

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

中華民國 98 年 12 月

國科會 GRB 編號：PG9803-0253
本部計畫編號：098301070000G2039

防火性能設計導入火災風險 評估之研究

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 98 年 12 月

目次

表次	III
圖次	IV
摘要	V
第一章 緒論	13
第一節 研究緣起與目的	13
第二節 研究方法與步驟	17
第二章 資料蒐集及文獻分析	18
第一節 瞭解風險	18
第二節 公共安全與風險管理	40
第三節 防火性能設計評估	44
第四節 風險評估（危害分析）方法比較	56
第三章 火災風險評估方法之應用	68
第一節 事件樹分析法應用	68
第二節 科技廠房道氏火災爆炸指數分析應用	73
第三節 風險-成本評估模式應用	95
第四章 火災風險評估應用指南研議	103
第一節 概述	103
第二節 火災風險估算的步驟	104

第三節 不確定性、敏感度、精確度和誤差	120
第四節 火災風險評定	123
第五章 結論與建議	128
參考書目	132
附錄一 本所研究業務協調會議意見及回應	134
附錄二 本所期中審查會議意見及回應	135
附錄三 本所期末審查會議意見及回應	137

表次

表 2-1 定性影響的敘述分類表	30
表 2-2 定性機率的敘述分類表	30
表 2-3 半定量影響的敘述分類表	32
表 2-4 半定量機率的敘述分類表	32
表 2-5 火災風險評估方法之類型	57
表 2-6 危害分析方法優缺點比較	63
表 3-1 MF 與 Nf 及 Nr 對照表	79
表 3-2 熱油熱交換系統危害點數	87
表 3-3 火災爆炸指數 (F&EI)	94
表 3-4 損失控制信用係數	95

圖次

圖 2-1 風險管理架構	22
圖 2-2 風險辨識的方法	28
圖 2-3 半定量風險分析圖(風險等級)	33
圖 2-4 風險處理對策的步驟	38
圖 2-5 公共安全管理架構	42
圖 2-6 標準的性能法規體系層級圖	45
圖 3-1 三間房間火災風險分析的事件樹圖	70
圖 3-2 IPA 儲槽專用室平面圖	74
圖 3-3 IPA 儲槽供應系統流程圖	75
圖 3-4 道氏係數(F&EI)計算流程圖	78
圖 3-5 易燃性與可燃性液體釋放壓力	83
圖 3-6 儲存中液體或氣體的危險點數	84
圖 3-7 火焰設備之危險點數	86
圖 3-8 毀損係數	88
圖 3-9 暴露範圍	89
圖 3-10 信用係數	91
圖 3-11 最大可能停工日數	92
圖 3-12 火災成本評估模型	97
圖 4-1 火災風險管理流程圖	105
圖 4-2 火災風險估算	106

摘要

關鍵詞：火災風險、風險評估、性能設計、風險管理

一、研究緣起

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 則有火災風險評定指南相關出版品。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，對於火災及建築領域，深入了解風險觀念有其重要性。

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）、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（reliability）」及「以人為中心（person-centredness）」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。

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際規範，並據以參考完成簡易之「性能設計有關火災風險評估應用指南或標準草案」，其中在危險辨識或設計火災情境部分，將考量新建建築物及原有合法建築物兩大部份。

三、重要發現

目前在建築及防火研究領域，風險應用於分析、設計及法規的情形已日益普遍，然而瞭解風險卻是複雜的，在不同領域、不同觀點之下，風險的涵義、如何將風險定量化、如何被認知、又如何被類型化等問題，在研究資料已有所探討，未來將再加強。

風險評估應用在危險物品發生火災爆炸情況之分析，在工廠類建築及設備之危險分析是常見方法。然而應用在建築物之防火設計（新建及既有者改善的案例），尤其是性能化設計，如何選定辨識火災情境、如何評估嘗試性設計將是另項挑戰。

在大多數的防火工程設計應用，僅採用決定性手法分析來演示證明設計是可接受的。此外，完全的概率性風險分析手法可能相當耗費時間及金錢，因此在許多情況下可能不太實用。然而概率性風險分析可以應用在（a）為決定性分析鑑別並選擇火災情境，（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，例如孰者更可信賴或更為經濟有效。

建築物火災風險分析是一個複雜的問題，本文業概要說明該項問題有關的關鍵議題，包括了定義火災風險的討論、風險特性判定的討論、幫助判定危險和結果的工具及方法的討論，建築物火災風險分析方法的討論。本文期待提供有關風險分析應用的一個開端，據此，乃參考國際標準（ISO、BS、NFPA）研提建築物火災風險分應用析指南草案，提供對此課題有興趣者參考。最後必須謹記，當開始建築物火災風險分析時，必須要注意判定並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

立即可行建議：應用火災風險分析方法檢視性能設計案例強化防火安全

主辦機關（單位）：從事建築物防火性能設計顧問公司

協辦機關（單位）：內政部建築研究所

經過性能設計及審查通過的建築物案例基本上有一定的防火安全

水準，惟可再應用火災風險分析方法檢視這些建築物在火災情境、設計火源、設計方案選擇上是否考慮了全方面的問題，可供日後進行性能設計時修正改進之參考依據。

建議二

中長期建議：建築物性能防火設計審查作業要求申請案須經一定火災風險評估分析步驟

主辦機關（單位）：內政部營建署、消防署

協辦機關（單位）：內政部建築研究所

目前國內的建築物性能防火設計審查作業分屬內政部營建署、消防署的權責，前者審查防火避難、防火區劃、防火構造等之性能設計案，後者審理火災探測、滅火及排煙等消防設備之性能設計案，當前設計者提出設計構想計畫，概以依據決定性分析手法所設想之計畫為主，再經過審查委員會意見修正後實施，其過程可能是彼此雙方相互妥協或審查者單向意見主導。例如在購物中心中庭或體育館場、表演場所挑高空間如何進行排煙設計及驗證的審查案，常見到火災規模大小及位置的辯論，因此建議審查作業要求在提出申請前須經一定火災風險評估分析步驟，相信申請者所提建議方案較能清楚說明設計及驗證方式的理由，且較容易獲得審查者信心而減少無謂之討論時間。

建議三

中長期建議：研編建築物性能防火設計有關火災風險評估方法應用手

冊

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

前階段檢視工作倘進行順利，則將有不少應用案例可供比較分析。該

手冊將可涵蓋火災情境選擇擬定、嘗試性先期設計 之評估、系統可用

性及可信賴性等部分，輔以計算案例說明，並解說應準備何種文件。

此外，尚提供可信之統計數據供補充資料。

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與目的

壹、研究緣起背景

當前在防火工程及建築法規領域，甚者我們的週遭環境的其他領域中，有不少應用風險概念在分析設計、行政管理及規要風險，以形塑風險管理文化，提升風險管理能量，有效降低範制定的活動。例如，行政院在 94 年 8 月 8 日特函頒「行政機關風險管理推動方案」，其具體目的係「為培養行政院所屬各機關風險管理意識，促使各機關清楚瞭解與管理施政之主風險發生之可能性，並減少或避免風險之衝擊，以助達成機關目標，提升施政績效與民眾滿意度」，據此，研究發展考核委員會（研考會）乃於 94 年 11 月編撰「風險管理作業手冊（第一版）」。另行政院復於 97 年 4 月 1 日函頒「行政院所屬各機關風險管理作業基準」，而後 97 年 12 月 8 日行政院為進一步強化機關危機處理能量，爰將前開基準納入「危機處理」專章，並配合將名稱修正為「行政院所屬各機關風險管理及危機處理作業基準」，機關各層級參酌作業基準運作時，須設定政策目標、規劃及建置架構、執行與操作、監督審查與矯正預防及改善等作業，而作業之實務說明須參考研考會於 98 年 1 月編撰之「風險管理與危機處理作業手冊」。

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 則有火災風險評定指南相關出版品。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，對於火災及建築領域，深入了解風險觀念有其重要性。

建築物火災風險分析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眾多決策時，能有清楚的了解。日本自 2000 年建築基準法大修改，並導入防火有關性能基準以來，然而仍然有部份防火設計無法應用性能設計，如防火區劃面積規定放寬、納入自動撒水設備的評估(支援消防活動的性能)等要求的聲音從未變小。自 2006 年日本建築研究所(BRI)開始進行火災風險與火災安全有關研究—火災風險評估為基礎之性能防火安全設計法之開發，希望不久將來能提出火災安全相關法令修正建議，解決上述法規的突破問題。目前第一階段預期成果是提出火災風險評估的架構，預計在今年底之前會完成。(然根據今年 10 月中旬日本建築研究所該計畫核心研究人員萩原一郎博士訪台時之說法，稿件草案已初步完成，希望能夠如期定稿出版，但卻又無法保證)。

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）、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（reliability）」及「以人為中心（person-centredness）」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。

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決擇。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。

本研究希望不只是新建建築物設計使用，連既有建築物防火安全改善的設計都予以考量，從若干之風險評估分析方法中篩選 2~3 項較適合之評估法，並提供不同設計目的之實例說明如何分析應用在協助性能設計方案之選擇。

第二節 研究方法與步驟

本研究方法與步驟包括：

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際規範，並據以參考完成簡易之「性能設計有關火災風險評估應用指南或標準草案」，其中在危險辨識或設計火災情境部分，將考量新建建築物及原有合法建築物兩大部份。

第二章 資料蒐集及文獻分析

第一節 瞭解風險

壹、相關用語定義

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」，另依據行政院研考會於 98 年 1 月編撰之「風險管理與危機處理作業手冊」，有關風險相關用語定義如下：

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 危害 (hazard)：一個潛在的損害或一個可能會造成損失的事態。
6. 事件 (event)：一個特定時期內，在一個特定地點所發生的事態。
7. 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。
8. 風險評估(risk assessment)：包括風險辨識、風險分析及風險評量之過程。

9. 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。
10. 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。
11. 影響(consequence)：一個事件的結果，以定量或定性來表示，可能是損失、傷害、賠錢或獲利及形象與聲譽的影響。
12. 機率(likelihood)：用來描述頻率及或然率的實際數值。
13. 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。
14. 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。
15. 組織風險圖像(organization risk profile)：指組織主要風險項目及優先順序，以及個別風險項目分析資料；包括風險事件及其影響、緩和風險策略與目標等整體呈現。
16. 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。
17. 損失(loss)：在經濟上或其他方面所發生的負面影響。
18. 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。

19. 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。
20. 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。
21. 風險對策(risk treatment)：選擇並執行適當的風險處理方法。
22. 風險規避(risk avoidance)：決定不涉入或退出風險處境。
23. 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。
24. 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。
25. 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。
26. 殘餘風險 (residual risk)：執行風險對策後所剩下的風險。
27. 監控(monitor)：定期及不定期檢查、諮商、觀察及記錄活動、動作或措施之過程。
28. 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。
29. 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。

依前述，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 種係數的函數：有價物品的損失或傷害、可能導致損失或傷害的情事或危險、損失或傷害發生可能性的判斷。火災風險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。

貳、風險管理

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

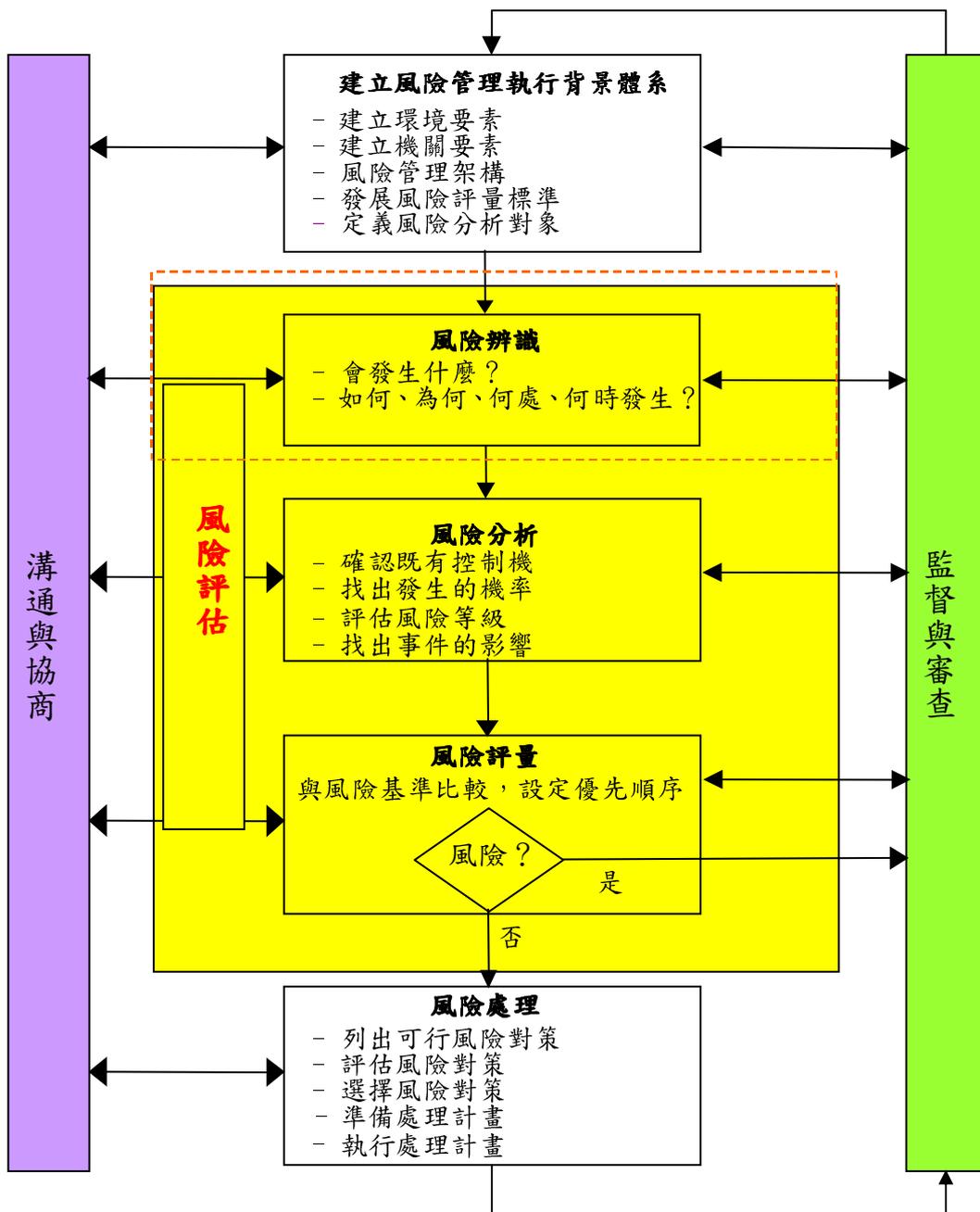


圖 2-1 風險管理架構

參、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

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：

- (a) 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？
- (b) 可能導致的情況：
 - (i) 增加或降低達成目標的效率；
 - (ii) 以高或低效率達成目標（財務、人員、時間）；
 - (iii) 利害相關者是否會採取影響目標達成的作為？
 - (iv) 是否會產生附加效益？
- (c) 可能對目標造成什麼影響？

- (d) 可能會涉入或受到衝擊的利害相關者？
- (e) 風險可能發生的時機、地點、原因及方式？
- (f) 目前的風險控制方法為何？
- (g) 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、工具和技術

用來發現風險的方法包括核對風險清單、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。經驗導向式的作法較為領域專家所應用，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，勿需太多經驗，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：

- 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。
- 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。
- 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。

- PESTLE (政治、經濟、社會、科技、法律、道德) 分析為外在環境之趨勢分析，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。
- 系統工程技術包括：
 - (a) 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。
 - (b) 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。
 - (c) 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。
 - (d) 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。

- (e) 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。
- (f) 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。
- (g) 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。

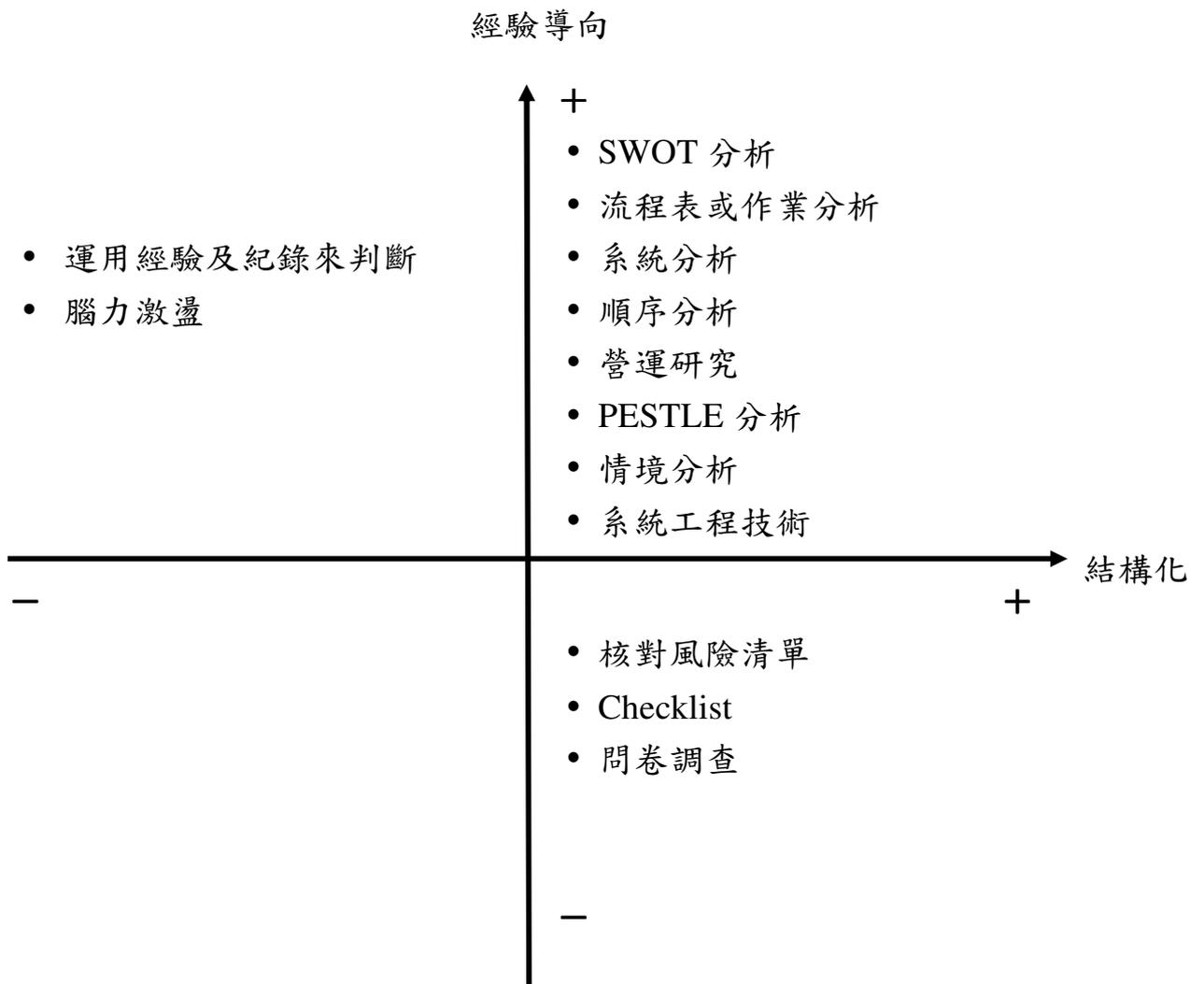


圖 2-2 風險辨識的方法

肆、風險分析

這個步驟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	人員死亡	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	人員重傷	至中央機關抗爭	經費/時間中度增加
輕微	區域新聞媒體報導負面新聞	人員輕傷	多位民眾電話抱怨	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	人員死亡 (如 1 名以上)	大規模遊行抗爭	大於一億元(含)	經費/時間 大量增加
2	嚴重	台灣新聞 媒體報導 負面新聞	人員重傷 (如 1 名以上)	至中央機關抗爭	一千萬(含)以上 一億元以下	經費/時間 中度增加
1	輕微	區域新聞 媒體報導 負面新聞	人員輕傷 (如 1 名以上)	多位民眾 電話抱怨	一千萬以下	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	9 (extreme risk) 極度危險的風險，需立即採取行動
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)

(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。

伍、 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。機關應該考慮機關的目標以及冒險可能會帶來的機會。決策時應該考慮較大範圍的風險，並將機關以外的團體所造成的風險容忍度列入考量，因

為有時機關會從其他團體的風險中獲得好處。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處理。機關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，則機關應使用風險對策來處理。

陸、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(通常是受機關內部文化的影響)，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；依賴其他團體來做重要的決定；延後機關必須要做的決定或在不考慮利益的情況下，選擇這個處理方法。

(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)風險轉嫁

風險轉嫁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、保險和機關的結構，如合夥經營和共同投資。

將風險轉嫁給其他團體，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

在機關降低及轉嫁部分風險後，他們會保有剩餘的風險。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。當機關無法適時地發現並轉嫁風險，或應用其他的風險對策時，機關會因此而必須保有風險。

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。

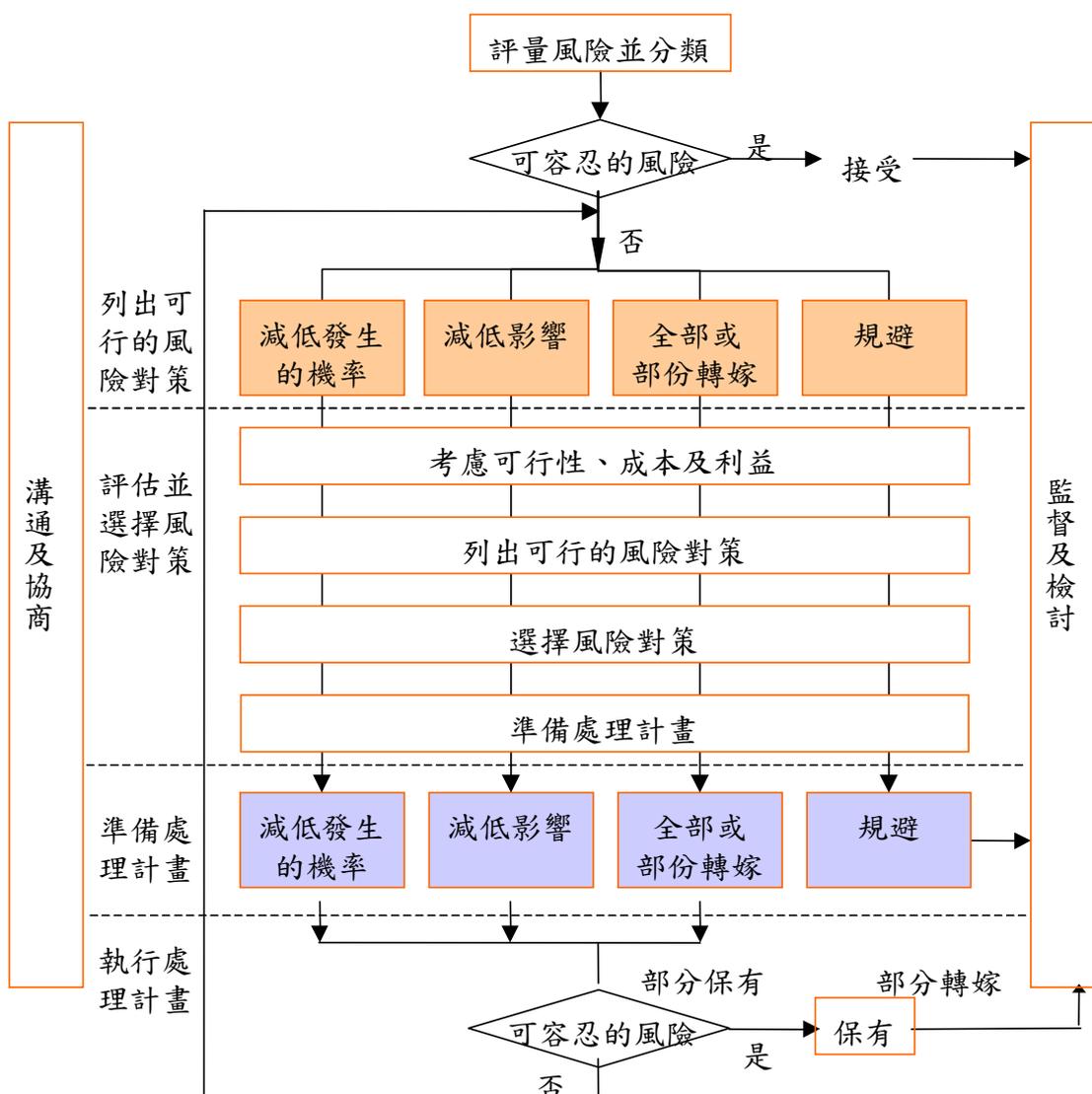


圖 2-4 風險處理對策的步驟

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 公共安全與風險管理

我們的社會，基本上是由健康、教育、生活、環境以及政府這五根支柱所支撐的，這五項指標重要性相當，而且每一項之間也都有著密不可分的關係，而以這五項指標為基礎，進而向上發展出藝術與文化的層面，有了穩定舒適的生活，便會開始想要擁有心靈方面的享受，當然這所有的一切都立基於安全之上；也就是說，如果要維持人類社會的發展，最重要的議題就在於公共安全。

由圖 2-5 我們可以得知公共安全分為總體安全與個體安全，個體安全的部分，因為所涉及的問題較為單純，是故，我們對公共安全著墨的重點將在於總體安全的部分，也就是與我們息息相關的社會公共安全。每當談到社會公共安全時，就不得不討論到風險管理與急難管理；大致上來說，風險管理做的是急難發生前的急難預防與急難發生時的緩衝，以及事後檢討急難發生的原因，並找出弱點，而急難管理則是負責在災難發生時，能夠讓組織即時做出應變處理與事後的修復，讓災害所造成的損失能低。

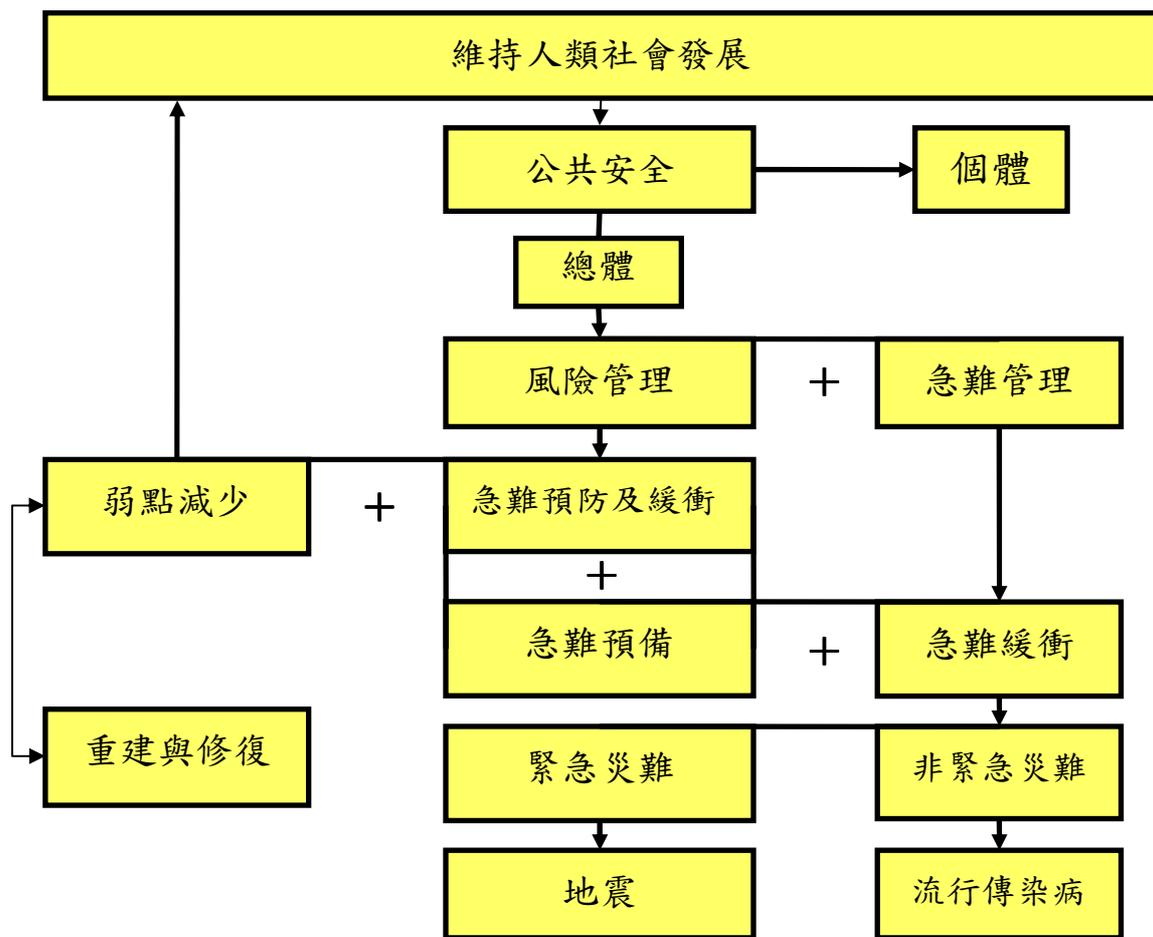


圖 2-5 公共安全管理架構

風險會隨著危險存在而產生，如果當發生的情況超出了控制之外，就會造成所謂的急難狀況；由發生的範圍以及涉及到的管理層級來看，大至戰爭、小至個人受傷，都可以將其歸類為急難狀況，我們可將其分為三大型態：大量傷亡事件、流行傳染病與災難以及複合緊急狀況等三類。而所謂的公共安全風險，指的是在社會暴露於危險下時，有可能產生的結果，所以我們可以利用下列的公式來評估公共安全風險的指標：

$$\text{公共安全風險} = \text{危險} \times \frac{\text{弱點}}{\text{完善準備}}$$

由以上的公式我們可以發現，危險是風險型態的決定因素，不同的危險類型會產生不同的風險，而弱點則是在風險發生之前決定對風險的影響，至於完善準備則會決定在風險發生後，會對風險發生的地區產生什麼樣的影響，而社會風險管理的目標就在於強化事先的預防，保障社會的公共安全；也就是說，減少將社會暴露於危險之下的情況、減少安全管理上的弱點、還有增加事前準備的完善度，將可以有有效的降低公共安全風險。同時也可以利用風險降低監控指標來評估十年間的滑動平均值，來進行社會風險管理（包含預防與舒緩規劃、弱點減少規劃以及急難預備計畫），以期達到更安全的社會。

在災難發生之後，其首要的工作便是重建與修復，在這裡我們利用衛生部門及其相關機構單位作為架構的應用實例。首先，在舒緩階段中，衛生部門有許多重要的工作，包括了損害與需求的評估、監視系統還有組織與管理。損害與需求評估的部分主要是針對建築與設備的損害，受災地區的人民是否有健康情況上的問題需要進行救護，還有對於人手、計畫等等的需求，並且將情況向上回報，以讓相關單位能夠進行初步的準備來進行處理；監視系統並不單指影像上的監視，還包括了一些飲水品質與其他相關數據的監控，不要讓情況因為災害的發生而變得更糟；除此之外，還會需要將組織管理控制好，除了原

本的組織架構之外，也要另外視情況來決定是否應該要設立緊急處理措施。

而藉由以上的部分另外也衍伸出了診所照護以及傳染病控制等機制，讓受傷的病患能夠快速的分配至鄰近的診所，並且監控當地的衛生環境，不要因為環境受損而導致傳染病的產生，最後統整出來所有的情況經由報告系統將發生的情形一併上報，讓高層來決定下一步的行動。

而在緊急事件的醫院診所規劃上分為內部的院內緊急事件規劃、外部的大規模傷亡事件規劃與整體的災難規劃，以內部規劃來說，很單純的就是醫院對於緊急傷亡事件的處理流程；而外部的大規模傷亡事件就會牽連到各個鄰近地區醫院的合作計畫，需要有不同單位的合作才能達成；在整體的部分則又要牽涉到了各個地區的合作，情況又更為複雜。

從以往的經驗與統計資料來看，在公共安全的健康、行為修正與相關硬體設備建設與經費投入之後，災難事件中的死亡率有了大幅的下降，而在進行了規劃上的改善之後，將風險管理修正，並減少制度上的弱點，另外加強了預備措施之後，隨著經費的增加，死亡率也有了大幅的下降，由此我們可以看出，進行相關的規劃與改進對於我們的公共安全來說是必要的動作，是故政府單位應該對於此方面多加進行研究，以保障人民的人身安全。

第三節 防火性能設計評估

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 2-6 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。

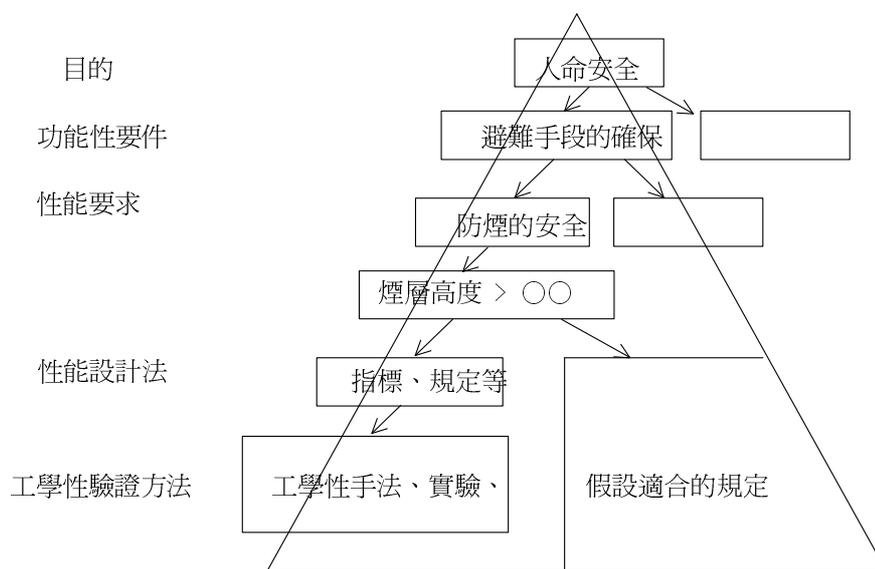


圖 2-6 標準的性能法規體系層級圖

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，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：

（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,此將於後節詳述。

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。

(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、 概率（或然率）

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：

$$P_A = n_A / N$$

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間區隔內之火災次數。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。

三、火災風險

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。

火災風險（fire risk）是一種衡量火災危險程度的尺度，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：

$$\text{火災風險率} = \text{火災發生後果嚴重度} \times \text{火災發生概率}$$

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：

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

四、危害與失誤分析

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、原因推論（cause consequence）等可用來擬定火災情境。

五、系統可用性及可信賴性

（一）消防系統可用性

消防系統並非總是百分百可運轉的，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）消防系統可信賴性

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並考量進去。

(三) 既有建築物之系統可用性及可信賴性分析

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。

第四節 風險評估（危害分析）方法比較

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"> • “如果會是什麼”分析 • 風險矩陣 • 風險指標 • 消防安全概念樹
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	(1) 判斷損失的預期值，或 (2) 判斷閃燃機率，或 (3) 判斷建築物其他房間或樓層居民的死亡機率，或 (4) 對死亡頻率與死亡人數繪圖，或 (5) 對損失的頻率與損失的多寡繪圖，或 (6) 判斷傷害、死亡、財產損失以及企業中斷的機率可能性，或 (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	<ul style="list-style-type: none"> • 以火災風險評估來判定核電廠因火災發生反應器堆心熔化的機率。 • 事件樹分析與火災模式結合。
成本-效益風險方法(風險-成本評估方法)	納入各種替代方法的成本來限制後果及(或)可能性	(1) 判定達成降低不同層級的風險所需的成本，或 (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。	整合機率、後果以及成本數據的計算模式。

茲針對常用之風險評估（危害分析）方法，進一步說明如下：

(1) 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。

(2) “如果會是什麼？”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...會是什麼(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？此分析的目的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。

(3) 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。

（4）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）。

（5）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。

(6) 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)。

(7) 危害及可操作性研究(HAZOP)

是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的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。小組以一次又一次的方式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。

(8) 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。

(9) 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。

(10) 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 (危害分析) 方法比較，如表 2-6 所示。

表 2-6 危害分析方法優缺點比較

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。 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"> 1. 未能量化或分級危害。 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(如共同故障、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。

3. 風險評估方法的考量與選用

(1) 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。

- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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價。
 - 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。
- (5) 風險評估模式中，「工作場所導向式評估模式」適用於工作場所之連續性製程或管線系統，例如煉油廠、發電廠、石化業、化工

廠等；而半導體的 IPA 儲槽場所風險評估模式採取工作場所導向式評估模式為較佳評估模式。工作場所導向模式風險評估：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：

A.檢核表(Checklist)

B.如果...會是什麼?(What-if?)

C.危害及可操作性分析 (HAZOP)

D.失誤模式與影響分析 (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)。

(6) 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。

(7) 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 火災風險評估方法之應用

第一節 事件樹分析法應用

事件樹分析法 (ETA) 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 (probabilistic risk assessment, PRA)，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。

雖然多情境狀態應用了以 ETA 為基準的風險分析方法，但不必然表示這種分析方法很簡單。可以三個房間的情況舉例。圖 3-1 顯示如圖

的三間居室區劃建築物的事件樹。

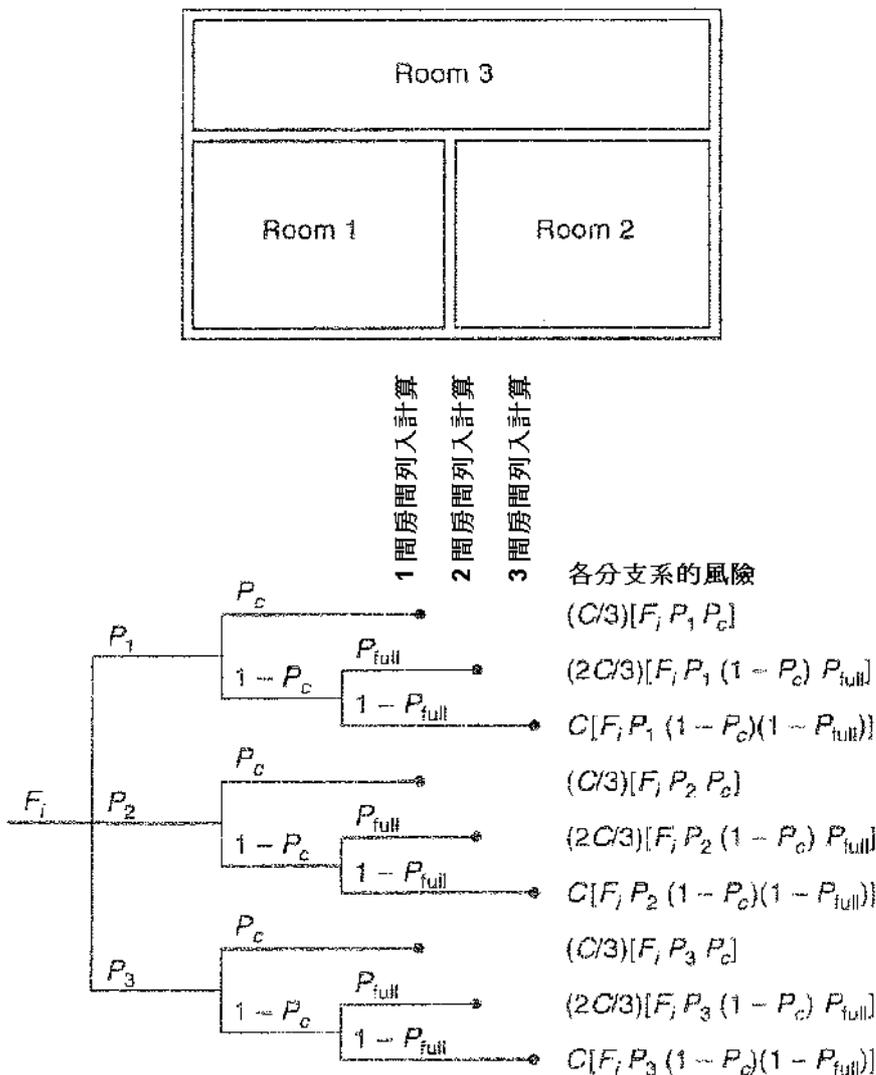


圖 3-1 三間房間火災風險分析的事件樹圖

在上例中，假定三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，火災內三監方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 ，並且防止蔓延到第三間房間的或然率是 P_f ，所以圖 3-1 所示的整體風險可依照下列估算：

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

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 可以解讀為防火區隔的成功或然率。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，防火區隔沒有失效)，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，防火區隔沒有失效、 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。有系統，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遮蔽）。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（若為後者，應清楚明確）。

第二節 科技廠房道氏火災爆炸指數分析應用

壹、科技廠房化學儲槽室案例

一、處理設備系統

位於 FAB 棟(六樓建築物)一樓，空間尺寸為 21.6m×12m×4m(H)，三面防爆牆，面向戶外為金屬板外牆(洩爆牆)，內有 1 座常壓儲槽(Storage Tank)容量為 3000 加侖(約 11400 公升)異丙醇(IPA)儲槽專用、2 座 500 公升氮氣壓送供應槽(Supply Tank)、化學品接駁系統 CCB(clean couple booth)、化學品傳輸系統 CTU(chemical transformer unit)、化學品供應系統 CDU(chemical distribution unit)，如圖 3-2 所示，其中 CCB、CDU、CTU 內設有 CO₂ 自動滅火設備。

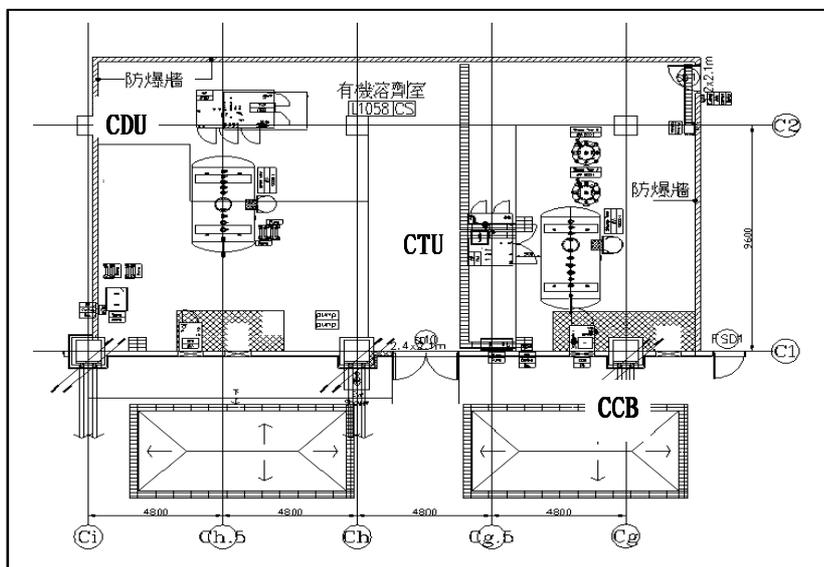


圖 3-2 IPA 儲槽專用室平面圖

儲槽室各系統單元及化學品流程如圖 3-3 所示。

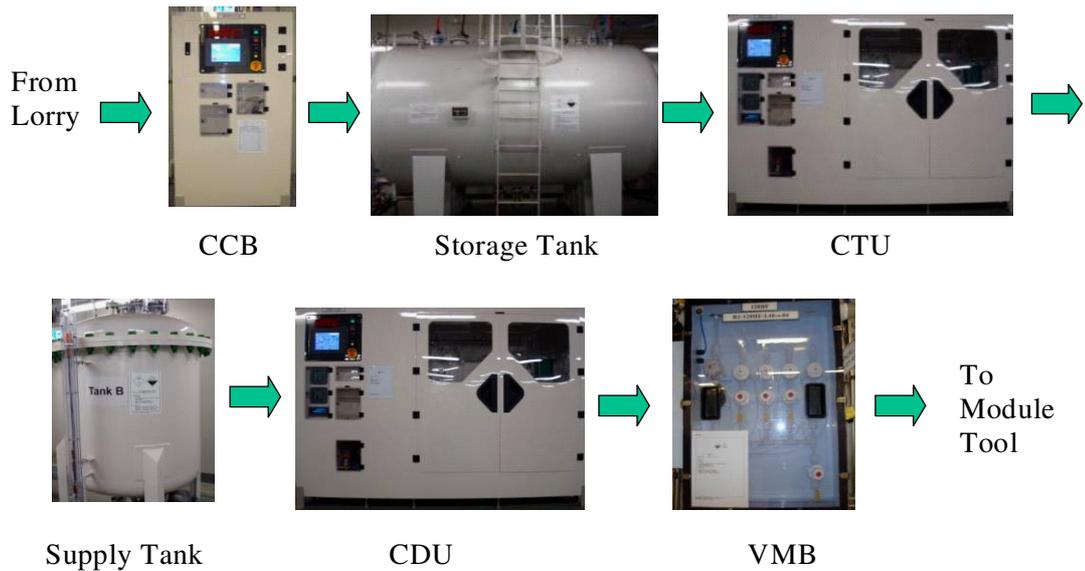


圖 3-3 IPA 儲槽供應系統流程圖

二、透過其 MSDS 查詢 IPA 物質安全資料

(1) 閃火點 (12°C)、比重 (0.785)、爆炸範圍 (2.5~12%)。

(2) 毒性資料如下：

1. 皮膚腐蝕性：無。
2. 刺激性 (皮膚、眼睛)：對眼、鼻、咽喉有刺激性。
3. 敏感性：偶爾會有因對IPA敏感而造成黏膜發炎或溼疹般發疹的現象。
4. 人急性毒性：經口進入 LD₅₀ (最小致死量) 為3570 mg/kg。

三、違規說明

異丙醇考量管線設計與設備投資太過龐大，為輸送及回收方便將供應製程用儲槽設於 FAB 棟一層有機溶劑專用室，違反相關規定一閃火點易燃液體室內儲槽場所應設於一層建築物(平房)之儲

槽專用室。

四、等效替代措施

法規之用意係考量易燃性液體火災發生時恐對建築物其他部份造成延燒及滅火活動困難等因素，對閃火點在攝氏四十度以上第四類公共危險物品放寬，但其構造設備應予強化。

異丙醇儲槽專用室之遷移勢必導致生產中斷，影響重大，思考運用以下強化措施，透過風險管理控制以達到等效功能。

- (1) 建物構造強化：與建築內部三面隔間牆皆為防爆牆，上層天花板亦為鋼筋承板混凝土構造，包含出入口門，防火時效皆達2小時以上，面向戶外為金屬板外牆(洩爆牆)，並符合FM1-44 DLC設計標準，能將爆炸威力自外牆釋放。
- (2) 延燒防止：為避免衝出洩爆牆之火焰向上延燒，外牆施作3公尺寬之金屬板突出屋簷。
- (3) 洩漏防止：儲槽均置於降板區內（相當於防液堤功能）並設有集液坑防止液體外洩或擴散污染。
- (4) 漏液偵測：位於，及Leak Sensor，於CCB、CTU、CDU等CABINET內，設置Leak Sensor，並連結信號至中控室。
- (5) 氣體偵測器：專用室內設置可偵測有機氣體濃度達爆炸範圍（2.5%）之25%即發報之氣體偵測器，信號連結中控室，並可控制緊急遮斷閥及排氣系統。

- (6) 通風系統：設置獨立通風系統，空調每小時換氣倍數皆達區域空間倍數。
- (7) 排氣系統：設置獨立緊急排氣系統，並可並導引至洗滌設備(Scrubber)。
- (8) 空調系統：設立專用空調通風系統，以保持室內溫度在25°C以下並維持通風，風管貫穿防火區劃設置防火閘門。
- (9) 惰化裝置：槽內通入氮氣(N₂)封存，壓力槽供應系統的氣體來自氣體站，此裝置可使動力系統排除電氣火花的來源。
- (10) 照明電氣符合class 1，division 2以上防爆等級要求。
- (11) 滅火系統：於漏液風險較高之CCB、CTU、CDU等CABINET內，設置由火焰及溫度探測器連動之CO₂滅火系統，專用室內設置快速反應型濕式自動撒水系統。
- 整合原有已符合法規之措施與以上強化措施，將異丙醇儲槽設計強化後即進行以下風險評估分析。

貳、IPA 儲槽道氏火災爆炸指數 (Dow Fire and Explosion Index) 初步危害分析

一、道氏係數 (F&EI) 為評估製程單元 (包含反應器、攪拌器、預熱器、冷卻塔...等及儲存危險物品的倉庫) 風險的估算工具。

(1) 選擇製程單元的種要決定因素為：

- ①潛在的化學能量。

- ②危險物質的存量。
- ③每平方面積單位的價值（資本密度）。
- ④製程壓力與溫度。
- ⑤過去發生火災爆炸的記錄或可能性。

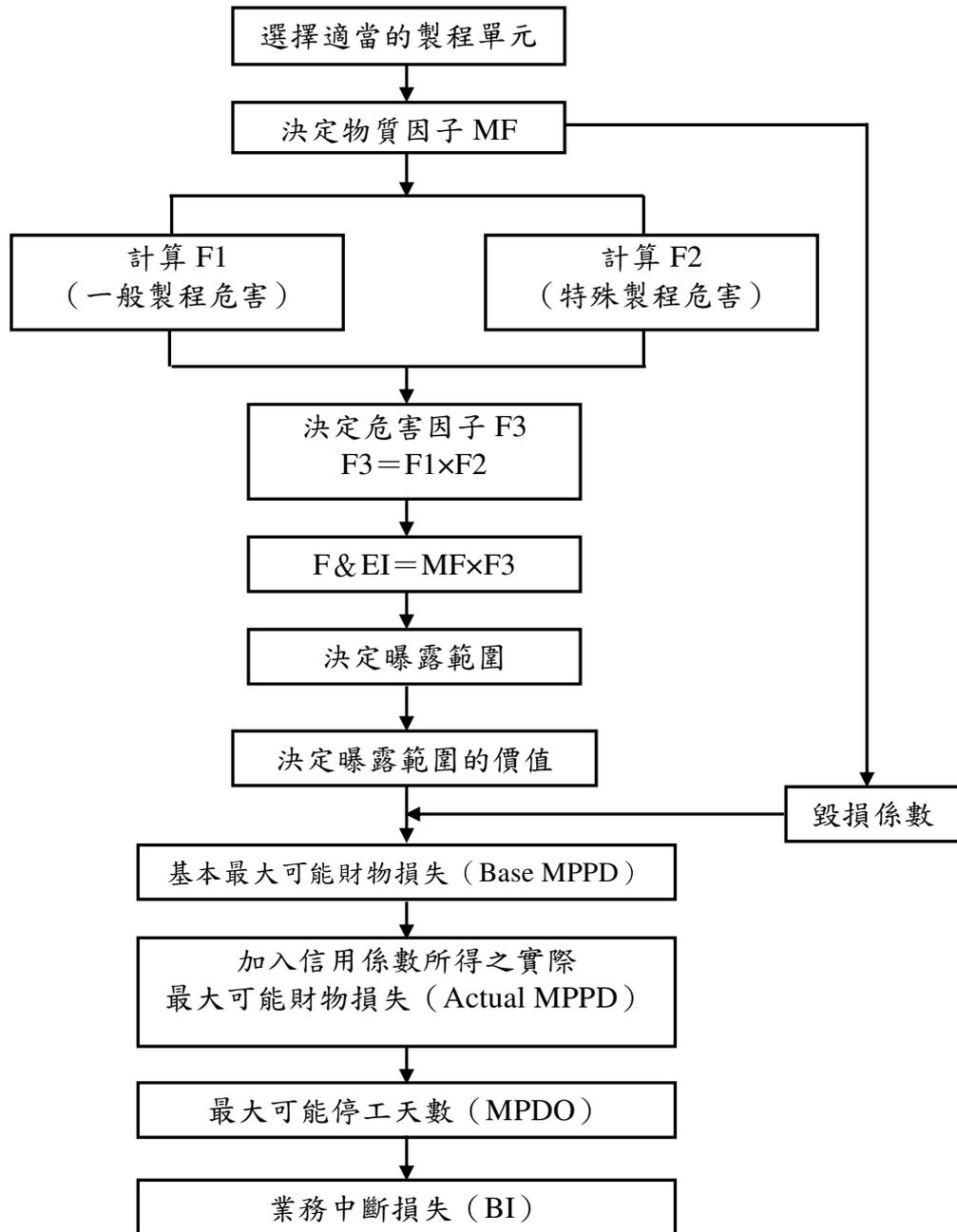


圖 3-4 道氏係數(F&EI)計算流程圖

(2) 道氏係數可用於決定發生於製程工廠或相關設施實際最大損失，即實際經驗裡「最惡劣操作情況下」所發生的損失，而且計算是建立在可量化的基礎上，分析步驟如圖 3-4。

二、F&EI 分析計算過程

(1) 決定物質因子 MF: MF 為測定化合物、混合物或純物質釋放能量強度的數字，亦是計算 F&EI 的第一步，取決於物質的易燃性 (Nf) 與反應性 (Nr)，以數字 1~40 表示，MF 的求法可由危險物質在 NFPA 325M 或 49 之易燃性分級 (Nf) 與反應性分級 (Nr)，依表 3-1 求出 IPA 之 Nf=3，Nr=0，所以 MF=16。

表 3-1 MF 與 Nf 及 Nr 對照表

Nr \ Nf		0	1	2	3	4
		0	1	2	3	4
0		1	14	24	29	40
1		4	14	24	29	40
2		10	14	24	29	40
3		16	16	24	29	40
4		21	21	24	29	40

(2) 一般製程危害 (F1)

- ① 放熱反應危害點數：輕度放熱反應=0.3 (氫化、水解)；中度放熱反應=0.5 (烷化、酯化、加成、氧化、聚合、縮合)；高度危害放熱反應=1.0 (鹵化)；特殊敏感放熱反應=1.25

(硝化)，此供應流程放熱反應危害點數為 0。

②吸熱反應危害點數：反應器內之吸熱反應=0.2；由燃料供給吸熱反應所須能量時=0.4；鍛燒=0.4；電解=0.2；熱分解或裂解為 0.2（若以火燄直接加熱為 0.4），此供應流程吸熱反應危害點數為 0。

③物料搬運與輸送：經由輸送管線裝卸閃火點 $<37.8^{\circ}\text{C}$ 易燃性物料，危害點數=0.5；儲存於倉庫或倉儲區之火災危險物料，當 $N_f=3$ 或 $N_f=4$ 的易燃液體或氣體，危害點數=0.85，若儲存於未裝自動撒水系統之貨架上，危害點數再加 0.2，此供應流程物料搬運與輸送點數為=0.5。

④密閉或室內製程單元：處理易燃液體場所宜維持開放、通風良好，避免可燃性蒸氣或粉塵滯留，發生燃燒、爆炸的危險。密閉是指上有屋頂，下有多於三面牆的場所，或是上無屋頂，下面四周有牆圍繞的場所，危害點數分類如下：

A.在密閉場所內安裝過濾集塵設備=0.5。

B.在密閉場所內處理易燃液體，其溫度高於閃火點，危害點數=0.3，若液體的量超過 10000 磅（約 1000 加侖），危害點數=0.45。

C.在密閉場所內處理任何易燃液體或 LPG，其溫度高於其沸點，危害點數=0.6，若液體的量超過 10000 磅

(約 1000 加侖)，危害點數=0.9。

D.若安裝設計良好的機械通風系統，第 A、C 項之危害點數可減少 50%。

此密閉式供應流程非處理易燃液體，點數為 0。

⑤接近製程單元（緊急救援時）：緊急設備應隨時可接近製程單元，最低標準應至少從兩邊接近，自道路至少可通向製程單元的一邊，監控火災爆炸用的噴槍口，易於取用者，可視為第二個接近製程單元的方法，危害點數分類如下：

A.凡接近不易且製程面積超過 925 平方公尺者，危害點數為 0.35。

B.凡接近不易且倉庫面積超過 2312 平方公尺者，危害點數為 0.35。

C.小於 A、B 項面積之製程，經工程判斷顯示接近不易，有難以控制火災之嫌，危害點數=0.2。

視物質火災特性，接近製程單元危害點數取 0.2。

⑥排放和溢流控制：僅適用於製程單元內危險物質之閃火點低於 60°C 者，儲槽區之排放和溢流控制量為最大儲槽量加上消防水放射 30 分鐘之量。危害點數分類如下：

A.使用護牆，將溢流危險物圍堵在護牆內，危害點數=0.5。

B.製程單元四周有平坦區域，使得溢流危險物蔓延得以延燒此區域，危害點數=0.5。

C.製程單元三面設護牆，能將溢流危險物引流至集液池或非外露排放溝，且符合下列情況者，則危害點數=0，若僅部份符合，危害點數=0.5。。

a.導向集液池或暗溝之地面坡度土質至少 2%，硬質表面至少 1%。

b.製程單元到集液池或暗溝最短距離在 15m 以上，或大垂直儲槽的直徑以上之距離（若製程單元是大型儲槽時）。

c.集液池的容量至少需為最大儲槽容量加上消防水放射 30 分鐘之量之和。

D.若集液池或暗溝使用公共用設施管路外露，或未符合上述距離規定，危害點數=0.5。

以儲槽專用室之現況評估排放和溢流控制危害點數=0.5。

(3) 特殊製程危害 (F2)

①毒性物質：危害點數係以 NFPA 704 識別系統中 Nh（健康危害，health hazard）為基準，使用 $Nh \times 0.2$ 做為該毒性物質的危害點數，若是混合物的危害點數則以 Nh 最高的組成物

質為準，IPA 在 NFPA 704 識別系統中 $N_h=1$ ，危害點數 = 0.2。

②絕對壓力 < 500mmHg 之低壓（真空）：適用於有空氣洩漏會造成危害的製程狀況，危害起因於空氣與對濕氣、氧氣敏感的物質接觸，或因空氣介入而型成易燃性混合氣體，危害點數 = 0.5。

③在易燃性範圍或接近易燃性範圍操作：儲存可燃液體儲槽溫度高於其閃火點而無惰性氣體充入者，危害點數 = 0.5；若充入惰性氣體者使用密閉式蒸氣回收系統，且能確保氣密，則危害點數 = 0。

④粉塵爆炸：粉塵爆炸產生的最大壓力上升率和最大壓力，受到粒徑極大影響，粉塵粒徑愈小，爆炸威力愈大，決定危害點數使用粒徑的 10%。

⑤釋放壓力：若操作壓力大於一大氣壓力，外洩率將增高，閃火點低於 60°C 的易燃性與可燃性液體，可直接引用圖 3-5。

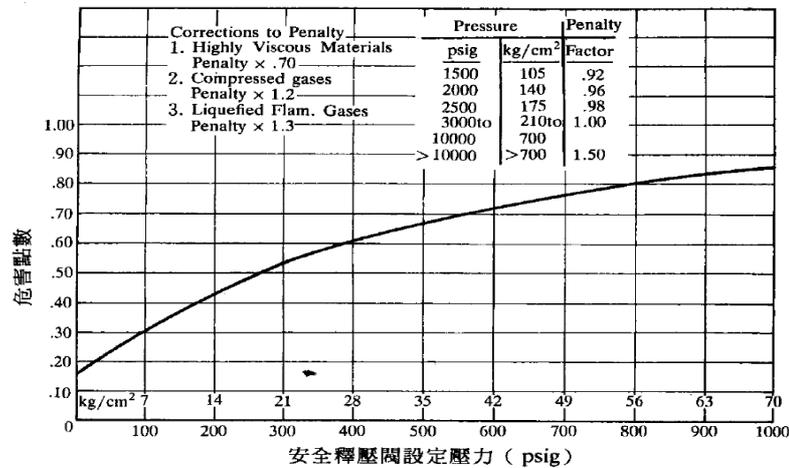


圖 3-5 易燃性與可燃性液體釋放壓力

⑥低溫：碳鋼或其它金屬暴露於低於可延展或易碎之轉移溫度時，可能碎裂而給與適當的點數，若經審慎評估，正常或異常操作狀況皆不致出現低於此一轉移溫度，則無須記以危害點數。

⑦易燃物或不穩定物質的量：儲存中的液體或氣體（在製程區以外），應用圖 3-6（閃火點 $< 37.8^{\circ}\text{C}$ 之易燃液體使用曲線 B），先計算總 $\text{BTU} \times 10^9$ 值（即儲存危險物品量乘以 H_c ），同一槽室有 2 個以上儲槽，且在 30 分鐘內無法宣洩到容量足夠的集液池，則須以槽室所有危險物總 BTU 求其危害點數。 $11400(1) \times 0.785 \div 0.454 = 19711(\text{lb})$ ， H_c 經查表為 $13.1 \text{ BTU/lb} \times 10^{-3}$ ，總 $\text{BTU} \times 10^9 = 19711(\text{lb}) \times 13.1 \text{ BTU/lb} \times 10^{-3} = 2.5 \times 10^{-4}(\text{BTU} \times 10^9)$ ，查圖 3-6，點數取 0.16。

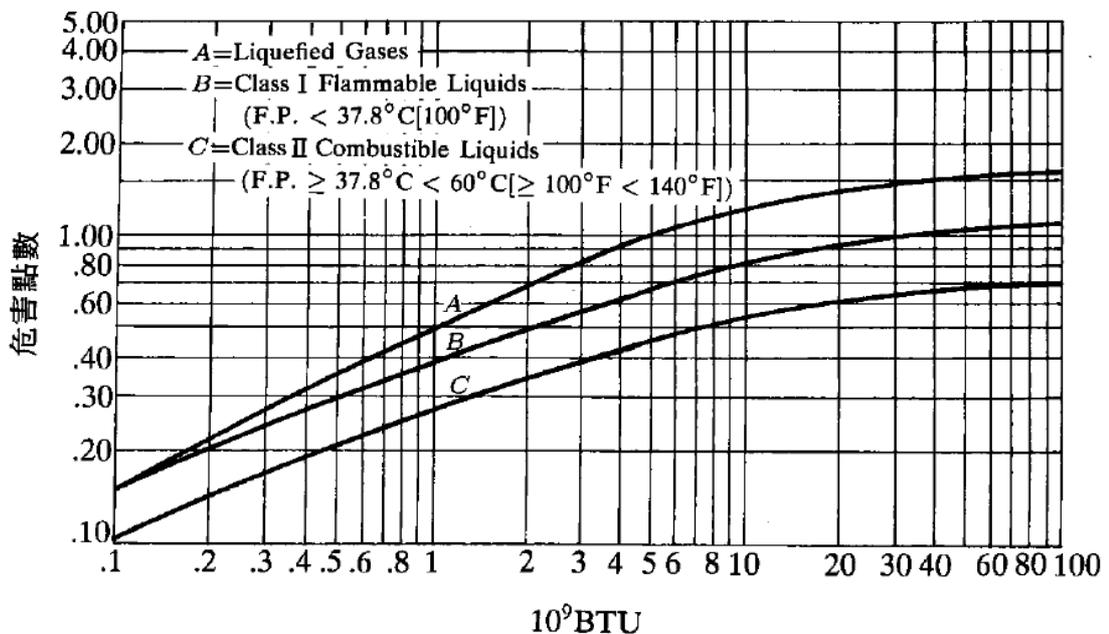


圖 3-6 儲存中液體或氣體的危害點數

⑧腐蝕與侵蝕：製程流體含不潔物、油漆脫落、襯墊在縫隙脫落都會造成製程內在或外在的腐蝕，危害點數依下列情況計算：

A.具有形成凹洞或局部侵蝕之風險，腐蝕率小於 0.5mm/年者，危害點數=0.1。

B.腐蝕率在 0.5mm/年~1.0mm/年者，危害點數=0.45。

C.腐蝕率大於 1mm/年者，危害點數=0.5。

D.有應力腐蝕發生風險者，危害點數=0.75。

E.需用襯裡防範腐蝕之處，危害點數=0.2。

危害點數取 0.2

⑨洩漏—接合處與包裝：墊圈、接合處、軸心的密封填料和包裝是危險物洩漏之源，特別是有溫度、壓力循環下，危害點數依下列情況計算：

A.泵浦與活塞桿的密封填料可能會輕微洩漏，危害點數=0.1。

B.製程在泵浦、壓縮機與法蘭接頭常有規則性洩漏問題，危害點數=0.3。

C.有溫度、壓力循環製程，危害點數=0.5。

D.有應力腐蝕發生風險者，危害點數=0.75。

E.需用襯裡防範腐蝕之處，危害點數=0.2。

危害點數取 0.1。

⑩使用火焰加熱器：製程內若有加熱設備，且內部之易燃液體、蒸氣、可燃性粉塵外洩出來，則增加引燃之機會，火焰加熱器即為 F&EI 計算中的製程單元，對火焰加熱器鄰近的各種製程單元而言，應用圖 3-7，以火焰加熱器空氣入口到製程單元潛在洩漏點之距離為橫軸，選擇適用之曲線，求出縱軸對應的危害點數。

A. 製程單元內危險外洩物處於高於其閃火點溫度或危險外洩物是可燃性粉塵使用 A-1 曲線。

B. 製程單元內危險外洩物處於高於其沸點溫度，使用 A-2 曲線。

此案無火焰加熱器，危害點數取 0。

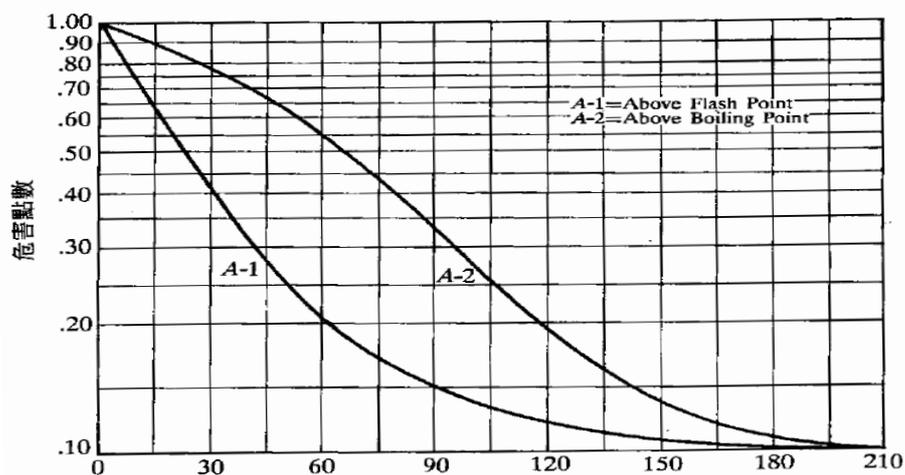


圖 3-7 火焰設備之危害點數

□熱油熱交換系統：大多數熱交換流體都會燃燒，且常使用於

高於閃火點、沸點以上，熱交換流體的量及操作溫度決定其危害點數，僅在製程單元使用熱油熱交換系統才應用危害點數，使用表 3-2 決定危害點數時取下列兩者量較少者：

A.製程單元管線破裂達 15 分鐘洩流之量。

B.在循環的熱油之量。

此案無熱油熱交換系統，危害點數取 0。

表 3-2 熱油熱交換系統危害點數

油量（加侖）	在閃火點以上(危害點數)	在沸點以上（危害點數）
<5000	0.15	0.25
5000~10000	0.30	0.45
1000~25000	0.50	0.75
>10000	0.75	1.15

□轉動設備：泵浦及壓縮機大於某一規格以上較易產生危險，以下各種製程單元皆配以 0.5 之危害點數：

A.超過 600 HP 之壓縮機。

B.超過 75 HP 之泵浦。

C.混合機和循環泵浦因缺乏冷卻劑而使製程生熱。

D.其它曾發生過事故大型高速之旋轉設備，例如離心機。

使用氮氣壓送，泵浦規格<75 HP，危害點數取 0。

(4) 製程單元危害係數 F3 (Unit Hazard Factor)

$F_3 = F_1(\text{一般製程危害}) \times F_2(\text{特殊製程危害}) = 2.2 \times 2.16 = 4.75$ ，而 F_1 是所有 GPH (General Process Hazard) 中危害點數之和再加 1； F_2 是所有 SPH (Special Process Hazard) 中危害點數之和再加 1； F_3 的範圍在 1~8 之間，如圖 3-8 中的毀損係數表示毀損暴露程度的大小，MF 與 F_3 增加時，毀損係數將由 0.01 曾加至 1.00， F_3 代表由各種促成因素引起的燃料或反應能量外洩造成的火災與爆轟波毀損的全部情況，當 $MF = 16$ ， $F_3 = 4.75$ 時，查圖 3-8 得毀損係數 = 0.52， F_3 可用來決定 F&EI ($F\&EI = MF \times F_3$)。

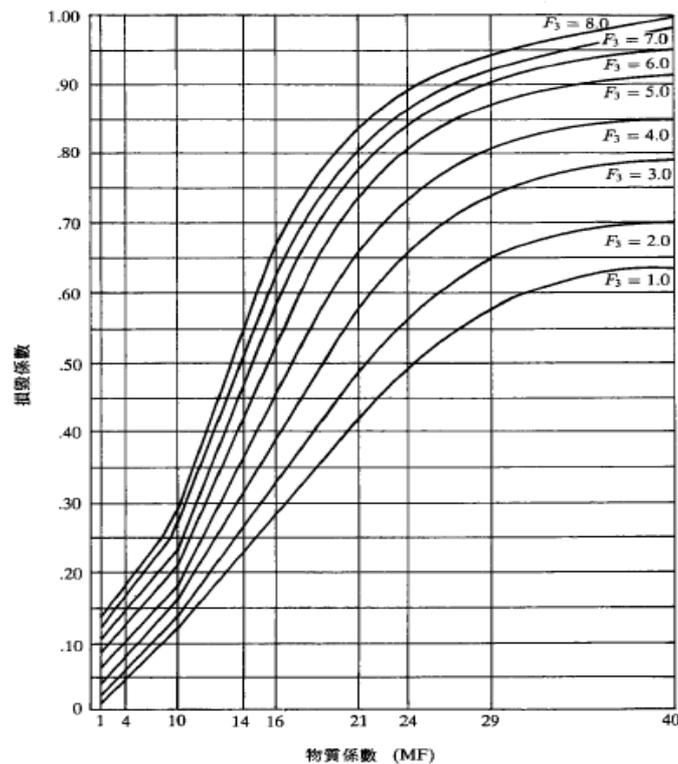


圖 3-8 毀損係數

(5) 決定火災爆炸係數 (F&EI)

欲求IPA儲槽設備之F1、F2，配合場所建築物設施與(防護)設備設置狀況，評估各項危害點數，填入表中，計算出F&EI=76。

暴露半徑可從圖 3-9 查出，由其 F&EI=76 對應之暴露半徑約為 64 呎，在其製程單元因燃料外洩而引發火災、爆炸，其附近設備可能暴露在火災、爆炸危害中，此被波及的範圍為暴露範圍，暴露範圍內的設備價值乘以毀損係數 0.52 可得到基本 Base MPPD (maximum probable property damage)。

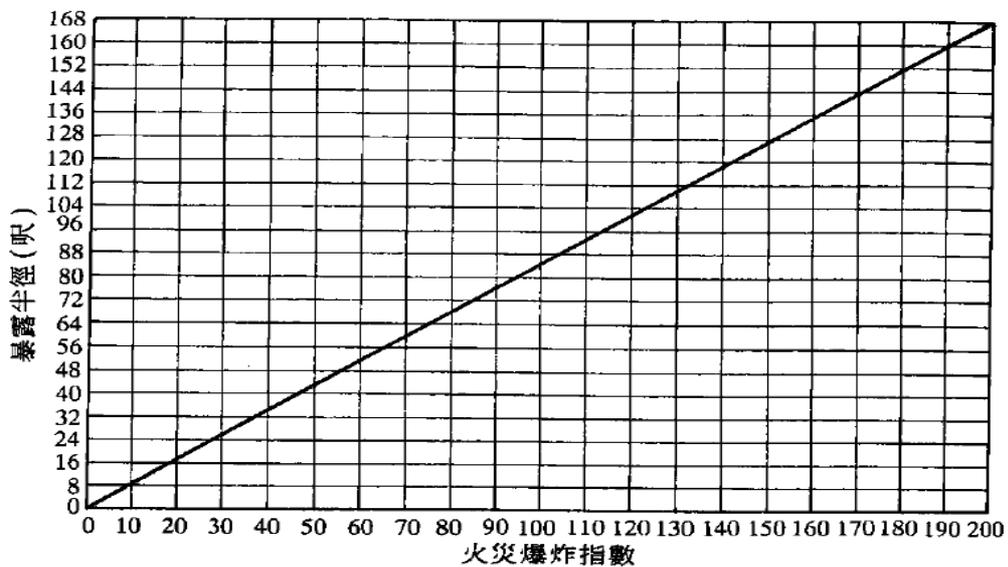


圖 3-9 暴露範圍

- (6)基本最大可能財物損失(Base MPPD)與實際最大可能財物損失(Actual MPPD)： Base MPPD 由暴露範圍內之置換費求得。置換費 = 原來價格 × 0.82 × 通貨膨脹係數，設備之置換費可由目前

會計記錄，或在暴露半徑內之設備、建物的成本估計得來，將估計所得設備價錢乘以毀損係數，若設備價錢估計以 10 (\$MM) 為基準， $\text{Base MPPD} = 10 \times 0.52$ (毀損係數) = 5.2 (\$MM) (發生事故後，毫無安全防護措施或設施下，工廠可能造成之最大毀損)，但可利用廠房設計建造之初，及考慮安全措施，降低事故發生機率，道氏公司認為可採取下列三種措施來達到。

- ①製程控制 (C1)：如裝設緊急應變裝置、防爆抑制系統、完善的作業程序教導與說明書。審查或化學品製程及變更情形、物料之儲運。
- ②物料隔絕 (C2)：如遙控隔絕閥、排放設施、聯鎖。
- ③防火設施 (C3)：如安裝氣體偵測器 (GD)、足夠用消防水源、各種防火偵測及滅火系統。

有了以上安全措施或設施，Base MPPD 可降至 Actual MPPD，其方法是將 C1、C2、C3 的損失控制信用係數 (參考表 3-4) 相乘 ($C1 \times C2 \times C3 = 0.664$)，再利用圖 3-10 查得信用係數約為 0.78， $\text{Base MPPD} \times \text{信用係數} = \text{Actual MPPD}$ ， $5.2 \times 0.78 = 4.06$ (\$MM)。

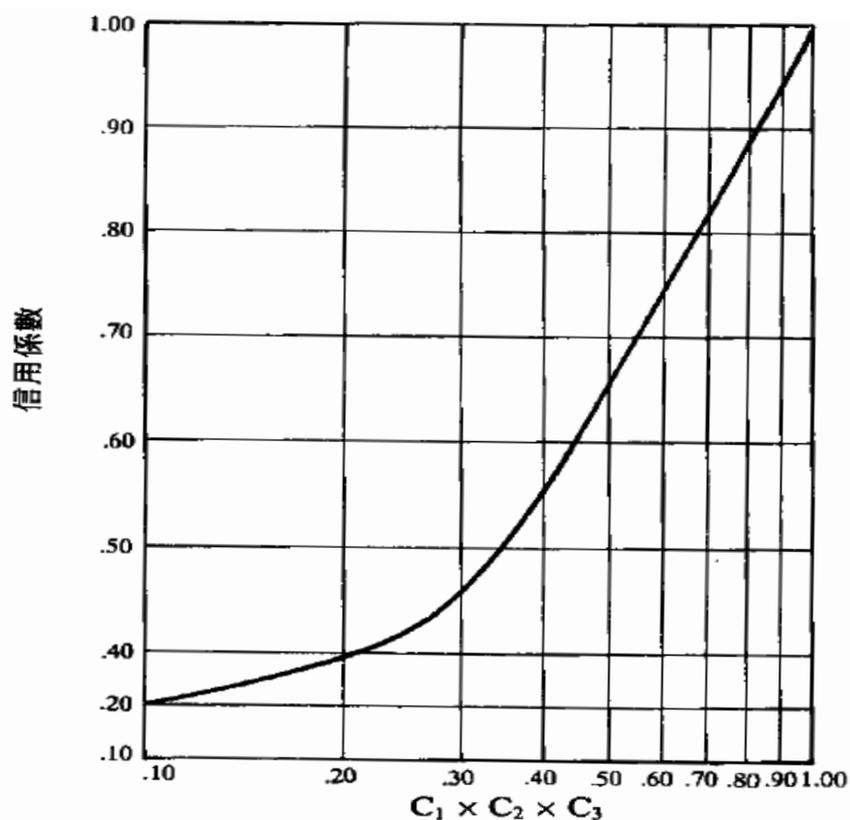


圖 3-10 信用係數

(7) 最大可能停機日數 (MPDO) 與生產停頓損失 (BI)：發生火災爆炸事故後，機器毀損或故障，必須停機修理，因此事故所造成的損失，除人員傷亡外，尚有財產損失 (含設備維修) 及因生產停頓的損失，參考圖 3-11 之 Actual MPPD = 4.06 (\$MM)，可查出 MPDO (maximum probable days outage) 約 50 日，再由下式計算 BI。

$$\$ BI = MPDO \div 30 \times (\$ VPM) \times 0.70$$

其中 \$ VPM：value per month 每月所製造產品的價值，0.70 代表固定的成本和利潤。假設 \$ VPM = 1000 \$ MM (百萬

元)，則 $\$BI = MPDO \div 30 \times \text{所製造產品的價值} (\$VPM) \times 0.70$
 $= 50 \div 30 \times (1000 \$MM) \times 0.70 = 1167 \$MM$ (百萬元)。

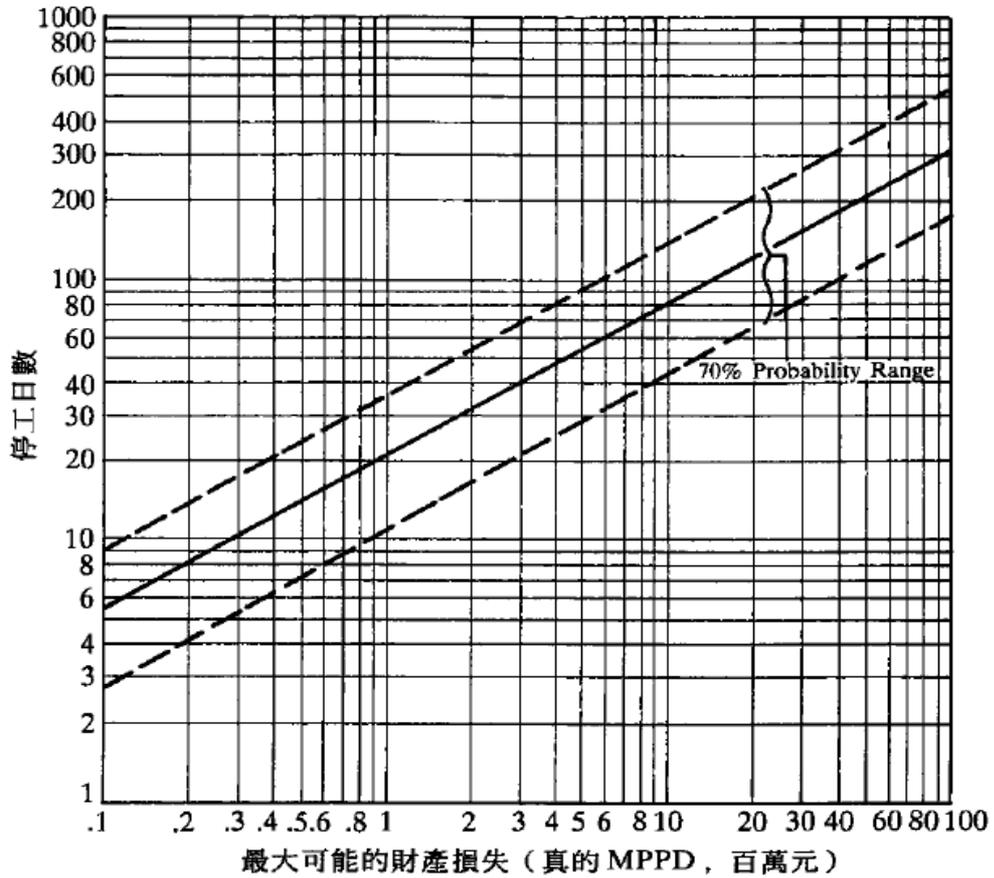


圖 3-11 最大可能停工日數

三、F&EI 分析結果

將以上各項查表或資料計算結果整合於表 3-3 及表 3-4，由表 3-4 製程安全分析提要部份各項數據可了解道氏係數 $F\&EI = 76$ ，若暴露半徑內之設備、建物的成本以 10 (\$MM 百萬元) 為基準，分析後設備真實損失 = 4.06 (\$MM)；若每月所製造產品的價值 \$VPM 以 1000 \$MM 為基準，業務中斷損失 $BI = 1167 \$$

MM，合計為 1171 \$ MM (11 億 7 仟 1 百萬元)。此分析結果為廠房及相關設施評估後實際最大損失，即實際經驗裡最惡劣操作情況下所發生的損失，並顯示在可量化的指標上，為初步參考值，有必要繼續進行高風險單元節點分析。

表 3-3 火災爆炸指數 (F&EI)

廠址 <u>※※※</u> 廠名 <u>◎◎</u> 製程單元 <u>IPA 儲槽</u> 分析者 <u>***</u> 審查者 <u>○○○</u>			
使用危險物或有害物 <u>IPA</u>			
操作狀況 <input type="checkbox"/> 開機 <input type="checkbox"/> 停機 <input checked="" type="checkbox"/> 正常操作			
物質因子 MF (製程單元溫度超過 60°C 則須要之)			16
1.一般製程危害 (F1)	危害點數	使用的危害點數	
基本因子	1.0	1.0	
A.放熱反應 (0.3~1.25)		—	
B.吸熱反應 (0.2~0.4)		—	
C.物料搬運與輸送 (0.25~1.05)		0.5	
D.密閉或室內製程單元 (0.25~0.9)		—	
E.接近製程單元 (0.35)		0.2	
F.排放和溢流控制 (0.25~0.5) <u>3000</u> 加侖		0.5	
F1		2.2	
2.特殊製程危害 (F2)			
基本因子	1.0	1.0	
A.毒性物質 (0.2~0.8)		0.2	
B.低壓 < 500mmHg (0.5)		—	
C.在易燃性範圍或接近易燃性範圍操作			
<input checked="" type="checkbox"/> 惰氣化 <input type="checkbox"/> 未惰氣化			
(1) 儲存易燃性液體的儲槽區 (0.5)		0.5	
(2) 製程失控或吹驅失效 (0.3)		—	
(3) 經常處於或接近易燃性範圍操作 (0.8)		—	
D.粉塵爆炸 (0.25~2)		—	
E.壓力 (圖 19) 操作壓力 _____ Psig, 釋放壓力 _____ Psig		—	
F.低溫 (0.2~0.3)		—	
G.易燃物或不穩定物質的量: 19711 磅, Hc = 13.1×10^{-3} BTU/lb			
(1) 儲存易燃性液體的儲槽區		0.16	
(2) 製程失控或吹驅失效		—	
(3) 經常處於或接近易燃性範圍操作		—	
H.腐蝕與侵蝕 (0.1~0.75)		0.2	
I.洩漏—接合處與包裝 (0.1~0.5)		0.1	
J.使用火燄加熱 (圖 21)		—	
K.熱油熱交換系統 (0.15~1.15)		—	
L.轉動設備 (0.5)		—	
F2		2.16	
製程單元危害係數 (F3=F1×F2)		4.75	
F & EI (=F3×MF)		76	

表 3-4 損失控制信用係數

損失控制信用係數		
1.製程控制 (C1)		
(1) 緊急電(動)力 (0.98) 0.98	(5) 電腦控制 (0.98) 0.93~0.99	
(2) 冷卻系統 () 0.97~0.99	(6) 惰性氣體 (0.95) 0.94~0.96	
(3) 爆炸控制 () 0.84~0.98	(7) 操作教導或程序 (0.98) 0.91~0.99	
(4) 緊急停車 (0.98) 0.96~0.99	(8) 查核反應性化學品 () 0.91~0.98	
C1 總數 <u>0.876</u> *		
2.物料隔離 (C2)		
(1) 遙控閥 (0.98) 0.96~0.98	(3) 爆炸控制 () 0.84~0.98	
(2) 冷卻 () 0.97~0.99	(4) 緊急停車 () 0.96~0.99	
C2 總數 <u>0.98</u> *		
3.火災防護 (C3)		
(1) 洩漏偵測 (0.98) 0.98	(6) 自動撒水系統 (0.95) 0.94~0.96	
(2) 結構鋼材 (0.97) 0.97~0.99	(7) 水簾 () 0.97~0.98	
(3) 地下儲槽 () 0.84~0.98	(8) 泡沫滅火系統 (-) 0.91~0.98	
(4) 水源供應 () 0.96~0.99	(9) 手提滅火器 (0.95) 0.91~0.99	
(5) 火災偵測系統 (0.95) 0.93~0.99	(10) 電路防護 (0.95) 0.91~0.98	
C3 總數 <u>0.774</u> *		
損失控制信用係數 = C1×C2×C3 = <u>0.664</u> (查圖可得 D=0.78)		
製程安全分析提要		
A-1	F&EI	76
A-2	暴露半徑 (呎)	68
A-3	暴露範圍價值	10 (\$MM)
B	毀損係數	0.52
C	基本 (base) 的 MPPD (A-3×B)	5.20 (\$MM)
D	信用係數	0.78
E	實際 (actual) 的 MPPD (C×D)	4.06 (\$MM)
F	停工天數 MPDO	50 天
G	業務中斷損失 BI	1167 (\$MM)
* 為所列出係數之乘積		

第三節 風險-成本評估模式應用

壹、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) 建物使用使用期間內的死者數，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，包括被凍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 3-12。在圖 3-12 內，將「子模型」簡稱為「模型」。

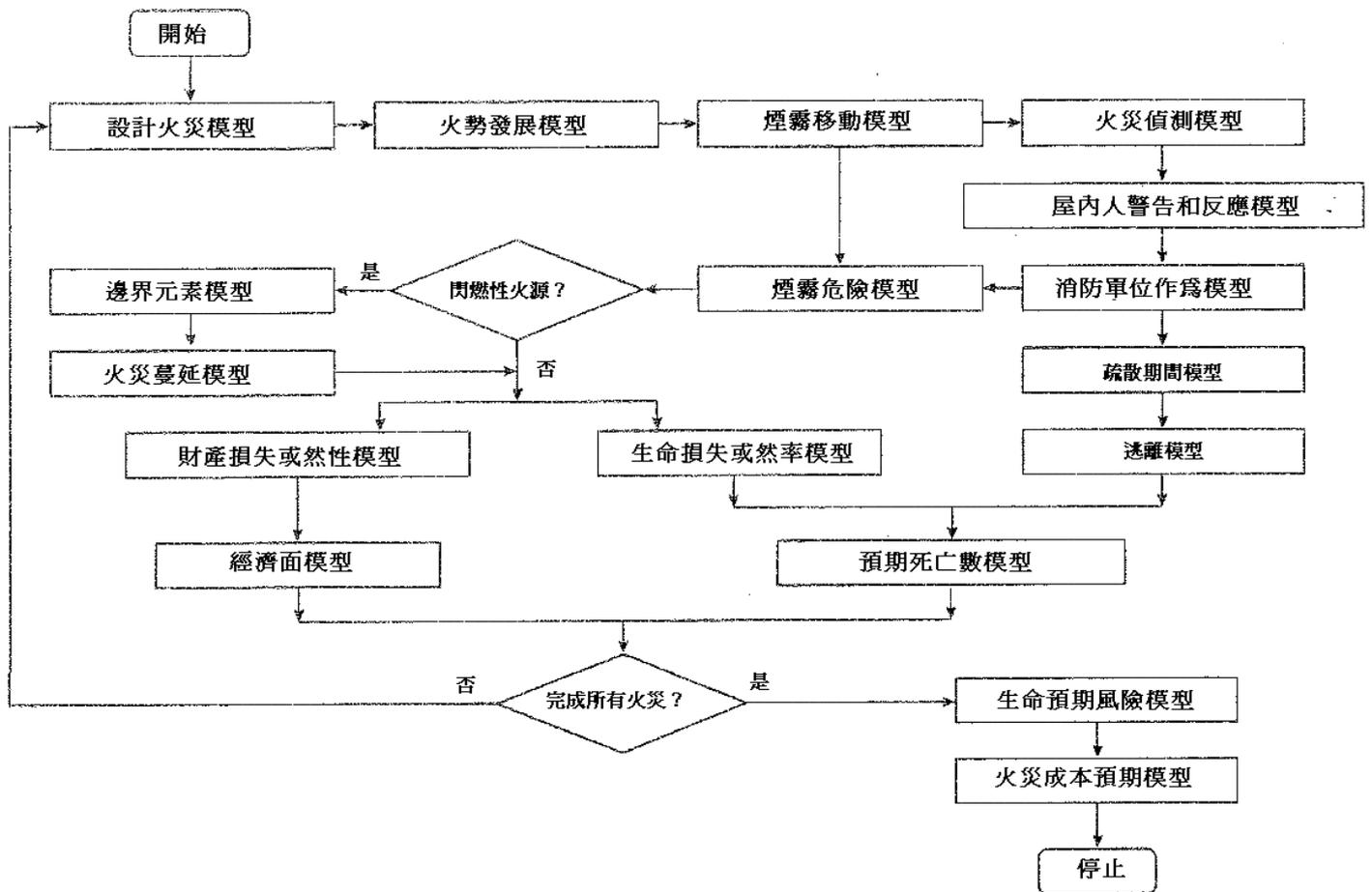


圖 3-12 火災成本評估模型

貳、子模型 (Submodel)

本節概略說明現今的風險-成本評估模型和其子模型。另外詳細說明火災子模型的設計、火勢蔓延和煙霧移動子模型。其他子模型的詳細資料請參閱其他文件。

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设计火災，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有 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。如有安裝撒水裝置，模型就會假定部分和閃燃和非閃燃火災，依照灑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，欄計算

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)。

參、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。這包括了界線元素的火災抵抗率判定、煙霧警報和洒水器的可靠度、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。

第四章 火災風險評估應用指南研議

第一節 概述

風險管理包括風險評估，但通常包括風險處理、風險承受度和風險聯絡，都在風險評估後實施。風險處理可以放在第二次風險評估之前（請參閱圖 4-1）。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，找出替代設計。

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—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。

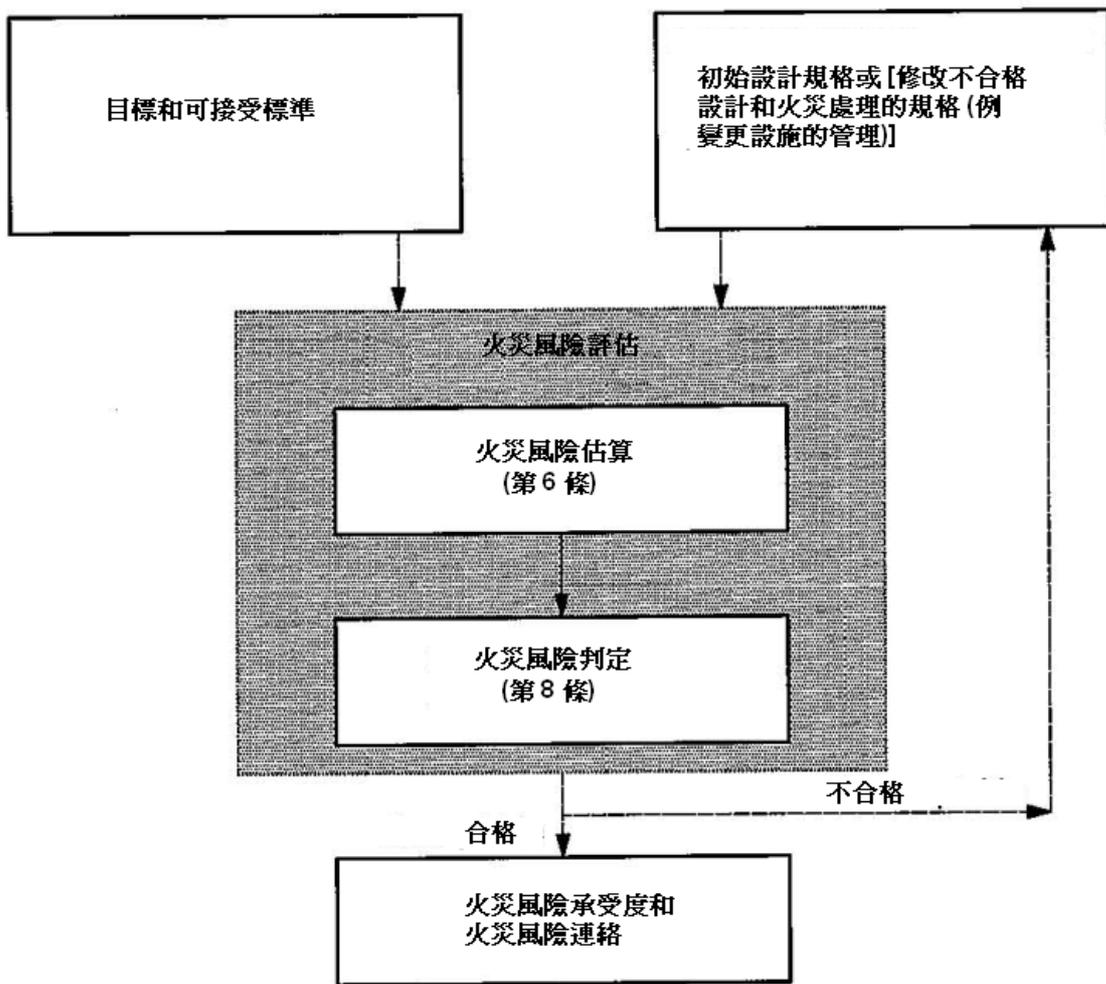


圖 4-1 火災風險管理流程圖

第二節 火災風險估算的步驟

壹、火災風險估算概論

圖 4-2 說明了在情境架構明確、和或然率與後火可明確地以量化方式估算下的火災風險估算步驟順序。後續章節說明風險曲線的使用、風險矩陣圖和其他流程方塊圖無法完全詳細解說的技術。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

須具有估算所必須的目標和設計規格。

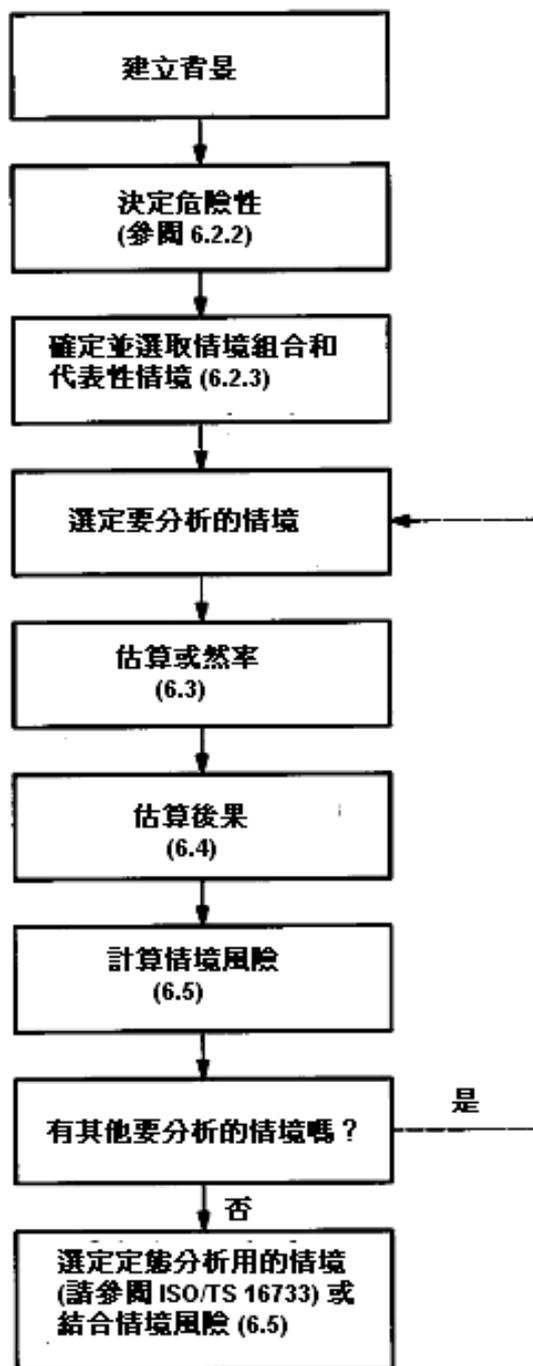


圖 4-2 火災風險估算

接著是認定危險性，危險性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後果。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。

實施定態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。(另可參閱 ISO/TS 16733)。使用評估方式時，接下來不需將所有情境的火災風險加總，但必須要選定最高火災風險的情境。

貳、火災風險評估內情境之運用

一、規格和情境選擇概述

火災情境的種類數量非常龐大，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「判定危險性」、「將情境整合為情境組合」和「排除無關緊要的風險」。

二、判定危險性

任何帶有意外後果可能性的條件稱之為危險性。一個或一個以上的火災情境都可以各種危險性為基礎，火災情境內建立危險性的條件亦可定義危險性所導致的火災種類。(請參閱 ISO/TS 16733- 6.2.4, Step 3。)

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起火點和火勢蔓延過程、火勢發展完全階段、火勢衰退階段，和其他會影響火災進

程的建築物環境和防火系統。(請參閱 ISO/TS 16733 6.2.3, Step 2。)

建築物的各種條件內部人員也是情境應該要定義的要件。包括了建築物內部的物品、位置和附近會決定火勢初期發展的可燃物。亦包括了人員所在位置、基本生理能力(例如：身障者)和暫時性能力(例如：被藥物或酒精影響)。

建築物防火能力的各種條件也是情境應該要定義的要件，特別對火災風險評估來說更需要定義。包或了確定門和窗是否為開啟或關閉、和自動偵測和滅火設備是否可正常運作。

三、將情境整合為情境組合

從各種可能情境的整體簡單明確、參數特性開始。例如，火災會從五種類型、帶有三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，某一火災情境的後果足以代表該組合內其他所有火災情境的後果，該火災情境就是該組合的代表性火災情境。

四、排除無關緊要的風險

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。高或然率或高後果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後果。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後果性的重要情境排除。

第三，如果以非絕對的相對性標準（例：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、輕度後果情境和低或然率、嚴重後果的情境與以平衡。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

火災風險評估程序不須要建立精確的火災情境架構。但是，必須審查和判定該程序中各情境的規格、納入標準或排除標準和相對相似性相關的假設是否明確，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

對分析的目的來說，一般來說不僅必須確立火災情境，也要確立行為情境，就是要確立涉入火災人員的人數、特性和行為，包括逃生路徑等。其他行為變數的說明請參見 ISO 16738 (請參閱 ISO/TS 16733, 6.2.6, Step 5)。

八、定態分析中選取設計火災情境的火災風險評估

當為了定態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來估算或然率和後果。這種方法中，一般是將所有可能情境建立火災情境組合的程序與以大幅簡化，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。這種火災風險評估使用法的詳細說明，請參閱 ISO/TS 16733。

叁、判定或然率

圖 2 所示的火災風險估算程序中，主要的步驟就是估算或然率。章節 6.3.1 說明了或然率估算的各種方法，6.2.3 和 6.3.3 分別說明起火或然率的估算和系統狀態或然率的估算。(請參閱 ISO/TS 16733 – 6.3.2 Step 7。)

一、或然率的估算方法

此處討論的或然率是衍生事件的或然率和狀態的或然率，包括可靠度測量。某些風險分析方法，例如狀態推演模型，還需要其他的或然率。

下列三種方法，使用其中一種或三種全部使用，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，設備元件故障、相關人或疏失、鄰近的已起火物質或然率相關的起火或然率；和 (3) 工程判斷。

在估算或然率時，必須注意通常會有下列錯誤或誤差：

- 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
- 不可每次都假定所有條件和事件都和或然率無關。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

【範例】同樣會引起火災、且不夠完善的火災安全作為，和偵測器、撒水器、牆壁的破洞、分隔門開啟和其他火災安全系統和功能的衰退有關。

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。

(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，一資產內每千人的火災數)、有價資產 (例如，以所有建築物 and 內部設施的總值除以火災數)、空間實體 (例如，相同形式建築物每一千棟所發生的火災數)，或是其他實體 (例如，相同形式建築物每一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步要記錄)。資料來源的其他形式，可參閱 ISO/TS 16731。

(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的或然率間的關係。

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，但是可以在

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，該樣本的平均結果就是整個情境整體的最佳或然率權重的最佳估算結果。

(三)使用工程判斷估算或然率

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，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，某種五種數值的定律，而且數值以數量級區隔時，可使用 0.5%、5%、50%、95%和 99.5% 為數值。某種五種數值的定律，而且數量級的半數區隔時，可使用 5%、16%、50%、84%和 95% 為數值。

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，並損壞了灑水管路。各火災和灑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、灑水閥開啟或關閉、門開啟或關閉。任何會影響情境或然率或後果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，例如感應器或灑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。

四、判定後果

在圖 2 所示的火災風險估算程序中，主要的步驟是估算後果。在前節中，分別說明了使用損失經驗、模型或工程判斷判定後果的各種方法，另可參閱 ISO/TS 16733 – 6.3.2 Step 8。估算後果時，應注意一些常見的錯誤和誤差，包括下列：

- 後過估算通常很複雜，所以情境的後果有輕微到嚴重，但通常都會以輕微或是都以嚴重的程度來處理。以嚴重後果舉例來說，蓄意縱火火災的後果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是錯誤的。以輕微後果舉例來說，悶燒會因為餘火而造成致命的條件，即使大部分的悶燒不會。火爐或是煙囪的火災會蔓延並摧毀整棟建築物，即使大部分的火爐獲煙囪火災規模很小，而且可以快速且簡單地被撲滅，且危害很小。
- 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】 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。

- 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。

(一)從損失經驗估算後果

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。其他資料來源，可參閱 ISO/TS 16731。

(二)從模型估算後果

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後果間的關係。

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後果。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。

就後果估算來說，建立定態火災發展模型所取得的詳細質量

遠比損失經驗所取的詳細資料多。但是，對後果估算使用詳細資料對後果估算會有問題，因為所建立的資料和方法的詳細程度不足。

(三)從工程判斷估算後果

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後果的估算下，可使用風險矩陣圖將所有後果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、中和最高定議成有特殊意義的值，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）。

五、情境火災風險和結合火災風險的估算

設計相關所有情境的或然率和後果結合起來的數學公式為：

$$\text{所有情境的 風險} = \sum f \quad (\text{設定情況的或然率、後果})$$

註：引用自 ISO/TR 13387:1999

兩種最常用的數學方程式為：

$$(a) \text{ 所有情境的 風險} = \sum (\text{設定情況的或然率、後果})$$

註：引用自 ISO/TR 13387:1999

(b) 風險 = 後果超過特定安全性極限值的所有情境全部的或然率

註：引用自 ISO/TR 13387:1999

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，例如或然率和後果的結果，和將結合火災風險估算結果訂議成情境火災風險的總和。這種方法很常去。如果使用其他的方法，應驗證所使用的測量方式妥善無誤。

(一) 定義為期望值的情境火災風險

事件樹狀圖是一種標準使用期望值作為測量火災風險的火災風險評估。請參閱 ISO/TS 16733，Step 6。

(二) 定義為意外嚴重後果或然率的情境火災風險

在前述 6.5(b)內的方程式將情境火災風險定義為該情境的後果為意外的或然率，因此，如果後果為意外，或情境次數的或然率為 1，如果後果為可接受，則為 0。故障樹圖是一種使用意外嚴重後果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，可以用於量策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故障的極限狀態為準。這種方法著

重在後果而非著重在或然率。

(四)風險估算的其他面向

如果使用工程判斷估算或然率和後果，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。

或然率和後果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。如果將或然率和後果都與以分類，火災風險結果的分類結論，就可以以或然率和後果的類型定義列和行，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險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，並依照所定義的危險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後果，作為危險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後果的極限值，不必建立正式的風險估算。請注意這種方法隱含著危險性或然率和設計無關的假定。對火災危險性來說，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。例如依照後果軸線，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後果的估算結果。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。

第三節 不確定性、敏感度、精確度和誤差

壹、說明

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。其他火災安全功能模型相關的不確定性分析技術的資料，另可參閱 ISO 16730。

貳、不確定分析的要件

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後果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。

首先將從來源資料不確定性與以量化，開始量化或然率和後果估算的不確定性。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，那可以有更好的量化結果。接著，使用實驗結果的或然率分佈表顯不確定性的比率。

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，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後果，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。

第四節 火災風險評定

風險評定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。風險評定必須要決定風險是否可以接受或不可接受（另可參閱 ISO/TS 19733: - 6.3.4, Step 9 和 Step 10。）

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，而非只次簡單地將每個死亡的人加總起來。

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後果相對關係的可接受度曲線。

四、ALARP (ALARP, As Low As Reasonably. Practicable) 標準的可接受度

更精確定地定義風險可接受度標準就是在或然率和後果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)
- 最低可接受風險 (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。

叁、安全係數和安全邊際

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與以修正。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，在不確定性降低為安全係數前，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

目前在建築及防火研究領域，風險應用於分析、設計及法規的情形已日益普遍，然而瞭解風險卻是複雜的，在不同領域、不同觀點之下，風險的涵義、如何將風險定量化、如何被認知、又如何被類型化等問題，在研究資料已有所探討，未來將再加強。

風險評估應用在危險物品發生火災爆炸情況之分析，在工廠類建築及設備之危險分析是常見方法。然而應用在建築物之防火設計（新建及既有者改善的案例），尤其是性能化設計，如何選定辨識火災情境、如何評估嘗試性設計將是另項挑戰。

在大多數的防火工程設計應用，僅採用決定性手法分析來演示證明設計是可接受的。此外，完全的機率性風險分析手法可能相當耗費時間及金錢，因此在許多情況下可能不太實用。然而機率性風險分析可以應用在（a）為決定性分析鑑別並選擇火災情境，（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，例如孰者更可信賴或更為經濟有效。

建築物火災風險分析是一個複雜的問題，本文業概要說明該項問

題有關的關鍵議題，包括了定義火災風險的討論、風險特性判定的討論、幫助判定危險和結果的工具及方法的討論，建築物火災風險分析方法方法的討論。本文期待提供有關風險分析應用的一個開端，據此，乃參考國際標準（ISO、BS、NFPA）研提建築物火災風險分應用析指南草案，提供對此課題有興趣者參考。最後必須謹記，當開始建築物火災風險分析時，必須要注意判定並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

應用火災風險分析方法檢視性能設計案例強化防火安全：立即可行建議

主辦機關（單位）：從事建築物防火性能設計顧問公司

協辦機關（單位）：內政部建築研究所

經過性能設計及審查通過的建築物案例基本上有一定的防火安全水準，惟可再應用火災風險分析方法檢視這些建築物在火災情境、設計火源、設計方案選擇上是否考慮了全方面的問題，可供日後進行性能設計時修正改進之參考依據。

建議二

建築物性能防火設計審查作業要求申請案須經一定火災風險評估分析

步驟：中長期建議

主辦機關（單位）：內政部營建署、消防署

協辦機關（單位）：內政部建築研究所

目前國內的建築物性能防火設計審查作業分屬內政部營建署、消防署的權責，前者審查防火避難、防火區劃、防火構造等之性能設計案，後者審理火災探測、滅火及排煙等消防設備之性能設計案，當前設計者提出設計構想計畫，概以依據決定性分析手法所設想之計畫為主，再經過審查委員會意見修正後實施，其過程可能是彼此雙方相互妥協或審查者單向意見主導。例如在購物中心中庭或體育館場、表演場所挑高空間如何進行排煙設計及驗證的審查案，常見到火災規模大小及位置的辯論，因此建議審查作業要求在提出申請前須經一定火災風險評估分析步驟，相信申請者所提建議方案較能清楚說明設計及驗證方式的理由，且較容易獲得審查者信心而減少無謂之討論時間。

建議三

研編建築物性能防火設計有關火災風險評估方法應用手冊：中長期建議

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

前階段檢視工作倘進行順利，則將有不少應用案例可供比較分

析。該手冊將可涵蓋火災情境選擇擬定、嘗試性先期設計之評估、系統可用性及可信賴性等部分，輔以計算案例說明，並解說應準備何種文件。此外，尚提供可信之統計數據供補充資料。

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，北京。
3. 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。
4. 許炎邦，2009，既有易燃性液體儲槽場所性能改善評估研究-以異丙醇儲槽為例，國立交通大學工學院產業安全與防災學程碩士論文。
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. 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。
8. Australia Government, State and Territories of Australia, 2005, International Fire Engineering Guidelines.
9. BS 7974-7 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Part 7: Probabilistic risk assessment, BSI.
10. ISO/PD 16732, Fire Safety Engineering — Guidance on Fire Risk Assessment, ISO.
11. Meacham, B.J., 2004, *Understanding Risk: Quantification, Perceptions, and Characterization*, J. Fire Protection Engineering, Vol. 14,

p.199-227.

- 12.Meacham, B.J., 2004, Performance-Based Building Design Concepts, International Code Council.
- 13.Meacham, B.J., *Building Fire Risk Analysis*, Sec.5, Chap. 12, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Ed., NFPA.
- 14.NFPA 101, Life Safety Code, NFPA.
- 15.NFPA 551, Evaluation of Fire Assessments, NFPA.
- 16.NFPA 5000, Construction and Safety Code, NFPA.
- 17.SEMI S2-93A & SEMI S2-0200 Semiconductor Manufacturing Equipment Safety Guidelines, SEMI International.
- 18.Society of Fire Protection Engineers, 2007, SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection.

附錄一 本所研究業務協調會議意見及回應

建議意見	處理情形
1.建請提供適當案例說明性能設計之決定性手法及概率性手法之優劣比較，並說明哪些案例情況適合採用何種手法？	決定性手法及概率性手法之優劣比較，於報告第二章第三節「防火性能設計評估」中業說明。基本兩手法並不相互競爭排擠，而是相補相成，相關設計應用業舉若干案例，如第三章。
2.FiRECAM 軟體模式亦有風險評估，請考量納入比較分析。	FiRECAM 模式屬於風險-成本評估模式，係加拿大 NRC 所發展之模式，在第二章第四節「風險評估（危害分析）方法比較」及第三章第三節「風險-成本評估模式應用」中業詳予補充說明。
3.防火研究專家較少探討風險評估，建請廣邀相關領域之風險評估研究學者專家提供意見。	經聯繫相關領域學者專家多人，均謙稱火災風險評估並非其研究領域，雖未召集會議討論，然部份專家有提供資料供研究人員參考。

附錄二 本所期中審查會議意見及回應

建議意見	處理情形
<p>王榮吉總幹事</p> <p>1. 國內建築防火性能設計及法規等均已完備之制度，執行上大致已符合現行法令規劃。</p>	<p>贊同委員意見，感謝指教。</p>
<p>2. 火災風險評估應用指南應就實務之累積案例，作為模擬火災風險評估之應用參考，未來可舉辦研討會廣泛聽取產、官、學、研各界專家之看法，以凝聚共識。</p>	<p>有關火災風險評估應用課題希望能夠於下年度擇適當之研討會予以發表。</p>
<p>張明長委員</p> <p>1. 報告探討 IPA 儲槽風險評估，引用之數據應加強實務上參數之蒐集，若僅引用現況報告，引用之參數或有疏漏，請參考修正。</p>	<p>感謝委員指教意見，業予以修正。</p>
<p>汪精銳委員</p> <p>1. 請特別注意瓦斯火災、電線著火的問題。</p>	<p>此屬於火災起火原因，亦是火災風險評估可應用之範疇，日後將進一步探討火災原因或然率與火災情境選擇之關係。</p>
<p>邱晨瑋教授</p> <p>1. 美國防火工程師學會(SFPE)出版手冊有火災風險專章(Section 5, Chap. 12)，建議納入參考文獻。</p>	<p>感謝委員指教意見，該美國資料業納入研究報告，並列於參考文獻。</p>

<p>2. 目前 SFPE 正在研擬火災風險應用於性能設計相關規範，包括結果影響分析、不確定性分析...等步驟，建請納入參考。</p>	<p>感謝委員指教意見，業納入本案研究資料，如第二章第三節。</p>
<p>陳建忠組長</p> <p>1. 報告中所使用案例是爆炸，似已超過一般建築物火災情況，其風險值是否可用？可再考量。</p>	<p>爆炸引起之火災在辦公或商用建築物較少發生，然在工業用建築物屬常見災例，另近年來國內住宅建築物之瓦斯氣爆引起火災事件時有所聞，因此爆炸引起火災之風險仍然具有參考應用價值。</p>
<p>2. 有關風險的研究，本所以往在有關 FiCAME 應用研究報告中已有很好的函數及參數，請酌加參考。</p>	<p>感謝組長指教意見，業納入本案研究資料。</p>

附錄三 本所期末審查會議意見及回應

建議意見	處理情形
<p>張教授寬勇：</p> <p>1. 報告第 83 頁表 3.3，似乎未考慮到機率，建議增加發生機率、危害判定基準。</p>	<p>感謝委員指教意見，業予以修正。</p>
<p>2. 第 94 頁圖 4.1 及第 95 頁圖 4.2，部分文字(如第 6 條等)請刪除。</p>	<p>感謝委員指教意見，業予以修正。</p>
<p>張技正明長：</p> <p>1. 肯定嘉許研究人員之努力，特別是蒐集各國研究，相當齊全。</p>	<p>感謝委員指教意見。</p>
<p>2. 國內相關風險評估研究較少，若要訂定規範草案前是否應再建請各領域專家提供意見。</p>	<p>感謝委員指教意見，本案尚屬初步探討，所提規範芻議仍僅就當前國外標準之彙整，日後如需訂定時當會延請各領域專家提供意見。</p>
<p>王總幹事榮吉：</p> <p>1. 本案對彙集火災風險已完成良好的評估架構模式。</p>	<p>感謝委員指教意見。</p>
<p>2. 未來請針對性能設計有關之火災風險評估應用流程及應用模擬方式，建立指南或草案。</p>	<p>感謝委員指教意見，未來將朝此項建議辦理。</p>

<p>3. 性能設計有關火災風險評估之研擬指南應邀請相關之學者、專家及設計者一同參與研議及提供意見。</p>	<p>感謝委員指教意見，本案尚屬初步探討，所提規範芻議仍僅就當前國外標準之彙整，日後如需訂定時當會延請各領域專家提供意見。</p>
<p>石主任富元：</p> <p>1. 本案對火災風險評估方法做了非常完整的整理及評估，符合預期成果要求，且未來有近一步後續發展的空間。</p>	<p>感謝委員指教意見，未來希望進一步就各種場所之典型情境進行分析究。</p>
<p>2. 風險危害分析最關鍵的部份是所謂「後果」，而財產損失、死亡、健康損害、混亂及營運損失等皆是可能的結果（outcome），這會影響風險的現況。在本研究中，多處以一般的後果來計算風險，但對於特別的場所可能會有相當大的差異。</p>	<p>感謝委員指教意見。對於特殊性場所發生火災及火災規模大小等之風險評估，本研究係以第三章第二節「科技廠房道氏火災爆炸指數分析應用」說明，或許不盡然能涵蓋所有特殊性場所之情況，但說明此類場所亦可應用風險危害分析方法對可能之災害後果進行評估。另場所差異性造成風險不同，乃正常現象，因此進行分析之前應該以設計對象的場所所發生火災的參數為依據，才不會造成分析差距過大。</p>
<p>3. 危害分析方法很多，但多屬於同一概念，僅是技術細節或適用場合的差異，可以從比較根本原理去探討，而不須在技術面過度著墨。</p>	<p>感謝委員指教意見。</p>

<p>中華民國消防設備師公會全聯會 林世昌主任委員：</p> <p>1. 有關火災風險評估的方法是相當專業的知識，而將防火性能設計結合風險評估則更加專業，非一般工程人員能力所容易了解，建議說明可以更為淺顯易懂。</p>	<p>感謝委員指教意見，業配合在內容之用詞用語上予以調整修正。</p>
<p>2. 第三章第二節之案例分析有完整敘述如何做火災風險評估，對於工程人員頗有助益。</p>	<p>感謝委員指教意見。</p>
<p>陳組長建忠：</p> <p>1. 請在成果報告之建議事項提列未來研究課題提案，供本所科技計畫規劃研究計畫之參考。</p>	<p>感謝組長指教意見，業在結論與建議事項中提案。</p>
<p>2. 簡報時提及建議日後訂定法源依據，唯依目前建築建築技術規則之性能設計規定，可劃歸C-route，似未必然要再修正該等規定，而是是否有無業者、設計者願意提出。</p>	<p>感謝組長指教意見。本案建議第二點：建築物性能防火設計審查作業要求申請案須經一定火災風險評估分析步驟，並非一定需訂定於行政機關公布之法規，可以在授權辦理審查業務機構的作業規定予以要求即可，以利申請性能設計審查之廠商有所依循。</p>

<p>3. 性能設計常倡議排除貿易障礙，惟本案亦或其他的研究案，是否真的提升安全，否則似乎是在增加障礙。</p>	<p>感謝組長指教意見。應用風險分析方法確實有助於讓性能設計更具合理性及說服力，對於投資之業主或審查單位人員而言，均較有所保障，亦即對設計案之安全保證。相信對於性能設計案並不是增加障礙，而是多一道確認安全的程序。</p>
--	--