

既存石化工廠火災風險評估與改善分析之研究

Research on fire risk assessment and improvement analysis of existing petrochemical plants

邱晨瑋*

Lin, Shu-ching

許朝坤**

Hsu, Chao-Kun

蔡春進***

Tsai, Chuen-Jinn

摘要

本研究火災風險評估分為「火災絕對風險評估」以及「火災相對風險評估」，「火災絕對風險評估」為我國法令要求下之本質風險，以美國消防協會 NFPA551 方法為主體，納入古斯塔夫法、法令檢核、商業火災保險金額、化學品特性、製程使用等條件，核算「火災絕對風險等級」。「火災相對風險評估」則為評估採取優於我國法令火災預防措施後之現有風險，透過檢視已實施優於法令之火災預防措施，分為設施面及管理面核算分數，將原有火災絕對風險等級降級藉此獲得「火災相對風險等級」。

本研究以 5 家石化工廠為標的實施火災風險評估，其中 C 石化工廠於原評估時之火災絕對風險等級為最嚴重之等級「D-」，而透過所實施之優於法令措施後，其火災相對風險等級可達最優良等級「A」，而 D 石化工廠於原評估時之火災絕對風險等級為「C-」，因所實施之優於法令措施未達本研究降級標準，故風險等級未有調整。

為辨識相互間差異，本研究依照我國中小企業認定標準，將 5 家石化工廠分為大型企業及中小企業進行比較分析，依本研究比較分析結果顯示，大型企業若 10 年內曾發生過重大火災新聞事故，或是資本額越大者，相較於同規模企業，願意投入較多設施面優化項目。而中小企業中資本額較高者，不代表其具有較高意願實施火災預防措施。

本研究火災風險評估可以量化石化工廠現有火災風險，辨識不同石化工廠火災風險差異，呈現工廠設施面與管理面實際狀況做為消防機關行政參考。且透過本研究比較分析建議後，5 家石化工廠皆能明顯下降火災風險等級。

關鍵字：火災風險評估、石化工廠、NFPA551、絕對風險、相對風險

* 臺灣警察專科學校消防安全科教授，eswin.wei@gmail.com。

** 國立交通大學產業安全與防災學程碩士班，devinkuen36@gmail.com。

*** 國立交通大學環境工程研究所終身講座教授，cjtsai@nycu.edu.tw。

Abstract

This study divides fire risk assessment into two categories: absolute fire risk assessment and relative fire risk assessment. The absolute fire risk assessment represents the inherent risk of a facility that meets the minimum requirements of national regulations, primarily based on the NFPA 551 method developed by the U.S. National Fire Protection Association (NFPA). The assessment incorporates factors such as the Gustav Method, regulatory compliance, commercial fire insurance value, chemical properties, and process usage to calculate the absolute fire risk level.

The relative fire risk assessment, on the other hand, evaluates the existing risk after implementing fire prevention measures that exceed national regulatory requirements. This assessment examines both facility-related and management-related aspects of preventive measures to quantify improvement scores. The resulting downgrade of the original absolute fire risk level produces the relative fire risk level.

Five petrochemical plants were selected as case studies for this research. Among them, Plant C was initially rated at the most severe level, “D -”, in the absolute risk assessment. However, after implementing enhanced fire prevention measures beyond legal requirements, its relative fire risk level improved to the best rating, “A”. In contrast, Plant D, originally rated “C-”, failed to qualify for a risk downgrade because its additional measures did not meet the downgrade criteria established in this study.

To identify differences among the plants, the five petrochemical companies were categorized into large enterprises and small- and medium-sized enterprises (SMEs) according to Taiwan’s SME classification standards. Comparative analysis revealed that large enterprises with higher capital amounts or with records of major fire incidents within the past decade tend to invest more heavily in facility-based improvements than companies of similar scale. However, among SMEs, a higher capital amount does not necessarily indicate a stronger willingness to implement fire prevention measures.

This fire risk assessment framework provides a quantitative method to evaluate the current fire risk levels of petrochemical plants, identify inter-plant differences, and quantitatively incorporate both facility and management conditions. The results can serve as an administrative reference for fire authorities.

Key words: Fire Risk Assessment, Petrochemical Plant, NFPA551, Absolute Fire Risk, Relative Fire Risk

壹、緒論

一、研究動機

職安署¹統計 108 年至 112 年全產業每年 30 件以上因火災及爆炸造成職業災害，製造業占比高達 8 成以上。另依消防統計年報²，工廠作業場所及倉庫類建築火災合計數量高於第 2 名的營業場所火災，即工廠類型建築物(含作業場所及倉庫)火災次數為全國火災次數的第 2 名。

製造業類石化工廠廠房內放置生產設備、機具及化學品等，石化工廠發生火災爆炸事故，除造成財產損失，勞工亦因火勢產生不同程度之傷亡，更甚至火勢蔓延到周遭環境，造成鄰近居民生命及財產安全。

火災風險評估方法眾多，各方法皆有其適用標的，惟未有考量我國法規而制定之方法，因此本研究為保障勞工作業安全，避免石化工廠發生重大火災事故，本研究擬以 5 家石化工廠為研究標的，結合英國古斯塔夫火災風險分析法以及美國消防協會 NFPA551 火災風險評估方法，並考量我國相關火災預防法規，量化評估火災風險等級，分析比較火災風險等級差異，並提供改善措施。

二、研究目的

本研究擬選定石化工廠具火災高風險之建築物實施火災風險評估，並以風險管理角度達成下列目的：

- (一) 將火災風險評估方法運用於石化工廠，量化既存石化工廠火災風險等級，將評估結果做為消防機關行政參考，優先以風險等級較高或是改善措施不足之工廠作為輔導查核對象，藉此降低工廠發生火災事故。
- (二) 以 5 家既存石化工廠為例並依規模分類，分析並探討相同規模石化工廠火災風險等級，作為同類型可降低風險之參考，再比較不同規模之火災風險等級差異並探討原因，作為不同規模可降低風險之參考依據。

三、研究範圍及限制

- (一) 選定 5 家石化工廠屬石化產業下游工廠，且使用公共危險物品達管制量以上。

¹ 職業安全衛生署，108 年至 112 年勞動檢查統計年報

² 消防署，112 年消防統計年報，民國 113 年 05 月

- (二) 火災風險評估分析範圍僅限選定之建築物，未考量人為失誤等因素。
- (三) 本研究得出石化工廠間差異原因分析及降低風險之參考依據，僅透過本研究選定之 5 家石化工廠。

四、研究方法與流程

本研究透過文獻回顧與探討針對石化工廠相關案例實施分析，以及針對國內火災預防相關法規探討，並整理國內外火災風險評估方法，藉此設計運用火災風險評估方法，以 5 家石化工廠為標的實施火災風險評估並分析差異，探討火災風險改善措施。以下為研究方法與流程圖：

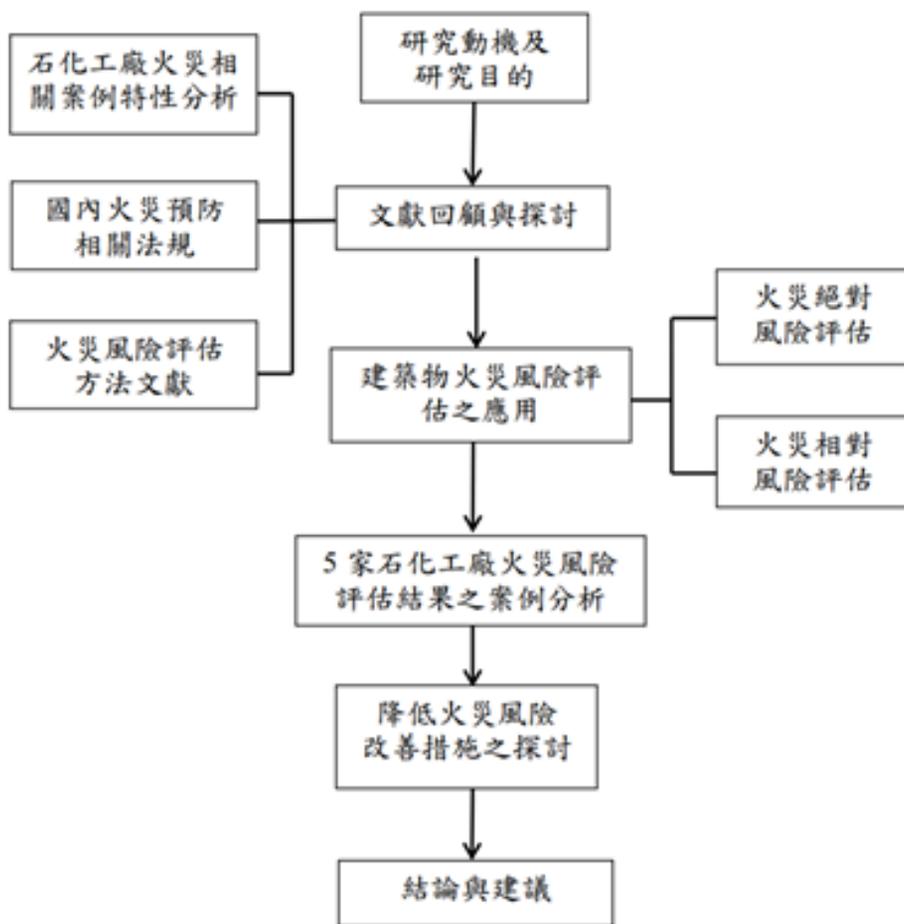


圖 1-1 研究方法與流程圖

資料來源：本研究繪製

貳、文獻探討

一、石化產業介紹

石化產業為運用石油或天然氣製造化學品之產業。上游為原油及相關鑽探產業。中游則為石化中間原料，將上游原料經³解反應生產基本石化原料。下游部分則是將中游基本原料加工為塑膠、橡膠等常見用品。³

二、石化工廠災例回顧及分析

(一) 石化工廠災例回顧

石化工廠火災事故層出不窮，造成事故發生原因往往與電器設備老舊、靜電因素、化學品放熱反應以及製程加熱條件有關。

表 2-1 石化工廠火災爆炸災例彙整

序號	時間	地點	產業類別	事故原因
1	113 年 4 月	新北市	塑膠製造業	聚丙烯顆粒及塑膠成品區域疑似因電氣因素起火。
2	112 年 9 月	屏東縣	其他橡膠製品製造業	有機過氧化物 C-40P 因存放問題蓄熱分解產生高溫，並與可燃性氣體燃燒，引發氣爆及 C40-P 粉塵爆炸。
3	111 年 3 月	桃園市	塗料製造業	反應釜製程溶劑突沸，導致電磁閥起火燃燒。
4	110 年 7 月	高雄市	塑膠製造業	廠內聚丙烯粒成品顆粒以空氣運送時，產生電荷累積放電引起爆炸和火災。
5	110 年 1 月	高雄市	石油化工原料製造業	廠區可塑劑製程之棕櫚酸粉料掉入保溫層內，疑似日久高溫分解成較低分子成分，遇到保溫層內之溫度，發生燃燒。

資料來源：本研究整理⁴

³ 石化及塑橡膠產業鏈簡介，產業價值鏈資訊平台(<https://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=N000>)，民國 113 年 12 月

⁴ 電子報案例事故專欄，環境部化學物質管理署網站(<https://www.cha.gov.tw/lp-138-1.html>)，民國 113 年 12 月

(二) 石化工廠災例回顧

1. 存放大量化學品

石化工廠因生產製程需求，需存放大量化學品，化學品多以儲槽儲存並以管線運輸，若大量洩漏並接觸火源引燃將產生嚴重火災事故，若延燒至儲槽內，將發生儲槽爆炸事故對於廠區外環境產生重大影響。

2. 火源眾多

石化工廠製程加熱加壓、儀器電線老舊、化學品混合存放反應熱、廠房動火作業或是人員抽菸皆可能產生火源。

3. 煙流毒氣濃烈

化學品若起火燃燒產生大量濃煙，除影響避難人員及消防人員救難視線外，若於逃生或救災期間吸入大量毒性氣體將造成人員傷亡。

4. 廠房坍塌

石化工廠多為鋼結構建築，火災產生高溫將軟化廠房結構，梁柱無法支撐廠房結構時，將造成廠房坍塌，並危害未即時逃生人員性命安全。

三、國內相關法規分析

(一) 建築法令

供公眾使用工廠由所有權人、使用人定期委託專業機構或人員申報建築物公共安全檢查。建築技術規則施工編針對工廠類建築物訂有額外章節。建築技術規則建築設備編與石化工廠相關部分如火源管制預防之避雷設備設置，或是逃生部分之照明及緊急供電設備等。

(二) 消防法令

消防法要求工廠管理權人設置維護工廠消防安全設備，並定期檢修申報。石化工廠依「各類場所消防安全設備設置標準」分類為丁類場所，應每實施 1 次定期消防安全檢修申報。石化工廠因生產製程需要製造、儲存及處理大量之「公共危險物品」，公共危險物品係指具有易燃性、易爆性或助燃性等特性之物質，其使用量依法訂有「管制量」。使用公共危險物品達管制量以上之場所，須依各類場所消防安全設備設置標準第 4 編「公共危險物品等場所消防設計及消防安全設備」規定設置消防設備。

(三) 職業安全衛生法令

石化工廠分類為職安法令第一類事業，即具有顯著風險之產業。職業

安全衛生法旨在防止職業災害，職業安全衛生法令有部分規定係與防止火災發生有關。石化工廠常存放大量危險化學品，達規定量者依法須定期進行製程安全評估。雇主應標示化學品及提供安全資料表，協助員工辨識其危險性。職安設施規則針對防爆區域與動火管制等訂有相關規範。此外，危險設備如鍋爐與高壓氣體則分別訂定「鍋爐及壓力容器安全規則」與「高壓氣體勞工安全規則」。

四、火災風險評估介紹

(一) 建築法令

火災風險評估運用風險分析方法分為定性分析、定量分析以及半定量分析⁵，國外火災風險評估已有多種方法，包含點計劃法⁶、古斯塔夫法⁷、NFPA551⁸等，保險公司針對火災保險保費評估，如安聯保險公司評估法⁹及我國商業火災保險¹⁰等方法。

-
- ⁵ 雷明遠，火災風險分析在建築防火安全評估之應用研究，建築研究所自行研究報告，民國 99 年 12 月
- ⁶ Gretener M. , Evaluation of Fire Hazard and Detemining Protective Measures , Association of Cantonal Institution for Fire Insurance (VKF) and Fire Prevention Service for Industry and Trade (BVD) , Zurich , 1973
- ⁷ 范維澄、孫金華、陸手香，火災風險評估方法學，科學出版社，中國北京，民國 94 年
- ⁸ NFPA 551-2022 Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments , NFPA , 2022
- ⁹ 王耀隆，高科技廠房建築物防火安全評估與風險改善之研究，國立雲林科技大學，碩士論文，民國 97 年 6 月
- ¹⁰ 中華民國產物保險商業同業公會，臺灣火災保險費率規章，民國 91 年 3 月

表 2-2 火災風險評估方法

火災風險評估方法		參考說明
一、點計劃法		評估對象物現存之真實火災危險度 R_a 與其容許火災危險度 R_p 作比較，用以決定建築物是否合於安全的標準。
二、古斯塔夫法		將火災危險性分為火災對建築物本身的破壞，以及火災對建築物內人員的傷害與財產的損壞，並以兩個因素構成建築物火災危險程度綜合評價。
三、NFPA551		處理火災境況、發生概率和潛在的後果，並以風險危害程度與風險頻率表示。
四、保險業 工廠類評 估法	安聯保險 公司評估 法	評估製程危險、消防防護，任一使用性質建築物之基準點對應一個危險分數
	我國商業 火災保險	商業火災保險基本危險費考量之因素針對產業類別、建築物構造、建築物樓層別、消防安全設施，決定保險費率。

資料來源：本研究整理

(二) 國內火災風險評估研究相關文獻

國內火災風險評估研究發展已相當廣泛，本研究整理近年我國火災風險評估相關研究，實施火災風險評估可利用修正式德爾菲法¹¹、PHA 檢核表¹²、層級分析法(AHP)¹³、相關法規研析¹⁴等方法，不同建築物類型存在之火災風險各有差異，適用之火災風險評估方法考量因素各有異同。

(三) 小結

實施火災風險評估可先蒐集事故災例探究同一類型建築物火災事故原因，辨識危害類型。另可將國內相關法規研析列為實施火災風險評估考量

¹¹ 張憬沄，公共危險物品室外儲槽火災風險研究-以中油○○煉油廠為例，中央警察大學，碩士論文，民國 111 年 6 月

¹² 陳力璋，煉鋼廠火災風險評估及預防對策之探討，國立高雄應用科技大學，碩士論文，民國 106 年 6 月

¹³ 張凱閔，建築物火災風險評估與風險改善之探討-以某大型傢俱零售商場為例，國立陽明交通大學，碩士論文，民國 104 年 4 月

¹⁴ 鄭堯鴻，中小型公共建築物場所-餐廳類火災風險評估法之研究，國立陽明交通大學，碩士論文，民國 101 年 1 月

項目。除人命傷亡外，火災造成財物損失亦非常可觀，若於火災風險評估中納入財物損失，更於火災風險評估結果能呈現其火災危險性。部分研究利用火災模擬程式模擬建築物火場狀況，若將火災模擬結果量化後納入火災風險評估方法能夠讓火災風險評估考量更加全面。

參、研究方法

一、火災風險評估工具介紹

(一) NFPA551 火災風險評估

NFPA551 火災風險評估評價指南中，指示火災風險評估（FRA）在於描述與火災相關的風險的過程，用於處理火災境況、發生概率和潛在的後果。NFPA551 火災風險表示式：

$$R_t = \sum_{i=1}^n C_i F_i$$

R_t = 風險

C_i = 風險危害程度

F_i = 風險頻率

(二) 古斯塔夫法

古斯塔夫法（Gustav Purt Method）為應用於建築物消防安全工程原則之方法，將火災危險性區分為「火災對建築物本身的破壞 GR」及「火災對建築物內人員的傷害 IR」。此兩項指標共同構成建築物之火災危險程度並據以進行綜合性火災風險評估。

(三) 輔導既存工廠自設滅火設備及替代設施指導原則火災風險評估¹⁵

此原則之火災風險評估係參考自主防滅災安全檢核，並明列火災風險分析情形，並加入古斯塔夫火災風險評估法計算工廠之風險。風險項目評估指標分別為「潛在發生火災因子及火災風險防護措施」、「人員潛在危害及避難逃生措施」、「防火安全管理及火災緊急應變規劃」。

(四) ALOHA 模擬軟體

ALOHA（Areal Locations of Hazardous Atmospheres）為建模程序，用於規劃和應對化學物質洩漏之緊急情況。輸入化學品性質及儲存資訊，估計各種類型危害的威脅區域。可模擬有毒氣體雲、易燃氣體雲和蒸氣雲爆炸等情境。

¹⁵ 消防署，輔導既存工廠自設滅火設備及替代設施指導原則，民國 112 年 7 月

二、石化工廠建築物火災風險評估設計運用

(一) 火災風險評估流程介紹

本研究將火災風險評估分為「火災絕對風險評估」以及「火災相對風險評估」，「火災絕對風險評估」定義為於我國法令要求下所存在之本質風險評估，其風險等級稱為「火災絕對風險等級」。「火災相對風險評估」則定義為於採取優於我國法令之火災預防措施後所存在之風險評估，並將風險等級稱為「火災相對風險等級」。

(二) 建築物火災絕對風險評估運用

本研究「火災絕對風險評估」以美國消防協會 NFPA551 之評估方法為主體，分為「火災後果分析」以及「火災發生頻率分析」，並參考指導原則納入古斯塔夫法為參數之一，再將我國法令檢核，化學品特性、製程使用狀況等條件當作相關參數，核算對照風險矩陣可得本研究之「火災絕對風險等級」。

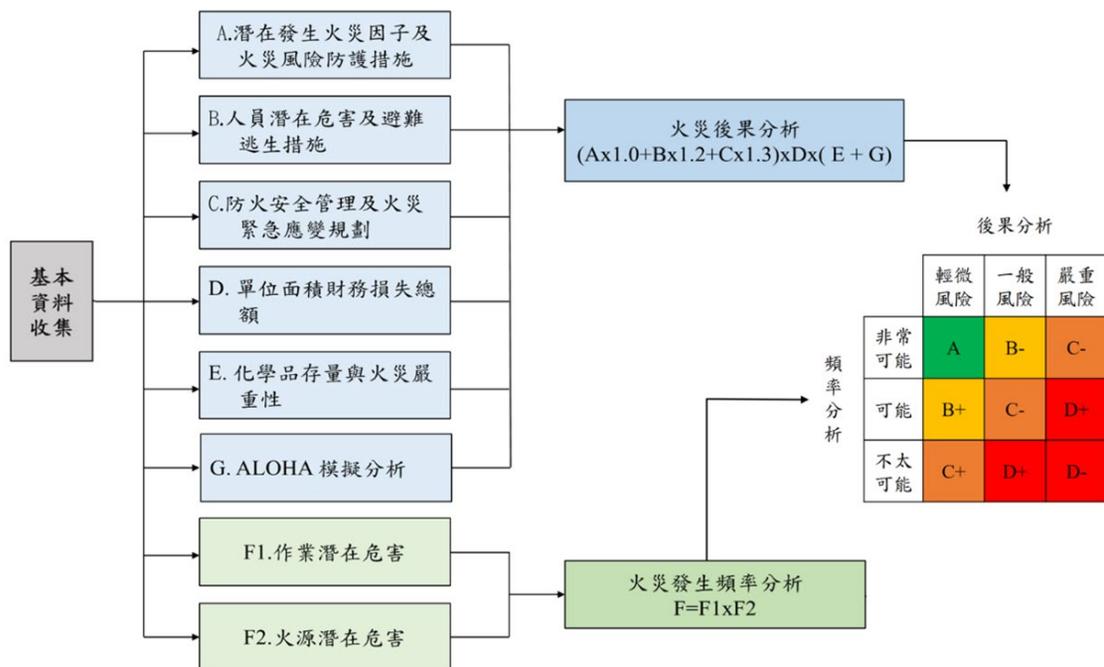


圖 3-1 火災絕對風險評估方法

資料來源：本研究繪製

1. 火災後果分析

「火災後果分析」係透過 A.潛在發生火災因子及火災風險防護措施、B.人員潛在危害及避難逃生措施、C.防火安全管理及火災緊急應變規劃、D.單位面積財務損失總額、E.化學品存量與火災嚴重性、G.ALOHA 模擬分析等上述 6 個參數相互關係而成。

表 3-1 火災後果風險等級

火災後果風險等級		
評估結果	嚴重風險	0~805(未滿)
	一般風險	805~2246(未滿)
	輕微風險	2246~6500

資料來源：本研究整理

2. 火災發生頻率分析

「火災發生頻率分析」分為作業潛在危害(F1)將使用、操作、更換頻率等作業潛在危害予以分級。火源潛在危害(F2)則為將火災製程危險因素如加熱狀態頻率，並透過核算相乘 2 參數對照火災頻率等級。

表 3-2 火災發生頻率風險等級

F=F1x F2	頻率等級
5~0.5	非常可能
11~6	可能
25~12	不太可能

資料來源：本研究整理

(三) 建築物火災相對風險評估運用

「火災相對風險等級」則定義為於採取優於我國法令之火災預防措施後所存在之風險等級，藉此辨識同性質而未強化廠區之風險。即原有火災絕對風險透過所採取預防火災發生之硬體面及管理進階措施，核算採取措施後所存在火災相對風險。

1. 優化項目

(1) 防火安全設施設備優化項目

以優於法規之消除、取代、工程控制等方式降低火災發生可能性或減輕後果嚴重度。

(2) 避難逃生設施設備優化項目

以優於法規之消除、取代、工程控制方式強化人員避難逃生之效率或效果，或減輕人員避難逃生上危險被害嚴重度。

(3) 管理與緊急應變優化項目

以優於法規之管理控制方式降低危害事件發生可能性或減輕後果嚴重度，如工作許可、安全觀察、緊急應變計畫及其他相關作業管制程序等。

2. 相對風險核算

符合「管理與緊急應變優化項目」，則加 1 分；「防火安全設施設備優化項目」或「避難逃生設施設備優化項目」，則加 2 分：

表 3-3 火災風險矩陣等級降低基準表

下降等級	優化項目檢核表
降 1 級	合計加 7 分以上，未達 13 分
降 2 級	合計加 13 分以上，未達 19 分
降 3 級	合計加 19 分以上，未達 27 分
降 4 級	合計加 27 分以上，未達 35 分
降 5 級	合計加 35 分以上，未達 45 分
降 6 級	符合 45 分以上

資料來源：本研究整理

肆、結果分析與討論

一、火災風險評估結果

(一) 基本資料彙整

表 4-1 本研究 5 家石化工廠基本資料彙整

工廠 項目	A 石化 工廠	B 石化 工廠	C 石化 工廠	D 石化 工廠	E 石化 工廠
基本資料					
資本額	10 億 以上	未達 1 億	10 億 以上	未達 10 億	100 億 以上
員工人數	200 人 以上	未達 100 人	200 人 以上	未達 100 人	200 人 以上
職業安全衛生 管理人員	優於法令 規定	符合法令 規定	優於法令 規定	符合法令 規定	優於法令 規定
防火管理人	已設置 (2 人)	已設置 (1 人)	已設置 (2 人)	已設置 (1 人)	已設置 (4 人)
公共危險物品 保安監督制度	保安監督 人(2 人)、 保安檢查 員(2 人)	保安監督 人(1 人)、 保安檢查 員(1 人)	保安監督 人(2 人)、 保安檢查 員(2 人)	保安監督 人(1 人)、 保安檢查 員(1 人)	保安監督 人(4 人)、 保安檢查 員(4 人)
建築、消防、 職安人員兼任 事宜	三者無兼 任情事	職業安全 衛生管理 人員兼任 保安檢查 員及建築 業務	三者無兼 任情事	職業安全 衛生管理 人員兼任 保安監督 人及建築 業務	三者無兼 任情事
選定評估之建築物					
製程安全評估	非屬評估 場所，而有 實施評估	非屬評估 場所	非屬評估 場所，而有 實施評估	非屬評估 場所	非屬評估 場所
近 10 年新 聞火災案例	無	無	1 次	無	無

資料來源：本研究整理

(二) 火災絕對風險等級彙整

表 4-2 本研究 5 家石化工廠火災絕對風險等級彙整

項目	工廠	A 石化 工廠	B 石化 工廠	C 石化 工廠	D 石化工 廠	E 石化 工廠
火災後果分析						
A.潛在發生火災因子及火災風險防護措施(30)		26.87	25.50	25.45	25.41	26.93
B.人員潛在危害及避難逃生措施(30)		30	28.68	30	28.83	30
C.防火安全管理及緊急應變措施(40)		39.64	37.21	38.25	36.77	40
D.單位面積財務損失總額		1	1	1	4	1
E.化學品存量與火災嚴重性		1	1	1	1	1
G.ALOHA 模擬分析		2	1	2	2	2
評估結果		343.21	216.08	333.53	1293.68	344.79
火災後果風險等級		嚴重風險	嚴重風險	嚴重風險	一般風險	嚴重風險
火災頻率分析						
F1.作業潛在危害		每天 1 次以上(1)	每週 1 次以上(2)	每天 1 次以上(1)	每週 1 次以上(2)	每天 1 次以上(1)
F2.火源潛在危害		持續加熱狀態或持續加壓狀態(1)	不需溫度調整(5)	更換時,需溫度調整(2)	不需溫度調整(5)	更換時,需溫度調整(2)
火災風險頻率評估結果		1	10	2	10	2
火災發生頻率等級		非常可能	可能	非常可能	可能	非常可能
火災絕對風險等級		D-	D+	D-	C-	D-

資料來源：本研究整理

5 家石化工廠之火災絕對風險評估等級，A 石化工廠、C 石化工廠及 E 石化工廠皆為「D-」，B 石化工廠為「D+」，而 D 石化工廠為「C-」。

(三) 火災相對風險等級彙整

表 4-3 本研究 5 家石化工廠火災相對風險等級彙整

項目	工廠	A 石化工廠	B 石化工廠	C 石化工廠	D 石化工廠	E 石化工廠
A 防火安全設施設備優化項目		8	2	18	2	19
B 避難逃生設施設備優化項目		2	2	3	1	2
C 管理與緊急應變優化項目		8	0	9	0	8
進階指標加分數		28	8	51	6	50
下降等級		降 4 級	降 1 級	降 6 級	降 0 級	降 6 級

資料來源：本研究整理

表 4-4 本研究 5 家石化工廠火災風險評估表

項目	工廠	A 石化工廠	B 石化工廠	C 石化工廠	D 石化工廠	E 石化工廠
火災絕對風險等級		D-	D+	D-	C-	D-
火災相對風險等級	進階指標加分數	28	8	51	0	50
	下降等級	降 4 級	降 1 級	降 6 級	降 0 級	降 6 級
	核算火災相對風險等級	B-	C-	A	C-	A

資料來源：本研究整理

5 家石化工廠最高可達降 6 級標準，最低則未達降級標準，A 石化工廠可由火災絕對風險等級「D-」降為火災相對風險等級「B-」，C 石化工廠及 E 石化工廠可由火災絕對風險等級「D-」降為火災相對風險等級「A」，B 石化工廠可由火災絕對風險等級「D+」降為火災相對風險等級「C-」，D 石化工廠之火災絕對風險等級「C-」因未達降級標準故其火災相對風險等級同為「C-」。

就火災絕對風險等級來看，A 石化工廠、C 石化工廠及 E 石化工廠之風險等級較具危害，應先做為消防機關優先輔導查核工廠，惟透過火災相對風險評估核算，發現此 3 家石化工廠已有實施多項優化措施，其火災相對風險等級低於其他 2 者，故反而應先以 B 石化工廠及 D 石化工廠作為優先對象，透過本研究之火災風險評估可以量化石化工廠現有火災風險，辨識不同石化工廠火災風險差異，做為消防機關行政參考。

二、結果分析與討論

(一) 企業規模分組

依照中小企業認定標準第 2 條¹⁶，中小企業，指依法辦理公司登記或商業登記，實收資本額在新臺幣 1 億元以下，或經常僱用員工數未滿 200 人之事業。本研究將資本額達新臺幣 1 億元以上且僱用員工數達 200 人以上分屬為大型企業，而資本額或僱用員工人數其中一項未達標準者分屬為中小企業。

表 4-5 企業規模分組

工廠 項目	A 石化 工廠	B 石化 工廠	C 石化 工廠	D 石化 工廠	E 石化 工廠
資本額	1 億元 以上	未達 1 億元	1 億元 以上	1 億元 以上	1 億元 以上
經常僱用員 工數	200 人 以上	未達 200 人	200 人 以上	未達 200 人	200 人 以上
本研究分類 企業類型	大型企業	中小企業	大型企業	中小企業	大型企業

資料來源：本研究整理

本研究火災風險評估分析，將針對相同規模石化工廠間以及不同規模間實施比較分析，探討差異原因，提供改善參考及核算改善後之風險等級。

¹⁶ 經濟部，中小企業認定標準，民國 113 年 11 月

(二) 大型企業火災風險等級分析

1. 基本資料彙整

表 4-6 大型企業基本資料彙整

工廠名稱 項目說明	A 石化工廠	C 石化工廠	E 石化工廠
基本資料			
資本額	10 億以上	10 億以上	100 億以上
員工人數	200 人以上	200 人以上	200 人以上
職業安全衛生管理人員	優於法令規定	優於法令規定	優於法令規定
防火管理人	已設置(2人)	已設置(2人)	已設置(4人)
公共危險物品保安監督制度	保安監督人(2人)、保安檢查員(2人)	保安監督人(2人)、保安檢查員(2人)	保安監督人(4人)、保安檢查員(4人)
建築、消防、職安人員兼任事宜	三者無兼任情事	三者無兼任情事	三者無兼任情事
選定評估之建築物			
製程安全評估	非屬評估場所，而有實施評估	非屬評估場所，而有實施評估	非屬評估場所
近 10 年新聞火災案例	無	無	無

資料來源：本研究整理

3 家石化工廠之職業安全衛生管理人員、防火管理人以及保安監督人設置狀況皆符合優於法令規定，且皆未有兼任情事。實施火災風險評估之建築物，A 石化工廠及 C 石化工廠雖非屬職業安全衛生法所定之危險性工作場所，仍有實施製程安全評估。C 石化工廠於近 10 年內曾發生新聞火災事故。

2. 火災絕對風險之比較分析

表 4-7 大型企業火災絕對風險等級彙整

項目	工廠		
	A 石化工廠	C 石化工廠	E 石化工廠
火災後果分析			
A.潛在發生火災因子及火災風險防護措施(30)	26.87	25.45	26.93
B.人員潛在危害及避難逃生措施(30)	30	30	30
C.防火安全管理及緊急應變措施(40)	39.64	38.25	40
D.單位面積財務損失總額	1	1	1
E.化學品存量與火災嚴重性	1	1	1
G.ALOHA 模擬分析	2	2	2
評估結果	343.21	333.53	344.79
火災後果風險等級	嚴重風險	嚴重風險	嚴重風險
火災頻率分析			
F1.作業潛在危害	每天 1 次以上(1)	每天 1 次以上(1)	每天 1 次以上(1)
F2.火源潛在危害	持續加熱狀態或持續加壓狀態(1)	更換時，需溫度調整(2)	更換時，需溫度調整(2)
火災風險頻率評估結果	1	2	2
火災發生頻率等級	非常可能	非常可能	非常可能
火災絕對風險等級	D-	D-	D-

資料來源：本研究整理

3 家大型企業之法規檢核(即係數 A、B、C)分數差異不大，探討職業安全衛生管理人員、消防相關業務負責人員以及建築業務負責人員設置狀況，3 家

大型企業皆為專職人員，3 家石化工廠對於法令事項具有一定程度執行狀況，且相關業務人員設置狀況差異不大，惟 E 石化工廠設置相關業務人員略多於其餘二者，故檢核分數略優於二者。

3. 火災相對風險比較分析

表 4-8 大型企業之火災相對風險等級彙整

項目	工廠		
	A 石化工廠	C 石化工廠	E 石化工廠
A 防火安全設施設備優化項目	8	18	19
B 避難逃生設施設備優化項目	2	3	2
C 管理與緊急應變優化項目	8	9	8
進階指標加分數	28	51	50
下降等級	降 4 級	降 6 級	降 6 級
備註：進階指標加分數計算方式為，A 防火安全設施設備優化項目及 B 避難逃生設施設備優化項目每項計 2 分，C 管理與緊急應變優化項目每項計 1 分			

資料來源：本研究整理

表 4-9 大型企業火災風險評估表

項目	工廠		
	A 石化工廠	C 石化工廠	E 石化工廠
火災絕對風險等級	D-	D-	D-
火災相對風險等級	進階指標加分數	28	51
	下降等級	降 4 級	降 6 級
	核算火災相對風險等級	B-	A

資料來源：本研究整理

C 石化工廠與 E 石化工廠設施面項目數量相近，而 A 石化工廠設施面低於其於二者。A 石化工廠與 C 石化工廠基本資料資本額、員工人數以及相關法規執行業務人員皆雷同，其加分項卻有較大差異，探討所評估建築物發現，C 石化工廠所選定之建築物曾發生過新聞事故火災，C 石化工廠加分項目多針對曾發生事故之製程所採取預防措施，故設施面所實施數量優於 A 石化工廠。A 石化工廠與 E 石化工廠雖於本研究分類同屬大型企業，惟其資本額部分發現 E 石化工廠遠多於 A 石化工廠，實施設施面加分項目需要較多費用設置保養，E 石化工廠針對加分項目投入較多經費，故其降級分數多於 A 石化工廠。C 石化工廠與 E 石化工廠雖其資本額實際也有所差異，惟因 C 石化工廠所評估之建築物曾發生火災事故，為避免同樣事故再度發生所採取優化項目數量，與資本額較大且願意投入較多經費之 E 石化工廠接近。

4. 大型企業比較分析之建議優化項目

表 4-10 大型企業火災風險等級分析之相對風險等級彙整

項目		A 石化工廠		C 石化工廠		E 石化工廠	
		建議前	建議後	建議前	建議後	建議前	建議後
火災絕對風險等級		D-		D-		D-	
火災相對風險等級	進階指標加分數	28	53	51	60	50	60
	下降等級	降 4 級	降 6 級	降 6 級	降 6 級	降 6 級	降 6 級
	核算火災相對風險等級	B-	A	A	A	A	A

資料來源：本研究整理

A 石化工廠於原實施優化項目狀況下再依本研究建議事項執行，其加分數於建議後可為 53 分，原火災絕對風險等級「D-」，可降級為等級「A」。C 石化工廠與 E 石化工廠雖進階指標加分數於建議後雖有提升，惟因本研究之「火災風險矩陣等級降低基準表」達 45 分以上即為下降 6 級，其原有優化項目措施分數已達下降 6 級標準，故其火災相對風險等級仍為「A」。

(三) 中小企業火災風險等級分析

1. 基本資料彙整

表 4-11 中小企業基本資料彙整

項目說明	B 石化工廠	D 石化工廠
基本資料		
資本額	未達 1 億	未達 10 億
員工人數	未達 100 人	未達 100 人
職業安全衛生管理人員	符合法令規定	符合法令規定
防火管理人	已設置(1 人)	已設置(1 人)
公共危險物品保安監督制度	保安監督人(1 人)、保安檢查員(1 人)	保安監督人(1 人)、保安檢查員(1 人)
建築、消防、職安人員兼任事宜	職業安全衛生管理人員兼任保安檢查員及建築業務	職業安全衛生管理人員兼任保安監督人及建築業務
選定評估之建築物		
製程安全評估	非屬評估場所	非屬評估場所
近 10 年新聞火災案例	無	無

資料來源：本研究整理

B 石化工廠與 D 石化工廠之職業安全衛生管理人員設置皆符合法令規定，且防火管理人、保安監督人及保安檢查員設置人數符合法令規定，而 2 家石化工廠建築、消防及職業安全衛生業務人員皆有不同程度兼任狀況。

2. 中小企業火災絕對風險之比較分析

表 4-12 中小企業火災絕對風險等級彙整

項目	工廠	B 石化工廠	D 石化工廠
火災後果分析			
A.潛在發生火災因子及火災風險防護措施(30)		25.50	25.41
B.人員潛在危害及避難逃生措施(30)		28.68	28.83
C.防火安全管理及緊急應變措施(40)		37.21	36.77
D.單位面積財務損失總額		1	4
E.化學品存量與火災嚴重性		1	1
G.ALOHA 模擬分析		1	2
評估結果		216.08	1293.68
火災後果風險等級		嚴重風險	一般風險
火災頻率分析			
F1.作業潛在危害		每週 1 次以上(2)	每週 1 次以上(2)
F2.火源潛在危害		不需溫度調整(5)	不需溫度調整(5)
火災風險頻率評估結果		10	10
火災發生頻率等級		可能	可能
火災絕對風險等級		D+	C-

資料來源：本研究整理

2 家中小企業法規檢核(即係數 A、B、C)分數差異不大，其所設置之職業安全衛生管理人員、消防相關業務負責人員以及建築業務負責人員，具部分程度相互兼任狀況。有關係數 D 單位面積財務損失總額，雖 D 石化工廠其資本額多於 B 石化工廠，惟其所評估之建築物內之財產價值卻未有 B 石化工廠高，資本額較高與單位面積財產損失於本研究之 2 家中小企業石化工廠中未有明顯關聯。

3. 中小企業之火災相對風險比較分析

表 4-13 中小企業火災相對風險等級彙整

項目	工廠	
	B 石化工廠	D 石化工廠
A 防火安全設施設備優化項目	2	2
B 避難逃生設施設備優化項目	2	1
C 管理與緊急應變優化項目	0	0
進階指標加分數	8	6
下降等級	降 1 級	降 0 級
備註：進階指標加分數計算方式為，A 防火安全設施設備優化項目及 B 避難逃生設施設備優化項目每項計 2 分，C 管理與緊急應變優化項目每項計 1 分		

資料來源：本研究整理

表 4-14 中小企業火災風險評估表

項目	工廠		
	B 石化工廠	D 石化工廠	
火災絕對風險等級	D+	C-	
火災相對風險等級	進階指標加分數	8	6
	下降等級	降 1 級	降 0 級
	核算火災相對風險等級	C-	C-

資料來源：本研究整理

2 家石化工廠皆未有實施管理面優化項目，對照 2 者設置職業安全衛生管理人員、消防相關業務負責人員以及建築業務負責人員狀況，可發現中小企業對於三者業務人員具有不同程度兼任狀況，二者所雇用勞工皆未達 100 人，可能因人力資源考量關係，部分相關基本業務須由同一人推行，故對於管理面優化措施實施有執行上困難。D 石化工廠其資本額多於 B 石化工廠，其設施面設置狀況卻未多於 B 石化工廠，藉此發現對於中小企業，雖具有較高資本額，不等同具有較高意願實施建築物火災預防措施。

4. 中小企業比較分析之建議優化項目

表 4-15 中小企業火災風險等級分析之火災風險評估表

項目		工廠		B 石化工廠		D 石化工廠	
		建議前	建議後	建議前	建議後		
火災絕對風險等級		D+		C-			
火災相對風險等級	進階指標 加分數	8	14	6	10		
	下降等級	降 1 級	降 2 級	降 0 級	降 1 級		
	核算火災 相對風險 等級	C-	C+	C-	C+		

資料來源：本研究整理

中小企業之石化工廠依本研究建議事項執行，皆可相較原火災相對風險等級再降 1 級，而關於建議事項部分因由二者已執行事項為依據實施建議，故尚無可管理面優化項目建議事項，待大型企業以及中小企業比較部分，再以大型企業中較易實施部分做為中小企業之執行建議。

(四) 大型企業與中小企業火災風險等級分析

1. 大型企業與中小企業基本資料彙整

表 4-16 大型企業與中小企業基本資料彙整

工廠名稱 項目說明	大型企業			中小企業	
	A 石化 工廠	C 石化 工廠	E 石化 工廠	B 石化 工廠	D 石化 工廠
基本資料					
資本額	10 億 以上	10 億 以上	100 億 以上	未達 1 億	未達 10 億
員工人數	200 人 以上	200 人 以上	200 人 以上	未達 100 人	未達 100 人
職業安全衛生 管理人員	優於法令 規定	優於法令 規定	優於法令 規定	符合法令 規定	符合法令 規定
防火管理人	已設置 (2 人)	已設置 (2 人)	已設置 (4 人)	已設置 (1 人)	已設置 (1 人)
公共危險物品 保安監督制度	保安監督 人(2 人)、 保安檢查 員(2 人)	保安監督 人(2 人)、 保安檢查 員(2 人)	保安監督 人(4 人)、 保安檢查 員(4 人)	保安監督 人(1 人)、 保安檢查 員(1 人)	保安監督 人(1 人)、 保安檢查 員(1 人)
建築、消防、職 安人員兼任事 宜	三者無兼 任情事	三者無兼 任情事	三者無兼 任情事	職業安全 衛生管理 人員兼任 保安檢查 員及建築 業務	職業安全 衛生管理 人員兼任 保安監督 人及建築 業務
選定評估之建築物					
製程安全評估	非屬評估 場所，而有 實施評估	非屬評估 場所，而有 實施評估	非屬評估 場所	非屬評估 場所	非屬評估 場所
近 10 年新聞火 災案例	無	無	無	無	無

資料來源：本研究整理

本研究之 3 家大型企業與 2 家中小企業除資本額及員工人數有明顯差異外，大型企業設置之職業安全衛生管理人員及消防業務人員如防火管理人、保

安監督人及保安檢查員等皆屬優於法令規定，中小企業則為符合法令規定。有關職業安全衛生管理人員、消防相關業務負責人員以及建築業務負責人員設置狀況，大型企業皆未有兼任情事，而中小企業皆具有類似程度之兼任狀況。

2. 大型企業與中小企業火災絕對風險之比較分析

表 4-17 大型企業與中小企業火災絕對風險等級彙整

項目	大型企業			中小企業	
	A 石化工廠	C 石化工廠	E 石化工廠	B 石化工廠	D 石化工廠
火災後果分析					
A.潛在發生火災因子及火災風險防護措施(30)	26.87	25.45	26.93	25.50	25.41
B.人員潛在危害及避難逃生措施(30)	30	30	30	28.68	28.83
C.防火安全管理及緊急應變措施(40)	39.64	38.25	40	37.21	36.77
D.單位面積財務損失總額	1	1	1	1	4
E.化學品存量與火災嚴重性	1	1	1	1	1
G.ALOHA 模擬分析	2	2	2	1	2
評估結果	343.21	333.53	344.79	216.08	1293.68
火災後果風險等級	嚴重風險	嚴重風險	嚴重風險	嚴重風險	一般風險
火災頻率分析					
F1.作業潛在危害	每天 1 次以上(1)	每天 1 次以上(1)	每天 1 次以上(1)	每週 1 次以上(2)	每週 1 次以上(2)
F2.火源潛在危害	持續加熱狀態或持續加壓狀態(1)	更換時，需溫度調整(2)	更換時，需溫度調整(2)	不需溫度調整(5)	不需溫度調整(5)
火災風險頻率評估結果	1	2	2	10	10
火災發生頻率等級	非常可能	非常可能	非常可能	可能	可能
火災絕對風險等級	D-	D-	D-	D+	C-

資料來源：本研究整理

火災後果分析之法規檢核分數(即係數 A、B、C)大型企業優於中小企業，對照大型企業及中小企業 2 種規模相關法令執行業務人員及法規檢核部分可以發現，具有相似設置執行人員其法規檢核等級具有相似結果，且設置執行相關法令業務人員優於法令者其法規檢核等級則優於僅符合法令者。係數 D 單位面積財產損失部分，雖中小企業資本額低於大型企業，其建築之財產價值仍有部分與大型企業相當，中小企業雖規模較小仍具有相當財產價值。

就本研究評估結果來看，大型企業之火災絕對風險等級皆較中小企業嚴重，而探討本研究火災絕對風險等級評估係數發現，除法規檢核外，主要係針對化學品種類及製程危害程度相關，且本研究之火災絕對風險等級係探究工廠建築物於符合法令條件下之本質安全，中小企業之建築物與大型企業之建築物若具有相同係數等級，則將具有相同危害之火災絕對風險，故無法藉此推估企業規模越大其工廠建築物火災絕對風險等級越危險。

3. 大型企業與中小企業火災相對風險之比較分析

表 4-18 大型企業與中小企業火災相對風險等級彙整

項目	工廠	大型企業			中小企業	
	A 石化 工廠	C 石化 工廠	E 石化 工廠	B 石化 工廠	D 石化 工廠	
防火安全設施設備優化項目	8	18	19	2	2	
避難逃生設施設備優化項目	2	3	2	2	1	
管理與緊急應變優化項目	8	9	8	0	0	
進階指標加分數	28	51	50	8	6	
下降等級	降 4 級	降 6 級	降 6 級	降 1 級	降 0 級	
備註：進階指標加分數計算方式為，A 防火安全設施設備優化項目及 B 避難逃生設施設備優化項目每項計 2 分，C 管理與緊急應變優化項目每項計 1 分						

資料來源：本研究整理

表 4-19 大型企業與中小企業火災風險評估表

項目		工廠		大型企業			中小企業	
		A 石化 工廠	C 石化 工廠	E 石化 工廠	B 石化 工廠	D 石化 工廠		
火災絕對風險等級		D-	D-	D-	D+	C-		
火災相對風 險等級	進階指標加 分數	28	51	50	8	6		
	下降等級	降 4 級	降 6 級	降 6 級	降 1 級	降 0 級		
	核算火災相 對風險等級	B-	A	A	C-	C-		

資料來源：本研究整理

大型企業雖其建築物之本質火災絕對風險相較中小企業較具危害，而透過優化措施，其火災相對風險等級皆優於中小企業。執行設施面之優化項目最需考量則為經費，大型企業之資本額皆明顯優於中小企業，其願意投入之經費多於中小企業，故大型企業設施面優化項目執行數量皆屬優於中小企業係屬可預期結果。而有關管理面優化項目，大型企業皆至少執行 8 項，而中小企業則一項未執行，對照其相關法規執行人員設置可以發現，大型企業設置相關法規執行人員數量皆屬優於法令規定，且皆未有兼任狀況，而中小企業設置相關法規執行人員數量僅符合法令規定，且具有一定程度之兼任狀況。大型企業設置相關法規執行人員係屬優於法令規定人數，除執行法令相關業務外，仍有量能執行優於法令之管理面優化項目，而中小企業設置相關法規執行人員僅符合法令要求，且具有一定程度兼任狀況，透過法規檢核等級發現其對於法令執行事項仍有精進空間，故可藉此解釋其為何未執行管理面優化項目。

4. 比較分析之建議優化項目

(1) 大型企業之優化建議事項

大型企業執行設施面優化項目數量雖明顯多於中小企業，惟中小企業執行事項仍有 2 項設施面可做為大型企業之建議改善項目，而大型企業原於前揭建議執行事項後，3 家石化工廠皆可達下降 6 級之標準，達等級「A」，故經本節化建議事項後仍屬同一等級「A」。

(2) 中小企業之優化建議事項

表 4-20 大型企業與中小企業火災風險等級分析相對風險等級彙整

項目		B 石化工廠			D 石化工廠		
		建議前	建議 1	建議 2	建議前	建議 1	建議 2
火災絕對風險等級		D+			C-		
火災相對風險等級	進階指標加分數	8	14	29	6	10	25
	下降等級	降 1 級	降 2 級	降 4 級	降 0 級	降 1 級	降 3 級
	核算火災相對風險等級	C-	C+	B+	C-	C+	B+

資料來源：本研究整理

中小企業經本節建議事項後皆可新增 5 項設施面優化項目及 5 項管理面優化項目，加分數共計新增 15 分，皆由提升可下降等級，並皆下降至風險等級「B+」。

伍、結論與建議

一、結論

- (一) 本研究之火災風險評估可量化現有火災風險，辨識不同石化工廠火災風險差異，呈現工廠設施面與管理面的實際狀況做為消防機關行政參考，消防機關可優先以等級較低者作為優先輔導對象。
- (二) 大型企業之法規檢核與職業安全衛生管理人員、消防相關業務負責人員以及建築業務負責人員等三者業務人員於無兼任情事下，設置人數較多則其法規檢核分數較優良。大型企業若 10 年內曾發生過重大火災新聞事故，願意投入較多設施面優化項目，以防止相同事故再度發生；大型企業中資本額越大者，較願意投入較多費用實施預防火災發生之設施面優化項目。
- (三) 小型企業設置之職業安全衛生管理人員、消防相關業務負責人員以及建築業務負責人員，具有相似程度之兼任狀況，除相關法規檢核具類似分數，其管理面優化措施皆具有執行上困難，故未有實施管理面優化項目。本研究中小企業比較分析發現資本額較高者，不代表其建築物內之財產價值較高，亦不等同其具有較高實施火災預防措施之意願。
- (四) 依本研究火災風險評估結果，大型企業之火災絕對風險等級皆較中小企業嚴重，而本研究之火災絕對風險等級係探究工廠建築物於符合法令條件下之本質安全，中小企業之建築物與大型企業之建築物若具有相同係數等級，則將具有相同危害之火災絕對風險，故無法藉此推估企業規模越大其工廠建築物火災絕對風險等級越危險。
- (五) 大型企業資本額明顯優於中小企業，其願意投入之經費多於中小企業，故大型企業設施面優化項目執行數量皆優於中小企業係屬可預期結果。大型企業設置相關法規執行人員係屬優於法令規定人數，除執行法令相關業務外，仍有量能執行優於法令之管理面優化項目，而中小企業設置相關法規執行人員僅符合法令且具有兼任狀況，於法規檢核係數發現其對於法令需執行項目仍有精進空間，故可藉此解釋其為何未執行管理面優化項目。
- (六) 大型企業之火災絕對風險等級透過本研究建議後，其火災相對風險等級皆可達等級「A」，或是於原核算進階指標加分數，再新增 10 餘分。中小企業透過本研究建議事項，其火災相對風險等級至少能再下降 3 級。透過本研究分析比較建議優化事項，皆能明顯使本研究之石化工廠下降火災風險等級。

二、建議

- (一) 本研究針對製程安全評估部分僅納入於優化項目中之「C 管理與緊急應變優化項目」，並計 1 分，我國法令規定製程安全評估項目有多項執行事項，建議應檢視製程安全評估項目，依項目內容個別納入優化項目。
- (二) 本研究部分大型企業原採取之優化項目計算之進階指標加分數已達本研究之「火災風險矩陣等級降低基準表」最高下降 6 級標準，且皆由火災絕對風險等級「D-」下降為火災相對風險等級「A」。依照本研究建議事項均可再提升進階指標加分數，若建議後等級與未建議前等級相同，則無法鑑別出二者差異，建議可新增降 7 級或以上，並於等級「A」以外新增火災相對風險等級用之「A+」等級。
- (三) 中小企業因資本額及人數較小，能執行優化改善項目有限，若強行要求其執行數量與大型企業相同，具有一定程度執行困難，故本研究建議下列事項，做為未來參考方向。
 1. 大型企業及中小企業之火災風險等級分別設置合理可接受風險等級，大型企業可接受火災風險等級應優於中小企業。
 2. 大型企業及中小企業之火災風險等級訂定同一等級之合理可接受風險等級，惟針對其「火災風險矩陣等級降低基準表」訂定不同程度之下降級距，或是不同進階指標加分數計算方式。

本研究目前僅透過 5 家石化工廠實施分析，若貿然建議訂定合理可接受火災風險等級則不太妥當，建議未來可透過執行大量火災風險評估之大數據分析，訂定合理可接受火災風險等級。

參考文獻

- [1] 職業安全衛生署，108 年至 112 年勞動檢查統計年報。
- [2] 消防署，112 年消防統計年報，民國 113 年 05 月。
- [3] 石化及塑橡膠產業鏈簡介，產業價值鏈資訊平台 (<https://ic.tp.org.tw/introduce.php?ic=N000>)，民國 113 年 12 月 7 日。
- [4] 電子報案例事故專欄，環境部化學物質管理署網站 (<https://www.cha.gov.tw/lp-138-1.html>)，民國 113 年 12 月 14 日。
- [5] 雷明遠，火災風險分析在建築防火安全評估之應用研究，建築研究所自行研究報告，民國 99 年 12 月。
- [6] Gretener M. , Evaluation of Fire Hazard and Detemining Protective Measures , Association of Cantonal Institution for Fire Insurance (VKF) and Fire Prevention Service for Industry and Trade (BVD) , Zurich , 1973 。
- [7] 范維澄、孫金華、陸手香，火災風險評估方法學，科學出版社，中國北京，民國 94 年。
- [8] NFPA 551-2022 Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments , NFPA , 2022 。
- [9] 王耀隆，高科技廠房建築物防火安全評估與風險改善之研究，國立雲林科技大學，碩士論文，民國 97 年 6 月。
- [10] 中華民國產物保險商業同業公會，臺灣火災保險費率規章，民國 91 年 3 月。
- [11] 張憬泓，公共危險物品室外儲槽火災風險研究-以中油○○煉油廠為例，中央警察大學，碩士論文，民國 111 年 6 月。
- [12] 陳力瑋，煉鋼廠火災風險評估及預防對策之探討，國立高雄應用科技大學，碩士論文，民國 106 年 6 月。
- [13] 張凱閔，建築物火災風險評估與風險改善之探討-以某大型傢俱零售商場為例，國立陽明交通大學，碩士論文，民國 104 年 4 月。

- [14] 鄭堯鴻，中小型公共建築物場所-餐廳類火災風險評估法之研究，國立陽明交通大學，碩士論文，民國 101 年 1 月。
- [15] 消防署，輔導既存工廠自設滅火設備及替代設施指導原則，民國 112 年 7 月。
- [16] 經濟部，中小企業認定標準，民國 113 年 11 月。