

第一章 緒論

意外事故發生後，事業單位往往針對個案進行探討、改善後結案，未能針對長期之事故資料進行有效地整合分析，不僅無法確認事故改善績效及掌控企業事故整體圖像，日久乃至遺失淡忘，喪失強化安全管理系統之契機。事業單位應確實檢討意外事故特性及發生災害原因，建立事故資料庫，藉由長期的分析統計結果，瞭解事故發生趨勢，作為防範事故再發生之有效控制策略。

1.1 研究動機與目的

1.1.1 研究動機

分析既往事故原因並從中學習，是高風險煉油石化產業改善製程設計及安全操作最有效的方法之一。美國製程安全管理法令(Process Safety Management, PSM) [1]即要求事業單位應針對任何一件製程事故或高潛在危害之虛驚事件進行調查，探討事故原因並研提防範對策。然而經過多年的努力，國內外化學製程產業之事故率在美國、亞洲及歐洲並未減少[2]。追究其原因很多，然而大部份事故情境及原因相似且重複，顯見產業界並未善用事故經驗學習到教訓，而使事故重複發生[3]。

有鑑於煉油石化業為高風險產業，政府於國內新公佈之職業安全衛生法增列對危害性化學品洩漏或引起火災、爆炸產生重大職業災害者處巨額罰鍰之規定[4]，煉油石化產業的安全要求受到更嚴格的規範。對於發生頻率低但後果嚴重之煉油石化業事故特性，資料庫統計分析將更形重要，它能提供安全回饋資訊，作為重要的工安先期指標，以偵測化學製程和石化設備的績效[3]。藉助資料庫中的事故型態、事故導因，乃至事故媒介物等統計數據，提供事故整體圖像，得以改善組織系統並制定降低風險的良好措施[6]。因此妥善運用事故資料庫之分析結果，作為防範製程安全事故之有效控制策略，是煉油石化產業界值得重視的課題。

國際上已有許多事故資料庫之建立，如美國事故通報資訊系統(Accident Reporting Information System, IRIS)、歐盟重大事故通報系統(the Major Accident Reporting System, MARS)及日本失敗知識資料庫 (the Failure Knowledge Database, FKD)[7]等。然而近期的研究顯示，受限於調查不完善或資料不齊全等因素，導致包含工安人員在內，事故報告或資料庫的使用率較預期為少[3]。其中對於煉油石化或化學相關製程產業已有部份小規模職災統計分析結果，可供國內煉油石化業者參考[8,9,10,11]。

相對於國內，行政院勞動部針對全國職業災害建立「勞動檢查資訊管理系統重大職災資料庫」及「勞保資料庫」，並訂定「職業災害統計網路填報系統」，規範事業單位每月填報「職業災害統計月報表」上傳，並於每年勞動檢查年報中公布

重大職業災害死亡千人率、勞工職業災害災害類型與媒介物之關係、職業傷害(傷病、殘廢、死亡)人數等統計分析結果，惟該等結果係以國內全產業之角度進行分析，無法從中得知各產業更詳細事故資訊。對個別產業而言，部份學術單位已建置事故資料庫，如中臺科技大學延用民國 88 年工研院工安衛中心建立之「災害事故統計分析知識庫」，針對國內民國 78 年 1 月 1 日以來損失超過 10 萬元的工業火災爆炸意外事故進行研究分析[12]；勞動及職業安全衛生研究所於民國 100 年提出之研究報告中針對全國製造業進行重大職業災害職災特性及事故導因統計[13]及 100 年針對營造業建置「營造業重大職災知識平台」開放使用，其內容包括營造業重大職業災害之分析、職災訊息等，利用網際網路開放外界即時擷取所需之統計分析結果及防災知識等[14]。除此以外，國內尚未對其他個別產業建置職災資料庫及進行統計分析，各產業不易從現有職災資料歸納為有用之資訊。

對國內煉油石化業而言，現有「職業災害統計月報表」中所列制式災害統計分析項目係依照勞動部職業安全衛生署針對引起勞工疾病、傷害、殘廢或死亡等職業災害事故定義之特性編列，對於工作場所中發生非職業災害，但造成環境、財損或其他損失之製程安全事故未涉及，故不敷製程產業如煉油石化業之需求。舉例而言，現行災害類型為墜落、滾落、被撞、被夾、被捲等人員傷害類型，對環境及財損產生重大影響之製程安全事故類別，如洩漏、火災、爆炸、停電等使全廠非計畫性停爐者未明確分類；又如月報表中雖已列出眾多媒介物類型，但對煉油石化業而言，編號 321 化學設備類別太過籠統，若依美國製程安全管理機械設備完整性之分類，細分如壓力容器、常壓容器、管路系統、釋壓及排放系統、控制系統、公用系統等各類別，將更有利煉油石化業確切掌控事故媒介物類型。

在煉油石化事故導因分析部份，勞動部雖然於勞動檢查法第 26 條中針對石油裂解之石化工業等危險性工作場所，要求事業單位應提供包括事故調查處理制度等安全衛生管理基本資料，並經勞動檢查機構審查或檢查合格後，才得使勞工在該場所作業；惟目前職業安全衛生署尚未明訂事故調查方法及分析項目，事業單位進行調查時採取自主性管理，導因分析時往往仰賴調查人員的經驗，未有明確的方法論；最常詬病之缺失是未能瞭解事故根本原因，較常針對事故之直接及間接原因，亦即偏重事故本身及人員不安全行為及環境不安全狀況進行分析，未深入探討這些不安全行為及不安全狀況的產生，其背後原因可能是技術層面如製程設計不良、設備層面如機械設備本體不良或損壞，乃至組織層面如對承攬商管理不良等企業因素導致，使相似事故一再重覆發生。惟有全方位探討出確切之基本原因並加以改善，才能防範事故再發生。

囿於目前國內尚未針對煉油石化業製程安全事故導因統計分析，同時也未有符合煉油石化產業需求之事故資料庫建置，致使各業者自行其事，相關事故致災關鍵資訊未能深入探討並儲存於事故資料庫中，不僅無法累積失敗學習經驗，並錯失與同業間寶貴之經驗傳承及分享機會。本研究動機乃在研擬符合國內煉油石化產業特性之製程安全事故資料庫屬性及其導因項目，據以作為案例分析要項；並研討國內煉油石化業製程安全事故特性及致災之重要關鍵因素，作為風險預防之參考。

1.1.2 研究目的

本研究擬參考文獻及實務經驗，架構符合煉油石化產業需求之製程安全事故資料庫分類，如事故屬性及其導因類型等並編碼，提供事故調查人員參酌使用，藉以強化現有企業事故資料庫之完整性及有效性，避免因數據資料不完整而導致日後統計分析之困難，將使事故調查報告更具有參考性及可使用性。

另依此分類重新審視國內某大型煉油石化公司製程安全事故，探討歷年來事故特性，發掘最常發生事故之作業類型、事故類型、媒介物及優先應重視之導因，提供煉油石化業者強化安全及研擬防範對策之參考。

1.2 研究範圍與限制

本研究蒐集國內某大型煉油石化公司(以下稱為 A 煉油石化公司)90-102 年之製程安全事故為研究對象，探討歷年事故特性。本論文研究範疇主要針對該煉油石化公司在製造過程發生一個非預期或不受控制的物質，由製程主要控制系統中被無意釋放出，因而產生爆炸、火災、洩漏或設備異常導致人員傷亡，財產損失或環境的影響，或遭主管機關勒令停工之製程安全事故。

至於廠內其他非製程安全事故，如造成勞工疾病、傷害、殘廢或死亡等職業災害事故、廠外管線洩漏及污染物質排放等環保事件、職業病或法定傳染病等健康衛生事故或就業場所發生非職業災害之傷亡事故(如上下班交通事故)未納入本研究探討。

1.3 名詞定義

限於專有名詞在國際與國內定義上略有差異，為避免造成混淆，本研究使用之專有名詞說明如下：

1. 製程安全事故(Process Safety Incident)

根據美國石油學會製程安全事故通報指導書(API Guide to Report Process Safety Incidents)，針對需要報告的製程安全事故，其定義整合為「一個非預

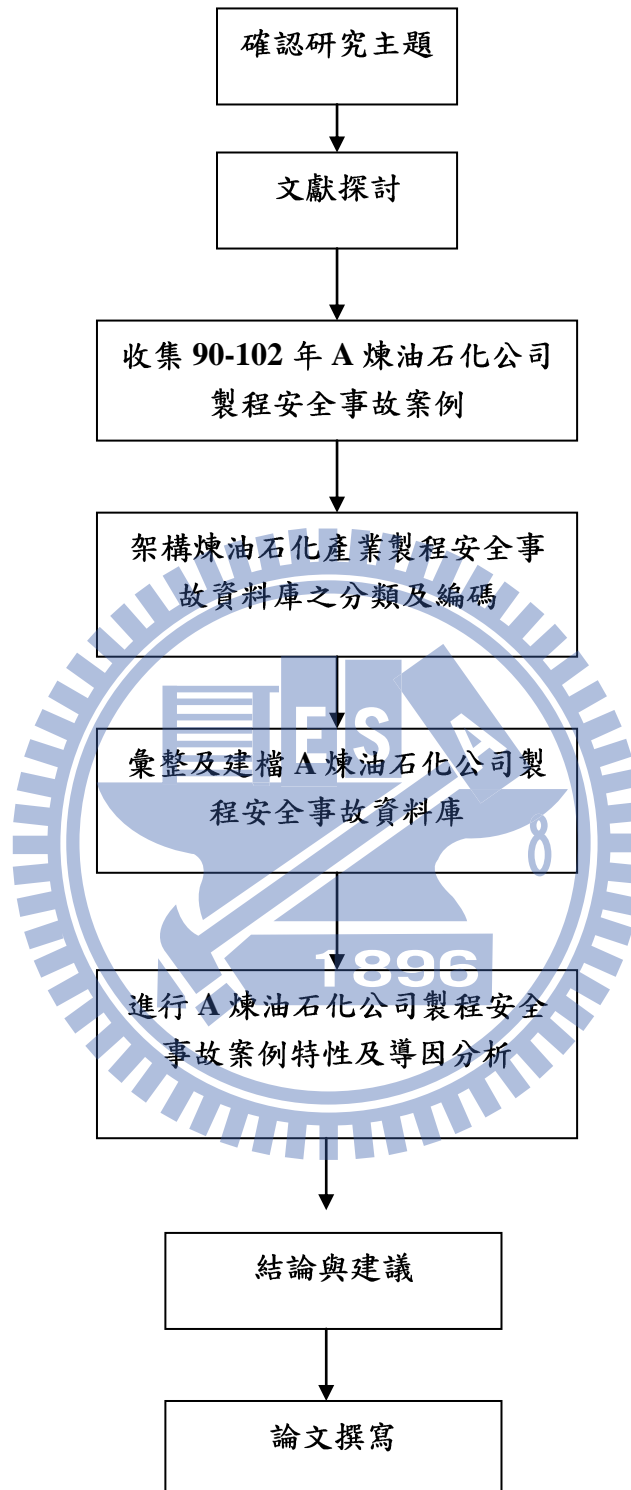
期或不受控制的物質，由主要控制系統中洩漏出(Loss of Primary Containment, LOPC)，因該物質具有危害性包括其(1)固有特性(例如烴類、氯等)，(2)物理性質(例如蒸汽、高壓的空氣等)，或(3)被使用的方式(例如氯洩漏到密閉空間)，當該物質被無意中釋放出，因而產生對人員，財產或環境的影響;或其洩漏量大於 API 該規範之閾值所造成之意外事件[15]。

2. 職業災害

勞動部職業安全衛生署職業安全衛生法中針對職業災害之定義為「因勞動場所之建築物、機械、設備、原料、材料、化學品、氣體、蒸氣、粉塵等或作業活動及其他職業上原因引起之工作者疾病、傷害、失能或死亡」

3. 導因(Causal Factor): 為一項充分必要之事件或狀態導致意外事件發生。這類因素是與人的行為或安全管理系統有關的綜合描述性的詞語，可細分以確定直接，根本或貢獻原因[16]。
4. 顯性因子：一項偏離標準作業且與意外事故相關的異常事件或狀態。
5. 直接原因(Direct Cause): 為一項立即的事件或狀態導致意外事件發生，如不安全或不符合標準的行為、不安全或不符合標準的狀態[17]。
6. 間接原因(Indirect Cause): 為一項潛在的事件或狀態導致意外事件發生，如個人因素、作業因素[18]。
7. 基本原因(Root Cause): 為根本或與系統相關的原因，基本原因分析的目的是辨識制度性缺失或安全管理的缺失，作為矯正預防之方向；通常重大事故是多項基本原因造成的[19]。

1.4 研究流程



第二章 文獻探討

目前國際上已有國家及地區級化學事故資料庫，本章介紹美國製程安全事故資料庫及歐盟重大事故通報系統，說明事故資料庫應具有之必要欄位；並經由文獻探討歐美日化學及煉油石化產業事故資料庫之分析統計資料，一窺國際煉油石化產業事故狀況。事故資料庫的有效性，其重點在於事故原因分析方法及導因是否正確及詳實，本研究以邏輯樹及預設邏輯樹/查核表之分析技術分別說明其優缺點，並蒐集文獻瞭解國際上對煉油石化事故導因分類方式，作為擬訂本研究分類之參考。

2.1 化學及煉油石化產業事故資料庫及事故概況

2.1.1 國際化學及煉油石化產業事故資料庫及要項

一個有效的化學及煉油石化產業事故資料庫必需具有結構性，以達到其目的。對工安事故資料庫而言應達到下列目的:[10]

- 防範事故再度發生。
- 提供既往已知的危害和風險等資料，以降低未來事故發生之機率和嚴重性。
- 提供同業、同儕間學習機會。
- 由以往事故及虛驚事件掌握及分享關鍵事故特性。
- 教育今日的工作人員避免再犯。
- 分享事故基本原因等資料，並協助符合美國 OSHA 製程安全管理規範之要求。
- 快速便捷地提供及時重要安全防範資料。

為達到上述目的，事故報告制式表單中就應規劃各項所需的必要項目，於進行事故調查時填報以利及時蒐集各項資料。

目前國際上已有許多國家及地區建置化學事故資料庫，較重要者包括歐盟重大事故通報系統(the Major Accident Reporting System, MARS)、美國化學工程師協會(AIChE)製程安全事故資料庫(Process Safety Incident Database, PSID)等如表 1[7]。以下分別以美國化學工程師協會之製程安全事故資料庫及歐盟重大事故通報系統為例，試說明事故資料庫及事故報告表中具備之要項。

表 1 國際主要之化學事故資料庫

資料庫名稱	建制單位	蒐集時間	事故數量(截至 2011)	資料涵括地區
MARS	MAHB(Major Accidents Hazard Bureau)	1984 至今	450	歐盟及 OECD 國家

FACTS	TNO(Netherlands Organization for Applied Scientific Research)	1970 末開始	21,000	國際
MHIDAS	HSE	1964 至今	11,000	國際
ERNS	EPA	1987 至今	275,000	美國
APELL	UNEP(United Nations Environment Program)	1970 至今		國際
RISCAO	AIST & JST(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology & Japan Science and Technology Agency)	1949 至 2006	4,796	日本
RMP	EPA	1990 至今	15,430	美國
IRIS	NRC(National Response Center)	1990 至今	605,400	美國
PSID	CCPS (the Center for Chemical Process Safety)	1995 至今	700	美國

(1)美國製程安全事故資料庫(PSID)[20]

美國化學工程師協會所屬化學製程安全中心(CCPS, the Center for Chemical Process Safety)建置製程安全事故資料庫(PSID)，蒐集所屬會員單位發生之化學製程事故，提供事業單位相互交流學習之機會。在此事故平台上，每一件事務報告填報重點項目包括如下：

- 事故描述
- 事故學習
- 改善措施
- 事故作業類別
- 事故操作狀態
- 事故類型
- 事故原因
- 涉及的化學品
- 點火源
- 導致事故之設備類型
- 損失金額

上述各項目又細分各小項目提供給填報人員點選。以點火源而言，又細分如縱火、在正常工作溫度下外洩自燃、爆破、化學反應、壓縮點火、電氣設備、燃燒塔、

交通事故的碰撞、磨擦生熱、磨擦火星、引擎、設備高溫、硫化鐵自燃、雷擊、香煙、靜電、電焊切割、破壞、開放火源(如鍋爐)等欄位供點選。

在作業類別欄位部份，因事故當時作業又細分為正常操作時施工、停爐時施工、裝洩物品、運轉、泵送、停爐時維修、正常作業時維修、物料處理、管線吹驅、管線接合、正常操作、包裝、回收、取樣、重新開爐、緊急開爐、電焊切割、臨時設施、檢測、混合等階段欄位供點選。

在事故導因部份，又細分為機械設備完整性、訓練、知能、人為、變更管理、職責、事故調查、標準作業程序、稽核、風險管理、經濟因素等項目之缺失欄位供點選。

(2) 歐盟重大事故通報系統(the Major Accident Reporting System, MARS) [21]

歐盟重大事故通報系統(MARS)成立於 1984 年，以因應歐盟法規 82/501 項被稱為“SEVESO”法條規範，其目的在於要求歐盟所屬國家發生重大職業事故時填報登記，再行統計分析並提供重要訊息，使會員國瞭解及防範職災發生。MARS 通報系統包括二種表單，分別是事故發生第一時間通知之“簡短通報”及事故調查後將其過程、原因、後果完整填報之“完整報告”二類。

“簡短通報”部份為通報現場立即發現之狀況，以提供事故基本訊息，包括項目如下：

- 事故類型
- 造成事故之直接媒介物
- 事故的直接來源
- 直接導因
- 造成之直接影響
- 所採取之應變措施
- 及時學到教訓

在“完整報告”表格部份為事故調查後，將蒐集資料經分析後之填報資訊，每一份報告包括至少 200 欄位，其中 30 欄位可自由填寫，重要者如下：

- 事故地點
- 事故類型
- 事故發生地點
- 事故作業類別
- 造成事故之媒介物(物質、設備)
- 導因(直接及基本原因)

- 對環境造成之影響
- 所採取之應變措施

MARS 資料庫包括下列三部份：[22]

- 1.一般欄位：事故編碼、日期、時間、地點、單位、涉及之設備、涉及之設備細項(閥、法蘭型式等)、涉及之物質、事故簡述、事故類型(虛驚、操作事故、洩漏、火災、爆炸、設備損壞、公路事故等)、矯正措施、損失金額、事故嚴重性(以 0-6 標示嚴重程度，0 表示沒影響，6 表示至少 4 人死亡)、備註、是否夜間輪班、是否外界支援、操作狀態(正常操作、停爐、開爐、維修階段)。
- 2.事故原因分析計四類：組織/管理因素、設備損壞、人為因素、外在因素(如極端氣候、天然災害、外在公用系統如電力、水、瓦斯未充份供應)。
- 3.後果描述：如死亡、受傷、造成社會大眾影響、環境影響、財務損失。

由上述文獻探討中可以得知，一般而言在事故資料庫乃至事故調查報告中應具有之要項應至少包括事故日期及時間、事故描述、事故類型、事故發生地點、事故作業類別、操作狀態、造成事故之媒介物、涉及的化學品、事故導因、造成之影響等，依此作為發展本研究事故資料庫格式屬性之參考依據。

2.1.2 化學及石化產業製程安全事故概況

煉油石化產業在本質上為高風險之產業，原物料乃至成品多屬易燃、易爆炸或毒性化學物質，使用之機械設備多為危險性機械設備，且製程複雜往往在高溫高壓下運作，稍一不慎極易產生火災、爆炸及中毒事故。國際上已有針對煉油、石化及化學產業不同時期及不同資料庫進行事故統計分析之數篇文獻，由其中可一探目前煉油石化及化學產業製程安全事故之概況。

(1)歐盟所屬國家石化業重大事故統計(1985-2002 年，MARS 資料庫)[8]

由 MARS 資料庫中有關煉油石化產業之職災共計 85 案，其重要之統計分析結果如表 2：

表 2 歐盟 MARS 資料庫統計分析結果

類別	所佔比率
事故類型	洩漏(38%)、火災(35%)、爆炸(23%)、污染水源(4%)、其他(1%)
操作狀態	正常操作(70%)、維修(13%)、開俾(6%)、測試(4%)、停工(3%)、再啟動(1%)
涉及的化學品	汽油類(20%)、液化石油氣(20%)、氫(12%)、天然氣(12%)、重碳氫化合物(11%)、乙烯(11%)、硫化物(7%)、原油(5%)、氟化氫(2%)

直接原因	設備因素(44%)、設備因素+人為因素(21%)、人為因素(19%)、未明(9%)、設備因素+環境因素(4%)、環境因素(3%)
基本原因	1. 人員及環境部份:設計(22%)、程序(17%)、製程分析(15%)、操作(11%)、訓練(11%)、管理(9%)、維修(4%)、其他(4%)、檢查(3%)、督導(2%)、營造施工(1%)、未明(2%) 2. 設備因素部份: 故障(26%)、腐蝕/疲勞(17%)、損壞(12%)、失控反應(10%)、堵塞(7%)、控制/監測失效(5%)、天然事件(5%)、靜電累積(3%)、公用設備失效(2%)、未明(7%)
後果	財損(43%)、受傷(26%)、死亡(12%)、社區影響(12%)、環境影響(5%)、國家損失(5%)
採取改善措施	設計改善(39%)、發展新作業流程(22%)、加強檢查(21%)、維修(8%)、安全管理(8%)、安全稽核(3%)

(2) 日本化學產業工安事故統計(2004 年以前,FKD 資料庫)[2]

由 FKD 資料庫中有關化學產業之職災共計 364 案(95%為日本資料,部份為國際重大化學職災,致災貢獻因素(accident contributors)806 項,平均個案具 2.2 致災貢獻因素),其重要之統計分析結果如圖 1,其中以人員和組織缺失所佔比率最高(19%),化學品雜質因素及液體因素其次,各為 11%。

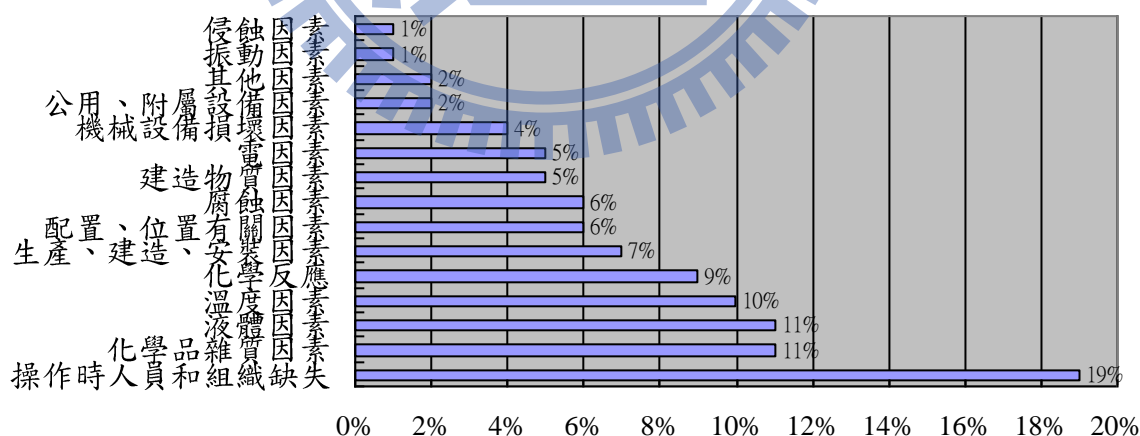


圖 1 FKD 資料庫事故貢獻因素分析圖

(3) 美國化學產業工安事故統計(1994-2009 年, EAP-RMP 資料庫)[11]

美國聯邦法案 40CFR Part68, 要求事業單位填報風險管理計畫, 美國環保署據以彙整為 RMP 資料庫(The Risk Management Program Database)並發表資料庫中有關石油煉製產業之事故導因(Cause of Failure)如圖 2, 其中以設備因素所佔比率最高(58%), 人員失誤其次, 為 37%。

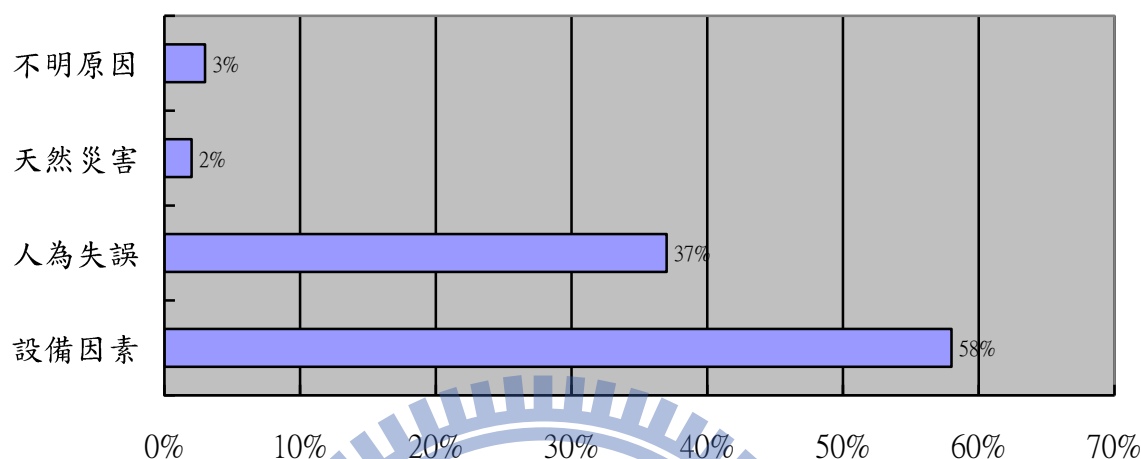


圖 2 RMP 資料庫事故導因分析圖

(4) 美國化學產業工安事故統計(2005 年 3 月-2006 年, CSB 資料庫)[9]

自 2001 年起, 美國化學安全和危害調查機構(Chemical Safety Board, CSB)將所調查事故彙整至 CSB 資料庫(The Chemical Incident Screening Database), 該系統之目的不在於收集所有案例, 惟可從事故縮影中發現之問題, 作為化學產業應重視的課題。有關化學產業之事故類型, 以洩漏(49%)、火災(27%)、爆炸/火災(11%)佔前三項。涉及的化學品以氨(26%)所佔比率最高, 氯(6%)其次, 如表 3。

表 3 CSB 資料庫統計分析結果

類別	所佔比率
事故類型	洩漏(49%)、火災(27%)、爆炸/火災(11%)、爆炸(8%)、洩漏/火災(2%)、爆炸/火災/洩漏(1%)、爆炸/洩漏(1%)、其他(1%)
涉及的化學品	氨(26%)、氯(6%)、燃料/油/汽油(4%)、丙烷(3%)、硫酸(2%)、天然氣(2%)、金屬粉塵(2%)、硝酸(1%)、木屑粉塵(1%)、鹽酸(1%)

由上述文獻觀之, 主管部門因其收集目的和標準不同下, 採用不同範圍或時期的數據, 故其統計分析結果不盡相同, 然由其統計結果仍可提供本研究作為國外統計分析結果之對照參考。

2.2 事故導因分析

2.2.1 事故導因分析方法

目前國際上已有眾多工安事故基本原因分析技術的發展，常見的有 MORT(Management and Oversight Risk Tree)、MTO(Man Technology and Organization)、TRIPOD、SOL (Safety through Organizational Learning,)、CREAM (Cognitive Reliability Error Analysis Method)、AcciMap Tool、STAMP (Systems-Theoretic Accident Model and Processed)、FTA(Fault Tree Analysis)、ETA(Event Tree Analysis)、SCAT(systematic Causal Analysis Technique)、WTA(Why Tree Analysis)等[23]，依照事故特性及適用範圍等而採用不同的基本原因分析技術。以美國化學製程安全中心(Center for Chemical Process Safety, CCPS)為例，將意外事件分析工具分為事件序列圖(Sequence Diagrams)、邏輯樹(Logic Tree)、預設邏輯樹(Predefined Tree)、查核表(Checklist)和其他輔助工具。

眾多的基本原因分析技術約略可區分為邏輯樹與預設邏輯樹/查核表二類。邏輯樹需要調查人員抽絲剝繭找出誘發事故發生的基本原因，故對事故作業背景熟練且具有專業知識與經驗的調查人員擔任為宜，執行困難度較高，此類型方法如 FTA、ETA、MORT、WTA 等；預設邏輯樹/查核表方式則由專家學者以邏輯樹的概念事先設計一連串的原因選項供調查人員按圖索驥，其缺點為可能忽略其他可能的事故原因，其優點為操作簡易，事業單位易於進行事故原因分析，目前已有眾多事業單位，例如殼牌(Shell)、英國石油(BP)及金百力(Kimberly)等公司，針對本身事業特性設計事故調查預設邏輯樹/查核表[23]。同時因為預設邏輯樹/查核表式的分析方法已經詳列多項可能導因，可提供調查人員思考致災因子選項，確保完整檢視各個致災層面，並利於事故調查資料庫的建置及日後分析統計使用，故目前已發展出如 SCAT 查核表及 TRIPOD、CLC(Comprehensive List of Causes)等多種預設邏輯樹分析方法[24]。

以美國化學製程安全中心之事故分析預設邏輯樹模式為例(如圖 3) [25]，執行步驟如下：

- (1) 證據收集：可經由訪談、現場勘查及文件回顧等，盡可能收集事故相關證據資料。
- (2) 發展時間序列：將收集到之證據排列可能之事件時間序列，並可利用證據/假設 (Fact/Hypothesis)方法檢視是否有遺漏或不合理之環節，進而歸納出事故可能情境。
- (3) 導因探討：針對事故可能情境逐步探討其致災可能因素。對於具有複雜時間序列之案例，有時可能設想多種情境或忽略部分導因而無法辨識出基本原因，為避免

太早下結論，可利用屏障分析(Barrier Analysis)、變更分析(Change Analysis)等方法協助補足資料不足或有助於釐清事故可能之導因(直接及間接原因)。

屏障分析(或稱為危害-屏障-目標分析，Hazard-Barrier-Target Analysis, HBTA)運用原理在於化學工廠大多建置許多安全設計及多重保護措施，用以保護系統或人員避免遭受危害，當事故發生時代表安全屏障無法發揮功效，故如能找出事故發生時哪些安全屏障喪失功能，即為導因。一般而言，廠內設置之安全屏障包括物理性屏障(如個人防護具、電氣絕緣設配、安全閥、防火牆等)、人為屏障(監督、手動控制程序、巡視等)、現場設計屏障(安全距離等)、行政管理屏障(如標準作業程序、開車前檢查、上鎖掛牌程序、設計等)。考量導因時，可聚焦於失效之安全屏障，辨認出可能之導因。

變更分析(或稱為變更評估/分析，CE/A)，係比較事故發生情境與以往作業執行之差異處，如果系統以往均運作正常，但此次失效，則其原因可能導因於系統變更。變更項目可能思考方向包括工作狀況、管理措施、溝通、監督、訓練、設備設計、操作、維護，可藉由何事、何地、何時、何人等變更可能導致不利的影響作為導因探討。

(4) 基本原因分析

導因辨認後，藉由預設邏輯樹之預設項目進一步探討其基本原因，預設邏輯述方法雖盡可能依以往經驗網羅所有可能之基本原因，但仍可能不夠完整，故可利用完整性測試方式(Completeness Test)重覆檢視是否仍有其他原因未被找出；或可利用管理系統測試方式(Management System Test)確認原因是否根源於管理系統失效，如運用為何樹(5-Whys)工具持續確認所有導因已深入探討至管理系統問題。最後可運用通用原因測試方式(Generic Cause Test)，考量以往事故歷史是否曾發生過類似失效模式，以整合作為共通管理問題。

上述各項步驟(1)-(4)彼此間具有關連性，經由反覆檢視是否有遺漏或不合理之環節，進而歸納出導致事故發生之直接、間接及基本原因。

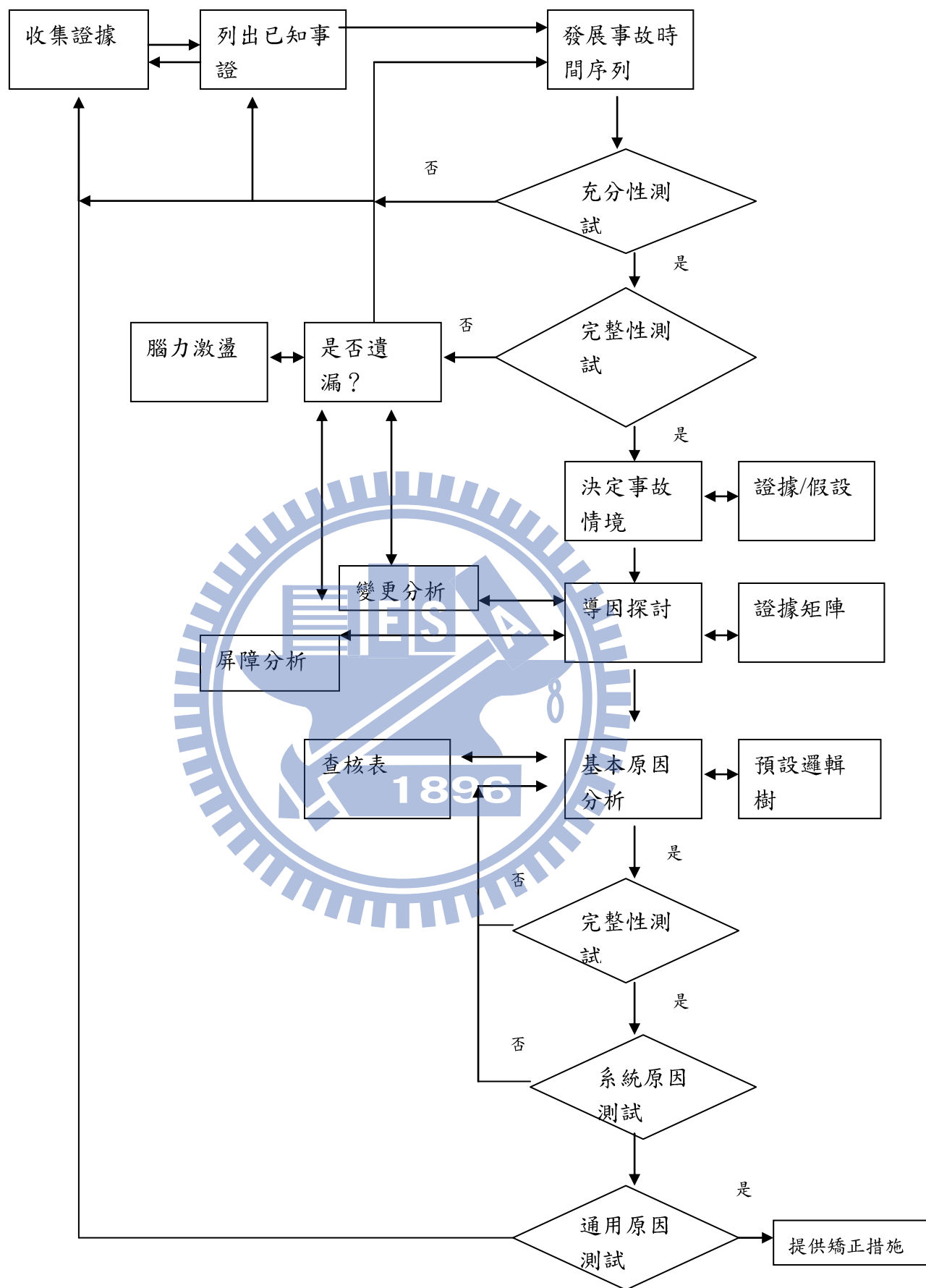


圖 3 美國化學製程安全中心預設邏輯樹模式

2.2.2 事故導因分類

隨著時代的演進，世人對安全的觀念也隨之演變。在七十年代安全課題主要圍繞在“技術可靠度”，認為改善製程技術即能改善安全；八十年代，因三哩島事故的發生，大家意識到“人為失誤”的重要性，因而將操作人員的角色納入製程安全的範疇中，並開始注意到人與機器間之界面；然而隨著九十年代車諾比事件，“安全文化”議題隨之展開，組織成為構成安全過程之要素，管理者也將如同操作人員要為安全負責。

針對 MARS 資料庫中石化重大事故分析時，發現事故發生初期“簡短通報”中所述及事故原因為設備損壞者，在蒐集完整訊息及調查後，25%設備損壞導因在事後“完整報告”中修正為組織因素，尤其是歸屬於設計缺失或缺乏訓練、程序所導致[8]。因而事故原因分析應找出導致事故發生的全部原因，包括直接原因、間接原因和根本原因，如果僅限於直接或間接原因，而未深入探討其根本原因，相似的工安事故極可能一再發生。近數十年來國外事故導因分析結果顯示，事故原因屬性探討時應同時考慮製程、設備、人為及組織因素，惟有全盤考量才能瞭解事故全貌，發現真正的事故原因[26]。

目前國內外針對化學或煉油石化產業，已有數種預設邏輯樹式之事故導因分類項目，舉例如下：

(1)全方位事故導因表(CLC)

全方位事故導因表(Comprehensive List of Causes, CLC)為英國石油公司1999年於事故調查根本原因分析訓練會上提出[27]，美國化學工程師學會化學製程安全中心(Center for Chemical Process Safety, CCPS)所採用的事故原因參照表。主要針對煉油石化業的製程安全事故，預設事故可能之直接原因(Possible Immediate Causes)包括「作業步驟遵循」、「設備與工具的使用」、「保護措施執行」及「缺乏注意力和認知」4項不符合標準的行為及「保護系統」、「工具與設備」、「危害暴露」及「作業場所環境與配置」4項不符合標準的狀態，再往下探討其可能的系統原因(Possible System Causes)包括6項個人因素和9項作業因素，並提出矯正措施(Elements of Getting HSE Right) 13大項如表4。其涵蓋層面廣泛，包括工程設計、製程技術、設備、人為及組織因素，細項說明列於附錄1。

表 4 全方位事故導因表(CLC)

可能直接原因	
<u>行為面</u> 1. 作業步驟遵循 2. 設備與工具的使用 3. 保護措施執行 4. 缺乏注意力和認知	<u>狀態面</u> 5. 保護系統 6. 工具與設備 7. 危害暴露 8. 作業場所環境與配置
可能的系統原因	
<u>個人因素</u> 1. 生理能力 2. 身體狀況 3. 心智狀況 4. 心理壓力 5. 行為 6. 熟練程度	<u>作業因素</u> 7. 訓練與知識養成 8. 管理與監督 9. 承攬商的選擇與監督 10. 工程與設計 11. 工作規劃 12. 採購、原物料管制和控制 13. 工具和設備 14. 政策、標準、步驟 15. 溝通
矯正措施	
1. 領導與責任 2. 風險評估和管理 3. 人員訓練和行為 4. 與承攬商和供應商合作關係 5. 設施的設計和建構 6. 操作和維修 7. 變更管理	8. 資訊和文件管理 9. 客戶與產品 10. 社區與利害相關者 11. 危機與緊急事件管理 12. 事故分析和預防 13. 評估保證和改善

(2)國際石油和天然氣生產商協會(The International Association of Oil & Gas Producers, OGP)事故導因(Causal factors)項目[28]

在國際石油和天然氣生產商協會(OGP)之「健康和安全事故報告系統使用者指引」中將事故導因分為人員(行為)及製程(狀態)二大類，人員(行為)類別中包括人員行為或未落實執行等因素計 4 大項 18 細項；製程(狀態)類別中涵蓋層面廣泛，包括製程之設計、設備等危害或組織等因素計 4 大項 18 細項，如表 5。

表 5 OGP 事故導因表

類別	大項	細項
人員(行為)	作業程序	<ul style="list-style-type: none"> ● 故意違反 ● 非故意違反 ● 位置不當 ● 用力過度或不當位置/姿態作業 ● 工作或移動速度不當 ● 起重或裝載不當
	工具、設備、物料和物品之使用	<ul style="list-style-type: none"> ● 工具、設備、物料和物品不當使用/不當位置 ● 帶電設備的維修/不當能量隔離
	保護措施之使用	<ul style="list-style-type: none"> ● 危害警示失效 ● 安全系統使用不當 ● 個人防護具未使用或使用不當 ● 設備或材料未固定 ● 保護措施、警告系統或安全裝置移除或失效
	注意力不集中或缺乏認知	<ul style="list-style-type: none"> ● 不當或缺乏判斷 ● 疏忽/被其他事物或壓力導致分心 ● 暴力行為 ● 使用禁藥或酒精飲料 ● 疲勞
製程(狀態)	保護系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 保護措施或安全屏障不足或缺陷 ● 個人防護具不足或缺陷 ● 警告系統或安全裝置不足或缺陷 ● 安全標準或系統不足
	工具、設備、物料和物品	<ul style="list-style-type: none"> ● 設計/規格/變更管理不當 ● 工具、設備、物料和物品不當或缺陷 ● 維護/檢查/測試不當
	工作場所之危害	<ul style="list-style-type: none"> ● 擁擠，雜亂或局限的移動空間 ● 物體表面、地板、走道、道路不當 ● 危害環境(爆炸性/毒性/窒息性) ● 風暴等自然危害

	組織	<ul style="list-style-type: none"> ● 訓練/技能不足 ● 作業程序/標準不足 ● 危害辨識或風險評估不足 ● 溝通不足 ● 監督不足 ● 安全領導/組織文化不足 ● 事故未報告或未學到經驗
--	----	---

(3) Ji, C.等人針對石油煉製業事故原因分析項目[29]

Ji, C., Zhang, H.等人針對石油煉製業事故探討基本原因分析方法，並經由預設邏輯樹往下展開，將事故之基本原因(Root Cause)區分為標準作業程序、訓練、品質管制、溝通、管理系統、與人員相關之工程控制、工作督導等七大類，各類別再往下展開共計 21 大項，101 細項，如表 6。

表 6 Ji, C., Zhang, H.等人事故基本原因表

類別	大項	細項
標準作業程序	未使用/未依循	● 如沒有標準作業程序、不易使用
	內容錯誤	● 如工作順序錯誤或使用錯誤版本等
	內容不完整	● 如未詳述細節、含糊指令等
訓練	未訓練	● 如未進行訓練調查或未派員訓練等
	需加強認知	● 如訓練計劃需加強或需熟練等
品質管制	未檢查或查核	● 如未掌握檢查重點或未針對重點檢查等
	需強化檢查能力	● 如檢查程序或技巧需強化等
溝通	未溝通或時機不佳	● 如溝通系統待加強或事後溝通等
	人員變更	● 如沒有變更標準程序或未依變更管理程序執行等
	溝通不良	● 如嘈雜環境或未依程序執行等
管理系統	作業標準、政策或行政管理控制待加強	● 無系統或管理技巧錯誤等
	未依管理機制執行	● 如制度、職責應強化或實施方法不佳等
	查核	● 如查核或評估頻率不足，或缺乏深度等
	矯正措施	● 如矯正措施未實施等

與人員相關之 工程控制	人機介面	● 如標示需強化或工作順序需改善等
	工作環境	● 如 5S 需強化，冷熱環境或設備安全防護須加強等
	複合系統	● 如強化決策訂定或監督項目太煩瑣等
	不容錯系統	● 如人員失誤不易觀察或不容許犯之錯誤等
工作督導	事先準備	● 如工作計劃、走動管理需強化等
	人員選擇	● 如人員專業度或團隊組成需強化等
	工作中督導	● 如沒有督導或團隊合作需強化

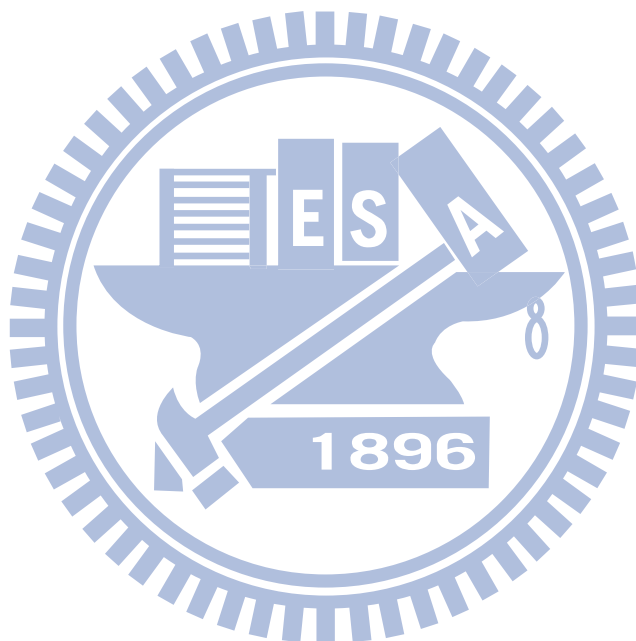
(4) Kidam, K., Hurme, M. 事故貢獻因素分析項目 [2]

Kidam, K., Hurme, M. 等人針對化學製程業事故探討基本原因分析方法，將事故貢獻因素分為人員和組織、技術二大類，各類別再往下展開共計 15 大項，140 細項，如表 7。

表 7 Kidam, K., Hurme, M. 事故貢獻因素表

類別	大項	細項
人員和組織	操作時人員和組織 缺失	● 操作時人員和組織缺失。設計或人機介面之人員疏失歸類於技術面
技術	和化學品雜質有關 因素	● 如雜質、累積物、形成副產品等
	和液體有關因素	● 如流速、黏度、水鎚、洩漏、迴流等
	和溫度有關因素	● 如冷、熱、或因溫度造成設備或製程狀態等
	和化學反應有關因 素	● 如失控、反應未完成、或非期待之反應等
	和生產、建造、安裝 有關因素	● 如設計缺失，和生產、建造、安裝有關之支撐電焊、品質等因素
	和配置、位置有關因 素	● 廠區配置、設備間距、位置、視覺障礙、標示等
	和腐蝕有關因素	● 因設計錯誤、建造、設備管線老化、無保護措施等導致
	和建造物質有關因 素	● 設備、管線及建造成份使用不適當之物質、機械應力、材質等

和電有關因素	<ul style="list-style-type: none"> 錯誤材質、絕緣不良、未接地及欠缺保護措施等產生電流、蓄積或放電
和機械設備損壞有關因素	<ul style="list-style-type: none"> 結構或外壁因為龜裂、疲勞、撓曲、壓力、撕裂等造成之損壞
和公用、附屬設備有關因素	<ul style="list-style-type: none"> 不適當設計或選用公用系統和其附屬設備或緊急備用系統等
和振動有關因素	<ul style="list-style-type: none"> 因輸送、泵送、支撐、不良安裝等產生之振動
和侵蝕有關因素	<ul style="list-style-type: none"> 因流體流動氣/液態輸送雜質內部設備配置不當造成等
其他因素	<ul style="list-style-type: none"> 因天災造成如地震打雷洪水等



第三章 研究方法

經由文獻探討瞭解國內外煉油石化業事故資料庫應具有之分類項目，據以架構本研究事故資料庫；並採用美國化學製程安全中心預設邏輯樹模式，以全方位事故導因表(CLC)作為事故導因分析項目，分析各事故案例據以對應找出相關之直接、間接及基本原因等項目；再以頻率分析法及四象限分析法進行案例特性及導因之統計分析，瞭解煉油石化業優先應重視之事故特性及導因。

3.1 文獻回顧方法

蒐集國內外有關煉油石化業或化學產業之事故資料庫及其統計分析之論著、期刊、研究報告、法令等文獻資料，經整理、分析歸納，探討煉油石化業事故資料庫應有之項目特性及導因類別，作為規劃本研究內容之參考。

3.2 事故導因分析方法

本研究針對 A 煉油石化公司 90 年至 102 年期間發生之製程安全事故案例，逐案分析其事故導因，惟因本研究係回溯各事故案例，因此在證據收集及分析證據的可靠度有所限制，僅就現有資料加以探討。

針對個案應用美國化學製程安全中心預設邏輯樹模式，審視現有之證據資料並列出已知事證，由最終事件開始分析，以回溯法方式推論與分析事故相關的事件和狀態，逐步建構事故時間序列；建構過程中應重複審視事件與事件間之充分與必要性，並將不需要的資料刪除，以架構整體事故情境。進行事故導因分析時，檢視事故情境並探討情境中各項偏離標準作業且與意外事故相關的異常事件或狀態，視其為導致個案發生之顯性因子；將單一顯性因子藉由全方位事故導因表(CLC)所詳列之事故原因分析選單，逐步確認其直接原因、間接原因及基本原因；再依次將各個顯性因子依循上述步驟展開，並將所有相關原因以系統化方式列表排列，據以彙整作為統計分析使用，導因分析架構如圖 4，導因分析表如表 8。

本研究中依 1.3 述及之名詞定義，將全方位事故導因表(CLC)中「可能直接原因」視為「直接原因」，「可能的系統原因」視為「間接原因」，「矯正措施」視為「基本原因」，以符合國內使用習慣。

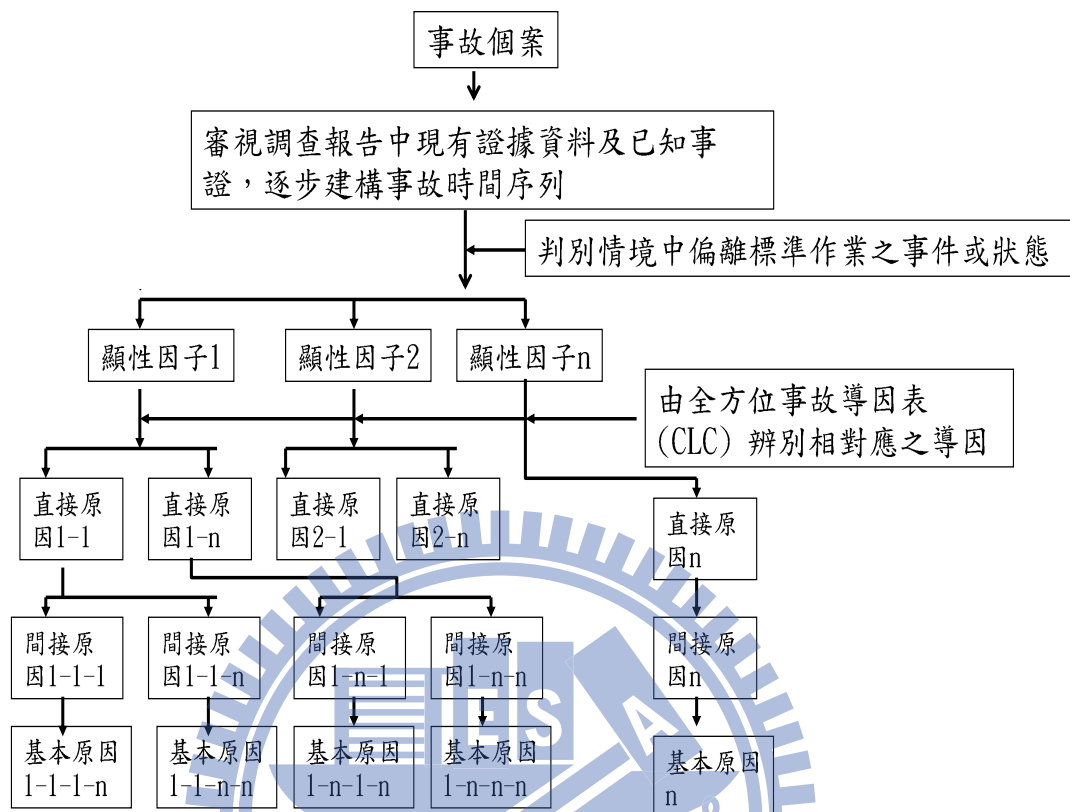


圖 4 導因分析架構

表 8 導因分析表

顯性因子 (事故相關之事件及狀態)	直接原因 (行為面和狀態面)	間接原因 (個人和作業因素)	根本原因 (管理系統)
顯性因子 1	行為面(1)	個人因素 A	管理系統 a
		個人因素 B	管理系統 b
	狀態面(2)	作業因素 A	管理系統 d
		作業因素 B	管理系統 e
顯性因子 2

以某油氣洩漏火災事故案例為例，在排列之事故時間序列情境中辨識出「進料泵火災」為偏離標準作業之顯性因子之一，應用預設邏輯樹方法，以全方位事故導因表(CLC)作為事故導因分析項目，其分析步驟如下：

(1)由顯性因子對應至直接原因：

以「進料泵火災」顯性因子為例，其證據顯示火災原因之一肇因進料泵機械軸封或軸承損壞，對應至全方位事故導因表(CLC)中的直接原因為「狀態面」中「6. 工具與設備」項目，再分析其原因為「6.1 失效的設備」細項，作為直接原因，如圖 5，將該直接原因填入表 3.2 中。一項顯性因子可能對應多項直接原因，列出所有直接原因後持續進行下個步驟。

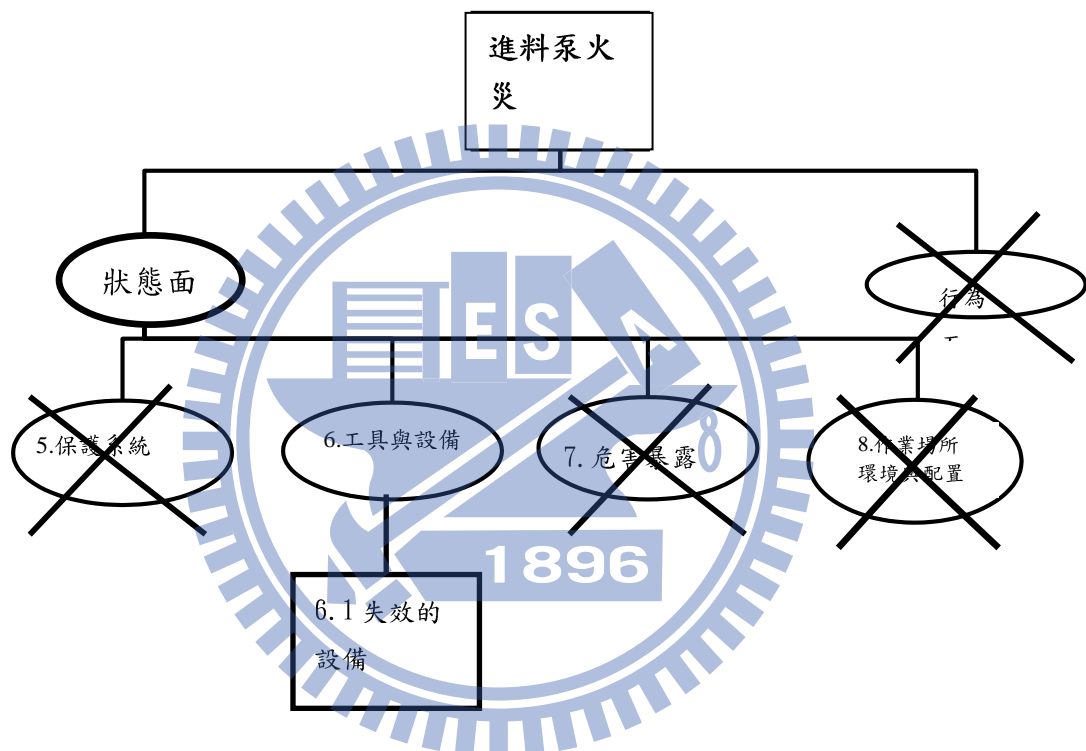


圖 5 由顯性因子對應至直接原因分析圖

(2)由直接原因對應至間接原因：以「進料泵火災」顯性因子為例，其直接原因之一肇因進料泵浦機械軸封或軸承損壞(「6.1 失效的設備」細項)，探究其深層原因為操作部門針對進料泵浦的一級保養項目為補充潤滑油及每班至現場目視，預知保養制

度有待檢討，對應至全方位事故導因表(CLC)中的間接原因為「作業因素」，再分析

其原因為「11.工作規劃」中「11.2 不適當的預知保養」，作為間接原因，如圖 6，將該間接原因填入表 3.2 中。一項直接原因可能對應多項間接原因，列出所有間接原因後持續進行下個步驟。

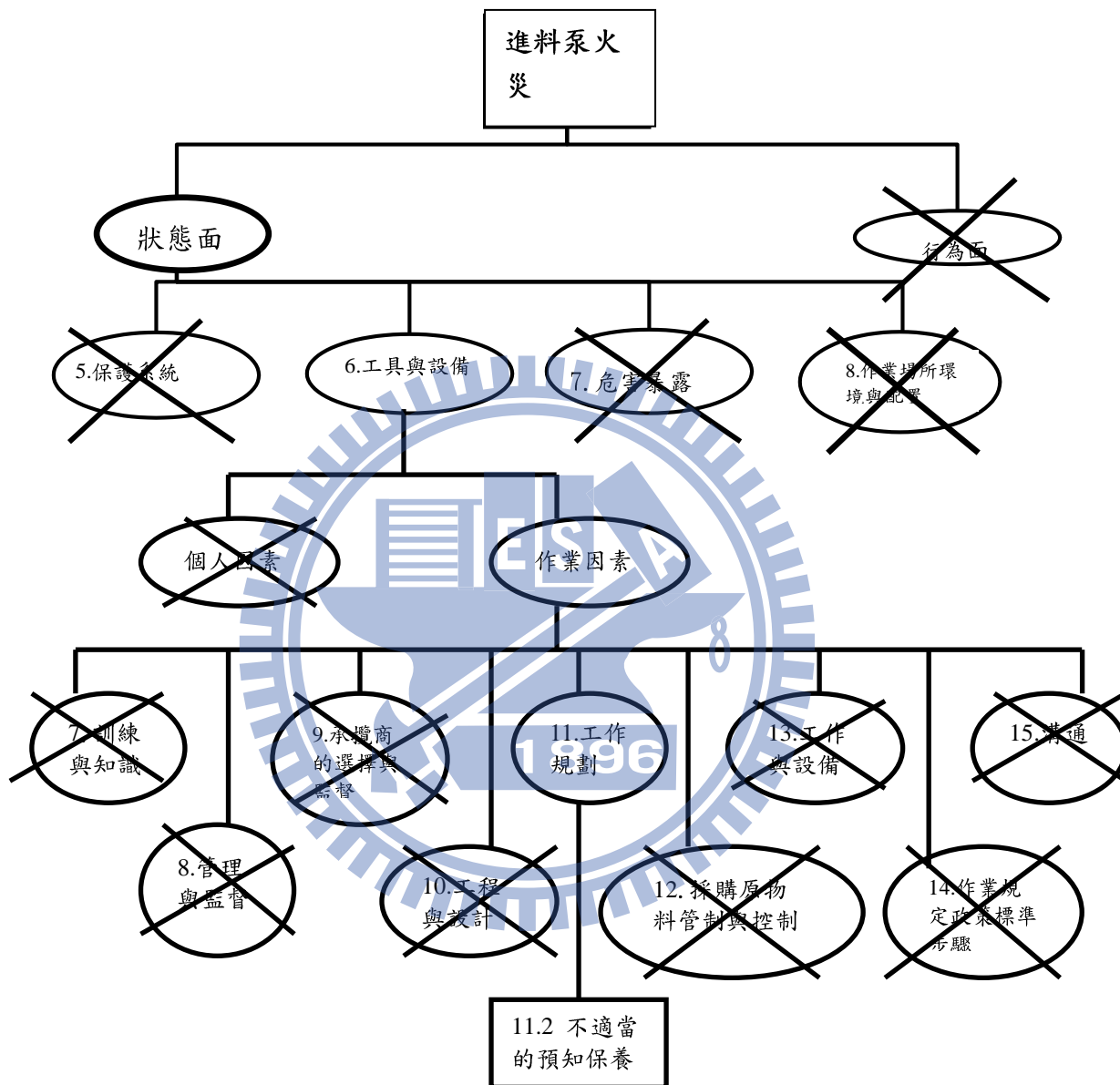


圖 6 由直接原因對應至間接原因分析圖

(3) 由間接原因對應至基本原因：以「進料泵火災」顯性因子為例，其直接原因之一為「6.1 失效的設備」細項，間接原因之一為「11.2 不適當的預知保養」，對應至全方位事故導因表(CLC)中「基本原因」為「6.操作與維修」項目，作為管理系統面應

改善原因，如圖 7，將該基本原因填入表 9 中，即完成事故導因分析步驟。

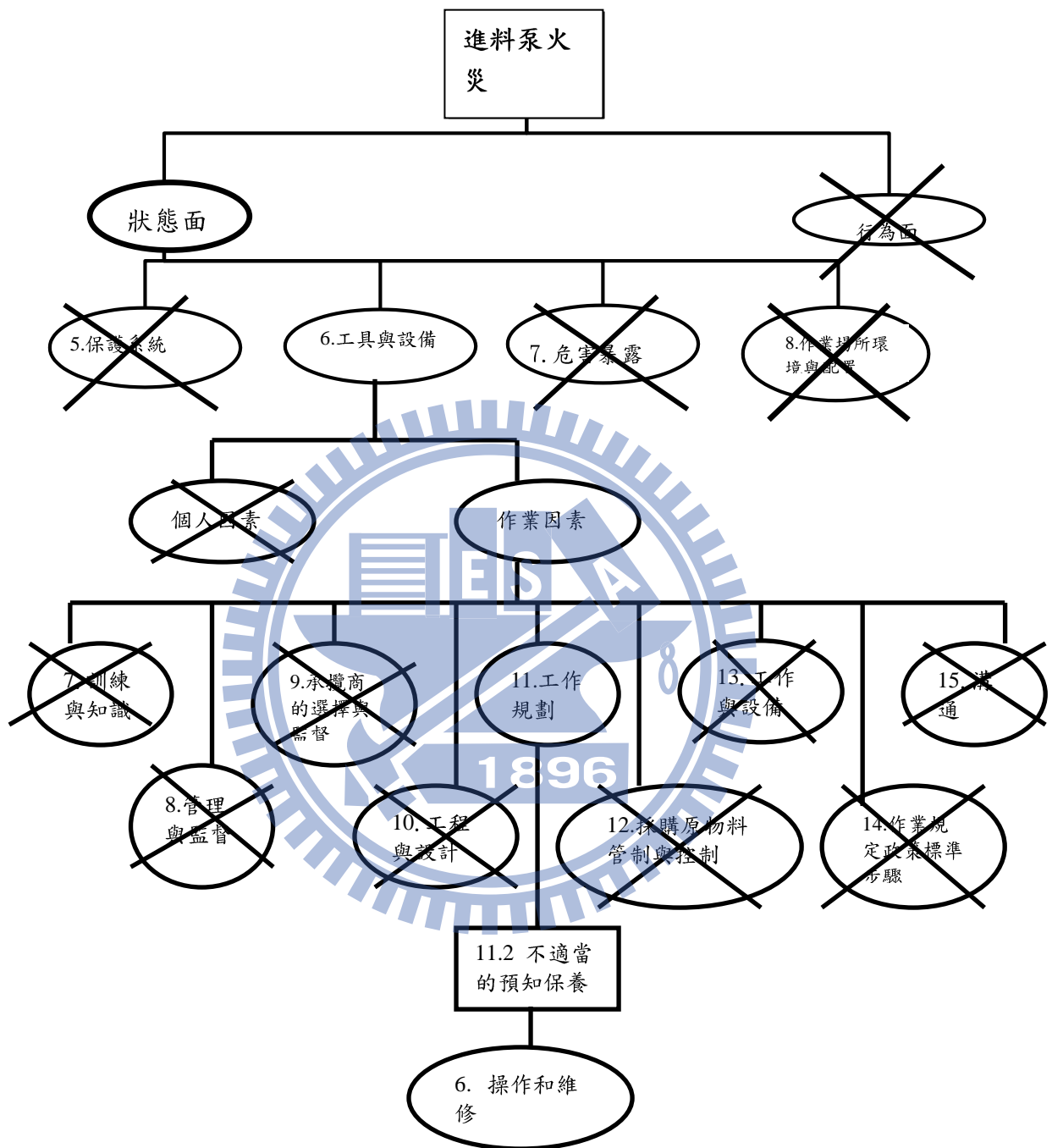


圖 7 由間接原因對應至根本原因分析圖

表 9 某「油氣洩漏火災」導因分析表

顯性因子 (事故相關之事件及狀態)	直接原因 (行為面和狀態面)	間接原因 (個人和作業因素)	根本原因 (管理系統)
進料泵火災	進料泵機械軸封或軸承損壞 (6.1 失效的設備)	操作部門針對進料泵浦的一級保養項目為補充潤滑油，每班至現場目視檢查 (11.2 不適當的預知保養)	6.操作和維修
.....
.....
.....

3.3 事故特性及導因統計分析方法

3.3.1 頻率分析法

運用頻率分析法，歸納統計研究範疇內所有事故案例各特性(如事故類型、媒介物類型)之發生次數，找出有意義之事故概況訊息。

3.3.2 四象限分析法 (Four-Quadrant Analysis) [2]：

一般而言，統計各事故導因之發生次數，依其頻率多寡作為致災程度重要性之指標，是目前最普遍之統計方法。然而如同風險評估需考量頻率及嚴重度二者，本研究事故導因重要性之探討，嘗試以發生頻率及主要貢獻度(Share as main contributor, SMC)二者併同考量，以鑑別出優先應重視之導因項目。

有鑑於事故之導因往往不只一項，依據案例中各導因之重要性區分為關鍵導因及次要導因。如該原因是導致事故啟動或引發事故的主要因素，被視為關鍵導因。次要導因雖然也是造成事故的原因，然而，他們的角色較次要，亦即如果關鍵導因去除後，事故將不會發生或發生機率低，故次要導因只能作為強化事故因素考量。

針對 A 煉油石化公司近年來之製程安全事故案例，每一案例依 3.1.2 事故導因分析方法進行分析，並將各項原因填入導因分析表中，再依其重要性列舉關鍵導因一項及次要導因至多二項。據以統計分析其主要貢獻度(SMC)。

主要貢獻度(SMC)計算方式為針對各單一事故導因類型，統計在案例中作為關鍵導因之發生次數除以該導因類型所有發生次數之比率，故該比值代表該導因類型作為關鍵導因之貢獻潛力，比值高代表導致致災之重要性越高。

四象限分析法以個別導因頻率百分比(各單一導因類型發生次數/全部導因類型發生次數)為 X 軸，主要貢獻度(各單一導因類型中作為關鍵導因發生次數/各單一導因類型中所有發生次數)為 Y 軸。以此逐步解析各導因類型，畫入座標中，依其在四象限中之分布，粗略將分布位置相似之導因類型區分為數群聚，並以位於第一象限之導因類型作為事故優先應重視之導因及防範對策之參考。

舉例如下：

假設事故 1，其導因為關鍵導因 A1，次要導因 B1 及 C1

事故 2，其導因為關鍵導因 C2，次要導因 B2 及 A2

事故 3，其導因為關鍵導因 D3，次要導因 A3 及 C3

事故 4，其導因為關鍵導因 E4，次要導因 D4 及 C4

解答(1)導因類型 A 之所有發生次數為 $A1+A2+A3$ ，共計 3 次

(2)導因類型 A 之關鍵導因之發生次數為 A1，共計 1 次

(3)導因類型 A 之 $SMC=A1/(A1+A2+A3)=1/3=33\%$

(4)全部導因類型發生次數為

$A1+B1+C1+C2+B2+A2+D3+A3+C3+E4+D4+C4$ ，共計 12 次

(5)導因類型 A 之發生頻率百分比為 $3/12=25\%$

(6)導因類型 A 之 X 軸為 25%，Y 軸為 33%

(7)逐步解析導因類型 B、C、D、E，並劃入座標中。

第四章 煉油石化業事故資料分類、編碼、彙整及建檔

針對製程安全事故可能發生之情境，架構資料庫項目包括事故簡述、事故日期時間、事故單位、事故類型、後果影響、作業狀態、媒介物、事故導因等 8 大項 28 欄位進行分類及編碼；分析彙整 A 煉製石化公司 90-102 年 20 筆製程安全事故(Process Safety Incidents)資料並建檔，作為後續統計分析使用。

4.1 架構事故資料庫之分類與編碼

為了進行煉油石化業製程安全事故屬性及其導因類型之探討，首要應建立符合煉油石化業特性之事故資料庫。本研究蒐集國內外有關煉油石化業或化學產業之事故資料庫文獻資料，經整理、分析歸納，架構煉油石化業事故資料庫應有之項目特性及導因類別，並諮詢國內化工製程專家學者，作為本研究使用之資料庫分類與編碼，分述如下。

4.1.1 事故編號：

以事故發生日期之民國年份+月份+日期為事故編號，如 90 年 1 月 1 日編號為 0900101，102 年 10 月 21 日編號為 1021021，若同一天有兩起以上之事故發生則第一件加上~1，第二件加上~2，其餘依此類推。

4.1.2 事故簡述：針對事故摘要說明。

4.1.3 事故發生日期及時間

(1) 年份：依民國年份輸入，如 90 年輸入 90。

(2) 月份：依月份輸入，如 1 月輸入 01。

(3) 時間：依 24 小時計算整點輸入，30 分以後者進位，如上午 8 點 20 分輸入 8，下午 3 點 45 分輸入 16。

4.1.4 事故單位

事故單位為發生事故之所屬單位。以 A 煉油石化公司為例，其業務內容包括鑽探、煉製、石化、輸儲、行銷、研究及工程規劃，依該單位所屬分類及編碼如表 10。

表 10 事故單位分類及編碼

分類編號	分類項目
1	鑽探
2	煉製
3	石化
4	輸儲
5	行銷

6	研究
7	工程營建

4.1.5 事故類型

參考歐美製程安全資料庫，事故類型主要為洩漏、火災、爆炸等項目。另事故發生時往往有 2 種以上事故類型，如氣爆後產生火災，本研究以所有災害併列為編製原則如表 11。

表 11 事故類型分類及編碼

分類編號	分類項目
1	洩漏
2	火災
3	爆炸/火災
4	爆炸
5	洩漏/火災
6	爆炸/火災/洩漏
7	爆炸/洩漏
8	其他(如裂解爐管斷裂)

4.1.6 後果影響分類及編碼定義

(1) 影響層面

參考文獻所述，工安事故可能導致人員傷亡、污染外界環境、財物損失，乃至擴及社區鄰里等影響層面。另事故發生時可能產生 2 種以上災害後果，以所有影響併列為編製原則。影響層面分類及編碼如表 12。

表 12 影響層面分類及編碼

分類編號	分類項目
1	人員傷亡
2	污染外界環境
3	財物損失
4	造成社區鄰里影響
5	人員傷亡、財物損失
6	人員傷亡、污染外界環境
7	污染外界環境、財物損失

(2)傷亡對象

事故如造成人員傷亡，依其對象分類，分別為員工、承攬商及外界第三者，傷亡對象分類及編碼如表 13。

表 13 傷亡對象分類及編碼

分類編號	分類項目
0	無人傷亡
1	員工
2	承攬商
3	外界第三者

(3)死亡人數：事故時死亡者人數總數。

(4)受傷人數：事故時受傷者人數總數。

4.1.7 作業狀態

(1)作業類別

參照煉油石化公司之業務特性，引用美國製程安全事故資料庫(PSID)中針對作業類別所述進行分類，分為十項，作業類別分類及編碼如表 14：

表 14 作業類別分類及編碼

分類編號	分類項目
1	泵送、運轉作業
2	取樣作業
3	裝卸作業
4	管線接合
5	吹驅管線
6	檢測
7	電焊切割
8	開俾時相關啟動、校正等作業
9	正常營運時施工、維修、清洗作業
10	停俾時施工、維修等作業
11	其他正常操作作業(包裝、回收、混合、油料切換等)

(2)操作狀態

操作狀態分類參照歐盟石化業重大事故資料庫(MARS)所述進行分類，一般而言事故發生時之操作狀態可分為正常操作、測試、維修、停俾、開俾、緊急處置(停俾、再開俾)六類，其分類及編碼如表 15：

表 15 操作狀態分類及編碼

分類編號	操作狀態類別
1	正常操作
2	測試
3	維修
4	停俾
5	開俾
6	緊急處置(停俾、再開俾)

4.1.8 媒介物

(1)涉及之設備

參考製程安全管理中機械設備完整性 6 大關鍵系統設備及中臺科技大學「災害事故統計分析知識庫」事故設備分類，分為反應器、儲存設備、管路系統、保護設備(含釋壓及排放系統、緊急遮斷系統)、控制系統、加壓設備、公用系統(電氣設備、發電設備)、運輸設備、其他等，再細分為各小項類別。惟配合煉油石化製程，刪除反應器中發酵設備，增列熱交換器(含空氣冷卻器等)項目，如表 16。

表 16 涉及之設備分類及編碼

分類編號	分類項目
1	反應器(REACTOR)
11	觸媒再生器(catalyst regenerator)
12	觸媒(catalyst)
13	重組設備(reforming equipment)
14	裂解設備(cracking equipment)
15	熱交換器(含空氣冷卻器等)
16	攪拌器(agitator & stirrer)
17	反應容器(reaction vessel)

	18	壓力容器(pressure vessel)
	19	加熱爐(含再沸器等)
2		儲存設備(STORAGE)
	21	地下儲槽(underground storage)
	22	浮頂式儲槽(floating roof tank)
	23	球形儲槽(storage sphere)
	24	常壓球形儲槽(atmospheric sphere)
	25	加壓儲槽(pressurized tank)
	26	冷凍儲槽(refrigerated storage tank)
	27	常壓儲槽(tank)
	28	鋼瓶(cylinder)
3		管路系統
	31	閥(valve)
	32	盲板/滑板(blind /slip plate)
	33	接頭(connector)
	34	排水/下水道系統(drain/sewers)
	35	歧管(manifold)
	36	噴嘴(nozzle)
	37	軟管(hose)
	38	管道(pipe)
4		保護設備(PROTECTIVE EQUIPMENT)
	41	排放與燃燒系統(vent/flare system)
	42	緊急設備(emergency equipment)
	43	緊急排放裝置(emergency vent)
	44	防火設備(fire protection equipment)
	45	抑爆設備(explosion suppression equipment)
	46	滅火設備(fire extinguishing equipment)
	47	過壓釋壓裝置(over pressure relief)
5		控制器及儀錶(CONTROL & INSTRUMENTATION)
	51	取樣點/探測器(sample point)/液位計
	52	電腦(computer)
	53	控制器(controller)

	54	控制電纜(control cable)
	55	儀錶
6		加壓設備(PRESSURIZING EQUIPMENT)
	61	潤滑油系統(lubricating oil system)
	62	泵浦 (pump)
	63	壓縮機(compressor)
7		公用系統
	71	開關(switch)
	72	馬達(motor)
	73	電線/電纜(wire/cable)
	74	變壓器(transformer)
	75	變電站(electrical substation)
	76	渦輪發生器(turbogenerator)
	77	渦輪(turbine)
	78	發電機(generator)
	79	引擎(engine)
8		運輸設備(TRANSPORT)
	81	槽車(tank truck)
	82	水運運輸設備(marine transport)
9		其他

(2)涉及之化學品

事故中一個非預期或不受控制的化學物質，由控制系統中洩漏出因而造成人員、財產或環境影響。本案係依個案涉及之化學品作為本欄化學品分類及編碼依據。

(3)點火源

點火源分類乃參照美國製程安全事故資料庫(PSID)中針對點火源所述進行分類參考，如表 17。

表 17 點火源分類及編碼

分類編號	點火源類別
0	無點火源
1	外洩自燃

2	爆破
3	化學反應
4	壓縮點火
5	電氣設備
6	燃燒塔(含加熱器等)
7	磨擦生熱或磨擦火星
8	引擎
9	設備高溫
10	硫化鐵自燃
11	雷擊
12	香菸
13	靜電
14	電焊切割
15	破壞
16	開放火源(如鍋爐)
17	其他(如縱火、交通事故碰撞、操作溫度)

4.1.9 導因分類及編碼定義

本研究事故導因藉由全方位事故導因表(CLC)詳列之事故原因分析項目為主，探討直接原因、間接原因及基本原因，據以彙整作為統計分析使用。

- (1) 直接原因：其分類及編碼參閱全方位事故導因表(CLC) 如附錄一，惟本研究導因分類僅至現有導因表第二層，表中部分分類至第三層如「8.5.1 控制不當」，仍以第二層「8.5 不當的工作場所配置」表述，大項分類及編碼如表 18。

表 18 直接原因大項分類及編碼

直接原因	
<u>行為面</u>	<u>狀態面</u>
1. 作業步驟遵循	5.保護系統
2.設備與工具的使用	6.工具與設備
3.保護措施執行	7.危害暴露
4.缺乏注意力和認知	8.作業場所環境與配置

- (2) 間接原因：其分類及編碼參閱全方位事故導因表(CLC) 如附錄一，惟本研究

導因分類僅至現有導因表第二層，表中部分分類至第三層如「2.2.1 工作負荷過大」，仍以第二層「2.2 疲勞」表述，大項分類及編碼如表 19。

表 19 間接原因大項分類及編碼

可能的系統原因/間接原因	
<u>個人因素</u> 1. 生理能力 2. 身體狀況 3. 心智狀況 4. 心理壓力 5. 行為 6. 熟練程度	<u>作業因素</u> 7. 訓練與知識養成 8. 管理與監督 9. 承攬商的選擇與監督 10. 工程與設計 11. 工作規劃 12. 採購、原物料管制和控制 13. 工具和設備 14. 作業規定、政策、標準、步驟 15. 溝通

(3) 基本原因：其分類及編碼如表 20。

表 20 基本原因分類及編碼

矯正措施/基本原因	
1. 領導與責任 2. 風險評估和管理 3. 人員訓練和行為 4. 與承攬商和供應商合作關係 5. 設施的設計和建構 6. 操作和維修 7. 變更管理	8. 資訊和文件管理 9. 客戶與產品 10. 社區與利害相關者 11. 危機與緊急事件管理 12. 事故分析和預防 13. 評估保證和改善

4.2 彙整及建檔資料庫

綜合上述，本研究煉油石化業製程安全事故資料庫格式及欄位內容共計 28 欄位，如表 21。

表 21 煉油石化業製程安全事故資料庫格式及欄位

事故編號	事故簡述	事故發生日期時間			事故單位
		事故年份	事故月份	事故時間	

--	--	--	--	--	--

事故類型	後果影響				作業狀態		媒介物		
	影響層面	傷亡對象	死亡人數	受傷人數	作業類別	操作狀態	涉及之設備	涉及之化學品	點火源

關鍵導因 1				次要導因 2				次要導因 3			
顯性因子 1	直接導因代號 1	間接導因代號 1	基本導因代號 1	顯性因子 2	直接導因代號 2	間接導因代號 2	基本導因代號 2	顯性因子 3	直接導因代號 3	次要間接導因代號 3	基本導因代號 3

A 煉製石化公司 90-102 年之製程安全事故共計 20 筆資料。每筆資料根據事故調查報告進行分析，並依本資料庫所述之欄位及其分類、編碼，輸入包括事故編號、事故簡述、事故發生日期時間、事故單位、事故類型、後果影響、作業狀態、媒介物、直接原因、間接原因、基本原因等共計 28 欄位；為方便日後統計分析，各欄位依 4.1 架構事故資料庫之分類與編碼章節以編碼輸入。茲以本研究第 1 筆資料為例，輸入之建檔內容如表 22。

表 22 資料庫輸入之建檔內容(以第 1 筆資料為例)

事故編號	事故簡述	災害發生日期時間			事故單位
		事故年份	事故月份	事故時間	
900630	XXX 之進料泵浦軸封洩漏二甲苯，軸承磨損磨擦著火。	90	6	5	3

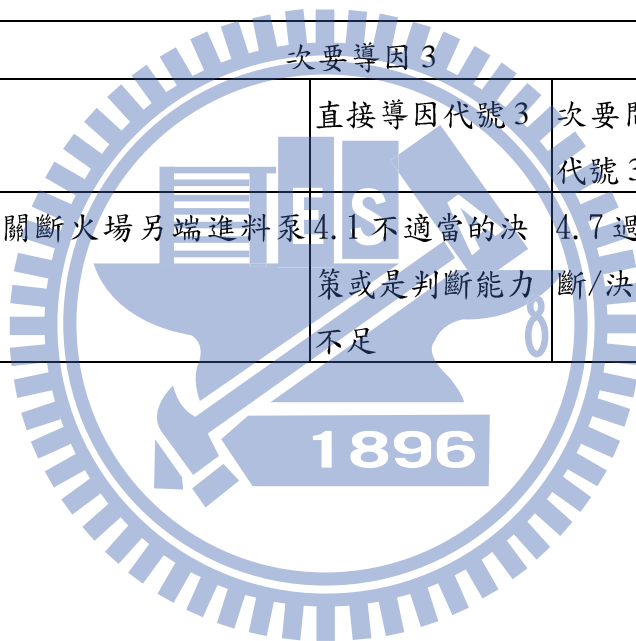
事故類型	後果影響				作業狀態		媒介物		
	影響層面	傷亡對象	死亡人數	受傷人數	作業類別	操作狀態	涉及之設備	涉及之化學品	點火源
5	3	0	0	0	1	1	62	二甲苯	7

關鍵導因 1

顯性因子 1	直接導因代號 1	間接導因代號 1	基本導因代號 1
進料泵浦機械軸封、軸承損壞，發生火災	6.1 失效的設備	11.2 不適當的預知保養	6 操作和維修

次要導因 2			
顯性因子 2	直接導因代號 2	間接導因代號 2	基本導因代號 2
多次巡查未發現進料泵浦警報訊號	4.8 不加思索的例行性作業	6.5 欠缺能力訓練審查	3 人員訓練和行為

次要導因 3			
顯性因子 3	直接導因代號 3	次要間接導因代號 3	基本導因代號 3
火災時未以手動關斷火場另端進料泵浦 MOV	4.1 不適當的決策或是判斷能力不足	4.7 過多的判斷/決策需求	11 危機與緊急事件管理



第五章 製程安全事故特性與導因分析

針對本資料庫 A 煉油石化公司 90-102 年之製程安全事故 20 筆資料進行特性及導因統計分析，以頻率分析法針對事故特性包括事故發生日期時間(年份、月份、時間)、事故單位、事故類型、後果影響(影響層面、傷亡對象、死亡人數、受傷人數)、作業狀態(作業類別、操作狀態)、媒介物(涉及之設備、化學品、點火源)等項目進行統計分析；導因分析則依 3.1.2 事故導因分析方法，每一案例逐步辨別其直接原因、間接原因、基本原因，依其重要性列舉關鍵導因一項及次要導因二項共計 60 項導因，應用四象限分析法進行導因之分析。

5.1 事故特性分析

5.1.1 事故發生日期時間

(1)事故年份：針對事故發生年份，統計發生次數，並計算所占百分比，統計表如 23。

表 23 事故年份統計表

年份	次數	百分比	備註
90	3	15%	90-94 年發生百分比 55%
91	2	10%	
92	3	15%	
93	2	10%	
94	1	5%	
95	1	5%	95-100 年發生百分比 25%
96	2	10%	
97	1	5%	
98	0	0%	
99	1	5%	
100	0	0%	100-102 年發生百分比 20%
101	2	10%	
102	2	10%	
總和	20	100%	

近 12 年之事故資料分析顯示，90 至 94 年五年期間事故發生次數較多，佔 55%；95 至 99 年五年期間降低佔 25%，惟 100-102 年三年期間其事故發生百分比又提昇為 20%，似有攀升趨勢，呈現事故循環現象。

(2) 事故月份：針對事故發生月份，統計發生次數，並計算所占百分比，統計表如 24。

表 24 事故月份統計表

月份	次數	百分比
1	3	15%
2	2	10%
3	1	5%
4	2	10%
5	2	10%
6	1	5%
7	3	15%
8	3	15%
9	0	0%
10	2	10%
11	0	0%
12	1	5%
總和	20	100%

事故月份以 1 月、7 月及 8 月發生事故率較高，各為 15%，可能與寒冷及酷熱等氣候型態有關。

(3) 事故時間：針對事故發生時間，統計發生次數，並計算所占百分比，統計表如 25。

表 25 事故時間統計表

時間	次數	百分比	備註
0-8 時	4	20%	晚班百分比：20%
8-10 時	2	10%	早班百分比：40%
10-12 時	2	10%	
12-14 時	3	15%	
14-16 時	1	5%	
16-18 時	4	20%	中班百分比：40%
18-24 時	4	20%	
總和	20	100%	

三班中以早班及中班發生事故率較高，各為 40%；而其中以 12 時至 14 時及 16 時至 18 時二個時段事故率較高，分別為 15% 及 20%，其可能原因為午休時及換班/下班期

間，人員心態較鬆散疏於注意導致。

5.1.2 事故單位:針對發生事故所屬單位，統計單位發生次數，並計算所占百分比，統計表如 26。

表 26 事故單位統計表

單位	次數	百分比
鑽探	1	5%
煉製	16	80%
石化	3	15%
輸儲	0	0%
行銷	0	0%
研究	0	0%
工程營建	0	0%
總和	20	100%

統計事故單位發現，以煉製單位所占比率最高(80%)，石化單位次之(15%)；此可能為該煉油石化公司具有 3 座煉油廠及 1 座石化廠導致次數差異所致；惟由此可見煉製及石化單位因具有較多之製程操作，為該企業大部份製程安全事故之發生單位。

5.1.3 事故類型

製程事故類型主要為洩漏、火災、爆炸等項目，惟事故發生時往往併同 2 種以上事故類型，如氣爆後產生火災。故本研究針對個案中所有產生之事故類型併列為原則，如同時發生爆炸及火災者列入「爆炸/火災」欄位，以和單獨發生者區分。統計發生次數，並計算所占百分比，統計表如 27。

表 27 事故類型統計表

單位	次數	百分比	備註
洩漏	4	20%	整合事件中含洩漏者占 40%
火災	4	20%	整合事件中含火災者占 65%
爆炸/火災	5	25%	
爆炸	2	10%	整合事件中含爆炸者占 35%

洩漏/火災	4	20%	
爆炸/火災/洩漏	0	0%	
爆炸/洩漏	0	0%	
其他(裂解爐管斷裂)	1	5%	
總和	20	100%	

事故類型以同時具有爆炸及火災之類型所占比率最高(25%)，其次以洩漏類型、火災類型及洩漏/火災類型居次，各為 20%；其中事件中含火災者占 65%為最多，含洩漏者占 40%居次，含爆炸者占 35%居第三位；由此可見製程安全事故仍以發生火災占最大宗。

此與 MARS 資料庫中主要以洩漏(38%)、火災(35%)類型及 CSB 資料庫中以洩漏(49%)事故類型不同，此可能原因為本研究局限於廠內製程安全事故，與 MARS 資料庫針對全部石化產業事故，及 CSB 資料庫針對化學產業事故進行統計分析有所不同。

5.1.4 後果影響

(1) 影響層面

工安事故可能導致人員傷亡、污染外界環境、財物損失，乃至擴及社區鄰里等影響層面。事故發生時可能併同產生 2 種以上事故後果，故本研究針對個案中所有產生之事故影響層面併列為原則，如同時發生人員傷亡及財物損失者列入「人員傷亡、財物損失」欄位，以和單獨發生之影響層面區分。統計發生次數，並計算所占百分比，統計表如 28。

表 28 影響層面統計表

影響層面	次數	百分比	備註
人員傷亡	4	20%	事件中含人員傷亡者占 35%
污染外界環境	0	0%	
財物損失	12	60%	事件中含財物損失者占 75%
造成社區鄰里影響	0	0%	
人員傷亡、財物損失	3	15%	
污染外界環境、財物損失	1	5%	
總和	20	100%	

事故影響層面以造成財物損失之類型所占比率最高(60%)；併同其他類型，以事件中含財物損失者高達 75%為最多，含人員傷亡者占 35%居次；此與 MARS 資料庫中財損(43%)占最主要之影響相同，由此可見事故發生後對企業造成最大之影響為財物損失。

(2) 傷亡對象及死傷人數：針對事故發生後其傷亡對象及其死亡人數及受傷人數，統計發生次數，並計算所占百分比，統計表如 29。

表 29 傷亡對象及死傷人數統計表

傷亡對象	次數	百分比	死亡人數	受傷人數	死傷人次數/事件次數
無人傷亡	13	65%	0	0	
員工	4	20%	1	6	每件事故之平均傷亡人數達 2.1 人
承攬商	3	15%	1	7	
外界第三者	0	0%	0	0	
總和	20	100%	2	13	

依本研究所彙整之製程安全事故，高達 65%沒有人員傷亡，傷亡案例中員工傷亡者達 20%，承攬商達 15%，外界第三者沒有人員傷亡；惟 7 件傷亡事故中造成 2 人死亡 13 人受傷，每件事故之平均傷亡人數達 2.1 人，如與該企業同期間職業災害事故比較，每件傷亡事故之平均傷亡人數約 1.4 人，顯示製程安全事故如發生人員傷亡時，將導致較嚴重之傷亡人數。

5.1.5 作業狀態

(1) 作業類別：針對事故發生時之作業類別，統計發生次數，並計算所占百分比，統計表如 30。

表 30 作業類別統計表

作業類別	次數	百分比
1.泵送、運轉作業	6	30%
5.吹驅管線	1	5%
8.開俾時相關啟動、校正等作業	5	25%
9.正常營運時施工、維修、清洗作業	1	5%
10.停俾時施工、維修等作業	3	15%

11.其他正常操作作業(包裝、回收、混合、油料切換等)	4	20%
總和	20	100%

本研究彙整之製程安全事故，「泵送、運轉作業」時發生事故率達 30%，占最大多數，檢視其情境大都為泵浦軸封或軸承損壞、進口端閥門未開啟導致泵浦或壓縮機空轉等；其次「開俾時相關啟動、校正等作業」占 25% 居次，為設備校正不當，操作控制不當、設備異常、開俾前檢點未確實等情境造成。

(2)操作狀態：針對事故發生時之操作狀態，統計發生次數，並計算所占百分比例，統計表如 31。

表 31 操作狀態統計表

操作狀態	次數	百分比
正常操作	8	40%
測試	0	0%
維修	2	10%
停俾	3	15%
開俾	5	25%
緊急處置(停俾、再開俾)	2	10%
總和	20	100%

本研究彙整之製程安全事故，其操作狀態以正常操作時發生事故率達 40%，占最大宗；其次開俾狀態占 25% 居次，停俾狀態占 15% 居三；對照 MARS 資料庫亦以正常操作(70%)發生事故率居最大多數，由此可見企業對日常之正常操作不能掉以輕心；此外相對於實施頻率較少之開俾階段，事故率達 1/4，亦應特別留意此階段作業之安全。

5.1.6 媒介物

(1)涉及之設備：針對事故發生時涉及之設備，統計發生次數，並計算所占百分比例，統計表如 32。

表 32 涉及之設備統計表

大項編號	涉及之設備	次數	百分比
1	反應器	5	25%
	14 裂解設備	1	
	15 熱交換器	2	

	17 反應容器	1	
	19 加熱爐	1	
2	儲存設備	1	5%
	27 常壓儲槽	1	
3	管路系統	6	30%
	31 閥	1	
	32 盲板/滑板	1	
	38 管道	4	
4	保護設備	0	0%
5	控制器及儀錶	2	10%
	51 取樣點/探測器	2	
6	加壓設備	6	30%
	62 泵浦	4	
	63 壓縮機	2	
7	公用系統	0	0%
8	運輸設備	0	0%
9	其他	0	0%
總和		20	100%

針對事故發生時涉及之設備，其中以管路系統及加壓設備各達 30%，占最多數；反應器 25% 居三；故以該企業而言，製程安全事故較常由於管路系統及其加壓設備導致，為最需要維護保養及巡查之設備。

Kidam 等學者針對化學製程事故中設備損壞案例分析發現[30]，發生頻率最多者分別為管路系統(25%)，反應器和儲存設備(各為 14%)，本研究亦得到相似結果。

(2)涉及之化學品：針對事故發生時涉及之化學品，統計發生次數，並計算所占百分比，統計表如表 33。

表 33 涉及之化學品統計表

涉及之化學品	次數	百分比
氫氣	2	10%
甲烷	1	5%
甲苯	1	5%
二甲苯	1	5%

硫化氫	4	20%
丁二烯	1	5%
石油腦	3	15%
燃料油/循環氣	7	35%
總和	20	100%

針對事故發生時涉及之化學品，其中以燃料油/循環氣 35%，占最大宗；硫化氫 20% 居次，石油腦 15% 居三；其中多數燃料油/循環氣中含高濃度氫氣，故該企業對製程設備或管線中具高濃度氫氣內容物者應特別重視，洩漏時即易造成火災；另對於具硫化氫內容物之設備或管線維修時亦應特別注意，防範洩漏後造成人員中毒意外。

本研究分析結果雖與 MARS 資料庫以汽油類(20%)為主要造成石化事故之化學品稍有差異，也與 CSB 化學產業事故資料庫中氫(26%)所佔比率最高之統計不同，其原因可能為取材之事故案例範疇不同所造成，日後可進一步進行探討與比較。

(3)點火源：針對事故發生時之點火源，統計發生次數，並計算所占百分比，統計表如表 34。

表 34 點火源統計表

點火源	次數	百分比
0 無點火源	4	20%
1 外洩自燃	7	35%
5. 電氣設備	1	5%
6 燃燒塔(含加熱器等)	3	15%
7 磨擦生熱或磨擦火星	4	20%
17 其他(如操作溫度、縱火、交通事故碰撞)	1	5%
總和	20	100%

針對火災爆炸事故發生時之點火源，以外洩自燃 35% 占最大宗；磨擦生熱或磨擦火星占 20% 居次，燃燒塔(含加熱器等)占 15% 居三；檢視外洩自燃之事故情境，以含高濃度氫氣及丁二烯外洩後即易產生自燃之現象。磨擦生熱或磨擦火星之狀況則大多肇因軸封或軸承損壞導致機械磨擦引燃。

5.2 事故導因分析

本研究針對 20 案例，每一案例應用美國化學製程安全中心預設邏輯樹模式及全方

位事故導因表(CLC)剖析各項事故導因，並依其重要性列舉關鍵導因一項及次要導因二項共計 60 項導因，分別依直接原因、間接原因、基本原因，以「發生頻率及主要貢獻度分析表」及「四象限分析法」進行統計分析。

5.2.1 直接原因分析

針對 60 項導因中導致事故發生之直接原因進行統計分析，其發生頻率及主要貢獻度分析表參見表 35。

直接原因中個別導因頻率，即個別導因次數/導因總次數，分別為「1.作業步驟遵循」18.3%，「2. 設備與工具的使用」5.0%，「3. 保護措施執行」13.3%，「4. 缺乏注意力和認知」20.0%，「5. 保護系統」6.7%，「6. 工具與設備」25.0%，「8. 作業場所環境與配置」11.7%，視為四象限分析法中之 X 值，其平均值為 14.3%。

主要貢獻度(SMC)，即關鍵導因次數/個別導因次數，分別為「1.作業步驟遵循」36.4%，「2. 設備與工具的使用」100.0%，「3. 保護措施執行」12.5%，「4. 缺乏注意力和認知」8.3%，「5. 保護系統」25.0%，「6. 工具與設備」46.7%，「8. 作業場所環境與配置」42.9%，視為四象限分析法中之 Y 值，其平均值為 38.8%，四象限分析圖如圖 8。

表 35 直接原因發生頻率及主要貢獻度分析表

	直接原因項目	個別導因次數	個別導因頻率	關鍵導因次數	關鍵導因頻率	主要貢獻度(SMC)
行為面	1 作業步驟遵循	11	18.3%	4	20.0%	36.4%
	1.1 個人未依照程序	3		3		
	1.2 團體未依照程序	1		0		
	1.3 現場作業主管未依照程序	1		0		
	1.4 未經許可操作設備	1		0		
	1.10 不當的省略	2		1		
	2 設備與工具的使用	3	5.0%	3	15.0%	100.0%
行為面	2.1 不適當的使用設備	1		1		
	2.3 使用已經破損的設備	1		1		
	2.7 維修運轉中的設備	1		1		
	3 保護措施執行	8	13.3%	1	5.0%	12.5%
	3.1 缺乏辨識明顯危害的知識	1		0		
	3.2 沒有使用個人防護具	4		0		
	3.6 未使用防護裝置、警告系統或是安全設備	1		0		

狀態面	3.7 移除防護裝置、警告系統或是安全設備	2		1		
	4 缺乏注意力和認知	12	20.0%	1	5.0%	8.3%
	4.1 不適當的決策或是判斷能力不足	7		1		
	4.6 未提出警告	1		0		
	4.8 不加思索的例行性作業	4		0		
	5 保護系統	4	6.7%	1	5.0%	25.0%
	5.1 不適當的防護或防禦設備	1		0		
	5.6 有缺陷的警告系統	2		0		
	5.7 未完全隔離製程或設備	1		1		
	6 工具與設備	15	25.0%	7	35.0%	46.7%
	6.1 失效的設備	14		7		
	6.2 不適當的設備	1		0		
	7 危害暴露	0	0	0	0	0
	8 作業場所環境與配置	7	11.7%	3	15.0%	42.9%
	8.5 不當的工作場所配置	7		3		
	總和	60		20		

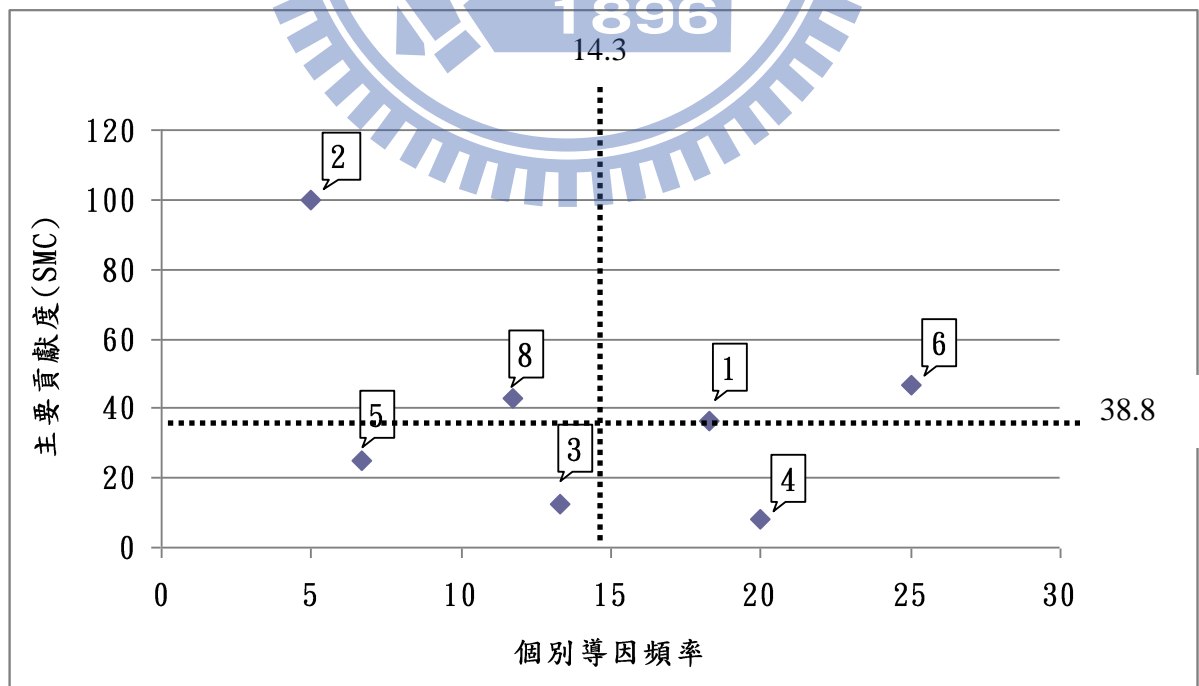


圖 8 直接原因四象限分析圖

行為面包括之 4 個別項目(作業步驟遵循、設備與工具的使用、保護措施執行、缺乏注意力和認知)，其頻率總和為 56.6%，狀態面包括之 4 個別項目(保護系統、工具與設備、危害暴露、作業場所環境與配置)，其頻率總和為 43.4%。人員不安全行為導致之事故頻率略高於不安全環境。

以圖 5.1 直接原因四象限分析圖分析，個別導因頻率大於平均值之項目包括「1. 作業步驟遵循」18.3%，「4. 缺乏注意力和認知」20.0%，「6. 工具與設備」25.0%等 3 項目，其中「6. 工具與設備」是頻率最高之個別導因，檢視表 5.13 直接原因發生頻率及主要貢獻度分析表，分析其情境大都為失效的設備所導致。

個別項目主要貢獻度大於平均值之項目包括「2. 設備與工具的使用」100.0%，「6. 工具與設備」46.7%，「8. 作業場所環境與配置」42.9%等 3 項目。其中「2. 設備與工具的使用」主要貢獻度為 100.0%，檢視表 5.13 直接原因發生頻率及主要貢獻度分析表，3 件事務之導因均屬關鍵導因，其情境分別為使用不適當的設備、已經破損的設備及維修運轉中的設備所導致。

頻率及主要貢獻度二者均大於平均值之項目為位於第一象限之「6. 工具與設備」；另「1. 作業步驟遵循」雖其主要貢獻度略低於平均值，亦約位於第一象限，檢視表 5.13 分析其情境主要為個人未依照程序作業所導致。

綜合而言，行為面之「作業步驟遵循」、「設備與工具的使用」及狀態面之「工具與設備」是本研究統計出主要之直接原因，事業單位應特別針對「失效的設備」、「個人未依照程序」及「使用不適當或破損的設備、維修運轉中的設備」等情境改善及加強現場監督防範措施。

本研究雖因導因分類方式不同，不易與國外資料對照，惟國外分析研究顯示，設備因素之肇事頻率高，如歐盟 MARS 資料庫中設備因素(44%)占多數[8]，Prem 等學者針對美國三主要事故資料庫分析結果亦顯示 57%-63%事故肇因於設備問題[11]，本研究分析結果約略與國外資料相符合，設備耐用性及其使用方式是應特別重視防範之課題。

5.2.2 間接原因分析

針對上述 60 項導因之直接原因往下探討導致事故發生之間接原因，間接原因發生頻率及主要貢獻度分析表參見表 36。

間接原因中個別導因頻率，即個別導因次數/導因總次數，「1. 生理能力」、「2. 身體狀況」及「3. 心智狀況」為 0%，其他項目分別為「4. 心理壓力」5.0%，「5. 行為」16.7%，「6. 熟練程度」1.7%，「7. 訓練與知識養成」3.3%，「8. 管理與監督」10.0%，「9. 訓練與知識養成」3.3%，「10. 工程與設計」25.0%，「11. 工作規劃」10.0%，「12. 採購、原物料管制和控制」1.7%，「13. 工具和設備」10.0%，「14. 作業規定、政策、

標準、步驟」11.7%，「15. 溝通」1.7%，視為四象限分析法中之 X 值，其平均值為 8.3%。

主要貢獻度(SMC)，即關鍵導因次數/個別導因次數，分別為「4. 心理壓力」0.0%，「5. 行為」30.0%，「6. 熟練程度」0.0%，「7. 訓練與知識養成」50.0%，「8. 管理與監督」16.7%，「9. 訓練與知識養成」50.0%，「10. 工程與設計」33.7%，「11. 工作規劃」66.7%，「12. 採購、原物料管制和控制」0.0%，「13. 工具和設備」33.3%，「14. 作業規定、政策、標準、步驟」42.9%，「15. 溝通」0.0%，視為四象限分析法中之 Y 值，其平均值為 40.4%，四象限分析圖如圖 9。

表 36 間接原因發生頻率及主要貢獻度分析表

間接原因項目		個別導 因次數	個別導 因頻率	關鍵導 因次數	關鍵導 因頻率	主要貢獻度 (SMC)
個人因素	1 生理能力	0				
	2 身體狀況	0				
	3 心智狀況	0				
	4 心理壓力	3	5.0%	0	0.0%	0.0%
	4.7 過多的判斷/決策需求	1				
	4.9 例行、單調的作業造成的厭倦	2				
	5 行為	10	16.7%	3	15.0%	30.0%
	5.1 不適當的行為得到獎勵	4		2		
	5.2 不合適的監督範例	1		0		
	5.3 未適當鑑別重要的安全行為	3		1		
作業因素	5.6 生產獎勵不當的運用	1		0		
	5.8 員工有操之過急的感覺	1		0		
	6 熟練程度	1	1.7%	0	0.0%	0.0%
	6.5 欠缺能力訓練審查	1				
	7 訓練與知識養成	2	3.3%	1	5.0%	50.0%
	7.3 訓練不足	2		1		
	8 管理與監督	6	10.0%	1	5.0%	16.7%
	8.2 領導能力不足	1				
	8.4 不適當的辨識作業場所/工作 危害	1				
	8.5 不適當的變更管理系統	4		1		
	9 承攬商的選擇與監督	2	3.3%	1	5.0%	50.0%

	9.1 承攬商缺乏資格審查	1		1		
	9.5 缺乏工作監督	1				
10	工程與設計	15	25.0%	5	25.0%	33.3%
	10.1 不適當的技術設計	5		3		
	10.2 不充分的標準、規格/設計準則	2				
	10.3 不充分的潛在失誤評估	3				
	10.5 不充分的施工管控	2		1		
	10.8 不充分的評估和/或變更文件	3		1		
11	工作規劃	6	10.0%	4	20.0%	66.7%
	11.2 不適當的預知保養	5		3		
	11.3 不適當的修護	1		1		
12	採購、原物料管制和控制	1	1.7%	0	0.0%	0.0%
	12.1 接收不正確物件	1				
13	工具和設備	6	10.0%	2	10.0%	33.3%
	13.1 不充分的需求和風險評估	1		0		
	13.3 不適當的標準或規格	2		1		
	13.5 不適當的調整/修護/維修	3		1		
14	作業規定、政策、標準、步驟	7	11.7%	3	15.0%	42.9%
	14.1 作業缺少 PSP	1		1		
	14.3 因考量不足，無法落實	2		1		
	14.4 PSP 未落實執行	4		1		
15	溝通	1	1.7%	0	0.0%	0.0%
	15.3 不同部門、組織間溝通不足	1		0		
	總和	120		40		

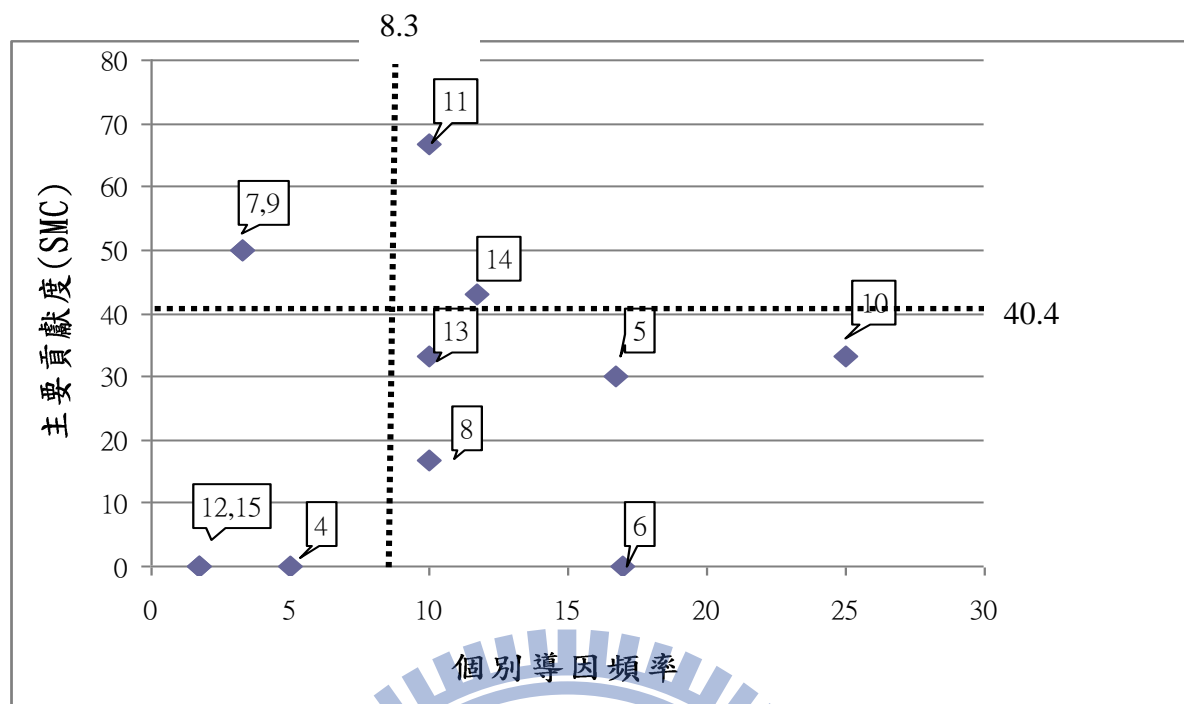


圖 9 間接原因四象限分析圖

間接原因中個人因素包括之 6 個別項目，其頻率總和為 23.4%，作業因素所包括之 9 個別項目，其頻率總和為 76.7%，作業因素導致之事故頻率高於個人因素。

以圖 5.2 間接原因四象限分析圖分析，個別導因頻率大於平均值之項目包括「5. 行為」16.7%，「6. 熟練程度」1.7%，「8. 管理與監督」10.0%，「10. 工程與設計」25.0%，「11. 工作規劃」10.0%，「13. 工具和設備」10.0%，「14. 作業規定、政策、標準、步驟」11.7% 等 7 項目，其中「10. 工程與設計」是頻率最高之個別導因，檢視表 5.14 間接原因發生頻率及主要貢獻度分析表，分析其情境分別為「不適當的技術設計」、「不充分的潛在失誤評估」、「不充分的評估和/或變更文件」、「不充分的標準、規格/設計準則」及「不充分的施工管控」，又以「不適當的技術設計」導因所占頻率較高。

主要貢獻度大於平均值之項目包括「7. 訓練與知識養成」50.0%，「9. 訓練與知識養成」50.0%，「11. 工作規劃」66.7%，「14. 作業規定、政策、標準、步驟」42.9% 等 4 項目；其中「11. 工作規劃」是貢獻度最高之個別導因，檢視表 5.14 間接原因發生頻率及主要貢獻度分析表，4 件關鍵導因中 3 件為「不適當的預知保養」導因所導致。

個別項目均大於二者平均值之項目為位於第一象限之「11. 工作規劃」及「14. 作業規定、政策、標準、步驟」；檢視表 5.14 分析「14. 作業規定、政策、標準、步驟」導因之情境大多為「作業規定、政策、標準、步驟 未落實執行」所造成。

綜合上述，作業因素面向之「工程與設計」、「工作規劃」及「作業規定、政策、標準、步驟」是本研究統計出應特別重視防範之間接原因，事業單位應特別針對作業中

「不適當的技術設計」、「不適當的預知保養」及「作業規定、政策、標準、步驟 未落實執行」等項目加強執行面及管控機制。

歐盟 MARS 資料庫基本原因中，設計(22%)、程序(17%)占「人員及環境」項目前二大項；Kidam 等學者針對化學製程事故案例分析發現[30]，因設備肇事之事故中 78% 導因於設備設計及其人因工程介面有關。本研究「10. 工程與設計」是頻率最高之個別導因，與國外研究具有類似之趨勢。

5.2.3 基本原因分析

針對上述 60 項導因之間接原因往下探討導致事故發生之基本原因，基本原因發生頻率及主要貢獻度分析表參見表 37。

基本原因中個別導因頻率，即個別導因次數/導因總次數，「9. 客戶與產品」、「10. 社區與利害相關者」、「12. 事故分析和預防」及「13. 評估保證和改善」為 0%，其他項目分別為「1. 領導與責任」18.3%，「2. 風險評估和管理」13.3%，「3. 人員訓練和行為」11.7%，「4. 與承攬商和供應商合作關係」1.7%，「5. 設施的設計和建構」18.3%，「6. 操作和維修」15.0%，「7. 變更管理」11.7%，「8. 資訊和文件管理」8.3%，「11. 危機與緊急事件管理」1.7%，視為四象限分析法中之 X 值，其平均值為 11.1%。

主要貢獻度(SMC)，即關鍵導因次數/個別導因次數，分別為「1. 領導與責任」18.2%，「2. 風險評估和管理」12.5%，「3. 人員訓練和行為」14.3%，「4. 與承攬商和供應商合作關係」100%，「5. 設施的設計和建構」54.5%，「6. 操作和維修」66.7%，「7. 變更管理」14.3%，「8. 資訊和文件管理」40.0%，視為四象限分析法中之 Y 值，其平均值為 40%，四象限分析圖如圖 10。

表 37 基本原因發生頻率及主要貢獻度分析表

	基本原因項目	個別導因 次數	個別導因 頻率	關鍵導因 次數	關鍵導因 頻率	主要貢獻度 (SMC)
1	領導與責任	11	18.3%	2	10.0%	18.2%
2	風險評估和管理	8	13.3%	1	5.0%	12.5%
3	人員訓練和行為	7	11.7%	1	5.0%	14.3%
4	與承攬商和供應商合作關係	1	1.7%	1	5.0%	100.0%
5	設施的設計和建構	11	18.3%	6	30.0%	54.5%
6	操作和維修	9	15.0%	6	30.0%	66.7%
7	變更管理	7	11.7%	1	5.0%	14.3%

8	資訊和文件管理	5	8.3%	2	10.0%	40.0%
9	客戶與產品	0	0.0%	0	0.0%	0.0%
10	社區與利害相關者	0	0.0%	0	0.0%	0.0%
11	危機與緊急事件管理	1	1.7%	0	0.0%	0.0%
12	事故分析和預防	0	0.0%	0	0.0%	0.0%
13	評估保證和改善	0	0.0%	0	0.0%	0.0%
	總和	60		20		

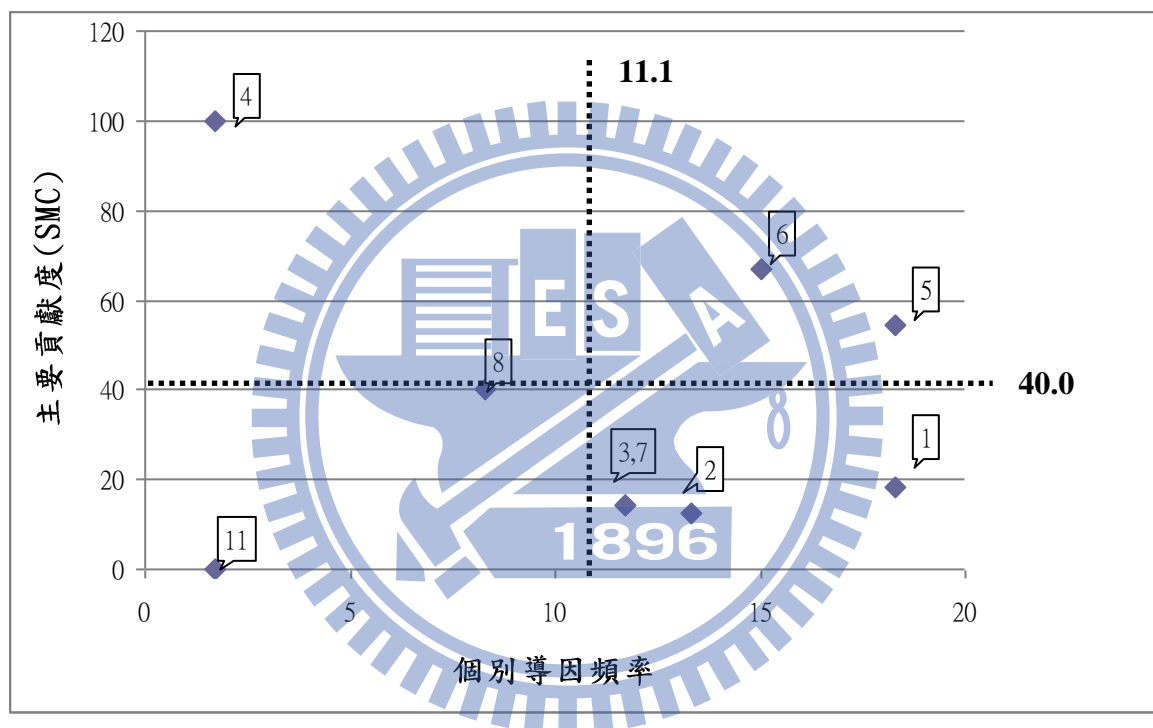


圖 10 基本原因四象限分析圖

以圖 5.3 基本原因四象限分析圖分析，個別導因頻率大於平均值之項目包括「1. 領導與責任」18.3%，「2. 風險評估和管理」13.3%，「3. 人員訓練和行為」11.7%，「5. 設施的設計和建構」18.3%，「6. 操作和維修」15.0%，「7. 變更管理」11.7%等 6 項目，其中「1. 領導與責任」及「5. 設施的設計和建構」是頻率最高之導因。分析「1. 領導與責任」導因之綜合情境為主管或作業人員未重視安全及工作紀律，另「5. 設施的設計和建構」綜合情境為設備設計、建構之規範或施工符合度未完善所導致。

主要貢獻度大於等於平均值之個別項目包括「4. 與承攬商和供應商合作關係」100%，「5. 設施的設計和建構」54.5%，「6. 操作和維修」66.7%，「8. 資訊和文件管理」40.0%等 4 項目；其中「4. 與承攬商和供應商合作關係」貢獻度雖最高，惟僅有 1 件，代表性較薄弱；另「5. 設施的設計和建構」及「6. 操作和維修」居主要貢獻度第

二及第三位，且關鍵導因各 6 件，值得重視。其中「6. 操作和維修」導因之綜合情境為設備保養、檢查制度或檢點符合度未完善所導致。

個別項目均大於二者平均值之項目為位於第一象限之「5. 設施的設計和建構」及「6. 操作和維修」。

綜合上述，「設施的設計和建構」及「操作和維修」是本研究統計出最應重視之基本原因。另「領導與責任」亦應重視。事業單位應針對上述基本原因深入探討現有管理措施缺失並採取預防作為。

歐盟 MARS 資料庫中「採取改善措施」項目，以設計改善(39%)、發展新作業流程(22%)、加強檢查(21%)為最主要之改善項目，本研究結果約略相同，其中「設施的設計和建構」是共同的重要改善項目。



第六章 結論與建議

現今國內煉油石化產業尚未針對製程安全事故建立事故資料庫，製程事故往往依一般職業災害事故之分類進行分析及建檔，未能針對製程特性加以剖析探討，喪失經驗學習及傳承之契機。本研究架構符合煉油石化產業需求之製程安全事故資料庫分類及編碼，期望藉以強化現有企業事故資料庫之完整性及有效性，並依此分類重新審視國內 A 煉油石化公司近 12 年 20 件製程安全事故案例，探討事故特性及優先應重視之導因，提供煉油石化業者強化安全及研擬防範對策之參考。

6.1 結論

本研究參考國內外現有之石化及化學等製程事故資料庫，架構製程安全事故資料庫應具有之分類項目特性及導因類別，並依此項目統計分析，探討製程安全事故之特性及事故導因。重要研究結論如下：

1. 本研究架構之製程安全事故資料庫除一般事故資料庫具備之事故簡述、事故發生時間、事故單位等項目外，依製程中可能發生之事故情境，作為事故類型、後果影響、作業狀態、媒介物及事故導因等項目之分類及編碼依據。資料庫共計 8 大類 28 欄位，提供事故調查人員填寫，期望能提昇製程安全事故資料庫之完整性及有效性，使其更具有參考性及實用價值。
2. 針對國內 A 煉油石化公司近 12 年 20 件製程安全事故統計分析結果，發現事故最常在正常操作狀態下，但在人員心態較易產生浮動之午休、換班/下班期間發生；並應特別重視油料輸送過程中，由於管路系統或泵浦/壓縮機損壞或未正常操作下，導致高濃度氫氣之燃料油/循環氣等內容物外洩，造成自燃火災之可能事故情境。事業單位可參考作為事故預防之方向。
3. 本研究針對 20 件製程安全事故之直接原因區分為行為面及狀態面二面向 8 項目進行分析，其重要結論如下：
 - (1) 人員不安全行為導致之事故頻率略高於不安全環境。
 - (2) 「工具與設備」導因發生事故頻率最高，「設備與工具的使用」導因主要貢獻度最高。頻率及主要貢獻度二者均大於平均值之項目為「工具與設備」；惟「作業步驟遵循」導因亦應值得重視。
 - (3) 綜合上述，行為面之「作業步驟遵循」、「設備與工具的使用」及狀態面之「工具與設備」是本研究統計出應特別重視防範之直接原因，事業單位應特別針對「失效的設備」、「個人未依照程序」及「使用不適當或破損的設備、維修運轉中的設備」等情境改善及加強現場監督防範措施。

4. 針對直接原因往下探討其間接原因，本研究將間接原因區分為個人因素及作業因素二面向 15 項目進行分析，其重要結論如下：
- (1) 作業因素導致之事故頻率高於個人因素。
 - (2) 「工程與設計」導因發生事故頻率最高；「工作規劃」導因主要貢獻度最高。頻率及主要貢獻度二者均大於平均值之導因為「工作規劃」及「作業規定、政策、標準、步驟」。
 - (3) 綜合上述，作業因素面向之「工程與設計」、「工作規劃」及「作業規定、政策、標準、步驟」是本研究統計出應特別重視防範之間接原因，事業單位應特別針對作業中「不適當的技術設計」、「不適當的預知保養」及「作業規定、政策、標準、步驟 未落實執行」等項目改善並加強執行面及管控機制。
5. 針對間接原因再往下深入探討潛在之基本原因，其重要結論如下：
- (1) 「領導與責任」及「設施的設計和建構」導因發生事故頻率最高；「設施的設計和建構」及「操作和維修」為值得重視的關鍵導因。頻率及主要貢獻度二者均大於平均值之導因為「設施的設計和建構」及「操作和維修」。
 - (2) 綜合上述，「設施的設計和建構」及「操作和維修」是本研究統計出最應重視之基本原因。另「領導與責任」亦應重視。事業單位應針對上述基本原因深入探討現有管理措施缺失並採取預防作為。
6. 歸納上述事故導因發現，設備因素為本研究結果顯示應優先重視之導因項目，包括現場人員未落實設備操作、檢查及維修等直接執行層面，操作期間設備不適當之預知保養等間接管理層面，及不適當之設備技術設計和建構等基本源頭管控層面等，具有顯著之事故發生頻率及重要性，值得煉油石化產業借鏡及作為防範對策之參考。

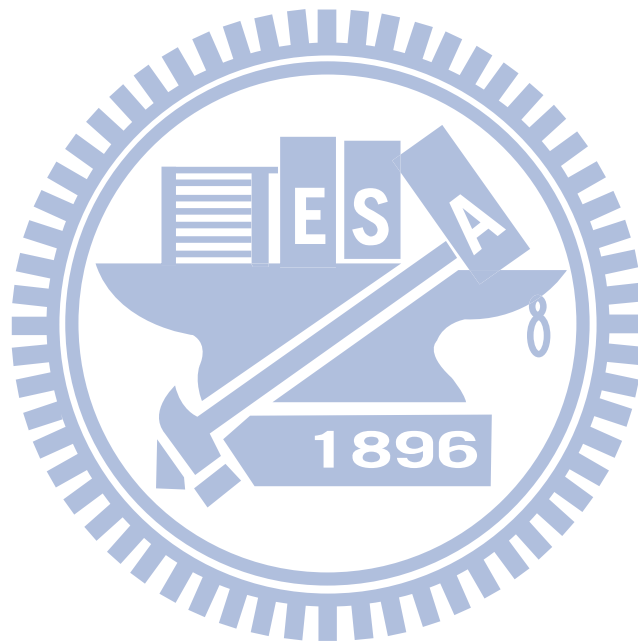
6.2 討論與建議

1. 本研究因研究對象、取材範圍及分類方式與國外資料庫不盡相同，不易相互比較，惟初步結果顯示，管路系統及加壓設備是最易發生事故之設備，與 Kidam 等學者發現管路系統具高事故頻率相類似。此外本研究成果與歐盟 MARS 石化事故資料庫比對，事故特性之結果雖不盡相同，惟二者具有相同事故導因趨勢，如 MARS 資料庫中以「設備因素」為事故主要直接原因，「設計」與「程序」是人員及環境面向最應重視之原因，「設計改善」為最主要之管理面改善措施，和本研究結果約略相同。待日後蒐集更多數據後，可進一步進行確認與比較。

2. 依事故導因頻率多寡作為致災程度重要性之指標，是目前最普遍之統計方法。一般而言事故往往由多項導因造成，在眾多之導因中有些導因對啟動或引發事故具有關鍵性，以事故預防角度而言具有較高之危害性；故在分析事故導因時應同時考量導因發生頻率及其重要性，較具有完整性及客觀性。本研究依據個案中各導因之發生頻率及其主要貢獻度，利用四象限分析法粗略區分，以頻率及其主要貢獻度均超過平均值亦即分佈於第一象限之導因，作為事業單位優先應重視及防範對策之參考。
3. 本研究結論顯示，人員不安全行為導致之事故頻率略高於不安全環境，然又發現作業因素導致之事故頻率高於個人因素。在國內部份事業單位仍強調事故懲處之際，應先確實檢討事業體內之制度面、設備面及管理面是否完善，避免人員因組織原因導致之執行偏差，而非一味責備員工不安全的行為。
4. 煉油及石化產業為高風險性事業單位，具有發生頻率低但後果嚴重之事故特性，製程安全事故之統計分析將更形重要。然目前國內主管機關或事業單位尚未針對製程特性建立製程安全事故資料庫，故不易從現有資料庫中歸納為出有用之資料提供作為安全回饋資訊。建議事業單位可參酌本研究架構資料庫之分類屬性及其導因類型加以應用，乃至由主管機關主導建立一套製程安全事故資料庫，提供給國內各煉油及石化產業使用，以彙整國內製程安全事故之特性及事故導因等關鍵資訊，累積失敗學習經驗，提供給同業間寶貴之經驗傳承及分享機會。
5. 對煉油石化產業而言，製程操作本質即具有高風險性，然事業單位往往因一般職業災害事故發生之頻率較高，相形之下較忽略製程安全之高危害性。以安全防範角度而言，此二者在一般安全管理理念上雖相通，如都需要主管展現安全領導、全員參與，以及職業安全衛生管理系統中所述及之風險管理、操作程序、教育訓練、緊急應變、稽核、事故調查及管理審查等項目；但對製程安全而言，更應重視製程特殊面向之安全管理與執行，如從工廠設計階段開始針對製程危害分析，考量設備管線配置，製程安全資訊如 P&ID 圖檔之建立保管，製程開俾前安全檢查，機械設備從採購、保養、檢查維修等建置完整性機制，製程、設施、操作變更時之管理措施等。此外，本研究提出之關鍵導因固然值得重視，其他導因雖然未具有相對顯著性，亦應全盤考量作為事業單位健全安全體質參考。
6. 目前國內主管機關雖然於職業安全衛生法及勞動檢查法中規範事業單位應具備事故調查處理機制，發生事故時應實施調查、分析及作成紀錄等，但未明訂調查方法及分析項目，致使事故單位往往因欠缺調查專業、製程經驗不足或擔心懲處等心態而疏於對真因之探討。本研究採用美國化學製程安全中心預設邏輯樹模式，架構整體事故情境及剖析事故導因，過程中藉由全方位事故導因表(CLC)所詳列之事故原因分析選單，協助辨認其直接原因、間接原因及基本原因，以深入探討至管

理系統面之缺失。依循此模式，事故調查分析人員較容易按圖索驥，確認所有可能之事故導因已完整考量，彌補專業不足造成之遺漏。建議事業單位乃至主管機關可參考應用，或訂定更明確之事故調查指引，提供給國內煉油石化業界使用。

7. 本研究係參考國內某煉油石化公司近 12 年之事故調查報告進行回溯性分析，未對其他同業事故探討，因此在證據收集及分析的可靠度有所限制，但卻是國內煉油石化產業建立製程安全事故資料庫及事故導因分析的起步，期盼更多的同業參與，在工安沒有秘密，以人為本前題下，共同探討與分享，共創安全之工作環境。



參考文獻

1. OSHA website: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9760.
2. Kidam, K., et al. Statistical Analysis of Contributors to Chemical Process Accidents, Chem. Eng. Technol., 2013, 36, No.1, 167-176.
3. Lindberg, A. K., et al., Learning from accidents – What more do we need to know? Saf. Sci., 2010, 48(6), 714-721.
4. 行政院勞動部職業安全衛生署，職業安全衛生法，<http://www.osha.gov.tw/>，102年7月。
5. Doval, E., & Kovacs, S., Safety feedback- the real thing. Hazards XXI, 2009, 155, 708-714.
6. Bird, D. E., et al., Practical loss control leadership, International Loss Control Institute, Inc. 1992.
7. He, G., et al., Managing Major chemical accidents in China: Towards effective risk information, Journal of Hazardous Materials, 2011, 187,171-181.
8. Nivolianitou, Z., et al., Statistical analysis of major accidents in petrochemical industry notified to the major accident reporting system (MARS), Journal of Hazardous Materials, 2006, A137, 1-7.
9. Gomez, M. R., et al., The CSB incident screening database: description, summary statistics and uses, Journal of Hazardous Materials, 2008, 159, 119-129.
10. Sepeda, A. L., Lessons learned from process incident databases and the process safety incident database (PSID) approach sponsored by the center for chemical process safety. Journal of Hazardous Materials, 2006,130, 9-14.
11. Prem, K. P., et al., Harnessing database resources for understanding the profile of chemical process industry incidents. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2010, 23(4), 549-560.
12. 中臺科技大學網站://<http://accident.ctust.edu.tw/>。
13. 曹常成，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所 99 年度研究計劃 IOSH 99-S316。(確認)。
14. 林楨中、余家均，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所 98 年度研究計劃 IOSH 97-S315。

15. API Guide to Report Process Safety Incidents, DECEMBER 2007 (Report Year 2008) Version 1.1.
16. DOE O 225.1B, Approved: 3-4-2011: Accident Investigations, 2011.
17. Storbakken R., An Incident Investigation Procedure for Use In Industry, University of Wisconsin-Stout Menomonie, USA, 2002.
18. Snorre S, Methods for accident investigation, Norwegian University of Science and Technology, Norwegian, 2002.
19. Center for Chemical Process Safety, 2nd Edition, Guidelines for Investigation Chemical Process Incidents, American Institute of Chemical Engineers, USA, 2003.
20. AIChE website: <http://www.aiche.org/sites/default/files/docs/book-pages/PSID-Overview.pdf>.
21. MARS website: [http://mahbsrv.jrc.it/activities-What is Mars.html](http://mahbsrv.jrc.it/activities-What%20is%20Mars.html).
22. Nivolianitou, Z., et al., Development of a database for accidents and incidents in the Greek petrochemical industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2006, 19, 630-638.
23. 郭雨青、于樹偉，意外事故調查方法研究，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，民國 98 年。
24. 事故調查專業人員訓練手冊，國立中央大學環境工程研究所 (<http://www.sh168.org.tw/toshms/Data/事故調查訓練手冊.pdf>)。
25. Guidelines for Investigating Chemical Process Incidents (Second Edition), 9. Determining Root Causes—Structured Approaches, 2003, 179-248.
26. Dien, Y., et al., Accident investigation: From searching direct causes to finding in-depth causes-Problem of analysis or/and of analyst? Safety Science, 2012, 50, 1398-1407.
27. BP (formerly BP Amoco). Incident Investigation. Root Cause Analysis Training Comprehensive List of Causes, London, 1999.
28. OGP Health and Safety incident reporting system user's guide, 2010. data, <http://www.ogp.org.uk/pubs/444.pdf>.
29. Ji, C., Zhang, H., Accident Investigation and Root Cause Analysis Method, International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, June 2012, pp.297-302.
30. Kidam, K., Hurme, M., Analysis of equipment failures as contributors to chemical process accidents, Process Safety and Environmental Protection, 01/2013; 91(s 1-2):61-78. DOI:10.1016/j.psep.2012.02.001.

附錄一 全方位事故導因表(CLC)

I.直接原因

行為面

1.作業步驟遵循

- 1.1 個人未依照程序(Violation by individual)
- 1.2 團體未依照程序(Violation by group)
- 1.3 現場作業主管未依照程序(Violation by supervisor)
- 1.4 未經許可操作設備(Operation of equipment without authority)
- 1.5 不適當的作業位置或姿勢(Improper position or posture for the task)
- 1.6 費力的作業(Overexertion of physical capability)
- 1.7 工作未按合適的速度移動(Work or motion at improper speed)
- 1.8 不適當的搬運(Improper lifting)
- 1.9 不適當的承載(Improper loading)
- 1.10 不當的省略(Shortcuts)
- 1.11 其他(Other)

2.設備與工具的使用

- 2.1 不適當的使用設備(Improper use of equipment)
- 2.2 不適當的使用工具(Improper use of tools)
- 2.3 使用已經破損的設備(Use of defective equipment (aware))
- 2.4 使用已經破損的工具(Use of defective tools (aware))
- 2.5 不適當的放置工具、設備或是物料(Improper placement of tools, equipment or materials)
- 2.6 在不適當的速度下操作設備(Operation of equipment at improper speed)
- 2.7 維修運轉中的設備(Servicing of equipment in operation)
- 2.8 其他(Other)

3.保護措施執行(Use of Protective Methods)

- 3.1 缺乏辨識明顯危害的知識(Lack of knowledge of hazards present)
- 3.2 沒有使用個人防護具(Personal protective equipment not used)
- 3.3 個人防護具使用不當(Improper use of proper personal protective equipment)

- 3.4 維修帶電設備(Servicing of energized equipment)
- 3.5 未安全固定的設備或物料(Equipment or materials not secured)
- 3.6 未使用防護裝置、警告系統或是安全設備(Disabled guards, warning systems or safety devices)
- 3.7 移除防護裝置、警告系統或是安全設備(Removal of guards, warning systems or safety devices)
- 3.8 未提供個人防護具(Personal protective equipment not available)
- 3.9 其他(Other)
- 4.缺乏注意力和認知
 - 4.1 不適當的決策或是判斷能力不足(Improper decision making or lack of judgment)
 - 4.2 因其他事物分心(Distracted by other concerns)
 - 4.3 沒有注意站立地點和週遭的環境(Inattention to footing and surroundings)
 - 4.4 嘻笑玩鬧(Horseplay)
 - 4.5 暴力行為(Acts of violence)
 - 4.6 未提出警告(Failure to warn)
 - 4.7 受酒精或藥物的影響(Use of drugs or alcohol)
 - 4.8 不加思索的例行性作業(Routine activity without thought)
 - 4.9 其他(Other)

狀態面

5.保護系統

- 5.1 不適當的防護或防禦設備(Inadequate guards or protective devices)
- 5.2 有缺陷的防護或防禦設備(Defective guards or protective devices)
- 5.3 不充分的個人防護設備(Inadequate personal protective equipment)
- 5.4 有缺陷的個人防護設備(Defective personal protective equipment)
- 5.5 不充分的警告系統(Inadequate warning systems)
- 5.6 有缺陷的警告系統(Defective warning systems)
- 5.7 未完全隔離製程或設備(Inadequate isolation of process or equipment)
- 5.8 不適當的安全設備(Inadequate safety devices)
- 5.9 有缺陷的安全設備(Defective safety devices)
- 5.10 其他(Other)

6.工具與設備

- 6.1 失效的設備(Defective equipment)

- 6.2 不適當的設備(Inadequate equipment)
- 6.3 未充分準備的設備(Improperly prepared equipment)
- 6.4 失效的工具(Defective tools)
- 6.5 不適當的工具(Inadequate tools)
- 6.6 未充分準備的工具(Improperly prepared tools)
- 6.7 有缺陷的交通工具(Defective vehicle)
- 6.8 不符合目的的交通工具(Inadequate vehicle for the purpose)
- 6.9 未充分準備的交通工具(Improperly prepared vehicle)
- 6.10 其他(Other)
- 7.危害暴露
 - 7.1 火災或爆炸(Fire or explosion)
 - 7.2 噪音(Noise)
 - 7.3 電力系統(Energized electrical systems)
 - 7.4 其他動力系統(Energized systems, other than electrical)
 - 7.5 輻射(Radiation)
 - 7.6 極端溫度(Temperature extremes)
 - 7.7 危害的化學物品(Hazardous chemicals)
 - 7.8 機械性危害(Mechanical hazards)
 - 7.9 凌亂或是殘骸(Clutter or debris)
 - 7.10 自然環境或是暴風雨(Storms or acts of nature)
 - 7.11 濕滑的地面或是走道(Slippery floors or walkways)
 - 7.12 其他(Other)
- 8.作業場所環境與配置
 - 8.1 工作環境擁擠或行動受限(Congestion or restricted motion)
 - 8.2 不足或過度照明(Inadequate or excessive illumination)
 - 8.3 通風不良(Inadequate ventilation)
 - 8.4 高處作業無保護措施(Unprotected height)
 - 8.5 不當的工作場所配置(Inadequate work place layout)
 - 8.5.1 控制不當(Controls less than adequate)
 - 8.5.2 表示不當(Displays less than adequate)
 - 8.5.3 註記不當(Labels less than adequate)
 - 8.5.4 無法搆到或看到的地點(Locations out of reach or sight)
 - 8.5.5 呈現的資訊相互矛盾(Conflicting information is presented)

8.6 其他(other)

II.間接原因

個人因素

1.生理能力

- 1.1 視力缺陷(Vision deficiency)
- 1.2 聽力缺陷(Hearing deficiency)
- 1.3 其他感官缺陷(Other sensory deficiency)
- 1.4 呼吸能力缺陷(Reduced respiratory capacity)
- 1.5 其他永久性的身體殘疾(Other permanent physical disabilities)
- 1.6 暫時失能(Temporary disabilities)
- 1.7 保持身體位置的能力有限(Inability to sustain body positions)
- 1.8 身體移動範圍受限(Restricted range of body movement)
- 1.9 身體對某些物質或過敏原過敏(Substance sensitivities or allergies)
- 1.10 身體條件不足，身材或臂長不足(Inadequate size or strength)
- 1.11 因藥物影響能力縮減(Diminished capacity due to medication)
- 1.12 其他(Other)

2.身體狀態

- 2.1 執行先前的傷害或疾病(Previous injury or illness)
- 2.2 疲勞(Fatigue)
 - 2.2.1 工作負荷過大(Due to workload)
 - 2.2.2 缺乏休息(Due to lack of rest)
 - 2.2.3 感官負荷過大(Due to sensory overload)
- 2.3 執行能力衰退(Diminished performance)
 - 2.3.1 由於極端溫度(Due to temperature extremes)
 - 2.3.2 由於缺氧(Due to oxygen deficiency)
 - 2.3.3 由於大氣壓力變化(Due to atmospheric pressure variation)
- 2.4 血糖不足(Blood sugar insufficiency)
- 2.5 由於藥物或酒精造成的損害(Impairment due to drug or alcohol use)
- 2.6 其他(Other)

3.心智狀態

- 3.1 判斷力不佳(Poor judgment)
- 3.2 記憶力不佳(Memory failure)
- 3.3 協調能力差或反應慢(Poor coordination or reaction time)
- 3.4 情緒不定(Emotional disturbance)
- 3.5 害怕或恐懼(Fears or phobias)
- 3.6 機械能力傾向較差(Low mechanical aptitude)
- 3.7 學習能力傾向較差(Low learning aptitude)
- 3.8 藥物影響(Influenced by medication)
- 3.9 其他(Other)
- 4.心理壓力
 - 4.1 專注於其他問題(Preoccupation with problems)
 - 4.2 挫折(Frustration)
 - 4.3 混淆的指示/需求(Confusing directions / demands)
 - 4.4 相互衝突的要求/指示(Conflicting directions / demands)
 - 4.5 無意義或降低士氣的活動(Meaningless or degrading activities)
 - 4.6 情緒壓力過大(Emotional overload)
 - 4.7 過多的判斷/決策需求(Extreme judgment / decision demands)
 - 4.8 過度集中注意力/洞察力需求(Extreme concentration / perception demands)
 - 4.9 例行、單調的作業造成的厭倦(Extreme boredom)
 - 4.10 其他(Other)
- 5.行為
 - 5.1 不適當的行為得到獎勵(Improper performance is rewarded)
 - 5.1.1 節省時間或力氣(Saves time or effort)
 - 5.1.2 避免不舒服的狀態(Avoids discomfort)
 - 5.1.3 故意引起注意(Gains attention)
 - 5.2 不合適的監督範例(Improper supervisory example)
 - 5.3 未適當鑑別重要的安全行為(Inadequate identification of critical safe behaviors)
 - 5.4 不當的強調重要的安全行為(Inadequate reinforcement of critical safe behaviors)
 - 5.4.1 適當的表現遭受批評(Proper performance is criticized)
 - 5.4.2 不當的同儕壓力(Inappropriate peer pressure)
 - 5.4.3 不當的績效回饋(Inadequate performance feedback)
 - 5.4.4 不當的紀律(inadequate disciplinary process)
 - 5.5 過份的積極(Inappropriate aggression)

- 5.6 生產獎勵不當的運用(Improper use of production incentives)
- 5.7 現場作業主管暗示有操之過急的印象(Supervisor implied haste)
- 5.8 員工有操之過急的感覺(Employee perceived haste)
- 5.9 其他(Other)
- 6. 熟練程度
 - 6.1 不充分的能力需求評估(Inadequate assessment of required skills)
 - 6.2 練習不足(Inadequate practice of skill)
 - 6.3 缺乏實際作業(Infrequent performance of skill)
 - 6.4 缺乏能力教導(Lack of coaching on skill)
 - 6.5 欠缺能力訓練審查(Insufficient review of instruction to establish skill)
 - 6.6 其他(Other)

作業因素

- 7. 訓練與知識養成
 - 7.1 不充分的知識傳承(Inadequate knowledge transfer)
 - 7.1.1 欠缺理解能力(Inability to comprehend)
 - 7.1.2 指導者的資格不足(Inadequate instructor qualifications)
 - 7.1.3 不足的訓練設備(Inadequate training equipment)
 - 7.1.4 誤解指示(Misunderstood instructions)
 - 7.2 訓練教材未定期回收(Inadequate recall of training material)
 - 7.2.1 訓練和作業脫節(Training not reinforced on the job)
 - 7.2.2 再訓次數、頻率不足(Inadequate refresher training frequency)
 - 7.3 訓練不足(Inadequate training effort)
 - 7.3.1 訓練計畫設計不夠充分(Inadequate training program design)
 - 7.3.2 訓練目標/目的不夠充分(Inadequate training goals / objectives)
 - 7.3.3 新進員工訓練不足(Inadequate new employee orientation)
 - 7.3.4 初步訓練不夠充分(Inadequate initial training)
 - 7.3.5 決定員工是否有資格勝任工作的方法不夠充足(Inadequate means to determine if qualified for job)
 - 7.4 未提供訓練(No training provided)
 - 7.4.1 未確認訓練需求(Need for training not identified)
 - 7.4.2 訓練的記錄不正確或是過時的(Training records incorrect or out of date)
 - 7.4.3 欠缺新作業方法的訓練(New work methods introduced without training)

7.4.4 決定不提供訓練(Decision made not to train)

7.5 其他(Other)

8.管理與監督

8.1 相互矛盾的角色/責任(Conflicting roles / responsibilities)

8.1.1 不清楚的呈報關係(Unclear reporting relationships)

8.1.2 相互衝突的呈報關係(Conflicting reporting relationship)

8.1.3 不清楚的責任分配(Unclear assignment of responsibility)

8.1.4 相互衝突的責任分配(Conflicting assignment of responsibility)

8.1.5 不合適或不充分的授權(Improper or insufficient delegation of authority)

8.2 領導能力不足(Inadequate leadership)

8.2.1 欠缺績效標準或是未強制執行(Standards of performance missing or not enforced)

8.2.2 不適當的課予責任(Inadequate accountability)

8.2.3 不充分或不適當的績效回饋(Inadequate or incorrect performance feedback)

8.2.4 不合適的現場巡視(Inadequate work site walk-through)

8.2.5 不當的安全推廣(Inadequate safety promotion)

8.3 不適當的危害和事件矯正(Inadequate correction of prior hazard /incident)

8.4 不適當的辨識作業場所/工作危害(Inadequate identification of worksite/ job hazards)

8.5 不適當的變更管理系統(Inadequate management of change system)

8.6 不適當的事件通報/調查系統(Inadequate incident reporting /investigation system)

8.7 不充分或缺乏安全會議(Inadequate or lack of safety meetings)

8.8 不充分的績效量測和評估(Inadequate performance measurement & assessment)

8.9 其他(Other)

9.承攬商的選擇與監督

9.1 承攬商缺乏資格審查(Lack of contractor pre-qualifications)

9.2 未明確設定承攬商資格(Inadequate contractor prequalifications)

9.3 不適當的承攬商選擇(Inadequate contractor selection)

9.4 使用不被認可的承攬商(Use of non -approved contractor)

9.5 缺乏工作監督(Lack of job oversight)

9.6 不充分的監督(Inadequate oversight)

9.7 其他(Other)

10.工程與設計

- 10.1 不適當的技術設計(Inadequate technical design)
 - 10.1.1 過時、老舊的設計依據(Design input obsolete)
 - 10.1.2 不正確的設計依據(Design input not correct)
 - 10.1.3 欠缺設計依據(Design input not available)
 - 10.1.4 不夠周全的設計依據(Design output inadequate)
 - 10.1.5 不可行的設計依據(Design input infeasible)
 - 10.1.6 定義不清的設計依據(Design output unclear)
 - 10.1.7 設計結果不正確(Design output not correct)
 - 10.1.8 設計結果前後矛盾、不一致(Design output inconsistent)
 - 10.1.9 欠缺獨立的設計審查(No independent design review)
- 10.2 不充分的標準、規格/設計準則(Inadequate standards, specifications, and / or design criteria)
- 10.3 不充分的潛在失誤評估(Inadequate assessment of potential failure)
- 10.4 不充分的人因工程設計(Inadequate ergonomic design)
- 10.5 不充分的施工管控(Inadequate monitoring of construction)
- 10.6 不充分的操作準備程度評估(Inadequate assessment of operational readiness)
- 10.7 不充分的初步運轉監督(Inadequate monitoring of initial operation)
- 10.8 不充分的評估和/或變更文件(Inadequate evaluation and / or documentation of change)
- 10.9 其他(Other)
- 11.工作規劃
 - 11.1 不適當的工作規劃(Inadequate work planning)
 - 11.2 不適當的預知保養(Inadequate preventive maintenance)
 - 11.2.1 需求評估(Assessment of needs)
 - 11.2.2 潤滑/維修(Lubrication / servicing)
 - 11.2.3 校正/組裝(Adjustment / assembly)
 - 11.2.4 清洗/表面處理(Cleaning / resurfacing)
 - 11.3 不適當的修護(Inadequate repair)
 - 11.3.1 修復需求溝通(Communication of needed repair)
 - 11.3.2 工作排程(Scheduling of work)
 - 11.3.3 零件檢查(Examination of parts)
 - 11.3.4 零件更換(Parts substitution)
 - 11.4 過度的磨損(Excessive wear and tear)

- 11.4.1 不適當的使用計畫(Inadequate planning for use)
- 11.4.2 使用壽命過長(Extension of service life)
- 11.4.3 不適當負荷(Improper loading)
- 11.4.4 未經訓練的人員使用(Use by untrained people)
- 11.4.5 使用目的錯誤(Use for wrong purpose)
- 11.5 參考資料或文獻不足(Inadequate reference materials or publications)
- 11.6 不充分的審查/檢查/監督(Inadequate audit / inspection / monitoring)
 - 11.6.1 缺乏文件(No documentation)
 - 11.6.2 沒有指派矯正責任(No correction responsibility assigned)
 - 11.6.3 沒有指派矯正作業最終責任(No accountability for corrective action)
- 11.7 不充分的工作安置(Inadequate job placement)
 - 11.7.1 未確認適當人選(Appropriate personnel not identified)
 - 11.7.2 缺乏適當人選(Appropriate personnel not available)
 - 11.7.3 沒有提供適當人員(Appropriate personnel not provided)
- 11.8 其他(Other)
- 12.採購、原物料管制和控制
 - 12.1 接收不正確物件(Incorrect item received)
 - 12.1.1 提供供應商的規格不夠充分(Inadequate specifications to vendor)
 - 12.1.2 請購所述規格不夠充分(Inadequate specifications on requisition)
 - 12.1.3 不充分的採購變更管控(Inadequate control on changes to orders)
 - 12.1.4 未經核可的更換(Unauthorized substitution)
 - 12.1.5 不充分的驗收規格(Inadequate product acceptance requirements)
 - 12.1.6 沒有驗收程序(No acceptance verification performed)
 - 12.2 不充分的物質/設備調查(Inadequate research on materials /equipment)
 - 12.3 不充分的運送方式或路線(Inadequate mode or route of shipment)
 - 12.4 不合適的原料搬運(Improper handling of materials)
 - 12.5 不合適的儲存原料或備用零件(Improper storage of materials or spare parts)
 - 12.6 不適當的原料包裝(Inadequate material packaging)
 - 12.7 超過物質保存期限 (Material shelf life exceeded)
 - 12.8 未正確辨識危害物質(Improper identification of hazardous materials)
 - 12.9 廢棄物回收和/或處理不當(Improper salvage and / or waste disposal)
 - 12.10 不正確的使用安全與健康數據(Inadequate use of safety and health data)

- 12.11 其他(Other)
- 13.工作和設備
 - 13.1 不充分的需求和風險評估(Inadequate assessment of needs and risks)
 - 13.2 不充分的人為因子/人因工程考量(Inadequate human factors /ergonomics considerations)
 - 13.3 不適當的標準或規格(Inadequate standards or specifications)
 - 13.4 未能充分提供(Inadequate availability)
 - 13.5 不適當的調整/修護/維修(Inadequate adjustment/ repair /maintenance)
 - 13.6 不適當的回收和再利用(Inadequate salvage and reclamation)
 - 13.7 替代/更換不適合的物件(Inadequate removal /replacement of unsuitable items)
 - 13.8 沒有設備使用紀錄(No equipment record history)
 - 13.9 不完整的設備使用紀錄(Inadequate equipment record history)
 - 13.10 其他(Other)
- 14.作業規定、政策、標準、步驟
 - 14.1 作業缺少 PSP(Lack of PSP for the task)
 - 14.1.1 未明定 PSP 負責人員(Lack of defined responsibility for PSP)
 - 14.1.2 缺少作業安全分析(Lack of job safety analysis)
 - 14.1.3 不足夠的作業安全分析(Inadequate job safety analysis)
 - 14.2 發展不適當(Inadequate development of PSP)
 - 14.2.1 程序/設備設計之間的協調不當(Inadequate coordination with process / equipment design)
 - 14.2.2 員工參與不足(Inadequate employee involvement in the Development)
 - 14.2.3 矯正措施定義不清(Inadequate definition of corrective actions)
 - 14.2.4 制定的格式不易使用(Inadequate format for easy use)
 - 14.3 因考量不足，無法落實(Inadequate implementation of PSP, due to deficiencies)
 - 14.3.1 不同規定之間的矛盾(Contradictory requirements)
 - 14.3.2 令人困惑的格式(Confusing format)
 - 14.3.3 要求一項以上動作的步驟(More than one action per step)
 - 14.3.4 沒有確認的欄位(No check- off spaces provided)
 - 14.3.5 不正確的作業順序(Inaccurate sequence of steps)
 - 14.3.6 令人困惑的指令(Confusing instructions)
 - 14.3.7 技術性錯誤/遺失的步驟(Technical error / missing steps)

- 14.3.8 過多的參考文件(Excessive references)
- 14.3.9 未考慮可能發生的狀態(Potential situations not covered)
- 14.4 PSP 未落實執行(Inadequate enforcement of PSP)
 - 14.4.1 作業監督不足(Inadequate monitoring of work)
 - 14.4.2 作業主管的知識不足(Inadequate supervisory knowledge)
 - 14.4.3 未落實執行(Inadequate reinforcement)
 - 14.4.4 未矯正違反規定的行為(Non-compliance not corrected)
- 14.5 PSP 溝通不足(Inadequate communication of PSP)
 - 14.5.1 未適當的分發(Incomplete distribution to work groups)
 - 14.5.2 欠缺適當的翻譯(Inadequate translation to appropriate languages)
 - 14.5.3 未和訓練計畫整合(Incomplete integration with training)
 - 14.5.4 使用過期的文件(Out of date revisions still in use)
- 14.6 其他(Other)
- 15.溝通
 - 15.1 同事間的溝通不夠充足(Inadequate horizontal communication between peers)
 - 15.2 現場作業主管和員工間溝通不足(Inadequate vertical communication between supervisor and person)
 - 15.3 不同部門、組織間溝通不足(Inadequate communication between different organizations)
 - 15.4 工作小組間溝通不足(Inadequate communication between work groups)
 - 15.5 交接班溝通不足(Inadequate communication between shifts)
 - 15.6 不適當的溝通方法(Inadequate communication methods)
 - 15.7 沒有可用的溝通方法(No communication method available)
 - 15.8 不正確的指令(Incorrect instructions)

III.基本原因

- 1.領導與責任
- 2.風險評估和管理
- 3.人員訓練和行為
- 4.與承攬商和供應商合作關係
- 5.設施的設計和建構

- 6.操作和維修
- 7.變更管理
- 8.資訊和文件管理
- 9.客戶與產品
- 10.社區與利害相關者
- 11.危機與緊急事件管理
- 12.事故分析和預防
- 13.評估保證和改善

