\Delta p_{ij}(h_m)}{(\rho_{s,i} - \rho_{a,j})g} & (h_i \leq h_j) \\ \frac{\Delta p_{ij}(h_m)}{(\rho_{a,i} - \rho_{s,j})g} & (h_i > h_j) \end{cases}$$

(B. 59)

使用在區段底部的壓力差

$$\Delta p_{ij}(h_m) = \Delta p_{ij}(0) - (\rho_{a,i} - \rho_{a,j})gh_m$$

(B. 60)

B. 3. 8. 3 上層區段的質量流率

與前述兩個區段相似，上層區段 ($h_t < h$) 的氣流量可由公式 (B. 7) 至 (B. 11)

在經過以下的取代之後進行計算：

$$T_i \rightarrow T_{s,i}$$

(B. 61)

$$T_j \rightarrow T_{s,j}$$

(B. 62)

$$h_l \rightarrow \max(h_l - h_t, 0)$$

(B. 63)

$$h_u \rightarrow h_u - h_t$$

(B. 64)

與中層區段相似，中性面相對於區段底部的高度如下計算：

$$h_n = \frac{\Delta p_{ij}(h_t)}{(\rho_{s,i} - \rho_{s,j})g}$$

(B. 65)

使用在上層區段底部的壓力差，

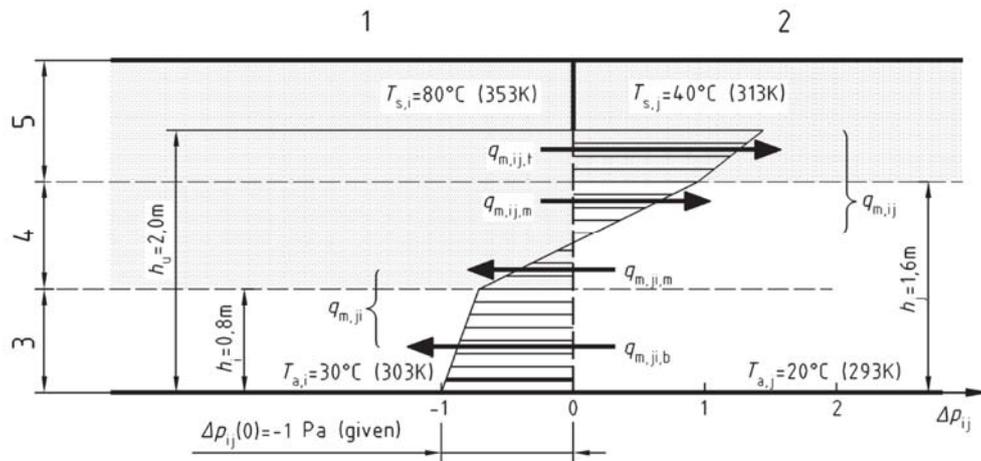
$$\Delta p_{ij}(h_t) = \Delta p_{ij}(h_m) - \begin{cases} (\rho_{s,i} - \rho_{a,j})g(h_t - h_m), & (h_i < h_j) \\ (\rho_{a,i} - \rho_{s,j})g(h_t - h_m), & (h_i \geq h_j) \end{cases}$$

(B. 66)

B. 3. 8. 4 計算的範例

如圖 B. 12 所示，煙層在兩個封閉區間的上層形成。封閉區間 i 與 j 當中，界

面高度分別為 0.8 m 與 1.6 m。煙層溫度為 80 °C (353 K) 與 40 °C (313K)。較低層溫度為 30 °C (303 K) 與 20 °C (293 K)。依設定，封閉區間 j 的壓力高於封閉區間 i 1 Pa [$\Delta p_{ij}(0) = -1 \text{ Pa}$]。通風口寬度為 0.9 m，而通風口高度為 2.0 m ($h_l = 0.0 \text{ m}$, $h_u = 2.0 \text{ m}$)。質量流率的計算在每個區段執行。



說明

1. 封閉區間 i
2. 封閉區間 j
3. 底層區段 $h < h_m$
4. 中層區段 $h_m < h < h_t$
5. 上層區段 $h_t < h$

圖 B.12 在二層環境中計算質量流率的範例

B.3.8.4.1 底層區段的質量流率

此情況中，底層區段的高度為 $0 < h < h_m (= 0.8 \text{ m})$ 。使用公式 (B.5) 與 (B.6)。

$$\rho_{a,i} = \frac{353}{T_i} = \frac{353}{303} = 1.165$$

(B.67)

$$\rho_{a,j} = \frac{353}{T_j} = \frac{353}{293} = 1.205$$

(B. 68)

中性面高度是由公式(B. 7)計算，如

$$h_n = \frac{\Delta p_{ij}(0)}{(\rho_{a,i} - \rho_{a,j})g} = \frac{-1}{(1.165 - 1.205) \times 9.8} = 2.566$$

(B. 69)

其高度大於區段高度 h_m 。因此氣流由封閉區間 j 至封閉區間 i 單向流動。使用 (B. 9) 的最後一個公式，可得到

$$\begin{aligned} q_{m,ji,b} &= \frac{2}{3} C_D B_{vent} \sqrt{2 \rho_{a,j} (\rho_{a,j} - \rho_{a,i}) g \{h_n^{3/2} - (h_n - h_m)^{3/2}\}} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.165) \times 9.8 \{2.566^{3/2} - (2.566 - 0.8)^{3/2}\}} \\ &= 0.718 \end{aligned} \quad (B. 70)$$

B. 3. 8. 4. 2 中層區段的質量流率

此情況中，底層區段的高度為 $h_m (= 0.8 \text{ m}) < h < h_t (= 1.6 \text{ m})$ 。在中層區段底部壓力差由公式 (B. 60) 計算。

$$\begin{aligned} \Delta p_{ij}(h_m) &= \Delta p_{ij}(0) - (\rho_{a,i} - \rho_{a,j}) g h_m \\ &= -1 - (1.165 - 1.205) \times 9.8 \times 0.8 \\ &= -0.689 \end{aligned}$$

(B. 71)

使用公式 (B. 6) 與 (B. 59)，此區段的中性面高度位於：

$$\rho_{s,i} = \frac{353}{T_i} = \frac{353}{353} = 1.000$$

(B. 72)

$$h_n = \frac{\Delta p_{ij}(h_m)}{(\rho_{s,i} - \rho_{a,j})g} = \frac{-0.686}{(1.000 - 1.205) \times 9.8} = 0.343$$

(B. 73)

在中層區段的底部之上。由於 $0 < h_n < h_u - h_m$ ，氣流為雙向流動。使用公式 (B. 8) 的第二個公式，與公式 (B. 9) 的第二個公式，質量流率為：

$$\begin{aligned} q_{m,ij,m} &= \frac{2}{3} C_D B_{vent} \sqrt{2 \rho_{s,i} (\rho_{a,j} - \rho_{s,i}) g \{(h_j - h_i) - h_n\}^{3/2}} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \times \sqrt{2 \times 1.0 \times (1.205 - 1.000) \times 9.8 \times \{(1.6 - 0.8) - 0.343\}^{3/2}} \\ &= 0.260 \end{aligned}$$

(B. 74)

$$\begin{aligned} q_{m,ij,m} &= \frac{2}{3} C_D B_{vent} \sqrt{2 \rho_{a,i} (\rho_{a,j} - \rho_{s,i}) g h_n}^{3/2} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \times \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.000) \times 9.8 \times 0.343}^{3/2} \\ &= 0.186 \end{aligned}$$

(B. 75)

B. 3. 8. 4. 3 上層區段的質量流率

此情況中，上層區段的高度為 $h_t (= 1.6 \text{ m}) < h$ 。在上層區段底部的壓力差由公式 (B. 66) 計算。

$$\begin{aligned} \Delta p_{ij}(h_t) &= \Delta p_{ij}(h_m) - (\rho_{s,i} - \rho_{a,j}) g (h_t - h_m) \\ &= -0.689 - (1.000 - 1.205) \times 9.8 \times 0.8 \\ &= 0.917 \end{aligned}$$

(B. 76)

$$\rho_{s,j} = \frac{353}{T_j} = \frac{353}{313} = 1.128$$

(B. 77)

$$h_n = \frac{\Delta p_{ij}(h_j)}{(\rho_{s,i} - \rho_{s,j}) g} = \frac{0.917}{(1.000 - 1.128) \times 9.8} = -0.731$$

(B. 78)

負值表示中性面位於區段底部之下 0.731 m。由於 $h_n < 0$ ，氣流為單向流動。使用公式 (B. 8) 的第一個公式，其結果為：

$$\begin{aligned} q_{m,ij,t} &= \frac{2}{3} C_D B_{ij} \sqrt{2 \rho_{s,i} (\rho_{s,j} - \rho_{s,i}) g \left(\{(h_u - h_j) - h_n\}^{3/2} - (-h_n)^{3/2} \right)} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \times \sqrt{2 \times 1.0 \times (1.128 - 1.0) \times 9.8 \left(\{(2.0 - 1.6) - (-0.731)\}^{3/2} - \right.} \\ &\quad \left. \{-(-0.731)\}^{3/2} \right)} \\ &= 0.384 \end{aligned}$$

(B. 79)

B. 3. 8. 4. 4 封閉區間之間的總質量流率

通過通風口的總質量流率，是由三個區段的流率加總而得。

$$q_{m,ij} = q_{m,ij,m} + q_{m,ij,t} = 0.261 + 0.384 = 0.644$$

(B. 80)

$$q_{m,ji} = q_{m,ji,b} + q_{m,ji,m} = 0.720 + 0.185 = 0.903$$

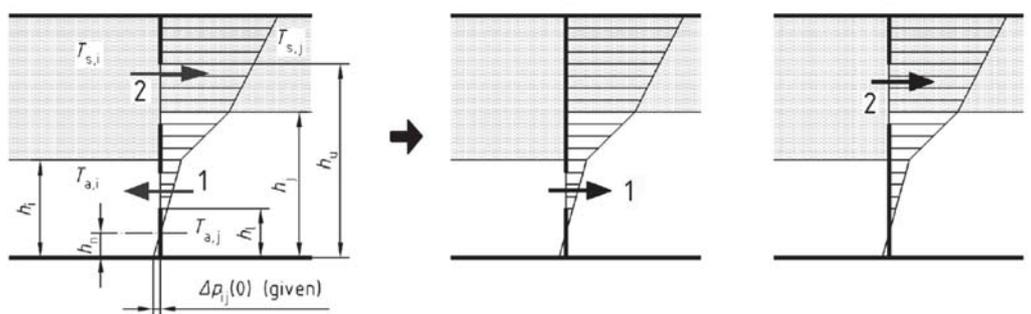
(B. 81)

備考：若空氣與煙層界面的混合可以忽略，中層區段的質量流率 $q_{m,ij}$ 與封閉區間 j 當中流入煙層的流率相同。同樣地， $q_{m,ji}$ 與封閉區間 i 當中流入低層空氣的流率相同。

B. 3. 9 二層環境 — 從連結兩個封閉區間之多重垂直通風口通過的氣流

B. 3. 9. 1 一般

在此二層環境多重通風口情況中，如圖 B. 1. 3 所示，程序與 B. 3. 8 所提供的相同，分別獨立應用在每個通風口上。



說明

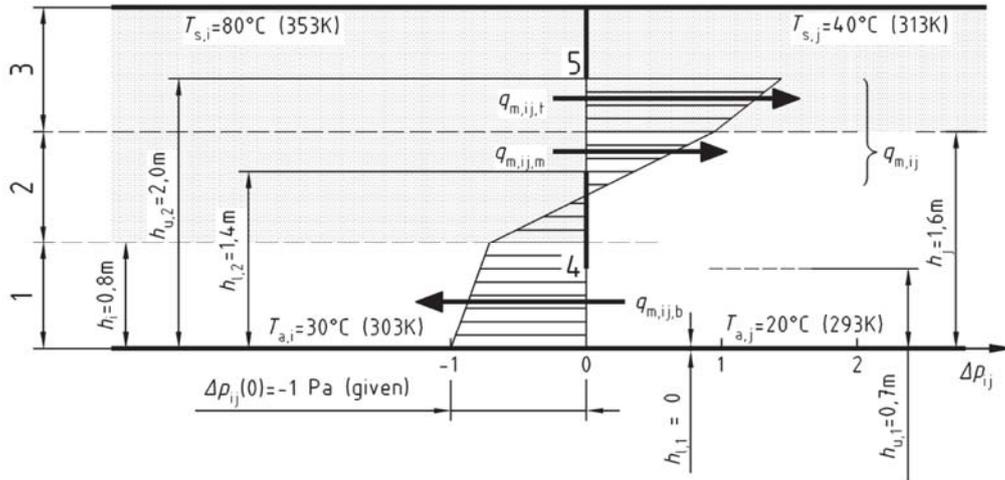
1 通風口 1

2 通風口 2

圖 B. 13 多重通風口二層環境的計算情況

B. 3. 9. 2 計算的範例

如圖 B. 14 所示，煙層在兩個封閉區間的上層形成。煙層的高度及溫度，與 B. 3. 8. 4 範例中相同。在封閉區間之間有兩個通風口。通風口 1 的高度範圍由 $h_{l,1} = 0 \text{ m}$ 至 $h_{u,1} = 0.7 \text{ m}$ ，通風口 2 的高度範圍由 $h_{l,2} = 1.4 \text{ m}$ 至 $h_{u,2} = 2.0 \text{ m}$ 。兩個通風口的寬度為 $B_{ij,1} = B_{ij,2} = 0.9 \text{ m}$ 。對每個通風口進行質量流率的計算。



說明

1. 底層區段 $h < h_m$
2. 中層區段 $h_m < h < h_t$
3. 上層區段 $h_t < h$
- 4 通風口 1
- 5 通風口 2

圖 B.14 在多重通風口二層環境中質量流率的計算範例

B.3.9.2.1 通風口 1 的質量流率

假設在中層與上層區段的質量流率為零，此計算只運用在底層區段。由公式 (B.69) 計算所得，底層區段的中性面高度為 2.566 m。流率的計算方式如同公式 (B.70)，但是隨著高度區隔而不同。

$$\begin{aligned}
 q_{m,ij,1} &= \frac{2}{3} C_D B_{ij,1} \sqrt{2 \rho_{a,j} (\rho_{a,j} - \rho_{a,i}) g} \left\{ (h_n - h_{l,1})^{3/2} - ((h_n - h_{u,1}))^{3/2} \right\} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \sqrt{2 \times 1.205 \times (1.205 - 1.165) \times 9.8} \left\{ (2.566 - 0)^{3/2} \right. \\
 &\quad \left. - (2.566 - 0.7)^{3/2} \right\} \\
 &= 0.635 \\
 &\text{(B.82)}
 \end{aligned}$$

B.3.9.2.2 通風口 2 的質量流率

計算中層與上層區段的質量流率。由公式 (B.73) 計算所得，中層區段的中性面高度為區段底部上方 0.343 m。流率的計算方式如同公式 (B.74)，但是隨著高

度區隔而不同。

$$q_{m,ij,m} = \frac{2}{3} C_D B_{ij,2} \sqrt{2 \rho_{s,i} (\rho_{a,j} - \rho_{s,i}) g} \{ [h_j - (h_m + h_n)]^{3/2} - [h_{1,2} - (h_m - h_n)]^{3/2} \}$$

$$= \frac{2}{3} \times 0.7 \times 0.9 \times \sqrt{2 \times 1.0 \times (1.205 - 1.000) \times 9.8 \times \{ [1.6 - (0.8 + 0.343)]^{3/2} - [1.4 - (0.8 + 0.343)]^{3/2} \}}$$

$$= 0.150$$

(B. 83)

由公式 (B. 79) 計算所得，上層區段的質量流率與 B. 3. 4. 7 中的範例所呈現的相同。

$$q_{m,ij,t} = 0.384$$

(B. 84)

B. 4 方程組的科學基礎

通風氣流在量化預測封閉區間火災時便已做過分析。早期的研究包括 Kawagoe [4] 依據 Sekine 的建議對完全發展的火災溫度進行預測。Prahl 等人 [7] 與 Rockett [8] 將其擴展至二層環境。在這些早期的研究中，流動方程式是由基本的塑流理論所推導。Steckler 等人 [9]，[10]，[11] 與 Nakaya 等人 [12] 在 1980 年代進行了直接全尺寸的量測。這些量測的結果為流量係數的範圍為 0.68 至 0.73，通常為 0.7。Beyler [13] 提出了進一步的歷史方面的回顧。

B. 5 方程組限制

方程組不可應用於下列情況：

B. 5.1 煙層的均勻性

方程組假設，隣近通風口的封閉區間溫度，是以均勻或二層曲線分佈。若此假設失效，建議使用附錄 A 所提供的通用氣流公式。

B. 5.2 動壓力

由外部風力或機械風機所造成的動壓力之效應，並未計入考量。在此情況，應小心動壓力分布的考量。

B. 6 輸出參數

方程組輸出通過通風口的質量流率，單位為 kg/s。當發生雙向氣流時，也會計算中性面的位置。

B.7 方程組輸入參數

B.7.1 通風口兩端的壓力差

參數 Δp_{ij} 的定義是在基準面的壓力差，通常取最低邊界的高度。

B.7.2 鄰近通風口的封閉區間溫度曲線

鄰近通風口的封閉區間溫度曲線應為均勻或二層二者之一。在均勻曲線情況，每個封閉區間的溫度應指定。在二層的情況，界面位置、煙層溫度及空氣層溫度均應指定。

B.8 方程組的適用領域

方程組的適用領域可由 Steckler 等人[9]，與 Nakaya 等人 [12] 及其他作者的研究所決定。Steckler 的實驗是在長 2.8 m，寬 2.8 m，高 2.13 m 的房間中進行。門口開口寬度為 0.74 m，而其高度的範圍在 0.46 至 1.38 m 之間。火源的熱釋放率範圍在 31.6 kW 至 158 kW。封閉區間內的最高溫度為 250 °C。Nakaya 的實驗是在長 3.45 m，寬 3.55 m，高 2.12 m 的房間中進行。開口高度是 1.6 或 1.7 m，開口寬度的變化範圍在 0.29 至 0.89 m。封閉區間內的最高溫度範圍由二層情況的 50 °C，至全混合狀況的 1000 °C。

參考資料

- [1] ISO 16735:2006, *Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Smoke layers.*
- [2] Tanaka T. *A Model on Fire Spread in Small Scale Buildings*, BRI Research Paper, Building Research Institute, 1978 (No. 79), 1980(No. 84).
- [3] Peacock R., Jones W. W., Forney G. P., Reneke P. A., Bukowski R. W., Klote J. H. *An Updated Guide for HAZARD I version 1.2, NISTIR 5410.* Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, 1994.
- [4] Kawagoe K. *Fire Behavior in Rooms, BRI report No. 27.* Building Research Institute, 1958.
- [5] Yamada T. *Experimental Study of the Exchange Flow through a Horizontal Ceiling Vent in Atrium Fires: Criteria of Supply Air and Pressure necessary for Uni-directional Flow*, NISTIR 6030: Thirteenth Meeting of the UJNR Panel on Fire Research and Safety, March 13-20, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, 1996, pp. 21-29
- [6] Cooper L. Y. Combined Buoyancy- and Pressure-Driven Flow Through a Shallow, Horizontal Circular Vent. *J. Heat Transfer.* 1995, 117 pp. 659 - 667.
- [7] Prah1 J., & Emmons H. W. Fire Induced Flow through an Opening. *Combust. Flame.* 1975, 25 pp. 369 - 385.
- [8] Rockett A. J. Fire Induced Gas Flow in an Enclosure. *Combustion Science and Technology.* 1976, 12 pp. 165 - 175.
- [9] Steckler K. D., Quintiere J. G., Reininen W. J. *Flow Induced by Fire in a Compartment*, 19th Symposium (International) on Combustion, 1982, pp. 913-920 .
- [10] Steckler K. D., Baum H. R., Quintiere J. G. *Fire Induced Flow through Room Openings — Flow Coefficients*, 20th Symposium (International) on Combustion, 1984, pp. 1591-1600.
- [11] Quintiere J. G., Steckler K., Corley D. An Assessment of Fire Induced Flows in Compartments. *Fire Science and Technology.* 1984, 4 (1) pp. 1 - 14.
- [12] Nakaya I., Tanaka T., Yoshida M., Steckler K. Doorway Flow Induced by a Propane Fire. *Fire Saf. J.* 1986, 10 pp. 185 - 195.
- [13] Beyler C. SFPE Classic Paper Review: Fire-Induced flow through an Opening by Joseph Prah1 and Howard Emmons. *J. Fire Prot. Eng.* 2004, 14 (2) pp. 95 - 100.

附錄十二 防火安全工程 — 火災區域模式使用指引(草案)

Fire safety engineering — Guidance for use of fire zone

models

緒論

本技術規範目的為防火安全從業者和監管機構使用或評估一個或兩個區域火災模式作為防火安全設計或分析的一部分。使用者的例子包括防火安全工程師、具管轄權的主管機關，例如地方主管機關行政人員；以及消防單位人員。預期本技術規範的使用者在火災動力學領域具有適當的資格及能力。特別重要的是模式使用者瞭解區域火災模式的理論背景及限制。

此外對於典型的章節(1, 2, 3 及 4)，本技術規範包括下列條款：

- 5: 說明一般火災區域模式包括基本原則及假設
- 6: 討論火災區域模式輸入參數及資料來源
- 7: 討論火災區域模式對輸入變數靈敏度
- 8: 針對火災區域模式使用及限制給予指引

1. 範圍

此技術規範提供使用火災區域模式評估封閉區間中，火災期間計算火災氣體溫度、濃度以及煙層位置，指引。包含由模式發展者所提供閱讀特定模式文件之一般指引。不是證明任何特定模式使用基準。

火災區域模式使用者瞭解模式的理論基礎及有能力評估結果的準確度及有效性是重要的。

區域模式也可能包括附加子模式預測相關現象，例如撒水頭、熱或煙偵測器啟動、機械通風、玻璃破裂或火焰蔓延。這些相關子模式的詳細論述不在此技術規範範圍。

備考：不同的區域模式所涵蓋之特徵概述可參照 Olenick 和 Carpenter 的調查。

[1]

此技術規範不作為法規依據所用。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。下列引用標準適用最新版(包括補充增修)。

CNS 14651 建築物防火詞彙 — 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙 — 防火試驗用語

CNS 14996 建築物防火詞彙— 防火安全用語

ISO 13943 Fire safety — Vocabulary

3. 用語及定義

為本文件之用途，用語及定義適用於 ISO 13943 並採用以下應用。

3.1 區域模式(zone model)

計算模式用來預測因封閉區間內火災由上升氣體的熱分層形成一或多個清楚的氣態區域代表層環境。

4. 符號與縮寫

\dot{Q} (kW)	時間相關的熱釋放率
\dot{m} (g/s)	時間相關的燃料質量損失率
Δh_c (kJ/g)	有效燃燒熱

5. 火災區域模式一般說明

5.1 何謂火災區域模式?

火災區域模式是一個封閉區間內預測火災效應的計算方法。此計算是基於質量和能量守恆分別應用到將一封閉區間分為一或更多區域之控制體積。在任何時間內的瞬間，假設每一區域性質是均勻的。火災視為質量和能量來源且為使用者指定輸入計算。[圖 1](#) 顯示房間高度圖解一些概念上的特徵通常包括在區域模式內。參照 ISO 16735 代數公式用來計算由火災生成的煙層的特定特性。[2]

火災區域模式在計算機程式形式中是最常用的數值火災模式，但計算可使用試算表應用完成或甚至手算。大部分常用區域模式包括熱上層及冷下層的兩區域形式。這同時提供許多簡單預閃燃火災足夠解析度。然而單區域模式也已發展(例如完全發展閃然後火災)在此混合良好均勻區域之假設是適當的。此外，質量和能量守恆基本方程式也可擴展到超過兩個區域以提供較大解析度在區劃高度之上。多室區域模式代表多個互連區域在其房間以牆或地板/天花板任一開口連接的情況。

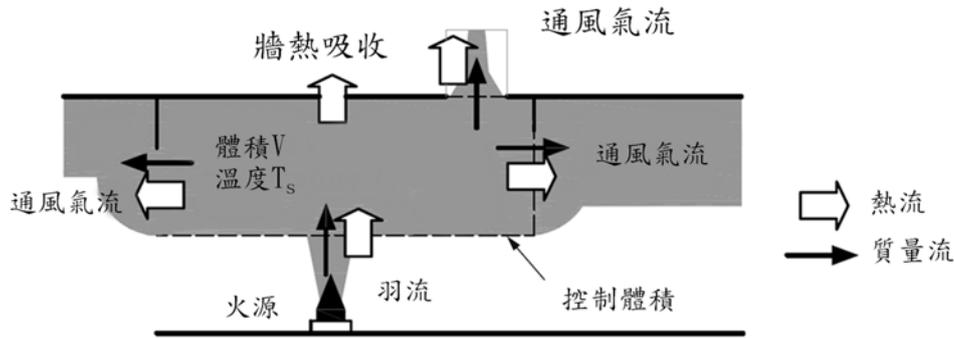


圖 1 在封閉區間內及火源一般的熱和質量守恆

5.2 應用

區域模式允許預測封閉區間內因已知尺寸火災造成的煙層溫度、煙層體積(和煙層高度)及物種濃度。

取決於包括區域模式內的功能性等級，典型的應用可能包括：

對於具已知時間相關特性之火災預測已知尺寸的區劃煙填充時間；

- 評估與設計基準比較火災環境中生命安全可保持狀態；
 - 重建過去的火災事件來支持或反駁火災發展相關理論；
 - 決定可能的火災尺寸在撤水頭操作時間及/或撤水頭反應時間(包括撤水頭反應子模式)；
 - 決定自然或機械通風空間排煙能力；
- 決定對重要設備之衝擊來確認其持續功能。

5.3 優勢

包含在區域模式中的簡化物理表示較少計算需求與其他目前最佳技術模式(例如計算流體動力學)相比運行相對較快，試圖使用最好可用方法說明物理過程。相同計算資源運行模擬大數是其優勢，因為其容許在深度上研究輸出至不同輸入參數之靈敏度。這對於設計應用在準確火災輸入參數是未知，然而可能對於預測輸出有大影響之處特別有用。

使用計算機為基礎的區域模式在代數方程式上主要的優勢為提供彈性來引導一些暫態效應例如熱釋放，物種產生，傳導，基於火災環境自動打開通風口或操作風機。此外，若干區域模式提供多區劃及/或多火災能力。

然而，使用簡化的物理也意味區域模式模擬在預測火災環境比特定情境更詳細的模式可能有更多限制。儘管如此，對於許多應用由區域模式可足夠達到準確度的，特別是設計中不確定度導致在模式輸入選擇中附加保守性。

5.4 一般原則、假設及結果

5.4.1 一般

區域模式將房間分為一或更多控制體積(或區域)與假設整個體積為均勻氣體溫度和密度。在最簡單的情況，單一區域模式可用於火災環境在房間中被視為‘很好地攪拌反應器’情況，例如完全發展閃然後火災。然而，對於成長預閃燃火災，由水平層介面分離為兩個區域是最常用的方法。也有發展超過兩個區域(垂直堆疊)之模式 [3][4] 但較不常見。

對於簡單幾何之小區劃，區域模式對於大部分情況包含成長預閃燃房間尺度火災經常假設足夠準確。然而，將取決於分析的目標。使用者需要考慮是否已顯示所建議的分析涉及選擇情境所選擇的模式已經適當的確認。在 8.8 區域模式限制上更完全討論是可用的。

5.4.2 質量和能量守恆

能量和質量傳輸基本(守恆)方程式應用在每一控制體積。質量流經由羽流和穿過在牆或天花板上的開口或經由形成機械通風系統部分之管道/風機進入及離開每一控制體積。也有烱流結合與每一質量流進入、離開控制體積及熱傳遞項目像是輻射及再輻射，隨著由燃燒燃料產生之燃燒能量釋放。經由表面傳導或經由開口輻射熱損決定淨熱傳遞或從控制體積及生成物變化在控制體積氣體之平均溫度。

介於鄰接區域界面位置取決於每個區域體積相對於房間體積。守恆方程式通常求解體積和每個區域氣體溫度以及房間壓力。許多其他守恆方程式的公式也可使用。[5]大部分區域模式代表每個體積如具恆定截面的水平氣體層(以隨時間變化之房間面積和高度來定義)。恆定截面不是必要條件及一些模式允許變化如斜面天花板。然而，大部分區域模式假設區劃定義為長度，寬度和高度之矩形體積，且由此情況下，截面面積在此計算期間並未改變效應使區域模式一維分析與性質僅在高度尺度上變化，但未通過封閉區間區域。

區域模式並未明確解動量守恆方程式。此方法假設熱氣體上升並瞬時蔓延天花板底下忽略有限時間需要針對羽流及天花板噴流抵達天花板並蔓延到達封閉區間最遠處。此假設對於小封閉區間通常是合理的，但是對於大封閉區間實際上使氣體流動從火源到達封閉區間中最遠位置可能需要許多的數 10 秒。忽略此效應可能是保守或非保守的，至少在理論上，取決於設計目標。例如針對探測器啟動時間忽略此效應將低估探測時間且降低介於避難時間及不能維持的情況之間的安全裕度。然而與天花板底下瞬時蔓延相關的初始保守可能降低或稍後時間反向的熱層建立後與非均勻性在煙層發生位置在大面積區劃內由於重力波、熱損失及浮力損失等。

兩區域模式區分上層和下層由層間性質差異(例如溫度、密度、濃度)。每一均勻層視為一理想氣體。上層可存在於任何時間從計算開始且可能或可能不是實際的煙層。非煙上層可藉由通風情況來發展無論何處只要房間之間或房間到外面有環境溫度差。[6]然而，當評估火災環境為了決定人的存活性之目的時，通常意義不大。

在周圍非火災情況下，一般忽略區劃空氣溫度對高度之變化。事實上，這些溫度梯度可導致天花板下方一些距離的煙較早分層。當試圖模式化偵煙探測系統性能時可能是重要的，這些效應一般僅在火災發展早期是重要的，當羽流流動相對弱的且氣體溫度上升是適中的，再次當評估火災環境對人的存活性時通常意義不大。

5.4.3 通風口

區域模型一般使用白努利方程式計算流體(不可壓縮)允許質量流經過通風開口之流動氣流中有關的壓力及速度，而忽略摩擦損失。氣體質量流率經過牆開口是取決於開口任一側靜水壓態勢。控制代數方程式詳細說明參照 ISO 16737。[7]在大型建築物具數以百計或數以千計區劃及通風口，使用傳統的兩區域模式成為不實際，且更有效率的網路模式[8]使用一個較簡單的集總體參數方法發展於守恆質量、能量及動量在通風口連接點(或通風節點)。然而網路模式進一步討論超出本技術規範範圍。

5.4.4 火災成長

正常情況下區域模型不進行火災成長模式亦即火災實際的熱釋放率。使用者需要提供熱釋放率或燃料質量熱解率及燃燒熱其中之一。若區域模式也計算每一層氧氣濃度則燃燒率及相應的熱釋放率可能受限於可支撐的較低程度可用的氧氣供應。在此情況模式也可能追蹤在其他房間或封閉區間外部提供可得到足夠氧氣位置可能允許燃燒的未燃燒燃料如此額外物種。

若有大量的未燃燒燃料量在起源房間遠端空間，此將意味著起源房間可能是攪拌良好情況顯示單區域方法是合理的。

預閃燃火災成長可依據實際燃料物體(房間內含物)之特性來模擬或由一般的火災成長曲線使用例如 t 平方火災。在前者情況，除非模式包括估算二次物體引燃和燃燒的能力，模擬僅可依據初始燃燒物體且將不可能評估火災環境超出時間以外不只一個物體實務上將捲入。在後者情況 t 平方或相似一般的曲線說明熱釋放率，火災成長可假設持續到被氧氣供應限制為止，或達到假設的最大燃燒率為止。若想要模擬完全發展或閃燃後燃燒則對於該目的選擇的模式應已確認。

5.4.5 羽流

ISO 16734[9] 說明用於擬穩態軸對稱火羽流的方程式組。

火災被認為由傳輸質量從下層到上層經過稱為捲入效應過程的羽流之能量點源及微粒表現。假設羽流體積與區劃體積比較為小。無質量傳輸穿過層之間的界面除非經由羽流及通風口混合流動。在火災過程中的一些階段，由於氣體與牆表面接觸之對流冷卻可產生負浮力流動，造成煙與空氣混合污染“無煙”層。捲入效應是使用理論及經驗二者導出的項目計算。可預期在捲吸效應中大約 20 % 的變異介於常用經驗導出之捲入效應係數。[10]假設羽流未受通風系統或風以及任何其他引致流所影響(例如由於補充空氣供應)。若這些效應出現，羽流可以受擾或吹散增加吸入羽流空氣總量並導致上層厚度增加且溫度相應降低。在引致流高時的這些情況，可觀察到空間煙紀錄。

6. 用於區域火災模式之輸入參數及資料來源

6.1 封閉區間幾何

區域模式一般封閉區間必須表示為矩形體積與整個高度具均勻截面面積。非矩形空間可模式化為等效矩形體積，其樓板面積和周長長度守恆。此維持體積及表面積二者正確表現熱傳。也必須高度守恆因為羽流捲入效應及煙產物計算受火災及煙層界面之間的垂直距離強烈地影響。

一些區域模式允許在上層體積和層高的計算上於封閉區間高度上面的橫斷面面積變化(例如對於傾斜天花板)。然而，在住戶位於遠低於傾斜屋頂的情況，此能力可能不是非常重要，在此橫斷面煙層界面面積與樓板面積是相同的。然而若住戶假設位於高度較近屋頂，謹慎地考慮煙層時間歷程是重要的，特別是在火災發展早期階段。

在此情況區域模式封閉區間必須由矩形體積代表，空間具斜屋頂應由等效的矩形體積代表。矩形體積之高度可能等於屋頂最高水平面，及調整樓層面積使得整體封閉區間體積是守恆的。或者，明顯層高度為主要重要性的計算，可使用屋頂平均高度及樓層面積、周長長度守恆。首先表示將更密切代表捲入率和煙層體積/深度情況在此火羽流位於屋頂頂端下方，然而計算的明顯層高度差異並不大，且一般任一假設可能可接受。

若實際上羽流水平從斜屋頂頂端移動的(參照圖 2)，由於在此較低高度發生捲入效應實際的捲入效應將較預期少。在此情況，一般保守的定位羽流在屋頂最高部分下方以產生較大的煙體積及較快的煙填充率。因此一般可接受忽略較低偏移羽流衝擊在此情況封閉區間較低部分中為主要關注。

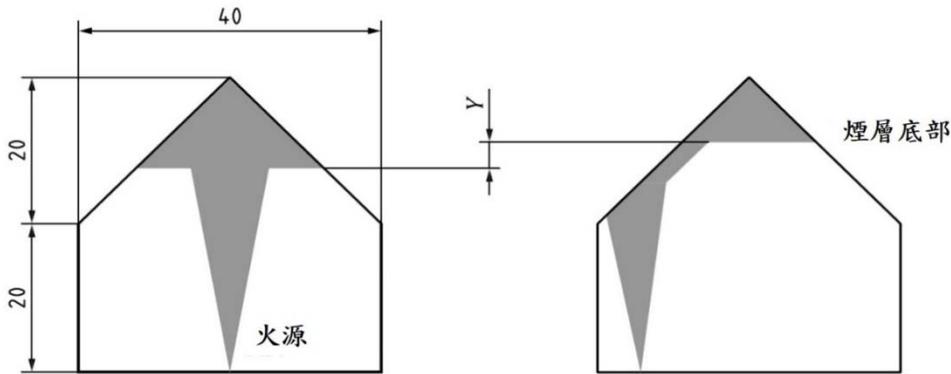


圖 2 建築物幾何隨火源位置及上升羽流中心(左手邊)和靠近牆(右手邊) 範例

關於封閉區間尺寸及長寬比限制在第 8 節中討論。

6.2 多房間

區域模式可應用在單一房間或多房間彼此以開口(稱為通風口)連接及連接至外部。模式可能受限於可容納房間或通風口的最大數目。

位於火災起源房間和目標房間之間的房間數減少可預期相鄰房間區域模式結果的準確度(亦即在六個房間模式情況,五個房間直接連接到起源房間比所有六個房間串聯且有五個開口介於火災起源房間和目標空間的情況可預期更多可靠的結果)。不確定度在通風口流量計算將加倍隨每一連續通風口流量增加總不確定度。使用者宜以使用可充分代表要模擬的建築物最簡單的配置及最少房間數目為目標。

6.3 開口

開口例如門及窗可能位於建築物內部隔間牆或外牆且通常由寬、高及於房間高度所定義之矩形開口為代表。一些區域模式可能僅允許單一開口,而其他可能許可多開口。

流量係數定義為有效的流量面積除以幾何開口面積比率,對於矩形孔口型式通風口一般在 0.6-0.7 範圍。[11] 實際上流量係數取決於形狀,及表面光滑度(例如圓形或銳緣)。一般情況,流量係數為不同形狀開口而變化例如散熱片,流量係數可低至 0.20;且在此矩形孔口型式通風口開口頂部在相同的高度且與天花板連續的流量係數可接近於 1.0。

一些模式假設流量係數為常數預設值,在其他模式中可能調整到允許個別的形狀和開口構造細節。在一房間內當開口高度及其位置高度相同及其連接至相同的空間則多個開口寬度可加總且表示為單一開口(例如建築物外面)。一些模式也可能允許開口開啟或關閉,或開口寬度在模擬中改變。

在大多數區域模式中，房間壓力變化需要足夠小到氣體密度效應可忽略。這可是用於加壓空間的議題，且針對建築環境不是通常由那些區域模式覆蓋情況可能需要的特定方法。一些專業模式可以估計在局限及通風空間的壓力變化，例如於核能電廠應用。

區域模式針對建築環境不宜使用於完全氣密的空間，且宜包括從系統到戶外的洩漏，[6]或其他方法提供定址壓力建立。區劃洩漏可模擬使用窄的通風口從樓板跨越到天花板與寬度選擇以提供洩漏區域期望的數量。

6.4 邊界材料

區域模式典型地假設邊界材料(例如牆、天花板及樓板)為惰性的及不燃性(亦即於火災不會引燃及有助於能量)。在此情況若可燃材料例如塑膠或木材產品用於牆或天花板的表面材料，實際上可以由火源引燃且有助於附加燃料及能量予火災，其區域模式將不會自動包括在計算及危險預測中。使用者宜意識到此，且必須允許選擇適當的熱釋放率輸入至計算中。若在特定的模式中實施，替代方案可以包括使用多火源或表面火焰蔓延子模式。

邊界材料熱性質影響從封閉區間傳導熱損失，且因此將影響各層氣體溫度及體積。一些區域模式使用總熱損失分數做為輸入計算熱損失，而其他模式嘗試計算傳導損失使用有限差分法說明邊界材料熱性質。一些模式可允許邊界表面由多層及材料來建構，具或不具空氣間隙，或僅為單層具特定的材料熱性質。一些模式處理僅兩個表面的熱傳遞(那些接觸上層氣體及那些接觸下層氣體)，而其他計算熱傳遞到四個或更多表面。

大部分區域模式中，忽略任何邊界材料熱性質溫度相依性(例如熱傳導率，比熱)及定值用於計算中。這是考慮可接受假設已知區域模式的準確度總體程度。較低邊界材料導熱性的值將導致較高暴露表面溫度預測及較高房間氣體溫度。建議使用平均值作為材料導熱性超過關注的預期溫度範圍。熱性質輸入值可從熱傳遞文本、手冊或產品技術文獻中獲得。

區域模式未計算任何熱傳遞至房間中的物體，僅熱傳遞至封閉區間邊界表面，雖然這不可能顯著影響所得結果。

6.5 設計火災參數

設計火災是由區域模式使用作為火災特性定量描述。最重要的輸入變數影響火災過程且特別是熱釋放率時間函數達到氣體溫度。[12]若區域模式用來評估與煙密度相關的因素，例如穿透煙或光學偵煙探測器回應之能見度，適當選擇煙/煙灰產生率輸入參數也是非常重要。

由於在大部分區域模式中，設計火災特性由使用者提供輸入變數，在使用設計火災包括熱釋放率及物種產生率，預先對於特別的設計應用、專案計畫利害關係人

及管理機關同意至為關鍵。設計火災情境及設計火災選擇之指引可參照 ISO 16733-1。[13]

6.5.1 熱釋放率

下列三項火災特性的兩個一般應在區域模式中指定。相關變數如下：

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta h_c$$

其中

\dot{Q} (kW)	時間相關的熱釋放率；
\dot{m} (g/s)	時間相關的燃料質量損失率；
Δh_c (kJ/g)	有效的燃燒熱。

6.5.2 輻射損失分數

輻射損失分數，為藉由從羽流輻射損失總燃燒能量的比例，可能需要隨平衡對流熱釋放傳輸到層及用來提升層氣體溫度。輻射熱傳強烈影響情況發展導致閃燃，包括材料二次點火，以及熱層深度與氣體溫度。

雖然在真實的火災中輻射損失分數隨燃料類型、溫度、可用的氧氣及火焰中的煙灰濃度而變化，區域模式一般使用定值。然而，輻射損失分數可能或可能非使用者輸入取決於特定的區域模式。

輻射損失分數可以從範圍 0.15 至 0.50 取決於燃料，與值 0.3 考慮為一個合理的內定值對於油煙狀的火災。[14] 針對輻射損失分數額外資料可以在參考文獻中發現。[15]

6.5.3 物種產生

一些區域模式追蹤及計算不同的燃燒產物濃度，例如一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)，煙/煙灰(C)，氰化氫(HCN)、水蒸汽(H₂O)及未燃燒之碳氫化合物。燃燒反應中的氧氣消耗也必須計算。

物種產生率輸入至區域模式可能是任一表示如產率亦即每單位質量燃料熱解生成物種之質量，或物種的產率比值例如 C/CO。物種的區域模式將需要物種產生率輸入在特定型式。物種產生率實務上將在火災過程期間取決於燃料組成及當時燃燒條件而變化。

使用於輸入區域模式平均物種產生率一般衍化自實驗室實驗。

窒息氣體濃度之計算(例如 CO, HCN, CO₂) 使能夠使用如在 ISO 13571 中說明的方法進行生命安全評估的可維持分析。[16]

水蒸汽及二氧化碳氣體隨著煙灰顆粒在熱層中的呈現允許更詳細的輻射交換計算包括由氣體層放射/吸收。

在此情況下，也可能需要下列與火災排出物相關的附加輸入。

a) 煙/煙灰

煙及煙灰微粒一般可視為透過氣體層分布的碳顆粒。模式輸入可能以產率形式（單位燃料質量熱解的碳的質量以 g/g 表示）或表為 C/CO₂ 質量比。

對於通風良好自由燃燒之火災包含“油煙狀”燃料合理的煙灰產率值在 0.05 - 0.10 g/g 範圍內[14][17] 具較少的值適宜於完全燃燒的燃料。這些模式未計入煙灰沉積給予合理的結果，若模式也允許煙灰沉積在表面上亦即這些為校正值及較高數值可能是適當的。目前包括煙灰沉積效應並無模式被建立。

如以下討論的，對於通風不良或閃燃後情況，顯著更高煙灰產率值可能是適當的。由於使用之材料化學性質，特定的產物甚至可能導致比上述更高之煙灰產率例如由於化學處理或燃料的化學結構(高 C/H 比)。

b) 一氧化碳和 二氧化碳

一氧化碳(CO)和二氧化碳(CO₂)為熱解和燃燒之兩個產物。CO 為無臭無色氣體且其產出主要與當量比和上層溫度相關，與燃料類型非強烈相關。通風良好有焰火災一般產生 CO/CO₂ 比 < 0.05。[18]

CO₂ 的影響是主要對其他氣體呼吸速率的效應，而氧氣耗盡的氣體具缺氧效應。可燃材料熱解在使變質的熱層(例如木質天花板)之情況下，觀察到的 CO 產率可能有大的增加。

c) 氰化氫

氰化氫可以假設由含氮燃料產生，例如聚氨酯發泡材、羊毛、尼龍、合成橡膠和三聚氰胺。關於火災中氰化氫之產率在文獻中可用的資料非常有限。參考文獻[19] 說明在住宅環境中從一些常見含氮材料中在有焰及無焰兩者情況下 HCN 產生之研究。

d) 通風不良燃燒

在氧氣供應受限的不完全燃燒情況下，CO 及 C(煙灰)之產率將增加而 CO₂ 將減少。在通風不良的燃燒程度可以整體當量比(Φ) 表示，通風良好條件下相當於 $\Phi < 1$ ，而在通風不良條件下相當於 $\Phi > 1$ 。參考文獻[20] 依據正己烷數據作為下限提出相關於 CO 產率當量比及溫度經驗函數。

有些區域模式須輸入手動調整在模擬計算燃燒情況，而其他模式依據此情況可能包括調整產率之子程序在模擬中。意識到這些因素是重要的，因為如僅輸入相應的通風良好有焰燃燒產率，且火災轉變至通風不良狀態則可能顯著低估一氧化碳濃度及煙光學密度預測值。

閃燃後通風不良火災包含木質製品及一般的辦公室類型內容物合理的一氧化碳產率值範圍為 0.2 - 0.3 g/g。[11]；閃燃後通風不良火災包含木質製品及一般的辦公室類型內容物合理的二氧化碳產率值範圍為 1.1 - 1.5 g/g。[11] 閃燃後 CO/CO₂ 比一般範圍為 0.1-0.4。

e) 燃燒產物在表面上的沉積

在房間表面上的燃燒產物沉積率可能關注的幾個理由。例如關注的煙灰沉積因為

可能影響煙灰及光學密度計算的預測。煙灰沉積量將取決於房間表面積對體積比、燃料類型，及相對於火災的表面位置。最常見被忽略在區域模式計算與所有煙灰假設在整個氣體層中為均勻分布。此為一般保守的假設導致煙灰濃度預測過高。關注氫鹵酸氣體在表面上的沉積是為瞭解由於腐蝕造成之損壞風險。大部分區域模式未明確評估這些風險。

f) 資料來源

火災排出物產率資料來源參見 ISO 19706。[21]

SFPE 的火災防護工程手冊[15] 也在燃燒產物之產生率提供一些數據。

7. 模式靈敏度

ISO 16730-1 在計算方法的查證及確認給予詳細的指引。[22]

區域模式整體準確度密切相關聯於特殊性，注意以及所提供數據的完整性。[23] 建議進行靈敏度分析需要多重模擬而不是僅執行單一模擬。靈敏度指的是模式輸出關於輸入變數的變化率。[23] 模式預測可能對於輸入資料中的不確定度敏感，用於數值方法模擬物理及化學準確度的精確程度。輸入中的次要變數不宜折衷分析的結論。

熱釋放率假設經常最大化以建立最嚴重的火災，但此可能降低火災期間到非常短的值。這些可能不是給予最大的傷害的最佳狀況。火災嚴重性計算需要顯示可接受建築物反應至可能火災的範圍而不只是單一火災情境。

根據報告氣體及表面溫度、氧氣濃度及區劃壓力顯示熱釋放率大致 10 % 轉換反應至 15 % 變化，而熱通量顯示大致 20 % 變化，而氣體層高度對於熱釋放率變化相對不靈敏。[23]

在遠離火災起源房間的房間對比那些火災起源房間，上層溫度和層高之計算有較大的不確定度。[23]

建議 0.5 - 1.0 s 指令的計算時階通常適合於區域模式使用。[6]

8. 使用及限制

8.1 一般

對於真實世界情況之模擬，特定的火災區域模式使用者，在使用此模式之前宜考慮如 8.2 至 8.10 所描述之效應。

其次，應檢查此模式以確保涵蓋從所考慮的真實世界情境之效應。為此目的，8.10 提供可能有助於比較是否這些效應可應用之檢查表。若考慮中的模式未考慮這些效應，由模式使用者判斷是否需要以其他模式取代，或是否此效應在一般的情況下是不重要的。

8.2 局部效應

區域模式未考慮局部熱效應(特定現象處理以外例如天花板噴流)。僅使用模式平均熱層預測之分析在預測局部現象可能不正確。

當解譯模式結果，必須注意下列事項：

- 平均熱層溫度不可以用於評估與上層接觸的可燃材料(例如牆及天花板)引燃風險。由於持續火焰與可燃材料接觸的入射熱通量比由熱層平均溫度高出許多倍。(天花板噴流溫度計算可提供較好的指示器)一些模式包括羽流在目標溫度於熱傳計算之衝擊估計，包括從燃燒區域溫度估計值。
- 使用風機於機械排煙可能暴露於由羽流或天花板噴流局部的加熱可能超過風機之額定溫度。
- 區域模式不適合於區劃內流量的細部研究例如可能需要於火災探測器選址。[\[23\]](#) 實際上這可受到通風口位置及流量的影響。

8.3 區劃效應

大部分模式忽略由於從熱氣體層或區劃表面的輻射回饋導致增加燃料表面的輻射而增強燃燒率。若使用自由燃燒或家具量熱儀資料來描述熱釋放率，使用者可能需要分別計入區劃效應在設計火災中。[\[24\]](#)

質量熱解速率增強已經顯示在實驗上盡可能為兩倍通風限度於池火災及 1.3 倍通風限度於木框架。[\[25\]](#) 這些效應在小房間及同火災發展趨近閃燃將更重要。影響輻射回饋程度關鍵因素為自我視角因數尺寸。床墊具零(床墊頂部表面部分無法看見任何其他部分)，因此對於床墊從煙層輻射回饋效應非常高，因此當與開放燃燒試驗比較位於房間內熱釋放率可能增加三倍或更多因數。對於軟墊家具例如椅子具高自我視角因數，其效應，對比一般僅 1.25 或更少。此外，對於許多發泡體高達 50%熱釋放來自掉落且在地板上燃燒的液化材料。針對如此屏蔽池，可發現幾乎沒有從區劃上部輻射。

區域模式有趨勢顯示當熱釋放衰減層高度位置上升，當其溫度冷卻時體積持續隨上層降低，然而，此行為一般沒有顯出在實驗中[\[26\]](#)且因此實際上可能不會發生。儘管如此，此效應僅於火災衰減階段與分析相關時才需要考慮。

8.4 羽流

羽流捲入是將氣體從下層傳輸到上層的主要方法。區域模式一般採用經驗方法來估計空氣傳輸進入火羽流的量。已有依據池火、軸對稱氣體燃燒器以及理論模式文獻提出許多不同的方程式。

不同的捲入模式可以導致層高度、氣體溫度及捲入率結果兩個變異因素。[\[27\]](#)[\[28\]](#)

Morton-Turner-Taylor 理論建議浮揚羽流區域中的捲入宜取決於 $H^{5/3}$ ，而 McCaffrey 對於浮揚羽流相關性使用 1.895 次方。依照 Rockett [29]，McCaffrey 相關性造成羽流流動遠高於火源（亦即在高的空間）的嚴重過度預測，但提供好的預測在立即燃盡區域更適當的對於小房間。過度估算捲入將造成上層比其他預期的較深及較冷。若基於提高層高度曾經按規定尺寸製作排煙系統此可有大衝擊與增加成本關聯。因此必須檢查用於區域模式的羽流方程式是適合於將要模擬的封閉區間尺度或高度。對於浮揚羽流此一範例具兩個不同羽流相關性效應顯示在圖 3 中。Heskestad 羽流取決於虛擬源點位置，其反過來與火源直徑相關。

捲增係數通常源自於無風環境中測定。實際的羽流流動在擾動環境中可能明顯更大（例：由於暖通空調 HVAC 或門/窗流動）。[6]通風狀況也可影響羽流捲入包括中庭煙控管理系統中構成空氣流動。[30]

當火羽流非常接近牆或房間角落，當與軸對稱羽流相比時羽流捲入減少，一些模式藉由修正捲增係數說明。在窄高的封閉區間（例：豎井）火羽流在抵達天花板前可能與牆交錯減少捲入總量但也降低兩層環境成型可能性。一些區域模式包括子模型特別地處理這些現象。

羽流捲入相關性一般也用來說明捲吸進入通風口流動如其由開口上升至鄰近房間天花板。在這些情況，通風口羽流一般視為具虛擬原點的軸對稱羽流以產生如實際通風口羽流相同的質量和能量通量。[31]

捲入相關性一般推導自池火或氣體燃燒器，捲入特性可能不同於真實的家具物品，且在應用於一般建築物內容物時引入附加誤差源。在此情況，若對捲入估計過高，則層將下降更快，且較冷，反之亦然。

捲入在軸對稱羽流中溢出羽流可能大於捲入，且大部分簡單區域模式將不考慮 - 更多專業模式考慮這些效應將是需要的。

在區域模式中捲入計算一般也未考慮水或氣體滅火系統啟動，可能有助於冷卻或在煙層中擾動，及於封閉區間中一般煙監測效應的任何交互作用效應。

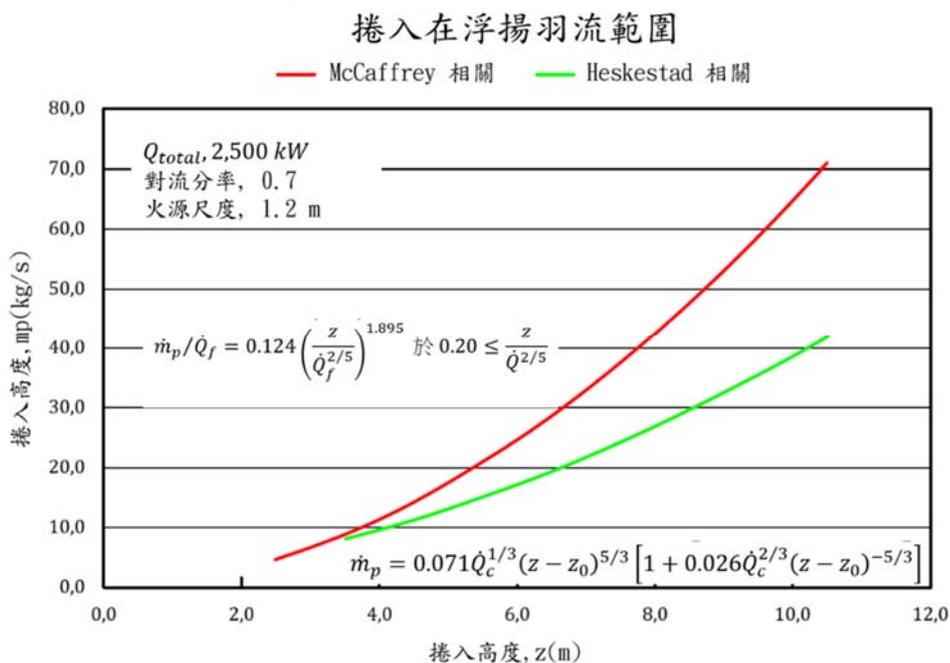


圖 3 於 2500 kW 火災羽流捲入相關性比較

8.5 天花板通風口

當開口兩側有壓差時產生通過天花板開口的煙流。在大部分情況下流動受到靜力壓差所驅動從高壓側流到低壓側。壓力由天花板下方熱煙層之浮力所產生。在此情況，可進行傳統的孔口型式流動計算。一般將使用對應於銳緣圓形噴孔的流動係數。

在一些情況中浮力不穩定可能存在的，可顯著影響使用標準白努利流動模式的效率及準確度。當位於天花板通風口正上方有相對重的且冷的流體(例：周圍的外部空氣)及通風口下方具有低密度熱煙層，發生此情況。此為不穩定配置且可能造成“交換型”流動在一些稠密的、冷的外部空氣將向下流動通過通風口進到起火封閉區間。[\[32\]](#) 一些區域模式包括壓力驅動及交換型流動，而其他模式可能不包括。

此通風口流動模式類型不適用於分布在商場及中庭的大樓板開口型式，在此受限於容納通風開口下方熱氣體層的天花板面積及產生的浮力。在這些情況下，直接位於開口下方之火羽流將造成羽流流動直接進入上層，且如位於鄰近的空間，可能產生樓廳溢出羽流增加羽流流動進入上層。這些現象與標準天花板通風口垂直接流動模式所代表的完全不同。中庭型式空間如大的垂直空間與區劃連接在各層可以是更好的模擬。

一般忽略通風口流動風效應但在某些情況可能是重要的。

8.6 分層

如封閉區間中周圍條件不是均勻的例如在非阻熱屋頂正下方的空氣溫度較高，在火災發展初期可能有一些層的層理效應，就偵煙探測器的響應而言可能是重要的。如火災發展、熱釋放率及氣體溫度增加，這些分層效應將變成較不重要。一般區域模是不允許這些效應。

8.7 拉穿現象

當通過天花板通風口體積流動率夠大導致在煙層深度與層之平均深度相比出現局部抽空發生拉穿現象現象。這造成從下層的一些流體被包含在抽取氣體中，其餘的來自上層。未考慮此效應之區域模式由於去除比實際可能發生更多之熱層氣體，通風系統效率將估計過高。此現象適用於自然通風口及機械通風系統。拉穿現象可依據福祿數(Froude)及層厚度預測。文獻指出對於圓形的通風口福祿數大於 1.6 將造成拉穿現象。[33][34] 對於自然通風，為避免拉穿現象每一天花板通風口面積應小於 $2(H-z)^2$ 其中 $H-z$ 為熱層深度。[11] 一些區域模式包括這些拉穿現象效應。

8.8 封閉區間尺寸、尺度、幾何

對於長寬比大於約 5 的封閉區間需要注意，因為區域模式可能不適用於長走廊 ($L/W > 5$) 或高豎井 ($H/\min(L, W) > 5$)。[23] 宜檢查特定的模式看是否提供模擬這些情況的方法。

宜注意在低天花板高度空間的大火，火焰到達天花板且在其下蔓延。區域模式可能忽略火焰橫越天花板的存在且從熱層到天花板的熱損失估計過高，造成較冷及較薄的層深度預測。[11]

考慮大阻礙物在天花板水平面將影響結果的程度。在幾何複雜的封閉區間及複雜的天花板形狀可能不適合使用區域模式分析，宜使用其他方法分析。大部分區域模式要求封閉區間表示為矩形體積。

因為區域模式假設均勻分層形成的上層，小火災在大空間可能不符合此要求。小火災在大空間將無法驅動火災氣體到天花板，且煙可能在某個中間高度分層呈現天花板的通風效率低的。[23] 一些研究人員建議區劃體積單位 m^3 最小火原尺寸為 0.1 kW，作為確保熱層建立之指引。[35]

在其他極端，由於數值常用程式上之限制，熱釋放對區劃體積的比不宜超過大約 $1MW/m^3$ 。[23] 然而兩層假設在達限制之前或許中斷。

煙擋板或屏幕可能用於較大空間來產生蓄煙池與容積，提高煙排除應用的效能。此方法也增加使用區域模式分析的適合性。

層內均勻性質假設可能由於遠離火源的冷卻及浮力的損失而在非常長或寬的空

間被挑戰，此於區域模式中可能不被考慮。為了擴展區域模式對於較大空間之適用性，使用者有時將單一大小的封閉區間分割為許多小的“虛擬”或“建構的”房間，由完全高度和寬度開口連接，以便更好地模擬氣體溫度變化及橫越大空間面積層高度，不須應用更複雜的計算流體力學(CFD)方法計算的費用。幾個研究人員從上述文獻中討論此方法。[\[36\]](#)[\[37\]](#)[\[38\]](#)[\[39\]](#)由於附加考慮事項如內部開口之開口流動係數，在應用此方法時需要特別注意。[\[6\]](#) 建構的房間方法最好使用為靈敏度分析之一部分包括評估房間數目及建構的通風口高度選擇之影響。[\[38\]](#)

8.9 閃然後火災

許多區域模式不適合模擬閃然後火災因為不包括閃燃後燃料質量熱解率特定子模式。特別是通風受限於質量熱解燃燒必須適當地模擬。如使用者提供熱釋放率對時間以及燃燒熱作為輸入，區域模式將由後者除以前者計算質量損失率。此假設熱釋放率及質量損失之間的線性比例性對於通風不良及氧氣限制的燃燒環境可能不正確，但一般對於通風良好之閃燃前火災可忽略。

提供輸入至區域模式中的熱釋放率規範一般對應於單一家具項目，或連續成長火災(例： t 平方火災)。然而，在前者情況中，如火災發展及在房間接近閃燃條件，從火災之實際熱釋放率，由於火災蔓延到其他可燃材料或二次項目可能與輸入火災規範不同。從熱層輻射回饋增加程度可能導致燃料熱解及燃燒率增加。使用者難以事先預料這些效應的時間及大小，且一般允許藉由使用保守方法選擇設計火災特性。

在完全發展火災情況下，通過開口之輻射熱損失可以是顯著的，且最好宜在區域模式中考慮用於閃燃後應用。

使用者宜知道相應於閃燃發生起始點情況，以便終止區域模式或放棄使用的區域模式不是用於燃後應用之結果。

8.10 真實世界效應及模式能力比較

如 [8.1](#) 之聲明，在此提出檢查表範例協助使用者決定用於預測真實世界行為的模式是否符合由 [8.2](#) 至 [8.10](#) 中描述效應的強制要求。

取決於模擬目的，在 [8.2](#) 至 [8.9](#) 中描述的一或多個效應，對已知的真實世界情境可能不相關。在一些情況下，如考慮過的效應足夠小，其可能藉由選擇其他輸入參數更保守的值來補償。在其他情況下，使用者可能別無選擇，只能選擇完全不同的火災模式。下列檢查表僅用於說明性，不宜視為全面的。

表 1

效應	在真實世界情境特定情況	此效應在預期的火災區域模式範圍內?	當未涵蓋特定的效應時要如何做?
區域化效應	例：天花板噴流在火災偵測設備的影響	火災模式包括天花板噴流效應?	如天花板噴流未被模擬則選擇其他包括天花板噴流模式。
區劃效應	例：輻射回饋對燃料燃燒率的影響	火災模式考慮輻射回饋效應?	如未提供，當指定輸入熱釋放率考慮到這些效應。
羽流	例：樓廳溢出羽流	火災模式包括樓廳溢出羽流效應?	如情境需要樓廳溢出羽流效應的考慮未包括在區域模式中，則為此目的選擇使用計算流體力學(CFD)模式或溢出羽流相關性發展。
天花板通風口	例：垂直通風口流動通過天花板或屋頂通風口	火災模式預測流動通過天花板/屋頂通風口?	如天花板通風口未被模擬，近似使用位於天花板下方高層的淺薄牆通風口。
分層	例：煙層分層由於非阻熱屋頂	火災發展早期階段分層效應將影響防火安全目標?	考慮分層是否在狀況危及住戶的時間發生，如否，則可忽略。
拉穿	例：使用機械風機從天花板蓄層排煙	火災模式計算拉穿效應及從而調整質量流量計算?	如拉穿現象未被模擬，檢查福祿數及設計以避免拉穿現象的發生。
封閉區間尺寸、尺度及幾何	例：封閉區間具斜坡天花板	火災模式要求封閉區間具平坦天花板?	如建築物住戶僅在斜坡天花板的水平面下方，此效應可忽略且於模式中使用平均高度。
閃燃後火災	例：閃燃後燃燒	火災模式充分處理完全發展及通風不良火災情況下，熱裂解及燃燒率變化?	如否，則模擬將僅適於成長良好通風的火災。

參考文獻

- [1] Olenick S.M., & Carpenter D.J. An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke. SFPE Journal of Fire Protection Engineering. 2003, **13** (2) pp. 87 – 110.
- [2] ISO 16735, Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Smoke layers.
- [3] Suzuki K., Harada K., Tanaka T. 2003. A Multi-Layer Zone Model for Predicting Fire Behavior in a Single Room. In Fire Safety Science – Proceedings of the Seventh International Symposium. pp851-862. International Association for Fire Safety Science.
- [4] Charters D.A., Gray W.A., MacIntosh A.C. A Computer Model to Assess Fire Hazards in Tunnels (FASIT). Fire Technol. 1994, **30** (1).
- [5] Forney G.P., & Moss W.F. Analyzing and Exploiting Numerical Characteristics of Zone Fire Models,” Fire Science and Technology, Vol. 14, Number 1 and 2, pp. 49-60. 1994.
- [6] Tanaka T., & Yamada S. 2004. BRI2002: Two Layer Zone and Smoke Transport Model. Fire Science and Technology Vol 23 No 1 (special issue).
- [7] ISO 16737, Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Vent flows.
- [8] Floyd J.E., Hunt S.P., Williams F.W., Tatem P.A. Network Fire Model for the Simulation of Fire Growth and Smoke Spread in Multiple Compartments with Complex Ventilation. J. Fire Prot. Eng. 2005, **15** (3) pp. 199 – 229.
- [9] ISO 16734, Fire safety engineering — Requirements governing algebraic equations — Fire plumes.
- [10] NFPA. 92B. 2005. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces. National Fire Protection Association, USA.
- [11] Karlsson B., & Quintiere J.G. Enclosure Fire Dynamics. CRC Press LLC, Boca Raton, 2000.
- [12] Babrauskas V., & Peacock R.D. Heat Release Rate: The Single Most Important Variable in Fire Hazard. Fire Saf. J. 1992, **18** pp. 255 – 272.
- [13] ISO/TS 16733, Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires.
- [14] Hoover J.B. Application of the CFAST Zone Model to Ships – Fire Specification Parameters. J. Fire Prot. Eng. 2008, **18** (3) pp. 199 – 222.

- [15] Tewarson A. 2008. Generation of Heat and Gaseous, Liquid, and Solid Products. Chapter 4; Section 3; SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 4th Edition. National Fire Protection Association, Quincy MA.
- [16] ISO 13571, Life-threatening components of fire — Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires.
- [17] Robbins A .P., & Wade C.A.2008. Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies. Study Report SR185. BRANZ, Porirua, New Zealand.
- [18] Mullholland G.W.1990. Position paper regarding CO yield. Appendix C in FPETool: Fire Protection Engineering Tools for Hazard Assessment.
- [19] Simonson M., Tuovinen H., Emanuelsson V. Formation of Hydrogen Cyanide in Fires. A Literature and Experimental Investigation. BRANDFORSK Project 510-991. SP Report 2000:27. SP Fire Technology, Sweden. 2000.
- [20] Gottuk D.T., Roby R.J., Peatross M.J., Beyler C. Carbon Monoxide Production in Compartment.
- [21] ISO 19706, Guidelines for assessing the fire threat to people.
- [22] ISO 16730, Fire safety engineering — Assessment, verification and validation of calculation methods.
- [23] Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications. Volume 5: Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model (CFAST), U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research (RES), Rockville, MD, 2007, and Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, NUREG-1824 and EPRI 1011999.
- [24] Custer R.L.P., & Meacham B. Introduction to Performance-based Fire Safety. Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, 1997.
- [25] Fleischmann C. 2003. Assembling the heat release rate curve for fire modelling. Poster paper in Fire Safety Science - Proceedings of the Seventh International Symposium. pp. 1161-1162. International Association for Fire Safety Science.
- [26] Matsuyama K., Mizuno M., Wakamatsu T., Harada K. A Systematic Experiments of Room and Corridor Smoke Filling for Use in Calibration of Zone and CFD Fire Models for Engineering Fire Safety Design of Buildings. Fire Science & Technology. 2001, **21** (1) pp. 43 - 55.

- [27] Quintiere J.G. 2008. Compartment Fire Modelling. Chapter 5; Section 3; SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 4th Edition. National Fire Protection Association, Quincy MA.
- [28] Rockett J.A. Using the Harvard/NIST Mark VI Fire Simulation. NISTIR 4464. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1990.
- [29] Rockett J.A. 1995. Zone Model Plume Algorithm Performance. Fire Science & Technology Vol 15 No 1 & No 2. p1-15.
- [30] Kerber S., & Milke J.A. Using FDS to Simulate Smoke Layer Interface Height in a Simple Atrium. Fire Technol. 2007, **43** (1) pp. 45 - 75.
- [31] Mowrer F.W., & Stroup D.W. Features, Limitations and Uncertainties in Enclosure Fire Hazard Analyses - Preliminary Review. NISTIR 6152. U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1998.
- [32] Cooper L.Y. 2002. Smoke and Heat Venting. In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Section 3 Chapter 9. National Fire Protection Association. Quincy.
- [33] Turner J.S. Buoyancy Effects in Fluids. Cambridge Press, 1973.
- [34] Wood I.R. Selective Withdrawal from a Stably Stratified Fluid. J. Fluid Mech. 1968, **32** pp. 209 - 223.
- [35] Collier P.C.R., & Soja E. Modelling of Fires in Large Spaces. Poster paper at Interflam 99. Interscience Communications Ltd, UK, 1999.
- [36] Chow W.K. Multi-Cell Concept for Simulating Fires in Big Enclosures Using a Zone Model. J. Fire Sci. 1996, **14** pp. 186 - 197.
- [37] Rockett J.A. Experience in the use of zone type building fire models. Fire Science and Technology. 1993, **13** (1 & 2) pp. 61 - 70.
- [38] Wade C.A., & Robbins A.P. 2008. Smoke Filling in Large Spaces using BRANZFIRE. Study Report SR195. BRANZ, Porirua, New Zealand.
- [39] Yamana T., & Tanaka T. 1985. Smoke Control in Large Scale Spaces, Part 2: Smoke Control Experiments in a Large Scale Space. Fire Science and Technology, vol 5 no 1.
- [41] Jones W.W. 2001. State of the Art in Zone Modelling of Fires. International Fire Protection Seminar, 9th. Engineering Methods for Fire Safety. Proceedings. May 25-26, 2001. Munich, Germany.
- [42] Jones W.W., Forney G.P., Peacock R.D., Reneke P.A. A Technical Reference for CFAST: An Engineering Tool for Estimating Fire and Smoke Transport. Technical Note 1431. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2000.

- [43] Heskestad G., & Bill R.G. Jr. Quantification of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinklers Including Conduction Effects. *Fire Saf. J.* 1988, **14** p. 113.
- [44] Heskestad G., & Bill R.G. Jr. 1989. Modeling of Thermal Responsiveness of Automatic Sprinklers. International Association of Fire Safety Science. Proc. Of Second International Symposium, Tokyo, Japan, Hemisphere Publishing Corp., New York.
- [45] Milke J .A., & K lote J.H. Smoke Management in Large Spaces in Buildings. Building Control Commission of Victoria, Australia, 1998.
- [46] Tanaka T. 1978. A Model on Fire Spread in Small Scale Buildings. BRI Research Paper No 79. Building Research Institute. Ministry of Construction, Japan.
- [47] Tanaka T. A Model of Multiroom Fire Spread. *Fire Science and Technology.* 1983, **3** (2) pp. 105 - 121.
- [48] Walton W .D., C arpenter D .J., W ood C.B. 2008. Zone Computer Fire Models for Enclosures. Chapter 7; Section 3; SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 4th Edition, National Fire Protection Association, Quincy MA.

附錄十三 防火安全工程 — 火災中結構之性能(草案)

Fire safety engineering — Performance of structures in fire

緒論

火災對於結構是一極端負載情況，可能導致對於人、財產及環境產生顯著的影響。建築環境的防火安全設計部分起因於需要提供設計策略，以使火災發生、蔓延以及對生命財產與環境衝擊最小化。結構防火安全是整體防火安全設計策略的重要組成。結構防火安全作用為確保結構構件(阻隔及結構構件)在建築環境內能防止或延遲火災蔓延及結構破壞為的是防火安全目的，例如生命安全(對於住戶及消防員)、財產保全、作業持續性、遺產的保存及環境的保護，不受損害。

傳統上，大部分結構防火安全設計依據建築法規、規範及相關標準規定性的要求設置。在規定性法規中，這也是被稱為耐火性。構造構件耐火性評估主要由以下耐火試驗決定：

- 單一火災以標準時間—溫度曲線代表(例：ISO 834-1)；及
- 具定義邊界條件及尺寸之阻熱構件或組件。

標準火災試驗適用於無窮盡燃料供應之火災，在此不做封閉區間尺寸及通風之間的區別，且不考慮實際結構的載重、載重的重分配或結構束制的條件。如此評估方法僅能提供構造產品比較的評比但無法提供特定建築環境進行防火安全分析所需的所有資訊(例：煙洩漏，其他火災類型，整體結構處理)。

隨著防火安全工程最新發展以及設計者在評估火災結構性能時利用工程方法優點的機會，將變為必須：

- 相對於整體結構，在真實火災的情況下改善結構防火安全所涵蓋的原理；
- 超越單一個別構件之考慮並包括整體結構系統的行為；
- 考慮實際載重條件；及
- 包括火災冷卻階段。

本技術規範提供在真實火災中應用工程方法評估結構防火性能之方法。在此方法中，解決方案是基於理由、判斷、科學、工程及實用性原則。合理的方法提供許多效益，包括：

- 在建築環境中更好及更多可靠的防火安全規定；
- 潛在的成本效益防火安全量測及更多選項關於這些量測之選擇；及
- 較好的溝通連同其他專業人員包含在設計、施工過程及和認可過程。

本技術規範是針對使用性能式設計方法之防火安全從業人員使用。使用者範例包括防火安全工程師、結構工程師以及具權限的主管機關，例如主管機關行政人員，消防人員及程式開發人。預期本技術規範的使用者在防火安全及結構工程領域具有適當的資格及能力。特別重要的是使用者了解任何使用方法之限制。

此外對於標準章節(第 1, 2, 3 節及參考資料)，本技術規範包括下列章節：

- 第 4 節針對結構之防火安全提供說明設計策略通用的方式；

- 第 5 節提出火災中結構性能之量化，包括對於步驟及工程方法之指引用於預測結構的熱和機械反應及阻隔構件暴露在火災從而評估火災蔓延及結構破壞潛勢。也包括在評估及量化過程宜考慮的因素說明，亦即火災蔓延路徑及材料在高溫的性質；
- 第 6 節給予不同量化方法使用上之指引。

1. 範圍

本技術規範提供暴露在真實火災時建築環境內之結構性能評估方法。

本技術規範遵循列於 ISO 23932 之原則，提供工程師性能式方法評估新建或既有的結構防火安全之程度。

備考：依據結構行為的量化透過工程方法評估結構防火安全，符合防火安全目的且可涵蓋真實火災(包括冷卻階段)整體時間歷程，及相關於防火安全目的之結果例如生命安全、財產防護及/或環境保護。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年分者，適用該年分之版次，不適用於其後之修訂版(包括補充增修)。無加註年分者，適用該最新版(包括補充增修)。

CNS 12514-1:2014，建築物構造構件耐火試驗法-第 1 部:一般要求事項

CNS 14651 建築物防火詞彙— 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙— 防火試驗用語

CNS 14996 建築物防火詞彙— 防火安全用語。

ISO 13943, *Fire safety — Vocabulary*

ISO 23932, *Fire safety engineering — General principles*

3. 用語及定義

CNS 14651、CNS 14652、CNS 14996、ISO 13943 及 ISO 23932 所規定及下列用語及定義適用於本標準。

3.1 建築構件 (building element)

建築環境整體的部分

備考：包括樓板、牆、梁、柱、門以及貫穿部，但不包括內容物。

3.2 功能(function)

分配給結構不同的部分或必要項或預期的角色及行動，以實現指定的目的或任務

3.3 承重構件(load-bearing element)

結構構件(structural element)

設計能達到承載自重以外的承重建築構件

3.4 機械作用(mechanical actions)

定義火災中由於結構內或結構部分之應變或應力重分佈，作用在其他構件上之衝擊力

3.5 非承重構件(non-load-bearing element)

非設計能達到承載自重以外的承重之建築構件

3.6 可靠度(reliability)

結構或結構構件實現設計的特定要求之能力，包括使用壽命。

3.7 結構(structure)

材料組合構成為住戶或使用於供應特定目的之構造

備考：包括但不限於建築物、開放式月台、橋梁，屋頂組件上方露天存放或處理區域、帳篷、空氣支撐結構，以及大看台。

3.8 結構防火性能(structural fire performance)

當暴露在火災特定時間之結構或結構構件實現設計特定要求的程度，包括使用壽命。

3.9 熱作用(thermal actions)

在封閉區間中溫度或熱通量時間函數變異的描述。

備考：封閉區間內這些溫度或熱通量取決於火災負載密度、燃料配置、開口幾何及開口。

4. 結構防火安全之設計策略

4.1 結構防火安全設計過程

雖然許多國家仍然交付結構防火安全設計依據規定性的要求及標準化試驗，最近已經朝向使用計算方法來估計火災中結構之性能。這是由於增強結構在火災中行為的瞭解的及改進結構在高溫時熱及機械反應的知識。此瞭解及知識允許在真實的火災期間建築環境中將發生甚麼的較好的模擬。然而，許多計算方法仍然處於取代常規的耐火試驗階段力圖克服試驗之缺點。大部分既有的計算方法為簡單模式應用在阻熱構件及組件且主要涵蓋：

—常見構造材料承重防火性能，例：鋼、混凝土及木材；

—熱傳遞，由傳導，透過非承重阻隔構件，當組成材料的熱性質已知。

正如標準試驗，這些簡單計算方法僅能夠基於其抵抗常規火災的能力提供不同的構件資料分級，儘管其使考慮一些更具體參數更容易。其未提供評估結構在不同的可能實際火災情境的性能用所須工具，例如局部或完全發展火災，包括可能導致一定的破壞機制的冷卻階段。為此理由，目前針對結構的防火安全及其構件之設計方法仍然依據粗糙的假設，其可能導致在設計上的彈性受限制，以及在一個建築環境中非常少或無機會針對防火安全量測準確的最佳化。

然而，使用先進的計算或發展簡化的計算來處理實際火災情況下之結構行為是日益可能的。

本技術規範提供一種應用工程方法評估真實火災中之結構耐火性能的方法。結構防火安全設計工程方法包括：

— 定義建築環境特性，包括幾何、作用、材料等；

- 確定明確的結構防火安全目的；
- 在結構防火安全目的背景下確定構造構件之性能基準；
- 考慮在建築環境、挑戰結構及封閉區間邊界可能發展之設計火災情境；
- 評估建築環境（承重的及非承重的）構件及結構如此整個系統的防火性能；
- 針對確定目的檢查結構防火性能及藉由考慮實際的設計火災情境建立性能基準。

圖 1 顯示結構防火安全整體設計過程流程圖。更多量化詳情提供在第 5 節。

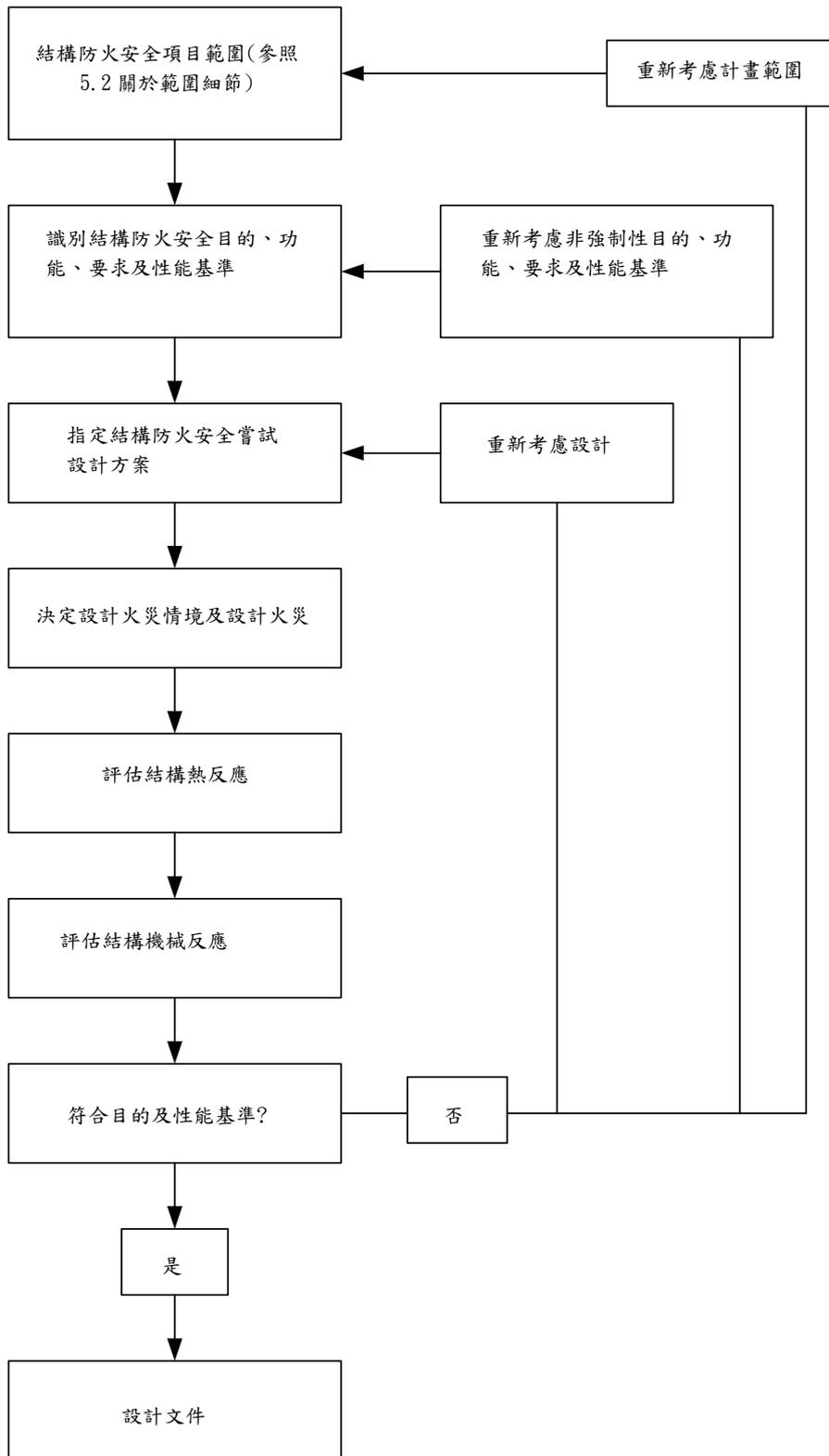


圖 1 結構防火安全 — 設計過程

4.2 結構防火安全之目的及功能要求

建立防火安全目的及功能要求，進行結構需要的合理防火安全設計。

防火安全目的的一般涉及生命安全、財產保全、作業持續性、遺產的保存及環境的保護(單獨或組合)。

提供結構防火安全之功能要求，一般陳述在區劃條件，結構遮焰性及穩定性，

大綱如下：

a) 預防或限制火災蔓延的區劃

- 1) 在建築環境內預防或限制火災蔓延。由於火災動力結果，但也由於壓力、熱機變形及熱傳透過結構構件，火災(火焰及煙)可蔓延到其他建築環境中的封閉區間，危害生命安全且造成建築環境及其內容物價值之不利影響。在此情況，建築環境中劃分為具屏障(樓板或牆)之火災封閉區間(區劃觀念)，包含在火災起源封閉區間中的火災。
- 2) 預防或限制火災蔓延到其他建築環境及建築環境外面。封閉區間邊界牆、樓板及屋頂可能導致火災蔓延，或者作為位於建築環境外面火災二次燃料源，在此暴露在相鄰的建築環境及自然環境，或透過封閉區間破壞，造成內部火災由通風口至外面的路徑，再次暴露相鄰的建築環境及自然環境。在可支持更強烈火災或更多毒性或腐蝕的熱解產物的材料存在其危險越大，例如在使用或生產危險材料之倉庫情況包含危險材料或化學處理設施。因此，封閉區間邊界牆、樓板及屋頂宜提供足夠防火性能以抵抗二次引燃及圍阻內部火災。其他策略是將建築環境從任何潛在的暴露圍阻足夠距離以預防任何火災蔓延的重大風險。
- 3) 維持建築環境阻隔構件的遮焰性。此規定之目的為增加可用於逃生之時間，保護逃生路徑，使消防隊員在搶救行動期間進出容易，局限可能損失範圍，降低火災對結構及其內容物之衝擊，分隔不同的住戶，隔絕危險，以及圍阻危險材料釋放(火災期間甚至火災後)。

b) 結構遮焰性及穩固性針對結構破壞之預防或限制

- 1) 預防及限制結構的破壞。基於不同的理由，包括熱變形(膨脹及收縮)及結構構件曝熱導致強度及剛性降低，崩塌可能因兩種方式之一而發生：經透過結構加熱部分破壞或經過包含非加熱結構部分破壞。崩塌由於對生命安全(如任何人仍留在建築物內)及財產保護其中一個機制造成危險的情況，即使沒有崩塌，變形仍然可能影響出口路徑，危害生命安全，且可能導致可觀的財產損壞。因此，結構構件宜有足夠的結構防火性能(遮焰性及穩固性兩項)以預防或延遲破壞。對於承重結構構件及承重屏障崩塌預防及/或變形限制是重要的，其也提供圍阻體。主要的承重結構構件，及次要構件，支承或提供屏障或主要構件穩固性，應指定結構的防火性能。

- 2) 維持建築環境的結構構件遮焰性及/或限制變形。

對於上述結構防火安全目的及功能要求，實現目的所需時間可由有利害關係人及受影響當事人定義為完全燃盡時間、完成避難時間或防火部門做出反應及開始控制火災的時間。這些為一些範例且利害關係人及受影響當事人可能指定其他時間。

在符合功能要求，宜考慮主動及被動火災控制系統之存在及其效能。

4.3 結構防火安全之性能基準

性能基準用於決定結構防火安全目的及功能要求是否符合。

一些結構防火性能申請發證者基準可依據 CNS 12514-1 採用既有耐火試驗標準推斷。然而，如此基準一般針對單一構件以規定的條件表示而不以單一構件或整體結構之性能條件。此外，當其量測時，雖然這些性能基準可能仍然有用，但必須質疑其相關性及量測方式。

當使用防火安全工程設計及分析允許更多實際的評估，性能基準不宜設定為固定值，依據 CNS 12514-1，但宜表示在防火安全條件及人、財產及內容，及環

境之保護，且宜考慮結構中不同構件之間的交互作用。

既有的和新的(相關的或更多代表性的)性能基準可能分為以下類別：

- a) 使用區劃(透過阻隔構件及結構構件)限制由於火災蔓延的傷害或損壞；
- b) 限制由於結構構件(部分或整體崩塌)之崩塌的傷害或損壞。

關於此兩整體之基準表示在 4.3.1 及 4.3.2 中。

4.3.1 限制火災蔓延(區劃)之性能基準

關於那些既有的性能基準參照 ISO 834-1 及說明如下：

- 阻熱基準：在阻隔的(承重及非承重)構件非暴火側，以限制平均溫度上升 140 °C、最大上升溫度達到 180 °C 之形式。這些限制值為一般評估火災蔓延風險非常保守的方法。
- 遮焰性基準：通過阻隔(承重和非承重)構件，引燃棉花墊或穿過縫隙形式來評估。棉花墊試驗及縫隙試驗皆無法提供足夠的定量資料。

新的(相關的)性能基準關注設定極限值，使得封閉區間之邊界符合結構防火安全之目的及功能要求。

- 限制透過阻隔(承重及非承重)構件(或相鄰封閉區間邊界之表面溫度)熱傳遞之基準，及從這些構件放射之熱輻射，以防止在阻隔(承重及非承重)構件非曝火側上引燃任何可燃材料，考慮其相對位置(貫穿材料、裝修材料或任何可燃材料在相鄰的封閉區間中)、材料種類及對住戶的傷害。如此基準可量測未曝火側之熱通量或溫度。
- 熱火災氣體透過阻隔(承重及非承重)構件蔓延之限制基準以防止在阻隔(承重及非承重)構件之其他側引燃可燃材料以及傷害住戶。如此基準可以量測洩漏率條件。

4.3.2 限制結構的損壞(結構的穩定性)之性能基準

關於那些既有的性能基準參照 ISO 834-1 及說明如下：

- 承重基準取決於對撓曲/伸長率及變形限制。至於承重構件之穩定性，邊界構件及其他結構構件之交互作用需要實際考慮，與適當的使用載重條件。

新的(相關的)性能基準關注設定極限值，使得承重構件及整體結構符合結構防火安全之目的及功能要求。

當設定基準時，應考慮：

- a) 結構或部分崩塌限制，及
- b) 結構構件撓曲、伸長率、收縮等限制及相鄰阻隔(承重和非承重的)構件額外機械作用之衝擊，容易在其上面導致裂縫及開口。

宜考慮的結構穩定性程度如下：

- 從建築環境安全避難提供結構承重構件足夠穩定性基準。
- 在建築環境中安全的內部消防救援及滅火活動提供結構承重構件足夠穩定性基準。
- 提供足夠結構的穩定性予結構之關鍵的構件(容許非關鍵的結構構件局部破壞)之基準。
- 提供足夠結構的穩定性以避免任何遞增或突然的整體結構破壞之基準。
- 此基準需要說明可靠度及其他不確定度來源的問題。這可以在直接計算每年結構破壞機率的使用安全裕度，或當超過相應的限制狀態相關風險完成。用於可靠度及不確定度的值通常依據一段時間收集之歷史資料。風險評估的結果也可提供決定目標可靠度程度之合理的依據。

至於關切之人的保護，新的(相關的)性能宜定義與 ASET(可用的安全逃生時間)

/ RSET (所需安全逃生時間)方法關聯，對結構及環境的損害程度，及/或重新估用建築環境前容許的最大停止時間。關於這些性能基準宜由利害關係人及受影響方決定，作為初始設計報告部分及每次改進性能基準。

5 火災中結構性能之量化

5.1 結構防火性能—設計過程

表 1 當評估承受火災暴露下結構行為，確認要考慮的不同步驟及參數。這些步驟之詳情稍後於文中說明。

圖 2 顯示流程圖三步驟詳細方法”決定設計火災情境及設計火災”、“結構熱性能評估”，以及”評估機械的結構反應”，在圖 1 及表 1 之步驟 4 至 6。此流程圖協助提供合理方法之詳細瞭解對於暴露在真實火災之結構防火安全。如圖 2 中之說明，輸入從表 1 中步驟 1、2 及 3 決定，且評估所得輸出在表 1 中的步驟 7。

表 1 設計及量化過程

步驟編號	考慮	決定或識別	輸入	影響因素
1	結構防火安全之計畫範圍	<ul style="list-style-type: none"> -設計及/或不同部分的背景及目的。 -機械作用，包括作用在結構構件上既有的結構載重或火災引發的載重，如壓力 -區劃內的燃料載荷。 	<ul style="list-style-type: none"> -環境特性 -幾何 -裝修材料 -開口 -燃料量 -靜載及動載 -主動火災防護系統 	<ul style="list-style-type: none"> -利害關係人及受影響方 -要分析的結構系統
2	結構防火安全之目的、功能要求及性能基準識別	<ul style="list-style-type: none"> -相關目的： <ul style="list-style-type: none"> -生命安全 -財產保全 -作業持續性 -遺產保存 -環境保護 -相關功能要求： <ul style="list-style-type: none"> -限制或預防火災蔓延 -限制或預防結構破壞 -實現目的及要求的性能基準 	<ul style="list-style-type: none"> -陳述在規範、標準及指引文件 	<ul style="list-style-type: none"> -想要設計的建築環境之住戶類型 -利害關係人及受影響方包括規範行政人員、業主，以及防火安全專業人員 -主動和被動防火系統及這些系統存在的效能 -逃生時間方法 -目標可靠度
3	結構防火安全嘗試設計計畫	<ul style="list-style-type: none"> -結構防火安全策略 -結構防火安全要考慮的設計元素及功能包括結構的穩定性、遮焰性、圍阻及區劃 	<ul style="list-style-type: none"> -目的、功能要求及性能基準 -分析類型及方法 	<ul style="list-style-type: none"> -要設計的建築環境住戶類型 -利害關係人及受影響方
4	設計火災情境及設計火災(火災發展)	<ul style="list-style-type: none"> -在結構構件上的熱作用 <ul style="list-style-type: none"> -熱釋放率 -溫度 -熱通量 	<ul style="list-style-type: none"> -區劃內燃料負載及分佈 -區劃特性(例如通風) 	<ul style="list-style-type: none"> -火災封閉區間壓力
			<ul style="list-style-type: none"> -抑制系統可靠度及泛應時間 	
			<ul style="list-style-type: none"> -防火部門反應及介入時間 	<ul style="list-style-type: none"> -消防效能

表 1 (接續)

步驟編號	考慮	決定或識別	輸入	影響因素
			<ul style="list-style-type: none"> -火災蔓延基準 -火焰及/或煙引燃 -遮焰性 -阻熱性 -其他 	<ul style="list-style-type: none"> -火災分隔效能 -火災蔓延路徑(開口及/或邊界裂口) -封閉區間中的溫度及壓力
				<ul style="list-style-type: none"> -選擇的分析方法(例: 決定性火災分析及火災風險評估)
5	結構熱反應	<ul style="list-style-type: none"> -結構構件中的溫度 	<ul style="list-style-type: none"> -每一封閉區間中之溫度 -結構構件熱反應之熱傳資料 -結構構件之熱性質 	<ul style="list-style-type: none"> -火災分隔效能 -火災傳蔓延路徑(開口或邊界裂口) -封閉區間中的溫度及壓力效應
6	結構的機械反應	<ul style="list-style-type: none"> -結構分析(分隔構件及結構構件包括接合處的穩定性及變形) -不同結構構件破壞及破壞時間 -整體結構破壞及破壞時間 	<ul style="list-style-type: none"> -結構構件中的溫度 -結構構件之機械性質 -結構構件及連接處特性 -束制條件 	<ul style="list-style-type: none"> -載重重分配及連續性之連接效應 -束制效應 -結構的確定性
7	評估防火安全目的	<ul style="list-style-type: none"> -符合步驟 2 中的目的定義? -是, 前往步驟 8 -否, 在步驟 1、2 或 3 做改變(取決於重新考慮)並從適當的步驟重複過程 	<ul style="list-style-type: none"> -分析結果 	<ul style="list-style-type: none"> -利害關係人及受影響方
8	結構防火安全設計文件化	<ul style="list-style-type: none"> -文件包含所有假設及計算 	<ul style="list-style-type: none"> -分析結果 	<ul style="list-style-type: none"> -利害關係人及受影響方

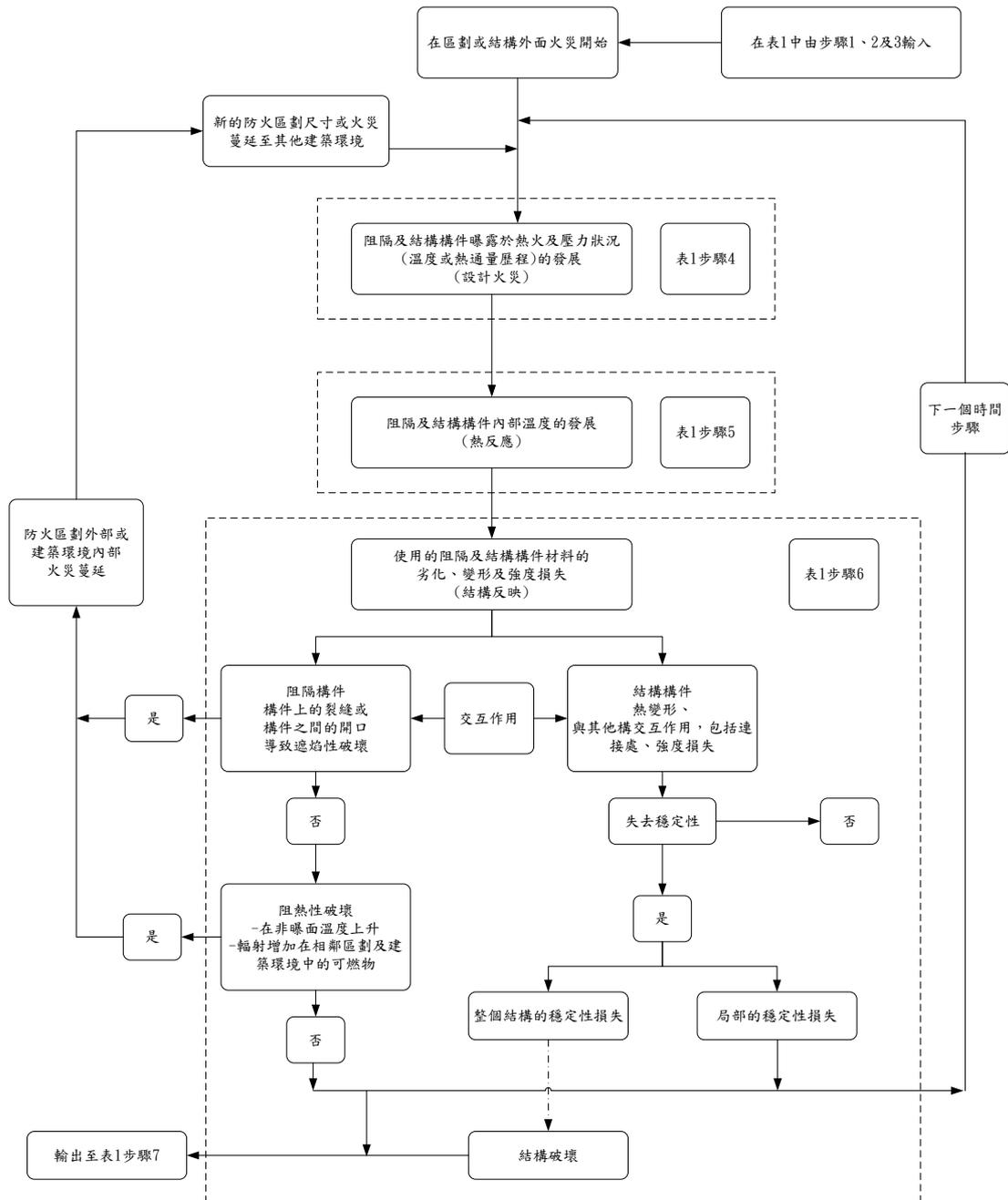


圖 2 在結構防火安全中步驟 4 至 6 合理設計過程概觀

下列小節提供表 1 中突顯的步驟更多細節。這使得讀者能夠更好瞭解結構對火災之反應及評估結構的防火性能。

5.2 結構防火安全工程計畫範圍

此為針對新的或既有的建築環境防火安全設計過程中的初始步驟。主要的項目包括在此步驟中詳細說明在 5.2.1 到 5.2.3。

5.2.1 建築環境特性

計畫設計者通常具有建築環境及火災起源封閉區間一般特性之知識。然後通常發展更具體的特性(參照 5.4)。

5.2.2 燃料負載

為了決定用於結構評估之合適的設計火災，需要燃料負載或燃料負載密度。這些從既有的資料庫或從建築環境中燃料之調查來決定。燃料負載密度一般表示為 MJ/m²。火載量之特性所在為可燃材料種類(附在建築環境或其內容)、其量及其位置。

5.2.3 機械作用

當考慮由於應用的或耐候負載之機械作用，在建築環境中火災及機械負載極端程度結合發生機率被認為夠小，因為火災作用在結構上是偶發的作用。為此，當評估整體結構或其一部分火災行為要使用的負載，小於用於結構正常設計。可能用於結構防火設計重要的概念為負載比。負載比為火災期間結構上預期的負載對周圍狀況承重能力之比率。較低負載比有較高的結構防火性能。

一般而言，無其他偶發的作用宜考慮結合火災。然而，在具高地震風險之國家，在整體火災風險評估中，可能需要考慮在地震事件中結構損壞的可能性、損及阻隔(承重及非承重)構件，以及對於制火系統及/或供水系統之威脅。

此外，透過評估方法火災可直接或間接引發機械的作用。這些包括：

- a) 從發展中的火災由於氣體之壓力作用；
- b) 衝擊，如有落下的構件在其他結構或阻隔(承重及非承重)構件之風險；
- c) 由於可能的消防作用之注水衝擊，主要作用於阻隔(承重及非承重)構件之非曝火側；
- d) 結構構件邊界上的熱膨脹或收縮束制引發的力和力矩；及
- e) 構件(例：梁或樓板)變形導致施加負載在非承重的阻隔構件上或撓曲影響阻隔(承重及非承重)構件之遮焰性。

5.3 識別結構防火安全之目的、功能要求及性能基準

防火安全目的一般定位於生命安全項目、財產保全、作業持續性、遺產保存，以及環境保護。確保結構防火安全功能要求及性能基準通常表示於區劃項目中，遮焰性及結構穩定性。此步驟在第 4 節中詳細說明，在此將不再重複。

5.4 結構防火安全之嘗試設計計畫

結構防火安全嘗試設計計畫為結構防火安全之策略闡述，且包含結構防火安全之一組設計構件組成，例如穩定性及區劃。

此計畫在防火設計報告中宜說明並建立文件，且當對於設計火災情境評估時，宜提出詳細資訊以確定是否符合防火安全目的及結構防火安全性能基準。設計計畫可依據結構防火安全策略定義所有建築環境功能，於分析中考慮防火安全設計所有部分之間的交互作用。

ISO 23932 提供在防火安全設計中所考慮一些針對功能及設計元素有用的信息。

5.5 設計火災情境及設計火災

5.5.1 一般

在火災中的結構性能評估時，設計火災情境及設計火災為重要的步驟。應注意設計火災情境為火災發展具體的定性描述，而設計火災為設計火災情境中假設火災特性的定量描述。

更多設計火災情境及設計火災之選擇資訊參照 ISO 16733。

5.5.2 設計火災情境

適當的火災情境規範為防火安全設計之關鍵。選擇火災情境對所有設計面向有主要影響，因為其代表大部分量化過程的輸入。

對於每一建築環境可能的火災情境有無窮數目。即使在最複雜計算資源的輔助之下，也不可能分析所有可能的情境。這些可能性宜限於適合分析有限的組合設計火災情境中。

用於分析目的之設計火災情境特性包含火災啟始、成長及熄滅，連同定義的情況組合下可能的火災蔓延路徑事物的描述。火災對人、財產、結構及環境之衝擊為設計火災情境之潛在相關結果所有部分，以及當那些結果與特定的防火安全目的相關時，對於設計火災情境中之情境特性。

對於火災中結構設計，火災情境代表事件及情況特定的組合，相關聯因素例如：

-火災類型(例：相對於承重構件的位置、火災尺寸)；

-可燃材料分佈及類型；

-通風情況；及

-主動系統及被動防火安全量測狀態，以及其性能與可靠度。

例如，局部區劃火災可能位於靠近柱之角落。區劃有一開啟的門、無撒水頭防護，以及沒有人工介入(住戶或消防單位)滅火。

更多設計火災情境及設計火災之選擇資訊參照 ISO 16733。

5.5.3 設計火災(熱作用)

當評估火災中之結構行為考慮之作用包括從實際的火災情境的熱作用或設計火災。熱作用或設計火災一般已知的為時間溫度關係或時間熱通量關係二者之一。為估計溫度或熱通量對於阻隔(承重及非承重)及結構構件的效應，宜考慮對流及輻射熱效應。

火災影響容積中的溫度為時間及空間的函數。當確定建築環境中的設計火災(火災發展)時，要考慮的參數包括：

- 建築環境幾何(表面積、樓層高度、封閉區間、牆及樓板類型、開口尺寸及位置、玻璃窗類型等)；及

- 火災特性(從既有的文獻或試驗決定依據統計或實際評估的火災負載、通風情況、玻璃破裂，以及熱釋放率)。

此外，設計火災受其他因素影響例如人的行為、主動火災保護量測，例如撒水頭系統，以及消防作業。這些因素宜考慮熱通量時間關係或溫度時間關係較好的評估。

計算中使用的設計火災宜代表真實火災發生的事件；參照圖 3。當處理真實的火災，設計中關鍵因素為考慮火災情境之定義。可以就不同的火災類型之間區別：

a) 一個公稱火災由良適定義的溫度時間曲線來表示，例如標準 ISO 火災的、碳氫化合物火災、外部火災等，雖然這些曲線一般用在國家法規對於建築構件進行試驗及評級，其與真實火災的關係如何不是確立的且因此不宜用於評估結構安全程度。

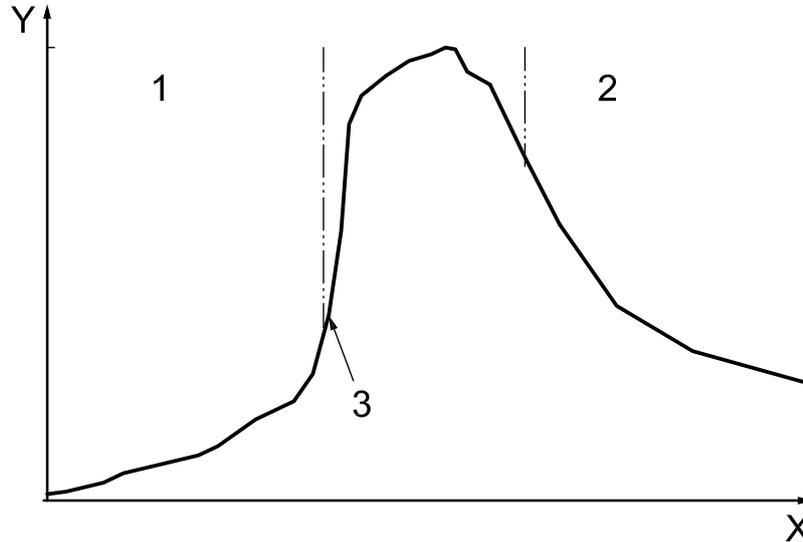
b) 「分析性」火災，對氣體溫度有影響的主要考慮參數，但其仍然僅為真實火災的大略近似，例如參數火災、外部結構的構件(火焰來自開口或外面火災例如荒地火災)熱曝露、局部(羽流)火災等

c) 火災源自建築環境及考慮建築環境幾何中一個或更多個封閉區間中之火災發展計算，其通風(包括窗戶破裂)及特性與燃料分佈，以及從外部火災結構

由外側曝露。

d) 火災源自試驗（但設計者宜檢查此火災對於實際情況的適用性）。

對於火災達到完全發展階段，燃燒速率受限於燃料或可用的通風。在區劃中通風控制燃燒速率是依據空氣流入區劃決定。燃料層控制火災發生頻率低於通風控制火災且預期僅於特定情況下，例如儲存類型使用性質或具高通風程度的外部火災。



說明：

- X 時間
- Y 溫度
- 1 引燃階段
- 2 火災衰減
- 3 閃燃

圖 3 實際火災特性

評估用於結構防火安全之不同設計火災類型，可使用計算方法或模式，包括：

- a) 簡單解析公式(例：對於在單一封閉區間中之火災發展)，其包含假設及近似表示式；
- b) 數值計算(例：對於在一個或更多封閉區間中之火災發展) 依據高等的計算模式包括：
 - 1) 單區域模式，一般應用在後閃燃情況；
備考：假設封閉區間是均質氣體性質
 - 2) 兩區域模式，依據如下假設，燃燒產物在天花板下層蓄積，具有與較低冷層的水平界面；
 - 3) 場模式以數值求解控制燃燒的微分方程式並給出封閉區間所有點計算的量。

更多設計火災情境及設計火災之選擇資訊參照 ISO 16733。

5.6 結構熱反應

防火安全要求之結構設計計算構件直接或間接受到熱作用之溫度分佈。當已知承重構件或非承重的阻隔構件上的熱條件(例：熱通量、溫度)時，考慮下列因素可將溫度場計算為時間的函數：

- 從火焰及煙透過輻射及對流熱傳到結構構件；

—構件內部的熱傳(固體構件情況主要由傳導，但當構件內部有孔穴時也由對流及輻射)；及

—熱損失至相鄰的構件、相鄰空間或材料。

溫度可沿著構件變化，或者因為火災局部作用或因為熱向建築環境之非加熱區域傳遞。計算構件溫度分佈，可以做不同的假設/簡化：

- a) 具高熱傳導性材料(例：鋼或鋁合金)製成的完全被包裹的構件：通過橫斷面的均勻溫度；
- b) 具加熱在一側之簡單平坦構件(例：平的混凝土板)或軸對稱構件完全包裹(例：圓形的混凝土或混凝土填充柱)：一維熱傳；
- c) 得到橫斷面的溫度場：二維(2D)熱傳；及
- d) 得到沿其軸或在其表面上具非均勻溫度分佈構件內的溫度場：三維(3D)熱傳分析。

宜知道周圍氣體及邊界之參考時間—溫度關係或時間—熱通量(參照 5.5.2)，以及有關的材料熱性質。對於相關的參考溫度，這些熱性質包括熱傳導度、比熱、密度(當其隨溫度變化時)、熔點及其他相變化點。宜特別關注其得到熱性質之條件；適合於已知火災嚴重性(參照 ISO 834-1:1999，圖 7)的熱性質可能不適合其他火災嚴重性。

此外，為得到準確的溫度場，可以考慮質量傳遞(由於在許多結構構件中的含水率)，或如直接考慮質量傳遞證明是困難的則至少宜適當地選擇比熱。此外，如發生剝落、融化及材料發生破裂，溫度場可能改變。

5.7 結構機械反應

結構構件的加熱可能導致膨脹(例：鋁、鋼、混凝土)或收縮(例：木材)、可能的熱梯度，以及一般機械性質降低如勁度及強度。這些效應，連同機械作用，導致變形。加熱結構的機械分析之目的為評估：

- a) 在已知曝火期間後之承重能力；或
- b) 結構或其部分的變形。

承重能力隨溫度減少，而變形一般隨溫度增加。這兩個量需要依據溫度機械性質之知識。

依據兩種可能的表示來執行結構防火性能之分析：

—整體結構分析宜考慮在曝火中相關的失效模式，溫度相關的材料性質及勁度，且可能導致結構構件之間交互作用之熱膨脹或收縮效應。

—結構部分的分析。在此情況下，在待分析的結構部分與結構的其餘部分之間的邊界處之負載及束制大小，假設在曝火期間與時間無關，亦即加熱構件之熱膨脹或收縮效應僅考慮在結構部分內而不在其邊界處。因為在此分析類型一些邊界條件在火災期間保持恆定，設計者應記住在計算中存在不確定度。

主要在處理標準耐火要求(ISO 火災或其他標稱火災)時適用的構件分析，不在此技術規範範圍中且已在其他 ISO 文件中提及。在此情況中，熱膨脹或收縮、連續及負載重分配效應通常被忽略。

5.8 評估對抗防火安全目的

為了評估結構是否對於給定的火災情境具足夠的防火安全程度(確定符合目的)，相關的性能基準宜與分析結果、試驗及/或判斷比較。這可以由比較結構構件最大變形來實現，或者如合適的話，崩塌時間。

使用與選擇的策略相關的性能基準評估防火安全結構設計成度。對於承重功能，

其可能為：

- a) 火災或其部分在整個期間的承重能力(最終限制狀態)；
- b) 相對於承重阻隔構件的遮焰性(撓曲限制狀態)之撓曲/收縮/伸長的限制；及
- c) 結構在火災後可修復(重新可服務性或重新使用性限制狀態)的結構損壞的限制(剝落、腐蝕、炭化、變形)。

關於非承重的阻隔功能，其可能為：

- 非曝火面溫度限制；
- 從構件非曝火面輻射承度限制；及
- 裂縫及邊界變形限制，以降低通過構件的洩漏（例：火焰及煙）。

對於樓板及承重牆，應符合此二功能。

5.9 結構防火安全設計之文件化

向參與設計過程的所有利害關係人及受影響方提供結構防火安全評估的文件，以幫助更了解範圍、計算方法、假設及評估結果。文件提供結構防火安全評估詳細資訊，包括下列：

- a) 利害關係人及受影響的各方：評估的參與者及其角色)
- b) 計畫範圍：
 - 1) 建築環境描述，包括住戶類型、建築環境尺度、區劃，以及開口；
 - 2) 與防火安全性能有關方面，包括結構材料類型、建築內容(可燃材料之數量及類型)、住戶負載、設計結構的負載、防火管理及維護計畫表；
 - 3) 評估目的；
 - 4) 在評估中所考慮之評估範圍也宜包括限制及邊界。
- c) 結構防火安全目的、功能要求及性能基準：用於評估的目的、功能要求及基準，以及這些如何發展。
- d) 結構防火安全嘗試設計計畫：此文件部分宜提供用於評估結構防火安全策略細節。
- e) 設計火災情境及設計火災：此文件宜說明使用的情境代表建築環境曝火的情境全體及評估過程使用的設計火災。
- f) 評估方法：宜概述用於火災發展之方法、熱分析及結構分析，包括其適用性及使用限制。
- g) 資料來源：用於評估的資料來源，以及其適當性基本理由應文件化。
- h) 評估結果的評鑑：文件宜包括評估結果並比較設計開始所建立的性能基準。此宜認證所考慮的結構防火安全設計之適當性。
- i) 總結及結論(如有的話)。

5.10 量化過程中要考慮的因素及影響

5.10.1 材料性質

5.10.1.1 熱性質

熱傳計算宜考慮所包含的每種材料熱性質相關的資料為溫度函數，包括：

- 比熱；
- 熱傳係數；
- 密度；
- 含水率。

相關的材料是用於構造的材料，包括可能影響結構構件的溫度之任何防護材料、內襯及聲學的產物。

5.10.1.2 機械的性質

一般而言，建築環境中的材料在高溫下失去強度及勁度，導致減少其承重能力及變形增加。

機械行為計算宜考慮相關的機械性質資料如包含每種材料的溫度函數，包括：

- 在高溫的應力-應變關係；
- 強度及勁度折減係數；
- 由於高溫的膨脹或收縮；及
- 當須要時，由於溫度效應，斷面的劣化(由炭化、剝落等)。

考慮的材料主要用於阻隔及結構構件，以及任何可能影響變形及穩定性的其他材料。

5.10.1.3 材料性質之不確定度

阻隔及結構構件的熱及機械反應受到性質的變異性影響，其可能由於材料來源、製造過程，或現場構造方法。

對於機械性質，一般假設使用相關標準之標稱性質。實際上，在收到狀態下結構材料的強度程度與標稱值是不同的，且一般反應在高溫時的行為。以鋼材為例，強度(降伏與極限拉伸強度)在高溫下通常確保在標準以上。同樣適用於運送至現場的預鑄產品，例如砌石及預鑄混凝土板。當材料在現場生產(就地)，產品性質較少控制。木材一般分類為軟木或硬木，使用如此大範圍試圖覆蓋所有木材種類引入相當大的變異性在特徵性質中。因此，引用的標稱性質一般具有一定程度的不確定度及潛在的保守性。

結構材料熱性質的變異受特徵參數如含水率及相變化的影響甚大。在混凝土中，自由水分含量對於比熱以及約在 100 °C 的留置時間有主要的衝擊，在留置時間自由水分轉換為蒸汽且熱透過蒸發潛熱損失。因此，宜注意指定最小的含水分程度予熱傳模式以避免低估熱傳遞。材料的相變經常伴隨著熱含量(潛熱)變化，這些一般建立良好且眾所皆知，例如對於比熱及熱導性的效應。熱傳遞強烈地依賴於材料表面熱放射率且可在火災期間顯著變化。例如，在環境溫度下鋼的放射率大約為 0.8，但是若鋼表面在加熱期間氧化，放射率可上升至 1.0。而熱模式一般考慮比熱及熱導性變化，很少考慮放射率變化且反而採用單一值。

5.10.2 連續及束制效應(構件及材料之間的交互作用)

當評估火災結構行為[亦即火災蔓延風險透過阻閣隔(承重及非承重)構件及/或承重結構崩塌風險]，宜考慮在已知構件內材料之間或構件之間具不同的加熱程度可能的交互作用。此可影響由材料組合之複合構件，或者形成系統的構件。若無準確可用的計算方法，火災行為由結構構件上已知的時間溫度曲線(例：CNS 12514-1)的耐火試驗性能獲得，不容易轉換為其他熱作用。

當評估結構防火性能時宜考慮之一些物理現象如下：

- a) 在已知的構件內材料交互作用及在整體系統中不同構件之間的行為，例如與剪力連接器連接之複合混凝土-鋼構件。
- b) 構件之間的交互作用例如在柱/牆上方的樑/樓板之伸長。當確定承重結構之防火性能宜鼓勵試驗考慮構件之間的交互作用，而不是單獨構件(梁、柱、樓板，牆)。的確，實際上，梁及/或樓板之加熱並導致伸長造成額外剪力或

由於周圍構件之束制增加彎曲力矩在柱上方。此不良效應可能導致早期柱崩塌。此宜考慮在結構防火性能設計中。

- c) 全尺度行為。在實際的結構或結構部分施行全尺度試驗已顯示，使用對於「簡單」實驗室試驗結果(例：簡支梁) 驗證的計算機模式可能低估整體結構實際的火災行為。

5.10.3 試驗結果之使用

阻隔及結構構件主要依據 CNS 12514-1 試驗評估。此試驗類型中獲得關於阻熱性及遮焰性失敗之防火性能，在真實火災中可能不是這些構件準確的性能指標。

一般必須使用代表設計火災相關的時間溫度曲線進行試驗具或適當的(及確認) 計算模式將給定的防火曲線之已知轉換為依據其他防火曲線預期結果。

5.10.4 火災蔓延路徑

有許多直接及間接路徑，火災可蔓延到相鄰的封閉區間或空間，伴隨二次引燃及火災成長風險。許多這些路徑已經在 ISO/TR 13387-6 識別。圖 4 已從 ISO/TR 13387-6:1999，圖 2 中給出的機制及路徑導出。

圖中說明潛在的火災蔓延一些更常見的路徑。在許多事例中，此外為確認直接路徑，設計者宜考慮火災經由獨立空間在相鄰封閉區間之間蔓延的潛在性。這些火災蔓延路徑經常表示直接蔓延路徑的組合且宜視為個別的系列直接蔓延機制。

所有從封閉區間的火災蔓延潛在路徑宜量化且宜確定火災蔓延達臨界條件時間。此與「需要」火災蔓延時間之間的任何缺口宜藉由提高相關構件的抑制火災及煙的能力。然而，在專家或工程判斷可識別最容易受快速火災及煙蔓延影響的路徑情況，可能減少設計工作量。是否發生火災蔓延受環境影響，在火災封閉區間內及相鄰空間內，以及對二次引燃之易感性。

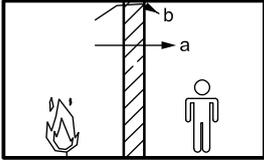
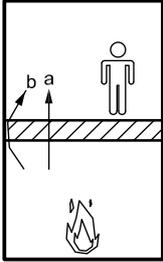
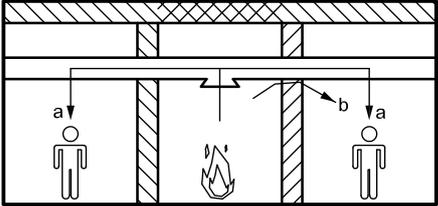
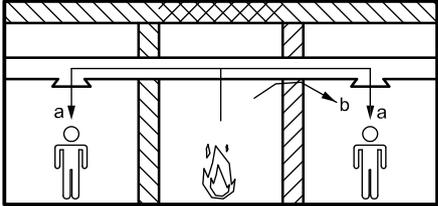
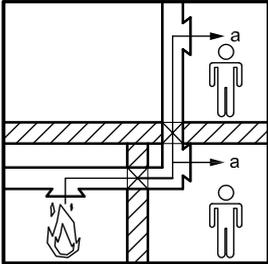
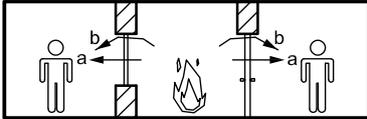
<p>牆</p>  <p>^a 蔓延路徑: 透過牆, 或開口建立在牆, 或邊緣附近。 ^b 蔓延機制: 傳導 [對流], 直接熱解(崩塌或引燃)。</p>	<p>樓板</p>  <p>^a 蔓延路徑: 透過樓板, 或建立在樓板上的開口, 或邊緣附近。 ^b 蔓延機制: 傳導 [對流], 直接熱解(崩塌或引燃)。</p>
<p>無開門水平管道 (1)</p>  <p>^a 蔓延路徑: 沿著或透過水平管道。 ^b 蔓延機制: 傳導、對流。</p>	<p>無開門水平管道 (2)</p>  <p>^a 蔓延路徑: 沿著或透過水平管道。 ^b 蔓延機制: 傳導、對流。</p>
<p>開門管道</p>  <p>^a 蔓延路徑: 透過開門或建立之開口。 備考 蔓延機制: 對流、傳導。</p>	<p>開口防護</p>  <p>^a 蔓延路徑: 透過門、玻璃窗等級和開口建立在其或邊緣附近。 ^b 蔓延機制: 傳導、輻射, 直接熱解(崩塌或引燃)。</p>

圖 4 (接續)

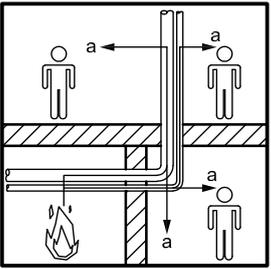
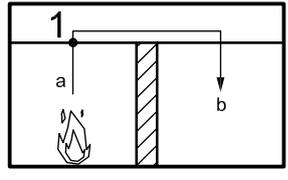
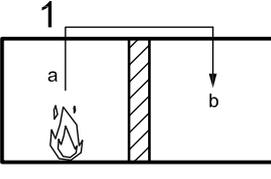
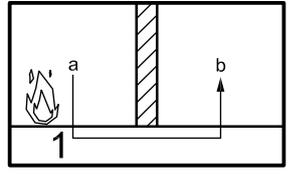
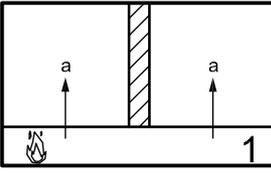
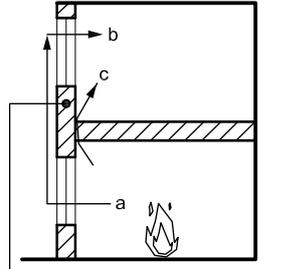
<p>服務(管/電纜及支撐)</p>  <p>^a 蔓延路徑:火災傳遞透過服務或經由穿入供應服務。 備考 蔓延機制:複合的,包括輻射、質量傳遞、傳導。</p>	<p>懸掛式天花板空隙</p>  <p>說明 1 天花板上空隙 蔓延路徑: ^a 封閉區間至天花板空隙。 ^b 天花板空隙至相鄰封閉區間。 備考 蔓延機制:複合的,包括熱解、質量傳遞及傳導。</p>
<p>屋頂</p>  <p>說明 1 在外部屋頂 蔓延路徑: ^a 封閉區間至屋頂。 ^b 屋頂至相鄰的封閉區間。 備考 蔓延機制:熱解、輻射。</p>	<p>高架地板空隙 (1)</p>  <p>說明 1 空隙 蔓延路徑: ^a 封閉區間至地板空隙。 ^b 空隙至相鄰封閉區間。 備考 蔓延機制:複合的,包括熱解、質量傳遞、傳導及對流。</p>
<p>高架地板空隙 (2)</p>  <p>說明 1 空隙 ^a 蔓延路徑: 經由地板空隙至封閉區間。 備考 蔓延機制:傳導及對流。</p>	<p>外牆/窗</p>  <p>說明 1 正面表面 蔓延路徑: ^a 封閉區間至正面表面。 ^b 正面至相鄰封閉區間。 備考 蔓延機制:複合的,包括表面熱解。</p>

圖 4 (接續)

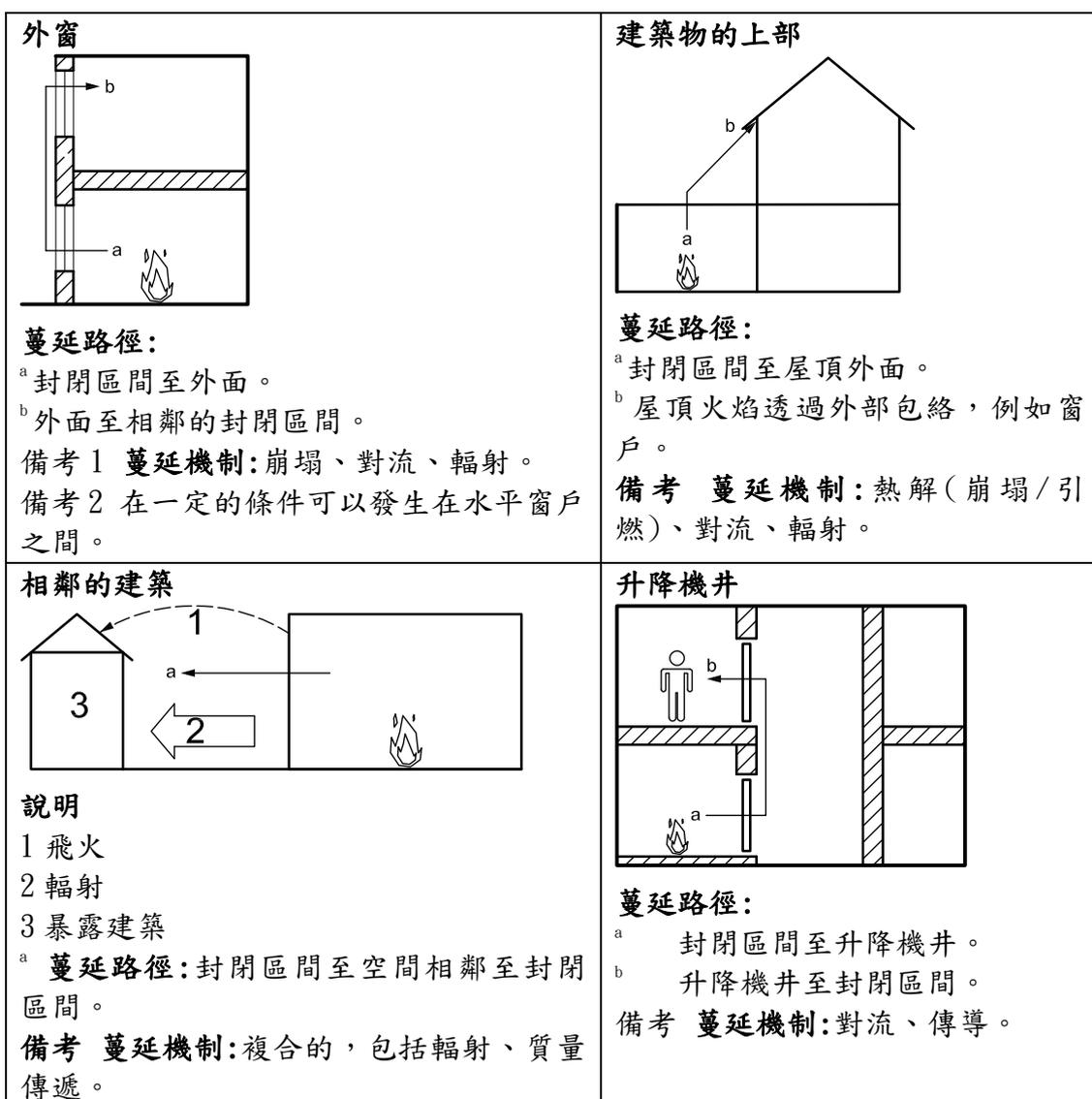


圖 4 火災蔓延路徑

6 工程方法使用指引

結構行為之評估，在實際火災情況中，使用下列方法：

- 計算方法；
- 實驗的方法；
- 專家(或工程)判斷。

一般而言曝露於火災情況的結構之預期行為是這三種方法之組合。這是因為目前無單一方法能夠提供完全必須答案。

6.1 使用計算方法

計算方法提供一種方便的方法以瞭解在火災情況可能發生的現象，並評估在火災情境變化下結構的行為。有數值模擬工具，可用於計算結構中加熱構件之熱傳、變形及承重能力。然而，使用者宜知道其限制是由於：

- 確認計算方法之限制數量；
- 目前不可能準確模擬一些物理現象例如剝落；

— 缺乏用於構成結構構件材料高溫時熱及機械性質資訊。

因為這些限制，使用計算方法評估結構防火性能較安全的方式，為首先查證模式及輸入數據能力，以模擬已知試驗代表性的樣本之行為，由檢查設計及熱曝露足夠接近最後目標。

由計算預測非承重的阻隔構件，例如隔間牆、門、閘門等之結構防火行為仍然是困難的。雖然可能透過多層元素進行熱傳計算，但仍然非常困難預測以任何準確度在邊界上熱分佈以及遮焰性方面的性能。目前，計算方法僅用於當改變試驗構件之設計或尺寸時提供可能發生的物理現象較好理解。在所有情況中，參考試驗結果及專家判斷對於這些隔間牆構件仍然是必須的。

6.2 使用實驗的方法

至於以試驗評估，必須承認結構防火安全實驗是昂貴的，因此通常必須限制要試驗的數目、尺寸及複雜度。三個可能性宜考慮：

- a) 單獨構件或構件之組件根據已知熱作用(設計火災)的實驗，導致結果接近相對於真實火災中預期的行為。此方法主要用於設計火災準確地定義，在此可能以足夠準確度之邊界條件再現試驗構件或組件，且在此試驗構件可能應用足夠大以至於值得投入。此方法適用於任何熱作用(以溫度時間關係表示)及對於任何構件(梁、柱、隔間牆、牆、門、天花板、樓板，以及管道、閘門等)或構件組件需要的評估。在此情況，試驗結果直接使用於評估及要求僅較少的解譯。
- b) 依照標準火災(CNS 12514-1 或其他標稱火災)對單獨構件實驗。因為結構構件將依照此熱作用繼續試驗以符合規定的要求或視同符合解決方案，試驗結果宜使可用且宜用於評估。然而，宜比先前的情況考慮更多限制：
 - 1) 主要單獨構件經過試驗且試驗結果很少用於組件。
 - 2) 取決於用於試驗的標稱火災及設計火災現象之間的相對火災發展，當對設計火災中的建築環境行為進行專家判斷，宜考慮諸如熱變形、強度及剛性如此溫度函數，以及收縮有關的因素。
 - 3) 對於防火工程目的使用這些試驗結果是值得建立的規則。既有的或新發展的規則可用於將標準火災試驗與真實火災試驗結果相關聯，以使既有的標準數據維持有用。如此作的一種方法是發展評估方法，對於試驗結果進行檢查，用於評估相關火災設計之相同元素，然後用於評估其他邊界條件的元素。
 - 4) 此外，有需要改進許多常規(標準)試驗之使用儀器執行在常規基礎以提供更多資訊在結構構件之火災行為。在這些防火試驗中另外可能得到包括初始應力條件、變形及撓曲、溫度分布、束制力、從非曝火表面的熱通量，以及火焰及/或煙洩漏的資料。
- c) 實驗使用全尺度行為代表整體的結構。此類試驗非常昂貴且費時，且宜僅在非常罕見的情況執行以用於研究真實的行為，並收集將用來確認數值模式資料之目的，反過來將用於研究結構之行為。此試驗類型也宜用於提供已知的構造計畫直接的答案。

6.3 使用工程判斷

所有試驗及/或計算所得資訊，將協助防火專家作預期結構防火行為之全面評估。專家主要關注點之一是依據失效基準以評估不同的熱作用(加熱速率、達到最大溫度、冷卻階段)可能的衝擊。

參考書目

- [1] BUCHANAN, A., Structural Design for Fire Safety, John Wiley and Sons, New York, USA, 2001
- [2] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fourth Edition, National Fire Protection Association, Quincy, USA, 2008
- [3] PURKISS, J. A., Fire Safety Engineering Design of Structures, Second Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2007
- [4] Structural Fire Protection, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 78, T.T. Lie, editor, America Society of Civil Engineers, New York, 1992
- [5] EN 1991-1-2:2002, Eurocode 1:Actions on structures — Part 1-2:General actions — Actions on structures exposed to fire
- [6] EN 1992-1-2:2004, Eurocode 2:Design of concrete structures — Part 1-2:General rules — Structural fire design
- [7] EN 1993-1-2:2005, Eurocode 3:Design of steel structures — Part 1-2:General rules — Structural fire design
- [8] EN 1994-1-2:2005, Eurocode 4:Design of composite steel and concrete structures — Part 1-2: General rules — Structural fire design
- [9] EN 1995-1-2:2004, Eurocode 5:Design of timber structures — Part 1-2:General rules — Structural fire design
- [10] EN 1996-1-2:2005, Eurocode 6:Design of masonry structures — Part 1-2:General rules — Structural fire design
- [11] EN 1999-1-2:2007, Eurocode 9:Design of aluminum structures — Part 1-2:Structural fire design
- [12] Fire Engineering Guidelines, First Edition, March 1996, Fire Code Reform Centre Ltd, Sydney NSW, Australia.
- [13] DRYSDALE, D., An Introduction to Fire Dynamics, Second Edition, John Wiley and Sons, New York, USA, 1999
- [14] CIB W14 - N269 - Rational fire safety engineering approach to fire resistance of buildings, 2001
- [15] ISO/TR 12470, Fire resistance tests — Guidance on the application and extension of results
- [16] ISO/TR 12471, Computational structural fire design — Review of calculation models, fire tests for determining input material data and needs for further development
- [17] ISO/TR 22898, Review of outputs for fire containment tests for buildings in the context of fire safety engineering
- [18] ISO/TR 13387-1, Fire safety engineering — Part 1:Application of fire performance concepts to design objectives
- [19] ISO/TR 13387-6:1999, Fire safety engineering — Part 6:Structural response and fire spread beyond the enclosure of origin
- [20] ISO 16730, Fire safety engineering — Assessment, verification and validation of calculation methods
- [21] ISO 16733, Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires

- [22] ISO 13824, Bases for design of structures — General principles on risk assessment of systems involving structures
- [23] BS 7974:2001, Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice

附錄十四 防火安全工程 — 設計住戶行為的情境選擇

Fire safety engineering — Selection of design occupant behavioural scenarios

緒論

在防火安全工程評估中，考慮住戶預期出現在建築物或其他結構，評估每一設計火災情境住戶安全逃生或找到設定的避難所地方的能力。

本技術規範之目的為簡要列出用於住戶生命安全之特定防火安全目的之選擇設計火災情境一般方法，然後發展住戶行為情境於那些將要試驗的設計火災情境。ISO 16733-1 提供一般設計火災情境之選擇指引。

因為每一設計火災情境可能需要數個不同住戶行為的情境，在任何建築環境中（建築物、結構物或運輸車輛）可能的設計住戶行為情境數量可能非常大，且不可能將其全部量化。此大量可能性組合需要減少至經得起檢驗分析易於控制的少量住戶行為情境的組合。在確定性評估中，於本技術規範中含蓄地設想，選擇設計住戶行為情境可控數量。對於完全定量的風險評估，參照 ISO 16732-1。住戶行為情境的特性包含初始住戶分佈、數量以及人口的其他族群特性之描述，包括其反應及響應能力。住戶行為情境將具體決定於每一設計火災情境，其本身包括建築環境之交互作用提出的火災防護功能特性。需要考慮每個火災情境對於每個住戶行為情境之可能結果。

設計住戶行為情境選擇之後，必須描述情境量化將依據的住戶行為假設的特性。這些假設的住戶行為特性被稱為“設計住戶行為”。設計住戶行為通常以移動預備行進作業延遲時間（響應及反應時間）及住戶移動速率為特徵。設計住戶行為需要適當的防火安全工程分析之生命安全目的且設計解決方案結果必須是保守的。

1. 範圍

本技術規範說明用於任何建築環境包括建築物、結構或運輸車輛之確定性防火安全工程分析嚴格但可信的設計住戶行為情境選擇之方法。

住戶行為的情境連結至設計火災情境，設計火災情境選擇及設計火災之指引，參照 ISO 16733-1。遵循 ISO 16733-1 中的步驟在本技術規範中住戶生命安全為單一考慮之防火安全目的

ISO/TR 16738 提供在設計情境中人員的避難行為量化方法之資訊。該過程的一部分包含住戶行為情境的選擇。本技術規範提供逃生設計評估方面之指引。

本技術規範說明發生火災引燃後之行為，不處理影響火災引燃之行為。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年分者，適用該年分之版次，不適用於其後之修訂版（包括補充增修）。無加註年分者，適用該最新版（包括補充增修）。

CNS 14651 建築物防火詞彙— 一般火災現象用語

CNS 14652 建築物防火詞彙— 防火試驗用語
CNS 14996 建築物防火詞彙— 防火安全用語
ISO 13571:2012, *Life-threatening components of fire — Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires*
ISO 13943, *Fire safety — Vocabulary*
ISO 16733-1:2015, *Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires — Part 1: Selection of design fire scenarios*
ISO/TR 16738, *Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people.*

3. 用語及定義

CNS 14651、CNS 14652、CNS 14996、ISO 13943、ISO 23932 及 ISO/TR 16738 所規定及下列用語及定義適用於本標準。

備考：當用於防火安全工程中時一些定義已更新以反應目前的用語瞭解。為方便本文件使用者，於此重複了一些。

3.1 可用的安全逃生時間(ASET, available safe escape time)

對於個別住戶，計算引燃時間與估計住戶變成無行為能力情況的時間之間的時間間隔，亦即無法採取有效的行動逃生到安全避難所或安全地方。

備考 1：引燃時間可能已知，例如在火災模式或火災試驗情況，或可能是假設，例如可能是依據偵測時間回溯估計。需要陳述確定引燃時間之依據。

備考 2：此定義等同對逃生失能與失效，其他 ASET 基準是可能的，如選擇替代基準，則必須陳述。

備考 3：每個住戶可具有不同的 ASET 值，取決於住戶個人的特性。

[來源：ISO 13943:2008， 4.20，修正的]

3.2 建築環境(built environment)

建築物或其他結構

例：海域平台；土木工程，例：隧道、橋梁，以及坑道；以及運輸方法，例：機動車輛及海用船舶。

備考 1：ISO 6707-1 包含許多建築環境相關概念的用語及定義。

[來源：ISO 13943:2008， 4.26]

3.3 設計火災(design fire)

假設的設計火災情境 (3.4) 中火災特性之定量描述

備考 1：其為典型重要的火災變數隨時間變化理想化的描述，例如熱釋放率、火焰傳播速率、煙產生率、毒氣體產生，以及溫度。[來源：ISO 13943:2008， 4.64]

3.4 設計火災情境(design fire scenario)

特定的火災情境 (3.7) 進行確定性防火安全工程分析

備考 1：由於可能的火災情境數可能非常大，必須選擇最重要的情境(設計火災情境)進行分析。設計火災情境之選擇是為火災安全設計目的且考慮潛在情境的可能性及結果所專用。[來源：ISO 13943:2008， 4.65]

3.5 設計住戶行為(design occupant behaviour)

設計住戶行為情境 (3.6) 中住戶行為的特性之定量描述

備考 1：通常為避難或避難所需要的時間理想化之描述，由辨識、反應，以及行進組成。實際變數包括延遲時間、行進距離，以及行進速率。

例：體育場中喝醉的年輕人比那些沒有喝醉的在開始避難前可能延遲較長時間；

療養院的老人可能比其他成年人行進更慢；喝醉的人可能有更大困難做決定且因此可能花更多時間來做出口選擇。

3.6 設計住戶行為的情境(design occupant behavioural scenario)

特定的住戶行為情境將進行確定性防火安全工程分析。

3.7 火災情境(fire scenario)

火災過程相對於時間的定性描述，從其他可能的火災辨識關鍵事件表徵研究火災及區分。

備考 1: 典型地定義引燃及火災成長過程、完全發展火災階段、火災衰退階段，以及火災過程對環境及系統之衝擊。 [來源: ISO 13943:2008, 4.129]

3.8 住戶行為情境(occupant behavioural scenario)

住戶行為及隨時間反應的定性描述，包括住戶數目、影響其對火災信號反應決定及行動的物理及認知的特性、從其他住戶區分成員關鍵特性辨識。

備考 1: 典型地說明整體成員的數目以及將衝擊做決定與行為的過程之其他特性及能力(亦即較年長的住戶可能不太容易聽到警報且可能比較年輕的住戶移動更慢；工作人員可能更快認出警報及反應且在其避難前從事救援作業)。

3.9 預備行進作業時間(PTAT, pre-travel activity time)

對於個別的住戶，在火災警報給予的時間及首位住戶朝向出口移動的時間之間的時間。

備考 1: 此包含兩部分: 辨識時間 (3.10)及反應時間 (3.11)。

備考 2: 對於住戶族群，可辨識下列兩階段:

—首位住戶移動的預備行進作業時間;

—首位及最後移動住戶分布之間預備行進作業時間。

[來源: ISO/TR 16738:2009, 3.9]

3.10 辨識時間(recognition time)

火災警報發出及第一個對警報反應時間之間的時間 [來源: ISO/TR 16738:2009, 3.10]

備考 1: 此概念在 ISO/TR 16738:2009, 附錄 B 中徹底地討論。

3.11 反應時間(response time)

事件發生首位反應及開始行進至安全位置的時間(3.13)之間的時間。

[來源: ISO/TR 16738:2009, 3.11]

備考 1: 此概念在 ISO/TR 16738:2009, 附錄 B 中徹底地討論。

3.12 需要安全逃生時間(RSET, required safe escape time)

計算個別的住戶從其位置在引燃時間行進至安全避難所或安全地方需要的時間

[來源: ISO 13943:2008, 4.277]

3.13 安全位置(safe location)

位置遠隔或從火災效應分離。因此，如此效應不再構成威脅

備考 1: 安全位置可能是建築物內部或外部取決於避難策略。

[來源: ISO/TR 16738:2009, 3.12]

3.14 行進時間(travel time)

一旦開始朝向出口移動，對於建築物特定部分的住戶抵達安全位置所需時間，(3.13)

[來源: ISO/TR 16738:2009, 3.14]

4. 防火安全工程應用

4.1 防火安全設計中住戶行為情境的角色

當設計建築環境，有預期的(計畫)用途及使用者。為完成工程設計評估，發展設計火災情境顯示設計將符合其防火安全設計目的。此過程大綱列於 ISO 16733-1 中。

當生命安全為設計目的之一，評估顯示住戶從火災中受保護及其效應程度。評估宜包括:建築物的使用者及/或住戶、角色、需要、預期能力，以及住戶將是否以及如何對火災做出反應。這些因素使得設計所提供生命安全程度能夠確定。

正如防火安全評估要求火災情境適合於建築物的設計及預期使用，評估也要求反映預期的族群及其特性之住戶行為情境，如本技術規範之說明。

4.2 在防火安全設計中設計住戶行為情境的角色

由工程設計所提供之生命安全評估要求評估，在火災引燃後直到抵達指定安全地點的此段時間中住戶是否受到保護。

防火安全管理系統對於建築物及發展火災情境建議，建築物內住戶的位置，在任何時間，正常使用與緊急情況時，住戶位置隨時間變化的方式取決於建築物及住戶特性相關的各種參數之交互作用。基本上有五個類別資訊要求確定火災期間住戶位置(及條件):

- a) 建築物特性;
- b) 防火安全管理策略/程序;
- c) 住戶特性;
- d) 火災動力學，包括煙傳輸;
- e) 干預效應;
- f) 火災排放物對個別住戶之緊急效應，其程度有定量知識作為評估基礎。

暴露在火災排放物長期效應也宜考慮，其程度有定量知識作為評估基礎。

事件中住戶位置的改變取決於預備行進作業過程(包括辨識及反應)及移動過程。每個這些過程發生在一段時間: 辨識時間、反應時間，以及移動或行進時間。可對每個個體、在相同位置的人群估計這些時間，或可對於建築人口估計時間分佈。這些時間之計算是評估工程設計必要的工作。

在評估設計選項時，將會:

- 取一建築，如同設計的，包括其避難計畫及防火安全管理計畫;
 - 確定要考慮的各種類型的潛在住戶(例:工作人員與訪客、身心障礙的與身強力壯的等);
 - 確定相關的設計火災情境給定識別的住戶族群;
 - 對於每一設計火災情境，評估每種住戶類型預測的結果;
 - 比較建築物相關部分可用及要求的逃生時間(亦即如依建議設計，估計建築物中可能發生的火災範圍對人造成的傷害，並將該傷害與由計畫利害關係人設定之可接受傷害程度比較);
 - 在計算的每個步驟，提供不確定度估計，此為在最後的評估中將是重要的。
- 為了如此做，將會:

- 1) 確定設計住戶行為情境，包括初始輸入，以及反應資料(如果須要);
- 2) 選擇適當的避難計算方法;
- 3) 火災模擬並使用避難計算方法;
- 4) 將結果與 ISO 13571 中給出的估計可用來逃生時間指引進比較。

對於特定的設計可能有數個防火安全目的要評估，當生命是所要考慮的目

的，建構住戶行為的情境，其可能與其他防火安全目的相關。

不可能分析所有情境即使在最尖端的計算資源協助下，此無限可能性組合需要減少到較小，可管理的分組組合或適合分析的情境群集及集體代表住戶數目的組合範圍及可能提出的其他特性。

一旦選擇住戶行為情境並評估，修正建築環境設計直到分析顯示估計相關火災風險與設計是可接受地低，並符合相關的性能基準與特定的防火安全目的。

對於分析目的之設計住戶行為的情境的特徵化包含如此事物之描述如住戶數量、其於建築環境各處位置、辨識及反應火災信號的能力或無能力，以及移動通過可用的逃生路徑的能力或無能力。當與生命安全目的相關時，煙及火對人的衝擊為設計住戶行為情境潛在相關結果的一部分且為該情境特徵化的部分。住戶辨識、反應及移動的特徵化或量化屬於“設計住戶行為”。一些後來的事件將可從較早期事件透過防火安全科學之使用來預測，及情境中事件序列之特徵化應與此科學一致的。

5. 為生命安全目的 ISO 16733-1 聚焦步驟

5.1 程序概述

在此三部分過程中的第一部分，遵循 ISO 16733-1 中說明的設計火災情境選擇前六個步驟，其將遵循住戶生命安全之防火安全目的。此節其餘的部分提供這些步驟的指引。

第二，遵循 ISO 16733-1，步驟 7 至 9 選擇相關的情境。

第三，使用第 6 節及第 7 節中所提大綱之建立及選擇住戶行為情境評估設計。

5.2 步驟 1—識別特定的安全挑戰

在此步驟，考慮預期建築物的使用，以及對於每個預期的使用，應考慮潛在使用者的變化。對於評估生命安全，此步驟通知確定結構、火災及任何相關的安全系統的特性之過程。

建築物使用者將最終指定在下列的項目中：

- 使用者數目；
- 永久性的/短暫的；
- 避難程序訓練過的 / 未經訓練的
- 潛在的年齡範圍；
- 潛在的行動困難者；
- 醒的/睡著的/無意識/衰弱；
- 社會分類與否；
- 組成住戶整體變異性(例：其將總是相同類型使用者?)。

無須在此階段將預期指定不同的住戶群，而是要識別可能存在之變數且將有在經過步驟 2 至 6 考慮。

因為確定性分析目的為使用嚴格但是可信的情境選擇試驗防火安全設計，迫切的是要識別在與火災結合可能潛在導致設計失敗之問題或衝突。在此這些問題及衝突參照生命安全挑戰。問題可能為住戶特性在緊急情況時導致非最佳反應或移動。衝突可能包含建築物使用與使用者或使用者與建築物布局的不匹配。

5.3 步驟 2—火災位置

此步驟聚焦於最可能威脅住戶的位置，依據其目前生命安全目的之挑戰。挑戰

可能關於火災接近佔用空間或逃生路徑，或其潛在的煙及有毒產物蔓延進入佔用區或逃生路徑。挑戰可能有關於一些住戶將面對如果火災衝擊其逃生路徑時困難做決定。將不蔓延火焰進入、蔓延排放物進入，或除此以外損壞區域的火災，住戶將位於何處可以忽略。

5.4 步驟 3—火災類型

火災開始及成長階段。這些階段為：悶燃、氧化熱解、缺氧的熱解、通風良好的燃燒、通風不良燃燒在不良通風區劃，以及閃燃後燃燒(參照 ISO 19706)。並非所有火災表現出所有階段。

火災對人的威脅是由於火災本身、火災排放物(毒性、刺激性、高溫，以及降低能見度)，以及從排放物與區劃加熱表面之熱輻射。

備考 1 火災的存在可藉由有效阻斷通道、觸動火災警報或火災抑制裝置等改變住戶的行動。

備考 2 曝露於稀釋的火災排放物對住戶行動有行為的影響、減緩移動及增加潛在的猶豫不決或不正確的決定。其降低門和出口標誌的能見度。

備考 3 長時間曝露於或更濃排放物可導致失能：住戶失能可能影響他或她逃生。這些在 ISO 13571 和 ISO 27368 中說明。

備考 4 從悶燃火災之排放物或從缺氧的熱解僅威脅到非常接近可燃物的人。雖然如此的火災可產生高濃度有毒及刺激性氣體，質量損失率小，及在排放物蔓延遠離來源前發生氣體稀釋。當此稀釋發生時，溫度減少，降低熱威脅。

在火災過程中因為排放物組成的特性及濃度變化，取決於燃燒項目和新鮮空氣進出至火災中，對每位住戶的影響隨住戶位置改變，排放物流動模式，以及住戶於排放物中累積曝露。

5.5 步驟 4—潛在的並發危險導致其他火災情境

ISO 16733-1 列出在此步驟宜考慮之幾種危險因素，包括可能同時造成多重火災或使多重安全系統失效之地震及恐怖分子事件，可能妨害結構穩定性的非火災事件，以及存在高危險材料及作業可能引發火災或其抑制複雜化。

這些危險在此宜考慮與住戶安全或避難有關。例如，地震或恐怖分子攻擊可能完全改變預期的避難。亦即，物理環境改變及事物不包括在一般避難將有被考慮，例如碎屑在行進路徑中或由於損壞的樓梯間或擁塞的門切斷路徑。

5.6 步驟 5—系統及功能衝擊火災

此步驟識別防火安全系統及功能在火災過程或無法維持條件的發展可能有重大的衝擊，包括每個情境的系統或功能之初始狀態特性。衝擊火災包括衝擊火災結果，及結果可由系統及功能的衝擊行為(例：通知系統)受影響。

此步驟應說明住戶可以怎樣使用或誤用現有的防火安全系統，那些行動以怎樣衝擊火災成長及蔓延，或系統和特徵以怎樣影響避難及生命安全。

在被動系統及功能應考慮的是門、窗、結構構件、內容物及家具，以及區劃尺寸。建築及住戶族群組成類型(使用)可影響門將關閉或保持打開可能性。如果開啟，門可容許火災及煙蔓延進入佔用區域及避難路徑。如果關閉，情境可在生命安全分析消除，因為其將保護另一側的住戶。另一考慮可以是如住戶將必須移動通過關閉的門，藉由閉鎖機制、把手或門開啟力要求可能會出現困難。

主動系統考慮的包括煙控制系統、抑制系統、樓梯間加壓系統、偵測、警報、通訊系統、防火安全管理，以及消防作業。

備考 1：如有限數量的門同時開啟，則樓梯間加壓系統可能僅功能相當。火災期間，如住戶維持開啟許多如此的門，火災排放物可能進入樓梯間及其他佔用區域。防火安全管理系統在安全系統及功能的有效操作，以及在建築物平常使用中不安全操作最小化可能性有其角色。

備考 2：遠離火災及火災室外，空氣可能分層，熱、煙在上層及對生命安全構成更低威脅的下層。自動撒水系統作動可避免小火災變成無法控制之火災，但增加的層間混合可能造成行進路徑能見度降低。設計者將必須考慮此混合因素對避難時間，以及增強的煙曝露對脆弱住戶的效應。

備考 3：可能影響特定火災情境的其他系統，例如通知及逃生系統，考慮是重要的即使未直接影響火災或煙蔓延。通知系統可警報並指引住戶避難。確定系統的有效性將必須考慮預期的住戶族群的能力殘障。例如，如何將不同感覺障礙的人，例如聽或看，做警示？

逃生系統，例如緊急避難升降機，將衝擊避難，以及防火安全管理計畫將制定訓練目前工作人員的可能性，任何提供訓練之品質，及緊急時整體的計畫與準備。

5.7 步驟 6—住戶行動衝擊火災

當目的為生命安全，此步驟處理如 ISO 16733-1 中之說明，且聚焦於引燃後建築物住戶之行動衝擊火災成長及發展。

在此步驟中，考慮受訓練的工作人員在避難程序或內部消防班存在或缺乏，以及步驟 5 涵蓋之行動。對於此步驟，已經定義的潛在使用及建築物使用者是特別重要的。

備考 1：住戶可能攜帶一些物品進入建築物，可能在避難過程中丟棄，增加或改變火載量配置或影響避難。例如，在機場逃生時行李遺留可能留在逃生路徑，對住戶移動造成危險且可能提供額外燃料到蔓延的火災。

備考 2：受過訓練的住戶可能起始警報或抑制活動。住戶可能改變情況以影響避難或曝露在火災及煙的方式，正面或負面的方式，例如開啟手動排煙口（如受過訓可正確操作），或例如不經意在加壓樓梯間開啟太多門。開啟太多門可能影響加壓系統運作。預期族群移動性將影響許多門即將長時間開啟的可能性。火災管理計畫，例如分階段避難，及訓練發生這種情況可能性可以減至最小。

5.8 步驟 7 到 9 — 情境選擇

最後三步驟在選擇設計火災情境過程描述在 ISO 16733-1。這些步驟討論降低大量潛在火災情境數目至可管理的數目方法，將包括在設計評估中。這些步驟的描述在此不重複但焦點集中在找出最壞可信的情況，亦即設計情境挑戰生命安全目的之完成。

6. 設計住戶行為情境

6.1 住戶行為情境之特性

依據預期的結構使用，設計火災情境將已經選擇同時考慮將衝擊或可能衝擊火災成長及發展之住戶。此時，住戶行為情境組將與每個設計火災情境相關聯。住戶行為的情境代表與非設計因素相關聯的事件及情況之特定組合，例如下列：

a) 建築物使用/活動（預期使用），可隨日、月、季等時間變化；

- b) 預期使用期望的住戶數目及分布；
- c) 初始住戶基本資訊 (例：角色、人口統計特徵、知識及訓練等)；
- d) 住戶對火災排放物組成的感受性；
- e) 識別、反應，及住戶移動能力；
- f) 外部環境情況 (例如天氣)。

為防火安全設計部分、建築物整個壽命可能變化或建築物的不同用途之其他因素，如下：

- 逃生路徑(逃生設計)；
- 是否路徑與火災排放物隔絕；
- 工作人員(存在及/或訓練)；
- 標示；
- 警報系統特性；
- 管理計畫。

其他因素總是被視為設計元素，如下：

- 每個防火安全措施的性能；
- 每個防火安全措施的可靠度。

與設計住戶行為情境相關聯的設計火災情境，將提供火及煙效應之位置與蔓延之資訊。重要的是注意每個火災情境將有一組設計住戶行為的情境與其相關聯，相同住戶行為的情境將不需用在每個火災情境。

6.2 住戶行為情境的識別

6.2.1 一般

選擇設計火災情境同時考慮建築物之使用者及使用。在建立相關的住戶行為情境，特定的選擇應說明那些住戶被設計火災情境衝擊。

如同設計火災情境，任何建築環境中可能的住戶行為情境之數目可能非常大，且不可能將其全部量化。此大量可能性組合需要降低到可管理適合分析的情境組合。

住戶行為情境需要確定初始條件，以便可計算住戶位置變化、任何造成毒性曝露及總避難時間。在事件期間住戶位置任何改變取決於預備行進作業過程和移動過程。預備行進作業過程有兩個部分：識別及反應。每部分發生一段時間：識別時間、反應時間，及移動(或行進)時間。這些時間可以估計於相同位置中每個個體、個體群組，或可針對建築物族群估計時間分佈。這些時間的計算在評估工程設計時是必要的工作。

針對每個設計火災情境，應定義相關的住戶行為情境。然後對於每個情境，使用者選擇或計算適當的時間。

下列屬性為設計定義，且在整體的評估時未變化：

- a) 使用性質類型；
- b) 空間幾何；
- c) 逃生設計(包括出口路徑選項及採光)；
- d) 防火安全管理計畫；
- e) 偵測和警報系統 (功能以外其他特定的設計火災情境可能的問題)。

為每個設計火災情境定義下列屬性，並且對於該火災類型評估每個住戶行為情境是相同的：

- 偵測及警報系統的功能；

- 逃生系統的可用性；
- 火災位置；
- 火災及煙蔓延；
- 火災排放物本質/嚴重性。

以下概述前四個步驟提供對於識別住戶行為情境系統方法。應遵循每個步驟使結果有效。

在國家、省及地方的基礎適當的統計支持住戶行為情境的選擇可能有用的，或與類似產權將要設計的結構分享所有權。如適當的國家統計不可用，則可使用從其他具相似火災或其他避難經驗國家之資訊，然而記住在反應及響應方面於國家及文化之間可能有重要的差異。在應用事件統計時小心行使是必要的，且對於考慮的建築環境可能必須顯示資料是適當的，例如，對於中央火災警報系統熟悉度非常地不同國家之間住戶識別時間可能變化很大，且可能使得資料應用在其他國家不適用。

6.2.2 步驟 A —住戶數目和住戶分布

在此步驟中，住戶數目及其位置的估計比步驟 2 中更詳細。透過將要評估的住戶考慮住戶數目及其位置。住戶行為情境與考慮中的設計火災情境有關，因此火災情境將提供指引為預期的住戶數目及其在整個考慮中的結構之初始位置。例如，如果有關步驟 1 考慮高密度，在此將指定住戶數目。

當考慮擁擠情況，住戶負載可依據在國家規範規定的密度，當那些規定的密度反映最大的可容許負載。在一些國家規範，在規範中的密度可能僅簡單地定義規範應用範圍，並且不意味著作為避難情境之合理的住戶數目。住戶負載可從相似住戶統計或調查獲得。最不利或挑戰的位置之辨識可包含工程判斷。挑戰位置及挑戰住戶負載將是那些特別的情況可能對防火安全措施產生不利的影響的負載。關於住戶彙編之國際比較，參見參考資料 [9]。

備考：高及低住戶密度可以呈現不同挑戰。高密度可能由於擁擠情況造成較長延遲時間，而具低住戶密度，住戶可能沒有群眾跟隨且可能很少人可用來傳播警報訊息。

6.2.3 步驟 B —住戶族群特性

就其實體及認知的屬性定義住戶族群。這些特性或屬性可影響其感知提示訊號、解譯這些提示訊號、反應這些提示訊號、並移動到安全位置的能力。在此方面可能由於年齡、實體情況、健康狀態、失能或損傷之任何困難。任何這些因素預期的組合宜反應在住戶行為情境中。

行為屬性可變化取決於住戶在結構中的角色。住戶可能是居民、訪客，或工作人員之成員。訪客可能對於所有關於建築物沒有資訊。居民將是建築物經常的使用者，但可能不負責處理緊急情況。工作人員成員也將是結構的經常使用者且可能或可能不會在促進避難中扮演角色。例如，高層公寓建築物居民可能對建築物有一定的熟悉，但可能不知道比從前門到電梯的路徑更多事物；更不用說建築物，事實上，比獨戶住宅居民將知道關於該結構。工作人員成員在博物館中可能有責任協助訪客，但是辦公室工作者在緊急情況中，可能除了自救以外沒有其他責任。

住戶族群宜適合所考慮的設計火災情境，下列屬性列表可用來作為指引，因為不可能使其包括所有：

- 性別；

- 年齡；
- 實體能力；
- 對煙、熱，及毒性氣體感受性；
- 感覺能力；
- 熟悉建築物；
- 火災緊急之過去經驗及知識；
- 社會及文化的角色；
- 其他出現率；
- 對活動承諾。

6.2.4 步驟 C — 住戶活動

定義住戶活動。住戶從事之初始活動可影響其感知提示訊號的能力，及其對提示訊號反應及響應時間。其致力於活動之程度，或活動保持其焦點的程度，可能延遲對提示訊號的感知，且可能造成不願意及時對提示訊號所提供資訊做出反應。

備考：衝擊最明顯活動之一是睡覺與清醒。

6.2.5 步驟 D — 出現和員工訓練

住戶行為的情境應包括預期出現之任何工作人員/協調者在場及效能的組合。確定考慮中的火災情境將在場的工作人員及非工作人員的組合，如果工作人員在場的，其預期的訓練程度及有效性。

備考：緊急事件時，住戶的反應的有效性可以由具防火安全角色的工作人員或個體/住戶(如有任何在場)影響。如工作人員或協調者是在場的，其訓練及反應的有效性將影響住戶的行為。

6.3 設計住戶行為情境的選擇

6.3.1 一般

在步驟 A 至 D，將識別大多數潛在的住戶行為的情境。從此大多數，選擇設計住戶行為情境組。將分享一些特性之情境群聚，從這些群聚，可選擇情境來代表群聚中的那些情境。

備考 1：例如，情境可能包含旅館禮品店中之工作人員成員，而情境群聚可以被指定為熟悉在旅館大廳佔用空間中環境醒著的人。

備考 2：行為情境組共同特性範例可能是旅館房間的住戶。在一群聚中，此特性之變異可能為是否人醒著或睡覺中、人的年齡、及其家族的(或非家族的)關係。

因為此技術規範說明了確定性方法，此過程將不必然包含事件樹的構造。可用工程判斷、容易可用的資料，及可能性與結果的數量級估計；然而，對於決定敘明應文件化。組成住戶行為情境其他分類方式可能的因素組合為透過矩陣之使用。

6.3.2 步驟 E — 住戶特性矩陣

6.3.2.1 一般

發展住戶特性的矩陣。住戶特性矩陣出現組成住戶行為的情境之替代住戶特性

的組合。最初，考慮所有特性組合，雖然一些從進一步考慮中將容易忽略（例：所有住戶在餐館中可以假設是醒著的）。一個範例在表 1 顯示。

表 1 旅館住戶特性矩陣樣本

特性	旅館賓客	餐館顧客	旅館從業人員
熟悉	短暫的	短暫的	永久性
訓練	無	無	是
年齡	成人及小孩	成人；小孩可能的	成人
失能	廣泛的範圍可能的	廣泛的範圍可能的	小範圍可能的
行動困難者	可能的	可能的	可能的
沉醉的程度	沉醉可能的	沉醉可能的	有意識的
醒著/睡著的	醒著或睡著的	醒著	醒著
社會的 團體	個人、情侶、家庭	個人、情侶、家庭、團體	個人、同事
角色	賓客(期望協助)	賓客(期望協助)	管理人/部屬

資料來源：SFPE Handbook of Fire Protection Engineering.[10]

6.3.3 考慮選擇情境

當縮小行為情境組合，考慮降低組合涵蓋可能性的廣度，以及統計上那些情境發生的可能性。然後以定性的意義將情境列表或依相對風險順序排序。

宜考慮每一組合發生可能性，使用可用的資料及/或工程判斷如 ISO 16732-1:2012, 6.3. 中之建議

宜考慮每一情境結果，使用可用的損失資料及/或工程判斷，如 ISO 16732-1:2012, 6.4 中所建議。為此目的，“結果”對於每個路徑將是反應、響應、級與住戶特性組合移動時間相關的，已知火災及煙詳細發展在相關的設計火災情境中。

因為此實行的目標為估計由於火災造成的生命損失或傷害，宜小心確保在此過程中使用之資料相關於考慮中的建築環境，在指引住戶如何行為取決於建築環境特性可在 ISO/TR 16738 中找到。

6.3.4 最後的選擇及文件化

選擇最高排序代表性的情境做定量分析。這些將成為“設計住戶行為情境”。選擇情境宜代表主要的累積風險的部分。建議從利害關係人輸入進入此選擇過程。包括或不包括每個代表性的情境之理由應文件化。

在建構設計住戶行為的情境組合，一般將要避免長見的錯誤及偏差。

—如多重高結果、低可能性情境從考慮中除去，注意除去情境未有中等或高集體的可能性是重要的。

—可能的情況下，最好結合類似的情境，以便更多情境直接呈現級分析，而不是除去情境。

—不論其結果，在此階段除去一個情境不是適當的，因為唯一設計選擇能夠產生該情境可接受的結果是非常昂貴的。因為除去或降低結果之高成本宜在後面階段進行，在更多詳細分析後且僅在利害關係人完全的參與下，決定接受

特定情境的結果。

—可以適當地除去情境，儘管其具實質性結果，因為無可識別設計選擇可降低或除去該風險。然而，如此情境的除去，應以文件說明為何不可能以任何方法保護人或消除危險。

範例：對於接近火災起始點的人或無法行動自保的人(因為他們在自己的家飲酒或藥物)的風險，可能是在此階段可以合理地除去的情境為依據的範例。如宜預期住戶的狀況(例：在夜店沉醉的顧客)則除去情境是不適當。在如此情況，額外保護將是處理自我保護能力降低的住戶，適當的設計決定。

6.3.5 影響生命安全目的之參數靈敏度分析

選擇生命安全結果設計住戶行為情境不宜過分對單一變數中的小變化敏感。靈敏度分析，亦即在合理的限度內一次改變一個變數的過程，[11] 一個在輸入變數中已知不確定度試驗防火安全設計穩健性之方式。對一或多個變量中小變化的敏銳靈敏度之發現授權修正設計住戶行為情境組或改進建築物防火安全管理計畫。

由於確定性分析包含所有無窮多數可能的情境可管理的部分的選擇，亦即在最差可信的情況下，因此重要的是調查不同變量在最終結果合理變化之影響。如一個變量的小變化，例如在輪椅中的人之比例，造成未能實現生命安全目的，設計者應質疑安全程度。

靈敏度分析應包含所有相關的火災及住戶相關的變量。火災相關變量為那些出現在 ISO 16733-1:2015，步驟 2 至 5。

備考 1：評估變化安全系統可用性及其可靠度之衝擊過程在 ISO 16733-1:2015 步驟 8 中說明。

靈敏度分析住戶相關變量的選擇可依據住戶及避難相關的變量如下列：

- a) 住戶數目及其位置；
- b) 住戶特性組合；
- c) 住戶初始反應；
- d) 住戶初始路徑選擇。

與住戶特性組合關聯，這些可包括下列：

- 永久的/短暫的；
- 經過訓練的/未經訓練的；
- 潛在的年齡範圍；
- 認知的、感知的或移動性問題；
- 潛在的行動困難者；
- 醒著/睡著的/無意識/喝醉的；
- 社會的團體與否
- 角色。

備考 2：這些特性主要關注於建築物住戶減輕或對付火災事件的能力。所有這些變量可隨其大小變化，例如對建築物熟悉程度及頻率，例如非常不熟悉建築物的賓客數目。在靈敏度分析中改變初始行為及初始路徑選擇也可能是相關的。例如，在旅館火災情境，可假設住戶是睡著的，但非沉醉。靈敏度分析將假設某些百分比的住戶是沉醉的，造成額外的喚醒延遲極可能更多困難於做決定級找路。類似地，靈敏度分析可試驗改變住戶年齡之影響。

7. 設計住戶行為

7.1 一般

設計住戶行為是定義在設計住戶行為情境項目。例如可以預備行進作業延遲時間及和初始行進速率的項目定義。然而，設計行為特性可能依據分析結果隨後修正。例如，如情況發展使得逆流可能發生，設計住戶行為應修正反應分享一個路徑或通道為競爭流效應。相似地，事件如發展煙狀況阻礙逃生路徑可以衝擊設計住戶行為。然而必須確保設計住戶行為對防火安全工程分析之目的是適當的，且結果在設計解決方案是保守的。

特定的設計住戶行為情境可能多於一個與其相關的設計住戶行為。例如，原本住戶本身佔據的空間(例：在旅館房間中)當其開始湧入共用空間將有不同行進速率，例如樓梯間及新的住戶行為(在行進速率項目)可能須要。

如使用計算機模式分析，模式可能包括關於在此討論的一些點的假設，且使用者宜注意到一些假設可能不是實際的或對於已知的應用是不合適的。使用者宜檢查假設的適當性，並考慮使用靈敏度分析來說明未呈現實際的任何假設。

設計住戶行為的情境在定性項上反映住戶辨認火災提示訊號、反應那歇提示訊號，以及移動之安全的能力理想化表現。設計住戶行為是定義在定量項目，例如辨認及反應時間，以及行動速率，以上的避難過程。組合使用這些元素可用於預測該住戶情境總避難時間設計基礎。總避難時間為設計所需安全逃生時間(RSET)。特定的防火安全設計評估將包含住戶行為情境的RSET與相關的設計火災情境的可用安全逃生時間(ASET)估計進行比較。當然瞭解實際的避難不會分離成如此離散的區間，但此表示容許避難的工程分析。

使用者宜記得停留在適當位置為住戶避難選項，此行為不同於避難所的地方，在此住戶被迫處理火災之威脅及其效應。

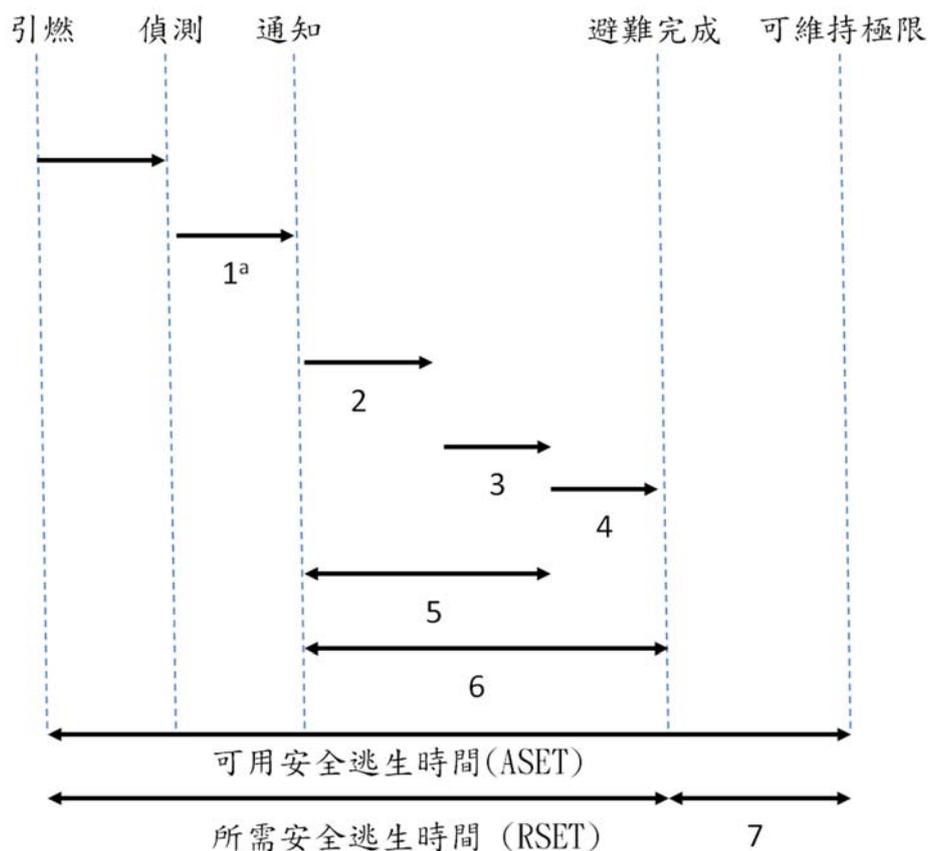
設計住戶行為的完整規範(參見圖 1)可能包括下列階段：

- 預備行進作業階段— 辨認時間 — 涵蓋住戶察覺火災提示訊號前的時間
- 預備行進作業階段— 反應時間 — 涵蓋住戶察覺火災提示訊號後的時間，但在朝向安全位置開始移動前；
- 行進階段— 其特徵為行進速率；
- 終止— 當所有住戶抵達安全位置或已受困（需要救援）或無行為能力。

前三階段受火災排放物特性影響，例如，引起關心的事物，導致(不太合理或改變)決定、沿著預期的通道改變效能或改變等。

設計住戶行為必須瞭解如避難完整歷時的描述。此描述包括下列：

- 設計火災情境提供之參數(房間尺寸、火災位置、通知裝置在場及性能、火災抑制性能或煙控管理系統、空間幾何、排放物功效等)；
- 設計住戶行為情境提供之參數(住戶數目及位置、住戶的感知及可動度特性，如沒有由其他住戶之通知住戶方法、工作人員在場及表現等)；
- 進行避難評估所須參數(開始向安全位置行進前之延遲時間；行進速率)；
- 造成上述任何參數改變的事件。



說明

- 1 警報時間
- 2 辨認時間
- 3 反應時間
- 4 行進時間
- 5 預備移動時間
- 6 避難時間
- 7 安全裕度

^a 警報時間是指通知傳送到住戶的時間，可藉由警報或任何其他機械的或人為方法。

圖 1 設計住戶行為元素範例

7.2 基本 特性

7.2.1 一般

設計住戶行為特徵通常以下列相對於時間的變量(因生命安全目的之需求，且因此藉由分析):

- 藉目標族群之火災提示訊號辨認時間；
- 目標族群開始主動反應火災提示訊號之時間；
- 路徑選擇；
- 目標族群之行進速率。

辨認及反應影響時間因素包括下列各項:

- a) 在場的失能住戶 (可能提示訊號接收失)；

重物品等。反應持續時間，預備行進作業時間的第二部分，可受到設計住戶行為情境因素所影響，例如覺醒、任務承諾、住戶之間社交互動，工作人員干預等。

7.2.3 出口選擇

出口選擇為計算避難時間的關鍵因素，由於出口選擇將決定行進路徑，且該路徑距離及沿著該通道的住戶密度將影響行進時間。因為觀察到住戶將傾向於經由住戶進入結構的通道避難，重要的是確保用於評估的任何逃生模式反映現實或包括靈活容許使用者依據支持資料模擬適當的出口選擇。某些時候在其避難嘗試時，住戶可能決定選擇不同的出口。關於如何及何時做選擇，目前很少或沒有資料可用。

7.2.4 行進時間

行進時間包括兩者移動時間，當住戶正向安全位置前進，及任何延遲，例如休息停止、改變方向、排隊等。行進時間主要是行進距離及行進速率的函數。衝擊行進速率之因素，如移動性及其他障礙，將由設計住戶行為情境來決定。設計因素，如樓梯及斜坡，以及住戶密度(擁擠)將影響行進速率。設計火災情境所定義的發展火災及煙條件，可導致降低行進速率之煙效應，或可能造成可延長行進距離之路徑堵塞。對於住戶範圍水平及傾斜路徑行進速率資料可用文獻資料[12]。

7.2.5 消防單位及其他緊急應變人員的介入

國家法規可能禁止依賴消防單位實現安全避難。對於工程設計假設需要由響應消防單位介入以救援住戶將是不尋常的，雖然可能適合重新安置健康照護機構的病患或在建築物中具安全避難所區域具可動性之人及其他損傷等待消防員救助。僅於此情況宜考慮介入影響設計住戶行為，且設計者應能確保足夠數量的緊急應變人員將總是可用及裝備分配。

緊急應變人員可能對於避難有其他衝擊。緊急應變人員的出現在樓梯間可阻礙行進流動並影響圍阻系統(門、通風口)，除非設計提供消防作業用之分開的出入口。

7.2.6 其他介入

在火災位置的緊急應變人員以外的人，例如，工作人員的成員，可能以影響避難的方式介入。其可能就地從事件開始採取正確的行動，且設計將更適當地包括這些為避難計畫的部分，而不是將數分鐘後抵達的消防機關。其他介入可由提供避難上需要的資訊及影響出口選擇加快避難且因此減少磨時間。

7.2.7 避難完成

當建築環境的所有住戶抵達安全位置(在避難所外面或避難場所)，受困(如要想生存且需要救援)，或基於火災情況被視為無行為能力，住戶位置，及 ISO 13571 基準，避難是被考慮完成。

7.3 設計住戶行為情境提供之參數

任何假設住戶存在的設計火災情境將具有與其相關的設計住戶行為情境組，對於每個這些設計住戶行為情境，將設定數個參數。這些參數包括下列：

- 住戶數量；
- 住戶佔據的空間，以一般的術語，如旅館客房、大廳、地鐵月台等；
- 他們的意識或感知程度及認知的能力，例：醒著、睡著的、喝醉的，聚焦在活動等；
- 任何具可動性及其他損傷之住戶的存在將衝擊他們的行進速率或需要救助；
- 住戶及/或工作人員訓練之程度，如果有的話。

7.4 要定義之參數

7.4.1 預備行進作業時間

文獻中對於實際火災中報告的或反覆練習中觀察到的總預備行進作業時間(也在文獻中稱為“預備移動時間”)的資料，其中此段時間未分離為辨認及反應階段(例：參見參考資料[12])。已說明對於在逃生時間計算時使用的量化行為之方法(例：參見參考資料 [13])。已提出用於估計預備行進作業時間之工程模式(例：參見參考資料[14])並且也使用依據可居住的空間之幾何計算預備行進作業時間的定量方法(例：參見參考資料 [15])。任何使用的方法宜健全且依據在科學上，使用者宜決定甚麼資料適於使用，此僅為一例。在任何情境分析中，宜小心使用適當的資料，經證明的住戶族群之條件及特性。

7.4.1.1 辨認時間

住戶可藉由大多樣性提示訊號對於緊急情況警戒：警報系統、從其他住戶的警報、建築系統的中斷(例：停電等)、煙、火焰、熱，玻璃破裂等。住戶採取多久辨認接收到提示訊號與火災相關，取決於其感知能力、認知能力、環境的認識、過去經驗(例：熟悉、訓練等)。辨認時間可在文獻中從實際的火災避難或反覆練習或可如整體預備行進作業時間部分計算。宜注意使用適當合理的任何情境分析條件資料。

7.4.1.2 反應時間

依據實際的火災事件之觀察發展住戶反應之模式 [16]。一旦住戶辨認緊急情況存在，其進入準備階段，然後行動階段，與活動包括指引(例：警報、引導等)，探索(例：尋找資訊、調查等)及取回(例：等待資訊、指令、救援等)，可能導致消防、警報、等待或避難。反應時間間隔包括避難以外的所有活動。在此段時間，一旦住戶決定移動到外面或其他安全位置，他們可能進行一些準備，如穿衣、保護貴重物品保護或設備、關機過程、救援或協助其他人等。研究發現做為好的建築物管理部分訓練可降低此部分避難過程的持續時間。[17]反應時間可從實際的火災避難或反覆練習文獻中找到，或者可作為整體預備行進作業時間部分計算。宜注意使用適當合理的任何情境分析條件資料。

7.4.2 出口選擇

出口路徑選擇是行進距離及因此行進時間的重要決定因素。一些逃生模式使用最短路徑演算法，此將最佳化避難時間，因為其住戶從其初始位置沿最短路徑。然而研究顯示建築物住戶，特別是那些不熟悉的地方，將藉由進來的相同路徑嘗試離開建築物。當住戶接受緊急行動訓練，或如受過訓練的工作人員可用來協助他們，他們將更可能使用他們熟悉以外的緊急出口，因此降低其行進路徑及行進時間。

出口選擇宜為預期的住戶使用者選擇適當的方式。如其不熟悉結構，不宜預期依最佳路徑。

7.4.3 行進速率

移動時間包括行進到外面或安全位置花費的時間，加上任何休息時間或在該過程中的其他延遲。行進時間為行進距離及行進速率的函數。步行速率已發現為擁擠密度、身體能力、整體大小（例：家庭群組行進速率最慢的成員），傾斜度、採光等之函數。擁擠密度為空間中人數及那些人的尺寸之函數。這些變數中的一些將以設計火災情境設定及其他由設計住戶行為情境設定。

行進速率可從實際的火災避難或反覆練習文獻中找到。一些資料組為幾十年的歷史及從行人通勤交通中得到的。[18]依據預期的住戶密度之步行速率的詳情可在文獻中找到。[19]在此不提出特定值因為如參考資料[12]所示，報告的行進速率範圍廣，取決於如可動性、行進表面(例：樓梯與水平表面)、擁擠、照明、住戶類型等因素。

7.4.4 當使用簡單化的計算模式時需要定義之參數

然而多數進階的計算模式需要詳細資訊關於住戶及其分佈與其他特性如輸入至總避難時間之計算，有分類模式亦即較簡單的在特性及需要較不複雜的輸入資料。例如，在 [7.5.2.2](#) 討論的液流計算是依據較簡單的資訊例如空間幾何及出口路徑寬度。

7.5 避難時間及住戶條件之估計

7.5.1 一般

對於已知設計住戶行為情境，宜使用 [7.3](#) 和 [7.4](#) 確定的參數，使用簡單的計算方法、進階的計算方法，或特別試驗結果來預測總避難時間及有毒產物對住戶之潛在衝擊。重要的是確認一些計算方法僅與住戶移動或行進有關，而其他更廣泛包括可能在避難中發生的延遲及其他活動。

備考：模式回顧可在參考資料 [\[20\]](#) 中找到及鏈結到可用的避難模式的指南再參考資料 [\[21\]](#) 中。

ISO 13571 提出的方法，結合排放物組分產生的輸入資料（參見 ISO 16312-1 及 ISO/TR 16312-2）以及透過結構輸送排放物的實體火災模式，可用於估計個人可預期的經歷綜合考慮可維持時間。毒性效應計算方法可在文獻(例：參見參考資料 [\[22\]](#)) 中找到。目前，無方法存在對於包括火災排放物之次抑制效應可能影響人的逃生行動之品質。

7.5.2 避難時間之簡單計算方法

7.5.2.1 單一參數估計模式

依據再觀察避難預測總避難時間方程式可於參考資料[\[23\]](#) 中找到，這些方程式是簡單依據每公尺有效樓梯寬度之住戶數量，這些方程式依據較舊的可能不再適用的資料，且可能未充分計算預備行進作業時間。也可用參考資料[\[23\]](#) 依據計算流量估計避難時間之方法，此方法沒有在預備行進作業時間因數。存在估計預備行進作業時間之方法。[\[15\]](#)

7.5.2.2 移動模式

簡單移動模式為計算多數住戶之總避難時間的計算機模式。這些模式也參照水力模式或網路流模式，傾向於計算最佳避難時間，因為住戶開始移動在相同時間，在相同速率行進，且通常從其初始位置沿著最短路徑。在提供基準避難時間是有用的：如設計火災情境的可用的安全逃生時間長於由此模式預測之避難時間，則真實火災中實際的避難時間將必然地太長。

7.5.3 避難時間進階計算方法

也可用結合人的行為之一些特性更複雜的計算模式。在這些模式中，賦予住戶個別的特性。此模式模擬他們的移動及其位置透過避難追蹤。他們的個別的特性可包括他們的行進速率及延遲時間或可用來計算他們的行進速率及延遲時間的屬性可以被估計，因為住戶個別被追蹤，如其移動通過的空其曝露於有毒產物及他們的狀況效應，這些模式經常產生複雜的圖形輸出來顯示避難進展，雖然此模式類型可產生顯現實際的結果，在依據這些模式時使用者宜考慮目前有限的行為資料可用，特別是與決策有關及次群族(包括殘障住戶)步行速率的有限資料，可用的有限制資料在文化的差異也相關於這些變數。在任何情境分析中，宜注意使用適當的資料，辨明條件合理。這樣模式的主要優點是其提供系統的動態描述(例：顯示清除建築物空間及出口的時間)並且可以識別建築設計及避難計劃中之問題非常有力的工具。

7.5.4 試驗

在許多情況中，計算方法不可用於某些估計，且可能未清楚相關文獻是否可用的。在一些情況有可能進行試驗來顯示創新策略效能，例如樓梯中的光致發光材料，或工作人員反應緊急事件，替代更多慣用的照明系統或警報系統。

參考書目

- [1] ISO 16312-1, *Guidance for assessing the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment — Part 1: Criteria*
- [2] ISO/TR 16312-2, *Guidance for assessing the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment — Part 2: Evaluation of individual physical fire models*
- [3] ISO 16732-1:2012, *Fire safety engineering — Fire risk assessment — Part 1: General*
- [4] ISO 19706, *Guidelines for assessing the fire threat to people*
- [5] ISO 21542, *Building construction — Accessibility and usability of the built environment*
- [6] ISO 23932:2009, *Fire safety engineering — General principles*
- [7] ISO 27368, *Analysis of blood for asphyxiant toxicants — Carbon monoxide and hydrogen cyanide*
- [8] IEC 60695-7-1, *Fire hazard testing — Part 7-1: Toxicity of fire effluent. General guidance*
- [9] Forell B., Seidenspinner R., Hosser D. Quantitative Comparison of International Design Standards of Escape Routes in Assembly Buildings,” *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008*, eds., W.W.F. Klingsch et al. (eds.), DOI 76, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010, pp 791-801. 10.1007/978-3-642-04504-2
- [10] Nilsson D., & Fahy R. Selecting Scenarios for Deterministic Fire Safety Engineering Analysis - Life Safety for Occupants. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, (Hurley M. ed.). Society of Fire Protection Engineers, Gaithersburg: Fifth Edition, 2015
- [11] Hamby D. M. A Comparison of Sensitivity Analysis Techniques. *Health Phys.* 1995, **68** (2)pp. 195 - 204
- [12] Fahy R.F., & Proulx G. Toward Creating a Database on Delay Times to Start Evacuation and Walking Speeds for Use in Evacuation Modeling,” *Proceedings of the 2nd International Conference on Human Behaviour in Fire 2001*, Interscience Communications Ltd., London, 2001.
- [13] Purser D.A., & Bensilum M. Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. *Saf. Sci.* 2001, **38** pp. 157 - 182
- [14] MacLennan H.A., Regan M.A., Ware R. An Engineering Model for the Estimation of Occupant Pre-Movement and or Response Times and the Probability of Their Occurrence,” *Human Behaviour in Fire - Proceedings of the First International Symposium*, TJ Shields, Ed., University of Ulster, 31 August-2 September 1998.
- [15] Takeichi N., Hagiwara I., Harada K., Tsujimoto M., Takahashi W. Performance-based provisions for fire safety in the Japanese Building Standard Law: How to connect regulation and engineering.”

Fire Safety Science - Proceedings of the 7th International Symposium, pp. 777-788.

- [16] Canter D. *An Overview of Human Behaviour in Fires,* " *Fires & Human Behaviour*. Fulton, London, UK, Second Edition, 1990
- [17] Shields T. J., & Boyce K. E. A Study of evacuation from large retail stores. *Fire Saf. J.* 2000, **35** pp. 25 - 49
- [18] Pauls J. L., Fruin J. J., Zupan J. M. Minimum stair width for evacuation, overtaking movement and counterflow -- technical bases and suggestions for the past, present and future. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2005, Waldau, Gattermann, Knoflacher and Schreckerberg, editors, Springer, Berlin Heidelberg, 2007.
- [19] Proulx G. Movement of People: The Evacuation Timing," Chapter 3-13, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd ed, P. J. DiNenno, editor, National Fire Protection Association, Quincy MA USA, 2002.
- [20] Kuligowski E. D., & Peacock R. D. *Technical Note 1471 - A Review of Building Evacuation Models*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD (USA), July 2005.
- [21] Ronchi E., & Kinsey M. J. Evacuation Models of the Future: Insights from an Online Survey of User' s Experiences and Needs," Advanced Research Workshop: *Evacuation and Human Behaviour in Emergency Situations*," ISBN:978-84-86116-46-0, 2011, pp 145-155.
- [22] Purser D. A. Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases and Heat, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 4th Ed., PJ DiNenno, editor, National Fire Protection Association, Quincy MA USA, 2008.
- [23] Fahy R. F. *Calculation Methods for Egress Prediction, Fire Protection Handbook*. Chapter 2. National Fire Protection Association, Quincy: Vol. 1, Twentieth Edition, 2008

附錄十五 防火安全工程計算方法的確認指南(草案)

查證、確認程序及要求應依ISO 16730-1防火安全工程-計算方法的查證、確認程序及要求—第1部：一般，本指南係依據2013年發行之第1版ISO/TR 16730-2、ISO/TR 16730-3、ISO/TR 16730-4、ISO/TR 16730-5，不變更技術內容，彙整為本指南。

一、前言

在此提出聲明，本指南之要項為引用ISO標準技術報告，或許某些部分可能是專利權主題。本指南應不對鑑別任何或全部該等專利權負責。

本文中會標示一些特定商用項目、裝備、產品或材料，用於充分地說明程序或概念，或追溯程序及實作的歷史。這些標示並不表示推薦、背書，或是暗示其為此一目的所可獲得的最佳項目、裝備、產品或材料。這些標示也不表示本指南發現錯誤或過失。

對於本文件中所述，ISO 16730-1 應用之特定案例，本指南不負責此實例使用之程式碼的正確性，或驗證的有效性，或是為此實例之驗證聲明。發表此一實例並不表示本指南擔保軟體的使用或其敘述的模型假設，並聲明有其他的計算模式可使用。

ISO 16730-1 說明技術文件與使用手冊的內容宜評估，如果應用計算方法如此之工程工具做為預測實際情境導致結果的被確認。本指南說明 ISO 16730-1 如何用在特定範例計算方法。其說明如何適當地描述方法的技術及使用者層面，以依查證及確認的角度評估方法。

二、引用標準

ISO 16730-1:2015 Fire safety engineering -- Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods -- Part 1: General.
ISO/TR 16730-2:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 2: Example of a fire zone model.

ISO/TR 16730-3:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 3: Example of a CFD model.

ISO/TR 16730-4:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 4: Example of a structural model.

ISO/TR 16730-5:2013 Fire safety engineering -- Assessment, verification and validation of calculation methods -- Part 5: Example of an Egress model.

三、火災區域模式的範例

1. 適用範圍

火災區域模式使用的範例說明 ISO 16730-1 中指定的程序在火災區域模式 (CFAST) 的應用。

在此處理的特定模式之主要目地為模擬受侷限的區劃，在自然或強迫通風狀況下的火災狀況。

2. 區域模式考慮的一般資訊

本範例中使用之區域模式的名稱為 "CFAST"。CFAST 為二區域火災模式，可預測多區劃結構在承受火災的環境。計算在使用者預設的火災狀況下，整個建築當中煙的分布與火災氣體及溫度隨著時間的演進。本範例描述構成模式的方程式，該方程式的物理基礎，以及評估模式的靈敏度與預測能力。

模擬方程式的數學形式為常微分方程式組 (ODEs) 系統之初始值求解問題。這些方程式基於質量守恆、能量守恆(相當於熱力學第一定律)、理想氣體定理，以及密度與內能的關係所推導。這些方程式以時間量的函數預測，例如壓力、煙層高度，及給定質量蓄積的溫度，以及兩個層流中的的焓。模式便由一組計算各個區劃之環境的常微分方程式(ODEs)，與計算 ODEs 所需質量與焓源項的一套演算法所組成。

3. 本範例所使用的方法

對於預計使用的計算方法，依 ISO 16730-1 及本範例概述為基準進行檢查。本範例的附錄 A 與 B 當中，在兩欄式的表格左欄，列出需檢查的重要事項。上述附錄 A 與 B 表格中的右欄內敘述這些事項的細節，並顯示這些項目在計算方法的發展過程中的關係。附錄 A 涵蓋計算方法的說明，附錄 B 則為特定計算方法之評估（查證與確認）的完整敘述。附錄 C 敘述實作範例，而附錄 D 為使用手冊。

附錄 A(參考)計算方法說明

A.1 目的

<p>問題解決或功能執行的定義</p>	<p>模式的發展是為要解決火災防護工程中實際的火災問題，同時提供基礎火災動力學與煙霧蔓延的研究工具。其目的是為建築和建築區劃建立系統模擬。而不是研究區劃當中流動的細節，例如偵煙器選址之所需。</p> <p>空間尺度由 $\sim 1\text{m}^3$ 至 $1,000\text{m}^3$，而時間尺度由 $\sim 1\text{s}$ 至約數小時。</p>
<p>計算方法之結果的（定性的）敘述</p>	<p>模式的輸出為評估火災在建築環境所需的可感測變數。包含區劃內上、下氣層的溫度，區劃內天花板/牆/樓板的溫度，各層內可視煙霧與各種氣體的濃度，目標溫度，與撒水頭作動時間。</p>
<p>理由陳述與可行性研究</p>	<p>模式預測在使用者預設的火災狀況下，區劃結構當中的環境結果。此為有限元素模式類別的範例。此特定實作稱為區域模式，要模擬的空間被區隔為數個單元。區劃火災的物理現象主要由浮力驅動流體流動。一般設置的單元或區域為上層與下層氣層，各個元件牆/天花板/樓板的劃分，一個或多個煙羽流，以及物件，如火源，目標及探測器。此項有限元素模式實施的特徵為元件之間的介面（在此例中為上層與下層氣體層）可移動，其位置由主控方程式定義。</p> <p>附件的參考資料 [1-4] 包含所有已進行的確認試驗的概要。</p>

A.2 理論

<p>基本概念模式 (主控現象)</p>	<p>模擬方程式的數學形式為常微分方程組 (ODEs) 系統之初始值求解問題。這些方程式基於質量守恆、能量守恆(相當於熱力學第一定律)、理想氣體定理所推導。這些方程式以時間量的函數預測，例如壓力、煙層高度，及給定質量蓄積的溫度，以及兩個層流中的的焓。區域模式的假設為：特性，例如溫度，整個控制體積可以用平均值來估計。</p>
<p>計算方法所依據的現象之理論基礎與物理定律</p>	<p>使用的方程式的數學形式為常微分方程組 (ODEs) 系統之初始值求解問題。這些方程式基於質量守恆、能量守恆(相當於熱力學第一定律)、理想氣體定理，以及密度與內能的關係所推導。這些方程式以時間量的函數預測，例如壓力、煙層高度，及給定質量蓄積的溫度，以及兩個層流中的的焓。</p>

A.3 理論的實施

<p>控制方程式</p>	<p>使用的模擬方程式的數學形式為常微分方程組 (ODEs) 系統之初始值求解問題。這些方程式基於質量守恆、能量守恆(相當於熱力學第一定律)、理想氣體定理所推導。這些方程式以時間量的函數預測，例如壓力、煙層高度，及給定質量蓄積的溫度，以及兩個層流中的的焓。區域模式的假設為：特性，例如溫度，整個控制體積可以用平均值來估計。</p> <p>方程式使用密度、內能與理想氣體定律的定義。這些比率代表基於物理現象，如煙羽流、自然及強制通風、對流與輻射熱傳遞等等，在區域之間質量與焓的交換。例如，通風口可讓相連的房間內的區域之間進行質量與焓交換，火羽流通常會為上層氣層加熱，並夾帶質量與焓由下層傳送至上層氣層，並經對流由氣層傳送焓至至周圍的牆壁。</p>
<p>採用的數學技術、程序與計算演算法，以及其參考資料。</p>	<p>區域火災模擬中使用的方程式為剛性常微分方程 (ODEs)，"剛性" 一詞表示常微分方程的解呈現時間尺度的大幅變化。在問題當中，壓力調整對情況的改變，快於其他的數值，例如氣層溫度或介面高度。由於使用之常微分方程的剛性，一般而言，區域火災模擬需要特殊的求解器求解。</p> <p>有兩項假設可用來減少計算時間。首先，每一區劃內相對較少的區域或元件使足以模擬物理狀況。第二項假設為，不需使用區劃內部的動量方程式來獲得方程式組的解析解。此一簡化消</p>

	<p>除了聲波。透過如此可避免計算區劃內（或區劃之間）的重力波之一，各區劃僅耦合少數的元件，讓大型、複雜的空間可以迅速地預測。</p>
<p>辨識因為計算方法的適用範圍所導致對於輸入參數各項邏輯與限制所隱含的假設。</p>	<p>模式的發展是為要解決火災防護工程中實際的火災問題，同時提供基礎火災動力學與煙霧蔓延的研究工具。其目的是為建築和建築區劃建立系統模擬。而不是研究區劃當中流動的細節，例如偵煙探測器選址之所需。其包含撒水頭的作動，以及水滴對火災的抑制。</p> <p>此模式廣泛使用於複雜建築中火勢與煙霧的蔓延。區域模式實施之效率與計算速度是由於其需要較少量的計算單元。多數使用於住宅、商用與工業火災重建，重建火勢及煙霧蔓延的時間線。有些模式是應用在設計煙控系統。</p>
	<p>區劃：此模式一般受限於區劃容積有明顯的分層。然而，為了讓模式能在需要更複雜計算的初步估算中應用，也有為通道氣流、偵煙探測器作動，以及透過固體邊界之詳細熱傳導之演算法。此模式適用於非矩形區劃，但此應用受限於相對簡單的空間，例如閣樓與船舶的通道。並未打算包含複雜的幾何形狀，在此複雜的流場是一個驅動力。對於此等應用，適用計算流體動力模式（CFD）。</p>
	<p>由於氣體層分層的假設，也造成了限制。區域模式概念，由定義，在上層與下層之間蘊含一個明顯的邊界，然而在現實環境中，過渡層一般約為區劃高度的 10%，並且在弱分層氣流中可以是較大。例如，在一般房間當中，點燃的香煙不在區域模式的範圍內。雖然有可能讓氣體層溫度預測值在實際溫度的 5% 以內，但這並非模式的最佳使用。較適當的用途應在估算火勢蔓延（非火焰蔓延）、偵煙與污染，以及性命安全方面的計算。</p>
	<p>熱釋放率：在經驗模式的應用所使用的假設中，有固有的限制。做為一般性的準則，熱釋放率不宜超過 1 MW/m^3。這是關於數值程序的限制，是基於通過邊界之氣流和熱傳（傳導，對流和輻射）之間的耦合。固有的雙層假設可能早在數值達到上限之前便已不成立。</p>
	<p>輻射：由於模式包含複雜的輻射模式與通風演算法，因而常被進一步用在研究經由通風系統的建築污染，以及煙囪效應與風對建築內空氣循環的影響。</p>
	<p>通風與洩漏：在單一區劃中，區劃之間相連通風口之面積對區劃的容積之比率，大致上不宜超過 2 m^{-1}。這是對於通風口栓狀流假設的限制。是基於情境規範不確定性的重要限制。例如，在建築物中洩漏是顯著的，會影響氣流的計算，尤其是在有風及高層建築。這些在模式的實施中對準確度的影響可能超越限制。模式整體的準確度與特殊性、細心以及提供資料的完整性密切相關。</p>

	<p>熱性質：模式預測的準確度受限於使用者能夠確定熱物理性質的程度。例如，燃料的分率所形成的煙灰對於氣體層的輻射吸收有重要的效應，因此，相對的氣體層與牆壁之對流與輻射熱，交互影響浮力與氣流。若實際的材料與燃料性質未知或難以獲得，或是燃燒、輻射及熱傳導的物理過程較模式中的數學表達式更複雜，有更高的預測不確定度程度。</p>
<p>討論由重要演算法所獲致的結果之準確度，以及在電腦模式中，對特定電腦性能的相依性。</p>	<p>對於情境範圍，預測的準確性一般而言在量測值的 10% 至 25% 之間。通常，這對生命安全計算，及估算建築元件承受在火災環境當中的環境等預期用途已經足夠。應用的設計裕度通常大於準確度程度，可適當地確保充分的安全係數。</p>
<p>靈敏度分析結果的說明</p>	<p>在相當廣範的情境範圍，許多輸出結果對於輸入參數的不確定度相當的不靈敏。在意料中的是，熱釋放率一直是模擬範圍當中最重要變數。熱釋放率與相關變數，例如燃燒熱或燃燒產物產生率提供了火災驅動氣流的驅動力。所有的這些都是使用者輸入。因此，要準確地預測，需要謹慎選擇這些火災相關的變數。其他對模式輸出被認為重要，與區劃之幾何形狀相關的變數，例如區劃高度或通風口尺度，一般對特定設計情境比火災相關輸入更容易定義。對於一些情境，例如典型的建築性能設計，這些通風口可能需要包括洩漏的影響，以確保準確預測。對於其他情境，例如船用或核能電力設施，洩漏可能容易被定義，而可能不會對計算造成問題。</p>

A.4 輸入

<p>輸入需求</p>	<p>所有執行模式所需的資料均包含在輸入資料檔案中。同時需要物件的資料庫、邊界的熱物理性質，以及模式所提供的指定火災樣本說明。這些檔案包含建築幾何形狀（區劃尺度，結構材料以及材料性質），區劃之間的連結（水平氣流開口，如門、窗，在樓板與天花板的垂直氣流開口，以及機械通風連結），火災特性（火災尺度與種類相對於時間的生成率），與探測器、撒水頭的規格，以及標的物（位置、尺度、熱傳遞特性，與撒水頭的流動特性）等資訊。材料以其熱傳導、比熱、密度、厚度以及燃燒行為（熱釋放率、引燃特性與各種產率）來定義。</p> <p>輸入資料檔提供程式與描述情境下考慮的參數。參數被組織為相關變數群組。輸入資料檔的各行包含相對於單一群組的輸入資料，行首為標示輸</p>
-------------	--

	入的關鍵字。例如，區劃幾何形狀是由一組數行（關鍵字：COMP）的資料所描述，其定義各個區劃的寬、高、深度。關於輸入參數的說明可在使用手冊 [2] 中找到。
需求資料的來源	可使用不同資料來源。這些資料包含界面材料性質資料，例如比熱與熱傳導、通過開口的流量係數、羽流模式係數等等。資料由參考的出版品獲得。
對於電腦模式：任何需用的輔助程式或外部資料。	否
提供電腦模式之來源、內容及資料庫的使用等資訊。	提供數據資料庫的範例。

附錄 B(參考)計算方法之評估(查證與確認)的完整說明

(定量的)依照 ISO 16730-1 第 5 節以評估計算方法之預測能力之任何作為的結果。	已執行廣泛的計算方法確認 (如文獻[1]第 6 章)
已執行之審查、分析試驗、比較試驗、實驗確認以及程式碼檢查的基準。若是電腦模式，計算方法的確認是基於貝他試驗，文件宜包含參與測驗人員之描述 (例如，是否有任何程度的參與計算方法之發展過程或是其是否為初級使用者；是否曾受到最終產品的目標使用者無法獲得的額外指示等)。	<p>此計算方法為公開發行之模型，由美國國家標準技術研究所研發。</p> <p>其業已通過嚴格的審查，包括程式碼檢查，經眾多研究人員查證，並通過大量的實驗比較確認。包含特別為此模式所蒐集的資料，以及為其他目的所發展的資料。</p> <p>確認 CFAST 所使用的全範圍比較在技術參考指南文獻[1] 第 6 章中討論。</p> <p>在全面確認的研究中，包含特別為選定評估所實施的全尺寸試驗之比較(13)，與先前公開之試驗數據之比較(10)，與火災經驗文件之比較(5)，以及與涵蓋特殊情況的實驗之比較 (2 項核能設施，3 項來自小尺度試驗以及 9 項特殊幾何形狀或特定演算法)。</p> <p>目前評估模式所使用的實驗，詳述於文獻 [4]，為：</p> <p>NBS 帶傢具之單室試驗 (區劃整體容積: 21 m³，火災尺度峰值 2.9 MW)</p> <p>VTT 大廳試驗 (區劃整體容積：7182 m³，火災尺度峰值 4 MW)</p> <p>NIST/NRC 試驗系列 (區劃整體容積：586</p>

	<p>m³，火災尺度峰值 2.2 MW)</p> <p>FM/SNL 試驗系列 (區劃整體容積：1296 m³，火災尺度峰值 516 kW)</p> <p>iBMB 區劃試驗 (區劃整體容積：74 m³，火災尺度峰值 3.6 MW)</p> <p>NBS 多區劃試驗系列 (區劃整體容積：100 m³，火災尺度峰值 500 kW)</p> <p>FM 四室包含通道試驗系列 (整體容積：200 m³，火災尺度峰值 1 MW)</p> <p>NIST 七層旅館試驗 (整體建築容積：140000 m³，火災尺度峰值 3 MW)</p> <p>表 B.1 滙整了目前模式版本的確認比較。</p>
<p>符合本技術報告的計算方法之延伸</p>	<p>此特定模式的查證與確認程序符合 ISO 16730-1 的要求。</p>

表 B.1 - 模型比較摘要

數量	平均差 ^a (%)	中位差 ^b (%)	實驗內部不確定度 ^c (%)	第 90 百分位 ^d (%)
HGL 溫度	6	14	52	30
HGL 深度	3	15	40	28
羽流溫度	17	11	39	29
天花板噴流溫度	16	5	70	61
氧氣濃度	-6	18	12	32
二氧化碳濃度	-16	16	21	52
煙霧不透光 ^e	272/22	227/18	0/82	499/40
壓力	43	13	77	206 ^f
目標通量 (總)	-23	27	42	51
目標溫度	0	18	38	34
表面通量 (總)	5	25	40	61
表面溫度	24	35	17	76

a 平均差包含相對差異的正負符號與數值，以顯示高於或低於預測值的一般趨勢。

b 中位差是基於相對差異的數值，而忽略其正負符號，因此正負數值不會抵消，使得比較的表現比個別的數值所顯示更加接近。

c 模式預測落在實驗不確定度之內的百分比。

d 模式預測的 90%落在所述的實驗值百分比之內。做為基準，100% 差異為大於或小於實驗值的兩倍。

e 第一個數據為 NIST/NRC 關門試驗的結果，第二個數據為 NIST/NRC 開門試驗的結果。

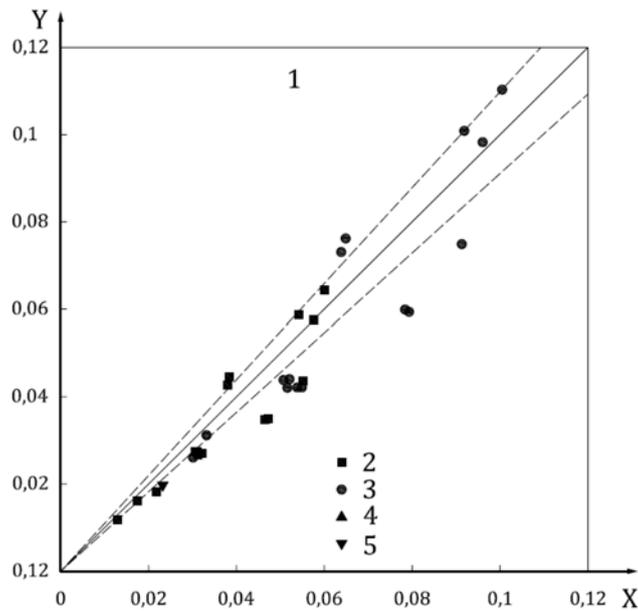
f 在兩項試驗中，灌入大區間的第 90 百分位的高數值，較預測值低約 2 Pa.

附錄 C(參考)樣例

此計算範例著眼於實驗的不確定度，模式的不確定度及一系列的全尺度實驗。

NIST 為美國的核能法規委員會[3] 執行了一系列火災實驗。Figure C.1 顯示 CFAST 預測與數個對 ICFMP 專案之佈置進行的試驗所得資料之間，二氧化碳與氧氣的容積比（濃度）變化之比較。Figure C.2 為對來自同一專案的熱氣層溫度與其他數據子集預測值與量測值做相似的比較。試驗環境及試驗條件細節可在引用文獻 [3] 中找到。

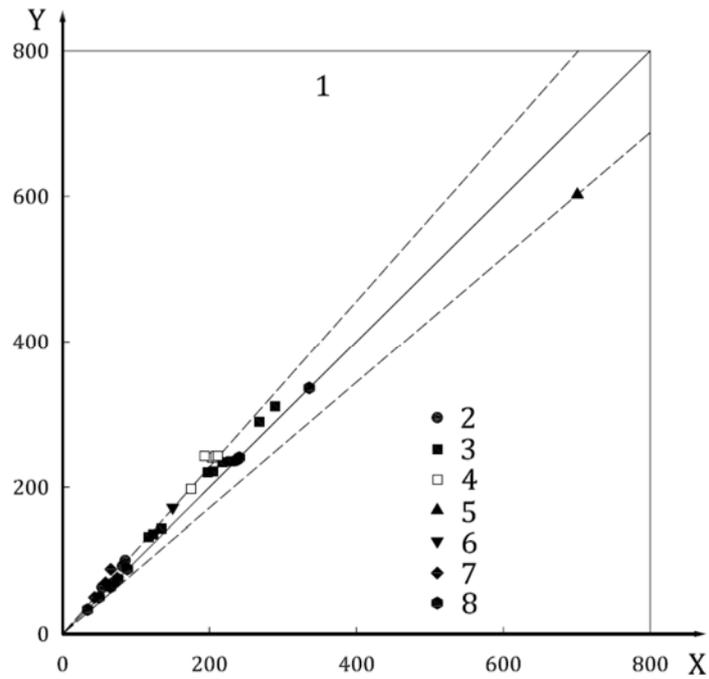
ICFMP 系列試驗的基準包含在 [3] 當中。BE n 為情境的編號。



說明

- X 容積比改變的量測值
- Y 容積比改變的預測值
- 1 CFAST 各種氣體濃度
- 2 ICFMP BE #3 上層 CO₂
- 3 ICFMP BE #3 上層 O₂
- 4 ICFMP BE #5 上層 CO₂
- 5 ICFMP BE #5 上層 O₂
- CFAST 對設定情境的計算
- (±) 組合不確定度
- 註 ICFMP xx 註記特定試驗情境

圖 C.1 - 氧氣與二氧化碳濃度比較 (見表 C.1)[3]



說明

X 量測上升溫度(°C)

Y 預測上升溫度(°C)

1 CFAST 熱氣層上升溫度

2 ICFMP BE #2

3 ICFMP BE #3 (關門試驗)

4 ICFMP BE #3 (開門試驗)

5 ICFMP BE #4

6 ICFMP BE #5

7 FM/SNL

8 NBS 多室

— CFAST 預測

---(±) 組合不確定度

註 ICFMP xx 註記特定試驗情境

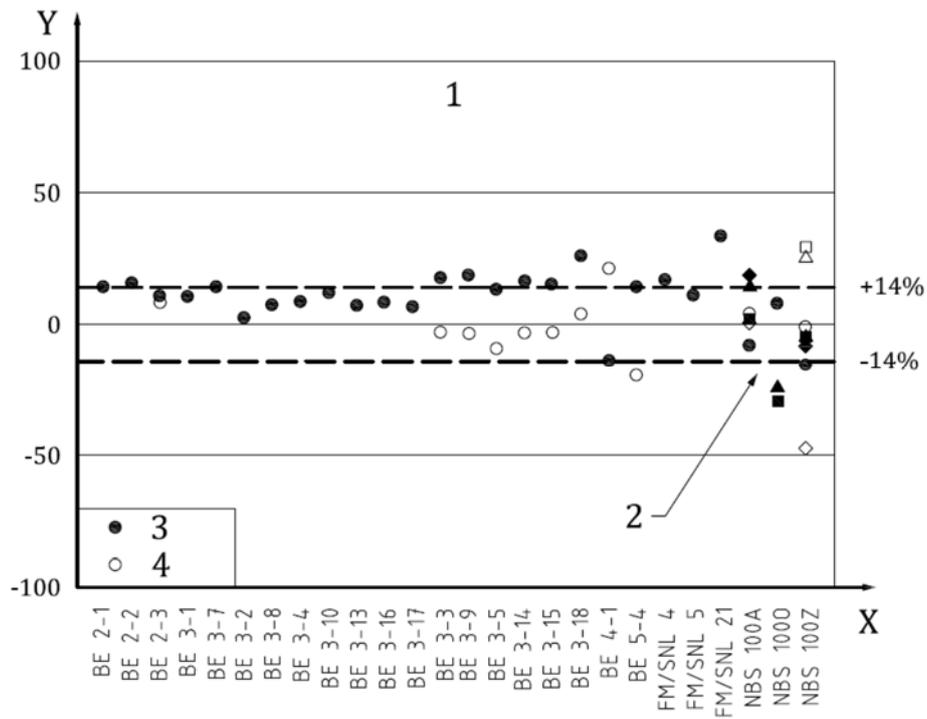
圖 C.2 - 熱氣層上升溫度比較 [3]

表 C.1 顯示所有試驗 (來自參考資料 [3]) 之量測值與預測值一致的不確定度之比較。

表 C.1 - ICFMP 試驗的組合不確定度

數量	試驗次數	組合不確定度 (%)
熱氣層上升溫度	26	13
熱氣層深度	26	9
天花板噴流	18	16
羽流溫度	6	14
氣體濃度	16	9
煙濃度	15	33
壓力	15	40 (自然)
		80 (強制)
熱通量	17	20
目標溫度	17	14

要注意，並未表示任何一項比較接近真值。查看此一比較的另一種方法是，簡單的相對差（對於相同的數據集），如圖 C.3 所示。



說明

Y 相對差 (%)

1 CFAST 熱氣層溫度與深度

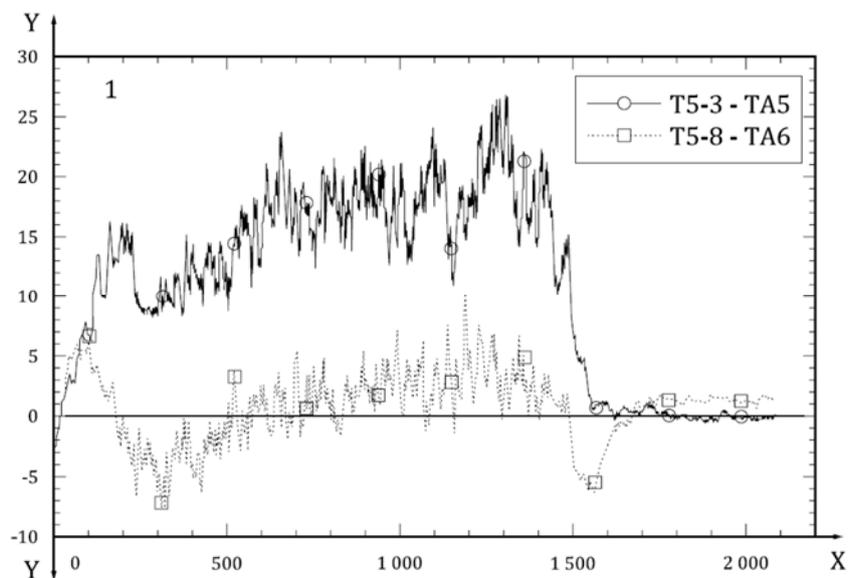
2 NBS 多室系列中距起火房間遠方非圓形註記的位置

3 熱氣層 (HGL) 溫度

4 熱氣層 (HGL) 深度

圖 C.3 - 相對於 CFAST 模型預測的差異，依序為熱氣層溫度與厚度，在不同的試驗當中，註記在 X-軸及參考資料[3]

實驗誤差可潛移轉入比較。圖 C.4 顯示在某次實驗中，裸露珠形熱電偶與吸氣式熱電偶之間的比較。



說明

X 時間 (s)

Y 溫度 (°C)

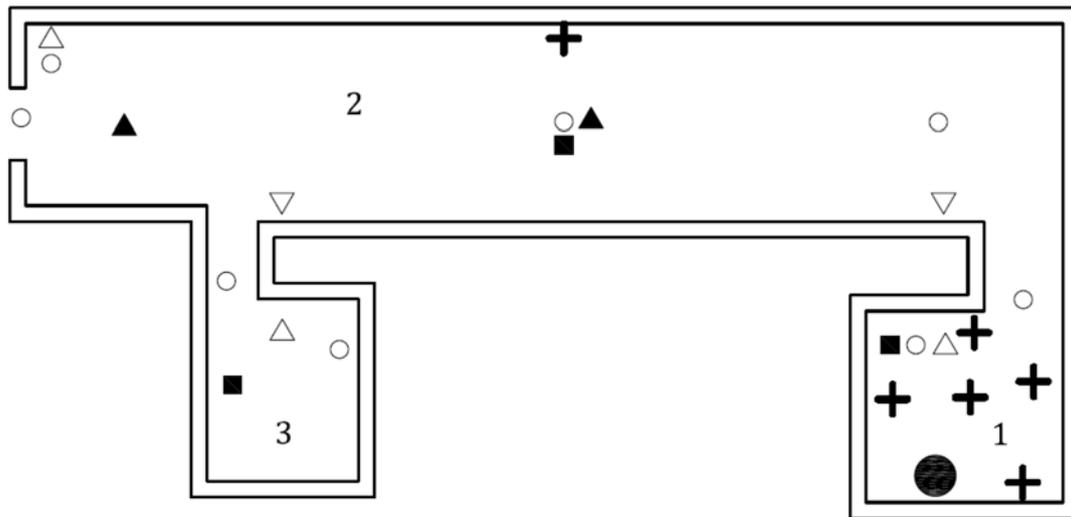
1 試驗 3

註 圓圈為吸氣式，而方格與下方描跡代表裸露熱電偶。

圖 C.4 - 裸露熱電偶與吸氣式熱電偶的相對溫度變化比較

圖 C.4 上方的描跡為吸氣式熱電偶，而下方的描跡是沒有輻射修正的熱電偶。當 CFAST 預測呈現時，此經常為報告差異的來源，作者的結論為模式的溫度超過預測。由於其與環境的溫度與輻射相依，對於此項修正，並沒有簡單的經驗法則可循。

最後，模擬誤差的產生可能在於模式未能真實呈現實驗。在 NIST 全尺度實驗中，對一 3 區劃佈置進行一系列的量測（見圖 C.5）。



說明

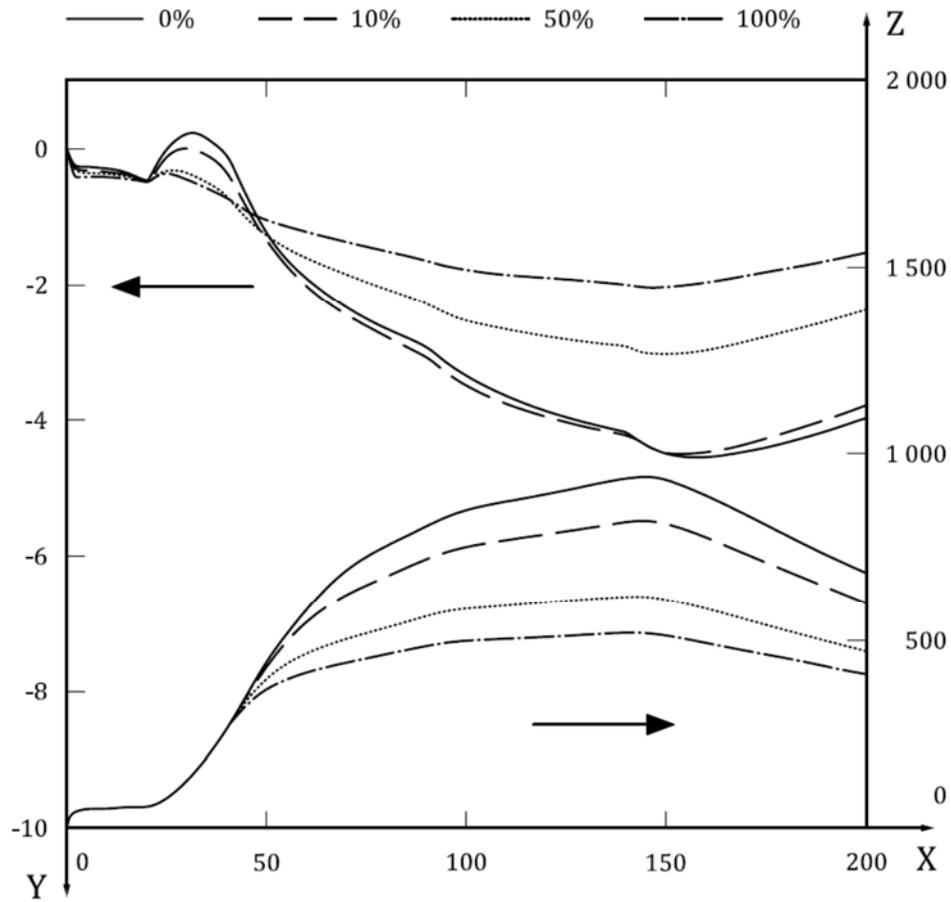
- 1 室 1
- 2 室 2
- 3 室 3

註 符號註記量測裝置如熱電偶的位置。

圖 C.5 - 試驗安排佈置

在第一次量測與預測的比較當中，差異相當的大。後續試驗系列中發現，煙霧由室 2 前牆上方的洩漏。因此，火災當中的洩漏被認定為重要因素而加以量測。

圖 C.6 顯示實際開口部分之洩漏效應對於上層溫度及樓板壓力的影響



說明

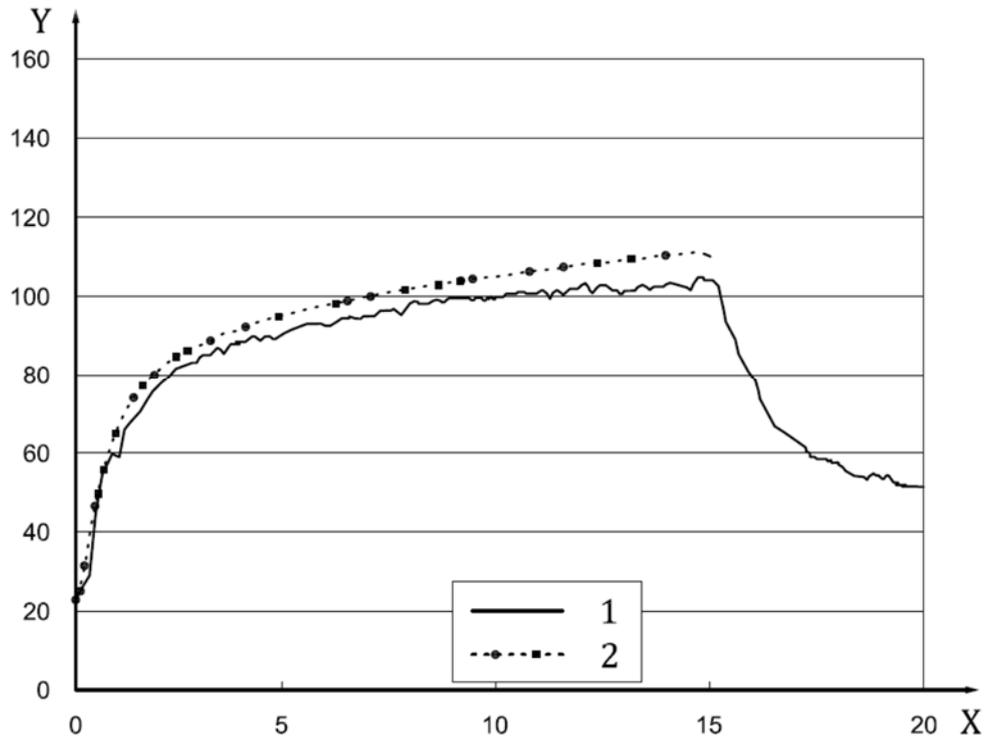
X 時間 (s)

Y 壓力 (Pa)

Z 溫度 (°C)

圖 C.6 - 由圖 C.5 配置在壓力與溫度二者之實際開口部分之洩漏效應。

進行修正計算，使得實驗的預測接近，而非第一印象所顯示，圖 C.7 與 C.8 依序顯示其結果。



說明

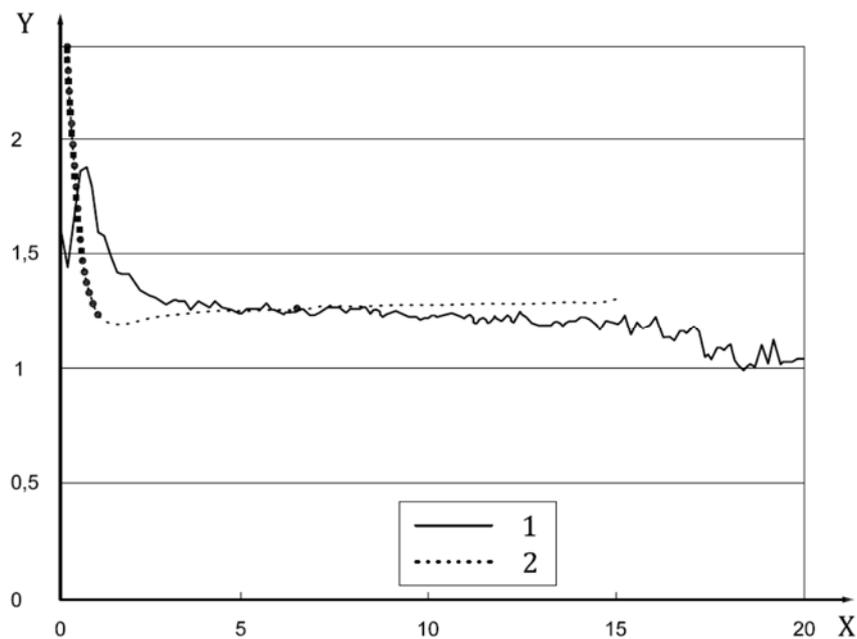
X 時間 (min)

Y 熱電偶樹 4 HGL 溫度/NBS 多室, Test 100A

1 實驗時間對 UP 18

2 CFAST 時間對 HGL 溫度 4

圖 C.7 - 熱電偶樹 4 的熱氣層溫度對時間：預測與試驗結果比較



說明

X 時間 (min)

Y 熱電偶樹 4 HGL 溫度/NBS 多室， Test 100A

1 實驗時間對 HGT 18

2 CFAST 時間對 HGL height 4

圖 C.8 - 熱氣層高度比較：預測對實驗

結論為確保計算是用於現行的實驗是很重要的。

附錄 D(參考)使用手冊

使用手冊已發行，可在參考資料 [2] 中獲得。

參考資料

- [1] Jones W. W., Peacock R. D., Forney G. L., Reneke P. A. CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1029 (2006).
- [2] Peacock R. D., Jones W. W., Reneke P. A., Forney G. P. CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) User’s Guide,”

National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 1041 (2005).

- [3] Verification & Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications. Volume 5: Consolidated Fire Growth and Smoke transport Model (CFAST). U.S. Nuclear Regulatory Commission and Electric Power Research Institute, Office of Nuclear Regulatory Research 3412 Hillview Avenue, Washington, DC 20555-0001, NUREG-1824 Final Report (2007).
- [4] Peacock R. D., McGrattan K.B., Klein B., Jones W. W., Reneke P. A. CFAST - Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6): Software Development and Model Evaluation Guide, NIST Special Publication 1086 (2008).
- [5] ISO 16730-11), *Fire safety engineering — Assessment, verification and validation of calculation methods — Part 1: General.*

四、CFD 模式的範例

1. 適用範圍

本範例說明 ISO 16730-1 中指定的程序在電腦計算流體力學模式 (CFD) 的應用。

本範例處理的特定模式之主要目的為模擬開放環境或受侷限的區劃，在自然或強制通風狀況下的火災狀況。

2. CFD 模式考量的一般資訊

本範例中預計使用之 CFD 模式的名稱定為 "ISIS"。ISIS 計算機程式由法國輻射防護與核能安全研究所 (IRSN) 所研發，被定義為計算流體力學模式 (或稱為 CFD 或場模式)，是一相關的模式組，用以模擬大型與機械通風區劃的火災。此種組態性質涉及複雜的氣流，需要準確物理模式與有效的數值方法。通常，火災遭遇的時間與空間尺度有相當的差異，而現象間的耦合作用非常強烈。

程式的查證與確認階段為兩個獨立的程序，會依據最新程式的發展持續的更新。查證階段採用了廣泛的技術，例如與模式問題的分析結果做比較，使用特製解決方法，然後與基準結果做比較。確認階段是基於所謂的結構單元，包含第一單元問題，次系統事例，然後是大尺度實際火災實驗。此程序可將複雜的工程系統分割為數個較簡單的事例。因此，此一程式 [1] 的確認指南包含層流、紊流及火災事例，總共包含 18 個試驗案例。

3. 本範例所使用的方法

對於預計使用的計算方法，依 ISO 16730-1 及本範例概述為基準進行檢查。本範例的附錄 A 與 B 當中，在兩欄式的表格左欄，列出需檢查的重要事項。上述附錄 A 與 B 表格中的右欄內敘述這些事項的細節，並顯示這些項目在計算方法的發展過程中的關係。附錄 A 涵蓋計算方法的說明，附錄 B 則為特定計算方法之評估（查證與確認）的完整敘述。附錄 C 敘述實作範例，而附錄 D 為使用手冊。

附錄 A(參考) 計算方法說明

A.1 目的

問題解決或功能執行的定義	此計算方法之主要目標為模擬在開放環境或受侷限的區劃，與自然或強制通風系統下的火災。 建模的基礎在依據納維-斯托克斯(Navier-Stokes)方程式中的低馬赫數公式，結合不同密度氣流的紊流燃燒模式。
計算方法之結果的（定性）敘述	輸出包含： -- 火災房間及相鄰房間的氣體溫度， -- 火災期間的壓力變化， -- 區劃出入部分的入口與出口質量流率， -- 牆壁接收的熱通量 -- 在區劃內氧氣消耗，及 -- 在區劃內及目標房間的燃燒產物

理由陳述與可行性研究	<p>火災成長過程對通風網路的影響是防火安全分析中的主要問題。</p> <p>因此，此模式型已發展出，可讓通風網路與機械通風區劃內的火災耦合。在火災區劃內的壓力變化也與通風網路相連，而可能導致入口或排氣分支的反向氣流。此一關鍵情境也是防火安全分析中的主要問題。</p>
------------	--

A.2 理論

基本概念模式（主控現象）	<p>此計算方法的物理建模是基於物理量，例如質量、動量（在低速氣流公式），能量及組分濃度等的傳統區域守恆定律。火災模擬中的主控公式描述輻射傳送的反應紊流。</p>
計算方法所依據的現象之理論基礎與物理定律	<p>此場模式是雷諾平均奈威-斯托克(RANS)模式，與紊流的兩個公式閉合。</p> <p>純量通量是由梯度擴散假設所模擬，而浮力效應是以紊流所產生的項目考量。燃燒模式是基於純量守恆方法與快速化學反應的假設。其依賴修改的渦流分離模式來處理非預混燃燒。</p>

A.3 理論的實施

控制方程式	<p>控制方程式組在參考資料 [2] 與 [5] 有詳細說明。</p> <p>要模擬受侷限區劃的火災，需要求解下列主控公式：</p> <ul style="list-style-type: none"> -- RANS 方程式； -- 兩個公式紊流閉合 ($k-\epsilon$)； -- 混合物比值（燃燒過程） -- 燃料質量比值； -- 焓； -- 輻射傳送； -- 入口與排氣分支的白努力方程式 <p>反應混合物的密度是依理想氣體定律(理想氣體方程式)及混合物個別的氣體平均分子量而定。</p>
-------	---

<p>採用的數學技術、程序與計算演算法，以及其參考資料</p>	<p>純量(種，焓等)的平衡公式在時間與空間是離散的，使用有限體積法來獲致一個能夠在計算時間與準確度之間達成良好妥協的架構，並確保未知數維持在其物理的邊界中；使用二階迎風技術將快速空間變化視為未知，而不會損失穩定性。使用有限元素技術將 Navier-Stokes 方程式空間離散化，以滿足穩定性所需速度與壓力之間的相容性。不同於交錯網格有限體積法，此技術也讓使用因牽涉的幾何關係或是細分而區域性非結構化的網格變得容易。為確保與有限體積離散一致，選定的近似值為低階而一致 [10]。</p> <p>時間的離散化，是由如參考資料 [11] 所述之分部的執行。此半隱法允許較大的時間段，而每個公式按順序解決。</p> <p>此模式是基於科學計算發展平台 PELICANS, 可由開放原始碼軟體 (https://gforge.irsnn.fr/gf/project/pelicans) 獲得。PELICANS 提供軟體元件庫，包含由”結構單元”組成實作數值方法。此模式在此平台完全平行化，包含組裝與離散系統的求解。</p>
<p>辨識因為計算方法的適用範圍所導致之對於輸入參數各項邏輯與限制所隱含的假設。</p>	<ul style="list-style-type: none"> -- 結構化網格； -- 流體動力的模式：低馬赫數假設； -- 分子擴散：各個種類的混合物具有相同的質量擴散係數。 -- 熱容量：只使用恆定熱容量； -- 紊流模式：RANS 組式，渦選漩黏度的包辛尼斯克(Boussinesq)近似，簡單梯度擴散假設，紊流卜郎特常數或史密特數； -- 燃燒模式：非預混燃燒，單一路易斯近似； -- 熱傳導模式：牆壁的一維熱傳導； -- 輻射模式：灰體假設，輻射傳送方程中無擴散。
<p>討論由重要演算法所獲致的結果之準確度，以及在電腦模式中，對特定電腦能力的相依性。</p>	<p>一般，模式模擬受局限區劃火災獲致的結果與量測值的符合性良好。對於溫度、種類質量分率，牆壁熱通量，壓力與通風氣流率變化等，觀察到的誤差等級在 10% 至 20% 之間。</p>
<p>靈敏度分析結果的說明</p>	<p>工作描述在參考資料 [12] 中。</p>

A.4 輸入

<p>輸入需求</p>	<ul style="list-style-type: none"> -- 幾何形狀； -- 網格； -- 時間步驟； -- 熱物理性質（燃料，牆壁，絕熱材料）； -- 初始條件； -- 邊界條件； -- 入口與排氣分枝的阻力。
<p>需求資料的來源</p>	<ul style="list-style-type: none"> --幾何形狀，時間與空間離散化資料是使用者輸入； --材料性質宜由試驗或文獻獲得。
<p>對於電腦模式：任何輔助性程式或外部數據檔案資料要求。</p>	<p>LINUX 配備</p> <ul style="list-style-type: none"> — gcc 4（或更新版本）， — GNU make 3.77（或更新版本）， — PERL 5.6（或更新版本），與 — Java 1.5.0（或更新版本）。 <p>後處理工具：</p> <ul style="list-style-type: none"> — Meshtv, — OpenDX, — GMV, — PARAVIEW，或 — FIELDVIEW. <p>網格由 ISIS 產生或</p> <ul style="list-style-type: none"> — Emc2, — Mefisto, — Gambit, 或 — GMSH.
<p>提供電腦模式之來源、內容及數據資料庫的使用等資訊。</p>	<p>與燃料性質或牆或絕熱材料相關的數據資料庫可在火災防護工程的 SFPE 手冊中找到。</p>

附錄 B(參考) 計算方法之評估(查證與確認)的完整說明

<p>各種評估計算方法之預測能力作為的 (定量的) 結果符合 ISO 16730-1 第 5 節。</p>	<p>程式碼的查證程序列於參考資料[5]。大約有 2 個執行的案例，包含與分析性解法，產製解法，與基準個案做比較。某些實例可在參考資料 [4],[5],與 [11] 找到。</p> <p>評估火災模式的確認程序在參考資料[1]中敘述，參考資料 [5] 與 [6] 當中有一個實例。</p> <p>確認指引 [1] 包含 18 個試驗案例：</p> <ul style="list-style-type: none">-- 層流案例 (5)<ul style="list-style-type: none">-- 三維後向階-- 甲烷層流擴散火焰-- 二維層式噴流-- 三維理想化爐的輻射熱傳遞-- 三為差動加熱腔體內的對流與輻射-- 紊流案例 (10)<ul style="list-style-type: none">-- 方形障礙物的紊流-- 封閉式腔體內的自然對流-- 熱羽流-- 二維浮力擴散火焰-- 紊流噴流火焰 I：氣流與煙灰之間未耦合-- 紊流噴流火焰 II：氣流與煙灰之間耦合-- 二維笛卡耳的紊流噴流-- 紊流引導噴流火焰的輻射傳送-- 紊流煙黑火焰的輻射傳送-- 圓錐量熱儀中的聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 之熱解-- 火災案例 (3)<ul style="list-style-type: none">— LIC1.14 試驗— PRISME 源點試驗 PRS-SI-D1— PRISME 源點試驗 PRS-SI-D3 <p>其中一例是在法國 IRSN 火災試驗實驗室所進行的局限火災試驗的定量比較。由模式計算出的壓力，進氣流率，和平均氣體溫度對時間圖示，並與實驗量測值進行比較。</p>
---	---

<p>已執行之審查、分析試驗、比較試驗、實驗確認以及程式碼檢查的基準。[若是電腦模式，計算方法的確認是基於貝他試驗，文件宜包含那些參與測試的輪廓（例如，是否有任何程度的參與計算方法之研發過程或是其是否為初級用戶；是否曾受到最終產品的目標使用者無法獲得的額外指示等）]。</p>	<p>查證：參考資料 [4]，[5]，[10]，及 [11]。</p> <p>確認：參考資料 [1]，[4]，[5]，[6]，[7]，[8]，及 [9]</p>
<p>符合 ISO 16730 本部分的計算方法之延伸</p>	<p>此特定模式的查證與確認程序符合 IS 16730-1 的要求。</p>

附錄 C(參考) 樣例

C.1 一般

以下之範例是取自參考資料 [1]。

實際尺度實驗火災的模擬在此附錄中說明。此一試驗為 IRSN 實驗計畫的一部分，目的在提供確認模擬機械通風區劃的計算工具所需資料，其首次的應用用於核能電廠。由於兩項原因，此一試驗變為非常的困難進行。首先是，所研究問題的幾何形狀，以及關心的瞬變持續時間的尺度均很大，使得需要相當大的計算時

間；因而需對於程式碼的穩定性與系統收斂進行評估。其次，紊流，燃燒與浮力效應等非線性現象之間錯綜複雜的耦合所產生的氣流結果，使得確認各個單一模式顯然無法達成，而此方面則須倚賴先前描述的結構單元的解決方式。相同地，要特別注意關於初始與邊界條件連同氣流特性的知識，比起在實驗室中進行大規模實驗必定較為狹隘，在實驗室中，使用簡單的實驗加強注意確認各個 "基本" 模式。

C.2 問題描述

實驗中包含在機械通風區劃中的局限乙醇池火源，以及鄰近的金屬櫥櫃。圖 C.1 顯示此區劃火災的示意圖。x, y 與 z 方向的尺度依序為 $L_x = 9$ m, $L_y = 6$ m, 與 $L_z = 7.5$ m。各面牆壁、地板及天花板厚度為 0.25 m 的混凝土牆。區劃連結至一個通風網路，包含強制送風口與強制排氣口（圖 C.1），其尺度分別為 0.3 m^2 及 0.4 m^2 。通風率為 $5h^{-1}$ 而低壓為 -200 Pa。池火源為 1 m^2 的方形表面，高度為 0.13 m，位於區劃的中央。火源的热釋放率，其定義為燃料質量損失率與乙醇燃燒熱的乘積，在圖 C.2 中的穩定燃燒階段達到 563 kW。

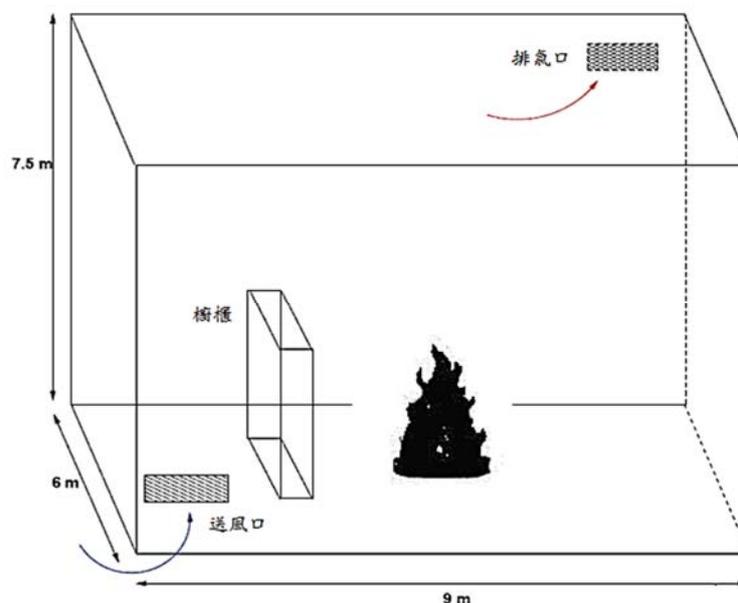


圖 C.1 實驗火災案例的幾何形狀

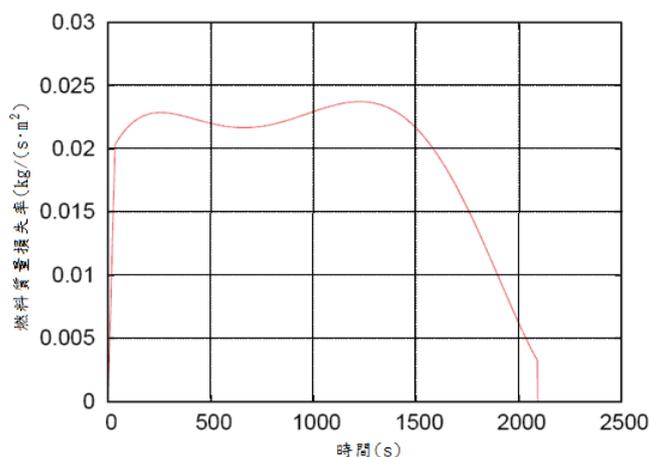


圖 C.2 實驗火災案例的燃料質量損失率

描述在低馬赫數狀態的紊流反應氣流之系統顯示如下。紊流的近似採用質量加權平均，亦即 FAVRE 平均。使用基於布新內斯克(Boussinesq)假設及渦流黏滯性模式修正的 $k-\varepsilon$ 模式在紊流閉合。為模擬紊流燃燒過程，使用快速化學假設與純量守恆方法，混合物比例變數 z 與燃料質量比例 Y_F 仍為未知變數。刪除 Favre 或雷諾紊流平均的算子符號以精簡公式註記，主控公式如下：

-- 質量平衡：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} = 0 \quad (C.1)$$

-- 動量平衡：

$$\frac{\partial \rho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \otimes \mathbf{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + (\rho - \rho_0) \mathbf{g} \quad (C.2)$$

-- 紊流動能平衡：

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} k = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_k} \nabla k \right) + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (C.3)$$

-- 黏滯耗散平衡：

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} \varepsilon = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right) + \frac{\varepsilon}{k} (c_{\varepsilon 1,1} G_k + c_{\varepsilon 1,2} G_b - c_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon) \quad (C.4)$$

-- 焓平衡：

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} h = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_h} \nabla h \right) + \frac{dP_{th}}{dt} \quad (C.5)$$

-- 混合分率平衡：

$$\frac{\partial \rho z}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} z = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_z} \nabla z \right) \quad (C.6)$$

-- 燃料質量分率平衡：

$$\frac{\partial \rho Y_F}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} Y_F = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_{Y_F}} \nabla Y_F \right) + \dot{\omega}_F \quad (C.7)$$

出現在動量公式中的雷諾應力張量， $\boldsymbol{\tau}$ ，其表達式為：

$$\boldsymbol{\tau} = \mu_e \left(\nabla \mathbf{u} + \nabla^t \mathbf{u} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} \right) - \frac{2}{3} \rho k \mathbf{I} \quad (C.8)$$

紊流生成項的定義為：

$$G_k = \boldsymbol{\tau} \otimes \nabla \mathbf{v} \quad (C.9)$$

$$G_b = \frac{\mu_t}{\rho \sigma_g} \nabla \rho \cdot g \quad (C.10)$$

其中 G_b 項目代表紊流由於浮力的作用而產生及破壞。在多成分混合物中，混合物的密度是由以下評估：

$$\rho = \frac{P_{th}W}{R_u T} \quad (C.11)$$

與

$$\frac{1}{W} = \sum_{k=1}^N \frac{Y_k}{W_k} \quad (C.12)$$

其中 W 是混合物的平均莫耳的重量， Y_k 與 W_k 分別為種類 k 的質量分率及原子量（亦即燃料等）。燃料燃燒率依以下計算：

$$\dot{\omega}_F = -C_{EBU} \rho \frac{\varepsilon}{k} \min\left(Y_F, \frac{Y_O}{s}\right) \quad (C.13)$$

其中， C_{EBU} 為模式常數，通常為 4，但可由黏性混合物模式模擬，在此使用 $C_{EBU} = 4$ 。為處理輻射損失，使用所謂的 Markstein 模式，因此比焓透過以下關係連結到溫度：

$$h = c_p(T - T_0) + \Delta H_c(1 - \chi_r)Y_F \quad (C.14)$$

其中， T_0 為參考溫度， ΔH_c 為燃燒熱，而 χ_r 為因輻射傳送損失的燃燒能量分率；

在此模擬中 χ_r 設定為 0.25。模式常數有以下標準值：

$$\begin{aligned} c_\mu &= 0.09 & c_{\varepsilon 1,1} &= 1.44 & c_{\varepsilon 2} &= 1.92 & c_{\varepsilon 1,2} &= 1.44 \\ \sigma_\mu &= 1 & \sigma_\varepsilon &= 1.3 & \sigma_h &= \sigma_z = \sigma_{Y_F} &= 0.71 \end{aligned}$$

房間的熱力壓力是求解對受限區劃與通風網路所構成的系統之簡化 (0D) 動量平衡公式所得。在此模擬中，一個白努利通用方程式描述網路的各個分支 i ，在此例中，連結到區劃：

$$\frac{L_i}{S_i} \frac{\partial Q_i}{\partial t} = P_{th} - P_{node,i} - f \quad (C.15)$$

其中， Q_i 為分支 i 的氣流率， $P_{node,i}$ 為分支末端的壓力，其位置不在區劃牆上，而 f 為空氣動力阻力。幾何尺度 L_i 與 S_i 分別為分支 i 的長度與表面。系統應由區劃的總質量平衡公式來補充：

$$\int_{\Omega} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{P_{th}W}{RT} \right) + \sum_i Q_i = 0 \quad (C.16)$$

幾何圖形與材料性質滙整在以下表格中：

-- 混合氣體：

$$\text{動力黏度：} \mu = 1.68 \times 10^{-5} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$$

熱傳導率： $\lambda = 0.018 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

比熱： $c_p = 1100 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

卜朗特數： $P_r = 0.71$

燃燒熱： $\Delta H_c = 2.56 \times 10^7 \text{ J}/\text{kg}$

-- 混凝土牆：

密度： $\rho_w = 2430 \text{ kg}/\text{m}^3$

熱傳導率： $\lambda_w = 1.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

比熱： $c_{p,w} = 736 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

牆壁厚度： $e_w = 0.25\text{m}$

-- 金屬櫃

密度： $\rho_c = 7801 \text{ kg}/\text{m}^3$

導熱率： $\lambda_c = 43 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

比熱： $c_{p,c} = 473 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

牆壁厚度： $e_c = 0.25\text{m}$

指定的初始條件為：

$$V = p = h = z = Y_F = 0 \quad (\text{C. 17})$$

$$k = 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}^2 \quad (\text{C. 18})$$

$$\varepsilon = 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}^3 \quad (\text{C. 19})$$

$$T = 290 \text{ K} ; \rho = \rho_{\text{air}} \quad (\text{C. 20})$$

為定義邊界條件，需考量 3 個不同表面：

-- 火災：

$$v = (0, 0, w_F) ; h = \Delta H_c (1 - \chi_r) ; z = Y_F = 1 ; k = 0.1 w_F^2 ; \varepsilon = C_u k^{3/2} / l_\varepsilon$$

其中 w_F 燃料質量損失率的函數； $w_F = \dot{m}_F / \rho_F$ ；與 $l_\varepsilon = 0.07 L$ 其中 L 為特徵長度尺度，等效於火災半徑。

-- 牆壁：牆壁的傳導計入能量平衡方程式中。使用對數率牆壁函數做為動量與紊流平衡公式。

-- 通風的供氣與排氣口：計算指定的速度，以符合各個分支的氣流率；假設燃料仍保持在區劃內。

C.3 數值

試驗各種非均勻網格，8500，68000，與 240000 在此後稱為 網格 1，網格 2 與網格 3。數值方法的數值參數與主要特性匯整於以下表格。

初始時間	0
最終時間	網格 1：2800 s；網格 2：1000 s；網格 3：250 s
時階	網格 1、網格 2： $\Delta t = 0.1 \text{ s}$ ；網格 3： $\Delta t = 0.05 \text{ s}$
求解演算法	採用半隱分步法，求解輸送公式中的 k ， ε ， h ， z ，與 Y_F 變數； k ， ε 兩個公式間，以及 z ，與 Y_F 兩個輸送公式的隱耦合是由固定點演算法獲得。
時間離散	一階(反向尤拉)方法

空間離散 用向風近似求解對流項目 $k-\varepsilon$ 與納維-斯托克斯方程式。

C.4 結果

熱動力壓力與質量流率

區劃火災的熱動力壓力的演化為對時間的函數（見圖 C.3），與實驗數據有良好的一致性。在穩定燃燒階段中，計算所得的壓力在 -2 hPa 附近振盪，而振盪的振幅較弱於實驗。在兩個案例中均觀察到在引燃時的強的超壓及在熄滅時的微弱降低。在供氣入口，質量流率對時間的演化顯示在圖 C.4。在對應於引燃階段後的短暫期間，其值穩定在 0.7 kg/s 附近。在出口處的質量流率，未在此顯示，幾乎相等的。這些結果在於實驗數據的不確定度範圍內。

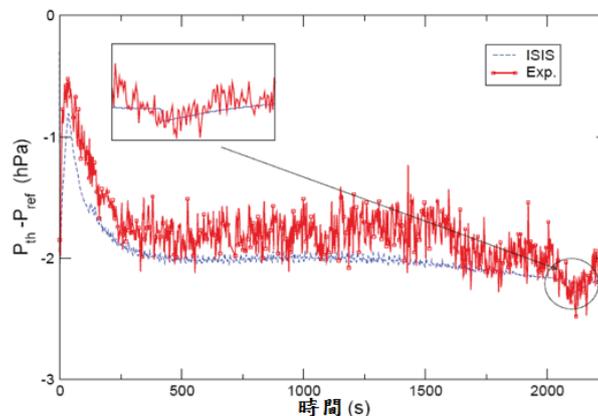


圖 C.3 熱動力壓力與時間

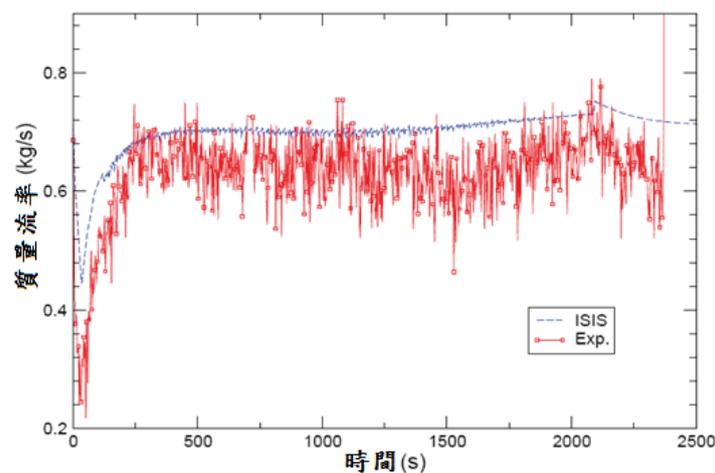


圖 C.4 進氣口質量流率與時間

煙羽流區域的溫度

由網格 1 所獲得，火源上方 3 m 煙羽流區域在整個暫態的溫度對時間的演化，顯示在圖 C.5。在時間 $t = 250$ s 之後，計算與實驗的溫度均在相似的值附近振

盪，直到火災結束。預測在早期暫態的溫度峰值，並未在實驗中觀察到，可能是程式中缺乏模擬燃燒引燃時在從層流過渡到紊流狀態的模式。圖 C.6 顯示出相應火焰環繞其軸旋轉的強大溫度變化。此一火焰旋轉的行為也在實驗中觀測到，且其頻率幾乎相同。

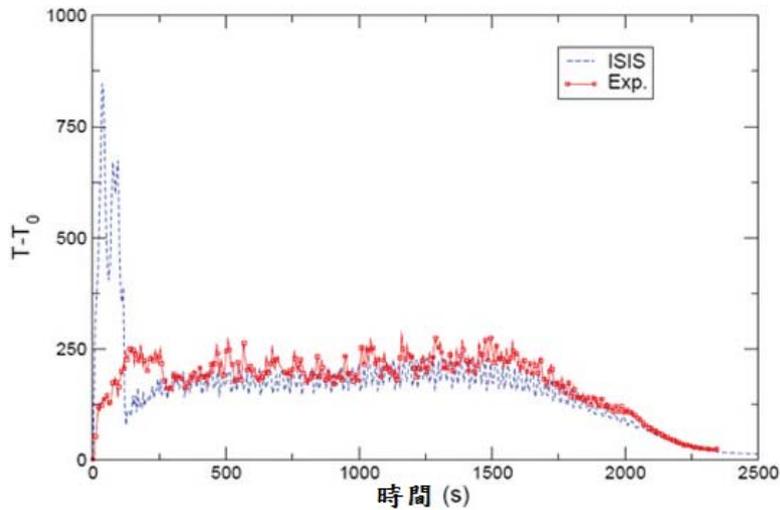


圖 C.5 火源上方 3 m 之溫度與時間

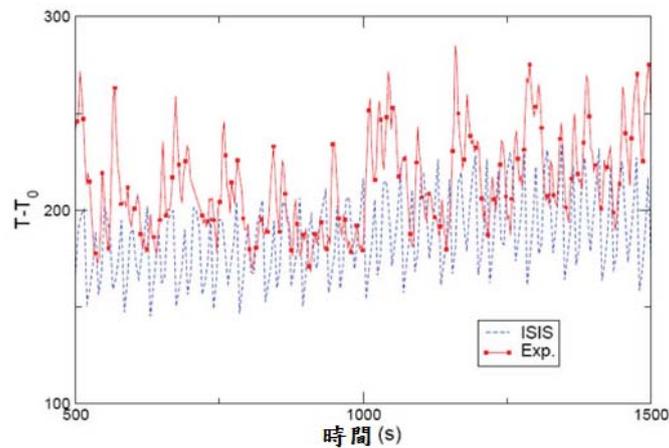


圖 C.6 火源上方 3 m 之溫度對時間

附錄 D(參考)使用手冊

D.1 一般

以下之範例是取自參考資料 [3]。

此教程說明在一個敞開門的房間之火災狀況。在此範例中，並未使用燃燒模組，而火焰是由火災程度的單位容積熱釋放率模擬。

整個輸入檔可在 ISIS 根目錄的 "tutorial/RoomFire" 目錄中找到。可用下

列命令加以編輯。

```
source < ISIS_DIR > /bin/init.csh 或 .< ISIS_DIR > /bin/init.sh  
cd < ISIS_DIR > /ISIS/tutorial/RoomFire
```

```
xisis data.pel
```

目標：

- 建立簡單三維領域的網格並定義門；
- 定義紊流；
- 定義在火災程度的容積熱源。

D.2 說明

以火災程度的容積熱釋放率模擬房間中的火災。房間透過開啟的門與外部相連。此試驗案例在文獻中廣為引用，參閱參考資料 [13] 中的實驗作業與參考資料 [14] 中的數值作業。

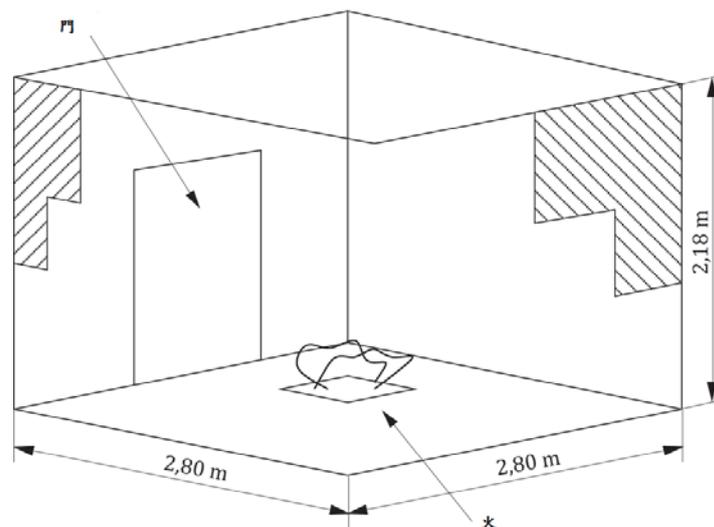


圖 D.1 房間配置

D.2 網格定義

定義網格的第一步。

首先選擇幾何類形。此範例包含三維笛卡兒計算。

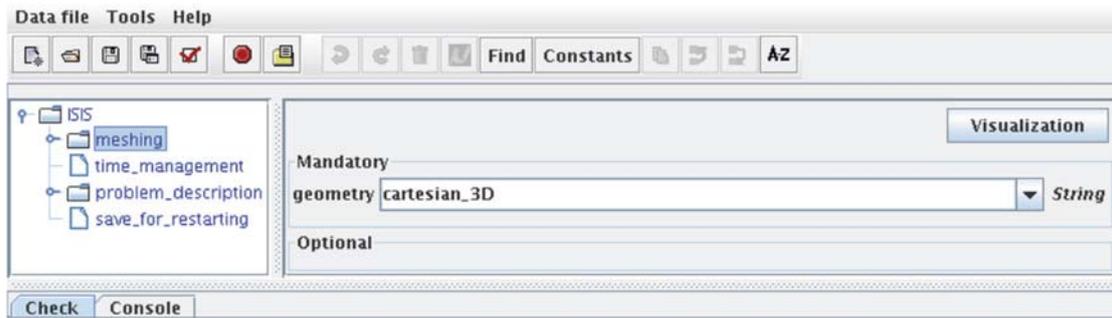


圖 D.2 幾何圖

使用 PELICANS “GE_BoxWithBoxes” 內部網格產生器建立範圍中的網格。網格的描述只包含定義 x 方向 “vertices_coordinates_0” ， y 方向 “vertices_coordinates_1” 與 z “vertices_coordinates_2” 輸入值。

火是由房間中央容積熱源所表示，其體積為 $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$ 。

考量火的網格，在 x 方向，須產生 $[0, 2.80]$ 網格。如此，在火源與牆壁之間置放四個網格單元，在火源中置放一個單元：

```
vertices_coordinates_0 = (regular_vector(0.00, 4, 1.25) <<
    regular_vector(1.25, 1, 1.55) <<
    regular_vector(1.55, 4, 2.80))
```

考量火與門的網格，在 y 方向，於區段 $[0, 2.80]$ 須產生網格。在牆壁與門之間置放三個網格單元，在火源與門中間置放一個，在火源中置放一個：

```
vertices_coordinates_1 = (regular_vector(0.00, 3, 1.03) <<
    regular_vector(1.03, 1, 1.25) <<
    regular_vector(1.25, 1, 1.55) <<
    regular_vector(1.55, 1, 1.77) <<
    regular_vector(1.77, 3, 2.80))
```

考量火與門的網格，在 z 方向，於區段 $[0, 2.18]$ 須產生網格。在火源中置放一個網格單元，五個在火源與門頂部之間，一個在門上方。

```
vertices_coordinates_2 = (regular_vector(0.00, 1, 0.30) <<
    regular_vector(0.30, 5, 1.83) <<
    regular_vector(1.83, 1, 2.18))
```

可獲得一個有意的粗網格與 $9 \times 9 \times 7 = 567$ 網格單元，各個單元的特徵尺度大約為 30 cm 。

D.4 選擇時階

在範例中，選定的時階為 0.25 s，及最終時間為 20 s。

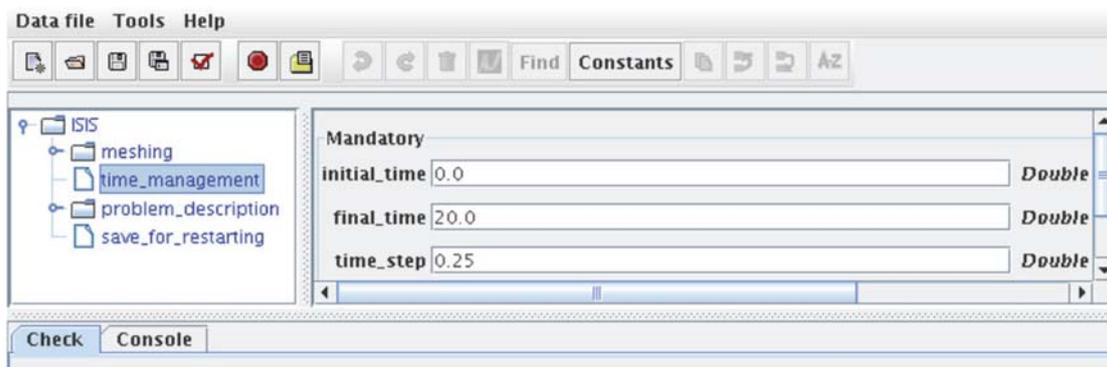


圖 D.3 "時間管理" 功能表

D.5 定義關注的問題

此範例包含紊流的計算：在 "*Navier_Stokes*" 選取 "low_mach"，在 "*energy_balance*" 設為 "activated"，在 "*turbulence_model*" 選擇 "k_epsilon"。

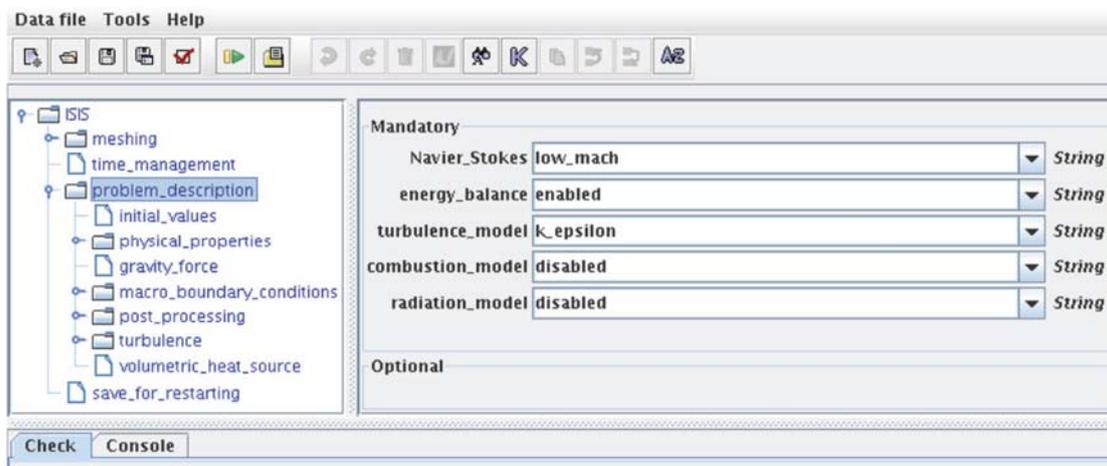


圖 D.4 定義關注的問題

D.6 -- 定義未知的初始值

在下一步驟，定義場域的初始值。氣流類型的選定定義了問題的未知數，因此需要設定未知數的初始值，如下：

- 由於起始流體是靜止的，因此速度的初始值為零。

- 關於焓，選用 $H = c_p(T - T_0)$ 法則，其中 T_0 為初始流體溫度；因此初始焓設為 0；
- 最後，提供 k 與 ϵ 場域的初始值，在此例中為 0.001。

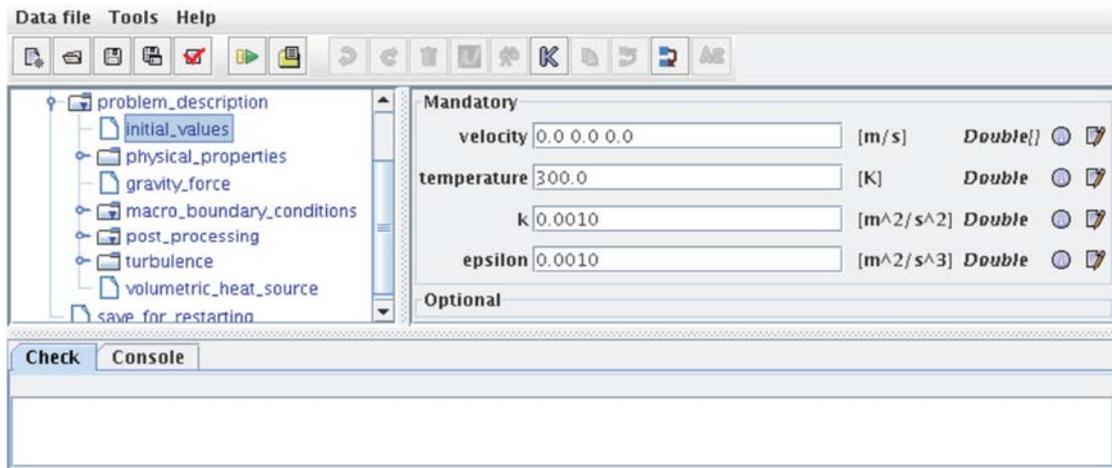


圖 D.5 初始值

D.7 -- 定義流體性質

問題的類型也定義了需要指定的流體特性，在此範例中為密度法則， $\rho T = \rho_0 T_0$ 層流黏度，傳導率，比熱與焓。

關於密度，選用 “dilatable” 法則，其中 $\rho T = \rho_0 T_0$ 。應此輸入參考密度， $\rho_0 = 1$ ，而溫度， $T_0 = 300$ 。

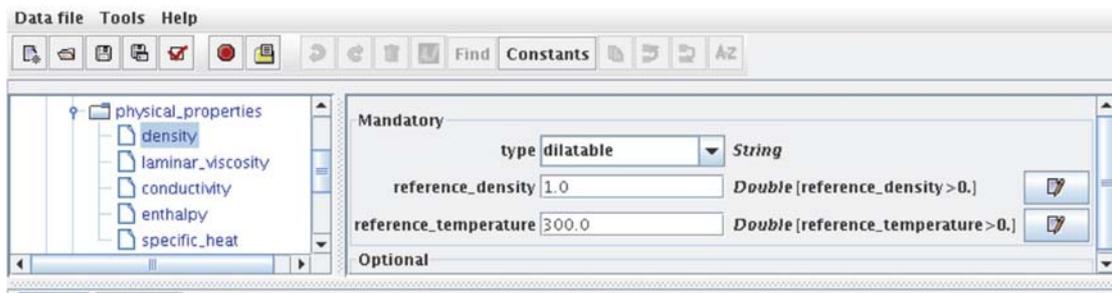


圖 D.6 密度： $\rho T =$ 常數

其他法則也依相同方式定義：

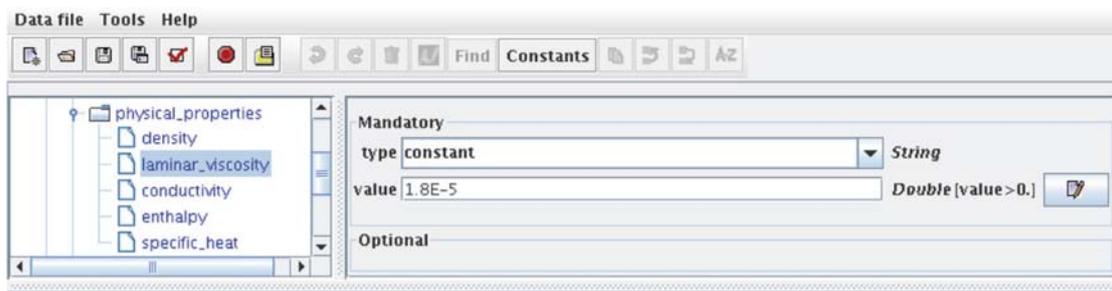


圖 D.7 恆定層流黏度

D.8 定義重力

下一個步驟為定義重力場，以及在公式中如何處理重力（標準或是布氏近似）。動量守恆公式的項目為 $(\rho - \rho_0) \cdot g$ ，所以參考密度 ρ_0 也必須在此附錄中定義。

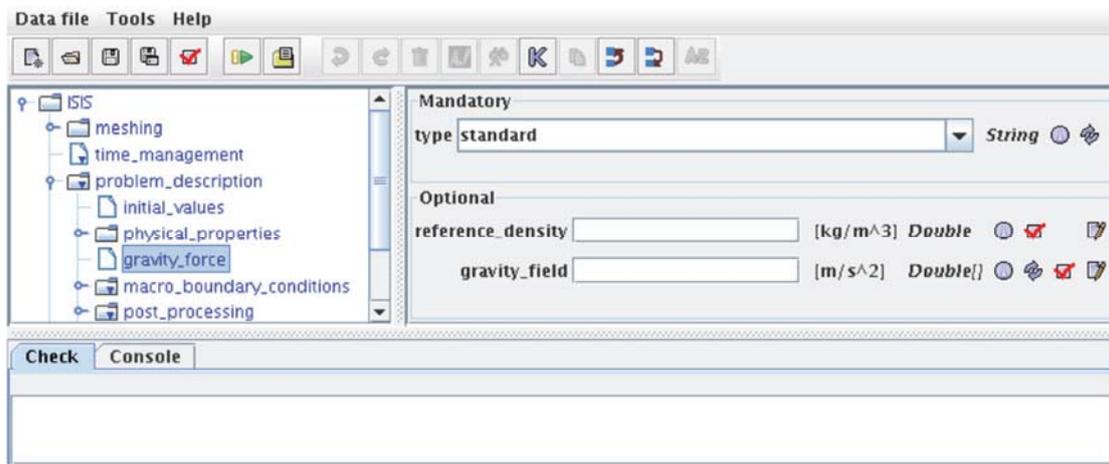


圖 D.8 重力： $(\rho - \rho_0) \cdot g$

D.9 定義邊界條件

定義邊界條件，首先應定義範圍最外部的區域，亦即適用這些條件的區域。不論在建置網格時選擇何種網格產生器，應指定外部邊界的 "colouring"（邊界的各個部分都指以 "colour" 標示）。指定在各個網格的顏色應依適用的邊界條件分組為 "巨集顏色(macroclours)"。

在此例中，PELICANS “GE_BoxWithBoxes” 內部網格產生器定義四個顏色：“上”，“下”，“左” 與 “右”。他們被分組為巨集顏色的 "walls"。這在 "meshing/macro_colors" 選單中完成。

適用特定邊界條件的門，也需要定義。為此，使用可為部分角隅，面或網格單元定義顏色的 “GE_Colorist” 模組。首先，在 “meshing/GE_Meshing” 項目當中建立 “GE_Colorist” 選項(按滑鼠右鍵)。然後，在邊界的部分上加上 "faces" 選項，並定義新的 "door_colour"。然後，按下行列中最後一個按鈕，以開啟常數定義選單。輸入一個布林表式，做為邊界面中心的座標構成的向量 “\$DV_X” 之函數，當表面包含於門內時，其值為真。使用 PELICAN 表式 in_box ($\$DV_X, \langle x0\ y0\ z0 \rangle, \langle x1\ y1\ z1 \rangle$)，當 $x0 < \$DV_X(0) < x1; y0 < \$DV_X(1)$

$z_0 < \$DV_X$ (2) $< z_1$ 時，傳回值為真。

在此函數，門的公式為：

```
(in_box($DV_X,
vector(2.8-1.e-06, 1.03, 0.00),
vector(2.8+1.e-06, 1.77, 1.83)))
```

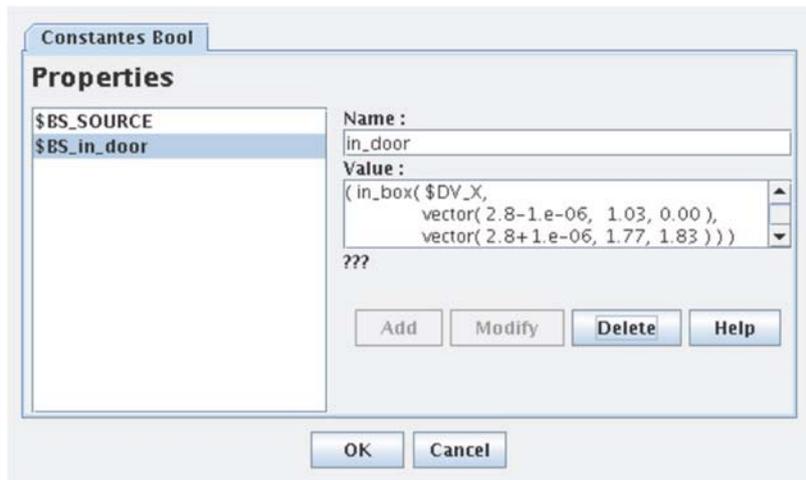


圖 D.9 定義布林變數 "in_door"

注意：前面圖中的問號表示 "in_door" 變數無法評估，因為其與 "\$DV_X" 變數相依，而此變數在程式執行時，會代入範圍中所有邊界面中心的座標值。

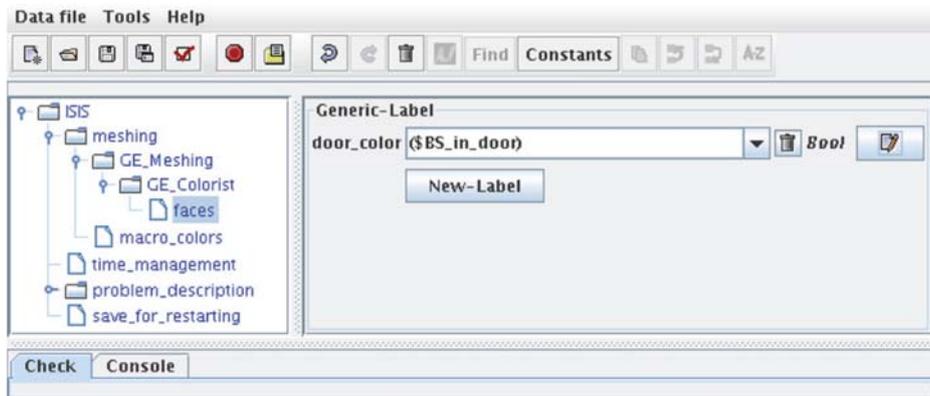


圖 D.10 定義 "door_color"

最後一個步驟是定義兩個相應的巨集顏色：

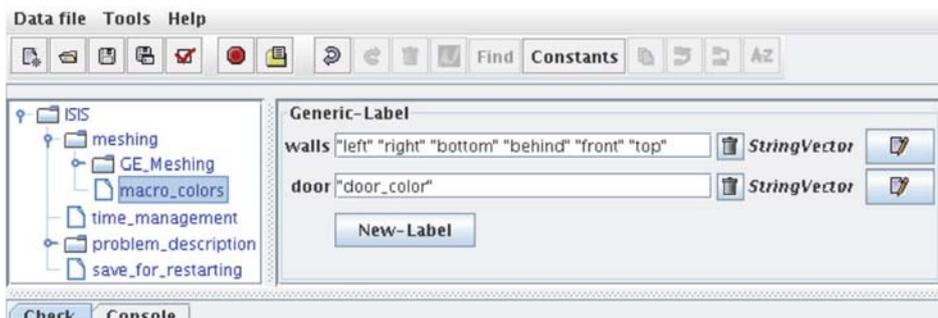


圖 D.11 定義巨集顏色

對於各個巨集顏色，要定義應用的邊界條件類型（巨集邊界條件），以及選定邊界條件的未知數。

第一個巨集邊界條件應用在 "walls" 巨集顏色為 "wall" 的型式。

-- 關於速度的邊界條件為由牆壁紊流法則所給定的滑動條件。

-- 也要選取焓的 "adiabatic" 條件。

流體可自門進入或離開，因此，使用 "inlet_outlet" 巨集邊界條件。對於各個場域，應設定可能的傳入值：

-- 對於焓，"inlet_value" 為 0（在 $T = 300\text{ K}$ 時進入的氣體）；

-- 對於 k ，傳入值為紊流動能的分率：

$k_{in} = 1.5(\alpha v)^2$ ，在此範例中，“turbulent_intensity” 參數 α 設定為 0.01%；

-- 對於 ε ，傳入值是由混合長度法則決定。

$\varepsilon_{in} = C_{\mu}^{0.75} k_{in}^{1.5} / l_m$ ，在此範例中，“mixing_length_scale” 參數 l_m 設定為 0.001 m。

D.10 紊流模式

在 "turbulence" 項目，選用標準 $k-\varepsilon$ 模式（也可用 RNG 變數）。必須要有兩項"數值" 參數：

-- 最大紊流尺度之長度特性，用於限制紊流黏度（在此，“maximal_mixing_length” 設為 3 m，表示房間的特徵尺度）；

-- 至牆壁法則所估算的牆壁之距離：此距離應小於網格單元尺度（在此，“delta_for_wall_law” 設為 0.01 m）。

關於此二參數的細節，請參閱參考資料 [15]。

$k-\varepsilon$ 模式中的各個常數具有預設值。這些值可以經由打開 "problem_description/turbulence/parameters" 選項（用滑鼠右鍵在 "

problem_description/turbulence” 點選) 變更。

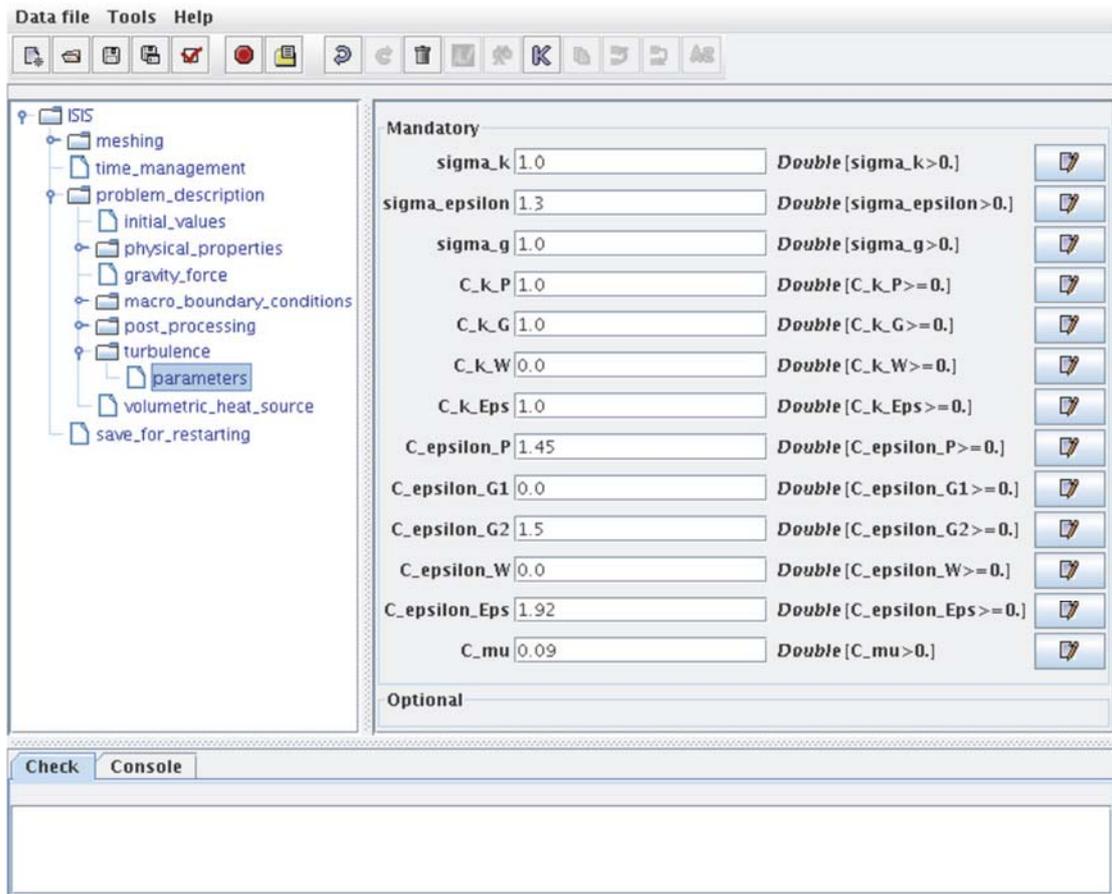


圖 D.12 $k-\epsilon$ 模式中的常數

D.11 火災模擬：容積熱源

在此範例中並未啟用燃燒模組，而火源是由火災程度的容積熱源模擬。

在"constantes" 選單中，定義常數 “\$DV_X” 做為空間位置的函數，當位於火源內時，其傳回值為 "true"，位於火源外時，其傳回值為 "false"：

```
(in_box($DV_X,
vector(1.25, 1.25, 0.00),
vector(1.55, 1.55, 0.30)))
```

當下列特性同時被查證時，上述表式的傳回值為真：

-- \$DV_X (x 座標) 的分量 0 在 1.25 與 1.55 之間；

- \$DV_X (y 座標) 的分量 1 在 1.25 與 1.55 之間；
- \$DV_X (z 座標) 的分量 2 在 0.00 與 0.30 之間。

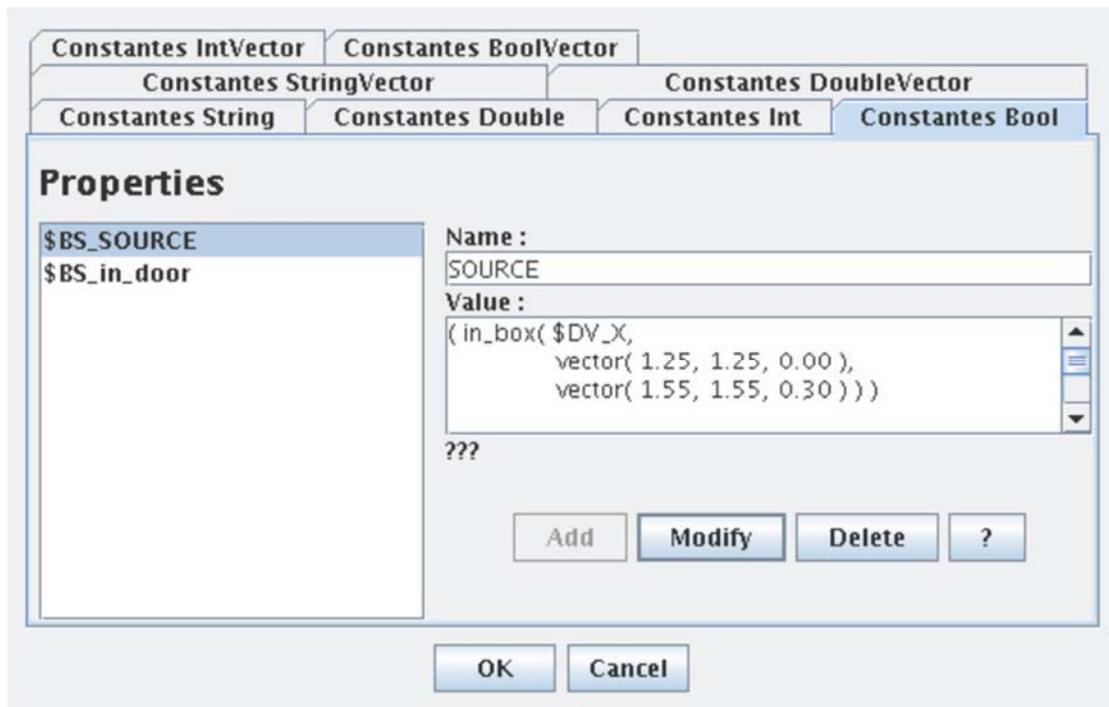


圖 D.13 定義布林變數 "SOURCE"

使用 "SOURCE" 變數，此熱源項目由以下表示定義：

((\$BS_SOURCE ? 2.3E6 : 0.))

當 \$BS_SOURCE (目前網格單元的中心座標 \$DS_X 之函數) 為真時，表式的傳回值為 2.3E6，否則，傳回值為 0。

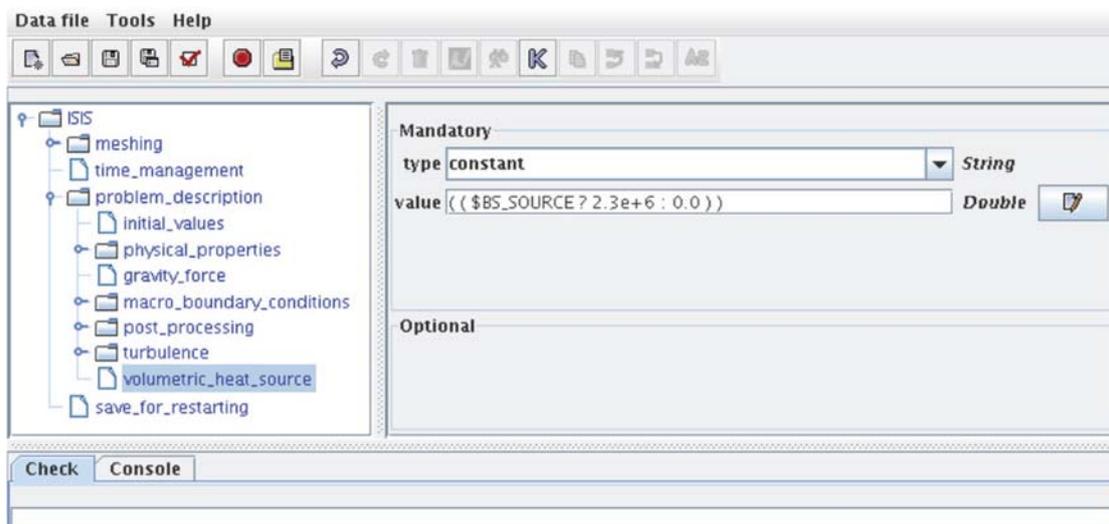


圖 D.14 定義容積熱源

D.12 執行計算

此計算可直接透過使用者的系統介面（“Data file/run”）執行，然後在打開的視窗上追蹤。

下方為計算終止時房間中心的溫度圖；可看到由容積熱源所模擬的火焰，由經（左方）門流入的新鮮空氣所供應。

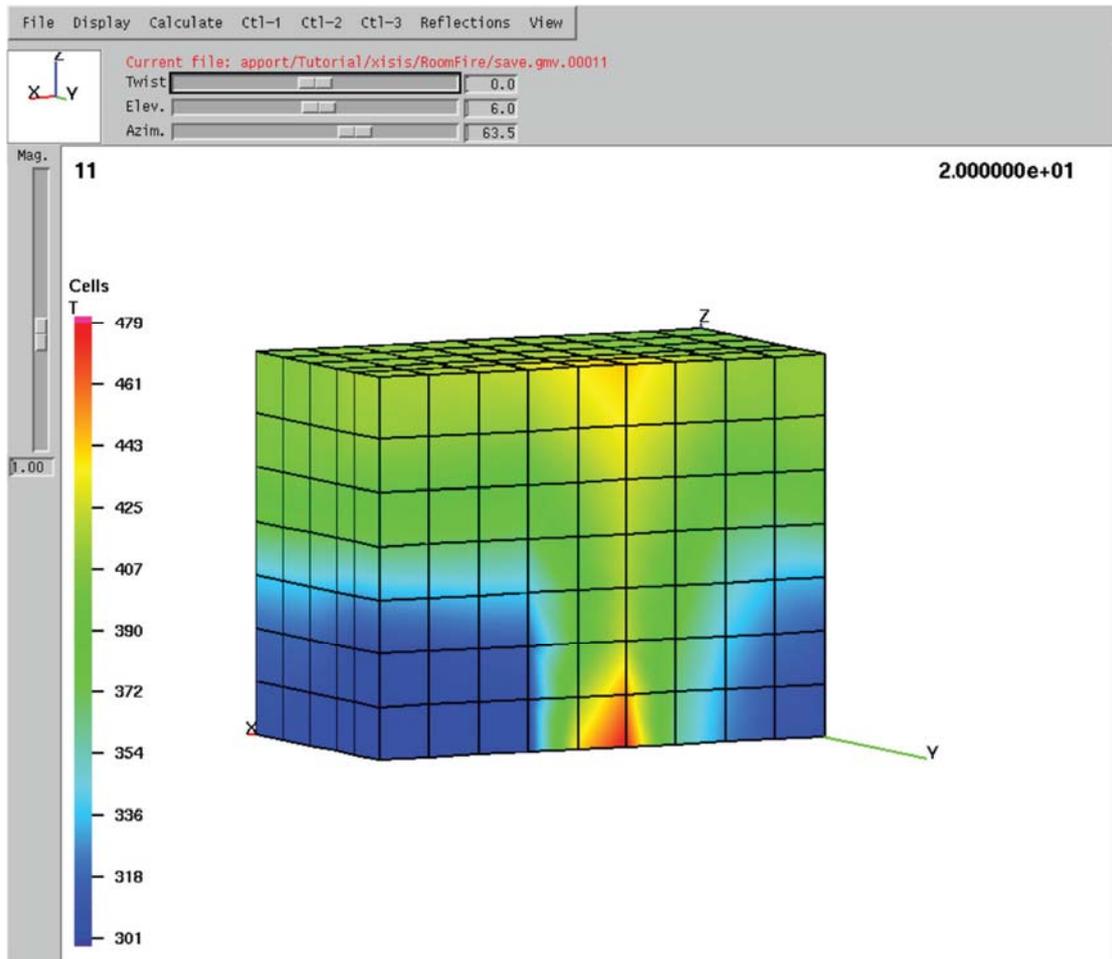


圖 D.15 溫度側面圖， $y = 1.4$

此範例中使用的為粗網格(567 格)。下方為同一溫度圖，但計算時，各個方向的方格數乘 3 (15,309 格)。

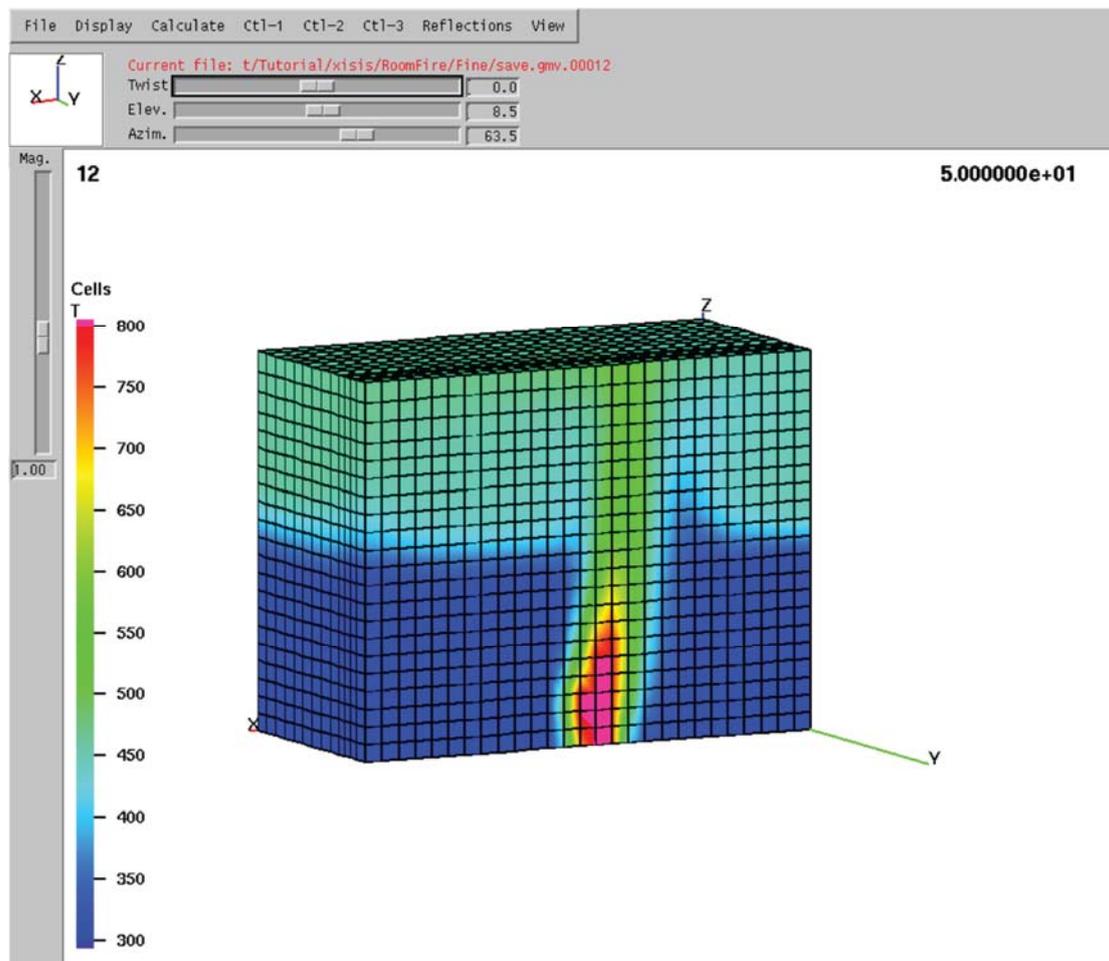


圖 D.16 溫度側面圖，細分網格， $y = 1.4$

參考資料

- [1] ISIS 2.0.0 Validation guide. IRSN Technical Report, 2010.
<https://gforge.irsnn.fr/gf/project/isis/>
- [2] ISIS 2.0.0., Physical Modelling. IRSN Technical Report, 2010.
- [3] ISIS 2.0.0. Tutorial. IRSN Technical Report, 2010.
- [4] Resolution in ISIS of the Radiative Transfer Equation using the Finite Volume Method. IRSN Technical Report, 2010.
- [5] *Verification and validation of the ISIS CFD code for fire simulation*, S. Suard, L. Audouin, F. Babik, L. Rigollet, J.-C. Latché, Fire Safety Engineering – Examples on Assessment, Verification and Validation of Calculation Methods. Southwest Research Institute, USA, April 2006 (ISO/TC 92/SC 4 Workshop on Assessment of Calculation Methods in FSE).
- [6] *Validation process of the ISIS CFD software for fire simulation*, C. Lapuerta, F. Babik, S. Suard, L. Rigollet, Experimental Validation and Application of CFD and CMFD, Codes to Nuclear Reactor Safety Issues, Washington DC (États-Unis), 14-16 September, OECD NEA IAEA, 2010.
- [7] Fuel Mass-Loss Rate Determination in a Confined and Mechanically Ventilated Compartment Fire Using a Global Approach, Nasr, A., Suard, S., El-Rabii, H., Gay, L. and Garo, J. P, *Combustion Science and Technology*, 2011, **183:12**, pp. 1342-1359.

- [8] Quantifying differences between computational results and measurements in the case of a largescale well-confined fire scenario, L. Audouin, L. Chandra, J-L Consalvi, L. Gay, E. Gorza, V. Hohm, S. Hostikka, T. Ito, W. Klein-Hessling, C. Lallemand, T. Magnusson, N. Noterman, J.S. Park, J. Peco, L. Rigollet, S. Suard, P. Van-Hees. *Nucl. Eng. Des.* 2011, **241** pp. 18 - 31.
- [9] *Validation process of ISIS CFD software for fire simulation*, C. Lapuerta, S. Suard, F. Babik, L. Rigollet. *Nucl. Eng. Des.* 2012, **253** pp. 367 - 373.
- [10] An L2-stable approximation of the Navier - Stokes convection operator for low-order nonconforming finite elements, G. Ansanay-Alex, F. Babik, J. C. Latché and D. Vola. *Int. J. Numer. Methods Fluids* Article first published online: 4 MAR 2010. DOI: doi:10.1002/flid.2270.
- [11] On two fractional step finite volume and finite element schemes for reactive low Mach number flows, F. Babik, T. Gallouët, J.-C. Latché, S. Suard and D. Vola, The International Symposium on Finite Volumes for Complex Applications IV - Problems and Perspectives, Marrakech (2005).
- [12] Sensitivity Analysis of a Fire Field Model in the Case of a Large-Scale Compartment Fire Scenario, S. Suard, C. Lapuerta, A. Kaiss, B. Porterie, *Numerical Heat Transfer. Part A.* 2013, **63** (12) pp. 879 - 905.
- [13] Steckler K.D., Quintiere J.G., Rinkinen W.J. "Flow induced by fire in a compartment", *NBSIR 82-2520*. National Bureau of Standards, 1982.
- [14] Lewis M. J., Moss J.B., Rubini P.A. CFD Modelling Of Combustion and Heat Transfer In Compartment Fires. *Fire Safety Science.* 1997, **5** pp. 463 - 474.
- [15] Kuzmin D., Mierka O., Turek S. On the implementation of the k-epsilon turbulence model in incompressible flow solvers based on a finite element discretization. *Ergebnisberichte Angew. Math.* 345, University of Dortmund, 2007. *Int. J. Comp. Sci. Math.* 1 (2007) no. 2/3/4, 193-206.

五、結構模式範例

1. 適用範圍

本範例說明ISO 16730-1 中指定的程序在結構耐火模式的應用。

在此處理的特定模式之主要目的為模擬熱傳遞與牆壁組件的結構反應。

2. 結構模式考量的一般資訊

呈現預測石膏板防護的木構中間柱承重牆組件耐火性能的分析模式。此模式結合一個熱傳遞子模式與一個結構子模式。熱傳遞子模式預測木構中間柱牆內部的溫度分佈以及阻熱失效的時間。結構子模式基於彈性挫曲負載，使用溫度分佈以計算木構中間柱的撓曲，以及組件結構失效的時間。

3. 本範例所使用的方法

對於預計使用的計算方法，依 ISO 16730-1 及本技術報告概述為基準進行檢查。本技術報告的附錄 A 與 B 當中，在兩欄式的表格左欄，列出需檢查的重要事項。上述附錄 A 與 B 表格中的右欄內敘述這些事項的細節，並顯示這些項目在計算方法的發展過程中的關係。附錄 A 涵蓋計算方法的說明，附錄 B 則為特定計算方法之評估（查證與確認）的完整敘述。參考資料包含實作範例與使用手冊。

附錄 A(參考)計算方法說明

A.1 目的

問題解決或功能執行的定義	發展預測暴露於火災當中之輕質木構框組式牆組件的耐火性之分析模式。模式依據實驗觀察，溫度上升時之材料性質，以及材料強度方程式估算熱傳遞與結構反應。
計算方法之結果的敘述	要模擬木構框組式組件的耐火行為，必須估計其暴露在火災之下的熱與結構反應。熱反應提供組件內部的溫度分佈之估計。結構反應基於此溫度分佈計算組件的結構失效。
納入可行性研究與理由陳述	<p>傳統上，木構框組式組件的耐火性一般的估算方式為：</p> <ul style="list-style-type: none"> -- 依據標準所敘述的程序試驗組件，或是 -- 使用參照建築法規找到的現成表格或設計程序（構材加成法 <i>Component Additive Method (CAM)</i>），或是 -- 或者，可使用經確認可用的數值模式估算耐火性。 <p>耐火性試驗方法有其缺點，包括高成本與高耗時，試樣的幾何形狀與負載限制，以及較小程度的再現性。計算方法提供嘗試評估輕質框組式組件的耐火性時，克服上述其中某些問題的方式。計算方法也有助於設計實驗計畫，改善產品製造，以及協助業界充分利用性能法規所帶來的機會，因為這些方法將有助於更快的設計過程。</p>

A.2 理論

<p>基本概念模式 (主控現象)的說明, 如果適用</p>	<p>要發展能夠重現試驗結果的牆組件耐火性模式, 必先仔細觀察其在實驗計畫中的耐火性行為。試驗結果顯示, 木構中間柱牆在暴露於火災當中時的行為, 取決於數項關鍵因素: 分隔木樑架與火焰的石膏板層數, 樑架間的阻熱性, 木樑架的材料性質, 以及組件所承受的溫度。</p> <p>此模式包含兩個子模式, 一個熱傳遞子模式與一個結構子模式。熱傳遞子模式稱為 WALL2D, 預測熱反應。熱傳遞模式考量石膏板與木材脫水, 以及木材熱解作用所吸收的熱量, 以時間函數的方式測定牆內的溫度分佈, 而不考量質量的傳遞。熱傳遞導式採用木材, 石膏板與阻熱材料的熱物理性質。熱傳遞導模式也可透過結合經由阻熱材料傳導與輻射熱傳遞, 預測玻璃纖維與礦纖阻熱性對木構中間柱牆耐火性的影響, 並用與溫度相依之有效導熱性與阻熱性材料密度呈現。此外, 熱傳遞模式計算經由石膏板的收縮造成的接合部開口, 進入牆壁內腔的熱氣, 以及碳化層進入中間柱截面的時間。</p> <p>木框架組件的結構火害性能受到木材在升高的溫度之下, 碳化率以及機械性質劣化, 以及組件所承受負載所影響。要確定結構反應, 採用臨界挫曲子模式與熱傳導模式共同應用。此子模式應用熱傳遞模式的溫度分佈預測做為輸入, 然後計算木構中間柱牆的撓曲與臨界彈性挫曲負載。由於受到石膏板的側向支撐, 木構中間柱的挫曲於強軸是被束制, 中間柱的撓曲使用彈性理論估算, 中間柱的挫曲, 如預測鉸接-鉸接偏心柱, 可考慮中間柱如梁-柱結構計算。</p>
<p>計算方法所依據的現象之理論基礎與物理定律之說明, 若適用</p>	<p>試驗結果也顯示, 當木構框組式牆暴露在火災當中, 石膏板的溫度首先增加。在一段時間之後, 中間柱開始加熱, 然後在溫度達到 280 °C 到 300 °C 之間的範圍時開始碳化。如此導致中間柱轉向遠離火源。中間柱與石膏板的撓曲逐漸增加, 導致石膏板接合部分開口。安裝在中間柱上的石膏板, 阻礙中間柱在側向的扭轉挫曲, 因此, 木構中間柱在其強軸方向撓曲。當開口加大時, 木構中間柱更加暴露, 而碳化率增加。對於承重木構牆, 中間柱的加熱與開始碳化造成偏心負載, 而依牆端的條件 (鉸接或固定條件) 而移動或是保持不動。當負載中間柱的截面積開始縮減 (碳化面積增厚), 牆的中間柱開始遭受過多的撓曲, 使得中間柱再也無法支撐負載 (挫曲破壞); 這造成了牆的結構破壞。對於非承重牆, 組件破壞主要是受到牆的非暴火側過度溫度上升所支配。下圖顯示木構中間柱牆組件的行為與破壞模式。</p> <p>見圖 A.1</p>

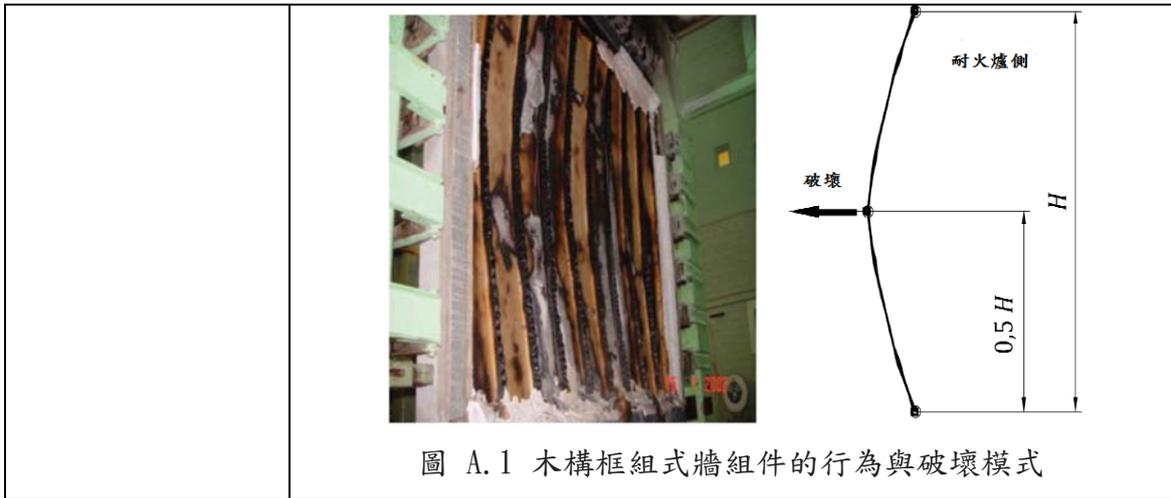


圖 A.1 木構框組式牆組件的行為與破壞模式

A.3 理論的實施

控制方程式

使用由下列方程式所支配的焓方程式描述通過石膏板與木構中間柱的熱傳遞。

$$\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (1)$$

其中

- ρ 為密度 (kg/m^3) ;
- H 為焓 (J/kg) ;
- t 為時間 (s) ;
- k 為熱傳導係數 ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$) ;
- T 為溫度 ($^\circ\text{C}$) , 而
- x 與 y 為座標 (m).

公式 (1) 使用顯式有限差分方法求解。

假設中間柱的兩端為固定，臨界彈性挫曲可由以下公式計算：

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2)$$

其中

- P_{cr} 為彈性挫曲負載 (N) ;
- E 阻抗元件的彈性係數 (MPa) ;
- I 轉動慣量 (mm^4) , 與
- L 為實際中間柱長度 (mm).

慣性矩與彈性模數的值依時間改變。對於慣性矩，熱傳遞模式提供中間柱剩餘截面積的估計。對於彈性模數，其對溫度的改變量可由文獻獲得。

剛性(彈性模數與慣性矩的乘積)為牆壁各個中間柱及在中間柱網格化基礎，以下列公式計算：

$$EI = \sum_i^m E_i \frac{b_i D_i^3}{12} + \sum_i^m (b_i D_i) (Y - y_i)^2 E_i \quad (3)$$

其中

- b_i 為元件寬度 (mm) ;

- D_i 為元件深度 (mm) ;
 Y 為中間柱的形心 (mm) ;
 y_i 為元件形心 (mm), 及
 E_i 為相依於溫度的元件彈性模數 (MPa)。

給定撓曲的微分方程可用下列方式撰寫：

$$EIy'''' + Py'' = 0 \quad (4)$$

其中

- y 為面外撓曲 (mm) ;
 EI 為中間柱的剛性 (N-mm²), 及
 P 為外加負載 (N).

任何時間中間柱高度 x 位置的撓曲 y 為：

$$y(x) = \frac{M_0 L^2}{8EI} \left[\frac{2 \cos\left(\Psi - \frac{2\Psi x}{L}\right) - \cos(\Psi)}{\Psi^2 \cos(\Psi)} \right] \quad (5)$$

與 $\Psi = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{P}{P_{cr}}}$ 及 $M_0 = P(e_c - e_p)$

其中

- L 為中間柱的長度 (mm) ;
 e_c 為阻抗元件形心的偏心率 (mm), 及
 e_p 外加負載的偏心率 (mm).

除了負載所產生的撓曲之外，木材表面的偏心率會影響中間柱的撓曲。通常偏心率可用正弦方程式表示：

$$y_e = e^* \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) \quad (6)$$

其中

- y_e 為偏心所產生的撓曲的量值 ;
 e^* 為最大偏心率 ;
 x 為中間柱方向的位置 , 及
 L 為中間柱長度。

此值可與負載偏心所產生撓曲加總得到整體的撓曲量。

$$\Delta = y(x) + y_e \quad (7)$$

採用的數學技術、程序與計算演算法，以及其參考資料。	此子模式假設熱傳遞主要發生在牆組件的截面，而垂直方向的熱流可忽略。有限差分網格考量牆的對稱性，與再接近木構中間柱網格細化及遠離木構中間柱的石膏板間較大的間距。
辨識因為計算方法的適用範圍所導致之對於輸入參數各項邏輯與限制所隱含的假設。	<p>模式是基於單一中間柱分析，被分析的中間柱破壞表示牆的破壞。</p> <p>熱傳遞模式不包含水分移動的影響。</p> <p>結構模式基於彈性挫曲分析。</p> <p>模式預測牆壁暴露在標準火災時的耐火性。模式並未暴露在實際火災中檢驗。模式無法模擬火災的衰減階段。</p> <p>以一個使用中的模式在上升溫度時材料性質的準確度是有限的。</p>
討論由重要演算法所獲致的結果之準確度，以及在電腦模式中，對特定電腦能力的相依性。	<p>基於已執行的確認，對於結構破壞的預測一般準確度在量測值的 10% 以內。要得到實際的準確度，可能需要更多的確認。</p> <p>目前模式可處理的最小網格尺度為 1.6 mm，而分析使用的時階為 1 s。</p>
靈敏度分析結果的說明	<p>為確定影響耐火模式的關鍵因素，已使用此模式進行參數研究。在參數研究中，所有牆壁組件由 10 支截面寬度 89 mm 乘 38 mm，間隔 400 mm，釘接固定的中間柱所構成。結構反應中所考量的參數包含彈性模數，中間柱長度與對組件外加負載。</p> <p>熱反應中所考量的參數包含木材密度與釘接的間隔。</p> <p>所有這些參數均會影響組件破壞的時間。</p>

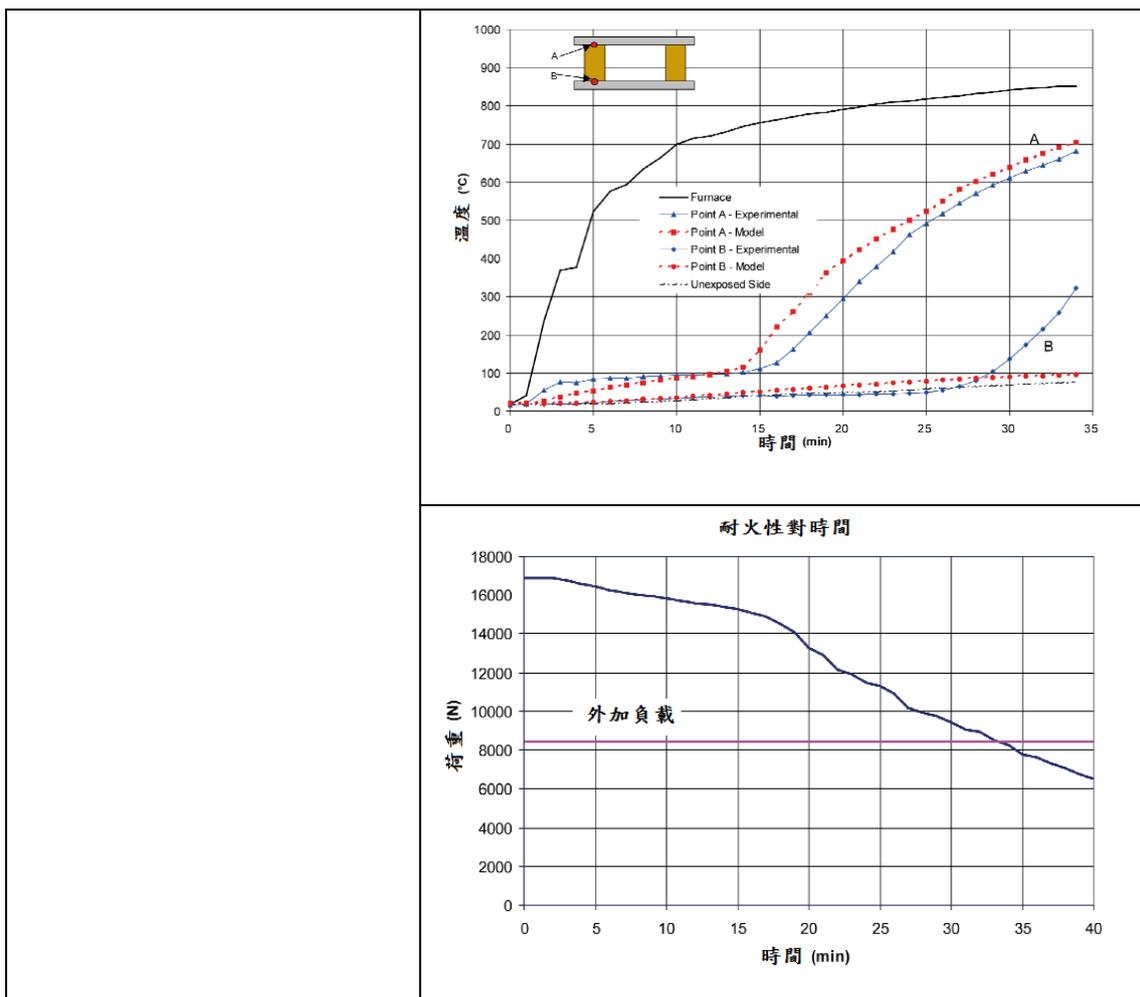
A.4 輸入

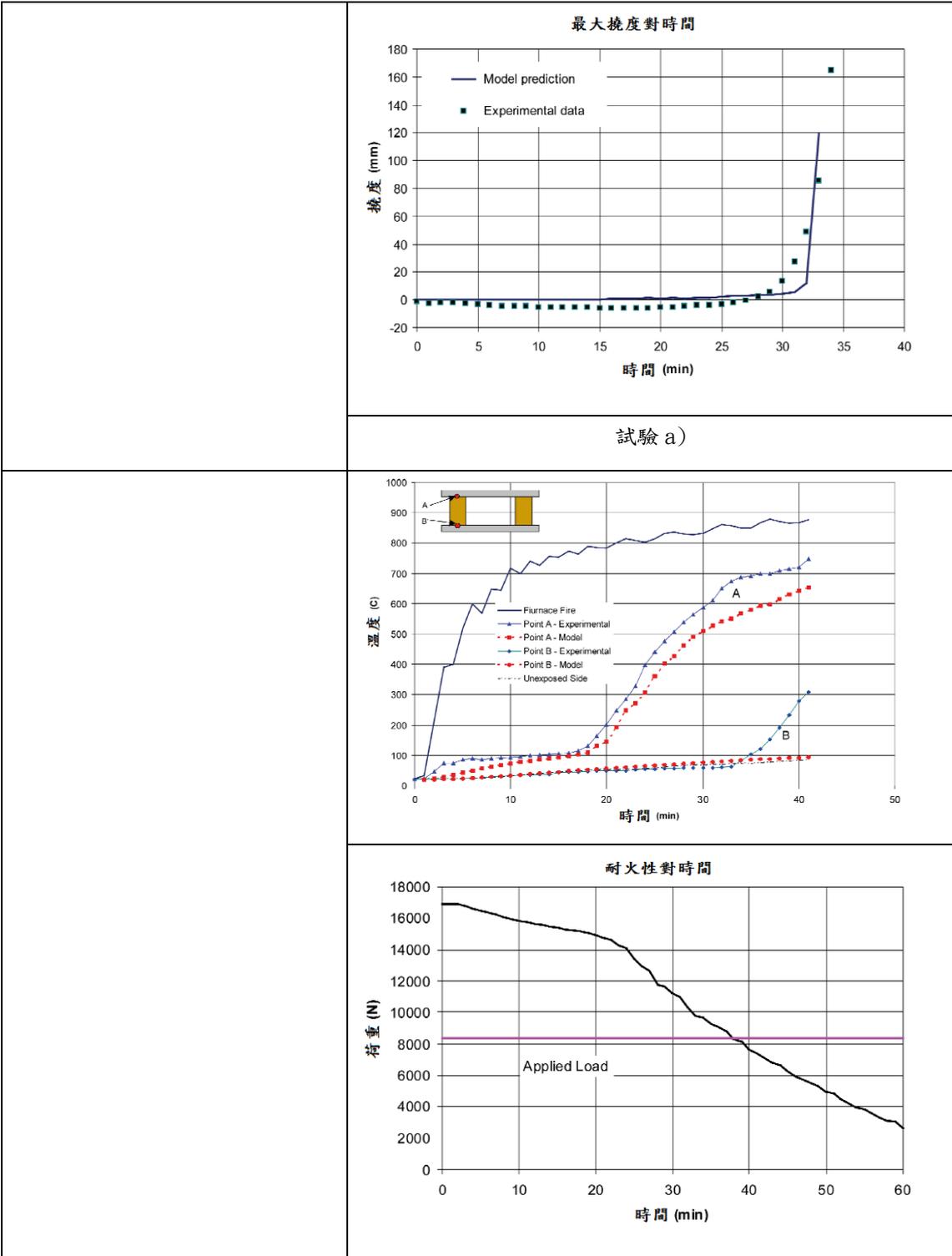
需要的輸入說明	<p>可經由使用者圖形介面輸入資料（更多細節請參閱使用者手冊）：</p> <ul style="list-style-type: none"> -- 木材種類型式； -- 中間柱的幾何形狀（截面與長度）； -- 炭化溫度； -- 施加負載與中間柱數量； -- 環境溫度的機械性質； -- 牆組件兩側石膏板的層數，類型與厚度； -- 阻熱材料的類型與密度； -- 釘距
---------	---

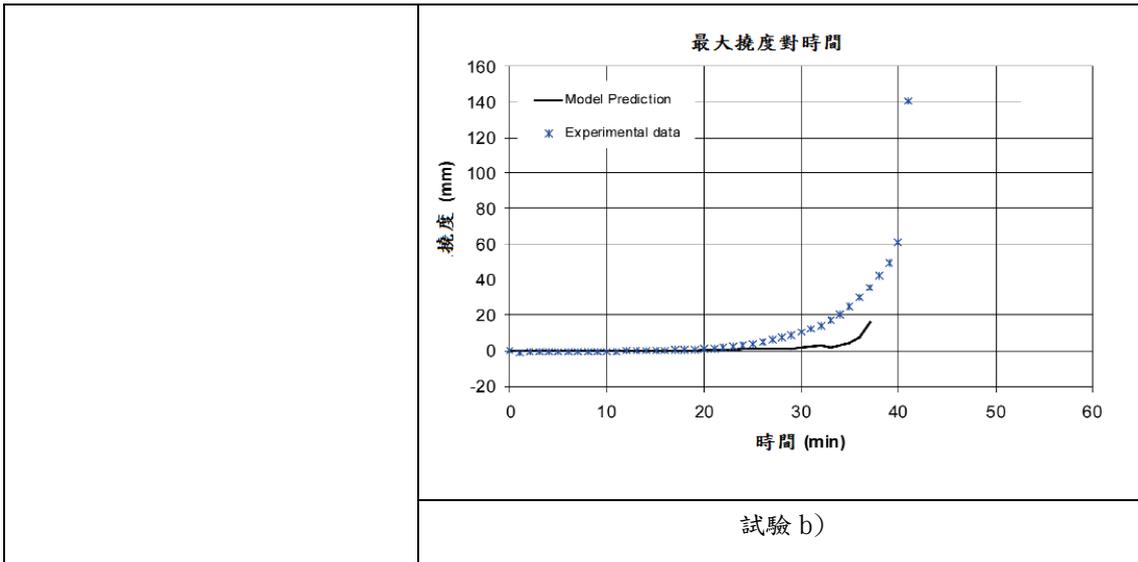
需求資料來源的資訊	幾何形狀與結構細節是由使用者輸入。 在上升溫度之材料性質來自試驗與文獻。
對於電腦模式：任何需用的輔助程式或外部資料。	無
提供電腦模式之來源、內容及資料庫的使用等資訊。	不需由外部來源獲得。

附錄 B(參考)計算方法之評估(查證與確認)的完整說明

<p>各種評估計算方法之預測能力作為的(數值)結果符合 ISO 16730-1 第 5 節。</p> <p>以定量的方式呈現。</p>	<p>為查證模式的有效性，需要比較預測值與實驗數據。試驗用來評估耐火模式的預測值。組件中包含腔體內填充的玻離纖維。</p> <p>預測之由熱傳遞產生的時間溫度曲線，已被用於計算中間柱負載能力的降低，以及彈性模數的減低。當兩件組件在試驗 a) 與試驗 b) 分別於第 34 與 41 min. 結構承重能力失效時，非曝火側的溫度並未達到阻熱失效的基準(詳見下圖)。</p>
---	---







<p>已執行之審查、分析試驗、比較試驗、實驗確認以及程式碼檢查的基準。</p> <p>若是電腦模式，計算方法的確認是基於貝他試驗，文件宜包含參與測驗人員之描述（例如，是否有任何程度的參與計算方法之發展過程或是其是否為初級使用者；是否曾受到最終產品的目標使用者無法獲得的額外指示等）。</p>	<p>見參考資料 [1] 至 [5]。</p>
<p>符合 ISO 16730-1 的計算方法之延伸</p>	<p>此特定模式的查證及確認程序符合 IS 16730-1 的要求。</p>

參考資料

[1] Bénichou N., & Sultan M. A. *Design considerations for fire resistance performance of lightweight framed assemblies*, CSCE 2003 Annual Conference (Moncton, New Brunswick, June 04, 2003), pp. 567-1 - 567-10, June 01, 2003.

[2] Bénichou N., Sultan M. A., Kodur V. R. *Fire resistance performance of lightweight framed wall assemblies: effects of various parameters, key design considerations and numerical modelling*, Fire and Materials

2003, 8th International Conference (San Francisco, CA., USA. January 27, 2003), pp. 9 – 20, January 01, 2003.

- [3] Bénichou N., Takeda H., Sultan M. A., Mehaffey J. R. *Modelling the fire resistance of loadbearing wood-stud wall assemblies*, 4th International Scientific Conference on Wood and Fire Safety (Svolen, Slovakia, May 14, 2000), pp. 33 – 43, May 14, 2000.

成功實例

- [4] Bénichou N., & Morgan D. Structural Response Model for Wood Stud Wall Assemblies — Theory Manual, *Research Report, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada*, (128), pp. 10, April 01, 2003.

使用手冊

- [5] Bénichou N., & Morgan D. Structural Response Model for Wood Stud Wall Assemblies — User Manual, *Research Report, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada*, (129), pp. 34, April 01, 2003.

六、逃生模式範例

1. 適用範圍

本範例說明 ISO 16730-1 中指定的程序在逃生避難模式 (EXIT89) 的應用。

本範例處理的特定模式之主要目的為模擬居住人口密集的高層建築之避難。

2. 避難模式考量的一般資訊

中預計使用之避難模式的名稱為 "EXIT89"。EXIT89 為一電腦模式，發展用於模擬居住人口密集的高層建築之避難。一些模式的功能包括：

- 整個建築內的身心障礙住戶，
- 住戶之間的隨機延遲時間，以模擬大量人群開始時間的分布。
- 可選用避難的最短路徑或指示路徑，如此使用者可演示訓練有素的工作人員對避難順利進行的影響，相對於未受訓練，未受協助的人群使用熟悉路徑避難的擁擠狀況。
- 逆向流，可模擬消防單位作業的影響，或是處理人流匯集或在行進路徑中遭遇阻礙。
- 許多影響行進速度的選項，以及
- 住戶上下樓行進。

3. 本範例所使用的方法

對於預計使用的計算方法，依 ISO 16730-1 及本範例概述為基準進行檢查。本範例的附錄 A 與 B 當中，在兩欄式的表格左欄，列出需檢查的重要事項。上述附錄 A 與 B 表格中的右欄內敘述這些事項的細節，並顯示這些項目在計算方法的發展過程中的關係。附錄 A 涵蓋計算方法的說明，附錄 B 則為特定計算方法之評估（查證與確認）的完整敘述。附錄 C 敘述實施的範例，而附錄 D 為使用手冊。

附錄 A(參考)計算方法說明

A.1 目的

<p>問題解決或功能執行的定義</p>	<ul style="list-style-type: none"> -- 可處理大型、複雜的建築； -- 可隨時間進展追蹤大量居住人口； -- 結合煙霧模式，可預測火災蔓延避難行動的影響。 <p>避難模式設計用於：</p> <ul style="list-style-type: none"> -- 能夠處理大量居住人口， -- 在房間或節點為煙霧阻礙後，能夠重新計算避難路徑。 -- 紀錄每個住戶在火災中每個設定時間間隔的位置，以追蹤個人在建築中的移動，以及 -- 變動的行進速度，為在避難時，空間擁擠程度的改變之函數，亦即等候效應。 -- 其他特性包括模擬上下樓行進，以及逆向流的影響。
<p>計算方法之結果的 (定性)敘述</p>	<ul style="list-style-type: none"> -- 輸出包含 <ul style="list-style-type: none"> -- 整體避難時間， -- 樓層清空時間， -- 樓梯間清空時間， -- 出口使用率，以及 -- 個人隨時間移動的位置細節。
<p>理由陳述與可行性研究</p>	<p>在制定之初，避難模式試圖將建築中的住戶視為管路中的流體處理，沒有對警報延遲反應等行為等等。此一流體力學型式模式適於計算最佳避難時間，但經常計算出太短而不實際的時間。唯一能將住戶視為個體的模式 (EXITT) 是基於家庭設定中的家庭群組。需要發展一套符合 HAZARD I 架構的避難模式，但允許其應用也可延展到住宅之外，至更複雜的結構物，例如高層建築。此一避難模式能夠追蹤大量個人循著避難方向路徑在大型且複雜的結構中行進。避難模式使用最短路徑演算法移動個人，根據建築節點 (或空間) 密度計算行進速度，然後使用 EXITT 關於對煙霧反應的決策與可維持法則。隨著時間的進行，模式加入影響避難時間的新功能，例如逆向流。個人或住戶群組的延遲時間，可選擇均勻的或是使用對數常態分佈。</p>

A.2 理論

<p>基本概念模式 (主控現象)</p>	<p>逃生時間是基於至出口的距離與步行速度。步行速度由密度以及住戶的特性決定。Predtechenskii 與 Milinskii 發展了一套公式，依據觀測住戶在無煙環境的行動，加上年齡(成人/兒童)，服裝(夏季/春秋/冬季)，產權負擔(行李/背包/包裹/懷抱兒童)等考量。在他們的著作中，以表格列出人們在水平路徑、上下樓、再平常及緊急速度行動的速度之計算結果。此表格整合納入模式當中。</p> <p>對實際的避難觀察顯示延遲時間傾向遵循對數常態分佈。有時，情況可能導致在空間中所有住戶延遲了大約相同的時間開始避難。不論單獨或成群，每個個人均有其開始時間。模式的使用者可以指定分佈狀態，設定對數常態分佈的平均值與標準差，或均勻分佈的最小與最大值。</p>
<p>計算方法依據的現象之 理論基礎以及物理定律。</p>	<ul style="list-style-type: none"> -- 建築的網路表示； -- 區域觀點； -- 沒有明確的行為因素(使用延遲時間)； -- 依據群眾密度決定的步行速度； -- 計算最短路徑或指示路徑之選項； -- 由 CFAST 的結果輸入的煙霧，可在避難過程中用來阻擋節點。 <p>避難模式使用依據在無煙環境中進行的研究所推導的行進速度公式。</p> <p>並未應用物理定律。</p>

A.3 理論的實施

<p>控制方程式</p>	<p>計算行進速度 人流密度 D 為： $D = Nf/wL (m^2/m^2)$ 其中 N 人流中人數； f 個人投影在水平面的面積； w 為人流寬度。 L 為人流長度。 水平路徑上的步行速度 V 為： $V = 112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57 (m/min)$ 對於下樓： $V \downarrow = Vm \downarrow (m/min)$ 其中 $m \downarrow = 0.775 + 0.44e^{-0.39D \downarrow} \cdot \sin(5.61 \downarrow - 0.224)$ 對於上樓： $V \uparrow = Vm \uparrow (m/min)$ 其中 $m \uparrow = 0.785 + 0.09e^{3.45D \uparrow} \cdot \sin 15.7D \uparrow$ 當 $0 < D \uparrow < 0.6$； $m \uparrow = 0.785 - 0.10 \sin(7.85D \uparrow + 1.57)$. 當 $0.6 \leq D \uparrow \leq 0.92$ 在緊急狀況中，讓人們逃離危險的恐懼，會使得相同密度的行動速度提高。 $V_e = \mu_e \cdot V$ 其中 $\mu_e = 1.49 - 0.36D$ 水平路徑以及通過開口； $\mu_e = 1.21$ 下行的樓梯； $\mu_e = 1.26$ 上行的樓梯。 計算的最大可能步行速度，在緊急狀況下為 1.36 m/s，平常情況下為 0.91 m/s。計算的最小可能步行速度，在緊急狀況下為 0.18 m/s，平常情況下為 0.15 m/s。</p>
<p>採用的數學技術、程序與</p>	<p>延遲時間由使用者在每個地點設定，然後會加上個</p>

<p>計算演算法，以及其參考資料。</p>	<p>人的隨機延遲時間。 延遲時間可由使用者在均勻分佈或對數常態分佈中選擇。</p>
<p>辨識因為計算方法的適用範圍所導致對於輸入參數各項邏輯與限制所隱含的假設。</p>	<p>Predtechenskii 與 Milinskii 的行進速度計算公式假設最高密度為 0.92。他們說明此為”經過實際情況查證”。</p> <p>行進速度公式是基於在無煙環境中的觀測。</p> <p>由於儲存節點與樓梯間資訊的陣列所限，大樓中限制最多 10 個樓梯間及每層樓 89 個節點（在樓梯間之外）。</p> <p>目前，此模式可處理最多達 26,000 住戶，在 10,000 個節點，於 1,400 個時距當中。</p> <p>時距設為 5 s</p> <p>延遲時間的實施假設人們在開始避難後便不會停止移動。</p> <p>逆向流的實施假設兩向人流交會只會減少可用的地板面積（在移動不會有其他干擾）。</p> <p>最短路徑演算法實施不允許住戶在路徑一旦決定之後變更路徑，直到樓層的某些區域發生堵塞。</p> <p>在樓梯上移動假設人們不會離開樓梯，及減緩速度或休息。</p> <p>延遲時間分佈的選項限定為均勻分佈及對數常態分佈。</p> <p>延遲時間的適當範圍可在文獻中找到（例如參考資料 [1]）。許多這些延遲時間是由觀測操演報告，而非實際火災的緊急狀況。</p>
<p>討論由重要演算法所獲致的結果之準確度，以及在電腦模式中，對特定電腦能力的相依性。</p>	<p>行進距離的計算是將建築樓層空間拆解為分成定義的節點，然後定義從節點至節點的路徑。節點的尺度會影響行進路徑。較大的節點會得到較少、較長、但較不精密的行進路徑。較小的節點允許更精密的路徑，但每一層樓可定義的節點數有限。</p> <p>在預設的時間間隔計算由節點至節點的移動。時間間隔的尺度影響移動的精確度。其預設值為 5 s。</p> <p>注意 模式使用 Visual Fortran v6.5 的亂數產生器。由線上文件得知：</p> <p>“RANDOM_NUMBER” 產生器使用兩個獨立的同餘產生器，以產生一個大約 10**18 的週期，並產生在 (0, 1) 之間平均分佈的真實擬隨機結</p>

	<p>果。其接受兩個整數種子，第一個種子減少至 [1, 2147483562]. 範圍內。第二個種子減少至 [1, 2147483398]. 範圍內。這表示此產生器有效地使用兩個 31-bit 種子" [21]</p> <p>關於此演算法的更多資訊，請參閱以下：</p> <p>— <i>Communications of the ACM vol 31 num 6 June 1988, titled:Efficient and Portable Combined Random Number Generators by Pierre L' ecuyer.</i></p> <p>模型可由均勻分佈或對數常態分佈二者中選擇延遲時間的分佈。使用者決定均勻分佈的最小/最大值，或對數常態分佈的平均值與標準差。觀測分佈可用的資料很少，因此使用者應判斷使用的分佈是否與文獻的觀測報告一致。</p>
<p>靈敏度分析結果的說明</p>	<p>最大的身體尺度選項較最小的身體尺度選項大 50%，但計算所得時間不會有那麼大的差異。較大的身體尺度使得在一定的住戶人數之下，計算所得的密度較相同人數但選用較小身體尺度之計算為大。較大的密度會造成較低的行進速度。但是若在預測中，空間中給定的人數不多，或是有較大的空間，使用不同的身體尺度計算密度的結果可能沒有太大差異。因而，計算得到的行進時間相當相似。</p> <p>注意 1 行進時間只在無煙環境中有效。</p> <p>注意 2 就其對於真實世界避難的適用性而言，攜帶行李及路徑上遺落的物品可能影響預測計算結果之正確性。</p> <p>一項評估逃生電腦模式之的預測能力的計畫發現，避難模式在樓高 6 至 15 層辦公建築與公寓大廈，可提供相當準確的總逃生時間預測，但若未提供先前所述對住戶負載的知識，且對居住者的數量，尺度選項，及計算行進速度靈敏的，會低估建築的總避難時間。</p>

A.4 輸入

<p>輸入需求</p>	<ul style="list-style-type: none"> — 網路描述； — 身體尺度（有三種選擇，選定的尺度會應用在所有住戶）； — 緊急/正常速度； — 路徑選項； — 煙霧資料，若有； — 逆向流，若有； — 延遲（影響數量與時間分佈）； — 是否有身心障礙人士。 <p>可模擬逆向流，但使用者需選擇受影響的節點及受影響的時間。</p> <p>使用者可選用參考資料 [6] 提供的最短路徑演算法。</p>
<p>需求資料的來源</p>	<p>詳情請見附錄。</p>
<p>對於電腦模型：任何需用的輔助性程式或外部資料。</p>	<p>若使用煙霧蔓延資料做為輸入</p>
<p>提供電腦模型之來源、內容及資料庫的使用等資訊。</p>	<p>這裡無需要</p>

附錄 B(參考)計算方法之評估(查證與確認)的完整說明

<p>(定量的)各種評估計算方法之預測能力作為的結果符合 ISO 16730-1 第 5 章。</p>	<p>許多在模式發展過程中進行，以查證模式正確執行內部計算的試驗，並未留下紀錄。在過程中產生的錯誤皆已修正。若有需要且適當，已進行模型預測值與可獲得的資料之間的比較。此附錄中說明一項上述的評估。四個範例的確認實行。</p>
<p>已執行之查核、分析試驗、比較試驗、實驗驗證以及程式碼檢查的基準。若是電腦模型，計算方</p>	<p>參考資料 [2] 參考資料 [3] (選定之出版品)</p>

<p>法的驗證是基於貝他試驗，文件宜包含參與測驗人員之描述（例如，是否有任何程度的參與計算方法之研發過程或是其是否為初級使用者；是否曾受到最終產品的目標使用者無法獲得的額外指示等）。</p>	<p>參考資料 [4] 參考資料 [5]</p>
<p>符合 ISO 16730-1 的計算方法之延伸</p>	<p>此特定模式的查證與確認程序符合 IS 16730-1 的要求。 註解：ISO 16730-1 提供良好的架構，可設置模式的功能與特性；然而， -- 此一程序較容易假設為公式基準的方法，且 -- 在缺乏資料的領域所發展的模式，使得查證與確認程序困難進行。 A.3 顯示對重要演算法所獲得結果的精確度進行討論之必要。在此避難模式的情況下，源頭工作（Predtechensky 與 Milinski）並未討論其分析的精確度，並且由於模式基本上將與真實火災觀測所得的避難時間比較，其精確度未知，因而不可能為模式提供精確度的討論。</p>

附錄 C(參考)樣例（模擬建築避難的逆向流）

C.1 摘要

此附錄說明 EXIT89 的應用，其為複雜結構建築避難模式，用於高樓層辦公大樓避難，說明最新功能的使用（模擬向樓上移動的能力，以及模擬逆向流的發生）。在為確認此模式而舉行的演練當中，很少大樓住戶使用最接近出口避難。其中大多數在建築中行進，直接朝向集合區的避難出口（上樓層的外側），即使需要爬樓梯才能達到該樓層，或是忽視需要爬過斜坡或使用建築外部樓梯方可到達集合點之最近的出口。出口附近幾乎是立即擁塞。當行進上樓的住戶遇到向行進下樓的住戶，會在朝向出口的共用走道空間中會流。新的逆向流選項，以及朝樓上移動的新模式選項，被用來模擬住戶選擇逃生路徑，以及兩個人流會流的影響。該建築在 286 秒內避難完畢，多數住戶在 220 秒以內到達建築物的外面。模式所預測的避難時間為 185 s，出口使用的分佈與實際非常相似。

C.2 一般

複雜結構與住有大量住戶在一大避難期間，有些住戶可能需要向上而非向下行經逃生梯以達到出口或安全區域。同時在某些狀況，包含消防人員在樓梯間的作業，可能在住戶朝向建築外部或是其他避難區域移動時，阻礙其行進。

C.3 逆向流

在避難期間可有的時間，有時逃生住戶的行進可用寬度會受到縮減，例如其他行進的相反方向、消防人員、或消防器材在樓梯間，或是其他沿途堆積的阻礙[6][7][8]。逆向流選項可讓使用者考量此一因素。

當消防人員抵達大樓時，他們可能會進入被避難住戶使用的門口。消防人員帶著消防水管前進，上樓，經過通道，在此過程中會縮減避難可用的路徑。模式依據每個位置的住戶密度計算行進速度。逆向流有縮減住戶可用樓地板空間的效應，增加人群在該空間的密度，及減低在該地點住戶的行進速度。

處理逆向流影響的方式與處理使用者指定煙霧阻礙的方式相似。使用者可依消防單位的反應與事故場景活動預測，決定沿著逃生路徑各地點受到限制的時間(s)，以及到的位置被限制的程度。例如，預期消防作業會使一個樓梯間在住戶受到警報後 8 分鐘限縮 50%，使用者由選擇受影響的樓梯間節點，輸入限制的程度及這些節點發生的時間，以結合此估計值。若節點稍後再度開放，使用相同方法以恢復節點至其原始尺度。

此方法被發展並將其併入模式當中，使得移動相反的消防單位的移動可被預測，還有其他的狀況可能發生類似的空間受限情形。

其中之一為，當住戶避難時，散落的雜物可能在樓梯間堆積。依據一位在世貿中心事件中撤離的人員對於被詢問到逃生過程中遭遇的阻礙時之回答，"人們像撤退的軍隊一般散落個人雜物"[9]。逆向流選項讓使用者可輸入節點空間

繼續可用於避難的百分比，以指定受限的樓梯間。

另一個可能發生的狀況是，當住戶由一個結構的一個區域避難的路徑與其他住戶的路徑匯集。例如，在地面層出口之上或之下的樓層，避難的住戶可能會在地面層相遇，而相互減少了出入口到毫無阻礙的行進路徑。所有以上所述事件的圖示均涵蓋在此附錄當中。

此一功能並未處理避難人員（而非消防人員）的行進方向與主要行進人流相反，此類逆向流問題。雖然如此簡化了假設，但會得到較實際火災發生時更有效率的避難結果。若要讓任何或所有住戶可以在避難過程中不斷地變更方向，則避難模式的複雜程度會大幅增加。同時，目前無法獲得逆向流對行進空間限制的程度之資料，因此，在此附錄所展示的實例中使用全距中值50%，由於使用者直接控制使用的值，使用者可用其視為適當的百分比進行試驗。此一功能仍需進一步的評估，但其能力仍然對於模式在模擬過程中實際會產生的障礙，有重要的貢獻。

C.4 樓梯間向上行進

此模式原始的版本認定住戶是由高層建築的高樓層逃生至地面層。事實上，許多建築有許多的住戶負載位於地下樓層。同時，在分階段的避難中，只有起火樓層與其之上與之下兩層樓層的住戶需要避難。在起火樓層以上的住戶，可直接移動至較高樓層，而不需經過起火樓層。此模式經修正後，能夠處理向上的移動。雖然在實際的火災中觀測到，住戶宜向下移動而卻向上移動，這並非增加此一新功能的原因。

業經簡化的假設如下：

- a) 並非所有住戶均會在水平路徑或向下行進，或所有住戶均會在水平路徑或向上行進；
- b) 對於同有擁有地上層與地下層的大樓，模式將執行兩次（一次為地面層以上樓層，向下移動；一次為地面層以下樓層，向上移動。由於地面層的住戶的行動會與使用樓梯的住戶相互影響，因此宜包含在兩次的程式執行當中）。

- c) 若結果顯示，當所有人移動到地面層時，向下移動的住戶會與向上移動人群相互妨礙。亦即，若模擬顯示兩個群組同時抵達共同的節點，則宜使用上述的逆向流功能再執行一次，在適當的時間點限制每個群組的行進路徑。

不論是行進方向是向上或向下，均以相同的方式處理建築網路的描述，若整個建築均在地下，則 Floor 1 將為最高樓層，其他樓層則依序朝下編號。使用者則需在模擬的輸入當中標示樓梯的行進方向是向上。行進速度是使用 Predtechenskii 與 Milinskii 的速度公式計算，他們提供了在平常與緊急情況中，上樓與下樓行進速度公式 [10]。對此範例而言，模式採用了向上行進的速度。在模擬由高層樓向下行進時，Floor 1 為最低樓層其他樓層則依序朝上編號。當使用者指定為向下移動時，模式會使用向下移動的速度。

模式加入此一功能使其能夠應用在複雜結構的完整模擬。這包含完全建築在地下的結構，以及地上與地下均有住戶的建築。這也使其能夠模擬規畫階段性避難的建築之住戶移動，在此狀況中，位於緊接在起火樓層上方的人群向上移動，而位於緊接在起火樓層下方的人群向下移動。

C.5 確認範例

發展模擬模式的最後步驟為比較預測值與實際實驗值，以檢查其有效性。要測試這些新功能，將模式的預測值與七層樓辦公室建築完全避難的結果比較，在此事件中，某些住戶是由樓梯間向上移動到達出口。

C.5.1 實驗設計

此一避難演練是在位於泰恩河畔紐卡斯爾，一棟七層樓辦公室，由泰恩-威爾郡消防隊與大樓管理單位合作舉行 [11]。其提供了確認使用向上移動與逆向流兩個模式選項的機會。

此大樓是依山建築，其較低的五個樓層均有對外的出口。地上第五層外面的汽車停車場，被指定為發生避難狀況時的集合點，此一事實在演練的前一周已向員工宣布。住戶被指示當火警聲響起時便離開，然後在停車場集合。他們並未被訓練使用最近出口的重要性，而管理單位也未引導他們前往最近

的出口。

在演練當中，消防隊人員計算與計時住戶使用不同出口的情形，並在稍後對住戶展開調查，以了解他們從何處開始避難，選擇哪一個出口，以及在開始避難前有多久的延遲。消防隊員也模擬火場狀況，將其中一個出口的出入阻斷。

此一避難演練是大樓管理單位定期避難試驗的一部分。消防隊受邀進行觀察，並趁此機會為他們持續進行的緊急避難研究蒐集資料。

C.5.2 從避難演練獲致的結果

依據避難演練的報告[11]，一個有趣且非預期的移動模式結果。在避難過程中，極少數人利用最接近的出口離開大樓。其中大多數在建築中行進，直接朝向集合區的出口，即使是需要爬樓梯才能達到該樓層，或是忽視需要爬過小丘或使用建築外部樓梯方可到達集合點之最近的出口。此一結果顯示，所有第五層樓的住戶均使用相同出口，同樣的，許多在較低一層的住戶，經由樓梯走上該樓層，也使用同一出口。大約有五個更下一層的住戶也向上移動到達集合點。出口附近幾乎是立即擁塞。

此避難演練的資料提供一個機會測試模式兩項新功能：向上移動與逆向流選項。使用第一個選項是相當明顯。使用預設向下移動之行進速度，以模擬向下移動至出口的人。使用新功能以模擬向上移動至出口的人。可能在有些狀況中，在大樓中向下移動的人不會遭遇向上移動至同一樓層以離開大樓的人。但在此一避難演練中，有一段時間兩個住戶人流同時在同一空間中移動。要處理此兩股人流交會的效應，使用了新的逆向流選項。

在 381 位演練的參與者中，有 242 位回覆了演練後的調查。調查問卷詢問參與者，在開始避難前有多久的延遲。此一多重選擇問題提供三個選項：0 ~ 5 s，5 ~ 30 s，以及超過 30 s。與演練報告一起提供給作者的地板平面圖標示問卷回覆者的位置，他們使用的出口以及所報告的延遲時間 [12]。

C.5.3 模擬成果

此大樓網路的節點及樓層編號是由 1 (最低樓層) 至 7。每個樓層的對外出口數量為 1 (一個出口), 2 (四個出口), 3 (一個出口), 4 (兩個出口), 5 (最接近會合點的出口)。節點指派在有人活動的空間及沿著走道的路徑 (走道細分為較小空間)。第 5 樓層的節點佈置範例可在 [圖 C.1](#) 中找到。消防隊的避難報告顯示每個問卷回覆者的位置, 並提供每個樓層住戶人數的估計值[12]。這些資訊與樓梯使用率的細節, 及樓層內的行進模式一起用於模擬每個樓層住戶的分佈。

模式依據有人使用空間的密度計算行進速度。為要計算密度, "body size" 選項提供使用者在速度方面的選擇。使用者也可選擇 "emergency" 或 "normal" 步行速度用於計算中 (此公式中先前引述的 Predtechenskii 與 Milinskii 的研究結果所獲得)。由於此次事件只是演練, 對此住戶早有準備, 因此使用大型身體尺寸以及 "normal" 速率選項。結合擁擠空間所得到最慢避難時間, 就避難時間而言應是最保守的結果, 且被預期與消防演練參與者不慌不忙的行為符合。

在演練結束後的調查中, 住戶被詢問到在開始避難前有多少延遲時間。有三個選項: 0 ~ 5 s, 5 ~ 30 s, 以及超過 30 s。延遲時間超 30 s 的參與者位置標示在報告中。多數住戶報告其延遲時間未超過 30 s。在模擬中, 在調查中回答延遲超過 30 s 的參與者所在位置, 被指定為 30 s 延遲時間。對於所有的 381 位住戶, 模式隨機指定了 0 ~ 30 s 的額外延遲時間。

為了呈現模式不同選項的影響, 執行了兩種不同的避難情境。分別是:

- 最短路徑選項, 模式計算每個有人使用位置到最近的出口, 以及
- 行進路徑由避難演練報告決定, 使用向上行進與逆向流的全面性模擬。

第一個情境提供可預期的避難時間之基準, 若是住戶能使用最近的出口逃生, 雖然假設此一行為會發生並不適當[13]。網路的定義如 [圖 C.1](#) 的範例地板平面所示以及選擇最短路徑選項。

第二個情境, 模擬中使用上樓行進及逆向流必須模擬三個階段, 每個階

段中需運算兩次。第一階段在尋求下樓行進住戶接觸上樓行進位戶的時間。第二階段估算在該點逆向流發生的時間，並尋求上下樓的住戶不再需要分享共用空間的時間。第三階段結合以上結果，使用逆向流選項，尋求兩個人流共用空間的時間長度。

在第一階段的第一次運算，大樓網路包含所有向下及/或水平行進至出口的住戶。在相同階段的第二次運算，只有包括在第五樓層的住戶，以及第三與第四樓層中向上行進至第五樓層住戶。因此，第五層住戶包含在兩次運算當中，因為其對於向上及向行進的住戶擁擠程度均有貢獻（在演練報告中，沒有任何部分報告住戶在兩層樓中的樓梯同時向上與向下行進）。兩次運算輸出的檔案隨後被檢查以求出上向行進的住戶到達向下或水平行進住戶所佔據的空間。

對第二階段，再次使用兩組數據執行，此次，在預測向上行進的人流到達向下行進人流佔據之空間的時間，使用逆向流選項，而相會的人流可用的空間假設減少50%。沒有數據能夠指示出適當的空間減少程度之情況下，選擇50%做為中程選項。使用者可以選擇任何介於0~100%之間的值。比較此兩次運算的輸出結果，尋求兩個人流停止衝突的時間。

要深入瞭解獲得這些時間的程序，請參閱表C.1的細項。

此二項模擬將進行第三次運算，將逆向流選項應用在受影響的地點，時間長度為先前兩個階段所估算之值。結果列於表C.2，顯示實際避難觀察報告。

C.5.4 模擬結果

表C.2的前兩欄顯示從避難演練觀察所得的結果。如先前所提，大多數的住戶使用最接近會合地點的出口(Exit 10)，造成出口的擁塞，以及較使用其他出口較長的避難時間。

後面兩欄顯示使用最短路徑選項預測的避難時間。此選項模擬住戶若受過訓練，並被引導使用最接近的出口，所能預期的結果型式。此結果顯示出口使用率戲劇性的重新分布，減低了Exit 10的使用率，並大幅增加接地街

道之樓層的出口使用率。此結果的產生是因為大樓的樓梯間使人朝下移動至較低樓層的出口 (Exit 3 與 4)。由於避難者需要爬上一座小山才能到達會合點，這些出口在避難演練中大幅地未被充分利用。最短路徑的結果反映管理與訓練對避難的結果所能夠的影響，強制住戶向最近的出口移動。如同在接近 Exit 10 所示，多數住戶在沒有管理人員的干涉之下朝此前進發生擁塞，就加強生命安全而言，值得在訓練與人員方面投入。

表 C.1 高層辦公大樓避難與逆向流模擬的步驟

<p>在此範例中，需要三組運算住戶向上與向下移動至共同的出口點的衝擊模式。第一個步驟是為決定向上移動的住戶遭遇向下移動住戶的時間點。然後，在第二組運算中，這些時間用於衝擊在共同的節點中自在移動的逆向流之開始。由運算組的輸出檢查以決定何時停止共同使用此共同的移動路徑。在第三組運算中，使用共同的移動的開始與結束時間暫停共同使用受影響的共同的節點之影響。</p>
<p>依據輸入設定之移動路徑的定義，在第四樓層有一個共同的節點，第五樓層有六個共同的節點。</p>
<p><u>第一階段</u>: 向上移動的住戶與向下移動的住戶分開模擬。</p>
<p>輸出結果顯示每個住戶在模擬過程中的位置。對輸出的檢視顯示第一位第三樓層的住戶在 30.1 s 到達第四樓層的共用點，第三樓層的住戶依序在第 34.6 s, 71.2 s, 48.6 s, 37.5 s, 55.7 s 及第 86.7 s 抵達其他共同的節點。所有這些節點已經被較由高樓層下樓的住戶佔據，所以這些時間四捨五入至秒數，然後再四捨至 5 s，然後用於下一組運算的逆向影響開始時間。</p>
<p><u>第二階段</u>: 向上移動的住戶與向下移動的住戶再次被分開模擬，但共同節點受逆向流影響的時間分別在 30 s, 35 s, 70 s, 45 s, 35 s, 55 s, 及 85 s。</p>
<p>檢視輸出結果，以尋求當由較低樓層移動的住戶，不再與向下移動的住戶位於相同節點的時間。觀測所得的時間分別為 62.5 s, 102.7 s, 142.5 s, 108.3 s, 94.3 s, 127.3 s, 與 151.4 s。所有這些節點已經被較由高樓層下樓的住戶佔據，所以這些時間四捨五入至秒數，然後再五入至 5 s，然後用於最後一組運算的逆向影響結束時間，以及可用於逃生節點區域尺度回復原本定義。</p>
<p><u>第三階段</u>: 向上移動的住戶與向下移動的住戶再次被分開模擬，但受逆向流影響的時間開始設定如同第二階段，而共同節點結束的時間分別為 65 s, 105 s, 145 s, 110 s, 95 s, 130 s, 及 155 s。</p>
<p>從這組運算所得結果提供此範例最終的模擬預測。</p>

表 C.2 觀測與計算所得的出口利用率

	觀測值		使用計算最短路徑預測		使用逆向流與向上樓層移動的預測	
	人數	出口使用持續時間 s	人數	出口使用持續時間 s	人數	出口使用持續時間 s
出口 1	2	45.0	2	36.0	2	36.0
出口 2	6	48.0	6	39.0	6	39.0
出口 3	6	90.0	107	174.0	6	65.0
出口 4	40	105.0	124	164.0	36	116.0
出口 5	0	—	7	86.0	0	—
出口 6	23	115.0	27	137.0	21	101.0
出口 7	0	—	—	—	—	—
出口 8	48	190.0	6	75.0	38	146.0
出口 9	8	90.0	11	79.0	11	73.0
出口 10	248	220.0	91	129.0	261	185.0
		最後數人於 286 s				
所有出口	381	286.0	381	174.0	381	185.0

最後兩欄顯示使用使用者設定路徑運算結果，移動上樓與逆向流計算移動上樓的避難人員與移動下樓者相遇的時間。此模擬使用由演練中所收集的數據，並試圖將人們移動至其所報告在演練時使用的出口。因此，出口使用率分佈比起上述的最短路徑範例要接近觀測使用率。

此次模擬的結果與實際避難演練的比較相當地良好，雖然預測的總避難時間較實際少 35 秒（在演練中，最後幾位避難人員落在大多數住戶之後 66 秒撤離大樓）。使用每個路徑的住戶人數變異是由於人們實際展現的行為的變異性（例如，朝向由出口離開的人流移動，在避難行動中變更行進方向），這些是模式無法模擬的。結果是非常好，無論如何，展現模式在模擬高層建築複雜避難形態的有效性。

C.6 結論

為此確認範例所發展的輸入資料集，試圖儘可能重建演練所呈現的狀況，並獲得良好的結果。如果進行建築設計的評估，模式的使用者有必要對廣泛的避難情境進行模式預測。例如，在住戶起始位置分佈，其移動性或延遲時間未知的狀況，使用者要執行模式多次，變更這些住戶特性，做不同的組合。出口可用性，容量及使用率也需要模擬。模擬的結果便可以繪製圖形。大樓實際避難的情形宜落在結果的曲線上。

從報告獲得，或是由此次及其他避難演練推導所得的行動前時間，被用於確認範例的延遲時間之基準。就此範例而言，對住戶隨機指定最多達 30 s 的延遲時間，某些節點位置的住戶會依調查結果設定 30 s 的延遲時間。其結果為，模擬中某些住戶的總延遲時間長達 53 秒。若使用者想要模擬潛在受過有效良好訓練的住戶，延遲時間可以減少至最大 30 s。這些減少可能縮短整體避難時間，雖然在某些狀況之下，若起始時間沒有錯開，可能會更快形成更嚴重的擁塞。使用此修正的輸入資料執行的模擬，提供此項延遲時間的改變對總避難時間的實際影響之預測。

預期受過更好的訓練與督導的住戶人口，能進一步的改變預測避難時間，其結果呈現在表 C.2，在此表中，使用最短路徑選項的模擬結果，可以與相同高層建築的觀測結果做比較。

在另一篇研究報告 [15] 中的百貨公司避難 [14] 模擬，顯示工作人員的指導對住戶使用緊急出口的影響。若設計者無法假設工作人員的行動，若大樓群體只會使用其熟悉的出口，則將需要試驗避難時間衝擊。避難模擬將會顯示在那些熟悉的出口有嚴重的擁塞，而造成總避難時間的增加。

此一對於修改輸入檔案的討論，對評估建築設計將是必須的，試圖呈現廣泛避難情境範圍在假設變更之衝擊。由於在每一個案研究的建築中，並未執行代表避難情境的範圍，因此不可能在此展示模式預測這些情境的能力。此附錄只說明一個避難演練，以示範模式的能力 [15]。選擇這些個案研究是因為其特別有充分的文件紀錄，極其模擬能展現模式的主要功能。模擬是依據實

際的數據，並試圖重現在演練中觀測的結果。如果在設計評估中使用模式，使用者需要模擬額外的情境。例如，在此附錄中描述的模擬是依據一場避難演練，在演練中有一處樓梯被設定為住戶無法使用。若是評估此一建築的設計，連續地移除各處樓梯，以檢視其衝擊是適當的。這種評估的性質並未在 ISO 16730 此部執行，因為沒有可用的實際觀測數據可供比較。

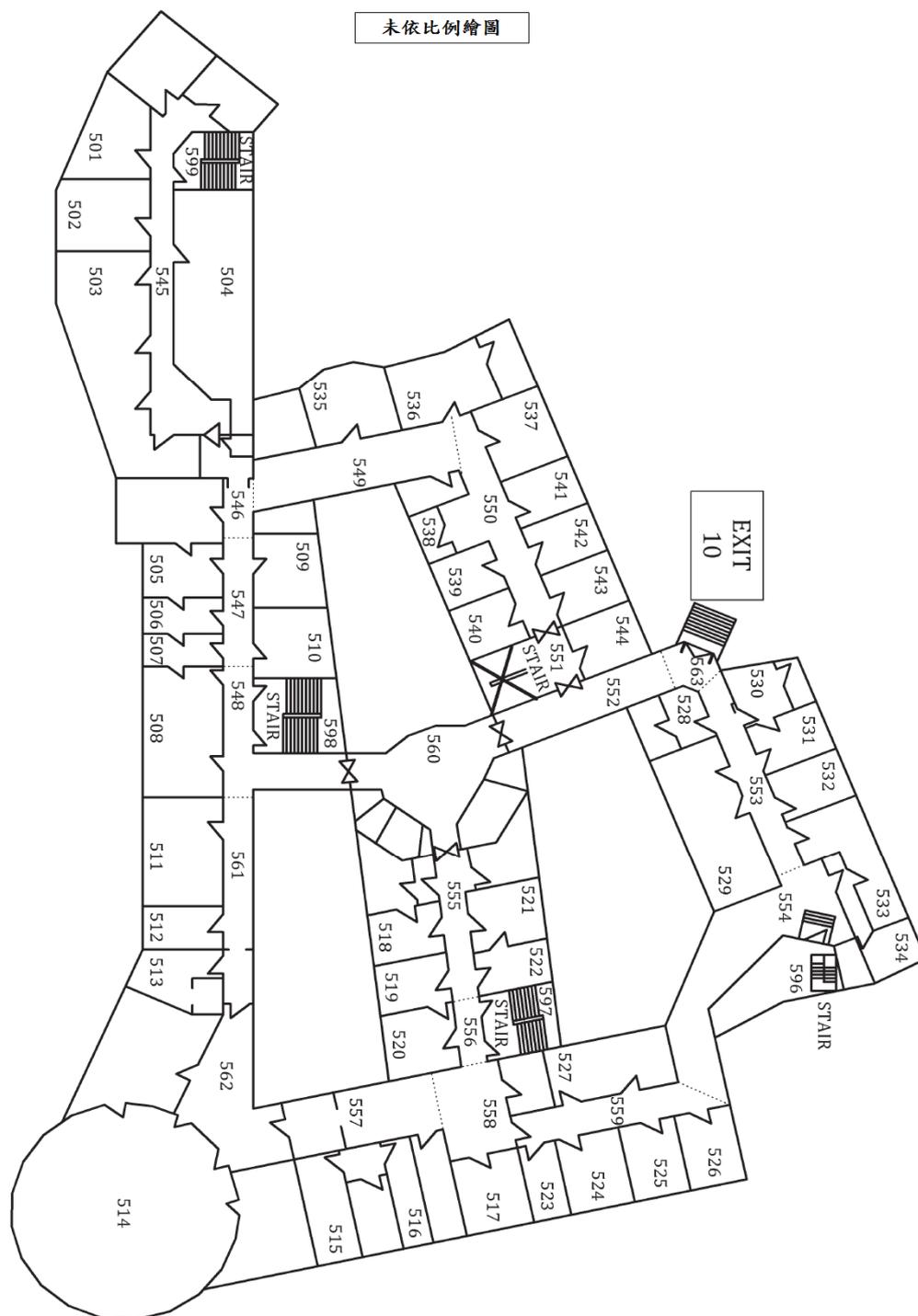


圖 C.1 高層辦公大樓五樓的樓層平面與網路節點與向上移動及逆向流

附錄 D(參考)使用手冊

D.1 程式說明

此模式的輸入須建築的網路描述，每個房間或定義空間的幾何形狀資料，與這些房間或空間之間的開口，若考量煙霧阻障，還需要煙霧資料。程式可計算建築每個位置至安全位置（通常為戶外）的最短路徑，或是讀入使用者定義的路徑。程式可沿著計算所得或定義的路徑移動人們，直到遭受煙霧阻擋的位置。受影響的出口路徑會重新計算，人流繼續行動直到下一個阻礙發生，或是所有可以逃生人到達戶外。

所有住戶可以同時開始避難，或是受到設定在每個節點的延遲。額外的延遲可以依使用者所定義的均勻或是對數常態分佈隨機指定至每個住戶。煙霧資料可用於預測煙霧警報器的作動發生，而避難行動可隨後立即展開，或是在一些使用者定義的延遲時間之後開始。建築的住戶可包含身心障礙人士。若在避難過程中產生逆向流或其他路徑的阻礙發展，也可以進行模擬。

此程式原先是以 FORTRAN 語言撰寫，在 IBM 大型電腦上執行。PC 版本是由美國國家標準技術研究所，建築與火災研究室的 Daniel Alvord 所開發。PC 版本具有匯入 CFAST 產生的煙霧資料之能力。

D.2 技術討論

D.2.1 模式的特性與假設

此一模式的開發是做為 HAZARD I 的避難模式，應用包括大型且高居住率的建築，例如高層大樓。其設計為

- 1) -- 能夠處理大量居住人口，
- 2) -- 在房間或節點為煙霧阻礙後，能夠重新計算出口路徑。
- 3) -- 紀錄每個住戶在火災期間於設定時間間隔的位置，以追蹤個體在建築中的移動，以及
- 4) -- 變換移動速度，為在避難期間，空間擁擠程度的改變之函數，亦即排隊等候效應。其他特性陸續加入，以模擬上下樓移動，以及逆向流的影響。

可處理的大樓尺度與其住戶人口數量受限於儲存陣列的容量。目前可以

使用的儲存陣列容量高達 26,000 住戶，在 10,000 節點總數中，或是最多 100 層樓，多於 1,400 個以上時間間隔。使用者可變更這些設定以處理較大的問題。由於程式所依據的節點命名法則，每個樓層最多可有 89 個節點，大樓最多可以有 10 座樓梯。

模式為區域觀點而非全域觀點，亦即，人們不需知道其他樓層發生的事件。當發生煙霧阻礙時，只有受影響樓層的避難路徑會變更。

另一假設是，當人進入樓梯間時，他們將會留在樓梯上直到他們到達樓梯間的出口，除非樓梯間被火災的發長所攔阻，若是如此，他們將離開樓梯進入最近的樓層。在實際的狀況中，人可以在沒有明顯的理由下朝屋頂前進，或是離開樓梯進入最近的樓層。

可模擬由上部樓層向下，或自較低樓層向上的避難。例如，若模擬一棟具有地上層與地下層的結構之避難，上部樓層的避難可以模擬為住戶向低樓層移動並離開。地下層將分開模擬，住戶向出口樓層移動然後離開。

模式不明確的包含其他避難模式所包含的行為方面考量。這些行為包括火災調查、孩童搶救，警報或叫醒其他可照顧自己的成年人，以及協助其他需要幫助的住戶。由於模式是設計用於處理高層建築，或是有大量人口的較小建築，其作者決定讓使用者在考量及變更住戶的準備程度與決定避難的能力之下，指定每個佔用空間的延遲時間，以反映各種可能發生在建築中的事件。額外的延遲可以隨機地指派給個體。使用者決定增加延遲的住戶百分比，並可選擇延遲時間的分佈遵循均勻或是對數常態分布。D.2.3 說明使用此選項所遵循的步驟

在此模式中，步行速度是以密度的函數計算。其處理方法 D.2.4 中討論。身心障礙住戶的模擬是將其步行速度設定為使用者指定之” normal” 步行速度之百分比。

模式的輸入包含建築的網路描述。節點可以是房間或是房間或通道內的部分區段，最能描述實際的移動路徑者。若 CFAST 輸出用來做為模式煙霧

數據的輸入，定義的節點宜符合 CFAST 所描述的房間或是房間的部分。

每個節點的定義包含可用樓板面積，天花板高度，節點的容量，起始住戶負載，節點中身心障礙住戶的人數，在該空間中住戶延遲開始避難的秒數，以及若是使用者選擇住戶沿著指定路線移動的選項，則住戶將移動前往的節點。每個弧的定義包含節點之間的距離，以及節點間開口的寬度。弧為雙向的，因此兩個節點之間的連結只需描述一次。

模擬煙霧的影響，模式可用在兩種不同的方式。使用者可輸入受煙霧所阻的節點名稱，以及阻攔發生的時間。或是，使用者可以將 CFAST 輸出的煙霧數據做為模式的輸入。CFAST 計算每個節點，每個時段的上層熱氣流光學密度，以及低層較冷氣層距天花板的高度，並將結果寫入磁碟。在第一個事例中，整個建築在 0 秒加上使用者指定，或模式隨機指定的每個節點延遲時間開始避難。在第二個事例中，整個建築在煙層到達，煙霧警報作動的時間，加上使用者指定，或模式隨機指定的每個節點延遲時間開始避難。在未指定任何阻攔的狀況，使用者可模擬在無火災發生的情況下避難的情形。

程式可將每個住戶從節點到節點的移動列印輸出。其也紀錄每個住戶在每個時間間隔的位置，所以其輸出可用來輸入至毒性模式，如 TENAB。TENAB 使用 CFAST 的燃燒產物輸出，計算每個住戶所暴露的危害，以決定何時會有失能或死亡情形發生。使用者可排除此一輸出，讓模式只能列印顯示樓層清空的匯總時間，樓梯清空時間，及每個出口最後使用時間，以及每個出口的使用人數。

D.2.2 計算最短路徑

使用者可選擇指定住戶可採用的路徑，或使用模式所計算的最短路徑。最短路徑選項是一個適當方式去模擬訓練有素的住戶人口，或是受到訓練有素的工作人員協助的避難，在此情況，住戶會向最接近的出口移動。

最短路徑是以每個樓層計算，由每個節點至樓梯間或是戶外。最短路徑的演算法在參考資料 [16] 中說明，是其所審查中最短與最簡單的。演算法一開始

先辨識網路的原點，然後從原點展開，辨識到達所有其他節點的最短路徑，直至到達目的地。

模式中使用之修正版演算法，描述如下。模式計算每個樓層至樓梯間或戶外，或是其他安全位置的最短路徑。安全位置可包括水平的出口或防火門另一側的區域。為了讓模式辨識這些安全位置，使用者在建築描述的輸入資料中標示。這些節點在以下的討論中被視為中間的出口（IEs）。建立陣列，其組成在撤離此建築時，給定節點的住戶會移動前往的相連節點。例如，若從節點 102 至戶外需經過節點 104 與 107，則節點 102 的連結節點為 104，節點 104 的連結節點為 107，節點 107 的連結節點為戶外。定義每個樓梯節點的連結節點為其下方的樓梯節點，建立每個樓梯向下的路徑。

最短路徑副程式開始辨視建築樓層中所有的 IEs。這些節點列入已解節點的表中。

步驟 1 辨識連結至已解節點的所有未解結點。

步驟 2 對於每個在步驟 1 所辨識的未解節點，計算未解節點及與其連結之已解節點之間的距離，然後將其加入由已解節點至最近 IE 的距離中。

步驟 3 將至 IE 距離最短的未解節點加入已解節點表中；其連結的節點為已解節點，並儲存其至 IE 的距離。

回到步驟 1，直至所有節點已解。

在每樓層重複執行以上步驟。

模式中使用方法的優點為，當一個節點被煙霧阻攔時，只要重新計算樓層的路徑，而不是整個建築的所有路徑。若是樓梯節點受火所阻，該樓層以及以上樓層的路徑會重新計算。這會造成在較高樓層樓梯中的住戶，在到達受煙所阻的節點上方之節點時，會離開樓梯間。

此方法的另一個優點是，更貼近建築中住戶本身的觀點。其他的最短路徑常用程式 "see" 所有可能路徑至戶外，因此其決策所用的資訊不需要由

真實人物獲得。

使用者也有取名住戶將在網路的每個節點移動的選項。在實際的避難經常可看到，人們循著最熟悉的路徑移動，而此選項讓使用者可以模擬此行為。也可讓使用者在一個避難中觀測模擬移動。若使用此選項，而節點受煙所阻，受影響樓層的路徑將會使用最短路徑副程式重新計算。

D. 2. 3 加入可選的延遲時間

使用者可選擇分佈模式，隨機分配個體額外的延遲時間。這些延遲時間可以分配給建築中住戶的任何比率。對於均勻分佈，使用者可設定分佈的範圍（最小與最大值）。對於對數常態分佈，使用者可設定分佈的平均值與標準差。D. 7 顯示對數常態分佈的範例。

D. 2. 4 計算步行速度

模式所選用的方法使用的步行速度，是密度的函數，依據從參考資料 [17] 獲得的公式計算。密度的計算中包含身材尺度。使用人體(成人，青年及兒童)穿著不同型式的服裝的尺度，空手及負有包裹、背包、行李或孩童二者，用來計算個人水平投影的面積。此一量測為橢圓形的面積，其軸分別為人體肩膀高度的寬度，及胸部高度的厚度。不同年齡群組與服裝型式的平均值表列如下。人流密度公式 D 為：

$$D = Nf/wL(m^2/m^2)$$

(D. 1)

其中

N 人流中人數；

f 個人水平投影的面積；

w 為人流寬度。

L 為人流長度。

此模式既設的最大密度為 0.92。雖然在實際狀況中曾觀察到更高的密度，

但 0.92 是在步行速度的經驗運算式中使用的最大密度。基於上千種狀況所紀錄的觀測結果，發展出下列正常狀況的公式。水平路徑速度平均值是密度的函數：

$$V = 112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57(\text{m/min}) \quad (\text{D. 2})$$

當 $0 < D \leq 0.92$

對於移動下樓：

$$V \downarrow = Vm \downarrow (\text{m/min}) \quad (\text{D. 3})$$

其中

$$m \downarrow = 0.775 + 0.44e^{-0.39D \downarrow} \cdot \sin(5.61D \downarrow - 0.224)$$

對於移動上樓：

$$V \uparrow = Vm \uparrow (\text{m/min}) \quad (\text{D. 4})$$

其中

$$m \uparrow = 0.785 + 0.09e^{3.45D \uparrow} \cdot \sin 15.7D \uparrow \quad \text{當 } 0 < D \uparrow < 0.6 ;$$

$$m \uparrow = 0.785 - 0.10 \sin(7.85D \uparrow + 1.57) \quad \text{當 } 0.6 \leq D \uparrow \leq 0.92.$$

在緊急狀況中，例如在地震或火災，恐懼讓人試圖逃離危險，會使得相同密度的移動速度提高。Predtechenskii 與 Milinskii 發現下列兩個速度之間的關係：

$$V_e = \mu_e \cdot V \quad (\text{D. 5})$$

其中

$$\mu_e = 1.49 - 0.36D \quad \text{水平路徑以及通過開口；}$$

$$\mu_e = 1.21 \quad \text{下樓；}$$

$$\mu_e = 1.26 \quad \text{上樓。}$$

在火災模擬中重複使用這些公式計算每個住戶的速度將會極度的耗時。幸好，已有在正常、緊急與舒適狀況，沿著水平路徑，通過開口，與在樓梯上移動的

密度-速度表。模式中可讓使用者選擇正常或緊急速度。

從蘇聯數據所估算的個人水平投影面積，著春秋外出服裝的成人，其平均尺度為 1.2173 ft^2 (0.1130 m^2)。使用者可選擇從奧地利與美國受試者量測所得的其他值。(詳細身體尺度資料請見 D.2.5)。依據兩個節點的密度與樓地板面積，計算兩個節點間弧的兩個區段的速度。若計算所得 D 的值大於 0.92，則將 D 設為 0.92。計算所得 D 的值用於從表中查找相應的速度。表中列出沿著水平路徑，以及上、下樓梯的速度。

模式不會減低住戶的速度，以模擬其爬行穿越煙霧。此情形可用以下所述的逆向流選項來實現，其起始時間為煙霧狀況發生時間。

D.2.5 身材尺度數據

Predtechenskii 與 Milinskii 的研究，使用由蘇聯受試者量測的身材尺度計算。後續的研究，參考資料 [18]，使用奧地利受試者的資料，而得到大幅差異的結果。上述的值 0.1130 m^2 與由 10 至 15 歲之間，未著外套的奧地利受試者所得的資料相當。由 15 至 30 歲之間，著外套的奧地利受試者所獲得的值為 0.1862 m^2 ，未著外套則為 0.1458 m^2 。超過 30 歲的成年人，未著外套的值為 0.1740 m^2 。

可在 *Occupational Safety and Health in Business and Industry* 文獻中找到美國 18 至 45 歲之間，男性與女性勞工代表的平均身材尺度。從此表中可獲得平均肩膀寬度（男性 0.455 m，女性 0.417 m）與胸部厚度（男性 0.231 m，女性 0.234 m）。為要加上服裝的體積，是要檢視蘇聯的資料表格。表格中包含夏季服裝，春秋外出服與冬季外出服的資料。每個類別的服裝之間增加 0.02 m。基於此，在美國人身材尺度的肩膀寬與胸部厚度上增加 0.02 m。以獲得美國人個人水平投影的面積，包括男性與女性的平均值。其結果較由蘇聯或奧地利受試者所得之值小 0.0906 m^2 。使用者可用以上選項選擇三組輸入資料。對模擬的評估結果顯示，使用奧地利值選項，在擁擠的情況下，會獲得最長，最保守的避難時間。宜使用所有三組資料，以獲得給定資料組的結果範圍。

D.2.6 煙霧高度

如上所述，有兩種方式處理煙霧。在第一種方式中，使用者決定由於煙霧將發生時阻攔的節點。在第二種方式中，煙霧的密度與煙層厚度可由 CFAST 產生的檔案讀入。使用與 EXITT [19] 相同的方法計算煙霧對心理的衝擊， S 。使用公式 (D.6)：

$$S = 2 \times OD \times D/H \quad (D.6)$$

其中

OD 為上層煙的光學密度；

D 為上層的厚度；

H 為天花板高度。

EXITT 使用 $S > 0.5$ 來停止住戶前進，而 $S > 0.4$ 為防止進入房間的低限，除非在此二情況下，低層有足夠的乾淨空氣可以爬行通過。由於目前模式並未處理爬行，因此 $S > 0.5$ 便用來阻攔節點，會困住所有目前在此節點的住戶。

煙霧警報會在 $S > 0.015$ ，及上層氣流厚度大於 0.5 ft(0.15 m) 時啟動。模式目前假設為，當樓層中所有節點中，警報啟動的條件達成時，會同時警告所有住戶，並在使用者定義的延遲時間之後開始避難。定義煙霧警報的範圍，以及修改決定警告住戶的法則等相關的程式修改尚未完成。

D.2.7 逆向流

在模擬火災情況時，往往會過於簡單的假設，避難人員將暢通無阻下樓梯。消防人員使用樓梯到達上層樓層，且常需要在住戶撤離的同時向上鋪設消防管線。在此情況，模式可模擬逆向流是很重要的。

當逆向流發生時，使用者應決定其發生的地點與時間。使用者也應估計節點面積縮減的程度。在最簡單的事例中，逆向流選項被用在樓梯間節點，發生在預估消防行動上樓時間。避難人員可用的樓梯間面積縮減不超 50%是合理的。

此選項也可用於模擬其他住戶人流通過一個或系列節點將受阻之狀況。這些情況可能會在逃生的住戶散落雜物堆積在路徑上，遲滯住戶的行動，或是煙霧的狀況會迫使住戶爬行。這些狀況會用逆向流的方式處理（使用者在輸入檔案中定義受影響的節點，影響發生的時間，以及這些節點可用面積的變化）。

D.2.8 移動住戶

當使用者選擇最短路徑選項，會在讀入任何使用者所輸入煙霧阻攔的地點與時間的煙霧數據，並在時間 0 時通知避難開始前，計算通過建築物的起始最短路徑。若使用者選擇使用 CFAST 數據，模式會讀入煙霧數據，並決定何時與何地會發生阻攔，以及何時煙霧警報會啟動，而開始避難。

模式開始依據住戶起始的分佈計算從每個佔用節點至其連結的節點所需的移動時間。然後，對於每個住戶，其著眼於住戶在該節點停留時間，以及通過弧的時間。若住戶在通過弧時等候足夠的時間，住戶便會被移往下個節點，而在該節點的等候時間設為 0。等候時間實際上是通過弧時間的部分。建築中若還有住戶，模式會依據節點最新的密度，重新計算通過弧的時間。

此程序重複執行，直至節點被煙霧阻攔時間。此時，受影響的節點會自網路上移除，任何留在此節點上的住戶會被計為受困，而會重新計算受影響樓層（或多樓層，若節點在樓梯間）的最短路徑。人們的移動恢復，直到下一個阻攔情形發生，或是所有人離開或受困。

如更多住戶進入房間或樓梯間時，因密度增加，導致減低步行速度來處理等候。程式不允許住戶選擇較不擁擠的路徑。住戶只能加入沿著最短路徑之節點的排隊隊伍。

D.3 展開輸入

本節描述轉換建築與其住戶相關的資訊成為程式可讀的輸入檔案之過程。輸入檔案的格式在 D.5 說明。程式的變數表列於 D.6。若使用，由 CFAST 的煙霧輸出將寫入可由模式讀入的檔案中。

輸入檔案的第一行為一 72 個字元的標題列，使用者可用來說明已執行的模式。接下來的數行讓使用者選擇數種選項。首先，使用者標示輸入檔的量測單位是公制或標準制。其次，使用者選取身材尺度量測使用在密度計算。下個選項允許使用者指定住戶是以緊急或正常（較慢）速度移動。然後，使用者指示程式是否宜計算節點之間的最短路徑，或是否使用者將指定住戶由每個節點將移動前往的節點。然後，使用者指示是否使用 CFAST 資料（選項 1）或是由使用者指定阻塞的區域，或是沒有阻塞發生（選項 2）。下個選項允許使用者指示是否使用逆向流選項。然後，使用者選取全面輸出，以列印出每個時間內任何人移動由一個空間至另一間，或滙總性輸出。在下個輸入行中，使用者輸入在平面配置圖上的樓梯數量。最後，該區域，最後一個選項指示，使用者是否模擬下樓的避難，或是模擬地下層向上的避難。

在接下來的三行中，使用者指示是否附加延遲時間宜隨機分布在住戶之中。若是，則使用者指定將增加額外延遲時間的住戶百分率，以及延遲時間的分佈是遵循均勻分布或是對數常態分布。使用者指定時間範圍（秒）那些延遲宜選擇為均勻分布或是對數常態分布的平均值與標準差。

D.3.1 建築網路

輸入資料流的下個區段為建築佈置的網路描述。建構建築網路是設置資料流當中最複雜及最耗時的部分。網路是一群由連結或弧連接的節點。節點表示建築中的位置，連結表示沿著網路的移動路徑。建構網路時需要建築平面圖。

首先要決定節點配置的位置。並非建築中所有空間均需要包含在網路中，但不包含的區域將不在避難的考量之中。人們未佔用的空間，例如儲藏室，或是避難過程中人員將不會經過的空間不需要描述。

通常，每個區劃會由一個節點代表，雖然較大的空間宜由較多的節點代表，若是如此，可以更真實地代表移動路徑而不會大幅地增加網路的規模。例如，在旅館當中，有許多房間間的長通道，需要一個以上的節點代表通道的區段。在決

定節點的配置時，常識是重要的基準，但也可以使用由火災演練的資料來試驗配置的適當性。太多節點會不必要地干擾網路，並增加程式運算時間。太少節點會得到不實際的移動路徑，並損失輸出的細節。

通常，節點會置於其所描述的位置之中央；然而，在複雜的平面圖，將節點置於偏離中央的位置是適當的。例如在通道的交會處，雖然可以嚴格在交會處建立一個節點，而在相鄰的通道區段建立個別節點，也可能建立一個包含交會處的通道節點，及配置在交會處的”中央”是合理的。只要所有行經節點的路徑將通過節點的”中心”，則計算出的移動路徑是實際的。(若使用者受限在每個樓層只能定義最多 89 個節點，將經常需要)。若要提供較保守的移動時間估算，節點也可置於距下個空間更遠的空間點。

對樓梯而言，節點的中心配置在樓梯定位在地面層。樓梯節點的邊界定位在向上與向下一層樓的中段。

當節點配置在其所描述的空間，便可發展網路的輸入區段。

節點的名稱為三位或四位整數，其最前的一位或二位為樓層編號，後二位為空間在該樓層的編號。編號 90 至 99 保留給樓梯使用。每一樓層可編定 89 個住戶空間。安全位置，包含建築外面，編號為”000”。(當使用者要模擬移動上樓梯，並選擇用最短路徑選項，最高樓層視為 Floor 1，其他樓層則向下依序編號。當模擬移動上樓梯及使用定向路徑選項，樓層編號對模式不是靈敏的)。

網路中的每個弧由其連結的兩個節點，由第一個節點到開口兩位置之間的距離(稱為 XLNGS1)，開口的寬度(稱為 RESWTH)，以及由開口到第二個節點的距離(稱為 XLNGS2)。

計算這些距離的程序如下：

- a) 將節點置入其所代表的空間。
- b) 開口是兩個連接空間之間的分界線。在兩個區劃之間，開口寬度為門寬。對於沿著通

道的兩個節點，開口寬度為通道寬。若大型房間被畫分為兩個或以上空間，開口寬度為房間沿著隱蔽線畫分這些空間的寬度。

- c) 對於水平路徑，弧的兩個弓形面的長度是量測由節點至開口中心的直線。

下列由 Predtechenskii 與 Milinskii 的研究獲得的方法，宜被用來計算樓梯間的路徑。計算傾斜路徑的長度 L ，

$$L = L' / \cos \alpha \quad (\text{D. 7})$$

其中

L' 為傾斜路徑長度的水平投影；

α 為傾斜線對水平的角度。

由於大多數的斜率在 1:1.75 與 1:2 之間，角度在 30° 與 32° 之間， $\cos \alpha$ 的值大約為 0.85。

對於兩段樓梯

$$L = 2L' / \cos \alpha + 4b \quad (\text{D. 8})$$

其中

b 為梯段平台的長度（路徑寬度）。

對於三段樓梯 b

$$L = L' (3 / \cos \alpha + 1) + 4b \quad (\text{D. 9})$$

若斜率小於 1.8，則可視為水平。

在建構網路時，必須做的決定是，模擬的情況是否只能使用法定或是容許逃

生的方法，或是包含所有可用或可能使用的方法。

對於連結的描述現在可以加入輸入段當中。連結可依任何順序輸入。不論沿著路徑單向或雙向移動，每個連結只能進入一次。

連結的描述依此輸入：

INODE 為起始節點；
 XLNGS1 為第一個節點至開口中心的距離；
 RESWTH 為開口寬度。
 XLNGS2 為開口中心至第二個節點的距離；
 JNODE 為終止節點。

輸入檔此弓形面的結束，是由編號為 9999 的起始節點，其餘相關項目均為零的紀錄指示。

D.3.2 節點說明

網路輸入的第二部分由節點描述所組成。每項描述包含節點名稱，可用的樓地板面積，天花板高度，空間可容納的人數（尚未應用，因此可輸入任何數目），避難開始時的節點人數，節點內的身心障礙人數，一個指示節點是否為 IE 的旗標，住戶在節點將延遲避難的時間（秒），以及若是使用指定路徑而非最短路徑，房間的住戶將會移動去的節點。任何連結安全位置的節點，任何不在地面層的節點為樓梯的一部分，以及連結至建築外面的地面層節點，均將 IE 旗標設為 1。否則，旗標宜為零。

當使用者指示節點中有一個以上住戶為身心障礙人士，指示要輸入健壯個人速度計算的百分比值，做為身心障礙住戶移動的速度。對於每個人可以輸入不同的百分比。

節點描述應依升序以此方式輸入：

N 所描述的節點
 NAREA 該節點的可用樓地板面積；
 H 該節點天花板高度；

NCAP 節點容量；

NOCC 該節點起始人數；

ND 身心障礙人數；

IE 旗標；

EVACTM 節點住戶在開始避難前延遲的時間；

ITO 沿著指定路徑，住戶將前往的節點（選項）。

每個節點必須有一筆紀錄提及網路連結的列表。

若節點中的任何住戶被描述為身心障礙，在節點描述之後應有一行輸入指定健壯的百分比為每個身心障礙住戶的移動速度。每一行可描述最多 15 位身心障礙住戶在該節點。

D.3.3 使用者輸入阻攔

若無法獲得 CFAST 的煙霧蔓延檔案，使用者可以輸入煙霧阻攔。在此狀況，在輸入資料的最後，使用者輸入阻攔節點的名稱，以及從避難開始起計算，阻攔發生的時間（秒）。同一時間可有一個以上的節點被阻攔。要指示此輸入區段的結束，使用者宜輸入每個項目均為 99999 的最後一筆紀錄。

要模擬沒有火災的避難，使用者只要輸入最後一筆紀錄。

D.3.4 使用由 CFAST 獲得的煙霧數據

CFAST 被限制使用較此模式為小的網路。因為如此，使用者在設定運算時應謹慎，讓 CFAST 的輸出可與輸入檔案相容。首先，由於此模式目前無法在其主要的 5 s 時間間隔與 CFAST 所使用不同時間間隔之間進行內插，CFAST 使用的時間間隔應為 5 s。使用者也應指定每個 CFAST 區劃與相應建築節點之間對應的映射。由於此模式只需要天花板高度，及可用樓地板面積以定義節點的物理結構，而定義 CFAST 區劃需要較詳盡的資訊，但這不宜構成問題。

此模式讀入 CFAST 輸出檔案，檢視每個 CFAST 節點的上層氣流煙密度，以及每個計算時間間隔的上層氣流高度，以決定每個相應節點的煙霧警報啟動時間，與節點的阻攔，如 D.2.5 所述。

D.3.5 輸入逆向流的影響

只有在使用者在輸入檔案的開始設定旗標指示逆向流將發生時，才需要輸入此節。逆向流會影響住戶可用的樓層空間的縮減，因此增加擁擠人群的密度，而減低在該地點住戶的移動速度。此節的處理方式相似於使用者輸入煙霧阻攔的方式。使用者可依消防單位的反應與事故現場活動預測，決定沿著逃生路線各地點受到限制的時間 (s)，以及受限的程度。若路徑在稍後重新開放，逆向流停止，節點可設回原先的區域。

若使用者模擬限制節點面積 50% 的逆向流，輸入限制影響的值為 0.50。若在某些時間之後阻礙消失，使用者在那時輸入 2.0 的值，讓節點面積增加回復至原先的尺寸。

D.4 模式的邏輯流程

此小節簡要的說明模式的邏輯。程式在開始時先列印識別資訊，顯示使用者選取的選項，及計算住戶隨機延遲時間所需要使用的機率資料。

其次，讀入網路連結的串列。之後將每個連結讀入儲存的陣列，在陣列中儲存的順序是反向連結。只有連至建築外面的連結未反向儲存。然後將陣列依起始節點排序。

然後讀入節點描述。使用每個節點住戶人數，建立住戶位置對時間的陣列。同時也建立避難延遲時間的陣列。若使用者指定節點內的某些住戶為身心障礙人士，程式會讀入每個身心障礙住戶的移動速度為”健壯的”速度之百分比。這些百分比資料儲在名稱為 SFR 的陣列中。每個健壯的住戶的設定值為 1.0。程式列印出每個身心障礙住戶的識別與起始位置，以及個人的 SFR 值。

若使用者選用隨機分配額外延遲時間給部分住戶的選項，將在下一節完成。然後程式列印出每個住戶的總延遲時間。

若使用者選擇讓模式計算最短路徑的選項，則程式會依據讀入的網路描述，

計算每個樓層至樓梯或戶外的最短路徑，然後設定樓梯間的路徑。由於在同一樓梯的所有節點名稱結尾的兩位數字相同，此副程式僅是將節點連結，例如節點 398 至節點 298，以及節點 298 至節點 198 去移動住戶上或下樓梯。

若使用者以人工方式鍵入煙霧阻攔的位置與時間，資料會被讀入，並更新儲存每個節點對時間的狀況之陣列，以紀錄阻攔狀況。若資料是由 CFAST 讀入，則需計算煙霧的心理衝擊，以決定阻攔是否發生。若發生阻攔，陣列中每個節點的狀況會被更新。煙霧警報器啟動發生時間也儲存在此陣列中。若使用者鍵入該節點住戶的延遲避難時間，該項目會被修改，使其表示在警報響起之後的延遲時間。

若使用者決定將發生逆向流，下一個輸入段包含受影響節點的表列，其所受影響的時間，以及在這些節點在這些時間可用面積的變化。

模式輸入程序的最後部分，是由副程式檢查移動路徑，不論是使用者定義的逃生路徑或是最短路徑，以確保所有節點可達到戶外。此副程式可辨識不讓住戶到達戶外的迴圈。

然後開始模擬避難。程式會檢查整個建築危險程度陣列，直至其發現煙霧程度阻攔節點的位置。此程式會依 D.2.6 所述沿著指定或計算所得的路徑移動住戶，直到節點被阻攔。然後程式會在阻攔發生時將所有被阻攔的節點自網路上移除，並重新計算受影響樓層的最短路徑。然後程式會檢查下個發生阻攔的時段，重複此循環直至所有住戶逃離或受困。

若在模擬期間在任何時間發生逆向流，受影響節點的面積將會在該時點依使用者輸入的受限影響被改變。

D.5 輸入檔案格式

此小節以匯總的方式說明輸入資料流的格式。其包含主機版本所使用的 FORTRAN 格式輸入，資訊著重在輸入資料輸入的順序。建立輸入檔案的程序，在 ISO 16730-1 的主文中有更深入的討論。

變數的說明在 D.6。

輸入說明

運算標題 - card 1 (A72)

<u>欄位</u>	<u>變數</u>	<u>說明</u>
1	TITLE	運算的標題可在此處 72 個字元的任何位置出現。

使用者選項 -- cards 2 至 10[7(29X,I1,/), 29X,I2,/29X,I1]

<u>欄位</u>	<u>變數</u>	<u>說明</u>
1	IUNITS	選擇使用的量測單位 1 - 公制 2 - 標準
2	ISIZE	選擇身材尺度數據 1 - 澳大利人 (0.1458 m ²) 2 - 蘇聯人 (0.1130 m ²) 3 - 美國人 (0.0906 m ²)
3	ISPEED	選擇速度 1 - 緊急 2 - 正常
4	IOPT	出口路徑選項 1 - 計算最短路徑 2 - 使用者輸入的指示路徑
5	ISMK	煙源數據 1 - CFAST 輸出 2 - 使用者定義阻攔或無煙
6	ICNTR A	逆向流 1 - 是

		0 - 無
7	IFULL	輸出選項
		1 - 顯示每個移動的全部輸出
		2 - 整體輸出
8	NSTR	平面圖中的樓梯數量
		(應為 0 至 10 的整數)
9	IUPDN	樓梯內的移動方向
		1 - 向下
		2 - 向上

隨機延遲選項 - cards 10 至 13 (24X, I1, 8X, I3, /, 43X, I1, /, 20X, F4. 0, 18X, F4. 0)

欄位 變數 說明

- | | | |
|---|--------|----------------------------|
| 1 | IDLY | 隨機延遲選項 |
| | | 1 - 是, 指定額外隨機延遲 |
| | | 2 - 無隨機延遲 |
| 2 | IPROB | 延遲的機率 (亦即指定額外隨機延遲時間的住戶百分比) |
| 3 | IDIST | 指示取樣分佈 |
| | | 1 - 均勻分佈 |
| | | 2 - 對數常態分佈 |
| 4 | PAR A1 | 均勻分佈的最小值, 或對數常態分佈的標準差 (秒) |
| 5 | PAR A2 | 均勻分佈的最大值, 或對數常態分佈的平均值(秒) |

網路連結描述 -- 每個弧一張卡片 (I5, 3F6. 1, I5)

<u>欄位</u>	<u>變數</u>	<u>說明</u>
1	INODE	起始節點 (使用 999999999 標示表列的結束)
2	XLNGS1	為第一個節點中心至節點間受限或開口的中心距離
3	RESWTH	節點間受限或開口的寬度
4	XLNGS2	由節點間受限或開口的中心至第二個節點中心的距離
5	JNODE	到達節點

節點描述 -- 每個節點一張卡片 (I5, F5.0, F6.1, 4I5, F6.1, I5)

<u>欄位</u>	<u>變數</u>	<u>說明</u>
1	N	描述節點
2	AREA	節點的樓地板面積
3	H	節點的天花板高度
4	NCAP	節點容量 (未使用, 輸入任何值)
5	NOCC	在節點的住戶人數
6	ND	在節點的身心障礙住戶人數
7	IE	指示節點是否中途出口 (例如像樓梯間或在出口之前, 人們會在離開建築之前前往的節點) 1 - 為 IE 0 - 為非 IE
8	EVACTM	在此節點的人們會在避難開始前等待的時間長度
9	ITO	若選擇指定路徑選項, 住戶將前往的節點

身心障礙住戶的描述 -- 緊接在任何 ND ≠ 0. 的節點描述之後。可被輸入在每一行最多達 15 位身心障礙住戶。(15F5.2)

<u>欄位</u>	<u>變數</u>	<u>說明</u>
1 - ND	FACTR	每個身心障礙住戶的移動速度，為健壯的速度之百分比

節點映射 -- 若 ISMK = 1 -- 每個 CFAST 節點一張卡片 (2I5)

<u>欄位</u>	<u>變數</u>	<u>說明</u>
1	CFASTND	CFAST 節點 (輸入 9999 以指示此輸入段的結束)
2	EXIT89ND	相應的 EXIT89 節點

煙霧阻攔 -- 若 ISMK = 2 -- 每個阻攔一張卡片 (I5, F5.0)

<u>欄位</u>	<u>變數</u>	<u>說明</u>
1	N	阻攔發生的節點 (輸入 9999 以指示此輸入段的結束)
2	TIME	阻攔發生時間

逆向流 -- 若 ICNTRA = 1 -- 每個受影響節點一張卡片 (I5, F5.0)

<u>欄位</u>	<u>變數</u>	<u>說明</u>
1	N	逆向流影響發生的節點 (輸入 99999 以指示此輸入段的結束)
2	TIME	影響發生時間
3	EFFCT	依據逆向流的開始或停止，節點面積尺度的變化 (例如，要將可用面積減半，輸入 0.50；要恢復原先面積，輸入 2.0)。

D.6 程式變數的說明

此節說明此程式使用的變數

<u>變數</u>	<u>說明</u>
AREA (NBL)	輸入變數。描述之節點的樓地板面積。
CFASTND	映射至 EXIT89 節點的 CFAST 節點。
CONTRA (NBL, NINC)	此陣列保存每個時段中受影響節點的節點面積變化。
DENSTY	為計算出移動速度所需的密度所使用的身材尺度。
EFFCT	由於逆向流的開始或停止，節點面積尺度的變化。
ENDDAT	指示到達檔案資料末端的邏輯變數。
ETIME (NUMOCC)	1 在輸入段中，此陣列保存每個住戶在收到火災警報後，延遲開始避難的時間。 2 在程式中移動人們的的階段，此陣列保存每個住戶沿著路徑從一個節點移動至下個節點的時間長度。
EVACTM	輸入變數。為節點住戶在開始避難前延遲的時間。
EXIT89ND	映射至 CFAST 節點的 EXIT89 節點。
FACTOR (15)	輸入變數。當使用者指示節點內的某些住戶為身心障礙人士，此陣列保存每個身心障礙住戶的移動速度為健壯的速度之百分比。每一行可描述最多達 15 位身心障礙住戶。這些資料儲在名稱為 SFR() 的陣列中。
FACTR	每個身心障礙住戶的移動速度，為健壯的速度之百分比
FULL	指示使用者選擇全面列印輸出的邏輯變數。
H (NBL)	輸入變數。在每個節點天花板高度；
ICNTRA	輸入變數。指示模擬逆向流(1)或否(0)。
ICONN (NBL)	對於每個節點，沿著出口路徑連結的下個節點。不論是由最短路徑常用程式所計算，或是由使用者指定。
IDIR (NBL+1)	網路鏈結串列 JNODE() 中節點的目錄

變數	說明
IDIST	選擇延遲時間所用的分布類型。
IDLX	輸入變數。指示是否隨機指定額外延遲時間至住戶。
IE (NBL)	輸入變數。對於每個節點，此為指示節點是否是該樓層住戶之目的的旗標。若是，其值為 1；否則，設定為 0。
IEND	樓層中最後一個節點的下標（使用最短路徑副程式）。
IFDIR (NFLR+1)	陣列 INODE() 中，每個樓層節點位置的目錄。
IFLAG (NFLR)	此陣列指示該樓層是否閒置（1 -- 閒置； 0 -- 佔駐）。
IFLR	由最短路徑副程式考慮的樓層。
IFLSTR (NSTR)	此陣列指示樓梯是否閒置（1 -- 閒置； 0 -- 佔駐）。
IFULL	輸入變數。指示使用者選用全面輸出（1）或是滙總輸出（2）。
INC	事件發生之增量的儲存器。
IND (NBL)	此陣列指示節點是否阻攔。 1 - 阻攔 0 - 開放
INEXT	在計算最短路徑時，此變數指示下個樓層的第一個節點。
INODE (NLINK)	1 在輸入段中，網路中的起始節點。 2 在輸入段之後，第一個 NBL 元件為節點的名稱。
IOPT	輸入變數。指示使用者希望程式計算最短路徑（1）或是會輸入住戶會移動前往的節點（2）。
IPROB	輸入變數。指示會隨機指定延遲時間的住戶之百分比。
ISIZE	輸入變數。指示使用者所要使用的身材尺度數據來源（1 - 奧地利人，2 - 蘇聯人，3 - 美國人）。
ISMK	輸入變數。指示煙霧數據是由 CFAST 輸出檔（1）提供，或是使用者會輸入煙霧阻攔，或無煙霧（2）。
ISPEED	輸入變數。指示移動速度宜是緊急（1）或正常（2）。
ISTRT	樓層中第一個節點的下標（使用最短路徑副程式）。
ITEMP	當輸入太多網路連結時，讀取輸入段時使用的虛擬變數。
IUNITS	輸入變數。指示量測單位是公制比例尺（1）或否（2）。
IUPDN	輸入變數。指示在樓梯間的移動是向下（1）或向上（2）。

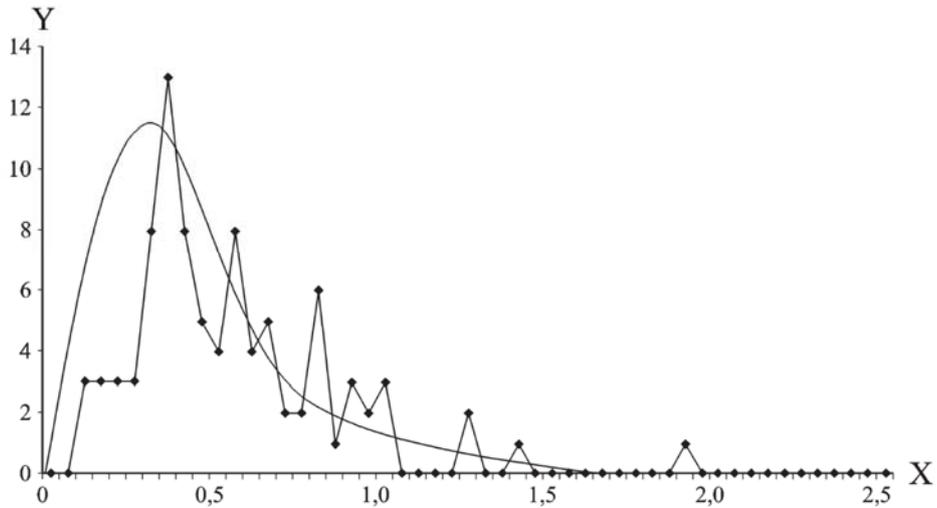
變數	說明
J (NBL)	在最短路徑副程式中使用，指示節點是否 "已解"。
JNODE (NLINK)	1 在輸入段中，網路中的到達節點。 2 在輸入段之後，保存由 IDIR 指標的鏈結串列。
LENGTH (NBL)	在最短路徑副程式中使用，保存由每個已解節點至最近 IE 的路徑長度。
LEVHAZ (NBL, NINC)	此陣列保存每個時段中，每個節點的危險程度。紀錄煙霧情況達到阻攔房間出入程度 (LEVHAZ = 4)，或是當煙霧情況達到啟動煙霧警報器 (LEVHAZ = 1) 的程度。
MAXLNK	網路最大連結數，決定陣列的尺度。在程式開始時設定。
MAXNBL	節點的最大數量，決定陣列的尺度。在程式開始時設定
MAXOCC	住戶的最大數量，決定陣列的尺度。在程式開始時設定
METRIC	指示輸入是否使用公制的邏輯變數
N	在串列中讀取資料時，做為計數器的下標。
NAREA (NBL)	輸入變數。節點的可用樓地板面積
NBL	網路中的節點或建築位置數量。由程式依輸入計算
NBL1	$NBL + 1$
NCAP (NBL)	輸入變數。節點容量(尚未使用)
NDISAB	身心障礙住戶總人數。在輸入段中計算。
NFLR	建築樓層數在建立樓層節點目錄 IFDIR() 時計算。
NINC	當模擬運算執行時，使用的時間增量數。在程式開始時設定
NLINK	網路中的連結數(此數量會少於或等於輸入段所描述的弧之數量的兩倍，由程式計算)。
NOCC (NBL)	在節點的住戶人數
NSTR	輸入變數。樓梯數量
NTRAPT	建築內受困於煙霧的人數
NUMOCC	建築中的住戶的總數由程式依輸入計算
OCCLOC (NUMOCC, NINC)	每個住戶在每個時間間隔的位置

變數	說明
PARA1	在輸入段中指定額外延遲時間時，做為均勻分布的最小值，或是對數常態分布的標準差（秒）。
PARA2	在輸入段中指定額外延遲時間時，做為均勻分布的最大值，或是對數常態分布的平均值（秒）。
RESWTH (NLINK)	輸入變數。節點間開口的寬度。
SFR (NUMOCC)	此陣列保存每個住戶的”速度因數”。每個健壯的住戶的設定值為 1.0。身心障礙住戶的值為輸入變數。
SMOKEDET	煙霧警報器啟動時間（由 CFAST 輸出決定）。
TABLE (92, 3, 2)	由 Predtechenskii and Milinskii 方法計算的速度表。第一個下標為計算所得的密度（1 至 92），第二項表示行進路徑的類型（1 - 水平；2 - 下樓；3 - 上樓），而第三項指示使用者指定的移動速度（1 - 緊急；2 - 正常）。
TEXIT (2, NBL)	此陣列的第一列儲存使用每個出口的人數，第二列為該出口最後一位住戶通過的時間。（陣列中只紀錄可通達安全位置的節點項目。）
TFLR (NFLR)	每個樓層清空的時間。
TIME	1)在輸入段中，相關節點會被煙霧阻攔的時間。此輸入段是在使用者指定阻攔，而非由 CFAST 檔案讀入時使用。 2)在輸入段中，相關節點會被逆向流影響的開始或停止時間。
TIMINT	紀錄火災進展及/或避難的時間增量。在程式開始時設定。
TIMRM (NBL)	此陣列保存每個節點，在給定之兩個節點密度，節點住戶移動至相連節點所需的時間。
TITLE (18)	輸入變數。運算的標題。
TRUN	建築避難的運算時間。
TSTR (10)	每個樓梯清空的時間。
XLNGS1 (NLINK)	輸入變數。弧中第一個節點中心至節點之間開口中心的距離。
XLNGS2 (NLINK)	輸入變數。弧中節點之間開口中心至第二個節點中心的距離。
XMAX	隨機指定給住戶的延遲時間所用的均勻分佈之最大值（秒）
XMIN	隨機指定給住戶的延遲時間所用的均勻分佈之最小值（秒）

D.7 對數常態分布範例

此節提供一些對數常態分布的範例，以協助使用者以適當的平均值與標準差定義分佈。這些範例僅用於說明，而非推薦使用這些分佈。

圖 D.1 顯示從一家擁有餐廳的零售店 [20] 避難的實驗結果。發現觀測的結果符合對數常態分布。圖表顯示實驗的結果與理論曲線。



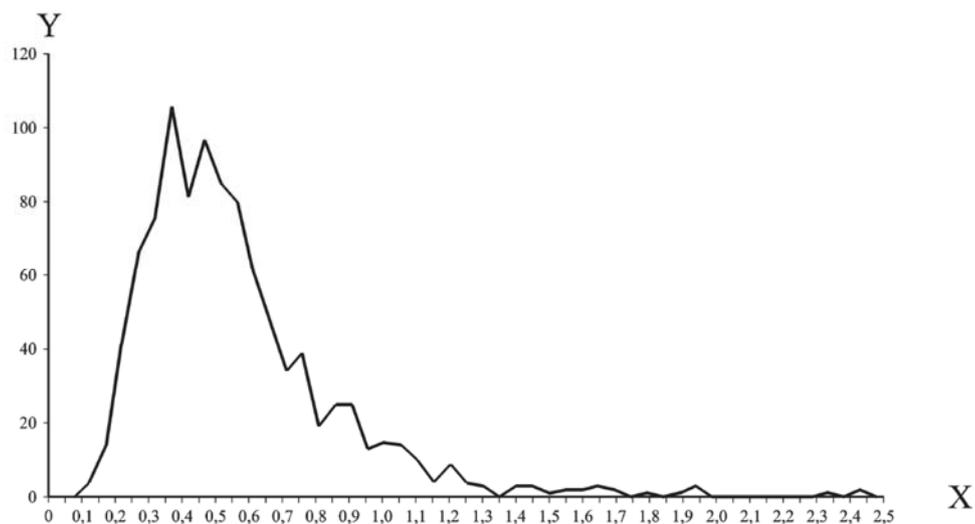
說明

X 時間 (min)

Y 頻率

圖 D.1 百貨公司避難的預動時間之實驗與理論值

使用包含在 EXIT89 之中的對數常態演算法，產生 1,000 個隨機數字分布，與平均值 0.54，及標準差 0.31。結果所繪圖表顯示於 圖 D.2。

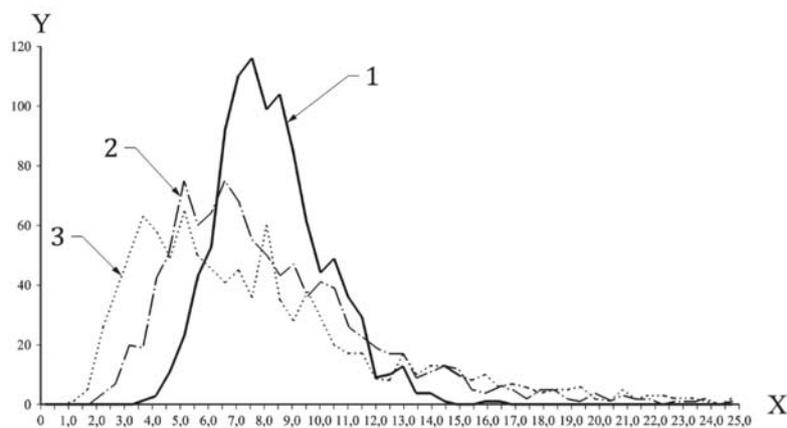


說明

Y 頻率

圖 D.2 對數常態分布與平均 0.54 及標準差 0.31

圖 D.3 顯示平均值 8.0，標準差分別為 2.0、4.0 及 6.0 的三個分佈。



說明

Y 頻率

1 標準差 = 2

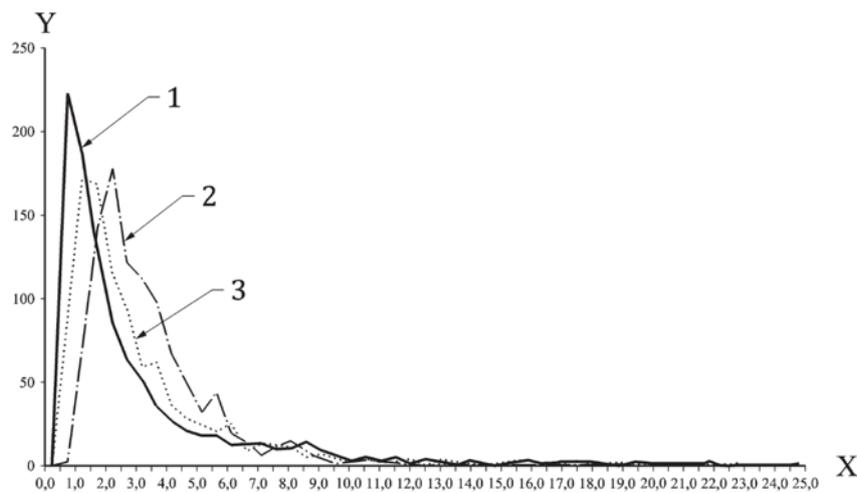
2 標準差 = 4

3 標準差 = 6

圖 D.3 -- 對數常態分布範例 平均 = 8.0

標準差的選擇對分布的形狀有顯著影響。圖形未清楚地顯示分佈尾端的長度。標準差為 2 的分佈其範圍由 3.43 至 16.33。標準差為 4 與 6 的分佈其範圍分別為 1.58 至 37.34 及 0.76 至 52.23。

圖 D.4 顯示平均值 3.0，標準差分別為 2.0、4.0 及 6.0 的三個分布。該發生隨機數與標準差為 2.0 的分佈其範圍由 0.39 至 19.98。對於其他的分佈，範圍分別為 0.13 至 56.30 及 0.03 至 100.09。



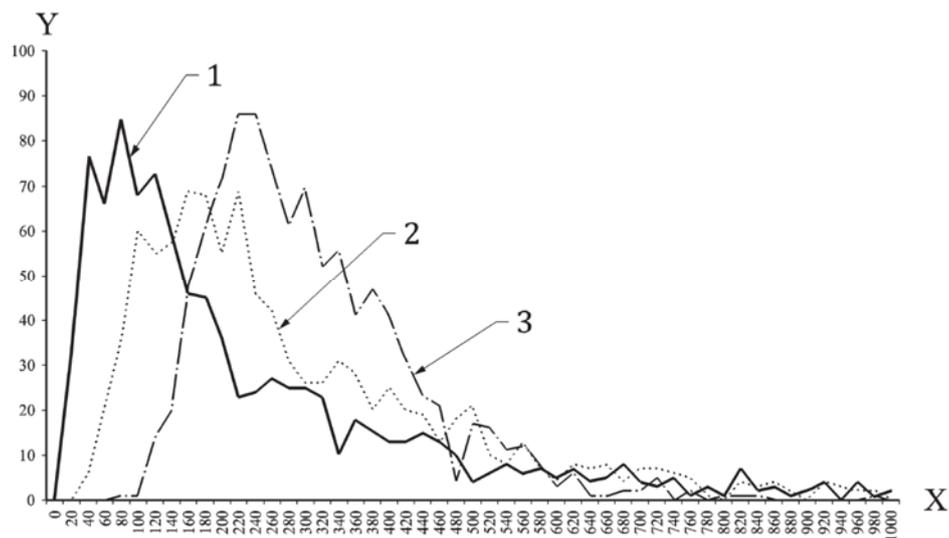
說明

- Y 頻率
- 1 標準差 = 6
 - 2 標準差 = 2
 - 3 標準差 = 4

圖 D.4 -- 對數常態分布範例 平均 = 3.0

由於模式需要的延遲時間單位為秒，圖 D.5 與 D.6 顯示一些平均時間分別為 5 min 與 8 min 的分布範例，顯示單位為秒。如同先前的圖表，對於每個平均值，分別呈現三個標準差的分布，以展現其對於 1000 隨機產生數目之分布的影響。對於平均值為 5 min 的圖表，標準差 2 min，4 min，與 8 min 的

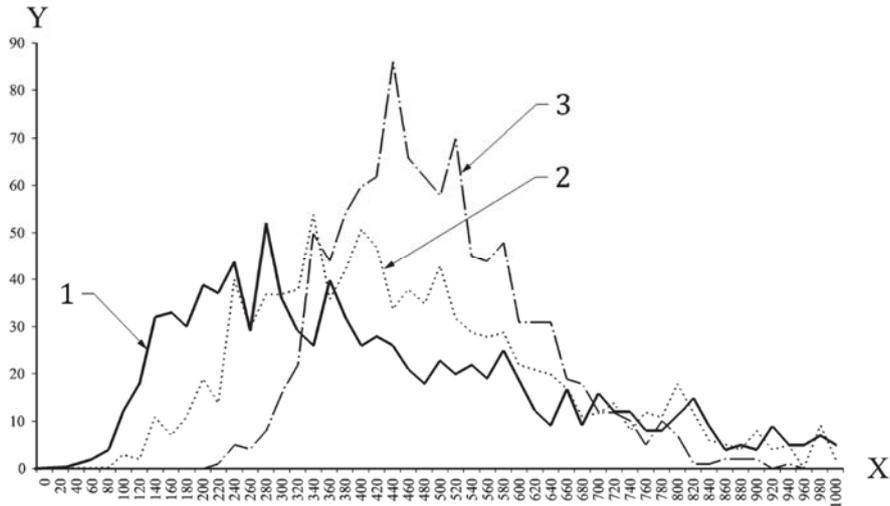
分布範圍依序分別為 70 s 至 16 min，24 s 至 37 min，及 6 s 至 82 min。然而，這些分布的尾端可以相當長。第 95 百分位的值，例如，分別為 9 min，12 min，及 17 min。



說明

- Y 頻率
- 1 標準差 = 480
- 2 標準差 = 240
- 3 標準差 = 120

圖 D.5 對數常態分布範例 平均 = 300.0



說明

Y 頻率

1 標準差 = 360

2 標準差 = 240

3 標準差 = 120

圖 D.6 對數常態分布範例 平均 = 480.0

圖 .D.6 顯示平均值為 8 mm，標準差 2 min，4 min，及 6 min 的分佈範圍分別為 3.6 s 至 15.6 min，1.4 s 至 41.4 min，及 38 s 至 65.8 min。第 95 百分位的值分別為 11.8 min，15.1 min，及 19.1 min。

參考資料

[1] Fahy R .F., & Proulx G. Toward Creating a Database on Delay Times to Start Evacuation and Walking Speeds for Use in Evacuation Modeling” , *Proceedings of the 2nd International Conference on Human Behaviour in Fire 2001*, Interscience Communications Ltd., London, 2001.

[2] Kuligowski EG, & Peacock RD *A Review of Building Evacuation Models - Technical Note 1451*, National Institute of Standards and Technology,

Gaithersburg MD, July 2005.

- [3] Kuligowski E. G., & Milke J. A. A Performance-based Egress Analysis of a Hotel Building using Two Models. *J. Fire Prot. Eng.* 2005, **15** (4) pp. 287 - 305.
- [4] Fahy R.F. *Update on the Features and Demonstrated Predictive Capability of EXIT89*. Engineered Fire Protection Design...Applying Fire Science to Fire Protection Problems, International Conference. Proceedings. Co-organized by: Society of Fire Protection Engineers (SFPE) and National Institute of Standards and Technology (NIST). June 11-15, 2001, San Francisco, CA, 303-314 pp, 2001.
- [5] Fahy R.F. *Modelling Contra Flows During Building Evacuations*. Volume 2; Interscience Communications Ltd. ; Building Research Establishment; National Fire Protection Association; National Institute of Standards and Technology; Society of Fire Protection Engineers; and Swedish National Testing and Research Institute. Interflam 2001. (Interflam '01). International Interflam Conference, 9th Proceedings. Volume 2. September 17-19, 2001, Edinburgh, Scotland, Interscience Communications Ltd., London, England, 887-897 pp, 2001.
- [6] Proulx G., Tiller D., Kyle B., Creak J. *Assessment of Photoluminescent Material During Office Occupant Evacuation*, Internal Report No. 774, National Research Council of Canada, Ottawa ON, April 1999.
- [7] Fahy R., & Proulx G. unpublished analysis of World Trade Center data, National Fire Protection Association, Quincy MA, October 1994.
- [8] Edelman P., Herz E., Bickman L. A Model of Behaviour in Fires Applied to a Nursing Home Fire. In: *Fires and Human Behaviour*, (Canter D. ed.).

- David Fulton Publishers, London, Second Edition, 1990, pp. 194.
- [9] Fahy R.F., & Proulx G. unpublished data from World Trade Center human behaviour study, National Fire Protection Association, Quincy MA, 1993.
- [10] Predtechenskii V.M., & Milinskii A.I. *Planning for Foot Traffic Flow in Buildings*. Amerind Publishing Company, Inc, New Delhi, 1978
- [11] Butler G.W. “*The Factors Involved in Evacuation and the Extent to Which Efficient Management Can Influence These,*” *Proceedings - Interflam '93*. Interscience Communications Ltd, London, 1993, pp. 628 - 35.
- [12] Personal communication. Tyne-and-Wear Fire Brigade, 1992.
- [13] Kimura M., & Sime J.D. Exit Choice Behaviour during the Evacuation of Two Lecture Theatres,” *Proceedings - Second International Symposium on Fire Safety Science*, International Association for Fire Safety Science, June 1988, pp. 541-550.
- [14] Shields T.J., Boyce K.E., Silcock G.W.H. *Unannounced Evacuation of Marks and Spencer Sprucefield Store*, unpublished report, University of Ulster Fire SERT, Carrickfergus, January 1997.
- [15] Fahy R.F. Update on the Features and Demonstrated Predictive Capability of EXIT89,” *Proceedings of the International Conference on Engineered Fire Protection Design*, Society of Fire Protection Engineers, June 2001, pp. 303-314.
- [16] Hillier F.S., & Lieberman G.J. *Introduction to Operations Research*. Holden-Day, Inc, Oakland, California, Third Edition, 1980.
- [17] Predtechenskii V.M., & Milinskii A.I. *Planning for Foot Traffic*

- Flow in Buildings*. Amerind Publishing Company, Inc, New Delhi, 1978.
- [18] Kendik E. Assessment of Escape Routes in Buildings and a Design Method for Calculating Pedestrian Movement,” *SFPE Technology Report 85-4*, Society of Fire Protection Engineers, Boston, Massachusetts, 1985.
- [19] Levin B.M. *EXITT - A Simulation Model of Occupant Decisions and Actions in Residential Fires: Users Guide and Program Description*, NBSIR 87-3591, National Institute of Standards and Technology, Washington DC, July 1987.
- [20] Purser D.A., & Bensilum M. Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. *Saf. Sci.* 2001, **38** p. 157.
- [21] Bratley P., Fox B.L., Schrage L.E. *A Guide to Simulation*. Springer-Verlag, New York, Second Edition, 1987.

參考書目

1. 沈子勝、陳佳君，「台灣性能審議制度與發展」，建築防火前瞻科技國際研討會論文集，2011。
2. 蔡綽芳、蔡匡忠，「建築物火災模擬工具應用參考指南之研究」，內政部建築研究所，2015。
3. 「《消防安全工程》系列標準發佈實施」，中國消防線上，2015。
4. 曾偉文、吳明朗，「防火安全性能設計之評估等級與方法」，第三屆消防性能化規範發展研討會，2006。
5. 邱培芳、郝愛玲，「國外消防安全工程技術標準發展現狀研究」，工程建設標準化，53-56，2014。
6. 劉慶男、丁育群，「性能式建築防火設計審議機制整合之研究—以防火避難設計審議為例」，內政部建築研究所研究，2002。
7. S. M. Lo, L. J. Gao and K. K. Yuen, THE DEVELOPMENT OF PERFORMANCE-BASED FIRE SAFETY ENGINEERING DESIGN IN HONG KONG AND JAPAN, International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes, Volume 9, Number 3, p.133-139, 2007.
8. 水上 点晴，”建物の防火区画設計におけるリスク評価と性能設計手法”，日本建築研究所 BRI-H25 講演会テキスト。
9. 何明錦、蔡綽芳、雷明遠、蘇鴻奇，「推展智慧城市與都市防災先期計畫」之「建築防火性能設計研習行程」出國報告，內政部建築研究所，2016。
10. 曾博章、顏宏霖，「研究建築物性能法規訂定與審查制度之推展」，內政部消防署出國報告，2012。
11. 王鵬智「紐西蘭性能式防火法規實施制度考察」，內政部建築研究所出國報告，2001。

12. 「《消防安全工程》系列標準發佈實施」，中國消防線上，2015。
13. 邱培芳、倪照鵬，「國際消防安全工程標準體系最新發展動態」，工程建設標準化，2015。
14. Louis A. Gritzo, Paul E. Senseny, Yibing Xin, and J. Russell Thomas, “The International FORUM of Fire Research Directors: A Position Paper on Verification and Validation of Numerical Fire Models”, Volume 40, Issue 5, pp. 485 – 490, 2005.
15. 林慶元，「防火避難綜合檢討評定後建築物之使用安全查核驗證研究(期中報告)」，內政部建築研究所，2016。
16. 許銘文，「105 年度建築物防火避難安全推廣計畫期末報告」，內政部建築研究所補助計畫報告，2016。
17. ISO 23932 : 2009 **Fire safety engineering — General principles.**
18. ISO 16733-1:2015 Fire safety engineering -- Selection of design fire scenarios and design fires -- Part 1: Selection of design fire scenarios.
19. ISO 16732-1:2012 Fire safety engineering -- Fire risk assessment -- Part 1: General.
20. ISO/TS 29761:2015 Fire safety engineering -- Selection of design occupant behavioural scenarios.
21. ISO 16734:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Fire plumes.
22. ISO 16735:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Smoke layers.
23. ISO 16736:2006 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Ceiling jet flows.
24. ISO 16737:2012 Fire safety engineering -- Requirements governing algebraic equations -- Vent flows

25. 蔡銘儒，「防煙區劃性能設計驗證與確認之研究-以無塵室為例」，內政部建築研究所，2015。
26. 沈子勝，「大型展覽館場活動期間人群疏散及避難引導研究」，內政部建築研究所，2013。