

風險評估在石化業安全衛生管理
之角色與功能

**The Role and Function of Risk
Assessment on Safety and Health
Management—A Study on
Petro-chemical Process Industries**

風險評估在石化業安全衛生管理
之角色與功能

**The Role and Function of Risk
Assessment on Safety and Health
Management—A Study on
Petro-chemical Process Industries**

研究主持人：曹常成、洪銀忠

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 97 年 3 月至 97 年 12 月

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所
中華民國 98 年 3 月

摘要

勞委會新修訂之「勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法」依風險分級管理之原則，規定第一類事業單位應參照中央主管機關所定之職業安全衛生管理系統指引，建立適合該事業單位之職業安全衛生管理系統，以提升安全衛生管理水準，對於僱用勞工人數眾多的石化業而言便首當其衝。

本研究基於石化業生產製程危險性高、影響面大，且國內石化業普遍有人手不足的特點，探討石化業在建立其組織之職業安全衛生管理系統時，危害風險評估之功能與角色，以利於事業單位在實施安全維護時，將資源用在最關鍵的地方，俾利於事業單位有效推動安全管理。

研究調查發現石化業目前有 81.1%事業單位建置有安全衛生管理執行紀錄或文件，60%通過安全衛生管理系統之驗證，另有 48.2%事業單位認為提供技術手冊助益最大，14.8%為到廠協助最有助益，而有 37%事業單位認為辦理講習最有幫助。

本研究亦參考國際上使用已臻成熟之風險評估與管理技術，根據調查石化業實施風險評估現況，編撰「石化工廠實施安全衛生風險評估實務手冊」，相信能對國內石化業在建立職業安全衛生管理系統及實施風險評估時有所助益，並可幫助其有關部門作安全維護時之決策參考。

關鍵詞：風險評估、安全衛生管理、石化業

Abstract

Based on the principle of risk-ranking management, category I enterprise should setup and implement a safety and health management system to elevate its safety and health, according to the stipulation of “the labor safety and health organization, administration, and self-inspection regulations,” which has been revised in 2008 by the Council of Labor Affairs, Executive Yuan.

The purpose of this study is to identify the role and function of risk assessment in the safety and health management system up and running in an enterprise due to high risk and serious accident consequence of petro-chemical process. Risk assessment, discriminating the hazards associated with the petro-chemical process, will prioritize and optimize the resource distribution and carry out the safety and health management effectively.

Based on our surveillance, the results showed that there are 81.1% enterprises have documented safety and health management, 60% enterprises have been granted the safety and health management certification. Among those survey subjects, there are 48.2% enterprises recognizing technical guideline as most helpful for their risk assessment implementation, following by technical training for 37%, and technical counseling and assistance for 14.8%.

The guideline obtained by this project can be helpful for the establishment of the enterprise’s risk assessment techniques. The results obtained from the risk assessment can be as a reference for the decision-making on safety and health management.

Key Words: Risk assessment, Safety and health management, Petro-chemical process industries

目錄

摘 要.....	i
Abstract	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
第一節 我國石化業實施風險評估現況.....	1
第二節 風險評估對安全衛生管理的重要性.....	6
第三節 研究目的與方法.....	8
第二章 石化業實施風險評估現況調查.....	10
第一節 問卷設計.....	10
第二節 問卷施測方法與步驟.....	10
第三節 統計分析.....	10
第三章 風險管理概述.....	29
第四章 石化工廠之風險源及控制方法.....	36
第五章 石化工廠製程、機械、設備風險評估方法.....	39
第一節 檢核表分析(Checklist Analysis).....	39
第二節 初步危害分析(PHA).....	40
第三節 故障假設分析(What-If Analysis).....	42
第四節 故障假設/安全檢查表分析(What-If/Safety Checklist Analysis).....	43
第五節 失誤模式及其影響分析(FMEA).....	44
第六節 危害與可操作性分析(HazOp).....	50
第七節 失誤樹分析(Fault Tree Analysis, FTA).....	55
第八節 事件樹分析(Event Tree Analysis, ETA).....	59
第六章 石化工廠作業安全評估方法.....	64
第一節 日本厚生勞動省數值化風險評估法.....	64

第二節 工研院工作安全分析法	65
第三節 澳洲昆士蘭政府工作場所風險分類列表	68
第七章 結論與建議	71
第一節 結論	71
第二節 建議	71
誌謝	72
參考文獻	73
附錄一 問卷內容	75
附錄二	79

圖目錄

圖 1 風險評估模式.....	35
圖 2 HAZOP 分析方法流程圖.....	55
圖 3 失誤樹的建構概念.....	56
圖 4 失誤樹邏輯閘圖形.....	57
圖 5 事件樹的構建方式.....	62
圖 6 構建完成後的事件樹.....	63
圖 7 危害鑑別與風險評估流程圖.....	67

表目錄

表 1 危害等級劃分表	41
表 2 具量化功能之失誤模式與影響分析(FMEA)表	49
表 3 HAZOP 分析的術語	53
表 4 HAZOP 分析的引導字與意義	54
表 5 HAZOP 分析製程參數	54
表 6 HAZOP 分析中常用之製程偏離	54
表 7 嚴重度區分例及點數	64
表 8 可能性區分例及點數	64
表 9 危險有害頻度區分例及點數	64
表 10 依風險數值分類及採取的對策	65
表 11 澳洲昆士蘭風險分類表	68
表 12 工作場所危害辨識表	69

第一章 緒論

第一節 我國石化業實施風險評估現況

勞委會為鼓勵並輔導事業單位建立自主性安全衛生管理體制，持續改進安全衛生設施，以發揮自主管理功能，自 1994 年即推動自主性評鑑管理系統，並自 2001 年推動職場降災計畫以來，職業災害率均呈逐年下降趨勢，勞工職災死亡百萬人率已由 2000 年的 77 降至 2006 年的 38，但如與日本及英國等工安先進國家相比，卻仍有相當大的進步空間。顯然職場安全衛生之提昇，有賴企業比照品質管理系統與環境管理系統，建構一完整周延的職業安全衛生管理系統(Occupational Safety and Health Management System, OSHMS)，以執行安全衛生規劃、執行、查核與改善的管理循環機制，方能落實全方位的安全衛生管理，創造安全舒適的工作環境。

在勞委會最近修訂之勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法中規定，顯著風險之大型事業單位(第一類事業僱用勞工三百人以上)應參照中央主管機關所訂之指引，建立包括政策、組織設計、規劃與實施、評估、改善措施等之職業安全衛生管理系統。其中對於事業單位在變更管理、採購管理、承攬管理及緊急應變管理方面之重要性更是多所強調。

為激勵及擴大國內事業單位的參與，加速職場風險管控能力向上提升及與國際接軌，勞委會除積極研修法規規定高風險且大型的事業單位需優先推動職業安全衛生管理系統外，並首度以「聯集」概念整併 ILO-OSH(2001)與 OHSAS 18001:2007 之要項，結合該二套制度的優點，研訂適合我國國情的「台灣職業安全衛生管理系統指引」，簡稱 TOSHMS(Taiwan Occupational Safety and Health Management System)指引，於 2007 年 8 月 13 日正式頒布，將傳統重點式勞工安全衛生管理制度邁向系統化與國際化發展，引導國內企業將安全衛生管理內化為企業營運管理之一環，逐步邁向系統化之職業安全衛生管理制度發展，有效降低工作場所危害及風險，符合世界潮流。

根據台灣職業安全衛生管理系統指引統指導綱領：

組織應建立、實施及維持一個或多個程序，以持續鑑別危害、評估風險及決定必要之控制措施。這些危害鑑別與風險評估之程序應考量：

1. 例行性與非例行性之活動；
 2. 所有進入工作場所人員之活動(包括承攬商與訪客)；
 3. 人員行為、能力以及其他之人為因素；
 4. 工作場所之外之危害，但其有可能影響組織控制下之工作場所範圍內人員之安全衛生；
 5. 在組織控制下，因工作相關之活動而造成存在於工作場所周圍之危害；
 6. 工作場所中，由組織或其他單位所提供之基礎設施、設備以及物料；
 7. 在組織中或其活動、物料方面，所作之改變或提出之改變；
 8. 安全衛生管理系統之改變，包括暫時性改變與其在操作、過程以及活動之衝擊；
- 除此之外，危害鑑別、風險評估及決定控制措施之流程應予以文件化，並應包含

下列要項：

1. 危害之鑑別。
2. 於納入既存或已提議之現有控制方式情形下進行風險之估算(將特定危害之暴露程度、控制方式失誤之可能性，以及傷害或破壞等後續結果之潛在嚴重度納入考量)。
3. 殘餘風險可接受程度之估算。
4. 任何追加風險控制方式之鑑別。
5. 風險控制方式是否足以減低該風險至可被接受程度之估算。

也就是說，工作場所安全衛生風險評估的第一個步驟是危害辨識，亦即尋找每個工作場所有可能造成傷害的潛在因素。危害辨識後，進行風險評估前應考慮事項：

1. 相對風險較輕微時：
如果該風險並不是很重大，或是危害可以很容易的獲得矯正，便應該立即予以處理。
2. 危害辨識有法規、參考標準、和相關指引等資料可依循時，要盡量利用參考。
3. 工作場所可能有其他人員時：

工作場所除了在職員工外，亦應考慮承攬商、顧客、維修者、參觀人員(工程施工還可能有行人)、及是否有殘障者。

4. 法規有特殊規定必須依循的危害辨識分析時：

部份法規需要用其規定的危害辨識及風險評估，應依據其法令個別處理或併同處理，如美國有 PSM(製程安全管理)制度，如我國勞動檢查法規定危險性工作場所之評估亦有類似詳細的規定，這些大部份都規定要用較技術或科學的方法評估，且要求要事前加以評估。

所謂風險，是指因為危害可能發生死亡、傷害、或疾病及財務損失、工時損失等的可能性。評估風險，必須同時考慮可能性(Likelihood)和造成的後果(Consequence)。

1. 風險等級的分析方法計有：

- (1) 定性分析。
- (2) 半定量分析。
- (3) 定量分析。

2. 定性分析適用的時機：

- (1) 風險等級不高，足以證明不必投入數值分析所需時間和人力。
- (2) 量化風險分析所需資料不足。
- (3) 初步風險等級的篩選，有助於決定是否需要執行更詳盡分析。

如果定性評估結果在第三級以上，則需進一步以半定量或定量的方式推估其風險值。定性分析應包括危害影響的範圍。定性分析應該依風險度的優先順序排列，並在能力可及的範圍內，進一步作定量的分析。在定性分析中，所有的危害因素都應納入考量，但不需要予以量化。

石化工廠災害發生的原因種類相當多，可以將其概分為人為因素、設備因素、環境因素，以及其他等，其中人為因素所佔比例最高。各因素發生原因包括：

1. 人為因素：人的動作錯誤、安全衛生管理缺失、不正確的動火程序、不安全動作、個人因素、判斷錯誤、防護設備使用不當、工作機具使用錯誤、未能確實執行工作前之安全檢查、操作程序錯誤等，此多屬於不安全的動作或行為。

2. 設備因素：機械故障、破裂/腐蝕、儀錶控制系統故障、壓力過高、過熱、異常反應、未能定期實施檢查維修工作、設計不良等。
3. 環境因素：則包括外界氣候、溫度、溼度等影響所造成之災害，以及不充分或不適當的照明、通風不良、機器設備佈置不當等不安全的環境因素。

在設備所引起之災害中，又以化學設備所佔比例最高，易引起化學災害之設備包括，鍋爐/加熱器、反應器、儲槽、壓力容器、混合攪拌機械、管線及附屬設備、泵及壓縮機、其他塔槽等。發生化學災害比例最高者為管線及附屬設備，其次為儲槽。

為有效預防職災的發生，有賴事業單位自主性地做好本身的安全衛生管理工作，一事業單位於建立其組織之職業安全衛生管理系統時，在規劃與實施的過程，應實施先期審查，瞭解危害及風險，然後再確定安全衛生管理目標，實施危害控制，此外，對危害預防控制，要查明改善措施，並評估績效，這些都是風險評估的重要內容。

在既有的工作場所上，風險評估為一個持續的過程，應在不同階段實施，包括：

1. 目前：如果以前未採用任何方法，確實地管理工作場所的安全與衛生，現在便應立即實行。
2. 當有變動時：任何時候只要工作場所所有變動，便應檢查是否有新的危害和新的風險產生，並繼續依循風險管理程序。如果有任何修正，應該和有受到風險影響的員工討論。所謂變化是指：
 - (1) 開始新的作業計畫。
 - (2) 改變作業程序。
 - (3) 增加或變更使用的物質、工具、設備、或機器，及位置或操作方法。
 - (4) 獲得有關以前所不知的設計、製造錯誤、或以前未辨識的災害的訊息。
 - (5) 引進不同技術水準的新僱員工。
 - (6) 遷移作業場地。
 - (7) 檢查績效後，變更控制方法。
3. 事故(包括虛驚事故)之後：發生事故或虛驚事件之後，應檢查工作場所安全衛生

風險管理程序，以決定是否應變更相關之工作，及如何變更。並與所有執行相關工作的員工，討論應該變更的內容。

4. 定期：應依工作場所不同，定期實施安全衛生風險管理。時間間距可依危害性質、有關風險、和作業活動可能的變化程度而定。一般原則是，風險程度比較高的作業，應較常重複舉行。除了上述時間要實施風險管理外，對於一個企業來講，工作場所的新規畫，廢棄物的運送，甚至於產品銷售前均可以用風險管理來處理。

以石化工廠為例，其安全衛生風險評估的流程架構如下：

1. 資訊收集與評估

準備有關之廠區、人員、製程、設備、廠務設施和作業程序等相關資料。

2. 危害辨識與評估

主要是以工廠之危害物質與主要製程區域為評估對象，用於製程研發與基本設計階段較適合。一般透過危害物質之特性確認、設備規格/清單、工廠配置(Layout)、工廠操作環境、系統間之介面等，進行分析。最後藉由不同危害等級之分類，排定安全改善建議之優先順序。

3. 風險等級判定

由於前項之危害辨識與評估是基於現行控制措施運作的情況下，因此基於現況以主觀的方式先評估與每項危害相關的風險，再進一步考量控制措施的效能和控制措施失效所可能造成的後果。

風險是由危害事件發生之機率與嚴重性組合而成，藉由連續監測設備可以獲得時間(機率)與濃度(嚴重性)之資訊，並參考相關標準(如 F&EI、CEI、勞工作業環境標準、SEMI Standard F21-95、ISA Standard S71.04 製程標準等等)，可利用風險判定矩陣來協助進行風險度分析。

4. 判斷風險可否接受

依據相關標準(如勞工作業環境標準、製程標準等等)來判斷現行作業環境與控制措施是否足以控制危害並符合法令要求。

5. 擬定風險控制計畫(必要時)

擬定計畫以因應評估所發現的問題，針對不可接受之風險(Unacceptable Risk)應擬定控制計畫將風險降低至可接受範圍。檢討計畫之適用性：以修正後的控制措施為基準，重新執行風險評估，並檢討修正後之控制措施所具有之風險是否可接受。

6. 檢討計畫之適用性

以修正後的控制措施為基準，重新執行風險評估，並檢討修正後之控制措施所具有之風險是否可接受。

石化廠區安全管理之落實，首先必須事業之高階主管建立安全第一的觀念，進而在安全管理面及安全設施面予以強化，管理面可由工廠建置職業安全衛生管理系統予以提昇，而設施面則須配合科技之進步引用本質較安全之設備予以防護。

第二節 風險評估對安全衛生管理的重要性

為有效預防職災的發生，有賴事業單位自主性地做好組織之安全衛生管理工作。又，一事業單位於建立其組織之職業安全衛生管理系統時，在規劃與實施的過程，應實施先期審查，瞭解危害及風險，然後再確定安全衛生管理目標，實施危害控制；此外，對危害預防控制，要查明改善措施，並評估績效，這些都是風險評估的重要內容。

在既有的工作場所內，風險評估為一個持續的過程，應在不同階段實施，包括：

1. 目前：如果以前未採用任何方法，確實地管理工作場所的安全與衛生，現在便應立即實行。
2. 當有變動時：任何時候只要工作場所所有變動，便應檢查是否有新的危害和新的風險產生，並繼續依循風險管理程序。如果有任何修正，應該和有受到風險影響的員工討論。所謂變化是指：
 - (1) 開始新的作業計畫。
 - (2) 改變作業程序。

- (3) 增加或變更使用的物質、工具、設備、或機器，及位置或操作方法。
 - (4) 獲得有關以前所不知的設計、製造錯誤、或以前未辨識的災害的訊息。
 - (5) 引進不同技術水準的新僱員工。
 - (6) 遷移作業場地。
 - (7) 檢查績效後，變更控制方法。
3. 事故(包括虛驚事故)之後：發生事故或虛驚事件之後，應檢查工作場所安全衛生風險管理程序，以決定是否應變更相關之工作，及如何變更。並與所有執行相關工作的員工，討論應該變更的內容。
 4. 定期：應依工作場所不同，定期實施安全衛生風險管理。時間間距可依危害性質、有關風險、和作業活動可能的變化程度而定。一般原則是，風險程度比較高的作業，應較常重複舉行。除了上述時間要實施風險管理外，對於一個企業來講，工作場所的新規畫，廢棄物的運送，甚至於產品銷售前均可以用風險管理來處理。

就石化工廠而言，其安全衛生風險評估的流程架構如下：

1. 資訊收集與評估

準備有關之廠區、人員、製程、設備、廠務設施和作業程序等相關資料。

2. 危害辨識與評估

主要是以工廠之危害物質與主要製程區域為評估對象，用於製程研發與基本設計階段較適合。一般透過危害物質之特性確認、設備規格/清單、工廠配置(Layout)、工廠操作環境、系統間之介面等，進行分析。最後藉由不同危害等級之分類，排定安全改善建議之優先順序。

3. 風險等級判定

由於前項之危害辨識與評估是基於現行控制措施運作的情況下，因此基於現況以主觀的方式先評估與每項危害相關的風險，再進一步考量控制措施的效能和控制措施失效所可能造成的後果。

風險是由危害事件發生之機率與嚴重性組合而成，藉由連續監測設備可以獲得時間(機率)與濃度(嚴重性)之資訊，並參考相關標準(如 F&EI、CEI、勞工作業環境標準、

SEMI Standard F21-95、ISA Standard S71.04 製程標準等等)，可利用風險判定矩陣來協助進行風險度分析。

4. 判斷風險可否接受

依據相關標準(如勞工作業環境標準、製程標準等等)來判斷現行作業環境與控制措施是否足以控制危害並符合法令要求。

5. 擬定風險控制計畫(必要時)

擬定計畫以因應評估所發現的問題，針對不可接受之風險(Unacceptable Risk)應擬定控制計畫將風險降低至可接受範圍。檢討計畫之適用性：以修正後的控制措施為基準，重新執行風險評估，並檢討修正後之控制措施所具有之風險是否可接受。

6. 檢討計畫之適用性

以修正後的控制措施為基準，重新執行風險評估，並檢討修正後之控制措施所具有之風險是否可接受。

安全管理之落實，首先必須事業之高階主管建立安全第一的觀念，進而在安全管理面及安全設施面予以強化，管理面可由工廠建置職業安全衛生管理系統予以提昇，而設施面則須配合科技之進步引用本質較安全之設備予以防護。

第三節 研究目的與方法

本計畫之研究目的如下：

1. 石化業仍為我國安全衛生防護重點對象。
2. 現階段必須引入風險管理，才能突破減災瓶頸。
3. 勞委會推動職業安全衛生管理系統，與國際接軌，風險評估為其中一個要項。
4. 了解國內石化業安全管理、實施風險評估現況。

其研究方法則採以下方式進行：

1. 了解石化業實施風險評估現況。
2. 蒐集並彙整風險評估實施方法、過程、範例。
3. 彙整石化業風險評估實例。

4. 彙編石化工廠實施安衛風險評估實務手冊與案例。

第二章 石化業實施風險評估現況調查

第一節 問卷設計

本研究根據「勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法」以及「台灣職業安全衛生管理系統指引」，製作以石化工廠為研究對象之安全衛生風險評估問卷，內容分為：

1. 基本資料
2. 事業單位職業安全衛生管理現況調查
3. 事業單位工作場所危害風險評估實施概況調查
4. 技術輔導需求調查

等四大項。

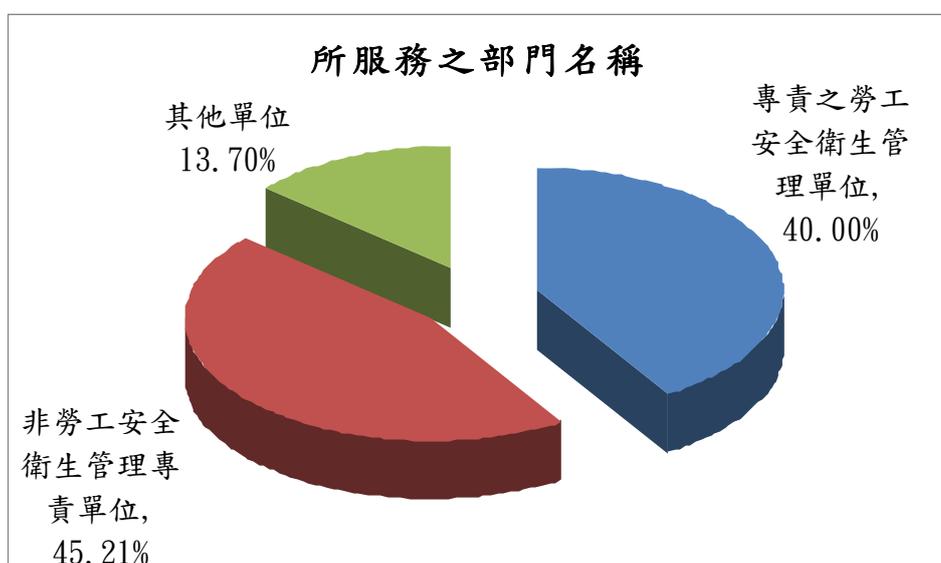
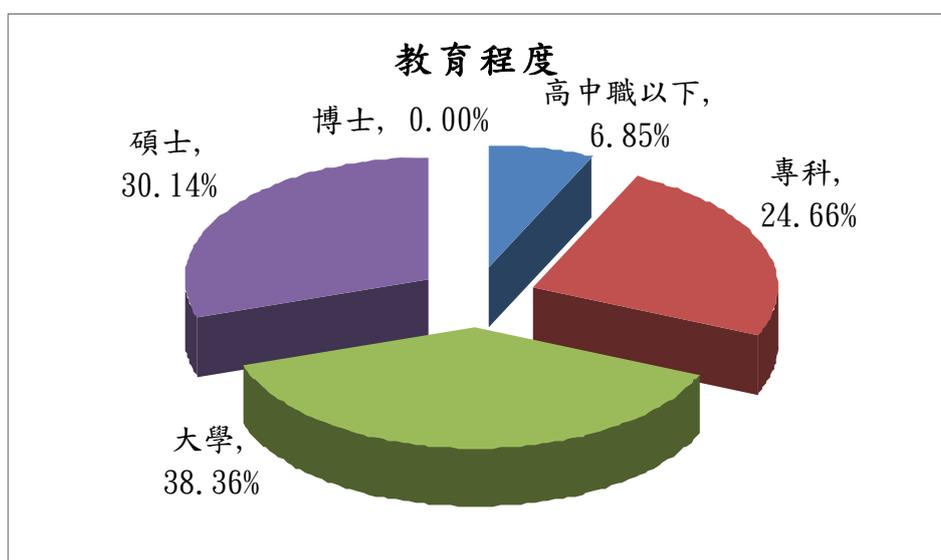
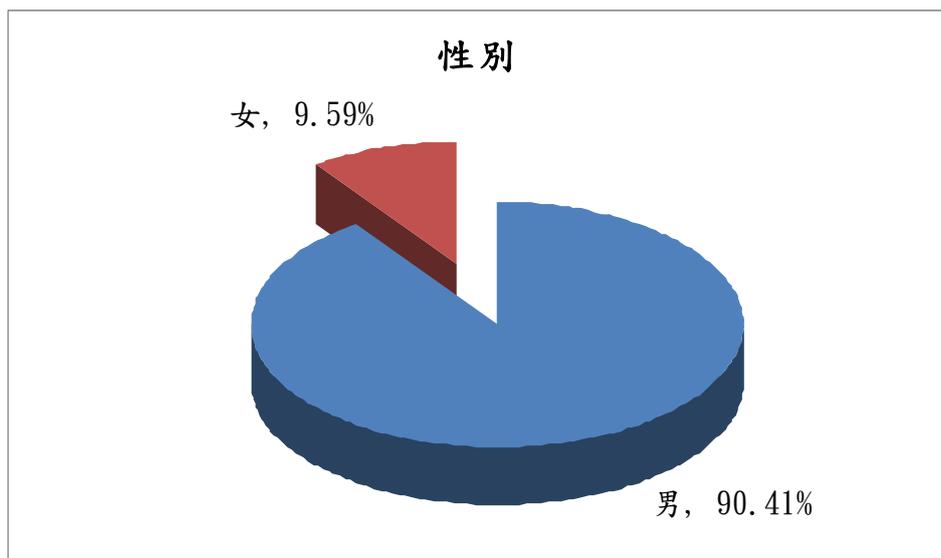
第二節 問卷施測方法與步驟

本研究根據「勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法」中，附表一事業之分類方式，以石化業相關事業之化學材料製造業、化學品製造業、石油及煤製品製造業、橡膠製品製造業以及塑膠製品製造業為調查對象。從所收集的事業單位名冊中，以隨機抽樣的方式，從中取 200 家事業單位作為本研究之問卷訪問對象。將修訂後之問卷以郵寄方式寄至所選定的研究對象，進行風險評估在石化業安全衛生管理之角色與功能的問卷調查。於一個月內回收問卷，進行資料整理和建檔，然後以統計套裝軟體 SPSS 14 執行各項統計分析。

第三節 統計分析

本調查問卷，採郵寄方式，並以各事業單位之安全衛生管理部門主管為收件人或受訪人。郵寄問卷部份共寄出 200 份，因工廠遷移或關廠等原因無法投遞而退回者共 3 份，有效寄發 197 份。總回收問卷計有 113 份，有效問卷回收率為 56.3%，回收問卷經整理檢查後，剔除填答不良者 2 份，有效問卷 111 份。以描述性統計之方式分析之，問卷分析調查結果如下：

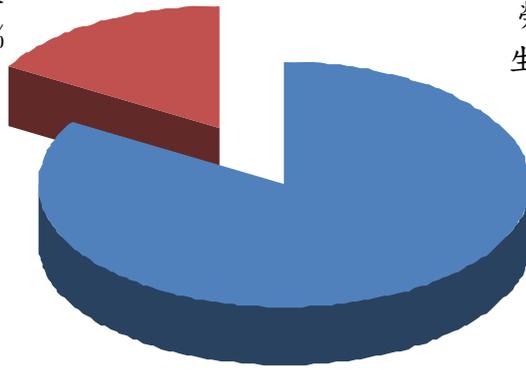
1. 填答者基本資料



目前的職稱

非勞工安全
衛生管理人
員, 16.44%

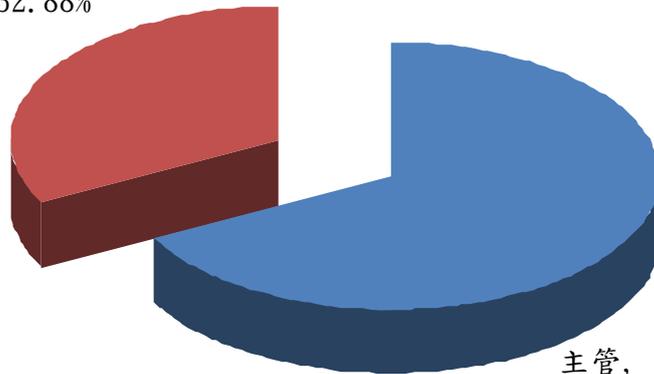
勞工安全衛
生管理人
員, 83.56%

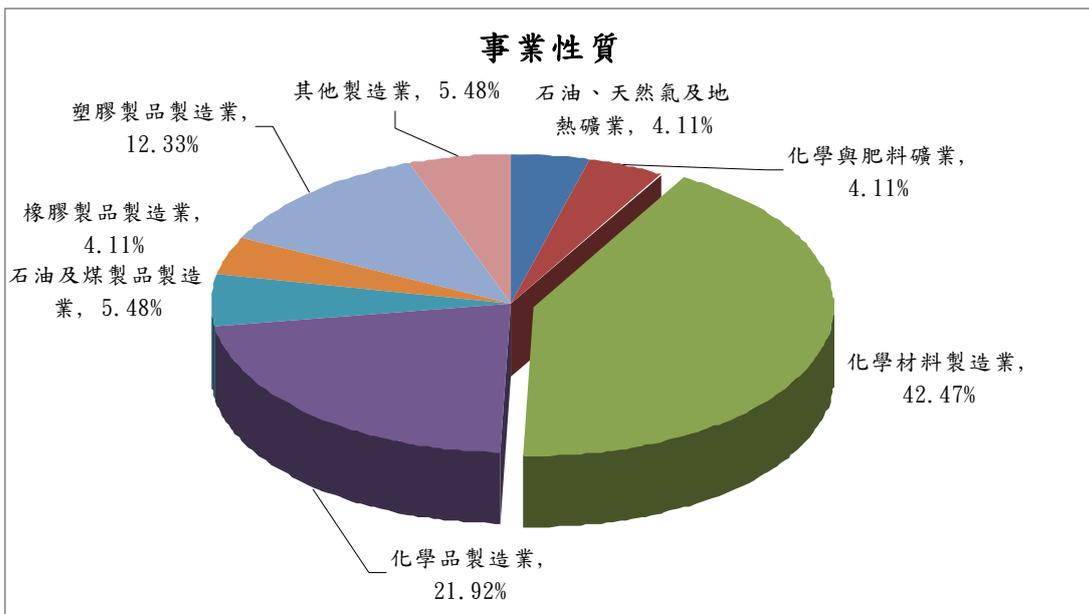
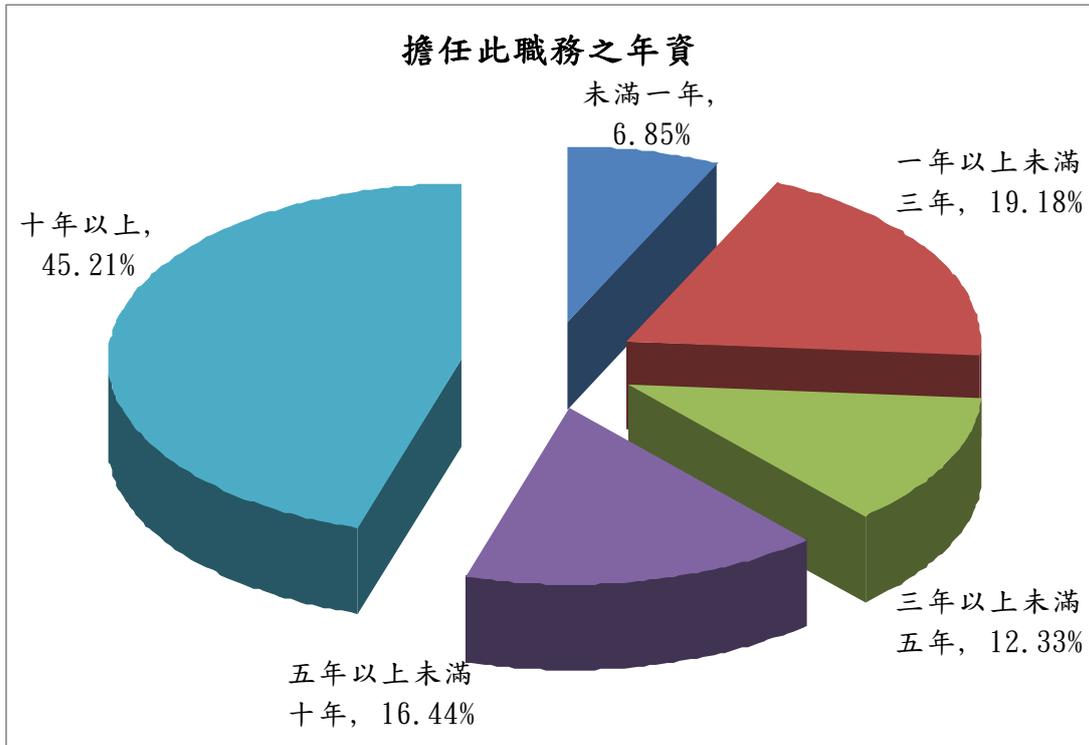


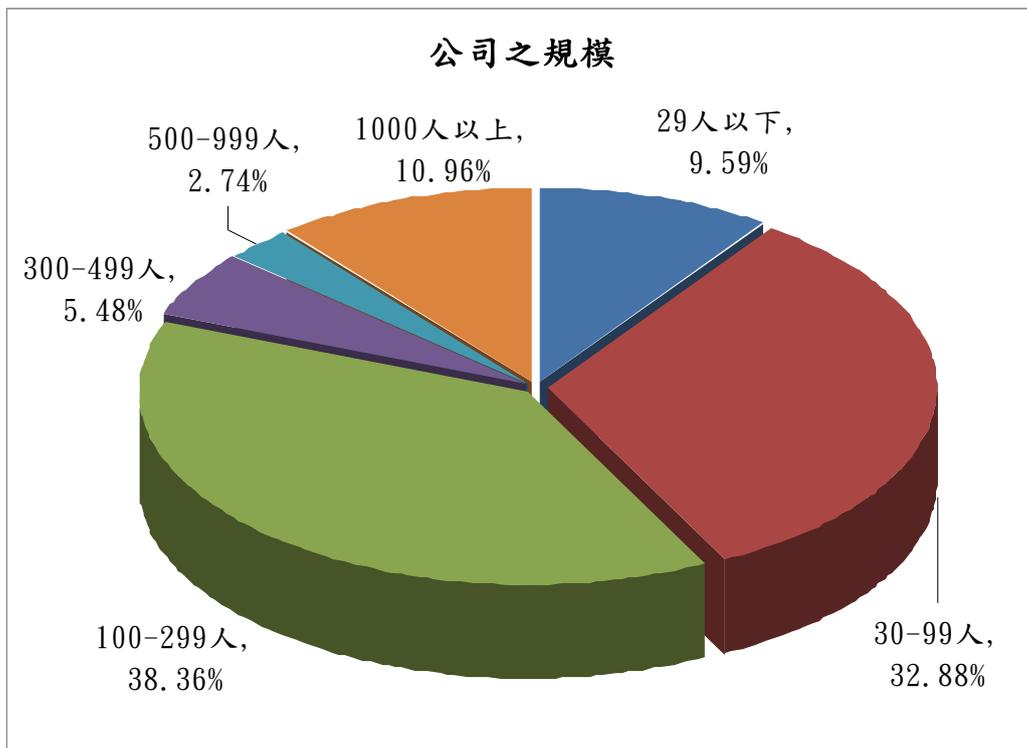
是否擔任主管職

非主管,
32.88%

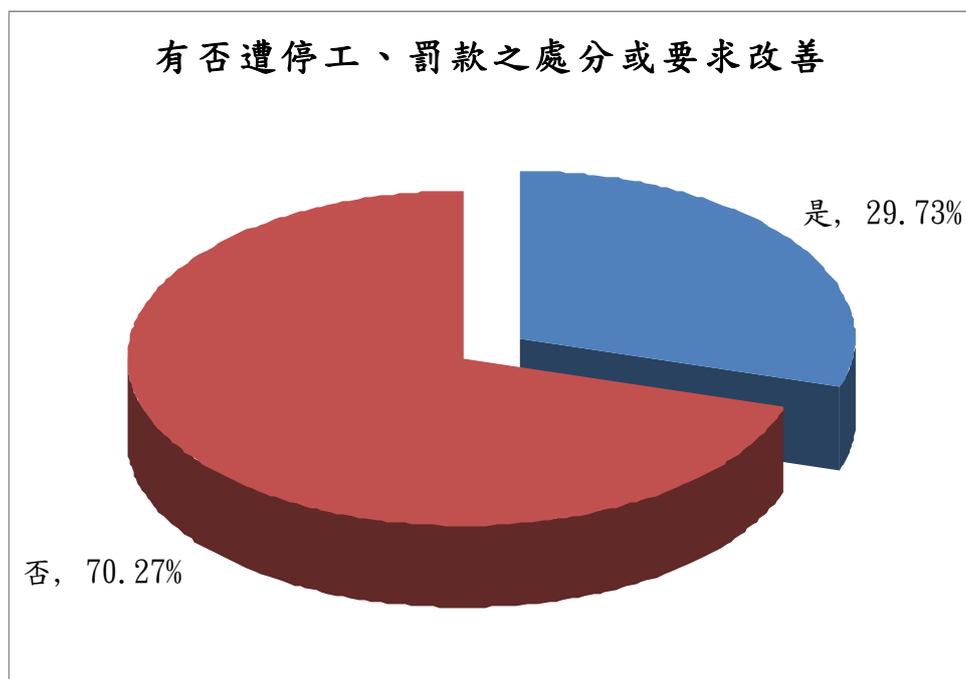
主管,
67.12%



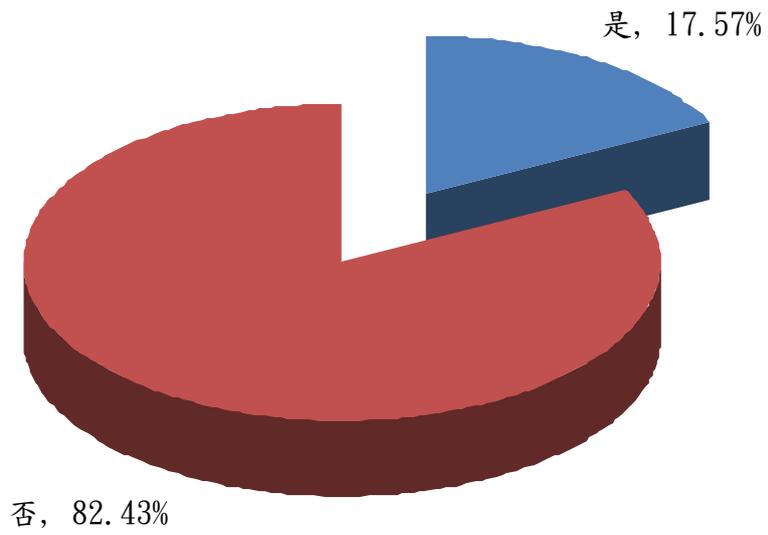




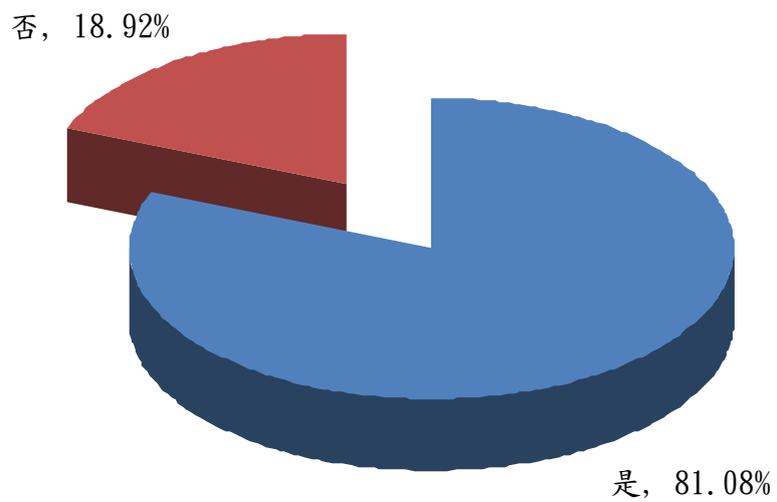
2. 受調公司職業安全衛生管理現況



公司是否曾發生職業安全衛生管理問題
(職業災害)

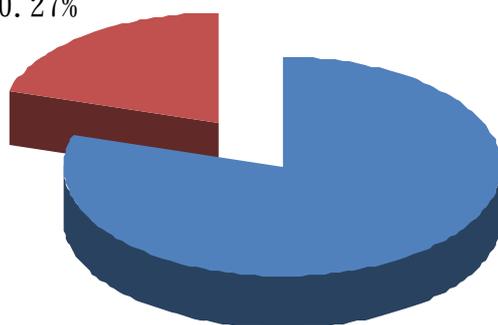


是否建置管理執行紀錄或文件



有否擬訂年度勞工安全衛生管理計畫

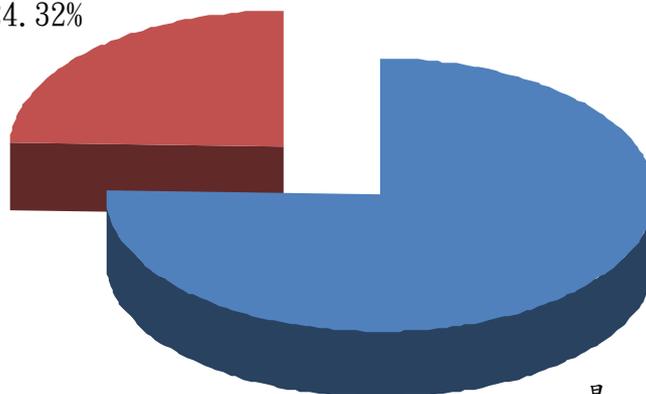
否, 20.27%



是, 79.73%

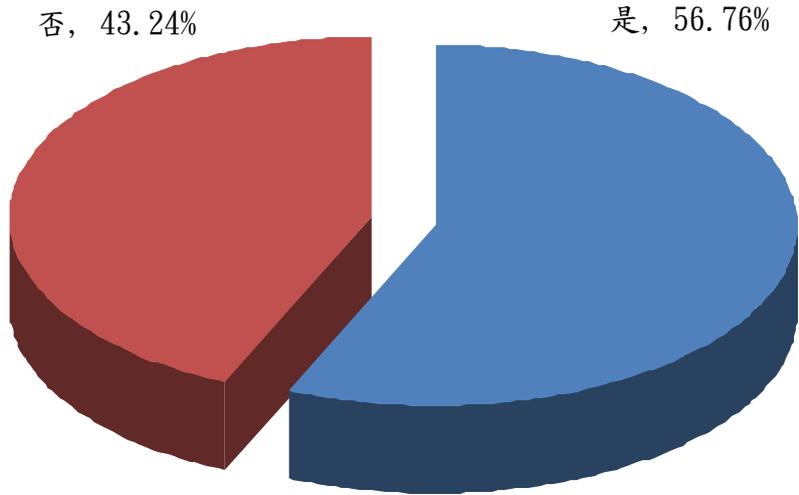
有否制定勞工安全衛生管理規章

否, 24.32%

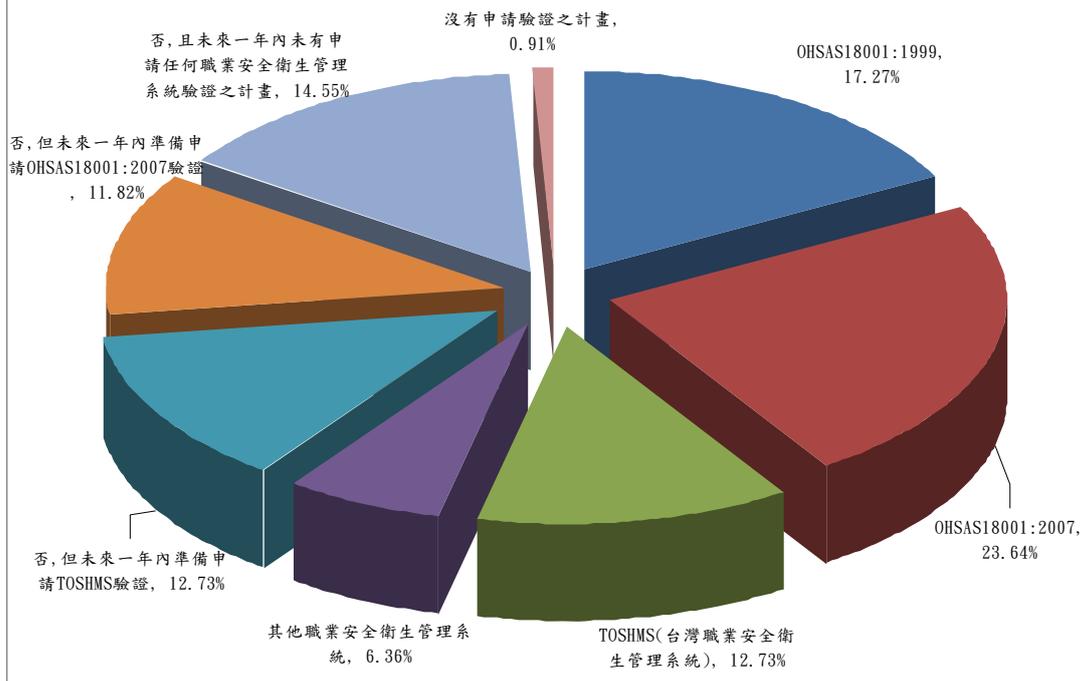


是, 75.68%

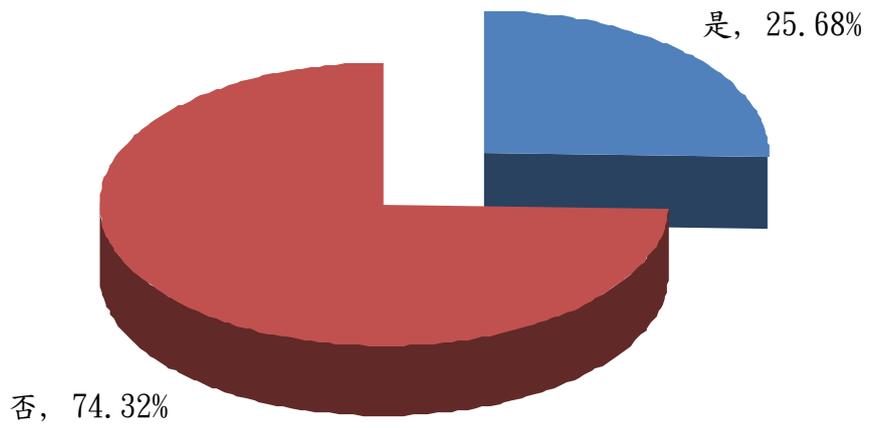
是否已建立職業安全衛生管理系統



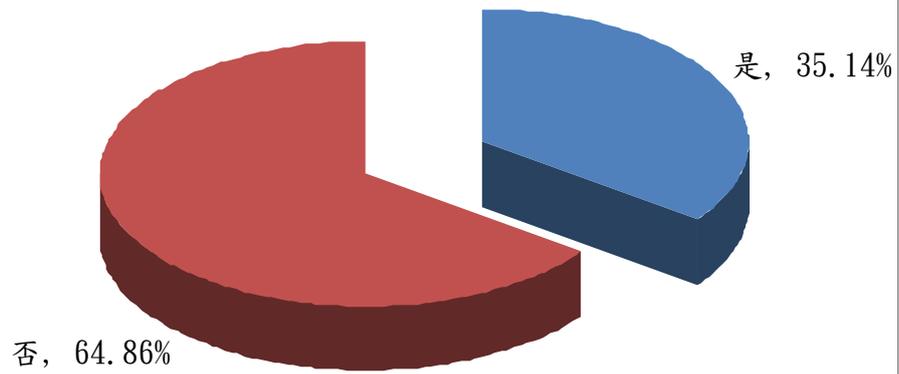
通過職業安全衛生管理系統之驗證



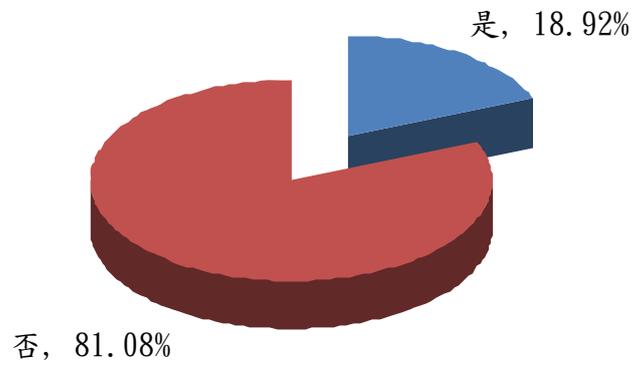
OHSAS18001:1999



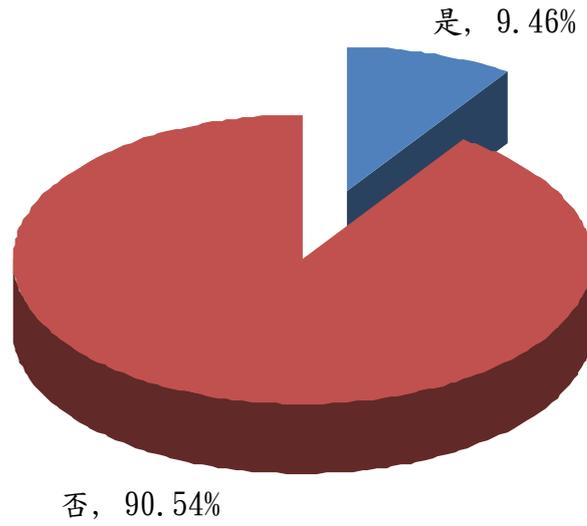
OHSAS18001:2007



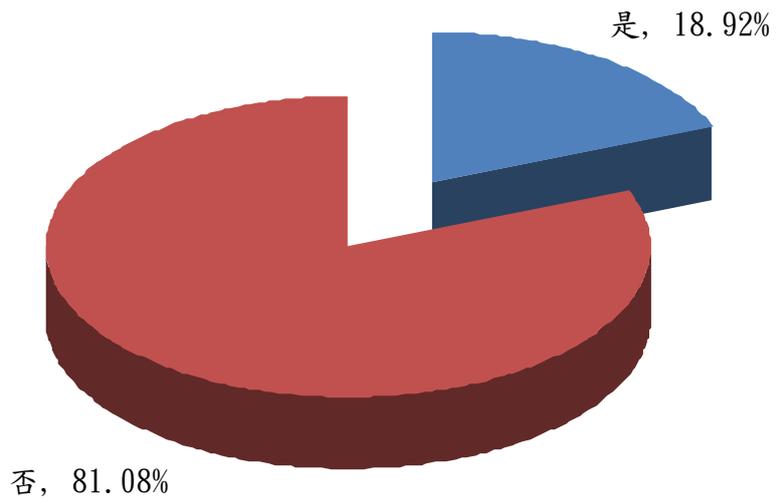
TOSHMS:2007



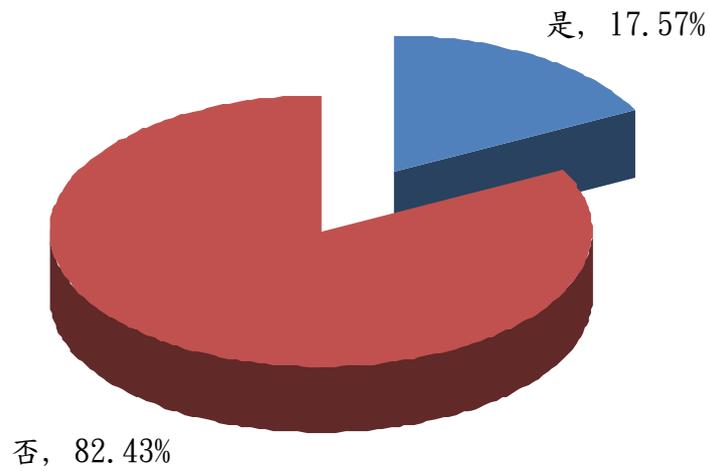
通過其他職業安全衛生管理系統驗證



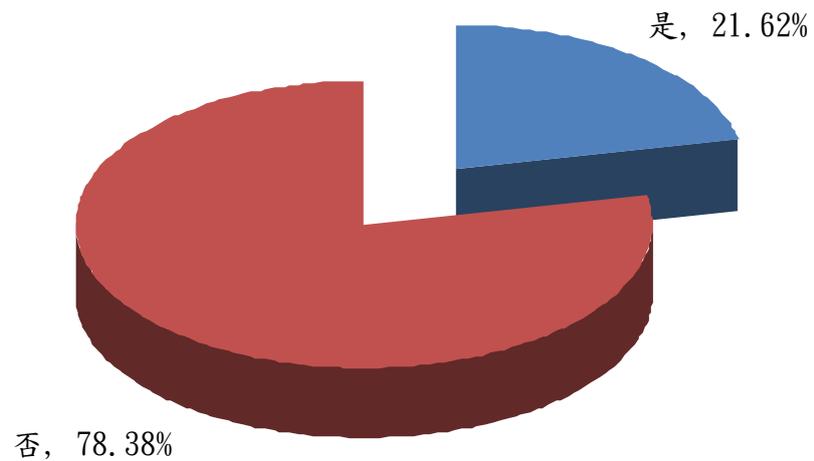
未通過驗證, 但未來一年內準備申請 TOSHMS 驗證



未通過驗證，但未來一年內準備申請
OHSAS18001:2007驗證

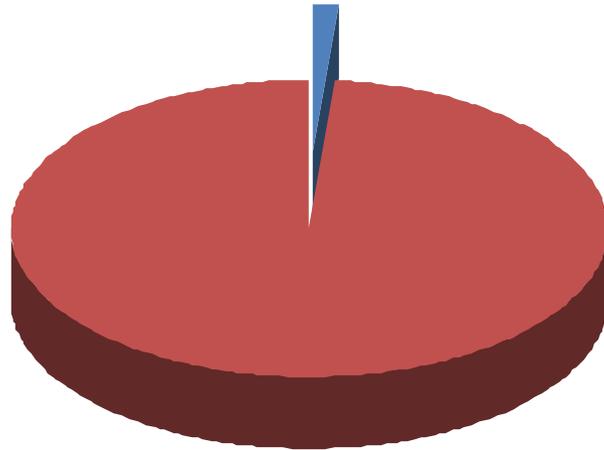


未通過驗證，且未來一年內未有申請任
何職業安全衛生管理系統驗證之計畫



未來沒有申請驗證之規劃

是, 1.35%



否, 98.65%

明白陳述整體職業安全衛生目標，並定期審查其適宜性

政策僅作一般
陳述, 無具體
目標, 4.05%

政策僅以符合
法規為依據,
4.05%

員工已認知安
全是每一個人的
責任,
50.00%



有定期審查、
安全績效評估
或稽核之活動
計畫、以確保
持續改善,
41.89%

定期檢討安全衛生管理系統，以確認其適合性與有效性

未召開管理審
查會議, 9.46%

無明顯之後續追
蹤, 6.76%

有召開管理審
查會議, 並追蹤其
執行成效,
74.32%

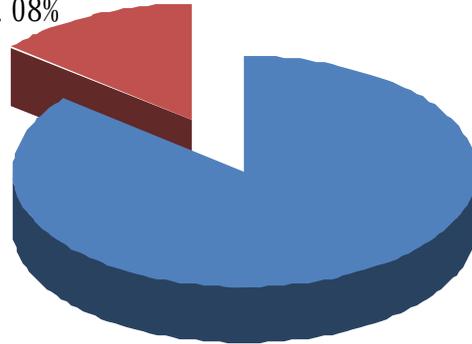


未提撥相關資源
或未追蹤其成效,
9.46%

3. 受調公司工作場所危害風險評估實施現況

是否成立有效的工作場所風險評估及管理組織(單位或小組)運作, 且其記錄並已文件化

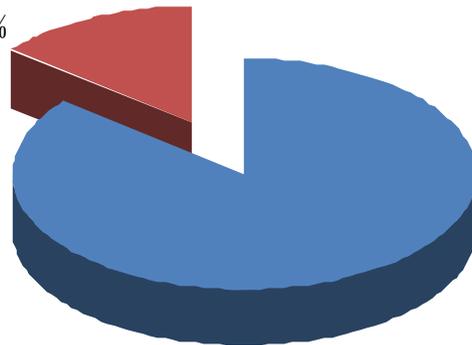
否, 14.08%



是, 85.92%

是否已建立具體而明確的工作場所風險評估技術與程序, 風險評估之結果並已文件化

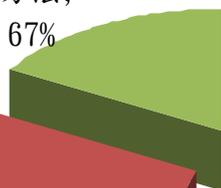
否, 14.08%



是, 85.92%

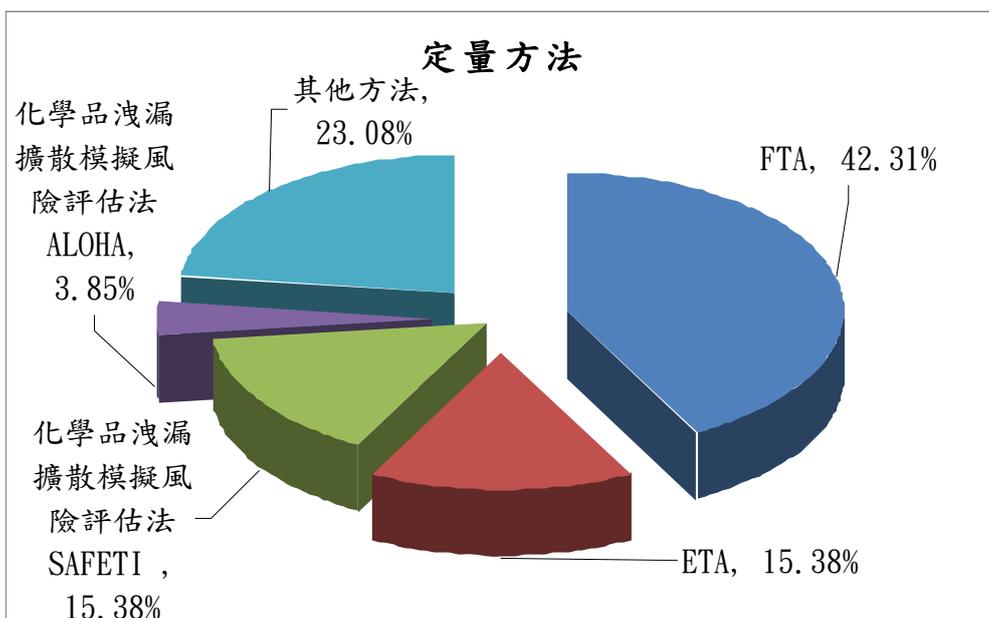
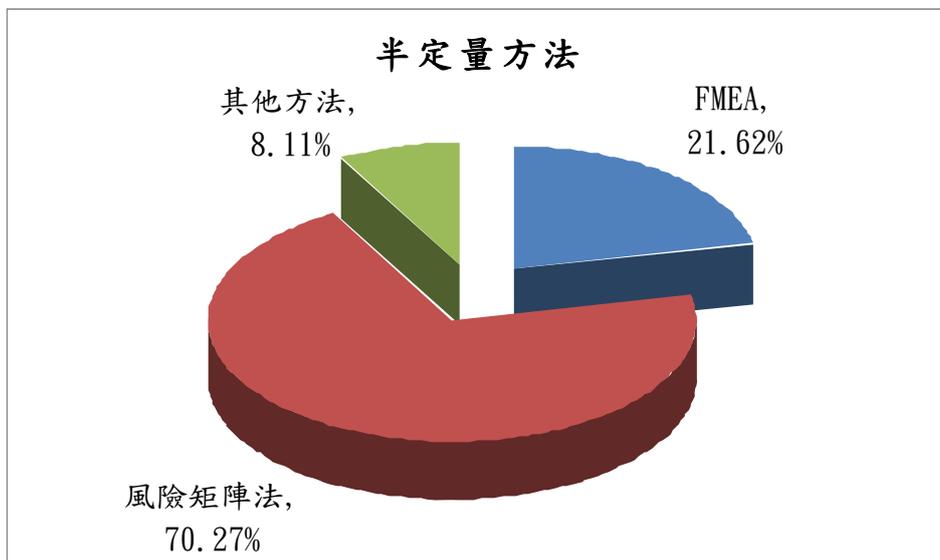
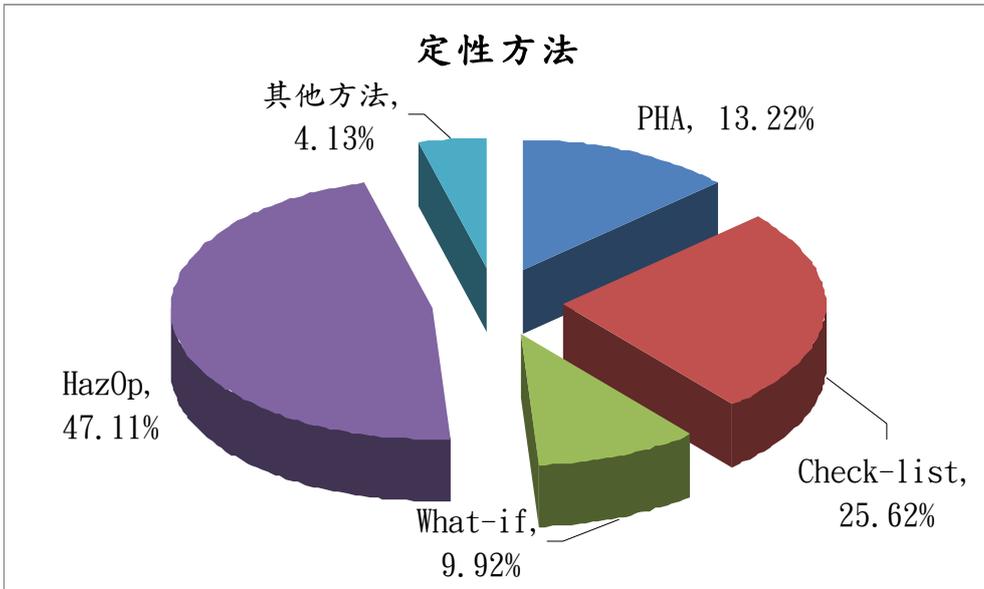
使用何種工具或技術來評估工作場所之風險

定量方法,
16.67%

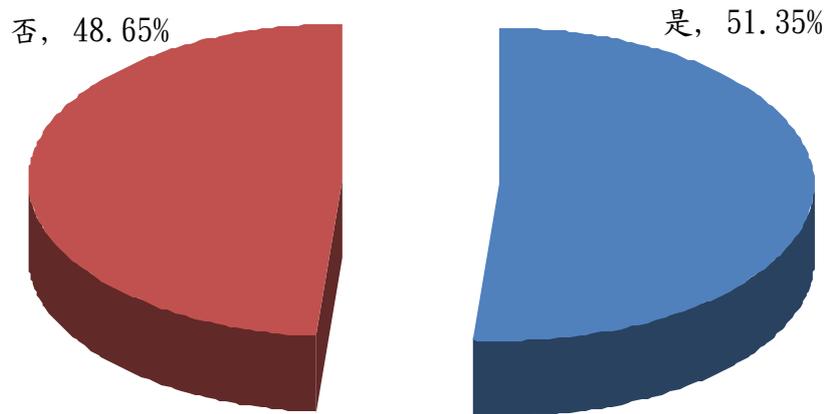


半定量方法,
28.95%

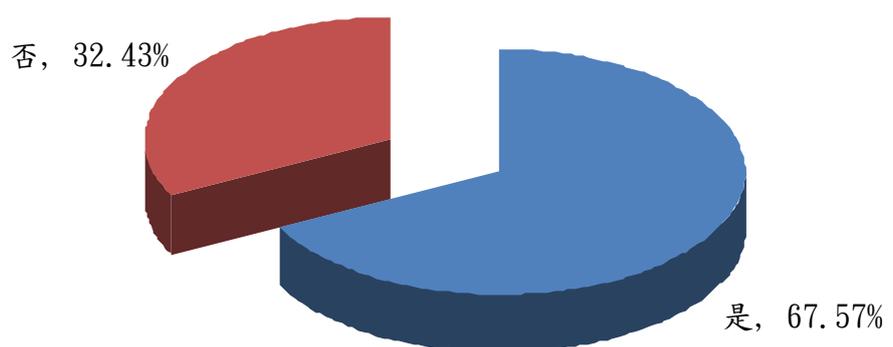
定性方法,
54.39%



實施風險評估之時機－一般例行性作業

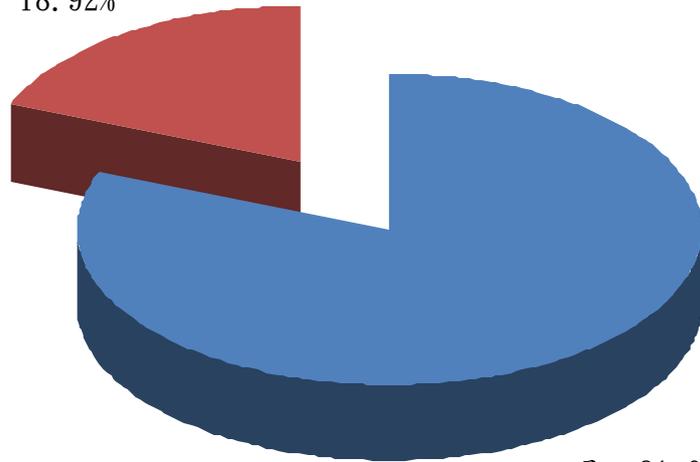


實施風險評估之時機－製程設備



實施風險評估之時機－改變作業方法與製程變更時

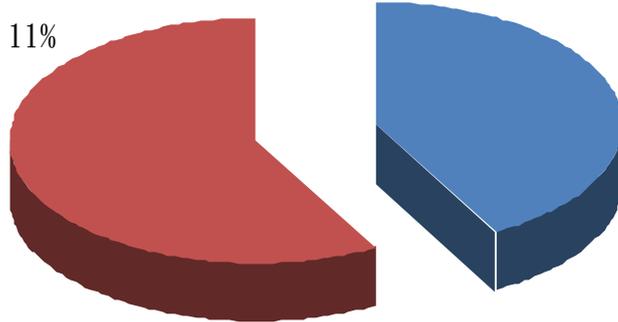
否, 18.92%



是, 81.08%

實施風險評估之時機－承攬作業

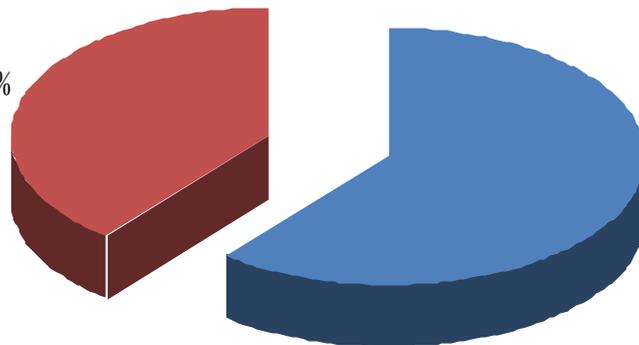
否, 58.11%



是, 41.89%

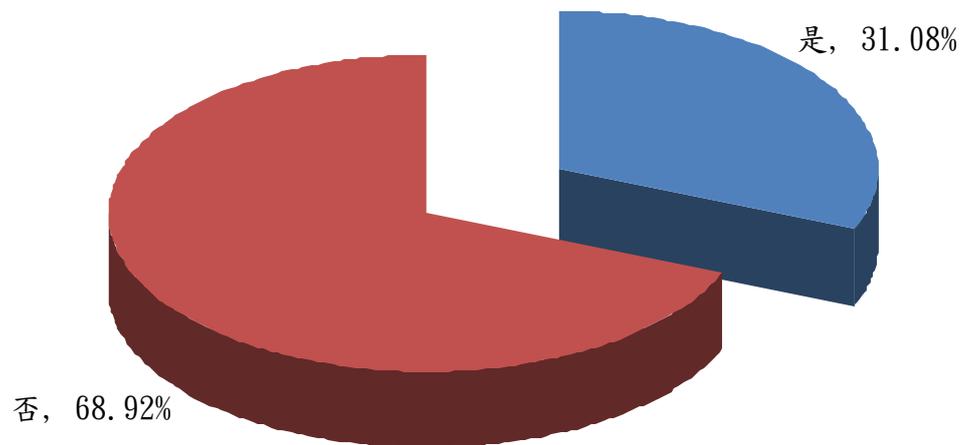
實施風險評估之時機－因應「危評」之需要

否, 39.19%

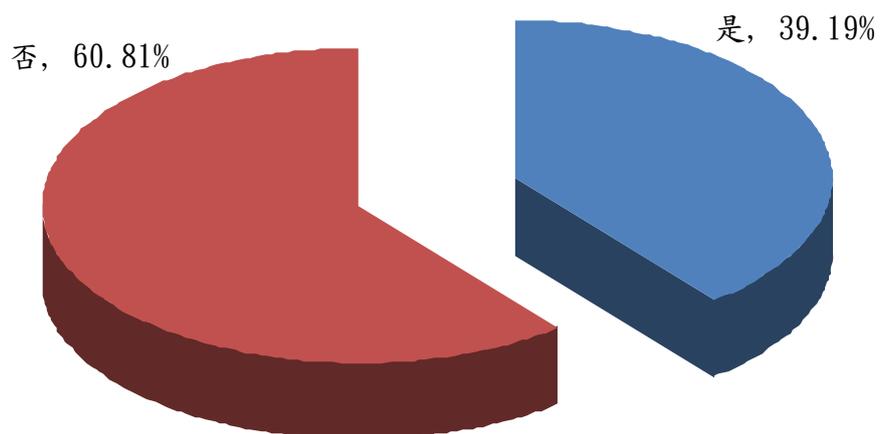


是, 60.81%

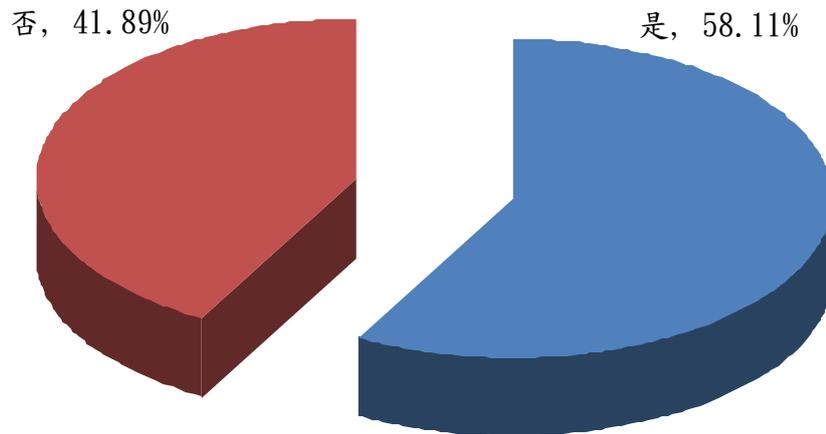
實施風險評估之時機－自動檢查之需求



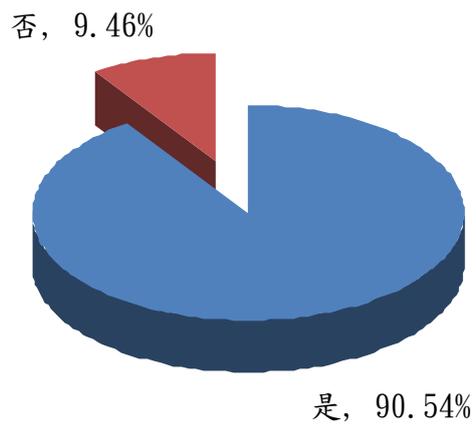
實施風險評估之時機－未來申請職業安全衛生管理系統驗證



實施風險評估之時機－建置公司內部系統化
安全衛生管理

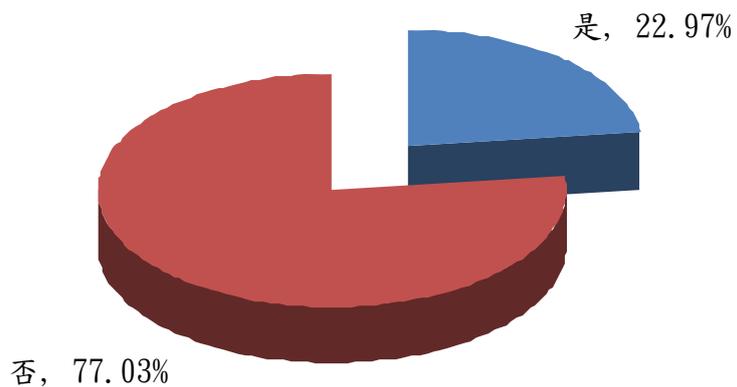


目前所採用之風險評估方法對事業之職
業安全衛生管理績效有所提昇

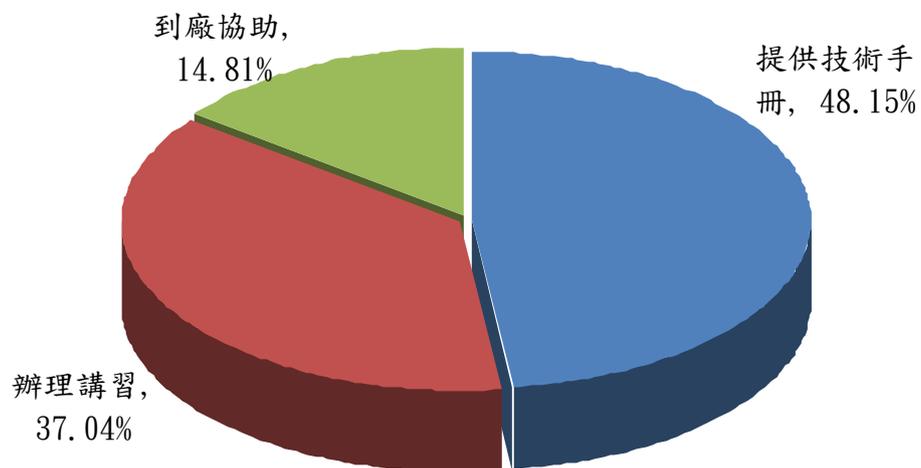


4. 受調公司接受輔導意願

有接受勞工主管機關提供工作場所風險評估
技術與方法輔導或協助之需求



提供哪一項協助對業者助益最大



第三章 風險管理概述

依據美國環保署所提出風險管理計畫(RMP)之觀念，製程安全管理(PSM)為降低製程風險常用的風險管理方法，其製程安全管理有 14 個單元，包括：

全員參與(Employee Participation)；製程安全資訊(Process Safety Information)；製程危害分析(Process Hazard Analysis)；操作程序(Operating Procedures)；人員訓練(Training)；承攬商管理(Contractor Management)；開車前安全檢核(Pre-Startup Safety Review)；設備完整性 (Mechanical Integrity)；動火許可(Hot Work Permit)；變更管理(Management of Change)；意外事故調查(Incident Investigation)；緊急應變計畫(Emergency Planning and Response)；安全稽核(Compliance Audit)；商業機密(Business Confidential)。

其中各項之意涵，茲解釋如下：

1. 製程危害分析

危害分析是應用有組織、有系統的方法來辨識及分析高危害的化學物質在處理或製程中的重大潛在危害。首先需辨認出製程中可能的危害，進而分析事故發生的因果關係，最後評估事故所造成的影響及其重要性。在決定與評估製程的危害時需考慮：(1)曾經發生過的事務，(2)工程及管理上的管制與發生危害的關係，以及管制錯誤造成的後果，(3)設備配置，(4)人為因素，及(5)控制失誤對員工之影響。雇主可參考分析的結果來加強員工的訓練、緊急應變等事項以降低事故的發生率及後果。

製程危害分析方法，雇主可採用下列方法中的一種或一種以上的方法評估製程危害：

(1) 如果…會如何？(What-if)分析

分析每一階段的裝置或製程，藉由「如果裝置失效或操作失誤會造成什麼影響？」的問題來辨識出潛在危害，是一種非結構性的腦力激盪方法，可應用於大部份的設計或操作，並可由不具太多分析經驗的人員來執行。此法因採開放式的問答，故可激發出許多被忽略的潛在危害，但不易引導與規範此分析之進行。

(2) 檢核表(Checklist)

由有經驗之專業人員製成列表式之檢查要項，再由查核人員針對被檢討的區域，回答檢核表上的問題，並根據分析結果提出改善建議。此分析方法是最易執行的方法，可廣泛的應用於各類型化學工廠，且是工廠或製程在設計、建廠、試車與正常運轉時常用的分析技術。但因此法侷限於已設計好的檢核項目，易遺漏其他潛在危害。

(3) What if/檢核表

將上述兩種方法合併成一較周全的分析技術。

(4) 危害及可操作性分析(HazOp)

HazOp 分析是由不同背景的專家組成，藉助結構化的腦力激盪來辨識出問題，可應用於工廠設計和操作的任何階段。其方法是使用一組已建立的引導字(Guidewords)(例如壓力過高、過低…等)，針對某一製程區段或步驟，有系統地找出具有潛在危害的製程偏離，並辨識其可能的原因、後果、以及安全防護，同時提出改善措施。它是一種較完整的定性分析技術。

(5) 失誤模式與影響分析(FMEA)

將製程中的設備做為分析的主體，分析設備失效或不當操作時可能引起的危害。再對危害加以定量分析，可用以估相對災害防止對策之優劣。

(6) 故障樹分析

對某一特定危害，找出所有可能的危害因素，並以量化方式找出機率最高的危害因素以供廠方改善。

(7) 其他危害分析方法

我國目前法規所定之危害分析技術僅有下列幾種：初步危害分析，危害與可操作性分析，故障樹分析，失誤模式與影響分析，與其他經中央主管機關認可具有上列同等功能之安全評估方法。其中進行安全評估第一步所需的初步危害分析介紹如下：

1) 初步危害分析

主要是應用於建廠初期，製程設計尚未完成或對已運轉的工廠第一次進行的安全評估方法。此法係針對本質危害和環境危害找出重大危害。以作為進一步分析的參考，為一種全盤性、不需太多時間但亦不深入的分析方法。

2) 分析小組成員

小組成員需包括工程及製程操作的專家，至少一名對被評估的製程具有豐富知識與經驗的員工，以及一名熟悉所用的分析方法的人員。其他成員可包括工業安全人員、維修人員、電機工程師、文書人員等。

3) 分析結果及建議

對於製程危害分析之結果應提出改善建議並記錄改善計畫及追蹤執行情況。製程危害分析應由分析小組至少每五年更新一次，以確保製程危害分析與現有的製程一致。雇主並須保留所有製程危害分析資料至此製程不再使用為止。

2. 操作程序

雇主需針對每一製程擬訂書面操作指引，使相關員工有所遵循。

(1) 每一操作階段須包含下列步驟：

1)試車，2)正常操作，3)暫停操作，4)緊急停機，5)緊急操作，6)正常停機，及 7)歲修後及緊急停機後啟動。

(2) 操作限制

操作程序中應包含為避免因製程偏離與操作步驟而產生不良影響之操作限制，以及如何修正或避免該偏離所須採取之步驟。

操作程序中亦需考慮員工的安全與健康、安全系統及其功能。對於密閉空間、拆卸管線設備、上鎖/上標籤等作業需擬訂安全工作守則供員工及承攬商遵守。當製程中使用的化學物質、操作技術、儀器設備及設施有變更時則需檢討操作程序，並做適當的修正。同時，操作程序至少每年須檢核一次。

3. 人員訓練

訓練的目的在確保所有員工均瞭解與其工作有關之製程危害及預防災害事故所

需之防護措施。訓練計畫要針對各職務人員之需求來訂定，內容因工作性質不同而有所差異。每一員工在正式執行操作程序中研定之作業前，須接受適當的職前訓練。至少每二年一次。員工需重新接受在職訓練。各種訓練均須加以記錄，內容包括訓練人員名單、訓練日期及訓練成果評估。

4. 承攬商管理

此項管理之對象包括密閉空間、設施維修、設備保養、裝配服務及特殊危險作業等之承攬商。相關之管理項目有：

(1) 原事業單位雇主的責任

- 1) 評估承攬商的安全紀錄及計畫以為選擇之參考。
- 2) 告知承攬商有關已知的潛在危害。
- 3) 告知承攬商緊急應變計畫。
- 4) 擬訂承攬商進出及停留的安全工作守則。
- 5) 定期評估承攬商的任務執行成果。
- 6) 保留承攬商受傷及疾病紀錄。

(2) 承攬商的責任

- 1) 確保雇員受過職前訓練。
- 2) 確保雇員知道潛在的危害及緊急應變計畫。
- 3) 保存訓練紀錄。
- 4) 確保雇員遵守安全守則。
- 5) 建議原事業單位雇主任何特殊的危害。

5. 開車前安全檢核

為確保新製程操作的安全，在試車或開車前應先做一次安全檢查。至於停爐檢修或修改製程之後，在開車前亦應先進行安全檢查。

檢查之目的在確認：(1)設施及設備符合設計規格；(2)有適當的安全、操作、維護及緊急應變程序；(3)新的設施已做過製程危害分析，並在開前已完成了改善建議事項；(4)操作人員均受過訓練。

6. 設備完整性

為確保用來製造、貯存或處理高危害化學物質的設備具有良好的設計、建造、安

裝及維修以減少物質外洩機率，重要的設備必須建立一套機械設備完整性的維修保養計畫。維修保養計畫包括(1)書面的維修作業程序，(2)訓練員工有關製程及其危害與安全作業程序，(3)設備的檢查與測試，(4)設備校正，及(5)品質管制。需檢視的重要設備包括：(1)壓力容器及儲槽，(2)管路系統，(3)釋壓及排放系統及裝置，(4)緊急停機系統，(5)控制系統，及(6)泵浦。

7. 動火許可

動火工作是指在含有可燃或易燃的場所進行可能產生點火源的工作。在製程或接近製程區進行動火工作之前，須先有動火工作許可之簽發才可進行。動火工作許可單上應包括核准日期及時間、工作目的及內容、動火的範圍限制、需要的防護設備、工作程序、及相關人員的簽字。動火工作許可須存檔保留至工作完成。

8. 變更管理

當製程的化學物質、技術、設備及程序有變更，以及當設施的改變會影響到製程時，即需要建立一書面管理程序，以確保這些變更都能事先經過適當人員的評估及對可能產生的危害採取適當的防護措施。此程序需包括：(1)變更的技術依據，(2)變更對安全衛生的影響，(3)因應變更而修改的操作程序，(4)變更的時間(永久性的或暫時性的變更)，(5)變更的授權許可。即使是暫時的變更也應納入管理。

對於受到變更影響的員工及承攬商，在重新開 前須得到通知並接受必要的訓練。製程安全資訊或操作程序則應視需要做更新。

9. 意外事故調查

事故調查是為鑑定事故發生的原因，並採取適當的措施以預防災害的再度發生。對於每一件導致高危害物洩漏的災害事故或虛驚事故均需調查，並應在事發後 48 小時內儘快開始。

調查小組的成員需包括熟悉製程和曾有事故調查與分析經驗的人員。調查結束後應立即提出調查報告與改善措施建議。

雇主應建立一套有系統的制度使調查之發現與建議能迅速的提出與完成。雇主並應與所有受到影響之員工共同檢討調查報告，有關的承攬商亦包括在內，期能從錯誤中學習。調查報告則需存檔。

10. 緊急應變計畫

為減少災害所造成的損失，緊急應變計畫必須針對全廠區研訂，緊急事故發生時，沒有足夠時間指派或訓練人員負責應變，這些規劃應在事故發生之前即準備好。

緊急應變計畫中應建立疏散程序、指定人員的職責、建立通訊管道、污染去除作業、內部作業之緊急處理措施等。緊急應變計畫中亦應包括處理危害物小量外洩的程序。

11. 安全稽核

安全稽核的目的在於評估製程安全管理制度的設計與效力，並檢查工作現場的安全衛生狀況是否遵照公司的程序實行。管理階層可經由安全稽核找出問題所在並加強製程安全管理中的弱點，以增進整個製程安全管理的效力。

稽核需由熟知製程的人員或一個小組來執行，且撰寫書面報告並存檔，報告中應針對管理不當之處提出改善建議。安全稽核應至少每三年實施一次，以確保製程安全管理的適用性。

12. 商業機密

雇主需提供全部有關製程安全管理項目所必需的資訊，並可要求員工或其他有關人員與其訂立保密合約。

依據以往國內石化業曾經發生過之諸多相關災害案例加以分析，最常見之重大意外事故之情境，除了化學物品在常態性之運作過程中，因為人員疏失、管理不當或防護措施失效，而導致化學品之漏洩或外洩，造成火災、爆炸等之工安意外發生等工安衛生問題之外。各廠之年度維修作業所採之承攬模式亦是當下業界為降低營運成本相當常見的經營模式，其所衍生之安全衛生管理問題尤其不可忽略，因此如何做好承攬商與供應商（包商、協力廠商）入廠管理辦法，落實廠內安全管理，並降低承攬意外事故發生風險，實為一大重要課題。

其次，為預防軟硬體設施變更所造成之風險及危害，公司訂定變更管理辦法 (Management of Change, MOC)，針對廠內新增或變更之作業活動、產品或服務等方面進行變更作業審核，以降低對廠內外之重大安全衛生或環境的衝擊時有其必要性。

危害風險評估之目的為評估意外洩放所造成人員健康與環境影響的嚴重性，並記錄歷年來所發生之意外洩放事故。本研究承襲國內外行之有年之風險評估模式如圖 1

所示。

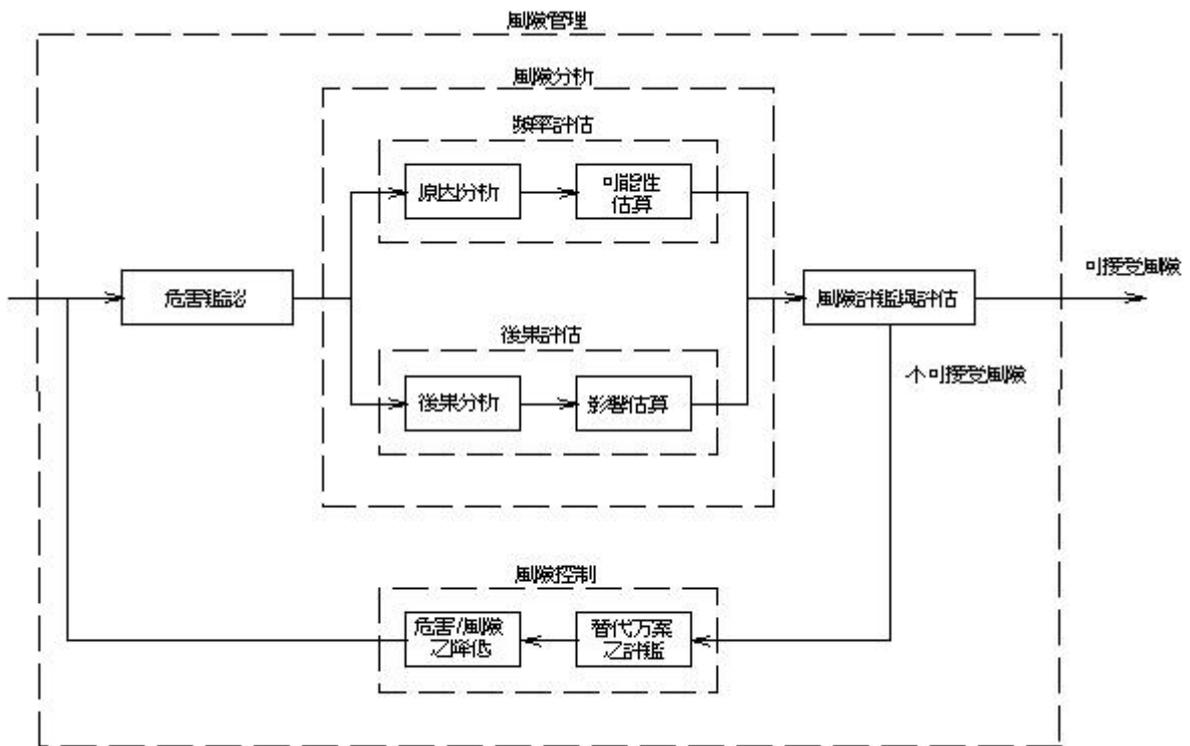


圖 1 風險評估模式

第四章 石化工廠之風險源及控制方法

風險的辨識有下列方法：

1. 稽核或日常檢點
2. 腦力激盪
3. 決策樹分析
4. 國內/外案例分享
5. 歷史資料、失誤分析
6. 小組討論/溝通
7. 專家判斷
8. 情境分析
9. 個人/組織過去經驗
10. SWOT 分析
11. 問卷/現場訪視
12. 作業流程分析
13. 系統設計分析
14. HAZOP

而在風險的辨識過程中，可參考下列資料：

1. 檢核表
2. 問卷
3. 員工訪談
4. 經驗及以往紀錄
5. 以往事故(含虛驚事件)
6. 已建立之資料檔案(如 MSDS)
7. 以往風險報告
8. 準則基準(如 Guides)
9. 健康檢查
10. 環境監視及測試
11. 保險給付
12. 廠商提供的資訊
13. 員工反應抱怨
14. 工作分析單
15. 流程圖
16. 變更分析
17. 職業安全衛生文獻
18. 其他來自於政府或同業公會資料

石化工廠災害發生的原因種類相當多，可以將其概分為人爲因素、設備因素、環境因素，以及其他等，其中人爲因素所佔比例最高。各因素發生原因包括：

1.人爲因素：

人的動作錯誤、安全衛生管理缺失、不正確的動火程序、不安全動作、個人因素、判斷錯誤、防護設備使用不當、工作機具使用錯誤、未能確實執行工作前之安全檢查、操作程序錯誤等，此多屬於不安全的動作或行爲。

2.設備因素：

機械故障、破裂/腐蝕、儀錶控制系統故障、壓力過高、過熱、異常反應、未能定期實施檢查維修工作、設計不良等。

3.環境因素：

則包括外界氣候、溫度、溼度等影響所造成之災害，以及不充分或不適當的照明、通風不良、機器設備佈置不當等不安全的環境因素。

在設備所引起之災害中，又以化學設備所佔比例最高，易引起化學災害之設備包括，鍋爐/加熱器、反應器、儲槽、壓力容器、混合攪拌機械、管線及附屬設備、泵及壓縮機、其他塔槽等。發生化學災害比例最高者爲管線及附屬設備，其次爲儲槽。

石化業、化學工業危險性較高，工廠設備多爲連續式生產設備，並涉及複雜之化學反應與繁雜之控制策略，稍有不慎即會造成重大災害案件。近年來，事業單位迭有發生火災爆炸、洩漏等意外事故，尤其是進行維修或年度歲修過程，加上歲、維修作業大都是屬臨時性、短暫性及趕工壓力等特質，尤其是年度歲修更是複雜，往往因一時疏忽或趕工，造成作業勞工傷亡及附近居民生命財產及健康受到危害，影響公共安全甚鉅。

風險之控制，其方法有：

1. 消除：如停止不可被接受的作業，金屬桶尖銳部分予以消除。
2. 替代：以較不具危害之事物取代不可被接受之風險，如以低毒性化學品代替高毒性化學品，絕緣材料以人造絕緣材料取代石棉。
3. 工程控制：包括變更工作場所、機器設備、或作業程序的設計，思考能如何改變作業，以使工作場所更安全，例如重新安排工作場所，改變機器設備，整合作業、改變作業程序以減少危險步驟、改變作業內容的順序，或減少從事危險性工作的次數

等。

4. 隔離：包括危害區域設安全護網或圍柵，危害性物質使用遙控方式操作。
5. 行政管理：此類控制以作業程序為主，如減少危害作業人員工作時間，危害作業由專人負責，加強安全教育，加強維修，設警告標誌。
6. 個人防護具：此種管制為控制的最後的一道防線，使用人員應訓練再訓練，同時應有一套管理的方法確保正確使用，正確穿戴及良好保養隨時可用。

第五章 石化工廠製程、機械、設備風險評估方法

第一節 檢核表分析(Checklist Analysis)

檢核表分析(Checklist Analysis)是由分析人員列出一些項目，再辨識與一般製程設備和操作有關的已知類型的危害、設計缺陷以及潛在危害，其所列項目的差別很大，而且通常用於檢查各種規範和標準的執行情況。檢核表分析可用於對物質、設備或作業規範的分析。檢核表分析雖然常常被用於對熟知的製程進行分析，但也可用於新開發的全新製程的早期階段，辨識並消除類似系統在多年的操作中所發現的危險。

正確的使用檢核表分析可保證每個設備符合標準，而且可以辨識出需進一步分析的區域。對不同的公司、裝置或產品，應針對其安全檢查表作必要的修改，以便進行有效的分析。對既有的製程之檢核表分析通常是按製程區域，對設備與檢核表進行比較，作為製程安全檢查表分析的一部分。檢核表之內容應包括法律、法規、標準、規範之規定。在編撰檢核表時，應隨時注意並採用新頒佈的相關規定。

檢核表分析可適用於專案的設計、施工、運轉和報廢的各個階段。

檢核表分析是相當依賴經驗的一種分析方法，分析人員應當從有關管道(如標準、規範、行業指南)選擇合適的檢核表，如果無法獲得相關的檢核表，分析人員必須運用自己的經驗和可靠的參考資料去編製合適的檢核表。一般而言，可由有經驗的工程師來製作檢核表，因為他熟悉裝置的操作、標準和規範。所擬定的檢核表應當是透過回答檢核表所列的問題，發現系統的設計和操作的各個方面與有關標準不符的地方。檢核表一旦準備好，即使缺乏經驗的工程師也能獨立使用它，或者是作為其他危害分析的一部分。當建立某一特定製程的詳細檢核表時，應與通用檢核表對照，以保證其完整性。

檢核表基本上可以分成三種基本的類型，一種為開放式的檢核表，一種為封閉式的檢核表，另一種為混合式的檢核表。

開放式的檢核表，基本上對於一個新設備或製程的分析較為有效，在應用上可將分析項目依不同的類別來做分類，然後根據法規或準則以開放式問題來做逐一的檢

核。在使用開放式檢核表時，為防止分析有所遺漏，其分析要項除了引導檢核的問題之外，還應有設備檢查結果說明、缺失點是否存在和改善建議三個要項存在。

封閉式檢核表基本上是一種比較固定的分析工具，要檢查的項目已經完全地逐條列出，檢核時並不需要太多的技巧，其內容包括檢查項目和是否有符合檢查基準的兩大主要欄位，有時還會註明檢查方法和結果說明；此種檢核表較適合於一般的例行性檢查。

第二節 初步危害分析(PHA)

初步危害分析(Preliminary Hazard Analysis, PHA)主要用於對危險物質和裝置的主要製程區域等進行分析。它常被用於評估專案、裝置等開發初期階段的物料、裝置、製程以及能量失控時可能出現的危險性類別、條件及可能造成的後果，作整體的概略分析，其目的是辨識系統中潛在的危險因素，確定其危害等級，防止這些危險因素失控導致之事故的發生。

PHA 並不妨礙進一步的危險分析，事實上它是爾後危險分析的基礎。在專案開發的初期使用 PHA 有兩個好處：1. 它能辨識潛在的危險，用較少的費用或時間就能進行改正；2. 它有助於編撰設計操作指南。因此，從一開始就能消除、減小或控制主要的危險。當只希望進行粗略的危險和潛在事故情況分析時，也可利用 PHA 對既有的裝置進行分析。

PHA 分析小組在進行分析之前，應蒐集裝置或系統的相關資料，以及其他可靠的資料(如：從任何相同或相似的裝置，或者即使製程不同但使用相同的設備和物料；相似設備的操作經驗)。

因為 PHA 主要是在專案發展的初期(如概念設計階段)辨識危險，設備的資料是有限的。然而，為了達到預期的目的，PHA 分析小組必須至少寫出製程的概念設計說明書。因此，必須知道製程所包含的主要化學物品、反應、製程參數。以及主要設備的類型(如容器、反應器、熱交換器等)。此外，裝置需要完成的基本操作和操作目標的說明有助於確定設備的危險類型和操作環境。

PHA 之目的在識別可能導致不希望的後果的主要危險和事故情況，而且 PHA 還

應對設計標準進行分析或找到能消除或減少這些危險的其他途徑。很明顯的，要作出這樣的判斷需要一定的經驗。因此，PHA 分析小組在進行分析之前，應蒐集下列資料：

1. 危險設備和物料，如燃料、高反應活性物質、有毒物質、爆炸、高壓系統、其它貯能系統。
2. 設備與物料之間與安全有關的隔離裝置，如物料的相互作用、火災/爆炸的產生和發展、控制/停俾系統。
3. 影響設備和物料的環境因素，如地震、振動、洪水、極端環境溫度、靜電放電、濕度；
4. 操作、測試、維修及緊急應變程序，如人為失誤的重要性、操作人員的作用、設備佈置可接近性，人員的安全防護。
5. 輔助設施，如儲槽、測試設備、訓練、公用設施。
6. 與安全有關的設備，如調節系統、備用、滅火及個人防護具。

對製程的每一個區域，辨識並分析危害的可能原因及導致事故的可能後果。通常，分析組並不企圖找出所有的原因，而是列出足夠數量的原因以判斷事故的可能性，然後分析每種事故所造成的後果，這些後果表示可能事故的最壞結果。最後，分析小組再根據事故的原因和後果，依表 1 把每種可能事故情況劃分成以下幾種等級：等級 I—可忽略的；等級 II—危險邊緣的；等級 III—危險的；等級 IV—災難性的。

表 1 危害等級劃分表

等級	危險程度	可能導致的後果
I	安全的 (negligible)	不會造成人員傷亡及系統損壞
II	臨界的 (marginal)	處於事故的邊緣狀態，暫時還不至於造成人員傷亡、系統損壞或降低系統性能，但應予以排除或採取控制措施
III	危險的 (critical)	會造成人員傷亡和系統損壞，要立即採取防範對策措施
IV	災難性的 (catastrophic)	造成人員重大傷亡及系統嚴重破壞的災難性事故，必須予以果斷排除並進行重點防範

在確定分析範圍後，依下述原則進行初步危害分析：

1. 通過經驗判斷、技術診斷或其他方法，調查確定危險源及其所在地點，即辨識出系統存在的危害因數並確定其存在於系統的哪些子系統(部位)，對所欲分析系統的生產目的、物料、裝置及設備、製程、操作條件以及周圍環境等進行充分詳細的調查；
2. 根據過去的經驗教訓及同行業生產中曾發生的事故(或災害)情況，對系統的影響、損壞程度，類比判斷所要分析的系統中可能出現的情況，調查能夠造成系統故障、物質損失和人員傷害的危害，分析事故(或災害)的可能類型；
3. 對確定的危險源加以分類，製作初步危害分析表；
4. 辨識轉化條件，即研究危害因數轉變為危險狀態的失誤模式和危險狀態轉變為事故(或災害)的必要條件，並進一步尋求對策措施，並檢驗其有效性；
5. 進行危害程度之分級，排列出輕重緩急次序，以便處理；
6. 制定事故(或災害)的預防對策與措施。

為方便計，PHA 的分析結果以表格的形式記錄，內容包括辨識出的危險、原因、可能結果、危害等級以及控制或預防措施。

第三節 故障假設分析(What-If Analysis)

故障假設分析(What-If Analysis)方法是一種完全以經驗為導向，對製程或操作的腦力激盪分析方法。危害分析人員基於各自的專長，提出許多「如果...會麼怎樣？」(What-if)的問題，來挑戰製程或系統的設計或操作方式，以發掘潛在性的問題。故障假設分析方法可應用於大部份的設計或操作等各方面，特別是在設計初期或規劃階段(如建築物、動力系統、原料、產品、貯存、物料的處理、裝置環境、操作流程、管理規範、裝置的安全防護等)，製程/系統尚未完成清晰的定義時，其他分析方法使用上有困難。如果分析人員富有經驗則它是一種強有力的分析方法；反之，其結果是不完整的。

故障假設分析通常透過對生產流程進行審查，從進料開始沿著流程直到製程結束(或者確定的分析範圍)。故障假設分析也可按某一順序來進行，如人員安全、公眾安全或環境安全等。故障假設分析結果將找出隱藏在分析小組所提出的問題和爭論中的可能事故情況。其問題的提出方式如：

「如果原料的濃度不對將發生什麼情況？」然後分析小組分析系統將作出反應，如：

「如果酸的濃度加倍，反應將不可控制，結果是迅速放出熱量。」

然後分析小組提出建議，如安裝緊急停俾系統或對送入反應器的原料採取特殊的預防措施。問題和對問題的回答，包括危害類型、後果、既有之安全防護、重要項目的可能解決方法都要記錄下來。

其他危害分析方法(如 HAZOP)對原因和後果的分析也可用來形成故障假設分析的問題。What-if 分析對於考慮因素採開放式的問答，優點是可以激發提出更多被忽略的潛在性危害，但缺點是難於引導與規範危害分析的進行品質，尤其是對於較欠缺經驗的人員來說更是如此。故障假設分析所需資料包括製程說明、圖紙、操作程序規範。危害分析小組最好在分析會議之前得到所有的資料。

第四節 故障假設/安全檢查表分析(What-If/Safety Checklist Analysis)

故障假設/檢核表分析(What-If/Safety Checklist Analysis)是將故障假設與檢核表分析兩種分析方法組合在一起的分析方法。由熟悉製程的人員所組成的分析小組來進行。分析小組用故障假設分析方法確定過程可能發生的各種事故類型，然後分析小組用一份或多份檢核表幫助補充可能的疏漏，此時所用的檢核表與前面講述的檢核表略有不同，它不再著重於設計或操作特點，而著重在危害和事故產生的原因。這些檢核表啓發對與製程有關的危險類型和原因的思考。

兩種分析方法組合起來能夠發揮各自的優點(故障假設分析的創造性和基於經驗的檢核表分析的完整性)，彌補各自單獨使用時的不足。例如，檢核表分析是建立在分析人員的經驗上的，有時如果對某過程缺乏經驗，檢核表分析就不能完整地對製程的設計、操作程序等進行安全性分析，就需要更爲通用的安全檢核表；而故障假設分析利用分析小組的創造性和經驗最大限度地考慮到可能的事故情況。因爲故障假設分析沒有其他結構性的分析方法(如 HAZOP、FMEA)詳細、系統和完整，使用檢核表可以彌補它的不足。

故障假設/安全檢查表分析方法可用於各種類型的製程或者是一製程生命週期的各階段。

故障假設/檢核表分析按以下幾個步驟進行：1. 分析準備；2. 建構一系列的故障假定問項；3. 使用檢核表進行補充；4. 分析每一個問項；5. 編製分析表。

故障假設/檢核表分析方法的首要工作是確立分析對象的物理分析範圍。如果過程或活動比較大，則分成幾個功能或物理區域，或者是多個分析任務的順序。其次是建立適合的檢核表，以便分析人員能與故障假設分析配合使用，檢核表應著重在製程或操作的主要危險特徵上。

一旦分析小組將所有待分析的問項確定之後，再利用所獲得的檢核表對擬分析問項進行補充和修改，按照每個檢核表所列事項，看是否還有其他的可能事故情況，如果有，再按故障假設問題的同樣方法進行分析(檢核表對製程或作業活動等各方面進行分析)。

分析報告包括列出故障情況、後果、已有安全保護措施、提高安全性的建議，通常以表格的形式出現。

第五節 失誤模式及其影響分析(FMEA)

FMEA 是由可靠度技術發展而來，只是分析的目的不同，前者分析系統的可靠性，後者評估製程設備中那些失效或不當操作會引起系統中人員的傷亡或財物損失。分析人員可依據這些故障之描述，作為改善系統設計的依據。分析人員在進行 FMEA 時會對設備可能產生的失誤與其潛在的影響作一詳細的描述，如果不針對這些失誤進行改善或對其可能的影響進行預防，則系統雖然順利運轉，但這些潛在的失誤仍有可能會發生，進而造成財產損失或人員傷亡。

依據系統設計上的複雜度與可取得數據之因素，執行 FMEA 的做法可以分為兩種 [23,25]。其中一種稱為硬體導向分析法，在列出所有的獨立硬體件後，逐一分析獨立硬體件可能的失效模式。另外一種稱為功能導向分析法，依據次系統/系統的設計功能加以區分後，逐一分析各功能可能的失效模式。對於複雜的系統，可以合併使用功能導向與硬體導向這兩種分析做法。

1. 硬體導向分析法

當系統設計所使用的硬體件清單已經可以由概要圖、藍圖或其他工程設計資料中完整彙集時，以硬體導向分析法執行 FMEA 分析。硬體導向分析法通常採取由下而上式(bottom-up)的方式，經由分析系統/次系統中下層的元組件之失效模式與失效效應後，可以歸納出上層組件的失效模式。在進行 FMEA 分析時通常優先採用硬體導向分析法。

2. 功能導向分析法

當系統設計中部份採用模組型態之功能組件，且無法取得其內部設計資料，或系統設計複雜度高，採取硬體導向分析法不僅困難度高且分析時程亦相當長時，可以以功能導向分析法執行 FMEA 分析。功能導向分析法通常採取由上而下式(top-down)的方式，先列出系統/次系統中的所有功能後，將每一功能與相關的元組件加以歸納，依各功能可能的失效模式評估其失效頻率。

失誤模式旨在描述設備的失誤情況(如：全開、關閉、啟動、停止運轉、洩漏等等)，而失誤模式的影響則由系統對設備失誤的回應狀況來決定，因此，人為操作上的錯誤通常不直接由失誤模式與影響分析技術來檢討。

在進行失誤模式與影響分析時，應先蒐集下列數據和資料：

- (1) 設備清單或管線和設備儀器圖(P&ID)
- (2) 設備功能和失誤(故障)模式之相關資訊
- (3) 系統或工廠功能及回應設備失誤之相關資訊

FMEA 之分析步驟如下：

1. 確定物件系統

- (1) 明確欲分析物件的系統、裝置或設備。
- (2) 界定欲分析的系統之物理邊界(boundary)。劃清物件系統、裝置、設備與鄰接系統、裝置、設備的界線，界定所屬的單元、設備、元件。如想描述整個工廠的危害，FMEA 應著重在個別系統上的失誤模式及其可能的影響。例如：FMEA 可能著重在進料系統、批次混合系統、氧化系統、產品分裝系統及各類供應系統上。當考量系統上的危害時，FMEA 則應著眼在系統上各類設備元件之失誤模式及其可能的影響，例如：考量氧化系統溫度控制失效之

情況時，FMEA 應分析其進料泵、冷卻水泵、冷卻水控制閥、溫度感測器及警報器。當然系統或設備之影響亦有可能危及至整個工廠。

- (3) 界定系統分析的範圍。此包括兩方面的問題：A. 明確分析時不需考慮的失誤(故障)類型、運轉結果、原因或防護裝置等，如分析失誤(故障)原因時不考慮飛機墜落到系統上、地震、颱風等；B. 明確初始運轉條件或設備、元件狀態等，如作為初始運轉條件必須明確正常情況下閥門是開啓還是關閉的。

2. 分析失誤模式和其發生原因

確定失誤模式可以從以下兩方面著手：

- (1) 如果分析物件是既有設備，則可以根據以往運轉經驗或試驗情況確定設備的失誤模式；
- (2) 如果分析物件是設計中的新設備，則可以參考其他類似設備的失誤模式，或者對設備進行可靠性分析來確定設備的失誤模式。

一般而言，一個設備至少有 4 種可能的失誤模式：(1)意外運轉；(2)不能按時運轉；(3)不能按時停止；(4)運轉期間故障。

3. 研究失誤的影響

通常從三個方面來研究各失誤模式的影響：(1)該失誤模式對相鄰設備的影響。(2)該失誤模式對整個系統的影響。(3)該失誤模式對鄰近系統的影響及對周圍環境的影響。

4. 確定失誤等級

評估失誤等級時主要是衡量其對系統、任務和人員安全造成影響的規模。防護措施就是根據失誤造成的影響大小而採取的針對性對策。因此，有必要對失誤等級進行評定。

評估失誤等級的方法有：

- (1) 簡單劃分法。這一方法將失誤模式對子系統或系統影響的嚴重程度分為四個等級，可根據實際情況進行分級。
- (2) 評分法。在難以取得可靠資料的情況下，可以採用此方法，它較簡單劃分法精確。它從幾個方面來考慮失誤對系統的影響程度，用一定的點數表示程度

的大小，然後相加，計算出總點數。

5. 分析結果書面化

分析者可以根據分析的目的、要求之欄位，簡潔的顯現全部分析的內容。

為確保分析之完整性及效率，應有一合適的表格以記錄FMEA之結果。製作FMEA表可由系統或製程流程圖(PFD或P&ID)之系統邊界開始，並依製程流程路線之設備元件依序作系統化的評估，所有的設備元件均須評估，每一元件或系統之所有失誤模式均評估完畢後，方可進行下一設備元件或系統的評估。

FMEA 不只可做定性分析，若在分析中加入失誤或故障發生的機率，並進一步與危險度分析(Critical Analysis)結合，構成失誤模式、影響和危險度分析(Failure Modes, Effects, and Critically Analysis, FMECA)。這樣，如果確定了每個元件、單元或子系統之失誤機率，就可以確定設備、系統或裝置的之失誤機率，從而定量地評估故障的影響，如表 2。

危險度分析的目的在於評估系統每種失誤模式的危險度，據此按輕重緩急確定矯正措施。一般係以失誤機率－嚴重度來決定失誤模式的危險度。

(1) 失誤機率

失誤機率，是指在一特定時間內，失誤模式所出現的次數。時間可規定為一定的期限，如一年、一月等；或根據大修間隔期；完成一項任務的週期或其他被認為適當的期間來決定。可以使用定性和定量方法確定單個失誤模式的機率。

定性分類法：

- I 級：失誤機率很低，操作期間發生的機會可以忽略。
- II 級：失誤機率低，操作期間不易發生。
- III 級：失誤機率中等，操作期間發生的機會為 50%。
- IV 級：失誤機率高，操作期間易於發生。

定量分類法：

- I級：在元件工作期間，任何單個失誤發生的機率，小於全部失誤機率的0.01。
- II級：在元件工作期間，任何單個失誤發生的機率，大於全部失誤機率的0.01而小於0.10。
- III級：在元件工作期間，任何單個失誤發生的機率，大於全部失誤機率的0.10而小於0.20。
- IV級：在元件工作期間，任何單個失誤發生的機率，大於全部失誤機率的0.20。

(2) 嚴重度

嚴重度指的是失誤模式對系統功能的影響程度。它可以分為4個等級。

嚴重度等級	內容
A (輕微)	1.對系統任務無影響 2.對子系統造成的影響可忽略不計 3.通過調整故障易於消除
B (高)	1.對系統的任務雖有影響但可忽略 2.導致子系統的功能下降 3.出現的故障能夠立即修復
C (嚴重的)	1.系統的功能有所下降 2.子系統功能嚴重下降 3.出現的故障不能立即通過檢修予以修復
D (災難性的)	1.系統功能嚴重下降 2.子系統功能全部喪失 3.出現的故障需經徹底修理才能消除

(3) 風險矩陣

失誤的發生可能性和失誤發生後引起的後果，經綜合考慮後，能得出一個比較準確的衡量標準，我們稱這個標準為風險等級(或稱危險度)，它代表失誤機率和嚴重度的綜合評估，如下表。

		失誤機率			
		I	II	III	IV
後果 嚴重度	A	1	1	2	3
	B	2	2	3	4
	C	2	4	4	4
	D	4	4	4	4

表 2 具量化功能之失誤模式與影響分析(FMEA)表

項目	功能	運轉 模式	失誤 模式	失誤 原因	偵測 方法	影響	失誤機率	嚴重 程度	矯正措施

第六節 危害與可操作性分析(HazOp)

危害與可操作性分析(HazOp)技術是英國 ICI 公司為解決除草劑製造過程中的危害，於 1960 年代所發展的一套以引導詞(Guide Words)為主體的危險分析方法，以檢視設計的安全以及危害的因果來源。儘管 HazOp 技術原來是設計用來評估新的設計或技術，但它亦可應用於工廠規劃和操作的任何階段。

HazOp 技術的本質是利用一系列的會議來檢視製程設計圖樣和操作程序，在會議中，一個包括各種學科背景成員的小組，運用指定的方式，有系統地來評估各種偏離正常設計值的偏差及其嚴重性，ICI 公司本來定義 HazOp 分析技術必須由一個各學科背景的人所組成的小組來執行。因此，若危險分析僅由一個人利用 HazOp 原則來完成，則此研討不能稱作 HazOp 分析。所以 HazOp 分析技巧與其他危險評估方法是有區別的，因為其他的方法可由單獨一人來執行，而 HazOp 分析必須由一個小組利用特殊的技巧來完成。

危害及可操作性研究(HazOp)強調腦力激盪(Brain-storming)，利用一系列的會議來檢視製程設計圖樣和操作程序，去推斷製造過程可能產生的危害。其基本概念是以「假設這個情況出現，那麼後果將會如何－What-If」分析法去將潛在的危險辨識出來。它將製造過程中不同運作系統(System)，如機械系統(Mechanical System)、電力系統(Electrical System)、化學程序(Chemical Process)等以其相關的引導詞和正常運作偏差/偏離時可能產生的後果來探索其中隱藏的危險。HazOp 分析技術必須由一個具下列背景的人所組成的小組來執行：

1. 生產工程師：熟悉基本設計、程序模擬。
2. 系統工程師：熟悉生產線及儀器圖及基本設計規範。
3. 品質工程師：熟悉標準操作步驟及標準。
4. 儀控工程師：具設備及控制系統選擇經驗。
5. 安全工程師：瞭解安全標準、法規、安全管理等。
6. 其他專業人員：工業衛生專業人員、電機工程師、維修工程師等。

因此，若危險分析僅由一個人利用 HazOp 原則來完成，則此研討不能稱作 HazOp 分析。這個分析需要所有參與者自由地發表看法，但應避免批評其他人，否則將會使創造性被壓制。在檢視危險情況時，這種具有創造性的方式，加上利用有系統的或結構化的方式將可使整個研討進行的更徹底而不致有所疏漏。

HazOp 研討集中於製程或操作的特定點上，稱為「研討節點(study nodes)」、製程區段、或操作步驟。HazOp 小組以一次一個的方式檢驗每個區段或步驟，找出具有潛在危害的偏離(deviation)，這些偏離是由一組已建立的引導字(guidewords)所定義出。使用引導字的主要目的是要確保所有與製程參數有關的偏離均被評估。對於每一區段或步驟，小組有時會考慮相當多的偏離(即 10 至 20 個)，並且辨識它們可能的原因和後果。

HazOp 分析研討可在新的專案計畫或既存的工廠上執行。對於新的計畫，當製程設計完全確定時，最好進行一次 HazOp 分析。通常來說，製程之 P&ID 完成，即是執行 HazOp 的最佳時機，所以評估小組可以針對在 HazOp 分析過程中提出的問題明確地陳述有意義的解答，同時也可以在不用遭受重大損失的情況下改變設計。然而，HazOp 分析研討也可在製程設計的早期來執行，只要小組成員有足夠的製程資料和知識作為分析時的基礎。但在早期階段所執行的 HazOp 分析不應取代針對細部設計的徹底的設計評估。

儘管基本的 HazOp 分析已完善建立，但運用的方式可能隨著製程而改變。表 3 列出了在 HazOp 分析中常用的術語和定義。表 4 所示之引導字為 ICI 最初所發展用於 HazOp 研討之引導字，並且運用在表 5 所示之製程參數上，見表 6。

在 ICI 最初的探討中，每個引導字和相關的製程參數互相組合，並應用至所檢討之製程的每一點(研討節點、製程區段或操作步驟)。以下為一利用引導字和製程參數創造出來的偏離的例子：

引導詞 (Guide Words)	製程參數 (Parameter of System)	偏離情況 (Deviation)
無(No)	流量(Flow)	無流量(No Flow)
低(Low)	壓力(Pressure)	低壓(Low Pressure)
較多(More Than)	成份(Composition)	水份過多(More Water)

引導字同時被應用於較一般的參數(如反應、混合)以及較特定的參數(如壓力、溫度)。用在一般的參數時，從一個引導字的應用得到不只一個偏離情況經常出現。舉例來說，「較多反應」可能意謂反應以較快的速率進行，或者產生較大量的產物。在另一方面，有些引導字和參數的組合將產生沒有意義的偏離(如「不僅…又」和「壓力」)。

用在特定的參數時，可能需要將引導字做些修改。此外，分析者常常會發現某些潛在的偏離由於物理上的限制而成為不恰當。舉例來說，如果考慮溫度參數，引導字「較多」或「較少」可能是唯一需考慮的。

下列為原始引導字的另一種有用的解釋：

當考慮時間時，「除…之外」可解釋為較早(快)或較晚(慢)

當考慮位置、來源或目的地時，「除…之外」可解釋為其他的地方

當考慮液位、溫度或壓力時，「較多」和「較少」可解釋為較高或較低

HazOp 分析的流程如圖 5.1 所示，其評估研討過程須作有效且完整的記錄，可作為後續追蹤稽核的依據，因此，也是目前最被廣泛使用的製程安全評估方法。另外，危害與可操作性分析除了可應用在定性的製程分析，若加入偏離的發生頻率和影響嚴重度，則此分析方法亦可應用於定量的分析。

表 3 HazOp 分析的術語

術語	定義
製程區段(或研討節點)	具有明確界限的設備區段(如兩容器間的管線),在這界限內檢討製程參數的偏離。或者 P&ID 圖上的一個地方(如反應器),在此處檢討製程參數的偏離。
操作步驟	被 HazOp 分析小組所分析之批次製程或操作程序其中的間斷動作。可能是手動、自動或軟體執行的動作,應用在每一步驟的偏離分析與用在連續製程的偏離分析有點不同。
目的	在沒有偏離的情況下,工廠被預期如何操作的定義,有許多種形式來表達,可能是描述性的或圖表的(如製程描述、流程圖、管線圖、P&ID)。
引導字	用來描述或量化表示設計目的的簡單字詞,並用來引導和刺激腦力激盪的程序以辨識製程危害。
製程參數	與製程相關之物理或化學性質。包括一般的項目如反應、混合、濃度、pH 和特定的項目如溫度、壓力、相(phase)和流量。
偏離	遠離設計目的,經由以下方法來發現潛在問題,即藉著有系統地將引導字應用至製程參數,形成一群可能引發危害的原因(如無流量、高壓等),以供小組來評估每個製程區段。
原因	偏離發生的理由,一旦偏離顯示有一個可信的原因,即被認為是有意義的偏離,這些原因可能是硬體故障,人為失誤、不預期的製程狀況(如組成改變)、外界失常(如停電)等等。
後果	偏離的結果(如毒性物質外洩)。通常小組假設有用的保護系統失效。較輕微的後果不被考慮。
防護措施	工程的系統或管理上的控制,設計來防止原因發生或減輕偏離的後果(如製程警報、連鎖系統、緊急操作程序)。
改善建議	對於設計修改、程序改變或進一步研討範圍的提議(如增加一套壓力警報或調整兩個操作步驟的順序)。

表 4 HazOp 分析的引導字與意義

引導字	意義
無(No)	完全不具備設計目的
較少(Less)	定量的減少
較多(More)	定量的增加
只有部分(Part of)	定性的減少
不僅…又(As well as)	定性的增加
相反(Reverse)	與設計目的邏輯上相反
除…之外(Other than)	完全取代

表 5 HazOp 分析製程參數

流量	時間	頻率	混合
壓力	成份	黏度	加成
溫度	pH 值	電壓	分離
液位	速度	資訊	反應

表 6 HazOp 分析中常用之製程偏離

製程 參數 \ 導字 偏離	高	低	無	反	只有部份	不僅又	完全取代
流 量	高流量	低流量	無流量	逆流	組成錯誤	雜質	錯誤物質
壓 力	高壓	低壓	真空				
溫 度	高溫	低溫					
液 位	高液位	低液位	無液位		分離不良		
反 應	高反應	低反應	無反應			其他反應	錯誤反應
其 他							

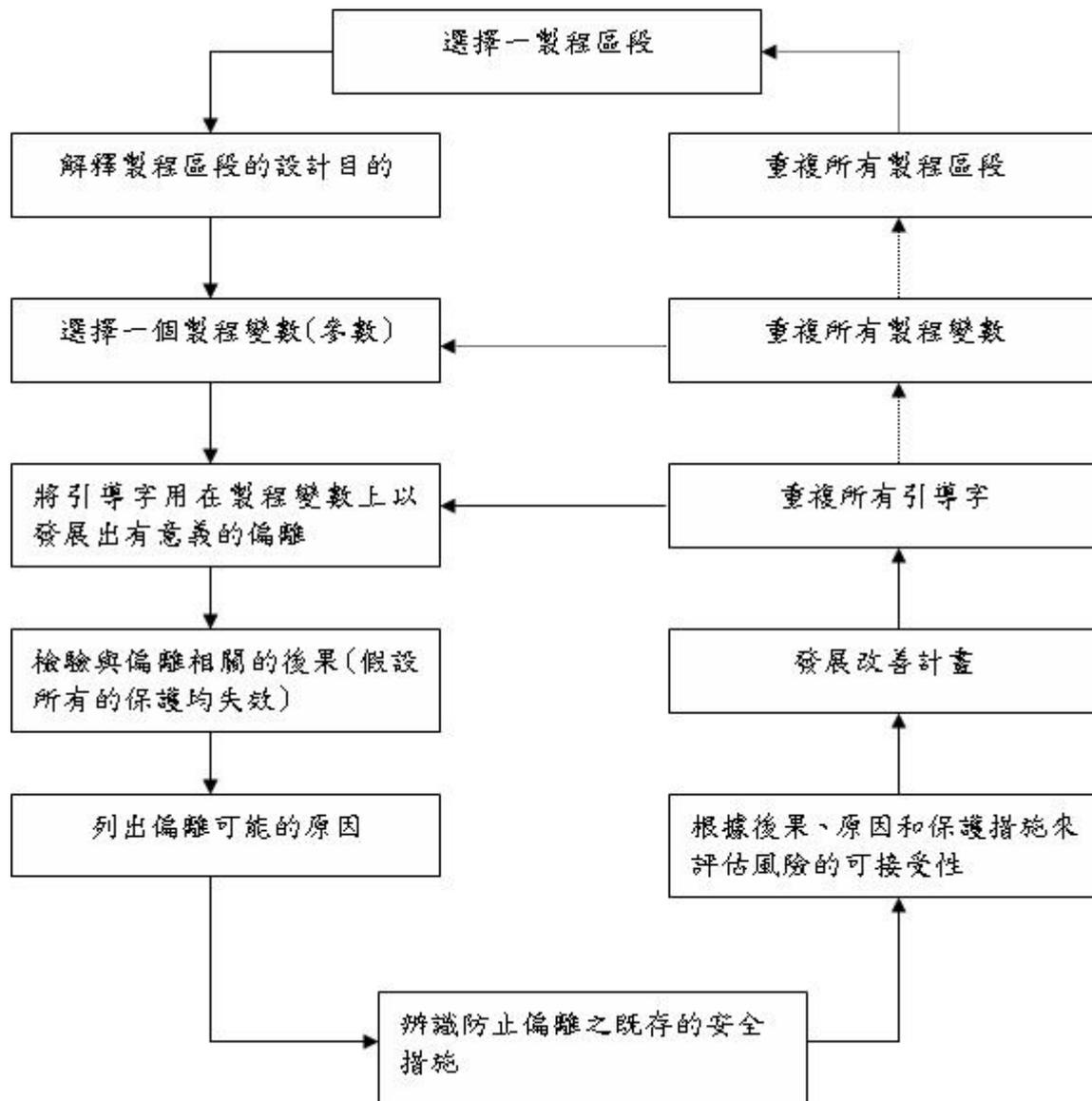


圖 2 HazOp 分析方法流程圖

第七節 失誤樹分析(Fault Tree Analysis, FTA)

失誤樹分析(FTA, Fault Tree Analysis)是把系統可能發生或已發生的事故(稱為頂上事件)作為分析起點，將導致事故的原因事件按因果邏輯關係逐層列出，用樹形圖表示出來，構成一種邏輯模型。然後，對這種模型進行定性或定量分析，找出事件發生的各種可能途徑及發生概率，找出避免事故發生的各種方案並選出最佳安全對策。

頂上事件通常是由故障假設、HAZOP、FMEA(FMECA)等危害分析方法辨識出來的。失誤樹模型是原因事件(也是故障)的組合(稱為故障模式或失效模式)，這種組合導致頂上事件如，圖 3。這些故障模式稱為切割集合，最小切割集合是原因事件的最小組合，如果它們全部存在或全部發生將導致頂上事件的發生，換句話說要使頂上事件發

生，最小切割集合中的所有事件必須全部發生。例如，如果切割集合中「無燃料」和「擋風玻璃損壞」全部發生，頂上事件「汽車不能啟動」也將發生，但最小切割集合是「無燃料」，因為它單獨發生也將導致頂上事件的發生；「擋風玻璃損壞」與汽車能否啟動無關。有時在失誤樹模型中可能包含一些特殊的條件或外部事件，如一定的裝置操作條件)。因此，一系列的最小切割集合表示事故發生的可能途徑，它們以設備故障、人為失誤及外部條件表示。

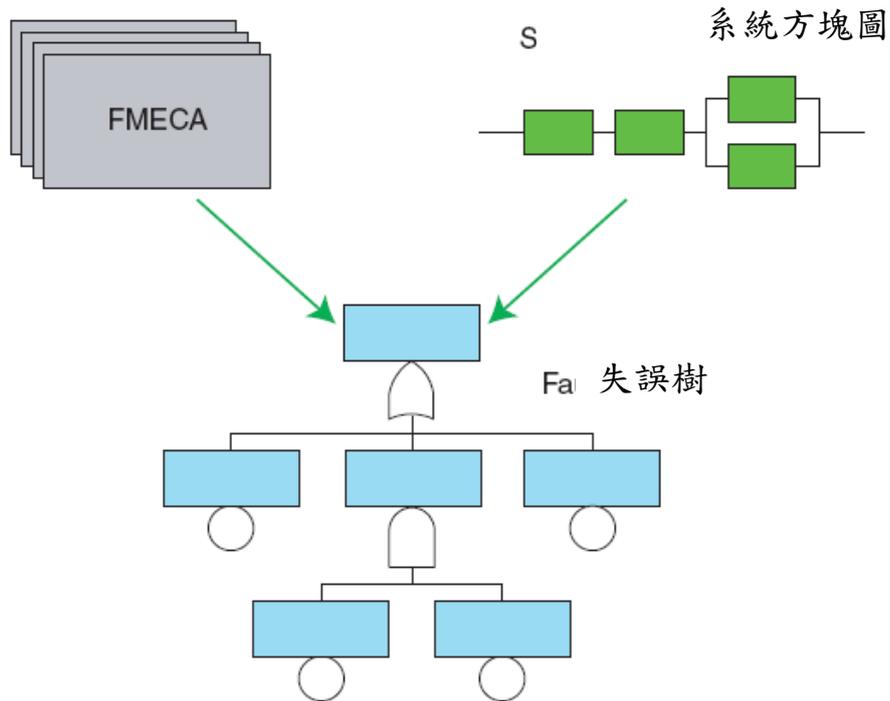


圖 3 失誤樹的建構概念

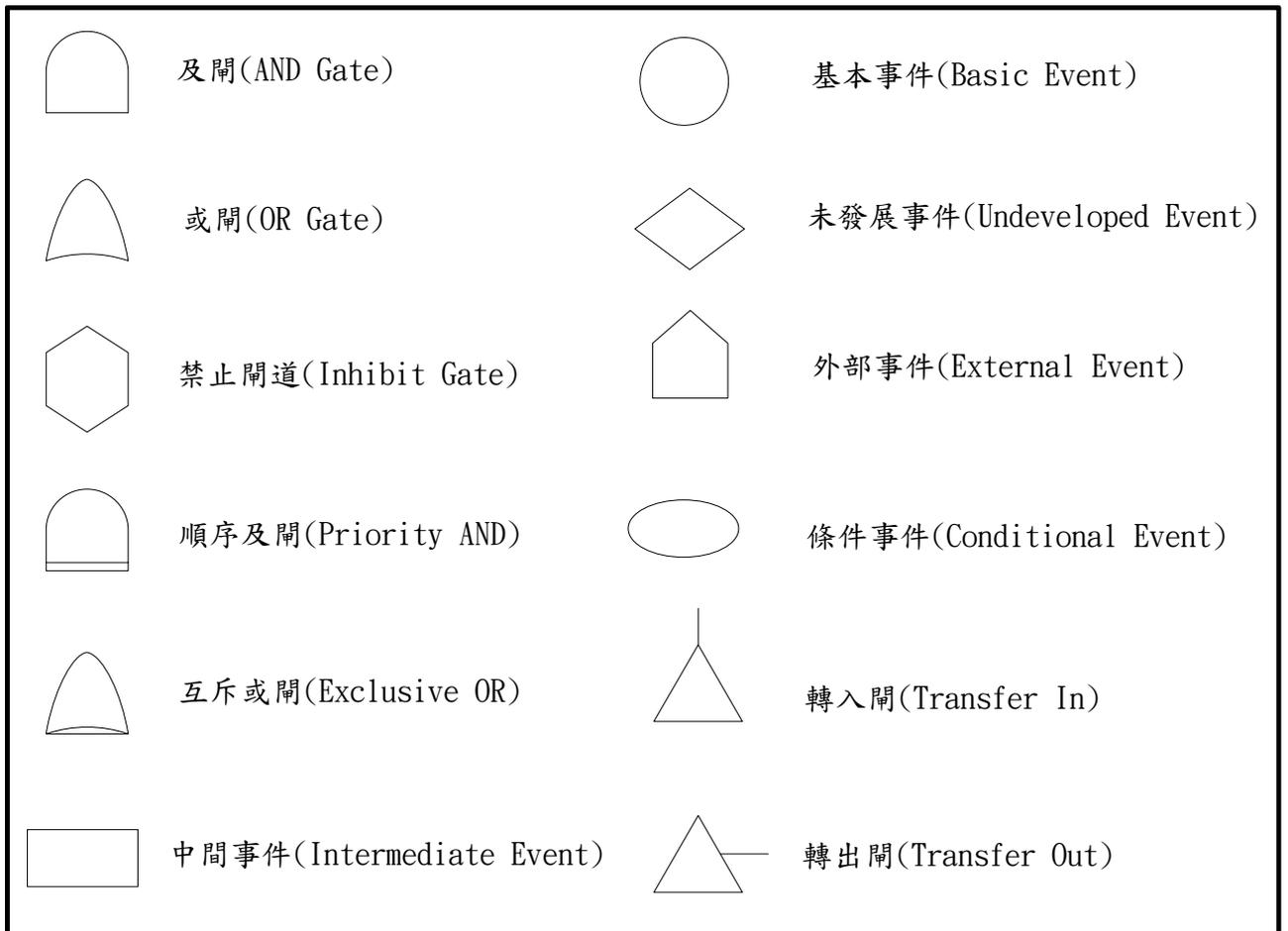


圖 4 失誤樹邏輯閘圖形

失誤樹是一種特殊的倒立樹狀邏輯因果關係圖，它用上述的事件符號、邏輯閘和轉移符號(如圖 4)描述系統中各種事件之間的因果關係。邏輯閘的輸入事件是輸出事件的「因」，邏輯閘的輸出事件是輸入事件的「果」。

1. 二狀態失誤樹：如果失誤樹的底事件刻劃一種狀態，而其對立事件也只刻劃一種狀態，則稱為二狀態失誤樹。
2. 多狀態失誤樹：如果失誤樹的底事件有三種以上互不相容的狀態，則稱為多狀態失誤樹。
3. 規範化失誤樹：將畫好的失誤樹中各種特殊事件與特殊閘進行轉換或刪減，變成僅含有底事件、結果事件以及“和(AND)”、“或(OR)”、“非(NOT)”三種邏輯閘的失誤樹，這種失誤樹稱為規範化失誤樹。
4. 正規失誤樹：僅含故障事件以及和閘、或閘的失誤樹稱為正規失誤樹。

5. 非正規失誤樹：含有成功事件或者非閘的失誤樹稱為非正規失誤樹。
6. 對偶失誤樹：將二狀態失誤樹中的和閘換為或閘，或閘換為和閘，而其餘不變，這樣得到的失誤樹稱為原失誤樹的對偶失誤樹。
7. 成功樹：除將二狀態失誤樹中的和閘換為或閘、或閘換為和閘外，並將底事件與結果事件換為相應的對立事件，這樣所得到的樹稱為相應的成功樹。

失誤樹分析必須經過下列步驟：1. 確定分析問題；2. 構建失誤樹；3. 定性或定量分析失誤樹模型。

確定分析問題時必須選擇：1. 頂上事件；2. 分析的邊界條件。分析邊界條件包括：

- (1) 系統的物理邊界
- (2) 不允許事件
- (3) 分析水準
- (4) 存在的條件
- (5) 初始條件
- (6) 其他假設

確定頂上事件確定頂上事件是最重要的第一步，頂上事件就是事故(或不希望的事件)，它是失誤樹分析的主題(該事件通常用前面介紹的危害分析方法識別出來的)。應準確確定系統或裝置的頂上事件，如果頂上事件的範圍太大或不能準確確定，則分析效果很差，根本達不到預期效果。例如，「裝置著火」這樣的頂上事件對失誤樹分析來說就太空泛了；相反，「氧化過程反應器在正常操作過程中的失控反應」就很恰當，這個事件說明了事件「發生何事」，在「發生於何地」以及在「發生於何時」發生。「發生何事」(失控反應)告訴了我們事故的類型，「發生於何地」(氧化過程反應器)告訴我們事故所在的系統或製程設備，「發生於何時」(在正常操作過程中)告訴我們整個系統的狀態。

系統的物理邊界是指失誤樹分析所包含的設備，與其他程序的設備界限，以及公用/支援系統。根據系統的物理邊界，分析人員應當擬定失誤樹事件的分析水準(簡單地講，分析水準就是失誤樹的詳細程度)，例如馬達驅動閥門可看成一個設備，或幾個設備組成(如閥體、內部構件、馬達驅動器)，還可以包括開關裝置，動力輸入以及操作者。在確定分析水準時要考慮能否得到相應分析水準下故障的詳細資料，這些資料可以從FMEA的分析結果或以前的安全分析得到，分析水準應當與分析目標及能獲得的資料相配合。

另一個邊界條件是設備的初始狀態或初始操作條件，這些資料說明了失誤樹分析中系統和設備的狀態。分析人員確定在系統物理邊界內哪個閥門開、哪個閥門關、哪台泵開、哪台泵關等，這些邊界條件說明了系統在無故障的正常操作條件下的狀態。

根據失誤樹分析的目的，不允許事件是指不大可能、或者因為其他原因不予考慮的事件。例如，可以不分析儀錶系統的線路故障。存在的條件(也是失誤樹分析的目的)是指一定會發生的事件或條件。通常，不允許的事件和存在的條件在已完成的失誤樹中不出現，但構建其他失誤樹時必須考慮它的影響。

當確定失誤樹的分析系統時，若有必要分析人員可作一些其他的假設。例如，分析人員假設系統是在正常能力的 50% 下操作。當確定了分析問題和建立了所有的邊界條件之後，就完全確定了系統的狀態。

如圖 4，失誤樹的構建從頂上事件開始，一層一層的往下，直到找出所有的故障事件的基本原因(基本事件)。分析人員從頂上事件開始，用演繹和推理的方法確定導致頂上事件的直接的、必然的、充分的原因，通常這些原因不是基本事件，而是需進一步發展的中間事件。如果分析人員能立即找出頂上事件的基本事件，這樣的問題對失誤樹分析來說就太簡單了，可以用其他分析方法如 FMEA 來進行分析。

實際上，每一層事件(頂上事件和基本事件除外)既可看作是上一層事件的直接原因，也可看作是下一層事件的頂上事件。頂上事件的直接原因示於失誤樹中。如果任一直接原因導致頂上事件，則它與頂上事件的邏輯連接是「或閘」；如果所有的直接原因同時發生才會導致頂上事件，則它們與頂上事件的邏輯連接是「和閘」。頂上事件和基本事件之間的所有故障事件都是中間事件，應確定其原因並在失誤樹中用恰當的邏輯符連接起來，分析人員按照這樣的程序一直進行到找出所有中間事件的基本事件。

第八節 事件樹分析(Event Tree Analysis, ETA)

事件樹分析(ETA, Event Tree Analysis)是用來分析普通設備故障或過程波動(稱為起始事件)導致事故的可能性。故障樹分析是演繹推理的過程，而事件樹分析是歸納推理的過程。在事件樹分析中，分析人員首先從起始事件開始，然後根據安全保護在事故發展過程中是否起作用(成功或失敗)，分析可能導致事故的事件的可能順序。事件樹分析為記錄事故發生的順序過程以及確定導致事故的起始事件與後續事件的關係提供了一種系統的分析方法。

事件樹分析非常適合分析起始事件可能導致多個結果的情況。事件樹強調可能導

致事故的起始事件以及起始事件到最終結果的發展過程。每一個事件樹的分枝代表一種事故發展過程，它準確地表明起始事件與安全保護功能之間的對應關係。

事件樹分析包括六個步驟：1. 識別可能導致重要事故的起始事件；2. 識別為減小或消除起始事件影響設計的安全功能；3. 構建事件樹；4. 對得到的事故順序進行說明；5. 確定事故順序的最小割集；6. 編制分析結果檔。

選擇起始事件是事件樹分析的重要組成部分。起始事件應當是系統或設備故障、人為失誤或是過程波動，它們將可能導致事故，這主要取決於安全系統或操作工對起始事件的反應。

如果要找出某特定事故的原因，事件樹分析是比較合適的。在大多數的事件樹分析中，起始事件是「預料」，即是說裝置所設計的安全系統或規程是用來對起始事件作出反應並降低或消除起始事件的影響。

安全功能(安全系統、操作人員的措施行動等)將對起始事件作出反應，是裝置抵禦起始事件後果發生的防備功能。這些安全功能包括：

1. 系統自動地對起始事件作出反應(包括自動停俾系統)；
2. 當起始事件發生時報警器向操作人員發出警報；
3. 操作人員按設計的行動或需要的規程對報警作出反應；
4. 冷卻系統、壓力釋放系統和洗滌系統啓動以減輕事故的嚴重程度；
5. 設置障礙或封鎖的方法以限制起始事件的影響。

這些安全功能是爲了避免起始事件發展爲惡性事故。分析人員應當確定這些安全功能工作的先後順序及對事件的應答方式，應當說明這些安全功能的目的，事件樹中包括安全功能成功或失敗。

事件樹顯示從起始事件開始經歷控制和安全系統的反應到最終事故的發展過程，準確地確定了由起始事件導致的事故。雖然很多時候事肆可能同時發生，但分析人員試圖用圖形顯示安全功能起作用的先後順序。當分析安全系統對過程波動的反應時，分析人員應當仔細區分正常過程序控制對波動條件的反應。

構建事件樹的第一步是放入起始事件和用於分析的安全功能。起始事件列在最左邊，安全功能列在最上邊。完成了事故的第一步分析。起始事件下面的直線表示事故從起始事件的發生到第一個安全功能的發展路徑。如圖 5 事件樹的構建方式所示。

下一步是分析安全功能。一般情況下只考慮兩種可能：即安全功能成功或失敗。

分析人員在假設起始事件已經發生的前提下，確定當安全功能成功或失敗時是否對事故的發展過程有影響，如果有，故障樹分為兩條路徑以區分安全功能成功或失敗，通常安全功能成功的路徑在上，失敗的路徑在下；如果安全功能成功與否對事故的發展過程沒有影響，事件樹在該點就沒有分枝，直接到下一個安全功能。用字母(如 B、C 或 D)表示安全功能成功，字母上方加一橫線(如 \bar{B} 、 \bar{C} 或 \bar{D})表示安全功能失敗。

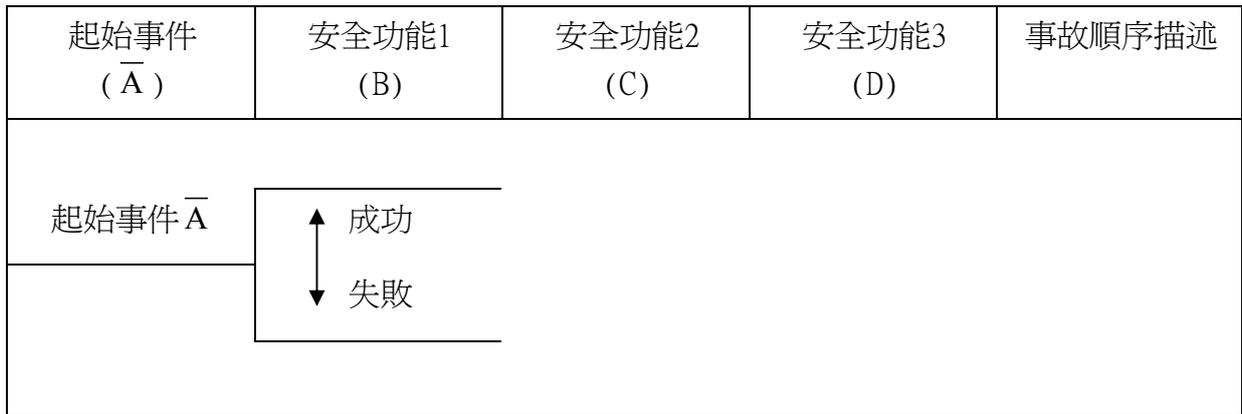
事件樹的每個分枝點產生了新的事故路徑，它們必須在後面的每個安全系統進行單獨的分析。當在事故路徑上分析安全功能時，分析人員必須假定前面的安全功能成功或失敗已經發生，圖 5 事件樹的構建方式

(b)所示是分析第二個安全功能時的情況。上面一條路徑需要一個分枝點，因為第一個安全功能是成功的，但是第二個安全功能仍然對事故發展進程產生影響；如果第一個安全功能失敗，則在下面一條路徑第二個安全功能將無法改變事故發展進程，因此下面這條路徑直接到達第三個安全功能。

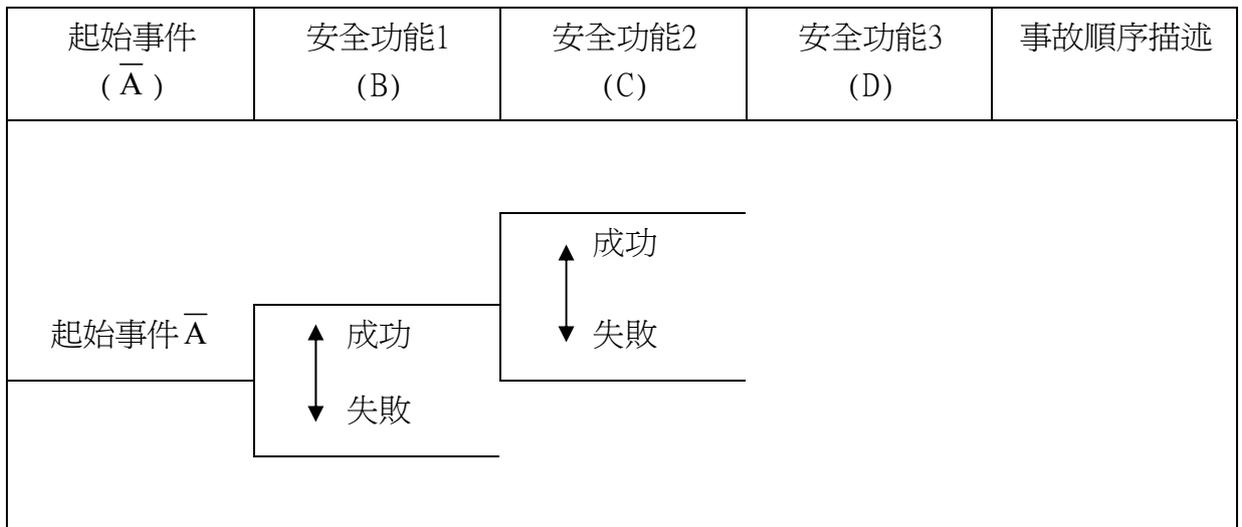
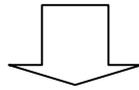
圖 6 構建完成後的事件樹

是最後完成的事件樹。最上面一條路徑在第三個安全功能處沒有分枝點，因為在設計這個系統時，如果第一和第二個安全功能成功，則當發生波動時不會用到第三個安全功能。其他的路徑在第三個安全功能處有分枝點，因為它仍然影響事故路徑。

事件樹分析程序的下一步是對各種事故順序進行說明，這些順序表示起始事件到事故的發展過程，其中一個或多個順序表示雖然起始事件發生了，但在安全功能的作用下又恢復了正常操作狀態或按程序停俾，但從安全的角度講，更關心那些可能導致事故的事實順序。



(a)



(b)

圖 5 事件樹的構建方式

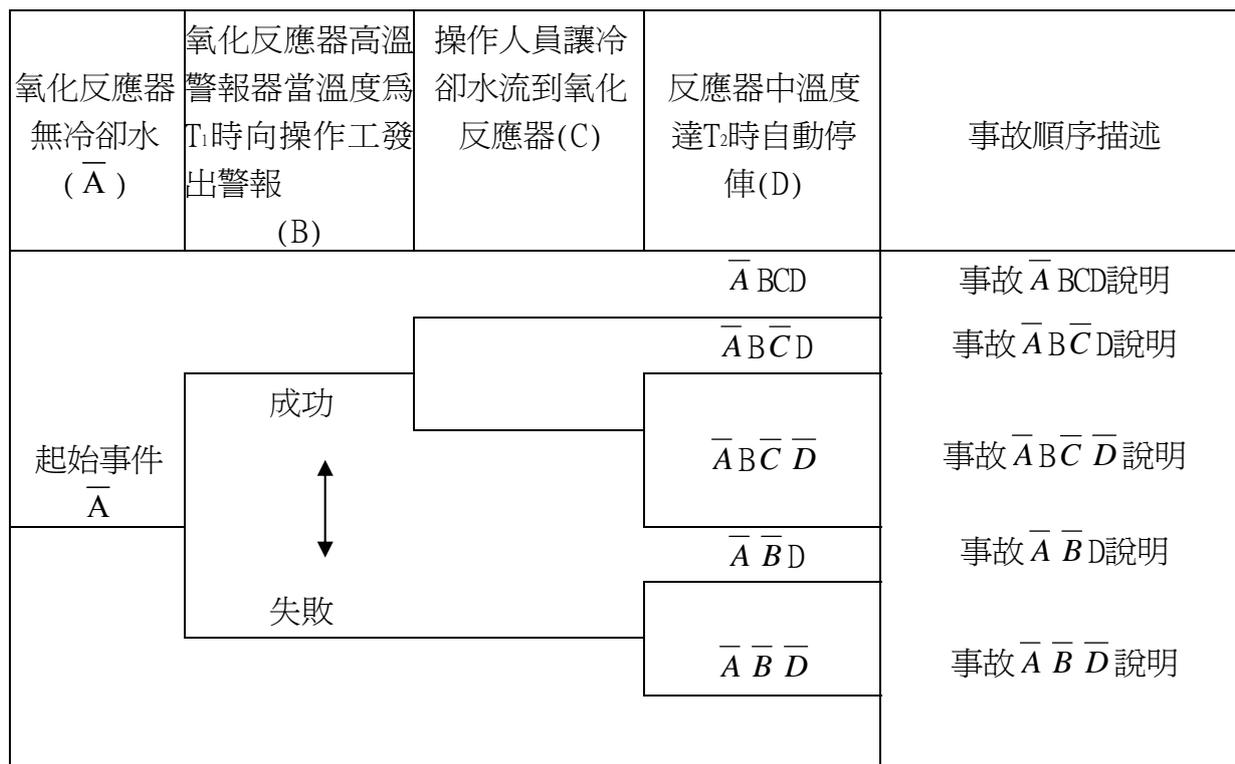


圖 6 構建完成後的事件樹

第六章 石化工廠作業安全評估方法

第一節 日本厚生勞動省數值化風險評估法

日本厚生勞動省為推行其所訂勞動安全衛生管理系統指針(該系統參照國外職業安全衛生管理系統而訂)中之風險評估，由日本中央勞動災害防止協會編有風險評估擔當者實務教材並加以推行，其內容所採數值化風險評估法如下：

1. 可能性及重大性區分設定：主要針對受傷身體部份的影響及災害、健康障害的內容：嚴重性區分例(下例分為四級，亦可分為三級、五級)及點數。

2. 風險數值化的計算：

例如：某事件可能性高為 4 點，可能導致重傷重大性為 6 點，頻率為經常發生，其組合計算為：

風險值 = 重大性 + 可能性 + 頻率

如：重大性(重傷) + 可能性(高) + 頻率(時常發生) = 6 + 4 + 2 = 12

3. 依風險分類及採取的對策。

表 7 嚴重度區分例及點數

輕微	● 表皮之傷、輕微的切傷及衝擊、粉塵進入眼睛。 ● 不快感及刺激(如頭痛)，一時身體不適之健康障害。	1 點
輕傷	● 裂傷、火傷、振動障害、重大挫傷。 ● 重聽、皮膚炎、氣喘、上肢傷害、永久的輕微失能健康障害。	3 點
重傷	● 切斷(指等)、重大切斷(腕、足)、重傷中毒。	6 點
致命傷	● 致死外傷或中毒死亡。	10 點

表 8 可能性區分例及點數

確實	● 提高相當的注意力也會造成災害。	10 點
可能性高	● 一般的注意力會造成災害。	4 點
有可能	● 不留意災害就會發生。	2 點
幾乎不發生	● 不需特別注意，災害不會發生。	1 點

表 9 危險有害頻度區分例及點數

經常發生	每日有人常頻繁的接近。	4 點
時常發生	有問題時，修理時或調整時等需進入。一次/周~一次/月。	2 點
幾乎很少	人進入的時候幾乎沒有。一次/年。	1 點

表 10 依風險數值分類及採取的對策

分類	內容	風險評點數	處置基準
V	有立即解決的問題	14-20	立即中止並改善
IV	有重大問題	12-13	優先改善
III	有問題	9-11	重新檢討
II	有點問題	6-8	計畫改善
I	可以容許	5以下	對殘留之風險對應採教育及人員配置等

第二節 工研院工作安全分析法

先依作業流程及特性訂出安全衛生危害鑑別與風險評估作業流程圖(如圖 6.1)。其次設計出適合事業單位內工作場所之「危害鑑別與風險評估表」，依據「職務及作業清查表」所清查之結果再將所有作業展開。依各種狀態鑑別關鍵作業並將可能發生原因及後果影響，詳細分析最後提出保護措施—防治措施，完成上述步驟後即可根據組織內所設定之條件進行風險評估[27,28]。

1. 鑑別編號：

以流水碼依序編列。
2. 作業/活動

包含四部份，正常、維修保養、異常、緊急應變皆須列入考量(依實際作業情況填入職務與作業盤點表)。
3. 危害類型

依災害類型表作危害類型之預知。
4. 造成危害之因子

從原物料、工具、機械、設備及環境等方面思考可能造成危害之因子。
5. 步驟／節點：

依據 SOP(標準作業程序)或 O/I(操作執行規範)，將其操作步驟逐一列出，並整合出「關鍵性步驟」，針對「關鍵性步驟」，進行危害鑑別與風險評估。

例如：儲運部門將「油槽操作及油槽檢查步驟」之動作，由原先 SOP 中數個步驟，找出其關鍵步驟(有危害之步驟)，而調整為 3 個步驟，分步驟討論其數個「可能發生原因」。針對設備／機台將其區分數個單元(節點)，針對每個節點分別討論其數個一可能發生原因。

6. 可能發生原因：

為使風險評估能有效展開，每一個步驟及節點，可能有數個「可能發生原因」，應針對各原因，分項填寫。

評估時務必明確寫出「真因」，說明清楚因「某動作不執行」或「某設備元件異常」，造成後果之發生原因。

7. 後果影響：

針對發生原因，產生之後果影響說明。如一個「可能發生原因」，有數個後果。

8. 保護措施：

係指軟體保護及硬體保護措施，撰寫需同時考量軟、硬體措施，並詳盡填寫。如：

(1) 硬體措施：係指工程控制類，如：警示、警報、連鎖、偵測(環境、毒性氣體、可燃性氣體、氧氣、火警、洩漏、液位、溫度、壓力)、個人防護具(防護手套、可攜式呼吸器、護目鏡、安全索)、局部排氣系統、防墜器、接地等。

(2) 軟體措施：教育訓練、各類合格證、健康檢查、緊急應變、工作安全許可、上鎖／掛籤、各種 SOP、日常巡檢、自動檢查……。

9. 改善建議：

針對現階段保護措施不足，需再提出之建議項目。如：硬體設備改善、SOP 修正、加強教育訓練……等。

10. 風險評估

(1) 風險評估係指：後果可能性與後果嚴重性做矩陣分析。

(2) 各項評估應獨力考量單項評估種類，不應綜合其他因素。

(3) 各項評估請選擇最嚴重情況之欄位，即應考量該選項得分最高之欄位。

(4) 風險等級表

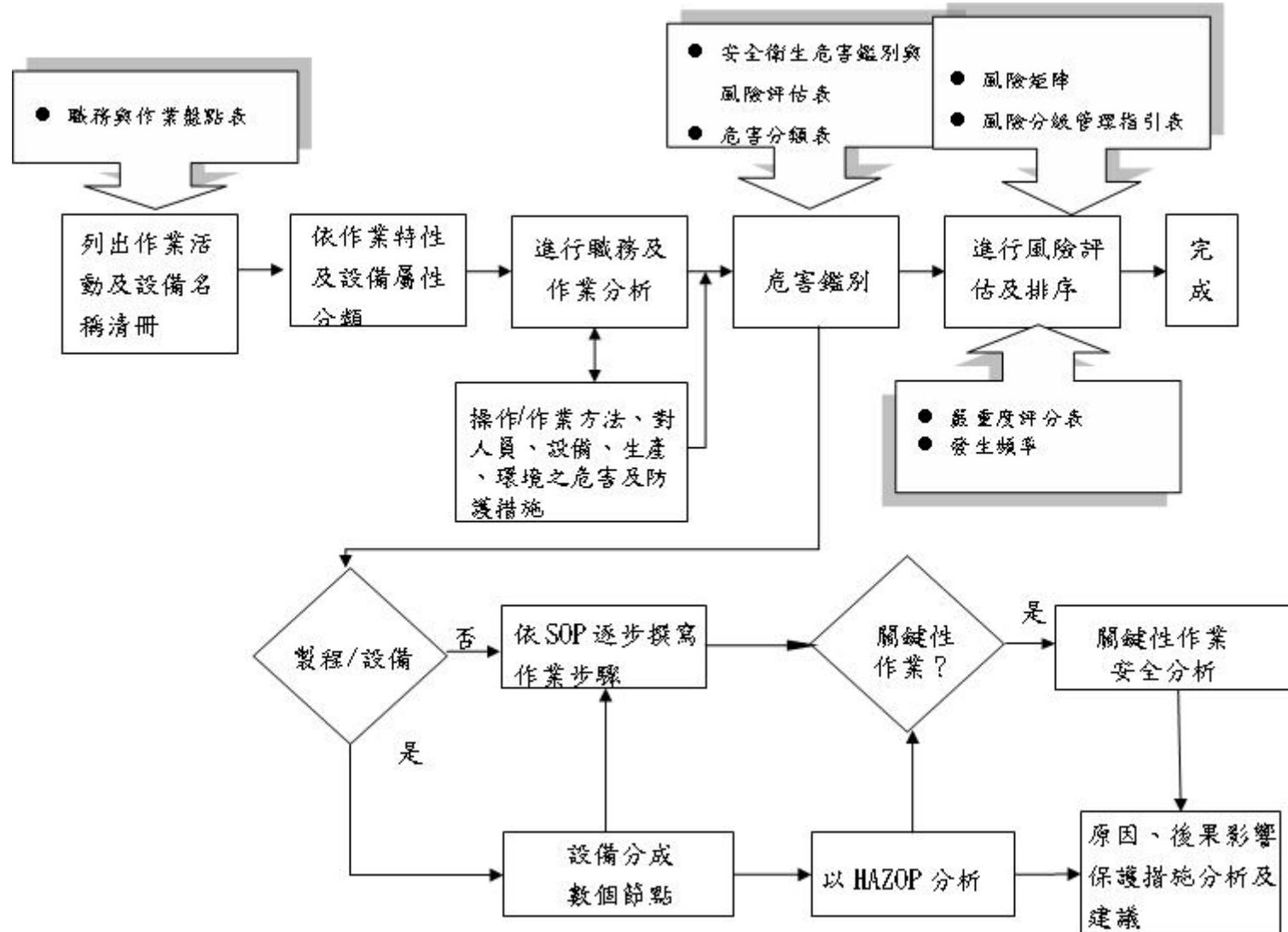


圖 7 危害鑑別與風險評估流程圖

第三節 澳洲昆士蘭政府工作場所風險分類列表

表 11 澳洲昆士蘭風險分類表

風險後果 機率	極端的	重大的	中等的	輕微的
非常可能	1	2	3	4
有可能	2	3	4	5
不可能	3	4	5	6
非常不可能	4	5	6	7

極端的危害風險：死亡或永久殘廢。

重大的危害風險：嚴重身體傷害或工作引發重病。

中等的危害風險：需要意外處理之傷害或疾病。

輕微的危害風險：僅需暫時處理而不需請假的輕傷害或疾病。

非常可能：可能經常發生。

有可能：可能偶爾發生。

不可能：可能會發生，但很希罕。

非常不可能：是會發生，但很可能永遠不會發生。

上表中風險分類之數字及風險優先處理的順序、數目字愈大表示風險愈低。如：

得分1、2 或3 表示應立即對此等風險採取措施。

得分4 或5 表示應提早對此等風險採取措施。

得分6 或7 表示不需要對此等風險採取措施。

表 12 工作場所危害辨識表

(工作場所每個辨識出的危害須各自填寫一份表格)

填表者：_____ 簽名 _____ 編號：_____						
填表日期： 年 月 日						
危害辨識 危害： 相關風險： 與風險有關之特殊情況： 風險分類：(圈選其一) <input type="checkbox"/> 輕微 <input type="checkbox"/>可立即處理 <input type="checkbox"/> 有法規／參考標準／產業作業標準／指導資料 <input type="checkbox"/>可依循該法規／參考標準 <input type="checkbox"/> 其他 ／產業作業標準／指導資料						
風險評估 現行控制方法： 可能性： <input type="checkbox"/> 很可能 <input type="checkbox"/> 可能 <input type="checkbox"/> 不可能 <input type="checkbox"/> 非常不可能 後果： <input type="checkbox"/> 嚴重 <input type="checkbox"/> 重大 <input type="checkbox"/> 中等 <input type="checkbox"/> 輕微 風險分數(參照下表)：						
風險控制 可能的控制方法： 較可行的控制方法(及其理由)：						
執行計畫						
控制方法	相關活動	須要資源	負責人員	預定執行日期	簽名與日期	預定審查日期

風險評分表

可能性	後果			
	嚴重事故	重大事故	中等事故	輕微事故
非常可能	1	2	3	4
有可能	2	3	4	5
不可能	3	4	5	6
非常不可能	4	5	6	7

第七章 結論與建議

第一節 結論

1. 目前石化業有 81.1%事業單位建置有安全衛生管理執行紀錄或文件。
2. 目前石化業有 79.7%訂有年度安全衛生管理計畫。
3. 目前石化業有 75.7%訂有年度安全衛生管理管理規章。
4. 目前石化業有 56.8%已建立安全衛生管理系統。
5. 目前石化業有 60%通過安全衛生管理系統之驗證，其中通過 OHSAS 驗證者佔 43.9%，通過台灣職業安全衛生系統驗證者佔 6.4%。而未獲有安全衛生管理系統驗證之 40%事業單位中，有 11.8%準備在未來一年中申請 OHSAS 驗證，有 12.7%準備在未來一年中申請驗證台灣職業安全衛生系統驗證。
6. 實施風險評估事業單位中，有 54.4%事業單位實施定性風險評估，29%事業單位實施半定量風險評估，16.7%事業單位實施定量風險評估。
7. 目前石化業有 48.2%事業單位認為提供技術手冊助益最大，14.8%事業單位認為到廠協助助益最大，37%事業單位認為辦理講習助益最大。

第二節 建議

1. 研究建立之「石化工廠實施安全衛生風險評估實務手冊」可提供事業單位及檢查機構作為石化工廠實施風險評估之參考依據。
2. 事業單位實施風險評估，除在製程機器設備部分可參考「石化工廠實施安全衛生風險評估實務手冊」第一部分評估方法外，在人機介面的風險部分，亦應進行風險評估，該部分可參考「石化工廠實施安全衛生風險評估實務手冊」第二部分之安全評估方法。
3. 事業單位實施風險評估時，除由現場操作人員、管理人員及安全工程師等會同實施外，事業單位亦應建立並維持一個或多個標準程序，以持續有系統的鑑別危害、評估風險及決定必要之控制措施。
4. 事業單位實施風險評估時，除在技術上由現場操作人員、管理人員及安全工程師等會同實施外，事業單位亦應在人力、經費、資源、組織等各方面，視評估風險的實際需要，給於必要的支持。

誌謝

本研究計畫參與人員除本所曹研究員常成，另包括聯合大學環境與安全衛生系洪教授銀忠與高教授振山等人，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] Occupational Health and Safety Management Systems – Specification (OHSAS 18001), BSI; 2007.
- [2] 日本勞動省基發第 905 號「有關化學工廠安全評估之相關指針」，行政院勞委會編譯；1976。
- [3] 29CFR Part1910.119 Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals, US Government; 1992.
- [4] F. E. Bird, Jr., G. L. Germain, Practical Loss Control Leadership, ILCI, 1990.
- [5] Process SHE Guide 13 Hazard Study Methodology Part 1-Hazard Study 1, ICI Engineering; 1992.
- [6] Chemical Exposure Index Guide. Fifth ed., The Dow Chemical Company; 1986.
- [7] Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide. 7th ed., AIChE; 1994.
- [8] Department of Employment and Industrial Relations, A Risk Management Workbook. Queensland Government.
- [9] Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. 2nd ed., AIChE; 1992.
- [10] 工研院工安衛中心，危險性工作場所製程安全評估訓練教材；1994~2000。
- [11] 陳政任：人爲災害潛勢分析－以毒化災爲例。NCDR93 年教育訓練資料(人爲災害潛勢分析)；2004。
- [12] U.S. Environmental Protection Agency(USEPA)、National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)、Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office(CEPPO) Washington, D.C. 20460、Hazardous Materials Response Division(HMRD) Seattle, Washington 98115、ALOHA(Areal Locations of Hazardous Atmospheres) User's Manual.
- [13] 何大成、劉佳霖：化學物質意外洩漏排放擴散模擬與風險評估技術。工業技術研究院工安衛中心。
- [14] 戴基福：日本政府推行工作場所風險評估和風險管理的作法。工業安全衛生月刊 2007；217 期，14-39。
- [15] 戴基福：工作場所風險管理及推行實例。中華民國工業安全衛生協會，2006。
- [16] 工業技術研究院工安衛中心：風險評估技術手冊。經濟部工業局，2001。
- [17] 危害識別和分析的有效工具－談談 HazOp 的應用及其侷限性。香港綠十字 2000；第十卷第二期。

- [18] Center for Chemical Process Safety: Guidelines for Hazard Evaluation Procedures second edition with worked examples. 2nd Ed., New York, AIChE; 1992.
- [19] 薛人豪：丙類危險性工作場所製程安全評估方法介紹與應用-(三)蒸汽鍋爐。行政院勞工委員會北區勞動檢查所；2004.8。
- [20] 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所：機械設備危害評估方法。IOSH 安全資料表 SDS-C-007/0082；2002.2。
- [21] Department of Employment and Industrial Relations, Queensland Government. :Workplace Health and Safety Queensland, Risk assessment Supplement 2, Risk Management Code of Practice; 2007.
- [22] 工業技術研究院：風險管理作業手冊。第二版，行政院研究發展考核委員會；民國 95 年 11 月。
- [23] 沈育霖、高梓木：危險性機械設備風險評估指引。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；民國 96 年 12 月。
- [24] 行政院勞工委員會：臺灣職業安全衛生管理系統指導綱領總說明。民國 96 年 12 月 27 日勞安 1 字第 0960145883 號。
- [25] Military Standard, MIL-STD-1629A Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.
- [26] Center for Chemical Process Safety :Guidelines For Process Equipment Reliability Data. New York, AIChE; 1989.
- [27] 王世煌：工業安全風險評估。揚智文化；民國 91 年。
- [28] 中國勞工安全衛生管理學會：勞工安全衛生管理員訓練教材-風險評估。民國 96 年。
- [29] 高圧ガス保安協会：安全管理システムの解説とリスクアセスメントの実際。高圧ガス保安協会；平成 18 年。

附錄一 問卷內容

一、基本資料

1. 請問您的性別為： (1) 男 女
2. 請問您的教育程度為：
 (1) 高中職以下 (2) 專科 (3) 大學 (4) 碩士 (5) 博士
3. 請問您所服務之部門名稱為：
 (1) 專責之勞工安全衛生管理單位(如勞安處、勞安室)
 (2) 非勞工安全衛生管理專責單位(如工安環保部、工安品保部或風險管理部)
 (3) 非以上所述單位，請具體列明：_____
4. 請問您目前的職稱為：
 (1) 勞工安全衛生管理人員 (2) 非勞工安全衛生管理人員
5. 請問您目前是否擔任主管職： (1) 主管 (2) 非主管
6. 請問您擔任此職務之年資已有幾年？
 (1) 未滿一年
 (2) 一年以上未滿三年
 (3) 三年以上未滿五年
 (4) 五年以上未滿十年
 (5) 十年以上
7. 依「勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法」之規定，請問 貴公司之性質係屬第一類事業中之下列何者？
 - 礦業及土石採取業中之： (1) 石油、天然氣及地熱礦業
 (2) 化學與肥料礦業
 - 製造業中之： (3) 化學材料製造業
 (4) 化學品製造業
 (5) 石油及煤製品製造業
 (6) 橡膠製品製造業
 (7) 塑膠製品製造業
8. 請問 貴公司之規模在：
 (1) 29 以下
 (2) 30-99 人
 (3) 100-299 人
 (4) 300-499 人
 (5) 500-999 人
 (6) 1000 人以上

二、職業安全衛生管理

1. 請問 貴公司在過去三年中是否曾遭主管機關勒令停工、罰款之處分或正式行文要求改善？
 - (1) 曾遭勞動檢查機關勒令停工
 - (2) 曾遭勞動檢查機關罰款
 - (3) 曾遭勞動檢查機關正式行文要求改善
 - (4) 未有上述狀況發生
2. 請問 貴公司在過去三年中是否曾發生職業安全衛生管理問題(如職業災害或職業病補償申請)？
 - (1) 是 (2) 否
3. 請問 貴公司在職業安全衛生管理之推動現況方面，以下列何者為最適當？(可複選)
 - (1) 有建置管理執行紀錄或文件
 - (2) 有擬訂年度勞工安全衛生管理計畫
 - (3) 有制定勞工安全衛生管理規章
 - (4) 已建立職業安全衛生管理系統
4. 若 貴公司已建立職業安全衛生管理系統，是否有取得下列職業安全衛生管理系統之驗證？(可複選)
 - (1) OHSAS 18001:1999
 - (2) OHSAS 18001:2007
 - (3) TOSHMS(台灣職業安全衛生管理系統)
 - (4) 其他職業安全衛生管理系統
 - (5) 否，但未來一年內準備申請TOSHMS驗證
 - (6) 否，但未來一年內準備申請OHSAS 18001:2007驗證
 - (7) 否，且未來一年內未有申請任何職業安全衛生管理系統驗證之計畫
5. 請問 貴公司之安全衛生政策中是否明白陳述整體職業安全衛生目標，承諾符合安全衛生法令規章及持續改善安全衛生績效，並定期審查其適宜性？
 - (1) 政策僅作一般陳述，無具體目標
 - (2) 政策僅以符合法規為依據
 - (3) 有定期審查、安全績效評估或稽核之活動計畫、以確保持續改善。
 - (4) 員工已認知安全是每一個人的責任，對於他人不安全的觀念或行為會立即溝通、勸導或制止、及提報處理。
6. 請問 貴公司高階主管是否定期檢討安全衛生管理系統，以確認其適合性與有效性？
 - (1) 未召開管理審查會議
 - (2) 有召開管理審查會議，且在會議中會安排管理代表、工安主管或工安人員在會議中報告安全衛生系統之整體績效，但無明顯之後續追蹤

- (3) 有召開管理審查會議，且在會議中會蒐集相關資訊(如安全衛生目標達成情況，重大事故調查報告、稽核報告等)，以提供高階主管進行安全衛生管理審查、且有改善建議，但上級主管未提撥相關資源或未追蹤其成效
- (4) 有召開管理審查會議，且在會議中會針對管理審查所確認應改進事項，由高階主管提出相關措施及承諾必要之資源、並追蹤其執行成效

三、工作場所危害風險評估

1. 請問 貴公司有否成立有效的工作場所風險評估及管理組織(單位或小組)運作，且其記錄並已文件化？
- (1)是 (2)否
2. 請問 貴公司是否已建立具體而明確的工作場所風險評估技術與程序，風險評估之結果並已文件化？
- (1)是 (2)否
3. 請問 貴公司使用何種工具或技術來評估工作場所之風險？(複選)
- (1) 定性方法(複選)
- (a) PHA
 - (b) Check-list
 - (c) What-if
 - (d) HazOp
 - (e) 其他方法，請說明之： _____
- (2) 半定量方法(複選)
- (a) FMEA
 - (b) 風險矩陣法
 - (c) 其他方法，請說明之： _____
- (3) 定量方法(複選)
- (a) FTA
 - (b) ETA
 - (c) 化學品洩漏擴散模擬風險評估法 SAFETI
 - (d) 化學品洩漏擴散模擬風險評估法 ALOHA
 - (e) 其他方法，請說明之： _____
4. 請問 貴公司曾經實施風險評估之時機為下列何者？(可複選)
- (1) 一般例行性作業
 - (2) 製程設備
 - (3) 改變作業方法或製程變更時
 - (4) 承攬作業
5. 請問 貴公司所建置之工作場所風險評估機制(包括組織、程序及方法)，主要功能為：(可複選)

- (1) 因應危險性工作場所審查暨檢查中製程危害評估之需求
- (2) 針對自動檢查之需求
- (3) 因應未來申請職業安全衛生管理系統驗證之考量
- (4) 純就工作場所風險評估為建置公司內部系統化安全衛生管理的考量

6. 整體而言，本公司目前所採用之風險評估方法對事業之職業安全衛生管理績效有所提昇？

- (1) 是
- (2) 否

四、技術輔導需求調查

1. 請問 貴公司在未來一年中是否有接受勞工主管機關提供工作場所風險評估技術與方法輔導或協助之需求？(如需接受協助，請繼續完成下一問項之作答)

- (1) 是
- (2) 否

2. 如 貴公司需接受勞工主管機關提供之工作場所風險評估技術協助，請問提供哪一項協助對 貴公司助益最大？

- (1) 提供技術手冊
- (2) 辦理講習
- (3) 到廠協助

(如需接受此服務，請留聯絡方式)

聯絡方式：_____

本問卷到此結束，感謝您的寶貴時間及您所提供的資訊。謝謝！！

附錄二

石化工廠實施安全衛生風險 評估實務手冊與案例彙編

Guidelines for Risk Assessment in the Petro-chemical Process Industries

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	ii
表目錄.....	iv
一、 前言.....	1
二、 石化工廠危害風險評估技術.....	2
(一) 石化廠風險評估概論.....	2
(二) 檢核表分析(Checklist Analysis).....	15
(三) 初步危害分析(PHA).....	20
(四) 故障假設分析(What-If Analysis).....	36
(五) 故障假設/安全檢查表分析(What-If/Safety Checklist Analysis).....	44
(六) 失誤模式及其影響分析(FMEA).....	51
(七) 危害與可操作性分析(HazOp).....	65
(八) 失誤樹分析(Fault Tree Analysis, FTA).....	97
(九) 事件樹分析(Event Tree Analysis, ETA).....	111
(十) 依我國職災統計災害類型及媒介物分類之風險評估法.....	122
(十一) 日本厚生勞動省數值化風險評估法.....	127
三、 安全評估方法.....	132
(一) 工研院工作安全分析法.....	132
(二) 澳洲昆士蘭政府工作場所風險分類列表.....	139
(三) Dow 火災爆炸指數.....	148
(四) 石化廠化學品洩漏擴散後果模擬分析.....	166
四、 附錄.....	176
參考文獻.....	260

圖目錄

附錄圖 1 風險評估模式.....	9
附錄圖 2 不同風險評估方法之適用時機示意圖[18].....	11
附錄圖 3 用於檢核表分析的 DAP 連續製程簡圖.....	17
附錄圖 4 VCM 廠區佈置.....	32
附錄圖 5 VCM 生產過程的方塊圖.....	39
附錄圖 6 WHAT-IF 分析的 DAP 製程簡圖.....	42
附錄圖 7 氨輸送管線簡圖.....	46
附錄圖 8 DAP 製造流程簡圖.....	62
附錄圖 9 HAZOP 分析方法流程圖.....	69
附錄圖 10 危害及可操作性研究－乙二醇生產流程圖.....	73
附錄圖 11 液氨進料管線儀器圖.....	76
附錄圖 12 DAP 製程之簡圖.....	81
附錄圖 13 修改後之 VCM 裝置焚化爐的 P&ID.....	87
附錄圖 14 VCM 裝置佈置圖－PVC 反應器位置之選定.....	91
附錄圖 15 PVC 反應器批次製程之 P&ID 圖.....	92
附錄圖 16 失誤樹的建構概念.....	97
附錄圖 17 失誤樹邏輯閘圖形.....	98
附錄圖 18 失誤樹的結構.....	101
附錄圖 19 反應器緊急冷卻系統示意圖.....	102
附錄圖 20 反應器緊急冷卻系統故障失誤樹建構過程例.....	103
附錄圖 21 緊急冷卻系統故障樹構建過程之二.....	104
附錄圖 22 緊急冷卻系統冷卻故障失誤樹.....	105
附錄圖 23 VCM 裝置焚化爐的管線和儀錶圖.....	108
附錄圖 24 VCM 裝置焚化爐工程設計階段之失誤樹分析.....	110
附錄圖 25 事件樹的構建方式.....	112
附錄圖 26 構建完成後的事件樹.....	114
附錄圖 27 氧化反應系統無冷卻水事件之事件樹.....	115
附錄圖 28 VCM 裝置焚化爐的管線和儀錶圖(P&ID).....	118
附錄圖 29 VCM 裝置事件樹(起始事件－程序干擾).....	120
附錄圖 30 VCM 裝置事件樹(起始事件－燃料氣壓力低).....	121

附錄圖 31 危害鑑別與風險評估流程圖	134
附錄圖 32 F&EI 計算流程圖	150
附錄圖 33 PVC 反應器位置之選定	154
附錄圖 34 PVC 反應器批次製程之 P&ID 圖	155
附錄圖 35 石化廠化學品洩漏擴散模擬與後果分析	166
附錄圖 36 毒化災風險評估系統建置與應用流程圖	173
附錄圖 37 利用 MAPINFO 作洩漏源之經緯度定位	173
附錄圖 38 ALOHA 計算出最大危害半徑	174
附錄圖 39 製作環域(BUFFER)並參考風向機率加成	174
附錄圖 40 在 SURFER 繪製等高線並上色後轉回 MAPINFO 作最後結果呈現	175

表目錄

附錄表 1 檢核表分析.....	16
附錄表 2 DAP 製程檢核表分析案例.....	18
附錄表 3 危害等級劃分表.....	21
附錄表 4 物質危害檢核表.....	25
附錄表 5 物質相容檢核表.....	26
附錄表 6 處理方法檢核表.....	27
附錄表 7 PHA 的分析結果記錄表格式.....	28
附錄表 8 PHA 的分析結果記錄表格式.....	30
附錄表 9 VCM 廠的部分物料清單.....	31
附錄表 10 VCM 廠的主要設備.....	32
附錄表 11 VCM 工場概念設計階段 PHA 分析結果.....	33
附錄表 12 故障假設分析工作表.....	37
附錄表 13 VCM 研發階段的故障假設分析問題.....	40
附錄表 14 氯乙烯單體工廠 WHAT-IF 分析之結果實例.....	41
附錄表 15 DAP 過程的故障假設分析問題.....	42
附錄表 16 DAP 製程的故障假設分析結果.....	43
附錄表 17 液氯輸送管線之故障假設問題.....	46
附錄表 18 危害分析用檢核表.....	47
附錄表 19 危害檢核表例.....	49
附錄表 20 對氯輸送管線使用危害檢核表之後新增安全分析項目.....	50
附錄表 21 失誤(故障)分級表.....	54
附錄表 22 評分法參考表.....	54
附錄表 23 具量化功能之失誤模式與影響分析(FMEA)表.....	57
附錄表 24 設備元件之失誤模式.....	58
附錄表 25 杜邦公司之起重機的故障模式、影響和危險度分析(部分摘錄).....	61
附錄表 26 DPA 製程之 FMEA 表.....	63
附錄表 27 HAZOP 分析的術語.....	67
附錄表 28 HAZOP 分析的引導字與意義.....	68
附錄表 29 HAZOP 分析製程參數.....	68
附錄表 30 HAZOP 分析中常用之製程偏離.....	68

附錄表 31 危害與可操作性分析工作表－定性分析.....	70
附錄表 32 危害與可操作性分析工作表－定量分析.....	71
附錄表 33 危害與可操作性分析工作參考表.....	72
附錄表 34 乙二醇合成反應的危害及可操作性研究結果紀錄(部分).....	74
附錄表 35 危害與可操作性分析工作表.....	77
附錄表 36 危害與可操作性分析工作表.....	82
附錄表 37 正常操作階段 HAZOP 分析結果.....	88
附錄表 38 正常操作階段安全措施項目例.....	89
附錄表 39 正常操作階段 FMEA 結果例.....	89
附錄表 40 PVC 批次反應器操作程序.....	93
附錄表 41 PVC 反應器批次製程之 HAZOP 部分分析結果.....	94
附錄表 42 根據 PVC 批次反應器 HAZOP 分析結果提出的建議.....	96
附錄表 43 緊急冷卻系統故障樹最小切割集合.....	104
附錄表 44 VCM 裝置焚化爐的停俾連鎖系統.....	109
附錄表 45 VCM 裝置焚化爐的停俾連鎖系統.....	119
附錄表 46 災害類型表.....	122
附錄表 47 媒介物分類表.....	123
附錄表 48 危害鑑別風險評估表(參考例).....	125
附錄表 49 危害鑑別/風險評估表(參考例).....	126
附錄表 50 嚴重度區分例及點數.....	127
附錄表 51 可能性區分例及點數.....	127
附錄表 52 危險有害頻度區分例及點數.....	127
附錄表 53 依風險數值分類及採取的對策.....	128
附錄表 54 日本厚生勞動省風險評估數值表例.....	129
附錄表 55 職務與作業盤點表.....	135
附錄表 56 危害鑑別與風險評估.....	136
附錄表 57 危害分類表.....	137
附錄表 58 嚴重等級分類.....	137
附錄表 59 發生頻率分類.....	137
附錄表 60 風險等級.....	138
附錄表 61 風險分級管理指引表範例.....	138
附錄表 62 澳洲昆士蘭風險分類表.....	139
附錄表 63 工作場所危害辨識表.....	140

附錄表 64 工作場所風險登錄表.....	142
附錄表 65 工作場所分組危害辨識.....	143
附錄表 66 工作場所分組風險評估表.....	144
附錄表 67 風險控制表.....	145
附錄表 68 風險控制實施表.....	146
附錄表 69 風險控制審查時間表.....	147
附錄表 70 火災爆炸指數.....	151
附錄表 71 PVC 反應器/場址相關資訊.....	156
附錄表 72 工場擴建階段相對危害等級分析結果.....	157
附錄表 73 場址#1 低壓 PVC 反應器之火災爆炸指數計算表.....	158
附錄表 74 場址#1 低壓 PVC 反應器之暴露半徑計算表.....	159
附錄表 75 場址#1 高壓 PVC 反應器之火災爆炸指數計算表.....	160
附錄表 76 場址#1 高壓 PVC 反應器之暴露半徑計算表.....	161
附錄表 77 場址#2 低壓 PVC 反應器之火災爆炸指數計算表.....	162
附錄表 78 場址#1 低壓 PVC 反應器之暴露半徑計算表.....	163
附錄表 79 場址#1 高壓 PVC 反應器之火災爆炸指數計算表.....	164
附錄表 80 場址#1 高壓 PVC 反應器之暴露半徑計算表.....	165
附錄表 81 石化廠化學品洩漏擴散風險模擬軟體比較.....	167
附錄表 82 儲槽型式之破孔發生機率.....	171

一、前言

勞委會在新修訂之「勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法」中，有一重要變革，就是依風險分級管理之原則，規定第一類事業單位應參照中央主管機關所定之職業安全衛生管理系統指引，建立適合該事業單位之職業安全衛生管理系統，以提升安全衛生管理水準。此一規定必然造成產業界相當大的衝擊，第一類事業單位尤其是僱用勞工人數眾多的石化業更是首當其衝。

從預防重大意外事故的觀點言，建立各事業單位之風險評估的機制及技術有其重要性與必要性。本研究係針對石化業生產製程危險性高、影響面大，且國內石化業普遍有人手不足的特點，研究建置一可提供業界參考之危害風險評估方法指引，以利於各事業單位在建立其組織之職業安全衛生管理系統時，更順利且有效率。此一結合本土石化業特有之潛在危害類型以及國際上使用較成熟之風險評估與管理技術為主要架構之指引，相信能對國內石化業在建立職業安全衛生管理系統時有重要的貢獻，並可幫助其有關部門作決策時之參考。

二、石化工廠危害風險評估技術

(一) 石化廠風險評估概論

勞委會為鼓勵並輔導事業單位建立自主性安全衛生管理體制，持續改進安全衛生設施，以發揮自主管理功能，自 1994 年即推動自主性評鑑管理系統，並自 2001 年推動職場降災計畫以來，職業災害率均呈逐年下降趨勢，勞工職災死亡百萬人率已由 2000 年的 77 降至 2006 年的 38，但如與日本及英國等工安先進國家相比，卻仍有相當大的進步空間。顯然職場安全衛生之提昇，有賴企業比照品質管理系統與環境管理系統，建構一完整周延的職業安全衛生管理系統(Occupational Safety and Health Management System, OSHMS)，以執行安全衛生規劃、執行、查核與改善的管理循環機制，方能落實全方位的安全衛生管理，創造安全舒適的工作環境。

在勞委會最近修訂之勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法中規定，顯著風險之大型事業單位(第一類事業僱用勞工三百人以上)應參照中央主管機關所訂之指引，建立包括政策、組織設計、規劃與實施、評估、改善措施等之職業安全衛生管理系統。其中對於事業單位在變更管理、採購管理、承攬管理及緊急應變管理方面之重要性更是多所強調。

為激勵及擴大國內事業單位的參與，加速職場風險管控能力向上提升及與國際接軌，勞委會除積極研修法規規定高風險且大型的事業單位需優先推動職業安全衛生管理系統外，並首度以「聯集」概念整併 ILO-OSH(2001)與 OHSAS 18001：2007 之要項，結合該二套制度的優點，研訂適合我國國情的「台灣職業安全衛生管理系統指引」，簡稱 TOSHMS(Taiwan Occupational Safety and Health Management System)指引，於 2007 年 8 月 13 日正式頒布，將傳統重點式勞工安全衛生管理制度邁向系統化與國際化發展，引導國內企業將安全衛生管理內化為企業營運管理之一環，逐步邁向系統化之職業安全衛生管理制度發展，有效降低工作場所危害及風險，符合世界潮流。

根據台灣職業安全衛生管理系統指引統指導綱領：

組織應建立、實施及維持一個或多個程序，以持續鑑別危害、評估風險及決定必要之控制措施。這些危害鑑別與風險評估之程序應考量：

1. 例行性與非例行性之活動；
2. 所有進入工作場所人員之活動(包括承攬商與訪客)；
3. 人員行爲、能力以及其他之人爲因素；
4. 工作場所之外之危害，但其有可能影響組織控制下之工作場所範圍內人員之安全衛生；
5. 在組織控制下，因工作相關之活動而造成存在於工作場所周圍之危害；
6. 工作場所中，由組織或其他單位所提供之基礎設施、設備以及物料；
7. 在組織中或其活動、物料方面，所作之改變或提出之改變；
8. 安全衛生管理系統之改變，包括暫時性改變與其在操作、過程以及活動之衝擊；

除此之外，危害鑑別、風險評估及決定控制措施之流程應予以文件化，並應包含下列要項：

1. 危害之鑑別。
2. 於納入既存或已提議之現有控制方式情形下進行風險之估算(將特定危害之暴露程度、控制方式失誤之可能性，以及傷害或破壞等後續結果之潛在嚴重度納入考量)。
3. 殘餘風險可接受程度之估算。
4. 任何追加風險控制方式之鑑別。
5. 風險控制方式是否足以減低該風險至可被接受程度之估算。

也就是說，工作場所安全衛生風險評估的第一個步驟是危害辨識，亦即尋找每個工作場所所有可能造成傷害的潛在因素。危害辨識後，進行風險評估前應考慮事項：

1. 相對風險較輕微時：

如果該風險並不是很重大，或是危害可以很容易的獲得矯正，便應該立即予以處理。

2. 危害辨識有法規、參考標準、和相關指引等資料可依循時，要盡量利用參考。

3. 工作場所可能有其他人員時：

工作場所除了在職員工外，亦應考慮承攬商、顧客、維修者、參觀人員(工程施工還可能有行人)、及是否有殘障者。

4. 法規有特殊規定必須依循的危害辨識分析時：

部份法規需要用其規定的危害辨識及風險評估，應依據其法令個別處理或併同處理，如美國有PSM(製程安全管理)制度，如我國勞動檢查法規定危險性工作場所之評估亦有類似詳細的規定，這些大部份都規定要用較技術或科學的方法評估，且要求要事前加以評估。

所謂風險，是指因為危害可能發生死亡、傷害、或疾病及財務損失、工時損失等的可能性。評估風險，必須同時考慮可能性(Likelihood)和造成的後果(Consequence)。

1. 風險等級的分析方法計有：

(1) 定性分析。

(2) 半定量分析。

(3) 定量分析。

2. 定性分析適用的時機：

(1) 風險等級不高，足以證明不必投入數值分析所需時間和人力。

(2) 量化風險分析所需資料不足。

(3) 初步風險等級的篩選，有助於決定是否需要執行更詳盡分析。

如果定性評估結果在第三級以上，則需進一步以半定量或定量的方式推估其風險值。定性分析應包括危害影響的範圍。定性分析應該依風險度的優先順序排列，並在能力可及的範圍內，進一步作定量的分析。在定性分析中，所有的危害因素都應納入考量，但不需要予以量化。

石化工廠災害發生的原因種類相當多，可以將其概分為人為因素、設備因素、環

境因素，以及其他等，其中人爲因素所佔比例最高。各因素發生原因包括：

1. 人爲因素：人的動作錯誤、安全衛生管理缺失、不正確的動火程序、不安全動作、個人因素、判斷錯誤、防護設備使用不當、工作機具使用錯誤、未能確實執行工作前之安全檢查、操作程序錯誤等，此多屬於不安全的動作或行爲。
2. 設備因素：機械故障、破裂/腐蝕、儀錶控制系統故障、壓力過高、過熱、異常反應、未能定期實施檢查維修工作、設計不良等。
3. 環境因素：則包括外界氣候、溫度、溼度等影響所造成之災害，以及不充分或不適當的照明、通風不良、機器設備佈置不當等不安全的環境因素。

在設備所引起之災害中，又以化學設備所佔比例最高，易引起化學災害之設備包括，鍋爐/加熱器、反應器、儲槽、壓力容器、混合攪拌機械、管線及附屬設備、泵及壓縮機、其他塔槽等。發生化學災害比例最高者爲管線及附屬設備，其次爲儲槽。

爲有效預防職災的發生，有賴事業單位自主性地做好本身的安全衛生管理工作，一事業單位於建立其組織之職業安全衛生管理系統時，在規劃與實施的過程，應實施先期審查，瞭解危害及風險，然後再確定安全衛生管理目標，實施危害控制，此外，對危害預防控制，要查明改善措施，並評估績效，這些都是風險評估的重要內容。

在既有的工作場所上，風險評估爲一個持續的過程，應在不同階段實施，包括：

1. 目前：如果以前未採用任何方法，確實地管理工作場所的安全與衛生，現在便應立即實行。
2. 當有變動時：任何時候只要工作場所有所變動，便應檢查是否有新的危害和新的風險產生，並繼續依循風險管理程序。如果有任何修正，應該和有受到風險影響的員工討論。所謂變化是指：
 - (1) 開始新的作業計畫。
 - (2) 改變作業程序。
 - (3) 增加或變更使用的物質、工具、設備、或機器，及位置或操作方法。
 - (4) 獲得有關以前所不知的設計、製造錯誤、或以前未辨識的災害的訊息。

- (5) 引進不同技術水準的新僱員工。
 - (6) 遷移作業場地。
 - (7) 檢查績效後，變更控制方法。
3. 事故(包括虛驚事故)之後：發生事故或虛驚事件之後，應檢查工作場所安全衛生風險管理程序，以決定是否應變更相關之工作，及如何變更。並與所有執行相關工作的員工，討論應該變更的內容。
 4. 定期：應依工作場所不同，定期實施安全衛生風險管理。時間間距可依危害性質、有關風險、和作業活動可能的變化程度而定。一般原則是，風險程度比較高的作業，應較常重複舉行。除了上述時間要實施風險管理外，對於一個企業來講，工作場所的新規畫，廢棄物的運送，甚至於產品銷售前均可以用風險管理來處理。

以石化工廠為例，其安全衛生風險評估的流程架構如下：

1. 資訊收集與評估

準備有關之廠區、人員、製程、設備、廠務設施和作業程序等相關資料。

2. 二、危害辨識與評估

主要是以工廠之危害物質與主要製程區域為評估對象，用於製程研發與基本設計階段較適合。一般透過危害物質之特性確認、設備規格/清單、工廠配置(Layout)、工廠操作環境、系統間之介面等，進行分析。最後藉由不同危害等級之分類，排定安全改善建議之優先順序。

3. 風險等級判定

由於前項之危害辨識與評估是基於現行控制措施運作的情況下，因此基於現況以主觀的方式先評估與每項危害相關的風險，再進一步考量控制措施的效能和控制措施失效所可能造成的後果。

風險是由危害事件發生之機率與嚴重性組合而成，藉由連續監測設備可以獲得時間(機率)與濃度(嚴重性)之資訊，並參考相關標準(如F&EI、CEI、勞工作業環境標準、SEMI Standard F21-95、ISA Standard S71.04製程標準等等)，可利用風險判定矩陣來協

助進行風險度分析。

4. 判斷風險可否接受

依據相關標準(如勞工作業環境標準、製程標準等等)來判斷現行作業環境與控制措施是否足以控制危害並符合法令要求。

5. 擬定風險控制計畫(必要時)

擬定計畫以因應評估所發現的問題，針對不可接受之風險(Unacceptable Risk)應擬定控制計畫將風險降低至可接受範圍。檢討計畫之適用性：以修正後的控制措施為基準，重新執行風險評估，並檢討修正後之控制措施所具有之風險是否可接受。

6. 檢討計畫之適用性

以修正後的控制措施為基準，重新執行風險評估，並檢討修正後之控制措施所具有之風險是否可接受。

石化廠區安全管理之落實，首先必須事業之高階主管建立安全第一的觀念，進而在安全管理面及安全設施面予以強化，管理面可由工廠建置職業安全衛生管理系統予以提昇，而設施面則須配合科技之進步引用本質較安全之設備予以防護。

§1-1 風險評估簡介

依台灣職業安全衛生管理系統驗證規範，事業單位在危害鑑別與風險評估方面的要求包括要建立正式的程序書，評估內容涵蓋所有例行性及非例行性的活動，例如：正常的作業及其他維修、測試、新建、臨時性作業等；而人員亦涵蓋所有人，包括包商和訪客；所有工作場所中的製程、設施設備亦皆囊括。而評估方法則不作硬性要求，僅須依組織規模、製程或作業特性加以考量選擇，另亦提及應考慮“時機”的因素，此應可解釋為製程/作業的生命週期(Lifecycle)，從規劃、設計、安裝建造、試運轉、正式作業、變更修改、停止運作等各階段的風險評估。要求「確保方法是主動的而非被動的」，則突顯出係評估潛在的危害，而非事件發生後的調查檢討。「提供風險之分類資訊」則為評估結果的風險程度，可進而解釋為量化風險，即一般考慮的頻率與嚴重度。「與操作

經驗及所使用的風險控制方法之能力一致」，一方面指此評估須由對作業熟悉或對製程之設計或操作有經驗的人員參與，且評估內容符合作業現場實務；另一方面亦與前文提到的評估方法不作規定有關，“能力”因素是主要考量。

附錄圖 1 為工研院所建議之風險評估模式，以製程或作業特性為主要選擇依據，如為連續製程、管線系統、自動控制系統，則採用工作場所導向式模式；如為批次製程、裝配作業、維修作業...等則採用作業步驟導向式模式[16,27]。

1. 工作場所導向式模式：

分為四個階段評估(如附錄圖 1)，以決定風險程度，判斷是否要進入後續階段的評估。

(1) 判斷是否為法定之危險性工作場所或高潛在危害場所？

至於非法令規範之高潛在危害場所可參考杜邦公司的危害等級分類。

若為半導體、光電製程則可參考 SEMI S2-0200 設備安全標準，不符合其標準者需進一步評估，而符合及不適用者則不需要進一步評估。

(2) 初步危害分析，分析發掘重大潛在危害之區域或次系統。

(3) 針對重大危害區域或次系統，進行下列任一方法之評估：

1) 檢核表(Checklist)分析

2) What-if 腦力激盪法

3) 失誤模式與影響分析(Failure Modes and Effects Analysis, FMEA)

4) 危害與可操作性分析(Hazard and Operability Study, HazOp)

(4) 針對關鍵性的事件或有特殊考慮需量化風險的事件，執行更專業性的失誤樹分析(Fault Tree Analysis)。

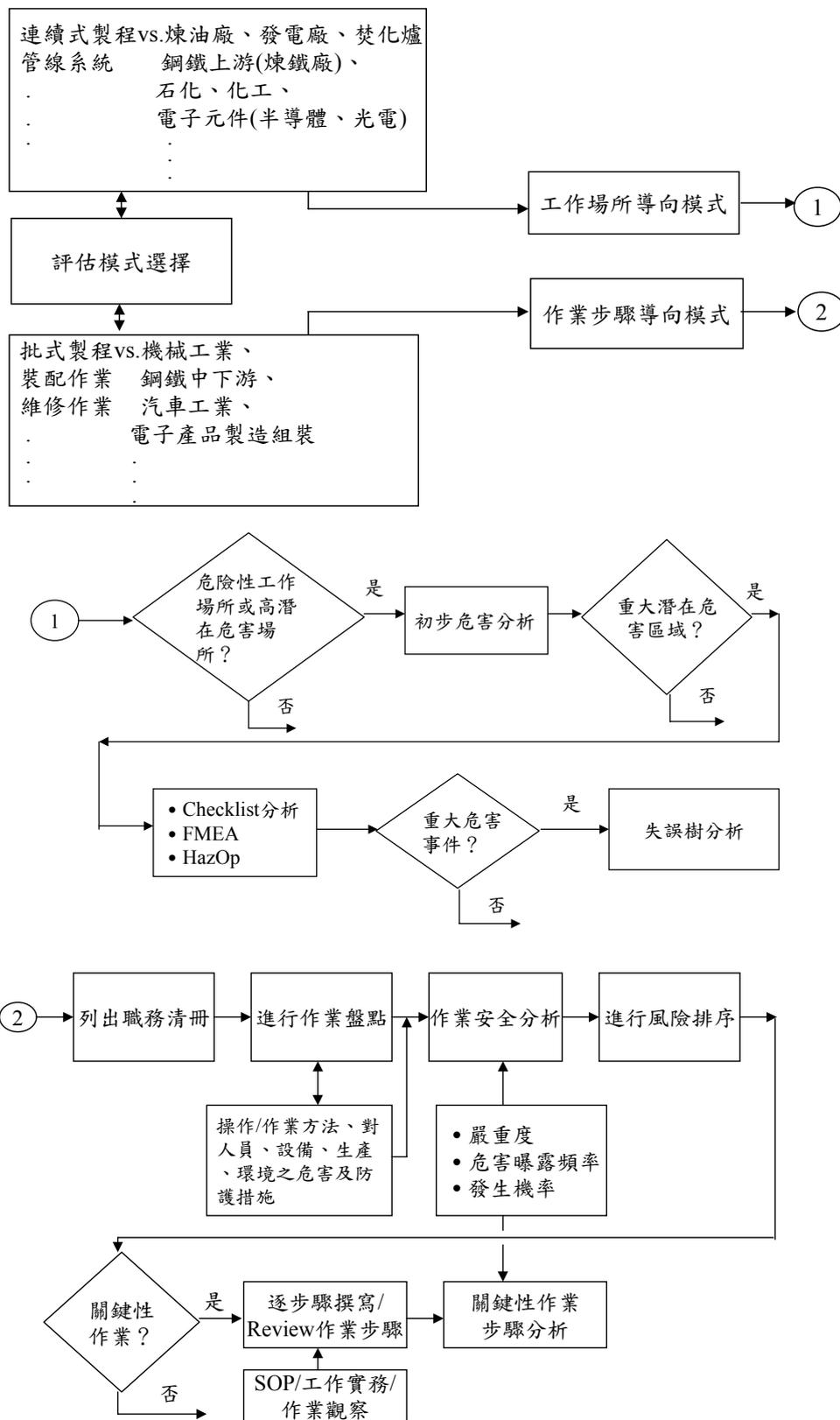
2. 作業步驟導向式模式：

(1) 列出職務清冊，進行各職務的作業盤點。

(2) 進行工作安全分析(Job Safety Analysis, JSA)。

(3) 作業步驟導向式的評估模式亦分為兩階段，在完成初步 JSA 後即可進行風險排序，再依據事業單位的政策、目標、人力資源等因素決定關鍵性的作業，即某一風險等級數以上的作業。

(4) 針對這些作業，檢討其作業步驟，並進行關鍵性作業步驟分析。



附錄圖 1 風險評估模式

§1-2 風險評估方法之選用

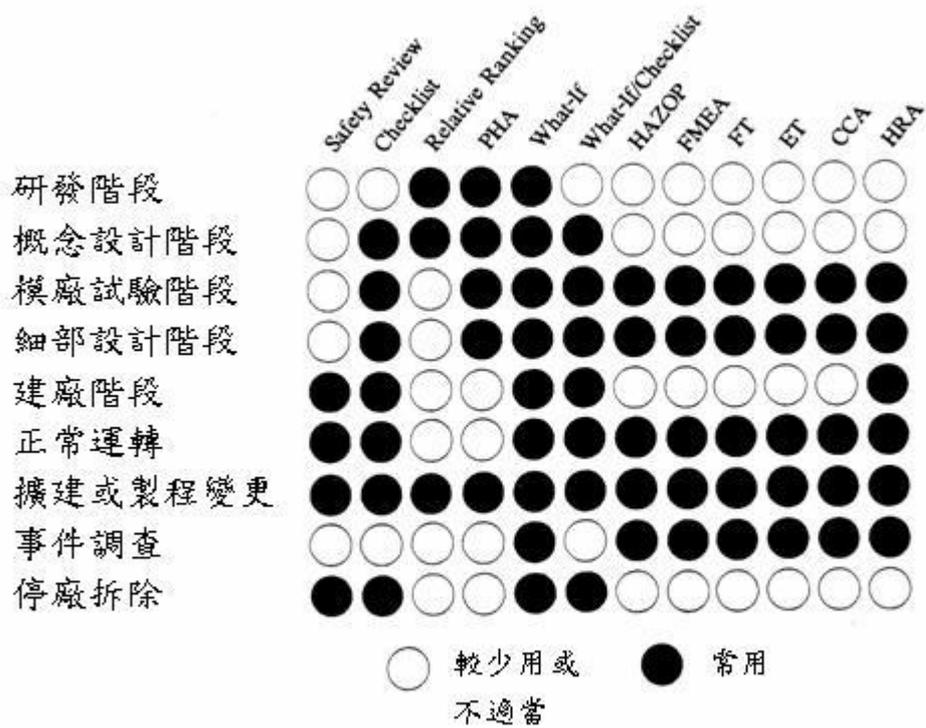
本手冊的目的是對各種常用之風險評估作一有系統的介紹，以利於業界推動臺灣職業安全衛生管理系統(TOSHMS)或 OSHAS 18001：2007 時之參考，讀者在進行風險評估時可根據不同階段及需要選用適當之方法進行之。然而必需一再強調的是：一種風險評估方法並不是對所有分析對象都適用，換句話說，對不同的分析對象或階段應選用不同的評估方法，各種分析方法適用於製程的不同階段，如「安全檢查(safety Review)」、「安全檢查表分析(Safety Checklist Analysis)」、「故障假設分析(What – If Analysis)」等分析方法適用於專案發展的初期階段，如概念設計階段；而「危險與可操作性分析(Hazard and Operability Analysis，簡稱 HAZOP)」則適用於製程細部設計階段和正常操作時對製程進行分析，「失誤樹分析(Fault Tree Analysis，簡稱 FTA)」及「事件樹分析(Event Tree Analysis，簡稱 ETA)」是對某一個或幾個特定的分析對象進行定性或定量的分析。某些風險評估方法如失誤樹分析、事件樹分析則需要經過專門的學習並具有實務經驗的分析人員才能完成。正確選用這些危害分析方法對專案發展過程的各個階段進行風險評估，可以發現設計、生產過程中可能產生的風險，並提出改進措施，這樣可以大大的提高過程的安全性。(如附錄圖 2)

另一個風險評估方法選用之重要考量因素是分析對象的大小和複雜程度，爲了估計這種影響並讓分析人員大致估計完成某一分析所需時間，將分析問題分成兩類，即簡單／較小的系統和複雜／較大的系統。

1. 簡單／較小系統—如化學品的卸料和貯存系統，需要考慮卸料平臺、輸送管線、泵、儲槽，壓力控制以及蒸氣返回管線等。
2. 複雜／較大系統—如化學反應程序要考慮進料系統、反應系統、產品的分離與回收、緊急排放系統，以及與之相連的管路和控制系統。該程序一般有 10-20 個主要的容器，包括反應器、塔槽、儲槽等。

大型工業、煉油廠、發電廠、石化業、高科技半導體製程等，不論從其規模、精密程度，或製程作業中的潛在危害種類、程度，都應考慮選擇複雜模式，先行決定各作業或製程之風險等級，排定優先順序，再分段、分區逐年完成進一步之評估。輕工業、

產品裝配型生產、資訊產品製造業等則可考慮採用中度模式，一年內完成評估工作。至於中小企業、營建業、服務業因資源有限、流動性大等因素，應採用簡易模式，在最短的時間，最小的人力負荷下完成評估。



附錄圖 2 不同風險評估方法之適用時機示意圖[18]

§1-3 重要風險評估專有名詞解釋

為協助各事業單位推動風險評估工作，茲將重要風險評估專有名詞於本節作一詳細解釋，以利各事業單位建立風險評估之認知並進一步掌握本手冊指引之內容。

1. 不健康：可鑑別的，有害身體或精神之狀態因工作活動及/或工作相關情形提升或者變糟。
2. 可接受風險：係指已被降低至某一程度，且基於組織適用之法規強制性與本身之職業安全衛生政策，可被容忍之風險。
3. 安全(safety)：對人員損傷的風險或危險被限制在一個可接受水準的狀態(A state in which the risk of harm (to persons) or damage is limited to an acceptable level)。
4. 安全查核(Safety Check)：由主辦人員就所承辦之工作項目預先檢列出安全重要事項作成「查核表(check list)」，用以對各該階段作業成果予以逐一查核其安全性，以辨識出「潛在危害狀況」、分析「災害要因」，並研擬「安全對策」的活動。
5. 安全評估(Safety Assessment)：由設計人員、現場操作人員、安全衛生人員、安全評估訓練合格人員等組成之「安全評估小組」，對設計成果分別就「工址現況調查」、「設計方案內容」等以模擬推演方式系統化地檢討評估製程中可能出現之風險，以判斷是否為「安全之設計方案」，檢核出「設計殘留之風險」，研擬該等風險之「預防措施」等業務。
6. 安全審查(Safety Review)：由資深之審核人員就規劃設計成果檢討其安全性，對較複雜之工作成果應組成一審查小組辦理。
7. 安全稽查：一種有系統且獨立的稽查，即以系統性之稽核手段詳細檢核經管理階層核定之「勞工安全衛生管理計畫」實施狀況，包括各項作業之程序及其結果，以了解其落實狀況，判斷計畫之執行成效。
8. 危害(Hazard)：潛在造成任何形式傷害之來源、情況或行為，這些傷害包括受傷或不健康或是這些後果同時發生。
9. 危害鑑別：確認危害之存在，並定義其特性之過程。
10. 利害相關者(Stakeholders)：對於決策或活動，具有影響力、可能受其影響、或自認

為可能被影響的個人或組織。因此，不論工作場所內或外，對組織之職業安全衛生績效關切或受其影響之個人或團體皆屬之。

11. 事件(Event)：造成或可能造成傷害、不健康(不論嚴重程度)或死亡之工作相關情事。
12. 事故(incident)：任何未計劃的事件而導致，或可能導致傷害、微恙、危險或其他損失(Any unplanned event resulting in, or having a potential for injury, ill-health, damage or other loss)。
13. 意外事故(Accident)：屬於事件之一部分，專指造成傷害、不健康或死亡之事件。
14. 虛驚事件：未造成傷害、不健康、死亡，或是其他形式損失之事件，稱為「虛驚事件」、「虛驚徵兆」、「驚險」或「瀕危情況」。
15. 風險(risk)：係對於危害事件或曝露發生之可能性之組合，且傷害程度或不健康會因此危害事件或曝露而造成。
16. 風險分析(Risk analysis)：有系統地運用有效的資訊，來判斷特定事件發生的機率或其影響的嚴重程度。
17. 風險評估(Risk assessment)：考量任何現存控制措施之結果，評估因危害而造成之風險與決定此風險是否為可接受之整個過程。某些參考文件，例如BS 8800，使用「風險評估(risk assessment)」一詞以包含危害鑑別(hazard identification)、風險之決定(determination of risk)及選擇適當風險降低或控制方法(the selection of appropriate risk reduction or risk control measures)等全部流程，本手冊為配合勞委會現階段積極推動TOSHMS(臺灣職業安全衛生管理系統)之政策，特參考TOSHMS驗證規範與指導綱領，將「風險評估(risk assessment)」一詞專指第二個步驟，即風險之決定(determination of risk)。
18. 風險管理(Risk management)：為了有效地管理可能發生的事件及其不利的影響所執行的步驟及系統。
19. 風險辨識(Risk identification)：發現可能發生的事態及其發生的原因和發生方式。
20. 風險評量(Risk evaluation)：用來決定風險管理先後順序的步驟，將風險與事先制定的標準做比較，以決定該風險的等級及其他相關項目。

21. 風險輪廓(Risk profile)：用來分類與描述組織所面對之風險範圍。
22. 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。一個事件有許多不同的可能結果。
23. 矯正措施：消除所偵知之不符合或不期待之情況原因之措施。
24. 機率(Likelihood)：用來描述頻率及或然率的實際數值。
25. 組織：具有自身之功能與行政管理之公有或民營、獨立或合股之各類型公司、集團、行號、企業、機關或機構，或者以上各團體之其中之部分或其組合。
26. 預防措施：消除潛在不符合或其他不期待之情況原因之措施。
27. 職業安全衛生管理系統：組織管理系統之一部份，用以發展並實施其職業安全衛生政策和管理其職業安全衛生風險。
28. 職業安全衛生政策：最高管理階層對於組織相關職業安全衛生績效之整體期許與方向之正式陳述。
29. 職業安全衛生績效：組織對其職業安全衛生風險之管理所獲得之可量測結果。

(二) 檢核表分析(Checklist Analysis)

§2.1 適用時機及對象

檢核表分析(Checklist Analysis)是由分析人員列出一些項目，再辨識與一般製程設備和操作有關的已知類型的危害、設計缺陷以及潛在危害，其所列項目的差別很大，而且通常用於檢查各種規範和標準的執行情況。檢核表分析可用於對物質、設備或作業規範的分析。檢核表分析雖然常常被用於對熟知的製程進行分析，但也可用於新開發的全新製程的早期階段，辨識並消除類似系統在多年的操作中所發現的危險。

正確的使用檢核表分析可保證每個設備符合標準，而且可以辨識出需進一步分析的區域。對不同的公司、裝置或產品，應針對其安全檢查表作必要的修改，以便進行有效的分析。對既有的製程之檢核表分析通常是按製程區域，對設備與檢核表進行比較，作為製程安全檢查表分析的一部分。檢核表之內容應包括法律、法規、標準、規範之規定。在編撰檢核表時，應隨時注意並採用新頒佈的相關規定。

檢核表分析可適用於專案的設計、施工、運轉和報廢的各個階段。

§2.2 分析方法

檢核表分析是相當依賴經驗的一種分析方法，分析人員應當從有關管道(如標準、規範、行業指南)選擇合適的檢核表，如果無法獲得相關的檢核表，分析人員必須運用自己的經驗和可靠的參考資料去編製合適的檢核表。一般而言，可由有經驗的工程師來製作檢核表，因為他熟悉裝置的操作、標準和規範。所擬定的檢核表應當是透過回答檢核表所列的問題，發現系統的設計和操作的各個方面與有關標準不符的地方。檢核表一旦準備好，即使缺乏經驗的工程師也能獨立使用它，或者是作為其他危害分析的一部分。當建立某一特定製程的詳細檢核表時，應與通用檢核表對照，以保證其完整性。

檢核表基本上可以分成三種基本的類型，一種為開放式的檢核表，一種為封閉式的檢核表，另一種為混合式的檢核表。

開放式的檢核表，基本上對於一個新設備或製程的分析較為有效，在應用上可將分析項目依不同的類別來做分類，然後根據法規或準則以開放式問題來做逐一的檢核。

在使用開放式檢核表時，為防止分析有所遺漏，其分析要項除了引導檢核的問題之外，還應有設備檢查結果說明、缺失點是否存在和改善建議三個要項存在。

封閉式檢核表基本上是一種比較固定的分析工具，要檢查的項目已經完全地逐條列出，檢核時並不需要太多的技巧，其內容包括檢查項目和是否有符合檢查基準的兩大主要欄位，有時還會註明檢查方法和結果說明；此種檢核表較適合於一般的例行性檢查。其分析工作表如附錄表 1 所示。

附錄表 1 檢核表分析

檢 查 項 目		正常	異常	改善建議
鍋 爐 本 體	1. 胴體(或上、下汽水鼓)有無損傷變形	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	2. 爐筒有無損傷過熱或壓潰膨出	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	3. 煙管或水管有無局部過熱或漏	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	4. 外殼、磚壁、保溫有無損傷、鬆弛龜裂	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
燃 燒 裝 置	1. 燃料油加熱器有無損傷	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	2. 燃料輸送泵及管有無損傷	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	3. 噴燃器有無損傷及污染	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	4. 過濾器有無損傷及堵塞	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	5. 燃燒器及爐壁有無損傷及污染	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	6. 煙道有無洩漏、損傷及風壓異常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
自 動 控 制 裝 置	1. 自動起動停止裝置機能有無異常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	2. 火焰檢出裝置有無異常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	3. 燃料切斷裝置有無異常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	4. 水位調節裝置有無異常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	5. 壓力調節裝置有無異常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	6. 電氣電線端子有無異常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

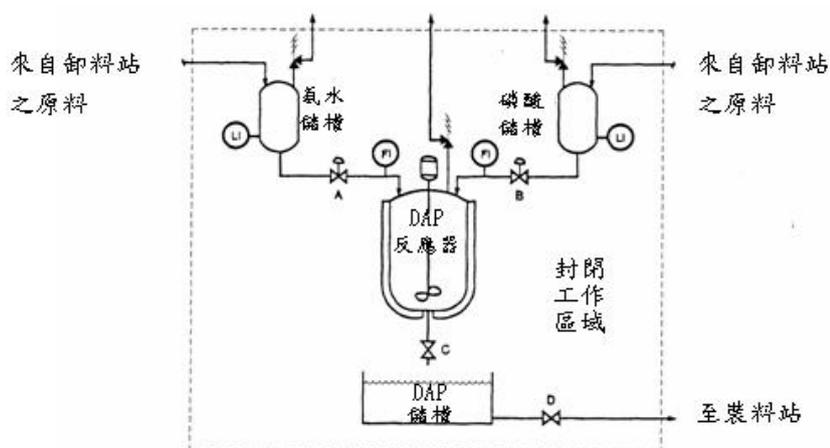
附屬裝置	1. 給水裝置有無損傷及作動狀態是否正常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	2. 蒸汽管及停止閥有無損傷及保溫狀態	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	3. 壓力錶及水位計是否正常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	4. 安全閥性能是否正常	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

§2.3 應用實例－DAP連續製程

如附錄圖 3 所示的 DAP 連續製程。在該製程中，磷酸溶液與氨水溶液透過流量控制閥控制加入攪拌反應器中的流量，磷酸與氨反應生成磷酸氫二銨(DAP)，DAP 是無任何危險的產品。所生成的 DAP 放入一開放式儲槽中。在氨水溶液儲槽、磷酸溶液儲槽及反應器上都安裝了安全閥。

如果進入反應器的磷酸溶液流量太大(相對於液氨)，則得不到所希望的產品(生成磷酸二氫銨，即 MAP)，但反應過程仍是安全的；如果磷酸溶液和氨水溶液的流量同時增加，此時反應放出的熱量也將增加，反應器的溫度和壓力將升高，反應過程可能變得無法控制；如果氨水溶液的進料流量太大(相對於磷酸溶液)，未反應的氨水溶液將與 DAP 一起進入 DAP 儲槽，DAP 儲槽將放出氨氣，整個工作區域將充滿氨氣。為安全計，在這個區域應安裝氨氣檢測與報警裝置。

使用檢核表分析方法對該系統進行分析，分析結果見附錄表 2，決策階層審查了分析結果並採用分析所提出的消除這些缺陷的建議措施。



附錄圖 3 用於檢核表分析的 DAP 連續製程簡圖

附錄表 2 DAP 製程檢核表分析案例

1. 物料

- 所有原料是否與原設計要求保持一致? 否
 - 氨水溶液中氨的濃度增加將使購買氨的次數減少，因為氨的濃度較高，進入反應器的流量已作了調整。
- 是否對每批購進的物料之配方進行了檢查? 是的
 - 供應商一直都很可靠，在卸貨之前，貨運標籤和發票都經過核對，但是未對貨物種類或實際濃度進行取樣分析。
- 操作人員是否知悉所欲操作對象之物質安全資料表? 是的
 - 這些資料在工作場所和安全辦公室每天24小時都能看到。
- 滅火及安全裝置是否放在合適的位置並得到保養? 否
 - 滅火及安全裝置的位置沒有改變，但在製程區新建了一道牆，因為這道牆，現有滅火設備不能覆蓋全部製程區。
 - 已有安全設備狀況良好，每月檢查一次。

2. 設備

- 所有設備均按計劃定期進行檢查嗎? 是的
 - 按照公司的檢查標準，設備維護人員對製程區內的設備進行檢查。然而根據維修部門的報告，酸處理設備的檢查次數太少。
- 安全閥按計劃定期進行檢查嗎? 是的
 - 按計劃時間表進行。
- 是否有對安全系統和聯鎖定期進行測試? 是的
 - 安全測試按預定時間進行。但是，該項檢查是在系統運轉中進行的，違反公司規定。
- 維修的備品、備件是否齊全? 是的
 - 雖然有預防性維修和易耗件的備件，但按照公司的經濟政策，要保持較低的備品庫存量。其他大的部件幾個小時內就可解決。

3. 操作程序

- 操作程序是最新的嗎? 是的
 - 六個月前對操作步驟所進行的小的修改已寫入新的操作規程中。
- 操作人員是否按操作程序進行操作? 否
 - 最近對操作規程的修改實施緩慢。操作人員認為有一處修改沒有考慮到操作人員的安全。
- 對新操作人員是否進行培訓? 是的
 - 有完整的培訓計劃並嚴格執行，還定期進行抽查和考試，所有員工培訓情況

的紀錄作為檔保存。

- 如何進行交接班?
 - 在交接班的30分鐘內，讓下一班知道上一班的操作情況。
 - 內務管理可接受否?
 - 非常令人滿意。
 - 採用安全工作許可制度嗎? 是的
 - 但在進行某些活動時不需要停俾，如安全系統零件的測試和維修。
-

(三) 初步危害分析(PHA)

§3.1 適用時機及對象

初步危害分析(Preliminary Hazard Analysis, PHA)主要用於對危險物質和裝置的主要製程區域等進行分析。它常被用於評估專案、裝置等開發初期階段的物料、裝置、製程以及能量失控時可能出現的危險性類別、條件及可能造成的後果，作整體的概略分析，其目的是辨識系統中潛在的危害因素，確定其危害等級，防止這些危害因素失控導致之事故的發生。

PHA 並不妨礙進一步的危害分析，事實上它是爾後危害分析的基礎。在專案開發的初期使用 PHA 有兩個好處：(1)它能辨識潛在的危害，用較少的費用或時間就能進行改正；(2)它有助於編撰設計操作指南。因此，從一開始就能消除、減小或控制主要的危害。當只希望進行粗略的危害和潛在事故情況分析時，也可利用 PHA 對既有的裝置進行分析。

§3.2 分析準備

PHA 分析小組在進行分析之前，應蒐集裝置或系統的相關資料，以及其他可靠的資料(如：從任何相同或相似的裝置，或者即使製程不同但使用相同的設備和物料；相似設備的操作經驗)。

因為 PHA 主要是在專案發展的初期(如概念設計階段)辨識危害，設備的資料是有限的。然而，為了達到預期的目的，PHA 分析小組必須至少寫出製程的概念設計說明書。因此，必須知道製程所包含的主要化學物品、反應、製程參數。以及主要設備的類型(如容器、反應器、熱交換器等)。此外，裝置需要完成的基本操作和操作目標的說明有助於確定設備的危險類型和操作環境。

PHA 之目的在識別可能導致不希望的後果的主要危險和事故情況，而且 PHA 還應對設計標準進行分析或找到能消除或減少這些危險的其他途徑。很明顯的，要作出這樣的判斷需要一定的經驗。因此，PHA 分析小組在進行分析之前，應蒐集下列資料：

1. 危險設備和物料，如燃料、高反應活性物質、有毒物質、爆炸、高壓系統、其它貯能系統。
2. 設備與物料之間與安全有關的隔離裝置，如物料的相互作用、火災/爆炸的產生和發展、控制/停俾系統。
3. 影響設備和物料的環境因素，如地震、振動、洪水、極端環境溫度、靜電放電、濕度；
4. 操作、測試、維修及緊急應變程序，如人為失誤的重要性、操作人員的作用、設備佈置可接近性，人員的安全防護。
5. 輔助設施，如儲槽、測試設備、訓練、公用設施。
6. 與安全有關的設備，如調節系統、備用、滅火及個人防護具。

對製程的每一個區域，辨識並分析危害的可能原因及導致事故的可能後果。通常，分析組並不企圖找出所有的原因，而是列出足夠數量的原因以判斷事故的可能性，然後分析每種事故所造成的後果，這些後果表示可能事故的最壞結果。最後，分析小組再根據事故的原因和後果，依附錄表 3 把每種可能事故情況劃分成以下幾種等級：等級 I — 可忽略的；等級 II — 危險邊緣的；等級 III — 危險的；等級 IV — 災難性的。

附錄表 3 危害等級劃分表

等級	危險程度	可能導致的後果
I	安全的 (negligible)	不會造成人員傷亡及系統損壞
II	臨界的 (marginal)	處於事故的邊緣狀態，暫時還不至於造成人員傷亡、系統損壞或降低系統性能，但應予以排除或採取控制措施
III	危險的 (critical)	會造成人員傷亡和系統損壞，要立即採取防範對策措施
IV	災難性的 (catastrophic)	造成人員重大傷亡及系統嚴重破壞的災難性事故，必須予以果斷排除並進行重點防範

§3.3 分析方法

在確定分析範圍後，依下述原則進行初步危害分析：

1. 通過經驗判斷、技術診斷或其他方法，調查確定危險源及其所在地點，即辨識出系統存在的危害因數並確定其存在於系統的哪些子系統(部位)，對所欲分析系統的生產目的、物料、裝置及設備、製程、操作條件以及周圍環境等進行充分詳細的調查；
2. 根據過去的經驗教訓及同行業生產中曾發生的事故(或災害)情況，對系統的影響、損壞程度，類比判斷所要分析的系統中可能出現的情況，調查能夠造成系統故障、物質損失和人員傷害的危害，分析事故(或災害)的可能類型；
3. 對確定的危險源加以分類，製作初步危害分析表；
4. 辨識轉化條件，即研究危害因數轉變為危險狀態的失誤模式和危險狀態轉變為事故(或災害)的必要條件，並進一步尋求對策措施，並檢驗其有效性；
5. 進行危害程度之分級，排列出輕重緩急次序，以便處理；
6. 制定事故(或災害)的預防對策與措施。

§3.4 分析結果記錄

初步危害分析將針對危害性物質的易燃、易爆性、反應性、毒性等本質危害(inherent hazard)進行辨識；及針對製程操作條件，溫度、壓力、液位、組成異常或失控時之系統作用危害(interact hazard)進行評估：

1. 本質危害分析，完成下列三份檢核表：
 - (1) 檢核表 A：物質危害檢核表。檢討化學物質的易燃性、安定性、毒性及健康危害，如附錄表 4。
 - (2) 檢核表 B：物質相容性檢核表。檢討化學物質間及化學品與設備材質間之相容性，是否彼此間在製程中不正常接觸會有化學反應發生？如附錄表 5。
 - (3) 檢核表 C：處理方法檢核表。考慮化學物質危害對裝置／製程系統設計的可能需求，如附錄表 6。

2. 系統作用危害分析，評估步驟與評估標準如下：

- (1) 依製程工場實務劃分製程區域，如：反應區、後處理區、成品區、原料儲槽區等。
- (2) 針對各製程區以下列問題進行檢核，符合以下任一條件即為重大潛在危害區域：
 - 1) $Q > 20\%TQ$
 - 2) 高放熱反應：氧化(oxidation)、硝化(nitration)、鹵化(halogenation)、有機金屬化(organometallics)、偶氮化(diazotization)、氫化(hydrogenation)、裂解／熱分解(thermal decomposition)、聚合(polymerization)、磺化(sulphonation)、縮合(condensation)。
 - 3) 製程中之組成在爆炸下限(LEL)以上，爆炸上限(UEL)以下，或濃度在此範圍附近者(操作條件於正常操作變化 25%時會達爆炸範圍)。
 - 4) 具有在 100°C 以下熱不安定性，或與一般物質，如空氣、水、其他可能污染物接觸後起反應之物質， $P \geq 10\text{psig}(1.75\text{atm.Abs})$ 。
 - 5) $T > AIT$ 或為易燃性氣體。
 - 6) $P \geq 20\text{kg/cm}^2$ 或 $P \leq 500\text{mmHg}$ 。
 - 7) 製程中有明顯之高低壓差， ΔP ；(上游高壓) ≥ 4 (下游低壓)。

符號說明：

- 1) Q：製程區域中瞬間可能出現之危險物或有害物的最大量，概估該製程區內塔槽與管線中的總量，單位為 kg。
- 2) TQ：勞動檢查法施行細則附錄表 4 中危險物的法定限量，或附錄表 5 中有害物的法定限量。
- 3) T：製程區中的最大操作溫度。
- 4) AIT：可燃性或易燃性液體的自燃溫度。
- 5) P：製程區中的最大操作壓力。
- 6) ΔP ：製程中上下游的操作壓差。

爲方便計，PHA 的分析結果以表格的形式記錄，內容包括辨識出的危險、原因、可能結果、危害等級以及控制或預防措施，附錄表 7 是 PHA 的分析結果記錄表格式樣。有些公司還添加其他欄位以記錄重要項目的實施時間和負責人及實際採用的控制措施等。

附錄表 4 物質危害檢核表

計畫代號：
 說明：
 日期：
 化學品之危害性質如下：

危害之潛在性： 參考註解號

? 重大 →  → i.e. NOTE 45

- 無

檢核表 A*
 有關化學品危害性質之詳細資料，
 是否都已經做了確認？

品名	狀態	總量 (庫存量 / 生產量)	爆炸/火災之危害			反應 性/ 安 定 性 之 危 害	毒性危害			其他之健康危害						
			火災	爆炸	靜電		急性	慢性	致突 變性	臭味	粉塵 危害	腐蝕 性	放 射 性	燙傷/ 凍傷	其他	

附錄表 7 PHA 的分析結果記錄表格式

區域： _____ 分析日期： _____
 圖號： _____ 分析人員： _____

項目	危害	可能原因	主要後果	風險分析			建議控制 /預防措施	備註
				發生 機率	後果嚴 重度	風險等級		

§3.5 應用實例一

某化工廠中有某一製程是將 H₂S 從儲槽飼入製程設備，在該製程之概念設計計階段，分析人員只知道在程序中要用到 H₂S，其他一無所知，且分析人員知道 H₂S 有毒且易燃。分析人員將 H₂S 可能意外洩漏作為一個危險情境，列出了引起 H₂S 洩漏的原因如下：

1. 儲槽受壓洩漏或破裂；
2. 製程沒有消耗掉所有的 H₂S；
3. H₂S 的輸送管線洩漏或破裂；
4. 儲槽與生產設備的連結過程中發生洩漏。

分析人員然後確定這些原因的後果，對本例來說只有當發生大量洩漏時才會導致死亡事故。接著，透過對每種導致 H₂S 釋放可能的控制或預防措施的說明為設計提供建議。例如，分析人員可建議設計人員：

1. 考慮貯存另外的低毒性物質但能產生需要的 H₂S 的技術；
2. 考慮開發某個系統能收集和處理製程中過量的 H₂S；
3. 由熟練的操作人員進行儲槽的連結；
4. 考慮將儲槽封閉在水洗系統中，水洗系統由 H₂S 檢測器啟動；
5. 儲槽的位置位於易於輸送的地方，但遠離其他設備；
6. 建置教育訓練計劃，在開俾前對所有操作人員以及以後的新進人員進行 H₂S 意外釋放之緊急應變演練。

此一 H₂S 系統之 PHA 部分結果見附錄表 8。

附錄表 8 PHA 的分析結果記錄表格式

區域： _____ 分析日期： _____
 圖號： _____ 分析人員： _____

項目	危害	可能原因	主要後果	風險等級		建議之矯正 /預防措施	備註
				發生 機率	後果 嚴重 度		
1	毒性 氣體 釋放	(1)H ₂ S 貯 罐破裂	(1)如果大 量釋放 將有致 命危險	IV		(1.a)安裝報警系統 (1.b)保持最小的貯 存量 (1.c)建立儲槽的檢 查程序	
		(2)製程中 未完全 反應	(2)如果大 量釋放 將有致 命危險	III		(2.a)設計一系統收 集和處理過量 的 H ₂ S (2.b)設計控制系 統，在檢測出過 量的 H ₂ S 時可將 閥門關閉 (2.c)建立確保過量 H ₂ S 處理系統能 在裝置開俾前 發揮效能之程 序	

§3.6 應用實例二—VCM 工場概念設計階段

在研究開發階段，完成故障假設分析沒有發現任何不可駕馭的危險後，ABC 公司決定繼續進行 VCM 專案，根據該分析提出的建議，ABC 公司可以聘用對 VCM 製程有經驗的員工來處理所辨識出的危險。

ABC 公司選擇某地的氯裝置旁邊作為 VCM 裝置的廠址，該廠址與故障假設分析時所提出的廠址不同，選擇該廠址基於以下三個原因：

1. 最近的社區人口數量小(與其他廠址相較)；
2. 離乙烯的輸送管線相對較近；
3. 運輸方便。

附錄圖 4 是 VCM 裝置的佈置圖，將 VCM 裝置佈置在氯裝置的東面是因為：有足夠的空間使裝置分開，而且有管理辦公室；該處屬於 ABC 公司的財產；乙烯的輸送方便。

準備資料：

1. 初步擬定的原料、中間產品、最終產品清單(附錄表 9)；
2. 初步擬定的裝置之主要容器清單(附錄表 10)；
3. VCM 的專案研究開發報告；
4. 以前收集到的關於 EDC 和 VCM 的文獻資料；
5. 故障假設分析結果報告；
6. 與氯裝置有關的系統的初步清單。

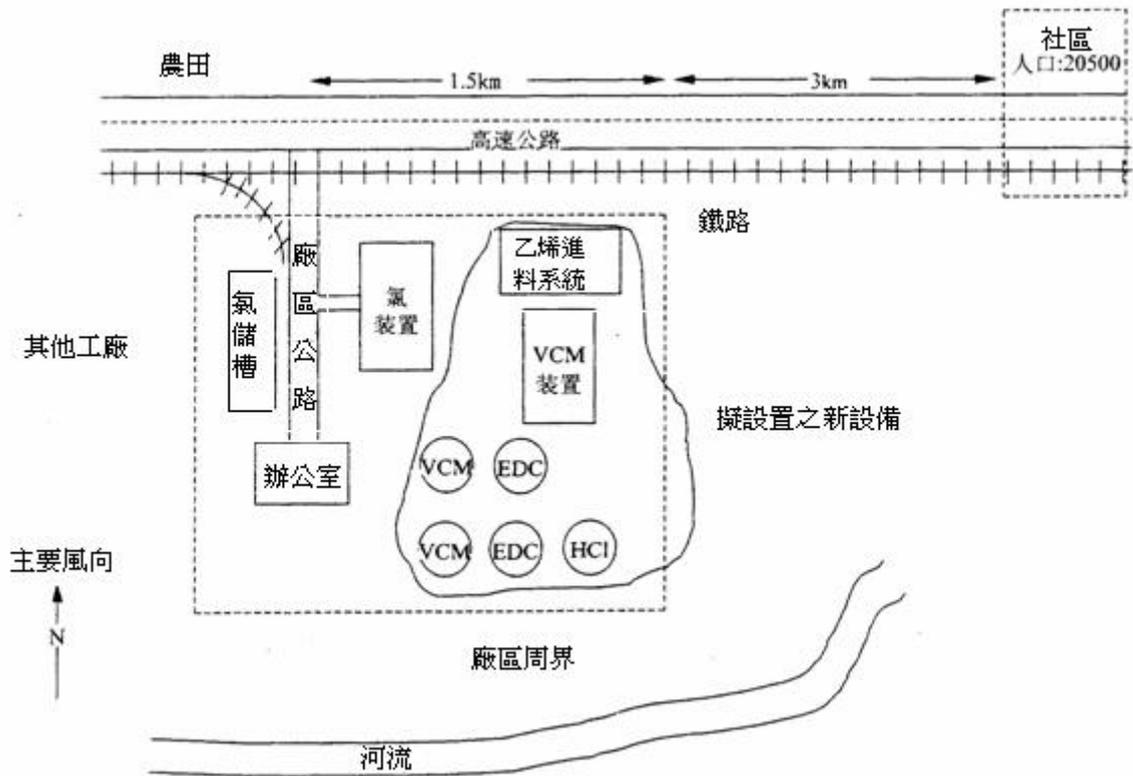
另，還有氯裝置的資料，特別是緊急應變計畫、安全設備、緊急停俾連鎖的資料。

附錄表 9 VCM 廠的部分物料清單

● 乙烯	● 水
● 氯	● 輕碳氫化合物
● 二氯乙烯	● 重碳氫化合物
● 氯乙烯單體	● 天然氣
● 鹽酸	

附錄表 10 VCM 廠的主要設備

設備	數量	化學品	容積
直接氯化反應器	1	氯、乙烯	大(液體)
壓縮機	1	乙烯	中(氣體)
球槽	4	EDC、VCM	大(液體)
儲槽	1	鹽酸	大(液體)
精餾塔	4	EDC、VCM、鹽酸、輕碳氫化合物、重碳氫化合物	大(液體/氣體)
緩衝罐	尚未確定	EDC、VCM、鹽酸	中(液體)
裂解爐	1	EDC、VCM	中(液體)
焚化爐	1	混合物	中(液體)



附錄圖 4 VCM 廠區佈置

附錄表 11 VCM 工場概念設計階段 PHA 分析結果

區域：VCM 裝置－概念設計

圖號：

分析日期：6/20/2008

分析人員：

項目	危害	可能原因	主要後果	風險等級	建議之矯正/預防措施
1	有毒物質釋放	氯管道法蘭/密封洩漏	裝置內少量氯氣釋放	I	無
		氯管道破裂(如交通事故、管道堵塞)	大量氯氣釋放，對廠內和廠外有很大影響	IV	若 VCM 廠停俾較長時間應確保管道中無氯 安裝閘門或聯鎖以便管道破裂時能有效隔離 對 VCM 廠的員工進行氯氣釋放緊急應變訓練 為 VCM 廠員工安裝防氯氣設備 不要將液氯管遭埋入地下
		直接氯化反應器放熱	大量氯/EDC/乙烯釋放，與反應器的大小/操作條件有關，對廠外有影響	IV	考慮將 VCM 裝置移至廠區公路的西面 建立氯氣擴散模型，估計因放熱、氯氣/EDC 釋放對裝置外的影響 確認反應器的釋壓系統能否處理這種釋放

	直接氯化反應器破裂	大量氯/EDC/乙烯釋放，與反應器的大小/操作條件有關，對廠外有影響	IV	讓進入反應器的氯/EDC 的量最少
	直接氯化反應器安全閥打開	大量的 EDC/氯氣/乙烯可能釋放出來	III	確認反應器的壓力釋放系統的焚化爐和洗滌塔能處理這種釋放
	EDC 儲槽破裂	大量 EDC 釋放，對廠外有影響，可能污染河流	IV	考慮將 EDC 儲槽遠離河流
	洪水破壞 EDC 儲槽	大量 EDC 釋放，對廠外有影響，可能污染河流	IV	考慮將 EDC 儲槽遠離河流 確認 EDC(和其他儲槽)的支撐結構能經受洪水沖擊

註： 風險等級：I—可忽略；II—較小危害；III—較大危害；IV—災難。

<討論>

PHA 分析小組對擬建的 VCM 廠存在的危害進行了分析並提出了相對應的建議措施，一些主要的建議措施如下：

1. 考慮將裝置移到廠區道路的西面(取決於氯氣擴散分析結果)；
2. 讓 EDC、VCM、HCl 儲槽遠離河流(分析小組考慮到洪水的襲擊及釋放物有可能污染河流)；
3. 讓 EDC、VCM、HCl 在廠內的貯存量最小，這需要對一些設備進行修改使各單元之操作緊密；
4. 修改裝置的緊急應變計畫並確定易燃物質的釋放(廠內的運輸工具可能點燃這些易燃物質)；
5. 確認裝置的消防系統有足夠的供水能力，並有防爆設施。

根據 PHA 分析結果可得出以下結論：

1. 未發現其他危險(有毒物質、易燃物質等)，然而，如果改變擬建的 VCM 廠

位置可能有新的危險，這是因為擬建裝置和既有裝置之間存在相互影響；

2. 許多危險性的原因或後果與設備的位置有關，因此，所作出的建議需要重新考慮設備的位置；
3. 發現了用故障假設方法沒能發現的一些危險情況(如洪水)，這是因為在用故障假設分析方法進行分析時缺乏一些資料(如廠址／裝置佈置圖)；

(四) 故障假設分析(What-If Analysis)

§4.1 適用時機及分析過程簡介

故障假設分析(What – If Analysis)方法是一種完全以經驗為導向，對製程或操作的腦力激盪分析方法。危害分析人員基於各自的專長，提出許多「如果...會麼怎樣？」(What-if)的問題，來挑戰製程或系統的設計或操作方式，以發掘潛在性的問題。故障假設分析方法可應用於大部份的設計或操作等各方面，特別是在設計初期或規劃階段(如建築物、動力系統、原料、產品、貯存、物料的處理、裝置環境、操作流程、管理規範、裝置的安全防護等)，製程/系統尚未完成清晰的定義時，其他分析方法使用上有困難。如果分析人員富有經驗則它是一種強有力的分析方法；反之，其結果是不完整的。

故障假設分析通常透過對生產流程進行審查，從進料開始沿著流程直到製程結束(或者確定的分析範圍)。故障假設分析也可按某一順序來進行，如人員安全、公眾安全或環境安全等。故障假設分析結果將找出隱藏在分析小組所提出的問題和爭論中的可能事故情況。其問題的提出方式如：

「如果原料的濃度不對將發生什麼情況？」然後分析小組分析系統將作出反應，如：

「如果酸的濃度加倍，反應將不可控制，結果是迅速放出熱量。」

然後分析小組提出建議，如安裝緊急停俾系統或對送入反應器的原料採取特殊的預防措施。問題和對問題的回答，包括危害類型、後果、既有之安全防護、重要項目的可能解決方法都要記錄下來。

其他危害分析方法(如 HAZOP)對原因和後果的分析也可用來形成故障假設分析的問題。What-if 分析對於考慮因素採開放式的問答，優點是可以激發提出更多被忽略的潛在性危害，但缺點是難於引導與規範危害分析的進行品質，尤其是對於較欠缺經驗的人員來說更是如此。故障假設分析所需資料包括製程說明、圖紙、操作程序規範。危害分析小組最好在分析會議之前得到所有的資料。附錄表 12 為故障假設分析

(What – If Analysis)工作表。

附錄表 12 故障假設分析工作表

What-if 分析工作表					
製程／區域：			執行目的：		
參與分析人員：					
分析日期：					
問題 (以「如果…會怎麼樣？」之方式提出)	後果/危害	已有之安全防護	建議措施	負責人員	開始執行及完成日期

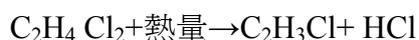
§4.2 應用案例－VCM 工廠設計規劃階段

過去 5 年來，由於其他公司相繼進入市場，氯(ABC 公司的主導產品)市場的競爭愈來愈激烈。由於對環保的要求越來越高，使得氯的生產成本上揚，再加上由於使用氯的替代物使得對氯的需求萎縮，因此 ABC 公司的利潤下滑。為此，ABC 公司開始著手改造生產線，期望能生產出具有強勁市場競爭力並能帶來較好效益的產品。市場調查顯示，氯乙烯單體(VCM)的市場需求正在迅速上升，並可能帶來豐厚利潤，這引起了 ABC 公司的注意。

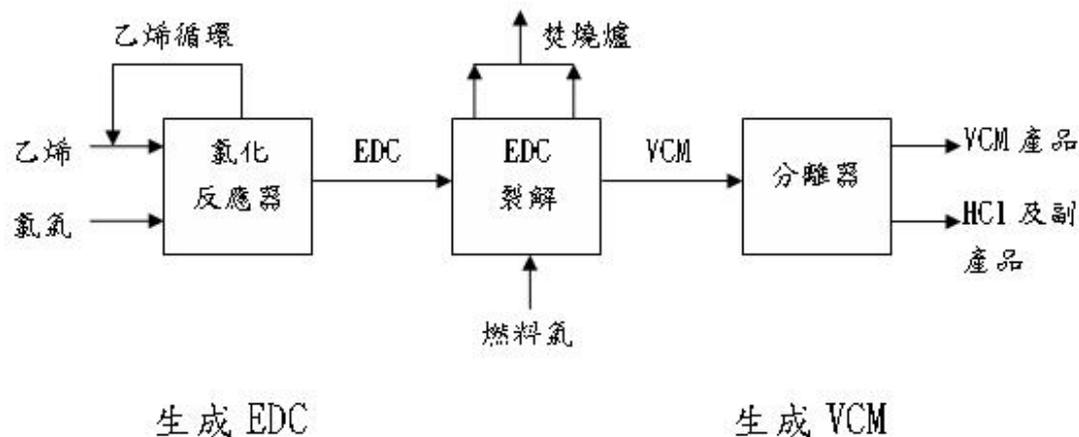
根據市場調查，ABC 管理階層考慮在氯裝置的基礎上建一條 VCM 生產線。在最終決定之前，首先需要對該裝置的操作和費用等問題進行調查。按計劃該裝置 3 年後開俾試運行。

為此，ABC 公司成立了 VCM 專案部，首先探討 VCM 生產技術的可行性。專案部主導 VCM 生產過程的實驗研究、生產能力評估、以及安全檢查。專案部完成了一些基本工作，包括蒐集 VCM 生產化學原理、生產過程的危險性、事故報告等。此時，專案部負責人決定應進一步對 VCM 生產過程的危害風險進行分析，分析結果將作為專案部和 ABC 管理決策層決定是否生產 VCM 的依據。

專案部首先進行了 VCM 之風險調查，此時工程設計尚未完成。ABC 公司的化學專家確定了生產 VCM 的基本化學反應過程(如附錄圖 5)如下：



專案部首先廣泛收集 C_2H_4 、 Cl_2 、 HCl 、 $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$ 的有關資料，此外專案部還查閱了有關專利文獻及上述物質之物質安全資料表。



附錄圖 5 VCM 生產過程的方塊圖

VCM 專案部認為需要進行危害分析，但是應該採用何種分析方法沒有實際經驗。因為 VCM 的生產過程和技術還不是很清楚，因此確定不能使用那些需要先知道詳細製程的分析方法，很顯然如 HAZOP、FMEA、事件樹與失誤樹、原因結果分析、人的可靠性分析都不能採用，而如安全審查這樣的分析方法通常用於已運轉的系統也不予考慮。

ABC 公司的危害分析小組對分析方法的選擇集中在檢核表分析、風險分級法、初步危害分析、故障假設分析等分析方法上。因為在這個階段對裝置的佈置、設備的型式和大小、使用的化學物質知之甚少，因此不宜採用風險分級法及初步危害分析這兩種分析方法。

似乎可以採用檢核表分析，但分析小組並沒有採用這種方法，原因是他們無法拿出一份符合該項目的檢核表。因此，使用故障假設分析法，因為該方法不必知道 VCM 裝置設計的詳細情況，在分析過程中具有較大的靈活性。

附錄表 13 列出了將在分析會議上討論的問題。

附錄表 13 VCM 研發階段的故障假設分析問題

問題：(「如果…會麼怎樣？」)

- 乙烯進料中含有其他雜質
- 氯氣進料中含有其他雜質
- 氯化反應速度太快
- 反應爐發生爆炸
- 乙烯隨 HCl 副產品一起排出
- 所用材質(設備等)不符合要求
- 管道破裂
- 大量氧與 EDC 帶到下一製程
- 無 EDC 送入裂解爐
- VCM 進入副產品中
- 副產品被送入 VCM 儲槽

附錄表 14 為氯乙烯單體工廠氯化反應器進料程序部分可能存在之風險的 What-if 分析結果。

經由故障假設分析技術所發現的問題形形色色，從進料是否含油到是否產生嚴重的後果，並且還考慮到了高溫下鋼材受氯的腐蝕，故障假設分析為 VCM 專案部找出了許多他們應該發現而又難以發現的問題。故障假設分析彌補了 ABC 公司對 VCM 經驗的不足，特別是分析組還考慮到了以下問題：

1. ABC 公司是否知道 VCM、EDC 以及與生產 VCM 有關的其他化學物質的環保規定？是否需增加人員以確保 VCM 的操作安全？
2. ABC 公司從未使用過乙烯，如何對員工進行訓練以便能安全操作？此外，如果 ABC 公司開始使用乙烯，應進行消防訓練並增加相關的設備。
3. VCM 單體對於 ABC 公司來說也是新產品，在這方面也應加強訓練，同時還應考慮聘用具有 VCM 操作經驗的操作人員。
4. 所有排放系統必須能處理有毒和易燃物質。

總之，管理階層根據故障假設分析的結果認為 VCM 生產過程不存在不可駕馭的危險。所提出的建議為專案部的進一步研究指引了方向，對 ABC 公司製造 VCM 的能力進行了評估，確定了需要進一步進行哪些危害分析。

附錄表 14 氯乙烯單體工廠 What-if 分析之結果實例

<u>What-if 分析工作表</u>				
製程/區域：VCM 工廠/EDC 製程工場		執行目的：工廠設計規劃階段之安全評估		
參與人員：許○○(小組長，氯廠工安人員) 余○○(環球公司研發部門)		顏○○(氯廠操作工程師) 陳○○(顧問)		
如果…會怎麼樣?	後果/危害	建 議	負責人員	開始執行 及完成日期
1. 乙烯進料受到污染	1. 乙烯的典型污染物是油，油會與氯氣起激烈反應，不過，乙烯中的油量通常很少，且在反應器中有大量的二氯乙烷，會降低氯-油之反應。此外，水亦是乙烯中的可能污染物。	1.a 確認高純度乙烯之可用度及供應端的可靠度。 2.b 評估油-氯反應之反應動力。查驗氯-水反應之反應動力。	1.a 乙烯專家 1.b 余○○	
2. 氯進料受到污染	2. 水是氯的主要污染物，氯中若含大量的水會危害到氯廠之設備，並在進入 VCM 工廠前引起氯廠停機。少量的水不會有問題。	2.a 確認氯氣供應所含之水份是非常低的。	2.a 氯廠主管	
3. 進料管線破裂	3. 氯管線-會造成大量液氯外洩，並引起大量的氯氣蒸氣雲，有毒。 乙烯管線-會造成大量液態乙烯外洩，並引起大量乙烯蒸氣雲，可能有潛在的火災爆炸危害。	3.a 考慮供應氣態氯給 VCM 廠。 3.b 評估環球公司處理高易燃物之能力。考慮加強防火安全訓練及防護設備。 3.c 考慮遙控進料。	3.a 余○○ 3.b 工廠消防主管、公司訓練部門主管 3.c 顏○○	
4. 進料比例失去平衡	4. 可能發生失控反應。尚不知可操作之安全範圍。	4.a 查驗各種乙烯-氯可能的進料比例之反應速率。	4.a 余○○(與研究人員溝通)	

§4.3 應用案例－DAP 工廠設計規劃階段

試用故障假設分析方法對附錄圖 6 中之 DAP 系統的反應工場進行危害分析。

附錄表 15 列出了將在分析會議上討論的問題。

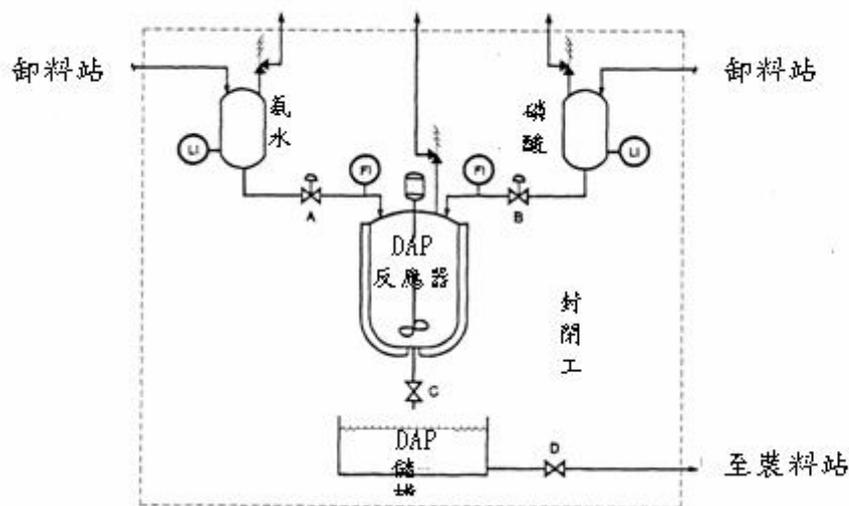
附錄表 15 DAP 過程的故障假設分析問題

問題：(「如果...會麼怎樣？」)

- 進料不是磷酸而是其他物質
- 磷酸濃度太低
- 磷酸中含有其他物質
- 閥門 B 關閉或堵塞
- 進入反應器中氨的比例太高

對第一個問題分析小組將考慮哪些物質可與氨混合並導致危險，如果知道這樣的物質，就要注意裝置中是否存在，同時有可能供應商提供的原料標明是磷酸而實際上是其他物質。如果物質的配方錯誤將對員工和社區有危害，要辨識出這種危害，分析小組還將分析已有的安全防護措施或操作流程是否能避免這些情況的發生，建議分析檢驗中心在磷酸送入裝置前進行檢驗。分析小組按這種方式對其他問題分析，分析過程中對問題的所有回答都要記錄下來。

使用 What-if 分析方法對該系統進行分析，分析結果見附錄表 16，決策階層審查了分析結果並採用分析所提出的消除這些缺陷的建議措施。



附錄圖 6 What-if 分析的 DAP 製程簡圖

附錄表 16 DAP 製程的故障假設分析結果

What-if 分析工作表					
製程／區域：DAP 反應器		執行目的：			
分析人員：					
分析日期：					
問題 (以「如果…會怎麼樣？」之方式提出)	後果/危害	已有之安全防護	建議措施	負責人員	開始執行及完成日期
進料不是磷酸而是其他物質	其他物質與磷酸或氨反應可能產生危險，或產品不符合質量要求	<ul style="list-style-type: none"> ● 供應商可靠 ● 工場物料的處置程序 	確保物料管理規程得以嚴格執行		
磷酸濃度太低	未反應的氨帶到 DAP 儲槽並釋放到工作區域	<ul style="list-style-type: none"> ● 供應商可靠 ● 氨檢測器和報警器 	在送入貯槽之前分析磷酸的濃度		
磷酸中含有其他雜質	磷酸中的雜質與氨反應可能帶來危險，或產品不符合品質要求	<ul style="list-style-type: none"> ● 供應商可靠 ● 工場物料的處置程序 	確保物料管理規程得以嚴格執行		
閥門 B 關閉或堵塞	未反應的氨因汽水共騰而進入 DAP 儲槽並釋放到工作區域	<ul style="list-style-type: none"> ● 定時維修 ● 氨檢測器和警報器 ● 磷酸管線上裝有流量顯示器 	通過閥 B 的流量較低時(閥門 A)氨警報器作動/關閉		
進入反應器的氨比例太高	未反應的氨因汽水共騰而進入 DAP 儲槽並釋放到工作區域	<ul style="list-style-type: none"> ● 氨水溶液管線上裝有流量顯示器、氨檢測器和警報器 	通過閥 A 的流量較低時，氨警報器作動/關閉(閥 A)		

（五）故障假設 / 安全檢查表分析(What-If/Safety Checklist Analysis)

§5.1 分析方法

故障假設/檢核表分析(What-If/Safety Checklist Analysis)是將故障假設與檢核表分析兩種分析方法組合在一起的分析方法。由熟悉製程的人員所組成的分析小組來進行。分析小組用故障假設分析方法確定過程可能發生的各種事故類型，然後分析小組用一份或多份檢核表幫助補充可能的疏漏，此時所用的檢核表與前面講述的檢核表略有不同，它不再著重於設計或操作特點，而著重在危害和事故產生的原因。這些檢核表啓發對與製程有關的危險類型和原因的思考。

兩種分析方法組合起來能夠發揮各自的優點(故障假設分析的創造性和基於經驗的檢核表分析的完整性)，彌補各自單獨使用時的不足。例如，檢核表分析是建立在分析人員的經驗上的，有時如果對某過程缺乏經驗，檢核表分析就不能完整地對製程的設計、操作程序等進行安全性分析，就需要更爲通用的安全檢核表；而故障假設分析利用分析小組的創造性和經驗最大限度地考慮到可能的事故情況。因爲故障假設分析沒有其他結構性的分析方法(如 HAZOP、FMEA)詳細、系統和完整，使用檢核表可以彌補它的不足。

故障假設/安全檢查表分析方法可用於各種類型的製程或者是一製程生命週期的各階段。

§5.2 分析步驟

故障假設/檢核表分析按以下幾個步驟進行：1. 分析準備；2. 建構一系列的故障假定問項；3. 使用檢核表進行補充；4. 分析每一個問項；5. 編製分析表。

故障假設/檢核表分析方法的首要工作是確立分析對象的物理分析範圍。如果過程或活動比較大，則分成幾個功能或物理區域，或者是多個分析任務的順序。其次是建立適合的檢核表，以便分析人員能與故障假設分析配合使用，檢核表應著重在製程或操作的主要危險特徵上。

一旦分析小組將所有待分析的問項確定之後，再利用所獲得的檢核表對擬分析問項進行補充和修改，按照每個檢核表所列事項，看是否還有其他的可能事故情況，如果有，再按故障假設問題的同樣方法進行分析(檢核表對製程或作業活動等各方面進行分析)。

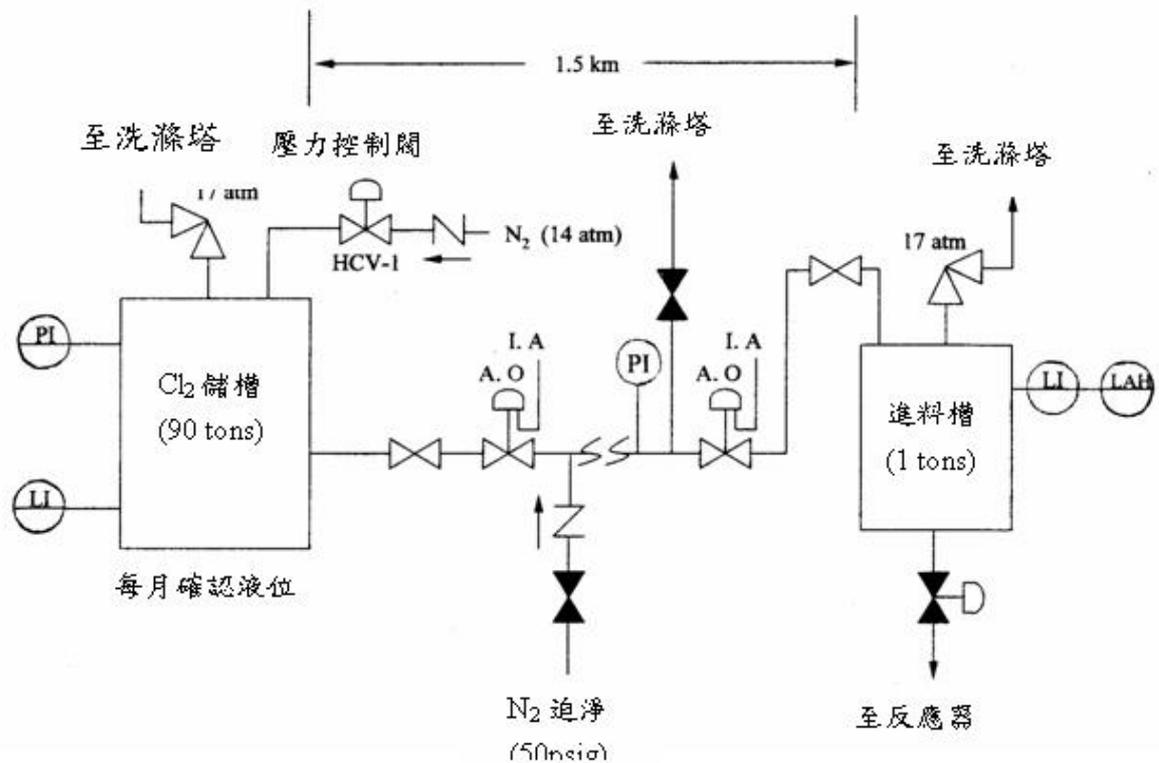
分析報告包括列出故障情況、後果、已有安全保護措施、提高安全性的建議，通常以表格的形式出現。

§5.3 應用案例

爲了提高產量，某公司在 90 噸氮氣儲槽和反應器進料儲槽之間新安裝了一條輸送管線。在每次間隙操作之前，操作人員必須將 1 噸氮送到進料儲槽中；使用新管線大約需要一個小時（使用舊管線約需 3 小時）。使用壓縮氮氣輸送液氮，輸送距離 1.5 km，且焊接管線未隔離。儲槽和反應器進料槽在大氣溫度下操作。附錄圖 7 爲新輸送管線的流程簡圖。

爲輸送液氮，操作人員將閥 PCV-1 設置到要求的壓力，打開閥 HCV-1，並且確認進料儲槽的液位逐漸上升。當進料儲槽高液位報警時表示已輸送了 1 噸的氮，操作人員關閉閥門 HCV-1 和 PCV-2。正常情況下，閥門 HCV-2 在間隙操作過程中打開以免液氮停留在長長的管線中。

分析人員對製程的修改進行故障假設/檢核表分析，分析可能發生的事故及是否有適當的保護措施。分析會議上討論的故障假設問項列在附錄表 17 中，接下來分析人員使用兩份檢核表對故障假設問題進行補充，這兩份檢核表分別列於附錄表 18 和附錄表 19 中。附錄表 20 列出了使用檢核表後補充考慮的安全問題；這些問題如果只用故障假設分析方法很可能被忽略。



附錄圖 7 氯輸送管線簡圖

附錄表 17 液氯輸送管線之故障假設問題

問題：(「如果…會麼怎樣？」)

- 進料不是磷酸而是其他物質
- 有水分留在管線中
- 操作人員輸送的液氯是每次批次操作所需氯的兩倍量
- 閥門HCV-1關閉
- 充滿液氯的管線超壓和破裂
- 溫度低於管線材質的額定使用溫度(-20°F)
- 液氯從進料儲槽逆流到液氯儲槽
- 氯會洩漏入氮氣系統並污染氮氣系統嗎?
- 管線被車輛撞壞而導致液氯大量外逸時如何隔離?
- 洗滌塔的設計依據是什麼?在緊急情況下如果需要管線快速減壓能處理所有的氯嗎?
- 閥門HCV-2因疏忽而關閉
- 進料儲槽的指示/報警出現故障
- 空氣進入系統，會導致反應器事故嗎?

附錄表 18 危害分析用檢核表

1. 原料、產品、中間物的貯存		
儲槽	設計，分離、惰化、構築材料	_____
防液堤	容量，溢流	_____
緊急操作閥	危險物料遙控	_____
檢查	釋壓裝置，滅燄器	_____
程序	污染預防，分析	_____
規格	化學性質、物理性質、品質、穩定性	_____
限制	溫度、時間、數量	_____
2. 物料處理		
泵	釋放、反轉、標識、構築材料	_____
管道	防爆、防火、支撐	_____
輸送設備	停止裝置、殼體、保護	_____
程序	洩漏、清汙	_____
管線	額定值	_____
3. 製程設備、設施、操作程序		
操作程序	開俾、正常、停俾、緊急情況	_____
性能	任務審查、缺陷、施工安裝	_____
公用設施故障	供電、供熱、冷卻、空氣、惰性氣體、	_____
攪拌		_____
容器	設計、物料、規範、人孔、材質	_____
標識	容器、泵、開關、閘	_____
壓力釋放裝置	反應器、換熱器、玻璃容器	_____
事故回顧	裝置、公司、行業	_____
檢查、測試	容器、壓力釋放裝置、腐蝕	_____
危險	失控、釋放、爆炸	_____
供電	區域劃分、特性	_____
製程	說明、測試授權	_____
操作範圍	溫度、壓力、流量、比例、濃度、密度、 液位、時間、順序	_____
火源	過氧化物、乙炔化合物、摩擦、汙物、 壓縮機、靜電、閘門、加熱器	_____
一致性	加熱介質、潤滑劑、沖洗、填料	_____
安全餘量	冷卻、雜質	_____
4. 人員防護		
保護	防護牆、沖洗、逃生輔具	_____

通風	整體換氣、局部排氣、供氣口、流量	_____
暴露	其他製程、公眾、環境	_____
公用設施	隔離、空氣、水、惰性氣體、蒸汽	_____
危險手冊	有毒物質、易燃物質、反應活性、腐蝕、 症狀、急救	_____
環境	採樣、蒸汽、粉塵、噪音、輻射	_____
5. 採樣設施		
採樣點	可接近性、通風、閥門	_____
採樣程序	孔塞、置換	_____
樣品	容器、貯存、處置	_____
分析	程序、紀錄、回饋	_____
6. 維護		
清污	溶液、設備、程序	_____
容器開放	尺寸、障礙、人孔	_____
程序	容器入口、焊接、上鎖	_____
7. 防火		
固定保護	防火區域、所需水量、分配系統、噴淋 裝置、沖洗水、監視器、檢查、測試、 規程、足夠所需	_____
滅火器	型號、位置、使用訓練	_____
防火牆	適當、條件、門、窗	_____
溢流口	坡度、排出速度	_____
緊急應變	消防隊、人員、訓練、裝備	_____
8. 控制和緊急裝置		
控制	範圍、質量、故障自動保險	_____
校準、檢查	頻率、恰當	_____
警報	恰當、限制、火、煙霧	_____
聯鎖	測試、旁路規程	_____
釋壓裝置	恰當、洩放口尺寸、排放、排水、	_____
緊急情況	放空、浸沒、抑制、稀釋	_____
製程隔離	截止閥、火災自動保險閥、置換	_____
儀表	空氣品質、滯後、重置結束、製造	_____
材質		_____
9. 廢物排放		
溝、槽	阻燃、反應、暴露、固體	_____
洩放	排放、擴散、霧滴	_____
特性	汙泥、殘留物、積垢材料	_____

附錄表 19 危害檢核表例

<p>加速(非受控—太多、太少)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 未注意到之移動 ✓ 液體之潑濺 ✓ 鬆散之物體突然移動 <p>減速(非受控—太多、太少)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 撞擊(突然停止) ✓ 剎車、輪子或輪胎故障 ✓ 物體飛落 ✓ 碎片或拋射物 <p>化學反應(無火，整個過程都很小)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 分解：產品反向分解為成分 ✓ 組合：混合物生成新的產品 ✓ 腐蝕、磨蝕等 <p>電</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 電擊 ✓ 燒灼傷 ✓ 過熱 ✓ 引燃可燃物 ✓ 因疏忽而接通 ✓ 電氣爆炸 <p>爆炸</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 爆炸物存在 ✓ 爆炸性氣體 ✓ 爆炸性液體 ✓ 爆炸性粉塵 <p>易燃物和火源</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 存在燃料—固體、液體、氣體 ✓ 存在強氧化劑—氧、過氧化物等 ✓ 存在點火源—焊接火炬、加熱器 	<p>加熱和溫度</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 非電熱熱源 ✓ 熱表面燒灼傷 ✓ 低溫表面燒灼傷(凍傷) ✓ 加熱導致氣壓上昇 ✓ 加熱導致可燃性增加 ✓ 加熱導致揮發度增加 ✓ 加熱導致活性增加 <p>機械</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 尖銳的邊緣或點 ✓ 旋轉設備 ✓ 往復設備 ✓ 沖孔點 ✓ 舉起重物 ✓ 穩定／倒塌趨勢 ✓ 反彈之零件或碎片 <p>壓力</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 壓縮氣體 ✓ 氣動工具 ✓ 高壓系統排氣 ✓ 機械能意外釋出 ✓ 壓力驅動的物體 ✓ 水錘 ✓ 被軟塑膠管抽擊 <p>靜態能量</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 容器破裂 ✓ 過壓 ✓ 負壓作用 <p>物質洩漏</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 易燃物質 ✓ 毒性物質 ✓ 腐蝕性物質 ✓ 易滑物質 	<p>輻射</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 游離輻射 ✓ 紫外線 ✓ 強可見光 ✓ 紅外線 ✓ 電磁波 ✓ 雷射 <p>有毒物質</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 氣體或液體 <ul style="list-style-type: none"> — 窒息物 — 刺激物 — 系統毒性物質 — 致癌物 — 致畸胎物 ✓ 複合產品 ✓ 可燃產品 <p>振動</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 振動工具 ✓ 高噪音源 ✓ 精神疲勞 ✓ 流動或噴流引發之振動 ✓ 超音波 <p>其他</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 雜質(或汙染) ✓ 潤滑
--	--	--

附錄表 20 對氯輸送管線使用危害檢核表之後新增安全分析項目

-
- 維修過程中管線被油污染
 - 氮氣的壓力調節器故障
 - 氯儲槽在真空下是適用的
 - 夜間輸送氯發生洩漏
 - 是否對以往發生的氯氣釋放事故進行過分析
 - 該設備是否滿足有關標準
 - 在管線較低處有無採樣點或排汙點？
 - 該設備的材質有無說明
 - 對使用防腐材料襯裡的管道，是否定時對其完整性進行檢測
 - 有何緊急警報系統對裝置所在地社區發出警報
-

(六) 失誤模式及其影響分析(FMEA)

FMEA 是由可靠度技術發展而來，只是分析的目的不同，前者分析系統的可靠性，後者評估製程設備中那些失效或不當操作會引起系統中人員的傷亡或財物損失。分析人員可依據這些故障之描述，作為改善系統設計的依據。分析人員在進行 FMEA 時會對設備可能產生的失誤與其潛在的影響作一詳細的描述，如果不針對這些失誤進行改善或對其可能的影響進行預防，則系統雖然順利運轉，但這些潛在的失誤仍有可能會發生，進而造成財產損失或人員傷亡。

依據系統設計上的複雜度與可取得數據之因素，執行 FMEA 的做法可以分為兩種 [23,25]。其中一種稱為硬體導向分析法，在列出所有的獨立硬體件後，逐一分析獨立硬體件可能的失效模式。另外一種稱為功能導向分析法，依據次系統/系統的設計功能加以區分後，逐一分析各功能可能的失效模式。對於複雜的系統，可以合併使用功能導向與硬體導向這兩種分析做法。

1. 硬體導向分析法

當系統設計所使用的硬體件清單已經可以由概要圖、藍圖或其他工程設計資料中完整彙集時，以硬體導向分析法執行 FMEA 分析。硬體導向分析法通常採取由下而上式(bottom-up)的方式，經由分析系統/次系統中下層的元組件之失效模式與失效效應後，可以歸納出上層組件的失效模式。在進行 FMEA 分析時通常優先採用硬體導向分析法。

2. 功能導向分析法

當系統設計中部份採用模組型態之功能組件，且無法取得其內部設計資料，或系統設計複雜度高，採取硬體導向分析法不僅困難度高且分析時程亦相當長時，可以以功能導向分析法執行 FMEA 分析。功能導向分析法通常採取由上而下式(top-down)的方式，先列出系統/次系統中的所有功能後，將每一功能與相關的元組件加以歸納，依各功能可能的失效模式評估其失效頻率。

失誤模式旨在描述設備的失誤情況(如：全開、關閉、啟動、停止運轉、洩漏等等)，而失誤模式的影響則由系統對設備失誤的回應狀況來決定，因此，人為操作上的錯誤通常不直接由失誤模式與影響分析技術來檢討。

在進行失誤模式與影響分析時，應先蒐集下列數據和資料：

1. 設備清單或管線和設備儀器圖(P&ID)

2. 設備功能和失誤(故障)模式之相關資訊
3. 系統或工廠功能及回應設備失誤之相關資訊

FMEA 之分析步驟如下：

1. 確定物件系統

- (1) 明確欲分析物件的系統、裝置或設備。
- (2) 界定欲分析的系統之物理邊界(boundary)。劃清物件系統、裝置、設備與鄰接系統、裝置、設備的界線，界定所屬的單元、設備、元件。如想描述整個工廠的危害，FMEA 應著重在個別系統上的失誤模式及其可能的影響。例如：FMEA 可能著重在進料系統、批次混合系統、氧化系統、產品分裝系統及各類供應系統上。當考量系統上的危害時，FMEA 則應著眼在系統上各類設備元件之失誤模式及其可能的影響，例如：考量氧化系統溫度控制失效之情況時，FMEA 應分析其進料泵、冷卻水泵、冷卻水控制閥、溫度感測器及警報器。當然系統或設備之影響亦有可能危及至整個工廠。
- (3) ③界定系統分析的範圍。此包括兩方面的問題：a. 明確分析時不需考慮的失誤(故障)類型、運轉結果、原因或防護裝置等，如分析失誤(故障)原因時不考慮飛機墜落到系統上、地震、颱風等；b. 明確初始運轉條件或設備、元件狀態等，如作為初始運轉條件必須明確正常情況下閥門是開啓還是關閉的。

2. 分析失誤模式和其發生原因

確定失誤模式可以從以下兩方面著手：

如果分析物件是既有設備，則可以根據以往運轉經驗或試驗情況確定設備的失誤模式；

如果分析物件是設計中的新設備，則可以參考其他類似設備的失誤模式，或者對設備進行可靠性分析來確定設備的失誤模式。

一般而言，一個設備至少有 4 種可能的失誤模式：(1)意外運轉；(2)不能按時運轉；(3)不能按時停止；(4)運轉期間故障。

3. 研究失誤的影響

通常從三個方面來研究各失誤模式的影響：(1)該失誤模式對相鄰設備的影響。(2)該失誤模式對整個系統的影響。(3)該失誤模式對鄰近系統的影響及對周圍

環境的影響。

4. 確定失誤等級

評估失誤等級時主要是衡量其對系統、任務和人員安全造成影響的規模。防護措施就是根據失誤造成的影響大小而採取的針對性對策。因此，有必要對失誤等級進行評定。

評估失誤等級的方法有：

簡單劃分法。這一方法將失誤模式對子系統或系統影響的嚴重程度分為四個等級，見附錄表 21 所列，可根據實際情況進行分級。

評分法。在難以取得可靠資料的情況下，可以採用此方法，它較簡單劃分法精確。它從幾個方面來考慮失誤對系統的影響程度，用一定的點數表示程度的大小，然後相加，計算出總點數。(見

附錄表 22)。

5. 分析結果書面化

分析者可以根據分析的目的、要求之欄位，簡潔的顯現全部分析的內容。如附錄表 23。

為確保分析之完整性及效率，應有一合適的表格以記錄 FMEA 之結果。製作 FMEA 表可由系統或製程流程圖(PFD 或 P&ID)之系統邊界開始，並依製程流程路線之設備元件依序作系統化的評估，所有的設備元件均須評估，每一元件或系統之所有失誤模式均評估完畢後，方可進行下一設備元件或系統的評估。以下項目應依序記入 FMEA 表中。

- (1) 製程設備：此乃惟一對系統、製程或區域之設備的鑑認方式，在於區別出同一系統中執行不同功能但類似的或相同型式的設備。
- (2) 設備之描述：設備描述應包括設備之型式、操作型態及其它參數(如高溫、高壓或腐蝕型態)，這些與失誤模式及影響有關，例如：閥之描述可用「動力操作閥、正常是開著，連接於 3 硫酸管線上」。對每一設備之描述並不須一致。
- (3) 失誤模式：分析每一設備所有可能的失誤模式，分析人員不僅要考慮設備之正常操作狀況，亦應考慮備用之狀況，例如正常是關著的閥，其失誤可能有：
 - 1) 無法打開(fails to open when require)
 - 2) 誤開(inadvertently moves to an open position)
 - 3) 外洩(leaks to the environment)
 - 4) 內漏(leaks internally)

5) 破裂(ruptures)

附錄表 24 有某些設備之失誤例子可供參考。分析人員應考量所有可能的失誤模式，然後才能描述可能造成的影響。

附錄表 21 失誤(故障)分級表

失誤(故障)等級	影響程度	可能造成的危害或損失
I	致命性	可能造成死亡或系統損失
II	嚴重性	可能造成嚴重傷害或主系統損壞
III	臨界性	可造成輕傷或次要系統損壞
IV	可忽略性	不會造成傷害，系統也不會受損

附錄表 22 評分法參考表

評分要素	內容	點數
失誤(故障) 影響程度	造成生命損失	5.0
	造成相當程度的損失	3.0
	元件功能有損失	1.0
	無功能損失	0.5
對系統影響程度	對系統造成兩處以上的重大影響	2.0
	對系統造成一處以上的重大影響	1.0
	對系統無過大影響	0.5
發生頻率	容易發生	1.5
	能夠發生	1.0
	不太發生	0.7
防止故障的難易程度	不能防止	1.3
	能夠防止	1.0
	易於防止	0.7
是否新設計	內容相當新的設計	1.2
	內容和過去相類似的設計	1.0
	內容和過去相同的設計	0.8

FMEA 不只可做定性分析，若在分析中加入失誤或故障發生的機率，並進一步與危險度分析(Critical Analysis)結合，構成失誤模式、影響和危險度分析(Failure Modes, Effects, and Critically Analysis, FMECA)。這樣，如果確定了每個元件、單元或子系統之失誤機率，就可以確定設備、系統或裝置的之失誤機率，從而定量地評估故障的影響。如附錄表 24。

危險度分析的目的在於評估系統每種失誤模式的危險度，據此按輕重緩急確定矯正措施。一般係以失誤機率－嚴重度來決定失誤模式的危險度。

1. 失誤機率

失誤機率，是指在一特定時間內，失誤模式所出現的次數。時間可規定為一定的期限，如一年、一月等；或根據大修間隔期；完成一項任務的週期或其他被認為適當的期間來決定。可以使用定性和定量方法確定單個失誤模式的機率。

定性分類法：

I 級：失誤機率很低，操作期間發生的機會可以忽略。

II 級：失誤機率低，操作期間不易發生。

III 級：失誤機率中等，操作期間發生的機會為 50%。

IV 級：失誤機率高，操作期間易於發生。

定量分類法：

I 級：在元件工作期間，任何單個失誤發生的機率，小於全部失誤機率的 0.01。

II 級：在元件工作期間，任何單個失誤發生的機率，大於全部失誤機率的 0.01 而小於 0.10。

III 級：在元件工作期間，任何單個失誤發生的機率，大於全部失誤機率的 0.10 而小於 0.20。

IV 級：在元件工作期間，任何單個失誤發生的機率，大於全部失誤機率的 0.20。

2. 嚴重度

嚴重度指的是失誤模式對系統功能的影響程度。它可以分為 4 個等級。

嚴重度等級	內容
A (輕微)	1.對系統任務無影響 2.對子系統造成的影響可忽略不計 3.通過調整故障易於消除
B (高)	1.對系統的任務雖有影響但可忽略 2.導致子系統的功能下降 3.出現的故障能夠立即修復
C (嚴重的)	1.系統的功能有所下降 2.子系統功能嚴重下降 3.出現的故障不能立即通過檢修予以修復
D (災難性的)	1.系統功能嚴重下降 2.子系統功能全部喪失 3.出現的故障需經徹底修理才能消除

3. 風險矩陣

失誤的發生可能性和失誤發生後引起的後果，經綜合考慮後，能得出一個比較準確的衡量標準，我們稱這個標準為風險等級(或稱危險度)，它代表失誤機率和嚴重度的綜合評估，如下表。

		失誤機率			
		I	II	III	IV
後果嚴重度	A	1	1	2	3
	B	2	2	3	4
	C	2	4	4	4
	D	4	4	4	4

附錄表 24 設備元件之失誤模式

設 備 元 件	失 誤 模 式
塔、槽、氣液分離罐 (vessel, drum, knockout pot)	<ul style="list-style-type: none"> • 外漏(external leak) • 破裂(external rupture) • 阻塞(pluggage) • 盤管洩漏(coil leak) • 盤管破裂(coil rupture) • 盤管結垢(coil fouled)
反應器 (reactor)	<ul style="list-style-type: none"> • 外漏(external leak) • 破裂(external rupture) • 內襯或披覆龜裂(liner cracked) • 盤管洩漏(coil leak) • 盤管破裂(coil rupture) • 盤管結垢(coil fouled)
洗滌塔 (scrubber column)	<ul style="list-style-type: none"> • 外漏(external leak) • 破裂(external rupture) • 盤破裂(tray rupture) • 盤阻塞(tray plugged) • 填充床阻塞(packed bed plugged) • 床支架倒塌(bed support collapsed) • 接觸面髒(contacting surface fouled) • 靜電板失效(electrostatic plate fails off) • 靜電板短路(electrostatic plate shorted) • 靜電板結垢(electrostatic plate fouled)
除霧器 (demister)	<ul style="list-style-type: none"> • 外漏(external leak) • 破裂(external rupture) • 網阻塞(mesh plugged) • 網破洞(hole in mesh)
熱交換器 (heat exchanger)	<ul style="list-style-type: none"> • 殼側洩漏(shell leak) • 殼側破裂(shell rupture) • 殼側阻塞(shell plugged) • 管側洩漏(tube leak) • 管側破裂(tube rupture) • 管側阻塞(tube plugged) • 管側結垢(tube fouled)
接觸乾燥器 (contact dryer)	<ul style="list-style-type: none"> • 外漏(external leak) • 破裂(external rupture) • 乾燥劑阻塞(desiccant plugged) • 乾燥劑飽和(desiccant saturated)

附錄表 24 設備元件之失誤模式(續一)

設 備 元 件	失 誤 模 式
<p>泵浦 (pump)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 外漏(external leak) • 破裂(external rupture) • 啓動失效(fails to start) • 運轉中故障(fails off while running) • 過早啓動(started prematurely) • 運轉時間太長(operates too long) • 退化運轉，如：太快、太慢等等 (operates at degraded head/flow performance: too fast, too slow, etc.)
<p>管／軟管 (pipe/duct/hose)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 外漏(external leak) • 破裂(external rupture) • 阻塞／扭緊(plugged/kinked)
<p>過濾器 (filer/strainer)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 外漏(external leak) • 破裂(external rupture) • 內部零件破裂(internal element rupture) • 零件阻塞(element plugged)
<p>釋壓裝置 (relief devices)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 外漏(external leak) • 破裂(external rupture) • 阻塞(plugged) • 無法開啓(fails to open on demand) • 無法關閉(fails to re-seat) • 過早打開(opens prematurely) • 過早關閉(closes prematurely)
<p>感測器元件 (sensor element)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 外漏(external leak) • 破裂(external rupture) • 接栓阻塞(tap plugged) • 無輸出訊號(fails with no output signal) • 輸出訊號過低(fails with a low output signal) • 輸出訊號過高(fails with a high output signal) • 對輸入訊號之改變無回應(fails to respond to an input change) • 假輸出訊號(spurious output signal)
<p>發電機 (generator)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 高電壓(high voltage) • 低電壓(low voltage) • 高電流(high current) • 低電流(low current) • 過早啓動(started prematurely) • 運轉時間太長(operated too long)
<p>導電線／匯流線(盤) (conductor/bus)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 不應開而開(fails opened) • 接地短路(shorts line to ground) • 短路(shorts line to line)

附錄表 24 設備元件之失誤模式(續二)

設 備 元 件	失 誤 模 式
<p>電路機板 (circuit board)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 不應開而開(fails opened) • 接地短路(shorts line to ground) • 短路(shorts line to line) • 假輸出訊號(spurious output signal)
<p>變壓器 (transformers)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 無輸出電壓／電流(fails with no output voltage/current) • 輸出電壓／電流過高(fails with a high output voltage/current) • 輸出電壓／電流過低(fails with a low output voltage/current)
<p>不斷電電力供應系統 (uninterruptible power supply, UPS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 無輸出電壓／電流(fails with no output voltage/current) • 傳輸失效(fails to transfer correctly) • 輸出電壓／電流過低(fails with a low output voltage/current) • 太早啓動(started prematurely) • 運作時間太長(operates too long)

[例一]

試對起重機的兩種主要故障(鋼索過捲和斷裂)進行分析。

分析結果如下表：

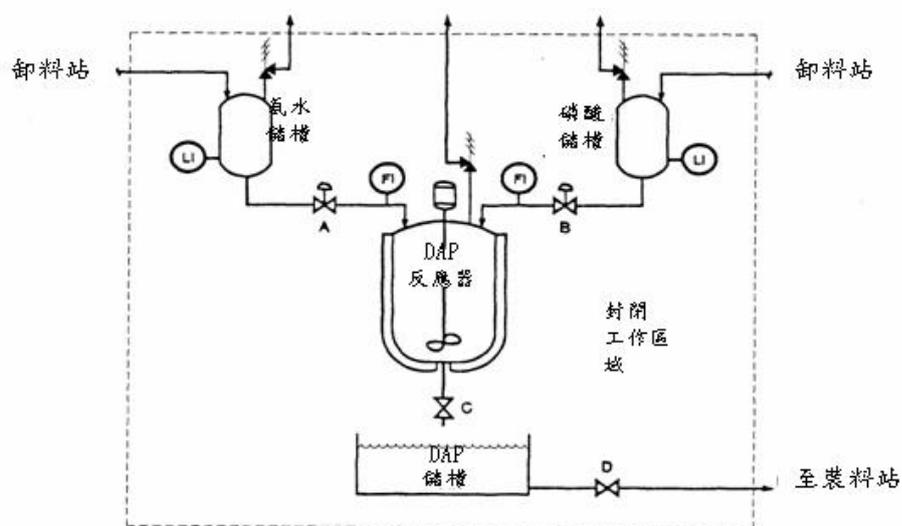
附錄表 25 杜邦公司之起重機的故障模式、影響和危險度分析(部分摘錄)

項 目	設備元件	故障模式	故障影響	危害嚴重度	故障發生機率	檢查方法	矯正措施
捲揚裝置	電氣零件	動作不可靠	誤動作	III	10^{-2}	通電檢查	立即修理
	機械部分	變形生銹	破損	I	10^{-4}	觀察	警戒
	安裝螺栓	鬆動	誤警、漏失	II	10^{-3}	觀察	立即修理
鋼索	索	變形、扭結	斷裂	II	10^{-4}	觀察	立即更換
	單根鋼絲	10%切斷	斷裂	III	10^{-1}	觀察	立即更換

[例二]

下圖是磷酸二氫銨(Diammonium phosphate, DAP)之製造流程圖，在此製程中，磷酸溶液與氨水溶液分別經由流量控制閥進入攪拌反應器中，氨水與磷酸將會反應而產生不具有危害性質之磷酸二氫銨。磷酸二氫銨由反應器底流至一開放式儲槽中。原料儲槽和反應器均設有釋壓閥，並排放至此密閉工作區之外面。

如果磷酸之進料速率較氨水快，則會產生副產物，不過反應仍在安全狀態下進行；若二者流量皆增加，反應器之原始設計可能無法處理因流量增加而造成高溫和高壓之問題；如果氨水之流量較磷酸大的話，未反應之氨水將會殘留在磷酸二氫銨中，而被帶至產品儲槽，在磷酸二氫銨中若有任何殘餘的氨水，此氨水將會揮發而釋放至此密閉工作區之空氣中，因而造成人員暴露之危害。在此工作區內裝設有氨偵測器和警報器[18]。



附錄圖 8 DAP 製造流程簡圖

分析結果如下表：

附錄表 26 DPA 製程之 FMEA 表

日期：_____		頁 數：_____				
工廠： <u>DPA 工廠</u>		系 統： <u>附錄圖 8</u>				
參考： <u>反應系統</u>		分析人員： _____				
項次	製程設備	描述	失誤模式	影響	安全防護	建議
4.1	在磷酸溶液管線上之閥 B	動力操作，正常狀態下開著，磷酸	全開(Fails Open)	至反應器之磷酸流量會過大 如氨水飼料流速亦高反應器會產生高溫及高壓 反應器或 DPA 儲槽可能會產生高液位 產品不符合規格(如酸濃度過高)	在磷酸管線上有流量指示計 反應器釋壓閥會開啓而排至大氣中 操作員會觀察 DPA 儲槽液位之高低	考慮裝設高磷酸流量之警報及停俾系統 考慮在反應塔裝設高溫及高壓警報系統 考慮在 DPA 儲槽加裝高液位警報及停俾系統
4.2	在磷酸管線上之閥 B 溶液	動力操作，正常狀態下開著，磷酸溶液用	全關(Fails Closed)	無磷酸溶液至反應器中 氨被帶至 DPA 儲槽中，並排放至密閉之工作區中	在磷酸管線上有流量指示計 氨偵測器及警報器	考慮裝設低磷酸流量之警報器及停俾系統 DPA 儲槽考慮改為密閉式儲槽或在此密閉工作區確保有合適的通風
4.3	在磷酸管線上之閥 B 溶液	動力操作，正常狀態下開著，磷酸溶液用	洩漏(外面) 破裂	少量的磷酸會排放至密閉作業區中	定期維修 閥設計為酸專用	確認定期檢查及維護之合適性
4.4	在磷酸管線上之閥 B 溶液	動力操作，正常狀態下開著，磷酸溶液用		大量的磷酸排放至密閉作業區中	定期維修 閥設計為酸專用	確認定期檢查及維護之合適性

[例三] 氣體供應端 FMEA 分析表

項次	設備或作業名稱	失誤模式	失誤機率					影響	嚴重性					預防措施	改善後再發生頻率				
			很高	高	中等	很低	幾乎不可能		重大	高度	中度	低度	輕微		很高	高	中等	很低	幾乎不可能
			5	4	3	2	1		5	4	3	2	1		5	4	3	2	1
A01	鋼瓶作業	種類錯誤						遇不相容物,造成火災爆炸						1.不相容氣體分開儲存 2.落實二人更換鋼瓶作業程序 Double check					
A02	鋼瓶作業	翻覆						氣體外洩,有人員傷亡及火災爆炸之為害						1.鋼瓶有防撞設備 2.搬運 SOP 3.搬運人員加強教育訓練					
A03	鋼瓶作業	碰撞						氣體外洩,有人員傷亡及火災爆炸之為害						1.鋼瓶有防撞設備 2.搬運 SOP 3.搬運人員加強教育訓練					
A04	鋼瓶作業	拆錯使用中的氣瓶						氣體外洩,有人員傷亡及火災爆炸之為害						1.設有安全鎖、關閉後才能更換 2.落實二人更換鋼瓶作業程序 Double check 3.落實穿戴 PPE(個人防護具)					

(七) 危害與可操作性分析(HazOp)

危害與可操作性分析(HazOp)技術是英國 ICI 公司為解決除草劑製造過程中的危害，於 1960 年代所發展的一套以引導詞(Guide Words)為主體的危險分析方法，以檢視設計的安全以及危害的因果來源。儘管 HazOp 技術原來是設計用來評估新的設計或技術，但它亦可應用於工廠規劃和操作的任何階段。

HazOp 技術的本質是利用一系列的會議來檢視製程設計圖樣和操作程序，在會議中，一個包括各種學科背景成員的小組，運用指定的方式，有系統地來評估各種偏離正常設計值的偏差及其嚴重性，ICI 公司本來定義 HazOp 分析技術必須由一個各學科背景的人所組成的小組來執行。因此，若危險分析僅由一個人利用 HazOp 原則來完成，則此研討不能稱作 HazOp 分析。所以 HazOp 分析技巧與其他危險評估方法是有區別的，因為其他的方法可由單獨一人來執行，而 HazOp 分析必須由一個小組利用特殊的技巧來完成。

危害及可操作性研究(HazOp)強調腦力激盪(Brain-storming)，利用一系列的會議來檢視製程設計圖樣和操作程序，去推斷製造過程可能產生的危害。其基本概念是以「假設這個情況出現，那麼後果將會如何－What-If」分析法去將潛在的危險辨識出來。它將製造過程中不同運作系統(System)，如機械系統(Mechanical System)、電力系統(Electrical System)、化學程序(Chemical Process)等以其相關的引導詞和正常運作偏差/偏離時可能產生的後果來探索其中隱藏的危險。HazOp 分析技術必須由一個具下列背景的人所組成的小組來執行：

1. 生產工程師：熟悉基本設計、程序模擬。
2. 系統工程師：熟悉生產線及儀器圖及基本設計規範。
3. 品質工程師：熟悉標準操作步驟及標準。
4. 儀控工程師：具設備及控制系統選擇經驗。
5. 安全工程師：瞭解安全標準、法規、安全管理等。
6. 其他專業人員：工業衛生專業人員、電機工程師、維修工程師等。

因此，若危險分析僅由一個人利用 HazOp 原則來完成，則此研討不能稱作 HazOp 分析。這個分析需要所有參與者自由地發表看法，但應避免批評其他人，否則將會使創造性被壓制。在檢視危險情況時，這種具有創造性的方式，加上利用有系統的或結構化的方式將可使整個研討進行的更徹底而不致有所疏漏。

HazOp 研討集中於製程或操作的特定點上，稱為”研討節點(study nodes)”、製程區段、或操作步驟。HazOp 小組以一次一個的方式檢驗每個區段或步驟，找出具有潛在危害的偏離(deviation)，這些偏離是由一組已建立的引導字(guidewords)所定義出。使用引導字的主要目的是要確保所有與製程參數有關的偏離均被評估。對於每一區段或步驟，小組有時會考慮相當多的偏離(即 10 至 20 個)，並且辨識它們可能的原因和後果。

HazOp 分析研討可在新的專案計畫或既存的工廠上執行。對於新的計畫，當製程設計完全確定時，最好進行一次 HazOp 分析。通常來說，製程之 P&ID 完成，即是執行 HazOp 的最佳時機，所以評估小組可以針對在 HazOp 分析過程中提出的問題明確地陳述有意義的解答，同時也可以在不用遭受重大損失的情況下改變設計。然而，HazOp 分析研討也可在製程設計的早期來執行，只要小組成員有足夠的製程資料和知識作為分析時的基礎。但在早期階段所執行的 HazOp 分析不應取代針對細部設計的徹底的設計評估。

儘管基本的 HazOp 分析已完善建立，但運用的方式可能隨著製程而改變。附錄表 27 列出通常在 HazOp 分析中所使用的術語和定義。附錄表 28 所示之引導字為 ICI 最初所發展用於 HazOp 研討之引導字，並且運用在

附錄表 29 所示之製程參數上，見附錄表 30。

在 ICI 最初的探討中，每個引導字和相關的製程參數互相組合，並應用至所檢討之製程的每一點(研討節點、製程區段或操作步驟)。以下為一利用引導字和製程參數創造出來的偏離的例子：

引導詞 (Guide Words)	製程參數 (Parameter of System)	偏離情況 (Deviation)
無(No)	流量(Flow)	無流量(No Flow)
低(Low)	壓力(Pressure)	低壓(Low Pressure)
較多(More Than)	成份(Composition)	水份過多(More Water)

引導字同時被應用於較一般的參數(如反應、混合)以及較特定的參數(如壓力、溫度)。用在一般的參數時，從一個引導字的應用得到不只一個偏離情況經常出現。舉例來說，「較多反應」可能意謂反應以較快的速率進行，或者產生較大量的產物。在另一方面，有些引導字和參數的組合將產生沒有意義的偏離(如「不僅…又」和「壓力」)。

用在特定的參數時，可能需要將引導字做些修改。此外，分析者常常會發現某些潛在的偏離由於物理上的限制而成為不恰當。舉例來說，如果考慮溫度參數，引導字「較多」或「較少」可能是唯一需考慮的。

下列為原始引導字的另一種有用的解釋：

當考慮時間時，「除…之外」可解釋為較早(快)或較晚(慢)

當考慮位置、來源或目的地時，「除…之外」可解釋為其他的地方

當考慮液位、溫度或壓力時，「較多」和「較少」可解釋為較高或較低

HazOp 分析的流程如附錄圖 9 所示，其評估研討過程須作有效且完整的記錄，可作為後續追蹤稽核的依據，因此，也是目前最被廣泛使用的製程安全評估方法。另外，危害與可操作性分析除了可應用在定性的製程分析(如附錄表 31)，若加入偏離的發生頻率和影響嚴重度，則此分析方法亦可應用於定量的分析(如附錄表 32)。

附錄表 27 HazOp 分析的術語

術語	定義
製程區段(或研討節點)	具有明確界限的設備區段(如兩容器間的管線)，在這界限內檢討製程參數的偏離。或者 P&ID 圖上的一個地方(如反應器)，在此處檢討製程參數的偏離。
操作步驟	被 HazOp 分析小組所分析之批次製程或操作程序其中的間斷動作。可能是手動、自動或軟體執行的動作，應用在每一步驟的偏離分析與用在連續製程的偏離分析有點不同。
目的	在沒有偏離的情況下，工廠被預期如何操作的定義，有許多種形式來表達，可能是描述性的或圖表的(如製程描述、流程圖、管線圖、P&ID)。
引導字	用來描述或量化表示設計目的的簡單字詞，並用來引導和刺激腦力激盪的程序以辨識製程危害。
製程參數	與製程相關之物理或化學性質。包括一般的項目如反應、混合、濃度、pH 和特定的項目如溫度、壓力、相(phase)和流量。
偏離	遠離設計目的，經由以下方法來發現潛在問題，即藉著有系統地將引導字應用至製程參數，形成一群可能引發危害的原因(如無流量、高壓等)，以供小組來評估每個製程區段。
原因	偏離發生的理由，一旦偏離顯示有一個可信的原因，即被認為是有意義的偏離，這些原因可能是硬體故障，人為失誤、不預期的製程狀況(如組成改變)、外界失常(如停電)等等。
後果	偏離的結果(如毒性物質外洩)。通常小組假設有用的保護系統失效。較輕微的後果不被考慮。
防護措施	工程的系統或管理上的控制，設計來防止原因發生或減輕偏離的後果(如製程警報、連鎖系統、緊急操作程序)。
改善建議	對於設計修改、程序改變或進一步研討範圍的提議(如增加一套壓力警報或調整兩個操作步驟的順序)。

附錄表 28 HazOp 分析的引導字與意義

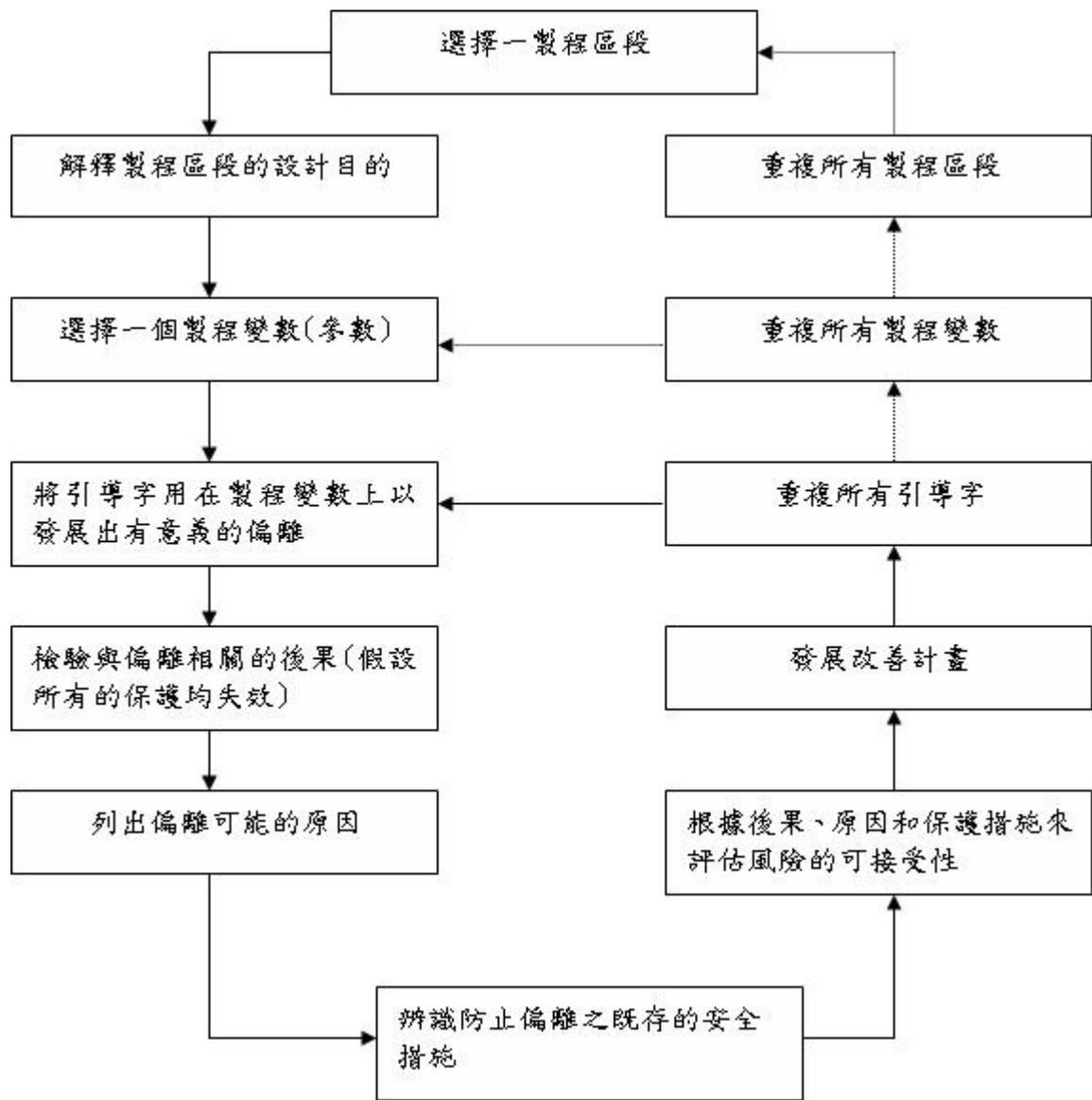
引 導 字	意 義
無(No)	完全不具備設計目的
較少(Less)	定量的減少
較多(More)	定量的增加
只有部分(Part of)	定性的減少
不僅....又(As well as)	定性的增加
相反(Reverse)	與設計目的邏輯上相反
除....之外(Other than)	完全取代

附錄表 29 HazOp 分析製程參數

流量	時間	頻率	混合
壓力	成份	黏度	加成
溫度	pH 值	電壓	分離
液位	速度	資訊	反應

附錄表 30 HazOp 分析中常用之製程偏離

製程 參數 \ 導字 偏離	高	低	無	反	只有部份	不僅又	完全取代
流 量	高流量	低流量	無流量	逆流	組成錯誤	雜質	錯誤物質
壓 力	高壓	低壓	真空				
溫 度	高溫	低溫					
液 位	高液位	低液位	無液位		分離不良		
反 應	高反應	低反應	無反應			其他反應	錯誤反應
其 他							



附錄圖 9 HazOp 分析方法流程圖

附錄表 31 危害與可操作性分析工作表－定性分析

系統名稱：

節點編號：

日期：

參數	引導語	偏離	可能原因	影響	保護裝置	建議/行動
流量	高	高流量	幫浦異常	無安全顧慮	無	無
壓力	低	低壓	壓力源異常	機器停止	禁止啓動	無
溫度	高	高溫	加熱器過熱	火災	警報器	加裝滅火設備
轉速	高	高轉速	電源異常	機器損壞	過電流保護器	加裝漏電斷路器
方向	錯誤	流向錯誤	逆止閥失效	化學品混合引起反應	無	加裝互鎖裝置
流量	無	無流量	幫浦失效	無法冷卻、系統過熱	溫度感測器	加裝互鎖開關
.....

[例一]

附錄表 33 危害與可操作性分析工作參考表

製程/操作程序名稱：E-3 熱媒蒸氣分離器

研討節點描述：1-熱媒蒸氣分離器

管線/設備編號：E-3

設計目的：用以分離由虹吸循環所壓進來之熱媒蒸氣

圖號：FM-PID-01

項目	製程 偏離	可能原因	可能危害 /後果	防護措施 /補充說明	嚴重 性	可能 性	風險 等級	改善建議
1.1	洩漏	設計不當	1.虹吸循環所 壓進來之熱 媒蒸氣不 穩,造成 R-1 反應不穩而 發生爆炸。 2.管線洩漏。	1.TIA-1413HH 警報 響,安全系統緊急 停止甲醇進料,甲 醇閥 FV-1109 關 閉;停掉送風機 C4,設有 PIA-1404 警報及 SV-301 安 全閥。 2.現場裝有 8 支甲醛 氣體偵測器。				1.修正設計。 2.定期檢查 及自主管 理。

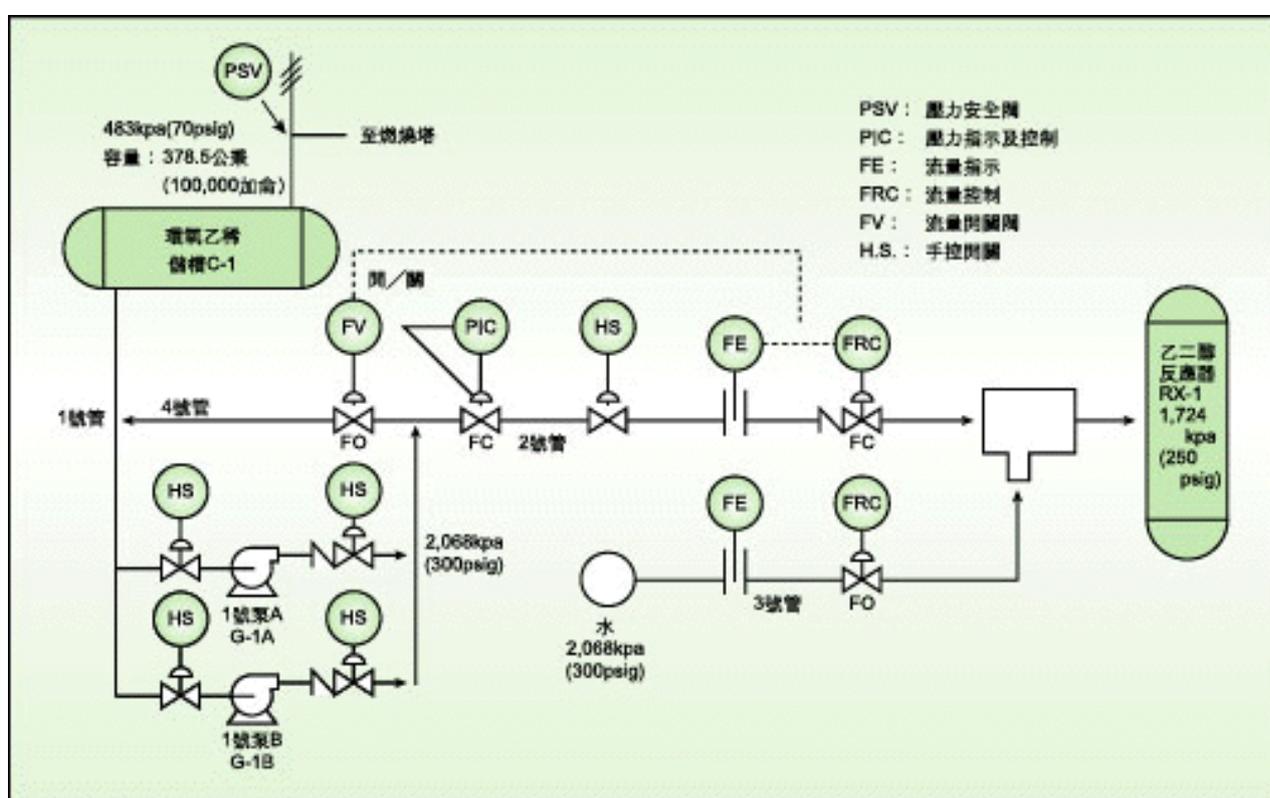
[例二]

1. 製程說明

附錄圖 10 所示為一個環氧乙烷(Ethylene Oxide)與水化合而產生乙二醇(Ethylene Glycol)的流程。由於反應為放熱反應，為了避免溫度上升，反應器中必須輸入大量的水。環氧乙烷的自行分解，因此分析的重點在於環氧乙烷儲槽。

2. 分析結果

附錄表 34 列出環氧乙烷輸送泵的輸入管及泵兩個節點的危害及可操作性研究。



附錄圖 10 危害及可操作性研究－乙二醇生產流程圖

附錄表 34 乙二醇合成反應的危害及可操作性研究結果紀錄(部分)

引導詞	原因	後果	建議改善措施
1.節點#1:1 號管(環氧乙炔泵輸入管)			
無流量	泵停機，或輸出閥關閉或儲槽 k-1 液面降至下限	乙二醇生產停頓	<ul style="list-style-type: none"> • 安裝低流量警訊 • 安裝泵馬達低電流警訊
逆流	泵停機及 PIC(壓力指示及控制閥失常,2 號管上的 HS 閥未關閉，FV 閥大開	水進入 1 號鋪槽，環氧乙炔自行分解，造成儲槽破裂	<ul style="list-style-type: none"> • 從新檢討 2 號管及 4 號管上的控調閥，同時研擬防範逆流的措施
流量降低	閥部分關閉	生產量降低但不會造成危害	如「無流量」欄
2.節點#2:1 號泵，A/B			
無流量	排放閥關閉	泵排放阻塞，溫度升高，環氧乙炔自行分解，最後造成泵的損壞	<ul style="list-style-type: none"> • 安裝低流量自動停機裝置 • 安裝高溫停機裝置 • 安裝泵馬達低電流停機裝置
逆流	泵停機及 PIC 閥失常或者洩漏，2 號管上的水閥未關閉	水進入 1 號鋪槽，環氧乙炔自行分解，儲槽破裂	<ul style="list-style-type: none"> • 從新檢討 2 號及 4 號管上的控制閥，研擬防範逆流措施。
流量降低	外在熱源或日光輻射熱由備用泵的管線傳入	環氧乙炔自行分解，造成泵損壞	<ul style="list-style-type: none"> • 確定環氧乙炔自行分解溫度，安裝溫度警訊

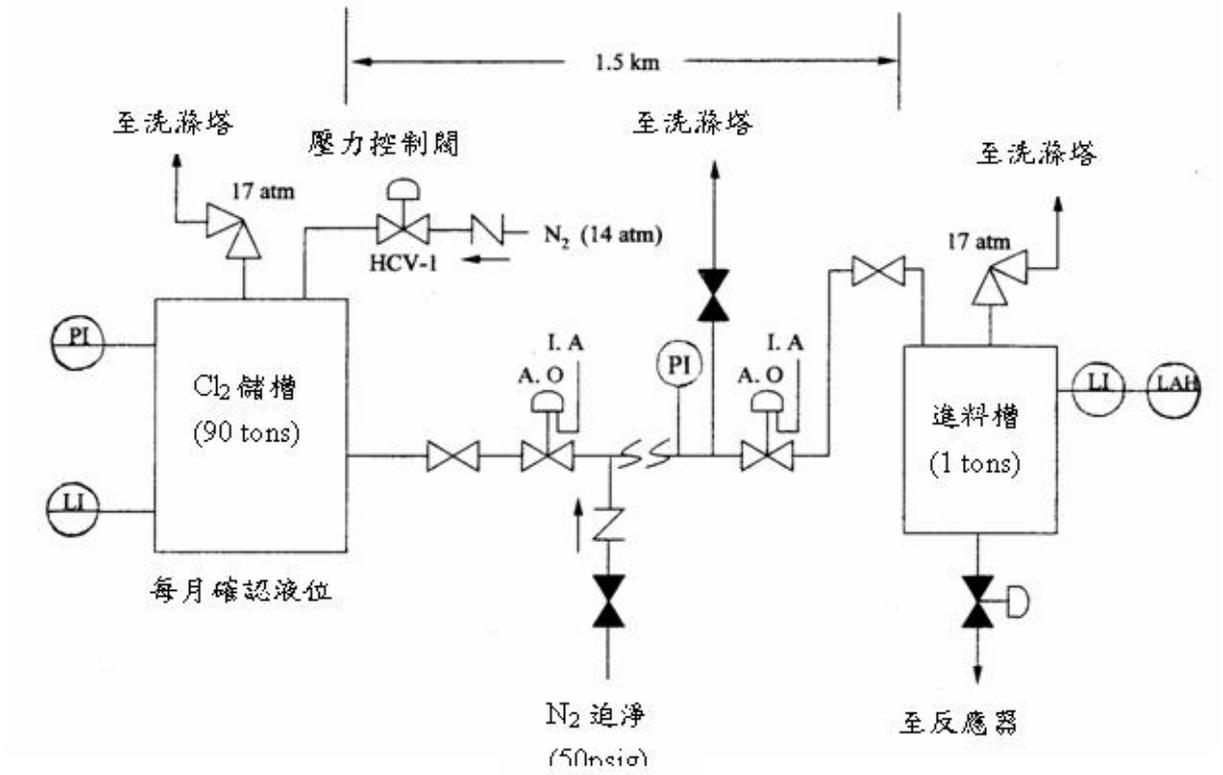
[例三]液氯輸送管線分析案例

1. 製程說明

爲了增加製程產量，XYZ 公司在 90 噸液氯儲槽(Cl₂ storage tank)和反應器進料槽(feed tank)間安裝了一條新的進料管線，在每一個批次之前，控制室的操作員必須將 1 噸的液氯送入進料槽，新加入的管線可使操作員在約 1 小時內完成這項工作。氮氣壓力可用來推動液氯流經這條 1 英里長、未絕緣保溫、焊接的無縫管線。儲槽和進料槽均在常溫下操作。其流程如附錄圖 11 所示。

爲了輸送液氯，操作員將 PCV-1 設定於需求之壓力，打開 HCV-1，並檢驗進料槽之液位是否上升(HCV-2 在每一個批次間均保持開啓狀態，所以液氯不會存留在這條管線中)，當高液位警報發出訊號表示 1 噸的氯液已經輸送完成時，操作員將 HCV-1 和 PCV-1 關閉。

如果製程因任一原因而導致停俾，液氯必須從管線中沖吹出來，在控制室之操作員關閉 HCV-1 和 HCV-2 之後，現場的操作員關閉手動阻閥並且打開至洗滌塔(scrubber)的管線，在冷天或檢修進料管線時，現場的操作員也將慢慢地打開氮氣沖吹(N₂ purge)以便清除管線中殘留的液氯(必須慢慢沖吹，否則洗滌塔將無法完全中和大量的液氯，在洗滌塔的排放管中有一氯氣偵測器)，現場操作員關閉洩放閥(及沖吹閥)並且於製程操作需要繼續時再次打開手動阻閥。



附錄圖 11 液氯進料管線儀器圖

2. 分析結果：

附錄表 35 危害與可操作性分析工作表

製程名稱：液氯儲槽區					
管線或設備描述：1.0 管線—從儲槽至進料槽之液氯供應管線					
所含管線與設備編號：○○○					
圖號：CFL-1					
項目	製程偏離	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.1	高流量 (High flow)		1.無重大影響		
1.2	低/無流量 (Low / no flow)	1.操作員未打開 HCV-1 和 HCV-2 2.HCV-1(或 HCV-2)故障關閉 3.HCV-1(或 HCV-2)部分打開 4.液氯儲槽低壓力(氮氣系統故障，PCV-1 設定太低) 5.操作員於沖吹管線至洗滌塔後未將兩手動隔離閥打開 6.錯誤方向流動(項目 1.5)	1.生產延遲	1.進料槽有液位指示計 2.儲槽有壓力指示計	01 考慮於 HCVs 和洩放閥安裝限制開關 02 考慮於進料管線加裝流量指示器
1.3	流動時間過長 (Long flow duration)	1.進料槽液位元元元元元指示故障—錯誤之低讀數 2.HCV-1 故障大開 3.HCV-1 洩漏 4.操作員未關 HCV-1 5.反應器進料閥故障大開或洩漏	1.進料槽高液位，導致氯經由安全閥洩放至洗滌塔 2.過量氯導至不合格之反應成品	1.進料槽有液位指示和高液位警報 2.重複的隔離閥(HCV-2)(已設計成 AO，即 fail closed) 3.洗滌塔的排放管線有氯氣偵測器	03 考慮於進料槽安裝一重覆的高液位警報器 04 確認進料槽安全閥口徑是針對液氯洩放而設計的且尾管可忍受液氯驟沸所造成之自動冷卻 05 考慮於 HCV-1 與反應器進料閥裝置連鎖系統，使兩閥無法同時開啓

附錄表 35 危害與可操作性分析工作表(續一)

項目	製程偏離	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.4	流動時間過短 (Short flow duration)	1.進料槽液位元元元元元指示故障－錯誤之高讀數 2.HCV-1 或 HCV-2 故障－關閉 3.操作員疏忽而太早關閉 HCV-1 或 HCV-2 4.液氮儲槽低液位 5.液氮儲槽低壓力(氮氣系統故障，PCV-1 故障關閉)	1.進料槽中不足的氮導至不合格之反應成品	1.進料槽有液位指示 2.操作員每月檢查液氮儲槽液位	06 考慮每週檢查儲槽液位 07 考慮於控制室加裝儲槽液位指示器
1.5	錯誤方向流動 (Skipped/ missing)	1.操作員於沖吹後因疏忽而未關氮氣阻閥 2.操作員於沖吹後因疏忽而未關洩放閥	1.低／無流量(項目 1.2) 2.氮回流至氮氣系統；會有潛在的設備損壞和氮外洩至環境之危害 3.液氮洩放至洗滌塔	1.氮氣管線有逆止閥 2.洗滌塔的排放管線有氮氣偵測器	08 考慮增加沖吹氮氣之壓力使其高於液氮壓力 09 在沖吹後開始操作之前驗證氮氣阻閥及洩放閥是否關閉
1.6	逆流(Reverse flow)		1.無重大影響		
1.7	高溫度 (High temp)	1.外界火災 2.外界溫度過高 3.有機成份雜質(項目 1.12)	1.若管線燒毀，會有潛在氮外洩(註：鋼材於氮存在情況下約在 248°C 的溫度會燒毀) 2.高壓力(項目 1.9)		10 驗證工廠消防設施可以很容易接近整段管線範圍
1.8	低溫度 (Low temp)	1.由於液氮驟沸而造成之自動冷卻(因為進料槽出口閥保持開啓狀態或進料槽安全閥故障跳開)	1.如果管線受到過多的應力會造成氮外洩		11 確認管線是否可以忍受因自動冷卻所造成的低溫

1.9	高壓力 (High pressure)	1.高溫度(項目 1.7) 2.關閉 HCV-2 後，因操作員疏忽而沒有沖吹管線 3.喪失儀錶空氣(造成管線內液氮熱膨脹) 4.PCV-1 故障大開	1.潛在之管線破裂和氮外洩(項目 1.14)	1.於現場有壓力指示 2.設備可承受 250psig	12 考慮於進料管線安裝卸放保護裝置
1.10	低壓力 (Low pressure)		1.無重大影響		
1.11	高濃度水份 (As well as)	1.沖吹時使用潮濕空氣 2.水份累積在氮氣沖吹管線	1.腐蝕和潛在之氮外洩	1.每年檢驗管線厚度 2.嚴格管制使用空氣取代氮氣	13 考慮在使用氮氣沖吹管線之前先排水除濕
1.12	高濃度有機成份 (As well as)	1.壓力指示計隔膜(diaphragm)洩漏	1.高溫度(項目 1.7)	1.壓力指示計使用惰性流體	14 考慮針對液氮系統的儀錶提供分離儲存之管理措施
1.13	洩漏 (Leakage)	1.維修錯誤 2.墊圈(gasket)失效 3.腐蝕	1.少量氮外洩	1.使用焊接管線 2.每年檢驗管線厚度	15 考慮提供一方法於緊急時可清除管線
1.14	破裂 (Rupture)	1.高壓(項目 1.9) 2.外界衝擊 3.墊圈(gasket)破裂 4.維修錯誤	1.大量氮外洩	1.有緊急應變程序和設備 2.可遙控 HCV-1 和 HCV-2 以隔離管線	16 確認 HCV-1 和 HCV-2 關閉可抵擋 250 psig 壓差

[例四]DAP 製程之 HAZOP 分析案例

如附錄圖 12 所示的連續製程。在該製程中，磷酸溶液與氨水溶液透過流量控制閥控制加入攪拌反應器中的流量，磷酸與氨反應生成磷酸氫二銨(DAP)，DAP 是無任何危險的產品。所生成的 DAP 放入一開放式儲槽中。在氨水溶液儲槽、磷酸溶液儲槽及反應器上都安裝了安全閥。

如果進入反應器的磷酸溶液流量太大(相對於液氨)，則得不到所希望的產品(生成磷酸二氫銨，即 MAP)，但反應過程仍是安全的；如果磷酸溶液和氨水溶液的流量同時增加，此時反應放出的熱量也將增加，反應器的溫度和壓力將升高，反應過程可能變得無法控制；如果氨水溶液的進料流量太大(相對於磷酸溶液)，未反應的氨水溶液將與 DAP 一起進入 DAP 儲槽，DAP 儲槽將放出氨氣，整個工作區域將充滿氨氣。為安全計，在這個區域應安裝氨氣檢測與報警裝置。

使用 HAZOP 分析法對該系統連接 DAP 反應器的磷酸溶液進料管線進行分析，分析結果見附錄表 36，決策階層審查了分析結果並採用分析所提出的消除這些缺陷的建議措施。

分析節點：連接 DAP 反應器的磷酸溶液進料管線

設計指標：磷酸以某規定流量進入 DAP 反應器

引導詞：無

工藝參數：流量

偏差：無+流量 = 無流量

後果：

1. 反應器中氨過量，導致.....
2. 未反應的氨進入 DAP 貯槽，結果是.....
3. 未反應的氨從 DAP 貯槽中逸出到封閉的工作區域
4. DAP 的產品損失

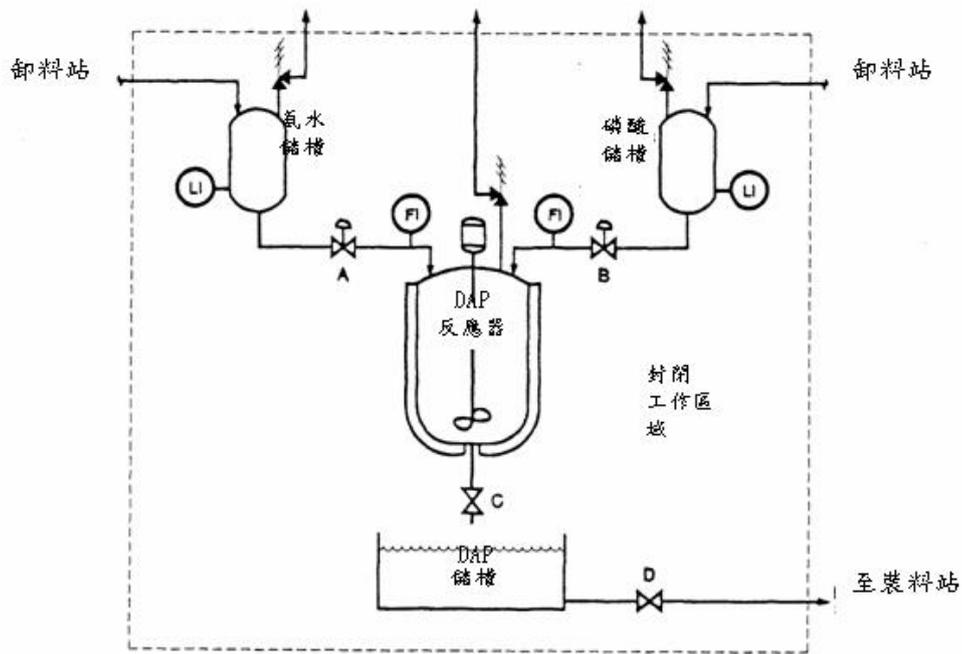
原因：

1. 磷酸儲槽中無原料
2. 流量指示器/控制器因故障顯示值高
3. 操作人員將流量控制器設定過低
4. 磷酸流量控制閥因故障關閉
5. 管道堵塞
6. 管道洩漏或破裂

安全防護：定期維護閥門 B

建議措施：

1. 考慮安裝當進入反應器的磷酸交流量低時報警/停俾系統
2. 保證定期檢查和維護閥門 B
3. 考慮使用 DAP 封閉儲槽，並連接洗滌系統
然後對該製程的其他節點用引導詞+製程參數繼續進行分析，每個分析節點的分析內容，紀錄到 HAZOP 分析表中。附錄表 36 是 HAZOP 分析結果示例。



附錄圖 12 DAP 製程之簡圖

附錄表 36 危害與可操作性分析工作表

分析人員：HAZOP 分析小組 圖號：97-OBP-57100 會議日期：○○/○○/2009 版本號：○○○					
項目	製程偏離	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.0 容器—液氨儲槽；在環境溫度和壓力下進料					
1.1	高液位	氨站來液氨量太大，液氨貯槽 無足夠容積 氨儲槽液位指示器因故障顯示 示液位低	氨可能釋放到大氣中	儲槽上裝有液位顯示器 氨儲槽上裝有安全閥	檢查氨站來液氨量以保證液氨儲槽有足夠容積 考慮將安全閥排出的氨氣送入洗滌塔 考慮在氨儲槽上安裝獨立的高液位報警器
2.0 管線—氨送入 DAP 反應器的管線；進入反應器的氨流量為 y gpm，壓力 z psig					
2.1	高流量	氨進料管線上的控制閥 A 因 故障打開 流量指示器因故障顯示流量 低 操作人員設置的氨流量太高	未反應的氨帶到儲槽並釋放到工作區域	定時維護閥門 A 氨檢測器和警報器	考慮增加液氨進入反應器 流量高時的警報/停俾系統 確保定時維護和檢查閥門 A 在工作區域確保通風良好， 或者使用封閉的 DAP 儲槽
2.9	洩漏	腐蝕 磨蝕 外來破壞 密封故障 維護失誤	少量的氨連續洩漏到封閉的工作區域	定期對管線進行維護 操作人員定期檢查 DAP 製程區域	在工作區域保證通風良好
3.0 容器—磷酸溶液儲槽；酸在環境溫度和壓力下進料					

3.7	磷酸濃度低	供應商供給的磷酸濃度低 送入進料儲槽的磷酸有誤	未反應的氨進入 DAP 儲槽並釋放到封閉的工作區域	磷酸卸料和輸送程序 氨檢測器和警報器	保證實施物料的處理和接受程序 在操作之前分析儲槽中的磷酸濃度 保證封閉工作區域通風良好或使用封閉的 DAP 儲槽
4.0 管線－磷酸送入 DAP 反應器的管線；磷酸進料流量 x gpm，壓力 y psig					
4.2	低/無流量	磷酸儲槽中無原料 流量指示器因故障顯示流量高 操作人員設置的磷酸流量太低 磷酸進料管線上的控制閥 B 因故障關閉 管道堵塞 管道洩漏或破裂	未反應的氨進入 DAP 儲槽並釋放到封閉的工作區域	定期維護閥門 B 氨檢測器和警報器	考慮增加磷酸進入反應器流量低時的警報/停俾系統 保證定期維護和檢查閥門 B 保證封閉工作區域通風良好或使用封閉的 DAP 儲槽
5.0 容器－DAP 反應器；反應溫度 x°C，壓力 y psig					
5.1	無攪拌	攪拌器電動機故障 攪拌器機械連接故障 操作人員未啟動攪拌器	未反應的氨進入 DAP 儲槽並釋放到封閉的工作區域	氨檢測器和警報器	考慮增加反應器無攪拌時的警報/停俾系統 保證封閉工作區域通風良好或使用封閉的 DAP 儲槽
6.0 管線－DAP 反應器到 DAP 儲槽的輸出管線；產品流量 y gpm，壓力 y psig					
6.3	逆或反向流動	無可靠原因	無嚴重後果		
7.0 容器－DAP 貯槽，在環境溫度和壓力下貯存 DAP 產品					

7.1	高液位	從反應器來的流量太大 未輸送到下一裝料站	DAP 從 DAP 儲槽中溢出 到工作區域導致操作問題 (DAP 對人員無危險)	操作人員觀察 DAP 儲槽液位	考慮在 DAP 儲槽上增加 高液位警報器 考慮在 DAP 儲槽周圍修 一條圍堰
-----	-----	-------------------------	--	--------------------	--

[例五] VCM 裝置正常操作階段－HAZOP 用於定期檢查

如附錄圖 13 所示的連續製程。ABC 公司在某地的 VCM 裝置已正常運轉兩年，在這兩年中沒有出現事故，ABC 公司的管理階層認為正是在 VCM 裝置的設計和安裝階段進行的危險分析保證了 VCM 裝置的安全運轉。為了保證安全操作得以延續，ABC 公司要求對 VCM 裝置的所有操作單元進行定期的危害分析。(事實上，ABC 公司對公司所屬的所有裝置都定期進行危害分析)

VCM 裝置的管理者決定在未來三年中分階段對 VCM 裝置各單元進行危害分析。第一個階段是對焚化爐重新進行分析，因為對這個單元在過去兩年試運行過程發現的問題進行了局部變更，特別是以下變更：

1. 製程變更A：增加了備用風機，當空氣流量低(FIC-1)時自動啓動；
2. 製程變更B：停俾系統增加了一台火焰掃描器(UVL-IB)；
3. 製程變更C：增加了第二具焚化爐溫度指示器(TI-3)，以及溫度控制器，由它對TI-2和TI-3取平均值來調節燃料氣流量；
4. 製程變更D：對急冷槽增加了碱液輸送管線和低pH報警器，以控制pH值。

所進行的修改是爲了解決兩年試運轉中發現的操作問題，在每個修改實施之前都經過裝置工程和安全人員的審查和認可，符合裝置變更管理程序。

已有資料

現在 ABC 公司已掌握了大量的有關 VCM 裝置焚化爐的資料，而且已有兩年的實際操作經驗，下列資料可提供給危害分析小組使用：

1. 管道和儀錶圖(P&ID，附錄圖13)；
2. 製造程序流程圖(PFD)；
3. 以前對VCM裝置進行的危害分析報告(包括對原設計的焚化爐進行的HAZOP分析報告)；
4. 操作及緊急應變程序；
5. 維修程序；
6. 供應商的設計規格書，包括釋壓閥的設計依據；
7. 焚化爐的事故報告。

在準備 HAZOP 分析會議過程中，危害分析小組將焚化爐分成幾個製程單元。因爲在安裝前已用 HAZOP 對焚化爐進行了全面的分析，爲了加快分析進程，危害分析小組決定只對修改部分進行分析，因此選擇的分析節點只是有修改的地方。特別是以下幾個節點：

1. 焚化爐的空氣輸送管線(因為在該管線增加了第二具風機)；
2. 焚化爐的燃料氣輸送管線(因為改變了FCV-2的控制方式)；
3. 急冷槽冷卻水迴路(因為碱液輸送與該管線相連)。

UVL-1B 和 XAL-3 分別是焚化爐和急冷槽新增加的安全防護設施，因此危害分析小組決定查閱以前的焚化爐系統 HAZOP 分析報告，並在適當位置加上這個保護裝置，但即使這樣，在本次 HAZOP 分析中危害分析小組並不打算分析它們是如何發生故障的，因為前面已進行了相同的分析。

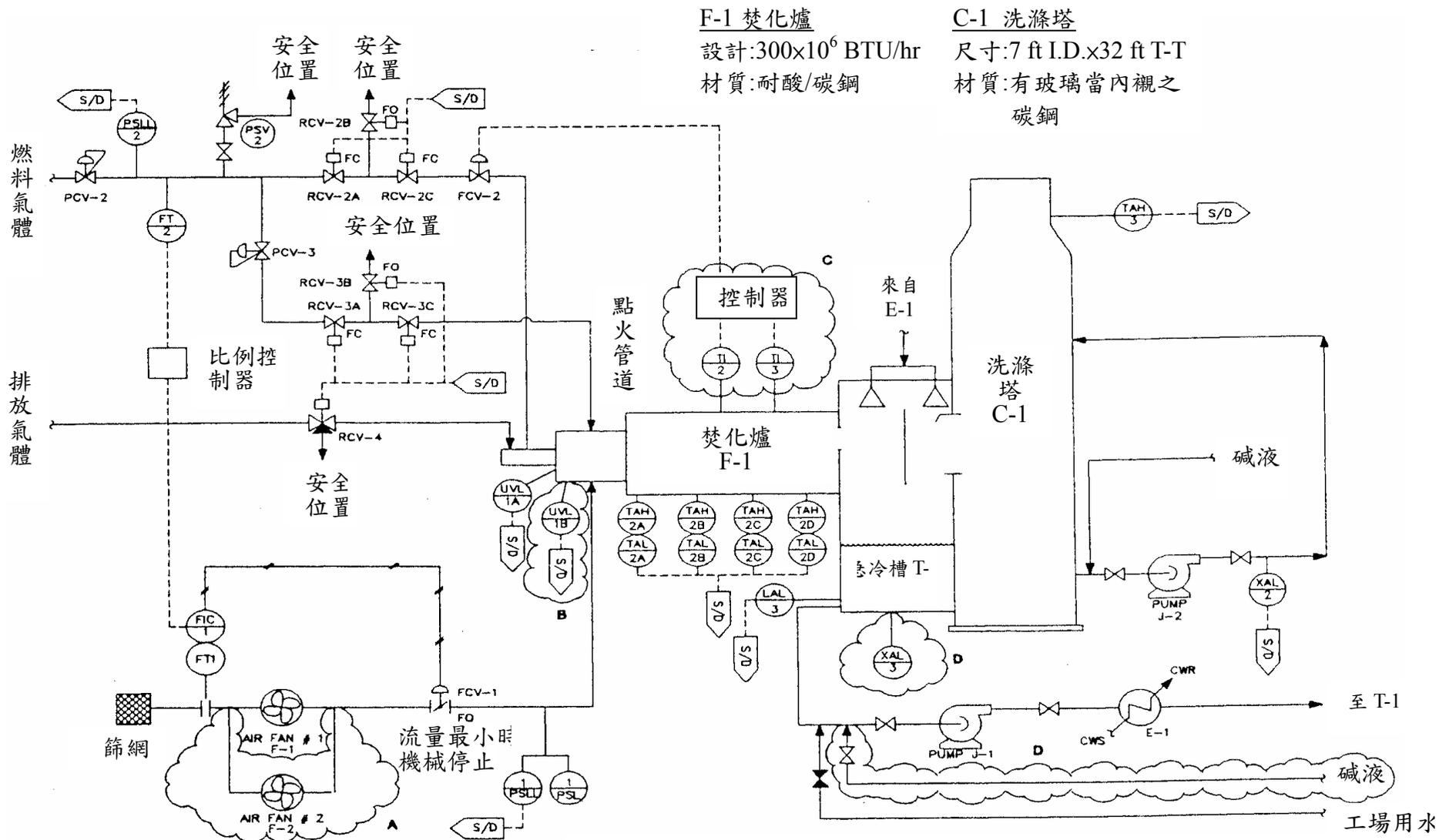
結果討論

HAZOP 分析和 FMEA 分析結果都填入所準備的空白工作表中。從原因到原因對分析結果進行說明。

附錄表 37 附錄表 39 是分析結果的一部分。

此次 HAZOP 分析有以下重要發現：

1. 保證備用風機的啓動不會被FT-1失常信號觸發；
2. 檢驗UVL的可靠度，如果UVL的可靠度不能令人滿意，則考慮採用表決系統；
3. 將與TI-2和TI-3相連的控制器透過程式設計之方式以忽略溫度範圍以外的信號；
4. 檢查循環泵J-1和熱交換器E-1的設計和製造材料能承受高pH值的工作環境。



圖號	製圖者	日期	Rev.	日期	描述
比例: 無	ABC 公司 VCM 裝置	審核者		00/00	第二具風扇
			A	00/00	第二具火焰掃描儀
			B	00/00	第二具焚化爐
			C	00/00	Ph 警報器及供碱管線
			D	00/00	

附錄圖 13 修改後之 VCM 裝置焚化爐的 P&ID

附錄表 37 正常操作階段 HAZOP 分析結果

PID圖號：○○○○○

版本號：○○

會議日期：○○/○○/2008

危害分析小組：○○、○○○、○○○、○○○、○○○

項目	偏差	原因	後果	安全防護裝置	防護措施
1.管道－到焚化爐的空氣輸送管道(設計目標：環境溫度下將15000ft ³ C標準狀態)的空氣送入焚化爐)					
1.1	無流量	1－#1風機因故障停 2－FCV-1因故障關閉 3－FT-1故障--信號強 4－FT-2故障--信號弱 5－無電力輸入 6－空氣過濾器堵塞	A－焚化爐停俾；可能從洗滌器煙囪放出；如果停俾聯鎖出現故障焚化爐可能爆炸	1－自動啟動的備用風機 A－空氣壓力低-低(PSLL-1)停俾聯鎖 1,2,3,4,6－多重焚化爐停俾聯鎖(溫度、火焰) 1,5－如果無電力輸入自動停俾 6－每週清潔空氣過濾器 5－FCV-1在掉電時關閉 2,3,4－FCV-1上有機械停止	1 2
1.2	流量低	1－FCV-1故障--部分關閉 2－FT-1故障--信號強 3－FT-2故障--信號弱 4－空氣過濾器堵塞	A－焚化爐停俾；可能從洗滌器煙囪放出；如果停俾聯鎖出現故障焚化爐可能爆炸	1,2,3－FCV-1上有機械停止 4－每週清潔空氣過濾器 A－壓力低-低(PSLL-1)停俾聯鎖 A－焚化爐多重停俾聯鎖(溫度、火焰)	
1.3	流量高	1－FCV-1故障開 2－FT-2故障--信號強 3－FT-1故障--信號弱 4－操作人員在#1風機運轉時啟動#1風機	A－燃燒不好，可能從洗滌器煙囪放出易燃氣體；大量空氣進入可能熄滅火焰導致焚化爐停俾	A－焚化爐多重停俾聯鎖(溫度、火焰)。 4－FT-1關閉減少空氣流量	2 3
1.4	溫度低		無不良後果		
1.5	溫度高		無不良後果		

※註：「後果」及「安全防護」的序號與「原因」的序號對應，字母「A」表示「後果」與「安全保護」適用於列出的所有「原因」。

附錄表 38 正常操作階段安全措施項目例

序號	擬定措施	負責人	完成日期
1	建立自動啓動風機的測試程序(項目1.1)	○○○	50天內完成
2	考慮用PSL-1啓動備用風機(項目1.1和1.2)	○○○	60天內完成
3	考慮在空氣輸送管道上安裝高流量報警器(獨立於FT-1)(項目1.3)	○○○	30天內完成

附錄表 39 正常操作階段 FMEA 結果例

項目	元件	失效模式	效應(後果)	安全防護裝置	防護措施
1	火焰掃描器UVL-1B	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 無信號改變 ✓ 假火焰熄滅信號 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 火焰熄滅後無法讓焚化爐停俾；如果火焰熄滅焚化爐可能著火或爆炸 ✓ 焚化爐停俾；如果未切斷焚化爐燃料可能發生爆炸 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 雙重UVL ✓ 焚化爐多重聯鎖(溫度、燃料、空氣) ✓ 停俾時發出警報，操作人員確認停俾 ✓ 燃料管線上有雙向逆止閥 ✓ 洩放管上有三通關閉閥 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 確認UVL的可靠度

[例六] VCM工場擴建階段—使用HAZOP於批次製程

問題背景描述

ABC 公司之 VCM 裝置已成功地運轉了五年，ABC 公司市場調查部建議擴建一條生產線，用氯乙烯單體(VCM)生產聚氯乙烯(PVC)；ABC 公司專案部經過對該建議進行分析後，決定實施該建議。為了加快擴建進度，ABC 公司決定從 XYZ 公司購買 PVC 生產技術，XYZ 公司是 PVC 生產技術的主要開發者並擁有多項專利，同時在安全方面也是領先的。ABC 公司在對 PVC 反應器進行初步分析後認為 XYZ 公司的設計和安全技術水準與 TMC 公司一樣甚至更好。

因為 PVC 單元是整個 VCM 裝置的一部分，因此，ABC 公司專案部和公司管理階層要求對 PVC 製程單元同樣進行危險性分析。ABC 公司之所以對 PVC 產品特別重視，因為它是一個批次製程，而 ABC 公司的大多數製程是連續的；有證據顯示，批次製程比連續製程易於產生工安事故，因此 ABC 公司專案部要求過程危害分析小組對 PVC 製程進行危害分析。

ABC 公司考慮 PVC 反應器放在兩個不同的位置(附錄圖 14)。#1 位置靠近 VCM 貯槽，傾向於選擇這個位置，因為在這個位置 VCM 的輸送距離近，可以較大幅度地減少輸入管線和泵輸送的費用；不利的方面是#1 位置離高速公路太近，PVC 反應器一旦發生災難性的事故將危及過往車輛，而且由於 PVC 反應器是露天放置的，可能發生冷凍和堵塞問題，因為 PVC 製程用水作載體。

考慮的第二個位置是靠近 VCM 純化區域，這個位置與社區有足夠遠的距離，而且反應器可設置在原有之加熱建築物內，因此可減少發生冷凍和堵塞問題的機率；但是，PVC 反應器若發生事故將對工場之管理辦公樓內的人員構成威脅。

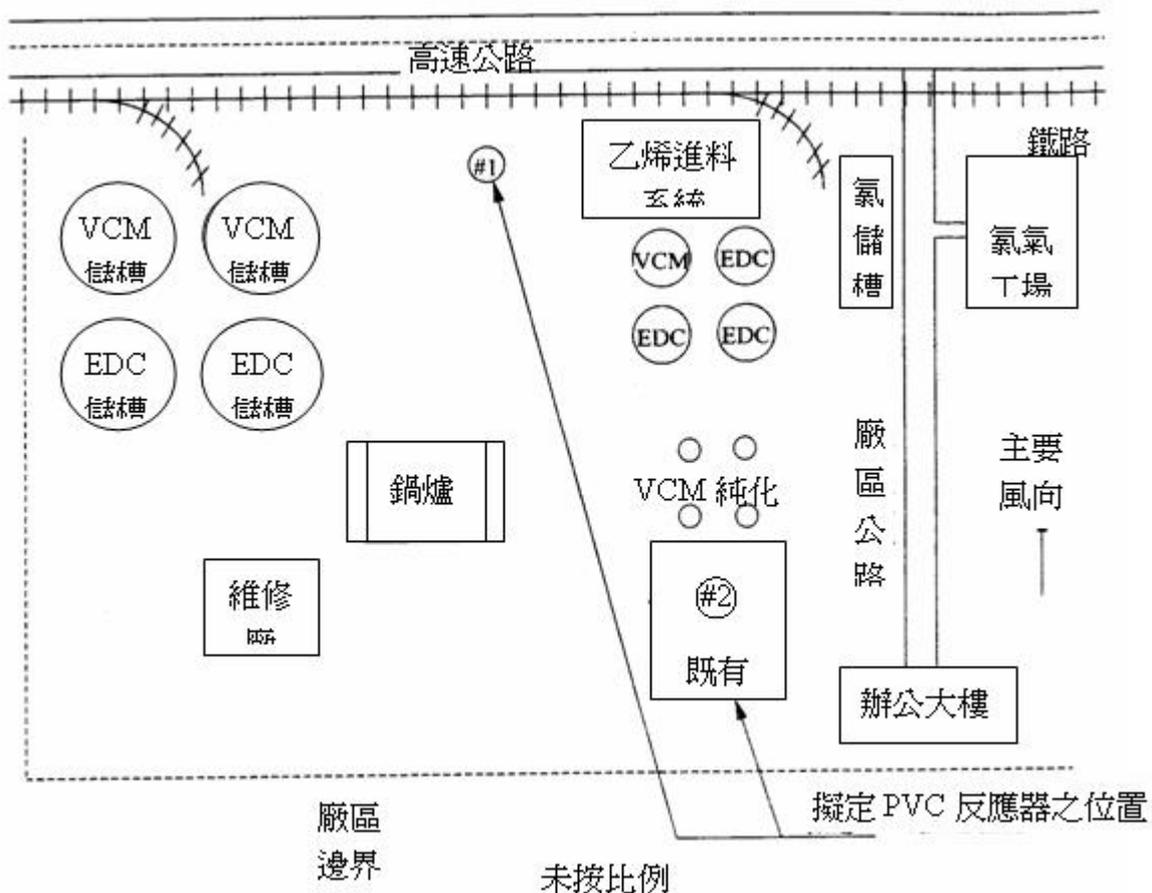
除這兩個位置可供選擇外，ABC 公司還打算使用已拆除的容器，雖然該容器的設計壓力是 150 psig(1psig=6.89476 kPa(表壓))，但作為 PVC 反應器已足夠了(反應器的操作壓力是 75 psig)；但 XYZ 公司建議 PVC 反應器的設計壓力是 250psig。

已有資料

雖然 ABC 公司具有生產 VCM 的經驗，但對 PVC 的生產無任何經驗。但 XYZ 公司在該領域有豐富的經驗，可為 ABC 公司的危害分析提供下列資料：

1. PID圖(附錄圖15)
2. 操作程序書(附錄表 40)

3. 設計規範
4. 警報器設定和聯鎖說明
5. PFD圖
6. PVC製程所有物料的MSDS
7. 操作經驗
8. 緊急應變計畫
9. PVC製程的危害分析資料



附錄圖 14 VCM 裝置佈置圖—PVC 反應器位置之選定

分析方法的選擇

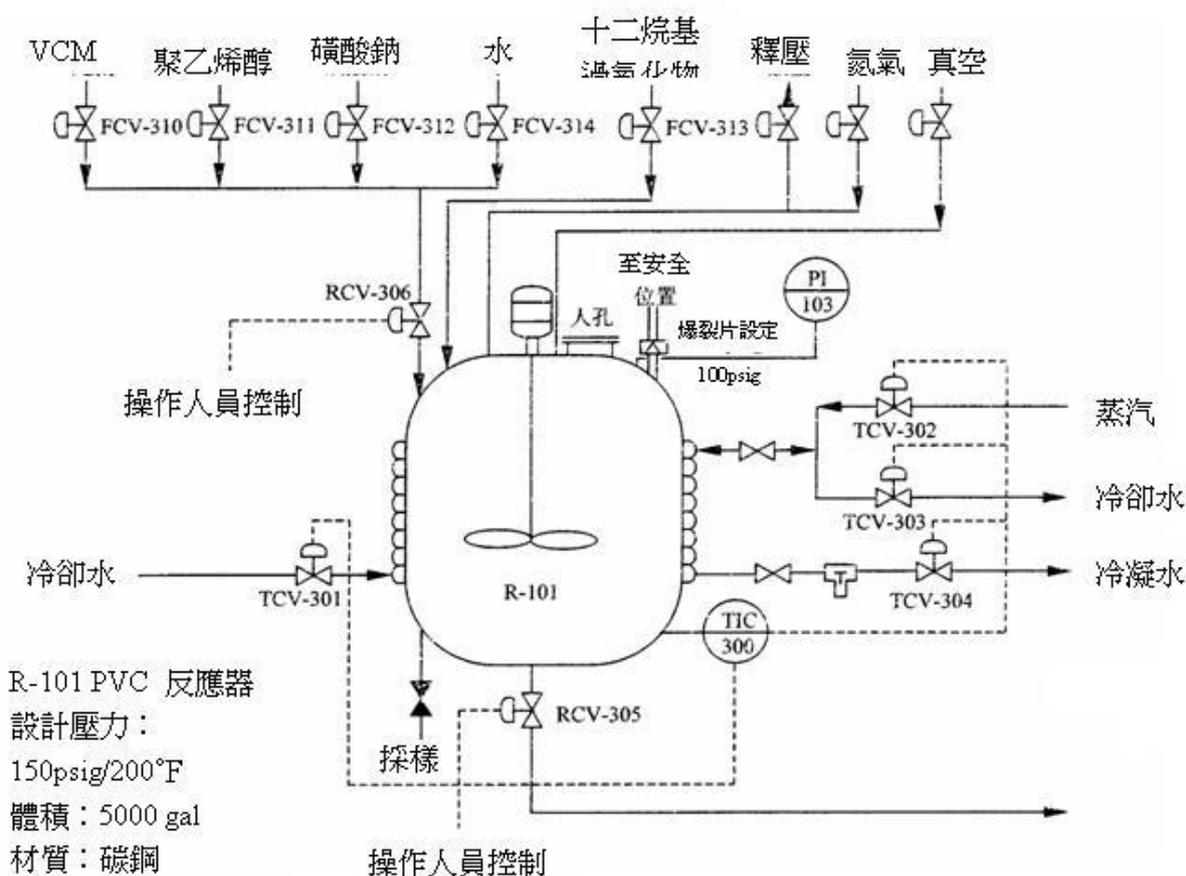
製程危害分析小組在初步瀏覽了 PVC 反應器的設計後認為需要兩種分析方法：一種分析方法是分析 PVC 反應器的位置，另一種方法是分析與 PVC 反應器有關的製程風險。只有 PVC 反應器需要考慮它的位置，因為 VCM 的投料量很大；當 VCM 轉化為 PVC 後，物料的危險性很小。

對於位置的選擇，製程危害分析小組很快將選項集中在 PHA 和相對危害等級這兩種方法上，這兩種方法主要是針對待分析設備和相關設備以及區域內的建築物。對於位

置的選擇，PHA 通常只提供定性的範圍，而製程危害分析小組需要更為詳細的結果，基於這種考慮，他們選擇了相對危害等級這種方法，因為它能對每個備選位置給出「安全評估」。

PVC 製程單元的詳細分析應該覆蓋較大範圍的危險，因此危害分析小組認為 What-If、FMEA、HAZOP 分析以及 Check-list 都可選用。因為對該新技術缺乏檢查表，因此不選用檢查表分析；在剩餘的方法中，危害分析小組相信 HAZOP 分析方法是最好的方法，因為它的引導詞能方便地用於批次製程，因此選擇了 HAZOP 分析方法。附錄表 41 是根據附錄表 40 之操作步驟，依序以 HAZOP 分析該 PVC 批次反應器之操作危害風險。

圖號	PVC 批次反應器	ABC 公司 VCM 裝置	製圖：	日期：	審核	日期	說明
			檢查：	日期：			
比例：無							



附錄圖 15 PVC 反應器批次製程之 P&ID 圖

附錄表 40 PVC 批次反應器操作程序

步驟	說明
1	檢查PVC反應器的所有進料閥門都已關閉，反應器是空的
2	打開真空管道閥門，將反應器中壓力降到10 psi
3	打開供水管路閥門，並注入2250 gal的水到反應器(設置水流量計量器)
4	開動攪拌器
5	關閉真空管線閥門
6	打開乙烯醇管線閥門，加入7 gal；打開磺酸鈉管線閥門，加入1 gal
7	打開十二烷基儲槽管線閥門，加入7 gal
8	打開VCM管線閥門，加入1700 gal單體
9	設定反應器溫度控制器為50°C；反應器加熱，約需8個小時；在50°C下保溫8個小時
10	當反應器中壓力降至7 psig時，打開真空管線閥門約15分鐘
11	將反應器冷卻至16°C
12	打開氮氣輸送管線閥門，充氮置換，在大氣壓力下排空
13	打開反應器排出閥門，將反應產物送入離心機

附錄表 41 PVC 反應器批次製程之 HAZOP 部分分析結果

PID圖號：○○○○○

操作程序訂定時間：○○/○○/2008

會議日期：○○/○○/2008

版本號：○○

危害分析小組：○○、○○○、○○○、○○○、○○○

項目	偏差	原因	後果	安全防護裝置	防護措施
1.PVC批次反應器－步驟1:檢查所有進料管道閥門已關閉，而且反應器是空的。					
1.1	無+檢查	操作人員失誤－跳過這一步	當有空氣存在時物料可能漏進反應器，有火災危險(單體和空氣)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 操作人員培訓 ➢ 擬訂操作程序 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 建立批次操作檢查表 ➢ 用儀表檢查閥門位置和反應器狀態 ➢ 增加反應器液位指示和高液位警報器
1.2	部分+檢查	操作人員失誤－跳過這一步	當有空氣存在時物料可能漏進反應器，有火災危險(單體和空氣)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 操作人員培訓 ➢ 擬訂操作程序 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 建立批次操作檢查表 ➢ 用儀表檢查閥門位置和反應器狀態 ➢ 增加反應器液位指示和高液位警報器
2. PVC批次反應器－步驟2: 打開真空管道閥門讓反應器壓力降到10 psi。					
2.1	無+抽真空	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 操作人員失誤－跳過這一步 ➢ 真空系統故障 ➢ 真空閥卡住而關閉 ➢ 反應器壓力表故障－錯誤顯示低 	反應器上部形成易燃物質或有毒物質混合物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 操作人員培訓 ➢ 擬訂操作程序 ➢ 真空系統警報器 ➢ 在控制室設有真空閥門位置顯示 	
2.2	流量多+抽	➢ 操作人員失誤	可能破壞反應器(假定使用低壓反應器)	➢ 操作人員培訓	➢ 分析真空系統的能力

	真空(真空度高)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 反應器壓力表故障—錯誤顯示高 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ 在控制室設有反應器壓力顯示 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 顛倒操作程序使反應器清潔 ➤ 在反應器上安裝第二具壓力表
2.3	流量多+抽真空(真空度低)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 操作人員失誤—跳過這一步 ➤ 真空系統故障 ➤ 真空系統閥門卡住關閉 ➤ 反應器壓力表故障—錯誤顯示低 	反應器上部形成易燃物質或有毒物質混合物	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 操作人員培訓 ➤ 擬訂操作程序 ➤ 真空系統警報器 ➤ 控制室壓力顯示 ➤ 在控制室設有真空閥門位置顯示 	
2.4	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 反+步驟1和步驟2(與步驟1和步驟2操作順序相反) 	操作人員失誤	反應器上部形成易燃物質或有毒物質混合物	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 操作人員培訓 ➤ 擬訂操作程序 	考慮對批次反應器使用程序控制
2.5	步驟2+伴隨+其他步驟(同時進行)	操作人員失誤	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 大量熱的單體從冷凝器釋壓閥排入大氣中 ➤ 有火災危險 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 操作人員培訓 ➤ 擬訂操作程序 	考慮對批次反應器使用程序控制

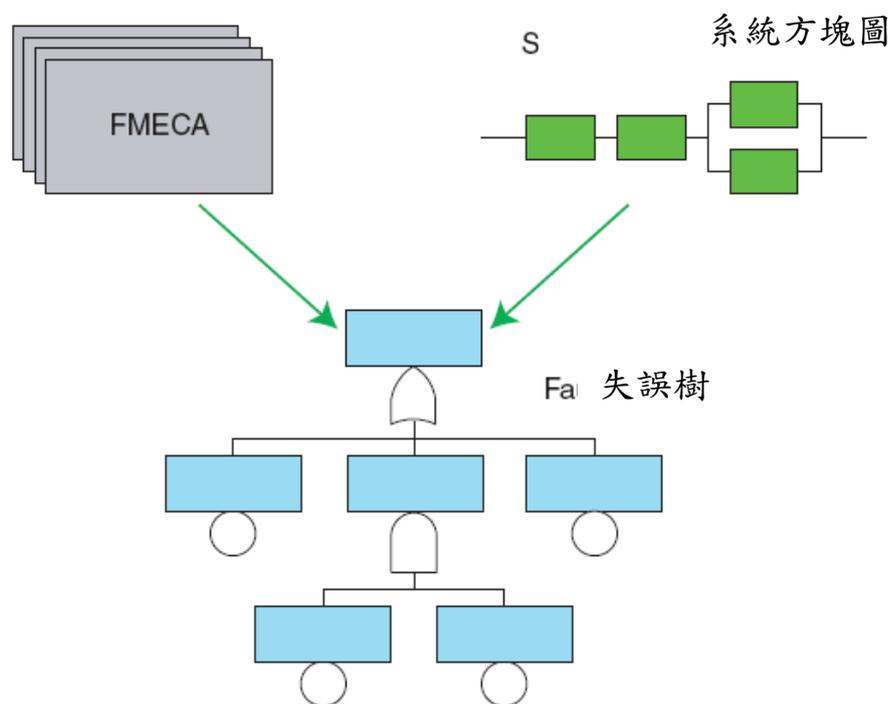
附錄表 42 根據 PVC 批次反應器 HAZOP 分析結果提出的建議

-
- (1) 批次反應器的操作採用程序控制器，由控制程序中在下一步操作前確認反應器是否處於正常狀態
 - (2) 在反應器上再安裝一具壓力表和溫度指示器
 - (3) 在操作程序上明確每一步閥門的位置狀態和工藝條件
 - (4) 為操作人員建立檢查表
 - (5) 規定進入反應器清理排出管道堵塞的安全程序
 - (6) 在離心機上再安裝一套振動檢測器和停車聯鎖
 - (7) 將離心機安裝在無人的房間以免碎片飛出傷人
 - (8) 檢測是否有其他VCM的反應物進入反應器
 - (9) 估計真空系統破壞反應器的能力
 - (10) 增加反應器液位指示器和警報器
 - (11) 用儀表檢查閥門的位置和反應器的狀態
-

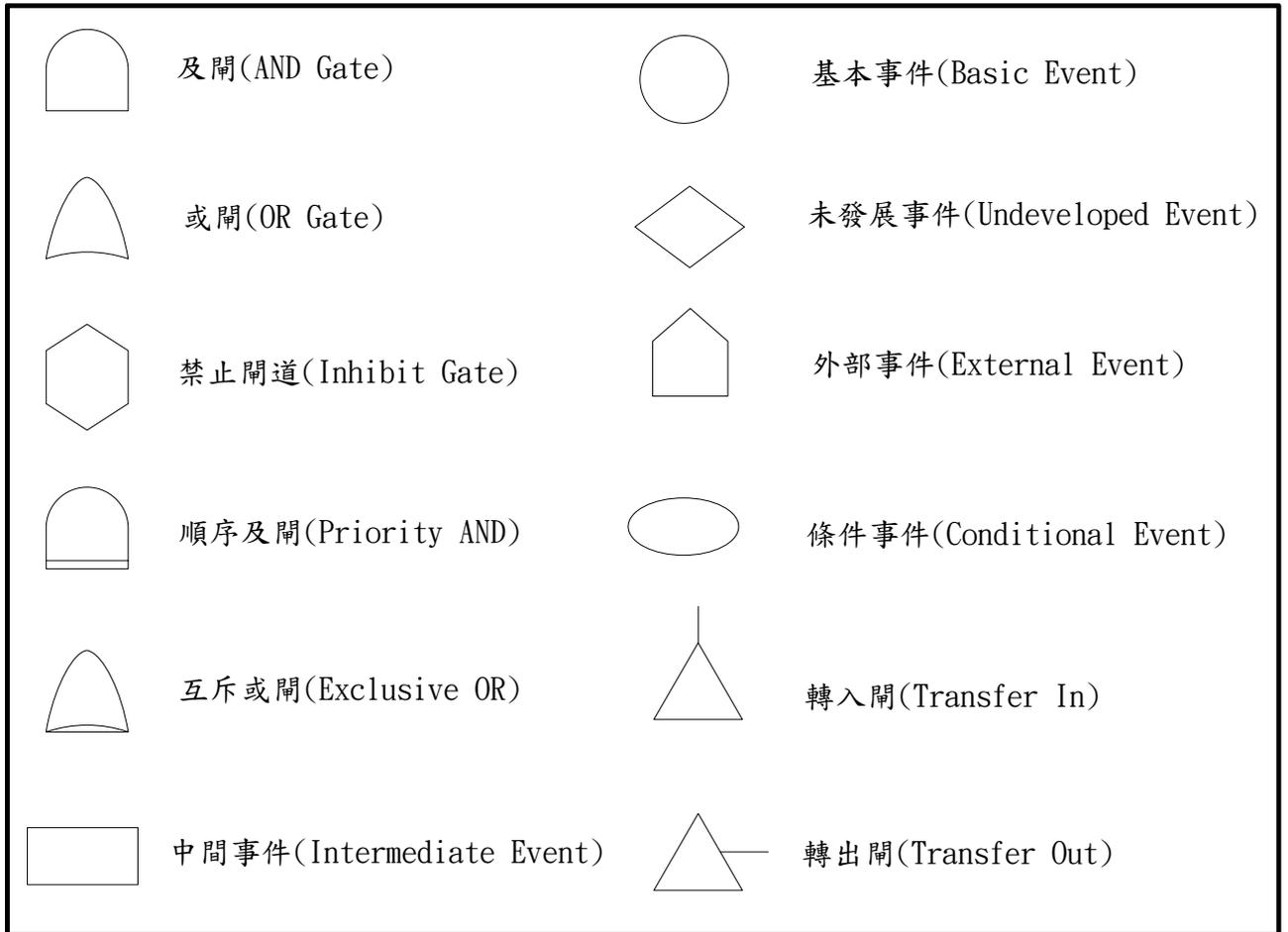
(八) 失誤樹分析(Fault Tree Analysis, FTA)

失誤樹分析(FTA, Fault Tree Analysis)是把系統可能發生或已發生的事故(稱為頂上事件)作為分析起點,將導致事故的原因事件按因果邏輯關係逐層列出,用樹形圖表示出來,構成一種邏輯模型。然後,對這種模型進行定性或定量分析,找出事件發生的各種可能途徑及發生概率,找出避免事故發生的各種方案並選出最佳安全對策。

頂上事件通常是由故障假設、HAZOP、FMEA(FMECA)等危害分析方法辨識出來的。失誤樹模型是原因事件(也是故障)的組合(稱為故障模式或失效模式),這種組合導致頂上事件如,附錄圖 16。這些故障模式稱為切割集合,最小切割集合是原因事件的最小組合,如果它們全部存在或全部發生將導致頂上事件的發生,換句話說要使頂上事件發生,最小切割集合中的所有事件必須全部發生。例如,如果切割集合中「無燃料」和「擋風玻璃損壞」全部發生,頂上事件「汽車不能啟動」也將發生,但最小切割集合是「無燃料」,因為它單獨發生也將導致頂上事件的發生;「擋風玻璃損壞」與汽車能否啟動無關。有時在失誤樹模型中可能包含一些特殊的條件或外部事件,如一定的裝置操作條件)。因此,一系列的最小切割集合表示事故發生的可能途徑,它們以設備故障、人為失誤及外部條件表示。



附錄圖 16 失誤樹的建構概念



附錄圖 17 失誤樹邏輯閘圖形

§8.1 失誤樹之類型

失誤樹是一種特殊的倒立樹狀邏輯因果關係圖，它用上述的事件符號、邏輯閘和轉移符號(如附錄圖 17)描述系統中各種事件之間的因果關係。邏輯閘的輸入事件是輸出事件的「因」，邏輯閘的輸出事件是輸入事件的「果」。

1. 二狀態失誤樹：如果失誤樹的底事件刻劃一種狀態，而其對立事件也只刻劃一種狀態，則稱為二狀態失誤樹。
2. 多狀態失誤樹：如果失誤樹的底事件有三種以上互不相容的狀態，則稱為多狀態失誤樹。
3. 規範化失誤樹：將畫好的失誤樹中各種特殊事件與特殊閘進行轉換或刪減，變成僅含有底事件、結果事件以及「和(AND)」、「或(OR)」、「非(NOT)」三種邏輯閘的失誤樹，這種失誤樹稱為規範化失誤樹。
4. 正規失誤樹：僅含故障事件以及和閘、或閘的失誤樹稱為正規失誤樹。

5. 非正規失誤樹：含有成功事件或者非閘的失誤樹稱為非正規失誤樹。
6. 對偶失誤樹：將二狀態失誤樹中的和閘換為或閘，或閘換為和閘，而其餘不變，這樣得到的失誤樹稱為原失誤樹的對偶失誤樹。
7. 成功樹：除將二狀態失誤樹中的和閘換為或閘、或閘換為和閘外，並將底事件與結果事件換為相應的對立事件，這樣所得到的樹稱為相應的成功樹。

§8.2 分析過程

失誤樹分析必須經過下列步驟：1. 確定分析問題；2. 構建失誤樹；3. 定性或定量分析失誤樹模型。

確定分析問題時必須選擇：1. 頂上事件；2. 分析的邊界條件。

分析邊界條件包括：

- (1) 系統的物理邊界
- (2) 不允許事件
- (3) 分析水準
- (4) 存在的條件
- (5) 初始條件
- (6) 其他假設

確定頂上事件確定頂上事件是最重要的第一步，頂上事件就是事故(或不希望的事件)，它是失誤樹分析的主題(該事件通常用前面介紹的危害分析方法識別出來的)。應準確確定系統或裝置的頂上事件，如果頂上事件的範圍太大或不能準確確定，則分析效果很差，根本達不到預期效果。例如，「裝置著火」這樣的頂上事件對失誤樹分析來說就太空泛了；相反，「氧化過程反應器在正常操作過程中的失控反應」就很恰當，這個事件說明了事件「發生何事」，在「發生於何地」以及在「發生於何時」發生。「發生何事」(失控反應)告訴了我們事故的類型，「發生於何地」(氧化過程反應器)告訴我們事故所在的系統或製程設備，「發生於何時」(在正常操作過程中)告訴我們整個系統的狀態。

系統的物理邊界是指失誤樹分析所包含的設備，與其他程序的設備界限，以及公用/支援系統。根據系統的物理邊界，分析人員應當擬定失誤樹事件的分析水準(簡單地講，分析水準就是失誤樹的詳細程度)，例如馬達驅動閥門可看成一個設備，或幾個設備組成(如閥體、內部構件、馬達驅動器)，還可以包括開關裝置，動力輸入以及操作者。在確定分析水準時要考慮能否得到相應分析水準下故障的詳細資料，這些資料可以從FMEA的分析結果或以前的安全分析得到，分析水準應當與分析目標及能獲得的資料

相配合。

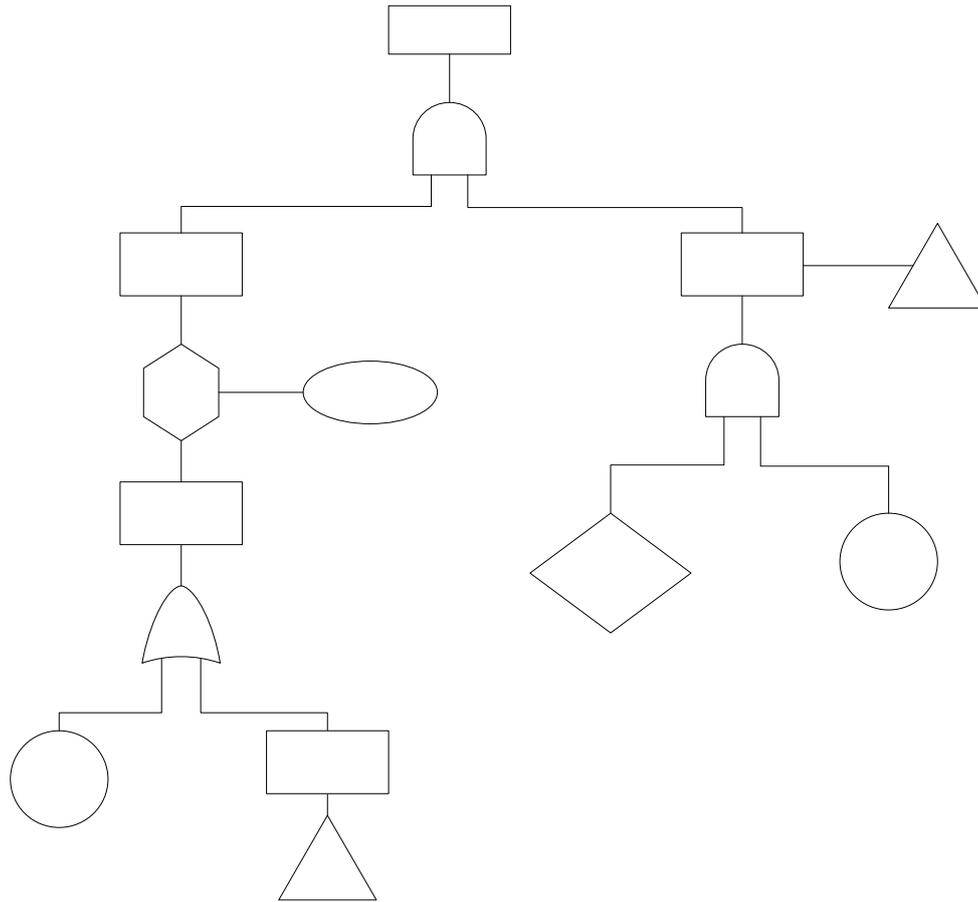
另一個邊界條件是設備的初始狀態或初始操作條件，這些資料說明了失誤樹分析中系統和設備的狀態。分析人員確定在系統物理邊界內哪個閥門開、哪個閥門關、哪台泵開、哪台泵關等，這些邊界條件說明了系統在無故障的正常操作條件下的狀態。

根據失誤樹分析的目的，不允許事件是指不大可能、或者因為其他原因不予考慮的事件。例如，可以不分析儀錶系統的線路故障。存在的條件(也是失誤樹分析的目的)是指一定會發生的事件或條件。通常，不允許的事件和存在的條件在已完成的失誤樹中不出現，但構建其他失誤樹時必須考慮它的影響。

當確定失誤樹的分析系統時，若有必要分析人員可作一些其他的假設。例如，分析人員假設系統是在正常能力的 50% 下操作。當確定了分析問題和建立了所有的邊界條件之後，就完全確定了系統的狀態。

如附錄圖 18，失誤樹的構建從頂上事件開始，一層一層的往下，直到找出所有的故障事件的基本原因(基本事件)。分析人員從頂上事件開始，用演繹和推理的方法確定導致頂上事件的直接的、必然的、充分的原因，通常這些原因不是基本事件，而是需進一步發展的中間事件。如果分析人員能立即找出頂上事件的基本事件，這樣的問題對失誤樹分析來說就太簡單了，可以用其他分析方法如 FMEA 來進行分析。

實際上，每一層事件(頂上事件和基本事件除外)既可看作是上一層事件的直接原因，也可看作是下一層事件的頂上事件。頂上事件的直接原因示於失誤樹中。如果任一直接原因導致頂上事件，則它與頂上事件的邏輯連接是「或閘」；如果所有的直接原因同時發生才會導致頂上事件，則它們與頂上事件的邏輯連接是「和閘」。頂上事件和基本事件之間的所有故障事件都是中間事件，應確定其原因並在失誤樹中用恰當的邏輯符連接起來，分析人員按照這樣的程序一直進行到找出所有中間事件的基本事件。



附錄圖 18 失誤樹的結構

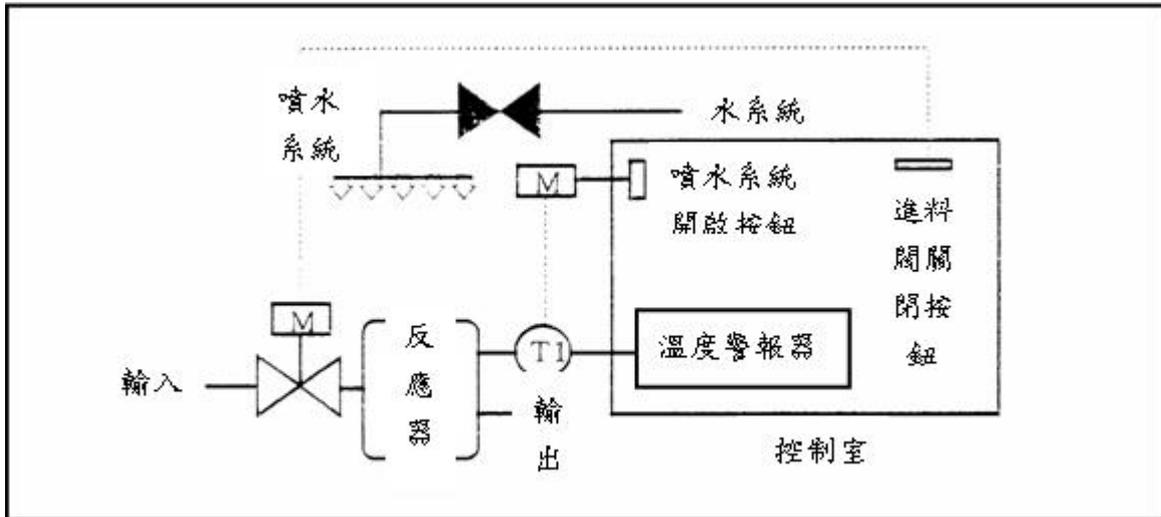
§8.3 應用實例一

如附錄圖 19 所示的反應系統，該系統的反應器非常不穩定，因為它對溫度略有升高非常敏感。該系統安裝有自動噴水系統，作為緊急冷卻以避免反應失控。在升溫過程中為避免失控反應，必須停止進料或者是自動噴水系統啓動。用感測器(T1)監測反應器的溫度，感測器與噴水系統連鎖，當檢測到溫度升高時將自動打開噴水系統閥門，同時感測器使裝在控制室的警報器作動，告訴操作人員反應器的溫度升高。當聽到警報後，操作人員關閉進料閥，停止向反應器進料。假如由感測器 T1 連鎖的噴水系統未工作，操作人員還將打開噴水系統。如果進料閥門關閉或噴水系統已工作，則因為避開了失控反應而使系統之破壞得以避免。

失誤樹分析的第一步就是確定分析問題，對本例來說，分析問題確定如下：

1. 頂上事件：因為溫度過高而損壞設備
2. 存在的事件：製程溫度過高
3. 不允許發生的事件：電力故障、開關故障、線路故障

4. 物理邊界：如附錄圖 19 所示，反應器前後的單元不考慮
5. 系統狀態：進料閥開，滅火系統閥門關閉
6. 分析水準：如附錄圖 19 所示的設備



附錄圖 19 反應器緊急冷卻系統示意圖

分析：

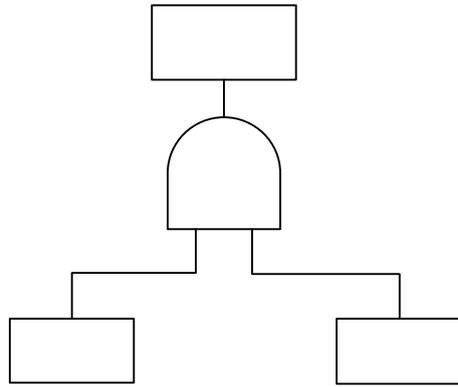
失誤樹的構建從頂事件開始，一層一層往下，直到所有故障者找到了它們的基本原因(基本事件)。開始時，首先確定頂上事件的中間的、必然的、充分的原因(即中間事件)，然後確定這些中間事件與頂上事件的邏輯關係。本例中可以確定兩個必須條件作為頂上事件(反應器中溫度升高)發生的條件：

1. 噴水系統無流量
2. 反應器進料閥保持開啓

因為這兩個事件必須同時發生才會導致頂上事件的發生，因此這兩個事件與頂上事件的邏輯關係為「和」，如附錄圖 20 所示。

繼續往下進行，即對上述兩個事件再找出其中間的、必然的、充分的原因，對事件「噴水系統無流量」有兩個可能的原因：

1. 無水輸送
2. 噴水系統閥門未打開

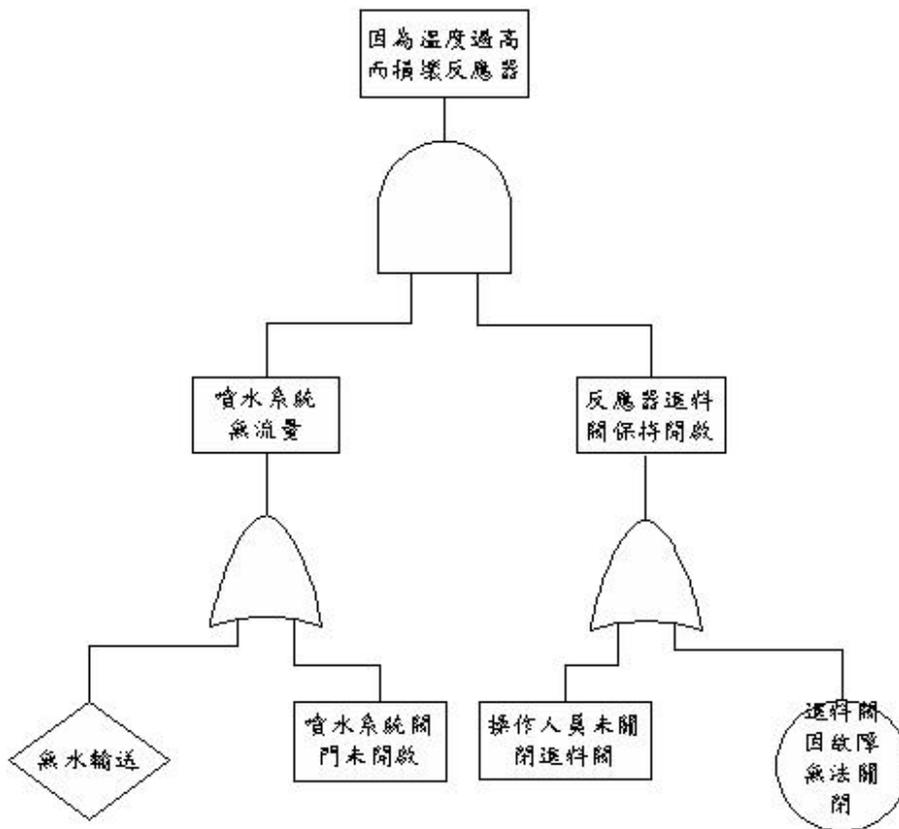


附錄圖 20 反應器緊急冷卻系統故障失誤樹建構過程例

因為這兩個原因中的任何一個原因其結果都將導致「噴水系統無流量」，因此它們之間的邏輯關係應為「或」，如附錄圖 21 所示。對於「無水輸送」的原因還需進一步分析調查，有多種可能的原因，但已超出了本分析問題的範圍，因此作為「未探明事件」，用菱形框表示之。

繼續構建失誤樹，直到找出所有故障事件的基本事件或達到本分析問題所確定的邊界為止。附錄圖 22 為最終完成的失誤樹。

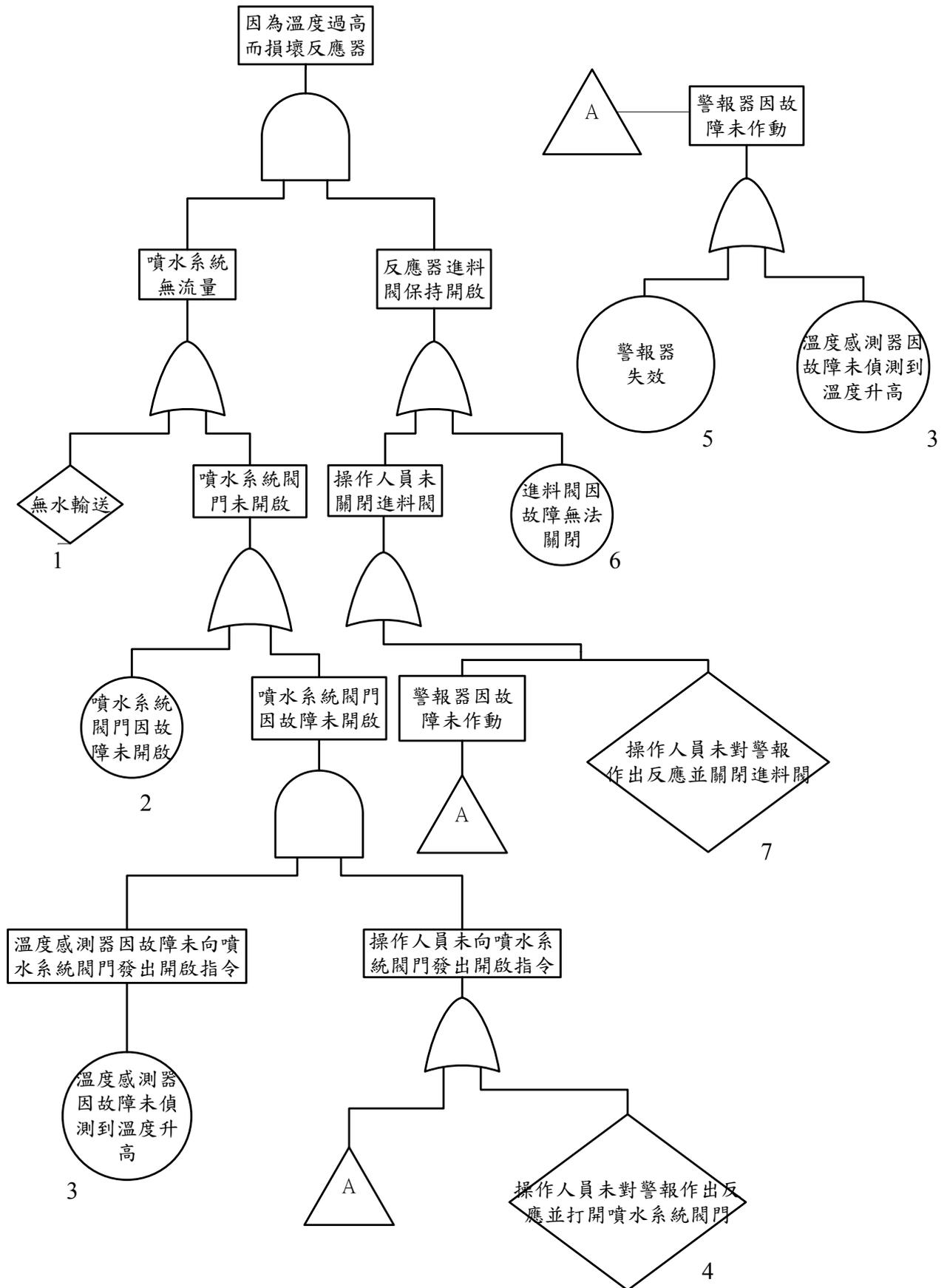
失誤樹分析的下一步是確定失誤樹的最小切割集合，附錄表 43 列出了最小切割集合，分析人員根據事件的重要程度將最小切割集合排序。



附錄圖 21 緊急冷卻系統故障樹構建過程之二

附錄表 43 緊急冷卻系統故障樹最小切割集合

最小切割集合序號	包含的基本事件	事件類型
1	3	執行設備故障
2	1;7	執行設備故障；人爲失誤
3	2;7	執行設備故障；人爲失誤
4	1;5	執行設備故障；執行設備故障
5	1;6	執行設備故障；執行設備故障
6	2;5	執行設備故障；執行設備故障
7	2;6	執行設備故障；執行設備故障



附錄圖 22 緊急冷卻系統冷卻故障失誤樹

§8.4 應用實例二－VCM 細部工程設計階段之失誤樹分析

問題背景描述：

在模廠試驗階段結束之後，ABC 公司準備建造一 VCM 工場。ABC 的工程設計公司完成了裝置設計的初稿(第一版)。在對工場設計圖進行修改之前，ABC 公司完成了 HAZOP 分析，確定了本階段遺留的安全和操作性問題。

HAZOP 分析發現的一個問題是焚化爐的爆炸問題－裝置的幾個部分都有可能發生製程干擾(Process Upset)，從而導致焚化爐爆炸。雖然分析小組已注意到焚化爐已有幾個安全連鎖裝置來避免這一事件的發生，但他們不能確信這些安全裝置就一定能避免此一事件的發生。因此，他們建議用失誤樹進一步分析焚化爐潛在事故。

專案部接受了 HAZOP 分析小組的建議，但是專案部擔心在設計過程進行修改太遲了；因為焚化爐是成套設備，若有需要，ABC 公司在兩年前就要訂貨，因此專案部要求 ABC 公司製程危害分析小組儘快完成有關分析，以免延誤。但是：1. 過程危險分析小組抽不出人員來完成這一分析；2. 分析人員缺乏失誤樹之分析經驗。因此，他們建議委託有危害分析和焚化爐經驗的公司來完成焚化爐的危害分析。

已有資料：

現在有關 VCM 裝置的資料有很多，但對失誤樹分析只需要某些資料就足夠了，主要是以下資料：

1. 焚化爐的管道和儀錶圖(附錄圖23)；
2. 以前進行的危害分析報告(包括最近完成的HAZOP分析)；
3. 焚化爐的結構及操作程序說明書(由供應商提供)；
4. 焚化爐的連鎖系統說明書(由供應商提供，如附錄表 44)；
5. 焚化爐、急冷槽、洗滌塔的設計說明書。

分析方法的選擇：

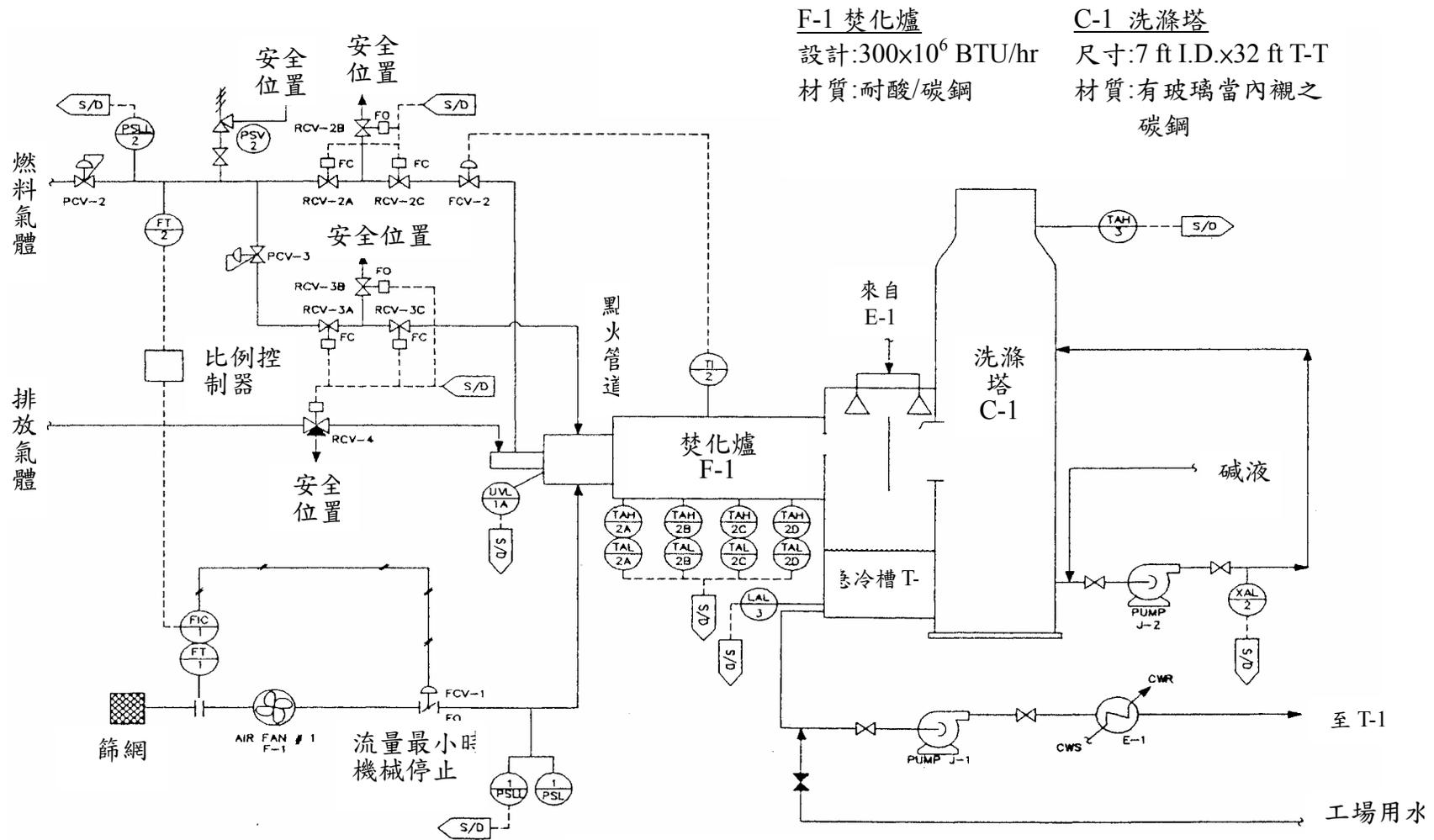
到目前為止 VCM 專案已進行了兩次危害分析：裝置設計版本號 0 時和焚化爐爆炸的危害分析。HAZOP 分析方法能準確識別裝置的安全與操作性問題，該方法在許多製程中廣泛採用。ABC 公司對 VCM 裝置設計第一版進行了 HAZOP 分析。

HAZOP 分析小組建議對焚化爐可能發生爆炸用失誤樹分析方法進行分析，雖然 ABC 公司製程危害分析小組認為可採用其他方法進行分析，但他們認為失誤樹分析更

合適，它特別適合對複雜系統的某一特定問題(事件)進行分析。

分析準備：

失誤樹分析準備工作包括以下內容：1. 弄清楚系統的設計和操作；2. 確定分析問題；3. 確定分析範圍。因為該裝置還處於設計階段，分析小組只能通過閱讀設計模式和工場設計圖來掌握 VCM 裝置的設備佈置情況。



圖號	F-1 焚化爐/洗滌塔	ABC 公司 VCM 裝置	製圖者	日期	00/00/2008
比例: 無			審核者	日期	00/00/2008

附錄圖 23 VCM 裝置焚化爐的管線和儀錶圖

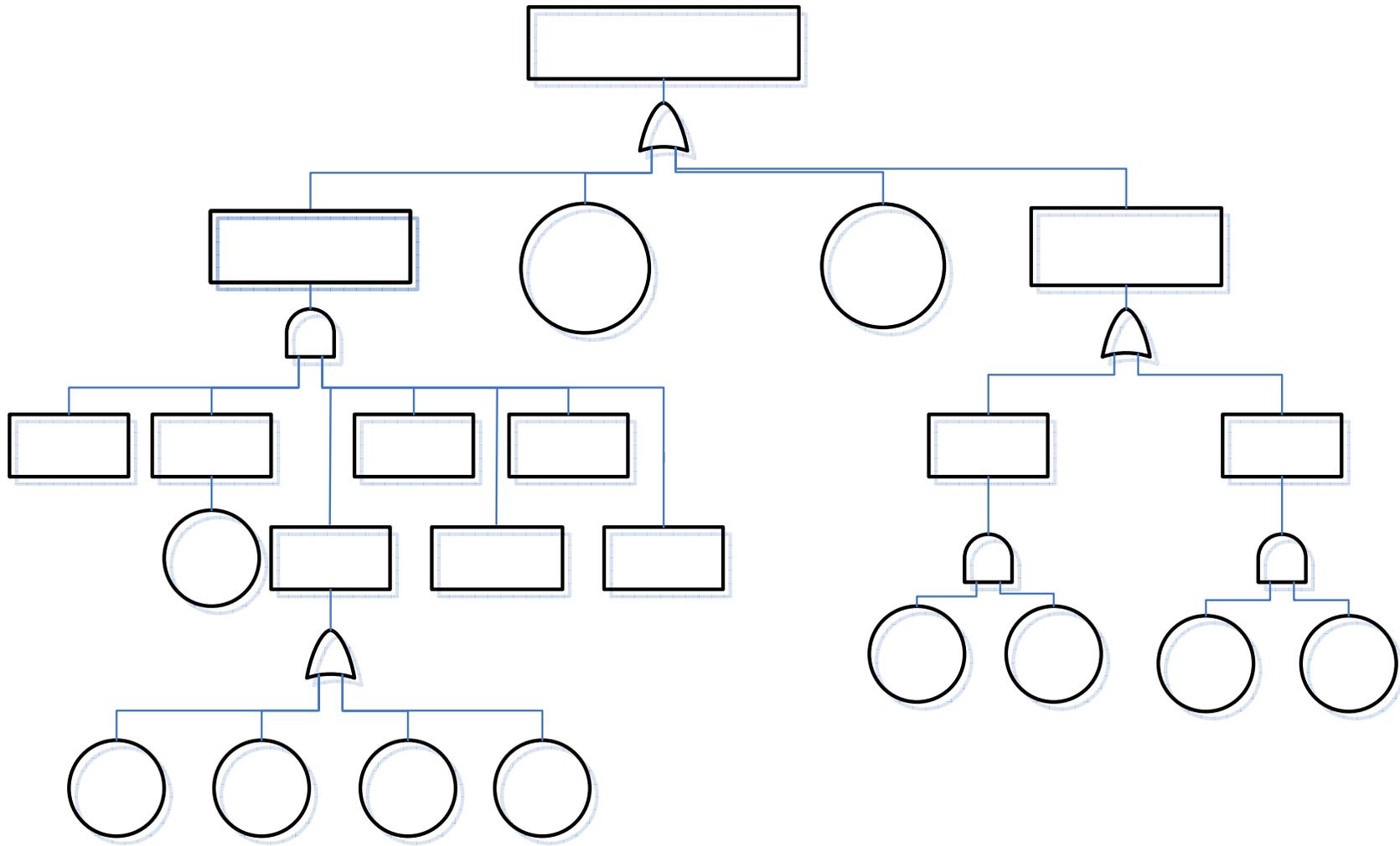
附錄表 44 VCM 裝置焚化爐的停俾連鎖系統

連鎖	數量
風機出口壓力低—低	PSLL-1
未檢測到火焰	UVL-1
燃料氣壓力低—低	PSLL-2
焚化溫度高(4 個感測器中有 3 個指示高)	TAH-2A/B/CD
焚化溫度低(4 個感測器中有 3 個指示低)	TAL-2A/B/CD
急冷槽液位低	LAL-3
洗滌塔 pH 值低	XA-2
洗滌塔煙囪溫度高	TAH-3

分析結果

如附錄圖 24，焚化爐發生爆炸需要三個或三個以上的故障發生。進一步分析發現：

1. 如果 PLC 或者放空隔離閥 RCV-4 單獨出現故障，而且程序干擾(IE-1)嚴重到足以使燃燒室的火焰熄滅(FFE)，將導致爆炸；
2. 如果熱電偶(TAH/L-2A/B/C/D)不能快速測知火焰已熄滅(對應溫度低)，那麼火焰掃描儀(UVL-1)是保護焚化爐的唯一有效感測器。



附錄圖 24 VCM 裝置焚化爐工程設計階段之失誤樹分析

(九) 事件樹分析(Event Tree Analysis, ETA)

事件樹分析(ETA, Event Tree Analysis)是用來分析普通設備故障或過程波動(稱為起始事件)導致事故的可能性。故障樹分析是演繹推理的過程,而事件樹分析是歸納推理的過程。在事件樹分析中,分析人員首先從起始事件開始,然後根據安全保護在事故發展過程中是否起作用(成功或失敗),分析可能導致事故的事件的可能順序。事件樹分析為記錄事故發生的順序過程以及確定導致事故的起始事件與後續事件的關係提供了一種系統的分析方法。

事件樹分析非常適合分析起始事件可能導致多個結果的情況。事件樹強調可能導致事故的起始事件以及起始事件到最終結果的發展過程。每一個事件樹的分枝代表一種事故發展過程,它準確地表明起始事件與安全保護功能之間的對應關係。

§9.1 分析方法與流程

事件樹分析包括六個步驟:1. 識別可能導致重要事故的起始事件;2. 識別為減小或消除起始事件影響設計的安全功能;3. 構建事件樹;4. 對得到的事故順序進行說明;5. 確定事故順序的最小割集;6. 編制分析結果檔。

選擇起始事件是事件樹分析的重要組成部分。起始事件應當是系統或設備故障、人為失誤或是過程波動,它們將可能導致事故,這主要取決於安全系統或操作工對起始事件的反應。

如果要找出某特定事故的原因,事件樹分析是比較合適的。在大多數的事件樹分析中,起始事件是“預料”,即是說裝置所設計的安全系統或規程是用來對起始事件作出反應並降低或消除起始事件的影響。

安全功能(安全系統、操作人員的措施行動等)將對起始事件作出反應,是裝置抵禦起始事件後果發生的防備功能。這些安全功能包括:

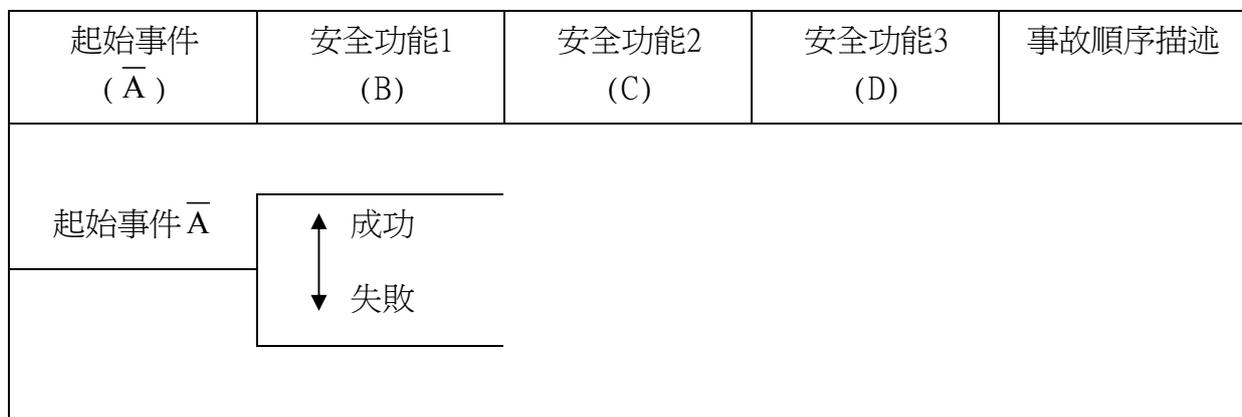
1. 系統自動地對起始事件作出反應(包括自動停俾系統);
2. 當起始事件發生時報警器向操作人員發出警報;
3. 操作人員按設計的行動或需要的規程對報警作出反應;
4. 冷卻系統、壓力釋放系統和洗滌系統啓動以減輕事故的嚴重程度;
5. 設置障礙或封鎖的方法以限制起始事件的影響。

這些安全功能是為了避免起始事件發展為惡性事故。分析人員應當確定這些安全

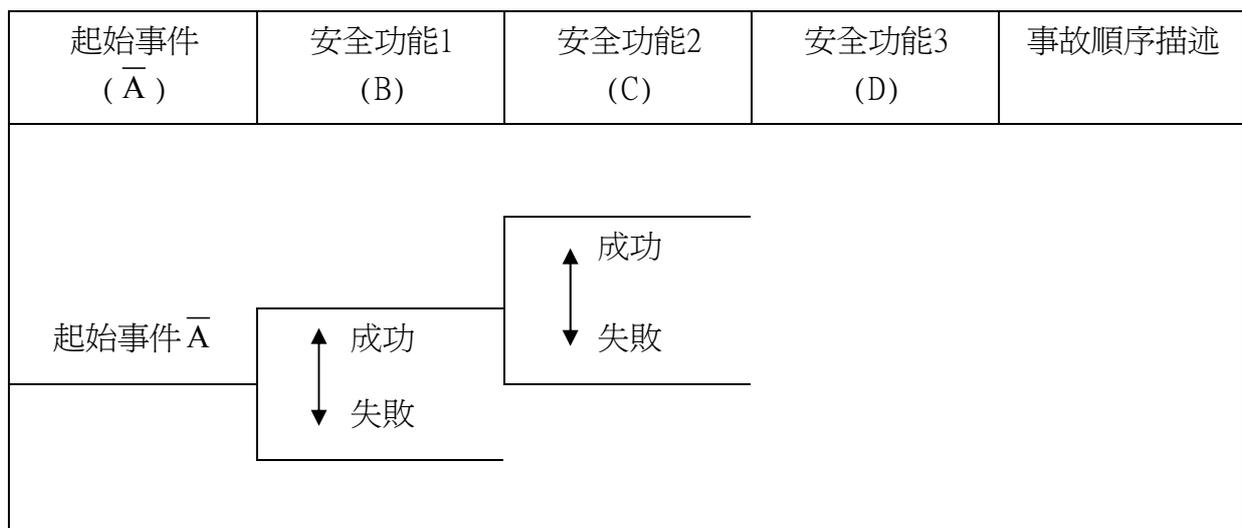
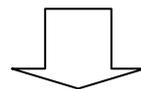
功能工作的先後順序及對事件的應答方式，應當說明這些安全功能的目的，事件樹中包括安全功能成功或失敗。

事件樹顯示從起始事件開始經歷控制和安全系統的反應到最終事故的發展過程，準確地確定了由起始事件導致的事故。雖然很多時候事肆可能同時發生，但分析人員試圖用圖形顯示安全功能起作用的先後順序。當分析安全系統對過程波動的反應時，分析人員應當仔細區分正常過程序控制制對波動條件的反應。

構建事件樹的第一步是放入起始事件和用於分析的安全功能。起始事件列在最左邊，安全功能列在最上邊。完成了事故的第一步分析。起始事件下面的直線表示事故從起始事件的發生到第一個安全功能的發展路徑。如附錄圖 25 所示。



(a)



(b)

附錄圖 25 事件樹的構建方式

下一步是分析安全功能。一般情況下只考慮兩種可能：即安全功能成功或失敗。分析人員在假設起始事件已經發生的前提下，確定當安全功能成功或失敗時是否對事故的發展過程有影響，如果有，故障樹分為兩條路徑以區分安全功能成功或失敗，通常安全功能成功的路徑在上，失敗的路徑在下；如果安全功能成功與否對事故的發展過程沒有影響，事件樹在該點就沒有分枝，直接到下一個安全功能。用字母(如 B、C 或 D)表示安全功能成功，字母上方加一橫線(如 \bar{B} 、 \bar{C} 或 \bar{D})表示安全功能失敗。

事件樹的每個分枝點產生了新的事故路徑，它們必須在後面的每個安全系統進行單獨的分析。當在事故路徑上分析安全功能時，分析人員必須假定前面的安全功能成功或失敗已經發生，附錄圖 25(b)所示是分析第二個安全功能時的情況。上面一條路徑需要一個分枝點，因為第一個安全功能是成功的，但是第二個安全功能仍然對事故發展進程產生影響；如果第一個安全功能失敗，則在下面一條路徑第二個安全功能將無法改變事故發展進程，因此下面這條路徑直接到達第三個安全功能。

附錄圖 26 構建完成後的事件樹

是最後完成的事件樹。最上面一條路徑在第三個安全功能處沒有分枝點，因為在設計這個系統時，如果第一和第二個安全功能成功，則當發生波動時不會用到第三個安全功能。其他的路徑在第三個安全功能處有分枝點，因為它仍然影響事故路徑。

事件樹分析程序的下一步是對各種事故順序進行說明，這些順序表示起始事件到事故的發展過程，其中一個或多個順序表示雖然起始事件發生了，但在安全功能的作用下又恢復了正常操作狀態或按程序停俾，但從安全的角度講，更關心那些可能導致事故的事務順序。

氧化反應器無冷卻水 (\bar{A})	氧化反應器高溫警報器當溫度為 T_1 時向操作工發出警報 (B)	操作人員讓冷卻水流到氧化反應器(C)	反應器中溫度達 T_2 時自動停俾(D)	事故順序描述
			$\bar{A} B C D$	事故 $\bar{A} B C D$ 說明
			$\bar{A} B \bar{C} D$	事故 $\bar{A} B \bar{C} D$ 說明
			$\bar{A} B C \bar{D}$	事故 $\bar{A} B C \bar{D}$ 說明
			$\bar{A} \bar{B} D$	事故 $\bar{A} \bar{B} D$ 說明
			$\bar{A} \bar{B} \bar{D}$	事故 $\bar{A} \bar{B} \bar{D}$ 說明

附錄圖 26 構建完成後的事件樹

§9.2 應用實例一

起始事件為「氧化反應器無冷卻水」，所設計的對該起始事件作出反應的安全功能如下：

1. 氧化反應器安裝了高溫警報器，當溫度為 T_1 時向操作人員發出警報；
2. 操作人員使冷卻水注入氧化反應器；
3. 當溫度為 T_2 時自動關閉反應器。

這些安全功能按發生的先後順序排列，警報器和停俾系統有各自的溫度感測器，警報器只是向操作人員發出已出現問題的訊息，附錄圖 27 氧化反應系統無冷卻水事件之事件樹

是起始事件和安全功能的事件樹。

氧化反應器 無冷卻水 (\bar{A})	氧化反應器高溫 警報器當溫度為 T_1 時向操作工發 出警報 (B)	操作人員讓冷 卻水流到氧化 反應器(C)	反應器中溫度 達 T_2 時自動停 俾(D)	事故順序描述
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> 起始事件 \bar{A} </div> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;"> 成功 ↑ ↓ 失敗 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> $\bar{A}BCD$ $\bar{A}\bar{B}\bar{C}D$ $\bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}$ $\bar{A}\bar{B}D$ $\bar{A}\bar{B}\bar{D}$ </div> </div>				安全回復正常操作 安全狀態，自動停俾 非安全狀態，失控反應，操作人員知道出現問題 安全狀態，自動停俾 非安全狀態，失控反應，操作人員不知道出現問題

附錄圖 27 氧化反應系統無冷卻水事件之事件樹

§9.2 應用實例二－VCM 細部工程設計階段之事件樹分析

問題背景描述：

在模廠試驗階段結束之後，ABC 公司準備建造一 VCM 工場。ABC 的工程設計公司完成了裝置設計的初稿(第一版)。在對工場設計圖進行修改之前，ABC 公司完成了 HAZOP 分析，確定了本階段遺留的安全和操作性問題。

HAZOP 分析發現的一個問題是焚化爐的爆炸問題－裝置的幾個部分都有可能發生製程干擾(Process Upset)，從而導致焚化爐爆炸。雖然分析小組已注意到焚化爐已有幾個安全連鎖裝置來避免這一事件的發生，但他們不能確信這些安全裝置就一定能避免此一事件的發生。因此，他們建議用事件樹進一步分析焚化爐潛在事故。

專案部接受了 HAZOP 分析小組的建議，但是專案部擔心在設計過程進行修改太遲了；因為焚化爐是成套設備，若有需要，ABC 公司在兩年前就要訂貨，因此專案部

要求 ABC 公司製程危害分析小組儘快完成有關分析，以免延誤。但是：1. 過程危險分析小組抽不出人員來完成這一分析；2. 分析人員缺乏事件樹之分析經驗。因此，他們建議委託有危害分析和焚化爐經驗的公司來完成焚化爐的危害分析。

準備以下資料：

1. 焚化爐的管線和儀錶圖(附錄圖 28 VCM裝置焚化爐的管線和儀錶圖(P&ID))；
2.)；
3. 以前進行的危害分析報告(包括最近完成的HAZOP分析)；
4. 焚化爐的結構及操作程序說明書(由供應商提供)；
5. 焚化爐的連鎖系統說明書(由供應商提供，如附錄表 45)；
6. 焚化爐、急冷槽、洗滌塔的設計說明書。

分析方法的選擇：

到目前為止 VCM 專案已進行了兩次危害分析：裝置設計第一版和焚化爐爆炸的危害分析。HAZOP 分析方法能準確識別裝置的安全與操作性問題，該方法在許多製程中廣泛被採用。ABC 公司對 VCM 裝置設計第一版進行了 HAZOP 分析。

HAZOP 分析小組建議對焚化爐可能發生爆炸用事件樹分析方法進行分析，雖然 ABC 公司製程危害分析小組認為可採用其他方法進行分析，但他們認為事件樹分析更合適，它特別適合對複雜系統的某一特定問題(事件)進行分析。

分析程序：

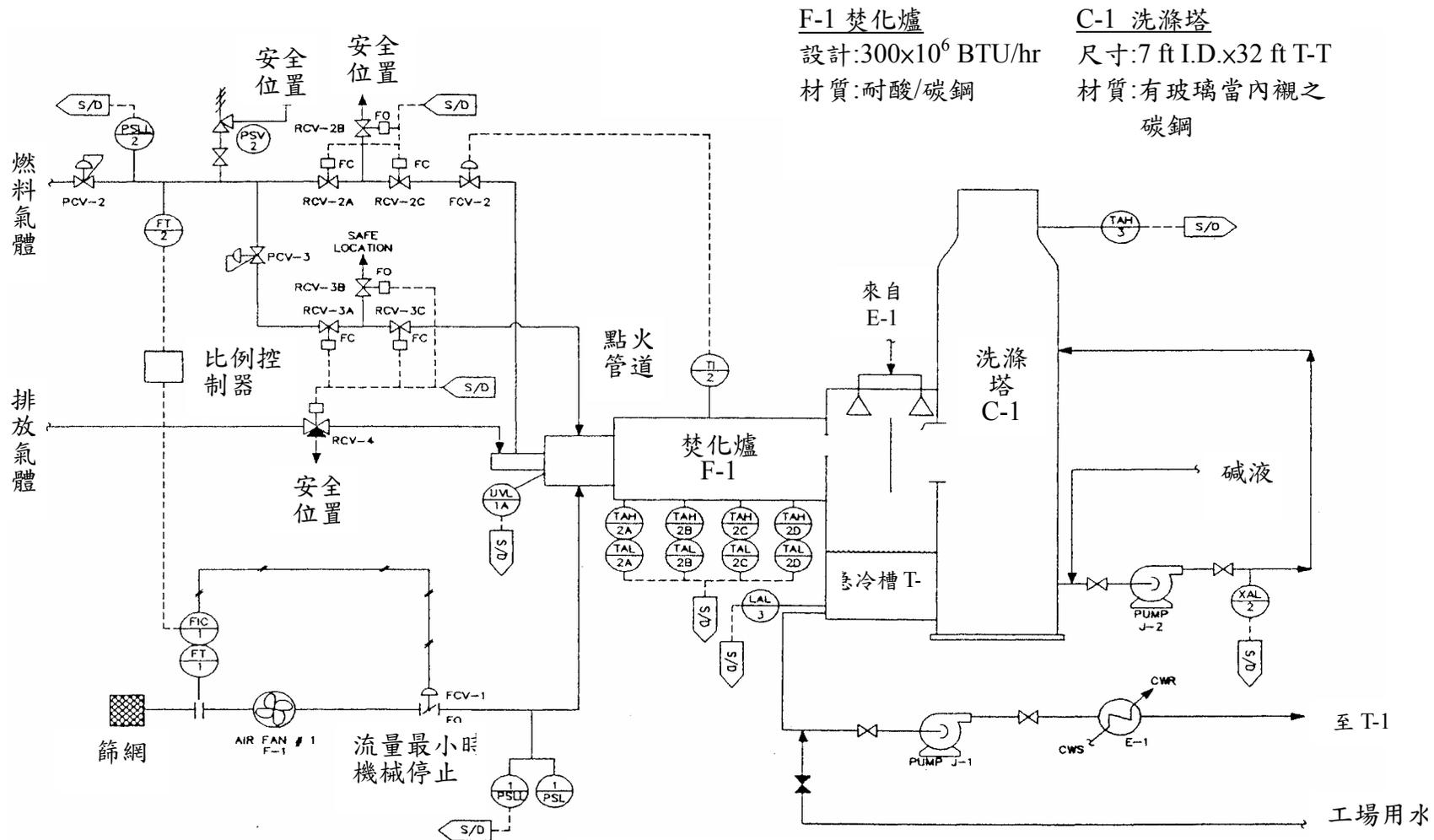
事件樹分析準備工作包括以下內容：1. 釐清系統的設計和操作及 HAZOP 分析之結果(透過 PID 圖、系統說明、停俾連鎖、供貨商提供的操作手冊等，以及之前面對 VCM 裝置進行危害分析的報告)；2. 確定分析問題；3. 確定分析範圍。因為該裝置還處於設計階段，製程危害分析小組只能通過閱讀設計模式和工場設計圖來掌握 VCM 裝置的設備佈置情況。

經過與操作人員討論焚化爐事故是如何發生的，以及如何避免焚化爐發生事故；還進一步與設計人員一起討論焚化爐整體設備之設計依據，最後確定了分析的問題和範圍。最初公司只要求考慮因為程序干擾引起焚化爐爆炸的問題，但製程危害分析小組認為焚化爐發生火災、有毒氣體釋放以及停俾疏忽也應該考慮。他們還注意到連鎖裝置避免發生爆炸(或其他事故)所採取的動作與引起焚化爐波動的原因有關。在類似的分析中，製程危害分析小組發現事件樹分析方法在確定導致不利後果的保護系統故障組合方面很有效。經過進一步討論，製程危害分析小組同意對焚化爐系統的所有安全事故建立

事件樹模型。但對操作性問題(如停俾不當)及外部事件(如洪水、飛機墜毀、地震等)不考慮，對公用系統的故障不進行詳細分析。而且假定裝置和焚化爐的操作一開始是正常的。製程危害分析小組認為開俾和停俾操作也非常重要，但是因為此階段尚在設計階段，資料有限，因此不予考慮。在建立基本事件樹之前，製程危害分析小組查閱了焚化爐系統的設計和操作情況，他發現焚化爐由三個主要部分構成：燃燒室、急冷室(quench tank)、洗滌塔，設計的燃燒室是燃燒 VCM 裝置釋放的所有易燃物質，燃燒後的熱氣體用水冷卻，然後在洗滌塔中洗滌除去有毒物質。

對 VCM 裝置的 HAZOP 分析找到了一些設備由於程序干擾將導致大量物質釋放到焚化爐中。製程危害分析小組假定可能超過焚化爐的處理能力，而且可能熄滅焚燒的火焰，從而引起爆炸，事件樹中也必須包括這個因素。

為了建立事件樹，分析小組根據 HAZOP 分析結果報告和經驗首先列出了焚化爐安全系統將遇到的起始事件，然後對每個起始事件，分析焚化爐安全系統對程序干擾的保護作用；根據這些資料，以事件樹描述了導致安全後果的條件、安全系統成功或失敗。注意，如果只考慮一種後果，則同一安全保護系統面臨所有的故障起始事件，只用失誤樹就能建立焚化爐的風險模型。



圖號	F-1 焚化爐/洗滌塔	ABC 公司 VCM 裝置	製圖者	日期	00/00/2008
比例: 無			審核者	日期	00/00/2008

附錄圖 28 VCM 裝置焚化爐的管線和儀錶圖(P&ID)

附錄表 45 VCM 裝置焚化爐的停俾連鎖系統

連鎖	數量
風機出口壓力低—低	PSLL-1
未檢測到火焰	UVL-1
燃料氣壓力低—低	PSLL-2
焚化溫度高(4 個感測器中有 3 個指示高)	TAH-2A/B/CD
焚化溫度低(4 個感測器中有 3 個指示低)	TAL-2A/B/CD
急冷槽液位低	LAL-3
洗滌塔 pH 值低	XA-2
洗滌塔煙囪溫度高	TAH-3

分析結果：

附錄圖 29 是分析小組建立的事件樹模型。起始事件為某一程序波動，事件樹包括下列安全系統功能及製程條件：

1. 裝置的某部分發生嚴重干擾；
2. 波動將熄滅(或不熄滅)燃燒室火焰；
3. 焚化爐停俾連鎖系統工作並關閉焚化爐，(注意：HAZOP分析小組未辨識出任意程序干擾將使焚化爐過熱)；
4. 急冷系統冷卻來自焚化爐的氣體；
5. 洗滌塔有效地除去廢氣中的有毒物質。

並不是所有的行動/條件都要用於每個事故情況。例如，事件情況 1~3(即發生干擾後沒有熄滅燃燒室火焰)表示如果急冷系統發生故障，洗滌塔就不能有效地除去廢氣中的有毒物質；同樣，如果燃燒室的火焰未熄滅，焚化爐關閉系統就不會有問題。

附錄圖 30 表示焚化爐系統的另一事件樹，該事件樹的起始事件是「燃料氣壓力低」。最初分析小組認為該事件樹的結構與附錄圖 29 的事件樹結構一樣，只是起始事件不同而已；但是在分析過程中，經與設計工程師和焚化爐的供貨商討論後得出「燃料壓力低」極有可能導致燃燒室火焰熄滅，因此，刪除了安全保護措施中「火焰不熄滅」這一項。

事件樹構建完成之後，分析小組人員與設計人員對事件樹進行了分析和修改。在分析過程中，分析小組人員與工程師們討論了事件樹的邏輯問題，特別是每一個事件樹的每一個事故順序；確定哪一個干擾是起始事件，哪一個安全系統成功或失敗，焚化爐火焰處於哪種情況，根據這些資料分析組對事件樹中的每個事故情況的後果進行了定性說明。

嚴重干擾	燃燒室火焰未熄滅 (F)	焚化爐停俾(I)	急冷系統運作(Q)	洗滌塔運作(S)	事故順序描述	識別碼	後果
Initial Event 1 (IE-1)					FQS	1-1	安全釋放
					$FQ\bar{S}$	1-2	放出部分有毒物質
					$F\bar{Q}$	1-3	放出大量有毒物質，焚化爐破壞
					$\bar{F}IQS$	1-4	放出部分有毒物質
					$\bar{F}IQ\bar{S}$	1-5	放出部分易燃和有毒物質
					$\bar{F}I\bar{Q}$	1-6	放出部分易燃和有毒物質，洗滌塔輕微破壞
					$\bar{F}\bar{I}$	1-7	爆炸，有毒物質釋出

附錄圖 29 VCM 裝置事件樹(起始事件－程序干擾)

燃料氣壓力低	焚化爐 關閉(I)	冷卻系統 運作(Q)	洗滌塔 運作(S)	事故順序 描述	識別碼	後 果
Initial Event 2 (IE-2)				IQS	2-1	部分易燃物 質釋出
				$IQ\bar{S}$	2-2	部分易燃和 有毒物質釋 出
				$I\bar{Q}$	2-3	部分易燃和 有毒物質釋 出；洗滌塔輕 微破壞
				\bar{I}	2-4	爆炸；有毒物 質釋出

附錄圖 30 VCM 裝置事件樹(起始事件－燃料氣壓力低)

(十) 依我國職災統計災害類型及媒介物分類之風險評估法

附錄表 46 災害類型表

分類 編號	分 類 項 目	分類 編號	分 類 項 目	分類 編號	分 類 項 目	
1	墜落、跌落	9	踩踏	17	不當動作	
2	跌倒	10	溺斃	18	其他	
3	衝撞	11	與高溫、低溫之接觸	19	無法歸類者	
4	物體飛落	12	與有害物等之接觸	21	交通 事故	
5	物體倒塌、崩塌	13	感電	22		公路交通事故
6	被撞	14	爆炸	23		鐵路交通事故
7	被夾、被捲	15	物體破裂	29		船艙、航空器交通事故
8	被切、割、擦傷	16	火災		其他交通事故	

附錄表 47 媒介物分類表

分類編號			分類項目	分類編號			分類項目	
大	中	小		大	中	小		
1			動力機械	2	21		起重機械	
	11		原動機		211		起重機	
		111	原動機		212		移動式起重機	
	12		動力傳導裝置		213		人字臂起重機	
		121	傳動軸		214		升降機、提升機	
		122	傳動輪		215		船舶裝卸裝置	
		123	齒輪		216		吊籠	
		129	其他		217		機械運材、索道機械、集材裝置	
	13		木材加工用機械		219		其他	
		131	圓鋸		22		動力搬機械	
		132	帶鋸			221		卡車
		133	鉋面鋸			222		堆高機
		139	其他			223		事業內、軌道設備
						224		輸送帶
	14		營造用機械		229		其他	
		141	牽引機類設備		23		交通工具	
		142	動力鏟類設備			231		汽車、公共汽車
		143	打樁機、拔樁機			232		火車
		149	其他			233		其他
	15		一般動力機械		3			其他設備
		151	車床			31		壓力容器類
	152	鑽床	311				鍋爐	
	153	研磨床	312				壓力容器	
	154	沖床、剪床	319			其他		
	155	鍛壓鎚	32			化學設備		
	156	離心機		321			化學設備	
	157	混合機、粉碎機	33			熔接設備		
	158	淬筒機		331			氣體熔接	
	159	其他		332			電弧熔接	
2			裝卸運搬機械					

附錄表 47 媒介物分類表(續)

分類編號			分 類 項 目	分類編號			分 類 項 目		
大	中	小		大	中	小			
3	33	339	其他	5	51		危險物、有害物		
	34		爐窯等		511		爆炸性物質		
		341			爐窯等	512		引火性物質	
	35		電氣設備		513		可燃性物質		
		351			輸配線電路	514		有害物	
		352			電力設備	515		輻射線	
		353			其他	519		其他	
	36		人力機械工具		52			材料	
		361				521		金屬材料	
		362				522		木材、竹子	
		363				523		石頭、砂、小石子	
		364				529		其他	
	37		用具		6			貨物	
		371				61			運搬物體
		372					611		已包裝貨物
		379					612		未包裝貨物
	39		其他設備		7			環境	
		391				71		環境	
	4		營建物及施工設備		7	711		土砂、岩石	
		41				營建物及施工設備	712		立木
411				713			水		
412				714			特殊環境		
413				715			高低溫環境		
414				719			其他		
415				9			其他類		
416				91			其他媒介物		
417						911		其他媒介物	
418						92		無媒介物	
419			99	999			不能分類		
5		物質材料							

[例一]

附錄表 48 危害鑑別風險評估表(參考例)

作業 頻率	項 目	事故類型	機械設備 或作業	頻 率	嚴重 率	風險 值	改善對策	對策後 風險	備註
經常	1	墜落、滾落	進入機械 室階梯	3	3	9	設扶手	2	
	2	跌倒	無	3	1	3		1	
經常	3	衝撞	1.原物料 出入口 2.原料搬 運車插入 口	3	1	3	1.堆高機設 剎車裝置 2.設導軌及 剎車裝置	1	
	4	物體飛落							
	5	物體倒塌、 崩塌							
	6	被撞							
	7	被夾、被捲							
	8	被切、割、 擦傷							
(略)									
	20	交通事故							

(十一) 日本厚生勞動省數值化風險評估法

日本厚生勞動省為推行其所訂勞動安全衛生管理系統指針(該系統參照國外職業安全衛生管理系統而訂)中之風險評估，由日本中央勞働災害防止協會編有風險評估擔當者實務教材並加以推行，其內容所採數值化風險評估法如下：

1. 可能性及重大性區分設定：主要針對受傷身體部份的影響及災害、健康障害的內容：
嚴重性區分例(下例分為四級，亦可分為三級、五級)及點數。
2. 風險數值化的計算：
例如：某事件可能性高為4點，可能導致重傷重大性為6點，頻率為經常發生，其組合計算為：
風險值=重大性+可能性+頻率
如：重大性(重傷)+可能性(高)+頻率(時常發生)=6+4+2=12
3. 依風險分類及採取的對策。

附錄表 50 嚴重度區分例及點數

輕微	<ul style="list-style-type: none"> ● 表皮之傷、輕微的切傷及衝擊、粉塵進入眼睛。 ● 不快感及刺激(如頭痛)，一時身體不適之健康障害。 	1 點
輕傷	<ul style="list-style-type: none"> ● 裂傷、火傷、振動障害、重大挫傷。 ● 重聽、皮膚炎、氣喘、上肢傷害、永久的輕微失能健康障害。 	3 點
重傷	<ul style="list-style-type: none"> ● 切斷(指等)、重大切斷(腕、足)、重傷中毒。 	6 點
致命傷	<ul style="list-style-type: none"> ● 致死外傷或中毒死亡。 	10 點

附錄表 51 可能性區分例及點數

確實	<ul style="list-style-type: none"> ● 提高相當的注意力也會造成災害。 	10 點
可能性高	<ul style="list-style-type: none"> ● 一般的注意力會造成災害。 	4 點
有可能	<ul style="list-style-type: none"> ● 不留意災害就會發生。 	2 點
幾乎不發生	<ul style="list-style-type: none"> ● 不需特別注意，災害不會發生。 	1 點

附錄表 52 危險有害頻度區分例及點數

經常發生	每日有人常頻繁的接近。	4 點
時常發生	有問題時，修理時或調整時等需進入。一次/周~一次/月。	2 點
幾乎很少	人進入的時候幾乎沒有。一次/年。	1 點

附錄表 53 依風險數值分類及採取的對策

分類	內 容	風險評點數	處置基準
V	有立即解決的問題	14-20	立即中止並改善
IV	有重大問題	12-13	優先改善
III	有問題	9-11	重新檢討
II	有點問題	6-8	計畫改善
I	可以容許	5以下	對殘留之風險對應採教育及人員配置等

[例]

利用日本厚生勞動省風險評估數值表評估衝壓作業之風險：

(如附錄表 54)

附錄表 54 日本厚生勞動省風險評估數值表例

1.作業名稱 (機械、設備)	2.危險性或有害性因素與可能發生之災害(災害發生過程以「因為～所以～」+「結果～」描述之)	3.既有之災害防止對策	4.風險評估				5.風險降低對策	6.研擬對策後之風險				7.對策措施		8.備註
			嚴重度	可能性	頻率	風險		嚴重度	可能性	頻率	風險	對策實施日	下年度檢討事項	
衝壓作業(1號衝壓機)	1-1 雖採用雙手式按鈕並裝設光感式安全裝置，但助手作業員從兩側或後方伸入取出不良品時，手部可能遭模具夾傷。	雙手式按鈕與光感式安全裝置	10	2	2	IV (14)	衝壓機側面(兩側)與後方加裝護欄。	1	1	1	I (3)	2006年 O/25	採取綜合性對策並藉由模具之改善檢討使用非手動作業之可能性。	優先順序高。僅就手部須自兩側或後方伸入之危險性檢討其風險。(安全裝置因受限於條件 $D>1.6(T_1+T_s)$ 之故，另以其他項目說明。)
同上	1-2 雖採用雙手式按鈕操作，但因光感式安全裝置故障無法發生功用，導致作業員取出不良品時手部遭模具夾傷。	雙手式按鈕與光感式安全裝置	10	6	2	IV (18)	由現場主任級主管於作業前確認光感式安全裝置是否正常。	10	2	1	IV (13)	2006年 O/1	修改衝壓機之設定，確保光感式安全裝置故障時機器停止動作。	優先順序高。就光感式安全裝置故障時之危險性所檢討之風險評估。(安全裝置，雖符合 $D>1.6(T_1+T_s)$ 之條件，但萬一機器故障風險極高，故檢討改善系統以求根本解

														決。)
同上	2.衝壓作業員因未戴安全帽以致碰觸滑塊前方時撞及頭部。	強制規定衝壓作業員配戴安全帽	10	2	4	IV (16)	要求作業員注意服裝，務必穿戴安全帽等並由監督者管理之。	10	1	2	IV (13)	2006年 X/1	監督者每日於作業前後巡邏確認之。	優先順序高。建議採用非手動式模具以將風險提高至等級1。
同上	3.廢料散亂不整，導致衝壓者絆倒。	整理整頓現場環境	3	2	4	III (9)	徹底整理整頓現場並由監督者管理之。	3	2	2	II (7)	2006年 X/1	同上	優先順序中。修改模具以避免廢料飛散，降低風險發生機率。
同上	4.衝壓機旁廢料與工具散落凌亂，導致搬運者絆倒，加工品飛散撞擊其他作業員。	整理整頓現場環境	3	4	2	III (9)	除徹底整理整頓現場外並訂定工具保管場所由監督者管理之。	3	1	2	II (6)	2006年 X/1	改善工具管理方法俾使作業員一目瞭然。	優先順序中。將整理整頓視為基本安全對策並推動公司上下之5S運動。

同上	5.衝壓作業員後方之作業員因肩上扛物行動不穩，因此跌倒受傷。	無具體搬運對策	3	2	4	III (9)	1.限制搬運重量(確保通路或樓梯平坦)				II (6)	2006年 Y/1		優先順序中。製作物品搬運手冊並由監督者指導作業員遵守之。
							2.單獨搬運重物時利用搬運車。							
			(備註)當變更作業方法時需檢討是否可能發生新風險(往 6)											
同上	6.搬運車於衝壓作業員正後方通過，撞傷作業員。(當檢討 5 之風險降低對策時所發生之新風險)。	無具體對策	3	2	4	III (9)	規定搬運車(運貨車)與人之通路，避免兩者接觸	3	1	1	I (5)	2006年 Z/30		優先順序中。製作搬運車操作手冊並由監督者指導作業員遵守之。

註1：此一覽表依各製程分別填寫。填寫時先找出各製程之所有作業(作業步驟)並篩選危險性或有害性因素後進行。

註2：嚴重度、可能性及頻率係指各評估標準案例中所示之傷病輕重度、發生之可能性與接近危險性或有害性因素之頻率。等級欄內之()係評估分數(風險點數)。

三、安全評估方法

(一) 工研院工作安全分析法

先依作業流程及特性訂出安全衛生危害鑑別與風險評估作業流程圖(如附錄圖 31)。其次設計出適合事業單位內工作場所之「危害鑑別與風險評估表」(如附錄表 56)，依據「職務及作業清查表」所清查之結果再將所有作業展開。依各種狀態鑑別關鍵作業並將可能發生原因及後果影響，詳細分析最後提出保護措施—防治措施，完成上述步驟後即可根據組織內所設定之條件進行風險評估。

1. 鑑別編號：

以流水碼依序編列。

2. 作業/活動

包含四部份，正常、維修保養、異常、緊急應變皆須列入考量(依實際作業情況填入附錄表55之職務與作業盤點表)。

3. 危害類型

依附錄表57之災害類型表作危害類型之預知。

4. 造成危害之因子

從原物料、工具、機械、設備及環境等方面思考可能造成危害之因子。

5. 步驟／節點：

依據SOP(標準作業程序)或O/I(操作執行規範)，將其操作步驟逐一列出，並整合出「關鍵性步驟」，針對「關鍵性步驟」，進行危害鑑別與風險評估。

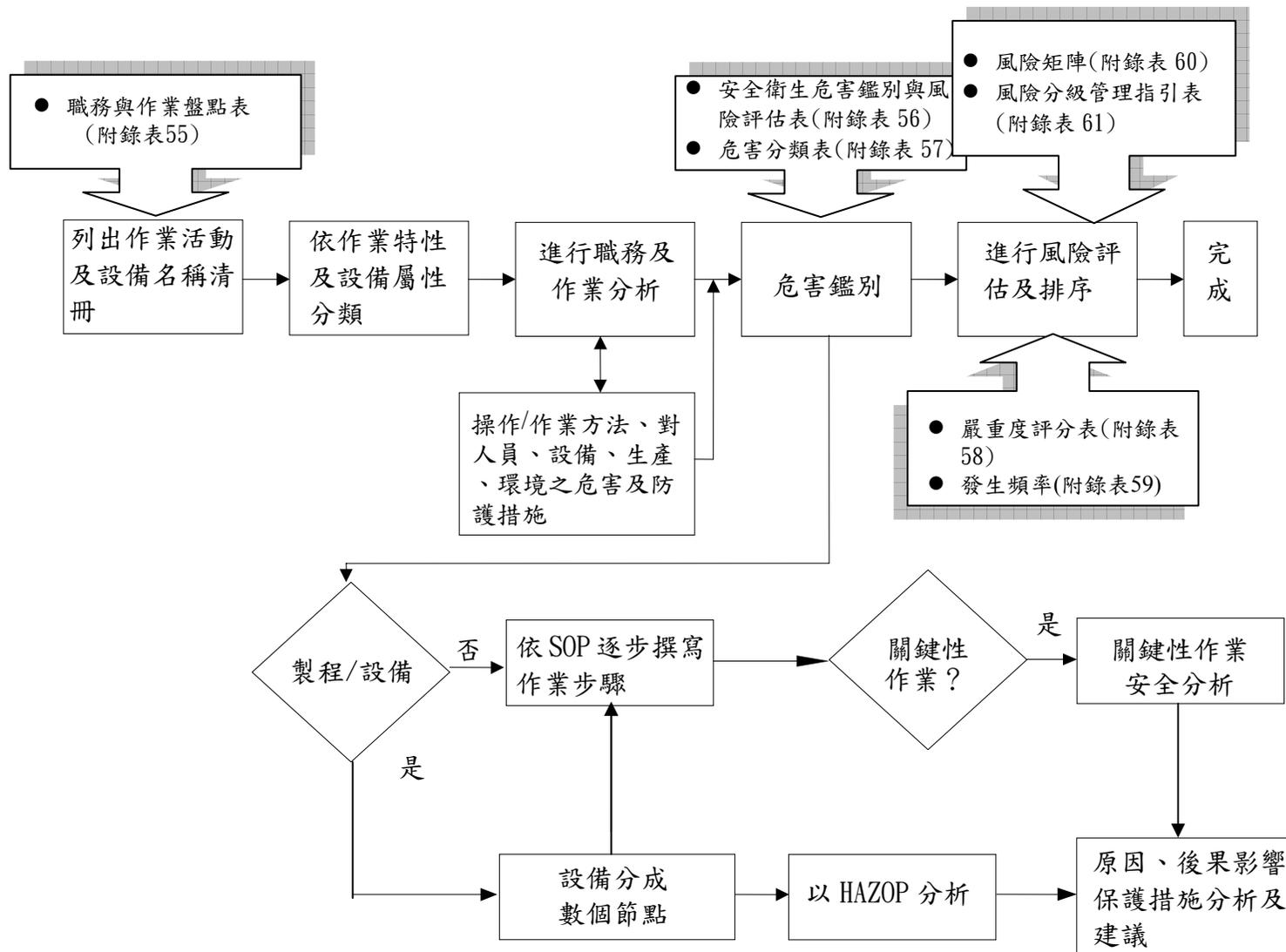
例如：儲運部門將「油槽操作及油槽檢查步驟」之動作，由原先SOP中數個步驟，找出其關鍵步驟(有危害之步驟)，而調整為3個步驟，分步驟討論其數個「可能發生原因」。針對設備／機台將其區分數個單元(節點)，針對每個節點分別討論其數個一可能發生原因。

6. 可能發生原因：

為使風險評估能有效展開，每一個步驟及節點，可能有數個「可能發生原因」，應針對各原因，分項填寫。

評估時務必明確寫出「真因」，說明清楚因「某動作不執行」或「某設備元件異常」，造成後果之發生原因。

7. 後果影響：
針對發生原因，產生之後果影響說明。如一個「可能發生原因」，有數個後果。
8. 保護措施：
係指軟體保護及硬體保護措施，撰寫需同時考量軟、硬體措施，並詳盡填寫。
如：
 - (1) 硬體措施：係指工程控制類，如：警示、警報、連鎖、偵測(環境、毒性氣體、可燃性氣體、氧氣、火警、洩漏、液位、溫度、壓力)、個人防護具(防護手套、可攜式呼吸器、護目鏡、安全索)、局部排氣系統、防墜器、接地等。
 - (2) 軟體措施：教育訓練、各類合格證、健康檢查、緊急應變、工作安全許可、上鎖／掛籤、各種SOP、日常巡檢、自動檢查…。
9. 改善建議：
針對現階段保護措施不足，需再提出之建議項目。如：硬體設備改善、SOP修正、加強教育訓練……等。
10. 風險評估
 - (1) 風險評估係指：後果可能性(附錄表58)與後果嚴重性(附錄表59)做矩陣分析。
 - (2) 各項評估應獨力考量單項評估種類，不應綜合其他因素。
 - (3) 各項評估請選擇最嚴重情況之欄位，即應考量該選項得分最高之欄位。
 - (4) 風險等級表，如附錄表60。



附錄圖 31 危害鑑別與風險評估流程圖

附錄表 55 職務與作業盤點表

單位(組):○○○ 部門:○○○

日期: ○○○○年○○月○○日

職 稱	作業/活動	鑑別編號	備 註
技術員/副領班	設備一級保養		
	除銹	B10042	
	擦拭	B10043	
	油漆	B10044	
全體人員	丙烯系統騰空作業		
	排Flare	B10045	
	N ₂ 積壓再排Flare	B10046	
	Steam Purge	B10047	
全體人員	液氨系統騰空作業		
	排中和池	B10048	
	Steam Purge	B10049	

部門主管:○○○

評估人:○○○

附錄表 56 危害鑑別與風險評估

單位(組):○○○ 部門:○○○

日期: ○○○○年○○月○○日

鑑別編號	作業/活動	危害類型	造成危害之因子 (原物料、工具、 機械、設備、環 境)	危害類型說明 (對人員、設備 、環境、財務 危害/損害)	風險評估			現有管 控措施	備註
					發 生 頻 率	嚴 重 性	風 險 等 級		
	丙烯系統騰空作業								
B10045	重成份排放	凍傷	丙烯	人員不小心遭凍傷	3	C	4	加裝監測螢幕、人員訓練、著手套	
B10046	排至燃燒塔(Flare)	黑煙	丙烯	排放量太大造成黑煙	3	D	4	加裝監測螢幕、人員訓練	
B10047	蒸汽迫淨 (Steam Purge)	燙傷	蒸汽	人員遭燙傷	3	C	4	訓練及著耐溫手套	
	液氮系統騰空作業								
B10048	液氮系統騰空作業之 液氮排放中和作業工 作指導書	化學品洩 漏、與有 害物接觸	氨氣	氨氣排放量大，無 法被硫酸中和而 逸散空中，導致人 員遭嗆傷	2	C	3	工作指導書	
B10049	Steam Purge	燙傷	蒸汽	人員遭燙傷	3	C	4	工作指導 書、訓練及著 耐溫手套	

部門主管:○○○

評估人:○○○

附錄表 57 危害分類表

分類編號	分類項目	分類編號	分類項目	分類編號	分類項目
1	墜落、跌落	9	踩踏	17	不當動作
2	跌倒	10	溺斃	18	其他
3	衝撞	11	與高溫、低溫之接觸	19	無法歸類者
4	物體飛落	12	與有害物等之接觸	21	交通事故
5	物體倒塌、崩塌	13	感電	22	
6	被撞	14	爆炸	23	
7	被夾、被捲	15	物體破裂	29	
8	被切、割、擦傷	16	火災		

附錄表 58 嚴重等級分類

	環境衝擊 (洩漏中毒)	人員傷亡	財產損失	生產損失
A	及於廠外	一人死亡或三人受傷	2000 萬元以上	停工一個月
B	及於場(製程單元)外	永久失能	1000 萬元至 2000 萬元	停工二週
C	工場(製程單元)內	暫時失能	500 萬元至 1000 萬元	停工一週
D	局部設備附近	醫療傷害	500 萬元以下	短時停爐
E	無明顯危害	無明顯危害	無明顯危害	無明顯危害

附錄表 59 發生頻率分類

1	經常的(於相似工廠操作中，一年一次或數次)。
2	可能的(於相似工場操作中，約一至十年發生一次；或十家相似工場中，一年至少發生一次以上)。
3	也許的(於相似工場操作中，約十至百年發生一次；或於百家相似工場中，一年至少發生一次以上)。
4	稀少的(於相似工場操作中，約百年以上發生一次；或於百家相似工場中，一年發生一次以下)。
5	極少的(不大可能發生的)。

附錄表 60 風險等級

後果嚴重性	危害發生可能性				
	1	2	3	4	5
A	1	1	2	3	無可能
B	2	2	3	4	無可能
C	3	3	4	4	無可能
D	4	4	4	4	無可能
E	無危害	無危害	無危害	無危害	無危害

附錄表 61 風險分級管理指引表範例

風險等級	風險控制規劃(一般性)	備註
1-嚴重	在風險降低前不能開始或繼續作業，若任何不計成本的改善措施仍無法降低風險時，必須立即禁止作業。	不可接受風險，應發展風險控制計畫，將其風險降至 4 或 5。
2-高度	在風險降低前不可開始作業，可能需要相當多的資源以降低風險，若現行作業具高度風險，應盡速進行風險降低措施。	
3-中度	應盡力降低風險，而預防的成本須詳加衡量，在一定時程內，應執行降低風險措施。當中度風險可能導致嚴重後果時，應進一步更精確評估事故發生的可能性，以作為改善控制方案的基礎。	
4-低度	不須額外增加控制措施，在不增加成本條件下，應考慮增加更符合成本效益的解決或改善方法，須定期查核以確保控制措施之持續性。	可接受
5-輕度	不須任何控制，列入巡檢監視項目。	

(二) 澳洲昆士蘭政府工作場所風險分類列表

附錄表 62 澳洲昆士蘭風險分類表

風險後果 機率	極端的	重大的	中等的	輕微的
非常可能	1	2	3	4
有可能	2	3	4	5
不可能	3	4	5	6
非常不可能	4	5	6	7

極端的危害風險：死亡或永久殘廢。

重大的危害風險：嚴重身體傷害或工作引發重病。

中等的危害風險：需要意外處理之傷害或疾病。

輕微的危害風險：僅需暫時處理而不需請假的輕傷害或疾病。

非常可能：可能經常發生。

有可能：可能偶爾發生。

不可能：可能會發生，但很希罕。

非常不可能：是會發生，但很可能永遠不會發生。

上表中風險分類之數字及風險優先處理的順序、數目字愈大表示風險愈低。如：

得分1、2 或3 表示應立即對此等風險採取措施。

得分4 或5 表示應提早對此等風險採取措施。

得分6 或7 表示不需要對此等風險採取措施。

附錄表 63 工作場所危害辨識表

(工作場所每個辨識出的危害須各自填寫一份表格)

填表者：_____ 簽名 _____ 編號：_____						
填表日期： 年 月 日						
危害辨識 危害： 相關風險： 與風險有關之特殊情況： 風險分類：(圈選其一) <input type="checkbox"/> 輕微 <input type="checkbox"/> 可立即處理 <input type="checkbox"/> 有法規／參考標準／產業作業標準／指導資料 <input type="checkbox"/> 可依循該法規／參考標準 <input type="checkbox"/> 其他 ／產業作業標準/指導資料						
風險評估 現行控制方法： 可能性： <input type="checkbox"/> 很可能 <input type="checkbox"/> 可能 <input type="checkbox"/> 不可能 <input type="checkbox"/> 非常不可能 後果： <input type="checkbox"/> 嚴重 <input type="checkbox"/> 重大 <input type="checkbox"/> 中等 <input type="checkbox"/> 輕微 風險分數(參照下表)：						
風險控制 可能的控制方法： 較可行的控制方法(及其理由)：						
執行計畫						
控制方法	相關活動	須要資源	負責人員	預定執行日期	簽名與日期	預定審查日期

審查

有控制方法嗎？

*有 *無， 建議

控制方法有降低風險嗎？

*有 *無， 建議

有否產生新問題？

*有 *無， 建議

風險評分表

可能性	後果			
	嚴重事故	重大事故	中等事故	輕微事故
非常可能	1	2	3	4
有可能	2	3	4	5
不可能	3	4	5	6
非常不可能	4	5	6	7

附錄表 66 工作場所分組風險評估表

(工作場所每個小組各填一份表格)

小組名稱：		填表人簽名：		填表日期： 年 月 日			
作業/ 活動 內容	危害 (編 號)	風險 (編號)	風險說明	現行管 制方法	可能性 (參照下表)	後果 (參照下表)	風險分數(1-7)
其他意見							

可能性： 發生的可能性	後果：影響安全與衛生的嚴重性			
	極端嚴重事 故-死亡或 終身殘廢	重大事故-嚴 重身體傷害 或疾病	中等事故-須要以災難 處理的中等傷害或疾病	輕微事故- 以急救處理的輕微傷害或疾病，沒有工時的損失
非常可能-可能經常發生	1	2	3	4
有可能-可能偶爾發生	2	3	4	5
不可能-可能會發生，但 很希罕	3	4	5	6
非常不可能-是會發生， 但很可能永遠也不會發 生	4	5	6	7

附錄表 67 風險控制表

(每個風險各填一份表格)

小組名稱：		填表人簽名：		填表日期：年 月 日	
風險(編號)	風險分數(參考表 3-5)	可能的控制方法		將優先實施的控制方法及其理由	
其他意見：					

附錄表 68 風險控制實施表

(每個風險各填一份表格)

作業小組名稱		填表人簽名：							
作業/活動內容		危害編號							
危害		風險編號							
相關風險		風險分數(參考表格 3.5)							
優先實施的控制方法	預定實施方法								
	預定活動	所需資源	負責人	預定實施日期	延期時		完成		預定審查日期
					原因	展延期限	簽名	日期	
1									
2									
3									
4									
其他意見：									

(三) Dow 火災爆炸指數

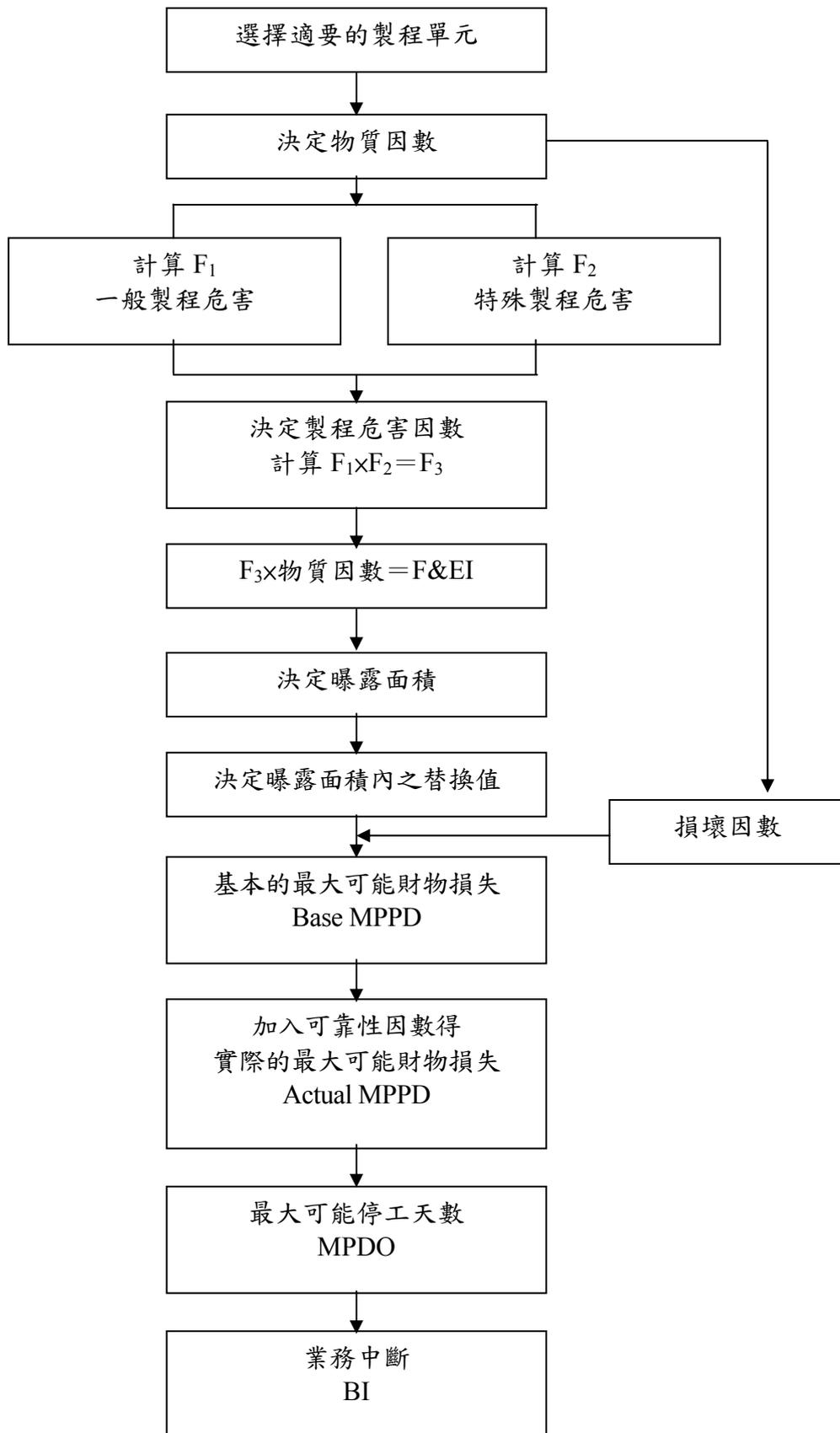
Dow F&EI 適用於大型製程設備、塔槽(可適用的最小量為 5,000 磅)。分析步驟如下：

1. 由製程工廠配置圖、系統流程圖與製程特性選擇適要的且對火災爆炸而言有較大影響的製程單元或次系統。例如 SBR 橡膠工廠可能有下列的製程單元：預重合槽、反應器、脫除器、單體回收塔、液化室、SM 洗滌塔。倉庫也可視為一個製程單元，尤其物料儲存在有防火牆之區域內，或儲存於未設防火牆之整個儲存區內，都構成一個製程單元。
2. 決定每個製程單元或次系統的物質因數，參考 Dow F&EI 第七版評估指引。(決定以下所有因數時都必須參考評估指引，以給予應有之指數)
3. 評估「一般製程危害」，考慮以下因素：
 - (1) 放熱反應
 - (2) 吸熱反應
 - (3) 物料處理和輸送
 - (4) 封閉或室內之製程單元/次系統
 - (5) 通道
 - (6) 排放和洩漏控制
4. 評估「特殊製程危害」，考慮以下因素：
 - (1) 毒性物質
 - (2) 真空操作
 - (3) 接近或在易燃範圍中操作
 - (4) 塵爆
 - (5) 操作壓力與釋放壓力
 - (6) 低溫
 - (7) 大量可燃性物質產生之燃燒熱
 - (8) 腐蝕和浸蝕
 - (9) 洩漏—接頭和法蘭墊圈
 - (10) 使用加熱爐
 - (11) 熱油熱交換系統

(12) 轉動設備

5. 前述兩項因數的乘積為「單元危害因數」(unit hazard factor)，此乃量測製程單元曝露於危害的程度。而由物質因數配合單元危害因數的參數，可用以決定代表損失曝露程度的「損壞因數」(damage factor)。
6. 單元危害因數和物質因數的乘積即為火災爆炸指數(F&EI)，並可由陶氏化學公司的經驗決定該製程單元/次系統的潛在曝露面積。
7. 估計曝露面積內所有設備的價值，即為「基本的最大可能財務損失」(base maximum probable property damage, Base MPPD)。
8. 由製程序控制制、物料隔離、消防等三方面的投入與措施，決定損失控制「可靠性因數」(credit factors)。
9. Base MPPD 加入第 8 項因素的考慮，將會獲得某些保護功能，損失將縮小，可估計為實際的 MPPD。

評估流程如附錄圖 32 所示。以液化石油氣(LPG)球槽為例，示範火災爆炸指數，F&EI=183.58，實際可能最大財產損失約為美金三百一十萬元，但營業中斷損失將達美金一仟八百三十三萬元。



附錄圖 32 F&EI 計算流程圖

[例一]

附錄表 70 火災爆炸指數

評估表 A			地點：	日期：
工廠：	製程單元：LPG 球槽	評估員：	審核員：	
物 質 與 製 程				
製程單元中之物質：LPG				
運轉狀態： <input type="checkbox"/> 開車 <input type="checkbox"/> 停俾 <input checked="" type="checkbox"/> 正常運轉		物質因數中的基本物質：LPG		
物質因數(MF 詳見評估指引表 1 或附錄 A 或 B)				21
當此單元溫度超過華氏 140 度時需加以備註				
1. 一般製程危害		危害點數	所取危害點數	
基本因數 →		1.00	1.00	
A. 放熱性化學反應(因數為 0.30 至 1.25)				
B. 吸熱性製程 (因數為 0.20 至 0.40)				
C. 物料處理和輸送(因數為 0.25 至 1.05)			0.5	
D. 封閉或室內之製程單元(因數為 0.25 至 0.90)				
E. 通道		0.35	0.35	
F. 排放和洩漏控制(因數為 0.25 至 0.50) <u>221,900</u> 加侖			0.5	
一般製程危害因數(F ₁) →			2.35	
2. 特殊製程危害				
基本因數 →		1.00	1.00	
A. 毒性物質(因數為 0.20 至 0.80)				
B. 真空操作(500 mmHg)		0.50		
C. 接近或易燃範圍中操作 <input type="checkbox"/> 惰性 <input type="checkbox"/> 非惰性				
(1) 貯槽區貯存易燃性液體		0.50	0.5	
(2) 製程異常或沖吹失效		0.30		
(3) 始終處於易燃範圍		0.80		
D. 塵爆(因數為 0.25 至 2.00)				
E. 壓力 操作壓力 <u>132</u> Psig, 釋放壓力設定 <u>188</u> Psig			0.52	
F. 低溫(因數為 0.20 至 0.30)				
G. 易燃性/不穩定物質的數量：量 <u>1.03</u> ×10 ⁶ lbs, H _c = <u>20</u> ×10 ³ BTU/lb				
(1) 製程中液體、氣體和反應性物質				
(2) 貯存之液體或氣體			1.4	
(3) 貯存之可燃性固體，以及製程中之粉塵				
H. 腐蝕和浸蝕(因數為 0.10 至 0.75)			0.2	
I. 洩漏—接頭與填料(因數為 0.10 至 1.50)			0.1	
J. 使用加熱爐				
K. 熱油熱交換系統(因數為 0.15 至 1.15)				
L. 轉動設備		0.50		
特殊製程危害因數(F ₂) →			3.72	
3. 單元危害因數(F ₁ ×F ₂ =F ₃) →			8.742	
4. 火災爆炸指數(F ₃ ×MF = F&EI) →				183.58

評估表 B

損失控制可靠性因數			
1. 製程序控制制(C ₁)			
a)緊急動力 0.98	0.98	f)惰性氣體	0.94 至 0.96
b)冷卻系統 0.99	0.97 至 0.99	g)操作說明／程序 0.98	0.91 至 0.99
c)爆炸控制	0.84 至 0.98	h)反應化學評估	0.91 至 0.98
d)緊急停俾	0.96 至 0.99	i)其他製程危害分析	0.91 至 0.98
e)電腦控制	0.93 至 0.99		
C ₁ 總計 <u>0.95</u> *			
2. 物料隔離(C ₂)			
a)遙控式控制閥	0.96 至 0.98	c)排水系統	0.91 至 0.97
b)卸料／緊急排放系統	0.96 至 0.98	d)聯鎖系統	0.98
C ₂ 總計 <u>1</u> *			
3. 火災防護(C ₃)			
a)洩漏偵測 0.94	0.94 至 0.98	f)撒水系統 0.97	0.74 至 0.97
b)結構鋼材 0.97	0.95 至 0.98	g)水幕設備	0.97 至 0.98
c)地下貯槽	0.84 至 0.91	h)泡沫系統	0.92 至 0.97
d)水源供應 0.97	0.94 至 0.97	i)手提滅火器/消防砲台 0.97	0.93 至 0.98
e)特殊系統	0.91	j)電纜防護 0.94	0.94 至 0.98
C ₃ 總計 <u>0.78</u> *			
可靠性因數 = C ₁ × C ₂ × C ₃ = <u>0.74</u> 填入下表 D 項之中			
單元分析摘要			
A-1.....	F&EI	<u>183.58</u>	
A-2.....	曝露半徑	<u>154 ft</u>	
A-3.....	曝露面積替代值	<u>\$MM 5</u>	
B.....	損壞因數	<u>0.84</u>	
C.....	基本的 MPPD(A-3×B)	<u>\$MM 4.2</u>	
D.....	可靠性因數	<u>0.74</u>	
E.....	實際的 MPPD(C×D)	<u>\$MM 3.1</u>	
F.....	停工天數(MPDO)	<u>40 days</u>	
G 業務中斷損失(BI).....		<u>\$MM 18.33</u>	
* 為所有列出因數之乘積			

[例二]VCM工場擴建階段－使用Dow F&EI於PVC反應器場址之選擇

問題背景描述

ABC 公司之 VCM 裝置已成功地運轉了五年，ABC 公司市場調查部建議擴建一條生產線，用氯乙烯單體(VCM)生產聚氯乙烯(PVC)；ABC 公司專案部經過對該建議進行分析後，決定實施該建議。

因為 PVC 單元是整個 VCM 裝置的一部分，因此，ABC 公司專案部和公司管理階層要求對 PVC 製程單元同樣進行危害分析。ABC 公司之所以對 PVC 產品特別重視，因為它是一個批次製程，而 ABC 公司的大多數製程是連續的；有證據顯示，批次製程比連續製程易於產生工安事故，因此 ABC 公司專案部要求過程危害分析小組對 PVC 製程進行危害分析。

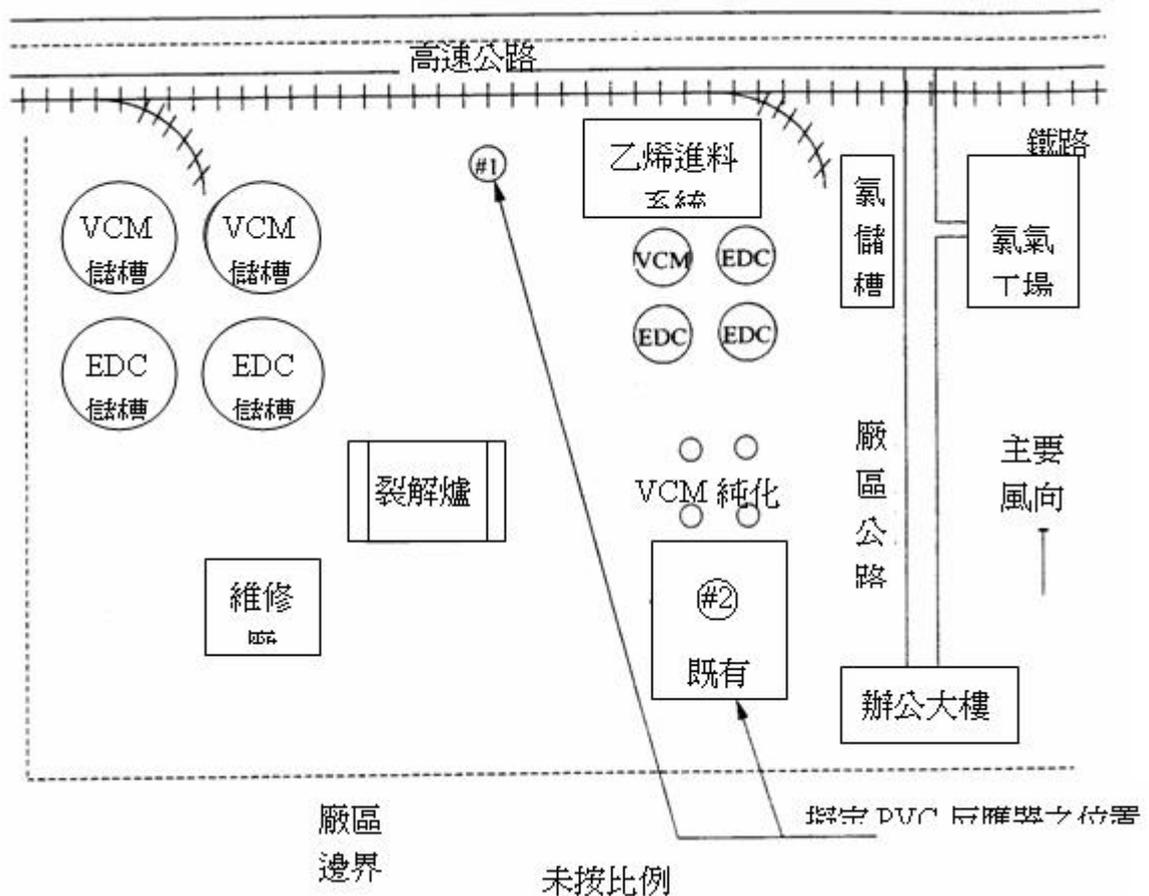
ABC 公司考慮 PVC 反應器放在兩個不同的位置(附錄圖 33)。#1 位置靠近 VCM 貯槽，傾向於選擇這個位置，因為在這個位置 VCM 的輸送距離近，可以較大幅度地減少輸入管線和泵輸送的費用；不利的方面是#1 位置離高速公路太近，PVC 反應器一旦發生災難性的事故將危及過往車輛，而且由於 PVC 反應器是露天放置的，可能發生冷凍和堵塞問題，因為 PVC 製程用水作載體。

考慮的第二個位置是靠近 VCM 純化區域，這個位置與社區有足夠遠的距離，而且反應器可設置在原有之加熱建築物內，因此可減少發生冷凍和堵塞問題的機率；但是，PVC 反應器若發生事故將對工場之管理大樓內的人員構成威脅。

除這兩個位置可供選擇外，ABC 公司還打算使用已拆除的容器，雖然該容器的設計壓力是 150 psig(1psig=6.89476 kPa(表壓))，但作為 PVC 反應器已足夠了(反應器的操作壓力是 75 psig)；但危害分析小組建議 PVC 反應器的設計壓力是 250psig。

已有資料

1. PID圖(附錄圖34)
2. 操作程序書
3. 設計規範
4. 警報器設定和聯鎖說明
5. PFD圖
6. PVC製程所有物料的MSDS
7. PVC反應器及場址相關資訊(附錄表71)
8. 緊急應變計畫
9. PVC製程的危害分析資料



附錄圖 33 PVC 反應器位置之選定

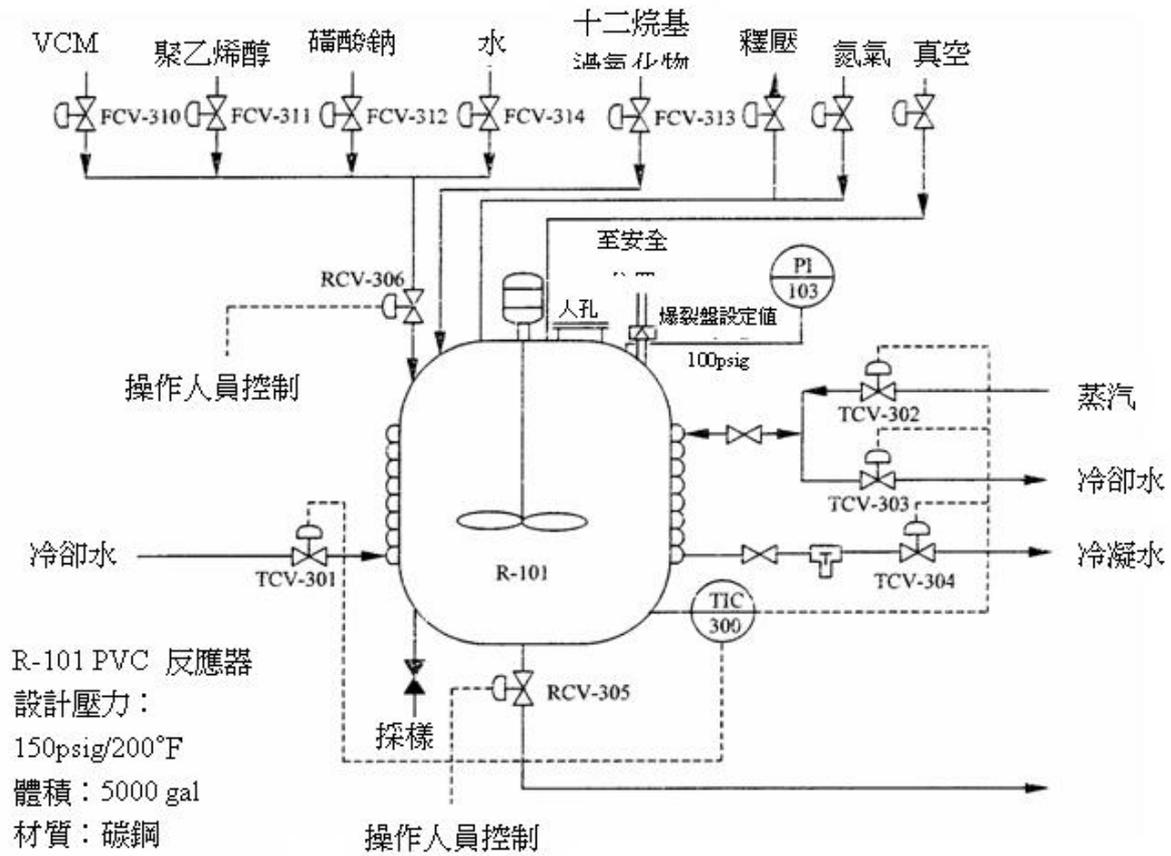
分析方法的選擇

製程危害分析小組在初步瀏覽了 PVC 反應器的設計後認為需要兩種分析方法：一種分析方法是分析 PVC 反應器的位置，另一種方法是分析與 PVC 反應器有關的製程風險。只有 PVC 反應器需要考慮它的位置，因為 VCM 的投料量很大；當 VCM 轉化為 PVC 後，物料的危險性很小。

對於位置的選擇，製程危害分析小組很快將選項集中在 PHA 和相對危害等級這兩種方法上，這兩種方法主要是針對待分析設備和相關設備以及區域內的建築物。對於位置的選擇，PHA 通常只提供定性的範圍，而製程危害分析小組需要更為詳細的結果，基於這種考慮，他們選擇了 Dow F&EI，因為它能對每個備選位置給出“安全評估”。

附錄表 72 是針對工場擴建階段所作之相對危害等級分析結果。附錄表 73~附錄表 80 分別是場址#1 與場址#2 在低壓/高壓 PVC 反應器之火災爆炸指數計算表和暴露半徑計算表。

圖號	PVC 批次 反應 器	ABC 公司 VCM 裝置	製圖：	日期：	審核	日期	說明
			檢查：	日期：			
比例：無							



附錄圖 34 PVC 反應器批次製程之 P&ID 圖

附錄表 71 PVC 反應器/場址相關資訊

容量：5000 gal 正常灌注量：80% 混合比例：43%VCM，56%水，1%其他 操作壓力：75 psig 破裂盤設定值：200 psig(新儲槽)、100 psig(舊儲槽) 室外單元：場址#1；室內單元：場址#2		
距離	場址#1(ft)	場址#2(ft)
辦公大樓	1500	800
維修廠	1200	850
高速公路	800	1500
VCM儲槽	180	800
鍋爐	500	200
乙烯進料區	150	900
OHC反應器	300	600
直接氯化反應器	200	450
VCM純化槽	350	100

分析過程

1. 決定 VCM 的物質因數(MF)。
2. 評估一般製程危害因數(F1)，因為場址#2 在室內，排水狀況屬中下，因此評估時危害點數較場址#1 重。
3. 評估特殊製程危害因數(F2)：在此因數中，若選用不同之反應容器，其壓力分量會有些許差異。因為場址#2 較靠近裂解爐，故給予較重之危害點數。
4. 計算單元危害因數(F3)、火災爆炸指數(F&EI)以及暴露半徑。此過程涉及 MF、F1 以及 F2 之簡單乘法計算。
5. 決定損失控制可靠性因數。場址#2 因為有建築物之撒水系統，而場址#1 由於在室外有較佳之排水狀況，此項因數可獲較高點數之評價。

附錄表 72 工場擴建階段相對危害等級分析結果

選項	F&EI	損失控制可靠性因數	暴露半徑(ft)
場址#1，150psig	164	0.74	137
場址#1，250psig	159	0.74	134
場址#2，150psig	168(218)*	0.69	141 (183)*
場址#2，250psig	168(212)*	0.69	141 (178)*

*當單元危害因數大於 8.0 時不捨去，以實際值計算所得之值。

附錄表 73 場址#1 低壓 PVC 反應器之火災爆炸指數計算表

評估表 A		地點：○○○	日期：○○/○○/2008
工廠：場址#1	製程單元：150 psig PVC	評估員：○○○	審核員：○○○
物 質 與 製 程			
製程單元中之物質：VCM			
運轉狀態： <input type="checkbox"/> 開車 <input type="checkbox"/> 停俾 <input checked="" type="checkbox"/> 正常運轉		物質因數中的基本物質：VCM	
物質因數(MF 詳見評估指引表 1 或附錄 A 或 B) 當此單元溫度超過華氏 140 度時需加以備註			21
1. 一般製程危害		危害點數	所取危害點數
基本因數 →		1.00	1.00
A. 放熱性化學反應(因數為 0.30 至 1.25)			0.5
B. 吸熱性製程 (因數為 0.20 至 0.40)			—
C. 物料處理和輸送(因數為 0.25 至 1.05)			0.5
D. 封閉或室內之製程單元(因數為 0.25 至 0.90)			—
E. 通道		0.35	0.2
F. 排放和洩漏控制(因數為 0.25 至 0.50) 221,900 加侖			0.25
一般製程危害因數(F ₁) →			2.45
2. 特殊製程危害			
基本因數 →		1.00	1.00
A. 毒性物質(因數為 0.20 至 0.80) N _h =2			0.4
B. 真空操作(500 mmHg)		0.50	—
C. 接近或易燃範圍中操作 <input type="checkbox"/> 惰性 <input type="checkbox"/> 非惰性			
(1) 貯槽區貯存易燃性液體		0.50	
(2) 製程異常或沖吹失效		0.30	0.3
(3) 始終處於易燃範圍		0.80	
D. 塵爆(因數為 0.25 至 2.00)			—
E. 壓力 操作壓力 75 Psig, 釋放壓力設定 100 Psig			0.32
F. 低溫(因數為 0.20 至 0.30)			—
G. 易燃性/不穩定物質的數量：量 13000 lbs, Hc=8000 BTU/lb			
(1) 製程中液體、氣體和反應性物質			0.16
(2) 貯存之液體或氣體			
(3) 貯存之可燃性固體，以及製程中之粉塵			
H. 腐蝕和浸蝕(因數為 0.10 至 0.75)			0.1
I. 洩漏—接頭與填料(因數為 0.10 至 1.50)			0.3
J. 使用加熱爐			0.1
K. 熱油熱交換系統(因數為 0.15 至 1.15)			—
L. 轉動設備		0.50	0.5
特殊製程危害因數(F ₂) →			3.18
3. 單元危害因數(F ₁ ×F ₂ =F ₃) →			7.79
4. 火災爆炸指數(F ₃ ×MF = F&EI) →			164

附錄表 74 場址#1 低壓 PVC 反應器之暴露半徑計算表

評估表 B

損失控制可靠性因數			
1. 製程程序控制 (C ₁)			
a) <u>緊急動力 0.98</u>	0.98	f) 惰性氣體	0.94 至 0.96
b) <u>冷卻系統 0.99</u>	0.97 至 0.99	g) 操作說明/程序	0.91 至 0.99
c) 爆炸控制	0.84 至 0.98	h) <u>反應化學評估 0.91</u>	0.91 至 0.98
d) 緊急停俾	0.96 至 0.99	i) 其他製程危害分析	0.91 至 0.98
e) 電腦控制	0.93 至 0.99		
C ₁ 總計 <u>0.87</u> *			
2. 物料隔離(C ₂)			
a) <u>遙控式控制閥 0.96</u>	0.96 至 0.98	c) <u>排水系統 0.95</u>	0.91 至 0.97
b) 卸料/緊急排放系統	0.96 至 0.98	d) 聯鎖系統	0.98
C ₂ 總計 <u>0.91</u> *			
3. 火災防護(C ₃)			
a) 洩漏偵測	0.94 至 0.98	f) 撒水系統	0.74 至 0.97
b) 結構鋼材	0.95 至 0.98	g) 水幕設備	0.97 至 0.98
c) 地下貯槽	0.84 至 0.91	h) 泡沫系統	0.92 至 0.97
d) <u>水源供應 0.97</u>	0.94 至 0.97	i) <u>手提滅火器/監視器 0.97</u>	0.93 至 0.98
e) 特殊系統	0.91	j) 電纜防護	0.94 至 0.98
C ₃ 總計 <u>0.94</u> *			
可靠性因數 = C ₁ × C ₂ × C ₃ = <u>0.74</u> 填入下表 D 項之中			
單元分析摘要			
A-1.....	F&EI	<u>164</u>	
A-2.....	曝露半徑	<u>137 ft</u>	
A-3.....	曝露面積替代值	\$MM	
B.....	損壞因數		
C.....	基本的 MPPD(A-3×B)	\$MM	
D.....	可靠性因數		
E.....	實際的 MPPD(C×D)	\$MM	
F.....	停工天數(MPDO)		
			days
G.....	業務中斷損失(BI)	\$MM	
* 為所有列出因數之乘積			

附錄表 75 場址#1 高壓 PVC 反應器之火災爆炸指數計算表

評估表 A		地點：○○○	日期：○○/○○/2008
工廠：場址#1	製程單元：250 psig PVC	評估員：○○○	審核員：○○○
物質與製程			
製程單元中之物質：VCM			
運轉狀態： <input type="checkbox"/> 開車 <input type="checkbox"/> 停俾 <input checked="" type="checkbox"/> 正常運轉		物質因數中的基本物質：VCM	
物質因數(MF 詳見評估指引表 1 或附錄 A 或 B)			21
當此單元溫度超過華氏 140 度時需加以備註			
1. 一般製程危害		危害點數	所取危害點數
基本因數		1.00	1.00
A. 放熱性化學反應(因數為 0.30 至 1.25)			0.5
B. 吸熱性製程 (因數為 0.20 至 0.40)			—
C. 物料處理和輸送(因數為 0.25 至 1.05)			0.5
D. 封閉或室內之製程單元(因數為 0.25 至 0.90)			—
E. 通道		0.35	0.2
F. 排放和洩漏控制(因數為 0.25 至 0.50) <u>221,900</u> 加侖			0.25
一般製程危害因數(F ₁)			2.45
2. 特殊製程危害			
基本因數		1.00	1.00
A. 毒性物質(因數為 0.20 至 0.80) N _h =2			0.4
B. 真空操作(500 mmHg)		0.50	—
C. 接近或易燃範圍中操作 <input type="checkbox"/> 惰性 <input type="checkbox"/> 非惰性			
(1) 貯槽區貯存易燃性液體		0.50	
(2) 製程異常或沖吹失效		0.30	0.3
(3) 始終處於易燃範圍		0.80	
D. 塵爆(因數為 0.25 至 2.00)			—
E. 壓力 操作壓力 <u>75</u> Psig, 釋放壓力設定 <u>200</u> Psig			0.22
F. 低溫(因數為 0.20 至 0.30)			—
G. 易燃性/不穩定物質的數量：量 <u>13000</u> lbs, H _c = <u>8000</u> BTU/lb			
(1) 製程中液體、氣體和反應性物質			0.16
(2) 貯存之液體或氣體			
(3) 貯存之可燃性固體，以及製程中之粉塵			
H. 腐蝕和浸蝕(因數為 0.10 至 0.75)			0.1
I. 洩漏—接頭與填料(因數為 0.10 至 1.50)			0.3
J. 使用加熱爐			0.1
K. 熱油熱交換系統(因數為 0.15 至 1.15)			—
L. 轉動設備		0.50	0.5
特殊製程危害因數(F ₂)			3.08
3. 單元危害因數(F ₁ ×F ₂ =F ₃)			7.55
4. 火災爆炸指數(F ₃ ×MF = F&EI)			159

附錄表 76 場址#1 高壓 PVC 反應器之暴露半徑計算表

評估表 B

損失控制可靠性因數			
1. 製程程序控制 (C ₁)			
a) <u>緊急動力 0.98</u>	0.98	f) 惰性氣體	0.94 至 0.96
b) <u>冷卻系統 0.98</u>	0.97 至 0.99	g) 操作說明/程序	0.91 至 0.99
c) 爆炸控制	0.84 至 0.98	h) <u>反應化學評估 0.91</u>	0.91 至 0.98
d) 緊急停俾	0.96 至 0.99	i) 其他製程危害分析	0.91 至 0.98
e) 電腦控制	0.93 至 0.99		
C ₁ 總計 <u>0.87</u> *			
2. 物料隔離(C ₂)			
a) <u>遙控式控制閥 0.96</u>	0.96 至 0.98	c) <u>排水系統 0.95</u>	0.91 至 0.97
b) 卸料/緊急排放系統	0.96 至 0.98	d) 聯鎖系統	0.98
C ₂ 總計 <u>0.91</u> *			
3. 火災防護(C ₃)			
a) 洩漏偵測	0.94 至 0.98	f) 撒水系統	0.74 至 0.97
b) 結構鋼材	0.95 至 0.98	g) 水幕設備	0.97 至 0.98
c) 地下貯槽	0.84 至 0.91	h) 泡沫系統	0.92 至 0.97
d) <u>水源供應 0.97</u>	0.94 至 0.97	i) <u>手提滅火器/監視器 0.97</u>	0.93 至 0.98
e) 特殊系統	0.91	j) 電纜防護	0.94 至 0.98
C ₃ 總計 <u>0.94</u> *			
可靠性因數 = C ₁ × C ₂ × C ₃ = <u>0.74</u> 填入下表 D 項之中			
單元分析摘要			
A-1.....	F&EI	<u>159</u>	
A-2.....	曝露半徑	<u>134 ft</u>	
A-3.....	曝露面積替代值		\$MM
B.....	損壞因數		
C.....	基本的 MPPD(A-3×B)		\$MM
D.....	可靠性因數		
E.....	實際的 MPPD(C×D)		\$MM
F.....	停工天數(MPDO)		
			days
G.....	業務中斷損失(BI)		\$MM
* 為所有列出因數之乘積			

附錄表 77 場址#2 低壓 PVC 反應器之火災爆炸指數計算表

評估表 A		地點：○○○	日期：○○/○○/2008
工廠：場址#1	製程單元：150 psig PVC	評估員：○○○	審核員：○○○
物 質 與 製 程			
製程單元中之物質：VCM			
運轉狀態： <input type="checkbox"/> 開車 <input type="checkbox"/> 停俾 <input checked="" type="checkbox"/> 正常運轉		物質因數中的基本物質：VCM	
物質因數(MF 詳見評估指引表 1 或附錄 A 或 B)			21
當此單元溫度超過華氏 140 度時需加以備註			
1. 一般製程危害		危害點數	所取危害點數
基本因數 →		1.00	1.00
A. 放熱性化學反應(因數為 0.30 至 1.25)			0.5
B. 吸熱性製程 (因數為 0.20 至 0.40)			—
C. 物料處理和輸送(因數為 0.25 至 1.05)			0.5
D. 封閉或室內之製程單元(因數為 0.25 至 0.90)			0.45
E. 通道		0.35	0.3
F. 排放和洩漏控制(因數為 0.25 至 0.50) 221,900 加侖			0.5
一般製程危害因數(F ₁) →			3.25
2. 特殊製程危害			
基本因數 →		1.00	1.00
A. 毒性物質(因數為 0.20 至 0.80) N _h =2			0.4
B. 真空操作(500 mmHg)		0.50	—
C. 接近或易燃範圍中操作 <input type="checkbox"/> 惰性 <input type="checkbox"/> 非惰性			
(1) 貯槽區貯存易燃性液體		0.50	
(2) 製程異常或沖吹失效		0.30	0.3
(3) 始終處於易燃範圍		0.80	
D. 塵爆(因數為 0.25 至 2.00)			—
E. 壓力 操作壓力 75 Psig, 釋放壓力設定 100 Psig			0.32
F. 低溫(因數為 0.20 至 0.30)			—
G. 易燃性/不穩定物質的數量：量 13000 lbs, H _c =8000 BTU/lb			
(1) 製程中液體、氣體和反應性物質			0.16
(2) 貯存之液體或氣體			
(3) 貯存之可燃性固體，以及製程中之粉塵			
H. 腐蝕和浸蝕(因數為 0.10 至 0.75)			0.1
I. 洩漏—接頭與填料(因數為 0.10 至 1.50)			0.3
J. 使用加熱爐			0.12
K. 熱油熱交換系統(因數為 0.15 至 1.15)			—
L. 轉動設備		0.50	0.5
特殊製程危害因數(F ₂) →			3.20
3. 單元危害因數(F ₁ ×F ₂ =F ₃) →			10.4
4. 火災爆炸指數(F ₃ ×MF=F&EI) →			168*(218)

附錄表 78 場址#1 低壓 PVC 反應器之暴露半徑計算表

評估表 B

損失控制可靠性因數			
1. 製程程序控制 (C ₁)			
a) <u>緊急動力 0.98</u>	0.98	f) 惰性氣體	0.94 至 0.96
b) <u>冷卻系統 0.99</u>	0.97 至 0.99	g) 操作說明/程序	0.91 至 0.99
c) 爆炸控制	0.84 至 0.98	h) <u>反應化學評估 0.91</u>	0.91 至 0.98
d) 緊急停俾	0.96 至 0.99	i) 其他製程危害分析	0.91 至 0.98
e) 電腦控制	0.93 至 0.99		
C ₁ 總計 <u>0.87</u> *			
2. 物料隔離(C ₂)			
a) <u>遙控式控制閥 0.96</u>	0.96 至 0.98	c) 排水系統	0.91 至 0.97
b) 卸料/緊急排放系統	0.96 至 0.98	d) 聯鎖系統	0.98
C ₂ 總計 <u>0.96</u> *			
3. 火災防護(C ₃)			
a) 洩漏偵測	0.94 至 0.98	f) <u>撒水系統 0.88</u>	0.74 至 0.97
b) 結構鋼材	0.95 至 0.98	g) 水幕設備	0.97 至 0.98
c) 地下貯槽	0.84 至 0.91	h) 泡沫系統	0.92 至 0.97
d) <u>水源供應 0.97</u>	0.94 至 0.97	i) <u>手提滅火器/監視器 0.97</u>	0.93 至 0.98
e) 特殊系統	0.91	j) 電纜防護	0.94 至 0.98
C ₃ 總計 <u>0.83</u> *			
可靠性因數 = C ₁ × C ₂ × C ₃ = <u>0.69</u> 填入下表 D 項之中			
單元分析摘要			
A-1.....	F&EI	<u>168(218)*</u>	
A-2.....	曝露半徑	<u>141(183)*</u>	ft
A-3.....		曝露面積替代值	\$MM
B.....	損壞因數		
C.....		基本的 MPPD(A-3×B)	\$MM
D.....	可靠性因數		
E.....		實際的 MPPD(C×D)	\$MM
F.....		停工天數(MPDO)	
G.....			days
G.....		業務中斷損失(BI)	\$MM
* 為所有列出因數之乘積			

附錄表 79 場址#1 高壓 PVC 反應器之火災爆炸指數計算表

評估表 A		地點：○○○	日期：○○/○○/2008
工廠：場址#1	製程單元：250 psig PVC	評估員：○○○	審核員：○○○
物質與製程			
製程單元中之物質：VCM			
運轉狀態： <input type="checkbox"/> 開車 <input type="checkbox"/> 停俾 <input checked="" type="checkbox"/> 正常運轉		物質因數中的基本物質：VCM	
物質因數(MF 詳見評估指引表 1 或附錄 A 或 B)			21
當此單元溫度超過華氏 140 度時需加以備註			
1. 一般製程危害		危害點數	所取危害點數
基本因數		1.00	1.00
A. 放熱性化學反應(因數為 0.30 至 1.25)			0.5
B. 吸熱性製程 (因數為 0.20 至 0.40)			—
C. 物料處理和輸送(因數為 0.25 至 1.05)			0.5
D. 封閉或室內之製程單元(因數為 0.25 至 0.90)			0.45
E. 通道		0.35	0.3
F. 排放和洩漏控制(因數為 0.25 至 0.50) 221,900 加侖			0.5
一般製程危害因數(F ₁)			3.25
2. 特殊製程危害			
基本因數		1.00	1.00
A. 毒性物質(因數為 0.20 至 0.80) N _h =2			0.4
B. 真空操作(500 mmHg)		0.50	—
C. 接近或易燃範圍中操作 <input type="checkbox"/> 惰性 <input type="checkbox"/> 非惰性			
(1) 貯槽區貯存易燃性液體		0.50	
(2) 製程異常或沖吹失效		0.30	0.3
(3) 始終處於易燃範圍		0.80	
D. 塵爆(因數為 0.25 至 2.00)			—
E. 壓力 操作壓力 75 Psig, 釋放壓力設定 200 Psig			0.22
F. 低溫(因數為 0.20 至 0.30)			—
G. 易燃性/不穩定物質的數量：量 13000 lbs, H _c =8000 BTU/lb			
(1) 製程中液體、氣體和反應性物質			0.16
(2) 貯存之液體或氣體			
(3) 貯存之可燃性固體，以及製程中之粉塵			
H. 腐蝕和浸蝕(因數為 0.10 至 0.75)			0.1
I. 洩漏—接頭與填料(因數為 0.10 至 1.50)			0.3
J. 使用加熱爐			0.12
K. 熱油熱交換系統(因數為 0.15 至 1.15)			—
L. 轉動設備		0.50	0.5
特殊製程危害因數(F ₂)			3.10
3. 單元危害因數(F ₁ ×F ₂ =F ₃)			10.1
4. 火災爆炸指數(F ₃ ×MF = F&EI)			168*(212)

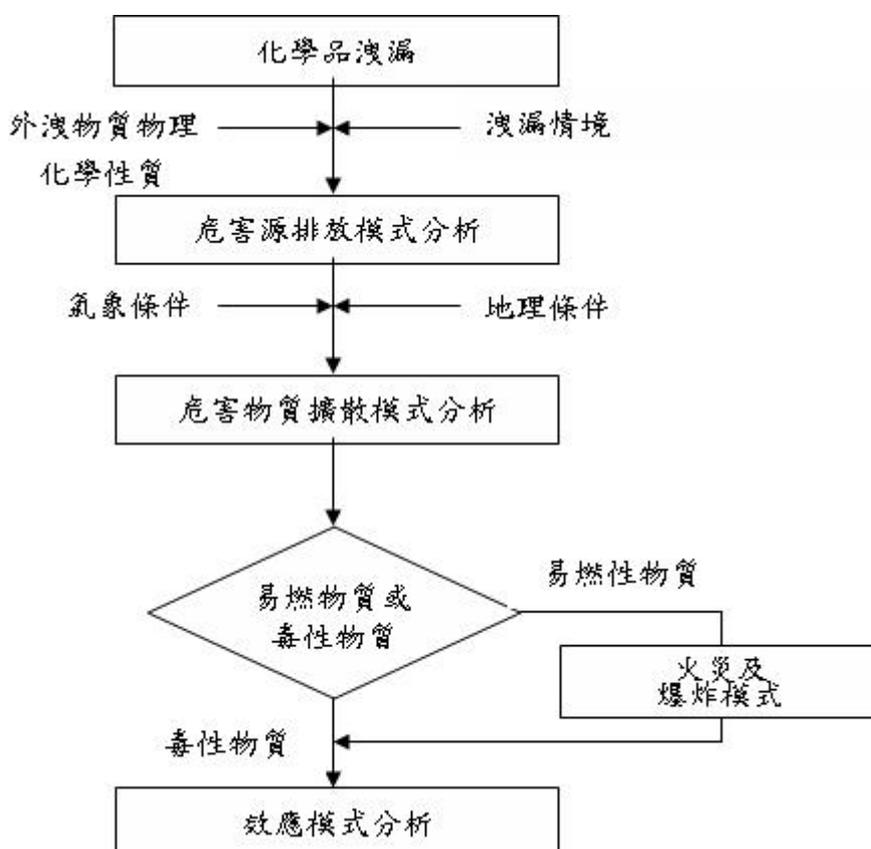
附錄表 80 場址#1 高壓 PVC 反應器之暴露半徑計算表

評估表 B

損失控制可靠性因數			
1. 製程程序控制 (C ₁)			
a) <u>緊急動力 0.98</u>	0.98	f) 惰性氣體	0.94 至 0.96
b) <u>冷卻系統 0.98</u>	0.97 至 0.99	g) 操作說明/程序	0.91 至 0.99
c) 爆炸控制	0.84 至 0.98	h) <u>反應化學評估 0.91</u>	0.91 至 0.98
d) 緊急停俾	0.96 至 0.99	i) 其他製程危害分析	0.91 至 0.98
e) 電腦控制	0.93 至 0.99		
C ₁ 總計 <u>0.87</u> *			
2. 物料隔離(C ₂)			
a) <u>遙控式控制閥 0.96</u>	0.96 至 0.98	c) 排水系統	0.91 至 0.97
b) 卸料/緊急排放系統	0.96 至 0.98	d) 聯鎖系統	0.98
C ₂ 總計 <u>0.96</u> *			
3. 火災防護(C ₃)			
a) 洩漏偵測	0.94 至 0.98	f) <u>撒水系統 0.88</u>	0.74 至 0.97
b) 結構鋼材	0.95 至 0.98	g) 水幕設備	0.97 至 0.98
c) 地下貯槽	0.84 至 0.91	h) 泡沫系統	0.92 至 0.97
d) <u>水源供應 0.97</u>	0.94 至 0.97	i) <u>手提滅火器/監視器 0.97</u>	0.93 至 0.98
e) 特殊系統	0.91	j) 電纜防護	0.94 至 0.98
C ₃ 總計 <u>0.83</u> *			
可靠性因數 = C ₁ × C ₂ × C ₃ = <u>0.69</u> 填入下表 D 項之中			
單元分析摘要			
A-1.....	F&EI	<u>168(212)*</u>	
A-2.....	曝露半徑	<u>141(178) ft</u>	
A-3.....	曝露面積替代值	\$MM	
B.....	損壞因數		
C.....	基本的 MPPD(A-3×B)	\$MM	
D.....	可靠性因數		
E.....	實際的 MPPD(C×D)	\$MM	
F.....	停工天數(MPDO)		
			days
G.....	業務中斷損失(BI)	\$MM	
* 為所有列出因數之乘積			

(四) 石化廠化學品洩漏擴散後果模擬分析

石化廠儲槽或管線洩漏後之危害範圍與化學物質之毒性、化性、物性、操作特性而有所不同。而由操作條件可分析其外洩與擴散特性，再進行後果分析(如附錄圖 34)。亦即由危害源排放模式，確認危害性物質排放量及排放速率；再由設備製程之操作條件，配合擴散模式來計算其擴散範圍及濃度。國內目前常用之化學品洩漏擴散風險模擬軟體有 CHEMS-PLUS、EFFECT、CHARM、PHAST、SAFER、SAFETI 及 ALOHA 等。其中 ALOHA 為免費之軟體，其特色、功能以及與其它洩漏擴散風險模擬軟體之比較如附錄表 81。

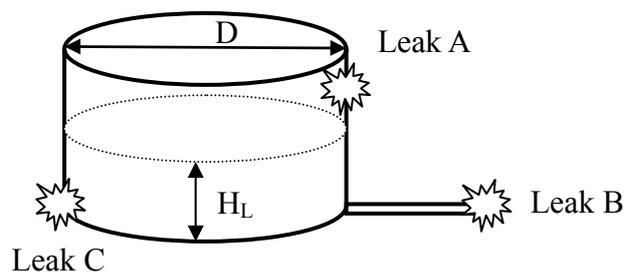


附錄圖 35 石化廠化學品洩漏擴散模擬與後果分析

附錄表 81 石化廠化學品洩漏擴散風險模擬軟體比較

模式	典型模擬狀況	情境概述	評估項目	分析軟體
大氣擴散	毒性液化氣體因洩漏而擴散至大氣	液化毒性化學物質從儲槽破口洩漏形成液池，因揮發而擴散至大氣。	毒性氣體濃度	(1)ALOHA (2)PHAST (3)TRACE
火災	可燃性氣體形成火球	儲槽內的液化可燃性氣體伴隨著BLEVE的發生，著火形成火球。	輻射熱強度	(1)PHAST (2)TRACE
爆炸	可燃性氣體之蒸氣雲爆炸	從儲槽破口洩漏之可燃性氣體形成蒸氣雲，著火形成蒸氣雲爆炸。	爆風壓力	(1)PHAST (2)TRACE

1. 外洩模式



(1) 儲槽常壓液體

$$Q_m = \rho A C_0 \sqrt{2 \left\{ \frac{P_g}{\rho} + g h_L \right\}}$$

其中：A為外洩口面積； C_0 為洩放係數； P_g 為槽內表壓； ρ 為液體密度； h_L 為液面高

(2) 管線常壓液體

$$\frac{\Delta P}{\rho} + g \Delta z + \frac{2fLv^2}{d} = -\frac{W_s}{Q_m}$$

其中： Δz 為管線高差； f 為摩擦係數； v 為流速； W_s 為幫浦之作功

(3) 高壓液化氣體

$$Q_m = \frac{\Delta H_v A}{v_{fg}} \sqrt{\frac{1}{C_p T}}$$

其中：A為外洩口面積； C_p 為液體比熱(J/kgK)； T 為液體溫度(K)； ΔH_v 為液體蒸發潛熱(J/kg)； v_{fg} 為液體與氣體的比容差(m^3/kg)

(4) 高壓氣體

$$Q_m = C_0 A P_0 \sqrt{\frac{2M}{RT_0} \frac{\gamma}{\gamma-1} \left\{ \left[\frac{P}{P_0} \right]^{2/\gamma} - \left[\frac{P}{P_0} \right]^{(\gamma-1)/\gamma} \right\}}$$

其中： γ 為氣體比熱比值(-)； P 為大氣壓力(Pa)； P_0 為氣體來源壓力(Pa)； R 為理想氣體常數(=8.314J/kg-molK)

2. 擴散模式

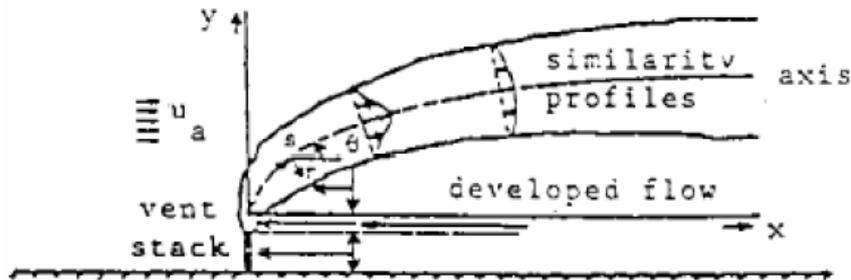
毒性化學物質外洩後經由大氣的作用而散佈到下風的區域。此散佈作用受到多種因素的影響：

- (1) 氣體本身的特性，如擴散係數、密度、溫度等。
- (2) 洩漏源的特性，如高度、方向、洩漏速率、洩漏形式等。

- (3) 氣象的特性，包括風向、風速、擾流高度、日夜時間、季節、大氣穩定性等。
 大氣穩定性則受到許多條件的影響，包括佈雲量、日照強度、風速、溫度在垂直向的結構等。
- (4) 地表的地形。

擴散模式中，常用之模式有：

(1) Pasquill-Gifford模式(Gaussian model)



1) 瞬間洩漏

$$\langle C \rangle(x, y, z, t) = \frac{Q_m^*}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

其中

Q_m^* 為外洩總質量

t 為外洩時間

x, y, z 為水準與垂直之距離

$\langle C \rangle(x, y, z, t)$ 為外洩時間 t ，距離為 x, y, z 之濃度

H_r 為外洩點之高度

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 為 x, y, z 方向之擴散係數，可由下式求得：

不穩定大氣

$$\sigma_x = \sigma_y = 0.14x^{0.92}, \sigma_z = 0.53x^{0.73}$$

中性穩定大氣

$$\sigma_x = \sigma_y = 0.06x^{0.92}, \sigma_z = 0.15x^{0.70}$$

非常穩定大氣

$$\sigma_x = \sigma_y = 0.024x^{0.89}, \sigma_z = 0.05x^{0.61}$$

2) 連續洩漏

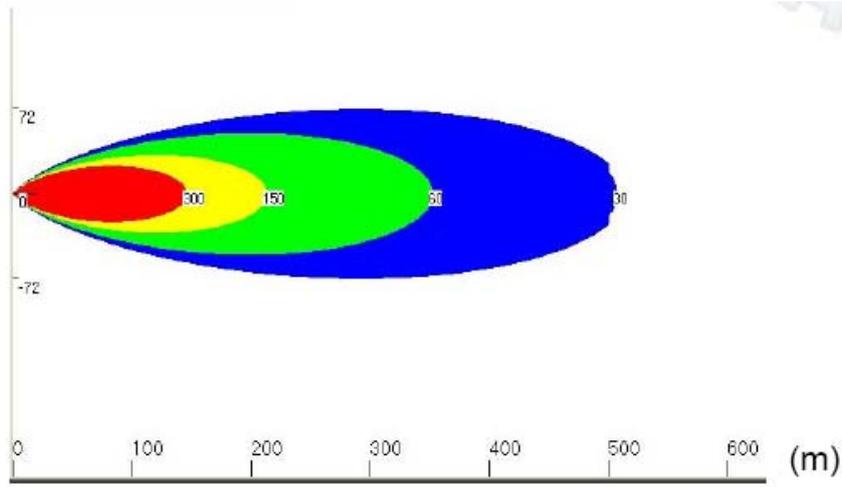
- A. 適用於大量外洩與大範圍之影響。
- B. 重力與小量外洩將不適用。

$$\langle C \rangle(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

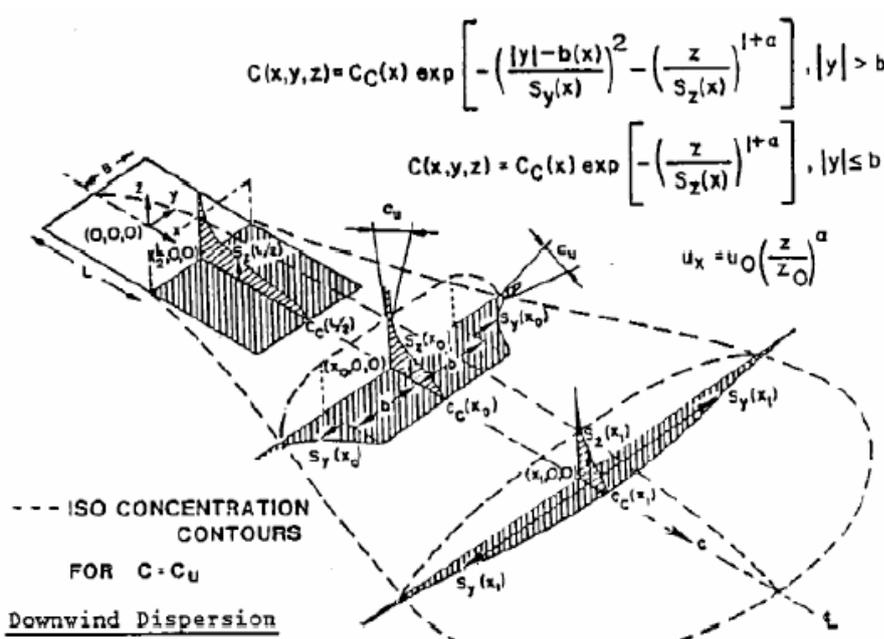
其中

Q_m 為外洩質量流率

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 為 x, y, z 方向之擴散係數



(2) DEGADIS模式(DENSE GAS DISPERSION model)



以 ALOHA 為例，可將地理資訊系統軟體 MapInfo 以及 Surfer 等高線繪圖軟體與毒化災危害風險評估軟體 ALOHA 結合之方式，來評估毒化災危害風險值。其各軟體之功能介紹如下：

1. ALOHA

- (1) 美國環保署(USEPA)與海洋大氣署(NOAA)所共同開發，包含Pasquill-Gifford模式(Gaussian model)與DEGADIS模式(DENSE GAs DISPersion model)。
- (2) 已知工廠化學物品的存放量，利用外洩擴散模式，預測危害距離之範圍。
- (3) 利用危害距離計算危害風險值(危害區域半徑×破孔發生機率)。附錄表82為儲槽型式之破孔發生機率。危害區域半徑即事故發生之後果，通常定義為死亡人數，需搭配區域人口密度；探討毒化物的危害風險時，簡化危害風險值定義為=危害半徑(km)×發生機率(1/yr)。

危害半徑：與危害後果成比例；危害風險值：1 公里半徑內每年發生災害的機率。

附錄表 82 儲槽型式之破孔發生機率

型式	次/年
金屬(大)槽	0.00863
非金屬(小)槽	0.0103
壓力槽(球 or 橫式)	0.000955

AICHE Reliability Data (美國化學工程師學會)

2. MapInfo

- (1) 利用GPS(衛星定位系統)定出污染源座標，將各污染源之危害風險值參數加入，繪出環域(buffer)。
- (2) 考慮風向因素，修改環域。
- (3) 在各污染源環域交疊處作加總處理。

3. Surfer

- (1) 將MapInfo所繪製之檔案以內差的方法轉換成等間距的、規則的網點，以此繪製等高線圖。
- (2) 將所得等高線圖套回MapInfo以顯示地區風險危害等級。

[例一]：

以 ALOHA 模擬氯乙烯儲槽洩漏之氣雲擴散風險危害等級

本手冊以苗栗縣境較大型之頭份工業區內某石化工廠為例，解釋其進行步驟如下(見附錄圖 35)：

1. 欲利用ALOHA分析需先蒐集事故發生點之地理位置資料(包括附近建築物類型)、模擬發生時間、氣象資料(大氣環境背景資料)、所欲分析化學物質之洩漏情形(包括欲分析之危害物名稱；洩漏形式，如噴出、形成液池、槽體洩漏或管線洩漏)、化學品儲存類型等屬性資料輸入，計算出最大危害半徑。探討案例之相關資料如下：

- (1) 地點：頭份工業區某石化工廠
- (2) 使用化學物質：氯乙烯(Vinyl Chloride)
- (3) 風向：東北東
- (4) 儲槽類型：臥式儲槽

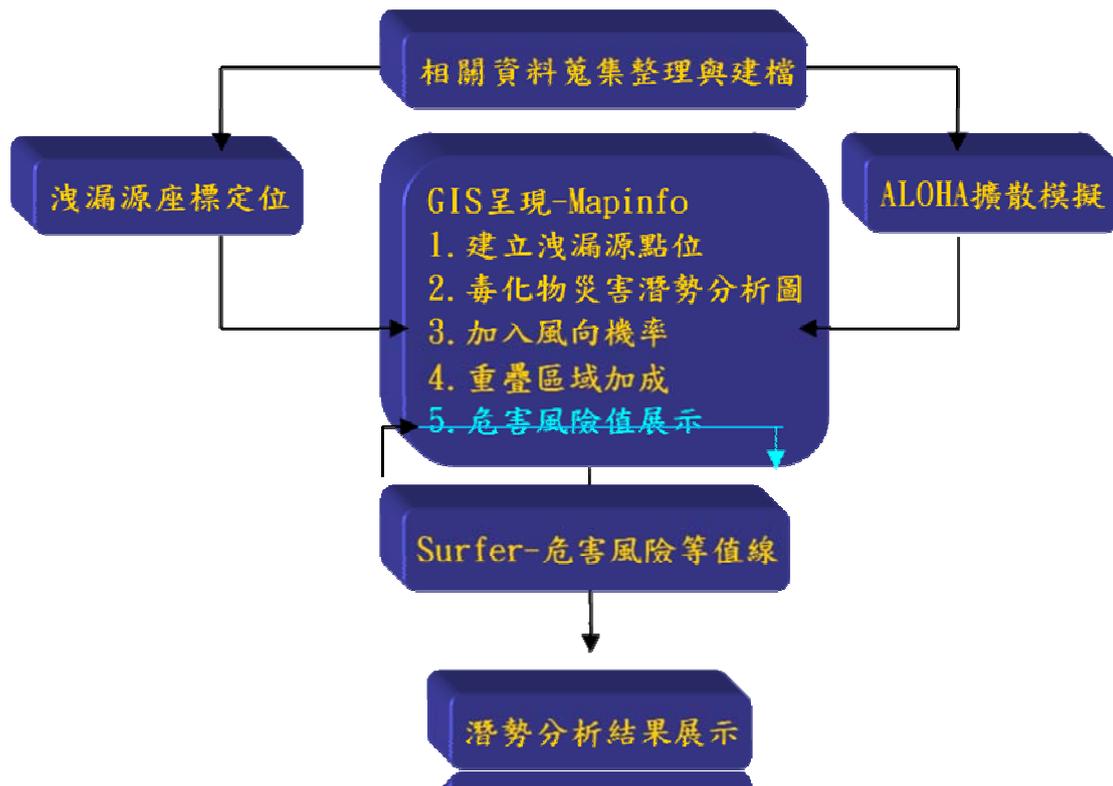
2. 利用MapInfo將事故點之XY座標製作圓心(create point)，見附錄圖36，並以ALOHA計算出之最大危害半徑(見附錄圖37)，製作出危害風險環域(Buffer)並參考風向機率加成後，轉出至Surfer繪出危害風險等高線圖。

- (1) 地點大氣條件：大氣狀況對模擬結果會有相當程度之影響，其設定可以最嚴重狀況為準則，設定風速為 1.5m/s、大氣穩定度 F、溫度 35°C、溼度 95%。
- (2) 擴散條件：欲模擬物質之物化特性在 ALOHA 中已有內建資料庫，針對其擴散條件設定洩漏高度、破裂口直徑、儲存類型、儲存容量等。
- (3) 槽體洩漏機率：

形式	次/年
金屬(大)槽	0.00863
非金屬(小)槽	0.0103
壓力槽(球體或臥式)	0.000955

- (4) 人口密度：區域鄰近之村裡平均人口密度。

3. 利用Surfer將MapInfo之檔案以內差法將事故點環域(Buffer)成等高線圖後，再將圖形轉回MapInfo套疊於苗栗縣地圖上完成其圖形展示。(見附錄圖38、見附錄圖39)

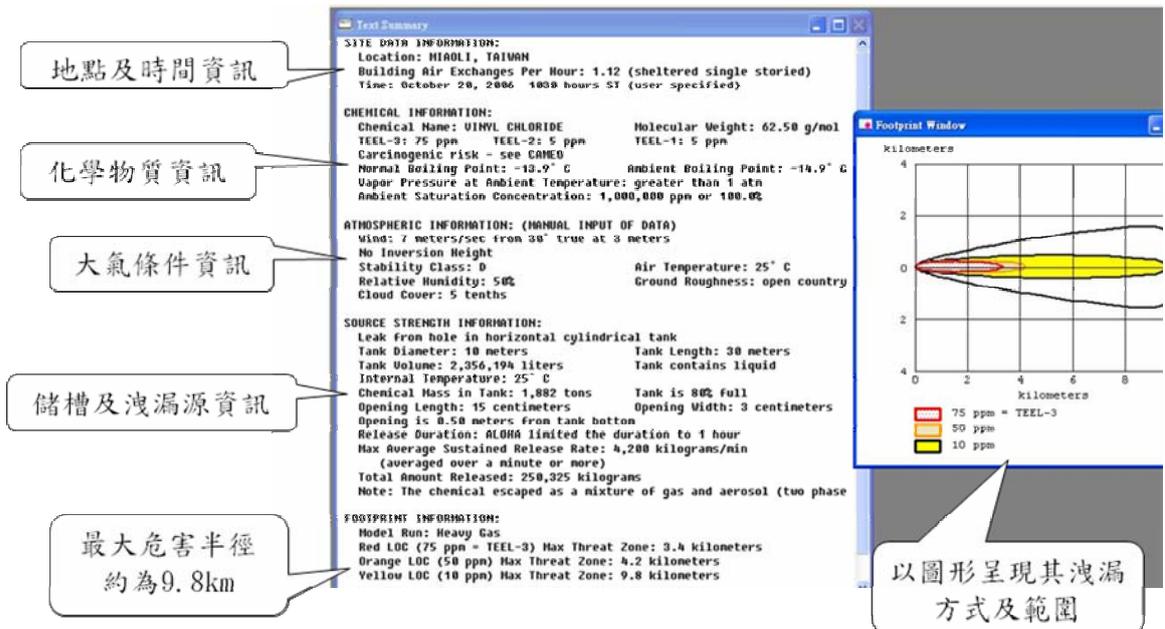


附錄圖 36 毒化災風險評估系統建置與應用流程圖

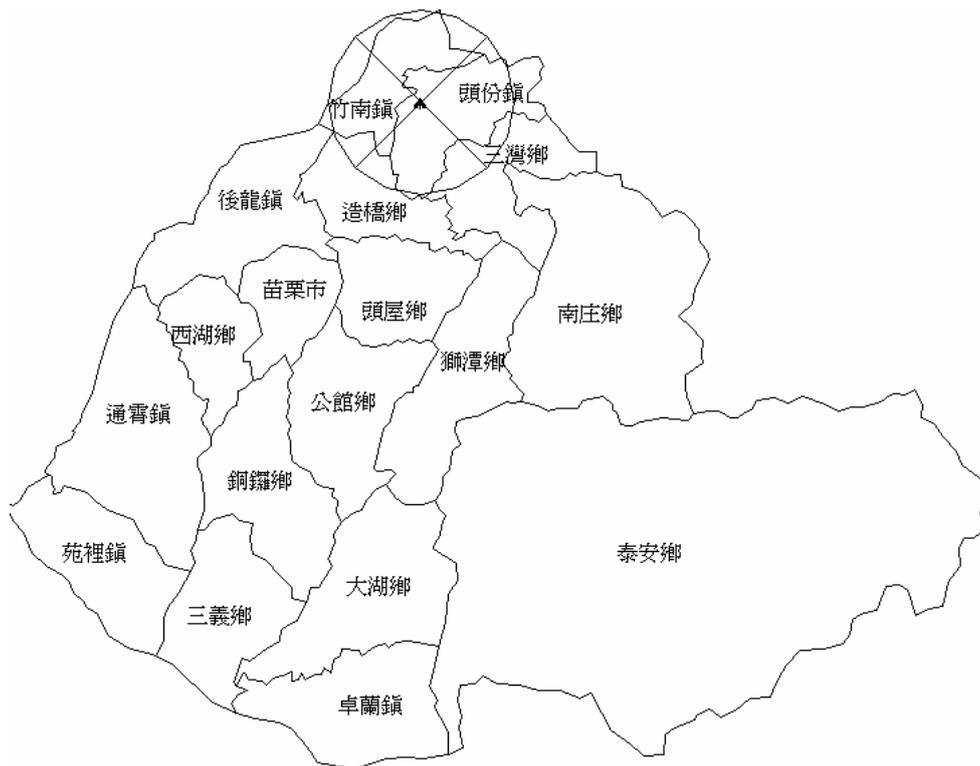
在MapInfo中標定座標



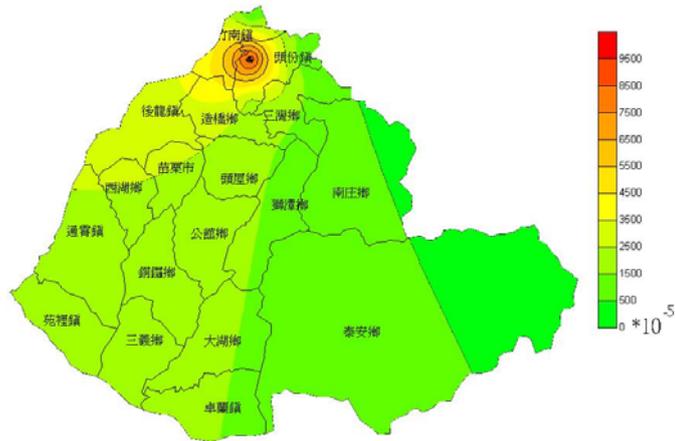
附錄圖 37 利用 MapInfo 作洩漏源之經緯度定位



附錄圖 38 ALOHA 計算出最大危害半徑



附錄圖 39 製作環域(Buffer)並參考風向機率加成



附錄圖 40 在 Surfer 繪製等高線並上色後轉回 MapInfo 作最後結果呈現

根據 ALOHA 風險評估軟體的分析，可得到化學物質自工廠洩漏時，最大的危害半徑，藉以劃分為三種界限值，根據界限值界定緊急應變疏散與設備改善優先順序的參考，對於危害發生前評估災害擴散的範圍具有可信得價值，然而多點污染源的危害評估，只靠 ALOHA 是不夠的，區域性的危害等級劃分，牽涉到地籍相關資料，結合 GIS 系統(利用 MapInfo 與可查詢 GPS 座標之軟體)與 Surfer 可運用地理資料與風險危害等高線來完成，風險危害等級可提供救災單位事故發生時應變疏散及救災資源與疏散路線規劃的參考資訊，但此系統只能適用於毒性化學物質的擴散評估，其他人為災害(火災爆炸、交通事故、未遵守工作守則等)則需藉助其他軟體及災害調查統計資料等來完成，然而毒化災潛勢分析技術系統具有成本低、原理簡單、容易判讀及具有相當的可信度。

四、附錄

附錄 A

附錄 A-1 物質危害檢核表[5]

計畫代號：

說明：

日期：

化學品之危害性質如下：

危害之潛在性： 參考註解號

? 重大 → ? 45 → i.e. NOTE 45
 - 無

檢核表 A
 有關化學品危害性質之詳細資料，
 是否都已經做了確認？

品名	狀態	總量 (庫存量 / 生產量)	爆炸/火災之危害			反應性 / 安定 性之危 害	毒性危害			其他之健康危害					
			火災	爆炸	靜電		急性	慢性	致突 變性	臭味	粉塵 危害	腐蝕 性	放射 性	燙傷/ 凍傷	其他
AN	液	25T	√ 1	√ 1	? 14	√ 2	√ 3	? 4	√	-	√	-	-	-	-
BD	液、氣	150T	√ 5	√ 6	? 7	√ 8	-	-	? 9	√ 10	-	-	-	√ 11	√ 12
SM	液	80T	√ 13	√ 13	? 14	√ 15	√	-	? 16	√	-	√	-	-	-
MMA	液	20T	√ 17	√ 17	? 14	√ 18	√	√ 19	-	√	-	-	-	-	-
AA	液	24T	√ 20	√ 20	? 14	√ 21	√	√ 22	-	√	-	√	-	-	-
HA	液	25T	-	-	? 14	√ 23	√	-	-	√	-	√	-	-	-
HM	液	10T	-	-	? 14	√ 24	√	-	-	-	-	√	-	-	-
P2	液	1T	-	-	-	√ 25	-	-	-	-	√	-	-	-	-

KPS	液	8T	—	—	—	—	—	—	—	—	√	—	—	—	√ 26	
TDM	液	8T	—	? 27	? 28	√ 29	√	—	—	√	—	—	—	—	—	
NA	液	25T	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
NaOH	Sol' n	5T	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
DA	液	250kg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
KS	液	0.8T	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

AN：丙烯腈；BD：丁二烯；SM：苯乙烯；MMA：甲基丙烯酸甲酯；AA：丙烯酸；HA：2-基丙烯酸乙酯；HM：2-羧基甲基丙烯酸乙酯

AA	液	24T	√ 16	√ 2	√ 15			√ 3	√ 4		√ 3	√ 5		√ 6	√ 7	√ 7		√ 8
HA	液	25T	√ 17					√ 3										
HM	液	10T	√ 17					√ 3										
P2	液	1T	√ 18		√ 19													
KPS	液	8T	√ 18		√ 19													
TDM	液	8T	√ 20					√ 21										
NA	液	25T																
NaOH	Sol' n	5T	√ 22		√ 23		√ 22	√ 3										
DA	液	250kg																
KS	液	0.8T																

一、檢核表A、B 註解：

1. LFL~UFL=3%~17%，f. p.=-1.1°C
2. 不安定，可能聚合反應。
3. 吸入：曝露於0.6~6mg/m³ 濃度下約三年，導致頭痛、不眠症、心臟痛。
眼睛：可能造成眼瞼內膜組織發炎。
皮膚：可能造成過敏性皮膚炎。
4. 致癌性：於二十年的作業曝露員工研究中，發現會增高腸、肺及前列腺的致癌機率。
5. 易燃性液化氣體，f. p.=-76°C(閉杯)
6. LFL~UFL=2%~11.5%
7. 卸載(unloading)操作時，有潛在發生靜電的可能。
8. 受熱可能發生聚合不安定，與強氧化劑接觸會增高起火、爆炸或劇烈反應的危險性。
9. 可能對人類有致癌性。
10. 汽油味。
11. 會凍傷，必須戴手套。
12. 眼睛在濃度2000~8000ppm 下接觸可能導致刺痛。
13. LFL~UFL=1.1%~7%，f. p.=31°C
14. 流動或攪拌時會累積靜電。
15. 容易發生聚合反應。
16. 疑似致癌物，白血球過多及淋巴瘤與其有關。
17. LFL~UFL=2.1%~12.5%，f.p.=11.5°C。
18. 可能發生聚合，應避免與下列不相容物接觸：硝酸鹽、氧化劑(如：過氧化物)、強鹼、強酸、聚合起始劑。
19. 長期曝露會引起慢性呼吸道疾病、皮膚疾病、腎臟及肝臟疾病。
20. LFL~UFL=5.5%~20.5%，f.p.=51°C(閉杯)68°C(開杯)。
21. 可能發生聚合，如急速聚合溫度上升至395°C時會自燃，應避免受熱及紫外線照射，不相容物有：強氧化劑、過氧化物、聚合觸媒。
22. 氣管粘膜受破壞，會造成呼吸道發炎、肺積水。
23. 可能發生聚合，避免受熱及陽光照射。
24. 可能發生聚合，避免與氧化、還原劑、過氧化物、自由基起始劑接觸，及受熱、陽光照射。
25. 與強酸不相容，會腐蝕鋼鐵、鋁。
26. 大量或長時間皮膚接觸會起濕疹。
27. f.p.=95°C，為可燃物，蒸氣有爆炸可能性。
28. 有可能產生靜電。
29. 與強氧化劑起劇烈反應。
30. 有可能因接觸而起化學反應。

二、檢核表C 註解：

1. 丙烯晴蒸氣壓高(88mmHg)，儲槽有保冷設計，並設置冷凍水(蛇管)循環系統。儲槽以氮封維持正壓(0.03kg/cm²G)以防槽體凹陷(implosion)，設置呼吸閥，尾氣經水封drum 後送至oxidizer 燒除。
2. 原料以槽車運輸進廠，以法蘭接頭式軟管卸收，卸收過程接地。針對灌裝作業有VOC 管制，灌裝完成後之殘餘液體收集後倒入加料鬥回收到製程系統。
3. 小量洩漏時以3M 吸油棉或吸油布吸收，再送至焚化爐燒除。
4. 儲槽呼吸閥之排放尾氣連接至oxidizer，如呼吸閥阻塞時尚有emergency vent之設計，設定壓力為0.05kg/cm²G。
5. 尾氣處理系統為無焰式oxidizer。
6. 現場設置偵測器，警報訊號連接至控制室。控制室備有四套A 級防護衣以供止漏時穿著。儲槽區有消防栓及乾粉滅火器。有緊急應變計畫之規劃。
7. 耐壓防爆區：儲槽區、製程區
內壓防爆區：冷凍機室
安全增防爆區：成品槽區、公用區
8. 遵循API-650W/APP.E&F 9th Ed.
9. 丁二烯儲槽以冷凍水循環保冷，壓力維持在2~3kg/cm²G。儲槽進出口皆有緊急關斷閥，訊號線路防火包覆。槽頂皆設置撒水系統。
10. 原料以槽車運輸進廠，以快速接頭式軟管卸收，卸收過程中接地。
11. 加50~100ppm TBC 抑制劑，進入反應槽前鹼洗至10ppm 以下。
12. 丁二烯儲槽FA102A/B 設計壓力7 kg/cm²G，安全閥設定於6 kg/cm²G；FA102C 設計壓力8 kg/cm²G，安全閥設定於7.2 kg/cm²G；排放氣體經水封drum 後送至oxidizer。
13. 遵循ASTM SEC.VIII DIV. I
14. 苯乙烯(SM)、甲基丙烯酸甲酯(MMA)、丙烯酸(AA)儲槽設計與丙烯晴(AN)相同。
15. MMA、AA 槽除氮封外另加入氧氣(空氣)，以使抑制劑作用，防止聚合，氮氣與空氣比維持在3:1。
16. 丙烯酸儲槽除保冷於20℃外，因其凝固點為13.2℃冬天應防結凍，故有熱交換設計以調控溫度。
17. 200 公斤桶裝存放於冷凍倉庫，空調維持20℃。
18. 帶裝存放於一般倉庫。
19. 人工投料時穿戴手套及防塵防霧空氣面罩。
20. 170 公斤桶裝存放於倉庫。
21. 以次氯酸鈉分解除汙。
22. 採用FRP 桶。
23. 處理時穿戴耐酸鹼手套及化學護目鏡。

附錄 B 設備之可靠度(Reliability Data)資料庫

資料來源	涵蓋之設備/零件範圍
MIL-HDBK-217F - Reliability Prediction of Electronic Equipment	Electronic components
EPRD - Electronic Parts Reliability Data (RIAC)	Electronic components
NPRD-95 Non-electronic Parts Reliability Data(RIAC)	Mechanical and electro-mechanical components
FMD-97 Failure Mode/Mechanism Distributions (RIAC)	Electronic, electrical, mechanical and electro-mechanical components
SPIDR - System and Part Integrated Data Report (System Reliability Center)	Electronic and electro-mechanical components
SR-332 Reliability Prediction for Electronic Equipment (Telcordia Technologies)	Electronic components
EiReDA - European Industry Reliability Data	Mainly components in nuclear power plants
OREDA - Offshore Reliability Data	Topside and subsea equipment for offshore oil and gas production
MechRel - Handbook of Reliability Prediction for Mechanical Equipment	Mechanical equipment - military applications
T-Book (Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants (ISBN 91-631-0426-1)	Components in nuclear power plants
Reliability Data for Control and Safety Systems - PDS Data Handbook	Sensors, detectors, valves & control logic
Safety Equipment Reliability Handbook (exida)	Safety equipment (sensors, logic units, actuators)
WellMaster (ExproSoft)	Components in oil wells

SubseaMaster (ExproSoft)	Components in subsea oil/gas production systems
GIDEP (Government-Industry Data Exchange Program)	
CCPS Guidelines for Process Equipment Reliability Data , AIChE, 1989	Process equipment
PERD - Process Equipment Reliability Data (AIChE)	Process equipment
FARADIP	Electronic, electrical, mechanical, pneumatic equipment
IEEE Std. 500-1984: IEEE Guide to the Collection and Presentation of Electrical, Electronic, Sensing Component, and Mechanical Equipment Reliability Data for Nuclear Power Generating Stations	See title
FASIT (Feil og avbrudd i kraftsysteme)	Failure in the electro-power supply system (in Norwegian)

附錄 C 製程設備之故障率

本附錄選錄的機器設備及相關零組件的故障率僅供參考。在使用這些 data 時宜注意其原始資料來源，儘可能採用與 貴廠相類似的 rate。

設備	故障率 (每 10 ⁶ 小時)	設備	故障率 (每 10 ⁶ 小時)
加速計	5	熱交換器－管殼式(大型)	60
執行元件	36	熱交換器－管殼式(小型)	20
警報鈴	5	熱交換器－板式	30
空氣輸送	8	電加熱器	90
警報系統	24	指示器－溫度	100
放大器	18	指示器－壓力	12
化學分析儀	530	指示器－流量	30
電池	18	指示器－液位	20
充電器	26	反向器	40
風機	185	管道聯接	2
蒸汽鍋爐	220	電動馬達	8
動力電纜	3	電子振盪器	26
斷路器	0.3	電力輸送	32
離合器	5	泵－離心式－大型	300
壓縮機－空氣	51	泵－離心式－小型	100
壓縮機－離心式－大型	4000	泵－往復式	350
壓縮機－往復式－大型	8000	泵－燃料－發動機驅動	500
蒸汽冷凝器	26	溫度記錄儀	110
電源插座	0.4	繼電器	1
計算機－大型	6000	密封	4
計算機－小型	400	開關－電	2
計算機－微型	60	開關－壓力	5

控制器－溫度	30	開關－液位	30
控制器－壓力	12	分離器	170
控制器－流量	30	洗滌塔	14
控制器－液位	10	儲槽	4
電子整流器	10	計時器	42
皮帶輸送	670	變壓器	5
聯接器	17	變送器－溫度	10
起重機	2000	變送器－壓力	14
檢測器－氣體	47	變送器－流量	38
檢測器－H ₂ S	18	變送器－液位	20
檢測器－煙霧	7	蒸汽渦輪機	30
檢測器－UV	12	閥門－馬達驅動	35
檢測器－遠紅外線	45	閥門－氣動	60
乾燥器－小型	45	閥門－液壓	50
乾燥器－大型	3000	閥門－集水	20
鼓風機	50	閥門－手動	10
過濾機－普通	38	閥門－風動	30
壓力容器	1	閥門－蝴蝶閥	25

附錄 D 摘錄自常用資料庫之機器設備及相關零組件的故障率

表 D-1 (英 SRD data bank)

Basic events	Failure rate (h)*
Level switch (Primary tank)	1.6×10^6
Pump (Priming)	2×10^6
water tank (Priming)	4×10^4
Foot valve	5×10^6
water storage empty	0.1×10^6
Fire pump	1×10^5
Deluge valve	1×10^5
Main power supply	1×10^4
Standby power supply	5×10^6
pipe rupture(Priming)	0.5×10^6
Pipe rupture(Main flow)	0.5×10^6
Air line blockage	0.5×10^6
Non return valve	5×10^6
Fire doctor bulbs	0.5×10^6
Pressure switch	3.4×10^6
Manual valves (Operator error)	0.04×10^6

表 D-2 (英 SRD data bank)

Component	Failure rate, yr ⁻¹
Impulse line	0.09
Pressure switch	0.1
Relay	0.01
Solenoid valve (SOV)	0.1
Trip valve	0.1
Air line blocked	0.01

表 D-3 Failure rates for cooling subsystem (英 SRD data bank)

Item	Mean failure rate*	No	off Total*
Pressure sensor	42	2	84
Temperature sensor	12	2	24
Safety relief valve	130	1	130
shut-off Valve	95	2	190
Heat exchanger	99	1	99
Check valve (NRV)	2	1	2
Centrifugal pump	260	1	260
Control unit	25	1	25

表 D-4 Equipment failure rates⁺(英 SRD data bank)

Item	Failure rate*
Air supply	8
Alarm system	24
Blower	185
Boiler	220
Compressor (air)	51
Compressor (large centrifugal)	4000
Compressor (large reciprocating)	8000
Controller(flow)	30
Fan	50
Generator (diesel)	900
Heat exchanger (shell and tube)	40
Motor (electric)	8
Power supply	32
Pump (centrifugal)	200
Pump (fire engine driven)	500
Tank	4
Turbine (steam)	35
Valve (pneumatic)	60
Valve (safety)	30
Vessel (pressure)	1

註:

⁺Based on material from Reliability of mechanical Systems. 2nd edition 1994.

* All failure rates are per million hours

表 D-5 Equipment failure rates⁺(英 SRD data bank)

Equipment failure rate	failure rate(failures/10 ⁶ h)
Electric motors (general)	10.0
Transformers (<15kV)	0.6
(132-400KV)	7.0
Circuit breakers (general,<33kV)	2.0
(400kV)	10.0
Pressure vessels (general)	3.0
(high standard)	0.3
Pipes	0.2
Pipe joints	0.5
Ducts	1.0
Gaskets	0.5
Bellows	5.0
Diaphragm (metal)	5.0
(rubber)	8.0
Unions and junctions	0.4
Hoses (heavily stressed)	40.0
(lightly stressed)	4.0
Ball bearings (heavy duty)	20.0
(light duty)	10.0
Roller bearings	5.0
Sleeve bearing	5.0
Shafts (heavily stressed)	0.2
(lightly stressed)	0.02
Relief valves: leakage	2.0
Blockage	0.5
Hand-operated valve	15.0
Control valves	30.0
Ball valves	0.5
Solenoid valves	30.0
Rotating seals	7.0
Sliding seals	3.0
O'ring seals	0.2
Couplings	5.0
Belt drives	40.0
Spur gears	10.0
Helical gears	1.0
Friction clutches	3.0
Magnetic clutches	6.0
Fixed orifices	1.0
Variable orifice	5.0
Nozzle and flapper	
Assemblies: blockage	6.0
Breakage	0.2

Filters: blockage	1.0
Leakage	1.0
Rack-and-pinion assemblies	
Knife-edge assemblies	2.0
Springs(heavily stressed)	1.0
(lightly stressed)	0.2
Hair springs	1.0
Calibration springs: creep	2.0
Breakage	0.2
Vibration mounts	9.0
Mechanical joints	0.2
Grub screws	0.5
Pins	15.0
Pivots	1.0
Nuts	0.02
Bolts	0.02
Boilers(all types)	1.1
Boiler feed pumps	1012.5
Cranes	7.8

表 D-6 非電子零組件之故障率(Rome air development center, USA, 1975)

PART	FAILURE RATE (failure per 10 ⁶ part-hours)
Batteries, rechargeable	27.027
Bearings, general	21.921
Bearings ball	9.142
Blowers and fans, centrifugal	9.542
Boards, printed circuit	0.003
Connections solder	0.0039
Connections, welded	0.0017
Connections, wire wrap	0.000014
Connectors, rectangular	0.0065
Engines, diesel	1733.111
Engines, gas turbine	577.397
Gasket and seals, gasket	1.433
Gasket and seals, o ring	1.182
Gasket and packing	0.24
Heater, electrical	2.151
Hoses, general	0.240
Instruments, meter	0.366
Instruments, indicator, air press	1.020
Instruments, indicator, fuel qty.	78.811
Instruments, indicator, liquid level	11.905
Instruments, indicator, temperature	62.016
Instruments, indicator, velocity	97.096
Mechanism, power trans, coupling	4.662
Mechanism, power trans, fan belt	4.007
Mechanism, power trans, gear box	11.726
Mechanism, power trans, pulley	32.279
Motors, electrical, induction	14.774
Motors, electrical fract, hp, ac	7.522
Motors, electrical 2 hp, ac	2.413
Motors, electrical 5 hp, ac	4.825
Motors, electrical 10 hp, ac	1.206
Motors, electrical motor generator set	27.778
Generators	9.34
Generators, turbine driven	11.925
Pumps, boiler feed	0.422
Pumps, centrifugal	12.058
Pumps, fuel	23.121
Relays, general	0.166
Relays, latching	0.569
Switches, pushbutton	0.270
Switches, rotary	1.329

Tanks, fuel	7.745
Valves, check	3.014
Valves, globe	0.185
Valves, relief	1.514
Valves, solenoid	2.404

表 D-7(英 AEC，用於核電廠)

		Median	Failure rate range
Diesels (complete plant)	Failure to start, $Q_d^{(a)}$	$3 \times 10^{-2}/d$	$1 \times 10^{-2}-1 \times 10^{-1}/d$
	Failure to run, given start, in Emergency conditions, λ_o	$3 \times 10^{-3}/h$	$3 \times 10^{-4}-3 \times 10^{-2}/h$
Diesels (engine only)	Failure to run, given start, in Emergency conditions, λ_o	$3 \times 10^{-4}/h$	$3 \times 10^{-5}-3 \times 10^{-3}/h$
Battery power systems (wet cell)	Failure to provide proper output, λ_s	$3 \times 10^{-6}/h$	$1 \times 10^{-6}-1 \times 10^{-5}/h$
Electric motors	Failure to start, $Q_d^{(b)}$	$3 \times 10^{-4}/h$	$1 \times 10^{-4}-1 \times 10^{-3}/d$
	Failure to run, given start, in normal environment, λ_o	$1 \times 10^{-5}/h$	$3 \times 10^{-6}-3 \times 10^{-5}/h$
	Failure to run, given start, in extreme environment, λ_o	$1 \times 10^{-3}/h$	$1 \times 10^{-4}-1 \times 10^{-2}/h$
Transformers	Open circuit, primary or secondary, λ_o	$1 \times 10^{-6}/h$	$3 \times 10^{-7}-3 \times 10^{-6}/h$
	Short, primary to secondary, λ_o	$1 \times 10^{-6}/h$	$3 \times 10^{-7}-3 \times 10^{-6}/h$
Solid state devices(low power application)	Failure to function, λ_o	$1 \times 10^{-6}/h$	$1 \times 10^{-7}-1 \times 10^{-5}/h$
	Failure by short, A_0	$1 \times 10^{-7}/h$	$1 \times 10^{-8}-1 \times 10^{-6}/h$
Circuit breakers	Failure to transfer, $Q_d^{(b)}$	$1 \times 10^{-3}/d$	$3 \times 10^{-4}-3 \times 10^{-3}/d$
	Premature transfer, A_0	$1 \times 10^{-6}/h$	$3 \times 10^{-7}-3 \times 10^{-6}/h$
Fuses	Failure to open, Q_d	$1 \times 10^{-5}/h$	$3 \times 10^{-6}-3 \times 10^{-5}/d$
	Premature open, λ_o	$1 \times 10^{-6}/h$	$3 \times 10^{-7}-3 \times 10^{-6}/h$

表 D-7(英 AEC，用於核電廠)(續)

		Median	Failure rate range
Relays	Failure to energize, Qd(b)	$1 \times 10^{-4}/d$	$3 \times 10^{-5}-3 \times 10^{-4}/d$
	Failure of NO contacts to close, given energization, λ_o	$3 \times 10^{-7}/h$	$1 \times 10^{-7}-1 \times 10^{-6}/h$
	Failure of NC contacts by opening, given no energization, λ_o	$1 \times 10^{-7}/h$	h
	Short across NO/NC contacts, λ_o	$1 \times 10^{-8}/h$	$3 \times 10^{-8}-3 \times 10^{-7}/h$
	Coil open, λ_o	$1 \times 10^{-7}/h$	h
	Coil short to power, λ_o	$1 \times 10^{-8}/h$	$1 \times 10^{-9}-1 \times 10^{-7}/h$
			h
			$1 \times 10^{-9}-1 \times 10^{-7}/h$
Terminal boards	Open connection, λ_o	$1 \times 10^{-7}/h$	$1 \times 10^{-8}-1 \times 10^{-6}/h$
	Short to adjacent circuit, λ_o	$1 \times 10^{-8}/h$	h
Wires(typical circuit, several joints)	Open circuit, λ_o	$3 \times 10^{-6}/h$	$1 \times 10^{-6}-1 \times 10^{-5}/h$
	Short to ground, λ_o	$3 \times 10^{-7}/h$	h
	Short to power, λ_o	$1 \times 10^{-8}/h$	$3 \times 10^{-8}-3 \times 10^{-6}/h$
Instrumentation(amplification, annunciators, transducers, combination)	Failure to operate, λ_o	$1 \times 10^{-6}/h$	$1 \times 10^{-7}-1 \times 10^{-5}/h$
	Shift in calibration, λ_o	$3 \times 10^{-5}/h$	h
Pressure switches	Failure to operate, Qd	$1 \times 10^{-4}/d$	$3 \times 10^{-5}-3 \times 10^{-4}/d$
Limit switches	Failure to operate, Qd	$3 \times 10^{-4}/d$	$1 \times 10^{-4}-1 \times 10^{-3}/d$
Valves (manual)	Failure to remain open (plug), Qd	$1 \times 10^{-4}/d$	$3 \times 10^{-5}-3 \times 10^{-4}/d$
	Rupture, λ_s	$1 \times 10^{-8}/h$	h
			$1 \times 10^{-9}-1 \times 10^{-7}/h$

表 D-7(英 AEC，用於核電廠) (續)

		Median	Failure rate range
Valves (air-fluid operated)	Failure to operate, Qd(b)		
	Failure to remain open (plug) (c)	$3 \times 10^{-4}/d$	$1 \times 10^{-4}-1 \times 10^{-3}/d$
	Qd		
	λ_s	$1 \times 10^{-4}/d$	
Valves (motor operated, includes driver)	Rupture, λ	$3 \times 10^{-7}/h$	$3 \times 10^{-5}-3 \times 10^{-4}/d$
		$1 \times 10^{-8}/h$	$1 \times 10^{-7}-1 \times 10^{-6}/h$
			$1 \times 10^{-9}-1 \times 10^{-7}/h$
Valves (solenoid operated)	Failure to operate, Qd(b)		
	Failure to remain open (Plug), Qd	$1 \times 10^{-3}/d$	$3 \times 10^{-4}-3 \times 10^{-3}/d$
	Rupture, λ_s	$1 \times 10^{-4}/d$	$1 \times 10^{-7}-1 \times 10^{-6}/h$
		$1 \times 10^{-8}/h$	$1 \times 10^{-9}-1 \times 10^{-7}/h$
Relief valves	Failure to open, Qd	$1 \times 10^{-3}/d$	$3 \times 10^{-4}-3 \times 10^{-3}/d$
	Premature open, λ_0	$1 \times 10^{-4}/d$	$1 \times 10^{-9}-1 \times 10^{-7}/h$
		$1 \times 10^{-8}/h$	$3 \times 10^{-5}-3 \times 10^{-4}/d$
Check valves	Failure to open, Qd	$1 \times 10^{-5}/d$	$3 \times 10^{-6}-3 \times 10^{-5}/d$
	Internal leak (severe), λ_0	$1 \times 10^{-5}/h$	$3 \times 10^{-6}-3 \times 10^{-5}/h$
	Rupture, λ_0	$3 \times 10^{-7}/h$	$3 \times 10^{-5}-3 \times 10^{-4}/d$
	$1 \times 10^{-8}/h$	$1 \times 10^{-7}-1 \times 10^{-6}/h$	
		$4 \times 10^{-9}-\times 10^{-7}/h$	

表 D-7(英 AEC，用於核電廠) (續)

		Median	Failure rate range
Pumps (including driver)(d)	Failure to start, Qd	$1 \times 10^{-3}/d$	$3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-3}/d$
	Failure to run, given start, in normal environment, λ_0	$3 \times 10^{-5}/h$	
	Failure to run, given start, in extreme post-accident environment inside containment λ_0	1×10^{-3}	
Pipes ≤ 3 in (per section) > 3 in (per section)	Rupture/plug, λ_s, λ_0	$1 \times 10^{-9}/h$	$3 \times 10^{-1} - 3 \times 10^{-8}/h$
	Rupture/plug, $\lambda_s \lambda_0$	$1 \times 10^{-10}/h$	$3 \times 10^{-12} - 3 \times 10^{-9}/h$
Gaskets (containment quality)	Leak (serious) in post-accident situation, λ_0	$3 \times 10^{-6}/h$	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-4}/h$
Elbows, flanges, expansion joints (containment quality)	Leak (serious) in post-accident situation, λ_0	$3 \times 10^{-7}/h$	$1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-5}/h$
Welds (containment quality)	Leak (serious) in post-accident situation, λ_0	$3 \times 10^{-9}/h$	$1 \times 10^{-10} - 1 \times 10^{-7}/h$
Clutches (mechanical)	Failure to operate, Qd(b)	$3 \times 10^{-4}/d$	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}/d$

附錄 E 人爲失誤可能性參考表

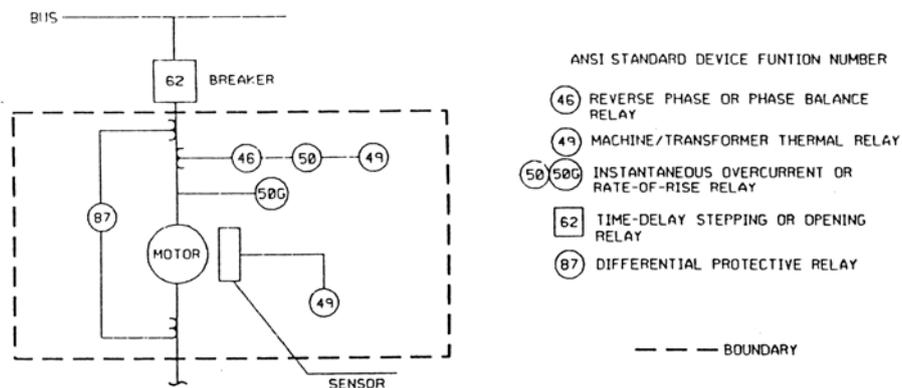
人爲失誤	可能性
1.一般狀況下的人爲錯誤機率，如：看錯標示選錯開關	3×10^{-3}
2.疏忽性的錯誤機率，如：維修後面板未顯示閥狀態時，手動操作閥未復原	1×10^{-2}
3.未驗算而造成計算錯誤	3×10^{-2}
4.換班時未使用檢核表或操作指引，致未確認硬體條件而發生失誤	1×10^{-1}
5.日常檢點時未使用檢核表，致未查覺閥件位置有異而發生失誤	5×10^{-1}
6.承受極大壓力後幾個小時內操作錯誤	1×10^{-2}
7.承受極大壓力後30分鐘內操作錯誤	1×10^{-1}
8.承受極大壓力後5分鐘內操作錯誤	9×10^{-1}
9.承受極大壓力後1分鐘內操作錯誤	1

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 1.1.1	設備描述 交流馬達(MOTORS-AC)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率(每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Fails to Run Once Started b. Fails to Position Properly c. Fails to Start on Demand DEGRADED a. Shaft Fails to Run at Rated Speed b. Fails to Position Correctly c. "Hunts" for Correct Position		0.0222	15.2	46.7	0.00448	0.0247	0.0685

設備邊界(Equipment Boundary)



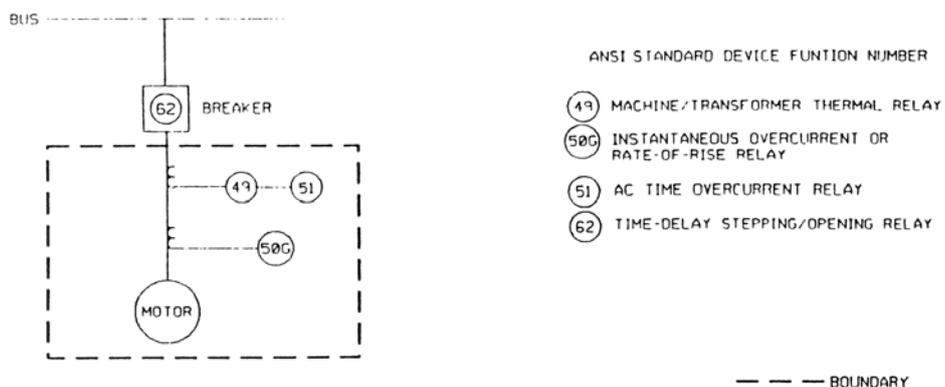
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：8.2,8.5

選定之製程系統與設備數據

分類號碼	1.1.1.1	設備描述	交流感應馬達(MOTORS-AC-INDUCTION)
操作模式		嚴重度	未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率(每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC d. Fails to Run Once Started e. Fails to Position Properly f. Fails to Start on Demand DEGRADED d. Shaft Fails to Run at Rated Speed e. Fails to Position Correctly f. "Hunts" for Correct Position		0.311	3.20	10.5	0.00448	0.0247	0.0685

設備邊界(Equipment Boundary)



參見原手冊表 5.1 之參考文獻：8.2,8.5

選定之製程系統與設備數據

分類號碼	1.1.2	設備描述	直流馬達(MOTORS-DC)
操作模式		嚴重度	未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC g. Fails to Run Once Started h. Fails to Position Properly i. Fails to Start on Demand DEGRADED g. Shaft Fails to Run at Rated Speed h. Fails to Position Correctly i. "Hunts" for Correct Position		7.91	22.5	47.6			

設備邊界(Equipment Boundary)



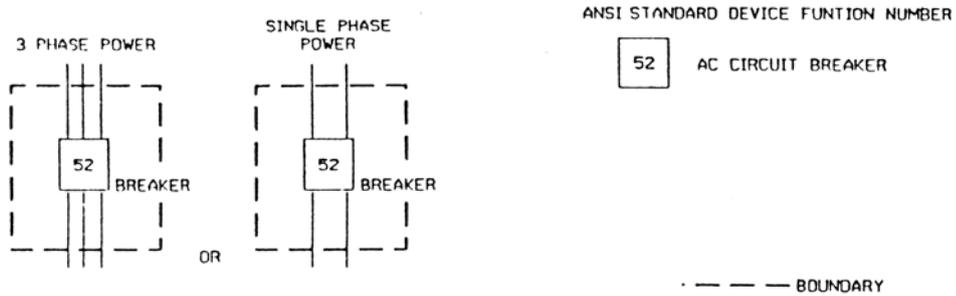
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：8.2,8.5

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 1.2.3.1	設備描述 交流電斷路器(CIRCUIT BREAKERS-AC)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間		失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
失誤模式		失誤機率(每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC		0.162	1.75	5.79	0.203	1.16	3.24
a. Spurious Operation							
b. Failed to Open on Demand							
c. Failed to Close on Demand							
DEGRADED							
INCIPIENT							
a. Contaminated							

設備邊界(Equipment Boundary)



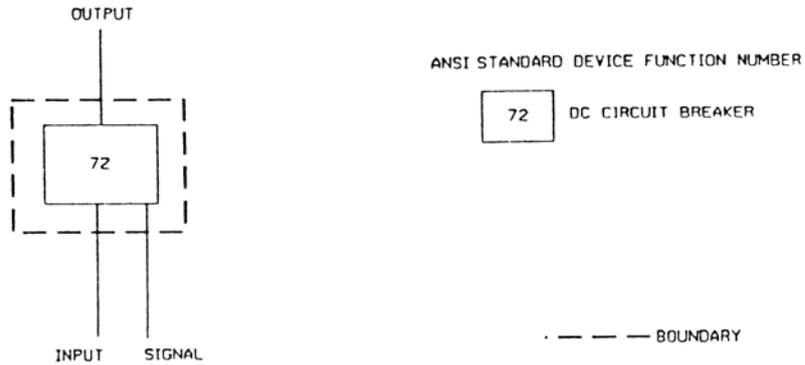
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：7,8.1,8.2,8.3,8.4,8.6,8.11,8.12,8.14,8.15

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 1.2.3.2	設備描述 直流電斷路器(CIRCUIT BREAKERS-DC)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間		失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a.Spurious Operation b.Failed to Open on Demand c.Failed to Close on Demand DEGRADED INCIPIENT a.Contaminated		0.0348	3.80	14.4	0.0927	0.883	2.85

設備邊界(Equipment Boundary)



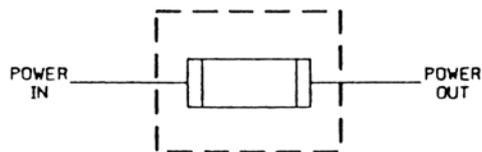
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：8.2,8.3,8.15

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 1.2.6	設備描述 保險絲(FUSES)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a.Premature		0.0265	0.634	2.36			

設備邊界(Equipment Boundary)



· - - - BOUNDARY

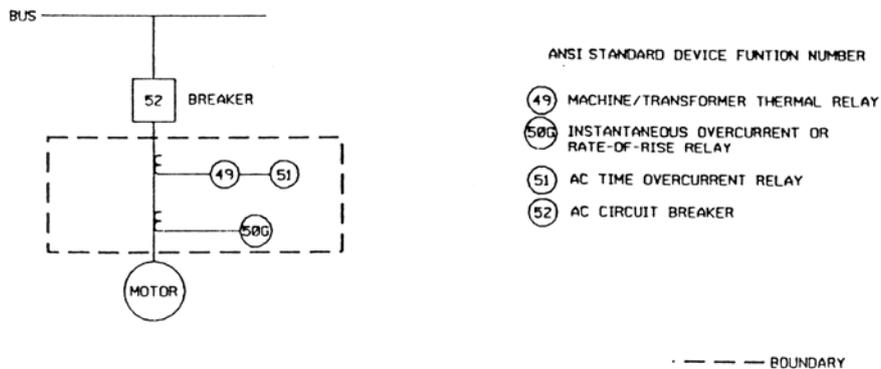
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：8.2,8.3,8.5,8.15

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 1.2.7.2	設備描述 保險絲(FUSES)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC		1.79	1.91	2.04			
a. Fails to Close on Demand		0.00104	0.06	0.232			
b. Fails to Open on Demand		0.0015	0.00288	0.00486			
c. Spurious Operation		0.00387	0.00598	0.0087			
d. Delayed Change of State							
e. Premature Change of State							

設備邊界(Equipment Boundary)



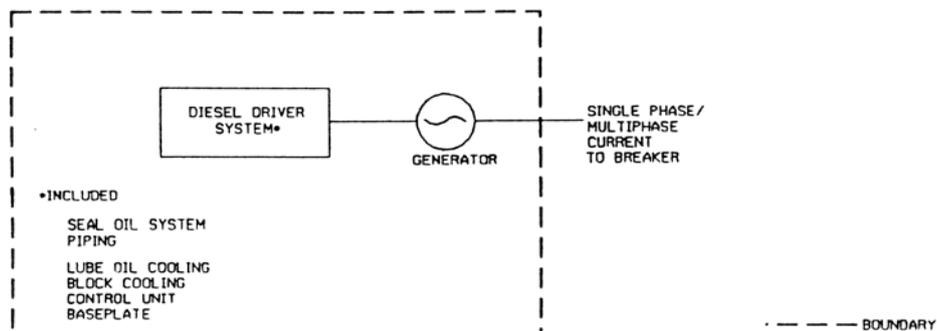
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：8.2,8.5,8.7

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 1.3.1.1	設備描述 緊急備用柴油發電機 (EMERGENCY POWER GENERATORS-DIESEL DRIVEN)
操作模式 STANDBY	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間		失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Fails to Stat b. Fails to Run c. Fails to Supply Load in Time DEGRADED a. Delayed Start after Multiple Attempts b. Fails to Maintain Voltage /Frequency Specification INCIPIENT a. Improper Cooling/Heating b. RPM Hunting c. Faulty Indication d. Vibration e. Improper Lubrication		1.72	2250.0	7710.0	2.22	17.6	54.5

設備邊界(Equipment Boundary)



Comment: Based on nuclear power plant emergency diesel service.

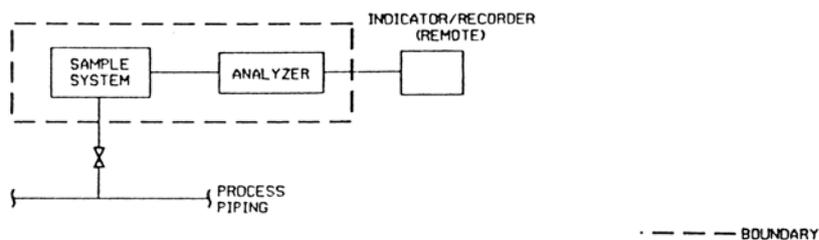
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：8,8.1,8.2,8.3,8.9,8.10,8.11,8.13,8.14,8.15

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.1	設備描述 分析器(ANALYZERS)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input		6.87		4800.0			
DEGRRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output							
INCIPIENT							

設備邊界(Equipment Boundary)



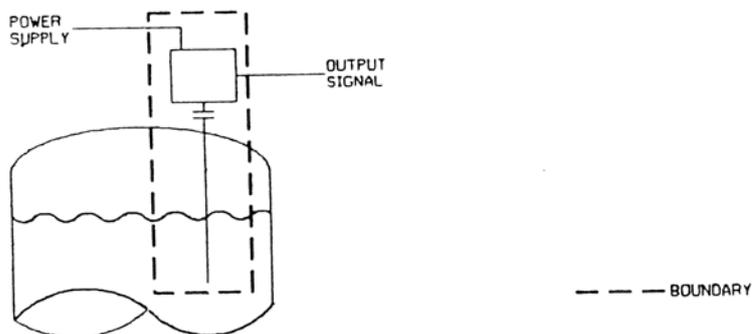
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.3.1.2.3	設備描述 電子級傳感器(TRANSMITTERS – ELECTRONIC LEVEL- CAPACITANCE PROBE)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啟動次數		
		日曆時間	實際操作時間		失誤機率(每 10 ³ 次啟動)		
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啟動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input DEGRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output INCIPIENT		0.436	25.1	97.1			

設備邊界(Equipment Boundary)



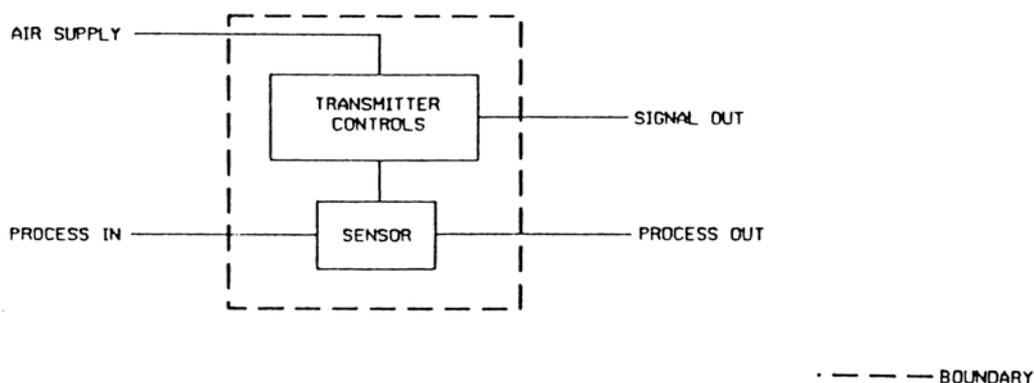
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.3.2.1	設備描述 氣動流量傳感器 (TRANSMITTERS – PNEUMATIC –FLOW)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啟動次數		
		日曆時間	實際操作時間		失誤機率(每 10 ³ 次啟動)		
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啟動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input		1.93	109.0	439.0			
DEGRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output							

設備邊界(Equipment Boundary)



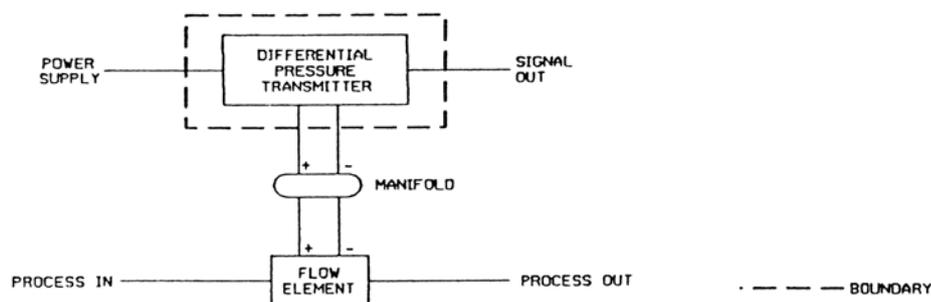
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4,7

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.3.2.1.1	設備描述 氣動-流量-差壓型傳感器 (TRANSMITTERS – PNEUMATIC –FLOW –DIFFERENTIAL PRESSURE)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啟動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啟動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC (includes control faults)		2.03	118.0	486.0			
a. Maximum Output							
b. No Output							
c. No Change of Output with Change of Input							
DEGRADED							
a. Erratic Output							
b. High Output							
c. Low Output							
INCIPIENT							

設備邊界(Equipment Boundary)



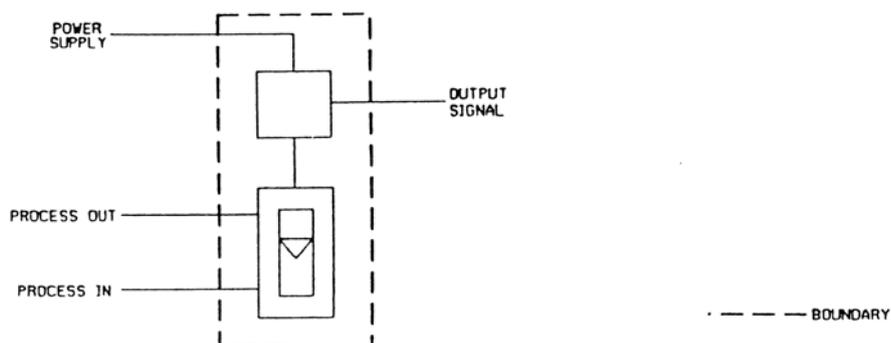
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4,7

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.3.2.1.2	設備描述 氣動-流量-可變面積傳感器 (TRANSMITTERS – PNEUMATIC –FLOW –VARIABLE AREA)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間		失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input		1.59	96.3	373.0			
DEGRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output							
INCIPIENT							

設備邊界(Equipment Boundary)



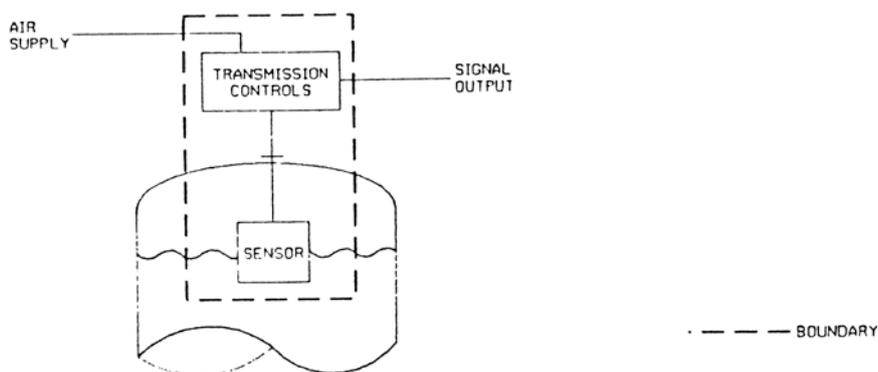
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.3.2.2	設備描述 氣動-水位傳感器(TRANSMITTERS – PNEUMATIC – LEVEL)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啟動次數		
		日曆時間	實際操作時間		失誤機率(每 10 ³ 次啟動)		
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啟動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input		2.32	141.0	573.0			
DEGRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output							
INCIPIENT							

設備邊界(Equipment Boundary)



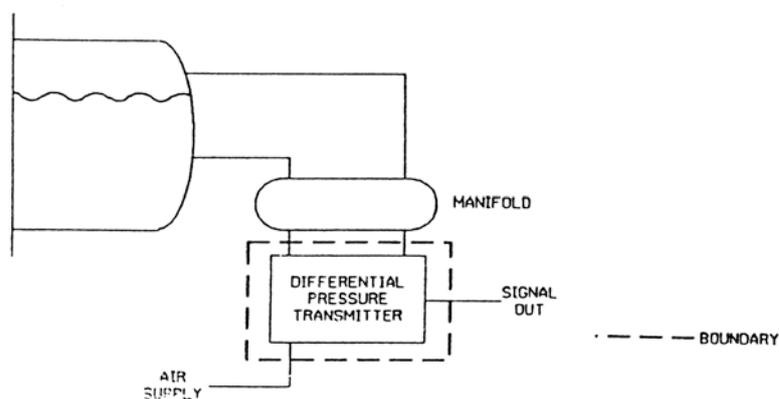
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4,7

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.3.2.2.1	設備描述 氣動-水位-差壓型傳感器 (TRANSMITTERS – PNEUMATIC – LEVEL – DIFFERENTIAL PRESSURE)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input		2.18	99.4	417.0			
DEGRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output							
INCIPIENT							

設備邊界(Equipment Boundary)



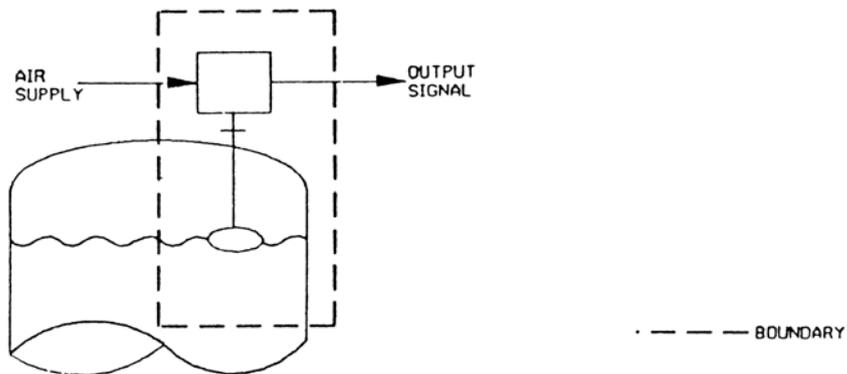
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4,7

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.3.2.2.3	設備描述 氣動-水位-浮子型傳感器 (TRANSMITTERS – PNEUMATIC – LEVEL – FLOAT)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間		失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input DEGRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output INCIPIENT		3.25	187.0	723.0			

設備邊界(Equipment Boundary)



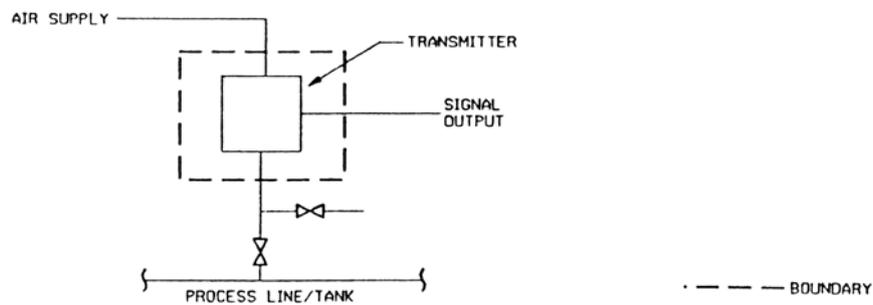
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.3.2.3	設備描述 氣動-壓力傳感器(TRANSMITTERS – PNEUMATIC – PRESSURE)
操作模式	嚴重度 未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input		0.159	91.3	381.0			
DEGRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output							
INCIPIENT							

設備邊界(Equipment Boundary)



參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4,7

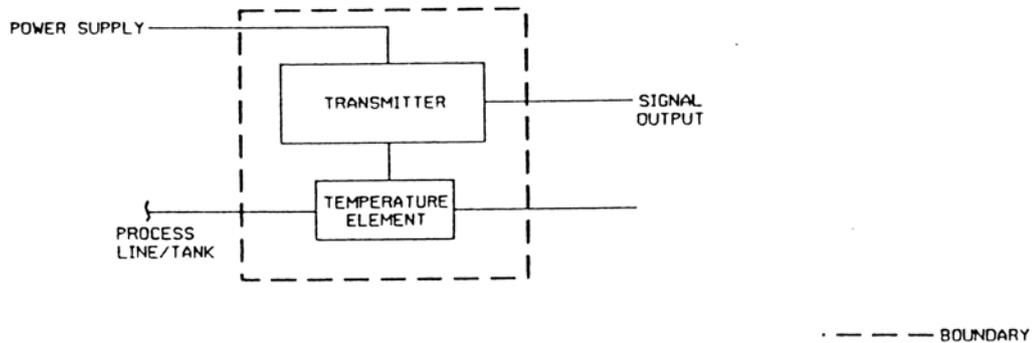
選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.3.*.4	設備描述 溫度傳感器
----------------	------------

		(TRANSMITTERS – TEMPERATURE)	
操作模式		嚴重度 未知	

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啟動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啟動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input		1.68	97.0	375.0			
DEGRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output							
INCIPIENT							

設備邊界(Equipment Boundary)



參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4

選定之製程系統與設備數據

分類號碼 2.1.3.*.5	設備描述 差壓傳感器 (TRANSMITTERS – DIFFERENTIAL PRESSURE)
操作模式	嚴重度 未知

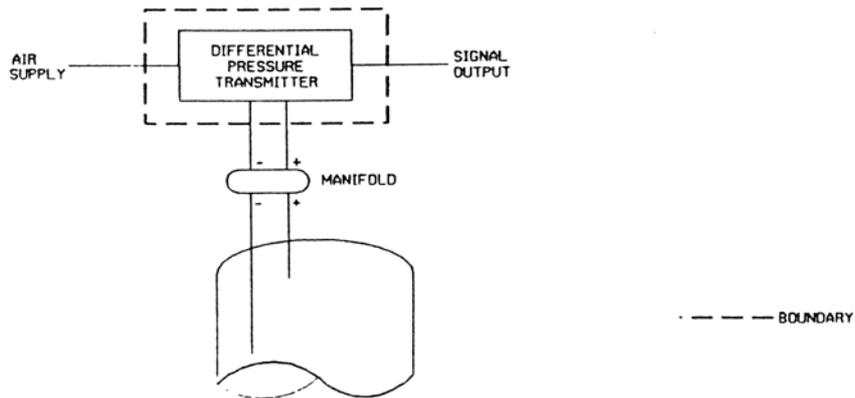
母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input DEGRRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output INCIPIENT		1.01	65.6	254.0			
設備邊界(Equipment Boundary) <div style="text-align: center;"> </div> <p>COMMENTS: Source does not specify between pneumatic and electronic transmitters</p>							
參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4							

選定之製程系統與設備數據

分類號碼	2.1.3.*.5	設備描述	差壓傳感器 (TRANSMITTERS – DIFFERENTIAL PRESSURE)
操作模式		嚴重度	未知

母體	樣本	累積服役時間(10 ⁶ hrs)			啓動次數		
		日曆時間	實際操作時間				
失誤模式		失誤機率 (每 10 ⁶ 小時)			失誤機率(每 10 ³ 次啓動)		
		最低	平均	最高	最低	平均	最高
CATASTROPHIC a. Maximum Output b. No Output c. No Change of Output with Change of Input DEGRRADED a. Erratic Output b. High Output c. Low Output INCIPIENT		3.79	218.0	843.0			

設備邊界(Equipment Boundary)



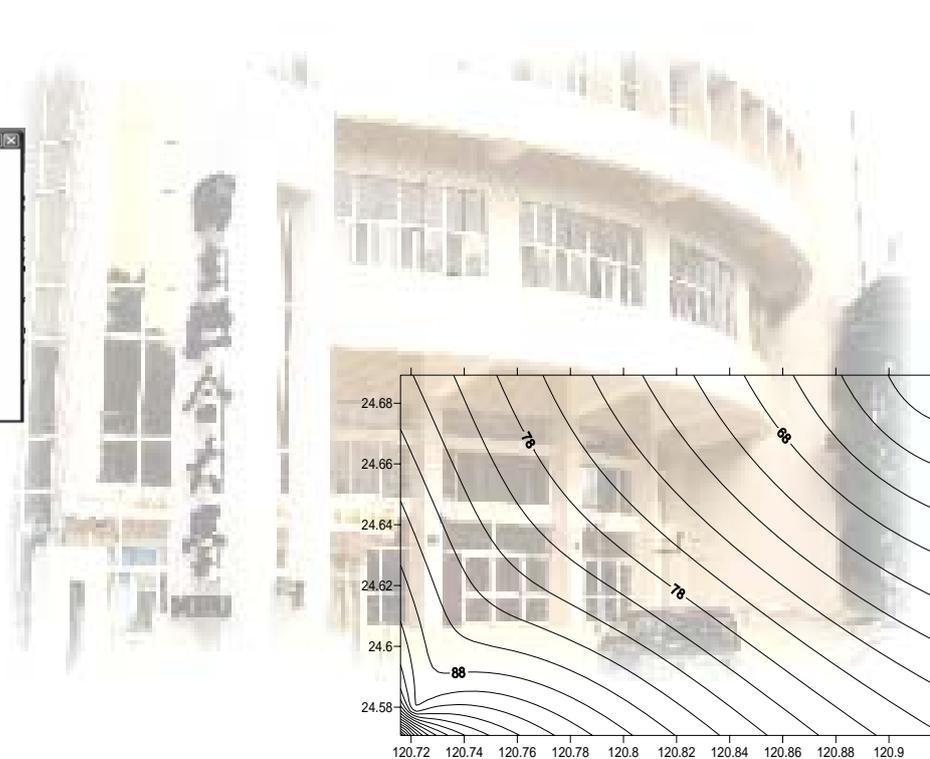
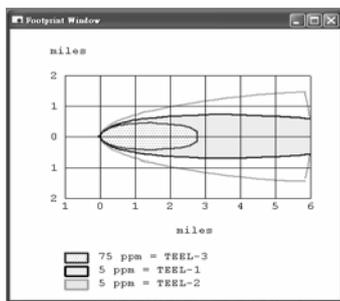
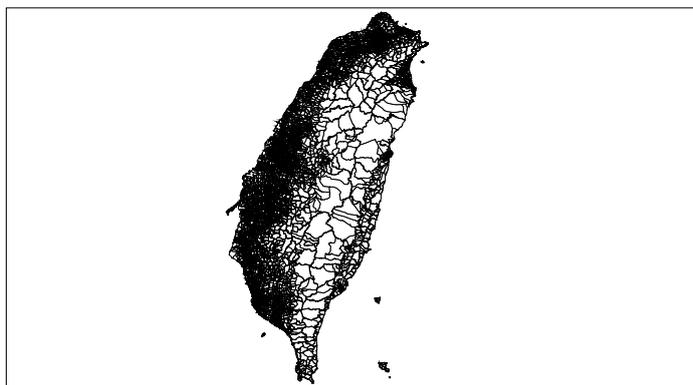
COMMENTS: Source does not specify between pneumatic and electronic transmitters

參見原手冊表 5.1 之參考文獻：4



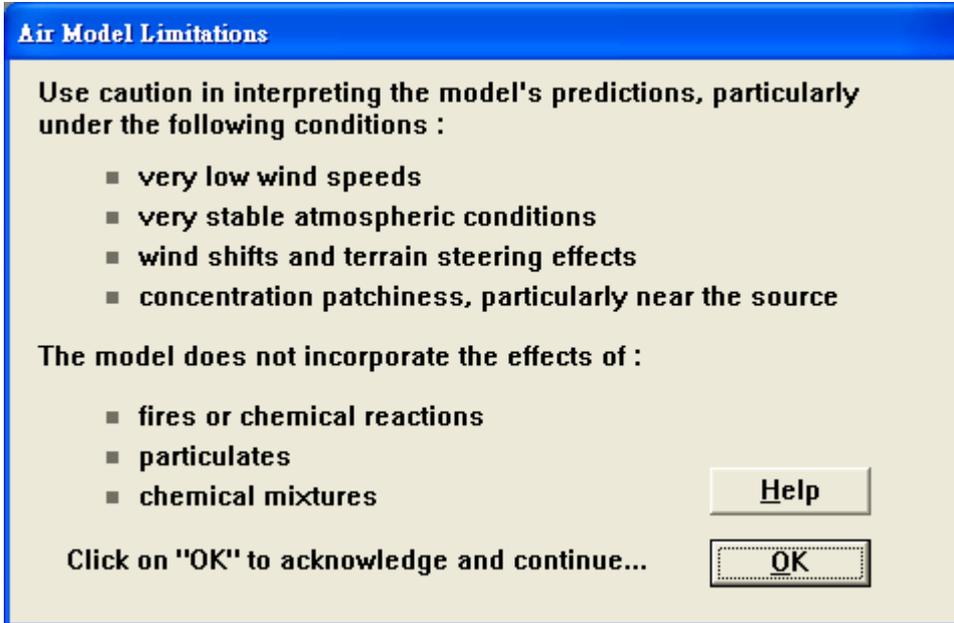
石化廠化學品洩漏擴散後果模擬分析軟體應用
－教育訓練教材－

ALOHA 風險危害評估之應用





1. 開啓 ALOHA
2. 出現此畫面：



使用時謹慎理解各種模組的預測，特別是下列情況：

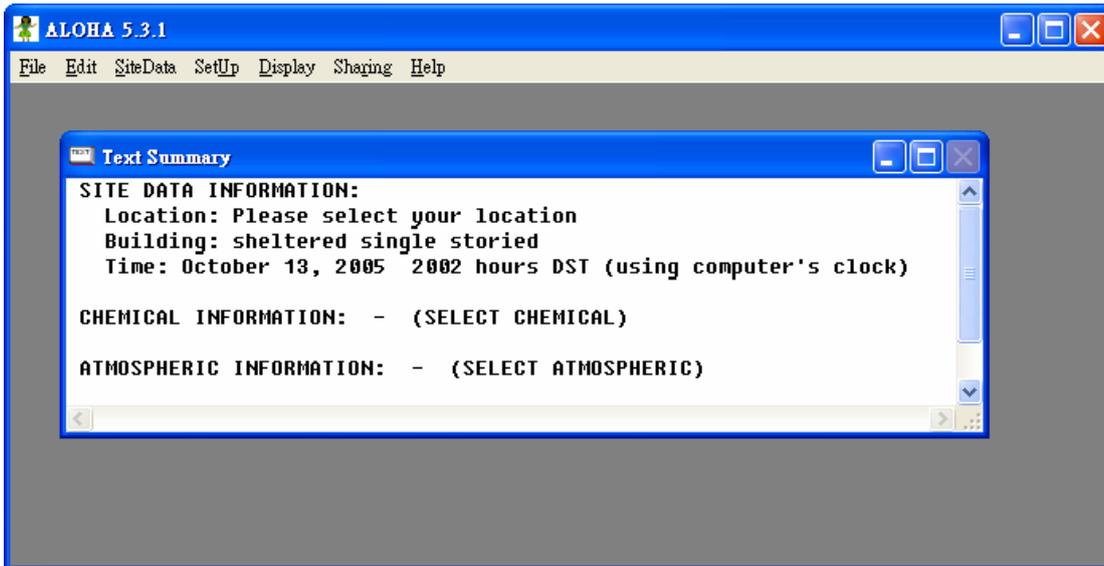
- 風速相當低時
- 氣候條件相當穩定時
- 風向改變和地形操縱影響
- 注意不規則情況，特別是在污染源附近

模組並不包括下列影響：

- 火災或化學反應
- 微粒狀物質
- 化學物質混合

接著按下 OK

3. 出現主畫面：



SITE DATA INFORMATION:

廠址數據資料：(下列包含：時間、來源形式、地點)

CHEMICAL INFORMATION:

化學物質資訊：

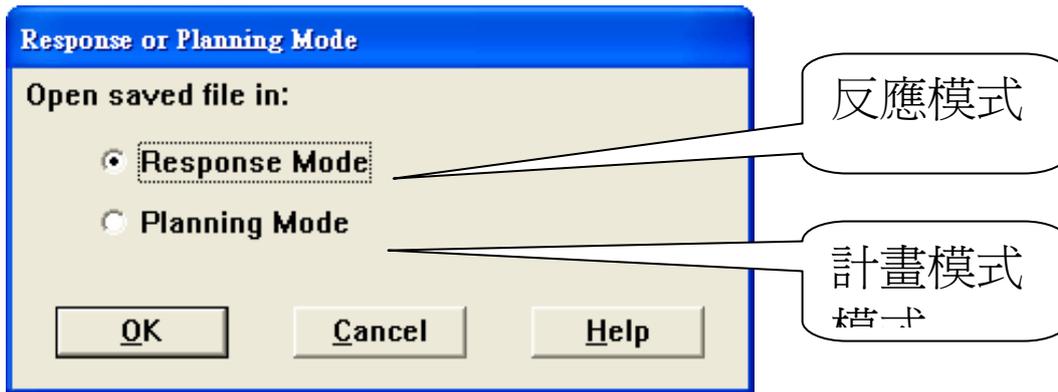
ATMOSPHERIC INFORMATION:

氣象資訊：

4. 按下 File/Open 開啓舊檔



5. 出現此對話框：



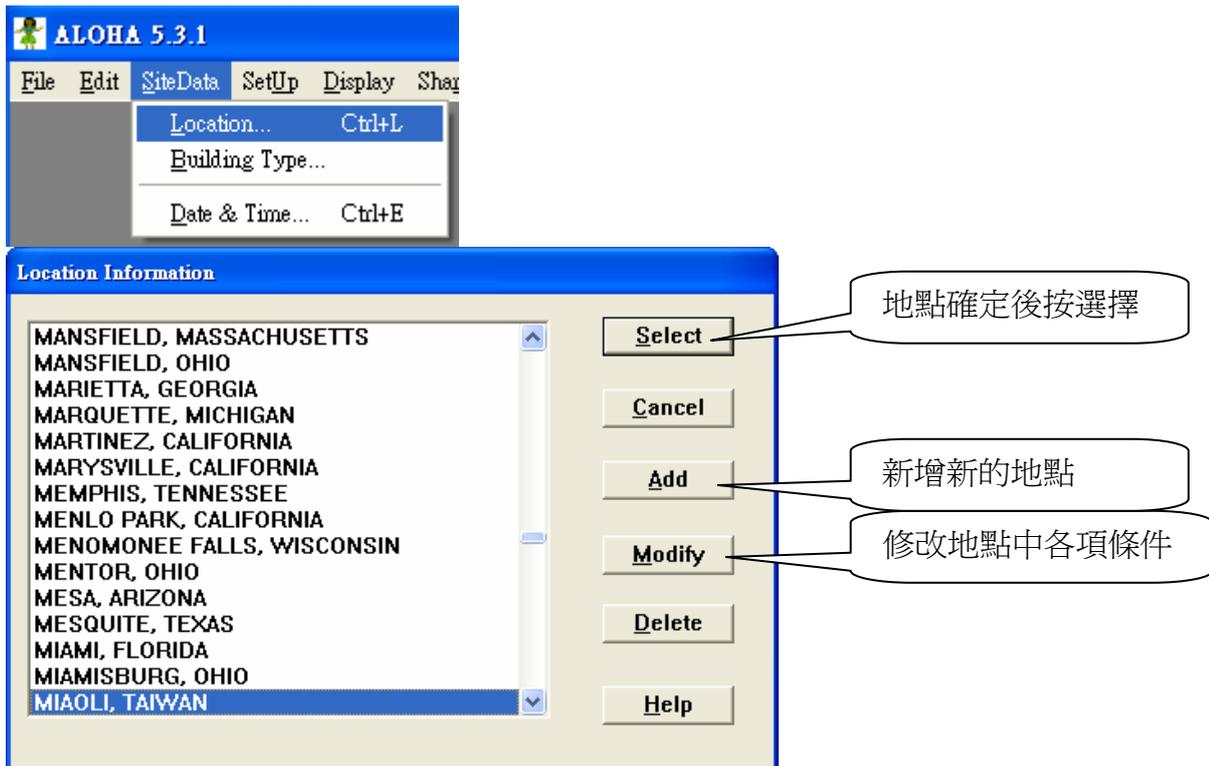
反應模式：

以過去曾發生的事件來模擬當時的情況，使用者需要輸入當時所有物件資訊，開啓之後只能檢視，不能更改其他條件。

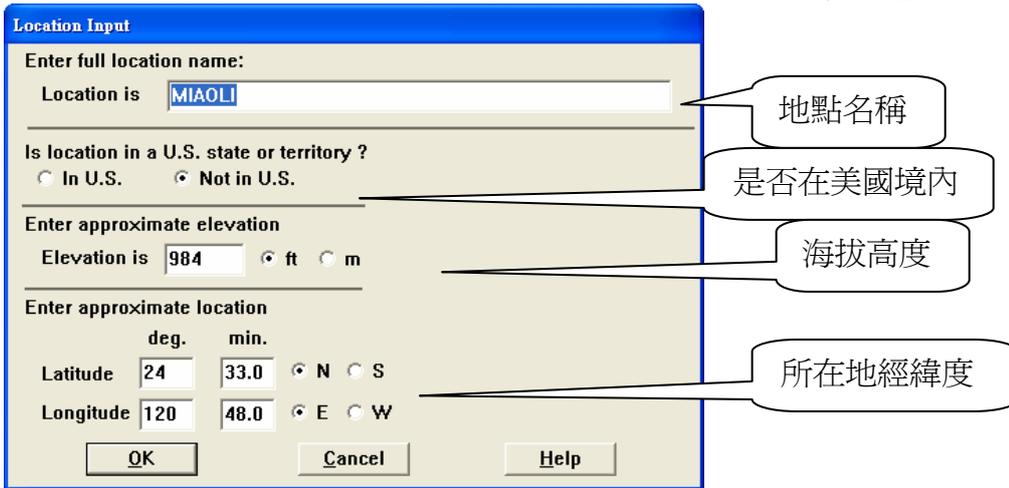
計畫模式：

當使用者需要模擬情境時就可以選擇此模式，當存檔時此模式輸入的各項數值將會被儲存，如果是使用電腦的時間，當存檔時，檔案將會把電腦時間設成固定的時間。

6. 選擇評估地點：按下 SiteData/Location

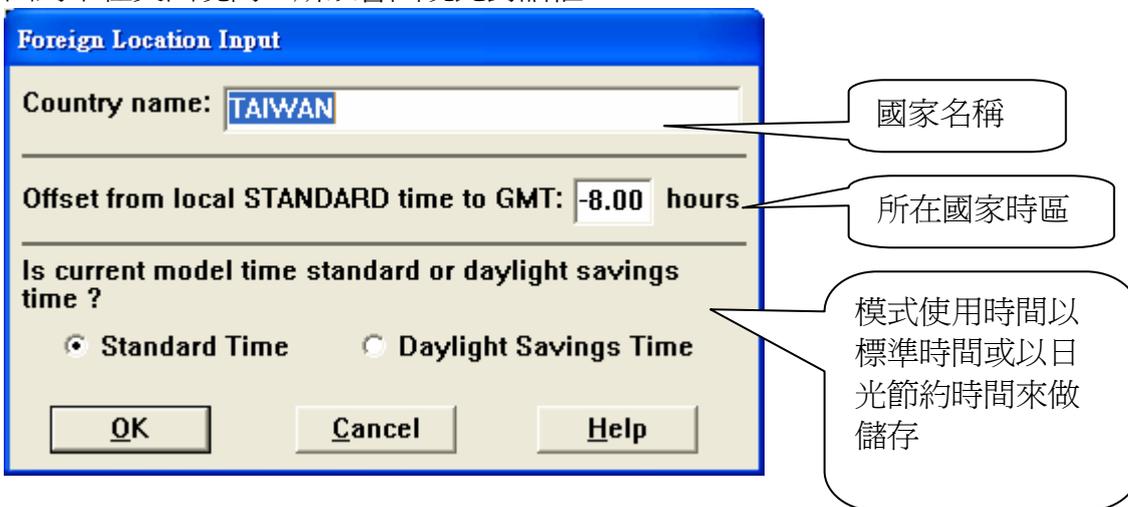


在新增一個新地點(Add)或要對一地點的條件做修改(Modify)時會出現此對話框



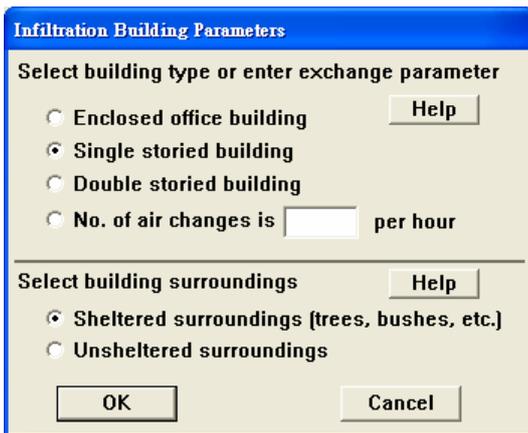
按下 OK 後

因為不在美國境內，所以會出現此對話框



7. 選擇儲存形式：按下 SiteData/Building Type





選擇儲存方式或輸入變換值

- 封閉之辦公建物
- 單層建築物
- 雙層儲存建築物
- 換氣次數____ACH

選擇儲存形式周圍環境

- 有遮蔽物的周圍環境(樹或灌木叢等)
- 週邊環境沒有遮蔽物

Ps. 如果建築物位置在以下幾種方式，則選擇

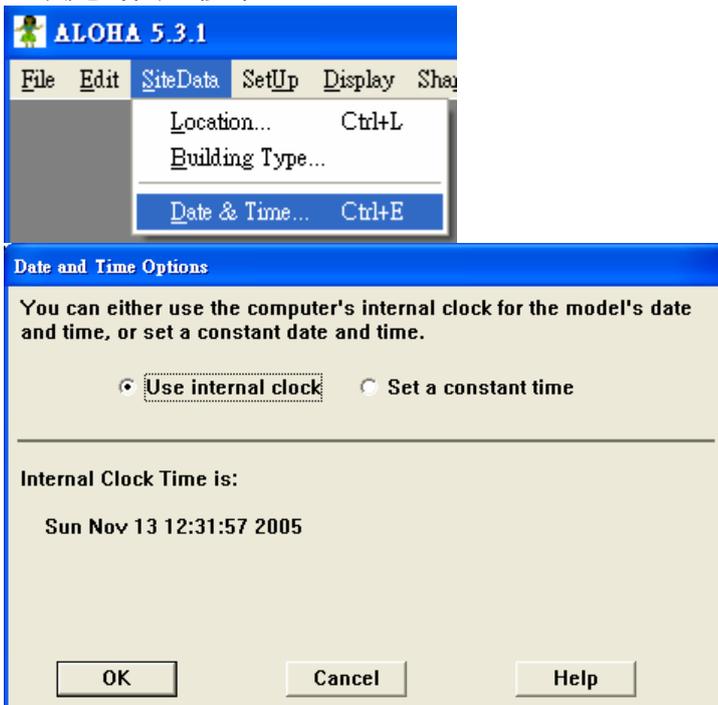
Sheltered Surroundings(有遮蔽物的周圍環境)：

- 建築物周圍被樹圍繞或者周圍的建築物在化學毒氣雲飄散的方向上。

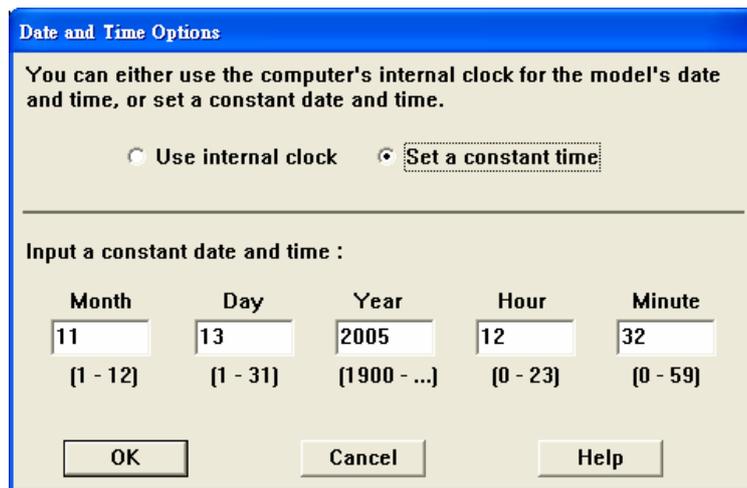
Unsheltered Surroundings(週邊環境沒有遮蔽物)：

- 建築物在空曠的地方。
- 如果不清楚建築物的情況。

8. 設定時間：按下 SiteData/Date&Time

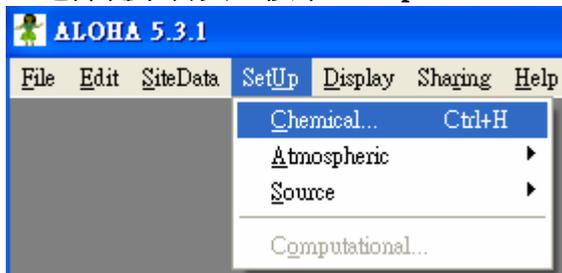


你可以選擇使用電腦內部的時間來套用於模式中的日期或時間(上圖)，或者可以自行設



定一個固定的時間(下圖)。

9. 選擇化學物質：按下 SetUp/Chemical

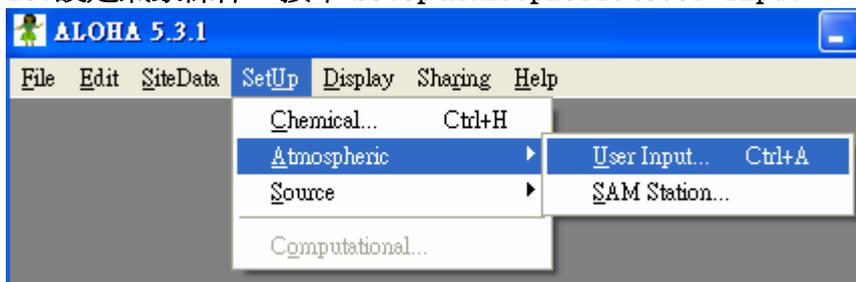


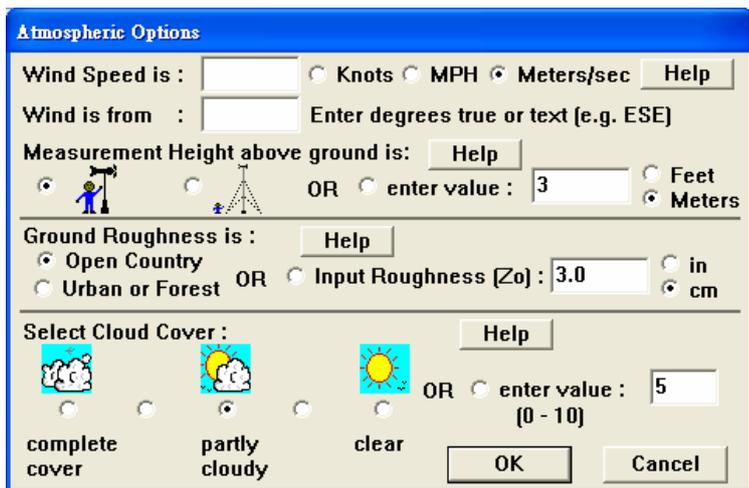


因為 ALOHA 並沒有所有的化學物質，所以可以按 Add 可以建立新的化學物質。



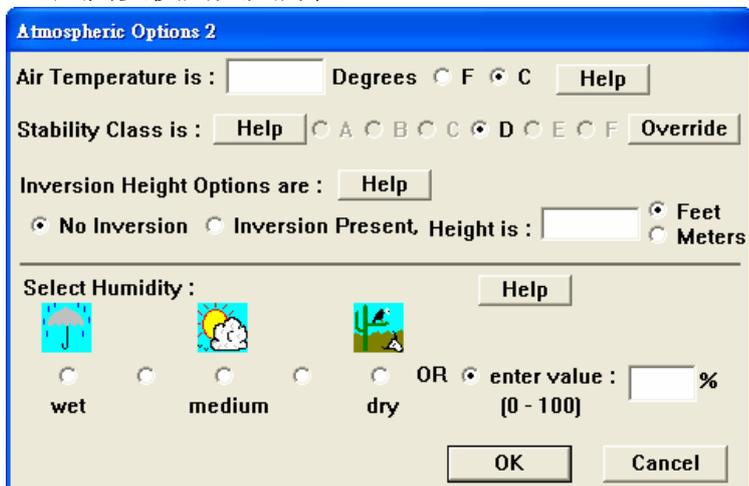
10. 設定氣象條件：按下 Setup\Atmospheric\User Input





此對話框要對各種氣象要素去做設定，從風速、風向、測量儀器的高度、地面粗糙度、還有雲的覆蓋比率等。

Ps. 風向要使用英文方位

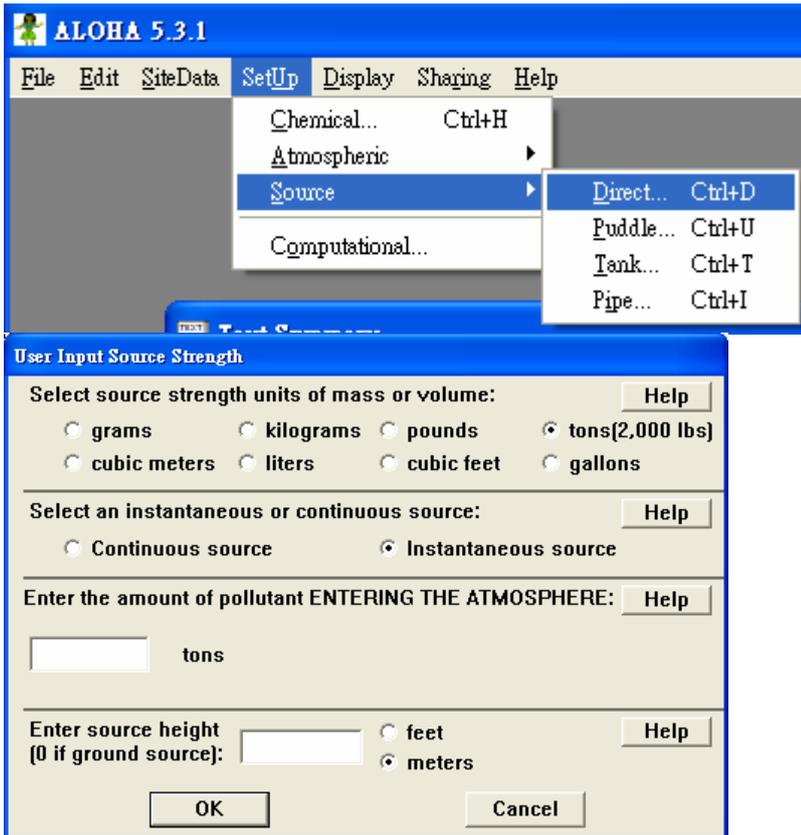


接著設定氣溫及大氣穩定度還有溼度。

11. SAM

SAM 是一種攜帶型的氣象測量儀，有些廠商有製造出與 ALOHA 相容的 SAM 測量儀，可以讓操作人員將量測出的氣象數據，傳輸給 ALOHA。

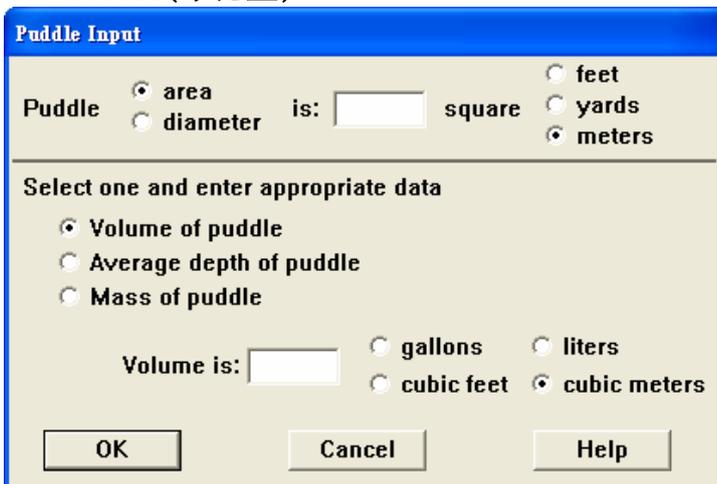
12. 污染來源形式：按下 Source\Direct



這裡要輸入的是要先選擇污染物的單位(質量或體積)，接著選擇污染源是瞬間洩露或是持續性洩漏，繼續是輸入污染物進入大氣中的量，最後是輸入污染源的高度。

13. 選擇槽桶形式並輸入規格(puddle、tank、pipe)

Puddle(水池型)



這種儲存形式一開始要先設定水池的體積或是直徑，再來是選擇一個適當的單位。

Soil Type, Air and Ground Temperature

Select ground type Help

Default
 Concrete
 Sandy
 Moist

Input ground temperature Help

Use air temperature [select this if unknown]

Ground temperature is
 F
 C

Input initial puddle temperature Help

Use ground temperature [select this if unknown]

Use air temperature

Initial puddle temperature is
 F
 C

選擇地面的形式是不考慮或是水泥地、不穩定的沙質地、或是較為潮濕的地質，然後選擇地面溫度，最後是池子的溫度。

Tank(儲槽型)

Tank Size and Orientation

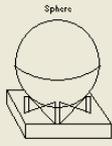
Select tank type and orientation:



Horizontal cylinder

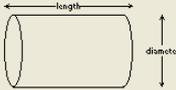


Vertical cylinder



Sphere

Enter two of three values:



diameter

length

volume

feet meters

liters cu meters

Tank Size and Orientation

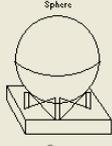
Select tank type and orientation:



Horizontal cylinder

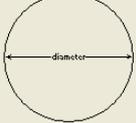


Vertical cylinder



Sphere

Enter one of two values:



diameter

volume

feet meters

liters cu meters

Tank Size and Orientation

Select tank type and orientation:

Horizontal cylinder Vertical cylinder Sphere

Enter two of three values:

diameter length volume

feet meters
 liters cu meters

OK Cancel Help

依據化學品存放方式選擇形式，輸入各項條件後，

Chemical State and Temperature

Enter state of the chemical: Tank contains liquid
 Tank contains gas only
 Unknown

Help

Enter the temperature within the tank: Chemical stored at ambient temperature
 Chemical stored at degrees F C

Help

OK Cancel

選擇化學物質的狀態(存放的是液體、氣體或未知狀態)和溫度(與室溫相同或是輸入物質溫度)

選擇氣體的話接著要輸入儲槽的壓力或是氣體的量(兩者擇一填入即可)

Mass or Pressure of Gas

Enter either tank pressure OR amount of gas

mmHg
 atm
 psi
 Pa

The tank pressure is :

OR

pounds
 tons[2000 lbs]
 kilograms
 cu ft at STP
 cu m at STP

The amount of gas is :

若選擇液體則要輸入液體質量或液面高度(或體積)

Liquid Mass or Volume

Enter the mass in the tank OR volume of the liquid

pounds
 tons[2,000 lbs]
 kilograms

The mass in the tank is:

OR

Enter liquid level OR volume

gallons
 cubic feet
 liters
 cubic meters

The liquid volume is:

% full by volume

然後是選擇破孔形式

Area and Type of Leak

Select the shape that best represents the shape of the opening through which the pollutant is exiting

Circular opening Rectangular opening

inches
 feet
 centimeters
 meters

Opening diameter:

Is leak through a hole or short pipe/valve?
 Hole Short pipe/valve

Pipe(管線型)

Pipe Input

Input pipe diameter Help

Diameter is inches cm

Input pipe length Help

Pipe length is ft yds meters

The unbroken end of the pipe is Help

connected to infinite tank source
 closed off

Select pipe roughness Help

Smooth Pipe
 Rough Pipe

一樣先輸入直徑和長度，然後選擇管線末端是連接到槽桶或是封閉的，接著再選擇管線是光滑的或是粗造的。

Pipe Pressure and Hole Size

Input pipe pressure Help

Pressure is psi atm Pa

Input pipe temperature Help

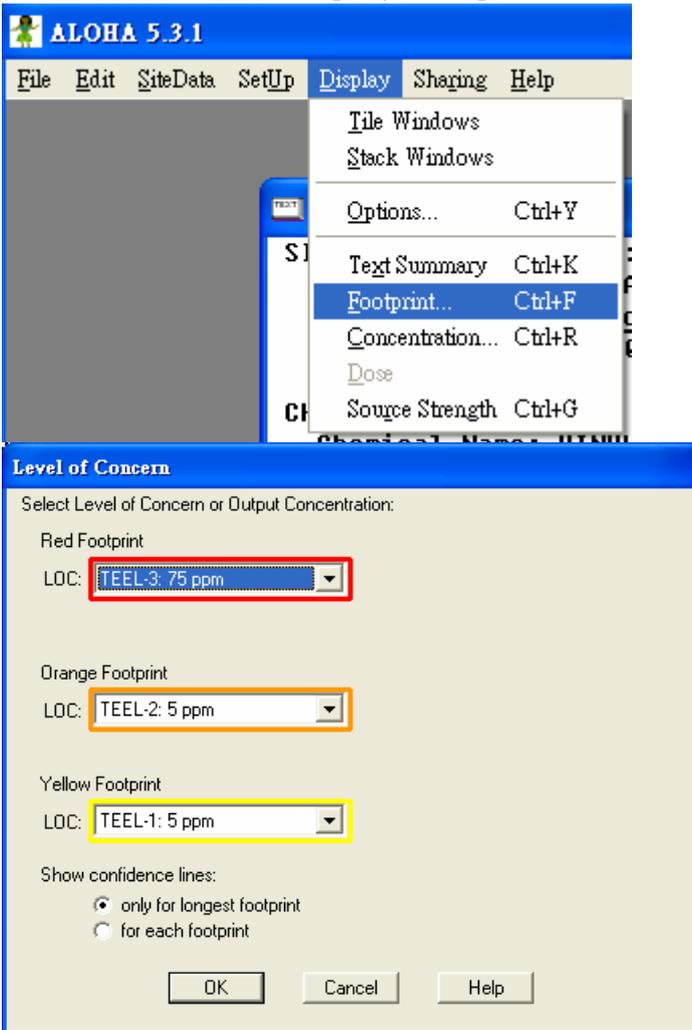
Unknown (assume ambient)
 Temperature is F C

Hole size equals pipe diameter. Help

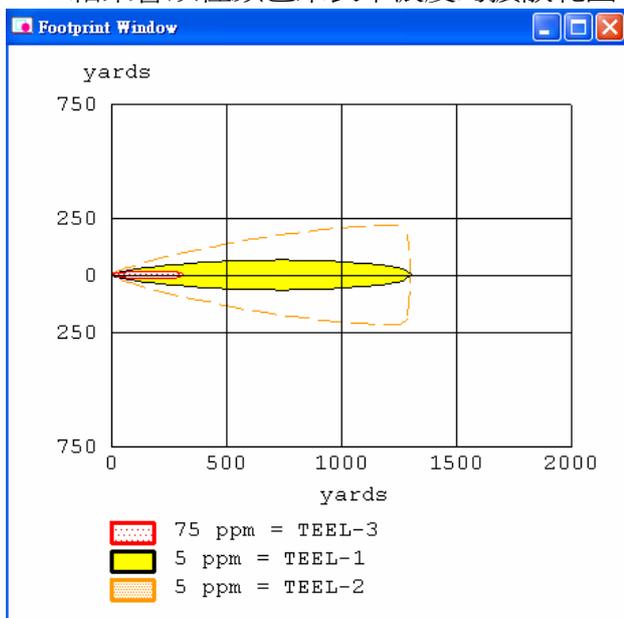
按下 OK 後出現管線壓力和開口大小，選擇好之後再按下 OK。

到此，基本的數據設定就結束，接下來就是將結果表示出來。

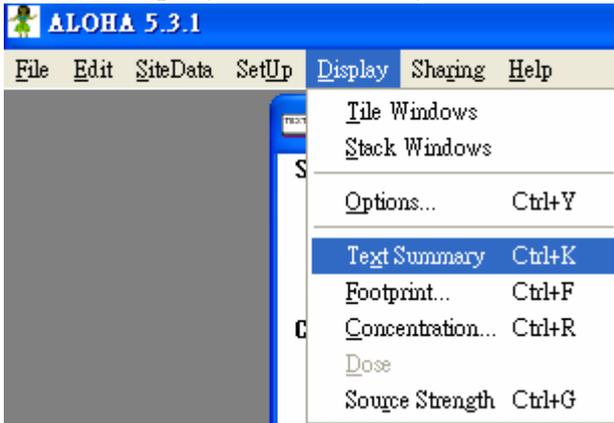
14. 結果顯示：按下 Display\Footprint



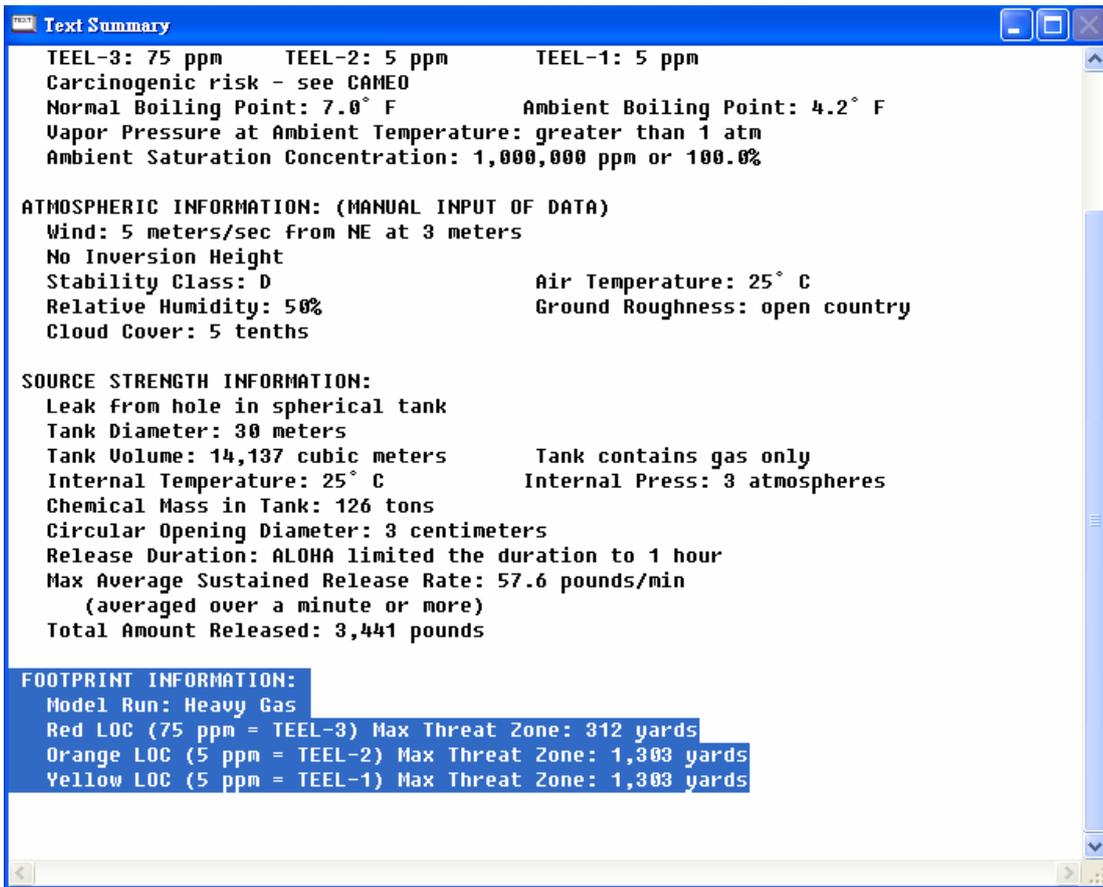
結果會以種顏色來表示濃度的擴散範圍，濃度也可以自己做調整，按下 OK。



按 Display/Text Summary

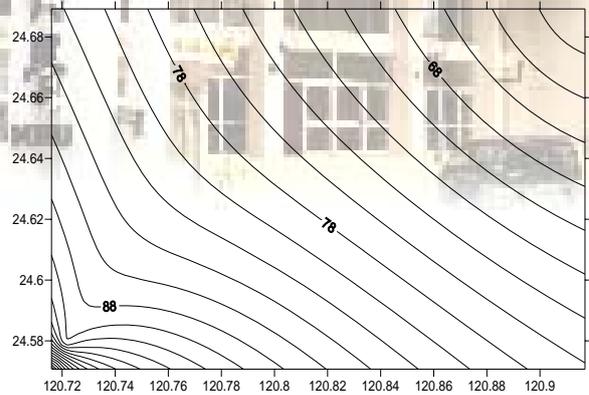
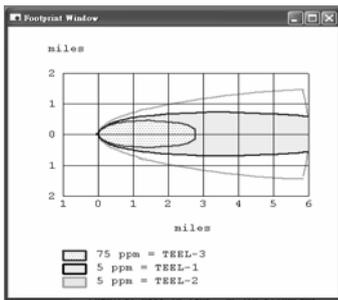


可以看到所有的數據資料，最下面則是最大危害半徑



MapInfo-Surfer

風險危害評估之應用



危害風險值之定義

危害風險值=最大危害半徑(m) × 破孔機率(次/年)

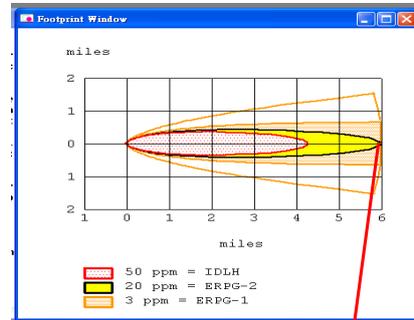
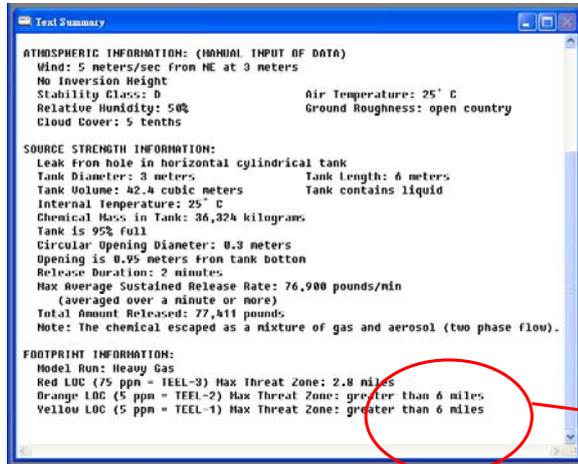
最大危害半徑:運用ALOHA求出的危害區域半徑

破孔機率:槽體每年發生破孔的機率

MapInfo-風險等級之製作流程

- 運用ALOHA之結果計算出風險等級值
- GPS找出污染廠址座標
- 製作污染源座標值與風險等級關連表格
- 繪出污染源環域
- 考慮風向機率
- 將各污染源環域之交疊部分做相加
- 轉出至Surfer繪出危害風險等高線
- 成果分析

運用ALOHA之結果計算出風險等級值



最大危害半徑顯示處

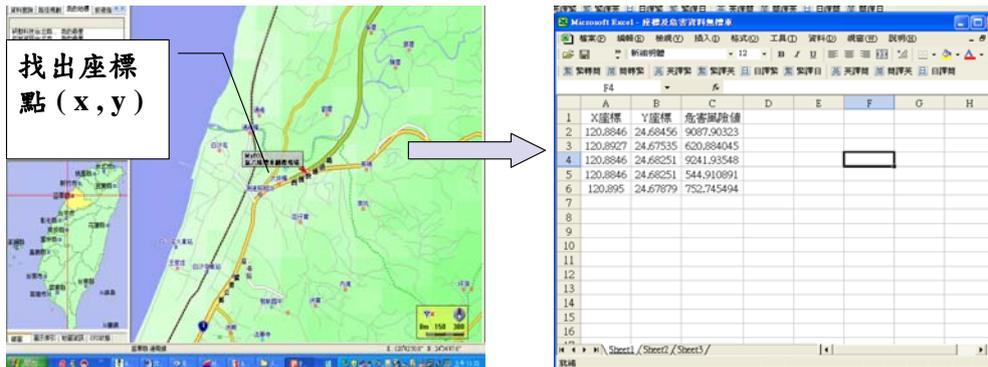
運用ALOHA之結果計算出風險等級值

在Excel下建立表單，注意標題抬頭一定要有X座標、Y座標、風險危害值

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X座標	Y座標	危害風險值					
2	120.8846	24.68456	9087.90323					
3	120.8927	24.67535	620.884045					
4	120.8846	24.68251	9241.93548					
5	120.8846	24.68251	544.910891					
6	120.895	24.67879	752.745494					
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								

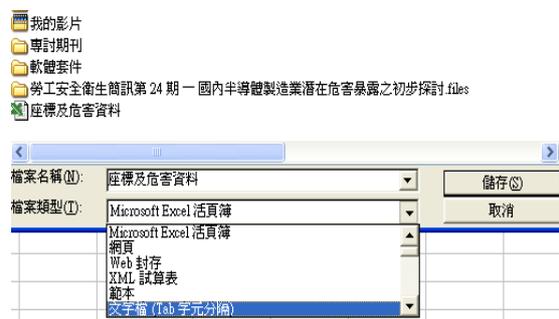
運用ALOHA之結果計算出風險等級值

運用GPS系統，定出污染點座標，將其輸入Excel表中



運用ALOHA之結果計算出風險等級值

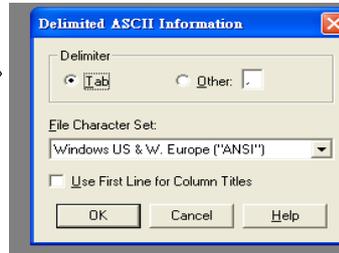
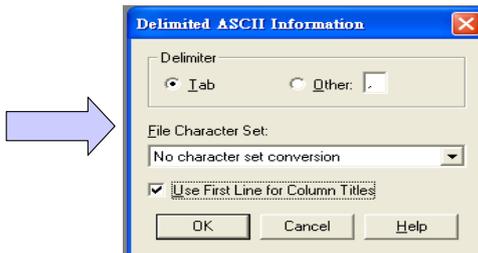
開啟MapInfo，並將Excel內的資料，另存成文字檔(Tab字元分隔)，如下圖



開啟檔案

File / Open → Delimited ASCII (*.txt)

→ 選擇剛剛存入之檔案 →



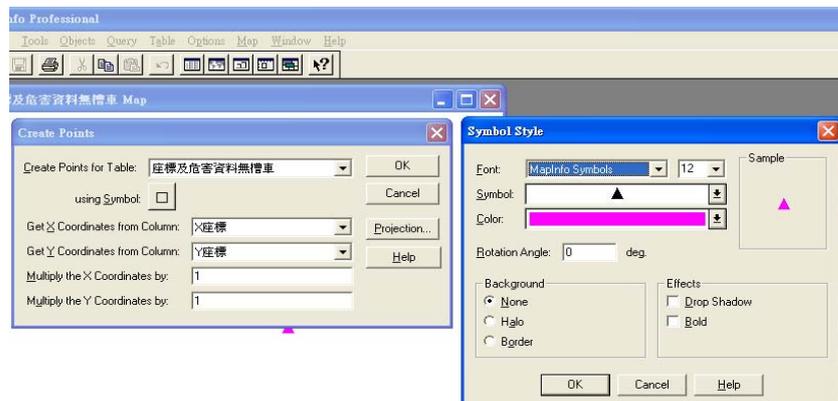
資料檢查

開啟檔案後檢查是否有誤，將其另存新檔，方可修改資料

	X座標	Y座標	危害風險值
<input type="checkbox"/>	120.885	24.6846	9,087.9
<input type="checkbox"/>	120.893	24.6754	620.884
<input type="checkbox"/>	120.885	24.6825	9,241.94
<input type="checkbox"/>	120.885	24.6825	544.911
<input type="checkbox"/>	120.895	24.6788	752.745

污染源座標加入

Table / Creat points 依據資料創造座標點



污染源座標加入

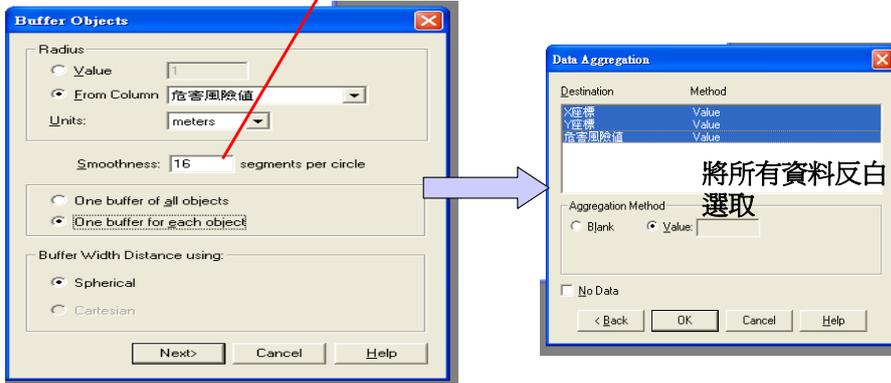
關閉所有檔案 Close All 並重新開啟



Buffer製作

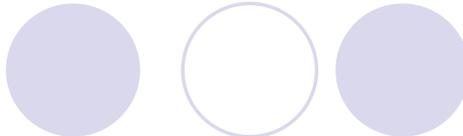


Buffer密度選取16

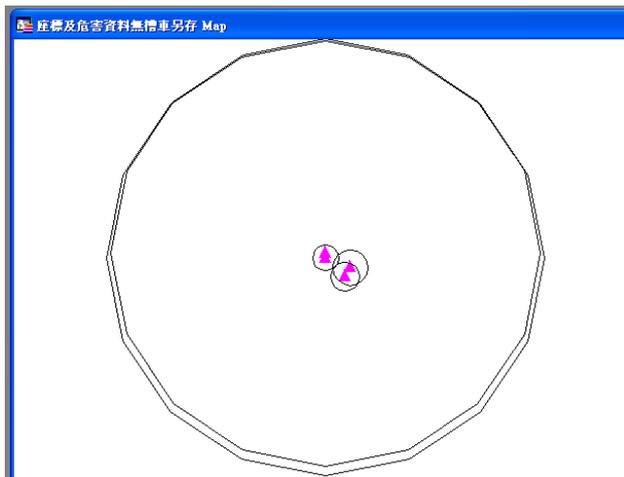


將所有資料反白
選取

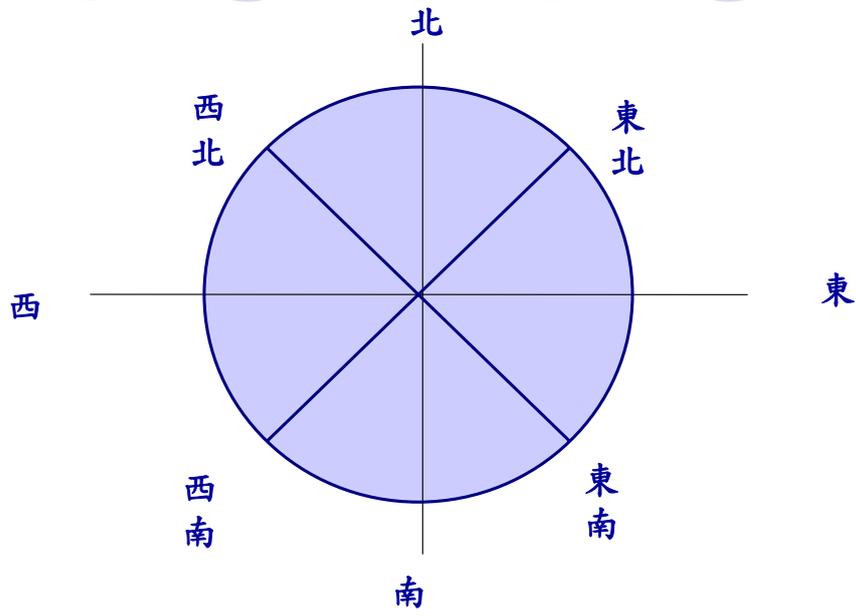
Buffer製作



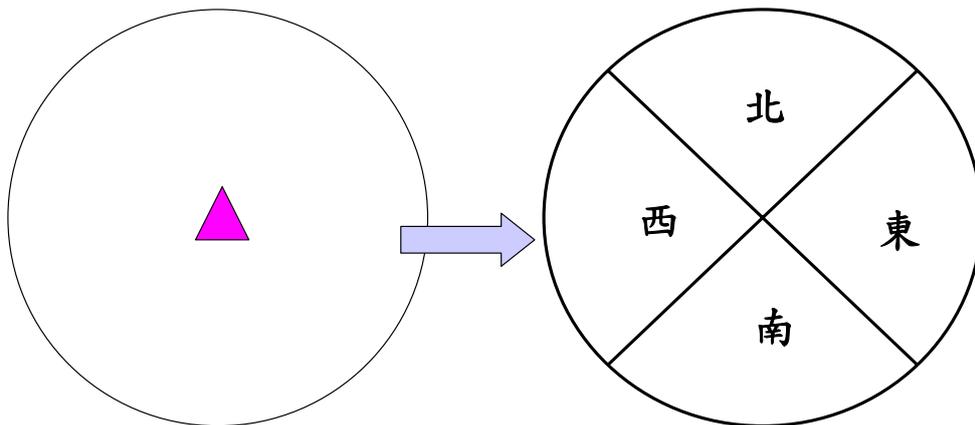
繪出Buffer如右
圖



風向機率



風向機率分割原理

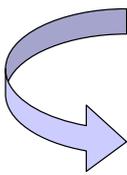


風向機率製作程序

1. 將資料轉出成(*.mif)檔
2. 用記事本開啟
3. 先將檔案另存成東、西、南、北 四個檔
4. 開啟東的檔案將Buffer依據東的區塊更改座標值
5. 依序完成西、南、北
6. 將東、南、西、北 四種檔案合併
7. 依照不同方向的機率，完成 Buffer

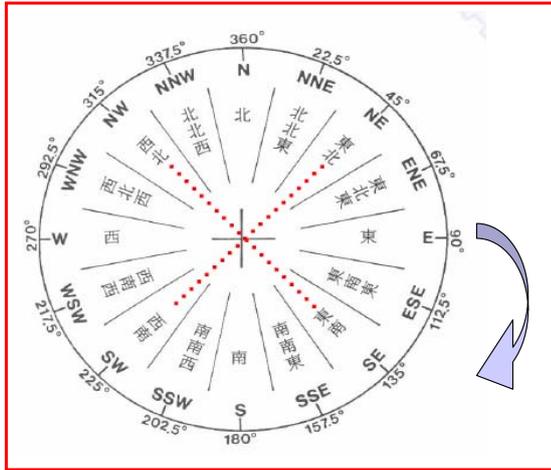
風向機率製作程序

開啟記事本



```
Professional
新標及危害資料無標車另存 記事本
檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)
Point 120.892724 24.675352
Symbol (37,16711935,12,"MapInfo Symbols",0,0)
Point 120.884613 24.682505
Symbol (37,16711935,12,"MapInfo Symbols",0,0)
Point 120.884613 24.682505
Symbol (37,16711935,12,"MapInfo Symbols",0,0)
Point 120.894983 24.67879
Symbol (37,16711935,12,"MapInfo Symbols",0,0)
Region 1
17
120.974583 24.684555
120.967736 24.653278
120.948238 24.626764
120.919056 24.609047
120.884634 24.602825
120.850212 24.609047
120.82103 24.626764
120.801532 24.653278
120.794685 24.684555
120.801532 24.715832
120.82103 24.742046
120.850212 24.760063
120.884634 24.766285
120.919056 24.760063
120.948238 24.742046
120.967736 24.715832
120.974583 24.684555
Pen (1,2,0)
Brush (2,16777215,16777215)
Center 120.884634 24.684555
Region 1
17
120.898869 24.675352
120.898401 24.673215
120.897869 24.671404
120.895876 24.670193
```

風向機率製作程序



```

Symbol (37, 16711935, 12, "MapInfo Symbols", 0, 0)
Region 1
17
120.974583 24.684555..... E
120.967736 24.653278.....ESE
120.948238 24.626764..... SE
120.919056 24.609047..... SSE
120.884634 24.602825..... S
120.850212 24.609047..... SSW
120.82103 24.626764 ..... SW
120.801532 24.653278.....WSW
120.794685 24.684555.....W
120.801532 24.715832.....WNW
120.82103 24.742346 .....NW
120.850212 24.760063.....NNW
120.884634 24.766285.....N
120.919056 24.760063.....NNE
120.948238 24.742346.....NE
120.967736 24.715832.....ENE
120.974583 24.684555.....E
Pen (1,2,0)
Brush (2,16777215,16777215)
Center 120.884634 24.684555
Region 1
17
120.898869 24.675352
120.898401 24.673215
120.897069 24.671404
120.895076 24.670193
    
```

座標順序

Buffer的分割

東

藍色部分以中心點座標取代

中心座標

```

Region 1
17
120.974583 24.684555..... E
120.967736 24.653278.....ESE
120.948238 24.626764..... SE
120.919056 24.609047..... SSE
120.884634 24.602825..... S
120.850212 24.609047..... SSW
120.82103 24.626764 ..... SW
120.801532 24.653278.....WSW
120.794685 24.684555.....W
120.801532 24.715832.....WNW
120.82103 24.742346 .....NW
120.850212 24.760063.....NNW
120.884634 24.766285.....N
120.919056 24.760063.....NNE
120.948238 24.742346.....NE
120.967736 24.715832.....ENE
120.974583 24.684555.....E
Pen (1,2,0)
Brush (2,16777215,16777215)
Center 120.884634 24.684555
    
```

Buffer的分割

西

藍色部分以中心點座標取代

Region 1
17
120.974583 24.684555..... E
120.967736 24.653278.....ESE
120.948238 24.626764..... SE
120.919056 24.609047..... SSE
120.884634 24.602825..... S
120.850212 24.609047..... SSW
120.82103 24.626764 SW
120.801532 24.653278.....WSW
120.794685 24.684555.....W
120.801532 24.715832.....WNW
120.82103 24.742346NW
120.850212 24.760063.....NNW
120.884634 24.766285.....N
120.919056 24.760063.....NNE
120.948238 24.742346.....NE
120.967736 24.715832.....ENE
120.974583 24.684555.....E
Pen (1,2,0)
Brush (2,16777215,16777215)
Center 120.884634 24.684555

Buffer的分割

南

藍色部分以中心點座標取代

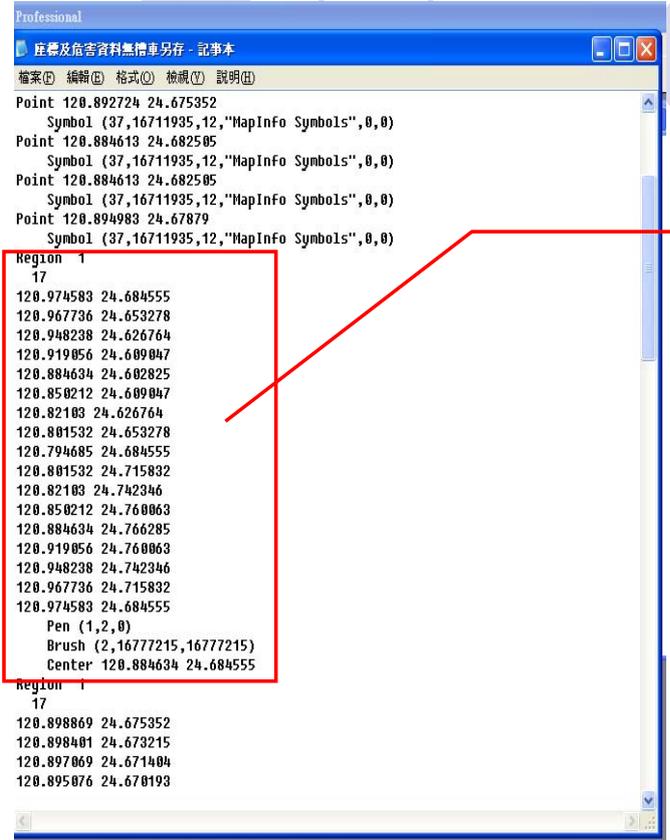
Region 1
17
120.974583 24.684555..... E
120.967736 24.653278.....ESE
120.948238 24.626764..... SE
120.919056 24.609047..... SSE
120.884634 24.602825..... S
120.850212 24.609047..... SSW
120.82103 24.626764 SW
120.801532 24.653278.....WSW
120.794685 24.684555.....W
120.801532 24.715832.....WNW
120.82103 24.742346NW
120.850212 24.760063.....NNW
120.884634 24.766285.....N
120.919056 24.760063.....NNE
120.948238 24.742346.....NE
120.967736 24.715832.....ENE
120.974583 24.684555.....E
Pen (1,2,0)
Brush (2,16777215,16777215)
Center 120.884634 24.684555

Buffer的分割

北

藍色部分以中心點座標取代

```
Region 1
17
120.974583 24.684555..... E
120.967736 24.653278.....ESE
120.948238 24.626764..... SE
120.919056 24.609047..... SSE
120.884634 24.602825..... S
120.850212 24.609047..... SSW
120.82103 24.626764 ..... SW
120.801532 24.653278.....WSW
120.794685 24.684555.....W
120.801532 24.715832.....WNW
120.82103 24.742346 .....NW
120.850212 24.760063.....NNW
120.884634 24.766285.....N
120.919056 24.760063.....NNE
120.948238 24.742346.....NE
120.967736 24.715832.....ENE
120.974583 24.684555.....E
Pen (1,2,0)
Brush (2,16777215,16777215)
Center 120.884634 24.684555
```



將西、南、北三個檔案自REGION1下分別複製貼到東之最後一筆紀錄上

檢查圖形

- 將筆記本內合併之檔案，另存為(*東西南北.mif)
- 以MapInfo開啟，檢查圖形
- 若有錯誤，依照上述步驟重新製作

風向機率與風險危害之關係

- 毒性氣體的擴散，風向是影響其擴散路徑最大的因素
- 查詢中央氣象局一日內各時間間隔風向度數
- 運用風玫瑰圖，找出其對應方向，例如：
風向 45°代表東北方
- 依據前述Buffer劃分的原則將其分類，例如：東北方歸類為 東



● 做出如下的風向機率表格

東	西	南	北
13	5	7	3
0.4643	0.1786	0.25	0.1071



● 將此機率與危害風險值做相乘 如下：

東方向風險危害值=危害
風險值×東之風向機率

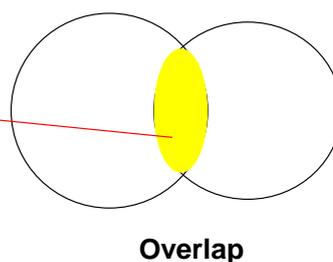
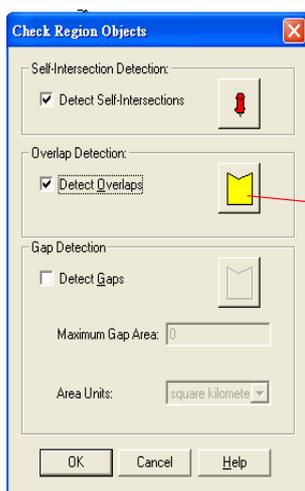
X座標	Y座標	危害風險值	東	西	南	北
120.8846	24.68456	9087.903226	4219.513	1623.1	2271.976	973.3144
120.8927	24.67535	620.8840446	288.2765	110.8899	155.221	66.49668
120.8846	24.68251	9241.935484	4291.031	1650.61	2310.484	989.8113
120.8846	24.68251	544.9108915	253.0021	97.32109	136.2277	58.35996
120.895	24.67879	752.7454943	349.4997	134.4403	188.1864	80.61904

- 
- 將上圖更新之各方向風險危害值，按照各方向所對應的區塊，將風險值貼入MapInfo Brows表格中

- 注意此動作須在加成動作前完成

加成

- 全選所有Buffer → Objects/Check Regions..



加成製作

- 將標示出交疊處之檔案另存
- 開起尚未顯示交疊處之原檔案
- 將兩個檔案做加總SUM
- 更新座標
- 轉成(*.txt)檔案

加成製作

- 將風向機率帶入危害風險值中，並將與風向機率做關聯之危害風險值取代原有值
- 開啟 Table/Update Column

加成後的值加到此目的檔案

Update Column

Table to Update: 座標及危害資料無槽車.over

Column to Update: 危害風險值

Get Value From Table: 座標及危害資料無槽車_測試 Join...

Calculate: Sum

of: 危害風險值

Browse Results

OK Cancel Clear Help

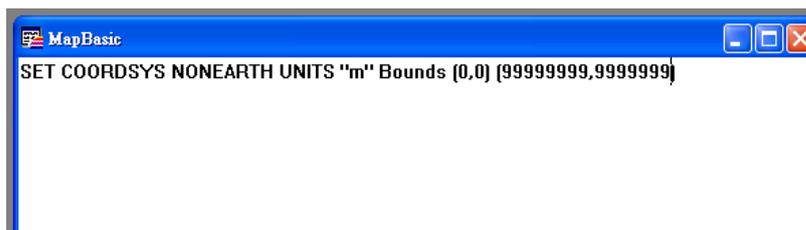
加成製作

- 在Update Column 對話框選擇 Join 並如下所示選擇



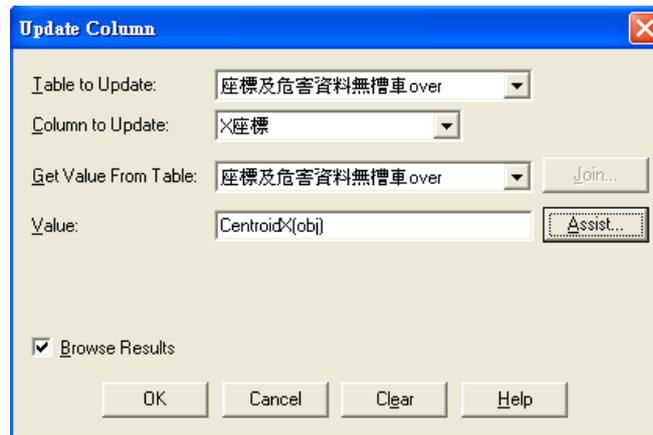
更改座標系統

- 開啟Options/Show Mapbasic Window更改座標系統為公尺



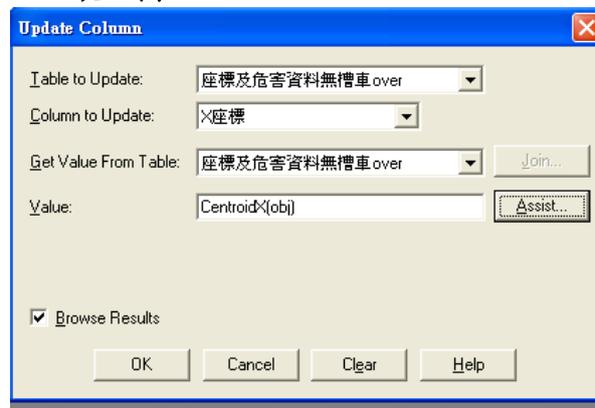
更改座標系統

- 開啟 Update Column
將 X、Y 座標更新



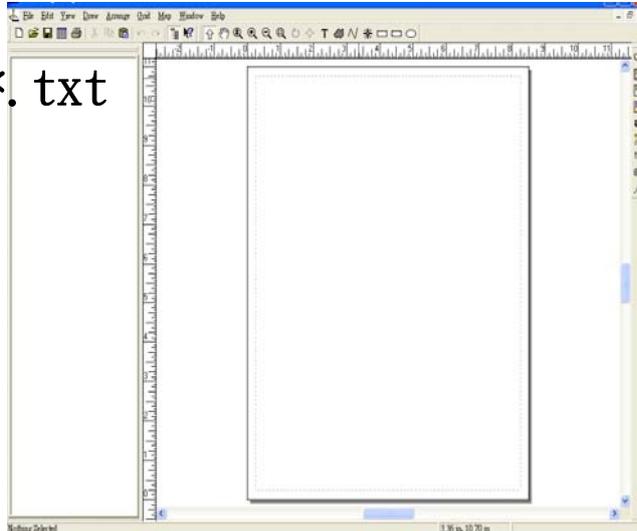
更改座標系統

- Update Column 下按下 Assist 選擇 Centroid[X[obj]] 更新 X 座標
- 以相同方式更新 Y 座標



轉檔-Surfer

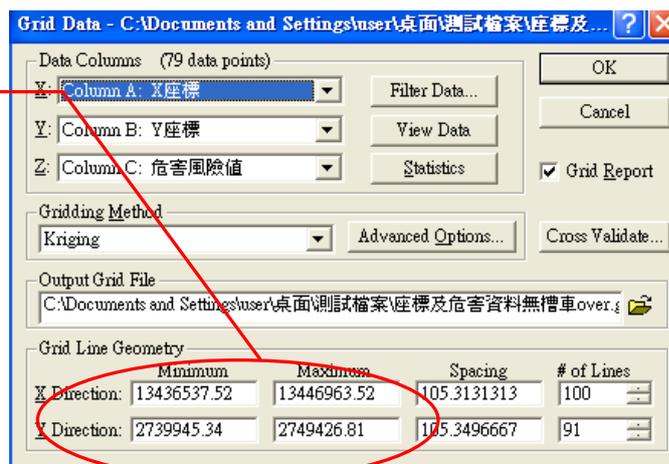
- 將檔案另存為*.txt
檔案
- 開啟Surfer



繪製等高線圖-Surfer

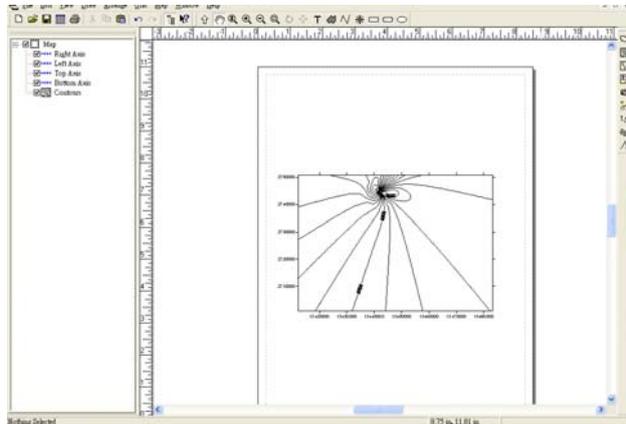
- 開啟Grid / Data

輸入分析區域的最
大及最小座標值



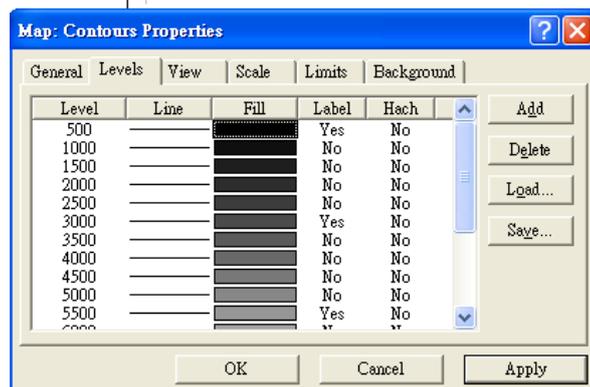
繪製等高線圖-Surfer

- Map/contour → New contour Map



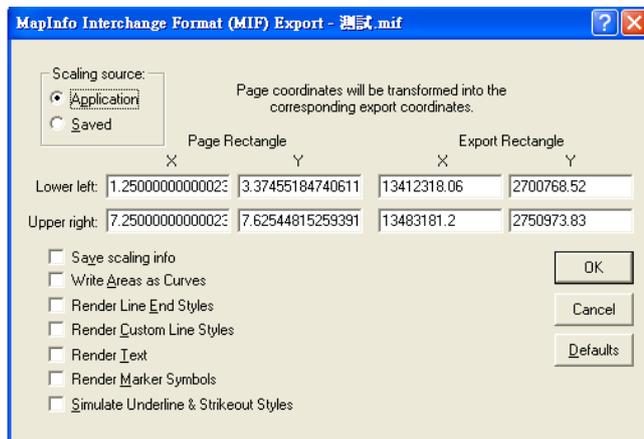
風險等級展示-顏色區分

- 在繪製好的等高線圖用滑鼠點兩下，可修改不同等級之顏色



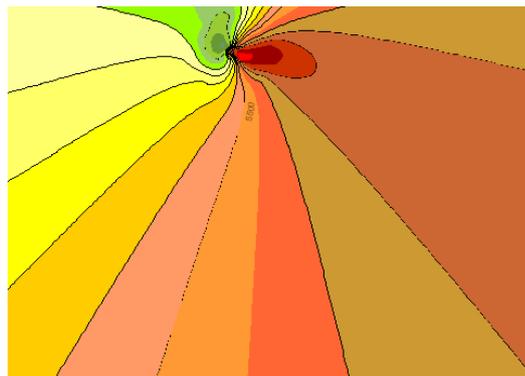
轉出-MapInfo

- File/Export.. 轉出
並選擇檔案型式為
*.mif



轉入MapInfo

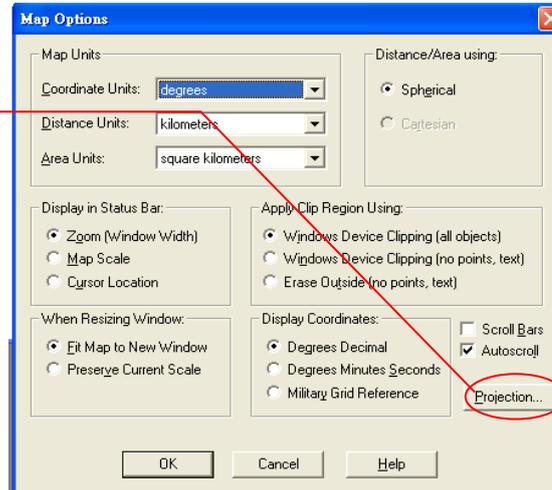
- 開啟Mapinfo 打開Table/Import 將檔案轉成 *.Tab檔
- 開啟檔案



座標系統更改

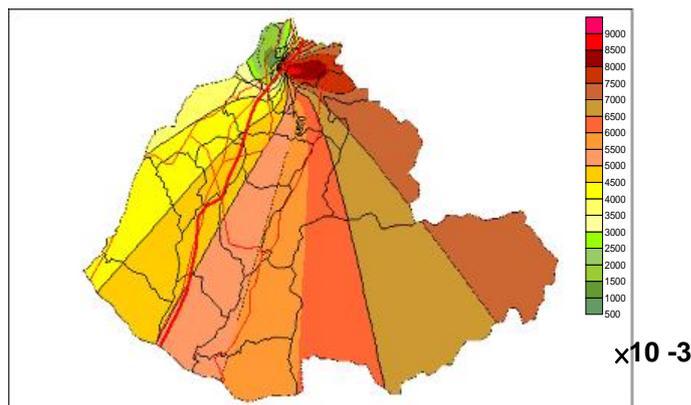
- 在Surfer完成之*.mif檔，轉入MapInfo後開啟Map/Options

按下Projection..更改與套用地圖圖層相同之座標型態



成果展示

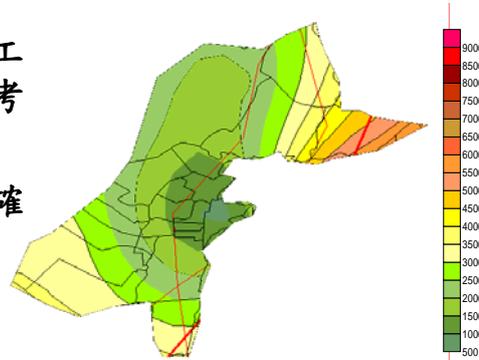
- 將該檔案之座標系統更改成與地圖圖層相同，並將其套疊



苗栗縣風險危害等級圖

成果展示

- 可作為緊急疏散路線的參考
- 可用來擬定安全距離，提供工廠製程改善與救災建議之參考
- 發生意外時，安全距離亦可確保救難人員與週遭居民安全



竹南鎮 風險危害等級圖

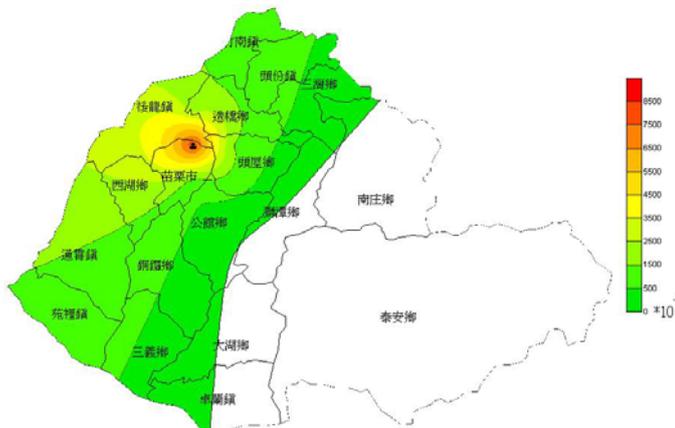
練習案例一：○○化工苗栗廠

案例設定：A.化學物質：冰醋酸(GLACIAL , Acetic Acid)

B.化學品儲存型式：球型儲槽

C.風向：東風

D.下圖為分析結果：



圖一 ○○化工苗栗廠風險危害等級圖

練習案例二：○○○○塑膠頭份廠

案例設定：A.化學物質：氯乙烯(Vinyl chloride)

B. 化學品儲存型式: 臥式儲槽

C. 風向: 東北風

D. 下圖為分析結果:

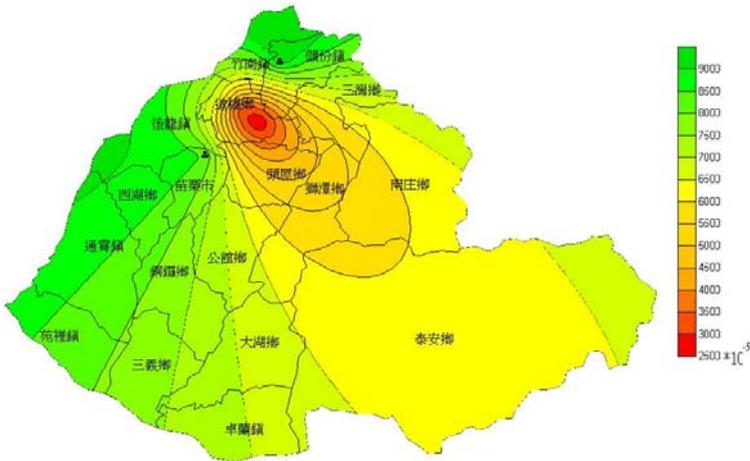


圖二 ○○○○塑膠頭份廠風險危害等級圖

練習案例三: 案例一之狀況和案例二之狀況同時發生時

案例設定: A. 風向: 西北風

B. 下圖為分析結果:



圖三 案例一之狀況和案例二之狀況同時發生時之風險危害等級圖

參考文獻

- [1] Specification (OHSAS 18001), BSI: Occupational Health and Safety Management Systems; 2007.
- [2] 行政院勞委會：日本勞動省基發第 905 號「有關化學工廠安全評估之相關指針」；1976。
- [3] US Government: 29CFR Part1910.119 Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals; 1992.
- [4] F. E. Bird, Jr., G. L. Germain: Practical Loss Control Leadership. ILCI; 1990.
- [5] ICI Engineering: Process SHE Guide 13 Hazard Study Methodology Part 1-Hazard Study 1; 1992.
- [6] The Dow Chemical Company: Chemical Exposure Index Guide. Fifth ed.; 1986.
- [7] AIChE: Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide, 7th ed.; 1994.
- [8] Department of Employment and Industrial Relations, Queensland Government.: A Risk Management Workbook.
- [9] AIChE: Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. 2nd ed.; 1992.
- [10] 工研院工安衛中心：危險性工作場所製程安全評估訓練教材。1994~2000。
- [11] 陳政任：人為災害潛勢分析－以毒化災為例。NCDR 教育訓練資料(人為災害潛勢分析)；民國 93 年。
- [12] U.S. Environmental Protection Agency(USEPA)、National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)、Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office(CEPPO) Washington, D.C. 20460、Hazardous Materials Response Division(HMRD) Seattle, Washington 98115：ALOHA(Areal Locations of Hazardous Atmospheres) User's Manual.
- [13] 何大成、劉佳霖：化學物質意外洩漏排放擴散模擬與風險評估技術。工業技術研究院工安衛中心。
- [14] 戴基福：日本政府推行工作場所風險評估和風險管理的作法。工業安全衛生月刊 2007；217 期：14-39。
- [15] 戴基福：工作場所風險管理及推行實例。中華民國工業安全衛生協會；2006。
- [16] 工業技術研究院工安衛中心：風險評估技術手冊。經濟部工業局；2001。
- [17] 危害識別和分析的有效工具－談談 HazOp 的應用及其侷限性。香港綠十字 2000；第十卷第二期。
- [18] Center for Chemical Process Safety: Guidelines for Hazard Evaluation Procedures second edition with worked examples. 2nd Ed., New York, AIChE; 1992.
- [19] 薛人豪：丙類危險性工作場所製程安全評估方法介紹與應用-(三)蒸汽鍋爐。行政院勞工委員會北區勞動檢查所；2004。

- [20] 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所：機械設備危害評估方法。IOSH 安全資料表 SDS-C-007/0082；2002.2。
- [21] Department of Employment and Industrial Relations, Queensland Government: Workplace Health and Safety Queensland, Risk assessment Supplement 2, Risk Management Code of Practice 2007.
- [22] 工業技術研究院：風險管理作業手冊。第二版，行政院研究發展考核委員會；民國九十五年十一月。
- [23] 沈育霖、高梓木：危險性機械設備風險評估指引。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；民國 96 年 12 月。
- [24] 行政院勞工委員會：臺灣職業安全衛生管理系統指導綱領總說明。民國 96 年 12 月 27 日勞安 1 字第 0960145883 號。
- [25] Military Standard, MIL-STD-1629A Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.
- [26] Center for Chemical Process Safety: Guidelines For Process Equipment Reliability Data. AIChE, New York; 1989.
- [27] 王世煌：工業安全風險評估。揚智文化；民國 91 年。
- [28] 中國勞工安全衛生管理學會：勞工安全衛生管理員訓練教材-風險評估。民國 96 年。
- [29] 高圧ガス保安協会：安全管理システムの解説とリスクアセスメントの実際。高圧ガス保安協会；平成 18 年。

風險評估在石化業安全衛生管理之角色與功能

著（編、譯）者：曹常成、洪銀忠

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

221 台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.iosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 98 年 3 月

版（刷）次：1 版 1 刷

定價：200 元

展售處：

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話：02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為 <http://www.iosh.gov.tw/>。
- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

【版權所有，翻印必究】

GPN: 1009800630

