

火災風險分析在建築防火安全評估 之應用研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 99 年 12 月

國科會 GRB 編號：PG9907-0233

本部計畫編號：099301070000G2009

火災風險分析在建築防火安全評估 之應用研究

研究人員：雷明遠

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 99 年 12 月

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
ABSTRACT	XII
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	4
第二章 火災風險管理與評估	7
第一節 風險管理概述	7
第二節 火災風險評估基本知識	25
第三節 火災風險評估方法概述	29
第三章 火災風險評估之應用	41
第一節 防火性能設計與火災風險評估	41
第二節 防火安全評估與火災風險分析	57
第三節 火災風險評估範例	86
第四章 火災風險管理與評估指南(建議草案)研議	133
第一節 草案研議說明	133
第二節 用語定義	137
第三節 火災風險管理概述	140
第四節 火災風險估算的步驟	141

第五節 不確定性、敏感度、精確度和誤差	166
第六節 火災風險評量	170
第五章 結論與建議	175
第一節 結論	175
第二節 建議	176
附錄一 本所研究業務協調會議紀錄及回應	179
附錄二 本所期中審查會議意見及回應	181
附錄三 本所期末審查會議意見及回應	185
參考書目	189

表次

表 2-1 定性影響的敘述分類表	16
表 2-2 定性機率的敘述分類表	16
表 2-3 半定量影響的敘述分類表	17
表 2-4 半定量機率的敘述分類表	18
表 2-5 火災風險評估方法之類型	29
表 2-6 危害分析方法優缺點比較	35
表 3-1 常見的接受度標準類型	62
表 3-2 每棟建築物的死亡人數和每年每戶死亡人	65
表 3-3 火災發生或然率	68
表 3-4 各種場所內起火的總體或然率	68
表 3-5 各種場所一定樓板區域內起火的或然率	69
表 3-6 火災中各種火勢蔓延類型的面積損害和百分比(以紡織業為例)	70
表 3-7 火災中各種火勢蔓延類型的面積損害和百分比(酒吧、俱樂部、餐廳-所有區域)	71
表 3-8 辦公大樓受損面積之頻率分佈 (以火災數量區分)	72
表 3-9 零售商場受損面積之頻率分佈 (以火災數量區分)	73
表 3-10 醫院受損面積之頻率分佈 (以火災數量區分)	74
表 3-11 火災的可能損害:等式 3-3 之參數	75

表 3-12 可能影響分級基準.....	95
表 3-13 或然率分級用之頻率基準範例.....	95
表 3-14 某三層樓建築物的起火頻率.....	102
表 3-15 多用途室內運動場不同火災情境之風險分級.....	120
表 3-16 單一物品倉庫火災情境之相對風險分級.....	130

圖次

圖 1-1 研究進行步驟	06
圖 2-1 風險管理架構	08
圖 2-2 風險辨識的方法	12
圖 2-3 半定量風險分析圖(風險等級)	18
圖 2-4 風險處理對策的步驟	22
圖 3-1 標準的性能法規體系層級圖	41
圖 3-2 性能防火設計之程序步驟	44
圖 3-3 概率性火災風險分析之一般步驟	57
圖 3-4 損害與建築物大小(以紡織業為例)	77
圖 3-5 損害與區劃大小(以紡織業為例)	78
圖 3-6 火災成本評估模型	80
圖 3-7 三間房間火災風險分析之事件樹	88
圖 3-8 失誤樹的基本樣式	92
圖 3-9 起火後5分鐘內未發現火災的失誤樹	93
圖 3-10 風險分級矩陣範例	96
圖 3-11 建築物火災安全評估法(BFSEM)網路圖範例	98
圖 3-12 多用途室內運動場火災範例之事件樹	112
圖 3-13 單一物品倉庫火災範例之事件樹	126
圖 4-1 火災風險管理流程圖	141
圖 4-2 火災風險估算流程圖	142

摘要

關鍵詞：火災風險、建築防火安全評估、概率性風險分析、風險管理、
風險評量

一、研究緣起

建築物火災風險分析（fire risk analysis）的目的是為徹底了解火災相關風險並找出其特徵，俾使在建築物的設計、建造和使用相關所必須的許多決策時，能有清楚的了解。過去我們對於火災科學的確定性規律之研究時間、研究廣度及深度皆比較足夠，也獲得許多成果，然而，對於火災的隨機性，坦言之，我們的認識還不夠。火災風險評估就是與火災的隨機性相關的一個研究方向，此領域國內還有很多的
研究空間有待積極的投入。

國際上，國際標準化組織（ISO）、英國標準協會（BSI）、美國防火工程師學會（SFPE）、美國防火協會（NFPA）等組織也都各別有火災風險評估相關技術規範研擬，如 ISO/PD 16732、BSI 7994-7、NFPA 551…等。另外，SFPE 則有防火工程應用風險評定之工程指南相關出版品。在法規方面，美國國際規範委員會(ICC)建築物與設備性能規範(ICC Performance Code for Buildings and Facilities)有許多關於火災風險及建築物風險之參考文獻。NFPA 5000 及 NFPA 101 有關性能手法則揭示辨識最小風險及可信賴因子之重要性，認為是展現法規符合性的工程分析的一部份。綜上，顯示對於火災及建築領域，深入

了解火災風險觀念有其重要性。

目前國際火災科學研究對於防火安全工程在技術層面上有 3 項期望的趨勢：(1) 由被動式災害防制技術轉向以”環保阻燃、智慧探測、快速定位”為主的主動式災害防制技術；(2) 由傳統的條例式法規設計轉向科學性安全工程設計（性能化設計）；(3) 由火災防制的傳統管理模式轉向科學管理和緊急應變方案模式。火災風險評估的發展及應用與上述第 (2)、(3) 項趨勢息息相關，乃是火災科學及防火工程今後發展重點之一。

二、研究方法與過程

(一) 文獻探討法

進行國內外文獻資料之蒐集與分析，包括相關研究報告、期刊及研討會論文、指南、手冊及規範等火災風險評估有關研究資料，如火災發生頻率、火災延燒面積...等概率資料、評估方法、案例研究等。

(二) 分析比較法

蒐集彙整相關火災風險評估或火災危害分析法，如 Checklist、HAZOP、FMECA、FTA、ETA...等，就其優、缺點加以分析及比較。

(三) 案例評析法

從文獻資料蒐集不同性能設計目的之建築物實例，比較應用火災風險分析法計算分析結果。性能設計目的可能是防火區劃面積突破規定上限、自動撒水設備保護減免、不同機械防排煙設計比較...等，就其與

防火性能設計配合功能進行評估與分析。

(四) 綜合歸納法

彙整火災風險評估有關國內外資料、國際規範，並據以完成「火災風險管理與評估指南（建議草案）」研議。

三、重要發現

火災風險分析乃是一項複雜的專門學問或專業技術，除能夠應用在新建築物之性能式防火設計外，也應可以廣泛使用在建築物防火安全評估（不論新、舊建築物依一般法規設計者）。本研究希望不僅可供新建建築物設計使用，亦能供既有建築物之防火安全評估。

建築物之防火安全評估如何應用火災風險分析（評估）方法，本文業已概要說明相關關鍵議題，包括了定義火災風險的討論、風險特性辨識確定的討論、確定危險和影響的工具及方法的討論、火災風險分析方法的討論及或然率資料之取得，並也提供若干蒐集到的使用火災風險分析方法範例。

本研究完成「火災風險管理與評估指南（建議草案）」之研議，該指南係參考了行政院研考會相關手冊、美國 SFPE、NFPA、英國 BS 及國際標準組織（ISO）等標準綜合而成，將可提供相關應用問題的解說及建築防火設計專業人士接觸火災風險的指南，相信能夠協助使用者瞭解火災風險分析(評估)之應用價值。

本文期待提供有關風險分析應用在建築物防火安全評估的一個開端，使用此類方法技術的人最後必須謹記，當開始建築物火災風險分

析時，必須要注意將相關利害關係人員納入，小心謹慎考量相關風險問題的範圍，並尋求解決問題最適當的途徑、工具、方法和資料。

四、主要建議事項

建議一

研編建築物防火安全設計有關「火災風險管理與評估應用手冊」：近期建議

主辦機關（單位）：內政部建築研究所

協辦機關（單位）：內政部營建署、消防署、財團法人台灣建築中心

由於個人研究，人力有所局限，倘依據本研究所提供之「火災風險管理與評估指南（建議草案）」，再補充更多風險分析（評估）計算案例說明，並蒐集國內外更多可信賴之或然率統計數據，則研編「火災風險管理與評估應用手冊」應該能夠成功。手冊編審會議將邀請建築、消防主管機關參與，並期待日後倘出版該手冊的話，能夠對我國的性能防火設計審查或原有建築物防火改善課題有所幫忙，台灣建築中心將可協助推廣火災風險管理與評估之應用。

建議二

辦理建築物防火安全管理導入火災風險評估概念有關研究：近期建議

主辦機關（單位）：內政部建築研究所

協辦機關（單位）：內政部營建署、消防署、財團法人台灣建築中心

目前國內的建築物公共安全管理有關防火安全部分，分屬內政部營建

署、消防署的權責，前者辦理防火避難、防火區劃、防火構造、建築設備等公共安全檢查簽證申報等有關工作，後者辦理各式火災探測、滅火及排煙等消防設備之檢修申報等有關工作，然而民眾普遍不清楚自身之義務及責任，概委託專業人士協助，對於建築物之防火安全並未深入去瞭解其重要性，因此建議參考英國法規之作法，導入火災風險評估概念，操作實際面上沒有風險評估所需的專業分析（對一般民眾而言，有如天書般難以瞭解），僅應用簡易的火災風險辨識、管理概念，並將原有傳統、條例式法規融入在火災風險管理作法之中，讓民眾清楚其居住的環境有何種可能危險，哪些法規可幫助他。英國法規規定所有建築管理權人(除住宅以外)均應接受建築火災風險評估的訓練課程，成效相當良好。將火災風險評估這項專業性頗高的學問、技術，轉化為提昇公共防火安全水準的新作為，應該是值得我國學習借鏡的新觀念。

Abstract

Keywords: fire risk, evaluation of building fire safety, probabilistic risk assessment (PRA), risk management, risk evaluation

The purpose of fire risk analysis of building is to thoroughly understand the fire-related risks and find its features, so that the many necessary decisions relevant to the building design, construction and use can be clearly understood. In the past the time, the range and the quality for researches of deterministic regularities of fire science are much more sufficient, and which gained a lot of achievement. However, for the randomness of fire, baldly speaking, our awareness is still not enough. Fire risk assessment is a research direction associated with the randomness of fire; in this area there is a lot of space to be positively input.

From the point of view of the current international fire science research for fire safety engineering, at the technical level, there are three trends to be expected : (i) the direction of passive disaster prevention technology shift to the direction of "environment-protective fire retardation, intelligent detection, rapid positioning" as active disaster prevention technology, (ii) From the traditional design of prescriptive regulations to scientific safety engineering design (performance-based design) , (iii) The fire prevention and control of traditional management mode to scientific management and emergency response programme mode. The development and application of fire risk assessment is closely related to the above trends of paragraph (ii), (iii), and have become one of development priorities of fire science and fire safety engineering in the future.

In this research report, several research methods were applied, including literature review method, comparison and analysis method, case assessment and analysis method, and comprehensive induction method.

Fire risk analysis is a complex subject, not only it can be applied to the performance-based design of new building, also can be broadly used for fire safety evaluation of building design, either new-built or existed, in accordance with the general regulations.

How to apply the fire risk analysis (evaluation) methods for the building fire safety assessment, in this article has generally outlined the related key issues, including the discussions on definition of fire risk, identification of risk characteristics, tools and methods of identification of hazards and consequences, fire risk analysis methods and probability data acquisition, and also provided some information on examples to use fire risk analysis.

This study has completed the draft on “Guide to application of fire risk management and assessment” , which referred to the related manuals published by the Research, Development and Evaluation Commission, Executive Yuan, the guides issued by SFPE, and NFPA, BS and ISO standards for accomplishment. It will be able to provide an explanation of the related application issues and a guide to building design professionals to contact fire risk. It’s believed that the Guide can help users understand the value of application on the fire risk analysis or assessment.

This article looks forward to providing a starting point for application of fire risk analysis on the fire safety evaluation of building. The people using these methods or technologies must bear in mind in final that when you start building fire risk analysis, you must pay attention to relevant stockholders into careful consideration on the associated risks, and to seek solutions to problems in the most appropriate approach, tools, methods, and data.

This project came to the following immediate and long-term strategies:

For immediate strategy: To compile the “Manual for Application of Fire Risk Management and Assessment” for fire safety design of building

Due to the limitation of manpower in individual research, if based on the "Fire Risk Management and Assessment Guide (draft proposal)" provided in this study, and then add more examples of risk analysis (assessment) and calculation cases, and collect more probability statistics with high reliability, the compliment of "Manual for Application of Fire Risk Management and Assessment" should be successful. Looking forward to the future publication of the manual if so, it can be beneficial to the performance-based fire design review or fire safety improvement of existing buildings. The Taiwan Architecture and Building Center will be able to assist the promotion of fire risk management and assessment.

For immediate strategy: To conduct the researches on building fire safety management leading in the concept of fire risk assessment.

On building safety issues, people generally do not know their obligations and responsibilities, shall entrust professional assistance. The building fire safety has not been thoroughly to understand its importance, so it is recommended that you refer to the practice of the UK legislation, to lead in the fire risk assessment concepts. In practical, without professional analysis necessary for risk assessment, only simple concepts on fire risk identification and management are used, and traditional and prescriptive regulations are merging into the fire risk management practices, to make people know what potential hazards in their living environment and what regulations can be helpful to them. The fire risk assessment what such highly specialized knowledge and technology, is simplified to be the new tools to enhance the public fire safety level of building, it is supposed to be a new concept worth learning.

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與目的

壹、研究緣起背景

建築物火災風險分析 (fire risk analysis) 的目的是為徹底了解火災相關風險並找出其特徵，俾使在建築物的設計、建造和使用相關所必須的許多決策時，能有清楚的了解。過去我們對於火災科學的確定性規律之研究時間、研究廣度及深度皆比較足夠，也獲得許多成果，然而，對於火災的隨機性，坦言之，我們的認識還不夠。火災風險評估就是與火災的隨機性相關的一個研究方向，希望國內有更多的研究能投入。

國際上，國際標準化組織 (ISO)、英國標準協會 (BSI)、美國防火工程師學會 (SFPE)、美國防火協會 (NFPA) 等組織也都各別有火災風險評估相關技術規範研擬，如 ISO/PD 16732、BSI 7994-7、NFPA 551…等。另外，SFPE 則有防火工程應用風險評定之工程指南相關出版品。在法規方面，美國國際規範委員會 (ICC) 建築物與設備性能規範 (ICC Performance Code for Buildings and Facilities) 有許多關於火災風險及建築物風險之參考文獻。NFPA 5000 及 NFPA 101 有關性能手法則揭示辨識最小風險及可信賴因子之重要性，認為是展現法規符合性的工程分析的一部份。綜上，顯示對於火災及建築領域，深入了解火災風險觀念有其重要性。

目前國際火災科學研究對於防火安全工程在技術層面上有 3 項期

望的趨勢：(1) 由被動式災害防制技術轉向以”環保阻燃、智慧探測、快速定位”為主的主動式災害防制技術；(2) 由傳統的條列式法規設計轉向科學性安全工程設計（性能化設計）；(3) 由火災防制的傳統管理模式轉向科學管理和緊急應變方案模式。災風險評估的發展及應用與上述第（2）、（3）項趨勢息息相關，乃是火災科學及防火工程今後發展之重點。

國內的性能式建築防火及消防法規已行之有年，據以採行性能設計的案例亦愈來愈多。由於傳統上我國之建築及消防法規主要師法日本，所以日本性能法規及性能設計所採行方法一直是國內主要參考依據。日本建築防火性能設計遭遇的問題，國內也有類似經驗，因此在日本 BRI 刻正著手於火災風險研究之際，加上歐、美等國際專業團體組織近年紛紛發布火災風險相關技術規範，本所有必要同步進行基本的分析研究，以掌握國際最新研究動態。因此，本所未來之 100~103 年建築防火科技發展中程計畫，除了旨為保障人命安全（減少因火災事故死傷及消防救災人員的生命安全）、減少財物損失（降低個人財產及社會成本之直接或間接損失）以及建立居住環境之公共安全、生態保護（確保供公眾使用建築物之防火安全，並在防救災措施或手段實施時能降低環境的衝擊），並導入「火災風險為基礎」、「可信賴性」及「以人為中心」理念之防火安全設計及工程技術，俾能達成人與建築物俱能永續安全之目標。

貳、研究目的

依國外文獻，性能設計手法概可分為決定性手法(deterministic approach)及概率性手法(probabilistic approach)兩類。目前國內普遍的性能設計案例皆採用決定性手法進行設計，鮮少應用概率性手法協助評估防火工程設計。此除了因為缺少相關具體研究資料及參考規範或指南可供參採，另國內專業人士對概率性手法普遍感到陌生，欠缺瞭解之故。

所謂概率性風險分析 (probabilistic risk analysis, PRA) 是泛指以測量風險為研究目的的名詞。以一系列影響將會發生的機率來表示風險，所以 PRA 研究的結果會得出代表對人身或財產危險程度的數字，但也考量事件是怎樣可能性。實務上，舉例來說，此意謂對於常發生但影響較輕微的事件所採取的注意和極少發生但影響嚴重的事件所採取的注意一樣。

概率性手法除在新建築物之性能設計上，能夠區分相同目標之不同設計方法之優劣（例如孰者更可信賴或更為經濟有效）以外，概率性手法之風險評估更可應用在既有建築物改善防火避難設施設備及消防設備的抉擇。依據「原有合法建築物防火避難設施及消防設備改善辦法」，第三條載明「原有合法建築物所有權人或使用人依前條第一項申請改善時，應備具申請書、改善計畫書、工程圖樣及說明書。前項改善計畫書依建築技術規則總則編第三條認可之建築物防火避難性能設計計畫書辦理，得不適用前條附表一一部或全部之規定」。當既有建築物採用性能設計改善手法時，概率性風險評估除可以提供建築物改

善前後之火災風險比較，亦可以提供不同改善措施（決定性手法的具體措施）之優劣比較，尤其改善之風險及成本分析，提供業主參考。

本案係延續上年度研究計畫「防火性能設計導入火災風險評估之研究」成果，依據前項研究結論，概率性風險評估或分析（PRA）可以應用在（a）為決定性分析（deterministic analysis）確定及選擇火災情境，（b）為決定性分析設定輸入資料，（c）協助分析部分或某特定面之建築物防火設計，（d）甚至於協助分析整體之建築物防火設計。風險評估在性能化設計中可以輔助設計者瞭解其各項決定性手法方案能夠比較優劣差異，亦即區分相同目標之不同設計方法之優劣，例如孰者更具可信賴性（reliability）或更為經濟有效（cost-effectiveness）。亦即，風險分析法除能夠應用在新建築物之性能式防火設計外，也應可以廣泛使用在建築物防火設計（不論新、舊建築物依一般法規設計者）。本研究希望不僅可供新建建築物設計使用，亦能供既有建築物之防火安全評估。此外將藉由不同範例說明，並提供相關應用指南協助使用者瞭解火災風險分析（評估）結果之應用性。

第二節 研究方法與步驟

本研究使用方法如下，另研究進行步驟如圖 1-1：

1. 文獻探討法

進行國內外文獻資料之蒐集與分析，包括相關研究報告、期刊及研討會論文、指南、手冊及規範等火災風險評估有關研究資料，如火

災發生頻率、火災延燒面積...等概率資料、評估方法、案例研究等。

2. 分析比較法

蒐集彙整相關火災風險評估或火災危害分析法，如 Checklist、HAZOP、FMECA、FTA、ETA...等，就其優、缺點加以分析及比較。

3. 案例評析法

從文獻資料蒐集不同性能設計目的之建築物實例，比較應用火災風險分析法計算分析結果。性能設計目的可能是防火區劃面積突破規定上限、自動撒水設備保護減免、不同機械防排煙設計比較...等，就其與防火性能設計配合功能進行評估與分析。

4. 綜合歸納法

彙整火災風險評估有關國內外資料、國際規範，並據以完成「火災風險管理與評估指南（建議草案）」研議。

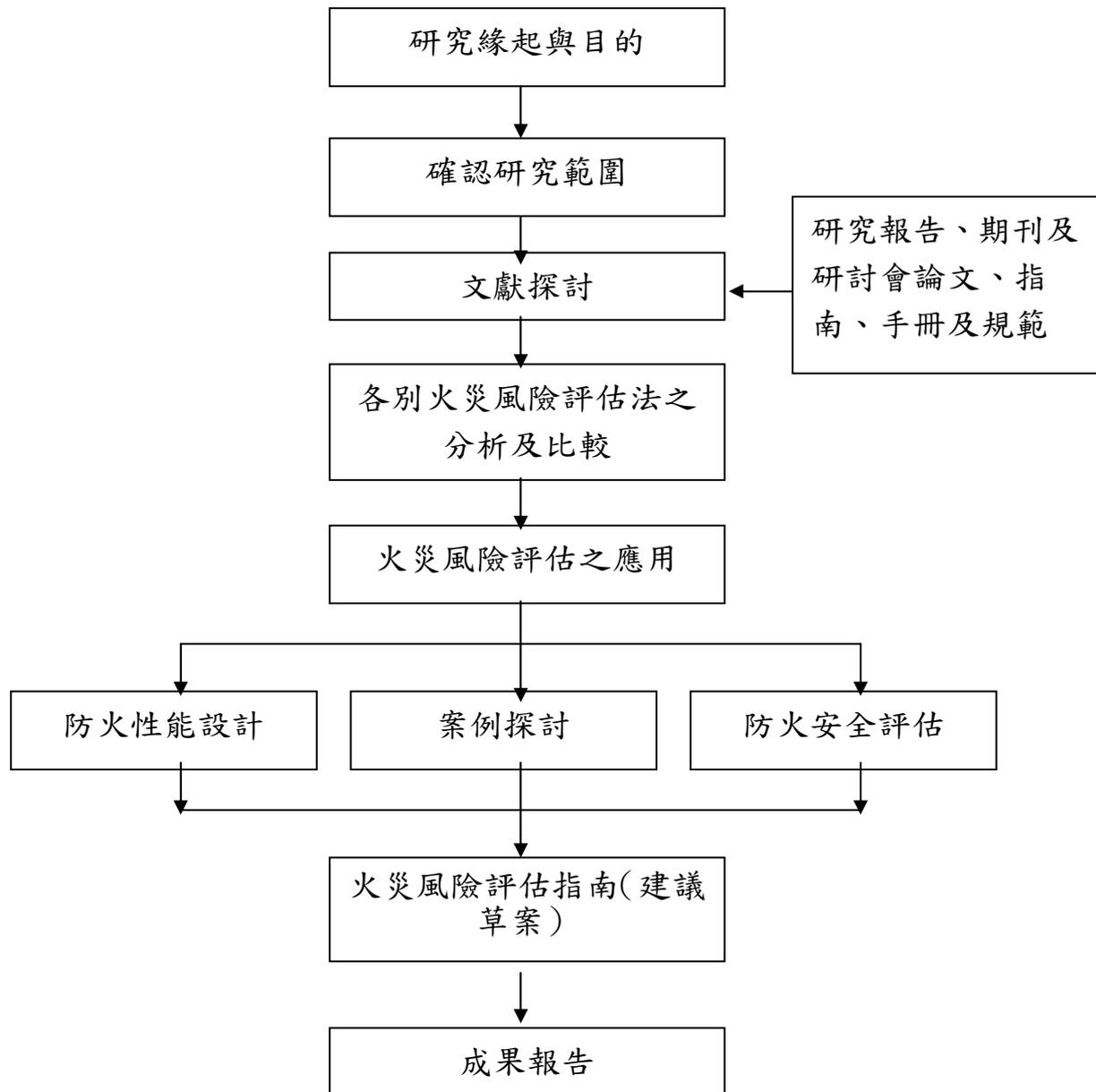


圖 1-1 研究進行步驟

第二章 火災風險管理與評估

第一節 風險管理概述

壹、風險管理架構

風險管理 (risk management) 是一個持續改善的反覆過程或循環過程，包括風險辨識 (risk identification)、風險分析 (risk analysis)、風險評量 (risk evaluation)、風險處理 (risk disposal) 等步驟，以下謹就風險管理的架構詳細說明如後，如圖 2-1 所示。

火災風險管理 (fire risk management) 乃是對於已確知危險、曝露在危險的人群數及可預見的不好結果等去決定什麼是應該做的過程。火災風險管理包括實現經過使用火災風險評估過的設計，以及管理進行中必要的計畫 (如訓練、維護) 以確保所採用設計持續提供計算之可接受風險。火災風險管理亦包括成本及可預見結果，連帶接受的決定之管理。有時，風險管理以另一面呈現，即風險溝通 (risk communication)，包括任何關於危害或風險的資訊交換。為了能夠有充足資訊在計畫有關團體之間 (如設計者、火災模擬分析者或權責審核主管機關) 交流，計畫定義須確保變項因子在不同分工之間的輸出輸入沒問題。計畫定義應同時在各關係利害人及不同分工之間建立一項火災風險溝通的議定工具。

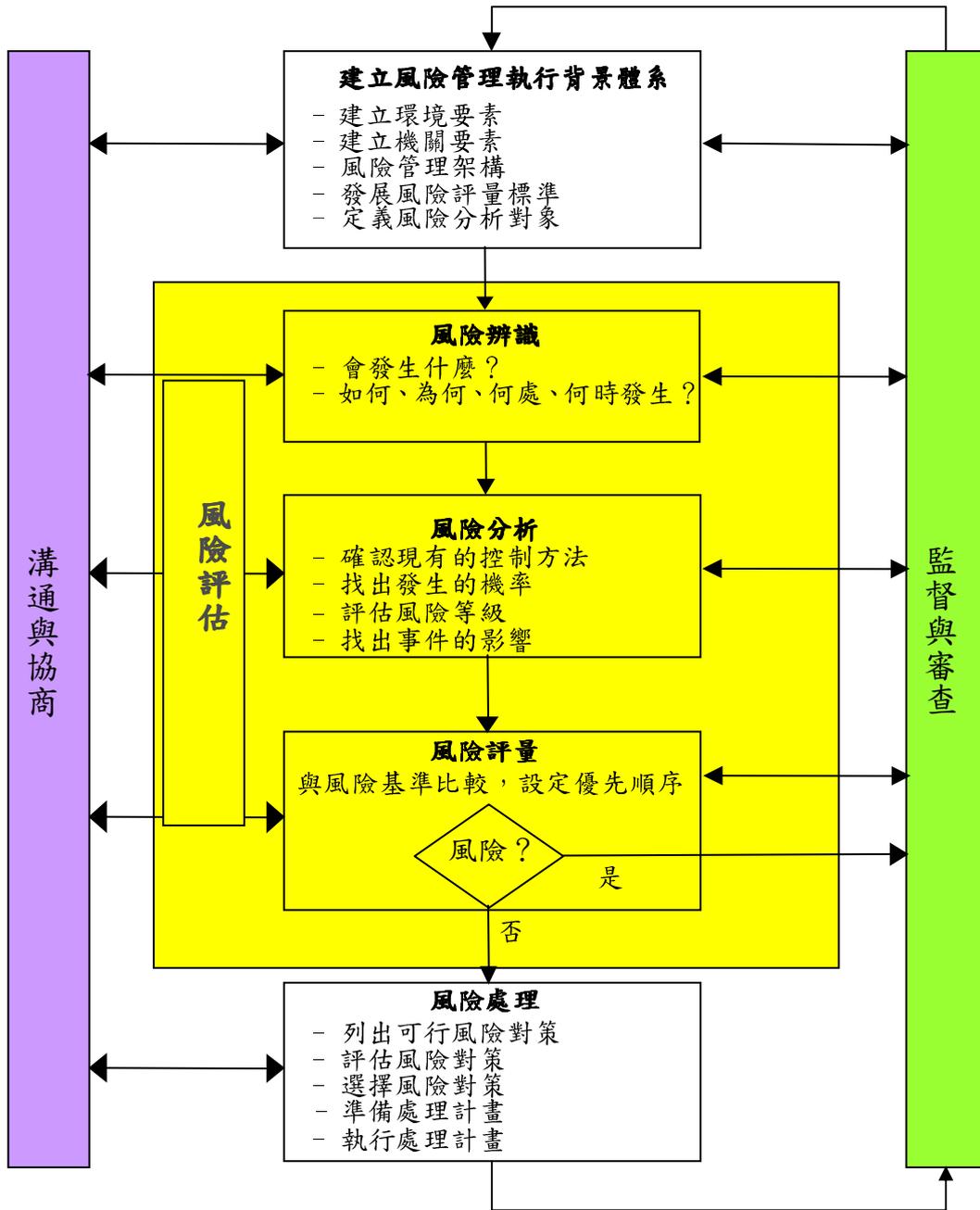


圖 2-1 風險管理架構

(資料來源：行政院研究發展考核委員會，2009)

貳、風險辨識

風險辨識的步驟是找出需要管理的風險。必須使用一個有系統的步驟來進行廣泛的搜尋，因為在這個階段沒有被發現的風險將被排除

在分析的步驟之外。搜尋應包括所有的風險，不論該風險是否已在機關的控制之下。擬定風險情境時，應採用系統化程序，並由事件背景說明開始，以求其完整性，使用結構化的方式進行辨識程序，以確保風險辨識採用的方法有效、可行，且亦有助於完成辨識程序，避免遺漏任何重大問題。

一、會發生什麼事

這個步驟的目的是列出所有會影響分析對象中所訂定的結構的事件，通常會詳細指出事件的內容。

二、如何、為何、何處與何時發生

列出可能的影響事件後，機關必須考慮其可能的發生原因和發生順序，即所謂的風險情境分析，情境分析是風險辨識與評估中最關鍵的一部分。

三、風險辨識程序

以下是在此程序中與每項要素有關的問題：

(一) 每項政策、施政計畫、業務方案及機關活動或服務的風險來源為何？

(二) 可能導致的情況：

1. 增加或降低達成目標的效率；
2. 以高或低效率達成目標（財務、人員、時間）；
3. 利害相關者是否會採取影響目標達成的作為？
4. 是否會產生附加效益？

(三) 可能對目標造成什麼影響？

(四) 可能會涉入或受到衝擊的利害相關者？

(五) 風險可能發生的時機、地點、原因及方式？

(六) 目前的風險控制方法為何？

(七) 分析現有控制方法無法發揮控制功能的原因並提出改善策略？

風險特性需要以完善的科學根據、以審慎地考量不確定性和未知性正確地使用分析技術、和讓每個人都能了解所有問題的詳細討論和研究，來清楚定義相關的問題。風險特性判斷程序可能需要隨著新資訊和資料的取得，反覆執行多次。風險特性判斷程序必須是一種互動的程序，且不是一種由單一群人主導研究和(或)分析，並強行導出解決方案的程序。

為幫助建築物火災風險特性的判定，必須要問幾個問題：

1. 哪些人或哪些事物暴露在建築物火災風險下？
2. 如果有人暴露在建築物火災風險，是哪些人？
3. 哪些事物造成建築物火災風險？
4. 傷害或損失的本質為何？
5. 危害的哪些特性可能會影響風險的判定？
6. 危害的感受在哪裡？
7. 危害在哪裡會如何地同時發生？
8. 風險資料庫的量是否足夠？
9. 就如何分析風險上，有多少科學方面的共識？
10. 風險計算方面，有多少科學方面的共識？受影響的人之間對於風險本質有多少共識？

11.對於決策甚為重要的分析，是否有忽略什麼面向？

四、風險辨識方法

發現風險的方法概包括核對風險清單、利用 SWOT 方法、運用經驗及紀錄來判斷、流程表、腦力激盪、系統分析、順序分析，以及系統工程技術。

風險辨識的方法不外乎是經驗導向式的小組研討、應用結構化的議題或模式來引導分析及結合兩者的特性。圖 2-2 的示意圖即為表示這兩個不同元素在不同方法中運用程度之強弱。經驗導向作法較常為領域專家所應用，適用於有顧問協助引導評估與分析的計畫。核對風險清單或使用查核表（checklist）逐項討論，雖然議題容易聚焦，分析過程簡單，不需太多經驗，但分析品質完全取決於所使用的查核表，且掛一漏萬是其先天上的問題，一般也僅作為參考工具。結合結構化與經驗的辨識模式理論上可避免查核表的掛一漏萬和分析上的侷限，也可避免單純的腦力激盪法的不易聚焦和缺乏效率，例如：

1. SWOT（強項、弱項、機會、威脅）分析，風險來自於內在的弱項與外在的威脅，及新機會可能帶來的新風險。
2. 流程表、作業分析、系統分析係針對工作程序中的每一步驟或系統中的每一單元的所有可能錯誤、異常或故障進行分析，較適用於業務執行單位使用；政務或政策執行單位不適用。
3. 營運研究是探討每個營運項目/步驟並描述可能影響這些項目或步驟的內部程序和外部因素。
4. PESTLE（政治、經濟、社會、科技、法律、道德）分析為外在大經驗導向



圖 2-2 風險辨識的方法

(資料來源：行政院研究發展考核委員會，2009)

環境之趨勢分析，SWOT 分析為本身實力與機會評估之自我分析，SWOT 中之機會 (opportunities) 與威脅 (threats) 一般是指外在環境分析，亦是互為表裡，一方之機會即是另一方的威脅，其基本組成即是 PEST 分析，其中 P 為政治 (political)、E 為經濟 (economic)、S 為社會 (social) 與 T 為技術 (technological)。一般 PEST 之基本擴展為擴張到 STEEP 與 PESTLE，其中 STEEP 為 STEP 加上環境 (environment)，PESTLE 為 STEP 加上 legal (法律) 與 ethical (道

德)。因此 O 與 T 可以擴充到 STEEPLE (social、technology、economic、environment、political、legal and ethical)，此外 STEEPLE 亦有達到尖端之意。

5. 系統工程技術包括：

- (1) 危害與可操作性分析 (hazard and operability study, HAZOP)：利用偏離引導字辨識系統中所有潛在危害的一種系統化方法。
- (2) 故障模式與影響分析 (failure mode and effect analysis, FMEA)：定義系統中典型元件的故障模式，再針對各元件檢視各種故障模式發生時的可能後果及影響。
- (3) 失誤樹分析 (fault tree analysis, FTA)：1960 年代由貝爾實驗室發展的可靠度分析方法，利用邏輯演繹法由事件的後果推論發生之所有可能的基本原因，並可藉由統計基本原因的失誤率資料推算事件發生的頻率。
- (4) 事件樹分析 (event tree analysis, ETA)：失誤樹分析的輔助工具，利用邏輯歸納法，事件樹分析法是一種時序邏輯的事故分析方法，它以一初始事件為起點，按照事故的發展順序，分成階段，一步一步地進行分析，每一事件可能的後續事件只能取完全對立的兩種狀態（成功或失敗，正常或故障，安全或危險等）之一的原則，逐步向結果方面發展，直到達到系統故障或事故為止。
- (5) 決策樹 (decision tree)：決策樹是一項建立分類模式 (classification models) 的方式之一，針對給定的資料利用歸納的方式產生樹狀結構的模式。為了要將輸入的資料分類，決策樹的每一個節點即為一個判斷式，針對一個變數去判斷輸入的資

料大於或等於或小於某個數值，每一個節點因而可以將輸入的資料分成若干類。

- (6) 統計推論：決策時常會面臨不確定性的狀況，機率便是對不確定性提供量測的指標，而表達機率的方法則以隨機變數最佳，由抽出的少數樣本的資訊對整個母體(或參數)做決策，這種方式在統計學領域上稱之為統計推論。
- (7) 蒙地卡羅分析(Monte Carol analysis)：蒙地卡羅模擬是由學者蒙地卡羅所提出，一開始主要運作於分析賭博遊戲。諸如輪盤、骰子、拉吧等。蒙地卡羅可以模擬這些賭博中的隨機行為。當你擲骰子時，你知道共有 1 至 6 的數字可能會出現，但是你不知道一個規則。就像企業主面對問題時，可能知道問題引發的結果與過程，卻無法瞭解每一個變數的嚴重程度(例如：利率、員工、股價、存貨及來電率)，模擬最常用的方法就是蒙地卡羅法，它可隨機產生變數在不同情況下的模型結果。

參、風險分析

風險分析的目的是將可接受風險與主要風險分開，並提供風險評量及風險對策所需的資料。風險分析包括風險的結果，以及這些結果發生的機率為何。因此，必須找出會影響這些結果及機率的事件。風險分析是在現有的控制方法下，估計風險的結果及其發生的機率。

在進行風險分析前，可以先進行初步的分析，將相似或影響力低的風險排除於進一步的分析外。在可能的情況下，也必須列出未被列入分析的風險，以顯示風險分析步驟的完整性。

一、列出現有的控制方法

列出現有控制風險的管理方法、技術系統和步驟，並了解這些方法的長處及短處。

二、影響及機率

當事人必須在現有的控制方法下，評估事件的影響程度，以及事件發生的機率。事件的影響及其發生的機率結合起來便是風險的等級。可以使用數據的分析及計算來決定事件的影響及機率。若沒有過去的資料可當參考時，則必須根據個人或機關所認定一個事件或結果發生的可能性，來進行主觀的估計。

為了避免主觀上的偏見，必須使用最有效的資訊及技術來分析風險的影響及機率。資訊的來源包括過去的紀錄、相關的經驗、國外的應用及經驗、相關的出版文獻、具公信力之調查與研究、實驗及原型、經濟上/工程上及其他的模型與專家的判斷等。

技術上則包括有系統地訪問相關領域的專家、雇用不同學術領域的專家、使用問卷來了解個人的認知、使用電腦或其他模型協助分析等。在可能的情況下，必須說明風險等級分析的可信度。

三、分析的種類

風險分析的深入程度會隨著所獲得的資訊與數據而有所不同。一般而言，風險分析包括定性分析、半定量分析、定量分析、或是綜合上述三種方法的分析。分析的複雜度及所需的費用由低至高分別是定性分析、半定量分析及定量分析。通常一開始會使用定性分析大致了解風險的等級，之後依需求決定是否使用更精確的定量分析。

（一）定性分析

定性分析是使用文字的形式或是敘述性的分類等級來描述可能影響的程度以及影響發生的機率。可以適當地調整分類等級來配合周圍的環境，不同的風險也可使用不同的敘述文字，如表 2-1 定性影響的敘述分類表，以非常嚴重、嚴重、輕微表示；表 2-2 定性機率的敘述分類表，以幾乎確定、可能、幾乎不可能表示。

表 2-1 定性影響的敘述分類表

衝擊或後果	形象	人員	民眾抗爭	目標達成
非常嚴重	國際新聞媒體報導負面新聞	有人員死亡	引發民眾大規模遊行抗爭	經費/時間大量增加
嚴重	台灣新聞媒體報導負面新聞	有人員重傷	引發民眾至中央機關抗爭	經費/時間中度增加
輕微	地方新聞媒體報導負面新聞	有人員輕傷	多位民眾電話或投書反映抱怨	經費/時間輕微增加

表 2-2 定性機率的敘述分類表

可能性分類	詳細的描述
幾乎確定	在大部分的情況下會發生
可能	有些情況下會發生
幾乎不可能	只會在特殊的情況下發生

定性分析所適用的範圍：

- (1) 作為一開始的篩選，找出需要進一步分析的風險。
- (2) 當數據資料不夠充分，無法進行定量分析時。

(二) 半定量分析

在半定量分析中，會以實際數值表示上述的定性分析等級(如表 2-3 及表 2-4)，但是每一個敘述的數值並不直接等於實際的影響程度及機率。半定量分析的目的是決定一個比定性分析更精確的優先順序(如圖 2-3)，但並不會決定風險的實際價值，這是定量分析的工作。

但使用半定量分析時必須注意的是所使用的數據有時候無法適當地表示與風險之間的關聯性，因此會導致不一致的結果。半定量分析也無法適當地區別風險，尤其是當影響及機率過高或過低時。

有時候可以適時地將機率分成兩個要素，一個是暴露的頻率，另一個是或然率。暴露的頻率指的是風險來源存在的程度，而或然率指的是風險來源存在時，產生影響的機率。

表 2-3 半定量影響的敘述分類表

等級	衝擊或後果	形象	人員	民眾抗爭	財物損失	目標達成
3	非常嚴重	國際新聞 媒體報導 負面新聞	有人員死亡	引發民眾 大規模遊行 抗爭	大於 1 億 元(含)	經費/時間 大量增加
2	嚴重	台灣新聞 媒體報導 負面新聞	有人員重傷	引發民眾 至中央機關 抗爭	1 千萬(含) 以上 一億元以下	經費/時間 中度增加
1	輕微	地方新聞 媒體報導 負面新聞	有人員輕傷	多位民眾 電話或投書 反映抱怨	1 千萬以下	經費/時間 輕微增加

表 2-4 半定量機率的敘述分類表

等級	可能性分類	發生機率百分比	詳細的描述
3	幾乎確定	61-100%	在大部分的情況下會發生
2	可能	41-60%	有些情況下會發生
1	幾乎不可能	0-40%	只會在特殊的情況下發生

影響 (衝擊或後果)	風險分布		
	非常嚴重(3)	3 (high risk) 高度危險的風險，管理階層需督導所屬研擬計畫並提供資源	6 (high risk) 高度危險的風險，管理階層需督導所屬研擬計畫並提供資源
嚴重(2)	2 (moderate risk) 中度危險的風險，必須明定管理階層的責任範圍	4 (high risk) 高度危險的風險，管理階層需督導所屬研擬計畫並提供資源	6 (high risk) 高度危險的風險，管理階層需督導所屬研擬計畫並提供資源
輕微(1)	1 (low risk) 低度危險的風險，以一般步驟處理	2 (moderate risk) 中度危險的風險，必須明定管理階層的責任範圍	3 (high risk) 高度危險的風險，管理階層需督導所屬研擬計畫並提供資源
	幾乎不可能(1)	可能(2)	幾乎確定(3)
	機率		

圖 2-3 半定量風險分析圖(風險等級)

(資料來源：行政院研究發展考核委員會，2009)

(三) 定量分析

定量分析使用實際的數據(而非定性分析及半定量分析所使用的敘述性分類)來描述影響及機率，所使用的數據來自不同的來源(如過去的紀錄、國外相關的經驗、產業的應用及經驗、相關的出版文獻、行銷測試及市場研究、實驗及原型、經濟上/工程上及其他的模型與專家的判斷等)，分析的品質有賴所使用的數據的精確度。

可以藉由列出一個或一串事件的結果來估計事件的影響，也可從實驗性的研究或過去的數據來推斷。可以用金錢、技術、民眾反應或其他標準來表示事件的影響。在某些案例中，可能需要一個以上的數據來表示不同時間、地點、團體或情境的影響程度。

通常是以或然率、暴露的頻率、或者綜合或然率及頻率來表示機率。機率及影響的呈現方式以及結合兩者來表示風險等級的方式會隨著風險的種類以及評估風險等級的架構而有所不同。

肆、 風險評量

風險評量是將風險分析中所決定的風險等級與先前訂定的風險標準相比較。風險評量中所使用的比較標準應該與風險分析具有相同的基礎。因此，定性評量指的是比較風險的定性等級與定性標準，而定量評量指的是比較風險的實際數據等級與以特定數據所表示的標準，如死亡人數、頻率或貨幣價值。

風險評量的結果是挑出一些需要進一步優先處理的風險。建築物業主應該考慮建築物使用的目標以及冒險可能會帶來的機會。決策時應該儘量考慮較大範圍的風險。如果評量的結果顯示風險的危險性低

或為可接受的程度，則這些風險將接受程度最小的風險予以處理。建築物業主應監督並定期檢討這些低危險或可接受的風險，以確定這些風險仍維持可接受的程度。如果風險沒有被列為低危險或可接受的風險，則業主應使用風險對策來處理。

伍、風險處理

處理風險指的是找出處理風險的可能方法，評估這些方法，準備風險對策計畫，以及執行這些風險對策。

一、列出可行的風險對策

圖 2-4 顯示了風險對策的步驟。每一個步驟之間並不一定互相排斥，也不一定適用於所有的情況。一般而言，常用的對策如下：

(一) 避免風險

採取不涉入可能產生風險的活動(在可行的情況下)，因為多數人都會有躲避風險的傾向(通常是受社會習俗、文化的影響)，所以有時候風險規避的採用不一定是適當的。

風險規避會造成不願面對風險或淡化處理風險所需要的成本，無法成功地處理風險，或依賴外人或其他團體來做重要的決定，而延後自己本身必須要做的決定。通常可以在不考慮利益的情況下，選擇這種處理方法。

(二) 減低發生的機率

其方式包括稽查及遵守計畫；正式檢討必要條件、明細事項、設計、工程和操作；檢查、驗證和過程控制；投資和有價證券的管理；計畫管理；預防管理；品質保證、管理和標準化；研究和開發、技術

開發；規劃良好的訓練及其他計畫；監督；測試；機關的配置；技術控制等。

（三）減低影響與衝擊

其方式包括處理偶發事故的計畫；合約的要求；業務持續計畫；工程和結構的強化；控制貪污計畫；減少暴露於風險來源；有價證券的計畫；價格政策及控制；活動和資源的分離或重置；公眾關係；基於道義責任所付的款項等。

（四）風險轉移（嫁）

風險轉移（risk transfer）指的是由其他的團體來承擔或分擔部份的風險，其方法包括契約的簽訂、投保保險及合作的結構，如合夥經營和共同投資。

將風險轉移給其他團體，或將風險轉移至其他地方，可以降低風險對機關的影響，但無法減低風險對整個社會所產生的所有影響。

當風險全部或部分被轉移時，將風險轉嫁給其他團體的機關會遭遇新的風險，因為接受風險的團體可能無法有效地處理該風險。

（五）保有風險

在無法適時地發現、降低及轉移部分風險後，或應用其他的風險對策時，自然會有剩餘的風險保留下來。機關應該訂定計畫來管理這些風險發生時的影響，包括處理風險時所需的經費來源與之支應方式。

降低風險的影響及發生機率被稱為風險控制。風險控制包括找出相較於現有的控制方法，新的控制方法所可能帶來的相對利益。控制包括了有效的政策、程序或實際的改變。

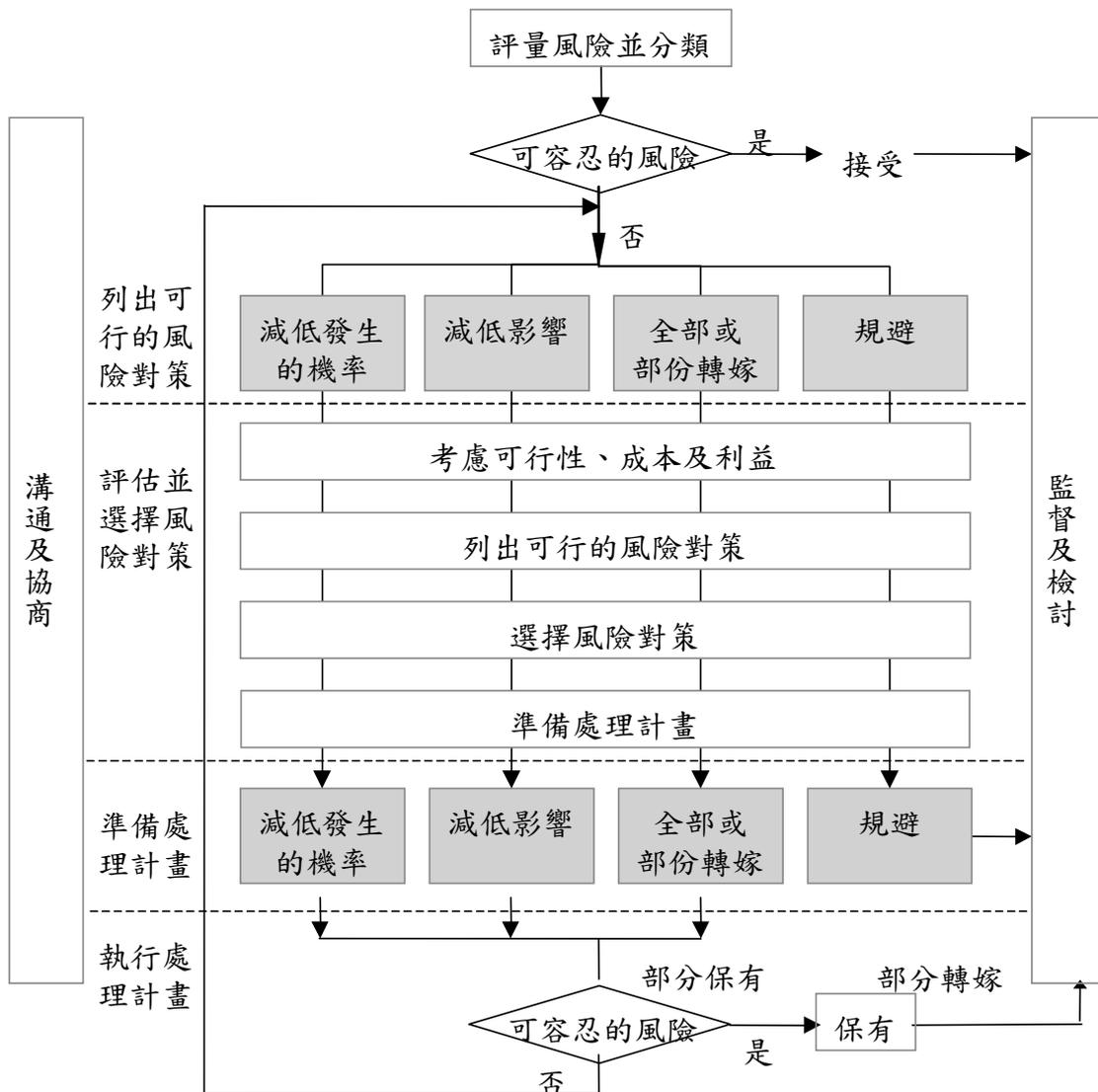


圖 2-4 風險處理對策的步驟

(資料來源：行政院研究發展考核委員會，2009)

二、評估風險對策

機關必須根據風險的降低程度以及所創造的額外利益及機會來評估風險對策。可以同時考慮數個風險對策，可個別應用之或將它們組合起來。

在選擇最適當的對策時，應考慮執行對策所需的成本以及從中可

獲得的利益兩者之間的平衡。一般來說，管理風險所需的成本要相等於從中可獲得的利益。

當一個對策只需花較少的費用但可以大大降低風險時，機關應該執行該對策。其他的改善對策可能不夠經濟，因此必須審慎判斷其必要性。

決策時應該仔細考慮發生機率低但影響嚴重的風險，這些風險的處理方法花費較高，通常無法通過嚴格的經濟評估。一般來說，風險的負面影響應該儘可能地降到最低。

如果風險的等級很高，但冒險可能會帶來相當大的機會(如應用新的科技)，則是否接納風險就須透過成本評估，比較改善風險影響所需的成本與冒險所帶來的機會。

在許多情況下，一個風險對策不一定可以完全解決一個特定問題。通常機關為了獲得實質上的利益必須結合數個對策，如降低風險的機率、降低風險的影響，以及轉嫁或保有剩餘的風險。有效地利用合約以及風險減低計劃的風險資金便是一例。

當執行風險對策的總成本超過現有的預算時，則必須排列執行風險對策的優先順序，可以使用許多方法來決定對策的優先順序，如風險排名以及成本-利益分析。無法在現有的成本下執行的風險對策必須等待進一步的資金來源，或者當所有剩下的對策都很重要時，則必須想辦法籌措剩餘的經費。

選擇風險對策時應該考慮被影響的團體如何看待風險，以及如何適當地與這些被影響的團體溝通。

三、準備處理計畫

應該明定計畫來執行所選擇的對策。處理計畫應包括明定責任、

工作表、資源分配、預期的結果、預算分配、績效測量以及檢討步驟。

計畫也應包括根據績效標準、個人責任及其他目標來評估對策的執行情況，並且監督重要的執行階段目標。

四、執行處理計畫

一般而言，應該由最能掌控風險的人來負責風險對策的執行，且應盡早決定責任的分配。為了成功地執行風險對策，必須要具備一個有效率的管理系統，來明定所選擇的對策、分派個人所負責的工作，以及根據詳細的標準來監督執行工作的進行。如果在執行對策後仍有風險殘留，則必須決定應該保有該風險或重複風險對策的步驟，再次評估。

第二節 火災風險評估基本知識

壹、火災風險之概念

在傳統的觀念裡，風險是指任何物件均可能發生潛在不好的結果，這個結果可能是人員傷亡疾病、財物經濟損失、生產線中斷、環境受到污染、社會騷動不安等，因此我們必須去評估風險發生的可能性。風險可以用任何形式來表示它，譬如做投入產出分析時，風險可以轉換成多少金錢的損失或獲得，其他如死亡、傷害都可以依此類推，只不過有些事物的風險式難以量化的。風險可視為特定情況下有害結果的可能性，而有害結果的可能性是3種係數綜合的函數，包括：(1) 有價物品的損失或傷害、(2) 可能導致損失或傷害的情事或危險、(3) 損失或傷害發生可能性。

火災風險(fire risk)則是火災在不特定情況下有害結果的可能性，且火災是會導致有價物(例如生命、財產、產業營運持續、史蹟、環境，或這些事物的綜合體)損失或傷害的危害。建築物火災風險分析，就是了解建築物火災危害、火災可能引起之危害結果(相關損失或傷害)、火災的可能性和伴隨的有害結果，並找出其特徵的程序。

火災風險是一種衡量火災危害程度的尺度，若用數學模式來表示，火災風險是指火災發生可能性(概率)與火災後果嚴重程度的組合。一般來說，火災發生概率很小的話，即使後果十分嚴重，火災風險也不會很大；反之，火災發生概率很大，即使後果不太嚴重，其火災風險依然很大。火災風險的大小一般可以用火災風險率加以表示，

如下式：

$$R(\text{火災風險})=P(\text{火災發生或然率}) \times C(\text{火災發生後果嚴重度})$$

有時會轉換成災害損失金額，俾於了解火災引起之經濟損失，此通常是火災保險公司慣於使用來評估風險的方式。例如下式：

$$\text{損失金額/單位時間}=(\text{損失金額/事故次數}) \times (\text{事故次數/單位時間})$$

貳、火災風險評估的適用性

火災風險評估 (fire risk assessment) 乃是使用一個或多個可接受性界限 (門檻值) 估算及評量火災風險的過程，用於處理某個火災情境及其機率與影響。有時在不同文獻、書籍、標準中，亦常見到使用火災風險分析 (fire risk analysis) 一詞。火災風險評估為火災風險管理決定發展出技術性基礎；風險分析產生的其中一項有用結果便是使得預防或者防護已知危險的手法明確化。該手法以減低事件發生的機率為目標，並鑑別出對策以成功地在事件發展時就加以處理。應用於火災危險的風險分析，乃是用來估算預期火災損失的過程，該損失結合在不同火災情境中傷害及損壞的潛勢。有關火災風險評估適用的場合，謹說明如下：

一、可使用火災風險評估的場合

對於需要適當地評估低可能性但是有重大影響情境時，就可使用火災風險分析，例如：(1)大數量的高危險群群眾，高危險的原因為睡眠、身障、年齡、傷患或不熟悉環境；(2)發生火勢成長速率頗高的火

災；(3)暫時性高火載量，特別在諸如逃生通道等高危險區域。

對於火災規模大小之空間性測量（通常使用於決定性火災危險性評估）及事件嚴重性的測量不足夠時，也可以使用火災風險評估，例如：(1)具有高價值特性的小空間；(2)高危險資產，例如無塵室內的作品；(3)室內物品的重要性並非從其實體尺寸或直接價值展現，力如核能發電廠安全設備的控制線路；(4)資產危害的主要型式並非是直接損害，例如發生大火災時對環境有高度損害、高營業中斷損失或對形象和商譽有重大損失的資產；(5)使用經變更、經過修改或整修過的資產。

二、火災風險評估必要的場合

- (一)當決定性火災安全工程不足以導出應考量的火災情境時，就必須要有火災風險評估。通常是當少量火災情境的決定性處理不足以掌握資產的所有火災風險時，就應該實施火災風險評估。
- (二)當可靠度成為關鍵因素時，火災風險評估就變為必要的。因為可靠度在本質上就是有概率性的。例如，必須要評估某一重度倚賴單一火災安全系統設計的保護功能時，就必須要實施火災風險評估。
- (三)輸入參數的變數對結果有顯著影響時，必須要實施火災風險評估。諸如人數、特性或是火勢蔓延率等變數有顯著變化、以及決定性分析顯示各變數的可信度組合的安全性不合格時，就需要火災風險評估。
- (四)當認定必須有多種火災情境時，必須要實施火災風險分析。多

種特殊的火災情境對資產有不同的威脅和無法以單一火災情境推導出其他火災情境的資產火災安全目標，就需要實施火災风险分析。

第三節 火災風險評估方法概述

壹、火災風險評估法類型

依據 NFPA 550，火災風險評估方法概可分成 5 種類型。依照複雜程度的增加來排列，如下所示（另參見表 2-5）：

- (1) 定性方法
- (2) 半定量可能性方法
- (3) 半定量後果方法
- (4) 定量方法
- (5) 成本-效益風險方法

表 2-5 火災風險評估方法之類型

類型	定義	產出值的類型	範例
定性方法	可能性和後果都以定性方式處理	各種火災場景的結果與相對可能性，及其如何受到各種防火系統護選項的影響，以條狀圖顯示。	<ul style="list-style-type: none"> • “如果會怎麼樣”分析 • 風險矩陣 • 風險指標 • 消防安全概念樹 • 初步危險分析法
半定量可能性方法	可能性以定量方式處理及後果以定性方式處理	決定各種火災類型的發生率與頻率及(或)在各種防火系統類型下的火勢。	<ul style="list-style-type: none"> • 精算 / 損失的統計分析 • 獨立事件樹分析
半定量後果方法	後果以定量方式處理及可能性以定性方式處理	火災模式的決定性產出值，及可能性以定性方式展現。模式	揭露可信度最差的火災場景的火災模式。
定量方法	定量估算可能性和後果	<ol style="list-style-type: none"> (1) 判斷損失的預期值，或 (2) 判斷閃燃機率，或 	<ul style="list-style-type: none"> • 以火災風險評估來判定核電廠因火災

		<p>(3) 判斷建築物其他房間或樓層居民的死亡機率，或</p> <p>(4) 對死亡頻率與死亡人數繪圖，或</p> <p>(5) 對損失的頻率與損失的多寡繪圖，或</p> <p>(6) 判斷傷害、死亡、財產損失以及企業中斷的機率可能性，或</p> <p>(7) 判斷(對建築物內居民的)個人風險以及(對整體群眾的)社會風險</p>	<p>發生反應器爐心熔化的機率。</p> <ul style="list-style-type: none"> 事件樹分析與火災模式結合。
<p>成本-效益風險方法(風險-成本評估方法)</p>	<p>納入各種替代方法的成本來限制後果及(或)可能性</p>	<p>(1)判定達成降低不同層級的風險所需的成本，或</p> <p>(2)依據可降低的整體風險，或一些其他風險準則來判定最佳防火程度。</p>	<p>整合機率、後果以及成本數據的計算模式。</p>

(資料來源：NFPA 551)

茲針對常用之風險評估(危害分析)方法，進一步說明如下：

一、檢核表(checklist)：

檢核表用在工業檢查作業場所之危害評估已行之有年，其以結構化之檢查項目或問卷方式填寫事前列出危害分析查核項目以供檢查人員現場逐漸檢查記錄是既簡便又實用的分析方法，屬於定性評估法。

檢核表為一種特別項目的點查(enumeration)，用以確認已知類型的危害、設計缺失及火災的可能性以及後果。指出的項目應與適宜的標準進行比較。火災安全檢核表的核心為檢核表的設計和實施，該表必須包括系統或子系統的全部主要檢查點，尤其不能忽視那些主要的潛在危險因素。

二、“如果會怎麼樣？”分析(“W-I”A)：

“W-I”A 是一種以經驗為導向的危害分析方法，利用小組成員腦力激盪來檢討製程或操作上之安全性的方法，由評估小組成員以各自的專長提出許多「如果...會怎麼樣(後果)?」的問題來研討出可能發生的事故、事故的結果、現有的安全措施、建議改善措施，屬於定性評估法。

“W-I”A 是種非結構性的腦力激盪法，用以找出可能產生不利後果的事件。此方法包括檢查可能來自設計、建構、改建或操作標準的偏差。假設問題是依據對何者預期將發生，及那裡會出錯的基本了解而擬訂，舉例來說，當火災發生時，幫浦失效會發生什麼事？此分析的旨在於找出可能意外事件的順序，從而指出危害、後果及可行的降低風險的方法。此分析法與其他鑑定危害技術的區別是其本質上非結構性的形式，以及問句的使用方式。此分析法的產出值通常是表列出可能意外事故的清單，但未加以排序或顯示量化的影響。

三、NFPA 消防安全概念樹

NFPA 550「火災安全概念樹的指引」，係使用分枝圖來顯示防火系統與火災損害控制策略間的關係。它提供整體的架構，來分析建築、內容物的可燃性、防護設備以及居民程序等火災安全性策略的可能影響。此方法可指出火災防護的缺縫與贅餘的區域，以輔助作出火災安全設計的決策。概念樹檢查所有方面的消防安全，演示了如何可能會影響到每一個實現火災安全目標。概念樹區分可能性（『預防火災引

火?』的分支)及影響結果(『管理火災影響?』分支)。此方法的產出值是一套或多套直覺上符合目標的火災安全性策略。

四、風險指標

火災風險指標系統為火災安全的啟發式模式。它們包含各種分析與計量危害，及系統的其他屬性，以迅速及簡單估算相對火災風險的流程。火災風險指標系統也稱為評級表、計分方案、排名、數值分級以及計分。利用專業判斷及過去的經驗，火災風險指標示會指定數值至代表火災安全正向與負向特徵的選定變數上。這些被選定的變數及指定的量值，接著以一些算數函數運算而得到單一量值，然後將此量值與其他類似的評估或標準進行比較。或許最常用的火災風險指標法是 NFPA 101A 規範「生命安全替代法之指引」中所述的火災安全評量系統 (FSES)。

五、風險矩陣

風險矩陣利用機率等級以及嚴重性的類型來分別代表二維的風險矩陣的兩個軸。此矩陣將不可能發生及後果可忽略的危害顯示為低風險，而將經常發生且後果較嚴重的危害顯示為高風險。

六、初步危險分析法 (PHA)

初步或預先危險分析法 (preliminary hazard analysis) 是指對具體火災區域存在的危險進行確認，及對火災出現條件和可能造成的後果進行宏觀概略分析的一種方法。PHA 的重點應放在具體區域的主要危險源上，並提出控制這些危險源的措施。其分析的結果，可作為對新

系統綜合評價的依據，還可作為系統安全要求、操作規程和設計說明的內容，同時還可以成為日後要進行的其他危險分析打下基礎。有關步驟有，(1) 調查：了解及蒐集過去經驗和相似區域火災事故發生情況；(2) 辨識、確定危險源（火災情境），並分類製成表格；(3) 選擇危險源，並將之轉化為火災事故的引發條件；(4) 進行危險分級，以確定危險程度，指出應該重點控制的危險源。一般危險等即可分為若干級別，如安全的（無關緊要的或可忽視的）、臨界的（中度或低度危險）、危險的（高度危險）、破壞性的（災難性的）。

六、道氏火災爆炸指數（Dow F&EI）

道氏化學公司於 1964 年推出道氏火災爆炸指數（Dow Fire and Explosion Index）以評估化工廠之火災爆炸危害，是一種相對等級的風險分析技術，是使用量化分析方法，計算廠內各種不同設備或操作的危害風險程度，而依估計所得風險的大小，依序逐一排比所得的風險等級。Dow Index 自 1964 被 Dow Chemical Company 發展以來，至今應用在火災爆炸的風險評估已超過 30 年歷史，是廣為採用的評估工具之一，並獲荷蘭政府規定為火災爆炸的評估方法。Dow F&EI（火災爆炸指數）是累積道氏化學公司多年的操作與管理經驗，歷經多次的發展已可用於決定發生於製程工廠或相關設施的實際最大損失，即實際經驗裡最惡劣操作情況下所發生的損失，其計算是建立於可量化的基礎上，洩漏速率、閃火點、沸點、製程溫度、壓力、釋壓系統、通道、排水、防火條件都是考量的因素，Dow F&EI 可針對不同製程

區中的設備評估出相對的風險指標，也可得到火災爆炸的財物危害損失，適用於大型製程設備、塔槽（5000LB 以上）。

七、危害及可操作性研究(HAZOP)

由幾個不同背景且受過專業訓練的成員（HAZOP 小組），會議上大家互相交換意見使用腦力激盪，藉著引導詞(guide word)與製程參數的組合有系統地針對製程設計或操作程序上的特定點(又稱節點)、製程區段、或操作步驟，以反覆方式逐一檢驗每個製程區段或操作步驟，找出具有潛在危害的偏差或偏離(deviation)的原因，以及其可能造成的後果，並提出具體改善對策，屬於定性評估法。

八、失效模式與影響分析(FMEA)：

FMEA 是一種結構化預防性的可靠度分析技術，其分析的結果較具系統性與科學性，通常由各具不同專業領域的人組成分析小組共同實施，分析內容包含了失效模式、失效原因、失效效應、維護度及後勤規劃等分析。FMEA 除可單純的定性分析系統組成元件失效模式及影響效應外，還可以與關鍵性分析(criticality Analysis)合併使用，稱為失效模式、影響與關鍵分析(failure modes, effects and criticality analysis, FMECA)，以達到部份量化的目的，屬於定性評估法。

九、失誤樹分析(FTA)：

FTA 為一種頻率分析及失誤邏輯圖結合的分析方法，是從已辨識出之不欲發生的單一事件為中心，稱為頂上事件（top event），然後由上而下回溯發展模式，將系統劃分愈來愈細，以演繹、推理、圖解等

邏輯方式逐次分析的方法，推論其影響後果至基元事件(basic event)，以決定其最小切集合(minimum cut set)(根本原因)或共因故障(common cause failure)的最小切集合(頂上事件交織的原因)，屬於定量評估法。

十、事件樹分析(ETA)：

失誤樹分析的輔助工具，利用邏輯歸納法，事件樹分析法是一種時序邏輯的事故分析方法，它以一初始事件為起點，按照事故的發展順序，分成階段，一步一步地進行分析，每一事件可能的後續事件只能取完全對立的兩種狀態(成功或失敗，正常或故障，安全或危險等)之一的原則，逐步向結果方面發展，直到達到系統故障或事故為止。作為建構火災場警的風險評估技術，ETA將事件可能性、消防系統成功概率及火災後果結合起來，量化不同火災情境的相對風險值。

茲將各種常用風險評估方法比較其優、缺點，彙整如表 2-6 所示。

表 2-6 風險評估方法優缺點比較

分析方法	優點	缺點
Check list	<ol style="list-style-type: none"> 1. 簡明易懂，直接了當。 2. 對法規標準之符合與否甚易遂行。 3. 初布查核。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 效用依檢查項目的完備程度而定。 2. 例行性的檢查限制深度的思考分析。 3. 未能量化或分級危害。
What-if	<ol style="list-style-type: none"> 1. 綜合不同經驗，開創集體智慧。 2. 高效益、費用少。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 未能量化或分級危害。
PHA	<ol style="list-style-type: none"> 1. 簡單易行。 2. 系統式的觀察。 3. 可作為 FMEA 的基礎。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 未能量化或分級危害。
HAZOP	<ol style="list-style-type: none"> 1. 系統化、全面化。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 未能量化或分級危害。

	<ol style="list-style-type: none"> 2. 集體智慧。 3. 強而有力的定性方法。 4. 和 FTA 並用時在認知危害、量化和控制風險更為有力。 	<ol style="list-style-type: none"> 2. 成效取決於組員的經驗和判斷。 3. 未考慮危害性高而發生機率高的事件。
Dow Index Mond Index	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提供安全設計的基準。 2. 半量化分析工具。 3. 可作為 FMEA 的基礎。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 毒性危害評估仍要加強。
FMECA	<ol style="list-style-type: none"> 1. 強而有力的硬體設備之危害分析簡單明瞭 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分析僅限於硬體設備。
FTA	<ol style="list-style-type: none"> 1. 易知事件順序之間的邏輯關係。 2. 定性又定量。 3. 事件或切集合的重要性分級。 4. 尚可尋找人的失誤。 5. 系統性觀察。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分析者須具備分析技術。 2. 故障率或人為失誤率不易取得。 3. 可能忽略一些事件(如共因故障、不獨立事件和依時事件)。
ETA	<ol style="list-style-type: none"> 1. 事件順序排列。 2. 定性又定量。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可能忽略一些事件。 2. 不易處理延時事件。 3. 不是深度且詳細的分析。
因果分析	<ol style="list-style-type: none"> 1. 綜合 FTA 與 ETA。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 圖型龐大。 2. 兼具 FTA 與 ETA 的缺點
HRA	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探究人為失誤並及於人因工程 2. 作為 FTA 人為失誤的輸入資料 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人為失誤率，可信度仍待建立。

(資料來源：雷明遠，2009)

貳、風險評估法的考量與選用

以科技廠房進行火災或爆炸風險評估時之考量為例，說明如下：

- 一、整體火災風險量化的結果就是希望給建築物所有權人利用該量化資料，進行風險改善的參考，使人們不因被動守法才來改善防安全，而是誘之以利，主動對火災風險進行風險理財，使建築防火

安全更能實際有效施行。

- 二、系統安全計畫或風險分析的目的，在於確保達到可接受風險的同時能完成任務的需求，將安全設計到各系統、子系統、設備與設施（位置、構造）之內，為減少壽命週期的成本，強調在系統的製造操作階段之前對危害能予有效的認知、評估控制或消除。
- 三、分析方法應包含定性與量化，但分析格式不限，大多數使用風險矩陣格式，亦有使用邏輯模型如失誤樹或事件樹，或其它敘述文字。風險矩陣式的評估模式：以火災風險為例，依製程特性、危險物品種類、數量、危險物品作業方式的差異性等本質因素做矩陣縱座標，另根據標的物安全防護能力與信賴度做矩陣橫座標，型成風險矩陣式的評估結果。
- 四、一般法規僅設立基本管理規範，鮮少對各種情況作個別規範或要求，因此事業單位對於個別情況常需自己發現問題尋找對策選擇解決方案，實施風險評估依序分五大階段進行。
 - 1.收集危險物質與作業情況資料。
 - 2.估計風險的大小並予以評量。
 - 3.控制並降低風險（含偵檢控制機制績效和訓練教導）。
 - 4.記錄風險評估相關資料。
 - 5.若有需要重新審閱以前風險評估的結論。
- 五、風險評估模式中，工作場所如有連續性製程或管線系統，例如煉油廠、發電廠、石化業、化工廠、半導體廠等，適用於採取工作場所導向式評估模式為佳。該模式風險評估，分成四個階段進

行，以決定風險程度，判斷是否要進入後續階段的風險評估：

1.判斷是否為法定場所，若是則依法規條文檢討；至於非法令規範高危害場所，可參考杜邦公司的危害等級分類；以高科技廠之光電半導體製程可參考 SEMI S2-0200 設備安全標準不符合其標準者需進一步評估。

2.初步危害分析，將針對危害性物質的易燃性、易爆性、反應性、毒性等本質危害進行辨識；並針對製程操作條件異常或失控時之系統作用危害進行評估。針對新設工廠之系統或製程生命週期而言，於早期規劃設計階段為之，以及早發現潛在問題加以改善，避免建造或運轉後再行修改的困難；另對於既設工廠，針對大系統或複雜的製程先進行初步危害篩選，以找出潛在較高的次系統或製程區。

3.針對重大潛在危害之區域或次系統，進行下列任一方法之評估：

(1)檢核表(Checklist)

(2)如果...會怎麼樣?(What-if?)

(3)危害及可操作性分析 (HAZOP)

(4)失效模式與影響分析 (FMEA)

4.針對關鍵性的事件或有特殊考量須量化風險的事件執行更專業的失誤樹分析 (FTA)。

六、針對標的物，審視其本質安全設計及降低危害情況進行初步危害分析，鑑認出個單元相對危害等級，發現具有較高危害風險之部份，針對此高潛在的危害設施，以 HAZOP 分析法評估及改善對

策的議題加以探討，並提出工程控制的改善方案。在各類評估工具中，半導體製程以 HAZOP 評估較為適切，先將物質危害指數篩選是否為高潛在的危害等級再針對高風險部份使用細部 HAZOP 分析方法，對該製程進行風險評估與危害分析。至於 HAZOP 分析方法常用執行表格與事件「發生機率」及「嚴重程度」做風險矩陣分析為判定基準，藉以量化風險作為後續改善措施訂定與推動的考量依據，風險矩陣的設計無一定的標準，端視各廠需求決定風險等級，其中美國半導體協會風險評估規範 (SEMI S-10:96) 之嚴重性等級區分、可能性等級區分、風險等級表、改善建議執行原則為國際普遍使用客觀標準。

七、初步危害分析運用之方法以 DOW 火災爆炸指數危害分級 (F&EI)，適用於塔槽、儲槽設備，針對儲油槽供應危害多半屬於火災爆炸之危害，以 DOW 火災爆炸指數方法進行分析各單元，以求得火災爆炸造成損失之風險相對值，以此評估方式考慮其中存放物質之潛在能量、操作過程所具有危害及防護措施等因子來進行評估，再依據評估的結果排定潛在之危害程度大小，即可優先針對危害較大的單元提出適當的改善建議作更進一步的分析。

第三章 火災風險評估之應用

第一節 防火性能設計與火災風險評估

壹、性能法規與性能設計

在探討到性能法規前，應先了解性能標準或性能設計的架構。以下該架構以北歐模式(Nordic model)的5階段層級圖加以說明，如圖 3-1 所示。第 1 層是以概念表示目的，第 2 層是表示針對其目的，建築物所應具備的功能性要件，第 3 層是表示針對其功能性要件所須性能要求(定量化、定性化)。因應以上性能要求則在第 4 層以下；第 4 個層是以指標或標準表示性能設計的方法，第 5 層則是表示評估該性能設計的驗證方法。在防火性能法規之標準化方面，建議應該遵循所提及的架構或等級，並且加以具體化。

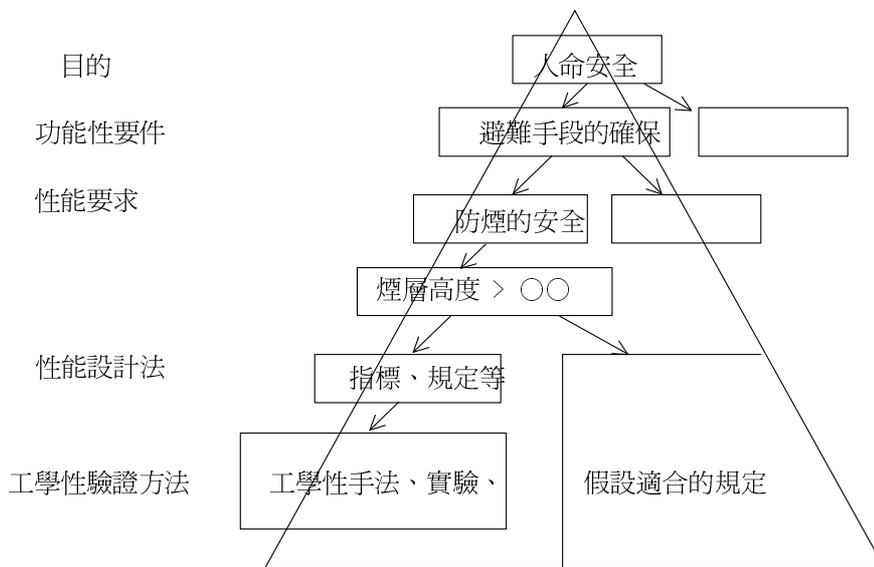


圖 3-1 標準的性能法規體系層級圖

(資料來源：雷明遠、何明錦，2007)

綜觀各國發展性能防火法規架構，概皆採用上述北歐之五層級圖加以修正，再融入本地法規體系中。

性能法規較條例式法規具有下列優點：(1)鼓勵新技術開發、(2)帶動設計及驗證創新、(3)減少貿易障礙、(4)法規立意清楚透明、(5)建造成本經濟有效。因此，在性能法規的保護傘下，性能設計將更能應用及發揮功能。

防火性能式設計(performance-based design, PBD)簡言之乃是為達成法規規範之防火功能目標，應用各種預防火災、被動式(passive)防火、主動式(active)防火及避難安全對策及方案之設計。防火功能目標可以是社會共同遵行法規(強制性規定)或者是企業團體採行規範(自願性規定)所訂的防火安全基準。防火設計則是以防火安全工程(fire safety engineering, FSE)手法為主，所謂 FSE 設計手法乃是具備以下幾項條件：

- (1)依據火災安全目標、損失目標及預期功能進行設計。
- (2)依據火災情景(火災之發生、成長及發展)進行決定性(deterministic)或概率性(probabilistic)評估。
- (3)設計符合火災及煙之物理化學性質、原理。
- (4)提供多元化替代設計方案，並能有效定量分析。
- (5)隨時考慮最接近合理成本的防火對策、措施。

由上可知，性能式設計有幾點特質；(1)以目標(的)及功能為導向，(2)知其所以然(先瞭解不同火災危險或風險因素)後再進行設計(目前則是參照條例式規定”知其然”後，即可設計)，(3)多重選擇性(可選擇

出既滿足法規，又滿足自訂條件的方案)，(4)考慮成本有效性(cost effectiveness)。

建築物防火安全策略概可分為預防起火、抑制火災成長、探測及滅火、限制火災擴大延燒、煙控及避難、結構耐火保護、消防救助等重點項目，其中的各種火災行為及對應的人類行為(火、煙擴散移動行為、材料受火反應、構件與結構體高溫行為、人類避難行為...等)皆可應用 FSE 手法模擬預測、計算分析，因此上述抑制火災成長、探測及滅火、限制火災擴大延燒、煙控及避難、結構耐火保護、消防救助等，均可發展為各自獨立的 PBD 方法去達成各自安全目標，或者彼此聯合成為全方位 PBD 方法。

貳、性能設計之程序步驟

依據 SFPE 之「建築物性能式防火工程指南」所提示之性能設計之程序步驟(如圖 3-2)，包括以下：(1)設定計畫範圍；(2)確定防火安全目標(goal)；(3)設定設計目的(objective)條件；(4)擬定性能基準(performance criteria)；(5)擬定可能火災情境(possible fire scenarios)並確定設計火災情境(design fire scenarios)；(6)進行嘗試性先期設計(trial design)；(7)準備防火工程設計簡要資料；(8)評估嘗試性先期設計；(9)選定最終設計方案；(10)準備設計文件並完成報告；(11)變更設計管理以確保性能設計持續有效。以下進一步闡述：

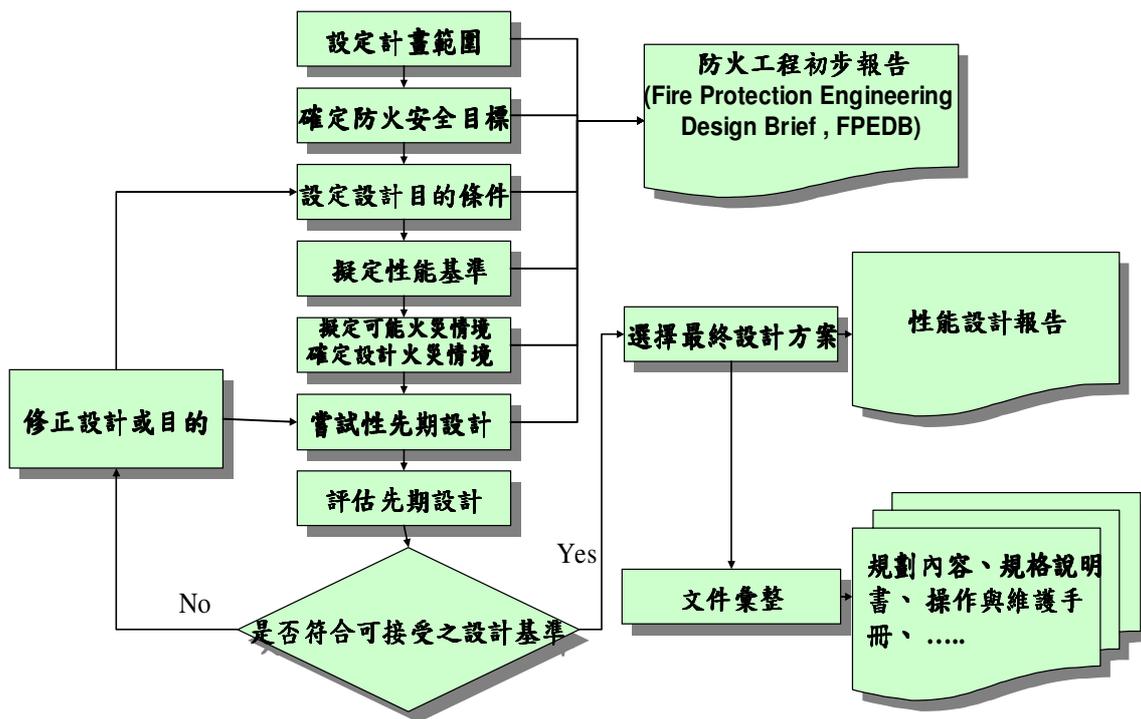


圖 3-2 性能防火設計之程序步驟

(資料來源：Society of Fire Protection Engineers, 2007)

(一) 設定計畫範圍

性能式設計中的第一步是設定計畫的範圍。基本上包括了確認和提供證明文件：

- 設計和計畫進度的控制。
- 參與計畫之相關人員。
- 建築物所有人或使用者對建築物建造和特色的需求。
- 建築物內容物特性和建築物特性。
- 建築物的用途和使用。
- 適用的法規和規範。

這些項目必須清楚的了解才能使設計確實符合相關人員的需要。

（二）確定防火安全目標

計畫的範圍定義清楚後，性能式設計流程的下一個步驟便是確認相關人員的火災安全目標與證明文件，前述內容之目標應為性能式設計所要達到者。火災安全目標可以是人員和財物被保護之程度，或是避免製程中斷、歷史文物之保存、環境保護或其他要求。目標會因為相關人員的需要不同而異。

相關人員應討論哪個目標對於計畫而言是最重要的。為了避免日後因設計流程發生問題，所有相關人員應在設計前知道並同意火災安全目標。

（三）設定設計目的條件

設計程序中的第三步驟是設定設計目的條件。設計目的是從設計目標衍生而來，將目標表達成更深入且明確的內容，用量化的方式表達。目的可能包括特定財產損失金額、生命損失或最大可忍受火災狀況，如火災擴散程度、溫度極限、燃燒產物的擴散、財產或使用的衝擊等。

（四）擬定性能基準

設計程序的第四步驟是發展能符合設計的性能基準。性能基準是從設計目的衍生而來，而且可以用數值表達並預測試驗設計之成效。性能基準可能包括物質溫度、氣體溫度、羧基血紅素（carboxyhemoglobin, COHb）濃度、煙遮蔽程度和熱暴露程度或低限值(threshold values)分佈所組成。

當擬定性能基準時，須特別注意的是完全零危害或零風險的環境是不可能達成的。此外，當危害或風險等級降低時，連帶達到該降低風險等級所需的成本將會增加。

(五) 擬定可能火災情境並確定設計火災情境

一旦性能基準已經被建立，工程師應發展和分析符合這些基準的可選用設計。這個程序的第一個部份是去確認可能的火災情境和設計火災情境。火災情境是可能的火災事件的描述，包括火災特性、建築物特性和使用特性等所組成。一些用來辨識或確認可能火災情境的工具，如常見之失效模式與影響分析(FMEA)、失誤分析(failure analysis)、“如果會是什麼？”分析(“what-if?” analysis, “W-I”A)、記錄資料-使用手冊-檢核表(historical data, manuals, and checklist)...等，也都是風險評估(危害分析)常用方法，詳如前節。使用範例參見本章第三節。

從性能設計計畫的一些可能火災情境，通常須將可能火災情境數量降至可信的設計火災情境的一個可操作數量，且又適當反映其火災危險。一般大範圍的火災情境過濾成代表性的設計火災情境，可以使用不同方法，如限定性或概率性手法，或檢討規範標準中提出的資訊，又或經由工程專業判斷。特定用途之火災危害與失誤模式之系統化分析，可用於決定火災情境。常用於工業用建築物的分析，如 HAZOP、FMEA、FTA、ETA、原因後果推論(cause consequence)等可用來擬定火災情境。

(六) 進行嘗試性先期設計

當計畫範圍、性能標準和設計火災情境建立後，設計者便開始發展符合計畫要求的初步設計。進行設計火災情境評估時，嘗試性設計包括被提出的火災安全系統、建設特色和為了設計符合執行基準所提供的操作。

(七) 準備防火工程設計簡要資料

程序中應準備設計概要並提供給所有相關人員進行審核和統合意見。此設計概要應紀錄計畫範圍、目標、目的、試驗設計、性能基準、設計火災情境和分析方法。設計程序中這些因素的紀錄和認同將可避免日後可能的誤解。

(八) 評估嘗試性先期設計

一系列選定的嘗試性設計將對應至每一個設計火災情境進行評估，而每一個評估的結果將顯示嘗試性設計是否符合性能基準。若某一嘗試性設計是成功的，必要時也要對任何其餘的嘗試性設計加以評估。假如嘗試性設計不成功，則嘗試性設計必須加以修正且重新測試過，或考慮不使用。在這些選定的嘗試性設計經過測試後，特定的嘗試性設計或一系列的嘗試性設計將被選出，代表整體建築設計規格。假如所有的嘗試性設計都不成功，工程人員應確認嘗試性設計已考慮了所有可能的移除策略。假如在考量所有可能嘗試性設計之後，仍無成功的嘗試性設計時，則可能要重新檢討利害關係者目的與性能基準。

進行評估的方法必須合適且須經相關人員同意。基本上評估方法有二：概率性方法與決定性方法。決定性方法分析特定可能的設計火災情境來決定潛在的危害結果。概率性方法使用風險分析來鑑別特定

事件的後果及發生的可能性。當順利完成評估時，有一個隱含的假設就是不會發生比原先所預期更嚴重的事件，或這樣的事件不在 PBD 計畫的範圍內。唯有符合性能基準的嘗試性設計，才可考慮將其作為最後之設計提案，除非性能基準被相關人員加以修正。

(九) 選定最終設計方案

當試驗設計經由評估確認後，即可認為是最終計畫設計。從試驗設計到成為最終設計，是依據不同的參數，包括財物考量、安裝時間、系統和物質的取得、安裝的難易、維修和使用以及其他的因素。

(十) 準備設計文件並完成報告

當最終設計確認完成後，必須著手準備設計文件。適當的文件將確保所有相關人員了解防火設計的實施、維護和一致性所含蓋之內容。文件應包括設計摘要、性能設計報告、詳細的說明書和圖說以及建築物的操作、維護手冊。

(十一) 變化情況管理

性能設計的持續成功必須倚賴設備整個使用期限 (life cycle) 的設計基準。該使用期限可能會有各別關係人的變化，包括業主、設施承租戶、管理及維護人員，以及預想的設施形態及使用情形的變化。這些變化情況經由認可及遵守設施維護手冊、既有核可及變更設施使用及形態文件的程序加以管理乃是重要的，以確保性能設計持續有效。

叁、概率性手法

如前述，在性能設計的程序步驟中，「步驟五 (擬定可能火災情

境並確定設計火災情境)」及「步驟八（評估嘗試性先期設計）」會使用限定性或概率性手法進行計算評估。國內普遍使用限定性手法進行性能設計計畫，對於概率性手法相對較為陌生，其相關研究及實務應用例亦較欠缺。

概率性手法一般通常處理火災會發生的可能性及火災真發生所導致的結果。決定是否選擇某一可能火災情境為設計火災情境是受相似情境分類所影響。分類後的情境可能從進一步評估中被刪除掉，如果利害關係人同意認為風險或結果可以接受的話。

一、或然率（概率）

一事件發生特定結果的可能性以介於 0~1 之間數值表示，意指符合某條件的事件在所有可能發生的事件中所佔的比率。0 代表不會發生，1 代表確實會發生。其公式如下：

$$P_A = n_A / N \quad (\text{式 3-1})$$

N 代表所有可能的事件， n_A 代表在 A 條件下會發生的事件。

二、統計及歷史資料

（一）火災統計

根據統計資料鑑別出最容易起火地點、最先引燃物品、火勢延燒散佈的可能性。統計資料可能是全國性或地方性資料，但通常皆適用於特定用途別或建築物類型。如果可以獲得足夠有用的資料庫，也就可以訂定情境發生頻率值，並建立相對排序。該過程結果將會有詳細的風險分析。

（二）記錄資料

有關特定既有建築物或建築物類組或相似型式設備等的火災記錄資料。

(三) 火災發生頻率

火災發生頻率指一定損失金額以上的火災發生的可能性，亦即發生在某特定時段內之火災次數。通常以一年當中發生幾次火災事件來計算，例如假設多個房間火災的發生頻率為每萬年有 5 次，則可以預期的是兩個或兩個以上的房間大約每 2000 年會發生一次火災，而事實上兩個房間的火災可能超過此期間後才發生，但也可能在下個星期就發生了。

(四) 起火頻率

計算起火頻率概以建築物樓板面積或用途為準。事實上當我們在討論火災頻率時，最重要的是要評估超過標準的事件之發生頻率，而不只是專注於某特殊事件的頻率。

(五) 火災分析資料庫

我國有關火災統計資料，向來由消防主管機關主動公佈，在內政部消防署網站有歷年火災統計數據可供參考。國外部份以美國為例，有 3 個主要的資料庫可供分析美國的火災案例，可提供適當、詳細的資訊作為建構火災情境的最佳基礎，亦即每年 NFPA 對消防隊的調查；FEMA/USFA 國家火災事件通報系統 (National Fire Incident Reporting System, NFIRS)；以及 NFPA 火災事件資料組織 (Fire Incident Data Organization, FIDO)。分述如下：

1. NFPA 對消防隊的年度調查(Annual NFPA Survey of Fire Departments)

NFPA 的調查是基於對全美國分階層後以亂數取 3000 個樣本進行調查(或大約是每 10 個消防隊取一個)。調查蒐集的資訊包括如下：火災事件的總數、死亡人數、受傷人數、及每件 NFPA 901 火災事件通報標準中所定義的重大財產用途類(major property-used class)的估計損失金額(美元)等，皆有助於火災危害計算。這些總數經過分析後，會公佈在 NFPA 每年的研究報告“*Fire Loss in the United States*”，該研究報告通常會在每年 9/10 月的 NFPA 月刊中刊出。NFPA 調查是依受保護的人口數多寡來分階層，以避免最終估計的不確定性。人口較少，較鄉下的社區，每個消防隊保護人口較少，較不會回覆調查問卷，因此這類的消防隊要發出較多的調查問卷以回收足夠的樣本。NFPA 也會打電話追蹤未回覆調查問卷、規模較小的消防隊，以確認未回覆的原因。另一方面，都市中大型的消防隊總數很少，且保護的人口數所占比例較高，因此對所有這類的消防隊一一作調查有其意義，其大部份的回覆，在最終的估計時，都有相當高的精確度。NFPA 的調查自 1977 年以來，便採用這樣的方法，且代表了取樣調查的最高技術。由於有注重取樣的代表性與採取適當的權重公式來反映美國全國的估計結果，NFPA 的調查提供了量測美國火災事件趨勢、死傷人數、直接財產損失的一個適當基礎，以及決定不同社區大小與區域的發生火災

模式與趨勢。

2. FEMA/USFA 國家火災事件通報系統(NFIRS)

聯邦緊急應變管理總署/美國消防署(FEMA/USFA)負責管理與推廣 NFIRS，而 NFIRS 乃是一個電腦化年度火災事件資料庫，依據 NFPA 901 標準格式進行分類。全美約有 3/4 的州有 NFIRS 綜整者，負責收取參與的消防隊所交的火災事件資料，並將之綜合整理成該州的資料庫。各州與當地消防隊的參與均是出於自願的，每年 NFIRS 可以取得 1/3 至 1/2 的全美所發生的火災事件資料。美國大部份的消防隊都有加入 NFIRS，但不是每個消防隊每年都有提供資料。相較於其它全國的資料庫，NFIRS 提供最詳細的事件資訊，並只限於大型火災。NFIRS 是唯一可以依建築物特定用途與起火原因說明全國各種火災規模的模式的一個資料庫。(NFPA 的調查採用 NFPA 901 所定的數百種建築物用途中不到 20 種用途來作記錄，且除縱火及起火原因不明外，並未提供與起火原因有關的資訊) NFIRS 也記錄了起火的建築物形態、建物高度、火焰蔓延範圍、濃煙散佈範圍(這對於判斷是否有發生閃燃，以及該條件是否可以引起偵煙器動作都很有幫助)、偵測器與撒水系統的性能及罹難者的特性，後者記錄於個人意外報告，該份報告則附於 NFIRS 的檔案中。NFIRS 的缺點是其通報乃屬自願性質，這使得每年的取樣組成都有所不同，因此即便 NFIRS 所取的樣本數是 NFPA 調查的 3 倍，NFPA 的調查仍更適於反映全美國的情況，因為 NFPA 調

查的是採取亂數取樣，且有系統的分階層以使樣本更具代表性。大部份的分析者使用 NFIRS 來計算百分比（如發生在公寓的居家火災百分比，或亂丟煙蒂所造成的公寓火災死亡率），再結合以 NFPA 調查為基礎的資料，來作出火災次數、死亡人數、受傷人數、及損失金額等火災的估計。這是現有可以補足 NFIRS 最弱一環的最簡單的方法。

3.NFPA 火災事件資料組織(FIDO)

NFPA 的 FIDO 是一個電腦化的索引與資料庫，提供最詳細的事件資料，但缺乏大型的火災調查。所記錄的火災包括 NFPA 認為有重大科學價值的火災，辨別是否納入 FIDO 的追蹤系統據信會將所有通報至消防隊的 3 人以上死亡，1 名消防隊員以上死亡，或鉅額財產損失(會定期重新定義以反映通貨膨脹的效應，最後一次的定義是在 1980 年，額度為美金 5 百萬元以上的直接財產損失)的事件都納入。FIDO 的記錄從 1971 年開始至今，有超過 80,000 筆的火災資料，且每年增加約 2,000 筆的新資料。納入 FIDO 的資料來源，包括新聞簡報、保險公司報告、NFIRS、NFPA 年度調查的回覆及其它來源。一旦知悉火災的事件，NFPA 會透過負責的消防隊取得標準化的事件資訊，向其它相關單位索取其它的報告，如消防隊自己的事件報告和其它任何調查的結果。FIDO 的優點在於其各別火災事件的詳細程度，所記錄的資訊可能由 FIDO 所取得，但無法從 NFIRS 取

得，包括安裝的偵測、抑制、煙流與火焰控制系統的詳細設備型式與性能、火災發展過程中主要事件的時間間隔（如引燃至偵測、偵測至發出警報的時間）、各個點的異常延遲原因、間接損失與直接損失的細目、及逃生、搶救與建築物中的人數。其它未記錄的資訊通常在紙本資料中可找到，這些資料被 FIDO 作成索引用於研究與分析。FIDO 可與依 NFIRS 所作的全國統計分析併用，就如同 NFIRS 與 NFPA 併用一般可進行全美國的估計。亦即，FIDO 的分析可提供合理的估計，將一堆火災事件，用 NFIRS 為基礎的全國估計值進一步分為更詳細的分類。FIDO 或其它任何一個特別的火災事件資料庫都沒有比 NFIRS 的資料還詳細，並供資料庫維護機構以外的分析者參考。要獲得所需的分析時，要與負責該資料庫的分析者討論，資料庫分析者將有助於了解資料庫可作何種分析。

4.各資料庫的優缺點

沒有一個火災資料庫能夠取得無法預期的火災的所有情況。很少有資料庫能夠涵蓋未通報消防隊的火災，無法避免的是火災資料庫總是記錄較多的“失誤”，而非“成功”的案例。火災如果很快被控制住時，便不會通報消防隊，所以涵蓋通報的火災之資料庫便無法記錄此類的資料。對提供早期偵測與抑制的裝置與程序的影響的分析，也要考慮到可能會漏掉成功的案例。另一個議題是資料庫的品質控制，對於缺乏詳細資料的資料庫

(如 NFPA 的調查)或涵蓋的廣度有限(如 FIDO, 主要是記錄較大的火災),最好投入一些精力確保每個報告儘可能的完整與正確,必要時可去電詢問以補足缺乏的部份和核對一些奇怪的答案。對於具有像 NFIRS 一樣深度與廣度的資料庫,要投入相同程度品質控制的精力是不可能的。因此,NFIRS 有更多的欄位未輸入,可信度也更低。資料的質與量之間的取捨不是一件容易的事,作為一個分析者在進行分析之前,必須注意資料來源的優點與其限制。

三、系統可用性及可靠度(可信賴性)

(一) 消防系統可用性

消防系統並非一直是百分百可運轉的,有的時候也會失去功效。當進行火災頻率估計時,就應注意到可用性概念。所謂可用性,乃是一個系統在某一條件下在某一時刻表現出必要的功能狀態就可視為可用(有效)。亦即系統到底是否有效,端看在事件發生時能否發揮功能,能夠發揮就是有效,不能發揮就是無效。(例如撒水系統故障等)一套明明應該是有效的系統卻無法發揮其功能稱之為不可靠、不可信賴的系統,或然率即可評估之。

(二) 消防系統可靠度

當消防系統於火災發生時不能發揮其功能,往往造成重大的悲劇,因此在設計火災歷程時亦須將可靠性這個重要的參數一併考慮進去。

(三) 既有建築物之系統可用性及可靠度分析

當我們為性能式分析設計火災歷程時，都必須考慮這兩個因素，如此我們才能夠確信我們裝設的消防系統能夠發揮一定的功效而不至於因故障失靈而發生悲劇，而類似這樣的分析方法亦可應用在被動式消防設備的評估如防火閘門、防煙閘門。

第二節 防火安全評估與火災風險分析

壹、風險分析在火災安全問題之應用

所有的火災風險分析技術都是基於「風險是危險發生的結果及概率的函數」這個簡單的概念 (如圖 3-3)。火災風險分析起源於連續製程製造業和金融服務業的管理，此項技術現在應用到諸如核電廠安全或是預估人壽保險給付等各方面的火災安全評估。火災安全問題使用火災風險分析雖然是在剛起步的階段，但也已行之有年。

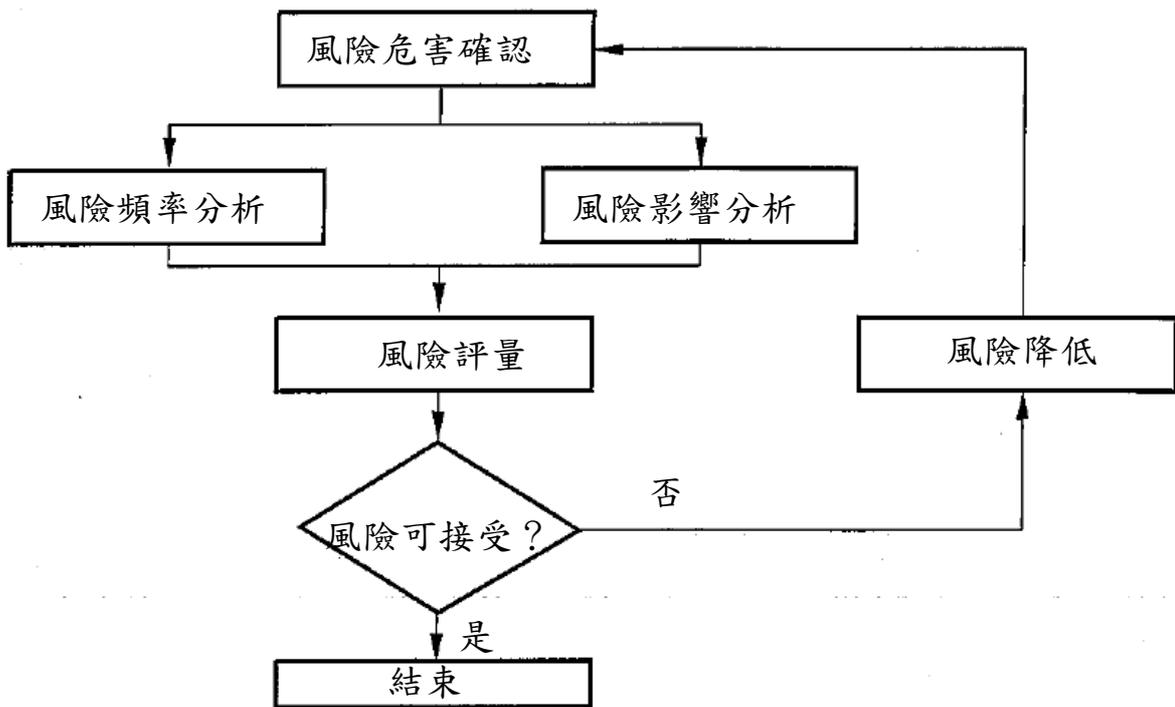


圖 3-3 概率性火災風險分析之一般步驟

(資料來源：BS 7974-7:2003)

火災所造成的影響可以是非常地嚴重的。當發生火災時，生命或財產都會遭受損失。傳統的火災安全技術基本上都是從假設火災已經

發生為起點，接著火勢會擴大並形成多起衍生事件。例如，假設進入逃生梯的煙霧量大到逃生梯無法使用，或是火災的地點都是在室內並且擋住某一出口的位置。這種手法對於「一般性的建築」是可行的，並且這種手法通常是條例式建築法規的基礎。

火災安全工程設計，例如條例式建築法規，依舊以火災必定發生並且會擴大為假設。然而，和條例式建築法規不同，火災安全工程設計將問題剖析得更深入。火勢會如何隨著建築物結構與住戶人員的互動發展和變化，需要更詳細的分析，將建築物或是情境的特性納入考量。這種手法比條例手法更彈性，然而一般的決定性火災工程設計研究依然會對火災情境如何地發展訂出相當的假設（一般而言比較保守的假設）。火災風險分析不僅從影響面評估火災的效應，並且將數種特定情況下發生火災的可能性也納入考慮，使火災安全工程設計研究不再只是假設某幾種情況是真的決定性模型。火災風險分析的目標乃是嘗試以更詳細的方法，建立實際建築物和真實火災的模型。例如，很多火災，即使是縱火，在對生命或財產產生顯著危害之前會自行燒盡或者被撲滅。一般的火災工程設計分析不會將這個情況納入考量（相反地，會假設火災會發生並且會持續擴大）。例如，一般決定性模型會假設撒水噴頭會作動並控制火勢，而火災風險分析為基礎的模型則會更進一步地考量撒水噴頭不作動的可能性和其後續的結果。

藉由在評估過程中將不確定性納入考量並且增加其他的概率係數，火災風險分析讓決定性的火災安全工程設計技術得以提升。如此使火災安全工程設計可以有許多有用的延伸。最典型的例子就是針對

設計不同、但目的相同的各個系統（例如，機械式和自然式排煙系統，其設計都是要排出防火區劃內的煙霧）進行的研究。在完全決定性模型中，會假設成系統運作（系統設計無誤），而模擬顯示出的煙層條件，不論是機械式或自然式排煙系統都是相同。而火災風險分析系統會深入地觀察這兩種系統的差異，並導出兩種系統的「故障資料」。因此，儘管兩種系統在火災事件內都正確運作的話，都能提供相同的條件，會因為其中一個系統比較可靠而被認定較為優良。這種研究法稱之為比較研究法（comparative study），並且可能因為其是較具體方法的自然延伸，而廣受採用。

和比較研究法一樣，火災風險分析可以用於絕對研究法（absolute study）。絕對研究是不考量兩種狀況，而是僅考量特定基準下單一情況的性能（例如，某一特定的辦公大樓內發生火災時任一特定住戶人員類型的死亡概率）。絕對研究在傳統上較少使用。這是因為絕對型研究迫使火災風險分析的實施人員和考核人員考慮某個不必要的事件（如果嚴格遵行火災風險分析，就一定）最終會發生。傳統的（也是被認為最具爭議的）絕對研究將生命以金錢價值衡量，並且絕對研究是以受研究組織的成本為基礎，以判定在一定的時間長度下可容許多少的死亡數。

貳、風險評估於火災安全工程設計的適用性

作為一般性的技術，風險評估相對地比較沒有限制，並且理論上可以適用於所有建築物類型和設計有關防火安全工程的所有面向。在

風險評估廣泛的訴求下，也期望其更具多元性。然而，概率性風險評估的適用性嚴格地受到資料可得性的限制。相較下，決定性手法和條例式火災工程技術會以較保守的方式，基本上補足了現有容易取得資料和不足資料之間的差異。但是相同的手法方式則不能使用在概率性風險評估研究。

對大部分的火災安全工程設計來說，決定性分析是為了要證明其設計的可行性所必備的。另外，完整的概率風險評估施行起來非常耗時且昂貴，所以在很多場合並不適用。但是，在下列情況，概率性風險評估是最有用的：(a) 輸入參數的變化很大；(b) 備用的解決方案的執行方式和標準的解決方案有很大的不同；(c) 因為火災所造成的失效結果非常顯著。

概率性風險評估可使用於：(a) 為決定性分析確定及選擇火災情境，(b) 為決定性分析設定輸入資料，(c) 協助分析部分或某特定面之建築物防火設計，(d) 甚至於協助分析整體之建築物防火設計。

比對各種其他替代火災安全設計方案非常沒有意義，因為不同的系統運作方式也不同。會有下列的差異：(a) 效能程度不同；(b) 要使用時發生故障的機率不同；(c) 故障的結果不同。

例如，一建築物以單一大型區劃及撒水系統作為多個小型區劃及無撒水系統的替代方案。就火災可能的規模來說，不考慮緊急救助及消防單位的介入，這兩種設計是非常不一樣的。首先，如果撒水系統作動成功，火勢相對會較小，但是，如果撒水系統故障，火勢就會佔據整個大型區劃空間。相反的，就小型區劃方案來說，若防火區劃有

效，火勢僅會被限制在較小的區劃內，並且一個區劃失效，火勢也僅被限制在兩個小型區劃內（一般估計中的失效型態）。概率風險分析可考量這兩種設計的預期效能、故障概率及（或）故障的影響，用來評估這兩種設計。

某些建築物以火災安全目標（例如生命安全、營業持續性）來說，火災的影響可能要非常地顯著，要確實地找出火災危害，就是對整棟建築物實施完整的概率火災分析。傳統上，這些建築包括核能設施和化工廠。在英國倫敦 King's Cross 地鐵站和 Piper Alpha 鑽油平台大火後，新增了多種交通和鑽油平台的建築物。策略上具有重要性和機場和控制中心等其他獨特建築物也大幅增加地納入本類別。這種場合的概率風險分析通常依照正式的危害確認程序（例如 HAZOP），作為設施安全項目的一部分，並且是以「意外事件頻率」表示之。

參、接受度標準（合格基準）

一、概論

就概率性風險評估來說，接受度的標準是將意外事件的或然率定得低到合理範圍，或是「低至合理可行程度」（As Low As Reasonably Practicable, ALARP）。接受度標準根據研究的火災安全目標而不同。生命安全的標準又和營業不中斷的標準不同。同樣地，接受度標準又依照所採用的分析方法而不同。絕對性的風險程度標準又和比較性風險分析的標準不同（如表 3-1）。

表 3-1 常見的接受度標準類型

分析方法	火災安全目標	
	生命安全	財產安全
對照（比較）法	風險程度和符合法規方案相同(例如建築技術規則)	設計替代方案比較(成本-利益分析)
絕對法	每年的傷亡人數	每年可接受的平均損失

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

二、比較性基準

要以絕對的方式建立風險的程度通常很困難。然而，卻相對地可以明確地證明建築的設計確實有提供符合更嚴格法規（生命安全或財產安全）的風險當量程度。因為研究純然是比較性的，所以任何有關起火頻率或是系統穩定度的假設或資料未必都會對結果有顯著的影響。這點可由敏感度分析來證實。

在能證明設計方案可以提供法規規定的風險程度之前，必須要先明確了解該法規的要旨。於實施品質設計審查 (QDR) 時，各建議事項的目的皆應考量，特別是有多重目的的規定。應開發替代設計方案以滿足特定的基本目標。火災安全工程師應證明所提的設計方案的效果至少和傳統方法相當。

三、絕對性基準

(一) 生命安全

生命安全的絕對性基準可分成兩類：個人與社會的生命安全。個人風險，是指某一危險實現時，預期某一個人所承受的危險程度的頻

率。這通常和特定的生活方式有關。就火災安全來說，可以是在工廠或辦公大樓內工作的某人的個人的風險，或是每週到購物中心購物一次的消費者的個人風險。

社會生命安全，是指特定人群承受某一危險性出現時所造成的危險程度下，發生頻率和人數之間的關係。因為多重致命性的災害對社會特別重大，所以本項目特別重要。也可以以在某一設施中造成 10 人或以上死亡火災的頻率來表示。一般來說，比起個人的風險程度要低許多。

風險接受度的另一個重要因子，就是風險是自願性或非自願性的程度，亦即人員對風險程度掌控的程度有多少？舉例來說，待在自己家中的人比起待在旅館的人對於自己火災的風險程度有更高的掌握能力。

就生命安全來說，風險基於下列兩項主要原因可被視為可接受：

- (1)火災的風險比其他被視為可忽略的風險還小。
- (2)如果火災的風險無法被忽略掉，建築物本身的優點應能將風險限縮為可容忍程度。這種方法要有效可行，進一步降低風險的成本應大於所降低的風險。亦即，火災的風險應低至合理可行程度 (ALARP)。

另外還有一點，就是不論建築物的優點為何，火災的風險都高到無法忽視，並且僅可被認定為不可容忍。如果火災風險達到這種程度，要達到可接受程度的唯一方式就是降低風險。

從主要行業場所活動中帶給社會大眾中個人的風險程度為：

- (1) 社會大眾中組成的個人的最大可容忍風險 (每年死亡數) 為 10^{-4} ,
- (2) 社會大眾中組成的個人的一般可接受風險為 (每年死亡數) 10^{-5} 。

因為火災而建築物結構失效所形成的社會安全風險為：

- (1) 每棟建築物每年死亡人數達 10 人或以上的風險為 5×10^{-7} ,
- (2) 每棟建築物每年死亡人數達 100 人或以上的風險為 5×10^{-8} ,

上列風險的特性就是屬於高度非自願性,但是其活動都對社會有貢獻。

建築物類別範圍 (1995-1999 年份) 的平均風險程度,每棟建築每年死亡數和每年每戶死亡數的部份請見表 3-2。表 3-2 內和其他資料搭配,顯示社會大眾中組成的個人在家中的承受的火災風險程度為每年 10^{-5} 個人死亡,在其他地方為每年 10^{-6} 個人死亡。使用多重致命性火災的資料則得出每個居民每年承受死亡 10 人或以上的社會性風險為 10^{-8} ,承受死亡 100 人或以上的社會性風險為 10^{-9} 。

在比對任何標準的預測風險程度時,很重要的是要考量研究中的假設。如果預測的風險程度僅能滿足絕對標準,就必須要注意,務必確使研究中的假設對安全性採用最高的標準。

(二) 財務基準

一家組織或企業在其投資額下,可決定競爭位置、保險範圍、應變計畫等可容忍一定程度的損失或是一定獲利期間的中斷。通常以每年財物損失或是財務損失程度或是頻率 (或獲利期間) 表示。

使用本公告文件內的技術,可以估算火災所造成的損害風險。這些資訊亦可之後用於估算可能的金錢損失和實施成本-效益分析,以得

出建置其他或附加的火災預防措施所需的相對價值。這些以損失或是營業中斷程度表示的財物標準，應搭配要實施研究的單位和（或）其融資者和保險人一起設定。

表 3-2 每棟建築物的死亡人數和每年每戶死亡人數

住戶類型	建築物數	住戶數	平均 / 年 (95/97/98/99)				
			死亡數	傷者數	火災數	死亡數/建築物/每年	死亡數/住戶/每年
進修學校	1051	845,617 ^a	0.0	17	535	$<2.4 \times 10^{-4}$	$<3.0 \times 10^{-7}$
學校	34,731	10,503,100 ^a	0.0	51	1,669	$<7.2 \times 10^{-6}$	$<2.4 \times 10^{-8}$
許可場地	101,081	-	2.8	262	3,317	2.7×10^{-5}	-
公共休閒 建築	45,049	-	1.3	48	2,581	2.8×10^{-5}	-
商店	254,475	-	3.3	284	5,671	9.2×10^{-6}	-
飯店	28,731	389,174 ^a	2.5	116	1,021	8.8×10^{-5}	$<6.4 \times 10^{-6}$
小型旅社	9,829	-	0.5	60	1,338	5.1×10^{-5}	-
醫院	3,486	-	3.3	113	3,063	9.3×10^{-4}	-
安養中心	29,080	-	4.5	130	1,616	1.5×10^{-4}	-
辦公室	209,627	4,107,000 ^b	0.3	219	1,988	1.2×10^{-6}	$<7.3 \times 10^{-8}$
工廠	170,972	-	4.3	286	5,229	2.5×10^{-5}	-
以上合計	987,752	15,844,891	22.5	1584	28,096	2.3×10^{-5}	$<6.5 \times 10^{-6}$

註：大型或是多用途建築物使用每戶死亡數更為合適

^a 住戶數等於受僱人加其他住戶的總和

^b 住戶數僅為受僱人之數量

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

肆、標準概率性分析

一、概論

因為建築物火災安全的不確定性，必須要將這些因素當作非確定性的隨機現象來看。通常就是對火災風險評估和建築物火災防護標準

採取或然率的方法。在這種方法中，有三種用來精確計算或然率的基本模型，分別為：(1)簡單統計分析（simple statistical analysis），(2)邏輯樹分析（logic tree analysis）及(3)敏感度分析（sensitivity analysis）。

簡單統計分析在本章節後文將會討論，邏輯樹分析將在第三節「火災風險評估範例」及敏感度分析將在第四章第五節「不確定性、敏感度、精確度和誤差」中詳加說明。

二、簡單統計分析

從起火頻率到火災防護裝置的條件或然率失敗，統計分析是大部分或然率火災風險評估的基礎。統計分析使用取自建築火災的資料，並將之轉化成可以預測或災事件可能性的資料。型式可從對於一段時間內一組建築物發生事件的平均或然率的簡單計算，到複雜的迴歸分析都有。

統計分析的好處在於是以實際事件為基礎，並且結果通常簡單可用。然而，統計分析是根據平均的就有資料，因此是假設可從過去的經驗預測未來的表現，並且平均的測量結果可適用某一特定的建築物。在大部分的情況，這種假設很合理，並且在大部分的情況下，根據舊有資料實施風險評估的不確定性，要比考量建築物設計內各種防火設施的故障或然率的不確定要小。

統計分析的其他限制，就是通常無法收集預測所需的足夠可信資料，另外像是多重致命性火災這種結果很嚴重但是頻率很低的事件，也是個問題。諸如起火和防火設施有效或無效的條件性或然率的頻率

性事件越多，統計資料就越有用。這些獨立片段的資料可以利用邏輯性樹狀圖和其他技術來預測低頻率事件的頻率。

(一) 起火頻率

起火的頻率是大部分概率風險評估的重要參數之一。在大多數的事件樹圖中多屬於起始事件，且可成為失誤樹圖的基礎事件。從文獻的統計研究使用下列等式計算出概略的起火頻率：

$$F_i = \alpha \cdot A_b^b \quad (\text{式 3-2})$$

其中 α 和 b 是用來居住建築物類型的常數， A_b 是建築物的總樓地板面積。參數 α 是一定期間內受風險建築物數量 N 對火災數量 n 的比率， b 決定 A_b 增加時 F_i 增加的值。

b 的數值為 1 表示火災開始的或然率直接和建築物的規模成比例關係；這表示建築物的所有部份承受相同的火災發生風險。但是實際上並非如此，因為建築物不同的部份的起火源的種類和數量都不同。因此，起火的或然率並不隨建築物規模的增加而增加，所以 b 有可能小於 1。如果有兩棟建築物，一棟建築物的規模是另一棟的兩倍，較大的建築物的或然率會比小的建築物少兩倍。這種理論性的論述，也被用來評估受保風險的金額數值的保險給付頻率精算研究所證實。

依據英國火災統計研究所評估的主要建築物的 α 和 b 的數值，詳見表 3-3。英國所有產業界的 $A_b(m^2)$ 公式的 α 和 b 的數值經計算分別為 0.0017 和大約 0.53。部份歐洲國家的精算研究證明工業建築物的 b 的數值約為 0.5。火災數量對承受風險建築數量的比率為一總體的定量，對於火災發生或然率的建築物大小來說不可調整。(參閱表

3-4)。英國所有行業每年每家企業的火災風險數字為 0.092；每家企業可擁有一棟以上的建築物。另外，依照建築物規模下每單位樓地板面積區域的火災數量計算的起火或然率，如表 3-5。雖說表 3-3、表 3-4 和表 3-5 的數據相當過時了，但卻是目前所能取得最新的資料。

表 3-3 火災發生或然率

場所	每年發生火災或然率	
	a	b
工業建築		
食品和煙草業	0.0011	0.60
化學和相關行業	0.0069	0.46
機械工程和其他金屬物品	0.00086	0.56
電氣工程	0.0061	0.59
汽車	0.00012	0.86
紡織	0.0075	0.35
木材，家具	0.00037	0.77
造紙、印刷和出版	0.00069	0.91
其他製造業	0.0084	0.41
所有製造業	0.0017	0.53
其他場所		
倉儲	0.0067	0.5
店面	0.00066	1.0
辦公室	0.000059	0.9
旅館等	0.0008	1.0
醫院	0.0007	0.75
學校	0.0002	0.75

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

表 3-4 各種場所內起火的總體或然率

場所	每種場所起火的或然率
工業	4.4×10^{-2}
倉儲	1.3×10^{-2}

辦公室	6.2×10^{-3}
娛樂場所	1.2×10^{-1}
非休閒場所	2.0×10^{-2}
醫院	3.0×10^{-1}
學校	4.0×10^{-2}
住家	3.0×10^{-3}

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

表 3-5 各種場所一定樓板區域內起火的或然率

場所	起火的或然率 $y^{-1} m^{-2}$
辦公室	1.2×10^{-5}
倉儲	3.3×10^{-5}
公共場所	9.7×10^{-5}

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

(二) 火勢蔓延及區域損害可能程度

可能受到起火建築物火災損害的面積，可以藉由考慮不同的火勢擴散類型和這些案例相關的或然率加以計算出來。依據英國的火災統計可將火勢蔓延的範圍分類成：

1. 侷限在第一（最初）起火物品
2. 延燒到起火物以外，但侷限在起火房間內；
 - (1) 僅侷限在房內物品
 - (2) 延燒到結構
3. 擴散至起火的房間外，但侷限在該建築物內。

火勢擴及至建築以外的情況，則不屬於上列分類。表 3-6 和表 3-7

列出了各火勢擴散類型的可能(平均)面積損害的例子及其相關頻率。在有撒水系統的建築物內，數據顯示這種建築物有三分之一的火災都是由撒水系統撲滅，但是卻沒有向當地的消防單位報案。該類小型火災被認定為屬於侷限在第一起火物品的火災。

表 3-6 火災中各種火勢蔓延類型的面積損害和百分比(以紡織業為例)

火勢蔓延類型	有撒水系統		無撒水系統	
	面積受損 (m ²)	火災的 百分比 (%)	面積受損 (m ²)	火災的 百分比 (%)
生產區域				
限制在最初起火的物品	5	72	5	43
蔓延至起火物品以外，但是限制在起火的房間內	13	18	17	32
(1) 僅內部物品	113	6	425	13
(2) 延燒到結構				
蔓延至房間以外	694	4	694	12
平均	40	100	152	100
倉儲區域				
限制在最初起火的物品	4	72	10	19
蔓延至起火物品以外，但是限制在起火的房間內	19	24	17	18
(1) 僅內部物品	19	24	262	38
(2) 延燒到結構				
蔓延至房間以外	1712	4	1712	25
平均	76	100	589	100
其他區域				
限制在最初起火的物品	2	66	2	42
蔓延至起火物品以外，但是限制在起火的房間內	11	22	4	25
(1) 僅內部物品	68	8	68	18
(2) 延燒到結構				
蔓延至房間以外	1007	4		110075

平均	49	100	165	100
*來源：英國火災統計資料，1984-86				

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

**表 3-7 火災中各種火勢蔓延類型的面積損害和百分比
(酒吧、俱樂部、餐廳 - 所有區域)**

火勢蔓延類型	有撒水系統		無撒水系統	
	面積受損 (m ²)	火災的 百分比 (%)	面積受損 (m ²)	火災的 百分比 (%)
限制在最初起火物品	1	59	1	26
蔓延至起火物品以外，但 是限制在起火的房間內				
(1) 僅內部物品	1	15	2	12
(2) 延燒到結構	4	19	15	45
蔓延至房間以外	50	7	101	17
平均	5	100	24	100
*來源：英國火災統計資料，1984-86				

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

(三) 面積損害之頻率分布

表 3-8 和表 3-9 提供了比各種火勢擴散類型平均損害還要嚴重的面積損害粗略的計算。就紡織業建築物的生產區域來說，有撒水系統、超過 5.1 m² 的室內面積損害或然率為 0.28，超過 13.5 m² 室內面積損害的或然率為 0.10，而超過 112.9 m² 室內面積損害的或然率為 0.04。如果該室內空間沒有配置撒水系統，超過 4.8 m² 的室內面積損害或然率為 0.57，超過 16.8 m² 的室內面積損害或然率為 0.2，超過 474.6 m² 室內面積損害或然率為 0.12。這些數據可以用來建立面積損害頻率分佈。

另外，利用由英國內政部 (Home Office) 提供的火災統計的原始資料，則可建構更精確的面積損害頻率分佈。表 3-8、表 3-9 和表 3-10 即是根據該資料進行的調查結果。在配有撒水系統、面積為 1 m² 或以下的損害類型，有三分之一的火災是被撒水系統撲滅而未向消防單位通報。該資料乃是採用帕累托 (Pareto) 或然率分佈，來計算各表下方所列的 λ 和 m 參數，此種分佈可用來更精確地計算超過一定高度或是一定區劃樓地板面積的損害或然率。

表 3-8 辦公大樓受損面積之頻率分佈 (以火災數量區分)

受損面積 (m ²)	辦公空間		其它空間	
	無撒水系 統	有撒水系 統	無撒水系 統	有撒水系 統
1 和以下	908(51.2)	13(27.8)	2588(40.8)	95(25.2)
2-4	379 (30.8)	3(11.1)	902(20.1)	17(11.8)
5-9	144(23.1)	-	303(13.2)	9(4.7)
10-19	116(16.8)	2	199(8.6)	2(3.2)
20-49	154(8.6)	-	180(4.5)	3(0.79)
50-99	69(4.8)	-	75(2.8)	1
100-199	35(3.0)	-	53(1.6)	-
200-499	33(1.2)	-	40(0.7)	-
500-999	13(0.5)	-	18(0.3)	-
1000 和以上	9	-	11	-
總火災數	1860	18	4369	127
λ	0.6689	0.6987	0.7146	0.8711
M(m ²)	0.7749	0.1599	0.4647	0.2646
註：括弧內的數據是超過第一欄受損範圍上線值的火災百分比				
* 撒水系統運作的火災數據來源：英國內政部 (Home Office) 1979 和 1984-1987 的火災統計數據				

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

表 3-9 零售商場受損面積之頻率分佈 (以火災數量區分)

受損面積 (m ²)	組裝區域		倉儲區域		其他區域	
	無撒水系統	有撒水系統	無撒水系統	有撒水系統	無撒水系統	有撒水系統
1 及以下	4.197 (48.9)	154 (31.3)	1679 (67.4)	261 (26.3)	4066 (43.5)	135 (26.2)
2-4	1987 (24.7)	37 (14.7)	1306 (42.0)	51 (11.9)	1638 (20.7)	22 (14.2)
5-9	619 (17.1)	9 (10.7)	722 (27.9)	22 (5.7)	490 (13.9)	8 (9.8)
10-19	463 (11.5)	13 (4.9)	543 (17.4)	11 (2.5)	404 (8.3)	9 (4.9)
20-49	430 (6.2)	6 (2.2)	476 (8.1)	6 (0.9)	323 (3.8)	5 (2.2)
50-99	221 (3.5)	4 (0.5)	177 (4.7)	1 (0.6)	128 (2.0)	2 (1.1)
100-199	127 (2.0)	-	116 (2.4)	-	68 (1.1)	2
200-499	100 (0.8)	-	74 (1.0)	2	57 (0.3)	-
500-999	29 (0.4)	-	24 (0.25)	-	15 (0.1)	-
1000 及以上	34	-	27	-	5	-
總火災數	8207	224	5144	354	7194	183
λ	0.6947	0.8644	0.7304	0.8858	0.8936	0.6991
M(m ²)	0.5968	0.4156	1.1583	0.2852	0.7942	0.2142
註：括弧內的數據是超過第一欄受損範圍上線值的火災百分比						
* 撒水系統運作的火災數據來源：英國內政部 (Home Office) 1979 和 1984-1987 的火災統計數據						

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

表 3-10 醫院受損面積之頻率分佈 (以火災數量區分)

受損面積 (m ²)	組裝區域	臥室	倉儲其它空間	
	無撒水系 統	有撒水系 統	無撒水系 統	有撒水系 統
1 及以下	321 (38.0)	643 (466)	2789 (27.0)	31 (11.4)
2-4	76 (23.4)	824 (19.8)	459 (15.0)	2 (5.7)
5-9	31 (17.4)	94 (12.0)	162 (10.8)	1 (2.9)
10-19	17 (14.0)	59 (7.1)	136 (7.2)	1
20-49	30 (8.3)	54 (2.6)	124 (4.0)	-
50-99	10 (6.4)	18 (1.1)	67 (2.2)	-
100-199	13 (3.9)	4 (0.8)	31 (1.4)	-
200-499	13 (1.4)	2 (0.6)	31 (0.6)	-
500-999	6 (0.2)	7	8 (0.4)	-
1000 及以上	1	-	14	-
總火災數	518	1205	38214	35
λ	0.6603	0.7734	0.6392	0.6310
M(m ²)	0.5907	0.4543	0.2176	0.322

註：括弧內的數據是超過第一欄受損範圍上線值的火災百分比

* 撒水系統運作的火災數據來源：英國內政部 (Home Office) 1979 和 1984-1987 的火災統計數據

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

(四) 損失及建築物或房間大小

對特定建築物類型的建築物而言，火災的可能損害面積概略是以「乘冪」方程式決定：

$$A_d = c \cdot A_b^d \quad (\text{式 3-3})$$

A_b 是等式 (3-2) 內的建築物總樓地板面積， c 和 d 是特定建築物類型的常數。主要建築物群組的 c 和 d 值是根據調查計算出來的，如表 3-11 所示。等式 (3-2) 和 (3-3) 的乘積，是建築物樓地板面積 A_b 的每年火災風險的估算值。

有證據顯示，大型建築物的火災和小型建築物的火災相比，比較容易在影響整棟建築物之前即被發現並撲滅。因此，大型建築物被破壞的比例可望比小型建築物破壞的比例小，亦即 A_b 值越大，損壞率 (A_d/A_b) 就越小，換言之， d 的值會比 1 小。前面所述的統計和精算研究也支持這個結果。

建築物內有提供防火措施可以降低損害率和 d 的數值。沒有撒水系統的工業建築， A_b 的單位為平方公尺 (m^2)， $c=2.25$ ， d 的值經計算為 0.45。裝有撒水系統、總樓地板面積 $1500 m^2$ 的工業建築的平均損壞經計算為是 $16 m^2$ 。如果假定不論有無安裝撒水系統建築物的初始條件 c 值 ($=2.25$) 都一樣，將這些數字帶入等式 (3-3)，得到配置撒水系統的工業用建築物的 $d=0.27$ 。

表 3-11 火災的可能損害：等式 3-3 之參數

場 所	參數	
	c	d
工業建築		
食品和煙草業	2.7	0.45
化學和相關行業	11.8	0.12
機械工程和其他金屬物品	1.5	0.43
電氣工程	18.5	0.17
汽車	0.80	0.58
紡織	2.6	0.39

木材，家具	24.2	0.21
造紙、印刷和出版	6.7	0.36
其他製造業	8.7	0.38
所有製造業	2.25	0.45
其他場所		
倉儲	3.5	0.52
店面	0.95	0.50
辦公室	15.0	0.00
旅館等	5.4	0.22
醫院	5.0	0.00
學校	2.8	0.37

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

以圖 3-4 中 8000 m^2 的建築物的數值為例，該建築物於火災中的最大損害（最壞情況），如果有安裝撒水設備為 1000 m^2 ，沒有安裝撒水設備則為 2000 m^2 。根據這些數據，在 $c=4.43$ 下，有安裝撒水系統建築物的數值為 0.60，沒有撒水系統的危 0.68。損害與建築物大小的關係列於圖 3-4。該圖適用於 105 m^2 以上的建築物。如果能接受 2300 m^2 的最大損害，在沒有安裝撒水系統下，紡織業的建築物最大可以容許到 10000 m^2 。如果安裝有撒水系統，則可到 33000 m^2 ；如果火災發生時，撒水系統不作動(不可靠度)的或然率為 0.1，則容許面積降低為 28000 m^2 。

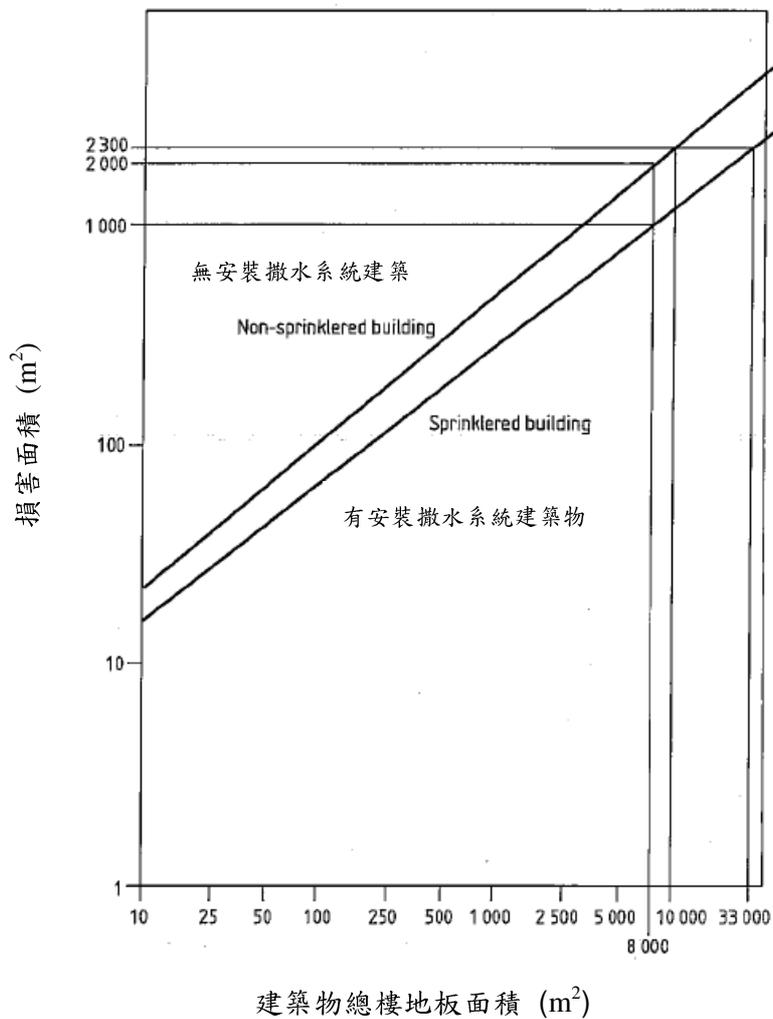


圖 3-4 損害與建築物大小 (以紡織業為例)

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

舉例說明，圖 3-5 中所列 800 m² 區劃的數值。等式 (3-3) 內，有安裝撒水系統和無安裝撒水系統的 d 值為 0.42 和 0.57 下，室內的最大損害面積為 75.1 m² 和 197.4 m²。圖 3-4 為損害與區劃大小的關係，適用 32 m² 以上的區劃。根據該圖，有安裝撒水系統且面積 4000 m² 區劃的損害與面積 500 m² 且無安裝撒水系統區劃的損害相當。若將火勢發展超過「建立燃燒」階段時撒水系統不運作的或然率 (0.1) 加入，則區劃的容許面積減少至 3000 m²。

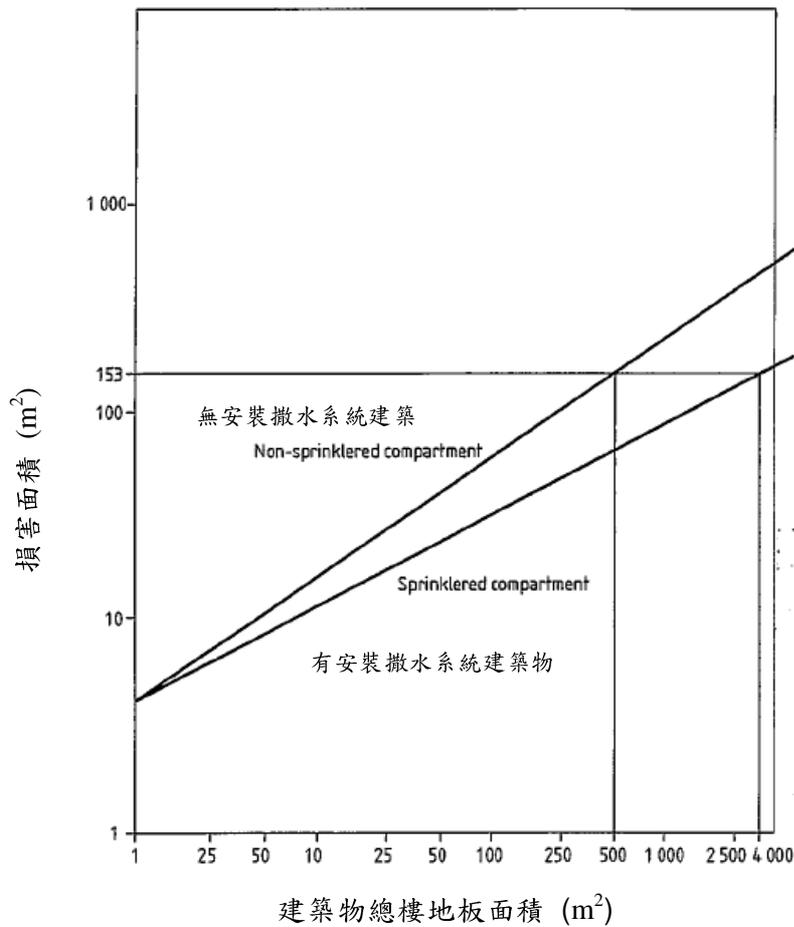


圖 3-5 損害與區劃大小 (以紡織業為例)

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

(五) 財務損失

火災財務損失的計算方法和面積損害類似。從等式 (3-3) 推導出，如果假設受風險之建築的財務價值為 V ，且其內容不平均地分散在樓地板區域，則其火災中的財務損失為 V^d ：

$$V_a = c' V^d \tag{式 3-4}$$

如果 $\bar{V} = (V/A_b)$ 是每平方公尺樓地板面積的價值密度，則：

$$c' = c \bar{V}^{-d}$$

同樣的，等式 (3-2) 可以轉化成：

$$F_v = \alpha' V^b \quad (\text{式 3-5})$$

則：

$$\alpha' = \alpha \bar{V}^{-b}$$

等式 (3-4) 和 (3-5) 和其乘積可用來判定火災保險的「風險保費額度 (risk premiums)」。面積損害也可藉由使用等式 (3-3) 的每平方公尺損失近似值換算成財務損失。可透過適當的或然率分佈，取得 A_d 或 V_d ，在進行更精確的計算。

伍、風險-成本評估模式應用

一、概述

風險-成本評估模型採用事件為基礎之模型建立法，該方法以連續期間和發生的或然率判定事件之類型。以事件為基礎的手法，是以無法補救情況發生的時間，來定義火勢發展的後果和蔓延的情境。這些後果所導致的結果，以暴露在無法補救情況下的人數來表示。因為以 ETA 為基礎之風險分析的複雜性，常使用電腦建立多種情境以相對較短的時間評估。這兩種模型，分別為 CESARE-Risk 和 FIRECAM，皆是以由 Beck 發展，並經 Beck 和 Yung 協力擴展的一套風險和成本評估模型為基礎。

辦公和公寓住宅建築物的風險-成本評估模型，以兩種決策參數評估消防設計的火災安全效能：(1) 生命期望風險值 (expected risk-to-life, ERL) 和 (2) 火災成本期望值 (fire-cost expectation,

FCE)。生命期望風險值 (ERL)為建築物使用期間內的死亡人數，除以建築物的總人口數和建築物的設計使用壽命。火災成本期望值 (FCE) 是總火災成本，包括被動和主動消防系統的資本成本，以及建築物內火災所導致的期待損失。ERL 是建築物內所有可能火災所衍生的風險-生命的量化測量數值，而 FCE 可將特定的火災安全系統設計相關的火災成本量化。要計算 ERL 和 FCE 數值，風險-成本評估模型考量了火勢發展、火災蔓延、煙度動向、人類行為和消防單位反映間的動態互動。利用相互交互作用的子模型數量執行這些計算，詳見圖 3-6，該圖內「子模型」簡稱為「模型」。

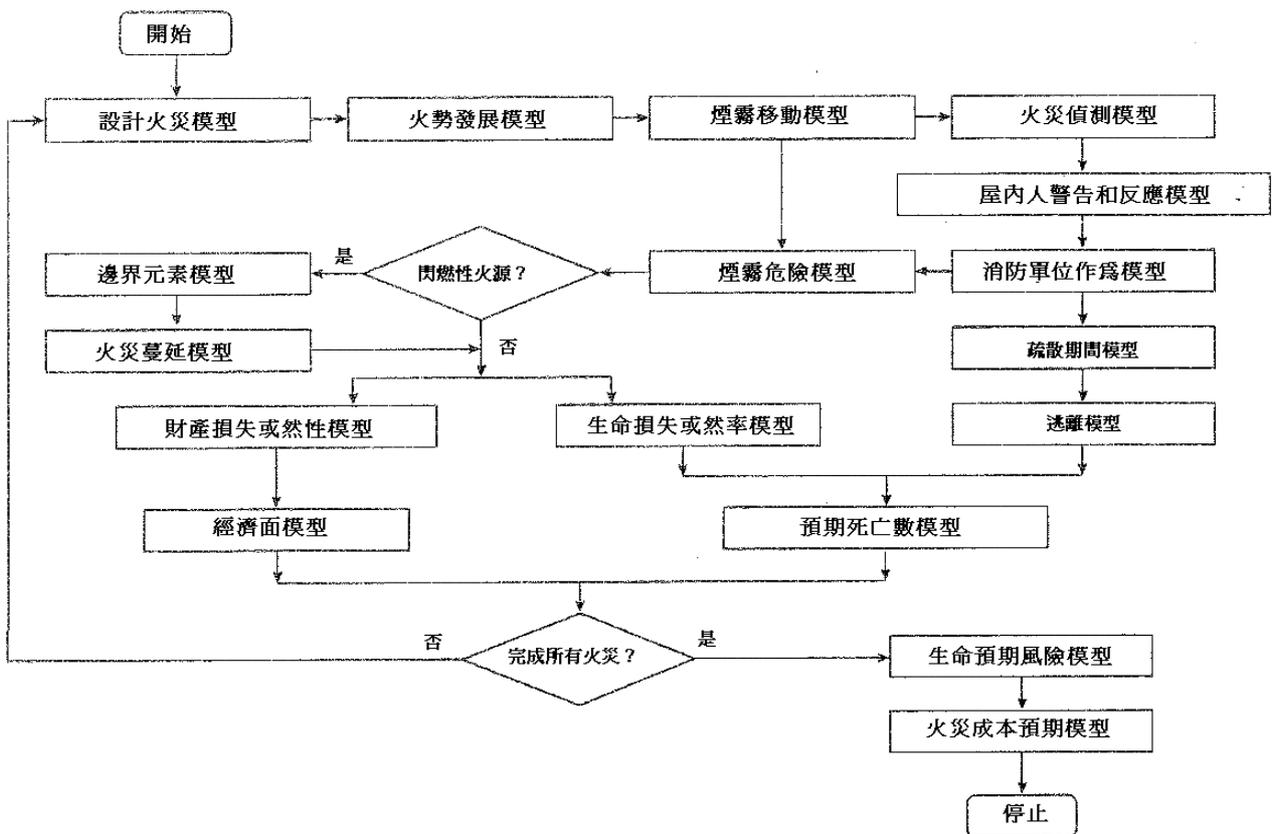


圖 3-6 火災成本評估模型
(資料來源：Meacham, B.J., 2008)

二、子模型 (sub-model)

(一) 設計火災子模型

風險-成本評估模型使用六種起火房間內的設計火災，和後續的火勢和煙霧，來評估辦公和公寓建築物內的生命風險和防護成本。這六種設計火災，概略代表了可能的火災類型：

1. 房間出入門開啟下悶燒
2. 房間出入門關地下悶燒
3. 房間出入門開啟下非閃燃火災火焰
4. 房間出入關閉啟下非閃燃火災火焰
5. 房間出入門開啟下閃燃火災
6. 房間出入關閉啟下閃燃火災

各種設計火災發生的或然率，是依照統計資料假定火災已發生。例如，於加拿大，統計數據顯示所有公寓火種 18% 達到閃燃，並且完整發展成火災，另有 63% 未達到閃燃的火焰型火災，剩下的 19% 是不會達到火焰階段的悶燒。如有安裝撤水裝置，模型就會假定部分和閃燃和非閃燃火災，依照撤水系統的可靠度和效率，不會導致死亡。

風險-成本評估模型評估建築物壽命期間內，各種可能會發生的火災情境的影響。例如，在公寓建築物內，在公寓內某一單位發生了設計火災導致了火和煙的蔓延，且其內的居民未睡著或睡著的情境。因此，火災情境的數量，就是設計火災數、公寓單位數，和居民是否醒著或睡著的綜合結果。

(二) 火勢發展子模型

火勢發展子模型預測了起火房間內六種設計火災的發展。子模型計算燃燒率、室內溫度、和毒性氣體隨著時間的產生和濃度。藉由這些計算，本模型可判定五種重要事件的發生時間 (1) 火災開始的時間，(2) 煙霧偵測器啟動的時間，(3) 撤水啟動的時間，(4) 閃燃的時間，和(5) 火災燃燒的時間。避難期間子模型用前三個偵測時間來評估疏散可用的時間、消防單位作為子模型使用閃燃時間，並整合消防單位的抵達時間，來評估滅火的效率；而煙霧危險子模型使用燃燒時間作為計算最高煙霧危險的一部分。本子模型也預測了質量流動率、溫度和失火房間散發出的熱氣內的一氧化碳和二氧化碳濃度。煙霧移動子模型使用後者來計算煙霧隨著時先向建築物不同部分的蔓延。

(三) 煙霧移動子模型

煙霧移動子模型計算煙霧和有毒氣體隨著時間項建築物其他部分的蔓延。本子模型也計算了樓梯無法使用時的關鍵時間，本時間是建築物內居民被困在建築物內的時間。避難期間子模型會使用這個關鍵時間來計算避難可使用的時間。

(四) 火災偵測子模型

火災偵測子模型，依照火災偵測器、撤水器和居民偵測到的或然率，計算火勢發展子模型下前三個偵測時間的偵測或然率。居民警告和反應子模型使用本資訊計算居民反應的或然率。

(五) 居民警告和反應子模型

居民警告和反應子模型計算火勢發展子模型下前三個偵測時間的

警告和反應時間的或然率。消防單位作為子模型使用本資訊來計算消防單位反應的或然率、逃離子模型使用本資訊製作居民疏散模型。

(六) 消防單位作為子模型

消防單位作為子模型計算消防單位到達的或然率和時間。本子模型也依照火勢發展子模型的閃燃時間和消防單位的抵達時間計算滅火的效率。煙霧危險子模型使用消防單位的抵達和效率的資訊來計算居民的最大煙霧危險，火勢蔓延子模型使用本資訊來計算火勢蔓延的或然率。

(七) 煙霧危險子模型

煙霧危險子模型依照火勢發展子模型和消防單位作為子模型導出的抵達時間和效率，計算對居民的最大煙霧危險。生命損失子模型使用本資訊來計算生命損失的或然率。

(八) 避難期間子模型

避難期間子模型使用火勢發展子模型內的三個火災偵測時間、煙霧移動子模型內的樓梯關鍵時間來計算避難可使用的三種時間長度。逃生子模型使用本資訊來製作居民避難的模型。

(九) 逃生子模型

本子模型依照可使用的避難時間和居民反應或然率，來計算逃離建築物的居民人數和困在建築物內的人數。預期死亡數模型使用本資訊來計算預期的死亡數。

(十) 邊界元素子模型

邊界元素子模型計算邊界元素（牆、地板、門等）面對發展完備、

實際火災時失效的或然率。本子模型內有下列或然率模型：火災嚴重性、溫度分佈、材料熱-機械特性、各限制狀態的失效性能，及失效的總體或然率。

(十一) 火災蔓延子模型

本子模型依照邊界元素失效的或然率，來計算任一隔間內發生完整火災下，火勢蔓延到建築物各部份的或然率。建築物的或然率網路內，節點代表建築物的容積，連結節點的線代表容積間的邊界元素，各連結節點的線並有定義邊界元素失效的或然率。並定義消防單位效率的誤差。財產損失子模型和生命損失子模型使用火勢蔓延或然率的資訊來評估火災損失和生命損失。

(十二) 生命損失子模型

本子模型依照煙霧危險子模型導出的煙霧危險或然率和火勢蔓延子模型導出的火勢蔓延，來計算生命損失或然率。

(十三) 預期死亡人數子模型

本子模型依照生命損失子模型所導出的生命損失或然率和逃離子模型所導出的建築物內受困人數，來計算建築物內的預期死亡數。

(十四) 財產損失子模型

本子模型依照火勢蔓延子模型所導出的火勢蔓延或然率，攔計算預期的財產損失。

(十五) 經濟子模型

經濟子模型依照財產損失和防火系統的資本和維修成本，計算期待的火災成本。

(十六) 期待生命風險子模型

期待生命風險子模型藉由歸納各火災情境的建築物期待死亡數和各情境的或然率，計算生命期望風險值 (ERL)。

(十七) 火災成本期待子模型

火災成本期待子模型，使用防火系統的資本和維修成本、各火災情境的建築物期待死亡數和各情境的或然率，計算火災成本期望值 (FCE)。

三、假設和限制條件

在火災-成本評估內，因為對火災現象和人類行為的複雜性和缺乏足夠的了解，在數學模型製作上採用了特定保守的假設和近似值。並且，火災-成本評估的各面向並未以完整規模的火災實驗或是實際的火災經驗來徹底認證，僅有部分子模型有以實驗或統計資料來驗證。其結果就是，模型所做出的預測，僅能以近似值考量。因此，徹底的生命風險和防護成本不應使用本模型。本模型僅對比較性的生命風險和防護成本評估，和成本效益的火災安全系統設計解決方案來說，可視為可靠。

在很多電腦模型中，模型使用了特定輸入參數來說明各種火災安全設計的特性。這包括了區劃周邊元件的防火時效、煙霧警報和撒水設備的可靠度、房門開啟或關閉的或然率、和消防單位的反應時間。這些參數對已預測風險敏感度，已經過對照且認定為合理。

第三節 火災風險評估範例

壹、邏輯樹分析範例

一、事件樹分析(ETA)

(一) 概述

事件樹分析法經常用來分析具有多種可能情境（內有多個火災或是生命安全系統發生或是受到考量）的複雜狀況。簡言之，事件樹是為了情境和所適用要件之或然率或頻率而制定（參閱前節有關 ETA 討論）。另在「The SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection Analysis and Design」書中，依照下列方法將多種火災情境的火災風險量化：

$$\text{Risk} = \text{Risk}_i = (\text{Loss}_i \times F_i)$$

其中

Risk_i = 情境 i 相關的風險

Loss_i = 情境 i 相關的損失

F_i = 情境 i 發生的頻率

這種關聯和工程風險分析類似，但是在工程風險分析使用「損失(loss)」用語而不是「影響(consequence)」，且總和代表多情境分析中的「總風險」。這種風險分析法，主要是參照或然率風險評估法，大量使用於化學製造業界和核能設施的安全性評估，而在防火工程應用面上也有廣泛的應用。

對於不常發生的結果（例如火災死亡人數很多），且其頻率資料有限

時，事件樹是最有用的。事件樹藉由一系列資料可取得、常發生的次事件產生的邏輯性關連，預測較少發生事件的頻率。

事件樹從初始事件開始（例如起火），產生定義事件的分支和第二層（節點事件）延伸出、形成整個結果範圍的路徑。部份結果會呈現出低風險的事件而非高風險的事件。事件樹的結構從定義導向最終結果的初始事件開始，接著是一系列分支，每一分支導向一連鎖事件的可能結果。

（二）多房間火災蔓延範例

以 3 個房間的情況舉例。圖 3-6 顯示 3 間居室區劃建築物的事件樹。

在上例中，假定 3 間房間內分佈的火災情境頻率 F_i 各不相同，且單一房間內損失的結果是 $C/3$ （例如，火災中 3 間房間內所有的損失結果為 C ）。若一個房間內的火災或然率為 P_c ，並且防止蔓延到第 3 間房間的或然率是 P_f ，所以圖 3-7 所示的整體風險可依照下列估算：

$$\begin{aligned}
 R = & \frac{C}{3}[F_1 P_1 P_c] + \frac{2C}{3}[F_1 P_1 (1 - P_c) P_f] \\
 & + C[F_1 P_1 (1 - P_c)(1 - P_f)] + \frac{C}{3}[F_1 P_2 P_c] \\
 & + \frac{2C}{3}[F_1 P_2 (1 - P_c) P_f] + C[F_1 P_2 (1 - P_c)(1 - P_f)] \\
 & + \frac{C}{3}[F_1 P_3 P_c] + \frac{2C}{3}[F_1 P_3 (1 - P_c) P_f] \\
 & + C[F_1 P_3 (1 - P_c)(1 - P_f)]
 \end{aligned}$$

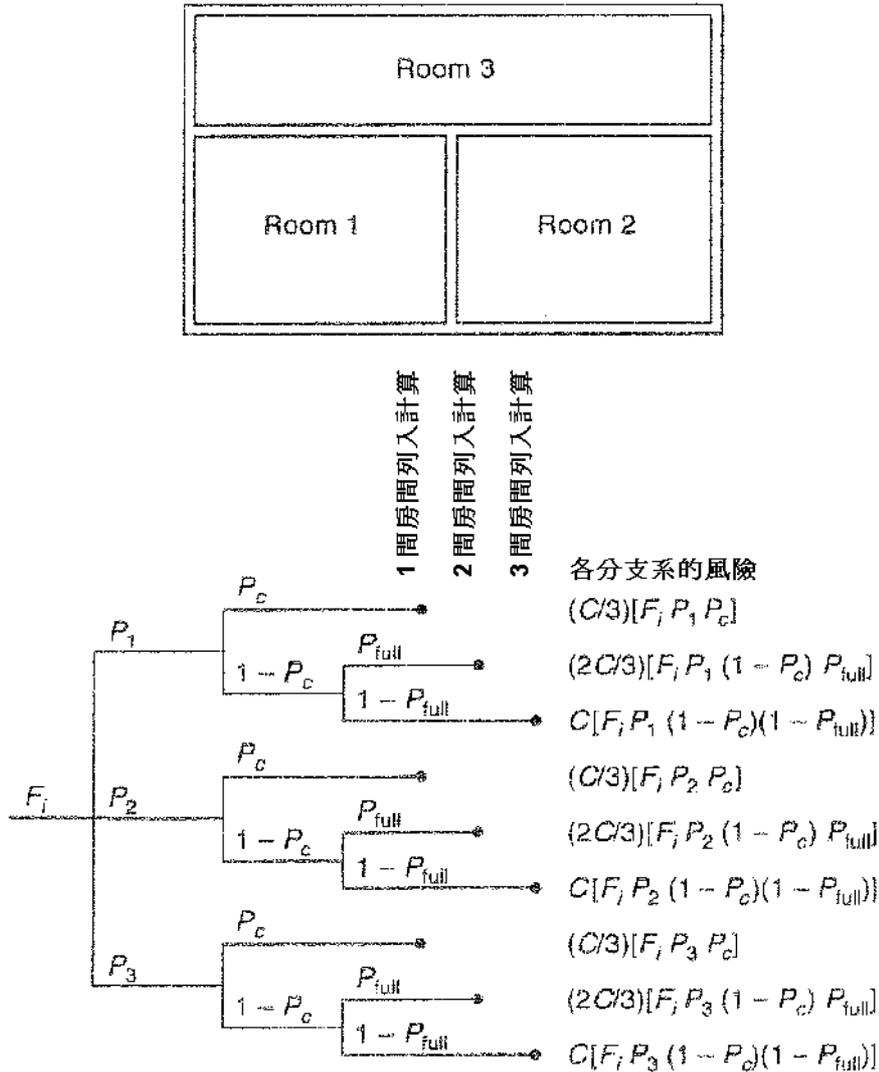


圖 3-7 三間房間火災風險分析之事件樹

(資料來源：Meacham, B.J., 2008)

其中 P_1 、 P_2 和 P_3 分別是火災從 room 1、2 和 3 內開始的或然率。藉由數學計算，上列方程式可以簡化成：

$$R = \frac{CF_i}{3} [3 - 2P_c - P_f + P_c P_f]$$

本例中， P_c 和 P_f 可以解讀為防火區劃的成功或然率。要將這些結果置入前後順序，還要加入數值。如果 P_c 和 P_f 皆為 0.1 (例如火

災擴大 0.9 倍)，風險就為：

$$R = \frac{CF_i}{3} [3 - 2(0.1) - (0.1) + (0.1)(0.1)] = 0.90CF_i$$

如果 P_c 和 P_f 皆為 0.9 (例如火災擴大 0.1 倍)，風險就為：

$$R = \frac{CF_i}{3} [3 - 2(0.9) - (0.9) + (0.9)(0.9)] = 0.37CF_i$$

如果 P_c 和 P_f 為整數 (例如，防火區劃並未失效)，風險就為：

$$R = \frac{CF_i}{3} [3 - 2(1) - (1) + (1)(1)] = \frac{CF_i}{3} \cup 0.33CF_i$$

雖然本例非常簡化，但卻介紹標準 ETA 工程風險分析法的複雜程度。隨著各防火功能列入考量，事件樹狀圖內的分枝數量也會增加。因為通常是以幾何數量增加，分析也會變得複雜。本例也展現出風險架構計算法的一個重要概念。本問題隨附的風險為 CF_i (例如全部設施損失)，也就是假定所有防火功能都失效下的風險。當假定防火功能都發生功效 (例如，防火區劃沒有失效、 P_c 和 P_f 為整數)，隨附的風險就會較低。所以，計算出的風險可能範圍就介於 $0.33 CF_i$ 和 CF_i 之間。防火性能越佳，風險就會越趨近 $0.33 CF_i$ 。

上述例子亦可用於說明火災情境 (所有可能發生的火災情境) 間的差異和設計火災情境 (選來用於設計的火災情境子群組)。例如，例子中火災情境的範圍，可考量多種房間-房間的順序。(例如從 1 號房開始，蔓延到 2 號房，最後到 3 號房)。如果設定完成，可以發現火災共有 15 種路徑蔓延，如下所示：

- (1) 從 1 號房開始，限制在 1 號房。
- (2) 從 1 號房開始，蔓延到 2 號房，但沒蔓延到 3 號房
- (3) 從 1 號房開始，蔓延到 3 號房，但沒蔓延到 2 號房
- (4) 從 1 號房開始，蔓延到 2 號房，然後到 3 號房
- (5) 從 1 號房開始，蔓延到 3 號房，然後到 2 號房
- (6) 從 1 號房開始，限制在 2 號房
- (7) 從 2 號房開始，蔓延到 1 號房，但沒蔓延到 3 號房
- (8) 從 2 號房開始，蔓延到 3 號房，但沒蔓延到 1 號房
- (9) 從 2 號房開始，蔓延到 1 號房，然後到 3 號房
- (10) 從 2 號房開始，蔓延到 3 號房，然後到 1 號房
- (11) 從 3 號房開始，限制在 3 號房
- (12) 從 3 號房開始，蔓延到 1 號房，但沒蔓延到 2 號房
- (13) 從 3 號房開始，蔓延到 2 號房，但沒蔓延到 1 號房
- (14) 從 3 號房開始，蔓延到 1 號房，然後到 2 號房
- (15) 從 3 號房開始，蔓延到 2 號房，然後到 1 號房

若將火勢同時蔓延至第二間房間和第三房間的嚴重威脅納入考量，就另有 3 種情境。這可使情境增加為 18 種，且另要考量諸如房門是開著或關著、房內是否有不同種類的人、以及這些人是否在睡覺等詳細情況。

另應確立消防系統是否無法隨時運作正常。若是，另應確定系統的取得性和可靠性。若有消防系統並可執行預定的功能，系統就視為可取得（例如有安裝排煙系統並可確實作動）。若系統故障，即使是暫

時性的 (例如保養中)，就是不可取得。如果系統有可能無法取得，風險架構分析法就必須將系統的不取得性或然率納入考量。具有設備系統，但功能不可靠，亦被視為不可取得，例如：有安裝排煙系統，但偵測開啟的功能被管路膠帶所遮蔽。該或然率可用於評估系統的可獲得性和可靠性，可獲得性和可靠性是以綜合性的數值呈現或計算得出。

二、失誤樹分析

失誤樹藉由以邏輯性方式回溯到基礎事件，追溯目標最終事件的根本原因。失誤樹是以圖形方式，表示非預期的頂層事件和主要原因事件之間的邏輯關係。

失誤樹的建置從危險性確認階段確認頂層事件開始。將各種原因是事件以正確的順序排列，建構失誤樹。通常是從頂層事件開始回推、確定事件的原因、會導致頂層事件發生的失誤或是條件，接著再從次層事件開始回推，以此類推。持續此程序，直到確認最後一組基礎 (或根本) 事件、失誤或條件為止。接著建立過程圖形的樹狀分枝。最後確定根本事件的或然率。

失誤樹內的事件以邏輯閘 (logic gate) 連接，邏輯閘顯示可等至特定頂層事件的要件事件的組合。主要是所有要件事件一定會發生的「AND」(和) 邏輯閘，和導致某一頂層事件發生，只要一個要件事件發生的「OR」(或) 邏輯閘。頂層事件發生的或然率使用布林代數 (Boolean algebra) 來計算。簡單的失誤樹可直接使用布林代數計算。較為複雜的故障樹需要使用「布林消去 (Boolean reduction) 法」建立「最小割集」(minimum cuts sets) 或「路徑集」(path sets)。圖 3-8 是

使用 AND 和 OR 邏輯閘建立的標準失誤樹。有電腦軟體可供快速建立複雜的失誤樹和使用。

火災偵測適用的簡單失誤樹範例，可參見圖 3-9。該圖的頂層事件是「起火後 5 分鐘內未偵測到火災」。造成頂層事件的原因有 4 個產生資料的根本事件。

通常將根本事件的或然率相加後減去其乘積計算出 OR 邏輯閘。

$$P_{OR} = (P_A + P_B) - P_A P_B$$

AND 邏輯閘則是將根本事件的或然率相乘。

失誤樹的頂層事件通常作為事件樹的條件或然率。

$$P_{AND} = P_A P_B$$

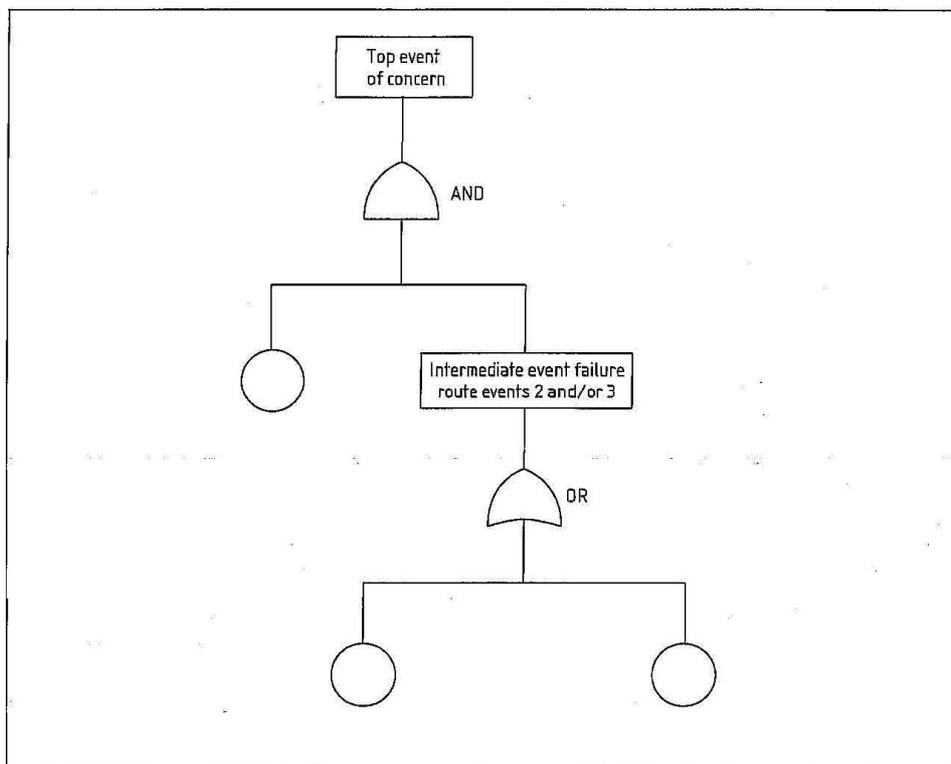


圖 3-8 失誤樹的基本樣式
(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

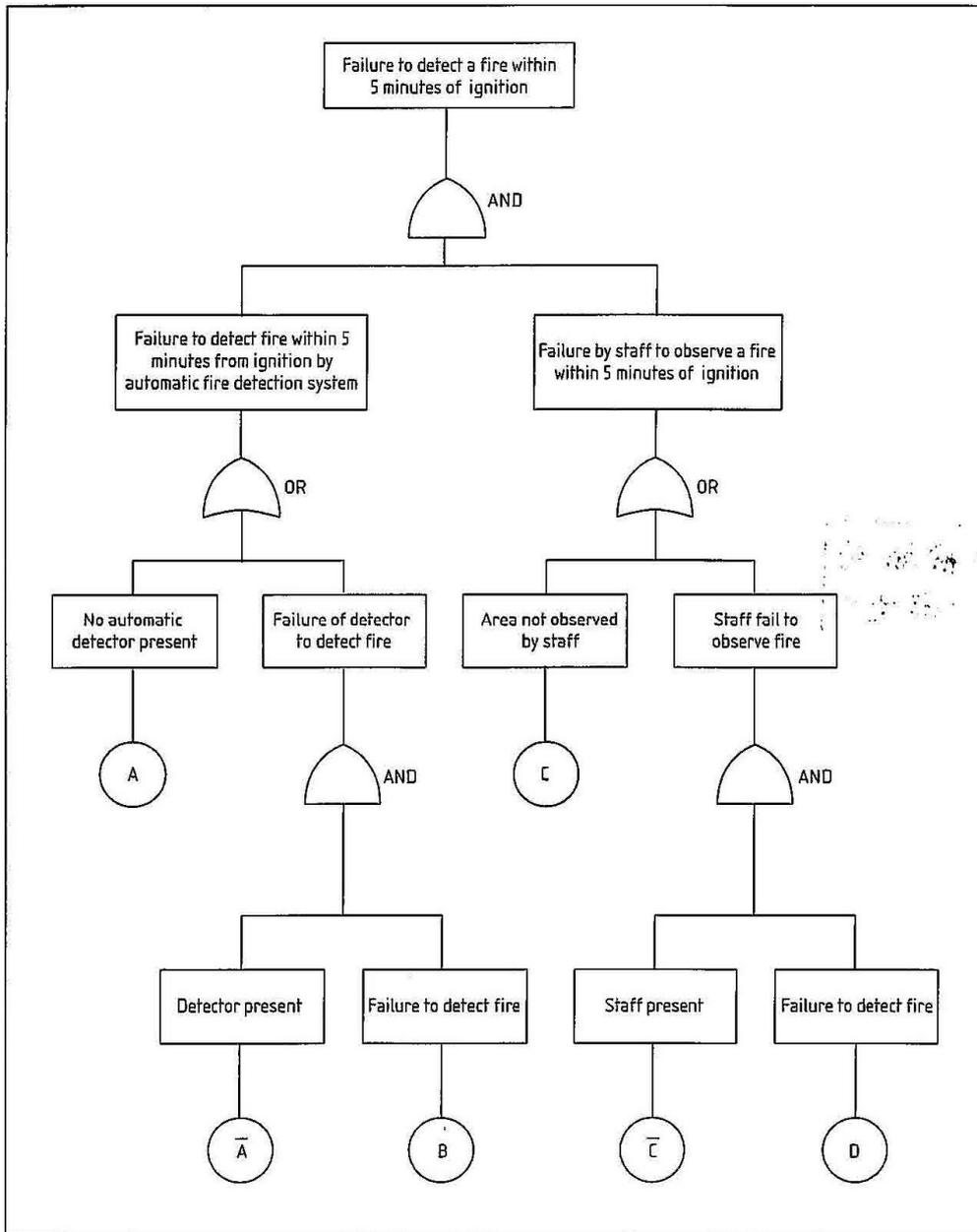


圖 3-9 起火後 5 分鐘內未發現火災的失誤樹

(資料來源：BS PD 7974-7:2003)

貳、危險和風險矩陣

除了 ETA 架構的工程方法外，另有整合危險分析、影響分析和事件可能性判定，且量化較不精確的方法。但這並非意指這些方法較不精確或不適合，而僅是適用上較為簡單。在很多情況下，此種簡化方法，因為觀念可能比較熟悉，較易廣被利害關係人和受影響人所接受。

此類方法就是危險矩陣 (hazard matrix) 或風險矩陣 (risk matrix) 法，在實施上比起傳統的工程風險分析法簡單，判定所有可能後果的重要性比較低。本質上，本方法以量化預期的最嚴重事件的影響，並結合概約的事件頻率來運作，得出結果即為概約的量化風險估算。在本方法內，會判定各種形式損失實際上的最嚴重結果 (生命安全、財產、營業中斷、環境損害等)，並將各種最嚴重結果予以分級。表 3-12 是可供選擇的可能影響分級標準的範例 (亦即極低、低、中和高)。就這些估算來說，事件影響的預測應至少包括所有可能事件結果的 95% 或以上。建議採用 95% 乃是因為此數值已被其他工程領域所接受，且可以使用這個標準與不同的分析相比較。如果要使用其他的準確水準，必須要所有利害關係人同意。如果假定總替代成本為最大影響值，在選取最大影響時常會避免更廣泛的分析。

這種分析必須將頻率予以分級。因為僅以特定情境為準的頻率會產生誤導，所以應該採用超過一定損失 (亦即影響) 的頻率，而非特定情境的頻率。例如，某一情境的頻率為每年 10^{-7} 次，得出不必擔心火災的結論。但是，計算出的火災風險應該呈現各種火災情境的頻率，所以如果有 30 種情境，每種情境火災的頻率為 10^{-7} 次/年，總影

響率為每年 3×10^{-6} 次火災。表3-13為頻率分級的範例。如果所有利害關係人和受影響人同意，就可以隨著影響分級去修改表3-13 內的頻率分級，亦可依照需求加入其他的分級級數。

表 3-12 可能影響分級基準

結果程度	對人之影響	為財產/營運的影響
高 (H)	立即致命、嚴重傷害、立即生命威脅或永久身障	損害 > \$xx 百萬 建築損毀和周邊財產損害
中 (M)	重度傷害、永久身障、住院治療	損害 < \$yy 百萬，主要設施損毀、週邊輕微影響
低 (L)	輕度傷害、無永久身障、不需住院治療	\$xx 百萬 < 損害 < \$yy 百萬，可修復的建築損壞、營運暫停時間較長，週邊無影響
極低 (N)	極低度傷害	建築物需要輕度修復，營運暫停時間較短

(資料來源：Meacham, B.J., 2008)

表 3-13 或然率分級用之頻率基準範例

代碼	說明	頻率等級 (事件發生前的中間時間)	說明
A	預期、預計	$> 10^{-2}$ /年 (< 100 年)	建築物壽命期間可能發生幾次的普通意外
U	可能	$10^{-4} < f < 10^{-2}$ /年 (100~10,000 年)	設備壽命期間未預期會發生的事件。本等級或然率的現象有：UBC 等級地震、百年一次洪災、最強烈的風災等
EU	極有可能	$10^{-6} < f < 10^{-4}$ /年 (10,000~1 百萬年)	建築物使用壽命期間內可能不會發生的意外
BEU	高過極有可能	$< 10^{-6}$ /年 (> 1 百萬年)	所有其他意外

(資料來源：Meacham, B.J., 2008)

一旦算出附帶的影響和其頻率，必須將之轉換成風險評估，繪製出影響-頻率組合圖（如圖 3-10），才算完成估算（方格內的數字乃為標識之用，並非表示其級數）。由利害關係人配對各影響-頻率組合，導出的風險就是附帶的風險。分析完成後，依照利害關係人和受影響人的目標和輸入資料，符合特定風險標準的事件就可認定為「可接受」（例如，利害關係人和受影響人可能會認為中、低、極低的風險事件是可接受的）。

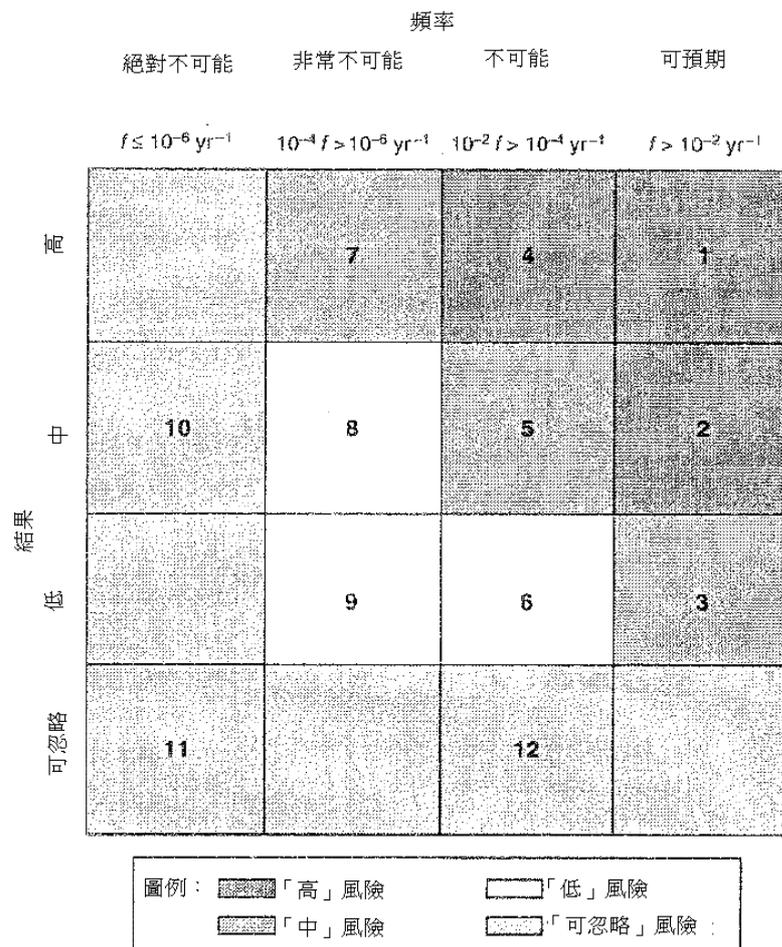


圖 3-10 風險分級矩陣範例

（資料來源：Meacham, B.J., 2008）

叁、建築物火災安全評估法

(The Building Fire Safety Evaluation Method, BFSEM)

另有一項判定危險和影響，並且可判定事件發生可能性的方法，稱之為「建築物火災安全評估法」。BFSEM 是一種結構化架構，可評估用於危險評估或風險分析的建築物火災安全效能。藉由這種方法，使用者可以透過計畫所開發的現有建築或新建築，針對火載量、居民特徵、主動防火特性和結構體特性，評估起火、火勢發展，和火勢蔓延的可能性。藉由網路圖表，使用者可評估起火點區劃內的起火可能性、火勢發展可能性、防火區劃效能、越過起火點區劃的火勢蔓延，和居民安全性。使用者可以依照經驗和工程判斷、或是可取得的統計資料，指定主觀性或然率，來評估各事件發生的可能性（結果就是事件可能發生或不會發生的可能性）。以下兩種 BFSEM 的網路圖範例如圖 3-11 所示。

藉由 BFSEM，可依照像是火載量和配置等列入考量的火災相關因素、諸如自動和手動火災偵測和抑制的防火裝置、防火區劃健全度和緊急系統等，來評估建築物火災安全效能。當想要使用或是必須要使用經驗和判斷時，可以利用精確的計算方法來輔助。在判定撒水頭啟動並成功控制火災的可能性時，舉例來說，必須要評估火勢發展到足以啟動撒水頭的規模能力，並接著要評估撒水頭可以控制火勢的可能性。要評估撒水頭可否控制火勢，還要評估撒水頭系統（或設計）、水的供應及系統運作的可靠度（若有統計資料時，可加入統計資料輔助評估階段）。

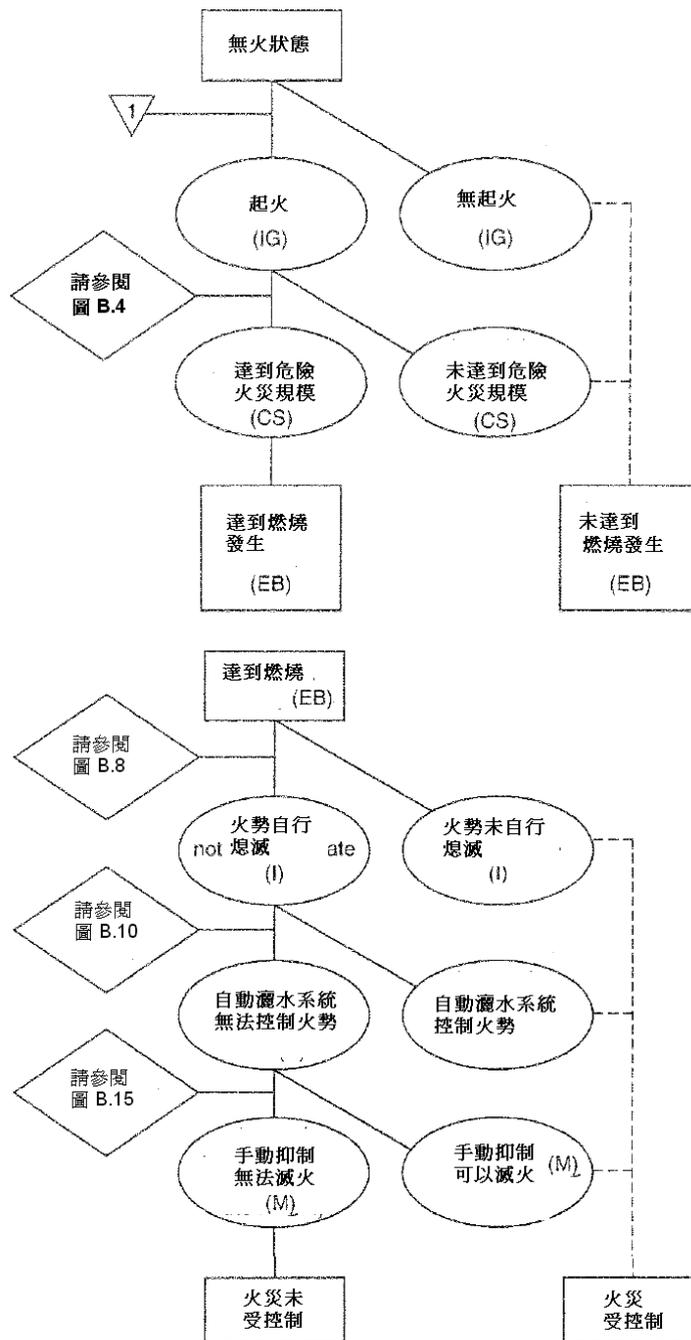


圖 3-11 建築物火災安全評估法(BFSEM)網路圖範例

(資料來源：Meacham, B.J., 2008)

在 BFSEM 內，所有的建築物都是空間和區隔的組合。對於建築物效能分析專用的空間和區隔，有其清楚的定義，該定義為「空間-

區隔配置」(space-barrier organization)。火災本身分成兩個部份：火焰/熱度和煙霧/氣體。要將火災本身分成兩個部份，是因為這兩個部份都會影響建築物、建築物內的居民，和建築物內不同的收納物。

在 BFSEM 內，起火源被定義為可持續自然的物品，特別是當第一個小火焰發生時(閃燒被定義為發生在起火源之前)。如果預期被引燃的物質會持續燃燒(亦即預計不會自行熄滅)，接著就將該火源分類為達到燃燒。(亦即空氣流通足夠且有足夠持續燃燒的燃料)。假定沒有干擾，火勢就會發展至佔據整個空間(亦即房間內所有可燃物表面都在燃燒)。當閃燃發生時，就可認定全部的空間都陷入火海(閃燃是空間內所有火災氣體的快速引燃現象)。整個空間陷入火海後，火勢會繼續延續燃燒，直到燃料用盡或火災抑制系統成功地撲滅火勢。文獻常將火災的這個階段稱之為「後閃燃」或「旺盛期」的火災。

在 BFSEM 內，「防火區隔效能」(Barrier performance) 用來說明防止火災蔓延的區隔的能力，防火區隔的定義，就是可以延緩或是防止火源進入相鄰空間的表面。在火災期間，防火區隔應判定為成功(使相鄰空間內沒有起火)、些許失效(例如，有裂痕)、或是重大失效(例如，房門開啟、出現大洞)。火焰流動的限度，是火勢在熄滅前蔓延的範圍(空間或是建築物內火勢的蔓延皆可使用「限度」一詞)。

藉由將上述的概念套用至下列範圍，就可成功地使用 BFSEM 完成建築物效能評估：預防、火焰熱度分析(透過主動和被動防火系統，將火災限制在建築物內的空間和區隔)、煙霧/氣體分析(建築物可將選定區域內的條件，依照既定的時間長度，維持在穩定狀況下的能力)、

結構架構分析 (結構架構在無法控制的火勢下，避免發生不可接受的變形或是坍塌的能力)，和人群動態分析 (建築物內居民於建築物內移動或是移動到安全位置所需的時間)。

肆、辨識火災情境及設計火災情境範例

以下以一個旅館房間的火災情境為例，簡單說明火災情境之風險。該火災情境如下：有一截煙蒂被丟進了旅館房間紙屑桶中引起失火，火苗在紙屑桶中悶燒了約幾分鐘後，終於引燃了紙屑桶。該紙屑桶燃燒所產生的輻射熱能，足以使得在其旁邊的木頭衣櫃、桌子及塑膠泡棉(PU)製成的沙發椅起火。沙發椅燃燒產生足夠熱能造成房間閃燃。旅館中的客人部分為行動不便者，而且對於疏散路線及程序並不熟悉。旅館內的工作人員則曾經受過火災事件的緊急應變訓練。

一、分析工具

(一) 失效分析法(failure analysis)

首先考慮偵煙系統的設計以及針對其失敗原因加以分析，何以該系統未能如預期的發揮功能。周遭環境的條件，例如熱氣層(thermal layering)、局部熱源，或因中央空調系統所產生的氣流都可能阻礙煙霧飄向偵煙器。當在一樓發生失火時，熱氣層(例如在挑高中庭的高空處)可能足以影響阻礙撤水頭動作。維護保養情況也可能影響偵煙系統發揮預期功能的能力。

接著是將前述各式各樣的可能性當成火災情境，如果這些火災情況在設計時都被採用為設計火災情境，那麼前述的這些失敗可能造成

的影響都須加以考慮。

假使偵測系統被用做一個大系統的子系統，例如在煙控管理系統或用來控制啟動釋放特定的滅火藥劑等，則對於這些失敗的影響，必須加以考慮。如果這些失敗會導致設計目的的失效，則這些失敗的情況必須加以辨識出來，並採取對應一些變通的防止偵測失敗的策略或減少影響的技術。

(二) "如果...會怎麼樣?"分析法

在另一例子，可能會考慮到「在失火過程中，如果某特定的門被打開會怎麼樣？」可能有幾種不同的答案，例如「沒事，因為這扇門和獨立、隔離的空間相連接，未與建築物其他空間相連」，或「有一條逃生路線會被阻塞」，或「火勢會遽然擴大，因為在週遭會有易燃性氣體進入。」如本報告第二章所述，此分析法的產出值通常是表列出可能意外事故或產生不利後果的清單，但未加以排序或顯示量化的影響。

二、火災頻率之應用

在有些應用情況上，起火頻率可能依據建築物的樓地板面積來做基準，表 3-14 為一個三樓建築預期失火頻率的一個決定參考例。在本例中，採用的失火頻率為 0.03 次(火災)/100m²-yr。

表 3-14 某三層樓建築物的起火頻率

	樓地板面積(m ²)	起火頻率(火災次數/年)
1 樓	1,000	0.30
2 樓	1,000	0.30
3 樓	800	0.24
總和	2,800	0.84

在本例中，該建築物的起火頻率為每年 0.84 次。在討論火災頻率時要特別注意，就是頻率只是提供做為不超過門檻值(threshold)的比較，它並不代表某特定事件的絕對頻率。因此所述的頻率是會超過所界定損失的頻率，例如本例一年中所發生的任何大小火災的頻率是 0.84 次/年，假如想要的是超過所界定大小或損失門檻值的火災頻率，如涉及 10 萬以上損失的火災或火焰延燒超越起火房間的火災頻率，則該頻率將會更低。

條件或然率(conditional probability)是先前事件發生後，一事件發生的可能性。例如，如果發生火災，火焰由起燃房間向外延燒的條件或然率是多少？在本例中，條件或然率是 0.1。火災超出單一房間的失火頻率為任何大小的火災頻率乘上條件或然率，亦即 $0.84 \times 0.1 = 0.084$ 。本例中，所期待可能發生涉及 1 或 2 間房間的火災頻率為每 11.9 年 1 次(即 $1/0.084 \text{ year}^{-1}$)。事實上，2 個房間發生失火的時機可能在 11.9 年之後，也可能就在下星期發生。

三、可靠度及可用度(reliability and availability)分析

分別的報告時，用來計算整個系統的失效機率將為

$$P_{\text{fail}} = 1 - P_A \cdot P_R$$

如果所指定的系統之可靠度(P_R)是 0.9，那麼系統的失敗時機將為時間的 10%。如果可使用率(P_A)是 0.95，而可靠度是 0.9，則系統的失敗率將是

$$P_{\text{fail}} = 1 - (0.95 \times 0.9) = 14.5\%$$

四、風險

假設有一套設備可能在每 1000 年內發生一次造成美金 500,000 損失的火災，如果用金錢來表示其風險(R_S)，則可估算如下：

$$R_S = C \times F = (\$500,000 / 1 \text{ fire})(1 \text{ fire} / 1000 \text{ year}) = \$500/\text{year}$$

如果可能發生的死亡機會為每 4 次火災會有 1 人死亡，那麼用人命來表示其風險(R_d)，則可估算如下：

$$R_d = C \times F = (1 \text{ dead} / 4 \text{ fires}) (1 \text{ fire} / 1000 \text{ year}) = 2.5 \times 10^{-4} \frac{\text{dead}}{\text{year}}$$

如果一個人死亡的對等金錢損失估計為美金 1,000,000 元，那麼以金錢來表示整體風險(R_t)，將可估算如下：

$$R_t = R_S + R_d \times K_d = (\$500 / \text{year}) + (2.5 \times 10^{-4} \frac{\text{dead}}{\text{year}})(\$10^6 / \text{dead}) = \$750/\text{year}$$

以上的例子以很簡單的方式來說明風險的觀念。事實上，將會有相當程度的可能後果以及其對應的頻率存在，以及需要相當有關的社會及價值觀的決定因素，在某些情況下，社會與價值之決定會被用來變成為法規，或是影響到非利害關係之族群。

防止發生閃燃現象乃是一種防火保護的方式，它是用來限制火的擴散。這可能採取限制物品的熱釋放率來達成，假設對某一特定的房

間，如果其物品的熱釋放速率在閃燃的門檻值之下時，就不會發生閃燃。假使所設計火災情境是以某單一物件的熱釋放速率低於閃燃的門檻值來設計，那麼當該物件被燃燒波及鄰近可燃物引起燃燒時，防止閃燃的防護策略將會失敗。隱藏在以單一物件為考量的設計火災情境，是對未被論及的二個物件可能在發生火災時被放在一起的機會設定為很低，不必多加考慮。未被探討的假設代表著一種隱含的風險(implied risk)，而該風險是被利害關係者默許為可接受的風險。對隱藏風險的困難，就是就其本質即為隱藏，因此通常未在設計過程中被加以討論。

伍、確認設計火災情境之步驟

前節（本章第一節）曾提及性能設計步驟有關火災風險評估可應用於確認設計火災情境，以下謹簡介一系統化方法，分成 10 項步驟，說明如何使用事件樹圖及風險分級找出具代表性的火災情境。各步驟如下：

1、步驟 1—火災的地點

找出火災發生空間的特性、以及該空間內各地點的特性。選定建築物內會造成最嚴重火災情境的地點。

2、步驟 2—火災的種類

基本上分為兩個小步驟：確認初期引燃的特性和火災確實成立時第一階段的特性。從火災意外統計資料，確定最有可能的火災情境類型和結果最嚴重的火災情境。

3、步驟 3-潛在的火災危險性

確認應該要考量後果嚴重的關鍵情境。後果較嚴重的情境可以取代性質相同、但危險性較低的情境。

4、步驟 4-影響火災的系統和設備

找出可能對於火災歷程或是危險條件擴大有顯著影響的建築物和火災安全系統設備。

5、步驟 5-人的反應

確定會對火災過程有重大影響的內部人員的習性和反應特性。

6、步驟 6-事件樹

畫出可呈現各判定為重要變數可能狀態的事件樹。事件樹內的路徑代表要納入考量的火災情境。事件樹從初始狀態（例如起火）開始畫起，接著畫出分岔，接著再加入代表下一變數可能狀態的分枝。反覆本過程，直到所有可能的狀態都有畫進事件樹為止。

7、步驟 7- 考量或然率

使用現有的可靠性資料和（或）工程判斷，評估各狀態發生的或然率。或然率都會標記在事件樹上。將事件樹內連到某一情境的所有或然率相乘，即可計算該情境的相對或然率

8、步驟 8- 考量結果

使用工程判斷評估各情境的後果。後果應該要以適當的方式表示，例如死亡數、受傷數或是火災損失。估計應該力求保守並且應考量隨著時間變化的影響。

9、步驟 9 – 風險分級

依照相對的風險將情境予以分級。將計算出來的結果(如步驟 8) 乘上情境發生的或然率 (如步驟 7)，就是相對風險。

10、步驟 10 – 最終選定和記錄

將風險等級最高的火災情境予以量化分析。選取的情境要能代表累計風險(即所有情境的風險總和)的最主要部份。就嚴密的分析來說，必須要能分析事件樹中所有的情境。有選定分析的情境記錄，就成為設計火災情境。

一、多功能室內體育場內火災之範例

(一)建築物及其用途之說明

建築物為室內體育場，整個賽場區和面對賽場區的看台區皆裝有排煙設備。雖然本建築物主要用於體育活動，但也可以供其他用途使用。例如，體育場可以用來開演場會、宗教或是修道儀式、集會、貿易展，甚至是摩托車特技表演。為了多用途使用，下層看臺的座椅可以收起來。本建築物內也有其他帶有火災風險的區域，例如零售攤 (外包經營) 或是具有大量可燃物的儲藏區域。

(二)10 步驟程序

1、步驟 1 – 火災的地點

選定建築物內會造成最嚴重火災情境的地點。

2、步驟 2 – 火災的種類

在本範例中，步驟 1 和 2 合併實施。雖未蒐集火災意外統

計資料，但是，依照建築師或其他火災安全從業人員的建議意見，決定火災情境和地點。

(1)情境 1—賽場區發生火災，情況為體育活動

在本情境中，人員的數量很大。觀眾位在相對於起火點較高的樓層上，並且暴露在較濃的煙層。收合式座椅有使用中和未使用中兩種狀況。火災監控措施為有配置和沒有配置兩種狀況。基本上，火載量、火勢擴大速率和最大熱釋放率 (HRR) 都有上限。

(2)情境 2—賽場區起火，狀況為非體育活動的活動(例如搖滾演唱會或摩托車特技表演，但是觀眾依舊是坐在看台上)

觀眾的狀況和情境 1 類似，但是火載量和火勢擴大程度大幅升高。並且，搖滾演唱有使用到戲劇效果的「煙幕」，因此自動火警偵煙裝置被關閉。火災監控措施為有配置和沒有配置兩種狀況。

(3)情境 3—看台座位區有觀眾時發生火災

例如內部人員狀況和情境 1 或 2 相同，但是起火點不同。座位的材質有可能是難燃和非難燃兩種材料，所以可燃物特性可能包括或不包括有限的火載量、火勢成長和熱釋放率峰值。另外，也要注意火災會引燃座位下的垃圾。

(4)情境 4—賽場區起火，狀況為單一活動(例如貿易展而非體育活動，看台區的座位沒有人)

在此情境內，內部人員赴在較低。基本上，內部人員都處

在同一程度的火災下，表示可容許的蓄煙量的深度較大（假定熱通量不高）。內部人員的移動能力也比前面的情境要高，但要找到出路很困難，內部人員可能被看板遮住視線，並且可能看不到避難指示標誌。本情境的火載量、火勢擴大和最大熱釋放率都比情境 1 要高。

(5)情境 5—賽場區和觀眾區以外的人員聚集處發生火災(例如販賣區或是休息區)

在本情境中，設計火災的火勢擴大可能很高也可能不高，但是火載量和最大熱釋放率通常比賽場區起火情境要低。但是，根據空間和防火區隔，但是在本情境中，因為販賣區和休息區通常都在看台層下方看台出入口的附近，可能會導致從賽場區的緊急疏散發生阻塞現象。

(6)情境 6—儲藏區火災

此類儲藏空間通常都位在賽場區附近，並且有大量的可燃物。可燃物足以造成導致快速蔓延的嚴重火災和非常高的最大熱釋放率。儲藏區通常都有很大的門，連接讓升降機上下貨的區域。這種大型的出入口通常比小型出入口更難以阻絕火勢。

在本階段，上列確認的各情境會互相取代。如果座椅結構有使用難燃材料，情境 3 的後果嚴重性就會小於情境 1 和 2。如果搖滾演唱會的場內容留人數（影響生命安全結果最重要的參數）和運動活動相當，則目前搖滾演唱會的危險性較高，

因此可以認定為情境 2 的設計可以取代情境 1 的設計。

3、步驟 3-潛在的火災危險性

考量後果嚴重的關鍵情境，如果這些情境中有任一情境的後果比之前判定的情境的後果嚴重，必須要將之納入分析組。後果較嚴重的情境可以取代性質相同、但危險性較低的情境。基本上，只要篩選統計資料庫，就可以找出這種其他後果較嚴重的火災，但是要透過和專家的討論。因為步驟 1 和 2 沒有使用火災意外統計資料，所以沒有找出後果更嚴重的情境，但是和火災安全相關人員諮談後，應可以找出類似的火災情境。

4、步驟 4-影響火災的系統和設備

找出對於火災歷程或是危險條件擴大有顯著影響的建築物和火災安全系統設備。假設主動、被動和避難疏散系統一應俱全。如果缺少任一系統，必須要在事件樹內將系統成功作動的可能性設定為零。

(1)主動式系統

假設有全面的自動撒水防護裝置、全面的自動煙霧探測系統（不含廚房、公共廁所）和與消防單位連線的自動排煙（自然或強制排煙）系統。警報系統會啟動排煙、自動關閉防火門等。

(2)被動式系統：

假設下列區域有設置防火區劃：看台區和賽場區是一主要的防火區劃(總和面積可能超過 3,000m²，依規定可不按樓板

面積予以區劃，可當成一大區)、大廳/接待區、販賣和休息區、專用的疏散路徑(水平和垂直)、儲藏區、工作人員專用區等各為防火區劃。

(3)逃生系統

假設有適當的標示、緊急照明、專司疏散的人員和語音通訊系統(EWIS 緊急警報通訊系統)。

5、步驟5-內部人員的反應

確定會對火災過程有重大影響的內部人員的習性和反應特性。某些區域內的人員可以將火勢撲滅(事件樹中的初期快速撲滅)。假設在疏散時，及時有消防編組人員出現協助。當然，內部人員也可能會發現火災、把門打開等。

6、步驟6-事件樹

本範例之事件樹如圖 3-12 所示，但該圖並未將所有情境予以量化。第一個要考量的事件就是火焰型火災(flaming fire)的引燃。因此，可以很確定地認為，在體育場這種設施內，悶燒型火災(smoldering fire)不能和火焰型火災等同論之。

火災從賽場區和看台區開始的或然率為 P_1 ，在販賣部或休息區(零售區)發生的或然率為 P_2 ，在儲藏區發生的或然率為 P_3 。假設只有這些地方會發生火災，所以或然率 $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ 。

在火災的初期階段，火災會被緊急應變小組撲滅。賽場和看台區起火而被緊急應變小組撲滅的條件性或然率為 $P_{1,1}$ 。而火災沒有被緊急應變小組撲滅的或然率為 $P_{1,2} = 1 - P_{1,1}$ 。針對

零售和儲藏區緊急應變小組的滅火效率設定類似的條件性或然率。如果緊急應變小組有效滅火，火災情境的後續發展就不緊急（並且就生命安全性來看，後果的嚴重性也很低）。

如果緊急應變小組沒有將火勢撲滅，而是稍後被撒水系統撲滅。賽場區和看台區起火而未被緊急應變小組撲滅、而是被撒水系統撲滅的條件性或然率為 $P_{1,2,1}$ 。而火災沒有被撒水系統撲滅的條件性或然率為 $P_{1,2,2} = 1 - P_{1,2,1}$ 。針對零售和儲藏區撒水系統的滅火效率設定類似的條件性或然率。如果撒水系統有效滅火，火災情境的後續發展就不緊急（並且就生命安全性來看，後果的嚴重性也很低）。

如果在賽場區和看台區發生的火災，沒有被緊急應變小組撲滅也沒有被撒水系統撲滅，危險狀態會被排煙系統控制。在火災沒有被緊急應變小組或撒水系統撲滅的情形下、排煙系統有效運作的條件性或然率為 $P_{1,2,2,1}$ 。排煙系統沒有有效運作的條件性或然率為 $P_{1,2,2,2} = 1 - P_{1,2,2,1}$ 。如果排煙系統有效運作，火災情境的後續發展就不緊急（並且就生命安全性來看，後果的嚴重性也很低）。如果火災是在零售或是儲存區發生，則排煙系統可能就不會運作。

如果緊急應變小組或撒水系統都沒有將火勢撲滅、排煙系統也沒有有效運作，則賽場和看台區的人員就會受到威脅，但是如果防火區劃阻止煙霧進入零售區，則在零售區的人員仍為安全。在緊急應變小組、撒水系統、排煙系統也沒有有效運作

的情形下，防火區隔有效運作的條件或然率 $P_{1,2,2,2,1}$ ，防火區隔無法有效運作的條件或然率為 $P_{1,2,2,2,2} = 1 - P_{1,2,2,2,1}$ 。

火災引燃	火災位置	第一撲滅時間	撤水系統撲滅	通風系統作動有效	防火區劃設備作動有效	火災情境		
火焰引燃	賽場區和看臺 P1	是 P1,1				S1 PS1		
		否 P1,2	是 P1,2,1				S2 PS2	
			否 P1,2,2	是 P1,2,2,1				S3 PS3
		否 P1,2,2,2		是 P1,2,2,2,1				S4 PS4
				否 P1,2,2,2,2				S5 PS5
	零售區 P2	是 P2,1				S6 PS8		
		否 P2,2	是 P2,2,1				S7 PS7	
			否 P2,2,2	是 P2,2,2,0,1				S8 PS8
		否 P2,2,2,0,2					S9 PS9	
							S10 PS10	
		儲藏區 P3	是 P3,1				S11 PS11	
			否 P3,2	是 P3,2,1				S12 PS12
				否 P3,2,2	是 P3,2,2,0,1			
否 P3,2,2,0,2								

圖 3-12 多用途室內運動場火災範例之事件樹

零售區內，如果火勢沒有被緊急應變小組或是撒水系統撲滅、且零售區內的人員受到威脅、但是賽場和看台區的人員仍為安全且不需要通過零售區疏散、且防火區隔有效地阻止煙霧從零售區進入賽場和看台區。在火災沒有被撒水系統或是緊急應變小組撲滅的情形下，防火區隔有效作用的條件性或然率為 $P_{2,2,2,0,1}$ 。防火區隔未有效作用的或然率為 $P_{2,2,2,0,2} = 1 - P_{2,2,2,0,1}$ 。

儲藏區內，如果火勢沒有被緊急應變小組或是撒水系統撲滅、且儲藏區內的人員受到威脅、但是賽場和看台區或零售區的人員仍為安全，且防火區隔有效地阻絕煙霧進入賽場和看台區或零售區。在火災沒有被撒水系統或是緊急應變小組撲滅的情形下，防火區隔有效作用的條件性或然率為 $P_{3,2,2,0,1}$ 。防火區隔未有效作用的或然率為 $P_{3,2,2,0,2} = 1 - P_{3,2,2,0,1}$ 。

7、步驟 7-考量或然率

使用現有的可靠性資料和（或）工程判斷，評估各狀態發生的或然率。或然率都會標記在事件樹上。將事件樹內連到某一情境的所有或然率相乘，即可計算該情境的相對或然率。

在選擇設計火災情境時，估算各事件發生的或然率已經足夠。可以使用統計資料或是工程判斷（通常根據統計資料判斷）來評估。本事件樹內選取的事件都是根據工程判斷。

要畫出事件樹，使用下列條件性或然率數值。上列三個地點起火的或然率分別設為：

- $P_1 = 0.20$ (賽場區和看台區)。

- $P_2 = 0.60$ (零售區)。
- $P_3 = 0.20$ (儲藏區)。

因為在本範例，設計火災情境是按每一地點分開獨自選擇，所以設計火災情境的選定與這些數值的選擇並不相關。

緊急應變小組成功撲滅的或然率為

- $P_{1,1} = 0.5$ (在賽場區和看台區為中等)。
- $P_{2,1} = 0.8$ (零售區隨時有人，故為優等)。
- $P_{3,1} = 0.1$ (儲藏區因為沒人，所以最差)。

緊急應變小組沒有成功撲滅的或然率為 $P_{1,2} = 0.5$ 、 $P_{2,2} = 0.2$ 和 $P_{3,2} = 0.9$ 。

撒水裝置有效作動的或然率為下列：

- $P_{1,2,1} = 0.5$ (賽場和看台區的屋頂很高，有很多潛在的火災規模並非大到可以啟動撒水系統)；
- $P_{2,2,1} = 0.95$ (零售區因為天花板較低，故一般都是這種數值)。
- $P_{3,2,1} = 0.95$ (同樣地，儲藏區因為天花板較低，所以也是這樣的數值)。

撒水系統沒有成功撲滅的或然率為 $P_{1,2,2} = 0.5$ 、 $P_{2,2,2} = 0.05$ 和 $P_{3,2,2} = 0.05$ 。

賽場區和看台區排煙系統成功作動的或然率為 $P_{1,2,2,1} = 0.7$ 。(根據工程判斷定之)

排煙系統沒有成功作動的或然率為 $P_{1,2,2,2} = 0.3$ 。

假設賽場和看台區和零售區之間有自動關閉的閘門，則防火區劃設備有效作動的或然率為 $P_{1,2,2,2,1} = 0,9$ (假設閘門是用來防止煙霧蔓延，而非防止火勢，因為大範圍空間比較不會發生閃燃)。防火區劃設備無法有效作動的或然率為 (無法防止煙霧進入零售區) $P_{1,2,2,2,2} = 0.1$ (如果賽場區和看台區與零售區之間沒有閘門，或然率為 $P_{1,2,2,2,1} = 0$ ， $P_{1,2,2,2,2} = 1.0$)

假設賽場區和看台區與零售區之間有自動關閉閘門，則防火區劃設備有效作動之或然率為 $P_{2,2,2,0,1} = 0.8$ (閘門必需要能防止煙霧和火勢擴散，因為零售區內閃燃後的火勢會破壞閘門)。依照推測，閘門的完整度應該要能支持一段時間。此類防火區劃設備無法有效作動的或然率為 $P_{2,2,2,0,2} = 0.2$ 。

假設儲藏區和賽場區和看台區、零售區之間有自動關閉閘門，則防火區劃設備有效作動的或然率為 $P_{3,2,2,0,2} = 0.8$ 。此類防火區劃設備無法有效作動的或然率為 $P_{3,2,2,0,2} = 0.2$ 。

將事件樹內連到某一情境的所有或然率相乘，即可計算該情境的相對或然率。例如，如果發生火災，情境 S5 的條件或然率為：

$$P_{S5} = P_1 \times P_{1,2} \times P_{1,2,2} \times P_{1,2,2,2} \times P_{1,2,2,2,2} = 0.2 \times 0.5 \times 0.5 \times 0.3 \times 0.1 = 0.0015.$$

8、步驟 8 – 考量後果

使用工程判斷評估各情境的後果。後果應該要以適當的方式表示，例如死亡數、受傷數或是火災損失。估計應該力求保守並

且應考量隨著時間變化的影響。

在選定設計火災情境時，必須要使用工程判斷評估各情境的結果。在本範例，結果以受到威脅的人數來表示。這個數字並非完全地是為了時間進程計算，例如隨著人員逃離所需時間與危險條件發生的相對時間。這種程度評估是在選定設計火災情靜候，評估危險性時評估。

本範例乃是假設賽場區和看台區的容留人員數為 2,000 人、零售區為 400 人、儲藏區為 10 人。

(1)從賽場和看台區發生的火災-情境 S 1~S5

A.情境 S1 的設定結果：

火勢很快地被緊急應變小組撲滅，對於很少經歷火災的人只有些許威脅。情境 1 的結果很輕微，所以後果的數值設定為 $C_{S1}=0$ ，表示結果為可以接受，並且幾乎是一定會發生的。

B.情境 S2 的設定結果：

火災沒有被緊急應變小組撲滅，但是在稍後被撒水系統撲滅。同樣地，對於很少碰過火災的人只有些許威脅。情境 2 的結果很輕微，所以後果的數值設定為 $C_{S2}=0$ (表示結果為可以接受並且幾乎是一定會發生的)。

C.情境 S3 的設定結果：

火災沒有被緊急應變小組或是撒水系統撲滅。但是，排煙系統有正確運作，所以對於很少碰過火災的人只有些許威

脅。但是，假設情境 3 的結果是賽場區和看台區有 1% 的人受到威脅，所以 $C_{S3} = 0.01 \times 2000 = 20$ 。

D.情境 S4 的設定結果：

火災沒有被緊急應變小組或是撒水系統撲滅。排煙系統也沒有正確運作。但是，防火區劃設備使煙霧不能進入零售區。假設原本就在賽場區和看台區的人有 50% 受到威脅。情境 4 的結果為 $C_{S4} = 0.5 \times 2000 = 1000$ 。

E.情境 S5 的設定結果：

火災沒有被緊急應變小組或撒水器撲滅、排煙系統沒有正確運作、防火區劃設備也無法阻擋煙霧進入零售區。假設原本就在賽場區和看台區的人有 50% 受到威脅、原本在零售區的人有 10% 受到威脅。情境 5 的結果為 $C_{S5} = 0.5 \times 2000 + 0.10 \times 400 = 1040$ 。

(2)從零售區發生的火災-情境 S6~ S9

A.情境 S6 的設定結果：

火災快速地被緊急應變小組撲滅，所以只有些許不熟悉火災的人受到威脅。情境 6 的結果很輕微，所以後果的數值設定為 $C_{S6} = 0$ (表示結果為可以接受並且幾乎是一定會發生的)。

B.情境 S7 的設定結果：

火災沒有被緊急應變小組撲滅，但是在稍後被撒水系統所撲滅。同樣地，對於很少碰過火災的人只有些許威脅。假

設情境 7 內只有零售區內 0.5% 的人受到威脅，情境 7 的結果為 $C_{S7} = 0.05 \times 400 = 2$ 。

C.情境 S8 的設定結果：

火災沒有被緊急應變小組或撒水器撲滅，但是防火區劃設備阻擋了煙霧進入賽場區和看台區。假設賽場區和看台區的人不需要穿過零售區疏散，可以設定原本在賽場區和看台區的人有 0% 受到威脅、原本在零售區的人有 50% 受到威脅。情境 8 的結果為 $C_{S8} = 0,50 \times 400 = 200$ 。

D.情境 S9 的設定結果：

火災沒有被緊急應變小組或撒水器撲滅，防火區劃設備也無法阻擋煙霧進入賽場區和看台區。假設原本就在賽場區和看台區的人有 25% 受到威脅，原本在零售區的人有 50% 受到威脅。情境 9 的結果為 $C_{S9} = 0,25 \times 2000 + 0,50 \times 400 = 700$ 。

(3)從儲藏區發生的火災-情境 S10 ~S13

A.情境 S10 的設定結果：

火災快速地被緊急應變小組撲滅，並且沒有任何不熟悉火災的人受到威脅。情境 10 的結果很輕微，所以後果的數值設定為 $C_{S10} = 0$ (表示結果為可以接受並且幾乎是一定會發生的)。

B.情境 S11 的設定結果：

火災沒有被緊急應變小組撲滅，但是在稍後被撒水系統撲

滅。同樣地，對於很少碰過火災的人只有些許威脅。情境 11 的結果為 $C_{S11} = 0$ (表示結果為可以接受並且幾乎是一定會發生的)。

C.情境 S12 的設定結果：

火災沒有被緊急應變小組或撒水器撲滅。但是，防火區劃設備阻擋了煙霧從儲藏區進入賽場區和看台區或零售區。情境 12 的結果為 $C_{S12} = 0$ (表示結果為可以接受並且幾乎是一定會發生的)。

D.情境 S13 的設定結果：

火災沒有被緊急應變小組或撒水器撲滅、防火區劃設備也無法阻擋煙霧進入賽場區和看台區或零售區。假設原本就在賽場區和看台區的人有 25% 受到威脅、原本在零售區的人有 25% 受到威脅。情境 13 的結果為 $C_{S13} = 0.25 \times 2000 + 0.25 \times 400 = 600$ 。

9、步驟 9 – 風險分級

依照相對的風險將情境分級。將計算出來的後果(如步驟 8) 乘上情境發生的或然率 (如步驟 7)，就是相對風險。計算各情境相關風險的或然率倍數結果。如表 3-15 所示，表內有各火災情境的評估風險和完整的分級。

表 3-15 多用途室內運動場不同火災情境之風險分級

火災情境	或然率	後果	風險	等級
S1	0.10	0 (低)	0 (低)	4
S2	0.05	0 (低)	0 (低)	4
S3	0.035	20	0.70	3
S4	0.0135	1,000	13.5	1
S5	0.0015	1,040	1.56	2
S6	0.48	0 (低)	0 (低)	3
S7	0.114	2	0.228	2
S8	0.0048	200	0.96	1
S9	0.0012	700	0.84	1
S10	0.02	0 (低)	0 (低)	2
S11	0.171	0 (低)	0 (低)	2
S12	0.0072	0 (低)	0 (低)	2
S13	0.0018	600	1.08	1

10、步驟 10—最終選定和記錄

將風險等級最高的火災情境量化分析。選取的情境要能代表累計風險（所有情境的風險總和）的最主要部份。對精密的分析來說，必須要能分析事件樹中所有的情境。有選定分析的情境記錄，就成為設計火災情境。

(1)從賽場區和看台區發生的火災：

情境 S4 的風險最高，並且後果最嚴重。應該針對這種損害極大的火災設計。有兩種可能的設計火災情境需要考慮：

- A. 一個火勢成長至自動撒水設備開始作動前的情形。此情形能夠確保適當的撒水系統之設計效能。
- B. 一個是自動撒水設備沒有作動下火勢擴大情形（亦即撒水設備失效）。此情形能夠確保適當的排煙系統之設計效能。

(2)從零售區開始的火災-情境 S9：

情境 S8 和 S9 的風險相當並且結果都很嚴重。應該針對這種損害極大的火災設計。有兩種可能的設計火災情境需要考慮。

- A.一個火勢成長至自動撒水設備開始作動前的情形。此情形能夠確保適當的撒水系統之設計效能。
- B.一個是自動撒水設備沒有作動下火勢擴大情形（亦即撒水設備失效）。此情形能夠確保適當的防火阻隔之設計效能。

(3)從儲藏區開始的火災-情境 S13

情境 S13 的風險最高，並且後果最嚴重。應該針對這種損害極大的火災設計。有兩種可能的設計火災情境需要考慮，特別是要保有備援時：

- A.一個火勢成長至自動撒水設備開始作動前的情形。此情形能夠確保適當的撒水系統之設計效能。
- B.一個是自動撒水設備沒有作動下火勢擴大情形（亦即撒水設備失效）。此情形能夠確保適當的防火阻隔之設計效能。

(三)觀察

上述事件樹方法不僅可用來選定設計火災情境，也可以讓設計人員確保所有火災安全設計功能都能符合事件樹內的或然率和結果。設計人員必須要確保結果（事件樹內未列出，並以受威脅的人數表示）和實際相符，才能提供足夠的偵測和警報系統。事件樹也可用用衡量哪裡需要改善，例如可以藉由會提高或然率和（或）降低結果的措施，分析改進消防安全措施所帶來的影響。

二、單一物品儲存倉庫火災之範例

（一）建築物及其用途

倉庫內的火災，因為內部物品價值的集中和因為分布鏈中重要的連結被取消，會導致重大損失。因為內部物品可燃物的空間配置，使得各可燃物的通風和空間的熱量堆積達到最佳的狀態，所以火勢快速擴大，造成重大損失。因於，很多倉庫都倚賴自動撒水系統的保護（設於天花板及通常會設在用來存放貨品的貨架結構內）。此外，只有工廠的自衛消防應變小組才會使用消防栓水管以手動方式滅火。如果火災在極早期階段被發現，並且尚未擴大時，消防栓水管對於儲存的物品可以有效滅火。該場所之火災安全目的是在保護財產和營業不中斷。

本範例的假設條件為：

- 倉庫為不可燃建築物。
- 所有存放物品只有一種，貨架結構為五層。

—由手動昇降車拿取貨品 (倉庫並非自動化)

—採用控制模式的撒水裝置(符合 ISO 13387-7 規定)保護

(二)10 步驟程序

本範例為了更好的分析效果，將步驟 1 和 2 的順序互換。

1、步驟 1—火災的種類

從要分析的建築和內部人員物品適用的火災意外統計資料中，找出最有可能的火災情況類型和最有可能發生嚴重後果的火災類型。

(1)依據美國工廠互助保險集團資料「542 FM Global storage losses, 1992-2000」，判定最有可能發生的火災類型為：縱火(32%)、電氣相關(18%)、暴露於倉庫內部火源(12%)、使用熱源施工(例如切割或焊接)(8%)、使用可燃物品時的疏失(8%)、化學作用(例如突然引燃)(7%)、火花(6%)和熱表面(5%)。

(2)結果嚴重的火災類型：會在不同位置引發火災的可燃液體潑濺(因為縱火或處理作業)。

2、步驟 2—火災的地點

選定建築物內會造成最嚴重火災情境的地點。本例最嚴重的火災情境地點如下：

(1)在貨架底部，在橫向或縱向貨架通風管空間內，且離消防栓水管或是撒水噴頭最遠之處；

- (2) 違規放置在走道上某一層的底部；
- (3) 在違規額外多加置物層的貨架底部。

3、步驟 3-潛在的火災危險性

確認應該要考量後果嚴重的關鍵情境。倉庫儲存場所之撒水系統在設計上無法保護的貨架儲存物類型如下：

- (1) 存放壓縮氣瓶的物品；
- (2) 存放揮發液體的容器；
- (3) 存放會融化和滲漏的聚合物；

4、步驟 4-影響火災的系統及設備

找出對於火災歷程或是危險條件擴大有顯著影響的建築物和火災安全系統設備。依據美國工廠互助保險集團資料「542 FM Global storage losses, 1992-2000」內所列的影響因素，包括了人為因素(31%)、倉儲配置(存放寬度或是高度，28%)、防護裝置未作動(水流警報、相互連鎖、防火門，9%)、外部暴露(8%)、撒水裝置問題(故障、空間配置或溫度比率不當、撒水頭被阻塞，5%)、供水閥被關閉(5%)、建築物處理作業(4%)。

5、步驟 5-內部人員的反應

確定會對火災過程有重大影響的內部人員的習性和反應特性，例如工廠自衛消防緊急應變小組的措施(沒有報警、閥門關閉過快或是不足、關閉幫浦、防火/防煙門沒關閉)，或是消防單位的應變過慢或不足。

6、步驟 6-事件樹

本範例之事件樹圖，如圖 3-13 所示，本圖並未將所有情境量化。下列是事件樹的分枝：

- (1)分枝 1：揮發性液體或是其他類型的火災。如前述，液體噴濺的火災對於撒水系統的問題較大。
- (2)分枝 2：火災從貨架或是空間底部或是其他地方發生。兩種可能的或然率都相同，所以事件樹內只有貨架或是其他空間底部發生的火災會繼續發展，因為後果較嚴重。
- (3)分枝 3：緊急應變小組成功地撲滅火勢或是不成功。
- (4)分枝 4：撒水系統的設計符合存放物或是不符合。
- (5)分枝 5：存放物的擺放符合撒水系統設計或是不符合。
- (6)分枝 6：撒水系統可以運作或是無法運作，例如，關閉中或是維修。
- (7)分枝 7：撒水系統撲滅火勢或是沒有撲滅。

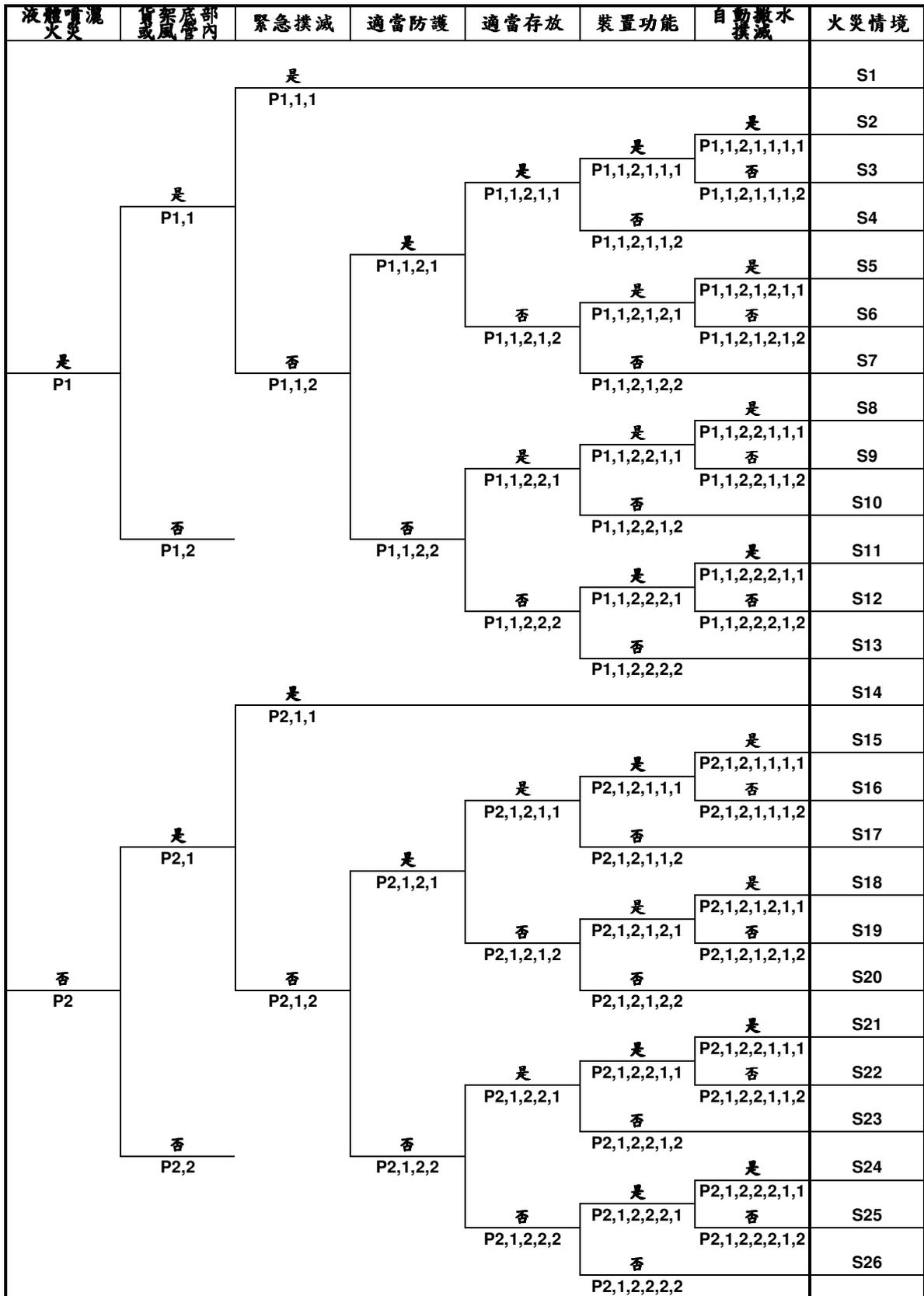


圖 3-13 單一物品倉庫火災範例之事件樹

7、步驟 7-考量或然率

撒水系統的整體可靠性為 95%，假設使用公共水源。但是，當揮發性液體引燃大範圍存放區，則會變得很低。下列是使用統計資料和工程判斷判定的各種條件性或然率：

- $P_1 = 0.16$ (液體潑濺火災)；
- $P_2 = 0.84$ (其他火災)；
- $P_{1,1} = P_{2,1} = 0.5$ (火災從貨架底部或空間發生)
- $P_{1,2} = P_{2,2} = 0.5$ (火災從其他地方發生)
- $P_{1,1,1} = P_{2,1,1} = 0.7$ (緊急應變小組成功撲滅火勢)
- $P_{1,1,2} = P_{2,1,2} = 0.3$ (緊急應變小組未成功撲滅火勢)
- $P_{1,1,2,1} = P_{2,1,2,1} = 0.9$ (撒水系統設計符合存放物)
- $P_{1,1,2,2} = P_{2,1,2,2} = 0.1$ (撒水系統設計不符合存放物)
- $P_{1,1,2,1,1} = P_{1,1,2,2,1} = P_{2,1,2,1,1} = P_{2,1,2,2,1} = 0.8$ (存放物符合撒水系統設計)
- $P_{1,1,2,1,2} = P_{1,1,2,2,2} = P_{2,1,2,1,2} = P_{2,1,2,2,2} = 0.2$ (存放物不符合撒水系統設計)
- $P_{1,1,2,1,1,1} = P_{1,1,2,1,2,1} = P_{1,1,2,2,1,1} = P_{1,1,2,2,2,1} = P_{2,1,2,1,1,1} = P_{2,1,2,1,2,1} = P_{2,1,2,2,1,1} = P_{2,1,2,2,2,1} = 0.9$ (撒水系統有運作)
- $P_{1,1,2,1,1,2} = P_{1,1,2,1,2,2} = P_{1,1,2,2,1,2} = P_{1,1,2,2,2,2} = P_{2,1,2,1,1,2} = P_{2,1,2,1,2,2} = P_{2,1,2,2,1,2} = P_{2,1,2,2,2,2} = 0.1$ (撒水系統無運作)
- 易燃性液體火災；

- $P_{1,1,2,1,1,1,1} = 0.5$ (撒水系統撲滅火災，但是或然率低，因為揮發性液體潑濺會引燃大面積的火勢)
- $P_{1,1,2,1,1,1,2} = 0.5$ (撒水系統未能撲滅火災)，
- $P_{1,1,2,1,2,1,1} = 0.4$ (撒水系統撲滅火災，但是或然率依舊很低，因為存貨擺放不適當)，
- $P_{1,1,2,1,2,1,2} = 0.6$ (撒水系統沒有撲滅火勢)，
- $P_{1,1,2,2,1,1,1} = P_{1,1,2,2,2,1,1} = 0.1$ (撒水系統撲滅火災，但是或然率依舊很低，因為撒水系統設計不完全)，
- $P_{1,1,2,2,1,1,2} = P_{1,1,2,2,2,1,2} = 0.9$ (撒水系統無法撲滅火災)；

- 其他火災：
 - $P_{2,1,2,1,1,1,1} = 0.95$ (撒水系統以正常的或然率撲滅火勢)，
 - $P_{2,1,2,1,1,1,2} = 0.05$ (撒水系統未撲滅火勢)，
 - $P_{2,1,2,1,2,1,1} = 0.75$ (撒水系統撲滅火災，但是或然率很低，因為存貨擺放不適當)，
 - $P_{2,1,2,1,2,1,2} = 0.05$ (撒水系統未撲滅火勢)，
 - $P_{2,1,2,1,2,1,1} = P_{2,1,2,2,2,1,1} = 0.5$ (撒水系統撲滅火災，但是或然率依舊很低，因為存貨並非完全符合撒水系統的設計)，
 - $P_{2,1,2,2,1,1,2} = P_{2,1,2,2,2,1,2} = 0.5$ (撒水系統未撲滅火勢)。

8、步驟 8—考量後果

本範例內，人員受傷的風險很低，最嚴重的結果是貨物實體損害(\$50,000,000 - \$200,000,000)和營業中斷 (\$ 10,000,000 - \$200,000,00，依照企業內類似的儲存設施的數量而定)。

情境 S1 和 S 14 的設定結果：雖然揮發性液體火災的損害範圍較大，火災被緊急應變小組撲滅，所以損害有限。假設 $C_{S1} = \$5,000,000$ ， $C_{S14} = \$100,000$ 。

即使撒水系統撲滅了液體潑濺火災，損害依舊十分巨大的情境： $C_{S2} = C_{S5} = C_{S8} = C_{S11} = \$ 10,000,000$ 。

即使撒水系統撲滅了其他類的火災，假設損害相對較小的情境： $C_{S15} = C_{S18} = C_{S21} = C_{S24} = \$ 1,000,000$ 。

撒水系統無法撲滅火勢、假設損害最大的情境：

$C_{S3} = C_{S4} = C_{S6} = C_{S7} = C_{S9} = C_{S10} = C_{S12} = C_{S13} = C_{S16} = C_{S17} = C_{S19} = C_{S20} = C_{S22} = C_{S23} = C_{S25} = C_{S26} = \$400,000,000$ 。

9、步驟 9 – 分險分級

依照相對的風險將情境予以分級，如表 3-16 所示。將計算出來的結果 (步驟 8) 乘上情境發生的或然率 (步驟 7)，就是相對風險。

表 3-16 單一物品倉庫火災情境之相對風險分級

火災情境	或然率	後果(萬元)	風險(萬元)	等級
S1	0.056	50	2.8	—
S2	0.007776	1,000	7.776	—
S3	0.007776	40,000	311.04	1
S4	0.001728	40,000	69.1	3
S5	0.0015552	1,000	1.5552	—
S6	0.0023328	40,000	93.312	2
S7	0.000432	40,000	17.28	5
S8	0.0001728	1,000	0.1728	—
S9	0.0015552	40,000	62.2208	4
S10	0.000192	40,000	7.68	—
S11	0.0000432	1,000	0.0432	—
S12	0.0003888	40,000	15.552	6
S13	0.000048	40,000	1.92	—
S14	0.294	10	2.94	—
S15	0.0775656	100	7.7566	—
S16	0.0040824	40,000	163.296	4
S17	0.009072	40,000	362.88	1
S18	0.015309	100	1.5309	—
S19	0.005103	40,000	204.12	2
S20	0.002268	40,000	90.72	5
S21	0.004536	100	0.4536	—
S22	0.004536	40,000	181.44	3
S23	0.001008	40,000	40.32	—
S24	0.001134	100	0.1134	—
S25	0.001134	40,000	45.36	6
S26	0.000252	40,000	10.08	—

10、步驟 10—最終選定和記錄

不論火災是因為揮發性液體潑濺或是其他方式引起，很明

顯最嚴重的情境就是撒水系統無法撲滅火災。撒水系統的控制是必須的。會有兩種設計火災情境：

- (1)火災從揮發性液體潑濺開始，並且在不同的空間和貨架下方引燃。至少有一個被引燃的貨架比法定的數量多存放了一層。
- (2)火災被揮發性液體潑濺以外的方法引燃，並且在一個收納空間被引燃。至少有一個被引燃的貨架比法定的數量多存放了一層。(設計目標是設計可以控制綜合火災的撒水系統)

第四章 火災風險管理與評估指南（建議草案）研議

第一節 草案研議說明

本建議草案係參考各相關標準、規範等文獻資料，並修改、增繕、綜整草擬而成，以下謹就完整編排內容予以說明。

一、前言

簡略說明目的及應用須知，並簡介本指南各章節之內容重點。該內容文字將參考本報告「第一章 緒論」修正而成，為避免本報告前後內容重複，本章將不予重述。

二、用語定義

依據 97 年 12 月 8 日行政院頒行之「行政院所屬各機關風險管理及危機處理作業基準」，另參考行政院研考會於 98 年 1 月編撰之「風險管理與危機處理作業手冊」有關用語定義並予調整，另參考 2005 年 SFPE 之「風險評估在防火設計之應用工程指南草案（SFPE Engineering Guide to Application of Risk Assessment in Fire Protection Design - Review Draft）」之「Chapter 2：Glossary」部份編撰，如本章第二節所述。

三、火災風險管理概述

參考 ISO/TS 16732:2005 之「5: Overview of fire risk management」及 SFPE Engineering Guide 之「3.2：Fire Risk Management」部分內容編撰，如本章第三節所述。另導入風險管理基本概念內容，此部分將可參考本報告「第二章第一節：風險管理概述」，為避免

本報告前後內容重複，本章將不予重述。

四、火災風險估算的步驟

- (一) 火災風險估算概論：參考 ISO/TS 16732:2005 之「6.1 Overview of fire risk estimation」、ISO/TS 16733:2006 之「6.3 Selection of design fire scenario」及部分內容編撰，如本章第四節所述。另參考本報告「第二章第一節：風險管理概述」部分內容，為避免本報告前後內容重複，本章將不予重述。
- (二) 火災風險評估中情境之應用：參考 ISO/TS 16732:2005 之「6.2 : Use of scenarios in fire risk assessment」及 ISO/TS 16733:2006 之「6.2.3 Step 2 – Types of fire」、「6.2.4 Step 3 – Possible hazards of fire」、「6.2.6 Step 5 – Human response」部分內容編撰，如本章第四節所述。
- (三) 或然率之估算：參考 ISO/TS 16732:2005 之「6.3 Characterization of probability」、ISO/TS 16733:2006 之「6.3.2 Step 7 – Consideration of probability」、BS PD 7974-7:2003 之「6.3 Reliability analysis」、「6.5 Monte Carlo analysis」、「7 Data」及 SFPE Engineering Guide 之「Chapter 10 : Frequency Analysis」部分內容編撰，如本章第四節所述。
- (四) 影響之估算：參考 ISO/TS 16732:2005 之「6.4 Characterization of consequence」、ISO/TS 16733:2006 之「6.3.3 Step 8 - Consideration of consequence」及 SFPE Engineering Guide 之「Chapter 11 : Consequence Analysis」部分內容編撰，如本章

第四節所述。

- (五) 情境火災風險及整合風險之計算：參考 ISO/TS 16732:2005 之「6.5 Calculation of Scenario fire risk and combined fire risk」、ISO/TS 16733:2006 之「6.3.1 Step 6 – Event tree」部分內容編撰，如本章第四節所述。

五、不確定性、敏感度、精確度和誤差

- (一) 不確定性分析：參考 ISO/TS 16732:2005 之「7.1: Elements of uncertainty analysis」及 SFPE Engineering Guide 之「Chapter 13: Uncertainty Analysis」部分內容編撰，如本章第五節所述。
- (二) 敏感度分析：參考 BS PD 7974-7:2003 之「5.4 Sensitivity analysis」部分內容編撰，如本章第五節所述。

六、火災風險評量

- (一) 個人及社會風險：參考 ISO/TS 16732:2005 之「8.1: Individual and social risk」部分內容編撰，如本章第六節所述；另參考 BS PD 7974-7:2003 之「4.3.1 Life safety」部分內容，如第三章第二節「叁、接受度標準（合格基準）」內容，為避免本報告前後內容重複，本章將不予重述。
- (二) 風險接受基準：參考 ISO/TS 16732:2005 之「8.2: Risk acceptance criteria」、ISO/TS 16733:2006 之「6.3.4 Step 9 – Risk ranking」、「6.3.5 Step 10 – Final determination and record」及 SFPE Engineering Guide 之「Chapter 14: Risk Evaluation」部分內容編撰，如本章第六節所述；另參考 BS PD 7974-7:2003

之「4.3.1 Life safety」部分內容，如第三章第二節「參、接受度標準（合格基準）」內容，為避免本報告前後內容重複，本章將不予重述。。

(三)安全因子及安全邊界:參考 ISO/TS 16732:2005 之「8.3 :Safety factors and safety margins」部分內容編撰，如本章第六節所述。

第二節 用語定義

有關火災風險管理與評估相關用語定義如下：

1. 影響或後果(consequence)：一個事件發生時的預期結果，以定量或定性來表示，可能是財產損失或獲利、人員傷害或生命危害、環境影響、企業形象與聲譽的影響。
2. 成本(cost)：直接或間接的活動損失，涉及任何的負面影響，包括了金錢、時間、勞力、分裂、聲譽、政治和無形資產上的損失。
3. 決定性分析(deterministic analysis)：以從科學理論及經驗結果衍生的物理關係為基礎的方法，對一系列設定的初始情況，總會產生相同結果或預測。
4. 事件(event)：一個特定時期內，在一個特定地點所發生的事態。
5. 火災情境(fire scenario)：火災隨時間過程的定性化描述，有其特徵並使其與其他火災有所差異。
6. 危害(hazard)：一種潛在對人、財產或環境的損害或一個可能會造成損失的事態。
7. 整合性風險管理(integrated risk management)：以組織整體觀點，系統性持續進行風險評估、風險處理、風險監控及風險溝通之過程。
8. 機率(likelihood)：用來描述頻率及或然率的實際數值。
9. 損失(loss)：在經濟上或其他方面所發生的負面影響。
10. 機會(opportunity)：一個事項發生之可能後果，該事項對目標達成有正面之影響。

11. 或然率(probability)：一個特定事件或其結果發生的機率，以特定事件或結果在所有的可能事件或結果中所佔的比率來表示。或然率是以介於 0 到 1 之間的數字來表示，0 表示事件不可能發生，1 表示事件一定會發生。
12. 概率性分析(probabilistic analysis)：火災損失及火災影響之評量，其包括考慮不同火災情境機率及定義該火災情境的輸入項目。
13. 可靠度或可信賴性(reliability)：一單元或設備或系統在某一設定情況或某一時段內能夠表現出必要性能之或然率。
14. 風險(risk)：潛在影響組織目標之事件，及其發生之可能性與嚴重程度。
15. 風險接受(risk acceptance)：決定接受一個特定風險的影響及其發生的機率。
16. 風險分析(risk analysis)：系統性運用有效資訊，以判斷特定事件發生之可能性及其影響之嚴重程度。
17. 風險評估(risk assessment)：包括風險辨識、風險分析及風險評量之過程。
18. 風險規避(risk avoidance)：決定不涉入或退出風險處境。
19. 風險溝通(risk communication)：與利害關係人進行風險意識之傳播與交流，包括傳達內容、溝通方式及溝通管道。
20. 風險處理(risk disposal)：對於風險評量後不可容忍之風險，列出可將風險降低至可容忍程度之對策，進而執行相關對策，以降低事件發生之可能性或其影響之嚴重程度。

21. 風險評量(risk evaluation)：用以決定風險管理先後順序之步驟，將風險與事先制定之標準比較，以決定該風險之等級。
22. 風險辨識(確認)(risk identification)：發掘可能發生風險之事件及其發生之原因和方式。
23. 風險管理(risk management)：為有效管理可能發生事件並降低其不利影響，所執行之步驟與過程。
24. 風險降低(risk reduction)：選擇使用適當技巧及管理原則，以減低風險或其發生機率。
25. 風險保有(risk retention)：特意或非特意承擔風險所造成之損失，或為組織之財物損失負責。
26. 風險對策(risk treatment)：選擇並執行適當的風險處理方法。
27. 風險容忍度(risk tolerance)：針對某一目標而言，願意接受該目標無法達成的變動程度。
28. 風險轉移(risk transfer)：透過立法、合約、保險或其他方式將損失之責任及其成本轉移至其他團體。
29. 殘餘風險 (residual risk)：執行風險對策後所剩下的風險。
30. 利害關係人(stakeholders)：對於決策或活動，具有影響力、可能受其影響或自認可能被影響之個人或組織。
31. 不確定性(uncertainty)：無法在事前明確預知未來發生的可能性與後果。

第三節 火災風險管理概述

風險管理包括風險評估，但通常包括風險處理、風險接受和風險溝通，都在風險評估後實施。風險對策可以放在第二次風險評估之前(如圖 4-1)。有關風險管理之概述，另可參考本報告第二章第一節。

火災風險評估亦可用於在選定特定設計或設計變更以達到合格標準之前，評估找出替代性設計。火災風險評估先以選定結構體的目標和規劃的設計規格、或其他應評估的房屋環境開始，並估算和評估設計相關的風險。風險估算包括了將依照合格標準所作設計所估算出的風險與以比對。如果發現估算出的風險不合格，必須要變更設計(亦即變更設計規格、處理風險或兩者並行)，接著重新評估。如果經評估合格，仍可處理剩下的風險，但仍可將風險正式地列為可接受並將風險告知利害關係人。

利害關係人亦可決定接受經評估為不可接受的風險，但是這種改變會使火災安全性目標大幅地變動。

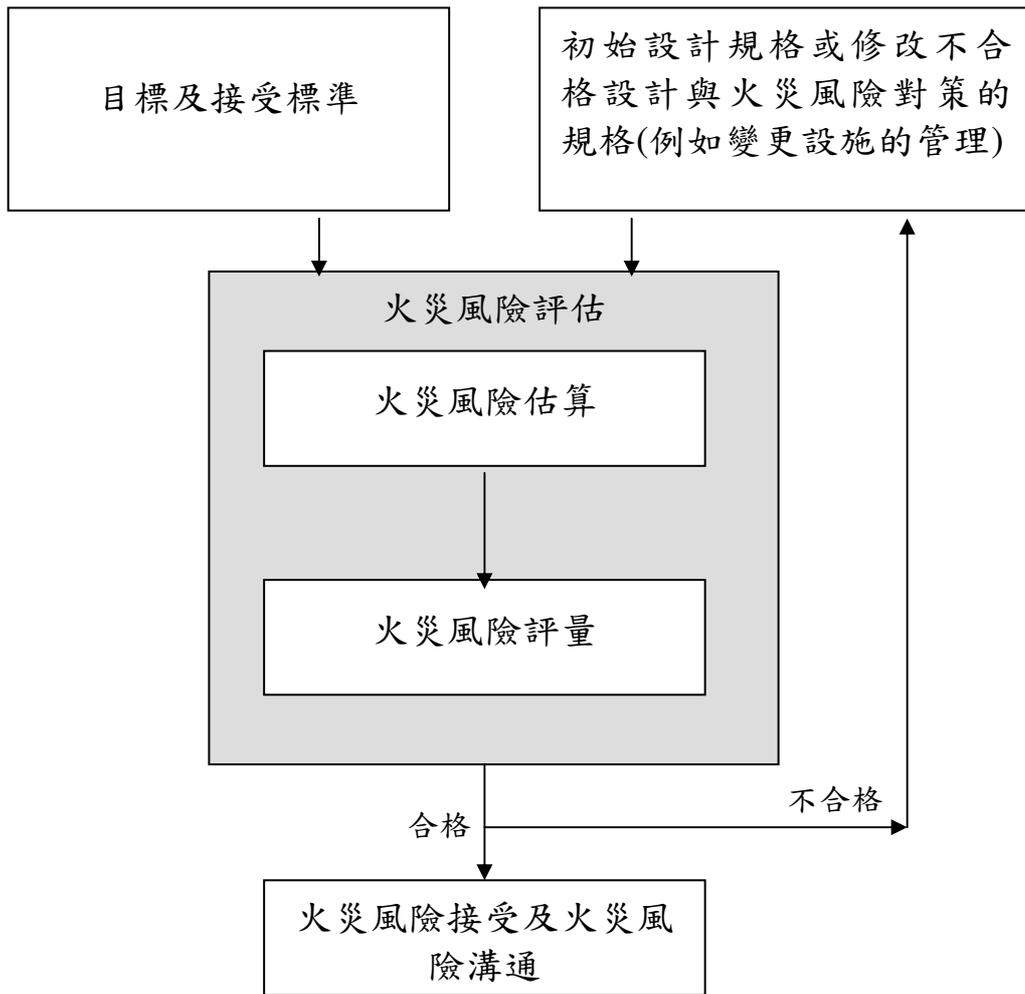


圖 4-1 火災風險管理流程圖

第四節 火災風險估算的步驟

壹、火災風險估算概論

在情境架構明確情形下，或然率與影響並可明確以量化方式估算下的火災風險估算步驟程序，如圖 4-2 所示。風險估算從背景條件的建立開始。背景條件設定數個量化假設，量化假設必須具有所必須的估算目標和設計規格。

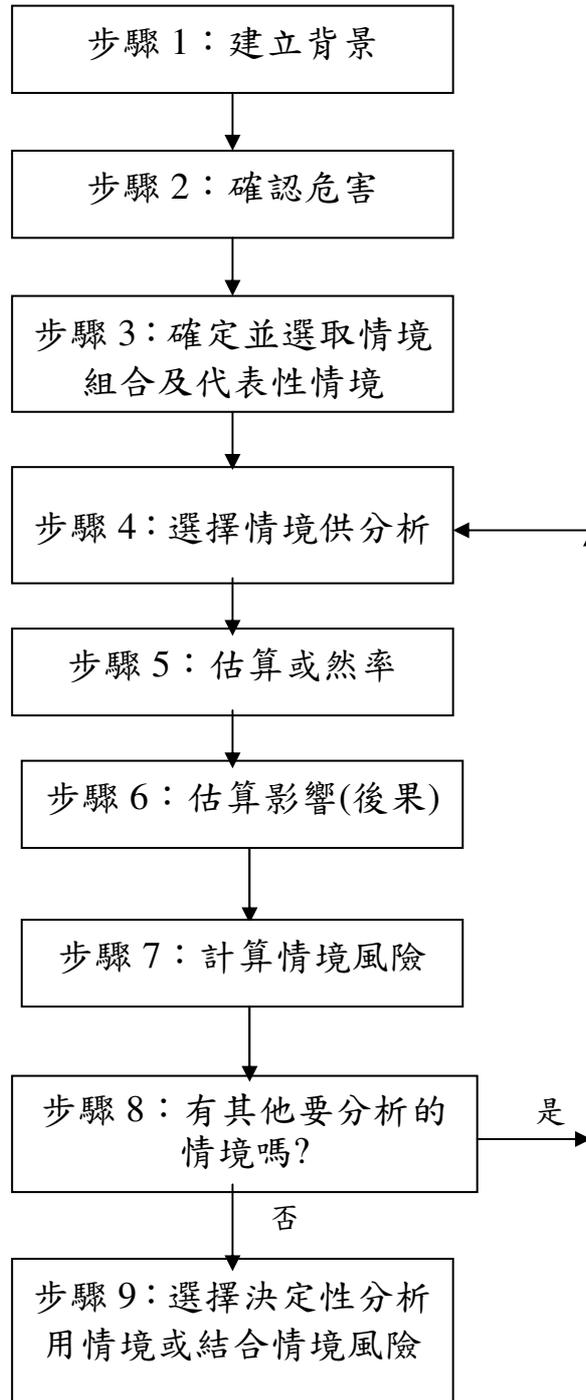


圖 4-2 火災風險估算流程圖

接著是確認危害，該危害是稍後當作規格和情境選定的基礎，後續的估算將以此為準。接著選定一種情境供分析，並估算該情境下的或然率和影響。反覆執行本程序，直到所選情境分析完成。接著將情境的火災風險加總，估算出該設計的總體火災風險。

設計火災情境必須要符合火災安全工程工作的目標。實施決定性評估僅需少量的情境時，可使用簡化的火災風險估算來選取情境。確立供分析用的火災情境，要使用系統化的方法，才能找出重要的情境並且讓不同的分析員導出一致的結論。任何建築環境內可能的火災情境數量非常龐大，不太可能將之全部量化，必須將數量如此龐大的可能性限縮在可供分析、可受控制的設計火災情境組之內。所謂的完整風險分析，是將數量龐大的設計火災分類為數組情境組合(scenario cluster)。風險分級(risk-ranking)程序提供選擇設計火災情境時最合適且有用的基礎。這種程序是將情境的後果和可能性都納入考量。這意味著火災風險評估技術可以應用在選擇設計火災情境上，供決定性分析之用。風險分級程序有下列主要面向：

- (1) 詳細確定可能的火災情境組；
- (2) 評估情境發生的或然率；
- (3) 評估情境的後果。
- (4) 評估情境的風險（可反映出發生的後果和或然率）；
- (5) 根據火災情境的風險將之分級。

進行本步驟的方式之一即是建構事件樹來分析。但是，風險分級

程序常以簡化方式為之即可，例如，使用工程判斷、已取得之資料及情境組合的或然率和影響的強度順序值(order-of-magnitude values)通常就已足夠，不必用到事件樹也能進行風險分級。但是，當無法以簡化的方式為之時，利用對形成情境的單一事件或然率的瞭解，也可建構出事件的或然率。在決定性評估方式時，並不需要將所有情境的火災風險加總，而是必須選定火災風險最高的情境。

貳、火災風險評估中情境之應用

一、情境規格化及其選擇

火災情境的種類數量可能非常龐大，無法每個都予以分析。因此，任何火災風險評估都應建立可控制規模的火災情境架構，並依照這些情境，合理或謹慎地估算總體火災風險。要達到這些目標的主要技術為「確認危害」、「將情境整合為情境組合」和「排除具無關緊要風險的情境」。

二、確認危害

(一)潛在的火災危害

任何帶有不預期意外影響或後果可能性的事態稱之為危害。每一項危害都可以成為一種或以上火災情境的基礎，火災情境內產生危害的條件亦可定義危害所導致的火災種類。

考慮衍生自定性化設計審查 (qualitative design review, QDR)階段所找出的潛在火災危害的火災情境與財產或設計的設定用途相關聯。找出其他關鍵、後果嚴重的情境供考慮。除了高危害地點外，

例如有下列情境：

- (1)容易因諸如地震或恐怖攻擊等一般變因事件而發生、並可能會同時引發多起重大火災或是導致多個火災安全措施失靈的情境；
- (2)容易因使建築物結構弱化、以及使導致結構倒塌的火災嚴重性臨界值降低的非火災事件而發生的情境；
- (3)使用容易導致自燃、火勢快速蔓延、爆炸、異常猛烈的火勢、不正常的有毒煙霧、燃燒物或是受污染的消防媒介會對環境造成不正常危害的高危害材料、環境空氣內助長火勢的氧氣、使用傳統方法（例如泳池化學劑）滅火異常困難或危害、或是其他異常嚴重的火災情況的情境；
- (4)出現高危害的動作，例如在易燃物旁使用明火；
- (5)建造期間或是維修作業期間的特殊危害。

如果上述任何情境包括相當可能性，且比之前確認的有更高的影響後果，則必須將之納入分析標的組。亦可用來取代性質相同、但危害性較低的情境。

(二)火災類型

火災情境可說明火災本質隨時間變化的過程、判定建立該火災特性且與其他火災不同的關鍵事件。火災情境基本上定義為起火及火災成長過程、火災完全發展（旺盛）階段、火災衰退階段，和其他會影響火災進程的建築物環境和防火系統。

火災類型關係到火災初期的強度和擴大的速率，牽涉到火災發生之初各種熱源的組合、第一個被引燃的大型物品及在第一個大型物品被引燃之前就被引燃的其他物品。火災類型之確認，基本上分為兩個小步驟：確認初期引燃的特性及確認火災確實成立時在初期階段的特性。如果第一個被引燃的物品就是大型物品，這兩個小步驟則被視為是同一個。但是，很多火災一開始都是從很小的可燃物開始，例如火爐上濺出的食物、垃圾桶內的垃圾、煙囪內堆積的煤灰或是乾衣機內堆積的棉絮。對這類火災來說，初期引燃發生的時間不一樣，火災確實成立的第一階段也不盡相似。

火災意外統計資料連同其他初期引燃條件的或然率，提供了確定設計火災情境初期引燃條件的適當基礎。這個系統化方法的目的在於利用相對風險篩選出可能的設計火災情境。使用火災統計資料和工程判斷來篩選的實務方法，就是找出一組具有高或然率和最輕微後果的火災情境，和另一組具有嚴重後果和最低或然率的火災情境。從建築物和住居用途所適用的火災意外統計資料中，根據若干頻率及後果相關基準，排列出諸如下列初期熱源和初期可燃物品的組合：

- (1)火災受傷或火災死亡數最高的火災類型；
- (2)財產損失（以金額為準）最大的火災類型；
- (3)最常見但火災範圍在某一最低限度內的火災，例如，火焰範圍超過火災點房間、火災規模超過某一特定區域、五人以上死亡後果或是達到大型損失之金額門檻值的後果，例如損失最慘重之 1 %

火災相關最小損失。

設計火災情境必須要包含的火災類型還有：

(1)室內：

- 單一物品燃燒的火災(傢俱、垃圾桶、設備)
- 擴大中的火災(排煙設備)；

(2)室外：

- 室外可燃物存放區的火災，
- 外牆壁面上的火災

其他火災情境，則可以在特別情況之定性化設計審查 (QDR) 時予以確認。

國家級、州或省級都有適當的統計資料，或是區分所有權的建築也會有適當的統計資料。如果沒有國家級的統計資料，也可以使用其他國家類似火災經驗的資料。使用火災意外統計資料時務必謹慎，確保資料是適合於標的的建築環境。

如果某火災類型在火災初期引燃的可燃物很小，但是在後果權重分級的等級卻很夠高，則這類火災必然額外包含至少一個有份量的可燃物。要估算是哪個大型可燃物和該類型定義的小火災之間接近到足以會被接著引燃並令火災確實成立，使用工程判斷方法就已足夠了。

(三)火災位置

火災位置必須加以確定，不僅是以起火開始的房間或空間表

示，也以在空間內位置表示；要同時找出火災發生空間的特性，以及該空間內各地點的特性。確定火災的位置在房間中間或房間角落對於後續的火災發展會有很大的影響。起火的範圍並不僅限於房間，也應強調在避難逃生設施、封閉隱匿空間及外牆表面。有關於自動火災探測或滅火設備的位置確定也會對於火災發展有很大的影響。

一般會使用火災統計資料找出最有可能的地點。另外，如果沒有統計資料參考，亦可以根據熱源發生地點、可燃物存放和使用人的地點加以評估。

要找出最危害或是最不利的地點，則需要工程判斷。最不利的地點就是對於火災安全措施有最具負面影響的地點。例如以下：

- (1)人員集會場所、無塵室，或是其他空間具有高密度易受難人數，或是易受損財產靠近起火點，或是可通往外露的結構體，這些場合都是沒有足夠時間和空間可供防火安全措施有效運作；
- (2)發生在避難設施內、或是阻擋避難出入口等會阻礙或延遲安全避難的火災；和
- (3)房間或空間內的火災，包括在火災安全系統覆蓋範圍之外的密閉空間和戶外表面。

因其他設計火災情境需要納入的位置，還有下列：

- (1)室內：
 - 發生在構造建材的火災 (如三明治壁板...)
 - 室內火災 (角落、天花板、地板、牆面)，

- 樓梯間的火災，
- 配線架或管道的火災，
- 屋頂火災（屋頂下方），
- 隱藏空洞部火災（牆壁內部空洞處、外牆立面、管路行經空間）

(2) 室外：

- 鄰近建築或植栽的火災
- 屋頂上的火災。

其他特殊狀況的其他火災情境，可於定性化設計審查(QDR) 時確認。

(四)情境定義

建築物的各種條件及內部人員也是情境定義必要的項目之一，這包括了建築物內部的物品、位置及會決定火災初期發展的鄰近可燃物，亦包括了人員所在位置、基本生理能力（例如身障者）和暫時能力（例如被藥物或酒精影響者）。

建築物防火能力的各種現況也是情境定義必要的項目之一，特別對火災風險評估來說，這包括了確定門、窗是否為開啟或關閉，和自動探測、滅火設備是否可正常運作。

分析在典型建築物中居家火災時，容易處理的火災情境類別可能是指人員所在的任一個房間中的一般可燃物起火，亦即排除在人員僅經過但不會停留的通道起火的可能性，也排除供水供電的區域以及隱匿的區域。該類火災情境的代表性火災可能是客廳裝飾家具

的起火，亦即不一定要選擇該類火災情境中最可能發生的一個情境(如廚房爐火不慎的情形常常發生)，但必須是一種常見、易於量化且利於分析之用，或有實驗數據，且可能是該類火災中較典型的一種。

依先前所引用例子的建議，優先選擇的火災情境往往可以用起火區域和火勢大小來定義，這兩個特性皆可以用統計分析方法來評定和作為建築工程分析之工程規格。其它可用來評定優先選擇的火災情境特性，包括發生的時間點(可作為人員的活動狀況的判斷指標)。

防火設計要避免火災成長所考慮的設計火災的規模是可能的。這樣的情況下，假設這樣的火災規模會使分析者不得不假設用於防止火災成長設計火災的規模任何設計功能的失效。這樣會導致當條件並非如此時，整個設計即失效。一個優先選擇的火災情境可以換成(a)統計上顯示發生機率較高的單次火災死亡率的火災；(b)工程資料顯示具有高熱釋放速率的火災中的初期燃料組合。這樣可得出快速成長的火災，這也是測試設計的優先選擇，不預先斷定設計在火災初期作動的有效性。

三、將情境整合為情境組合(scenario cluster)

從各種可能情境整體之簡單明確、參數描述開始。例如，火災會從5種類型、3種起火方式和火勢發展條件的空間或區域發生(例如：一般會有人住的房間、一般不會有人住的房間、進出方式、密閉空間、

外部區域)。根據某種規格所導出的組合就是火災情境組合，火災情境組合內有更完整定義的情境（例：針對某一種房間的類型，明確地定義出各房間內的起火點）。

火災情境組合中，某一火災情境的影響足以代表該組合內其他所有火災情境的影響，該火災情境就是該組合的代表性火災情境。

四、排除具無關緊要風險的情境

將某些已確定風險極低的情境組合，且將之排除後對於風險測量的估算無顯著影響者，可將之從情境架構中排除。然而，必須要有明確且經過驗證通過才可將之排除。高或然率或高影響可能性都可能使火災情境組合內的火災風險大幅提升。並且，有很多火災情境組合在個別審查時風險非常地低，但是組合在一起時，卻會有非常高的風險。

五、證明情境架構為適當和足夠

如果無法分析各可能的情境，也就無法對各情境的組合和排除提供詳細的驗證。然而，確可以制定出一套簡單但詳細的驗證方法。

首先，將所有經選取後要分析或特別要排除的情境建立情境組合。如此可確立所有的情境都經過審查且各情境的處理方式也選好了。

第二，使用保守的方法，分別所選取的情境和代表性情境的或然率和影響。如果分析在設計上有可能使風險被高估，且如果非無關緊要的情境被不當地排除，保守的方法可以平衡被刪除的部份。這種保守的方法也可以平衡一情境組合內各情境過高的異質性，並且可降低敏感度和不確定分析的重要性。以保守的方法估算或然率，也比較不

會僅根據估算出或然率過低就將具有嚴重影響性的重要情境排除。

第三，如果以非絕對的相對性標準（例如比對兩種設計，而非將設計和合格標準比對）實施火災風險評估，如果兩種設計的某些情境被認定具有相似或完全一樣的風險，即使情境組合有顯著的風險，亦可將之排除。所謂的「相似」，是指欲排除情境中風險的差異，明顯地比欲分析的情境中的風險差異小。這種方式是以工程判斷為準。如果導出的工程判斷對實際風險的認定的誤差是一樣的，為了使結論不致產生明顯的不可補救的錯誤，盡量不要將情境排除。

在任何情境架構下，很難地將高或然率、輕度影響情境和低或然率、嚴重影響的情境與以平衡。因為兩者都很重要。

六、不使用精確情境架構的火災風險評估

火災風險評估程序並不一定要建立精確的火災情境架構。但是，必須審查及確定該程序中各情境有關規格(納入或者排除)和相對可能性的明確假設，使之在判讀時可看出不當誤差的原因並與以修正。為了要證明推論證據的有效性，這種審查一般來說可以明確推導出情境架構下各情境的特性，即使在火災風險評估的火災風險估算中並非直接使用到這些情境。

七、行為情境

為了分析的目的，一般來說不僅必須確立火災情境，也要確立行為情境，就是要確立火災相關人員的人數、特性和行為，包括避難逃生方面等。

人採取的行為，會對火災的過程或煙霧的動態有顯著的、有益或有害的影響，在本步驟考量人的行為。火災意外資料中已有過失的行為或是導致失火的縱火行為，不在此重複討論。但是，應該要考量的是起火之後的行為。

根據建築環境的本質，經過訓練的人員或是自設的消防單位對火災發展的初期階段可以有深遠的影響。政府消防員有正面助益的行為也要納入考量，特別是對與財產保護或是業務持續性相關的目標。另一方面，訓練不足的人員或是臨時訪客就會造成漏洞，使得火勢快速蔓延、煙霧快速擴散。這些影響都會造成新的可能火災情境。

八、決定性分析中選取設計火災情境的火災風險評估

當為了決定性分析而要選取設計火災情境時，可以將估算程序簡化，例如使用工程判斷、現有資料和強度順序值(order-of-magnitude values)來估算或然率和影響。該方法中，一般是將所有可能情境建立火災情境組合的程序予以大幅簡化，且不須太過精確。通常依照所選出的代表性火災情境來命名火災情境組合。

叁、估算或然率

圖 4-2 所示的火災風險估算程序中，第 5 步驟是估算或然率。於本節中將說明或然率估算的各種方法、起火或然率的估算和系統狀態或然率的估算。

一、或然率的估算方法

此處討論的或然率是衍生事件或然率（event probability）及狀態

或然率 (status probability)，包括可靠度測量。應用下列三種方法其中一種或三種全部使用，即可以算出或然率值：(1)直接從資料估算；(2)利用相互有關聯的或然率相關模型導出，例如起火或然率與設備元件故障、相關人為疏失、靠近容易起火物質之或然率之相關性；及(3)工程判斷。

(一)直接從資料估算

直接從資料估算或然率，一般是從頻率來估算，頻率是以估算出的相關事件數為分子，和以事件會出現次數和機會為分母所估算出來的。分母的測量包括時間單位 (例如每年的事件數)、人 (例如某一項資產內每千人的火災數)、有價資產 (例如以所有建築物和內部設施的總值除以火災數)、空間實體 (例如相同形式建築物每千棟所發生的火災數)，或是其他實體 (例如相同形式建築物每家公司所發生的火災數)。

分子或分母的資料庫可為樣本基礎 (從取得樣本內，可根據統計上的完整基礎，估算總群體或總體規模) 或是普查型數據 (提供總體利害關係群體的實質完全記錄)。

利用統計資料來選擇可能的火災情境可能有點困難，在界定不同類別的火災情境時需要有判斷的能力。首先，用來記錄與描述過去所發生的火災之資料庫所使用的單位與因子不可能完全與火災危害分析模式所要求的輸入數據中所使用的單位與因子相同。因此不可避免的需要進行解譯，每次的解譯都需要假設或證明過去火災所得的數據與所要的輸入數據特性之間的

關係。這些關係要儘可能的具體。假設所有的人為縱火的火災都屬於快速或重度的火災可能是不恰當的（亦即，具有急速上升的熱釋放速率或高的最大熱釋放速率）。大部份的縱火案並沒有使用助燃劑，且大部份是由沒有經驗的青少年所犯下。以火災危害分析之用的火災情境而言，典型的人為縱火的火災行為有點像一般的垃圾火災。相對的，假設所有的火災始於可燃性液體被引燃也是合理的，無論有意無意，也會顯示出這類物品的熱釋放速率曲線。

其次，當選擇可能的火災情境時，分析者要找出最能代表相關火災的火災情境。然而，火災危害分析計算一般需要的輸入資料包含許多的特性資料，單一個火災情境也難以記述所有火災型式中的其中一小部份。因此，火災情境的選擇要分兩個階段來作，第一階段為將所有的火災區分成容易處理的幾個類別，同質性較高的火災情境歸在同一類。同一類的火災情境應會導致類似的嚴重度。第二階段為在各類火災情境中，選擇一個典型的火災來代表該類火災情境。

(二)利用模型估算或然率

使用模型的主要優點在於，不像其他兩種估算方法，如果設計初期的火災風險評估無法提供可靠的相關風險估算時，模型基本上不僅可提供分析設計所需的估算，亦可了解設計變化和變化所衍生或然率之間的關係。

使用模型並非不需要實驗性或是主觀性資料，但是可取代其他變數的資料，模型藉此估算相關關切事項的或然率。對這些其他變數來說，資料的取得可能比較難，也可能比較簡單。當權衡直接使用資料的不確定性時和必須輸入模型的資料的不確定性時，可能需要從精確度和基本背景的角度來取捨模型的優點。

蒙地卡羅取樣法並非是估算或然率的替代方案，但是在將或然率的分布性定義清楚後，估算火災風險的一種數學方法。後者具有明確清楚的等值或然率權重，可作為選取特定情境樣本的基礎，如此，該樣本的平均影響就是整個情境整體的最佳或然率權重的最佳估算影響。

(三)使用工程判斷估算或然率

透過使用德爾菲(Delphi)法或是其他降低誤差和提高估算品質的程序，各工程師間的工程判斷可以有更系統化和趨向一致。

單點或範疇的或然率估算均可使用工程判斷。後者和估算方法間的誤差較小，並且足供風險矩陣圖或其他等效的火災風險評估程序使用。

在相關資料近乎或是完全不存在，使用工程判斷輔助或然率的估算下，可使用風險矩陣圖將所有或然率估算結果分成數個小量平均分配的值。例如，某種五數值定律 (five-value protocol)，的數值以強度級數值區隔時，可使用 0.5%、5%、

50%、95%和 99.5% 為數值。某種五種數值定律的數值以一半強度級數值區隔時，則可使用 5%、16%、50%、84%和 95% 為數值。

(四)注意事項

在估算或然率時，必須注意通常會有下列錯誤或誤差：

1. 通常一般人會過分低估低或然率或高估了高或然率。注意這種可能並盡量保守地修正。
2. 每次都假定所有條件及事件都和或然率無關是不恰當的。當或然率整合後，其機率會高於單一或然率的結果時，請仔細審視共同原因的事件、整合高風險人員的特性和其他狀況。舉例而言，同樣差勁且更會造成起火的火災安全作為，和不動作的探測器及撒水頭、牆壁的貫穿部、門封閉開口及其他火災安全系統和功能衰退是有所關聯的。
3. 當低估或忽略諸如加熱設備火災和電氣設備火災等情境時，常有可能會高估資產設備的特殊危險性和條件等相關情境的可能性。這是為什麼在估算起火或然率時要使用火災意外資料的重要原因。
4. 工程師常會倚賴各意外事件的最詳細和完整調查的資料庫。這在估算或然率時會產生誤導，因為這些資料庫僅記載了火災的片斷資料，並且會產生偏向高死亡率的火災，因此會忽略死亡人數最多但規模較小的火災和很多大型資產損失的火災。

5. 將火災安全系統和功能的充分與否，認為是整體高可靠度所必要，或是認為具有高度的整體可靠度，是不妥當的。
6. 不可將火災損失資料庫內從未紀錄過的情境，認為是零或然率。如果資料庫內未記載詳細資料，在開始或然率估算錢，必須以比一般含有精確利益考量情境更高的或然率看待。對於尚未發生過的事件，亦可以使用極端值的估算方法來估算非為零的或然率。

二、觸發事件或然率

當將損失作為分母估算的資料時，可以使用經過研究的建築物的損失經驗、同一位置或所有人共有的建築物類型的損失經驗，或國家級或國際級資料庫內中所累積的損失經驗。在支援估算的精確方面，相關性、詳細程度、和資料取用性和資料庫的廣度的證明能力，各有優點或缺點。

估算所有情境中部份情境（非全部）的特性的或然率，就可以算出或然率。例如，估算工廠生產區域內，設備啟動時產生火花所導致火災的或然率。在這種形下，必須要有證明才可假設統計上的獨立性。獨立性必須要證明，不可以假設。

舉一個在一般原因的火災中，觸發事件大大地為反獨立性的例子，例如地震，同引起數個火災，並損壞了撒水管路。各火災和撒水管路的損壞都是機率很小的事件，但是同時發生的或然率並非和各或然率相乘的數值一樣那麼小，因為地震是所有後續事件的共同因素。

三、狀態或然率和可靠度

在起火時，每個火災安全設備或系統都有可能的替代狀態，例如感應器的電源接妥或未接妥、撒水閥開啟或關閉、門開啟或關閉。任何會影響情境或然率或影響的狀態條件都必須指明，這就必須要靠估算狀態的或然率。

狀態或然率依照起火時的條件為準。可靠度一般是以起火候事件的或然率為準，例如感應器或撒水器有啟動或沒啟動，和結構元件可以或不能承受其負載且不發生意外的變形。有很多起火或然率以外的或然率的例子，但是一樣需要估算火災風險。行為情境也需要估算或然率。

肆、估算影響(後果)

在圖 4-2 所示的火災風險估算程序中，第 6 步驟是估算影響（後果）。使用現有的災損資料和(或)工程判斷評估各情境的影響或後果，應以適當的度量方式來表示影響或後果，例如死亡、受傷的可能性或是預估的火災成本。評估時可以將時間變化的影響列入考慮。在評估火災造成傷亡時，應要求注意評估中使用的資料是適合評估標的建築環境所用者。以下將分別說明使用損失經驗、模型或工程判斷判定影響的各種方法。

(一)從損失經驗估算影響

當使用損失經驗時，應該使用經過研究的結構體(或該建築環境的其他部分的損失經驗)專有的損失經驗(在建築物翻修

時，如果已經有損失經驗且其設計就是要將之改正，因為新的建築是不會有損失經驗的)、所有在同一位置或相同所有人的結構體專有的損失經驗，或其其他國家或國際級資料庫大量紀錄的結構體的損失經驗。在支援估算的精確方面，相關性、詳細程度、和資料取用性和資料庫的廣度的證明能力，各有優點或缺點。

(二)從模型估算影響

使用模型的主要優點在於，不像其他兩種估算方法，如果設計初期的火災風險評估無法提供可靠的相關風險估算時，模型基本上不僅可提供分析設計所需的估算，亦可了解設計變化和變化所衍生的影響間的關係。

使用模型並非不需要實驗性或是主觀性資料，但是可取代其他變數的資料，模型藉此估算相關關切事項的影響。對這些其他變數來說，資料的取得可能比較難，也可能比較簡單。當權衡直接使用資料的不確定性時和必須輸入模型的資料的不確定性時，可能需要從精確度和基本背景的角度來取捨模型的優點。

就影響估算來說，建立決定性火災發展模型所取得的詳細資量遠比損失經驗所取的詳細資料多。但是，對影響估算使用詳細資料對影響估算會有問題，因為所建立的資料和方法的詳細程度不足。

(三)從工程判斷估算影響

透過使用 Delphi 法或是其他降低誤差和提高估算品質的程序，各工程師間的工程判斷可以有更系統化和趨向一致。單或面的鑑定均可使用工程判斷。後者和估算方法間的誤差較小，並且足供風險矩陣圖或其他等效的火災風險評估程序使用。

在相關資料近乎或是完全不存在，且使用工程判斷輔助影響的估算下，可使用風險矩陣圖將所有影響估算結果分成數個小量平均分配的值。利用一個或兩個數量級區分連續的值，或是將最低、中和最高定義成有特殊意義的值，例如每次報案火災的平均金錢損失（可能的最低值）、用於定義大型損失火災的極限值（可能的中間值），或國民生產毛額的 1%（可能的最大值）。

(四)注意事項

估算影響時，應注意一些常見的錯誤和誤差，包括下列：

1. 後過估算通常很複雜，所以情境的影響有輕微到嚴重，但通常都會以輕微或是都以嚴重的程度來處理。以嚴重影響舉例來說，蓄意縱火火災的影響通常在統計上比平均比意外失火的後稍微嚴重一點。假定一般的蓄意縱火火災就一定會有許多處起火、使用助燃劑或是蓄意破壞火災安全系統或設備，這是錯誤的。以輕微影響舉例來說，悶燒的火災會造成一住宅全體致命的狀況，即使大部分的悶燒並不會如此。火爐或是煙囪的火災會蔓延並摧毀整棟建築物，即使大部分的火爐或煙囪火災規模很小，而且可以快速且簡單地被撲滅，且危

害很小。

2. 嚴重的估算錯誤、高估、低估沒有實驗數據的火災安全系統、設備或是計畫是很常見的。舉例而言，在修正目標行為時，假定防火教育計畫完全成功或完全失敗就是不切實際。
3. 對某一單一或多個火災安全系統或功能部份或全部失效，施以工程判斷是很困難的，但是在證明單一或多個系統或裝置不可靠的情境中，確實具體有火災風險。

伍、情境火災風險 (scenario fire risk) 和結合火災風險的估算

設計相關所有情境的或然率和影響結合起來的數學公式為：

所有情境的 **風險** = Σf (設定情況之或然率及影響)

$$[R = \Sigma f(P_i, C_i)]$$

兩種最常用的數學方程式為：

(a) 所有情境的 **風險** = Σ (設定情況的或然率乘上影響)

$$[R = \Sigma(P_i \times C_i)]$$

(b) 風險 = 影響超過特定安全性極限值的所有情境的全部或然率

前面的兩個方程式中的第一個方程式將情境風險定義為期望值，例如或然率和影響的乘積，和將結合火災風險估算結果定義成情境火災風險的總和。這種方法很常使用，如果使用其他的方法的話，應驗證所使用的測量方式妥善無誤。

一、「情境火災風險」定義為期望值

事件樹圖是一種典型使用期望值作為測量火災風險的火災風

險評估。事件樹乃是可以呈現從起火開始到火災情境相關後果的可能事件順序。要畫出事件樹，從初始事件開始，例如起火、結合所有火災安全系統和設備及所有內部人員的初始狀態。接著，畫出分叉和加入代表各可能後續事件的分支。重複本程序直到列出所有可能的初始狀態。根據前一事件的發生，畫出各分岔。整個事件樹的走向呈現出要考量的火災情境。

事件定義出火災特性、系統和設備狀態、內部人員的反應的變化，以及火災最終結果和影響的其他時間點。下列是有關於建築系統和設備的事件：

- (1) 被火災引燃的第二件物品；
- (2) 火災被門或其他阻隔物阻隔；
- (3) 系統或設備表現如同設計性能，或性能或品質有所降低
- (4) 窗戶玻璃破裂

另外，亦可以建立失誤樹。失誤樹和事件樹一樣是一種邏輯樹狀圖，但是以條件或狀態畫出各分枝，而非依時間點發生的事件。因為也有很多種變數，所以失誤樹初始狀態時也有很多種可能性。如果一開始使用失誤樹建立初始狀態，接著各失誤樹的末端再連接完全符合初始狀態規格的標準事件樹，則建構事件樹圖就會比較簡便。

二、「情境火災風險」定義為無法接受嚴重影響之或然率

如前述，將情境火災風險定義為該情境的影響為無法接受之或然率，因此，如果影響為無法接受，情境或然率乘上 1，如果影

響為可接受，則為 0。失誤樹圖是一種使用無法接受嚴重影響或然率的標準火災風險評估。這種方法基本上更著重在極端的事件，而不僅是製作樹狀圖和期望值方法。

三、定義為設計承載或極限狀態的風險

當使用安全性極限值時，可以用於量測設計目的的方法就是設計負載，將火災情境的定義規模值設定成剛好超過安全極限值。有時後依照剛好足夠引起失敗的極限狀態為準。這種方法著重在影響而非著重在或然率。

四、風險估算的其他面向

如果使用工程判斷估算或然率和影響，就不須分開估算。相反的，可以直接進行隱含結合兩者的估算。顯性程序，不論有無估算，皆可使使用者間的主要估算趨近一致，不論是或然率或是結果的估算值，或是直接的風險測量估算。

風險測量可以無因次、非參數的統計方式呈現，例如排序值。這些都是質化的風險測量，和適用比率階層數原則的量化風險測量相反，半量化風險測量使用以比率階層變數數值範圍所定義的類型所導出的無因次、非參數的統計值。

或然率和影響都可以使用類型來分類，不論是以數值範圍類型，或是直接定義類型。如果將或然率和影響都與以分類，火災風險結果的分類結論，就可以以或然率和影響的類型定義列和行，將之建構成風險矩陣圖。各矩陣圖的儲存格代表需要明確估算的火災風險測量區。在這種情形下，應定出判定矩陣圖儲存格

是否是在可接受風險極限值之上和之下的規則。

就設計目的來說，已不同的方式建立風險矩陣圖是很有的。如果可以依照外部危害嚴重性規模指標將情境分類（例如，地震強度或閃電的能量大小），接著依照規模指標定出類別作為矩陣圖的列，並依照所定義的危害性的發生或然率定出矩陣圖的行。矩陣圖儲存格內的項目定為影響，作為危害性嚴重度和設計效能的函數。每個儲存格內，則將可接受風險定義為影響的極限值，不必建立正式的風險估算。請注意這種方法隱含著危害性或然率和設計無關的假定。對火災危害性來說，這個假定需要仔細地審查和評估。

風險估算的結果也可以以風險曲線的方式呈現。例如依照影響軸線，訂出或然率的點，再將各點連起來代表各個經過特說分析的火災風險的或然率和影響的估算結果。針對設計並立下假設的火災風險區線完成後，設計的變更可以透過風險估算程序轉譯成另一個曲線。從圖形原點開始的設計變更的風險曲線的相對符合度，就是新設計的相對風險測量結果。

第五節 不確定性、敏感度、精確度和誤差

壹、概說

不確定性就是經估算的風險測量結果和其欲表達的真實風險間的可能差異。精確度是指以經估算的風險測量結果相關的錯誤或然率分佈的標準偏差為基礎，所統計出來的量。誤差是指不對稱的偏差分佈。

敏感度分析無法量化不確定，但是是將不確定量化的初期步驟。變更風險測量估算內的變數或參數的值，得出經估算風險測量結果的變更幅度，再藉由藉由測量該變更幅度，敏感度分析就可以檢驗不確定性的增加程度。如果敏感度分析整合了元件錯誤的可能級數的資料，就可以完整估算隨機不確定性。

不確定性並非限定於統計上的變化，估算風險測量程序時的資料誤差或錯誤內也會有不確定性。如果估算時漏列了一種現象，例如估算疏散時間的預警時間，或是估算火災蔓延和效果方面的氣流，這就是風險測量估算的一種不確定，一般稱之為誤差的不確定。

貳、不確定性分析

火災風險分析會因部分火災現象相關的資料或是科學解釋的不足而受到影響。在很多案例中，不確定分析可用來顯示這種不足的級數和指出這種不足的重要性。

在火災風險評估中，不確定分析和或然率與影響估算的量化不確定性有關。不確定性亦可量化成風險評估標準。比較難量化的是漏列現象或是使用資料錯誤或是估算方法錯誤所衍生的錯誤。

開始量化或然率和影響估算的不確定性的同時，來源資料不確定性亦一併予以量化。實驗室內估算結果的不確定性量化，一般倚賴已知的校準資料和實驗室設備的精確讀數。如果相關的測量實施過多次實驗，就可以有較好的量化結果。接著，實驗結果的或然率分佈可用來代表不確定性的比率。

火災經歷的統計資料等現場資料不確定性的量化，可以使用各地每年設值的變化達成。各火災並非是每年火災數量估算的資料點（data point），各地區每年經歷的火災才是資料點。如果將資料轉化成或然率，例如起火或然率或可靠度或然率，然後現場資料的變化性就會符合或然率參數的或然率分布參數。

如果是以多位參加者系統化進行的估算，主觀性估算或是主觀性推導參數的不確定性亦可量化。以個人估算的差異做為不確性量化的基礎。上述這些方法都無法量化不確定中系統方面的誤差，例如，如果用某一國家的火災經驗資料去估算另一個國家的起火或然率，這就是系統性誤差。這些誤差的主觀性估算是可以找得出來的，並且可依照主觀估算的差異，將這些主觀性估算的不確定性與以量化。

一旦火災風險計算內所有已知參數的不確定性分佈確定後，就必須要計算這些不同態樣的不確定性對於最終風險估算的影響，因為初期的風險計算是計算大數量火災情境的或然率和影響，所以某一個和其他情境相互動的情境的不確定性變化可能已經計算過了。這樣可以減少計算的量。另外，可以使用蒙地卡羅或是其他取樣方法，來替火災風險估算計算以不確定為準的或然率的分佈。

在進行不確定分析時，必須要檢驗每個一般不被視為變數的參數基本風險估算程序，或是檢驗解釋這些參數的假設。任何和不確定性有關的參數都要檢驗。即使閃電的速度和重力加速度常數在其測量中有不確定，如果火勢的蔓延是以時間曲線表示，時間曲線的係數內不僅有參數的不確定性，所表現的指數的值也有不確定性。並分所有參數都可以實施不確定性分析，但是對於每一個有可能不僅大到足以變更風險估算，並且還會變更以這些估算為基礎的決定的不確定來說，必須要與以考量和系統化地確定。

叁、敏感度分析

敏感度分析可用來在首次事件時作成有用的結論或評估依據或然率風險評估所做決策的可靠度。

或然率風險評估，和其他所有的火災工程設計分析一樣，使用分析技術和資料解決火災安全設計相關的問題。分析技術和資料簡化了無法精確複製實際事件的假設和限制。然而，如果分析可導出有意義的結論，就足以表示所做的火災安全設計決策是正確的。

如果或然率風險分析的結果是在可接受的標準內，就不需要敏感度分析。但是，如果或然率風險分析很接近可接受標準，變數的差異對於分析的結論就會有很大的影響，就需要使用敏感度分析來評估。

敏感度分析的第一步就是確認對分析結果有最大影響的變數。變數可確認為：

- (1) 因為變數在等式或分析中的地位，導致微小的變化會被放大；

(2) 數值受到變異性和不確定的牽動。

例如，變數在等式中的數值佔有 1/3 的強度，對於分析的最終結果會有重大影響。另一個在等式中強度為第四的變數對於分析結果會有顯著的影响。如果變數是等式中的唯一變數，或是在分析中使用了很多次，也會對分析的結果有顯著的影响。

被定義為對分析結果有重大影響的變數，可以下列三種方式檢查：

- (1) 具有其他數值的單一變數；
- (2) 單一變數對一組多個數值；
- (3) 多個變數的多點評估。

帶有替換數值的單一變數的敏感度分析是最簡單的方法。分析以替換的（通常是更有代表性的）數值重複，評估分析的結果是否可靠。如果評估的標準依然滿足，分析的結論就進一步地得到佐證。

通常，只有單一替換數值變數的敏感度分析的結論都不太具決定性。因此，就要使用單一變數對一組多個數值的敏感度分析。可以更深入地了解變數和分析結果之間的關係。如果分析的結果落在接受的標準內，就可以確認變數的關鍵值，評估也可做出其結論。

敏感度分析有更先進的方式，可以同時讓一個以上的變數變化。使用這種方法，分析的結果可以以表格呈現，或是在套用迴歸分析後，以數學的方式呈現。

第六節 火災風險評量

風險評量是藉由將風險和預先決定的標準比對，再決定風險管理的先後次序。風險評量必須要決定風險是否可以接受或不可接受。風險評量首先即是依照相對的風險將情境分級。將步驟 6 得到的後果影響，與步驟 5 得出的情境發生或然率相乘，即可導出相對風險。

各火災安全目標，就是要選定最高風險等級的火災情境，將之量化分析。選定的情境應該要能呈現出累加風險（所有情境的風險總和）的最主要部份。建議在選定程序時，參考各相關利害關係人的意見。記錄選定的火災情境供分析。就完成了「設計火災情境」。另外也要記錄沒有被選定分析的火災情境，並且寫明原因。

在最終選定時，可能會有下列常見的錯誤或是誤差：

- (1)如果有數個結果嚴重且或然率低的情境被排除時，必須要注意，這些要被排除的情境相結合後是否變成中度或高度或然率。可以的話，最好把相似的情境結合而不是一味地將情境排除，這樣可以直接表現出更多的情境並且將之分析。
- (2)不能因為某個情境使得某種火災安全系統設備或某設計看起來很適合或不適合，而不理會該情境對風險影響的輕重就將之排除。
- (3)在本階段時，不能因為某一情境只有一種設計選擇才能得到滿意的結果、且該設計選擇又非常地昂貴，而不理會該情境對風險影響的輕重就將之排除。若要決定是否要接受某一去除或降低風險成本很高的情境，應該後續的階段、經過所有利害關係人參予發表意見後

才能決定。

(4)若是沒有一體適用的設計選擇將風險予以降低或去除的話，就可以不管該情境對風險影響的輕重就將之排除。例如，可以因為對於很習慣失火的人、或是沒有採取自我防衛行動能力的人（例如喝醉或是服用藥物）所承受風險的不同，而將該情境排除。

壹、個人和社會風險

個人風險測量，就是某人、每年受到某一類型傷害的或然率，例如因為某一特定型態的意外而失去生命。相對於社會風險的測量，就是一定數量或以上的人群、每年受到某一特定型態所導致的傷害的或然率。個人和社會風險幾乎完全不一樣。個人風險著重在誰受害，並且不管設施的數量。社會風險基本上比較著重在大數量的死亡人數，而非僅簡單地將每個死亡的人數加總起來。

貳、風險接受標準

風險接受標準是社會或是一決策者的價值的表現，例如，至今從未、且不適合定出國際標準。然而，卻可以提供選取標準的格式和架構。原則就是使用經詳細定義和測量的參考點作為判定設計風險可接受度的基礎。該參考點可以為已經量化的風險，或是評定一可作為風險替代設計的風險的參考點。

一、最近已定義過的經驗底線

從最近已定義過的經驗設定風險接受標準的第一步，就使用作為參考點的某一損失類型和人口的損失經驗文獻資料。例如，要憑定某

一年齡層的火災風險的參考點，就是定義出來的其他低風險年齡層的風險類型量化數據。

二、依據底線建立基準

一般來說，設定風險接受標準的第二步就是將標準設定成組成底線的各部份。例如，如果是以現有風險設定底線，因為社會容許其發生，新風險的標準可以設定成和底線相當，認定為社會可以接受，或是低於底線，可認定為在新設計中使用降低風險的新技術的使用，比在現有設計中更經濟。

如果是以各情境可接受的風險設定標準，風險評估應該確定所有情境的所有風險。例如，某標準將各情境的數量級設定成低於底線，表示如果有 10 個以上的情境時，整體風險高於底線。

新的風險通常都設定比現有風險較低的標準。非自發性風險通常都比自發性風險設定較低的標準，但是風險的自發性或非自發性在本質上還是不同。對於天然造成的風險和其他風險一般都會設定較高的標準。對於效果會延遲的風險也會設定較高的標準。其他風險的特性也可以作為區分風險可接受標準的基礎。

三、可接受頻率和多人死亡事件的修正標準

對於死亡人數一人以上的事件，該事件的每年可接受頻率和每年可接受風險除以該事件的死亡人數相當。然而，社會比該比例方程式更具避險性。

避險可以藉由將各事件的每年可接受頻率，設定成年度可接受風

險除以該事件死亡人數的冪函數或指數函數的商數。一般來說，可在圖形上定義年度頻率和影響相對關係的可接受度曲線。

四、低至合理可行的(ALARP, As Low As Reasonably Practicable)接受度

風險可接受度標準如要更精確地定義，就是在或然率和影響的相對關係的圖形上，劃分三個區域：

- 可接受風險（最左邊區域）
- 低至合理可行的風險（ALARP）（中間區域）
- 不可接受的風險（最右邊的區域）

藉著使用對數軸，劃分區域的線條可定義成指數曲線。當計算出的風險落在 ALARP 區域時，可能還需要詳細技術可行度和成本方面進一步降低風險或成本的規劃。如果規劃案不可行，應該將之駁回。並且，如果成本不合比例，降低風險的規劃案也應該駁回。如果增加的風險被視為不合比例，降低風險的規劃案也應該駁回。

參、安全係數和安全邊界

安全係數是適用於風險測量的倍數係數，可用解釋補償該風險測量中不確性的風險資訊。安全邊際則是同樣目的的附加係數。安全係數最適合用在找出風險測量中天然造成的隨機變數。例如，對於火災所造成的傷害，人和物品的易受害程度就不同。

安全係數假設，風險測量的誤差期望值為零，並且事實上，風險測量或計算或估算測量結果的或然率分佈是對稱的，且以計算或估算測量結果為中心。

例如，如果使用多種群組人員情境實施風險計算，同時顯示不同受害程度和能力所發生的變化和或然率，接者經計算過的風險測量就會導出無誤差的總體風險估算。相反的，如果根據所有的人員都是健康的成人，且無任何年齡相關或是其他特殊的易受害程度或限制的假設實施風險計算，計算出的風險測量結果就會有誤差，因為大部分的偏差都是同一個方向。風險測量不必一定零誤差，但是安全係數對於誤差和非誤差的隨機變數，必須將之補正。

安全係數在使用上最困難且最有可能產生誤導就是在於，對於支撐風險計算的資料完整度和精確度的不確定性予以修正。根據先前的經驗，無法期望某一現象所產生錯誤的誤差或數量級，可以和一群人或是資產內的天然變數所產生錯誤的誤差或數量級相比對。其於這些理由，在不確定性降低至安全係數前，明確且清楚地檢驗不確定性是很重要的。

第五章 結論與建議

第一節 結論

火災風險分析乃是一項複雜的專門學問或專業技術，除能夠應用在新建築物之性能式防火設計外，也應可以廣泛使用在建築物防火設計（不論新、舊建築物依一般法規設計者）。本研究希望不僅可供新建建築物設計使用，亦能供既有建築物之防火安全評估。

建築物之防火安全評估如何應用火災風險分析（評估）方法，本文業已概要說明相關關鍵議題，包括了定義火災風險的討論、風險特性辨識確定的討論、確定危險和影響的工具及方法的討論、火災風險分析方法的討論及或然率資料之取得，並也提供若干蒐集到的使用火災風險分析方法範例。

本研究完成「火災風險管理與評估指南（建議草案）」之研議，該指南係參考了行政院研考會相關手冊、美國 SFPE、NFPA、英國 BS 及國際標準組織（ISO）等標準綜合而成，將可提供相關應用問題的解說及建築防火設計專業人士接觸火災風險的指南，相信能夠協助使用者瞭解火災風險分析（評估）之應用價值。

本文期待提供有關風險分析應用在建築物防火安全評估的一個開端，使用此類方法技術的人最後必須謹記，當開始建築物火災風險分析時，必須要注意將相關利害關係人員納入，小心謹慎考量相關風險問題的範圍，並尋求解決問題最適當的途徑、工具、方法和資料。

第二節 建議

建議一

研編建築物防火安全設計有關「火災風險管理與評估應用手冊」：近期建議

主辦機關（單位）：內政部建築研究所

協辦機關（單位）：內政部營建署、消防署、財團法人台灣建築中心

由於個人研究，人力有所局限，倘依據本研究所提供之「火災風險管理與評估指南（建議草案）」，再補充更多風險分析（評估）計算案例說明，並蒐集國內外更多可信賴之或然率統計數據，則研編「火災風險管理與評估應用手冊」應該能夠成功。手冊編審會議將邀請建築、消防主管機關參與，並期待日後倘出版該手冊的話，能夠對我國的性能防火設計審查或原有建築物防火改善課題有所幫忙，台灣建築中心將可協助推廣火災風險管理與評估之應用。

建議二

辦理建築物防火安全管理導入火災風險評估概念有關研究：近期建議

主辦機關（單位）：內政部建築研究所

協辦機關（單位）：內政部營建署、消防署、財團法人台灣建築中心

目前國內的建築物公共安全管理有關防火安全部分，分屬內政部營建署、消防署的權責，前者辦理防火避難、防火區劃、防火構造、建築設備等公共安全檢查簽證申報等有關工作，後者辦理各式火災探測、滅火及排煙等消防設備之檢修申報等有關工作，然而民眾普遍不

清楚自身之義務及責任，概委託專業人士協助，對於建築物之防火安全並未深入去瞭解其重要性，因此建議參考英國法規之作法，導入火災風險評估概念，操作實際面上沒有風險評估所需的專業分析（對一般民眾而言，有如天書般難以瞭解），僅應用簡易的火災風險辨識、管理概念，並將原有傳統、條例式法規融入在火災風險管理作法之中，讓民眾清楚其居住的環境有何種可能危險，哪些法規可幫助他。英國法規規定所有建築管理權人(除住宅以外)均應接受建築火災風險評估的訓練課程，成效相當良好。將火災風險評估這項專業性頗高的學問、技術，轉化為提昇公共防火安全水準的新作為，應該是值得我國學習借鏡的新觀念。

附錄一 本所研究業務協調會議紀錄及回應

建議意見及結論	處理情形
1、建議本案應多辦理諮詢座談會，邀請專家學者討論並提供意見。	本案進行過程中業與國內 2 位及日本 1 位專家請教相關問題，另待本報告初稿完成後，將會擇期邀請專家學者座談。
2、建議以火災風險評估方法對既有旅館之防火安全進行分析。	謹遵照辦理，業與台灣建築中心聯繫，洽其協助提供建築防火標章審查案例供本研究進行分析，相關結果可望預計於期末審查（本年 11 月底）前完成。
3、有關提報本所績效特殊衡量指標加分之研究案，請將「因應多項災害設置建築內避難空間之研究」案換為「火災風險分析在建築防火安全評估之應用研究」案為宜，該案如有需要得增加研究人力，可請白櫻芳助理研究員協助。	本案研究人力雖僅一人，然尚能勉力達成研究目標，暫時毋須其他人力支援，應可獨力完成。

附錄二 本所期中審查會議意見及回應

審查意見	處理情形
張教授寬勇： 1. 進度與研究內容符合預期進度。	感謝委員指教意見。
2. 本案擬以旅館為例進行防火安全改善之風險評估，除選擇優良飯店如獲得防火標章者以外，建議能夠選擇一般性規模較小之場所為案例進行比較。	有關本案火災風險評估應用範例請參見本報告第三章第三節。業與台灣建築中心聯繫，洽其協助提供建築防火標章審查案例供本研究進行分析，相關結果希望可於期末審查（本年11月底）前完成。
許教授銘顯： 1. 國內性能式防火設計過去鮮少應用風險評估技術的原因，是因國內在相關基本資料上較欠缺，未來如能一一建立，則會有所改善。	認同委員見解，並感謝委員指教意見。
2. 建議可依空間用途加以分類，並針對分類進行風險分析，可以使成效更佳，更能落實使用。	感謝委員指教意見，有關本案火災風險評估應用範例請參見本報告第三章第三節。
張助理教授尚文： 1. 火災風險分析可以用來解釋建築物的安全等級，有機會用在建築物安全性能評估，尤其既有合法建築物，是很有發展潛力的研究主題。	感謝委員指教意見。。
2. 火災風險分析研究因涉及防火、工程、統計...等領域，在國內防火界而言相對陌生，而本案已有	感謝委員指教意見。

<p>豐富的文獻蒐集。</p>	
<p>3.目前國內法規對火災風險的界限定在人員避難的人命安全，本文中引用不少保險方面的資料，是否打算往財經方向去進行？</p>	<p>感謝委員指教意見，火災是企業面臨的主要災害之一，其風險管理通常採用風險移轉手法，亦即火災損失保險，因此本報告蒐集資料中會有若干討論到此方面議題，但並非朝向財經方向，仍以設計技術為導向。</p>
<p>4.期許對於防火科技計畫未來在火災風險領域可發展之相關議題能有所著墨。</p>	<p>感謝委員指教意見，本報告於第五章建議中有兩項可立即辦理建議事項。</p>
<p>張技正明長： 1. 文獻蒐集、彙整、分析均如預期，期能完成修正火災風險評估應用指南。。</p>	<p>感謝委員指教意見。</p>
<p>2. 建議本案能夠配合實務提供火災風險分析案例說明。</p>	<p>感謝委員指教意見，有關本案火災風險評估應用範例請參見本報告第三章第三節。</p>
<p>林教授文興(書面意見)： 1.研究步驟及進度，請以流程圖或進度圖例表示。</p>	<p>感謝委員指教意見，有關流程圖請參見本報告第一章第二節。</p>
<p>2. P.47 火災發生頻率中，應再提供近年來火災發生案例，以便估算時參考。</p>	<p>感謝委員指教意見，本報告所稱火災發生頻率指一定損失金額以上的火災發生的可能性，或發生在某特定時段內之火災次數。將蒐集國內火災統計資料加以計算，並將在成果報告附錄呈現。</p>

<p>3.是否可具體列出評估之步驟，並以一建築物為例應用說明。</p>	<p>關本案火災風險評估應用範例請參見本報告第三章第三節。</p>
<p>4.各種評估技術文中有說明，但欠缺各種技巧之內涵，如 FTA 等，建請增列。</p>	<p>感謝委員指教意見，請參見本報告第三章第三節。</p>
<p>中華民國消防設備師公會全國聯合會林世昌主委： 1.有關研究的內容相當專業，而且理論架構都有所本，期中報告符合其預定進度。</p>	<p>感謝委員指教意見。</p>
<p>2.有幾點書面問題，建議修正；(1) p.2 第 11 行，「減少財物損失...」有重複情形，(2) p.5 第三節研究期程，建議採用甘特圖來表現，(3) p.10 圖 2-1 第 3 個區塊「風險分析」第 1 項，確認既有控制機「制」漏字，(4) p.57 圖 3-2 步驟 4 選定要分析的情「境」漏字。</p>	<p>感謝委員，業參照指教意見修正完畢。</p>
<p>陳建忠組長 1. 目前國內性能設計技術規範偏向決定性手法，希望本研究之指南有別於本所出版之其他 3 本驗證手冊，能單獨作為防火工程設計之驗證手冊，以增加應用性。</p>	<p>感謝組長指教意見，將朝向該方向努力。</p>
<p>2. 報告書第三章之指南草案乃是相當原則性內容，在應用上仍有距離，多處內容僅是原則而非實用性教材；概率的計算法有無經驗值，或需要進行相關設計案例</p>	<p>感謝組長指教意見，本報告第四章為指南建議草案主體內容，該章第一節特別說明編撰內容及參考依據，其中部分內容分散在本報告其他章節，如果整編成一冊時，其內</p>

<p>的問卷以取得數值或基準值，宜予補充。</p>	<p>容有所連貫性，且有解說、有圖表，即可供作實用性教材，但是前須經專家審查程序。</p>
<p>李主任秘書玉生： 1. 本案在期末簡報時，請務必提出有關火災風險評估應用於防火安全評估案例。</p>	<p>感謝主秘指教意見，謹遵示辦理。有關應用範例預期將在報告第三章第三節「火災風險評估範例」提出。</p>
<p>2. 請業務主管督導並協助研究資料取得，必要時召開工作會議，後續加強改進。</p>	<p>感謝主秘指教意見，本案雖為個人研究，惟研究資料均能順利取得，又工作會議將視研究進度需要召開。</p>

附錄三 本所期末審查會議意見及回應

審查意見	處理情形
<p>王總幹事榮吉：</p> <p>1.本研究從火災風險分析之應用於防火安全評估之流程，並將朝更新修正「火災風險評估應用指南（草案）」努力，值得鼓勵並進一步研究。</p>	<p>感謝委員鼓勵及指教。</p>
<p>林教授文興：</p> <p>1.文章中重要敘述或理論，未列出其參考出處，請補充。</p>	<p>感謝指教，業依建議增列參考出處。</p>
<p>2.火災風險分析如何應用在建築防火安全上，在文中未見評估方法，系統式的整體說明。亦未見分析範例解說？</p>	<p>感謝指教，火災風險分析應用在建築防火安全評估，如第三章第二節所示；另火災風險評估方法，如第二章第三節所示；範例如三章第三節所示。</p>
<p>3.目次之各章節頁數請重新檢討，例如第三章第三節為 86 頁而非 79 頁。</p>	<p>感謝指教，業重新檢視修正。</p>
<p>4.是否列出後續研究之工作或應蒐集之數據資料供參考，例如還有哪些方向、課題要探討？統計數據、頻率如何產生或獲得？可接受標準概率值為何？等，均有待進一步深入探討。</p>	<p>感謝指教，後續研究建議如第五章「結論與建議」之建議二：辦理建築物防火安全管理導入火災風險評估概念有關研究。關於統計數據之獲得，在國內雖有一些基本統計數據(如消防機關公布之火災統計數據)，但欠缺進一步計算整理的數據(如住宅每戶或每平方公尺面積發生火災機率多少？)，其次是有些資料國內欠缺本土數據(如防火門或撒水頭成功阻止火災機率為何？)，或許保險公司有一部分</p>

	客戶統計資料，然而事涉業務機密，且無專門機構或研究者去彙集分析，未來可進行國內本土化數據資料之蒐集整理工作。
張技正明長： 1. 是否可再觀察國內相關實際案例中，針對項目因子再細分，如避難路徑完整無阻礙（人潮多及人潮少）時，參數應有所不同。	感謝指教，在邏輯樹分析中會對各種可能影響因子項目細分，不同項目之參數自然不同。
蕭教授邦安（書面意見）： 1. 本研究案針對應用在防火安全評估之火災風險分析範例於期末報告第三章第二節與第三節論述堪稱完整，實具參考價值，另建議於往後年度之研究案若有機會，可針對實例分析進行擴充與軟體應用，另闢專案研究，對實務將更具應用價值。	感謝委員鼓勵及指教，日後如進行相關延續性研究，將會納採委員建議，進行相關軟體應用等研究。
2. 關於建立火災風險分析應用於防火安全評估之流程及應用方式，期末報告業已於第三章完成預期成果，內容亦具參考價值。	感謝委員鼓勵及指教。
3. 本期末報告在第四章完成火災風險管理與評估指南（建議草案）研議，亦符合預期成果第三點之需求，建議後續可以嘗試推廣之。	感謝委員指教，日後如能完成火災風險評估應用手冊時，即可辦理推廣工作。
4. 本研究案整體而言，符合預期成果之需求。	感謝委員鼓勵及指教。

<p>中華民國消防設備師公會全國聯合會（林主委世昌）：</p> <p>1.有關火災風險分析，對於消防專業人員，仍屬待學習及加強領域，建議本案研究成果能夠藉由研討會或訓練來延續研究成果。</p>	<p>感謝指教，日後如能完成火災風險評估應用手冊時，即可辦理推廣工作。</p>
<p>陳組長建忠：</p> <p>1.本案研究成果所提之指南草案，能否成為應用手冊？能否提供計算風險的方法？</p>	<p>感謝指教，本案研究成果所提之指南草案尚需有部分實例提供使用人員參考，另還要有相關統計數據或提供何處可以找到這些所需之數據。前者案例部分，本研究報告第二章第三節所示案例有提供一些計算風險方法，另風險有關統計數據則有部分國外數據，引用時僅可做為參考之用。</p>
<p>2.風險有關概率等統計數據，要如何取得？是經驗值還是問卷調查統計所得？</p>	<p>本報告所提之指南草案再補充風險分析計算案例，及更多信賴度高之概率數據，則勉強可成為手冊。取得計算案例可以從參考文獻蒐集，然國內相關概率數據取得卻有其困難，一是國內雖有一些基本統計數據（如火災數據），但欠缺進一步計算整理的數據（如每平方公尺面積發生火災機率多少？），其次是有些資料國內根本無本土數據（如防火門或撒水頭成功阻止火災機率為何？）。</p>

參考書目

1. 行政院研究發展考核委員會，2009，風險管理與危機處理作業手冊。
2. 李引擎（主編），2005，建築防火性能化設計，化學工業出版社，中國北京。
3. 范維澄等著，2005，火災風險評估方法學，科學出版社，中國北京。
4. 莊磊、陸守香、王福亮，2007，「基於事件樹分析的火災場景選擇」，火災科學與消防工程第四屆消防性能化規範發展研討會論文集，p.591-598，中國科學技術大學出版社，合肥。
5. 黃清賢，2006，危害分析與風險評估，三民書局，台北。
6. 雷明遠、何明錦，2007，「台灣性能防火法規與設計之展望」，火災科學與消防工程第四屆消防性能化規範發展研討會論文集，p.230-246，中國科學技術大學出版社，合肥。
7. 雷明遠，2009，防火性能設計導入火災風險評估之研究，內政部建築研究所自行研究報告。
8. 劉君毅，2003，「半導體廠房之風險分析與防災技術回顧與展望」，科技廠房防災知識管理研討會論文集，國立台北科技大學，台北。
9. BS 7974-7:2003 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings—Part 7: Probabilistic risk assessment, BSI.
10. ISO/PD 16732:2005, Fire Safety Engineering—Guidance on fire risk assessment, ISO.
11. ISO/PD 16733:2006, Fire Safety Engineering—Selection of design fire scenarios and design fires, ISO.
12. Meacham, B.J., 2004, *Understanding Risk: Quantification, Perceptions,*

and Characterization, J. Fire Protection Engineering, Vol. 14, p.199-227.

- 13.Meacham, B.J., 2004, Performance-Based Building Design Concepts, International Code Council.
- 14.Meacham, B.J., 2008, *Building Fire Risk Analysis*, Sec.5, Chap. 12, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th Ed., NFPA.
- 15.NFPA 101, Life Safety Code, NFPA.
- 16.NFPA 551, Evaluation of Fire Assessments, NFPA.
- 17.NFPA 5000, Construction and Safety Code, NFPA.
- 18.Society of Fire Protection Engineers, 2005, SFPE Engineering Guide to Application of Risk Assessment in Fire Protection Design (Review Draft).
- 19.Society of Fire Protection Engineers, 2007, SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection.