

系統化事故原因調查技術研究

**Development of Systematic Incident
Investigation Technique**

系統化事故原因調查技術研究

Development of Systematic Incident Investigation Technique

研究主持人：張承明、于樹偉

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 20 日至 97 年 12 月 31 日

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

非預期事件如意外事故和異常狀態的調查與報告，對潛在風險的辨識及控制極具關鍵性，同時還可符合製程安全管理的法令規定和 OHSAS 18001 要求。事故調查主要目的為了解事故發生的真相，進而改善風險控制與管理系統缺失之處，避免相同、相似的災害一再發生，而非著重於責任歸屬或指責特定人士。因此，深入探討意外事故的直接原因，並找尋事故的貢獻因子和基本因子是非常重要的。事故調查最常犯的錯誤是只調查事故的直接原因，而並未深入調查管理系統失效層面，儘管勞動檢查法第 26 條，已經在台灣執行超過 15 年，但是我國仍然缺乏有效的意外事故調查方法和專精事故調查的人員，也成為預防職業傷害和工安事故的主要障礙，因此本研究主要的目的為提供實用和有效的意外事故調查方法。

本研究以系統化的意外事故調查方式引領事故調查，一般而言，事故調查主要由證據收集、分析證據和根本原因分析幾個步驟所構成。本研究認為事件及成因圖在眾多事故調查技術中，為較具系統化和邏輯性的方法，可以協助證據與資料的彙整並且重新檢視資料不足之處，但由於事件及成因圖本身的定義較為籠統，因此本研究經由修正事件及成因序列技術，以提升該技術的應用性。由於報告內容完整，本研究引用美國化學安全與危害調查委員會 BP 德州煉油廠調查報告，驗證本研究所提的方法。美國化學安全與危害調查委員會的邏輯樹分析結果，與本研究根本原因分析結果一致。

經由 BP 德州煉油廠事故的驗證，本研究所提的事故調查方法論可以產出一致性和有意義的結果，因此本研究相信所提的技術可以有效使用於調查與製程相關的意外事故。

關鍵詞：意外事故調查技術、系統化事故調查、根本原因分析、事件及成因序列

Abstract

Investigating and reporting of unplanned events such as accidents, incidents, and even near-miss events are critical for identifying and controlling potential safety risks as well as fulfilling the requirements of Process Safety Management and OHSAS 18001. The purpose of these activities is not to find fault or lay blame, but rather to identify the basic causes of accidents and incidents so that controls can be put in place to prevent further occurrences. Hence it is essential to look beyond the immediate cause of an accident and look for the contributing factors and basic causes. The most common mistake made by accident investigators is jumping to conclusions on the basis of immediate appearances. A proper investigation has to look into the management system failures. Despite the fact that Article 26 of the Labor Inspection Law has been enforced in Taiwan for about 15 years, the lack of effective accident investigation methodology and the competency level of the safety professionals responsible for accident investigation remain to be one of the key factors hindering the prevention of occupational injuries and process accidents. Hence the primary objective of this study is to provide practical solutions to the problems commonly encountered in incident investigation in Taiwan.

A system approach for accident investigation is proposed in this study. The methodology is primarily composed of the steps of collection of evidence and facts, analysis of the information, and root cause analysis. A modified events and causal factors charting, ECFC, is proposed in this study. Modification of the original ECFC makes compiling and organizing accident evidences more effective. It also has the advantage of yielding a set of potential root causes. Because of its detailed description of the affected process units and the background information leading to the catastrophe, the investigation report of the Chemical Safety and Hazard Investigation Board of the

US on the BP Texas City refinery accident is used to verify the methodologies proposed in this study. Root cause analysis of the BP Texas City accident is based on the methodology proposed by the Center for Chemical Process Safety of the US.

Preliminary analysis of the proposed methodology using the BP Texas City accident yields consistent and meaningful results. It is believed that the proposed technique can be used in investigating process-related accidents.

Key Words : Accident Investigation Techniques, Systematic Incident Investigation, Root Cause Analysis, Events and Causal Factors Charting

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vii
表目錄.....	x
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 目的.....	3
第三節 工作項目.....	4
第二章 名詞定義.....	5
第三章 事故模式發展.....	8
第一節 連續事件模式.....	8
第二節 類流行病模式.....	9
第三節 系統事故模式.....	10
第四章 意外事故調查流程.....	11
第五章 意外事故調查方法回顧.....	15
第一節 屏障分析.....	17
第二節 變更分析.....	19
第三節 事件及成因圖.....	20
第四節 時間和事件序列圖.....	23
第五節 TRIPOD 理論.....	25
第六節 系統化原因分析技術.....	27
第七節 失誤樹分析.....	36
第八節 管理疏忽與風險樹.....	38

第九節 事件樹分析.....	42
第十節 為何樹分析.....	44
第十一節 原因樹方法.....	51
第十二節 整合性意外事故分析方法.....	52
第十三節 作業事故調查技術.....	54
第六章 系統化事故調查方法.....	58
第一節 初步調查.....	59
第二節 組成調查小組.....	66
第三節 資料收集.....	70
第四節 發展時間序列.....	78
第五節 根本原因分析.....	88
第六節 報告和建議.....	96
第七章 案例探討.....	99
第一節 背景說明.....	99
第二節 事故描述.....	100
第三節 發展時間序列圖.....	103
第四節 根本原因探討.....	128
第八章 結論.....	157
第一節 結論.....	157
第二節 建議.....	159
誌謝.....	161
參考文獻.....	162
附件 一 金百利查核表.....	166
附件 二 CCPS 事故原因參照表.....	172
附件 三 意外事故調查小組所需用品.....	182
附件 四 晤談指引.....	184

附件 五 晤談證人..... 186

圖目錄

圖 1	DOE 意外事故管理基本流程	13
圖 2	I. S. Sutton 意外事故調查流程.....	14
圖 3	屏障分析基本概念.....	18
圖 4	屏障類型.....	18
圖 5	變更分析基本程序.....	19
圖 6	簡單的事件及成因圖.....	21
圖 7	觀景台施工事故.....	22
圖 8	STEP 交通事故案例	24
圖 9	STEP 交通事故案例安全考量分析	24
圖 10	TRIPOD 模式	25
圖 11	ILCI 損失控制模式.....	28
圖 12	MORT 分析流程.....	40
圖 13	MORT 基本架構.....	41
圖 14	ETA 易燃物外洩案例.....	43
圖 15	WTA 基本模式架構	45
圖 16	決定詢問「為什麼」的優先順序.....	46
圖 17	Taft Oxide 製程	49
圖 18	氮氣窒息事故.....	50
圖 19	組織事故原因模式.....	54
圖 20	WAIT 執行步驟	57
圖 21	原因與衝擊分析意外事故調查流程.....	58
圖 22	典型的晤談流程.....	74
圖 23	資料收集與發展時間序列.....	78
圖 24	完整時間序列模式.....	86

圖 25	初步時間序列圖(出水口排放的水溫過高).....	86
圖 26	完整時間序列圖(出水口排放的水溫過高).....	87
圖 27	由顯性因子對應至直接原因.....	89
圖 28	由直接原因對應至間接原因.....	90
圖 29	由間接原因對應至系統原因.....	91
圖 30	OHSAS 18001 職業安全衛生管理系統模式	93
圖 31	事故調查後續作業流程.....	98
圖 32	ISOM 萃餘油分離塔製程.....	105
圖 33	BP 意外事故完整的時間序列－1.....	119
圖 34	BP 事故的顯性因子對應至 CCPS 的直接原因分析表.....	128
圖 35	BP 事故的直接原因對應至 CCPS 的間接原因分析表.....	129
圖 36	BP 事故的間接原因對應至 CCPS 的根本原因分析表.....	130
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－1.....	136
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－2.....	137
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－3.....	138
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－4.....	139
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－5.....	140
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－6.....	141
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－7.....	142
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－8.....	143
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－9.....	144
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－10.....	145
圖 37	BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－11.....	146
圖 38	BP 邏輯樹根本原因分析－1.....	147
圖 38	BP 邏輯樹根本原因分析－2.....	148
圖 38	BP 邏輯樹根本原因分析－3.....	149

圖 38	BP 邏輯樹根本原因分析－4.....	150
圖 38	BP 邏輯樹根本原因分析－5.....	151
圖 38	BP 邏輯樹根本原因分析－6.....	152
圖 38	BP 邏輯樹根本原因分析－7.....	153
圖 38	BP 邏輯樹根本原因分析－8.....	154
圖 38	BP 邏輯樹根本原因分析－9.....	155
圖 38	BP 邏輯樹根本原因分析－10.....	156

表目錄

表 1 國外文獻事故原因分類和定義.....	7
表 2 意外事故調查方法分類.....	16
表 3 ECFC 基本圖形定義.....	21
表 4 TRIPOD 基本風險因子定義.....	26
表 5 SCAT 查核表.....	29
表 6 SCAT 案例說明－1.....	30
表 6 SCAT 案例說明－2.....	31
表 7 金百利公司查核表範例－1.....	32
表 7 金百利公司查核表範例－2.....	33
表 7 金百利公司查核表範例－3.....	34
表 8 CCPS 事故原因參照表.....	35
表 9 邏輯樹基本符號.....	37
表 10 MORT 事件模式符號.....	40
表 11 氮氣窒息事故案例－1.....	47
表 11 氮氣窒息事故案例－2.....	48
表 12 事故通報單案例.....	62
表 13 先行調查項目.....	64
表 14 事件呈報等級.....	65
表 15 證物收集範例.....	71
表 16 晤談技巧.....	73
表 17 本研究對事件的衍生定義.....	79
表 18 本研究對狀態的衍生定義.....	80
表 19 執行時間序列的規則.....	82
表 20 原因因子探尋.....	92

表 21	OHSAS 18001 基本要素	94
表 22	聯結根本原因至 OHSAS 18001 職業安全衛生管理系統	95
表 23	BP 爆炸事故的事件時間序列表－1.....	106
表 23	BP 爆炸事故的事件時間序列表－2.....	107
表 23	BP 爆炸事故的事件時間序列表－3.....	108
表 23	BP 爆炸事故的事件時間序列表－4.....	109
表 24	BP 爆炸事故的狀態時間序列表－1.....	110
表 24	BP 爆炸事故的狀態時間序列表－2.....	111
表 24	BP 爆炸事故的狀態時間序列表－3.....	112
表 24	BP 爆炸事故的狀態時間序列表－4.....	113
表 24	BP 爆炸事故的狀態時間序列表－5.....	114
表 24	BP 爆炸事故的狀態時間序列表－6.....	115
表 24	BP 爆炸事故的狀態時間序列表－7.....	116
表 24	BP 爆炸事故的狀態時間序列表－8.....	117
表 24	BP 爆炸事故的狀態時間序列表－9.....	118
表 25	BP 意外事故根本原因分析－1.....	131
表 25	BP 意外事故根本原因分析－2.....	132
表 25	BP 意外事故根本原因分析－3.....	133
表 25	BP 意外事故根本原因分析－4.....	134
表 26	BP 事故根本原因分析結果.....	135

第一章 計畫概述

以往意外事故調查，著重調查責任歸屬，只解釋發生什麼、如何發生，而未探討為什麼發生，這種意外事故調查僅限於個人行為的約束，並無法針對問題的源頭提出改善。而今，意外事故調查必須回歸到管理系統面，找出根本原因，事業單位應從意外中學習預防意外事故再度發生，並且藉由調查技術明確地辨識根本原因[1]。

第一節 前言

意外事故調查最主要的目的在於藉由已經發生的事故或虛驚事件中學習，並且改善管理系統的缺失，避免相同或類似的意外事故再次發生。一般而言，事業單位應針對作業場所可能的危害進行危害辨識、風險評估和風險管理，在災害發生之前即採取控制措施避免意外事故發生，但這些預防措施卻面臨下列限制，事故調查可以藉由已發生的事件瞭解預防措施的限制及不足之處，一般而言預防措施具有以下限制：

1. 危害辨識是基於理論性的推測，不能保證能夠辨識每一項可能發生的事件。
2. 完整的危害辨識也很難預測潛在風險實際可能造成的損失，因為其預測結果多半和分析者的經驗有關。
3. 大多數重大工安事故是由多項因素所造成的，有些造成因素看似完全不合理，或是完全預料不到，就算是經驗豐富的風險分析小組，在面臨多重原因事故時，亦感棘手。
4. 人員失誤多半不易預測並且難以量化。

意外事故調查的觀念早在 1930 年代已由 Heinrich 的骨牌理論[1]提出事件和狀態的時序概念，1961 年 H.A. Watson 研發一套邏輯圖形[1]，分析意外事故發生的情境，但當時的意外事故調查，僅辨識發生什麼、如何發生，還未探討意外事故發生的根本原因。在 1970 到 1980 年代，數種根本原因分析技術因應而生，提供

系統化的方法協助意外事故調查。

1960 年代美國航空和國防部意外事故頻傳，美國政府委託貝爾實驗室針對這些事故進行調查並提出改善建議，1965 年發表失誤樹分析(Fault Tree Analysis, FTA) 技術，開啓系統化意外事故調查方法論之先河。因 FTA 技術主要針對硬體設備，其他層面考量較爲不足，因此美國原子能委員會 (Atomic Energy Commission, AEC) 就 FTA 技術進行改良，發展管理疏忽與風險樹(Management Oversight and Risk Tree, MORT)技術以調查管理層面之缺失[1]。隨後，學術界陸續發表適合不同領域的系統化意外事故調查方法論，如連續時間事件圖(Sequentially Timed Events Plotting, STEP)、事件樹分析(Event Tree Analysis, ETA)等，藉由系統化調查方式，協助調查人員重新組織、建構事故情境，以尋找所有可能造成意外事故的原因，進而發現事故的根本緣由，以研擬適宜的安全管理計畫。

意外事故調查最終目的爲預防相同或類似的事件再度發生，如 2005 年 3 月 23 日發生於英國石油公司(British Petroleum, BP)德州廠之意外事故，這是美國近二十年最嚴重的工業災害之一，總計造成 18 人死亡及 170 人受傷，事後 BP 接受美國化學安全與危害調查委員會(Cheical Safety and Hazard Investigation Board, CSB) 的建議，重新檢視該公司內部安全文化、安全管理系統和管理的缺失，提出建議改善措施以避免重蹈覆轍[2]。該事件調查小組由各領域專家學者參與調查，如退休法官、原子能委員會成員等，藉由各方檢視意外事故發生原因，提供利害相關者參考借鏡。回顧近十年台灣工安事故的歷史，相似的意外事故層出不窮，如日月光中壢廠火災、茂迪科技火災、綠能科技火災等重大意外事件，造成人員傷亡、巨額資金損失和事業單位形象損毀，如果台灣的事業單位尚不能積極對事故進行調查，記取教訓，相信類似的意外事故會一再發生。不論是勞工或是雇主都不願見到意外事故的發生，因此研擬一套員工與雇主能共同防範事故發生之方法論，是相當重要的。

隨著勞工安全意識在國際間逐漸提升，不論是國際勞工組織或是政府部門，也都致力於意外事故調查技術的探討，如 1991 年英國安全衛生署(Health and Safety

Executive, HSE)發行「成功的健康和安全管理(Successful Health and Safety Management)」書中描述健康和衛生之重要性；隨後在 1993 年發行「在工作場所意外傷害之成本(The Costs of Accidents at Work)」，以經濟的角度分析意外事故；接著 HSE 委託 WS Atkins，調查上述兩本出版品的關聯性，研究意外事故的損失是否可以清楚計算和回溯到特定的管理系統失效，國際通行的 OHSAS 18001 系統也明確規範事業單位應對意外事故進行調查[3]。我國勞工安全衛生法 28 條亦明列意外事故調查相關法令[4]，要求事業單位需在意外事故發生時進行調查。普遍而言，由於調查人員缺乏專業知識與經驗，並且尚未妥善運用調查工具，因此許多事故調查流於形式，無法達到意外事故調查的真正目的，發揮從事故中學習，預防類似事故再度發生的功能。

我國法規著重於調查人為失誤、設備失誤和責任歸屬，並未深入探討引發意外事故之根本原因，專家學者認為意外事故應回歸到管理層面，惟有確認系統缺失才能解決根本問題，進而預防意外事故再次發生。有鑑於此，本研究整合國內、外常用的意外事故調查方法論，期望由此發展一套適合國內事業單位的意外事故調查方法。

第二節 目的

國內事業單位進行事故調查，絕大多數都是根據法規所規定的責任歸屬進行調查，侷限於人為、設備面的失誤，並未回歸到基本的管理系統層面，無法找出根本原因、解決問題，所以調查建議常是治標不治本。造成大多數的員工因為不了解意外事故真實原因，並且對於意外事故調查程序、技術不甚熟悉，而輕忽意外事故調查的重要性，無法有效執行調查。

現有的意外事故調查方法相當多元，每種方法皆有優缺點和其適用範圍，有些強調在於設備面；有些強調在於管理和組織上的疏忽；有些則考量人為面。但是國內災害分析尚未有一套統一運用的標準，甚至對意外發生時該如何選擇調查

工具亦無共識，因此本研究期望藉由整合比較現存事故調查方法論，發展一套適合國內事業單位的意外事故調查方法。藉由不同層面分析，綜合現有、常用的分析技術之優點，摒除一些技術層面較複雜的部分，期望發展一套兼具實用性與有效性之系統化意外事故調查技術，並且以各個層級的員工與管理階層都能操作的技術為目標[1]。期望藉由系統化分析技術，協助國內事業單位單位在事故發生初期，儘速依循系統架構進行災害原因評估分析，且依循規劃(Plan)、執行(Do)、查核(Check)與矯正(Act)所組成之 PDCA 架構回溯修正不安全行為及管理系統缺失。

第三節 工作項目

本計畫工作項目可概要的分為四大項：

1. 第一項：系統化原因分析技術文獻收集，包括 TRIPOD、失誤樹分析、管理疏忽與風險樹、連續時間事件圖等。
2. 第二項：常見事故調查分析方法評估。
3. 第三項：以實用性系統化的意外事故調查系統為導向，研擬意外事故調查方法論。
4. 第四項：編撰事故調查技術手冊。

第二章 名詞定義

雖然基本的事務理論相同，但由於事務的專有名詞在國際上略有差異，避免混淆讀者，於表 1 附上原文，說明國外文獻事故原因分類和定義[5]。

1. 重大職業災害：依據勞動檢查法施行細則(民國 91 年 12 月 31 日修正)[4]。
 - (1) 發生死亡災害者；
 - (2) 發生災害之罹災人數在三人以上者；
 - (3) 氨、氯、氟化氫、光氣、硫化氫、二氧化硫等化學物質之洩漏，發生一人以上罹災勞工需住院治療者；
 - (4) 其他經中央主管機關指定公告之災害。
2. 事件¹：造成或可能引起損害的狀態，事件若未造成職業病、傷殘、損壞或其他損失同時發生時亦稱虛驚事件，傳統定義意外事件之範圍包含虛驚事件及意外事故；另一定義則限定虛驚事件或輕微之意外事故。這兩種定義都曾被採納，因此使用時須明確定義，本研究採用第一種定義[3]。
3. 意外事故²：當事件導致人體傷害、設備損壞、物質洩漏、對環境造成衝擊與傷害時，皆歸納為意外事故[6]。
4. 虛驚事件：係指未對人員、設備或環境造成不良影響之偶發事件，也就是說原本可能造成有害結果，但卻未發生意外事故，亦可稱為潛在危險事件[6]。

¹ Work-related event(s) in which an injury or ill health (regardless of severity) or fatality occurred, or occurred, or could, or could have occurred[3].

(1) An accident is an incident which has given rise to injury, ill health or fatality.

(2) An incident which no injury, ill health, or fatality occurs may also be referred to as a “Near Miss”, ”Near Hit”, “Close Call” or “Dangerous Occurrence”.

(3) An emergency situation is a particular type of incident.

2 An accident is an occurrence in which property damage, material loss, detrimental environmental impact, or human loss (either injury or death) occurs[6].

5. 直接原因³：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[5]。
6. 間接原因⁴：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[7]。
7. 根本原因⁵：為基本或與系統相關的原因，根本原因分析的目的是辨識制度性缺失或安全管理的缺失，通常重大事故是多項根本原因造成的。
8. 職業安全衛生管理系統：係整體管理系統一部分，內容包括用以發展、實施、達成、審查及維持職業安全政策的組織架構、規劃作業、責任劃分、實務運作、程序、流程及資源。
9. 不符合事項：任何與工作標準、程序規章、管理系統績效等的偏離，該偏離可能直接或間接引起傷殘或職業病、財產損失等，或前述項目的同時發生。
10. 不符合標準的狀態：包括不適當的防護罩/防護設備不足/有缺陷的工具、設備或材料/工作環境擁擠或行動受限/警示系統不足/火災及爆炸危險/管理不良/噪音暴露/輻射暴露/極端溫度/照明不良/通風不良/危險的環境等。
11. 不符合標準的行為：包括未經許可操作設備/警告失效/防護失效/未按規定操作速度操作/使安全設備失效/使用有缺陷之設備/未適當配戴個人防護器具/承載不當/放置不當/搬運不當/職務配置不當/維修運轉中之設備/嬉笑玩鬧/受酒精或藥物影響/使用設備不當/未遵守操作程序等。

³ The circumstances that immediately precede the accident. Immediate causes may be broken down into two categories, substandard practices and substandard conditions[5].

⁴ Basic causes are the diseases or real causes behind the symptoms, the reasons why the substandard acts and conditions occurred. Basic causes help explain why people perform substandard practices and why substandard conditions exists[7].

⁵ A root cause is a fundamental, underlying, system-related reason why an incident occurred that identifies a correctable failure(s) in management systems. There is typically more than one root cause for every process safety incident[6].

表 1 國外文獻事故原因分類和定義

Occupational Safety and Health Administration	International Loss Control Institute
Basic causes	Lack of control
	Basic causes
Indirect causes	Immediate causes
Direct causes	Incident
	Loss
(OHSa)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Basic causes : Basic causes are those that contribute to the creation of the indirect hazards. These can include poor management policies, personal factors or environmental factors. 2. Indirect causes : Indirect causes are unsafe acts and conditions that caused the hazardous materials or energy to exceed safe limits. 3. Direct causes : Direct causes are the hazardous material(s) or energy (e.g., electrical energy, potential energy or heat) that caused the injury or damage. 	
(ILCI)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Lack of control : Inadequate: Program 、 Program 、 standards 、 Compliance to standards. 2. Basic causes : Personal factors 、 Job factors. 3. Immediate causes : Substandard acts 、 Substandard conditions. 4. Incident : Contact with energy, substance or people. 5. Loss : People 、 Property 、 Product 、 Environment 、 Service. 	

第三章 事故模式發展

事故模式是事故調查人員應具備的知識，因為事故模式所提供的思考或參考架構，可增進事故調查成員彼此的溝通和對事故真相的了解，但必須注意的是固定的分析架構可能會造成單方向或主觀性的思考。

近數十年國外事故分析結果顯示，事故原因的屬性大致可分為技術與設備、人為因素和組織因素三類[8]。1960年代所發生的重大工安事故多半歸咎於技術和人為因素，前者約佔事故原因70%，人為因素約佔30%，組織因素所佔比率甚低。但自1979年美國三哩島事件後，組織因素逐漸受到重視，上述70%和30%分佈，在1980年代則為30%和60%，其餘10%則歸類為組織因素。此外，由於科技的進步，技術和設備已經不是造成職業傷害和工安事故的主要原因。隨著製程安全管理和國際管理系統標準的蓬勃發展，事故原因屬性的分佈分別為技術低於10%，人為因素約佔70%和組織因素約佔20%，上述趨勢對事故調查方法的發展影響深遠。為提供基本背景資料，本研究將簡述事故模式近數十年重要的發展過程。雖然事故調查方法非常多元化，但事故模式約只有連續事件、類流行病和系統分析三類[6][8]。

第一節 連續事件模式(Sequential Accident Models)

連續事件模式或骨牌理論認為事故的起因為不預期的事件，而整串事件有明確的因果關係存在，同時後續發生的事件具有「擴散」或「衍生」的效應。

骨牌效應是1931年由W. H. Heinrich[8]所提出的，骨牌理論將每一項事故因素視為一張骨牌，當起始事件發生後，其他事故因素將依序發生，導致接近尾端的事件和事故衍生的後果，如人員傷害和其他損失。本理論的邏輯和通則是若能將一張或數張骨牌移走的話，整串骨牌將不至於全部倒下，尤其是代表事故及後果的最後兩張骨牌。

早期骨牌理論和類似事故模式，基本假設是原本操作正常的系統在某一特定

不預期事件發生後，將造成一連串具有負面效應的結果，而事故則是上述連續事件的最終結果。

骨牌理論認為事故發生原因和結果之間的關聯性，是具體且可以辨識的，因此事故調查的目的為辨識因果關聯性。骨牌理論中的每張骨牌代表一項特定的事故因素，事故因素的組合可用於代表事故發生的過程，骨牌或事件之間是單純、線性且有明顯的因果關係。

骨牌理論所考慮的事故因素為社會因素、個人疏失、不安全行為、事故和傷害。除單一事件序列外，骨牌理論也可延伸至多重事件序列，相關理論奠定了樹狀思考邏輯的基礎。

第二節 類流行病模式(Epidemiological Accident Models)

類流行病理論引用流行病傳染機制，認為事故是多重因素同時存在造成的，有些因素是顯性的，但有些是潛在的。本理論考量的因素為執行偏差、環境狀態、安全屏障和潛在或潛伏狀態。

人為疏失或不安全行為因強調人的因素，較為主觀，因此在 1980 年代後逐漸被執行偏差的論點取代，除個人外，執行偏差也涵蓋技術或工程因素。

環境因素是疫情醞釀重要的條件，因此類流行病模式將環境因素視為造成執行偏差可能的原因，環境因素影響層面除人員外，也包括技術層面。

類流行病模式和骨牌理論最顯著的不同點是安全屏障的考量，安全屏障是防止一連串事件演變為事故的最後一道防線。安全屏障概念已被廣泛應用於高風險製程或高風險作業事故預防，功能涵蓋預防、控制、保護和消滅、系統設計。

潛在或潛伏狀態是本理論的特點，潛在狀態或條件在特定事故發生前就存在的，並非事故的直接或間接因素，潛在因素影響的範圍包括設計、施工、操作、維修、訓練、溝通、人機介面等，因此，潛在狀態被視為多重失效所引發重大事故的根本原因。

類流行病模式所倡導的潛在狀態，雖然有助於調查人員體認事故發生過程的複雜程度，但卻不適用於事故根本原因的探討。

第三節 系統事故模式(Systemic Accident Models)

系統理論是近年普遍採用的事故分析方法，系統事故模式認為事故是技術系統和管理系統異常造成的結果，是事故發生的根本原因，系統分析理論的優點是提供：

1. 分析系統規格、功能和限制條件的架構；
2. 程序和程序組成元件的細部資料；
3. 操作和作業程序詳盡的說明，包括環境狀態的分析。

系統分析理論所建立的模式，可用於分析工程和管理系統元件間的相互依賴性，也可用於分析系統功能，有利於極度複雜多重原因事故之調查。

第四章 意外事故調查流程

意外事故調查程序考量範圍廣泛，不同文獻描述事故調查流程略有不同，但主要架構相似，本研究係參考多篇文獻整理而成，主要參考為美國能源部 (Department of Energy, DOE)[9]、英國安全衛生署[1]、挪威科技大學(Norwegian University of Science and Technology, NTNU) [7]、美國化學製程安全中心(Center for Chemical Process Safety, CCPS) [6]、美國蒙他那大學意外事故調查方法評估[10]和經濟部工業局編印的意外事故調查指南[11]等，上述文獻均將意外事故調查程序分為三種主要階段：1.證據收集、2.分析證據、3.提供改善建議。根據 PDCA 原則設計事故調查程序，事業單位執行時應重新檢視事故調查各項環節，從事前的準備工作、事件發生時的緊急應變措施到事後的調查工作，最後提供改善建議、修訂管理系統。**圖 1** 為 DOE 意外事故管理基本流程，除事故調查部分，還包括事故調查的前置作業如災害應變與調查小組的組成等。**圖 2** 為 I. S. Sutton 建議的意外事故調查流程[11]，主要區分為六項作業：

1. 初步調查：一旦緊急應變作業完成後，事故調查小組就應該進行初步的蒐證工作。初步調查小組的責任為確保一些易隨著時間消失的資料或是敏感資料適當的保存，小組成員應儘可能快速的完成調查工作，因為證人記憶和某些證據會隨著時間改變。事業單位可以根據後果嚴重性作為意外事故調查的分類，並且在公司內部訂定何種等級的意外事故該以何種工具、分析方法進行調查。
2. 組成調查小組：大多數意外事故與傷害、化學氣體外洩或是嚴重的生產中斷有關，原則上每件意外事故都應該徹底的調查，但即使是大型的事業單位也會因經費和人力的限制，無法針對每一件事件進行深入的調查。有鑑於此，意外事故調查可依照後果嚴重性和牽涉層面分級調查，不同程度的事故，調查小組的組成也略有不同。
3. 資料收集：
 - (1) 晤談：晤談的目的在於探尋與意外事故相關的事實，而非指責特定人士，

I. S. Sutton 書中提供 33 項晤談指引，調查人員藉由詢問指引中的問題，進而引導和發掘意外事故相關的證據。

- (2) 相關文件：包含工程資料、操作資料、製程安全資訊以及供應商提供的資料等。
 - (3) 現場資料：利用相機或 DVDs 進行現場蒐證等。
 - (4) 儀器紀錄：儀器紀錄為具有高度可靠性的證據，因為具有客觀並且定量的特性，如使用監督控制和資料收集系統(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)可以隨時存取大量的操作數據。
 - (5) 檢測/實驗室分析：事故現場的一些殘骸、原物料可能需要進一步的進行檢測、分析。
4. 發展時間序列：資料收集完成後，下一個步驟就是發展時間序列。步驟 3 和步驟 4 之間應建立回饋的機制，因為在證據收集階段可能有考量不夠周全之處，因此在發展時間序列時可以檢視不足的證據，進一步蒐證以補足時間序列無法銜接之處。時間序列是藉由收集的資料依事件發生的先後順序排列，重新建構事件發生的原因。
 5. 根本原因分析：依事故的類型，決定根本原因分析的方法，如為何樹分析技術可經由個人或小規模的調查小組，針對某一單純的事件予以調查，而牽涉層面較複雜的事故，則可利用失誤樹之類的分析方法。
 6. 報告和建議：回歸管理系統改善缺失，避免同一或類似事件再次發生。

本研究主要採用 Sutton 意外事件調查流程，因為無論是 DOE 或是 CCPS 等意外事故調查流程，皆可歸納於 Sutton 簡易明瞭的 6 項步驟。本研究將此 6 項步驟作為意外事故調查方法論的骨架，再針對每一項步驟逐一展開，詳細論述各項步驟。

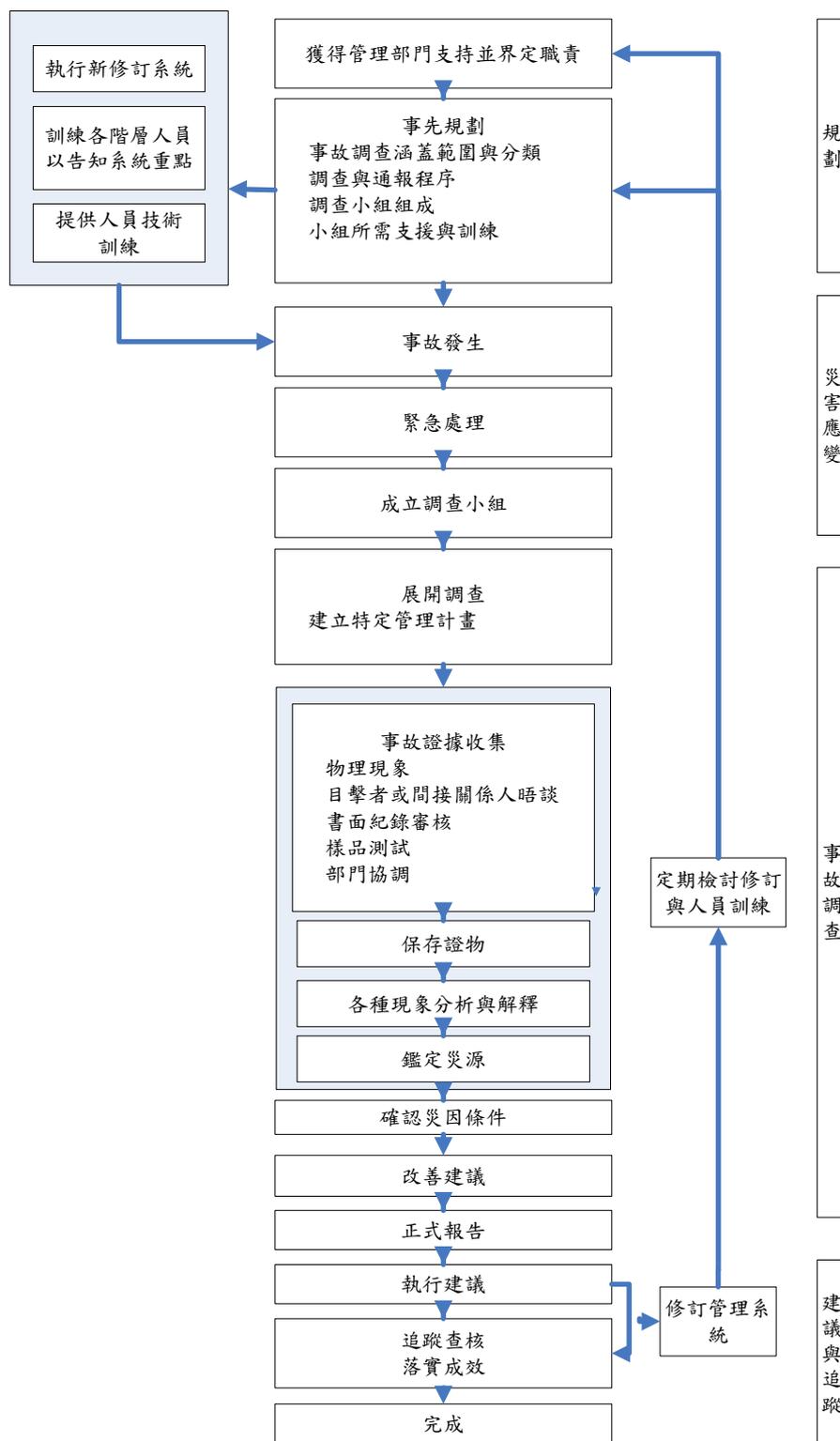


圖 1 DOE 意外事故管理基本流程

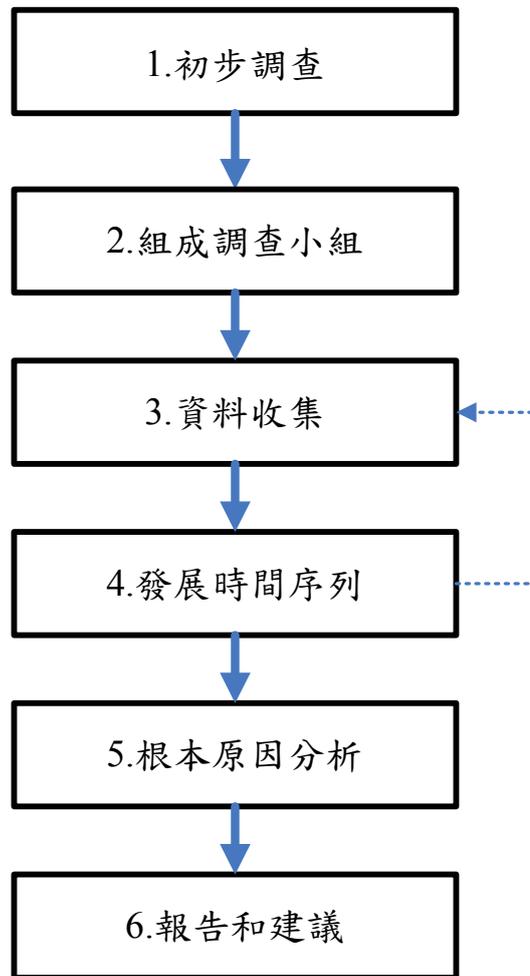


圖 2 I. S. Sutton 意外事故調查流程

第五章 意外事故調查方法回顧

意外事故調查方法，基本上利用詢問發生什麼、何時發生和為什麼會發生，決定過程中的造成因素並辨識貢獻因子。美國能源部[9]將事故原因分為三類 1.直接原因：立即導致意外事故發生的原因，2.促成因素：多項事件同時發生時，可能會增加事故發生機率，但個別發生時則不會直接導致意外事故發生，3.根本原因：追溯至管理系統失效，如能有效改善，可以預防類似事件再度發生[11]。美國能源部將事故調查分析工具分為三類[9]：核心分析技術(Core Analytical Techniques)、複合式分析技術(Complex Analytical Techniques)和特殊分析技術(Specific Analytical Techniques)。

美國化學製程安全中心將意外事件分析工具根據適用範圍和特性分類為：事件序列圖(Sequence Diagrams)、邏輯樹(Logic Tree)、查核表(Checklist)和其他輔助工具。

經濟部工業局意外事故調查指南，依據系統導向和非系統導向的原則，將事故調查方法分為：演繹法(Deductive Approach)藉由邏輯推理，由已知的一項事件推導出下一項事件，藉由層層的推理得到結果；歸納法(Inductive Approach)經由多項的觀察綜合出一項定律；型態法(Morphological Approach) [11]基於已經研究過的系統結構，分析者運用經驗判別最顯著的造成因素，而不是針對每項可能的造成因素進行分析，型態法原則是沿自於演繹法和歸納法而來；其他非系統導向等。不同文獻探討的範疇也不盡相同，美國能源部和美國化學製程安全中心分類方式簡述於表 2。本研究所介紹意外事故調查方法的順序為：

1. 輔助工具：判別造成因素，如屏障分析、變更分析。
2. 時間序列圖：協助證據收集，並且判別造成因素，如 ECFC、STEP。
3. 查核表：判別特定造成因素，如 SCAT。
4. 邏輯樹：判別根本原因，如 FTA、MORT 等。

表 2 意外事故調查方法分類

<p>D O E</p>	<p>1. 核心分析技術(Core Analytical Techniques) 這類的技術簡單易懂，可運用於大部分的意外事故調查，如虛驚事件或一般事故。當意外事故牽涉複雜的原因時，不能只使用單一技術予以分析，必須與其他技術組合。部份技術可協助證據的蒐證如屏障分析(Barrier Analysis)、變更分析(Change Analysis)、事件及成因圖(Events and Causal Factors Charting, ECFC)等。</p> <p>2. 複合式分析技術(Complex Analytical Techniques) 為較精密的技術，用於分析牽涉層面較複雜的重大意外事故，一般而言都與上述核心分析技術整合，如管理疏忽風險樹結合屏障分析和事件及成因圖等的概念如：</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ 系統原因分析技術(Systematic Causal Analysis Technique, SCAT) ➢ 時間和事件序列圖(Sequentially Timed Events Plotting, STEP) ➢ 失誤樹分析(Fault Tree Analysis, FTA) ➢ 管理疏忽與風險樹(Management Oversight and Risk Tree, MORT) ➢ 事件樹分析(Event Tree Analysis, ETA) ➢ 為何樹分析(Why Tree Analysis, WTA) ➢ 原因樹分析(Causal Tree Analysis, CTA) <p>3. 特殊分析技術(Specific Analytical Techniques) 如果意外事故牽涉特定情況，或是事業單位想針對特定問題進一步調查時，則可使用特定分析技術，如意外事件牽涉大氣擴散則可利用擴散模式，此外，如人為因子分析(Human Factors Analysis)、軟體危害分析(Software Hazards Analysis)等也是特殊的分析技術。</p>
<p>C C P S</p>	<p>1. 事件序列圖(Sequence Diagrams) 事件序列圖提供系統化架構協助證據收集，避免資料、證據遺漏或是錯誤，本方法也可以辨識造成因素如 ECFC、STEP 等。</p> <p>2. 邏輯樹(Logic Tree) 許多意外事故調查方法是根據邏輯樹架構衍生而來，這類方法以邏輯性架構探討根本原因如 FTA、MORT、ETA、WTA、CTA 等。</p> <p>3. 查核表(Checklist) 事業單位可利用查核表，判定特定造成因素，但查核表不適合單獨使用於重大意外事故的調查，多半須與其他工具合併使用如 SCAT 等。</p> <p>4. 其他輔助工具(Others) 複雜程度較高的意外事故，可藉由其他技術協助多重辨識意外事故真正原因，增加準確度如屏障分析、變更分析等。</p>

第一節 屏障分析(Barrier Analysis)

屏障分析理論可追溯至 1930 年代 Heinrich 骨牌理論，Johnson[1]於 1980 年將屏障分析的概念運用在 MORT 中。屏障理論認為意外事故的發生，為非預期的能量流釋放、安全屏障失效或未設置安全屏障、受害者/物三者所構成如圖 3 所示[1]。

意外事故的發生多半是一項以上基本原因所構成，因此應重複檢視多重能量轉移，及避免屏障的失效導致最終的意外事故發生。安全屏障包括個人防護具、自動防護系統等，然而屏障不單只指物理性防護設備，也包含工作程序、訓練、監督、空間、時間、管理和組織控制等，如設計安全審查和風險評估，通常物理性屏障較容易辨識，而管理系統屏障由於不甚顯著，例如暴露量限制不易辨識，圖 4 提供物理性屏障和管理系統屏障的類型[1] [6][7]。

屏障分析沒有具體的結構，分析者通常經由詢問下列問題作為初步調查和判別何種屏障失效，1993 年 Paradies 等學者[7]根據以下五項問題的答案完成屏障分析：

1. 何種物質、人員行為或管理控制，可有效預防此意外事故？
2. 何處是應該設有屏障預防意外事故發生的地方？
3. 哪些屏障失效？
4. 哪些屏障成功？
5. 是否有其他的物質、人員行為或管理控制失效，可利用屏障以預防意外事故？

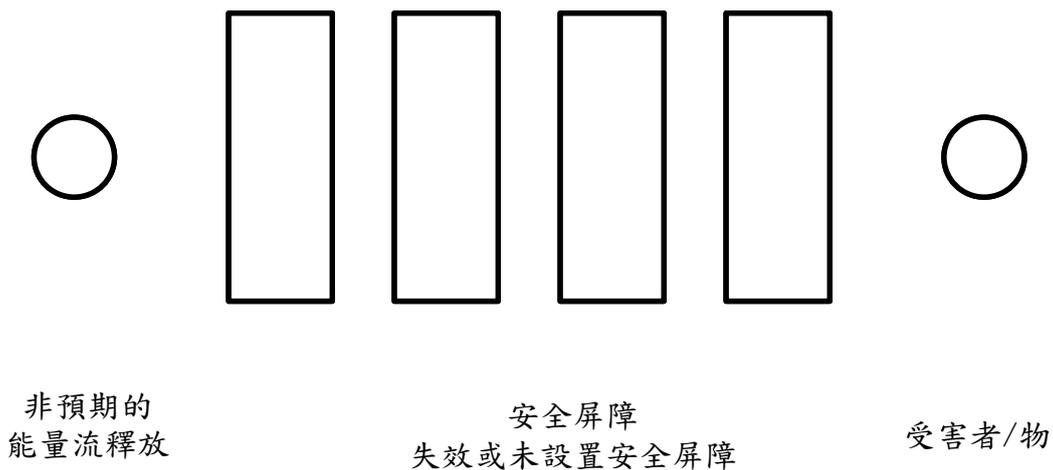


圖 3 屏障分析基本概念

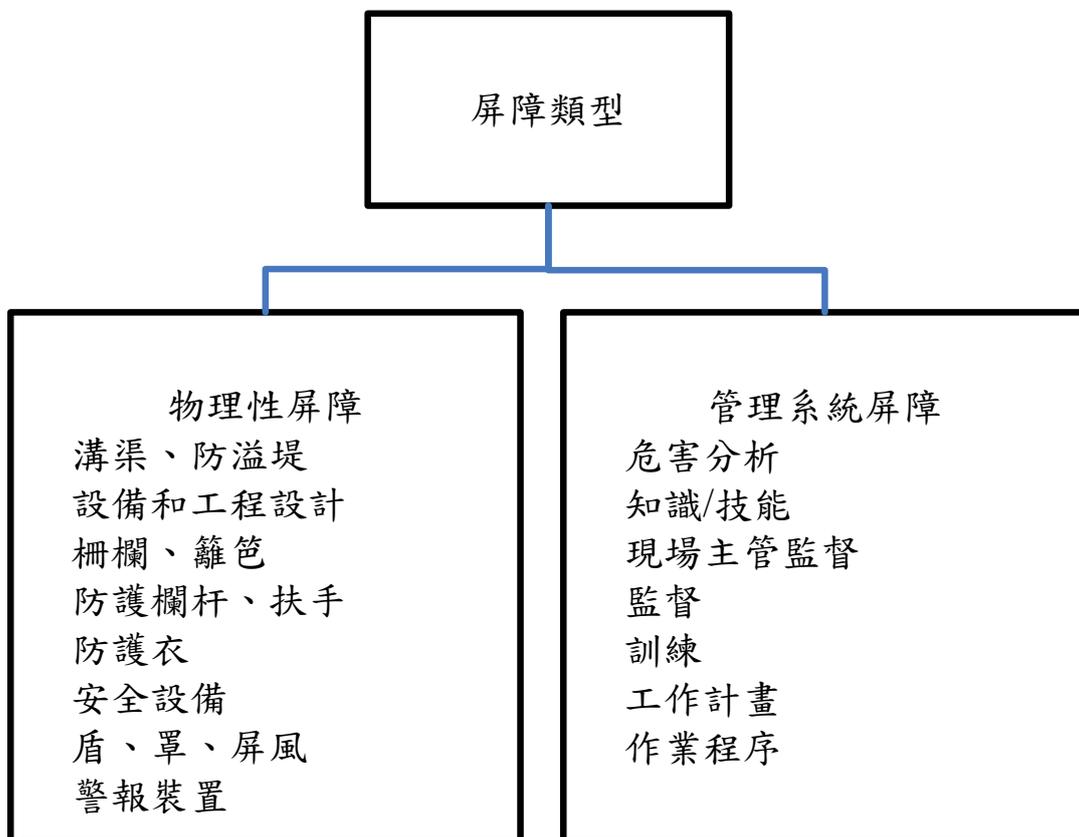


圖 4 屏障類型

第二節 變更分析(Change Analysis)

變更分析是 1960 年代蘭德公司(Rand Corporation)協助美國空軍所發展的理論。變更分析的基本假設為，如果系統執行經過一段時間後突然失效，這類失效應是系統內部的變更，藉由定義變更，找出導致失效的原因。變更分析常與其它分析工具結合，協助意外事故調查。並且基於以下兩項基本概念[1][7][8]：

1. 方向性(Directional)：前一事件的變更引領下一事件的變更。
2. 多重性(Exponential)：非線性特徵的交互作用。

圖 5 為變更分析的基本程序，主要是比對意外發生前的狀態與意外發生時的狀態，辨識其中的改變是否為導致意外發生的主要原因。當意外事故涉及新進員工或新購設備時，可利用變更分析做為意外調查的工具，但變更分析重大缺點是如何判定意外發生前的狀態。

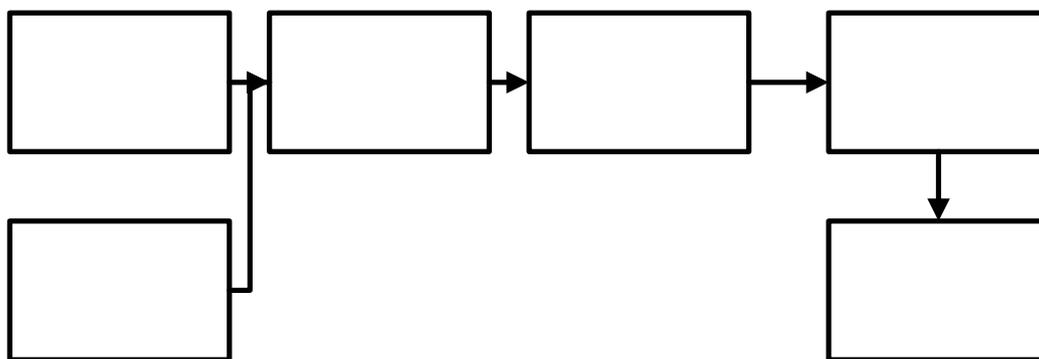


圖 5 變更分析基本程序

第三節 事件及成因圖(Events and Causal Factors Charting, ECFC)

ECFC 最初由美國原子能委員會所採用，利用連續時間圖的原理，將意外事故發生的順序利用圖形編輯的方式彙整證據。ECFC 簡單並清楚的描述資料，可用於辨識資料的完整性，調查者依 ECFC 之時間序列陳述，協助收集證據和調查，表 3 為 ECFC 基本圖形定義[12]，圖 6 為事件及成因圖，本方法使用的基本原則是：

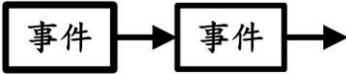
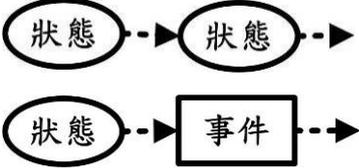
1. 每一件事件應描述行動或是動作，而不是狀態或是環境；
2. 每一件事件以簡短的句子敘述；
3. 每一件事件應儘可能精確的描述，如「操作者啓動泵浦 301」而不是「操作者啓動泵浦」；
4. 每一件事件應有單一以及個別的描述，如「管壁破裂」而不是「內部壓力上升造成管壁破裂」；
5. 每一件事件儘可能的予以量化，如「物件從 50 公尺高度掉落」而不是只是「物件掉落」；
6. 每一件事件應該與前一項事件連續且相關。

上述原則並不具有強制性，大部分的概念在於協助調查人員了解意外事故發生的過程，ECFC 已證實為有效的意外事故調查協助工具，提供清楚且簡單扼要的圖形，協助調查者了解報告內容。美國能源部認為事件及成因圖的優點是 [1][6][11][12]：

1. 以圖說明，並且以有效的事件順序引導意外事件和狀態；
2. 描繪與意外事故直接相關的事件和狀態，但較少描述組織關聯性和個別關係在意外事故中扮演的角色；
3. 可進一步的決定額外資料收集和分析，藉以辨識資料缺陷；
4. 結合證據和造成因素進而找尋組織運作問題和管理系統缺陷；

5. 可與其他分析技術有效的整合運用；
6. 提供一種結構性的方法收集、組織和彙整資料；
7. 清楚的描述意外事故，有助於報告撰寫；
8. 提供圖形，可提升視覺效應，可用於總結調查報告中與事故有關的重要資訊和原因。

表 3 ECFC 基本圖形定義

事件－矩形表示。 狀態－橢圓形表示。	
事件和事件的聯結以實線箭頭表示。	
狀態與狀態以虛線連接。 狀態與事件以虛線連接。	
如果為假設的事件或是狀態，以虛線表示。	
如 錯誤! 找不到參照來源 。所示，主要事件序列(直接時間序列)，必須在同一水平線上。次要事件序列(間接時間序列)，必需呈現在不同水平線上，以從左到右的方式，排定時間序列。	

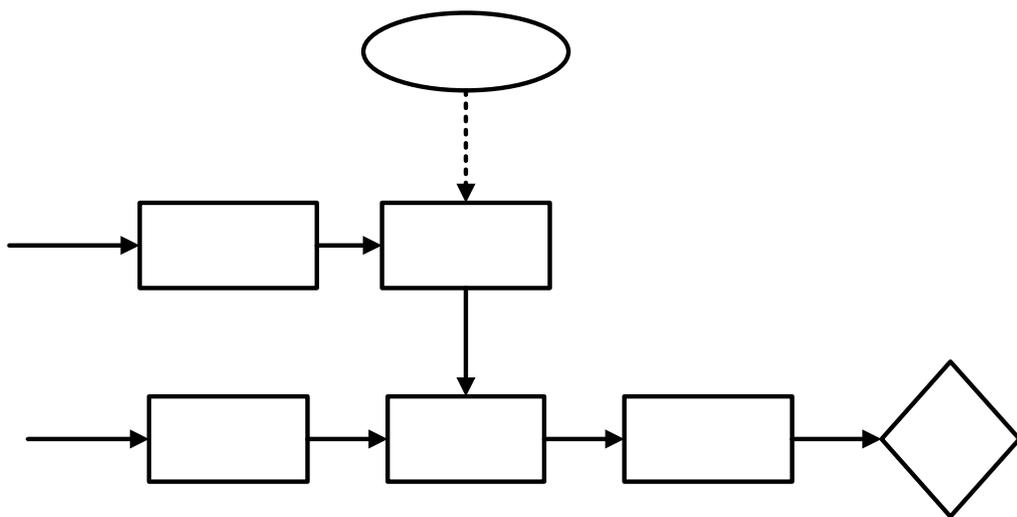


圖 6 簡單的事件及成因圖

經由觀景台施工事故案例，簡述 ECFC 的建構概念，圖 7 為觀景台施工事故 ECFC 圖，藉由 ECFC 方法整合與分析所有和意外事故相關資料。下述為事故案例的基本資料：

Ajax 建築公司授權在山丘上建立觀景台俯瞰整個市中心，該公司施工計畫涵蓋各個層面，也包括安全考量。Ajax 於 10 月 7 日禮拜一動工，10 月 11 日禮拜五下班前準備周末收工，這時好幾輛卡車停放在工地內，包括一輛 2.5 噸的挖土機。10 月 12 日禮拜六，一名九歲的小男孩爬上山丘的工地內嬉戲，發現挖土機沒有上鎖，爬進車內開始玩弄方向盤，不小心將手煞車釋放，挖土機開始從山丘滾動至山下，挖土機速度越來越快，男孩不敢跳車但他不知道該如何煞車。挖土機撞到另一台也停放在建築工地內的車輛，男孩受到嚴重的割傷和小腿骨折。由這件意外事故可知，雖然安全計畫書上詳細的規定無人看管的車輛一定要鎖好並且輪子要以輪擋固定，可是這些規定並未傳達給員工或是員工並未遵守相關規定。

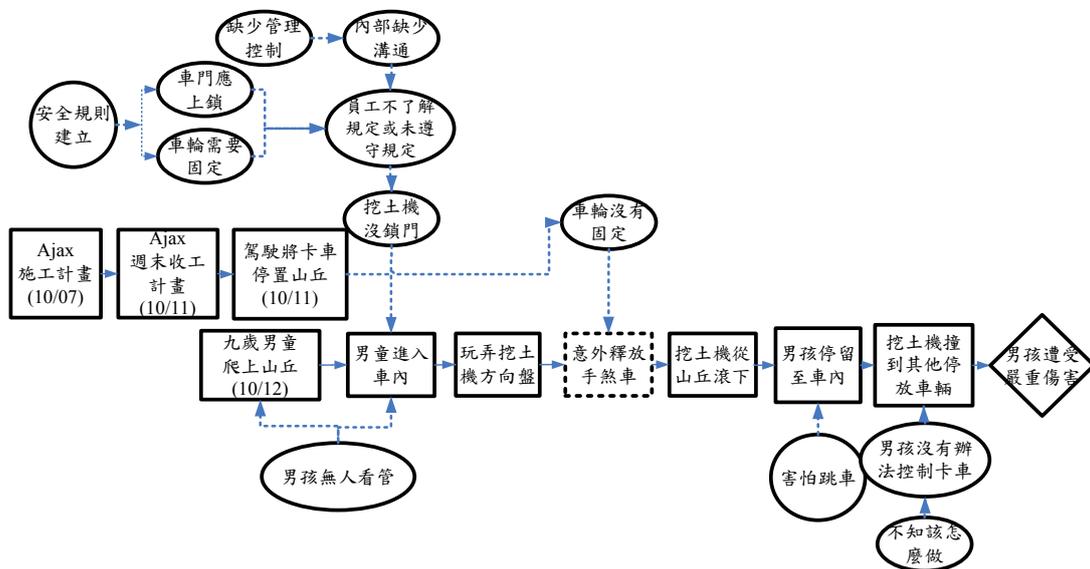


圖 7 觀景台施工事故

第四節 時間和事件序列圖(Sequentially Timed Events Plotting, STEP)

1987 年 Hendrick 和 Benner[1]發展 STEP 技術，以時間和事件序列圖建構意外事故發生時的情境，回溯意外事故中不尋常的事物，STEP 強調人與事件的關聯性，下述為 STEP 主要的概念[1] [7]：

1. 在同一時間內有多項事件同時發生，導致意外事故發生；
2. 利用建構方塊(Building Block)方法，協助資料收集，並且詳細敘述意外發生時的情境；
3. STEP 的工作表以箭頭說明事件的流向/時間事件順序。

STEP 表單中，直行代表人員 (Actor) 以及物件，橫列代表執行的動作 (Action)，如圖 8 所示，詳細的敘述事件經過，事件的相關人員只需敘述一次，即可清楚了解在意外事故中所扮演的角色。

圖 9 以交通事故案例說明 STEP 經由建構方塊，以系統化方式將所有與意外事件相關的人、事、物相互聯結，再依照意外發生時的順序排序。STEP 所列出之時間軸只是描述事件發生的順序，軸上刻度並不代表意外發生時的時間。STEP 圖表中，尚未考量安全相關的問題，如操作者未配戴安全防護具、機具維修不當等。因此，挪威工業技術研究院(The Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology, SINTEF)[7]也將安全問題納入考量，利用三角形符號放置在圖形上方如圖 9 所示並以虛線與事件聯結，每項安全問題都需進行深入探討，確認管理系統上失誤原因，提出改善建議。

進行意外事故分析時，有時無法將所需的證據收集齊全，這時可利用回溯法 (BackSTEP)，推論可能導致意外事故之事件由右至左依序推論，將缺乏之最小建構方塊補足。持續在每一項建構方塊依序詢問：本建構方塊是否由前一項方塊所導致、是否具有相關聯性，並引導下一項方塊。事實上，回溯法的觀念和 FTA

相同，都是以頂端事件推論到最終原因。

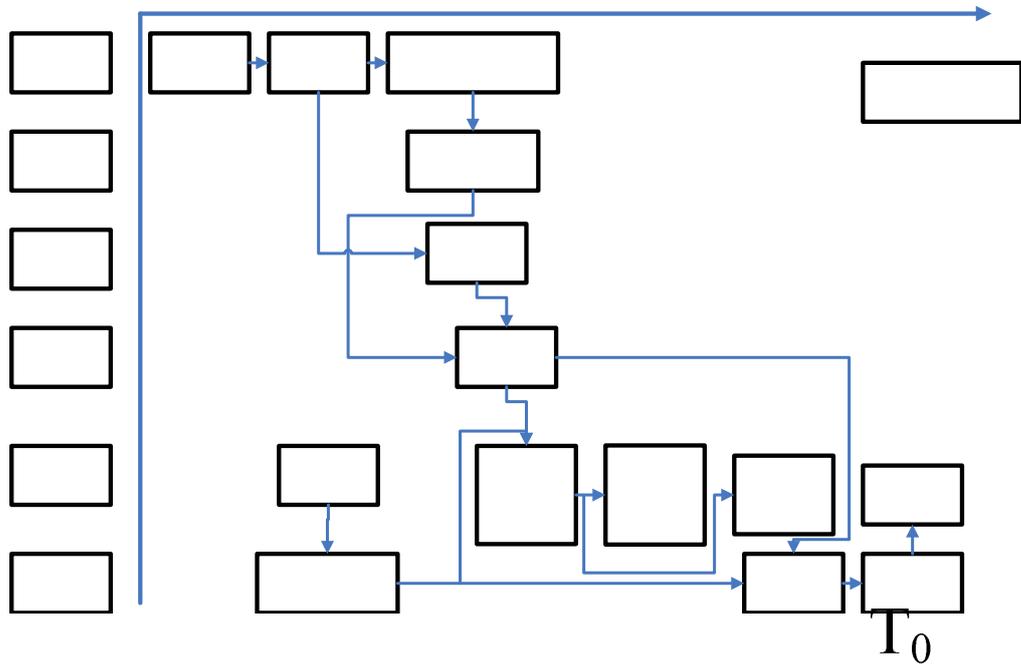


圖 8 STEP 交通事故案例

卡車司機

卡車司機
或鋼筋

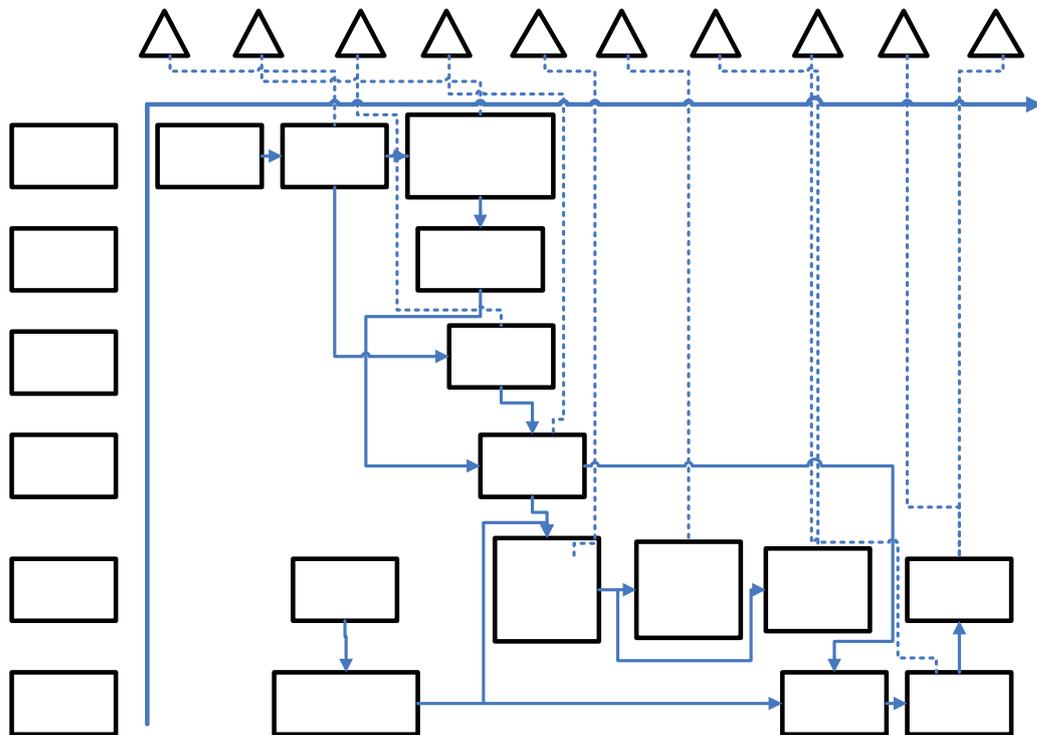


圖 9 STEP 交通事故案例重要性分析

第五節 TRIPOD 理論

TRIPOD 的概念起源於 1988 年，由殼牌國際石油公司在 TRIPOD：意外事故的預防基本原理書中提出，TRIPOD 原為加彭(Gabonese)一隻只有三條腿之狗名，因為疑似感染狂犬病遭到撲殺[13]。加彭殼牌公司是第一家參與該計畫之公司，由於 TRIPOD 理論主要基於三點：意外事故、不安全行為和基本原因，因此就命名為 TRIPOD，強調意外事故發生主要因子為組織上的失誤，多半伴隨著多種技術和人為失誤。

圖 10 為 TRIPOD 模式[7]說明意外事故的發生是由於管理系統不當所造成的 11 種基本風險因子 (Basic Risk Factor, BRF) 失效，導致不安全的行為產生，造成製程偏離以及安全防護屏障失效，引發意外事故[1][13]。

TRIPOD 列出 11 項基本風險因子，其中考量因子包含人為、組織和設備上的問題，如表 4 所示。藉由 11 項的基本風險因子的辨識，找尋意外事故發生的根本原因，事業單位可根據 TRIPOD 模式減少管理系統失效，預防意外事故發生。

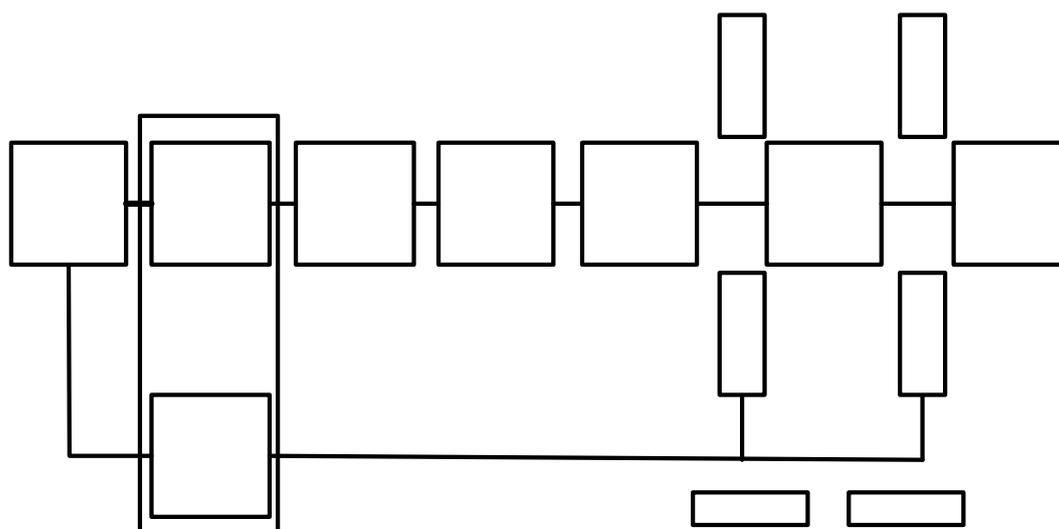


圖 10 TRIPOD 模式

表 4 TRIPOD 基本風險因子定義

項目	基本風險因子(BRF)	縮寫	定義
1	設計 (Design)	DE	工具與設備欠缺人因工程的考量
2	工具和設備 (Tools and Equipment)	TE	不良的品質、狀態、物質、工具、設備或是成分
3	維修管理 (Maintenance Management)	MM	欠缺或是不適當的維修和修護
4	現場管理 (Housekeeping)	HK	欠缺 5S 或 5S 執行成效不佳
5	錯誤執行狀態 (Error Enforcing Conditions)	EC	可能影響人員作業的狀態或影響因子
6	步驟 (Procedures)	PR	沒有依照程序、指引或是操作步驟
7	訓練 (Training)	TR	員工沒有經驗或是訓練不足
8	溝通 (Communication)	CO	在不同部門或是公司員工間溝通不足或是根本沒有溝通
9	不相容目標 (Incompatible Goals)	IG	一方面員工根據建立的規則選擇最理想的工作方式，在另一方面追求生產、財務、政治、社會或是個別目標
10	組織 (Organisation)	OR	組織架構上的缺點，如組織的理念、組織程序或是管理策略，導致無效之管理政策
11	防護措施 (Defences)	DF	缺乏或是不當防護措施，保護人、物質和環境因應操作上的干擾（偏離）後果

第六節 系統化原因分析技術(Systematic Causal Analysis Technique, SCAT)

Bird 和 Germain 於 1985 年發表損失因果關係模型(Loss Causation Model)的理念，並於 1989 年經由國際損失控制協會 (International Loss Control Institute, ILCI) 發展 SCAT 技術，最初 SCAT 用於協助職業傷害調查。SCAT 以 ILCI 損失因果關係模型為基礎，針對圖 11 中各項因子設計一系列查核表，利用查核表協助調查人員分析意外事故和計算損失，確保調查者完整檢視各個層面，表 5 為典型的 SCAT 查核表，表 6 引用台灣史谷脫紙業股份有限公司案例，論述 SCAT 查核表使用方式[1][7]。

ILCI 模式的原理和屏障理論相似，1.由於管理系統上之疏忽，造成第一張骨牌倒下，2.個人因素(Personal Factor)和作業因素(Job Factor)如精神狀態不穩定，造成第二張的骨牌倒下，3.直接原因為不符合標準的行為和不符合標準的狀態，例如未佩戴合宜的個人防護具，造成第三張骨牌倒下，4.如大量的化學物質外洩引發意外事故，造成第四張骨牌倒下，5.最後造成人員、財產之損失[1][7]。

SCAT 藉由 ILCI 模式建構了一系列查核表考量直接原因，內含 16 項不符合標準的行為和 13 項不符合標準的狀態，基本原因為 7 項個人因素和 8 項作業因素，並且提供 15 種事故類別。SCAT 相較於 FTA、MORT 等簡單易懂，易為事故調查人員使用，故廣泛運用在一般產業。但其最大的缺點為僅檢視安全系統存在與否，而無法檢驗其運作是否正常，查核表僅包含事先決定的選項，可能會遺漏其他原因。

表 7 為金百利公司運用 ILCI 理論，將既有的 SCAT 查核表中的直接原因聯結到間接原因，最後聯結到 9 項的系統需求，並且將 7 項個人因素和 8 項作業因素進一步的展開分析，細項說明列於附件一。

表 8 為 CCPS 事故原因分析表，運用的原理與 SCAT 和金百利公司的 ILCI

理論雷同，直接原因區分為 4 項的行為面和 4 項的狀態面，間接原因區分為 6 項個人因素和 9 項作業因素，矯正措施主要參考製程安全管理(Process Safety Management, PSM)區分為 13 大項。雖然 CCPS 將個人因素和作業因素歸納於為可能的系統原因(Possible System Causes)，但未了避免與先前的定義混淆，在此將 CCPS 的個人因素和作業因素分類歸納為間接原因，此定義與 SCAT 和前述的定義符合。整合性原因表列的直接原因和系統原因細分為多項，涵蓋層面相當廣泛，細項說明列於附件二[14]。

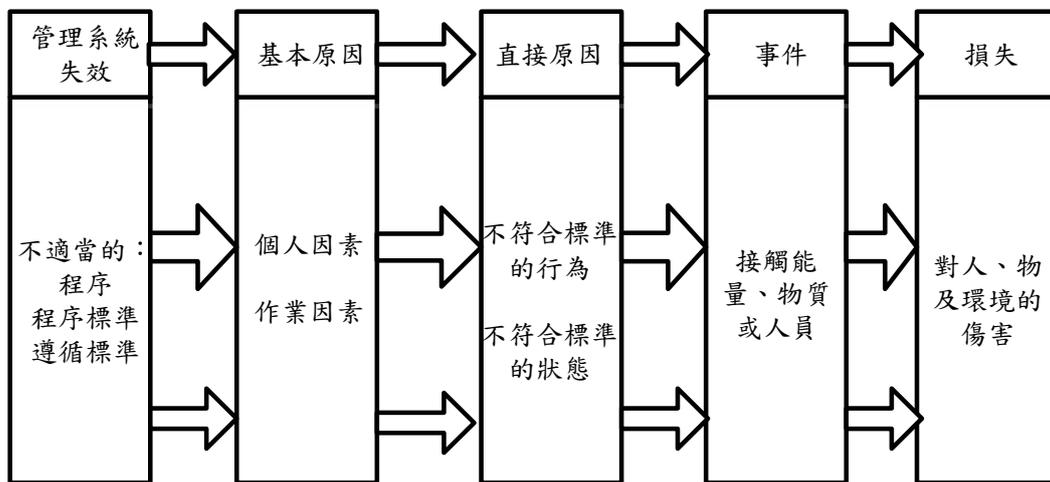


圖 11 ILCI 損失控制模式

表 5 SCAT 查核表

直接原因		
<u>不符合標準的行為</u> 1.未經許可操作設備 2.警告失效 3.防護失效 4.未按規定操作速度操作 5.使安全設備失效 6.使用有缺陷之設備 7.未適當配戴個人防護器具 8.承載不當 9.放置不當 10.搬運不當 11.職務配置不當 12.維修運轉中之設備 13.嬉笑玩鬧 14.受酒精或藥物影響 15.使用設備不當 16.未遵守操作程序	<u>不符合標準的狀態</u> 17.不適當的防護罩或柵欄 18.防護設備不足 19.有缺陷的工具、設備或材料 20.工作環境擁擠或行動受限 21.警示系統不足 22.火災及爆炸危險 23.管理不良: 失序 24.噪音暴露 25.輻射暴露 26.極端溫度(過高、過低) 27.照明不良 28.通風不良 29.危險的環境	
基本/間接原因		
<u>個人因素</u> 1.生理能力不足 2.心智能力不足 3.身體或心理壓力 4.精神或心理壓力 5.缺乏知識 6.缺乏技術 7.不正確的激勵	<u>作業因素</u> 8.不適當的領導統御 9.不正確的工程技術 10.不適當的採購 11.不適當的維修 12.不適當的工具或設備 13.不適當的作業標準 14.過度的磨損或損壞 15.濫用或誤用	
<u>接觸類型</u>		
1.碰撞	6.跌倒	11.冷
2.重物擊中	7.跌落	12.輻射線
3.墜入	8.用力不當	13.腐蝕劑
4.夾捲	9.感電	14.噪音
5.滑落	10.熱	15.有毒或有害物

表 6 SCAT 案例說明－1

意外事故調查報告		
廠區：○○○公司○○工廠		
報告日期：89/07/08	調查日期：89/07/04	事故發生日期：89/07/03
事故地點/廠區：○○製程區		
設備名稱：○○區西面 1 樓至 2 樓樓梯		
事故類型：(可複選) 職業傷害(個人傷害)： <input type="checkbox"/> 碰撞 <input type="checkbox"/> 重物擊中 <input type="checkbox"/> 墜落 <input type="checkbox"/> 夾捲 <input type="checkbox"/> 滑落 <input type="checkbox"/> 跌倒 <input checked="" type="checkbox"/> 跌落 <input type="checkbox"/> 切割 <input type="checkbox"/> 用力不當 <input type="checkbox"/> 感電 <input type="checkbox"/> 熱 <input type="checkbox"/> 冷 <input type="checkbox"/> 輻射線 <input type="checkbox"/> 腐蝕劑 <input type="checkbox"/> 噪音 <input type="checkbox"/> 有毒或有害物 工安事故： <input type="checkbox"/> 重大外洩事件 <input type="checkbox"/> 輕微外洩事件 <input type="checkbox"/> 微量外洩事件 <input type="checkbox"/> 爆炸 <input type="checkbox"/> 火災 <input type="checkbox"/> 違反安全許可規定 <input type="checkbox"/> 關鍵安全屏障失效 <input type="checkbox"/> 啓動最後一道安全屏障 <input type="checkbox"/> 嚴重的製程操作條件偏離 <input type="checkbox"/> 製程偏離 <input type="checkbox"/> 產品品質異常 <input type="checkbox"/> 生產中斷 <input type="checkbox"/> 廠外影響 虛驚事件：_____。其他：_____。		
事故簡述： 民國 89 年 7 月 3 日，○○工廠突然全面停電，一名操作人員爲了處理製程停電後可能斷水的問題，從三樓跑向一樓時，不慎從二樓至一樓之間的平台滾到一樓地面，左眼角上方破裂，身上多處擦傷及碰撞瘀青，受傷員工在工廠醫務室處理包紮後，立即被送往○○醫院，左眼角裂傷處縫合 16 針，其他傷口處理後，該員工即回家休養。 該天夜晚，該受傷員工腹痛發燒，經送醫院檢查發現脾臟破裂，必須住院進行手術。到目前爲止，已得知該員工已手術完畢，主治醫生說可以完全康復。		
相關背景資料： 1. 受傷員工爲一名有經驗的老員工，他在該區已經工作四年，在本廠共服務二十年，表現良好。事故發生時一手拿著手電筒，一手扶著手扶梯跑向一樓。		

表 7 SCAT 案例說明－2

相關背景資料(續)：

2. 過去幾年本廠之供應系統曾經因電擊及不明原因而停電數次，去年六月最後一次停電時，不斷電系統(Uninterruptible Power Supply, UPS)正常運作，但這次卻未正常運作。
3. 最近一次製程危害分析，確認出一項潛在的危害，並建議加裝一套設備預防洗滌塔溢流，此項作業尚未完成，受傷員工爲了關閉管路防止洗滌塔因停電而溢流。
4. 最近一次的製程管理稽核沒有提到萬一停電該怎麼辦。
5. 該樓梯未設置緊急照明，以前認爲在室外沒有必要。
6. 當時照明不佳，樓梯被遠處散射過來的停電照明光阻擋視線。
7. 該樓梯設計、建造均合乎標準，已使用十年沒出過問題。

事故原因調查，經由表 6 查核表由直接原因→間接原因

直接原因：

- 27.照明不良：未設置緊急照明燈，該員工一手拿手電筒，一手扶著樓梯扶手跑向一樓。

間接原因：

- 11.不適當的維修：UPS 失效；
- 13.不適當的作業標準：製程安全管理稽核沒有提到萬一停電該怎麼辦。

系統原因：製程安全評估結果沒有適當的考慮停電時該怎麼辦，分別爲：

- 沒有確認供電系統是否能穩定供電的問題；
- 沒有適當的考慮全面停電時，自動控制的安全系統運作後的緊急應變作業；
- 三年前製程安全評估檢討時，未檢討供電系統遭電擊及不明停電原因的根本問題；
- 先前的製程安全管理稽核及三年前製程安全評估都未考量現場緊急 疏散的問題。

表 8 金百利公司查核表範例－1

直接原因
<p><u>不符合標準的行爲</u></p> <p>1.未經許可操作設備 (查看基本原因：2, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 15)</p> <p>2.警告失效 (查看基本原因：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15)</p> <p>3.防護失效 (查看基本原因：2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15)</p> <p>4.未按規定操作速度操作 (查看基本原因：2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15)</p> <p>5.使安全設備失效 (查看基本原因：2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15)</p> <p>6.使用有缺陷之設備 (查看基本原因：2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15)</p> <p>7.未適當配戴個人防護器具 (查看基本原因：2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 12, 13, 15)</p> <p>8.承載不當 (查看基本原因：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15)</p> <p>9.放置不當 (查看基本原因：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15)</p> <p>10.搬運不當 (查看基本原因：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15)</p> <p>11.職務配置不當 (查看基本原因：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15)</p> <p>12.維修運轉中之設備 (查看基本原因：2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15)</p> <p>13.嬉笑玩鬧 (查看基本原因：2, 3, 4, 5, 7, 8, 13, 15)</p> <p>14.受酒精或藥物影響 (查看基本原因：2, 3, 4, 5, 7, 8, 13, 15)</p> <p>15.使用設備不當 (查看基本原因：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15)</p> <p>16.未遵守操作程序 (查看基本原因：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13)</p>

表 9 金百利公司查核表範例－2

直接原因
<u>不符合標準的狀態</u>
17.不適當的防護罩或柵欄 (查看基本原因：5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15)
18.防護設備不足 (查看基本原因：5, 7, 8, 9, 10, 12, 13)
19.有缺陷的工具、設備或材料 (查看基本原因：8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15)
20.工作環境擁擠或行動受限 (查看基本原因：8, 9, 13)
21.警示系統不足 (查看基本原因：8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15)
22.火災及爆炸危險 (查看基本原因：5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15)
23. 管理不良－失序 (查看基本原因：5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15)
24.噪音暴露 (查看基本原因：5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14)
25.輻射暴露 (查看基本原因：5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14)
26.極端溫度(過高、過低) (查看基本原因：1, 2, 3, 8, 9, 11, 12)
27.照明不良 (查看基本原因：8, 9, 10, 11, 12, 13)
28.通風不良 (查看基本原因：8, 9, 10, 11, 12, 13)
29.危害的環境 (查看基本原因：8, 9, 10, 11, 12, 13)

表 10 金百利公司查核表範例－3

間接原因
<p><u>個人因素</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1.生理能力不足(查看系統需求：1, 3, 4, 7) 2.心智能力不足(查看系統需求：1, 3, 4, 5, 7) 3.身體或心理壓力(查看系統需求：1, 3, 4, 7) 4.精神或心理壓力(查看系統需求：1, 3, 4, 5, 9) 5.缺乏知識(查看系統需求：1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) 6.缺乏技術(查看系統需求：1, 2, 3, 5, 7) 7.不正確的激勵(查看系統需求：1, 3, 4, 5, 7) <p><u>作業因素</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 8.不適當的領導統御(查看系統需求：1, 3, 4, 5, 7) 9.不正確的工程技術(查看系統需求：1, 3, 4, 7) 10.不適當的採購(查看系統需求：1, 3, 4, 7) 11.不適當的維修(查看系統需求：1, 3, 5, 7) 12.不適當的工具或設備(查看系統需求：1, 3, 4, 5, 7) 13.不適當的作業標準(查看系統需求：1, 3, 5, 6, 7) 14.過度的磨損或損壞(查看系統需求：1, 3, 5, 7) 15.濫用或誤用(查看系統需求：1, 3, 5, 7)
系統需求
<ol style="list-style-type: none"> 1. 管理階層的領導與承諾 2. 員工參與 3. 危害鑑別、預防與控制 4. 衛生 5. 安全衛生訓練 6. 緊急應變訓練 7. 意外事件/事故調查 8. 紀錄保存 9. 法規符合性審查

表 11 CCPS 事故原因參照表

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
間接原因	
<u>個人因素</u> 1. 生理能力 2. 身體狀態 3. 心智狀態 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
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

第七節 失誤樹分析(Fault Tree Analysis, FTA)

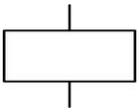
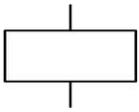
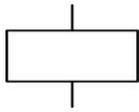
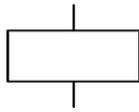
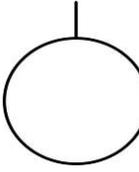
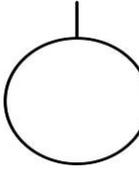
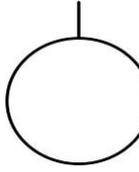
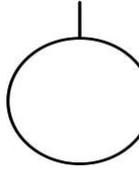
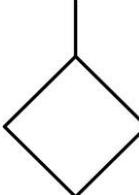
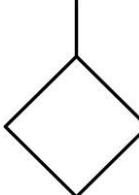
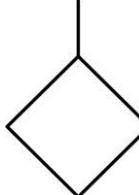
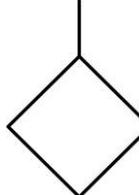
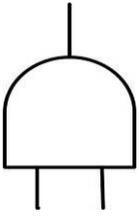
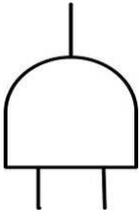
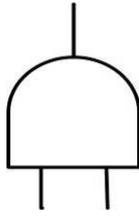
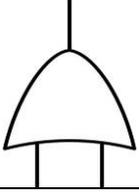
失誤樹分析方法的啓用原因爲美國航空工業及國防工業屢次發生事故，因此，美國空軍乃商請貝爾實驗室研究一套分析事故前因後果的方法，在事故發生之前，預先知道失誤的所在及其發生的機率。1961 年 H.A. Watson 和 A.B. Mearns 發展一套邏輯圖，以探討系統中所有可能導致不幸結果的失誤。失誤樹分析藉由辨識意外事件/頂端事件（Top Event）找尋根本原因，失誤樹是一種圖形模式，利用邏輯門判定何種失誤，如設備失誤、人爲失誤、環境因子所導致的意外事故，失誤樹分析可用於定量或是定性分析，也可以兩者兼具[1][7][15][16]。國際電機技術委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)爲世界上最具權威性的國際標準化機構之一，IEC 61025 已經訂定失誤樹分析的國際標準。失誤樹分析危害和量化風險評估的概念是：

1. 選擇分析的事件：決定頂端事件，應選擇嚴重性較高、問題較複雜的事件，這是最重要的階段，定義必須明確不可含糊不清。
2. 失誤樹的建立：
 - (1) 用於風險評估時：針對每一項可能因素予以分析，越詳細越好。
 - (2) 用於意外事件調查時：僅就現場概況、作業流程，決定與事故相關的因素，不能妄加推論，否則就不能稱爲事故調查。
3. 事件的因與果：下者爲因，上者爲果，樹的發展自上而下。上下的因果關係必須清楚，不可混淆不清。可在空格中以文字簡潔的註記，每一項因果只要是相關的都應詳細列出，否則將影響其可靠性及價值。
4. 失誤樹的完成：由上而下的分析過程中，必須儘可能利用已知的資料，發展新的資料。

FTA 從 1961 年使用至今，廣泛運用在發生後果嚴重性較高的工業如化學工業、核能電廠等，FTA 考量著重在設備面，且多方面考慮人爲、環境等影響因

子，但由於考量完整，使用 FTA 分析意外事故牽涉的範圍相當廣泛，樹的結構也會變得相對龐大、複雜。失誤樹分析的缺點是著重於設備的調查，容易忽略人為和組織管理上的問題；失誤樹分析方法依賴具有相當經驗的專家，但一般的事業單位，通常不具備有相關能力的人員使用這種系統性分析方法，並且一件失誤樹的完成需要花費極多的時間和人力，表 9 是邏輯樹方法之基本符號[17]。

表 12 邏輯樹基本符號

	FTA	MORT	WTA	CTA
一般事件(General Event)： 頂端事件、中間事件				
基本事件(Base Event)： 即為根本原因，不需要進一步分析				
未發展完整事件 (Undeveloped Event)： 未發展完成可能原因為： 1.低相關性或低風險 2.解決方案所需資訊或資源不足 3.當其他分析方法可提供相關資訊				
AND 閘			沒有邏輯門的符號，只運用簡單邏輯樹概念	
OR 閘				只有 AND 閘，沒有 OR 閘

第八節 管理疏忽與風險樹(Management Oversight and Risk Tree, MORT)

1960 年後美國原子能委員會企圖利用 FTA 邏輯應用於意外事故調查，而許多意外事故調查報告顯示 FTA 著重於設備失誤，反而忽略管理系統失效，因此委託 William Johnson 發展 MORT 技術，MORT 的依據是 FTA，但將系統和管理失誤納入考量，結合各種最佳可行性方法和安全管理系統概念[1][7]。MORT 是整合性分析程序，提供準則判定主要意外事件的原因和貢獻因子。

MORT 利用 FTA 的邏輯和概念，分析者不需重新建置邏輯樹，經由既存模式運作，摒棄分支和一些不相關事件。MORT 提供系統化的方法規劃、組織和整合意外事故調查，利用 MORT 分析，調查者辨識失誤在特定控制因素和管理系統因素，將這些因素加以評估和分析，進而辨識意外事故造成原因。MORT 基本概念如下[17][18]：

1. MORT 事件模式基本符號：大致和 FTA 邏輯圖形相似，除了新增波浪形的假設風險圖形，如表 10 所述。
2. 簡化：當證據收集完整和徹底了解 MORT 系統後，開始從頂端事件分析至基本事件。在分析過程中，分析樹會顯示資料證據不足之處，這時該判定是否該將未發展完全的事件以菱形表示，同時再進一步探討或是選擇特定事件深入探討。當所有相關證據充足時，分析者應在進行風險假設與風險決策之前，進一步簡化分析樹。
3. 邏輯：以演繹法方式分析意外事故之事件，MORT 用於分析、組織和提供系統化思考邏輯，協助找尋引發事故之根本原因。
4. 選擇邏輯門：選擇邏輯門及提供限制事項，提供系統真實的最佳描述。
5. 事件的名稱：事件的描述要簡單、清楚和扼要，且須充分的描述和了解分析樹的使用方式。分析者應避免抽象難懂的描述，或是在使用者不熟悉的情況

之下使用專有名詞或術語。此外，描述有關於人的事件時，應包含動詞如計畫、準備、控制和操作等，傳遞精確的輸出事件。

6. 階層限制：當分析之意外事故為較複雜時，限制 MORT 階層的數量為四階或五階。
7. 轉移符號使用：使用轉移符號避免重複辨識事項和簡化複雜度。
8. 門的辨識：不用編碼邏輯，使用數字或字母符號編排的命名只針對事件。邏輯門的辨識藉由輸入的事件，運作經由邏輯門並且產出特定的事件。因此不需要針對邏輯門予以特定的編號。
9. 優先順序：MORT 在單一階層中由左到右指出時間序列或是執行順序，呈現高階層的事件具有更大影響力，可影響頂端事件的發生。而較低層的事件為較詳細的貢獻因子。建構和使用分析樹時，以演繹分析方法從頂端事件開始，然後繼續進行從立即原因事件、中間事件到基本事件，源自時間序列鏈延伸到頂端事件的發生。如果分析者確實有效的完成分析工作，事件將會依循邏輯的順序發生。

MORT 需要經過專業訓練，才能有效的對複雜的意外事故進行深入分析 [19]。程序的第一步為選擇 MORT 圖形，調查者從頂端事件依序往下調查，一層接一層找出根本原因。事件應以特定顏色標示，當 MORT 分析結束，可藉由顏色的標註，輕易的判定何處需要進行矯正作業，預防意外事故再次發生，圖 12 的 MORT 分析流程中紅色標誌代表與意外事件確實有關聯，管理系統本身具有缺陷或是不太適當或不太充分(Less Than Adequate, LTA)；藍色標誌代表與意外事件確實有關聯，但資訊或技術不足以判定；綠色標誌代表與意外事件確實有關聯，但不造成影響，為可以容忍或忽略的事件。

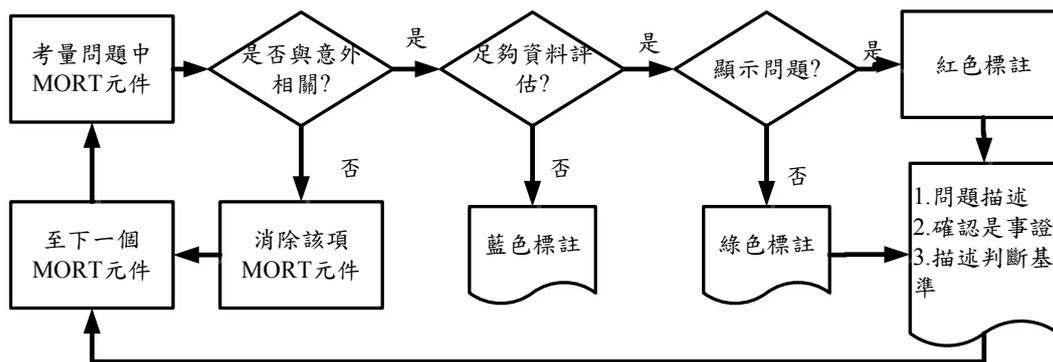


圖 12 MORT 分析流程

MORT 基本上為預設的邏輯樹，調查者可以利用制式的表單，找尋事故發生的根本原因，圖 13 為 MORT 的基本架構，說明如下：

1. 特定控制因子 (Specific Control Factor)：由左而右編列順序，考量可能影響意外事件之控制因子，如不良裝置等。
2. 管理系統因子 (Management System Factor)：不當的管理措施，如管理階層下達錯誤命令。
3. 假定風險 (Assumed Risk)：
 - (1) 經過評估且可接受的風險。
 - (2) 執行 MORT 初期，必須先確認可能發生的假定風險，並經過詳細評估。

表 13 MORT 事件模式符號

	符號	定義
波浪形		一般預測的事件，預測經由一般的系統運作自然發生。假定一些風險在主要操作上，所以也被稱做假定風險 (Assumed Risk)。

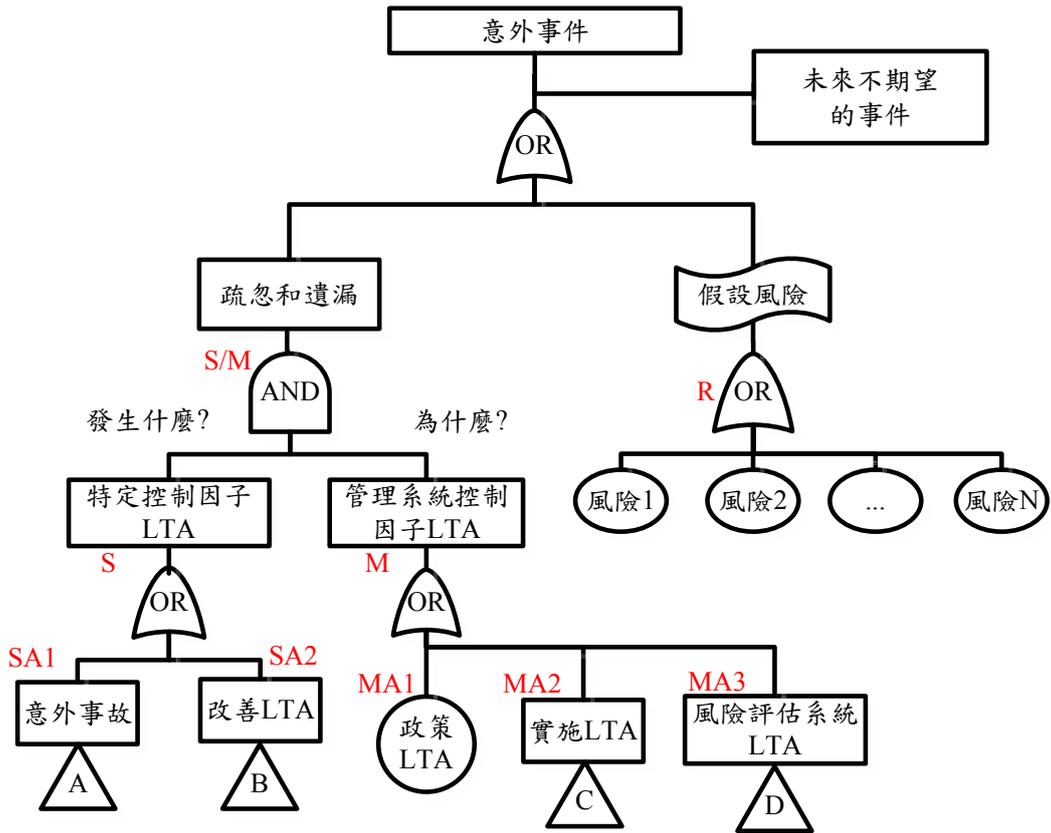


圖 13 MORT 基本架構

第九節 事件樹分析(Event Tree Analysis, ETA)

ETA 技術在 1975 年應用於核能電廠的安全與危害分析，並且在 1979 年應用至石化工業和煉油業，ETA 起初為風險分析之預測方法，而後也廣泛用於意外事故調查，藉由歸納法之理論，因而發現可能導致意外事件之起始事件 [1][7][20]。

ETA 技術，主要為著重於硬體安全屏障，意外事故的發生是由於一系列的安全屏障失效所導致的。以圖 14 為例[16]，事故的起始原因為易燃性物質因管線破裂外洩、CO₂ 滅火系統、手提滅火器以及防火裝置同時失效導致意外發生，引發重大火災。Marvin Rausand[21]認為 ETA 所述的安全屏障不單指硬體面的防護措施，如火災自動監測系統，也包含管理制度面的安全屏障，如程序與操作人員之行爲，並且考量附加事件或因子，如外洩氣體是否為易燃、意外發生當時是否有人員在場、意外發生時的風向等，放置在起始事件前端，做為條件考量。在 ETA 模式中，每種安全系統主要被區分為兩種狀態：成功或失敗，下述為 ETA 基本分析步驟：

1. 辨識和定義相關的初始事件；
2. 辨識和意外事故相關的屏障；
3. 建構事件樹；
4. 描述導致意外事件演變的事件序列或情境；
5. 決定意外事件發生的頻率和在事件樹中各分支的機率；
6. 計算機率或頻率以辨識後果；
7. 彙整和呈現分析結果。

ETA 優點為以情境鏈的方式，描繪意外事故發生順序，並且將各種與意外事件相關的安全屏障清楚列出，事故調查分析結束後，可針對失效的安全屏障進行改善。但 ETA 沒有提供一定的準則和架構，並且一次只能調查單一起始事件，

容易忽略一些難以描述的相关系統。最難之處為如何辨識屏障的先後順序，尤其是加入管理層因子和外加環境因子，辨識上更為困難。

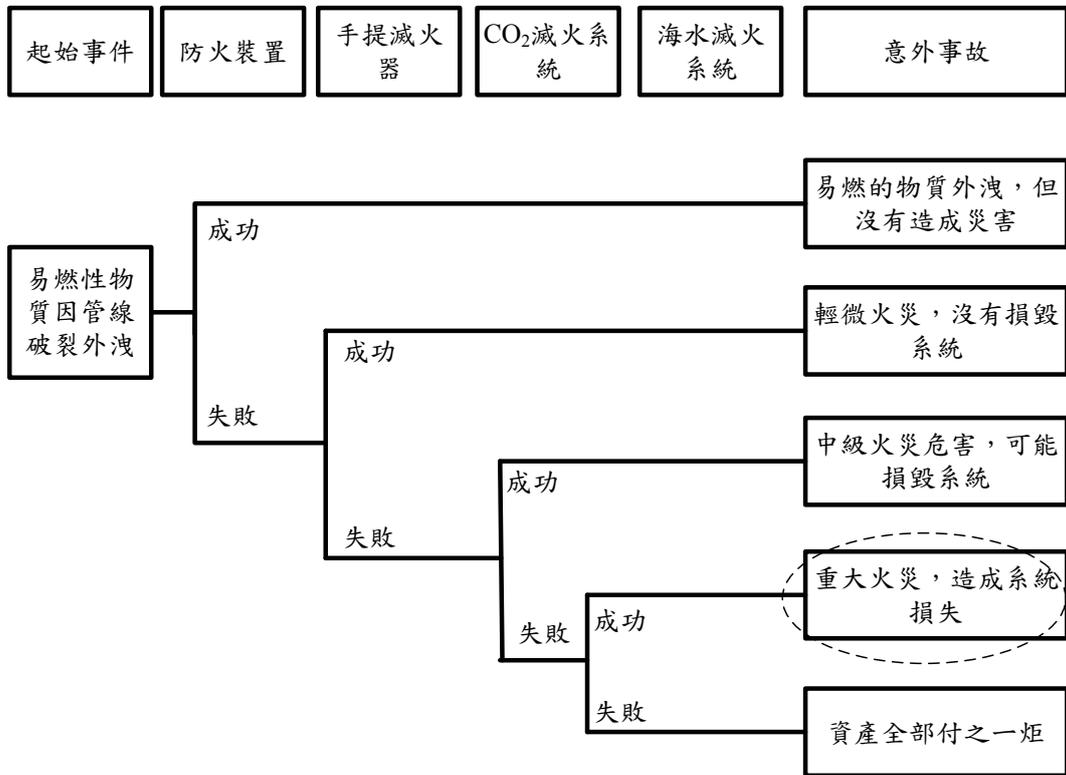


圖 14 ETA 易燃物外洩案例

第十節 為何樹分析(Why Tree Analysis, WTA)

為何樹分析技術可經由個人或小規模的調查小組，針對一件單純的事件予以調查，本方法的基本概念是藉由分析者不斷詢問「為什麼」大約五次，當樹的階層展開約略五次時，可能已經辨識根本原因，事實上並不強調一定要詢問五次，當分析者獲得滿意的答案即可停止。

為何樹分析提供簡單的方法描述原因和意外事故之交互影響，不斷詢問「為什麼」直到確認設備因素(Physical Factor)、人為因素(Human Factor)和系統原因因素(System Causal Factor)為止，圖 15 所代表的 WTA 基本模式架構，並於表 11 列舉氮氣窒息事故案例[22]，說明為何樹的執行架構，為何樹分析程式執行步驟可以歸納為下列九項[23][24]：

1. 決定為何樹的頂端事件；
2. 收集與事故相關資料並召開調查小組會議；
3. 商討事故資料的有效性，並且註記證據的相關說明；
4. 列出所有與事故相關的有效資料；
5. 決定優先順序，可經由調查小組討論何種事件為造成頂端事件發生的最可能原因；
6. 推演最優先的可能原因。開始詢問「為什麼」直到找到系統原因因子為止，一般而言，第一次到第二次「為什麼」可以找尋到設備因子，第三到第四次「為什麼」可以找尋到人為因子，第五次「為什麼」可以找尋到系統原因因子如圖 16 所示；
7. 驗證假設，並繼續推演；
8. 繼續推演次優先的可能原因，後續事件重複步驟 5 直到所有與意外相關事件都已經解釋清楚；
9. 完成分析圖表。

雖然為何樹分析技術簡單好用不需要建置邏輯門[6]，但有兩項重大的限制[11]：

1. 單一事件鏈：為何樹分析運用簡單直接鏈聯結，沒有枝節，也就是省略「AND」和「OR」門，缺乏枝節有助於以簡單的邏輯分析意外事件，但大部分的事件至少具備兩項以上的原因。
2. 錯誤的聯結鏈：如果其中之一的答案為錯誤的、疏忽關鍵因素或是考量不重要的因素，將會導致為何樹分析失效。

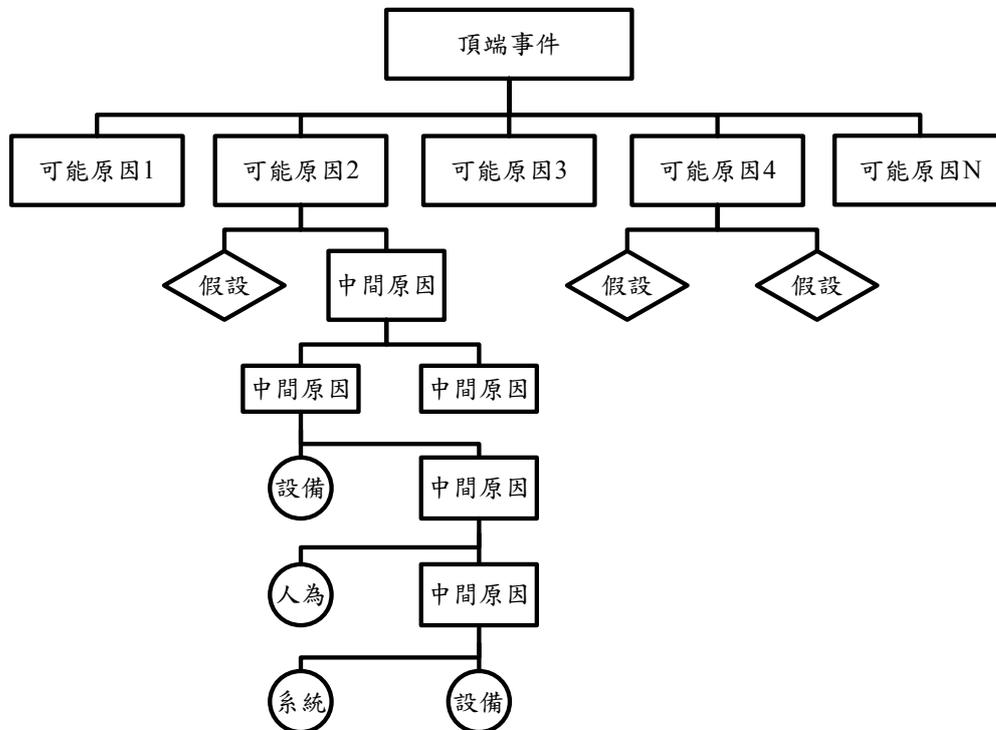


圖 15 WTA 基本模式架構

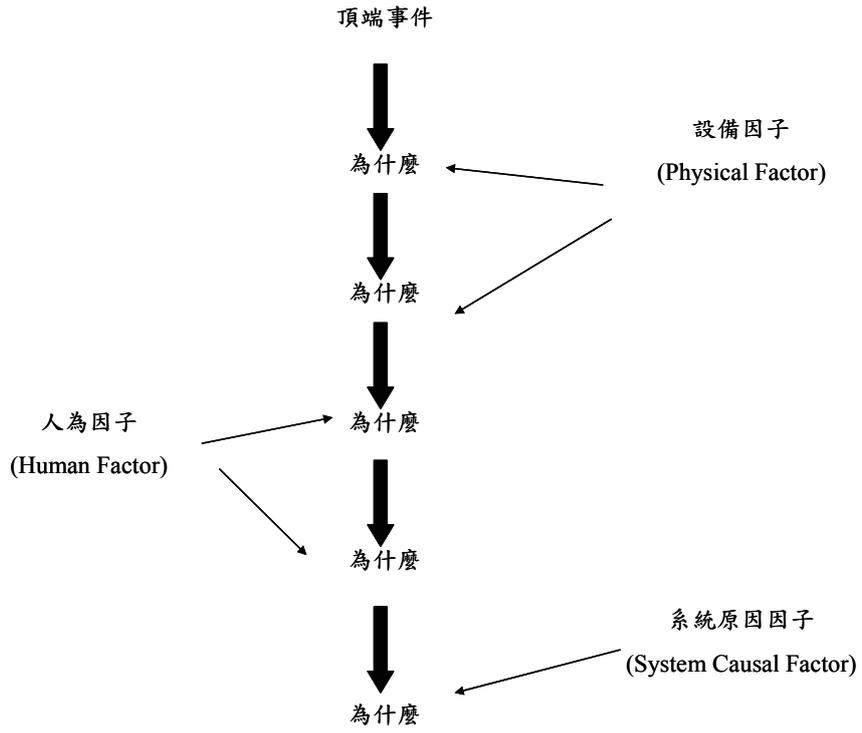


圖 16 決定詢問「為什麼」的優先順序

表 14 氮氣窒息事故案例－1

事故描述(①、③和④請見圖 17 Taft Oxide 單元製程流程圖)：

某工廠以乙烯+甲烷+氧經過觸媒反應製造環氧乙烷、乙二醇、乙醚醇等產品，事故發生時工廠停工進行年度保養六週，事故前幾天，製程中的加氧混合槽被拆下進行保養。反應槽內的觸媒也被更換，為了防止新觸媒受到潮濕空氣的影響，所以必須在反應槽內打進氮氣予以保護，氮氣是由③處打進管線。出事前兩天，承攬商技術人員 A 親自陪同工廠的操作技術員 B 到③處開啓氮氣閥門，他們都很清楚通入氮氣的目的是防止觸媒受潮。

加氧混合槽有南北兩處開口，用法蘭連接在 48 英吋的管線上，當加氧混合槽拆下時，管路上的法蘭開口用透明塑膠布密封以防止任何油漬或雜物汙染，因為加氧槽不得有任何油漬。

出事當天，承攬商在該製程服務 32 年退休的技術員 A 與該廠區維護技術員 B，一同去④處南北兩處開口上的法蘭進行黑光檢驗(檢驗油脂的一種方法)準備安裝加氧混合槽。A、B 兩員在上午 10：45 進入南面開口，為了遮擋強烈的陽光以利黑光檢驗，他們拆下透明塑膠布用黑色塑膠布罩在南面開口的法蘭上，在上午 11：35 他們完成南面開口法蘭的檢驗，接著 A、B 兩員以同樣的方法在北面開口的法蘭蓋上黑色塑膠布，做黑光檢驗，在該處下方等待安裝加氧槽的廠商人員與 A、B 兩員最後溝通的時間是中午 12：20，爾後，一位廠商人員從法蘭與黑色塑膠布後面呼叫，但無人回應，打開 PE 布發現 A 員已經昏迷，斜坐在 48 號管口，膚色慘白，B 員在到達醫院時已經死亡，A 員嚴重受傷住院五天才恢復健康。

背景資料：

1. 事故發生前兩天，A、B 兩員同去③處開啓閥門，將氮氣打入管線。
2. 氮氣是打到①處的兩處反應槽，目的是防止槽內觸媒受潮，A、B 兩員皆明瞭打入氮氣的目的。
3. 加氧混合槽的南、北開口原先用透明塑膠布密封防止外物/油污的汙染。
4. A、B 兩員拆下原先的塑膠布，改用黑色塑膠布遮蓋開口，再進入混合槽的南、北開口用黑光檢驗開口處是否有油污。
5. 測南開口時沒有任何異狀，測北開口時，A、B 兩員皆昏倒，不醒人事在黑色塑膠布內面，B 員頭部朝向管內，A 員斜躺在開口，B 員送醫後不治。
6. 兩員皆被準備進入工作的人員發現。
7. 兩員之一的 A 員是服務 32 年的退休人員，B 員為該廠維修人員，已在該廠服務 23 年。

表 15 氮氣窒息事故案例－2

發展為何樹分析步驟(完整的為何樹分析過程請見圖 18)：

1. 決定為何樹的頂端事件－氮氣窒息；
2. 收集與事故相關資料並召開調查小組會議；
3. 商討事故資料的有效性，並且註記證據的相關說明；
4. 列出所有與事故相關的事件－不知氮氣的危害、A、B 兩位人員均不知氮氣會從北開口釋放；
5. 決定優先順序－選定 A、B 兩位人員均不知氮氣會從北開口釋放；
6. 推演最優先的可能原因－A、B 兩位人員均不知氮氣會從北口釋放→忘記兩天前曾經開氮氣進入管線系統→.....→未依照侷限空間進入程序檢測空氣、穿戴個人防護具；
7. 驗證假設，並繼續推演；
8. 繼續推演次優先的可能原因；
9. 完成分析圖表。

事故原因：

1. 對製程設備加蓋或搭建物均屬製程變更管理的範疇，但卻疏忽而未對拆除管口加蓋塑膠布的變更，利用變更管理審查程式做適當的管控。
2. 侷限空間與氮氣危害均未妥當告知。
3. 兩位維修人員打開氮氣進入管線系統後，未設置警告標示在北端出口及主閥上。
4. 氮氣無色、無臭、無味，不用儀器量測，無法察覺。

建議事項：

1. 工廠建立製程安全管理程式，並以工作許可制度管制進入製程區的作業。
2. 對臨時在製程設備上用布遮擋或搭建任何構造物，均列入製程變更管理加以管制，以防類似事件再次發生。
3. 在所有桶槽入口、大型管路拆卸點和其他侷限空間之出入口，均貼上「危險，進入必須按照侷限空間進入程序」之標示。
4. 檢討維修保養作業，並確認管路系統之保養作業符合安全需求。
5. 在作業步驟中新增「氮氣的安全使用」，並且提供員工相關教育訓練。

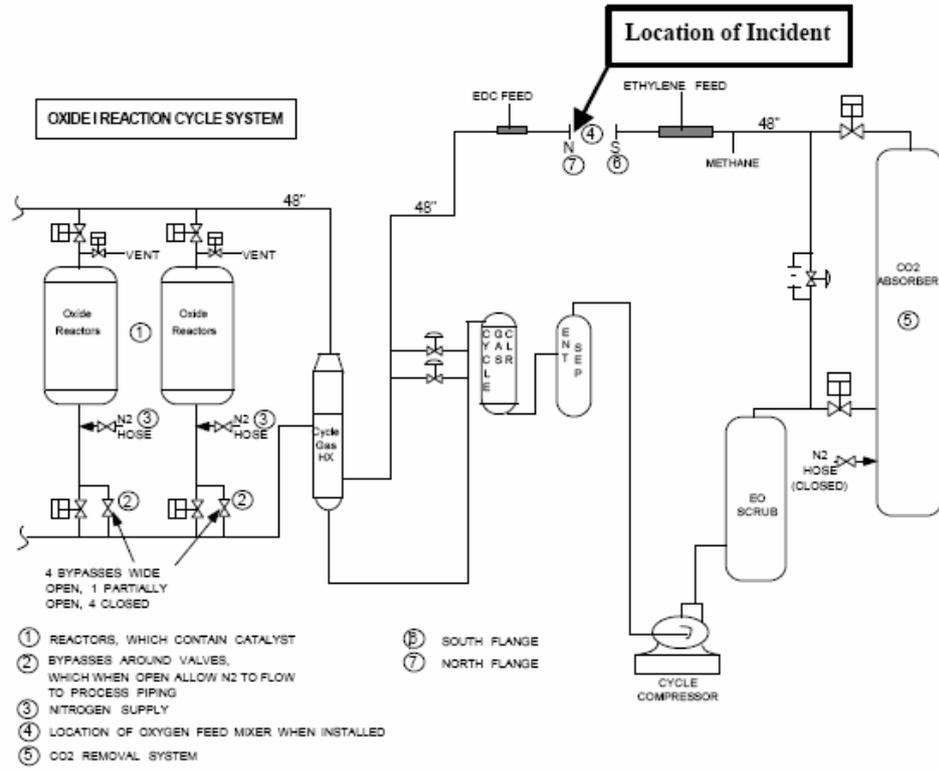


圖 17 Taft Oxide 製程

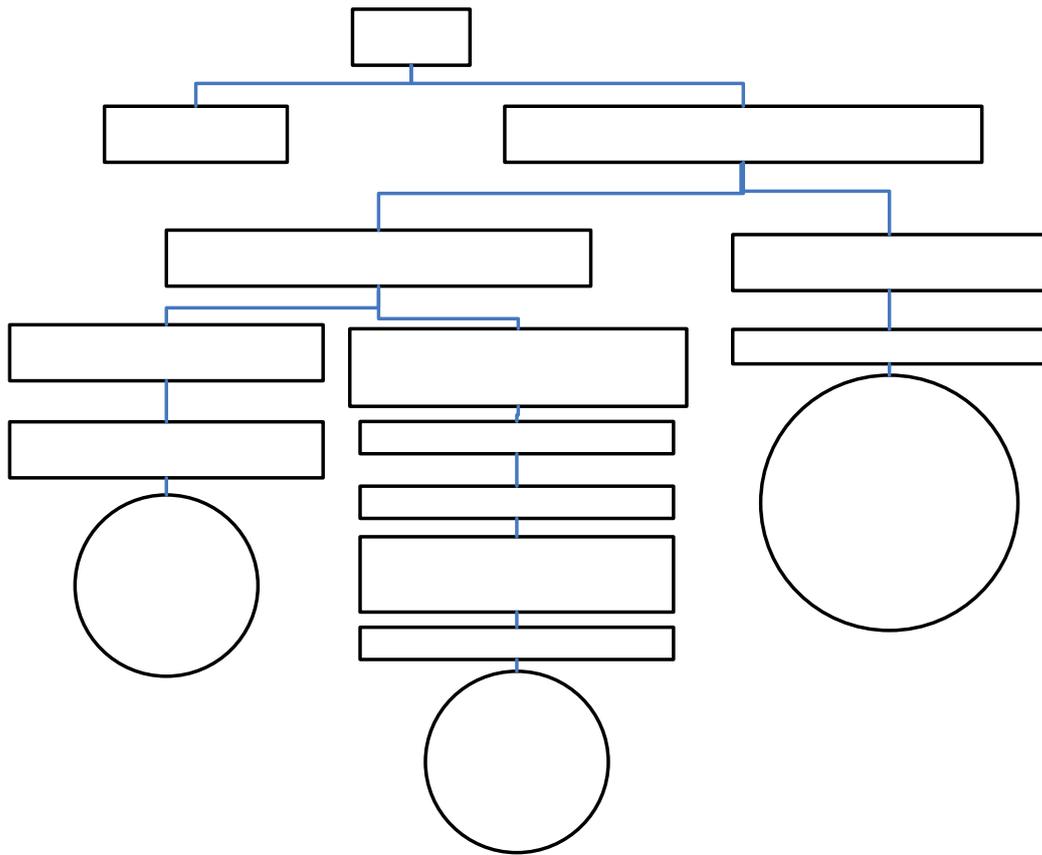


圖 18 氮氣窒息事故

不知氮氣的危害

忘記

沒有建立管線
維修作業程序

第十一節 原因樹方法(Causal Tree Analysis, CTA)

CTA 最初於 1983 年為某企業應用於安全、程序安全和環境意外事件調查，主要是利用演繹的邏輯。本方法基本的理論為意外事故發生是由於正常操作程序發生改變或變化，分析者必須定義系統中的改變，陳列所有的改變，組織這些改變於圖表中並且定義改變事件的相互關係。不同於失誤樹分析，原因樹分析去除 OR 邏輯門及以較容易的方式調查事故，本方法只有 AND 邏輯門，圖形藉由簡單規則和特定事件建構成相關關係。CTA 的另一名稱為多重原因、系統導向事故調查(Multiple-Cause Systems Oriented Incident Investigation, MCSOII)。大部分公司使用本方法作為複雜事故調查，當作簡化的失誤樹版本[1][6][11]。

在意外事故調查程序中，本方法提供從資料收集到後續的改善措施，CTA 需要藉由現場作業主管、目擊者、工安人員、工安委員會、決策者和一些有經驗人員共同調查。調查小組首先需要選擇資料並且重新建構意外事件，本方法規定以書面的方式總結，而不是以圖表的方式陳述，每一項證據應為單一事件或狀態。

原因樹的建構從意外事件當作起始點，調查小組選擇貢獻於此事件發生的證據，在同一層級的調查中，必須回溯於前置事件，是否誘導前置事件發生的原因都已考量清楚，如果調查小組同意，就可以進行下一階層。調查小組可以經由詢問下列三項問題，驗證是否考量周全：

1. 是什麼原因所導致？

調查小組檢視所有的證據，下述兩項問題可提供協助，如果這項的證據有遺漏，加註證據的可靠性。

2. 什麼是導致結果的直接必要原因？

只有陳列直接導致意外事件的原因，在 CTA 裡只有 AND 閘沒有 OR 閘，所以本方法只針對已經確切的事實進行調查分析，並未考量可能的促成因素。

3. 這些因素是該結果發生的充分條件嗎？

如果答案是「否」，則繼續尋找其他因素，如果答案是「是」，則進行下一階段的分析。

第十二節 整合性意外事故分析方法

本節介紹美國化學製程安全中心最常用的兩種意外事故調查方法架構，CCPS 整合多種事故調查技術，以系統化事故調查方法，判定意外事故之根本原因。

1. 運用邏輯樹判定根本原因：運用邏輯樹判定根本原因依循系統化概念，收集證據、資訊、洞察問題和初步揣測[6]。
 - (1) 證據收集：利用時間序列等工具，協助證據收集、判定造成因素。
 - (2) 發展時間序列圖：多數調查者利用簡單時間序列或是序列圖與邏輯樹方法相互結合，因為邏輯樹本身已具備顯示事件與狀態之間的相互影響。
 - (3) 發展邏輯樹：以系統化架構找尋根本原因如 FTA，並且可以利用證據假設矩陣檢視分析結果之正確性，是否分析結果與證據相符合。
2. 運用預設邏輯樹判定根本原因：運用已定義之邏輯樹判定根本原因，本方法不但具備系統化概念收集證據、資訊等優點外，並且利用時間序列的方式收集資料，以避免遺漏、證據錯誤[6]。
 - (1) 證據收集：可經由訪談、文獻回顧等作為初步調查，初步收集的證據也許其中會有些缺失或錯誤。
 - (2) 發展時間序列：以時間序列的方式陳述事件發生的情境，利用技術如 ECFC 和 STEP。當事件牽涉層面較於複雜時，可運用屏障分析和變更分析，作為證據收集的輔助工具，確保資料更加完整。
 - (3) 造成因素：經由真實情境發展時間序列後，下一階段為判定造成因素，藉由證據/假設矩陣(Fact/Hypothesis Matrix)判斷證據，為決定造成因素前重要的工具。造成因素包含人為失誤和設備失誤兩種，也可以是不期望的狀態。

態和屏障失效。

- (4) 預設邏輯樹：造成因素必須更進一步探討其發生原因，調查小組藉由預設邏輯樹技術檢視個別造成因素，找出根本原因，且藉由運用為何樹工具在樹的相關支節上。

上述證據收集程序(1)–(3)，彼此之間是相關的。一般而言，屏障分析和變更分析為協助證據收集審查、檢視，可確保有效的辨識所有造成因素。

第十三節 作業事故調查技術(Work Accidents Investigation Technique, WAIT)

WAIT 技術是以理論性原理和經驗為依據，目的為協助事業單位職業災害的調查，本方法考量完整有助於調查分析職業災害和虛驚事件。WAIT 以圖 19 組織事故原因模式(Organisational Accident Causation Model)為基礎，強調事件發生的原因是從潛在的組織狀態(Organisational Conditions)到工作場所因子(Local Workplace Factors)，以及哪些人員因子造成不安全的行為。設備失誤和不適當的防護設備為導致意外事故發生的直接原因，也是構成意外事故最立即和顯性的因子。而有些不安全的行為會破壞設備或防護系統，但其背後隱含著潛在不良的管理系統狀態所導致不符合標準或不安全的行為產生，多半在一起重大意外事故發生之前，已有多起的虛驚事件徵兆[25]。

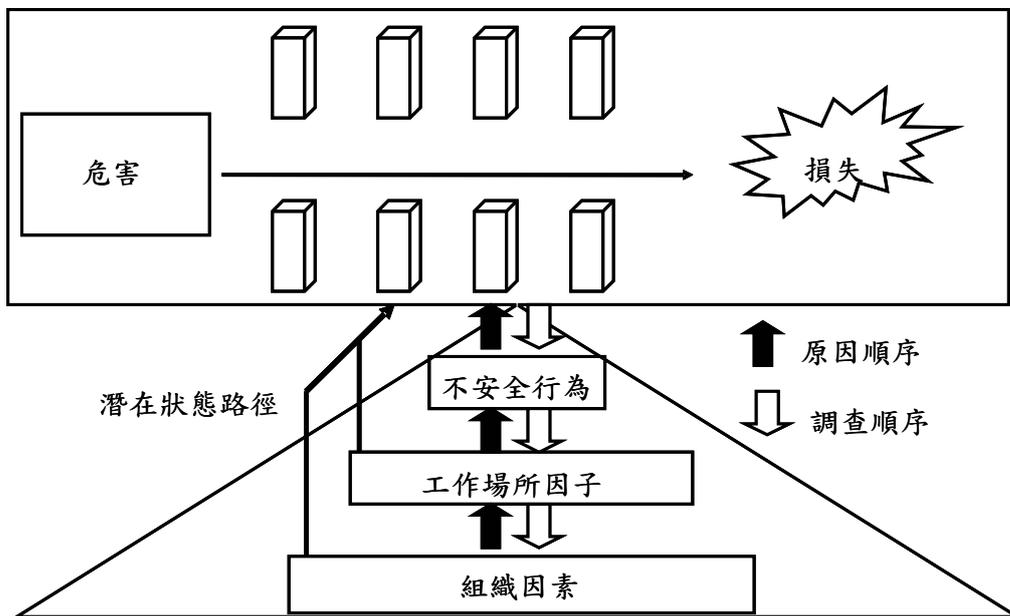


圖 19 組織事故原因模式

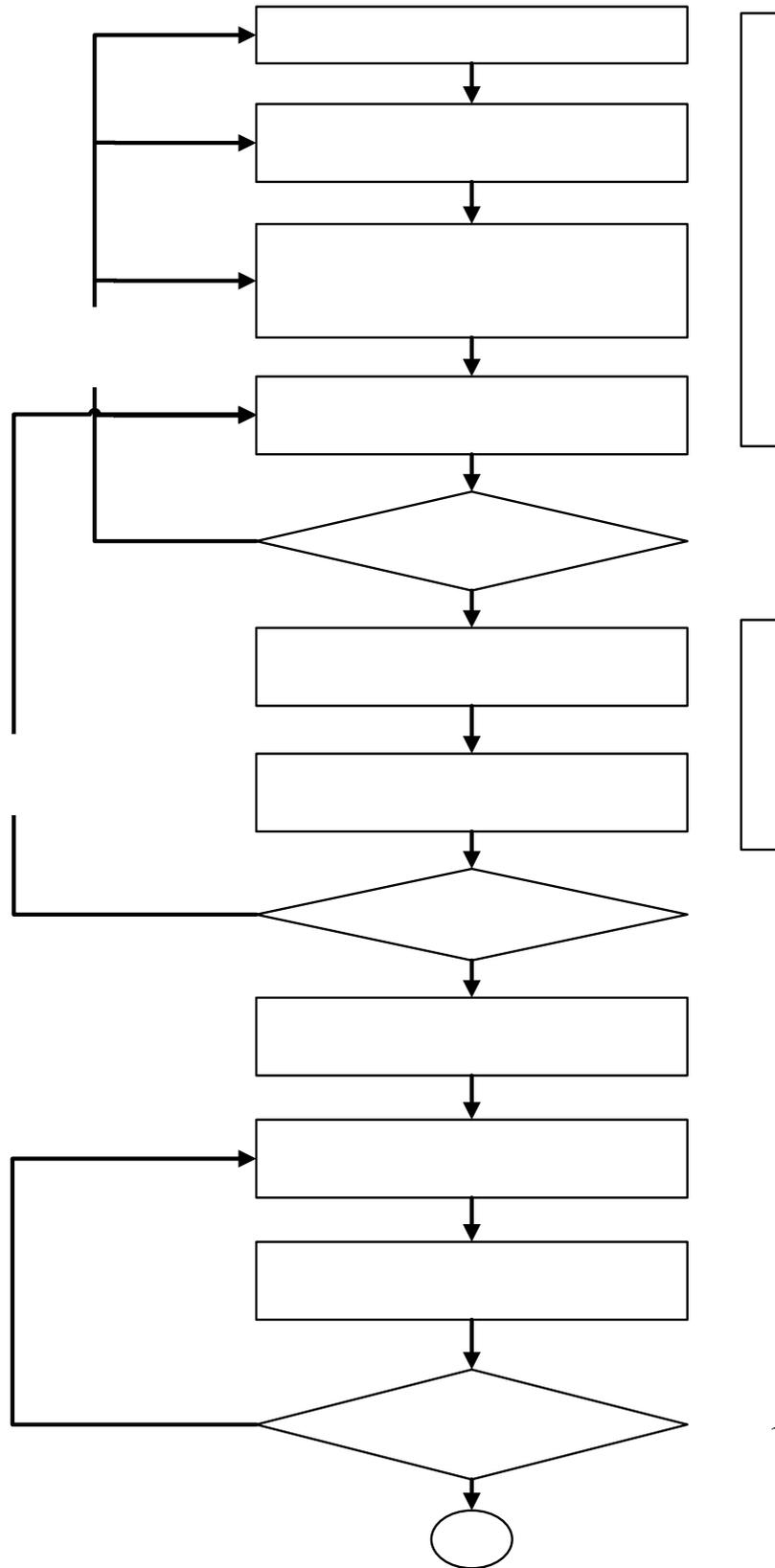
WAIT 程序由九項步驟所構成，其中事故調查可以區分為初步調查和深入調查兩部分。初步調查，著重於法律責任的通報和一些隨時間消失證據的收集。深入調查，可說是全面性的調查，調查範圍涵蓋組織上所有可能缺失和狀態的辨識及分析，調查程度已經超過法令要求，圖 20 為 WAIT 執行步驟，詳細說明如下：

1. 收集資料：收集顯而易見的資料，並藉由現場人員的初步訪談收集證據。接受訪談的員工應提供本身對意外事故的見解和描述，並且使用 WAIT 的標準訪談問題指南。標準訪談問題指南可協助調查者發掘一些較不明顯的證據，並且誘導、察覺更進一步的資訊。
2. 辨識所有顯性失誤：經由所有可能的分類如人、設備、危害和自然現象等，決定哪些事件為顯性失誤，並且 WAIT 提供分類的查核表以供判定。
3. 辨識影響因子：藉由每一項顯性失誤找尋相關的影響因子。
4. 與相關的風險評估方案比對：比較、核對事業單位內所有與顯性失誤和影響因子相關的風險評估方案，確認是否既有風險評估已經考量造成事件的危害因子，如果與事件相關風險都已考量，接著詢問為什麼風險評估方案會失效，造成意外事故的發生。無論是否已有風險評估方案，都需重新審視、建立更加完善風險評估方案，與相關的風險評估方案比對時，也許會發現先前忽略的顯性失誤和影響因子。
5. 分析個人與作業因子：經由顯性失誤和影響因子找尋更進一步的造成因素，尋找人為因子，其中包含個人與工作因子或是工作系統，可以參考 WAIT 所提供的分類原則，用於判別個人與工作因子。
6. 分析組織與管理狀態：找尋到人為因子後，進一步的分析組織與管理狀態，也許可以解釋為什麼之前的狀態會發生，利用分類原則，協助辨別系統缺陷。
7. 與健康和安全管理系統聯結：當辨識組織或管理系統缺失後，可將事故原因聯結至事業單位內部的管理系統，如果事業單位本身未設置安全管理系統，則可參考 OHSAS 18001 管理系統架構，判斷系統可能存在的缺失。
8. 提供建議：根據分析結果，提出改善建議和計畫，完整的建議包含(1)執行方

式、(2)責任劃分、(3)預期完成時間、(4)經費或其他資源評估、(5)改善建議衍生的效益、(6)優先順序。

9. 找尋正面的影響因子：以不同的觀點重複分析，找尋是否有其他正面的影響因子(Positive Influencing Factors)。如有需要，應以新的觀點、看法重新訪談證人，所謂正面的影響是指員工能感受到政策、措施的成功並且了解其重要性。

WAIT 所提的顯性失誤和 SCAT 分類的直接原因的觀念是相同的，而分析個人與作業因素類似 SCAT 分類的間接原因，分析組織與管理狀態則有助於確認事故發生的根本原因。



審查分析結果
需要應收集

圖 20 WAIT 執行步驟

第六章 系統化事故調查方法

既有的意外事故調查方法相當多元，各有其應用範圍和優缺點，雖然有些專家學者認為 FTA 和 MORT 等技術，可以單獨運用於調查意外事故的根本原因，但使用時需要具備高度專業能力，無法簡易地使用於一般事業單位。本研究根據 I. S. Sutton 的六項步驟建構意外事故調查流程，將第五章所述的 13 種事故調查技術依據各技術的特性及適用範圍整合與歸納於六項步驟中，研擬一套適合國內意外事故調查方法，命名為原因與衝擊分析(Cause and Impact Analysis, CIA)如圖 21 所示。

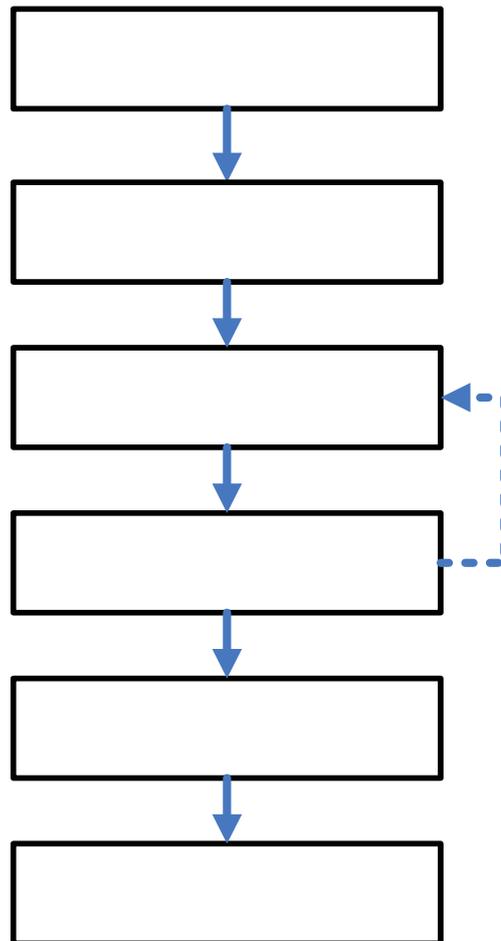


圖 21 原因與衝擊分析意外事故調查流程

第一節 初步調查

一旦緊急應變結束後，事故調查小組應立即進行初步的蒐證工作。由於證據不易保存，所以初步調查小組的主要責任為確保一些易隨時間消失或是敏感的資料能夠合宜的保存，並且儘可能快速地完成調查工作。

一、提報意外事故

大部分的事件並不需要事業單位提報主管機關，但是當發生下述狀態時，則必須提報主管機關：

1. 依毒性化學物質管理法第二十四條，有下列情形之一者，運作人應立即採取緊急防治措施，並至遲於一小時內，報知直轄市、縣（市）主管機關[26]：

(1) 因洩漏、化學反應或其他突發事故而污染運作場所周界外之環境。

(2) 於運送過程中，發生突發事故而有污染環境或危害人體健康之虞。

有前項各款情形時，中央或直轄市、縣（市）主管機關除採取必要措施外，並得命其停止與該事故有關之部分或全部運作。第一項第二款運送過程發生突發事故時，運作人或所有人應至遲於兩小時內派專業應變人員至事故現場，負責事故應變及善後處理等事宜。第一項運作人除應於事故發生後，依相關規定負責清理外，並依規定製作書面調查處理報告，報請中央或直轄市、縣（市）主管機關備查；其報告之格式、內容、應記載事項及其他應遵行事項之準則，由中央主管機關定之。

2. 依空氣污染防治法第 32 條，公私場所之固定污染源因突發事故，大量排放空氣污染物時，負責人應立即採取緊急應變措施，並於一小時內通知當地主管機關[27]。

3. 依據勞工安全衛生法第 28 條，事業單位工作場所如發生職業災害，雇主應立即採取必要急救、搶救等措施，並實施調查、分析及作成紀錄。事業單位工作場所發生下列職業災害之一時，雇主應於二十四小時內報告檢查機構[28]：

- (1) 發生死亡災害者；
- (2) 發生災害之罹災人數在三人以上者；
- (3) 其他經中央主管機關指定公告之災害。

檢查機構接獲前項報告後，應立即派員檢查。事業單位發生第二項之職業傷害，除必要的急救、搶救外，雇主非經司法機關或檢查機構許可，不得移動或破壞現場。

除了上述法令約束外，國內事業單位公司內部多半也會提供相關的事故通報程序，表 12 提供常用事故通報單案例[11][29]，發現事故的員工可以利用表單上的項目先行記錄。表 12 事故通報單案例細項說明：

1. 發生時間：大部分的事故是瞬間的事件，為立即、短暫的時間，應詳細陳述事故發生的時間及記載與事故相關的背景資料，並依照時間順序排列。
2. 發生地點：儘可能的詳細描述事件發生的位置，避免含糊不清。
3. 事件摘要：經由初步的證據收集和分析，描述事件的發生，本階段最主要的目的為收集立即的資訊。
4. 事故類型：在過去的事故調查和我國相關的法規中，將所有工作場所發生的事故通稱為職業傷害，但依據意外事故的發生特性應該有所區別，以下將事故類別區分為三大項。
 - (1) 職業傷害(Occupational Accident)：泛指作業本身的事故，如碰撞、滑落等，通常只會牽涉於個人傷害，不會造成重大的工安事故。
 - (2) 工安事故(Process Accident)：工安事故的發生多半牽涉一連串的製程偏離和安全防護屏障失效，如爆炸、火災等，通常會造成重大財務損失和人員傷亡。
 - (3) 虛驚事件：具有潛在危害的事件，只是僥倖沒有造成傷害，一但發生災害可能為職業傷害或是重大的工安事故。
5. 人員傷亡和/或財產損失估算：初步報告中並不需要詳細和正式的分析損失後果，但是初步的報告需包括個人損傷、財產損失的初步估算。

6. 事件所牽涉的人員：將事件發生時所有相關的人員詳細紀錄，以安排後續與相關人員晤談。
7. 採取行動：包括立即矯正措施和緊急處理，所有的措施應記錄於初步報告中，因為這些措施也許會影響後續分析的結果。
 - (1) 立即矯正措施：爲了避免事件繼續擴大，現場作業人員必須採取立即的行動如關閉設備、移除設備等。
 - (2) 緊急處理：目的爲預防意外事故持續惡化，下述提供一些緊急處理動作以供參考，先行處理下續動作後再進行後續調查程序：
 - A. 應先保護自身安全，而後再以救人爲優先。
 - B. 若有傷患應立即通知廠區急救人員進行初步處理，假若傷勢嚴重，則應迅速通知醫院進行治療。
 - C. 事故單位應控制現場，預防二次災害發生。
 - D. 事故單位未接獲主管同意前，除必須之急救、搶救外，應保持現場的完整性，必要時應施行隔離管制。
 - E. 其他相關資料：如初步收集證據的手寫草稿、照片、工程文件及醫療報告等。

表 16 事故通報單案例

事故通報單				
報告時間： 年 月 日 時 分				
報告人：		單位：	分機號碼：	
一.發生時間： 年 月 日 時 分				
二.發生地點：				
三.事故摘要：				
四.事故類型：				
職業傷害：				
<input type="checkbox"/> 碰撞 <input type="checkbox"/> 重物擊中 <input type="checkbox"/> 墜入 <input type="checkbox"/> 夾捲 <input type="checkbox"/> 滑落 <input type="checkbox"/> 跌倒 <input type="checkbox"/> 跌落 <input type="checkbox"/> 切割 <input type="checkbox"/> 用力不當 <input type="checkbox"/> 感電 <input type="checkbox"/> 熱 <input type="checkbox"/> 冷 <input type="checkbox"/> 輻射線 <input type="checkbox"/> 腐蝕劑 <input type="checkbox"/> 噪音 <input type="checkbox"/> 有毒或有害物				
工安事故：				
<input type="checkbox"/> 重大外洩事件 <input type="checkbox"/> 輕微外洩事件 <input type="checkbox"/> 微量外洩事件 <input type="checkbox"/> 爆炸 <input type="checkbox"/> 火災 <input type="checkbox"/> 違反安全許可規定 <input type="checkbox"/> 關鍵安全屏障失效 <input type="checkbox"/> 啓動最後一道安全屏障 <input type="checkbox"/> 嚴重的製程操作條件偏離 <input type="checkbox"/> 製程偏離 <input type="checkbox"/> 產品品質異常 <input type="checkbox"/> 生產中斷 <input type="checkbox"/> 廠外影響				
虛驚事件：_____。其他：_____。				
五.人員傷亡和/或財產損失估算：				
A.人員傷亡估算				
姓名	單位	職稱	受傷部位及傷勢	目前情況
				<input type="checkbox"/> 已恢復工作 <input type="checkbox"/> 回家休息 <input type="checkbox"/> 送醫治療
B. 財產損失估算				
名稱	數量	單價	備註	
六.事故牽涉人員：				
(如現場作業人員、承攬商、目擊者等)				

七.採取行動：				
(如立即矯正措施、緊急處理等)				

八.其他相關資料：				

事業單位負責人	環安單位主管	事故單位主管	報告人	

二、初步蒐證

證據收集必須小心謹慎，確保所有相關的證據經過完整考量，並以客觀的態度調查，附件三詳列進入事故現場所需考量的個人裝備和保護裝備以及意外事故調查小組用品，提供調查人員參考。一般而言在證據收集部分可以區分為三大類[7]：

1. 人爲性證據：人爲因子在意外事故中極具關鍵，只要可能與意外相關的人員，都應考慮是否該進行進一步的晤談，因爲相關的間接人員也許會注意到意外事故中一些不尋常的相關資訊如目擊者的陳述，甚至連未直接參與的人員如承攬商、守衛或運輸公司等。
2. 物理性證據：所有與意外現場相關的資訊如設備、零件和硬體殘骸等，在移動任何物品前，必須先拍照存證及量測，破碎的設備、殘骸和原料的樣本，必要時可由專家做進一步的分析。
3. 文件性證據：包含手寫文件和電子資料如設備紀錄、報告、作業程序和相關文件等。

收集人爲性證據爲一項費時、費力的工程，證人也許會提供不確實或是不完整的證詞，由於每位人員對於事故的認知角度不同，也會影響證詞。調查人員可藉由重複審視每位證人的證詞，發覺意外事故的確切事實；物理性證據也許會受到嚴重的破壞而收集不易；文件性證據可能牽涉公司內部作業不易取得，下述是初步蒐證的作業步驟[11]：

1. 首先，快速地瀏覽事故現場，收集易受環境、空間、時間影響的資料如氣象條件及取樣。在一些司法程序中，意外事故現場在政府機關許可之前是不能進入的，這時可以先確認表 13 先行調查項目中事故現場的狀態[30]。
2. 保存實質的物證，於現場拍照存證。在移動任何物品之前，必須先行拍照量測，完整的將意外事故發生現場保存，有利於後續的調查，並且有助後續書面報告的可讀性。受損的設備、殘骸和原料的樣本，必要時可由專家做進一

步的分析。

3. 辨識所有目擊證人，在一些情況下，目擊證人為最初資料來源，因為也許不能立即調查意外事故現場。證人應儘可能隔離偵查並且快速晤談，如果證人有機會一起討論事件，個人感受也許會消失，而接受一致的答案。藉由不斷的詢問問題，但受訪者不可只是回答「是」或「否」，並且詢問的問題會隨著不同的意外事故變動，細部的晤談技術於第三節中詳細說明。

表 17 先行調查項目

事故現場的狀態	
1. 受傷員工的位置	7. 事故現場 5S 狀態
2. 使用的設備	8. 天氣狀態
3. 使用的原料或化學物品	9. 照明程度
4. 使用的安全設備	10. 噪音程度
5. 防護位置	11. 時間
6. 機械控制位置	
易隨時間消失或改變的敏感資料	
1. 儲存於電腦軟體內的資料：因為記憶體有限，電腦控制系統未必會保留所有資料，有可能只保存過去幾個小時內的資料。	
2. 置於現場的書面資料：應立即收集，確保文件資料不會因現場環境導致損壞或是破壞。	
3. 分解性物質：改變狀態非常快速並且其物理特性隨著時間而改變，調查小組應優先取得這些物質的採樣。	
4. 金屬材料：變化快速如斷面切口的氧化。	

三、事件呈報層級

當表 12 事故通報單案例填寫完成後，填寫人應快速的呈交上一級主管以便了解事故發生的經過，基本上管理階層不必參與輕微的意外事故和虛驚事件的調查，他們參與的程度可由事故呈報等級判定。國內事故分類並無特定規範，一般事業單位多半根據公司內部規定處理，意外事故一般可分為四級，如表 14 所示 [11][11]：

1. 第一級：較輕微的意外事故和虛驚事件，如被管路絆倒，扭傷腳踝。
2. 第二級：可於現場就地解決、影響有限的事故，如輕微的火災，可立即控制。
3. 第三級：介於重大意外事故和輕微事故之間，如火災引起的氣體外洩波及現場之外的地區。
4. 第四級：重大意外事故如重大傷亡、損失和可能導致重大事故的虛驚事件。

表 18 事件呈報等級

層級	現場管理人員 (Line Management)	現場高階主管 (Senior Management)	總公司管理階層 (Corporate Management)
1. 第一級： 輕微(Minor)	參與	不必參與	不必參與
2. 第二級： 中級(Moderate)	參與	不必參與	不必參與
3. 第三級： 嚴重(Serious)	參與	參與	不必參與
4. 第四級： 重大(Very Serious)	參與	參與	參與

第二節 組成調查小組

事故調查成功與否與調查小組的組成和成員分配有直接的關係，主任調查員依據每位成員的技術能力、經驗和溝通技巧等分配職務。但是該如何組成調查小組仍是一大難題，本節主要提供一些典型選擇調查小組成員的方式以及如何管理和運用小組成員的專長與資源。

一般而言，重大的工安事件由於牽涉層面較廣，需要較大規模的調查小組，而職業傷害事件多半牽涉個人因素，所需要的調查規模就相對較小。調查小組的組成主要還是依據事件的複雜程度和重要性、事件對環境、營運或企業形象影響程度和期望探究的深度決定，大多數意外事件與傷害、化學氣體外洩或是生產中斷有關，原則上每件意外事件都應該徹底的調查，即使是大型的事業單位也會因經費和人力資源的限制，而無法針對每一件事件進行深入的調查。有鑑於此，調查小組的組成主要參照：1.事業單位的組織架構、規模以及需求和 2.意外事故的特性、後果、規模以及型態，組成調查小組。

絕大部分的事業單位都會優先調查高嚴重性和高潛在危害的事件，但從學習的角度而言，虛驚事件和輕傷事件佔所有意外事件的絕大部份，若能由虛驚事件中學習，將能預防重大意外事件的發生。譬如某一儲存易燃物的儲槽，由於焊接點產生裂縫，易燃物由裂縫處外洩，這宗事件雖沒有造成人員傷亡，但是之前的紀錄顯示在同一作業場所已發生多起類似的狀態，這時就應徹底了解造成事件的根本原因。調查結果可能發現這些事件都是因為使用不當的焊接材料造成焊接問題，進一步追溯到採購程序的瑕疵，應改善採購程序缺失。如果沒有虛驚事件和輕傷害事件的調查，這類事件造成重大人員傷亡和財產損失只是時間早晚的問題。

由於人力、經費的考量，不可能針對每件事件進行深入的分析。本研究將意外事故後果區分為四類等級，但實際上，調查小組的組成通常依據事件的嚴重性

及事件的特性而定，與意外事件具有利害相關的人員不可擔任小組成員，並且至少需要一名受過專業意外事故調查訓練的人員。完善的資料庫和溝通系統，有助於快速並且準確的判定事件原因，就上述易燃物外洩事件而言，由於有完善的意外事件紀錄資料，調查小組才能夠發現相似、相同事件已經在同一作業場所發生數起，這時就應深入調查事件發生的根本原因。因調查小組成員的組成和意外事件特性有關，大型事業單位可能有不同的製程，因製程特性不同，無法預先挑選一組人員調查所有的意外事件。人員的挑選應該是基於意外事件的特性，挑選具有特殊經驗和技術的成員，事業單位應依據事件的特性，由主任調查員挑選適合的調查成員並且依成員的專業知識與經驗分配、指派工作，小組成員當中有些為全程參與調查的人員，而有些只是參與部分的諮詢人員[6][11]：

1. 小組召集人(Sponsor)：協助、支持事故調查及掌握事故調查的進度，小組召集人通常為事業單位高階主管，其職權通常高於發生事故的部門主管。
2. 事故發生部門主管(Incident Owner)：事故發生部門主管通常是負責事故區域的現場作業主管，他不應直接參與事故調查，但是應該了解事故調查的進度並且協助收集資料。發生事故的部門主管最重要的貢獻是在意外事故調查過程中塑造學習改善的風氣，而不是一昧的責備某人。
3. 工廠主管(Facility Manager)：發生事故的部門主管通常要向工廠主管報告，工廠主管主要的職責為督促不斷更新調查資料，並向高階主管報告任何重大發現。
4. 主任調查員(Lead Investigation)：調查成員中至少要具備一位受過專業調查訓練的主導人員，他將和小組召集人與事故發生部門主管共同協商調查的職權範圍。主任調查員通常擔任事故調查的管理人員，因此必須具備管理時間、預算及結案報告的能力，主任調查員還需具備判斷資料的能力，以免過多的不必要資訊影響調查。

主任調查員的職責是：

- (1) 挑選小組成員，依據人員的知識、經驗和專長等；

- (2) 主導調查工作；
 - (3) 主任調查員分配、指派工作，避免同一件工作重複調查或是有所遺漏；
 - (4) 確保小組成員接受適當的訓練；
 - (5) 確保所有的資料交付於調查小組；
 - (6) 外界聯繫的橋樑，包括總公司、主管機關和社會大眾等；
 - (7) 預估調查和管理的費用；
 - (8) 向高階主管報告工作範圍；
 - (9) 判定是否需要外部調查人員的協助，如邀請外部專家針對特定事件調查；
 - (10) 管理、保管資料；
 - (11) 撰寫結案報告。
5. 行政主管(Administrator)：除了輕微的事件外，其他較嚴重的事件都需要行政部門的支持。行政主管應提供協助，如安排調查小組與工廠人員進行晤談，並且提供文件資料和其他安全紀錄等。
 6. 安全衛生代表(HSE Representative)：小組成員中也許應該有非常了解衛生、安全和環境業務的代表，特別是針對影響工廠作業的一些法規、法令。
 7. 製程/廠務工程師(Process/Facilities Engineer)：如果事故與製程相關，調查小組需要製程或廠務工程師說明內部相關的執行程序或原理。
 8. 維修人員(Maintenance Technicians)：很多意外事件是由於設備失效所引發的，因此如果維修人員按時填寫維修紀錄，事件發生時可以快速的鑑定哪裡發生錯誤。
 9. 主題專家(Subject Matter Experts)：主題專家可以在特定的領域中提供他們的知識與經驗如：
 - (1) 腐蝕和材料的選擇(Corrosion and Materials Selection)；
 - (2) 設備檢查人員(Equipment Inspectors)；
 - (3) 環保法令(Environmental Compliance)；
 - (4) 消防安全(Fire Protection)。

- 10.承攬商/供應商(Contractors/Vendors)：很多意外事故牽涉到供應商所提供的設備及特殊儀器的使用，因此承攬商/供應商有時需指派代表參與事故調查人員。
- 11.緊急應變專家(Emergency Response Specialists)：緊急應變專家可以提供有價值的資訊，如調查小組事故發生時現場的情況，因為有些證據或事故現場可能因緊急處理而改變。

第三節 資料收集

本節首先說明資料收集的基本原則，再詳細說明人爲性證據、物理性證據和文件性證據的收集方式。收集證據爲一項龐大的工程，如果欠缺縝密的步驟，將費時費力且成效不彰，本節提供一些指引和方法供調查人員參考。

一、基本原則

初步蒐證主要目的爲快速收集易隨時間改變或消失的資料，資料收集階段是深入探討所有與意外事件相關的資訊。資料收集在調查程序中佔有相當重要的角色，所有後續的調查都仰賴收集的證據。基本上，資料收集從意外事故開始到結束前都一直不斷的持續進行，一旦發現新的資料或是在後續分析過程中發現矛盾、不一致的問題時都應重新蒐證並確認可靠性，表 15 是證物收集範例，列出典型資料收集的項目[11]。

調查小組應審視所有相關資料，是否爲決定意外事件的充分、必要條件，但並非所有資料都可以完整的收集和驗證其真實性，因此可以先將不確定項目加以註記，經由下列的方式判定證據[9]：

1. 建立精確、完整和確實的資料庫，有助於事件分析和日後審查和；
2. 腦力激盪，經由調查小組分析、測試以及討論，解決具有爭議性的證據和揣測問題。

表 19 證物收集範例

1. 意外事故調查計畫、調查小組訓練、緊急應變程序與訓練之中應包含證物保存的相關內容，並在對員工與管理者的訓練中闡明其概念。
2. 建立與現場的緊急應變組織的協調方式。
3. 建立與外部組織之聯絡網如勞委會、衛生署、環保署和工業區管理中心等以及專業機構如檢查、檢測機構。
4. 確定需要調查的範圍。
5. 在使用數位照相機、閃光燈和攝影機之前取得許可。
6. 確認照片並佐以文字說明如時間、地點和拍攝者等。
7. 如果可行，應建立廠區平面配置圖、管路與管線。
8. 公佈證物保管程序、系統。
9. 遵循文件流通过程序。
10. 妥善保存易消失的電子紀錄資料。
11. 依照「看到的狀態」，紀錄閥、電源開關、控制設備等狀態。
12. 採取殘留物樣品。
13. 需要時，把重要的證物掛上標籤，或在移動之前攝影存證。
14. 需要時，安排外部人員或是專家。
15. 建立資料保存有關程序。

二、人爲性證據

晤談的主要目的在於收集資料而非責任的確認，因此調查人員應傳達合作的重要性，避免以偵訊的方式晤談證人，只有在牽涉不法行爲時，才將晤談視爲偵訊。如果人力資源許可，指派兩位晤談者，一位負責發問，另一位則負責紀錄，這樣的作法有助於增加資料的客觀性與正確性。初步調查階段中，表 12 事故通報單中的第六項「事件牽涉人員」，可在本階段進一步的深入晤談，受訪者一般可分爲三類：1.與事件具有直接關係的人員，2.目擊事故的人員，3.具有相關背景知識的人員，如輪班同仁、管理人員等。

晤談原則上要提供舒適、自在的環境，給予受訪者充分的時間回答，不可打斷、干擾受訪者，開放式的問題可以誘導更多與意外事故相關的證據，表 16 是晤談技巧範例。根據經驗法則，人們的記憶於 24 小時內通常會遺忘 50%至 80%的細節，所以應立即晤談證人。附件四提供 33 項的晤談指引以及附件五提供 23 項晤談證人的問題，提供晤談人員參考[11]。由圖 22 典型的晤談流程圖說明晤談可以分爲四個階段[11]：

1. 第一階段是建立互信的關係：讓受訪者處在自在的環境，附件四中的第一條至第七條提供一些可與受訪者建立互信關係的方法，如提供晤談者的個人資料，以建立受訪者的信任和信賴等。
2. 第二階段的重點是不要打斷受訪者：與事故相關或目擊事故發生的人員可能還驚魂未定，這時讓受訪者完全不被打斷的陳述、獨白是相當重要的。給予充分的時間，不要催促受訪者描述事件或是回答問題，當受訪者遲疑時，可提問後續的問題像是「告訴我更多關於... ..」可以幫助得到需要的資料。
3. 第三階段是互有往來的問答：晤談者可以向受訪者提出客觀、特定的問題，**錯誤！找不到參照來源。**和附件五都提供一些範例和指引。
4. 第四階段爲確認晤談者的紀錄和受訪者所表達的想法一致，並且做出結論，判定是否需進一步的追蹤或進行下一階段的分析，通常本階段的結論可以利

用時間序列加以判定。

表 20 晤談技巧

訪談技巧	
遵循事項	避免事項
<ul style="list-style-type: none"> ● 證人(當事人)可能很難過，讓他處於安心自在的環境 ● 強調調查的真正理由，確定為什麼發生和發生什麼 ● 讓當事人陳述，並且耐心聆聽 ● 確認紀錄正確性 ● 做簡短的註記 ● 錄音、錄影 	<ul style="list-style-type: none"> ● 威脅證人 ● 干擾 ● 催促提醒 ● 詢問引導式的問題 ● 情緒化的反應 ● 妄下結論
<p>無限制的詢問問題，但回答者不可只是回答“是”或“否”，詢問的問題會隨著不同的意外事故而調整，下列是一些常見問題的範例：</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ● 意外發生的當時你在哪裡? ● 當時在做什麼? ● 你看見什麼、聽到什麼? ● 當時的環境(天氣、燈光、噪音等等)如何? ● 受傷員工當時在做什麼? ● 依你所見，是什麼原因引起這場意外事件? ● 如何防止相似的意外事故再度發生? 	

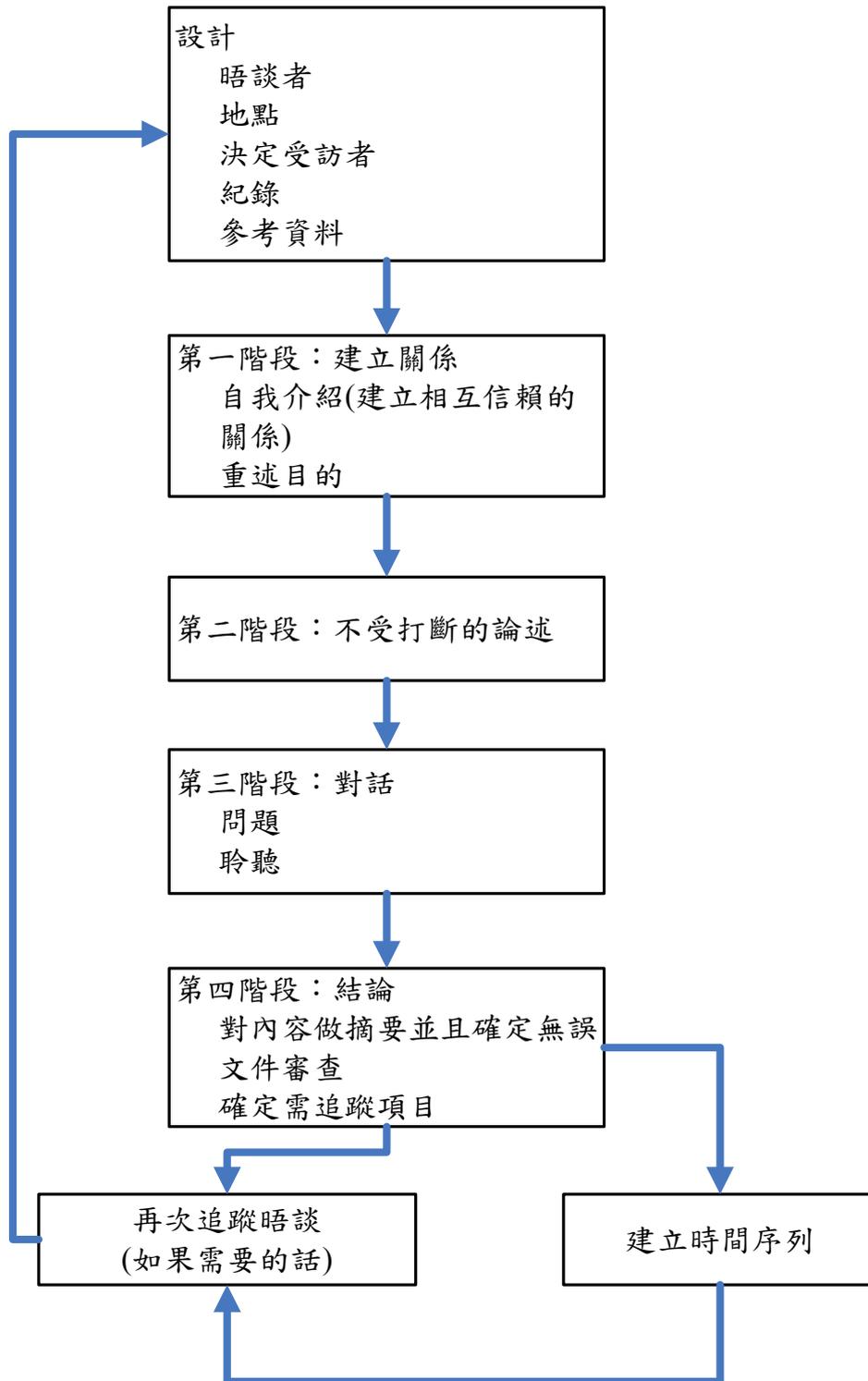


圖 22 典型的晤談流程

三、物理性證據

物理性證據一般而言為最確實可靠的資料來源，因為它本身具備客觀性，不會因個人觀點而扭曲。本節將物理性證據分為現場資料和檢測/實驗分析兩類。

1. 現場資料：可以利用數位相機、傳統相機和錄影機進行現場的蒐證，搬動任何物品需要先進行量測、記錄。每張照片應註明攝影者的名字和簡短的描述，通常現場資料的蒐證考量下述項目：

(1) 事故現場應先從整體概況開始檢視，再縮小範圍，最後針對細節進行探討。

(2) 要從各種角度和觀點拍攝照片，若是事故現場已進行事後重建工作或是曾經搬動物品應於照片中清楚描述註記。

(3) 如果可以的話，於圖片中附上比例尺和顏色作為參考。

2. 檢測/實驗分析：如果意外事故中有些儀器或原物料的殘骸為意外事件的關鍵證據，這時就需要經由專家學者進一步的樣品分析。檢測/實驗分析多半提供確實可靠的資料，所涉及的專長可能不是一般調查成員所具備的，因為目前科技日新月異如放射性裝備、複雜的化學反應、動力學、生物學上等都需要專業人員進行分析、測試，一般意外事故調查小組是無法獨立完成，因此，主任調查員可以聘請外部的專家進行分析，藉由分析結果做深入的探討。所有樣品和收集都應紀錄：

(1) 採樣人員的姓名；

(2) 樣品採集的時間和日期；

(3) 樣品發現的正確位置。

四、文件性證據

文件性的證據大致可分為相關資料和儀器記錄兩類，又可以細分為書面文件和電子資料：

1. 相關資料：由於本研究主要的參考文獻都是針對化工製程，因此在下述的案例中多半以化工廠操作案例進行說明，但本研究所提供的方法也適用於其他製造業。進行意外事故調查時，調查小組應具備完整的製程安全資料，根據行政院勞委會「危險性工作場所審查暨檢查辦法」對危險性作業場所的要求[31]，應具備的資料有：

- (1) 工程資料：製程流程圖(Process Flow Diagrams, PDF)、管線和儀控圖(Piping and Instrument Diagrams, P&ID)、廠區配置圖(Layout)和電路配置圖(One Line Diagrams)等。

- (2) 物質安全資料表(Material Safety Data Sheet, MSDS)，包括化學性物質、物理性危害、急救、藥物治療、緊急應變及化學品搬運和處理等，MSDS應簡潔扼要且可立即取得使用。

- (3) 操作資訊：

- A. 標準操作程序。

- B. 製程安全評估：調查小組在調查事件前先審視所有製程危害分析資料，如果安全評估小組在意外事故發生前已經辨識引發該事故的潛在危害，對事故調查小組而言，相關資料很有參考價值。

- C. 變更管理記錄：很多事件發生的根本原因是由於製程變更或其他變更，因此，可以檢視變更管理記錄是否與意外事件有所相關。

- D. 事故調查和稽核：查看過去發生事件的紀錄與報告，是否有相同之處。

2. 儀器記錄：

- (1) 控制儀器的紀錄，如分散式控制系統(Distributed Control System, DCS)、儀錶紀錄等；

- (2) 值班紀錄；
- (3) 保養紀錄；
- (4) 運轉紀錄；
- (5) 批次操作紀錄；
- (6) 原料品管紀錄；
- (7) 保存的樣品；
- (8) 緊急應變紀錄；
- (9) 檢驗現場儀錶裝置如壓力閥、溫度計等；
- (10)承攬商施工紀錄；
- (11)工安環保紀錄；
- (12)停電、停水紀錄。

第四節 發展時間序列

初步的時間序列，或許會有很多證據不足之處，但可作為主要時間序列發展的骨架，藉由上一節資料收集，彙整新的資料彌補時間序列的空隙。由圖 23 中可見步驟 4 和步驟 3 之間回饋的機制，如果在發展時間序列時有不足之處，可以重新返回步驟 3 收集更多相關資訊，資料收集與發展時間序列幾乎是同時進行，相輔相成。本節先介紹時間序列圖形的基本定義，而後敘述時間序列執行規則，最後以出水口水溫過高造成魚群死亡的案例說明資料收集和發展時間序列的方式和步驟。

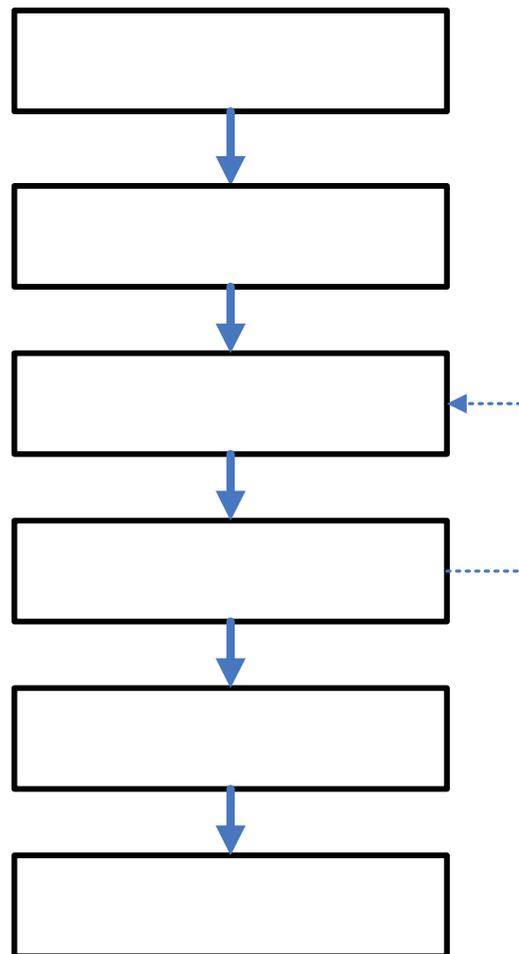


圖 23 資料收集與發展時間序列

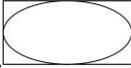
一、時間序列基本定義

時間序列主要依據 ECFC 的概念為發展基礎，但由於 ECFC 本身的定義較為廣義，使用者不易區分事件(Event)和狀態(Condition) 的類別，因此本節參照其他與時間序列相關的文獻加以衍生定義於表 17 和表 18，並且補充修正 ECFC 圖形[6][7][12]：

表 21 本研究對事件的衍生定義

1.ECFC 對事件原先基本定義
事件的基本原則是： <ul style="list-style-type: none">(1) 每一件事件應描述行動或是動作，而不是狀態或是環境。(2) 每一件事件以簡短的句子敘述。(3) 每一件事件應儘可能精確的描述，如「操作者啓動泵浦 301」而不是「操作者啓動泵浦」。(4) 每一件事件應有單一以及個別的描述，如「管壁破裂」而不是「內部壓力上升造成管壁破裂」。(5) 每一件事件儘可能的予以量化，如「物件從 50 公尺高度掉落」而不是只是「物件掉落」。(6) 每一件事件應該與前一項事件連續且相關。(7) 如果有足夠的資訊，應儘可能的指出日期和時間。
本研究對事件衍生附加定義
事件一般發生在很短的時間內，為瞬間的動作或行爲，通常代表人員行動、設備運作或是在事故發生當時失去本身的運作功能。
除了依循 ECFC 本身的原則外，新增下列三項定義： <ul style="list-style-type: none">(1) 行動如「操作員打開閥門」、「操作人員記錄出水口的溫度」、「操作人員進行監測作業」、「男孩進入車內」和「操作卡車方向盤」等。(2) 設備運作如「起重機擊中建築物」等。(3) 失去本身的運作功能如「消防管線破裂」、「墊片失效」、「無法執行冷卻功能」和「管線堵塞」等。

表 228 本研究對狀態的衍生定義

2. ECFC 對狀態原先基本定義
<p>(1) 描述狀態或環境，而不是發生的動作。</p> <p>(2) 如果可行，應予以量化。</p> <p>(3) 如果有足夠的資訊，應儘可能的指出日期和時間。</p> <p>(4) 狀態用以輔助說明相對應的事件。</p>
本研究對狀態衍生附加定義
<p>狀態通常用以對事件背景和事件造成後果的描述，狀態可以是環境與製程操作條件從標準作業偏離的異常狀態、事件本身所存在的必要條件、人員的認知、事故發生當時的環境面或是與事件具有時間關聯性的狀態。</p> <p>除了依循 ECFC 本身的原則外，本研究新增下列七項定義：</p> <p>(1) 與事件相關的標準作業流程(Standard Operating Procedure, SOP)、政策與操作手冊等，如「夜間領班操作員未使用開車程序和紀錄填滿萃餘油設備製程的完整步驟」。</p> <p>(2) 與事件相關的維修紀錄、電子紀錄和文件紀錄等，如「近來沒有對已有 20 年歷史的老舊水管執行壓力測試」。</p> <p>(3) 對設備功能的描述，如「壓力控制閥提供萃餘油分離塔不可壓縮氣體排放的途徑」。</p> <p>(4) 對人員作業的相關描述，如「連續五個禮拜每天工作 12 小時的輪班作業」和「有 ISOM 操作經驗的日間值班主管 A 在早上 7：15 到班，遲到 1 小時，並未與任何夜間值班人員進行交接」。</p> <p>(5) 人員的認知及經驗，如「雖然控制程序要求需維持在 50% 液位，但控制室操作人員根據過去的經驗認為額外的液位是必需的」。</p> <p>(6) 環境面包含溫度、溼度、光線、pH 以及噪音等，舉例而言如「由於附近有柴油引擎聲，正在睡覺的承攬商操作人員無法聽到警鈴」。</p> <p>(7) 和事件有時間關聯性，且發生時間在事件之後。</p>
3. ECFC 時間序列圖形定義參考 錯誤! 找不到參照來源。
本研究衍生圖形附加定義
<p>如錯誤! 找不到參照來源。所示，時間序列依時間順序分類可區分為：事故發生前、事故發生時以及事故發生後的緊急應變，時間序列排序由左到右。</p> <p>給予每件事件和狀態編號，此舉有利後續發展時間序列圖表、根本原因分析和最終報告時，增加其簡易性以及不易與其他相關事件相互混淆。</p>
<p>新增圖式：由事件而引發的狀態以  標示。</p>

二、時間序列架構

時間序列在初步建構時忽略很多細節，因此初步的時間序列只是最終調查的骨架，需要藉由資料收集增添額外的相關資料，表 19 歸納九項發展時間序列的規則[6]。雖然初步的時間序列圖相當的不完整而且涵蓋許多資料不足之處，但建構初步的時間序列圖形具備以下優點：快速的組織意外事故的資料、引導調查、建構意外事故情境、辨識和證實證據的可靠度以及簡化報告的形式。

一般而言，事件依時間順序分類可區分為：事故發生前、事故發生時以及事故發生後的緊急應變，本節依據三段時序發展時間序列和收集資料，圖 24 為完整時間序列模式。

1. 事故發生前：收集意外事故相關的背景資料，如事前的維修作業和檢測等。
多半在初步時間序列完成後，再藉由資料收集建構事故發生前相關的資料，可由人員訪談或維修記錄等取得。
2. 事故發生時：依據事故發生的時間序列，重建事故當時的情境。初步的時間序列著重在本步驟，這部份的事件相當複雜，事件與事件間的時間相距相當緊湊，需要清楚辨識以免混淆。
3. 事故發生後的緊急應變：事故發生後的緊急應變措施，將會直接影響事故的後果，如訓練良好的緊急應變小組將會減緩意外事故擴散的嚴重性。

表 239 執行時間序列的規則

1. 儘速開始，與資料收集同步進行，建立初步時間序列圖。並且由最終事件(意外事故或虛驚事件)開始分析，以回溯法的方式推論與分析事故相關的事件和狀態，建構事故情境。
2. 資料收集，補足時間序列不足之處，多半初步的時間序列著重於事故發生時的事件，而後再經由資料收集補足事故發生前的背景資料和其他相關資料如維修紀錄、檢測紀錄等。
3. 如果可以，每件事件和狀態應可能量化，如「物件從 50 公尺高度掉落」而不是只描述「物件掉落」。
4. 經由「在事件發生前，發生什麼事？」，獲得與事件相關的答案，也許為自然現象或是狀態，又或者是人員或機械性的動作。
5. 測試資料的充分性和必要性，藉由詢問下列問題「事件 B→事件 A→傷亡(意外事故)」：
 - (1) 事件 B 是否總是會導致事件 A 發生？
 - (2) 每次事件 B 發生，事件 A 也會跟著發生？
 - (3) 只因為事件 B 發生，事件 A 就發生？
 - (4) 是否在事件 B 與事件 A 之間有任何的相關防護措施，防止事件 B 造成事件 A 的發生？如果答案為是，代表事件 B 與事件 A 存在於其他事件，如防護措施。
 - (5) 在事件 B 與事件 A 之間是否有其他相關的事件？
 - (6) 除了事件 B 外，是否有其他原因造成事件 A 發生？也許為多重事件所導致事件 A 發生，並非單有事件 B。如果事件(1)、(2)、(3)的答案都是「否」，則應再次收集資料，是否其中還有其他相關事件。若是真的無法察覺其他相關資料，調查小組可經由集體討論探究是否有其他事件或狀態引導事件 B 到事件 A 的發生。(4)、(5)、(6)的答案若為「是」，則表示有其他相關的事件需要加入。
6. 如果有任何新增相關證據，轉換成建構方塊的型態增列於時間序列中，且位於事件 B 和事件 A 之間重新重複步驟 5，確認其充分性和必要性。
7. 對於每個建構方塊重複相同的步驟，依此類推。
8. 有些事件為假設或推論的事件，或者是目前無足夠資料驗證的證據以虛線表示，如果日後有足夠的證據資料再予以更正。
9. 重新檢視時間序列，是否事件與事件之間的關聯性都為充分與必需，並將不需要的資料刪除。

本節採用 CCPS 出水口排放水溫過高的環境傷害案例說明時間序列建構的方式，依據本節的時間序列規則建構時間序列和收集證據。本事故是由王先生於清晨 5 點慢跑時發現有水流經道路，通報當地消防隊。展開初步調查，發現臨時的水處理廠作業區域內，由一位夜班承攬商工人執行操作程序，釋放過熱、低 pH 值的水，經由廠區內的其中一個出口排出，最終導致當地湖泊中的魚群死亡。時間序列發展步驟如下：

1. 儘速開始，與資料收集同步進行，建立圖 25 初步時間序列圖形。
2. 建構完整的事件時序：經由資料收集，如標準作業程序等、晤談相關作業人員和檢測/實驗分析等，進一步的收集和分析相關資料。針對每一事件「詢問是否前面一項建構方塊領導下一個建構方塊的發生？」。

以 CCPS 出水口排放的水溫過高的案例說明：

- (1) 「無法對臨時水處理作業單元發揮冷卻功能(事件 B)」和「熱、低 pH 值的水排放至出水口(事件 A)」之間是否有其他事件，第一，利用事件 A 詢問是什麼事件造成事件 A 發生的：

- A. (事件 A)為什麼會有過熱的水溫？因為臨時水處理作業單元失去冷卻能力。
 - B. (事件 A)為什麼會有過低的 pH 值排出？因為用於過濾的樹脂失去過濾能力。找到新的事件(樹脂失去過濾能力)，置於事件 B 和事件 A 之間。
- 第二，經由時間序列執行的規則 5 測試：是否在事件 B 與事件 A 之間有任何的相關防護措施，防止事件 B 造成事件 A 的發生？是，臨時水處理區作業單元已裝置高溫偵測系統，將此事件新增於事件 B 和事件 A 之間。

- (2) 「消防水管破裂(事件 B)」和「無法對臨時水處理作業單元發揮冷卻功能(事件 A)」之間是否有其他事件，經由時間序列執行的規則 5 測試：

- A. 事件 B 是否總是會領導事件 A 發生？是，因為沒有設備執行其他冷卻的能力。

- B. 每次事件 B 發生，事件 A 也會跟著發生？是，因為沒有設備執行其他冷卻的能力。
- C. 只因為事件 B 發生，事件 A 就發生？是，因為沒有設備執行其他冷卻的能力。
- D. 是否在事件 B 與事件 A 之間有任何的相關防護措施，防止事件 B 造成事件 A 的發生？否。

由上述結果得知，事件 B 和事件 A 之間沒有其他的事件。

(3) 「消防水管提供冷卻水至臨時水處理單元(事件 B)」和「消防水管破裂(事件 A)」之間是否有其他事件，經由時間序列執行的規則 5 測試：

- A. 事件 B 是否總是會領導事件 A 發生？否
- B. 每次事件 B 發生，事件 A 也會跟著發生？否
- C. 只因為事件 B 發生，事件 A 就發生？否
- D. 是否在事件 B 與事件 A 之間有任何的相關防護措施，防止事件 B 造成事件 A 的發生？否
- E. 在事件 B 與事件 A 之間是否有其他相關的事件？是，臨時作業系統由承攬商所操作，並且標準操作程序中規定承攬商需定時測量熱交換器溫度，因此新增「承攬商的操作人員監測臨時水處理作業單元」和「承攬商的操作人員記錄水溫」。

(4) 「承攬商的操作人員記錄水溫(事件 B)」和「消防水管破裂(事件 A)」之間是否有其他事件，經由時間序列執行的規則 5 測試：

- A. 事件 B 是否總是會領導事件 A 發生？否
- B. 每次事件 B 發生，事件 A 也會跟著發生？否
- C. 只因為事件 B 發生，事件 A 就發生？否
- D. 是否在事件 B 與事件 A 之間有任何的相關防護措施，防止事件 B 造成事件 A 的發生？否

以上的回答都為否，為何事件 B 會導致事件 A 發生，其中一定還有其他事

件促成，承攬商在作業區內是否有發現管線破裂，後來經由晤談承攬商發現當時承攬商因過於勞累而睡著，新增事件。

3. 找尋每件事件的相關背景資料和操作環境：

(1) 環境面包含溫度、溼度、光線、pH 以及噪音。

(2) 背景資料包含是否有進行維修、SOP、儀器年齡、訓練、和員工的精神狀態等如：

A. 事件「熱、低 pH 值的水排放至出水口」可以加以註記 pH 和溫度，可得知水溫 200°F、pH=3。

B. 事件「臨時水處理作業單元警鈴響起」可以依序詢問：(A)警鈴響起時承攬商的狀態(B)是否有其他噪音干擾，得知由於附近有柴油引擎噪音，導致正在睡覺的承攬商無法聽到警鈴。

C. 事件「消防水管破裂」可以依序詢問：(A)最近進行維修的時間、(B)消防水管的歷史、(C)水管何處造成破裂和(D)地理位置等，可得知以下的狀態「2005/3/3 最後一次對消防水管執行壓力測試」置於事件發生前時間序列，以及「水管已有 20 年運作歷史」、「水管與建築物連接處破裂」、「水管連接處和熱交換器相距 75 公尺」等背景資料。

D. 事件「承攬商的操作人員睡著」可以依序詢問：(A)員工的精神狀態，從中得知「連續五個禮拜每天工作 12 小時的輪班作業」及「只有 3 位操作人員進行 24 小時操作」。

E. 事件「承攬商的操作人員記錄熱交換器出口水溫」可以加以註記溫度 77°F。

F. 事件「承攬商的操作人員監測臨時水處理作業單元」經由值班紀錄得知從 6：00P.M.~6：00A.M.。

4. 經由資料收集，建構圖 26 完整時間序列圖。

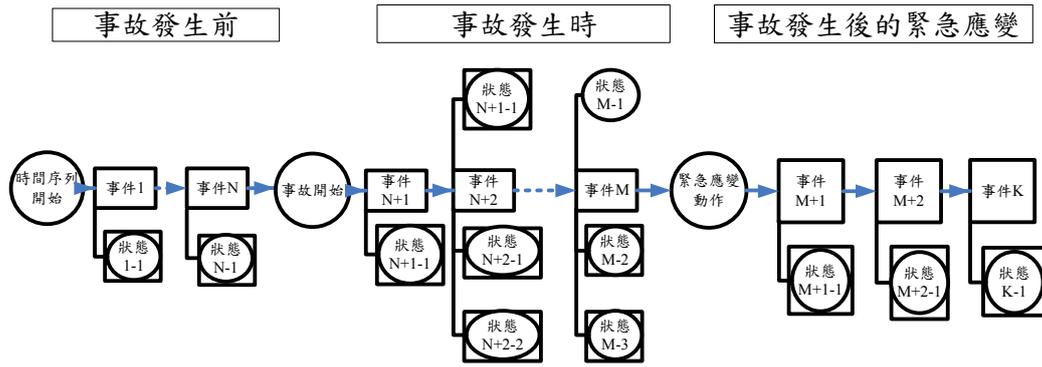


圖 24 完整時間序列模式

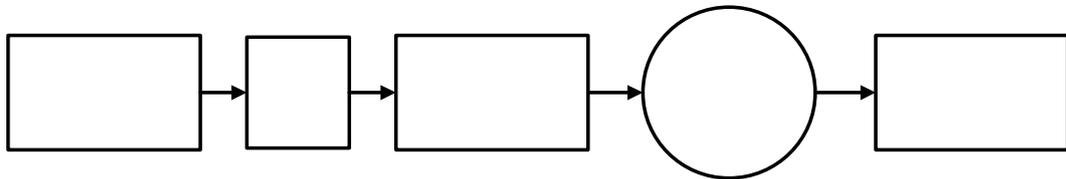


圖 25 初步時間序列圖(出水口排放的水溫過高)

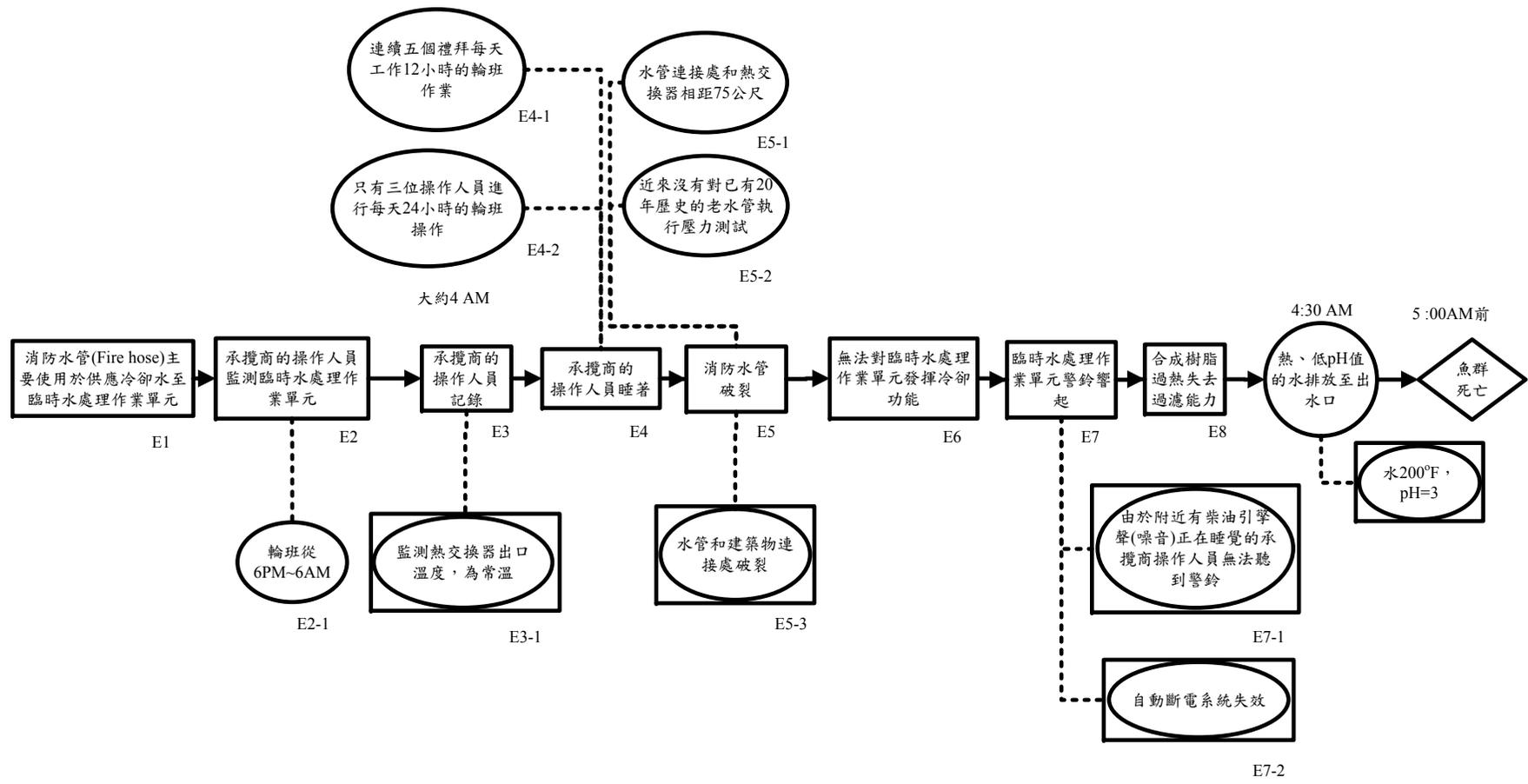


圖 26 完整時間序列圖(出水口排放的水溫過高)

第五節 根本原因分析

完整的時間序列可以提供充分的背景資料，有利於分析事故的根本原因。本節採用的分析方法，主要是依據第五章的第六節系統化原因分析技術所提的查核表。查核表提供制式化的表單和選項，當分析者建構完整的時間序列圖後，將先前定義的事件和狀態與查核表中的選項相互查核，經由直接原因判別至間接原因最後確認和系統相關的根本原因。

意外事故約略可區分為職業傷害和工安事故兩大類，由於造成事故本身的特性不同，因此在查核表單考量因素也有所不同。職業傷害的調查可經由第五章第六節所提到的 SCAT 查核表，因表單本身主要是針對職業災害設計。工安事故則可選用 CCPS 所提供的分析表，CCPS 所提供的表單主要針對石化業的工安事故調查，但因，設計基準為製程安全管理基本要求，理論上也適用於其他製程工業。第七章案例分析中英國石油公司爆炸事故，即是以 CCPS 表單作為事故根本原因分析的工具。

一、原因因子探討

事件原因因子由先前所述的概念可區分為直接原因、間接原因及根本原因三種層面，本研究藉由預設邏輯樹的概念經由單一事件逐步分析至事故的根本原因，並將所有相關的原因因子以系統化的方式排列於表 20，直接原因、間接原因及根本原因都可以由分析表中的選項逐步確認。預定的原因因子選項以及格式化的表單提供調查人員邏輯性和系統化的思考，並且分析表提供一致性的事故原因選項，利於建置事故調查資料庫[25]。

本節利用第四節中的出水口排放水溫過高的案例，說明如何利用分析表與時間序列辨識根本原因。

1. 藉由上一節完整的時間序列圖判定誘發事故發生的顯性因子，也許可以直接從時間序列圖表中判定事件的直接原因或是間接原因。由出水口排放水溫過高的案例的時間序列圖中辨別出的顯性因子為：
 - (1) 承攬商的操作人員睡著(E4)；
 - (2) 消防水管破裂(E5)；
 - (3) 由於附近有柴油引擎的噪音干擾，正在睡覺的承攬商無法聽到警鈴(E7—

- 1) ;
- (4) 自動斷電系統失效(E7-2)。
2. 由時間序列圖辨識出的顯性因子，針對每一項原因因子進一步分析，分析步驟如下：
- (1) 由顯性因子對應至 CCPS 分析表中的直接原因如圖 27，一項顯性因子可能對應多項直接原因，將所有相關的直接原因放置於表 20 中，持續進行下個步驟。

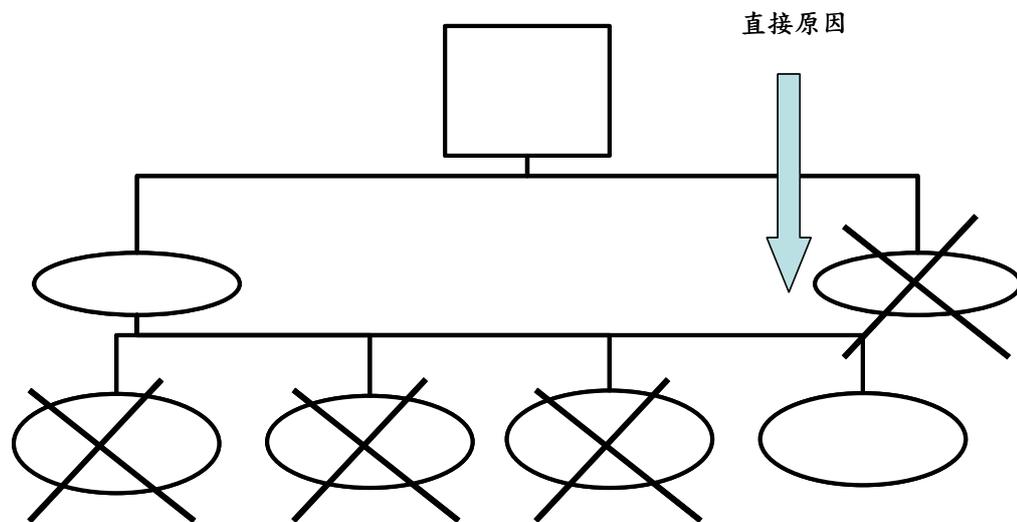


圖 27 由顯性因子對應至直接原因

(2) 再由直接原因對應至間接原因如圖 28，一項直接原因可能對應多項間接原因，將所有相關的直接原因放置於表 20 中，持續進行下個步驟。

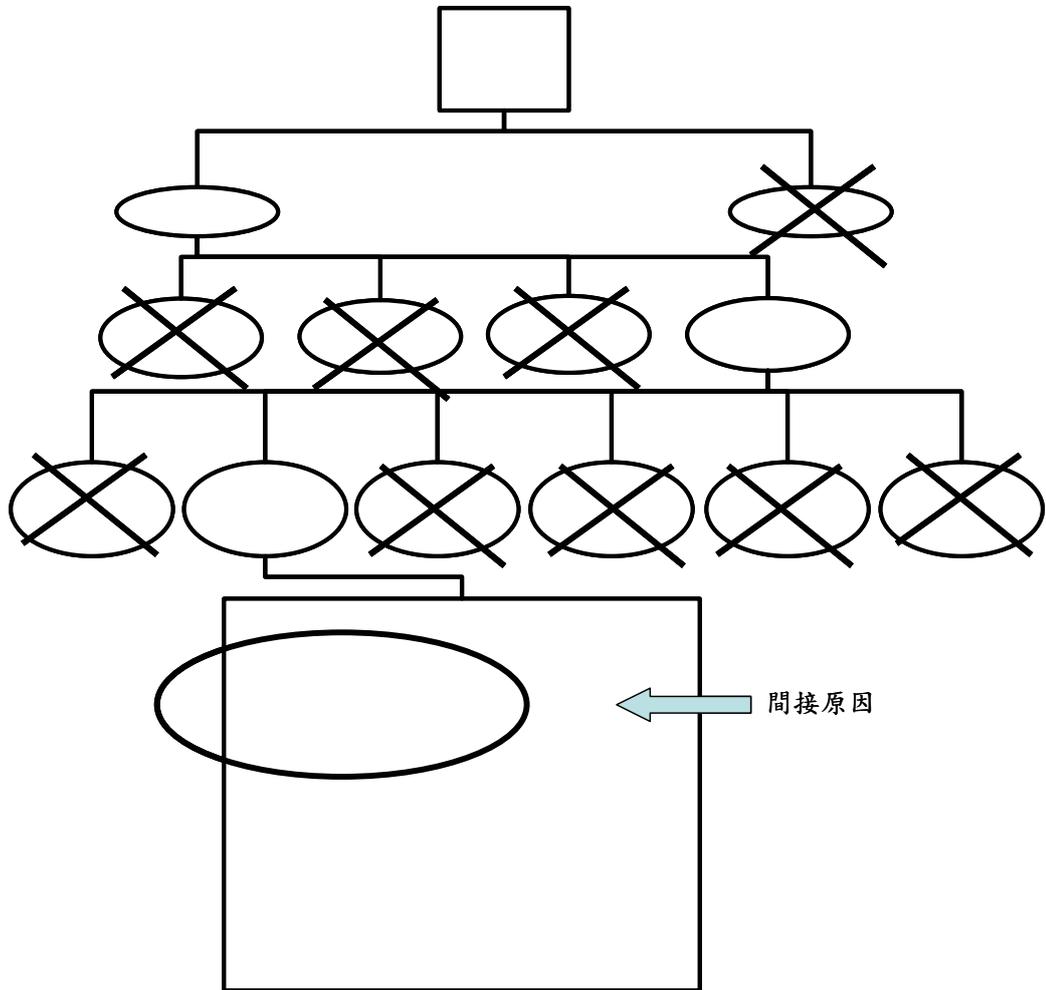


圖 28 由直接原因對應至間接原因

(3) 最後由間接原因連接到根本原因如圖 29，一項間接原因可能對應多項根本原因，將所有相關的直接原因放置於表 20 中，即完成根本原因分析。

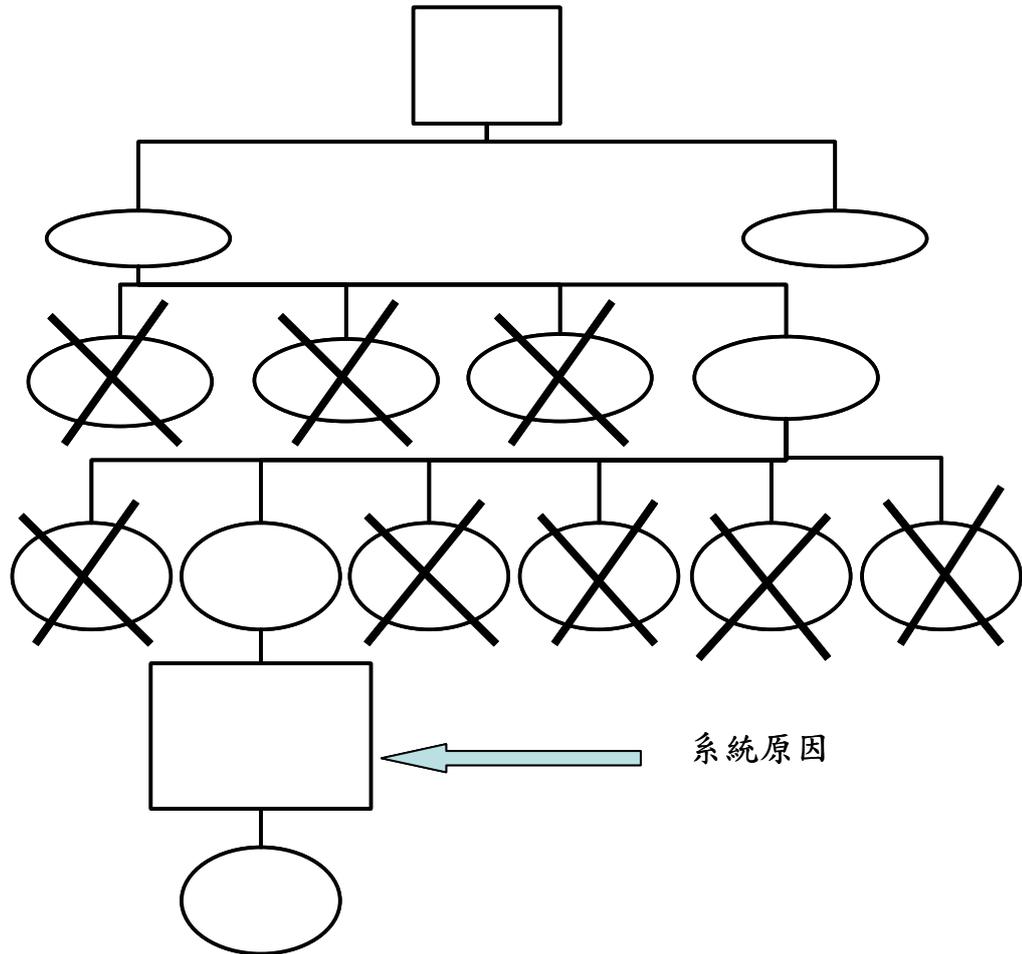


圖 29 由間接原因對應至系統原因

3. 導致承攬商操作人員睡著最主要的原因為人員訓練和行為上的不當，所以回歸於管理系統並改善缺失，才能避免相同或相似的事故再次發生。
4. 依此類推，將其他顯性因子推論至系統原因。

行為面

表 24 原因因子探尋

顯性因子 (意外事件)	直接原因 (行爲面和狀態面)	間接原因 (個人和作業原因)	根本原因 (管理系統)
事件 1	行爲面 A	個人因素 I ₁	管理系統 X
	狀態面 B	個人因素 I ₂	管理系統 W
作業因素 J ₁		管理系統 Y	
		管理系統 Z	
事件 2
事件 3
.....			
事件 N			

二、原因因子聯結至 OHSAS 18001 職業安全衛生管理系統

意外事故調查最終的目的是改善管理系統的缺失，並期望以 PDCA 的理念持續改善職業安全管理系統。OHSAS 18001 是可驗證的國際職業安全衛生管理系統規範，妥善考量 ISO 9001：2000 品質管理系統標準與 ISO 14001：2004 環境管理系統標準的相容性，因此若能將意外事故調查結果聯結至 OHSAS 18001，將能更加提升事業單位內部推行事故調查的誘因，以持續改善管理系統及安全文化。本節簡略介紹 OHSAS 18001 基本要求，再以 CCPS 分析表為例，說明如何將分析表內的原因因子與職業安全衛生管理系統聯結。

1. OHSAS 18001 簡介[3][24]：

當今越來越多事業單位關注於職業安全，不但爲了因應日異變更法規要求，並且以職業安全衛生所設定的政策與目標印證事業單位績效的達程度。OHSAS 18001 可以適用於各行各業，基本架構如圖 30，表 21 則是 OHSAS 18001 基本要素的說明。

2. 聯結根本原因至 OHSAS 18001 職業安全衛生管理系統：

表 22 以 CCPS 事故原因分析表為例，說明如何將事故調查的原因因子與 OHSAS 18001 職業安全管理系統聯結。

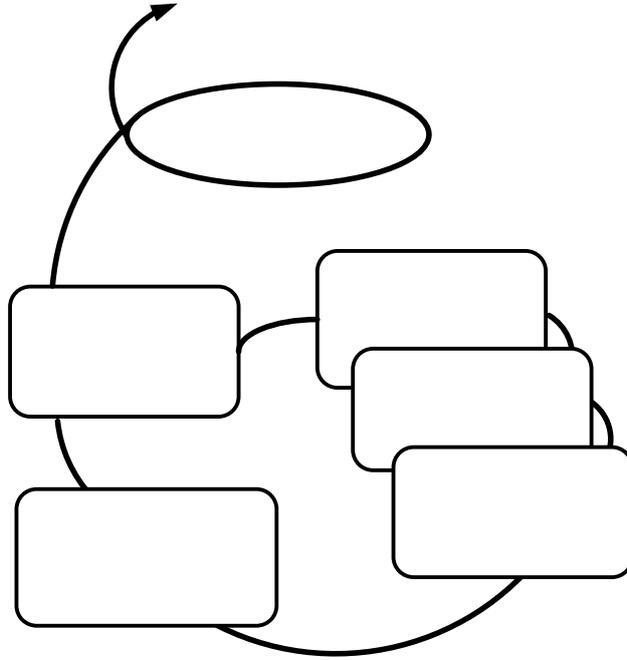


圖 30 OHSAS 18001 職業安全衛生管理系統模式

表 25 OHSAS 18001 基本要素

OHSAS 18001 : 2007	
1.	適用範圍
2.	參考文件
3.	名詞與定義
4.	安全衛生管理系統要件
4.1	一般要求事項
4.2	OH&S 政策
4.3	規劃
4.3.1	危害鑑別、風險評估及決定控制措施
4.3.2	法令規章與其他要求事項
4.3.3	目標與方案
4.4	實施與運作
4.4.1	資源、角色、職責、責任及授權
4.4.2	能力、訓練及認知
4.4.3	溝通、參與及諮詢
4.4.4	文件化
4.4.5	文件管制
4.4.6	作業管制
4.4.7	緊急事件準備與應變
4.5	檢查與矯正措施
4.5.1	績效量測與監督
4.5.2	守規性之評估
4.5.3	事件調查、不符合、矯正措施及預防措施
4.5.3.1	事件調查
4.5.3.2	不符合、矯正措施及預防措施
4.5.4	紀錄管制
4.5.5	內部稽核
4.6	管理階層審查

表 26 聯結根本原因至 OHSAS 18001 職業安全衛生管理系統

根本原因 (管理系統)	注釋/評論	符合 OHSAS 18001 元件
風險評估和管理 (CCPS 事故原因參照表 第二項)	雖然該事業單位已經完成部份危害的風險評估，但未對特定活動可能的危害進行危害辨識和風險評估。	4.3 規劃－4.3.1 危害鑑別、風險評估及決定控制措施－應該要涵蓋所有作業和所有人。
風險評估和管理 (CCPS 事故原因參照表 第二項)	該事業單位本身已相當周密的評估和辨識所有危害，然而有些建議卻未確實執行。	4.4 實施與運作－4.4.5 文件管制－在績效量測和結果控制上執行失效。
資訊和文件管理 (CCPS 事故原因參照表 第八項)	上下班的輪班人員，資訊傳送不當。沒有特定的流程控管，確保適當的作業資訊傳送給下位輪班人員。	4.4 實施與運作－4.4.3 溝通、參與及諮詢－設置相關的資訊傳遞程序。 4.5 檢查與矯正措施－4.5.1 績效量測與監督－不適當的主動績效指標，應重新建立規則和計畫評估是否有妥善執行相關建議。

第六節 報告和建議

在第五節中，已經辨識事故發生的根本原因，但僅確認原因並不表示已經完成事故調查作業，改善措施的研擬也是重要的步驟。因此本節提供事故調查建議的研擬和追蹤流程以及事故調查報告的主要架構。

一份完善的意外事故報告可以協助讀者快速、清楚了解意外事故發生的前因後果，高階主管可以經由報告了解公司內部管理系統的缺失，進而致力推動改善建議，公司內部員工也可以藉由事故報告當作學習課題，以此為戒，避免相似事故再次發生。相關產業參考事故報告可先行檢視本身的管理系統內是否隱含相同危機，預先改善與預防相似事故發生，社會大眾可以經由事故報告中了解企業改革的決心，進而提升企業形象。

一、建議事項與追蹤

圖 31 是系統化執行建議的選定與後續的追蹤作業，主要作業步驟為：

1. 決定根本原因因子：由單一根本原因因子逐步抽絲剝繭，擬定合適、合宜的改善建議。
2. 擬定初步改善建議：事故調查初步的建議多半由參與事故調查的人員共同協商決定，最理想的建議為改善管理系統、設備與材料的本質，也就是考量本質安全（Inherent Safety），但需要考慮經費與適用性，本質安全的基礎如降低化學物質的使用量、選擇較安全的原物料、改變現有的製程等。
3. 評估改善建議風險：對所有改善建議都應進行變更分析評估，若未經嚴密的評估，可能所提建議反而造成其他潛在危害。若是經由變更分析，發現有負面影響，應重新擬定改善對策。舉例而言，1986年1月美國挑戰者太空發射失敗的根本原因之一為「不當的變更管理」，美國太空署於1984年變更墊圈之壓力測試程序以防止發射失效，但其背後隱藏的危害可能遠超過預期效果[11]。
4. 由高階主管審查、評估與建議：可由所需經費、影響層面等，排列優先順序。一般而言，所提的改善建議可因所需執行的時間分為三階段。
 - (1) 立即改善建議：多半為意外事故造成的直接原因如設備失效，則改善建議應為立即停止該設備運作。

- (2) 中期改善建議：多半為改善意外事故的間接原因，通常中期建議需要三個月到六個月左右的執行時間。
 - (3) 長期改善建議：一份完整的意外事故調查報告，可以提供高階主管洞察管理系統失效原因。通常為改善意外事故的管理系統失效原因，需要進行縝密分析和變更分析或是涉及企業文化的改造，長期改善的建議必須得到高階主管的認同與支持，才能有效推行。
5. 落實與追蹤改善方案：空有調查結果和改善建議，而無落實執行改善措施也是徒勞無功。執行和追蹤意外事故的建議是否完成，最有效的方式就是建立事故調查資料庫，電子化的紀錄有助於更新、審查與紀錄事故建議執行的狀態，事件資料庫因該包含下列項目，以供後續追蹤。
- (1) 事件編號；
 - (2) 事件日期；
 - (3) 建議的描述；
 - (4) 提出建議的人員；
 - (5) 執行進度；
 - (6) 最後一次更新的日期；
 - (7) 是否有修訂的動作。

二、報告架構

雖然意外事故的調查程序是由事故調查小組共同完成，但根據經驗法則，最好指派單一人選進行撰寫。事故報告的撰寫人員，應彙整事故調查小組成員意見，並且將初步完成的報告書交付所有小組成員檢視和審查是否有誤或是曲解之處。一份完整的意外事故調查報告基本項目包括[10]：

1. 綜合建議與結論：為報告書的首要章節，奠定讀者對整件事務的第一印象，通常為大略介紹事故的過程、後果、原因和改善措施，因此這是報告書中最重要部份。通常需要簡短敘述：
 - (1) 發生什麼；
 - (2) 可能引發什麼樣的後果及其嚴重性；
 - (3) 是什麼原因造成意外事故；
 - (4) 應該採用何種改善措施與建議，如短期、中期和長期建議。

2. 小組成員的組成和責任分配：清楚的敘述每位調查人員的權責和調查工作。
3. 調查動機：如果為虛驚事件或是輕微事故需要解釋為什麼需要深入調查。
4. 事件的時間時序：報告中需要提供主要事件的時間時序，回顧事故發生的真相，詳細的時間序列可以於附件中說明。
5. 後果：一般而言，重大的意外事件應會牽涉下述的一項或多項損失。
 - (1) 個人傷害；
 - (2) 環境衝擊；
 - (3) 財務衝擊：生產中斷、貨物損壞、修護費用、緊急處理費用、訴訟費用、醫療費用、保費上漲和賠償員工費用等。
6. 根本原因：事故調查的方法與過程。
7. 其他危害：是否有其他相關的危害。
8. 建議：所有的發現和建議應在本章節詳細列出，可以針對需要改善之處列出時間表，如立即改善措施、中期改善措施以及長期改善措施。
9. 附錄：與意外事故相關的背景資料，如與事故相關的規則和標準、組織圖等。

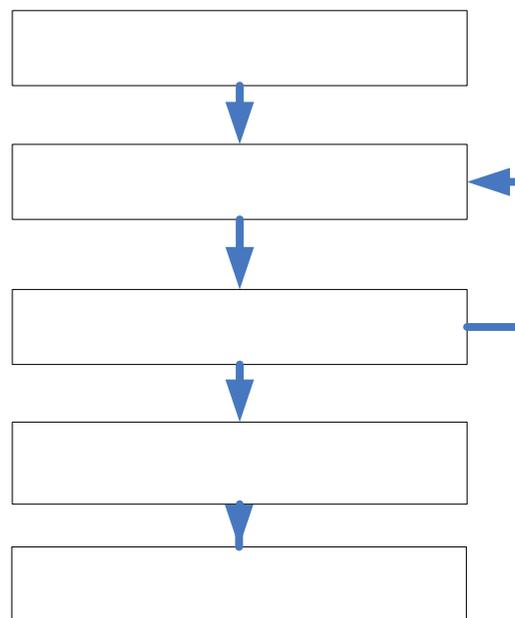


圖 31 事故調查後續作業流程

第七章 案例探討

案例探討最主要的目的為汲取他人的經驗，避免相似的意外事故再次發生，進一步從中學習，改善本身管理系統的不足之處。本章引用國際第三大石油公司—英國石油公司(British Petroleum, BP)，於 2005 年 3 月 23 日的爆炸事故，BP 德州廠蒸氣雲爆炸事故調查報告，為近年來最完整的案例資料，故本研究採用 BP 的案例驗證原因與衝擊分析方法[32][33][34]。

第一節 背景說明

2005年3月23日下午1:20，位於休士頓東南30英哩的英國石油公司德州煉油廠發生爆炸，是美國近來最嚴重的工安意外，爆炸與火災造成18人死亡、170人受傷及財務損失15億美元。該意外發生在異構化(Isomerization, ISOM)工場開車過程，操作人員用幫浦抽送可燃性碳氫化合物至萃餘油分離塔(Raffinate Splitter Tower)內，3小時後仍未見任何液體出料，不符合操作步驟的要求。另外警報與控制儀錶提供操作人員錯誤的訊息，導致萃餘油分離塔超過高液位警戒值，因此塔頂管線充滿液體，萃餘油分離塔底部壓力從145 kPa上升至441 kPa。塔頂3個釋壓閥開啓6分鐘，排放大量的可燃性液體到洩放緩衝槽(Blowdown Drum)，再由煙囪排放至大氣。由於洩放緩衝槽以及煙囪充滿可燃液體，造成噴泉似的噴出34公尺高的液柱。

逸散的易揮發液體形成可燃性的蒸氣雲，停放在洩放緩衝槽7.6公尺外的柴油小貨車產生的回火為引燃蒸氣雲最可能的火源。在災難中死亡的18位人員都是位在洩放緩衝槽附近37公尺的拖車區內外工作的承攬商。

意外發生時間是在ISOM工場維修停工一個月後的開車作業，該製程於1980年建廠，提供無鉛汽油的辛烷化合物。ISOM單元是將直鏈的戊烷和己烷，轉化成高階辛烷支鏈同分戊烷與己烷，以利汽油混合或是當作化學原料。圖32為ISOM製程流程圖，相關單元如下：

1. 萃餘油分離塔：內徑為 3.8 公尺、高 52 公尺、儲滿液體時約 58 萬 6 仟公升，塔內安裝 70 個分餾板，主要分離輕與重的萃餘油，該分離塔底部有二個獨立運作的高液位警報，一個是達到 72% 液位 (2.3 公尺)，另一個當達到 78% 液位 (2.4 公尺) 時會發出警報，該分離器也設有低液位的警報。

2. 安全釋壓閥：3 個平行的安全釋壓閥裝設於塔頂，主要功能為當壓力過大時，可以將蒸氣排放至處理收集系統。
3. 處理收集系統：處理收集系統收集從逸散閥和洩放緩衝閥的液體及蒸氣，並將之排放至洩放緩衝槽中。而 ISOM 工場的液體及蒸氣也經由另外的收集系統排放至洩放緩衝槽。
4. 洩放緩衝槽與煙囪：主要功能為接受逸散及洩放緩衝閥排放的液體與氣體，正常操作狀態下，輕的碳氫化合物蒸氣會上升通過隔板經由煙囪排放至大氣；任何液體或重的碳氫化合物則收集於槽內，由槽的底部排放至 ISOM 的廢水系統。

第二節 事故描述

2005年2月21日ISOM工場的萃餘油分離塔停車，開始進行歲修作業，對於相關的設備進行檢測與維修作業。開車前設備的檢查中，已察覺液位傳送器(LT-5100)和玻璃視窗(LG-1002A/B)失效。由於液位傳送器(LT-5100)和玻璃視窗(LG-1002A/B)在運轉時無法修理，必需先開啓遮斷閥防止洩漏，但2005/3/10工單只有更換遮斷閥，因為BP現場作業主管認為在歲修的工作時程中，沒有時間完成此項工作。2005年2月26日和3月22日操作人員二次回報壓力控制閥(PCV-5002)失效，但值班主管未指派維修命令，卻在開車程序簽核所有失效的相關設備都已經過維修。

2005年3月22日值班主管準備進行開車動作，指派設備技術員進行測試，由於時間不足，只對部分設備和警報進行測試，卻在開車程序簽核所有相關警報和設備都經過測試。在意外事故發生的兩年前，BP就要求所有歲修後的開車作業都必須進行開車前安全審查（Pre-Startup Safety Review, PSSR），要求所有非必要的人員都必須離開現場，並且經由操作經理與製程安全經理簽核PSSR核對清單，才能進行開車作業，然而這項作業並未在ISOM工場徹底執行。

BP現場主管與歲修工作的工程人員先前決定於2005年3月22日的夜間進行ISOM工場萃餘油單元的開車作業，於是2005年3月23日的清晨2：15夜間領班操作員在第二控制室內開始執行萃餘油分離塔進料作業。然而當時夜間領班操作員並沒有使用開車程序和記錄填滿萃餘油設備製程的完整步驟，導致日間控制室人員無法清楚了解進料情形。清晨3：09高液位警報器響起，清晨3：20當時液位傳

送器(LT-5100)已達2.73公尺(99%儀器範圍)，夜間領班操作員停止供料至分離塔，高液位警報(LSH-5102)器在液位抵達(99%儀器範圍)前從未響過，LSH-5102失效問題也沒有人員提報。

開車程序需要液位控制閥位於自動控制狀態，並設定在50%液位，以維持重萃餘油流向儲存槽的流量，操作人員根據過去作業經驗，認為當分離塔底部馬達開始抽送時，液位下降會導致塔底失去重萃餘油流量，進料加熱器失去重萃餘油流量將會關閉進料加熱器和開車程序，為了避免失去塔內液體容量及損壞設備，控制室操作員會維持液位在50%以上，即使在意外發生過程中高液位警報器(LT-5100)一直處於警報狀態，操作人員仍不以為意。

夜間領班操作員距離輪班前一小時下班，在夜間操作領班離開前，僅口頭簡短的向值班主管和夜間控制操作員說明他在現場控制室採取的步驟，日間控制室操作人員抵達煉油廠無法充分了解進料狀態。而後日間值班主管A在早上7：13到班，遲到1小時，未與任何夜間班人員進行交接。清晨值班主任在會議中討論萃餘油的進料情況，日間值班主管B得知不可進行開車程序，因為重萃餘油槽已經滿了，但未與ISOM工場操作人員溝通，在欠缺溝通下日間值班主管A告訴操作員準備對萃餘油分離塔再次開車，但日間值班主管A並未分配員工進行檢查工作，此舉違反相關作業流程。

由於開車程序要求降低系統壓力至最小，避免開車時塔內過壓，早上9：28日間操作員打開8吋NPS鏈閥排除氮氣，早上9：30操作員觀察到傳送器(LT-5100)為2.7公尺 (97%儀器範圍)，仍認為是正常值。接著由於溝通上的錯誤，日間控制操作員關閉塔的液位控制閥，而現場操作人員以手動關閉閥(輕萃餘油產品進入儲存室的閥)都造成重萃餘油分離塔液位持續上升。

萃餘油循環重新開車之前，早上9：40日間控制室操作員打開分離塔液位控制閥至70%的輸出3分鐘，共190萬公升的重萃餘油流出塔，接著關閉液位控制閥，早上9：51日間控制室操作員重新啟動萃餘油循環，由於用來目視辨別塔內液位的液位玻璃視窗，已在幾年前因為充滿殘渣，功能無法發揮，因此並未要求現場人員目視確認液位。

為了預熱分離塔的進料及加熱塔底液體，日間控制室操作員於早上9：55點燃兩排進料加熱器，又在早上11：16點燃另兩排進料加熱器，在這期間日間主管A因家中急事於上午10：47離开工場，此時廠區內無相關經驗的ISOM人員接替，

而液位傳送器(LT-5100)失效使得相關作業人員不知液位已經超過儀器範圍，仍然持續增加進料加熱爐燃料，直至塔內壓力上升至228 kPa，現場操作員才開啓8吋NPS鏈閥，減少進料加熱爐燃料以及將分離塔液位控制器開度調整為15%試圖增加出料流量。

雖然塔內量已經開始減少，不過持續加熱促使塔頂的液位不斷增加，直到完全溢流，流到上方蒸氣管以及釋壓閥與冷凝器，下午1：14當液體滿溢至上方管線時，導致管線的靜壓增加。塔內壓力（通常是固定值）加上增加的靜壓，已經超過安全釋壓閥設定的壓力(290 kPa)，自動系統開啓安全釋壓閥，電腦控制室的資料顯示這3個安全釋壓閥是全開狀態六分鐘，約有196,500公升的可燃液體排出後，安全釋壓閥關閉。大量可燃液體排放至洩放緩衝槽，而洩放緩衝槽的高液位警報器(LSH-5020)失效。而後日間控制室操作人員以無線電宣佈洩放緩衝槽的高液位警報器失效，日間控制室操作人員趕緊減少進料加熱爐燃料，日間領班操作員吩咐現場操作員開啓萃餘油蒸餾塔回流裝置，而自己去關閉進料系統，但為時已晚，於下午1：20：04蒸氣雲點燃並引發爆炸，此時數百個警報（包括洩放緩衝槽的高液位警報器）響起，ISOM 操作人員在爆炸前並無足夠時間評估狀態以及發動警報。

第三節 發展時間序列圖

經由資料收集逐一發展完整的時間序列圖形，資料收集可經由人員訪談、電子紀錄與維修記錄等資料取得，根據第六章第四節的一、時間序列圖基本定義中，眾多事故背景資料中決定與 BP 意外事件相關的事件和狀態，並在事件和狀態敘述的後面加註資料來源和屬於基本定義中的哪一類。

表 23 為 BP 爆炸事故的事件時間序列表，主要參考 CSB 於 2007 年以及 BP 於 2005 年的最終調查報告，將其背景資料和事故資料彙整至表 23，其中事件欄位的第一項括弧表示事件的取得來源，如操作文件、測試紀錄、進出管制系統紀錄等，事件欄位的第二項括弧為註記表 17 和表 18 對事件及成因圖的衍生定義，經由簡易的事件時間順序排列，協助分析者思維更加清晰。表 24 為 BP 爆炸事故的狀態時間序列表，主要用以輔助事件說明，狀態可以回溯至數年前的維修記錄、文件紀錄、公司政策和人員的認知等。

根據第六章第四節的時間序列建構方式，判別與意外事故相關的事件與狀態、時間序列圖的排序，並且經由表 19 九項執行時間序列的規則逐一完成圖 33 完整的時間序列。但是本研究在意外事故的背景資料收集是採用 CSB 和 BP 的事故調查報告，因此在證據收集和分析證據的可靠度有所限制，證據收集和分析的主要步驟為：

1. 儘速展開分析，與資料收集同步進行，建立初步時間序列圖。由於本案例是採用已發生的 BP 爆炸事件，在資料收集部份只能採用現有的事故報告，無法驗證資料收集的階段，但是可在步驟 5 驗證資料與證據的充分性和必要性，將資料中所需的證據和資料轉換成建構方塊的形式排列於時間序列中。
2. 資料收集，包含事故發生前的背景資料和其他與意外事故相關的維修記錄、檢測資料等，BP 於 2005 年出版的德州煉油廠意外事故調查期末報告將資料取得來源詳細附註如操作文件、進出管制系統紀錄、訪談、製程數據收集系統、測試紀錄等，收集所需資料，本研究將其資料取得來源註記於表 23 和表 24 中相關事件中。
3. 將步驟 2 所獲得的資料，經由表 17 以及表 18 對事件與狀態的衍生定義判別其屬性，如果資料充分予以定量，藉由此份報告將所需的資料轉換成建構方塊的形式排列於時間序列中，下述舉例事件和狀態判別說明方式，依據其理

論依序彙整至表 23 和表 24 中：

- (1) 9：40A.M.由製程數據收集系統資料得知「日間控制室操作員打開分離塔液位控制閥至 70%的輸出位置約 3 分鐘(E19)」，屬於表 17 事件衍生定義中的第 1 項人員行動事件。而 E19 事件又引發「萃餘油循環重新開車之前，日間控制室操作員打開分離塔液位控制閥至 70%的輸出 3 分鐘，共 190 萬公升的重萃餘油流出塔(E19-1)」狀態發生，屬於表 18 衍生定義中的第 7 項和事件有時間關聯性。
4. 經由「在事件發生前，發生什麼事？」，獲得與事件相關的資料。
5. 測試資料充分性和必要性，針對每一件事件「詢問是否前面一項建構方塊引導下一項建構方塊的發生？」，舉例說明如下：
 - (1) 「夜間領班操作員在第二控制室內開始執行萃餘油分離塔進料作業(E6)」和「當時液位傳送器(LT-5100)已達 2.73 公尺(99%儀器範圍)，夜間領班操作員停止供料至分離塔(E9)」之間是否有其他事件，經由時間序列規則 5 測試：
 - A. 事件(E6)是否總是會領導事件(E9)發生？否。
 - B. 每次事件(E6)發生，事件(E9)也會跟著發生？否。
 - C. 只因爲事件(E6)發生，事件(E9)就發生？否。
 - D. 是否在事件(E6)與事件(E9)之間有任何的相關防護措施，防止事件(E6)造成事件(E9)的發生？是，該製程單元設有 72%高液位警報器和 78%高液位警報器，因此將「72% 高液位警報器(E7)」和「78%高液位警報器(E8)」新增於 E6 和 E9 之間。
6. 如果有任何新增相關證據，轉換成建構方塊的型態增列於時間序列中，且位於事件 E6 和事件 E9 之間重新重複步驟 5，確認其充分性和必要性。
7. 對於每個建構方塊重複相同的步驟，以此類推。
8. 有些事件爲假設或推論的事件，或者是目前無足夠資料驗證的證據以虛線表示，如果日後有足夠的證據資料再予以更正。
9. 重新檢視時間序列，是否事件與事件之間的關聯性都爲充分與必要，並將不必要的資料刪除。

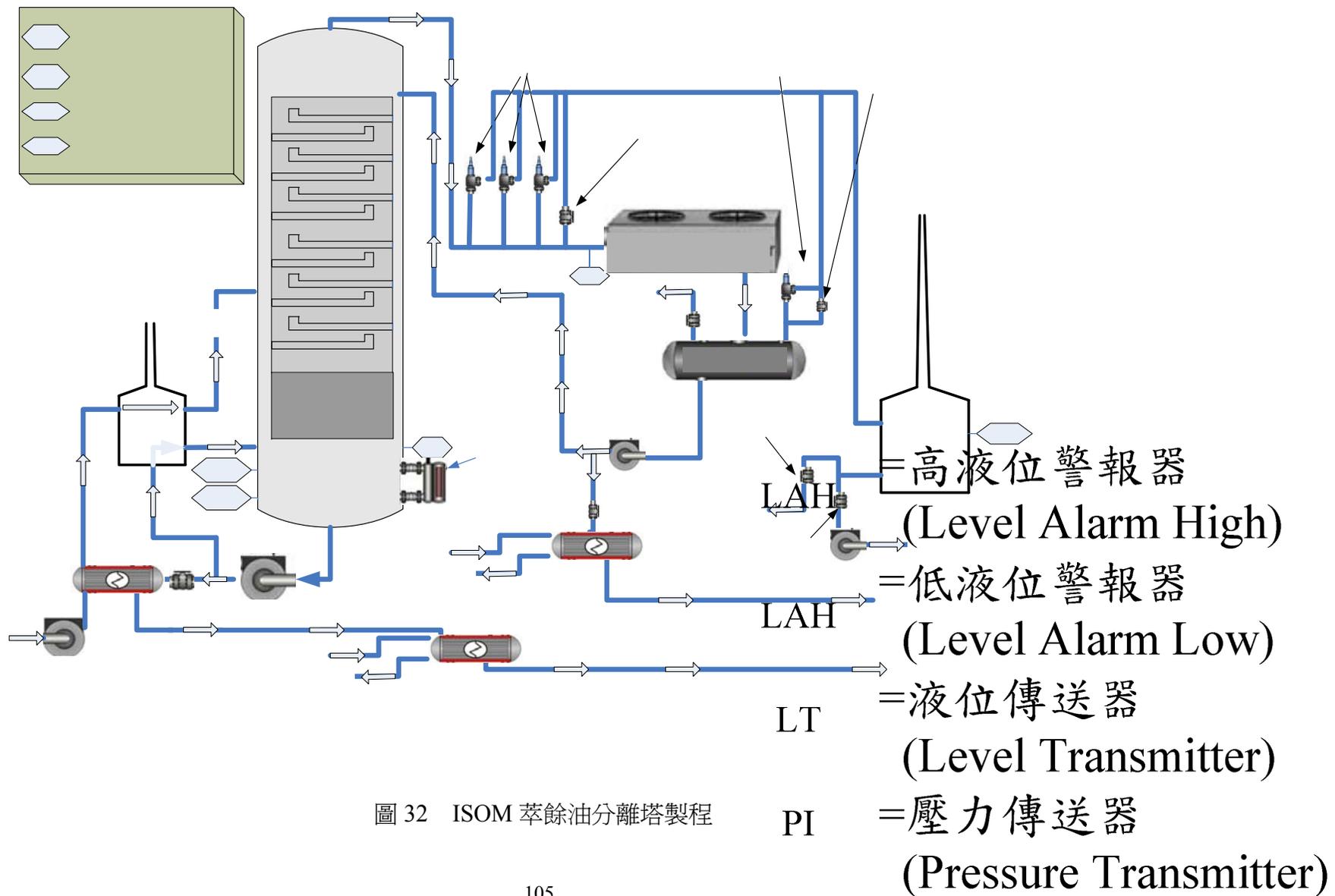


圖 32 ISOM 萃餘油分離塔製程

表 27 BP 爆炸事故的事件時間序列表－1

編號	日期	時間	事件
E1	2005/2/21	未知	ISOM 工場的萃餘油分離塔停車。(文件)(1.人員的行動)
E2	2005/2/26	未知	操作人員從控制面板測試(開啓/關閉) 3 磅的壓力控制閥(PCV－5002)。(測試紀錄)(1.人員的行動)
E3	2005/3/10	未知	更換遮斷閥的工單新增至歲修清單內。(文件)(1.人員的行動)
E4	2005/3/22	未知	操作人員再次從控制面板測試(開啓/關閉) 3 磅的壓力控制閥(PCV－5002)。(1.人員的行動)
E5	2005/3/22	未知	日間值班主管 A 告訴儀錶技術員停止檢查警報裝置。(1.人員的行動)
E6	2005/3/23	2:15A.M.	夜間領班操作員在第二控制室內開始執行萃餘油分離塔進料作業。(1.人員的行動)
E7		3:09A.M.	當液位抵達 2.3 公尺時(72%儀器範圍)，高液位警報器響起。(2.設備運作)
E8		未知	當液位抵達 2.41 公尺時(78%儀器範圍)，高液位警報(LSH-5102)器則從未響過。(2.設備運作)
E9		3:20A.M.	當時液位傳送器(LT－5100)已達 2.73 公尺(99%儀器範圍)，夜間領班操作員停止供料至分離塔。(1.人員的行動)

表 28 BP 爆炸事故的事件時間序列表－2

編號	日期	時間	事件
E10		5:00A.M.	夜間領班操作員距離輪班前一個小時下班。(進出管制系統紀錄)(1.人員的行動)
E11		6:06A.M.	日間控制室操作人員抵達煉油廠。(進出管制系統紀錄)(1.人員的行動)
E12		6:23A.M.	夜間控制室操作人員離開煉油廠。(進出管制系統紀錄)(1.人員的行動)
E13		7:13A.M.	日間值班主管A抵達現場。(進出管制系統紀錄)(1.人員的行動)
E14		未知	日間值班主管A告訴操作員準備再次對萃餘油分離塔開車。(訪談)(1.人員的行動)
E15		9:28A.M.	日間操作員打開 8 吋 NPS 鏈閥去除氮氣。(製程數據收集系統)(1.人員的行動)
E16		9:30A.M.	日間控制室操作員在開始循環時，觀察到傳送器(LT-5100)為 2.7 公尺 (97%儀器範圍)。(製程數據收集系統)(1.人員的行動)
E17		未知	日間控制操作員關閉塔的液位控制閥。(訪談)(1.人員的行動)
E18		未知	現場操作人員以手動關閉閥(輕萃餘油產品進入儲存室的閥)。(訪談)(1.人員的行動)
E19		9:40A.M.	日間控制室操作員打開分離塔液位控制閥至 70%的輸出位置約 3 分鐘。(製程數據收集系統)(1.人員的行動)

表 29 BP 爆炸事故的事件時間序列表－3

編號	日期	時間	事件
E20		9:43A.M.	日間控制室操作員關閉液位控制閥（降至0%輸出）。(製程數據收集系統) (1.人員的行動)
E21		9:51A.M.	日間控制室操作員重新啓動萃餘油循環。(製程數據收集系統) (訪談) (1.人員的行動)
E22		9:55A.M.	日間控制室操作員點燃兩排進料加熱器。(製程數據收集系統) (訪談) (1.人員的行動)
E23		10:47A.M.	日間值班主管 A 離开工場(進出管制系統紀錄) (1.人員的行動)
E24		未知	指派日間值班主管 B 接替日間值班主管 A 的 ISOM 作業。(訪談) (1.人員的行動)
E25		11:16A.M.	操作員點燃另外兩排進料加熱器。(製程數據收集系統) (訪談) (1.人員的行動)
E26		11:50A.M.	操作人員增加進料加熱爐燃料的氣流量燃。(製程數據收集系統) (1.人員的行動)
E27		12:41P.M.	現場操作員打開8吋NPS鏈閥。(製程數據收集系統) (訪談) (1.人員的行動)
E28		12:42P.M.	操作人員減少進料加熱爐燃料。(製程數據收集系統) (1.人員的行動)
E29		12:42P.M.	控制室操作員將分離塔液位控制器開度調整為 15%。(1.人員的行動)
E30		12:59P.M.	重萃餘油開始出料。(2.設備運作)

表 30 BP 爆炸事故的事件時間序列表－4

編號	日期	時間	事件
E31		1:14 P.M.	領班操作員打開8 吋NPS鏈閥。(2.設備運作)
E32		1:14 P.M.	自動系統開啓安全釋壓閥。(1.人員的行動)
E33		1:14:14 P.M.	現場操作人員開啓 6 吋的手動閥(6-inch NPS gooseneck pipe)。(製程數據收集系統)(1.人員的行動)
E34		未知	日間控制室操作人員開始排解高壓問題。(1.人員的行動)
E35		未知	洩放緩衝槽的高液位警報器失效(LSH-5020)。(3.設備失效)
E36		未知	日間控制室操作人員以無線電宣佈洩放緩衝槽的高液位警報器失效(不會響)。(1.人員的行動)
E37		1:15:30 P.M.	日間控制室操作人員減少進料加熱爐燃料的氣流量。(製程數據收集系統) (1.人員的行動)
E38		1:16:00 P.M.	日間控制室操作人員將液位控制閥開至全開形式至重萃餘油儲槽。(1.人員的行動)
E39		1:17:14 P.M.	現場操作員啓動塔頂回流泵浦。(製程數據收集系統) (1.人員的行動)
E40		1:19:59 P.M.	日間領班操作員從第二控制室關閉燃料氣。(製程數據收集系統)(DCS Log)(訪談) (1.人員的行動)
		1:20:04 P.M.	蒸氣雲點燃並引發爆炸。

表 31 BP 爆炸事故的狀態時間序列表－1

編號	日期	時間	事件
E1-C1	2005/2/21		展開 12 小時連續輪班計畫。(4.人員作業的相關描述)
E2-C1			壓力控制閥提供萃餘油分離塔不可壓縮氣體排放的途徑。(3.對設備功能的描述)
E2-C2	2005/2/26		操作人員將壓力控制閥(PCV-5002)失效問題回報值班主管。(4.人員作業的相關描述)
E3-C1			液位傳送器 (LT-5100) 和玻璃視窗 (LG-1002A/B)在運轉時無法修理，必需先開啓遮斷閥防止洩漏。(1.操作手冊)
E3-C2	2005/3/10		ISOM 歲修時，操作員回報現場作業主管遮斷閥、分離塔液位傳送器(LT-5100)和液位玻璃視窗(LG-1002A/B)必須修理。(2.文件紀錄)
E3-C3	2005/3/10		分離塔液位傳送器(LT-5100)和液位玻璃視窗 (LG-1002A/B)並未在修理的清單中。(5.個人認知)
E4-C1	2005/3/22		操作人員將壓力控制閥(PCV-5002)失效，問題再次回報值班主管。(4.人員作業的相關描述)
E4-C2	2005/3/22		重新開車前未有任何修護工單，值班主管卻在開車程序簽核，表示所有的控制閥在開車前已完成測試並正常運作。(1.違反開車程序)

表 32 BP 爆炸事故的狀態時間序列表－2

編號	日期	時間	事件
E5-C1	2003		意外發生 2 年前，歲修後的工場開車就必須採用 PSSR，而負責煉油廠製程安全的協調人，並不熟悉該項規定的適用性。
E5-C2	2005/3/22		BP 現場主管與歲修工作的工程人員先前決定於 2005 年 3 月 22 日的夜間進行 ISOM 工場萃餘油單元的開車作業。(2.文件紀錄)
E5-C3	2005/3/22		技術員準備要開車，停止檢查警報裝置，沒有進行完整檢測，但日間值班主管 A 仍簽署開車程序。(1.違反開車程序)
E6-C1			夜間領班操作員並沒有遵守開車程序和紀錄填滿萃餘油設備製程的完整步驟。(1.違反開車程序和標準作業程式)
E7-C1		3:09A.M.	整個意外發生過程中，連接液位傳送器(LT-5100)的高液位警報器一直處於警報狀態。(7.發生在事件之後的狀態)
E8-C1			沒有任何人員通報高液位警報器(LSH-5102)故障問題。(2.維修紀錄)

表 33 BP 爆炸事故的狀態時間序列表－3

編號	日期	時間	事件
E9-C1			開車程序需要液位控制閥位於”自動”模式，以及設定在 50%液位高度，以維持重萃餘油流向儲槽的流量。(1.操作手冊)
E9-C2			操作人員根據過去作業經驗，會將液位維持在 50%以上。(5.人員的認知及經驗)
E9-C3			進料直到液位傳送器(LT-5100)讀值高達到 99%儀器範圍，是極不正常的現象，開車程序要求傳送器(LT-5100)的讀值為 50%。(1.違反開車程序和標準作業程序)
E10-C1			夜間操作領班離開前，僅口頭簡短的向值班主管和夜間控制操作員說明他在現場控制室採取的步驟。(4.人員作業的相關描述)
E10-C2			中央控制室的工作日誌顯示夜間領班操作員記載「ISOM 工場：加入萃餘油至該工場，已經對熱交換器、管線和相關設備進行進料」的紀錄。(2.控制室的日誌紀錄)

表 34 BP 爆炸事故的狀態時間序列表－4

編號	日期	時間	事件
E11-C1			夜間控制室操作員與日間控制室操作員換班時，由於並非唯一可以控制進料的人員，所以僅能提供開車部分的資訊。(4.人員作業相關描述)
E13-C1			日間值班主管 A 具有豐富的 ISOM 操作經驗的現場主管。(4.人員作業相關描述)
E13-C2			日間值班主管 A 在早上 7:13 到班，遲到 1 小時，並未與任何夜間值班人員進行交接。(4.人員作業相關描述)
E14-C1			清晨值班主任在會議中討論萃餘油的進料情況，日間值班主管 B 被告知不可開車，因為重萃餘油槽已經滿了。(2.儲槽區域的日誌)
E14-C2			不要啓動萃餘油單元的指示，日間值班主管 B 並未與 ISOM 工場操作的人員溝通。(4.人員作業相關描述)
E14-C3			在程序中要求值班主管必須要進行查核，但日間值班主管 A 並未提供或查核員工使用的程序。(1.SOP)
E15-C1			開車程序要求降低系統壓力至最小，協助避免開車時塔內過壓。(1.開車程序)
E15-C2			塔內壓力降至 0 psig。(2.儀器記錄)

表 35 BP 爆炸事故的狀態時間序列表－5

編號	日期	時間	事件
E16-C1			日間控制室操作員在開始物料循環時，觀察到 97%儀器範圍，也認為是正常值，他並不記得當時液位是否降至 50%。(5.個人認知)
E17-C1			日間控制室操作員認為，他被指示不要將重萃餘油產品送入重萃餘油儲槽，因此，關閉塔的液位控制閥。(4.人員作業的相關描述)
E17-C2		未知	重萃餘油分離塔液位持續上升。(7.和事件有時間關聯性)
E18-C1			現場操作員認為，他們被指示不要將輕萃餘油產品送入輕萃餘油儲槽，並且手動改變閥的位置，這樣，輕萃餘油可以流入重萃餘油產品線。(4.人員作業的相關描述)
E18-C2		未知	重萃餘油分離塔液位持續上升。(7.和事件有時間關聯性)
E19-C1		9:40A.M.	萃餘油循環重新開車之前，日間控制室操作員打開分離塔液位控制閥至 70%的開度 3 分鐘，共 190 萬公升的重萃餘油流出。(7.和事件有時間關聯性)

表 36 BP 爆炸事故的狀態時間序列表－6

編號	日期	時間	事件
E20-C1			日間控制室操作人員根據過去作業經驗，認為當分離塔底部馬達開始抽送時，塔的液位即會下降。(5.個人認知)
E20-C2		9:43A.M.	重萃餘油流量指示計降至 68 萬 3 仟公升，而不是 0。(7.和事件有時間關聯性)
E21-C1			分離塔已經達到高液位。(2.儀器紀錄)
E21-C2			進料(從 ARU)也開始進入分離塔。(2.儀器紀錄)
E21-C3			分離塔的儀器持續顯示液體液位低於 100 %。(4.人員作業描述)
E21-C4			日間控制室人員知道液位玻璃視鏡失效的問題，因此並未要求現場職員目視確認液位。
E21-C5			日間控制室操作員認為，只要他能將讀數控制在傳送器的範圍內，就能確保安全狀態。(5.人員認知)
E22-C1			以預熱流向分離塔的進料及再沸的功能加熱塔底液體。(3.對設備功能描述)
E23-C1			BP 的安全程序中規定必需要有現場管理人員進行監督。(1.安全程序)
E23-C2		10:47A.M.	日間值班主管 A 因家中急事離開工廠。(4.人員作業描述)
E23-C3			由未曾受過訓練的人員接替。(4.人員作業描述)

表 37 BP 爆炸事故的狀態時間序列表－7

編號	日期	時間	事件
E24-C1			日間值班主管 B 原本負責 AU2ISOM/NDU 複合物和 ARU 的監督作業。(4.對人員作業相關描述)
E24-C2			日間值班主管 B 只有部分的 ISOM 操作經驗。(4.對人員作業相關描述)
E24-C3			日間值班主管 B 將大部份注意力集中在 ARU 開車，因此，並未真正參與 ISOM 開車。(4.對人員作業相關描述)
E25-C1		11:16A.M.	傳送器顯示底部液位已達 2.64 公尺(93%儀器範圍)。(7.和事件有時間關聯性)
E26-C1		11:50A.M.	傳送器指示的液位是 2.56 公尺(88%儀器範圍)，並且液位傳送器持續顯示下降。(7.和事件有時間關聯性)
E27-C1		12:41P.M.	由於上升的液體液位壓迫萃餘油分離塔內的氮氣，塔內壓力上升至 228 kPa。(2.儀器紀錄)
E27-C2			然而操作員都認為，高壓是由於塔底過熱的關係，雖然在開車過程中並不常見。(5.人員的認知及經驗)

表 38 BP 爆炸事故的狀態時間序列表－8

編號	日期	時間	事件
E27-C3		12:41P.M.	可燃物直接逸散至洩放緩衝槽，降低塔內的壓力。(7.和事件有時間關聯性)
E28-C1		12:42P.M.	試圖增加出料流量，這項作業約持續 15 分鐘。(5.人員的認知及經驗)
E28-C2		12:42P.M.	液位傳送器顯示值為 2.44 公尺(80%儀器範圍)。(7.和事件有時間關聯性)
E30-C1		1:02 P.M.	重萃餘流進料和出料相等，約為 326 萬公升。(7.和事件有時間關聯性)
E30-C2		1:04 P.M.	液位傳送器的讀值持續下降，顯示值為 2.41 公尺(79%儀器範圍)，雖然塔內量已經開始減少，不過持續加熱造成塔頂的液位不斷增加，直到完全溢流，流到上蒸氣管以及釋壓閥與冷凝器。(7.和事件有時間關聯性)
E31-C1		1:14P.M.	值班主管在電話中指示領班操作員打開 8 吋 NPS 鏈閥，以降低增壓。(4.對人員作業相關描述)
E32-C1		1:14P.M.	當液體滿溢至上方的管線時，導致管線的靜壓增加。塔內的壓力（通常是定數）加上增加的靜壓，已經超過安全釋壓閥設定的壓力 (290 kPa)。(3.對設備功能描述)

表 39 BP 爆炸事故的狀態時間序列表－9

編號	日期	時間	事件
E32-C2		1:14P.M.	3 個閥維持流動的內部平均壓力為 421 kPa，停止液體流動的最小壓力為 256.5 kPa，電腦控制室的資料顯示這 3 個安全釋壓閥維持全開六分鐘，約有 196,500 公升的可燃液體從閥流向收集頭後，安全釋壓閥關閉。(7.和事件有時間關聯性)
E33-C1			排放碳氫化合物液體至污水處理區。(3.對設備功能描述)
E35-C1			當洩放緩衝槽的液位達到安全設定值時，高液位警報器(LSH-5020)會響起，為唯一的液位警報設備。(3.對設備功能描述)
E39-C1			日間領班操作員吩咐現場操作員開啓萃餘油蒸餾塔回流裝置，並且日間領班操作員關閉進料系統。(4.對人員作業相關描述)
E40-C1		1:19:59P.M.	資料顯示進料並未停止。(7.和事件有時間關聯性)
		1:20:04P.M.	數百個警報(包括洩放緩衝槽的高液位警報器)響起，因此，ISOM 操作人員在爆炸前並無足夠時間評估狀態以及發動緊急通報系統。(4.對人員作業相關描述)

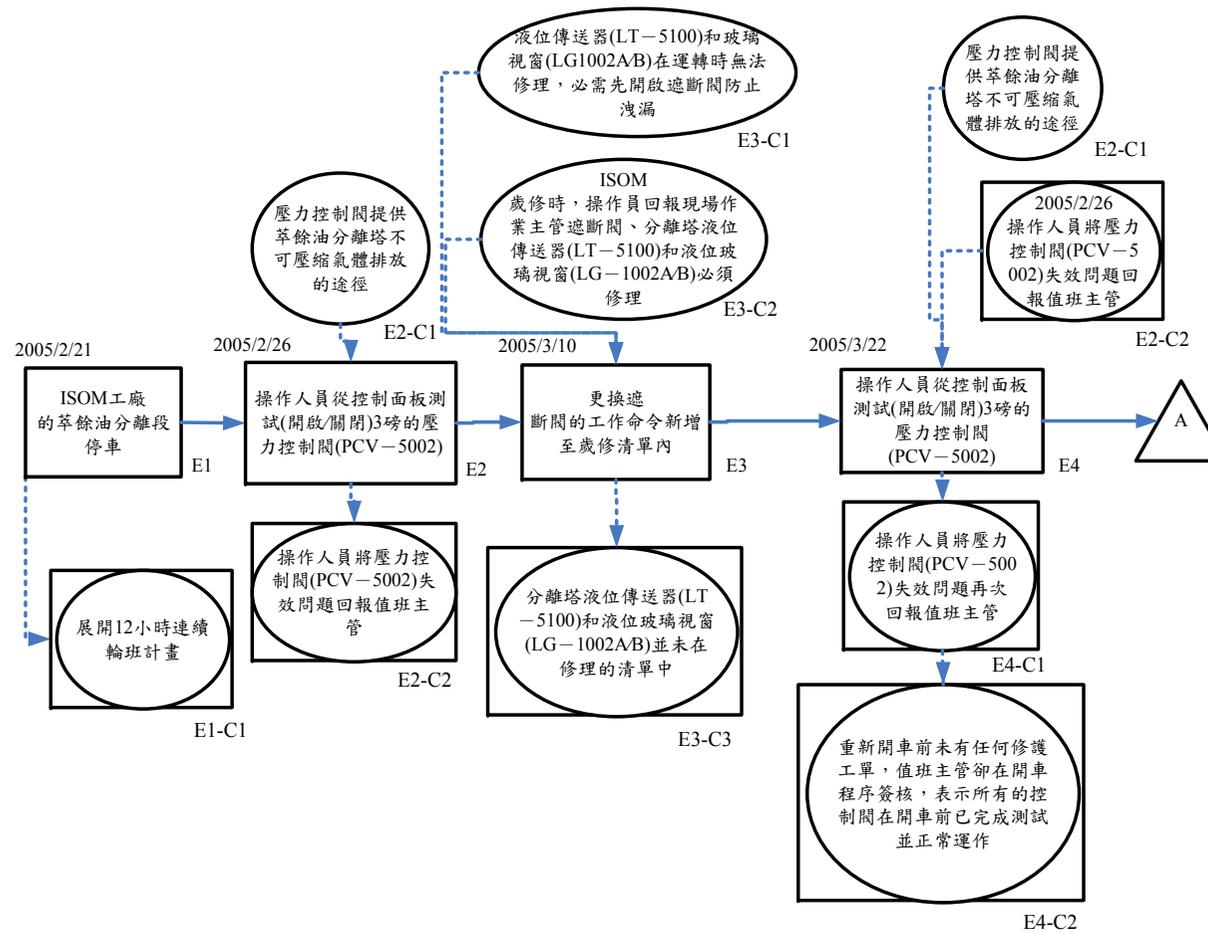
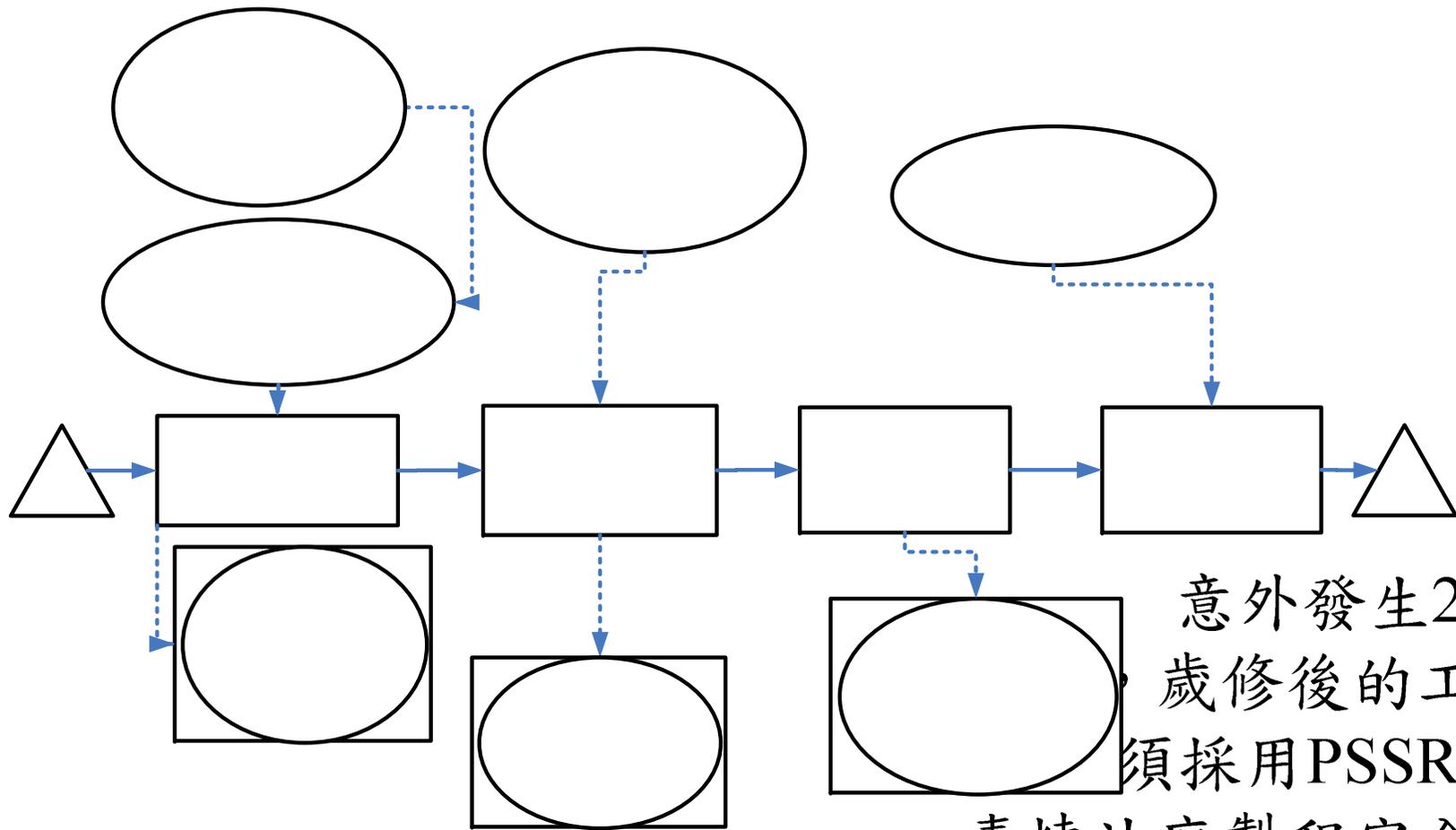


圖 33 BP 意外事故完整的时间序列-1



意外發生2
 歲修後的工場開車
 須採用PSSR，而負
 責煉油廠製程安全的協調
 人，並不熟悉該項規定
 的適用性

圖 34 BP 意外事故完整的時間序列-2

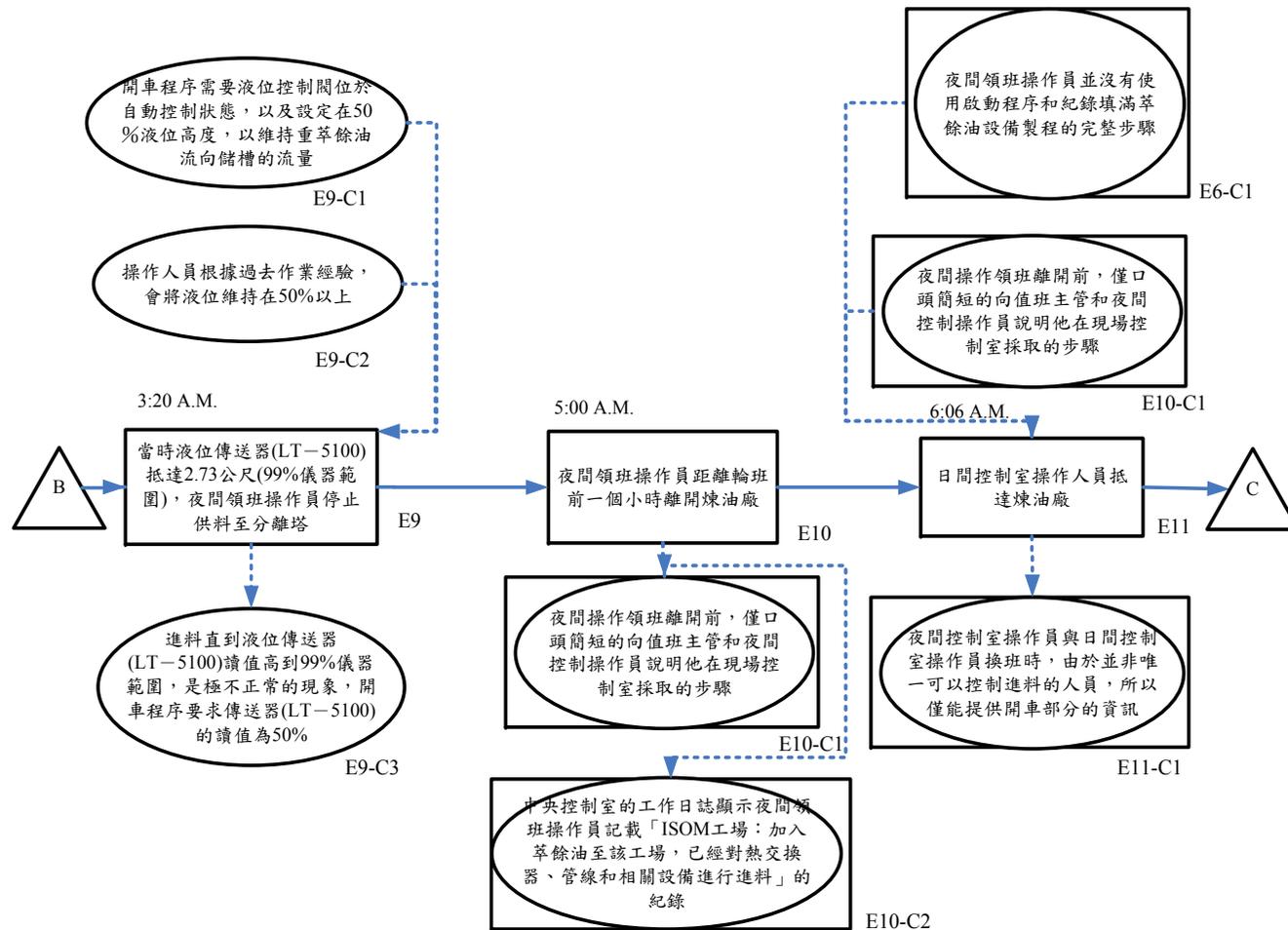
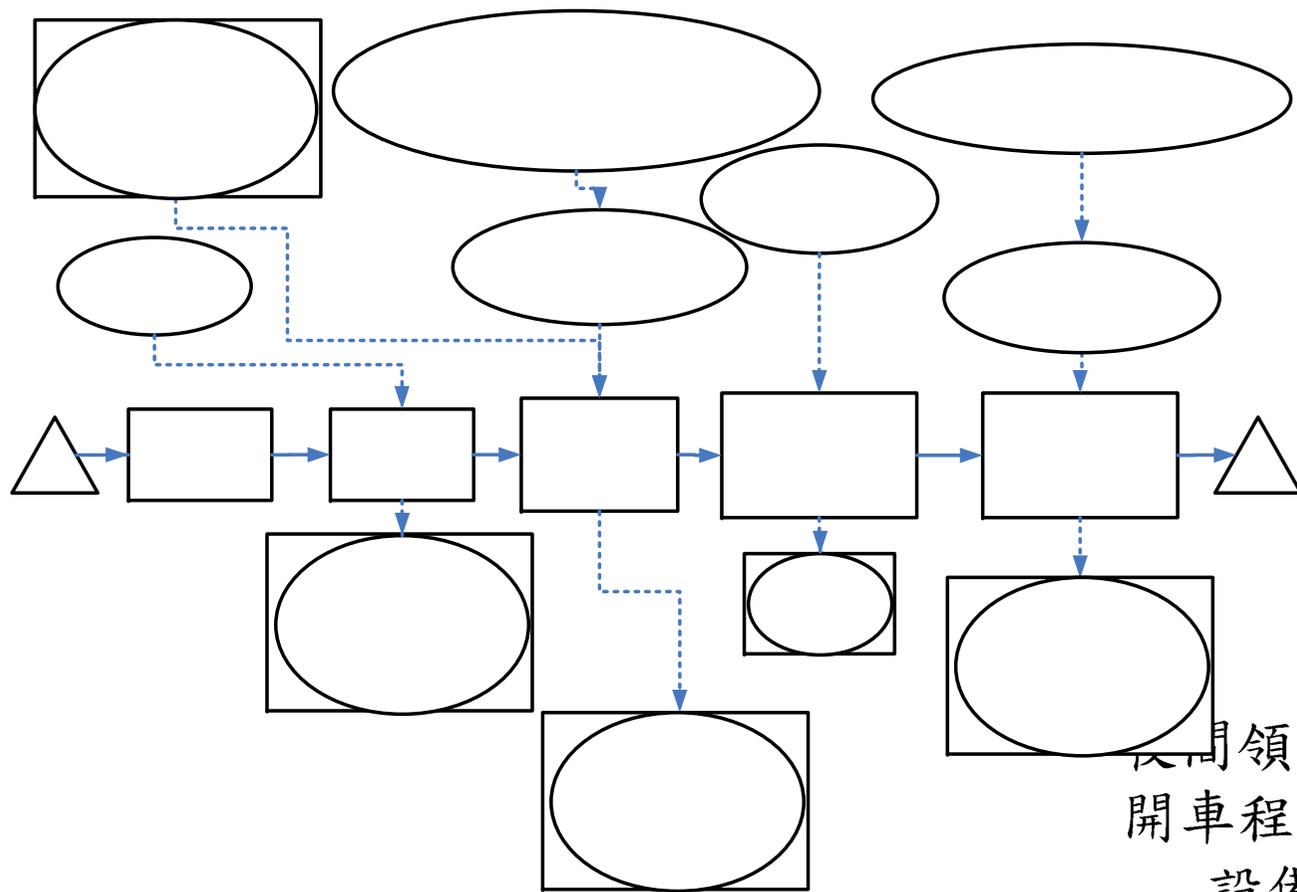


圖 35 BP 意外事故完整的時間序列-3



日間領班操作員並沒有使
開車程式和紀錄填滿萃餘
設備製程的完整步驟

圖 36 BP 意外事故完整的時間序列-4

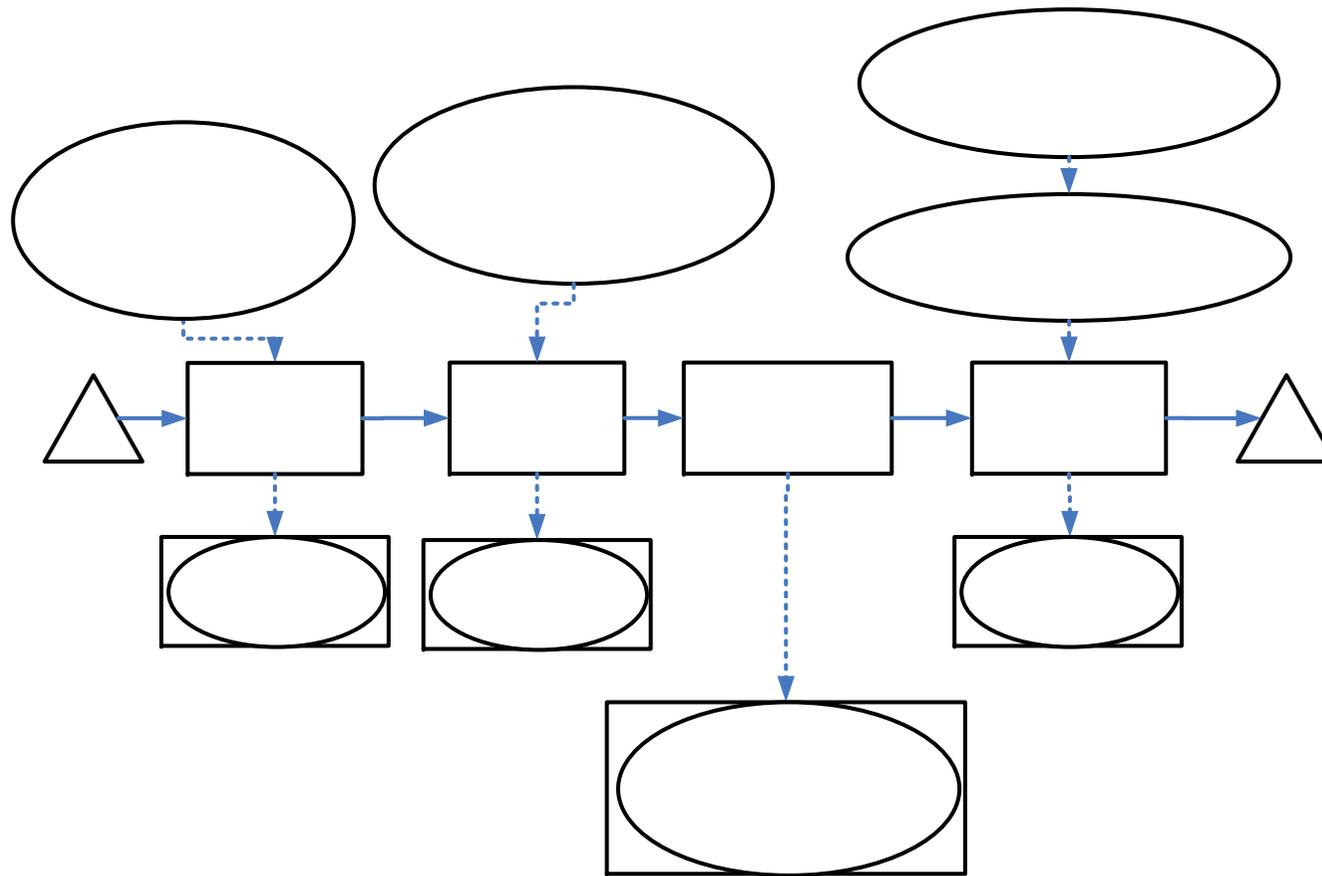


圖 37 BP 意外事故完整的時間序列-5

日間控制室操作員認為，他被指示不要將重萃餘油產品送入重萃餘油儲槽，因此，關閉塔的液位控制閥

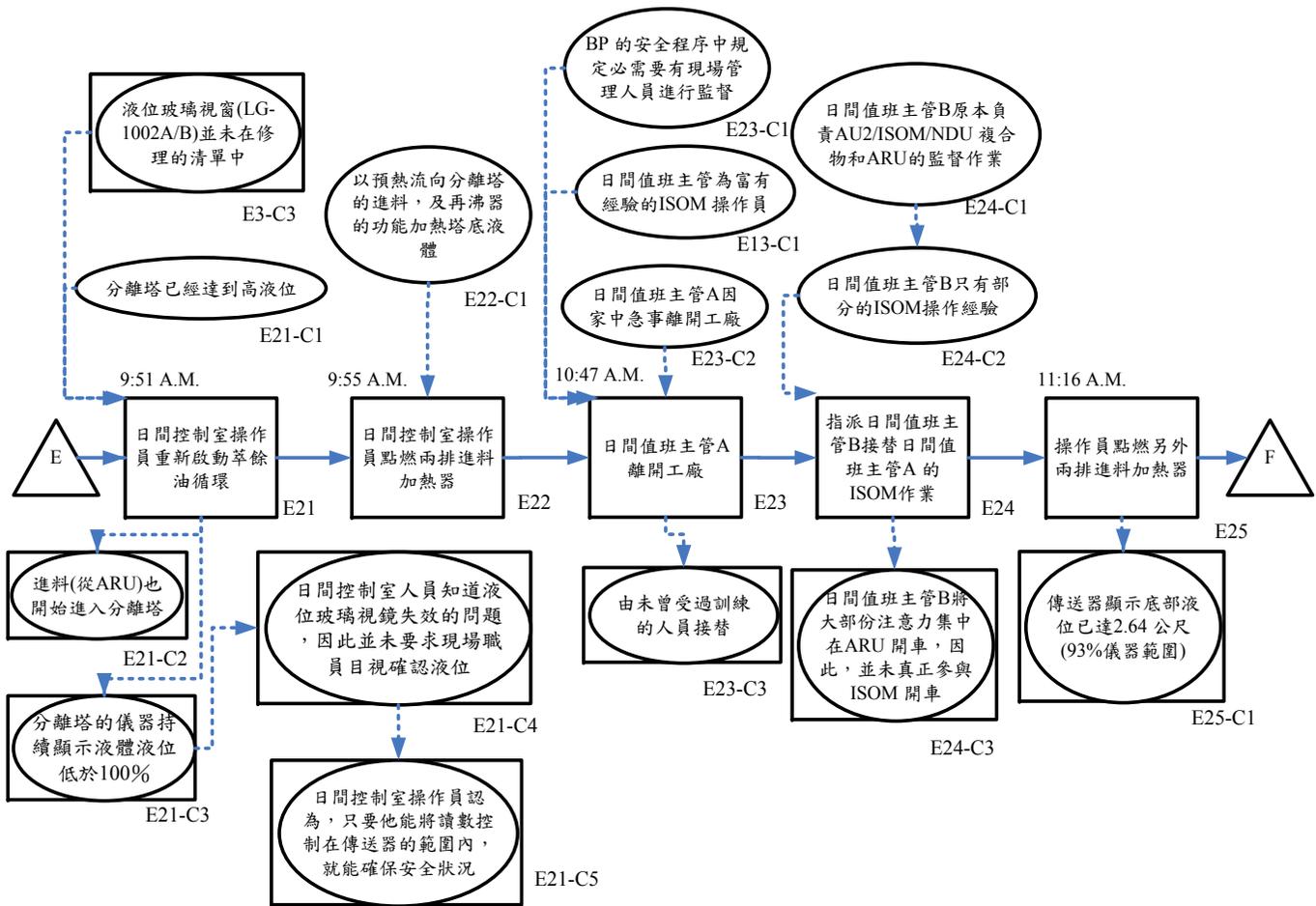


圖 38 BP 意外事故完整的時間序列-6

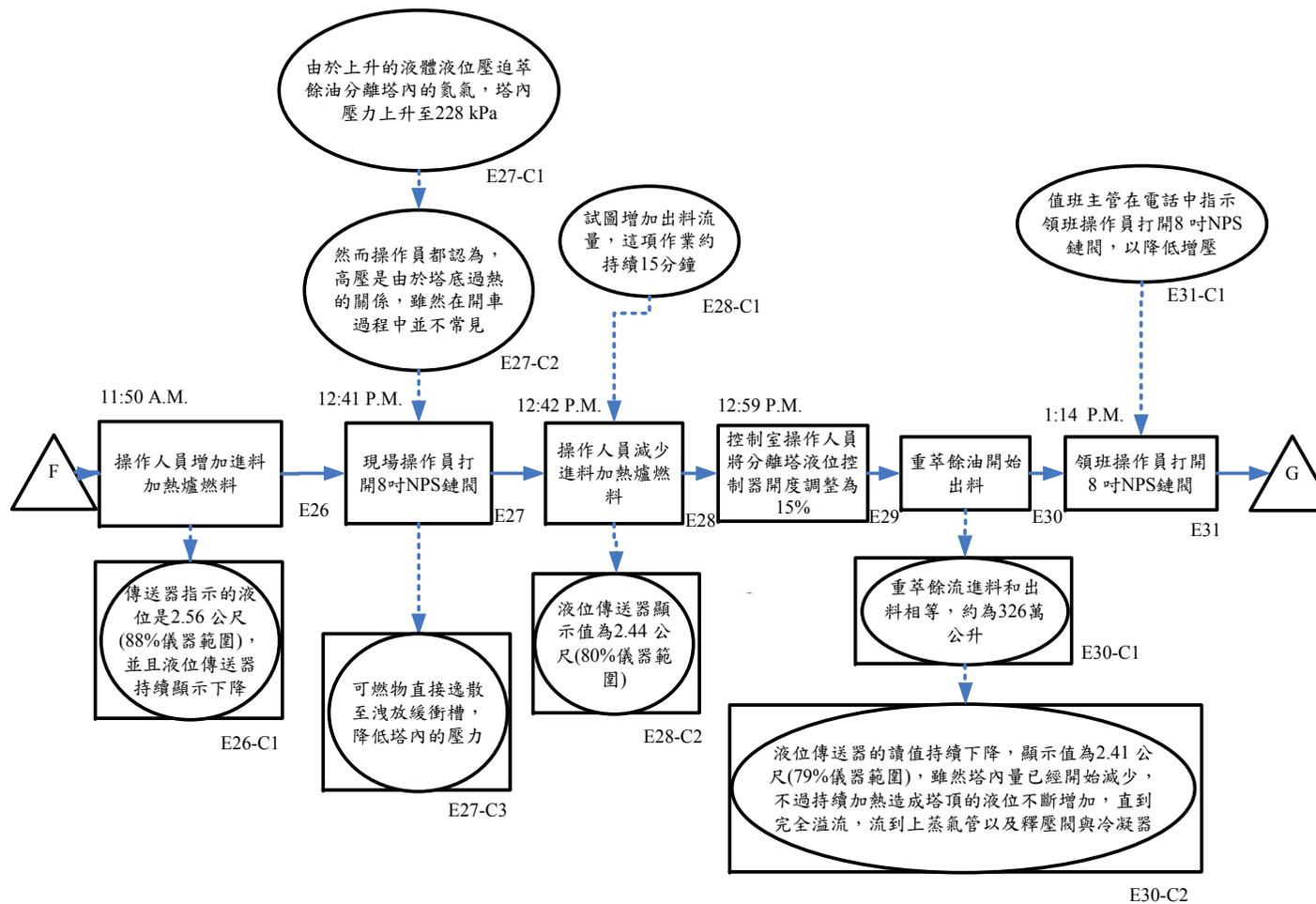


圖 39 BP 意外事故完整的時間序列－7

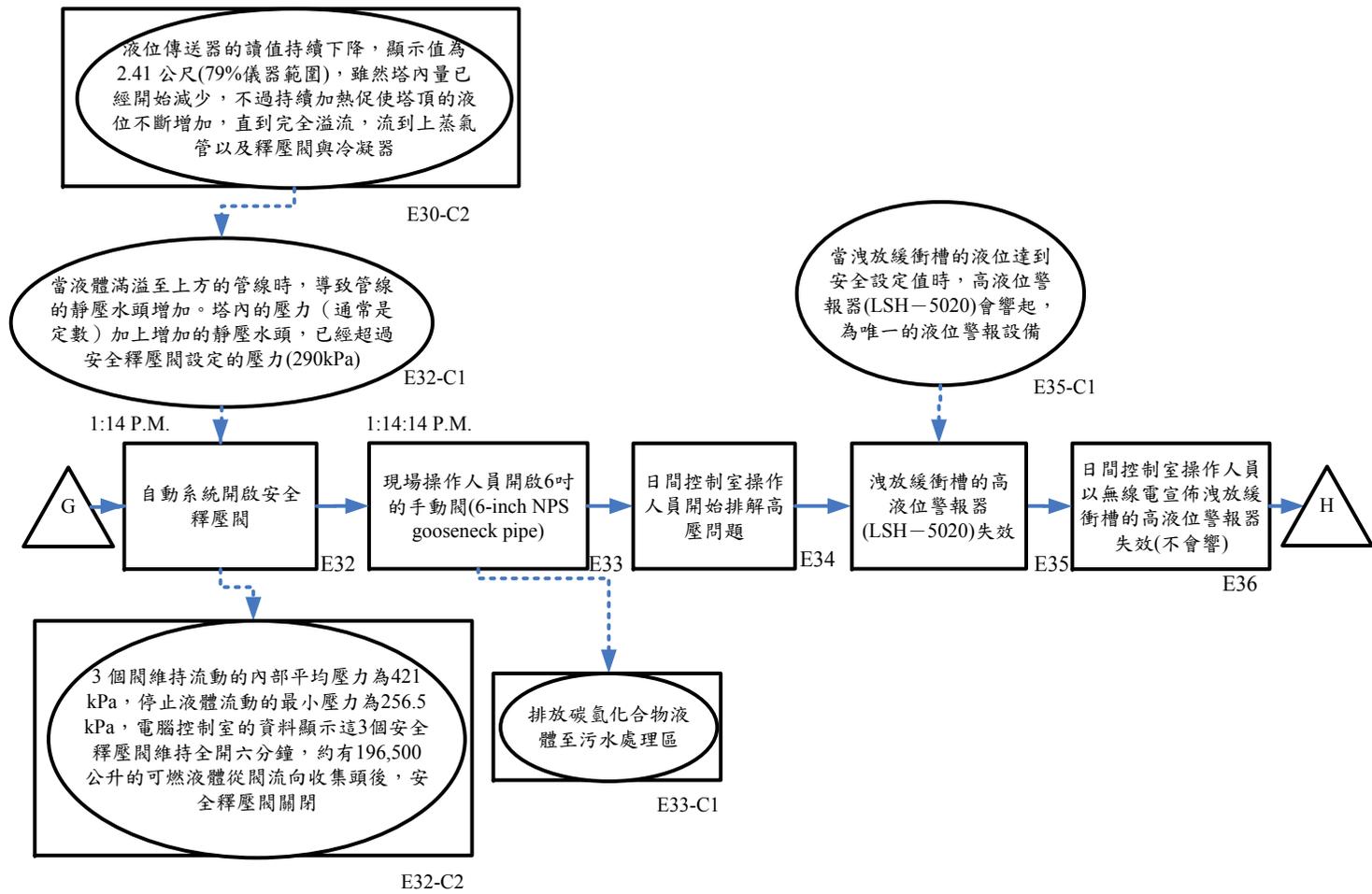


圖 40 BP 意外事故完整的时间序列-8

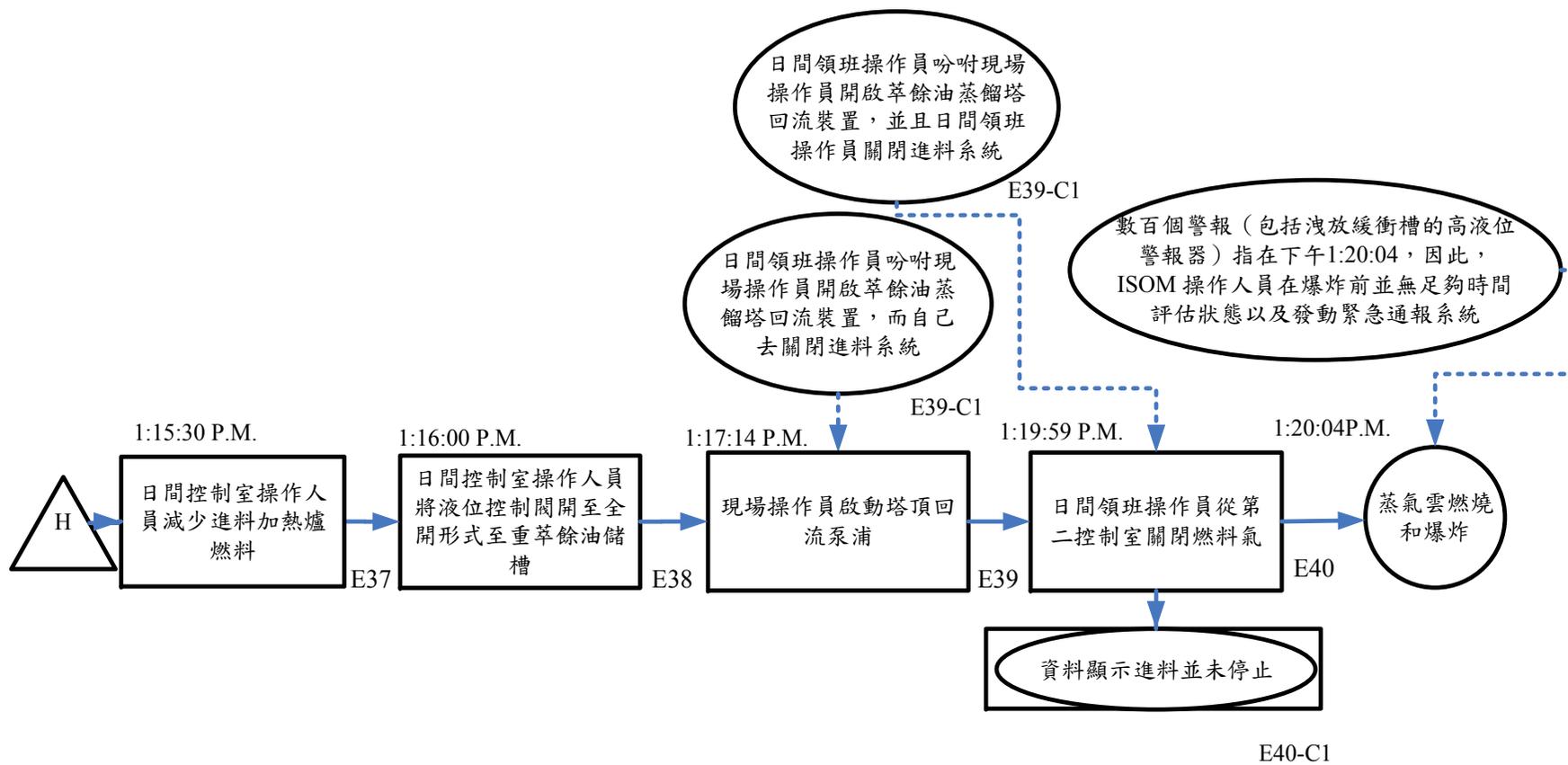


圖 41 BP 意外事故完整的时间序列—9

第四節 根本原因探討

根據第六章第五節的根本原因判定方法，分析 BP 爆炸事故的根本原因，由於 BP 爆炸事故屬於工安事故，因此採用 CCPS 分析表作為原因判別的基準。BP 事故本身牽涉範圍極其複雜，在本案例分析中一共判別 11 項顯性因子，在此以一項顯性因子探討至根本原因的分析過程說明分析步驟，其他顯性因子依其步驟得到相關的直接原因、間接原因和根本原因，將結果整理至表 25：

1. 利用時間序列辨識與意外事故所有相關的顯性因子，然後利用 CCPS 事故原因分析表，將顯性因子對應至相關的直接原因，一項顯性因子可能對應多項直接原因。如圖 34 壓力控制閥失效的顯性因子為例，其直接原因為 1.3 現場主管未依造開車程序檢查相關設備，依序對所有顯性因子進行相同步驟分析，並且將所有相關的直接原因置於表 25 的第三欄，持續進行下個步驟。

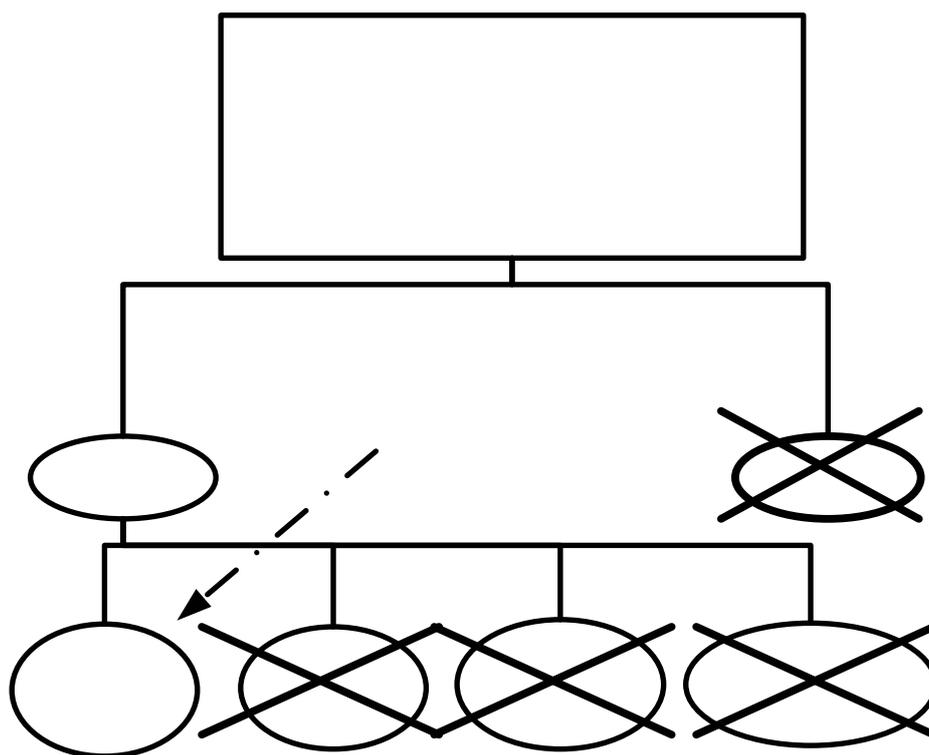


圖 42 BP 事故的顯性因子對應至 CCPS 的直接原因分析表

2. 再由直接原因辨別間接原因，注意一項直接原因可能對應多項間接原因，如圖 35 壓力控制閥失效的顯性因子為例，其直接原因為現場主管未依照程序，其中背後隱含的間接原因為 11.1 不當的作業規劃—由於生產時間急迫，來不及在開車前逐一檢查所有設備、5.3 未適當鑑別重要的安全行為—不了解設備故障的開車相關風險以及 14.4PSP 無法落實—作業規定、政策、標準以及步驟形同虛設，無法確實執行。以此類推將所有間接原因整理至表 25 的第四欄。

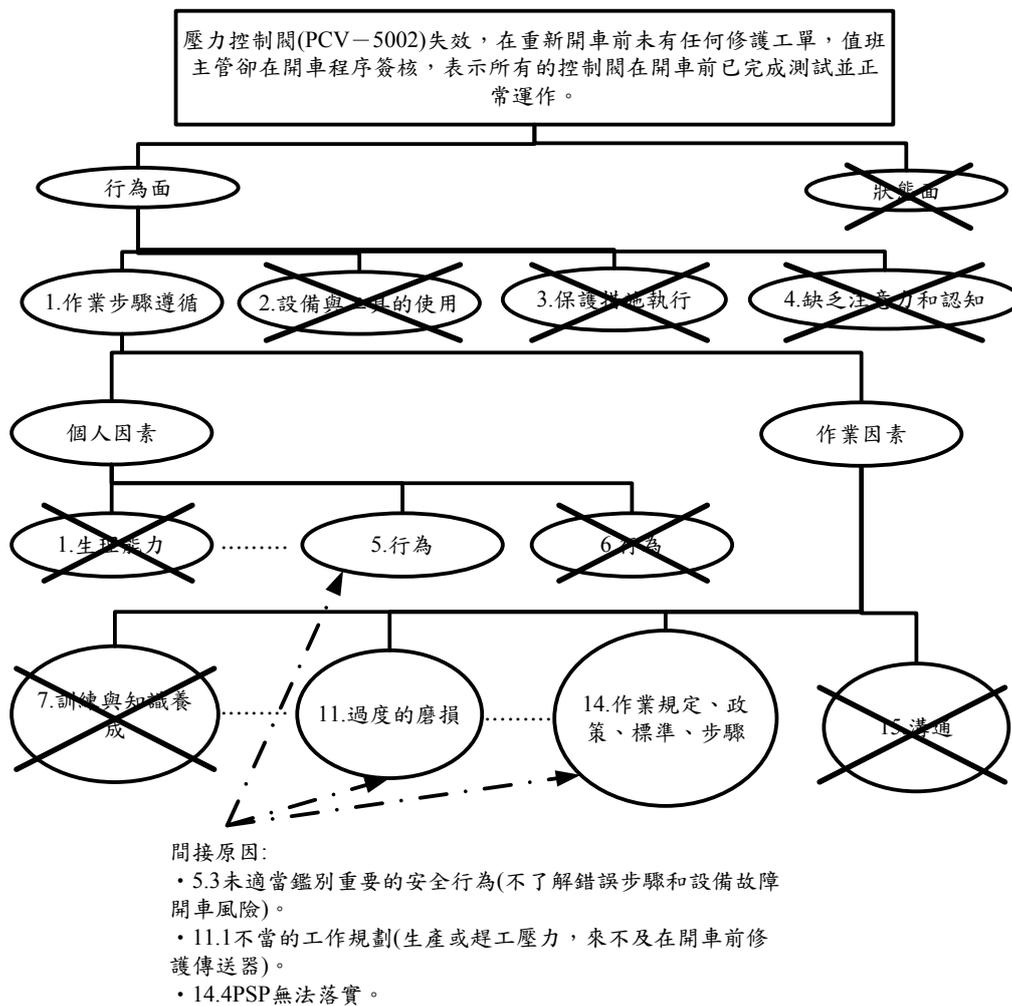


圖 43 BP 事故的直接原因對應至 CCPS 的間接原因分析表

3. 最後由間接原因辨別根本原因，見表 25 的第五欄。CCPS 事故原因參造表本身提供間接原因聯結至根本原因的關連，利用表格的設計可以快速的推論至事故發生的根本原因。

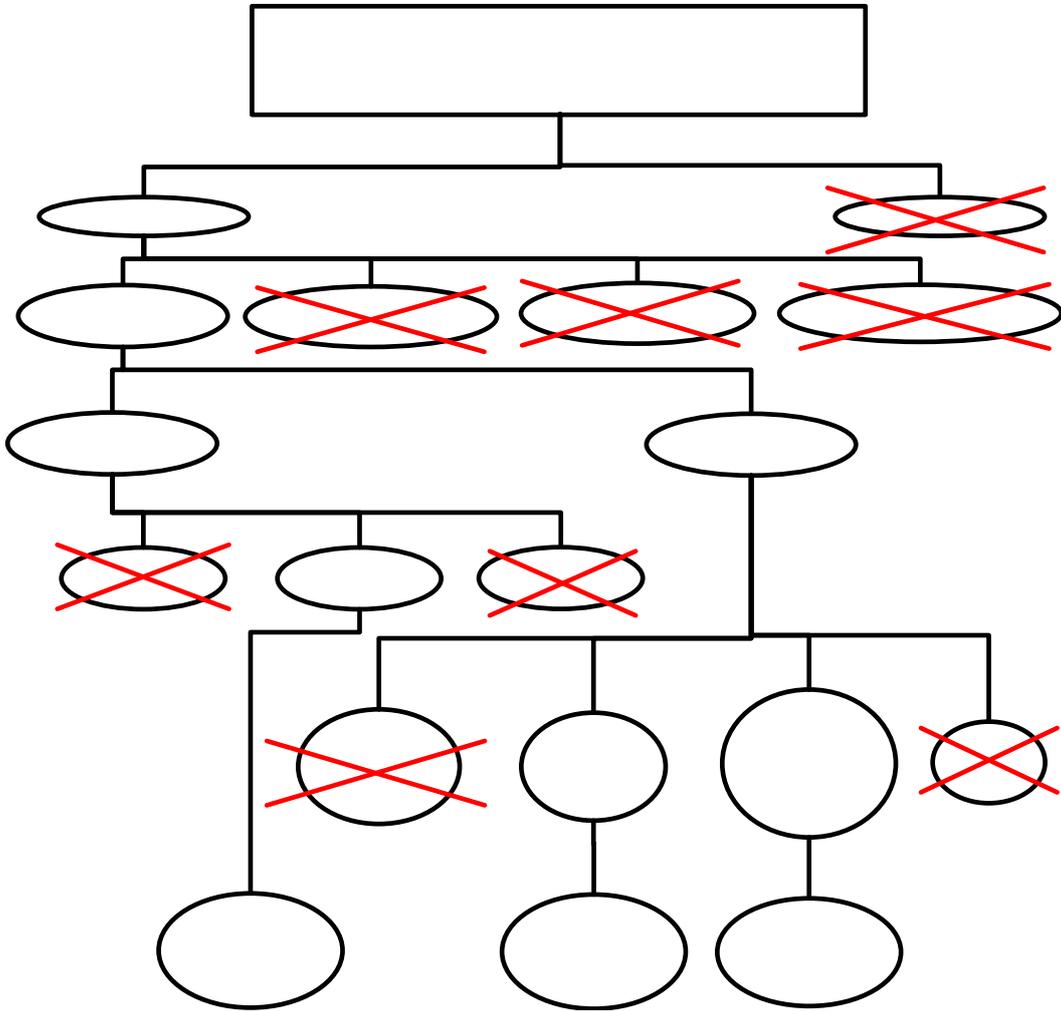


圖 44 BP 事故的間接原因對應至 CCPS 的根本原因分析表

BP 公司對德州煉油廠爆炸事故採用的意外事故調查方式為邏輯樹分析法，經由多位專家學者共同分析，辨識 BP 公司內部管理系統上的缺失。而本研究採用改良型事件及成因圖和 CCPS 事故原因分析表方法整合運用，由於事故原因分析表的架構為預設的邏輯樹，將每一項顯性因子逐一展開於圖 17，並與圖 18 BP 的邏輯樹分析結果相互比對，將引發 BP 意外事故主要的根本原因整理至表 26，驗證 BP 分析結果與本研究分析結果相似。

表 40 BP 意外事故根本原因分析－1

編號	顯性因子	直接原因	間接原因	根本原因
1. E3-C3	分離塔液位傳送器 (LT-5100) 和液位玻璃視窗 (LG-1002A/ B) 並未在修理的清單中。	6.1 失效的設備(液位傳送器 (LT-5100) 失效為 BP 事故最主要的原因，員工無法正確的辨識液位)。	11.1 不當的工作規劃(生產或趕工壓力，來不及在開車前修護傳送器)。	7.不當的操作和維修。
			8.3 不適當的危害和事件矯正(對傳送器失效認知不足。	3.不當的人員訓練和行爲。
2. E4-C2	壓力控制閥 (PCV-5002) 失效，在重新開車前未有任何修護工單，值班主管卻在開車程序簽核，表示所有的控制閥在開車前已完成測試並正常運作。	1.3 現場主管未依照程序 (雖然 PCV-5002 沒有直接影響萃餘油分離塔溢流，但不符合 BP 的開車前程序)。	11.1 不當的工作規劃(生產或趕工壓力，來不及在開車前修護傳送器)。	7.不當的變更管理。
			5.3 未適當鑑別重要的安全行爲(不了解錯誤步驟和設備故障開車風險)。	3.不當的人員訓練和行爲。
			14.4PSP 無法落實。	1.不當的領導與責任。
3. E5-C3	技術員準備要開車，停止檢查警報裝置，沒有進行完整檢測，但日間值班主管 A 仍簽署開車程序。	1.3 現場主管未依照程序(BP 德州廠的主管並未有效執行開車前安全政策，以確保不必要的人員在製程工場開車不會在附近(特別是危害物操作期間))。	11.1 不當的工作規劃(生產或趕工壓力，來不及在開車前修護傳送器)。	7.不當的變更管理。
			5.3 未適當鑑別重要的安全行爲(不了解錯誤步驟和設備故障開車風險)。	3.不當的人員訓練和行爲。

表 41 BP 意外事故根本原因分析－2

編號	顯性因子	直接原因	間接原因	根本原因
4. E6-C1	夜間領班操作員並沒有遵守開車程序和紀錄填滿萃餘油設備製程的完整步驟。	1.3 現場主管未依照程序。	14.4PSP 無法落實。	1.不當的領導與責任。
5. E8	高液位警報器失效 (LSH-5102)。	6.1 失效的設備 (以前發生相關警報器失效問題並未解決)。	10.1.4 不夠周全的設計依據(有洩漏現象的遮斷閥無法於製程運轉時修復)。	5.設施的設計和維修考量不足 (設備完整性考量不足)。
			10.1.4 不夠周全的設計依據 (2003/04 雖然完成書面作業，但仍未修復警報)。	5.設施的設計和維修考量不足 (工單設計有誤)。
6. E9-C3	進料直到液位傳送器 (LT-5100) 讀值高達99%儀器範圍，是極不正常的現象，開車程序要求傳送器 (LT-5100) 的讀值為 50%。	1.2 多數人未依照程序(多數的操作人員認為開車程序僅供參考)。	10.8 不充分的評估和/或變更文件(過時的開車文件，需要修正)。	7.不當的變更管理。

表 42 BP 意外事故根本原因分析-3

編號	顯性因子	直接原因	間接原因	根本原因
7. E14	日間值班主管 A 告訴操作員準備萃餘油分離塔再次開車。	1.3 現場主管未依照程序(在開車程序中要求值班主管必須對相關程序進行查核,但值班主管卻沒有)。	14.4 作業規定、政策、標準以及步驟無法落實。	1.不當的領導與責任。
		4.1 不適當的決策或是判斷能力不足(未與其他相關人員溝通就斷然開車)。	15.2現場作業主管和員工間溝通不足(1.不要啓動萃餘油單元的指示,日間值班主管 B 未與 ISOM 工場操作的人員溝通;2. 未與其他相關人員溝通就斷然開車)。	8.資訊和文件管理不良。
8. E17-C3	重萃餘油分離塔液位持續上升,連續 3 小時無出料。	1.1 個人未依照程序(控制室操作人員認為開車時不應出料)。	7.3 訓練不足。	3.不當的人員訓練和行爲。
			15.2現場作業主管和員工間溝通不足(在重新開始啓動之前,按規定路線進出的進料產品,發生錯誤溝通)。	8.資訊和文件管理不良。
9. E23-C3	無受過訓練的人員接替 ISOM 作業。		11.7 不充分的工作安置(日間值班主管 B 經驗不足)。	3.不當的人員訓練和行爲(領班職務要求和訓練不足)。

表 43 BP 意外事故根本原因分析－4

編號	顯性因子	直接原因	間接原因	根本原因
10. E32-C2	約有 196,500 公升的可燃液體從閥流向收集頭。	6.2 不適當的設備(1.洩放槽無法容納大量的可燃物液體；2.經由洩放槽排放至大氣，為不安全的設計)。	10.1.2 不正確的設計依據。	5.設施的設計和維修考量不足。(在過去已經有相似幾起的意外事故，管理階層由於預算限制，遲遲沒有改善)。
11. E35	洩放緩衝槽的高液位警報器失效 (LSH – 5020)。	6.1 失效的設備 (當洩放緩衝槽的液位達到安全設定值時，高液位警報器 (LSH – 5020)會響起，為唯一的液位警報設備)。	10.1.4 不夠周全的設計依據。	5.設施的設計和維修考量不足。

表 44 BP 事故根本原因分析結果

CCPS 原因分析表的根本原因代碼	說明
1.不當的領導與責任	管理者本身未善盡監督的責任，未遵守 BP 內部的工作準則。
2. 不當的人員訓練和行爲	員工對於危害的辨別和認知不足。
5. 設施的設計和維修考量不足	(1) 洩放緩衝槽只設置單一警報裝置，設備完整性考量不足； (2) 工單設計有誤； (3) 洩放緩衝槽設計本身具有缺陷，不安全。
6.不當的操作和維修	沒有徹底實施維修工作。
7.不當的變更管理	未更新操作程序，如開車程序要求液位傳送器值為 50%，並不符合現場作業情況。
8. 資訊和文件管理不良	員工間溝通欠缺。

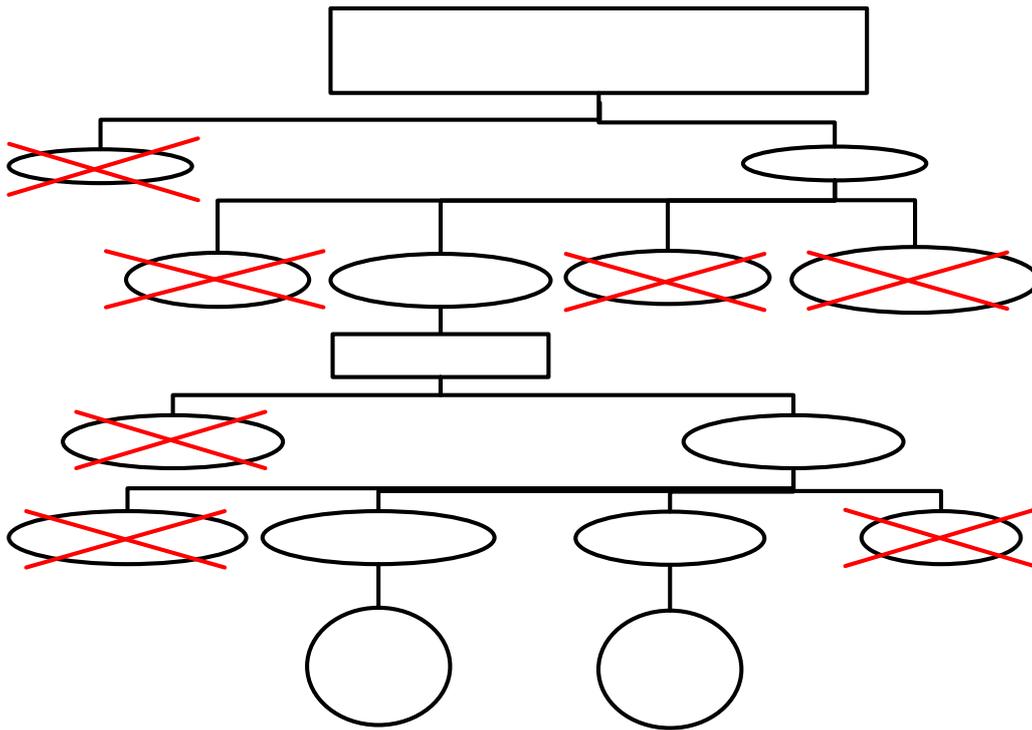


圖 45 BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析行為面

5.保護系

個人因素

7.訓練與知識養成

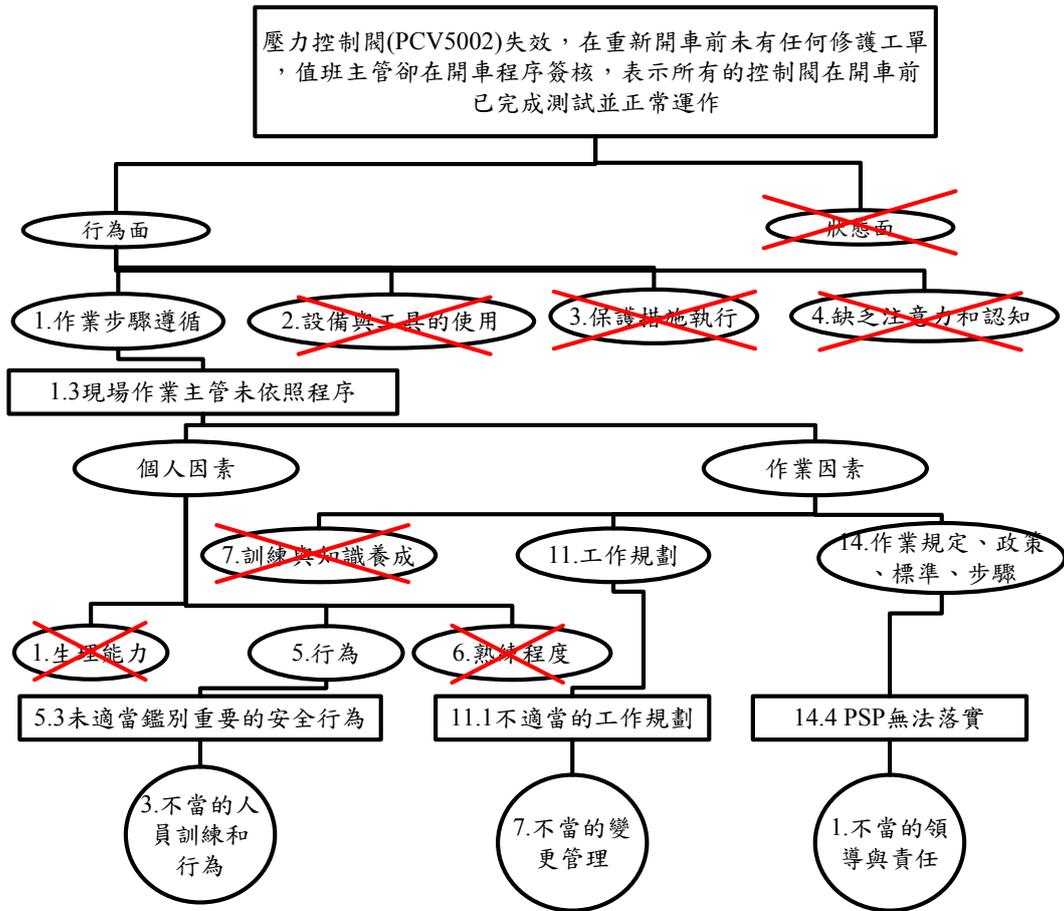


圖 46 BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析-2

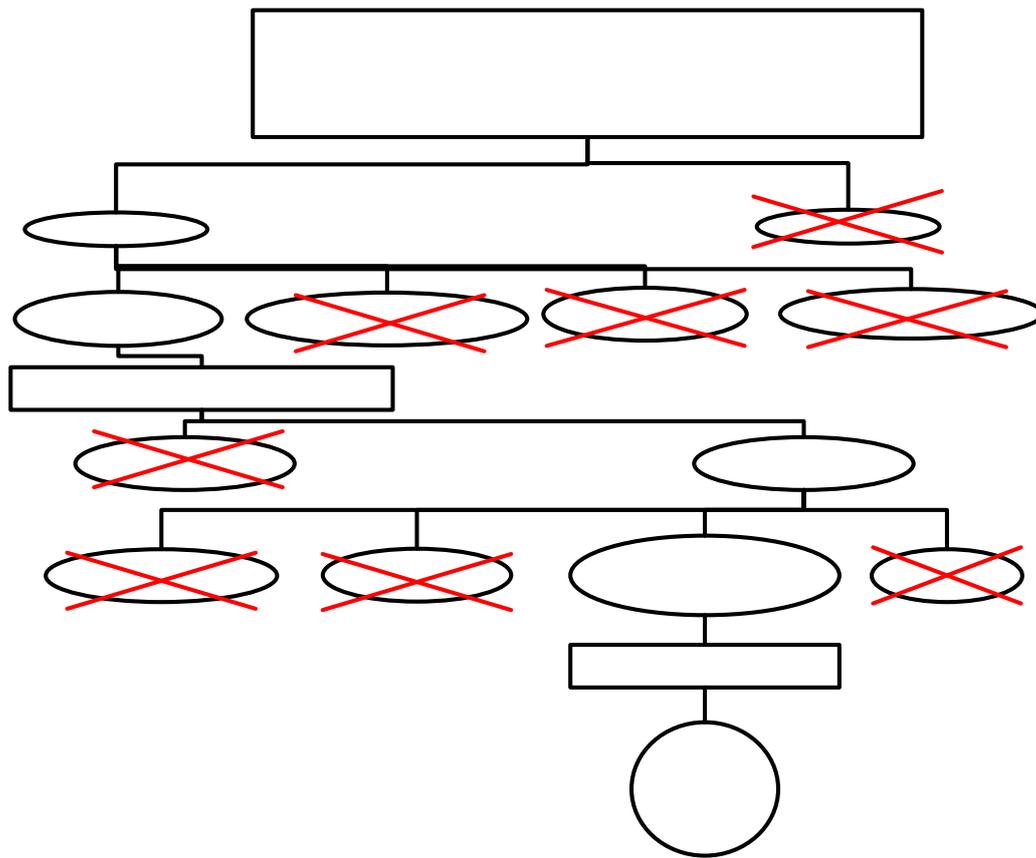


圖 48 BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析-4

行為面

1. 作業步驟遵循

1.3 現場作業主管未依

個人因素

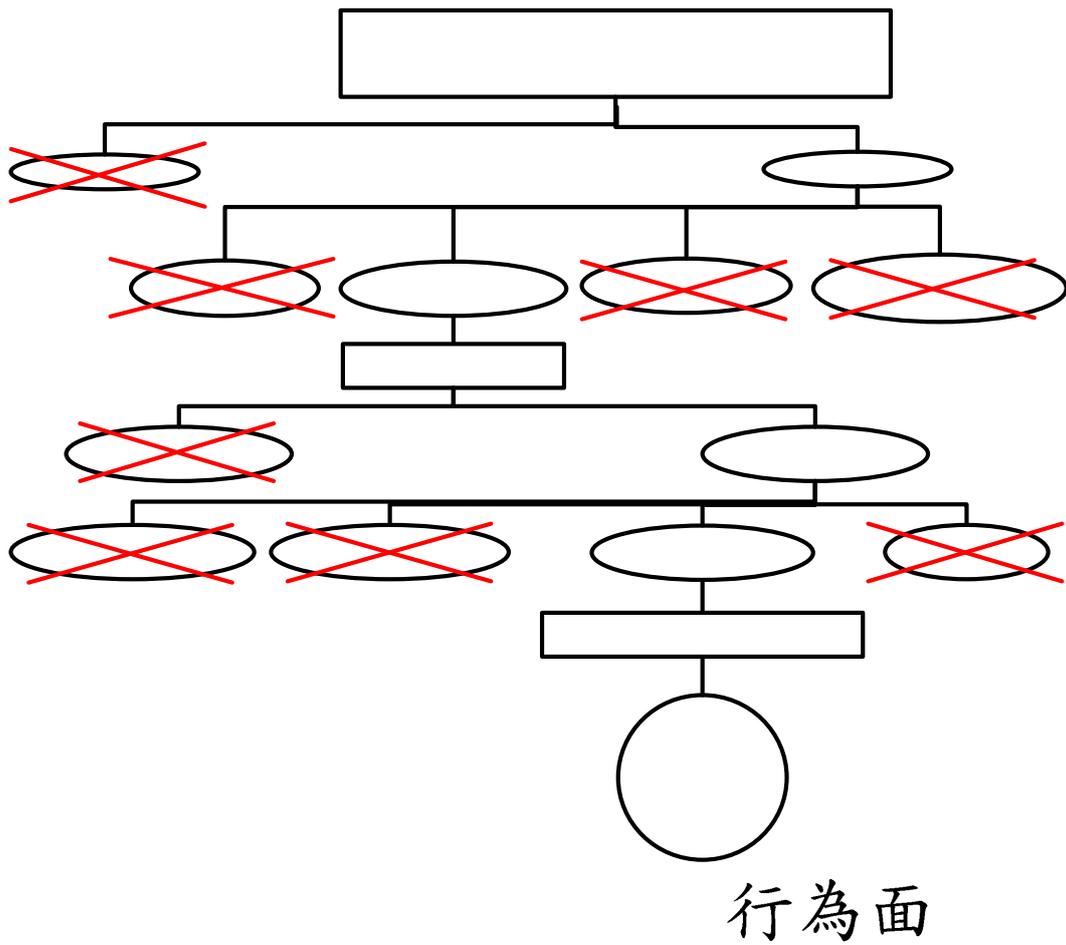


圖 49 BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析-5

5.保護系統

個人因素

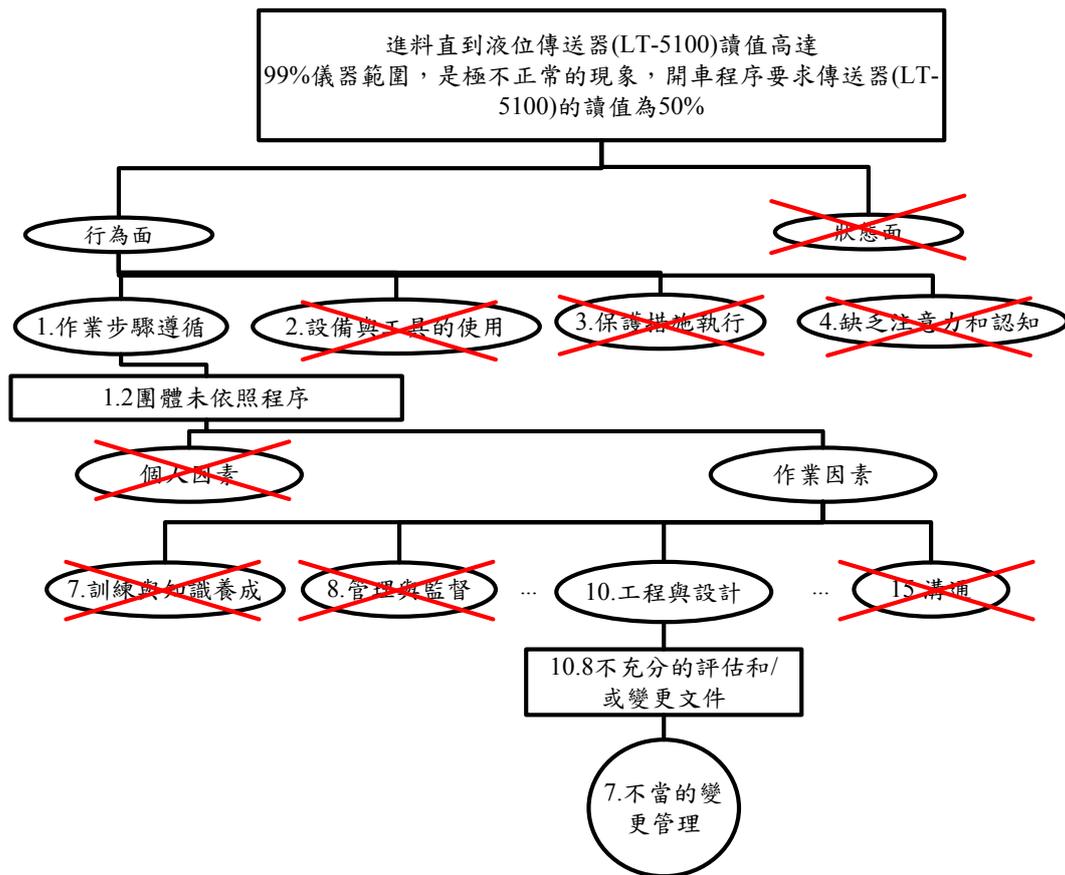


圖 50 BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析-6

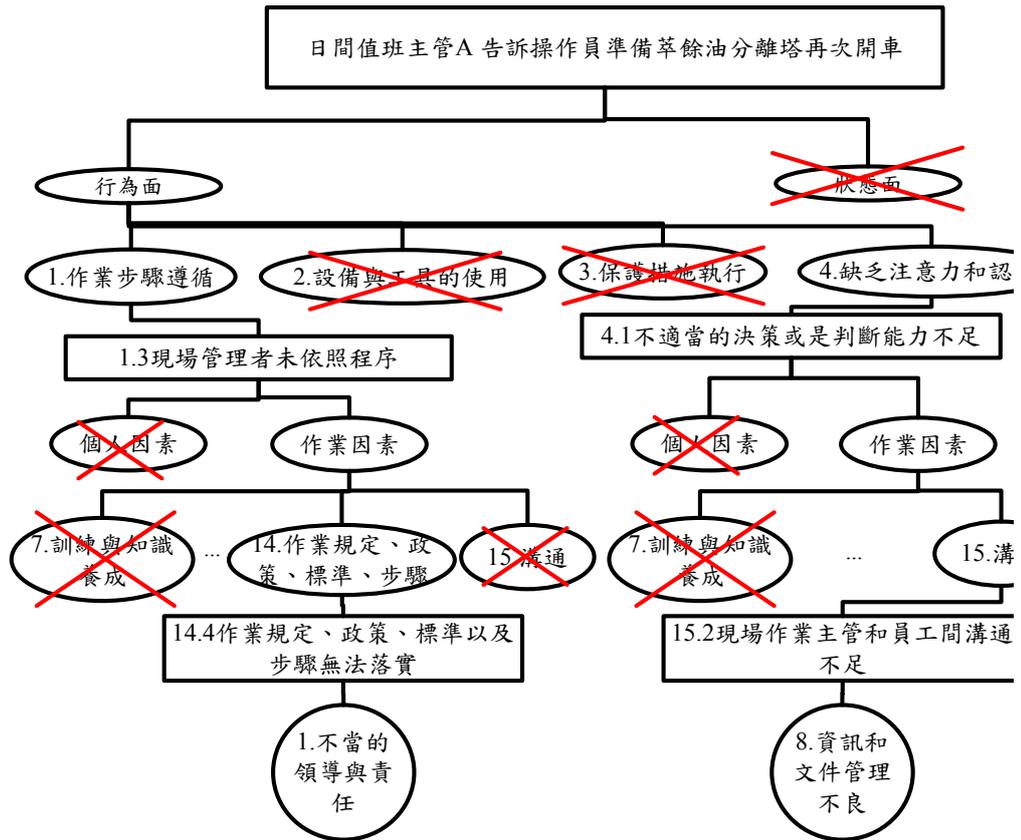


圖 51 BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析－7

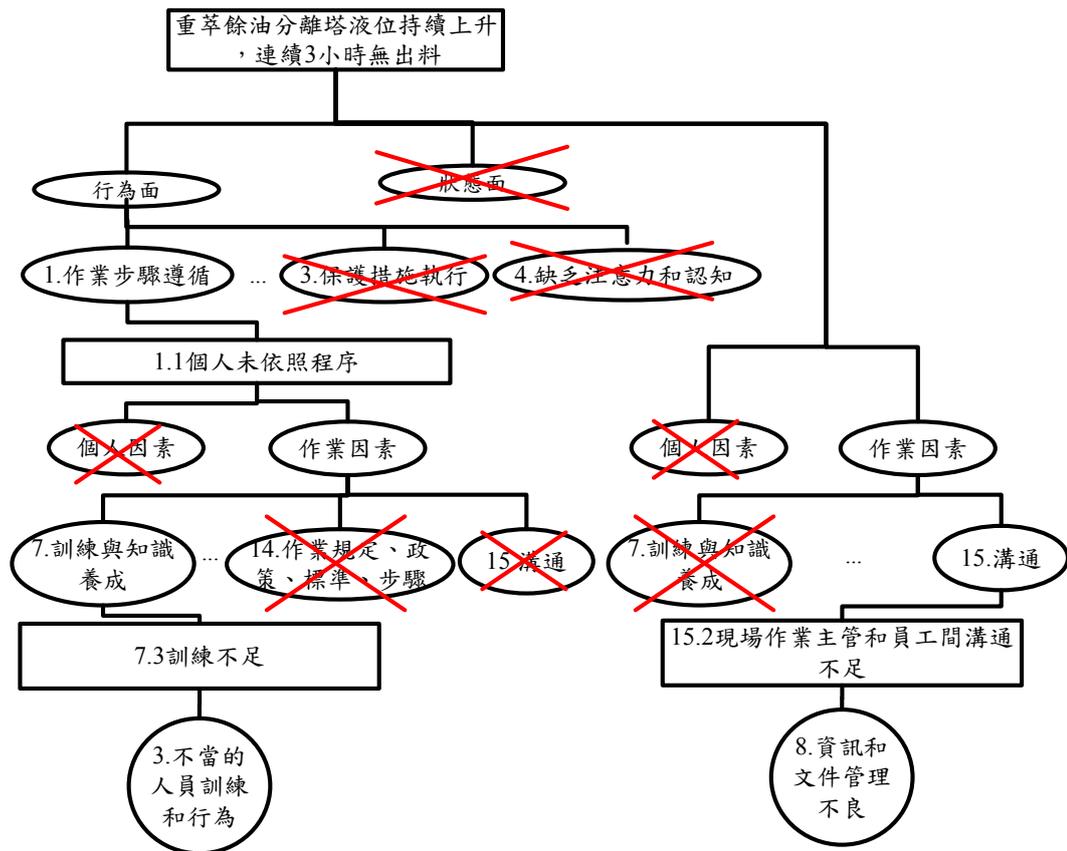


圖 52 BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析-8

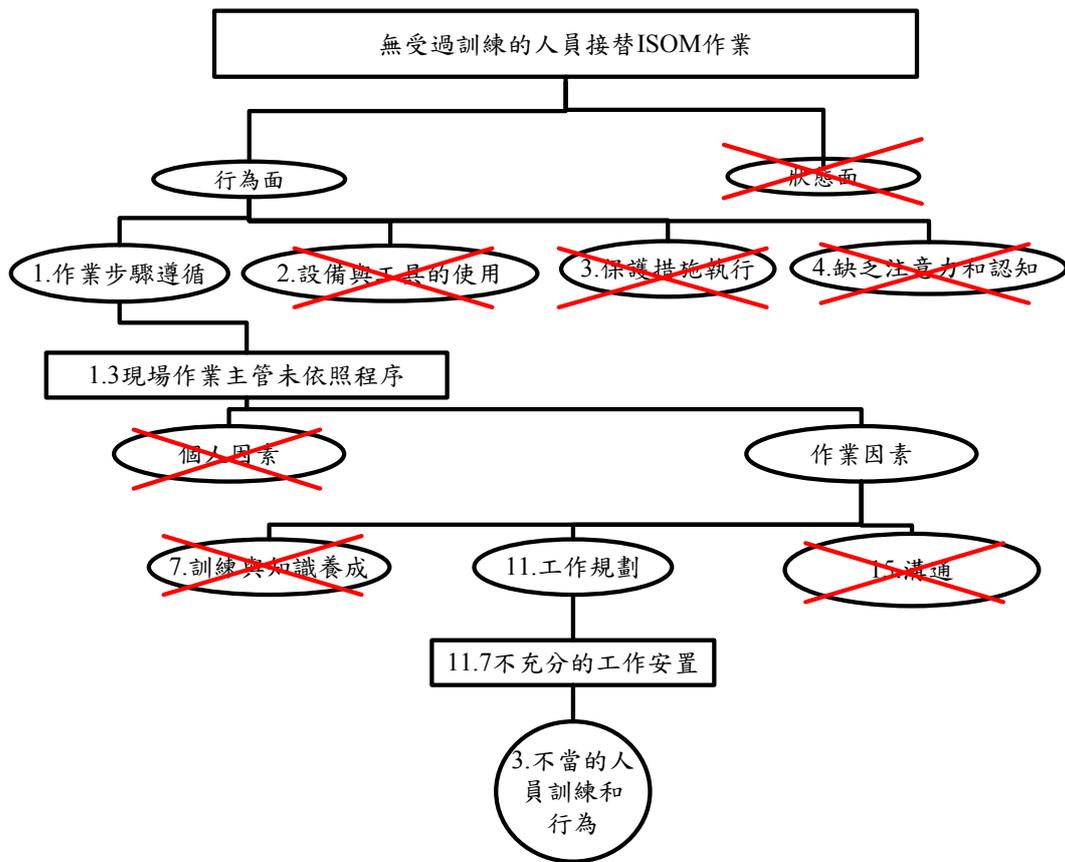


圖 53 BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析-9

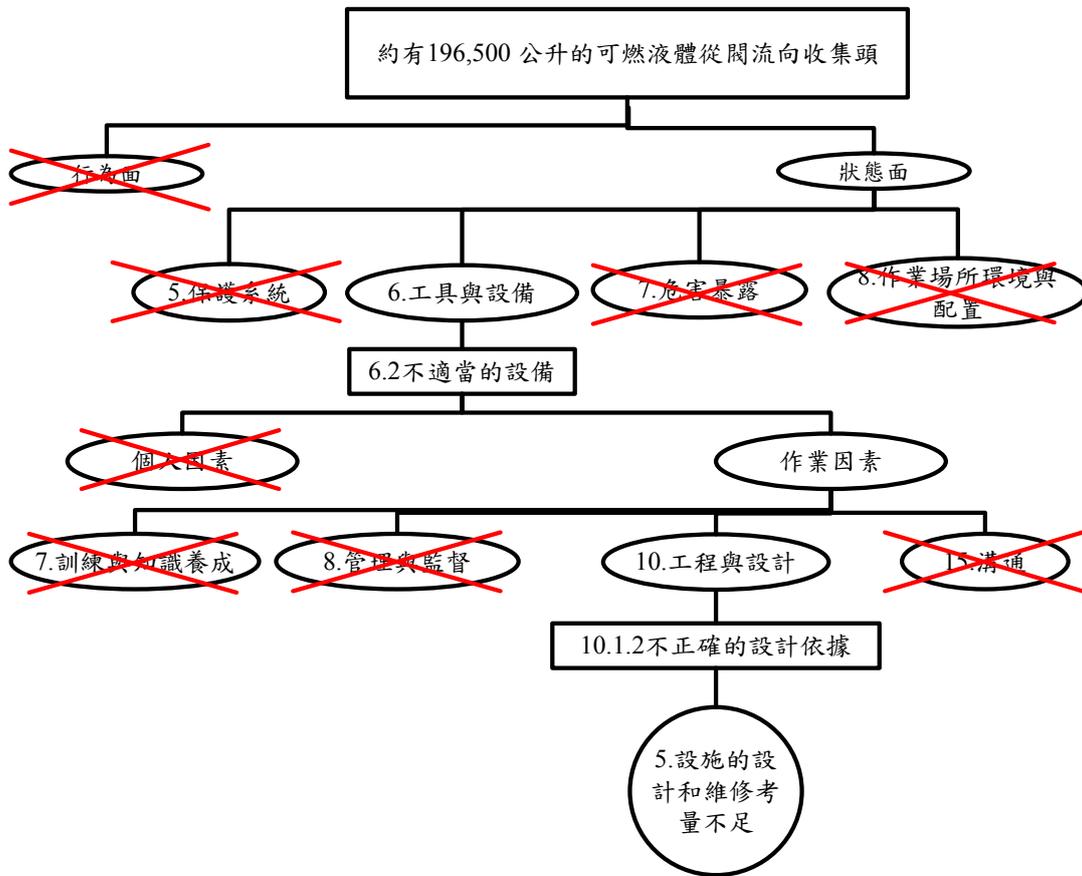


圖 54 BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析-10

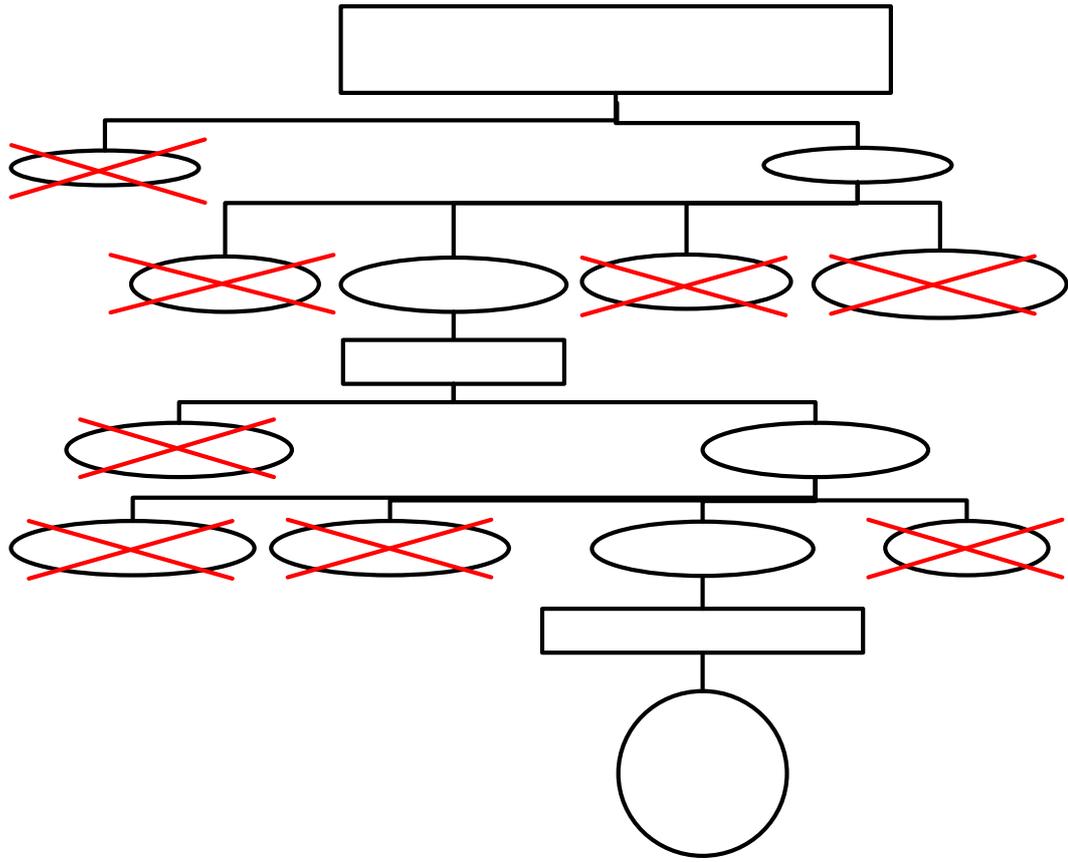


圖 55 BP 意外事故預設邏輯數根本原因分析-11

行為面

5.保護

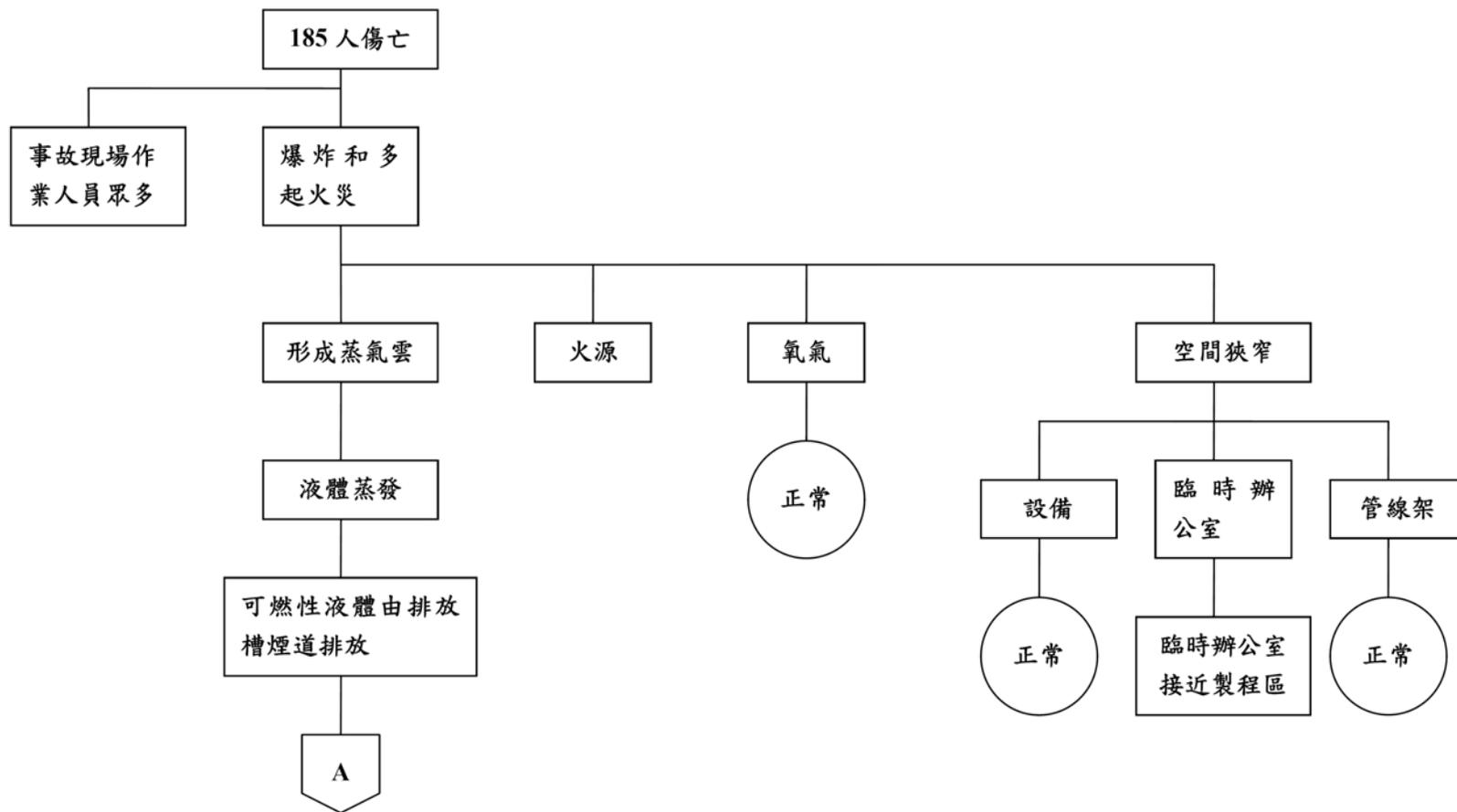


圖 56 BP 邏輯樹根本原因分析－1

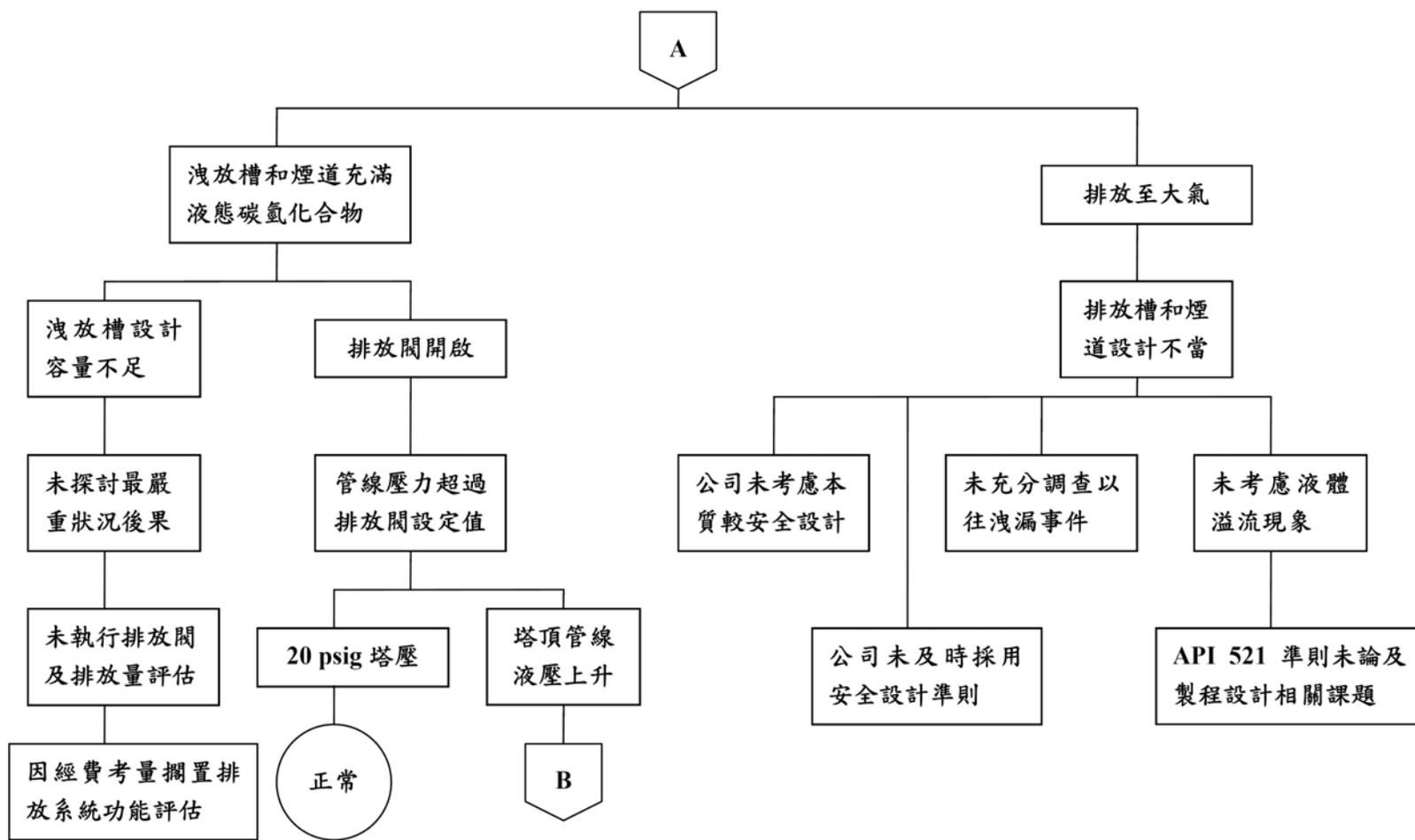


圖 57 BP 邏輯樹根本原因分析-2

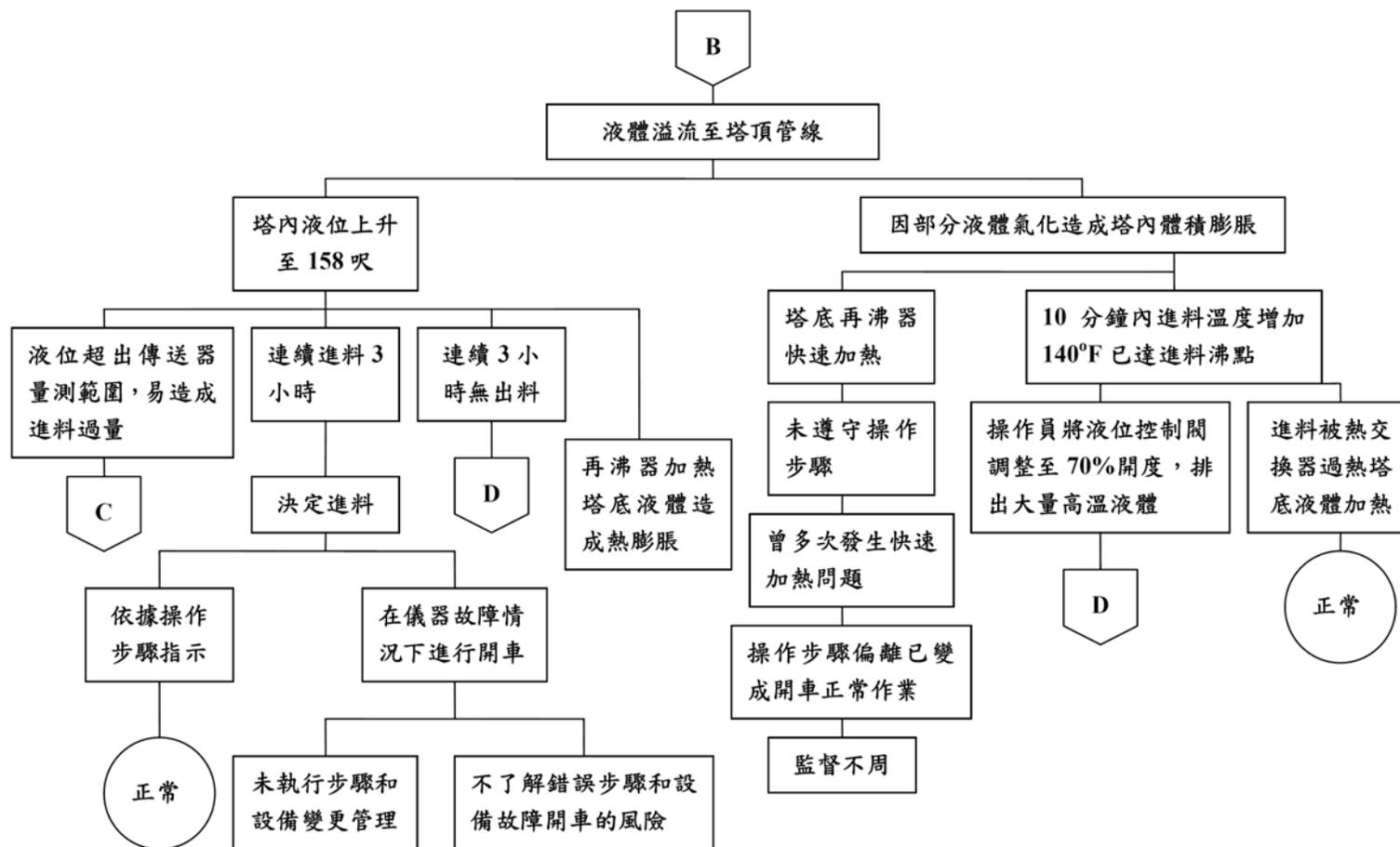


圖 58 BP 邏輯樹根本原因分析—3

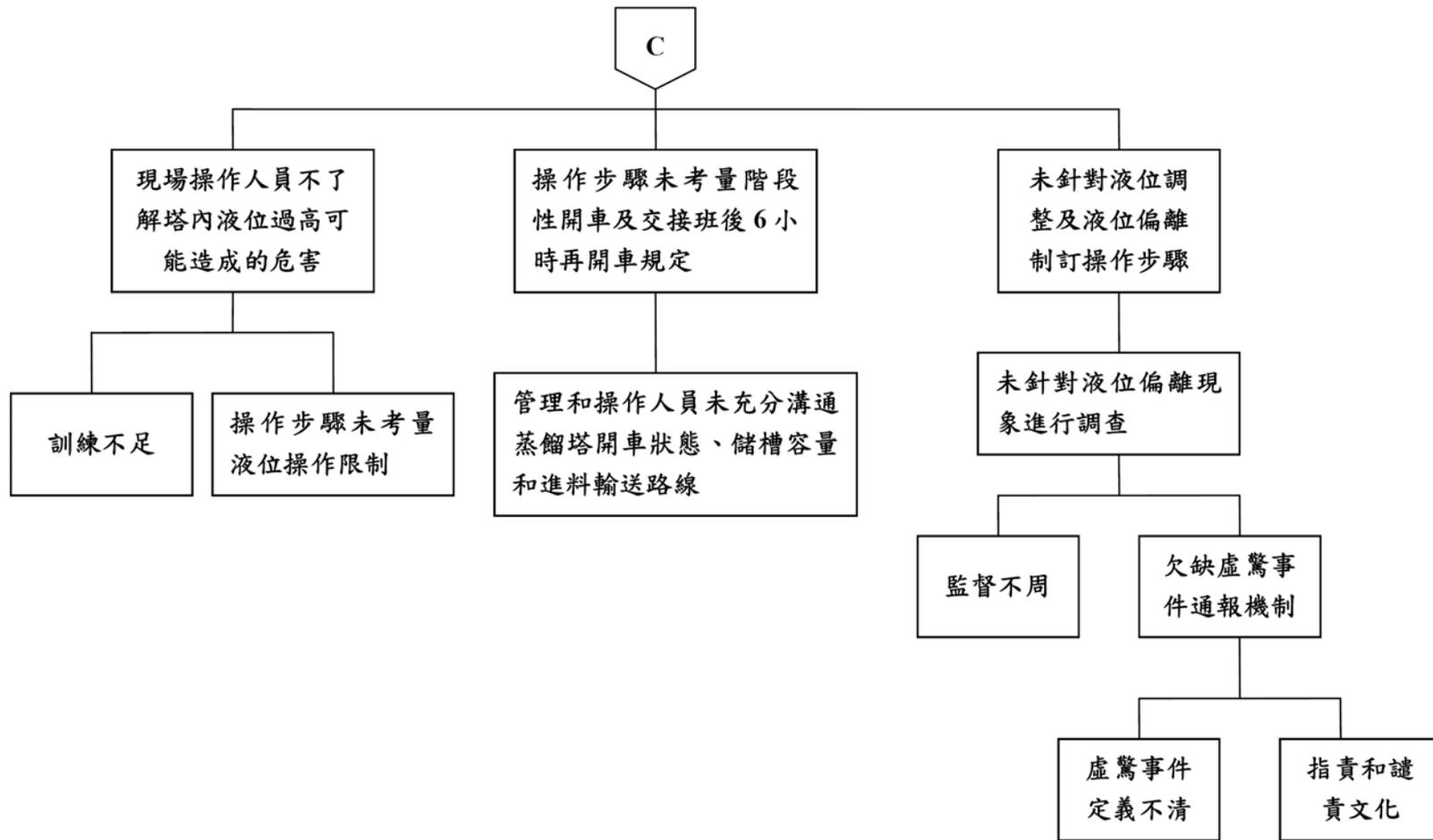


圖 59 BP 邏輯樹根本原因分析-4

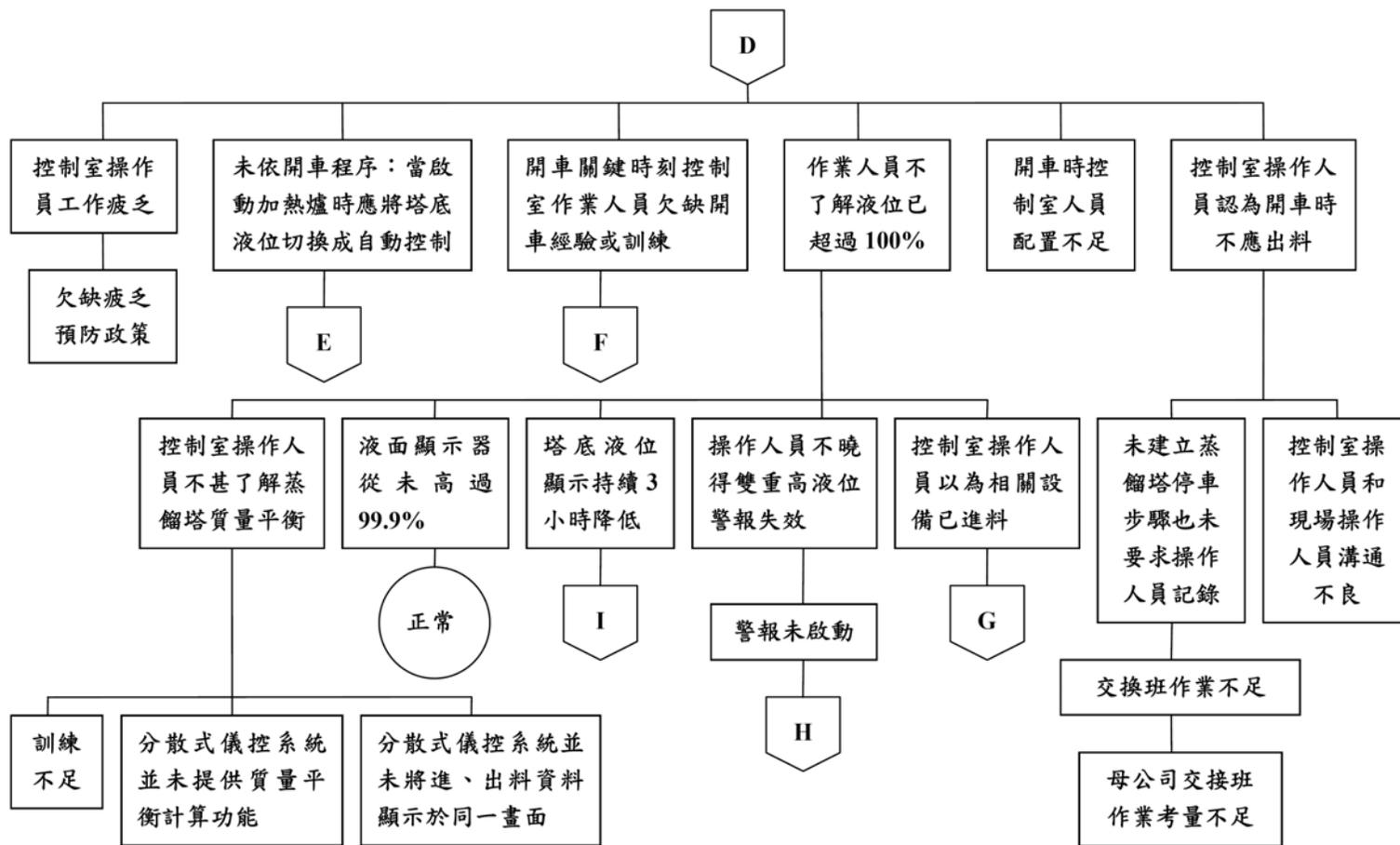


圖 60 BP 邏輯樹根本原因分析—5

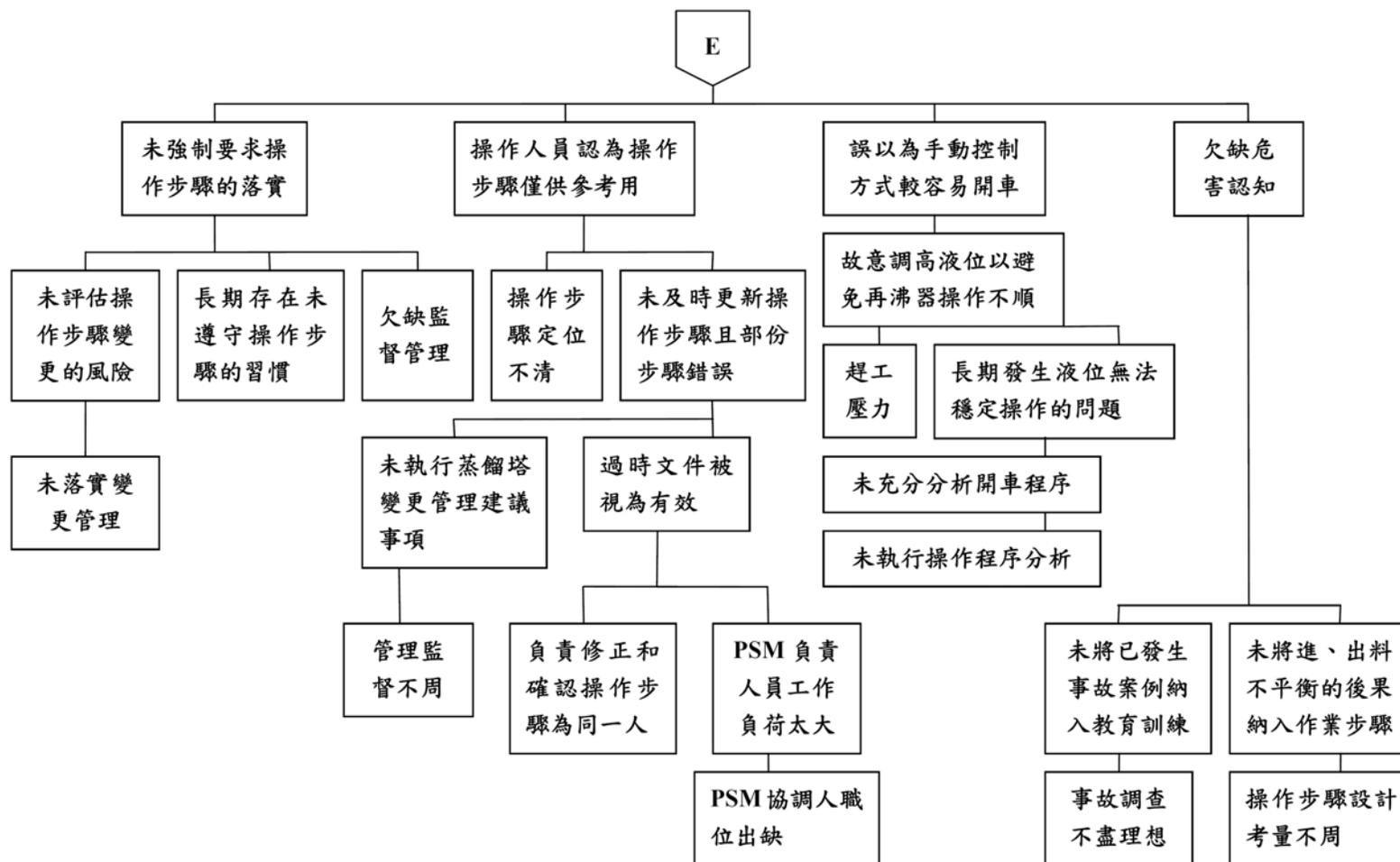


圖 61 BP 邏輯樹根本原因分析-6

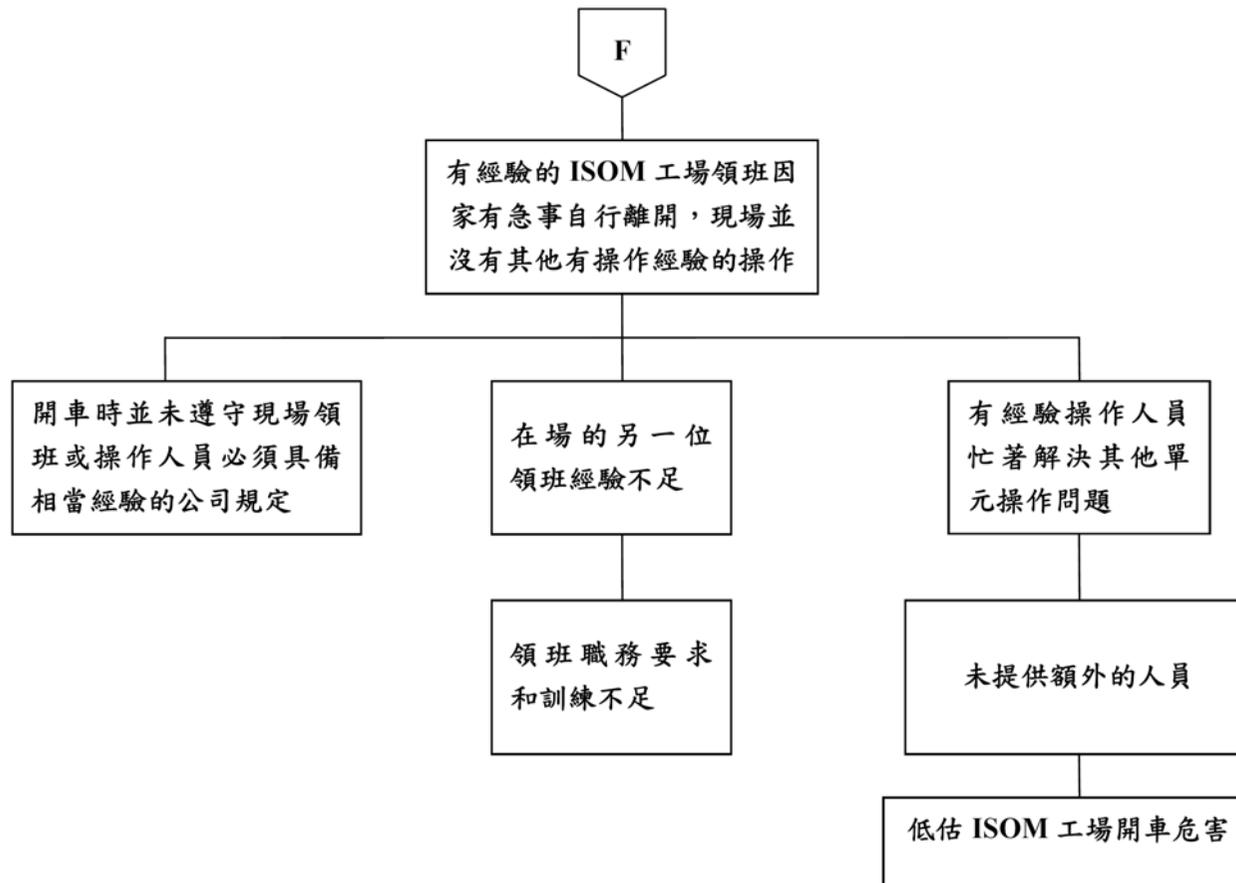


圖 62 BP 邏輯樹根本原因分析—7

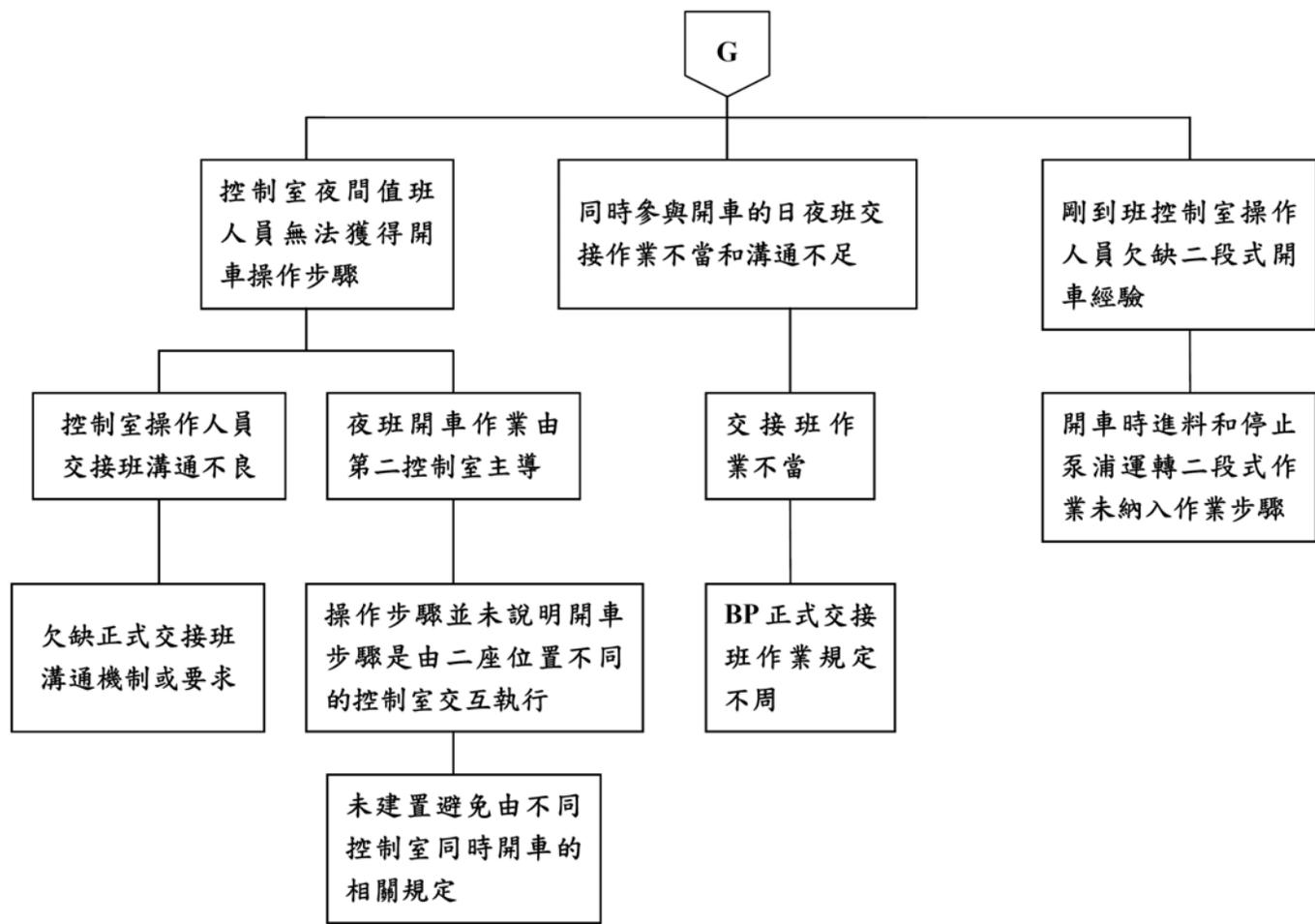


圖 63 BP 邏輯樹根本原因分析－8

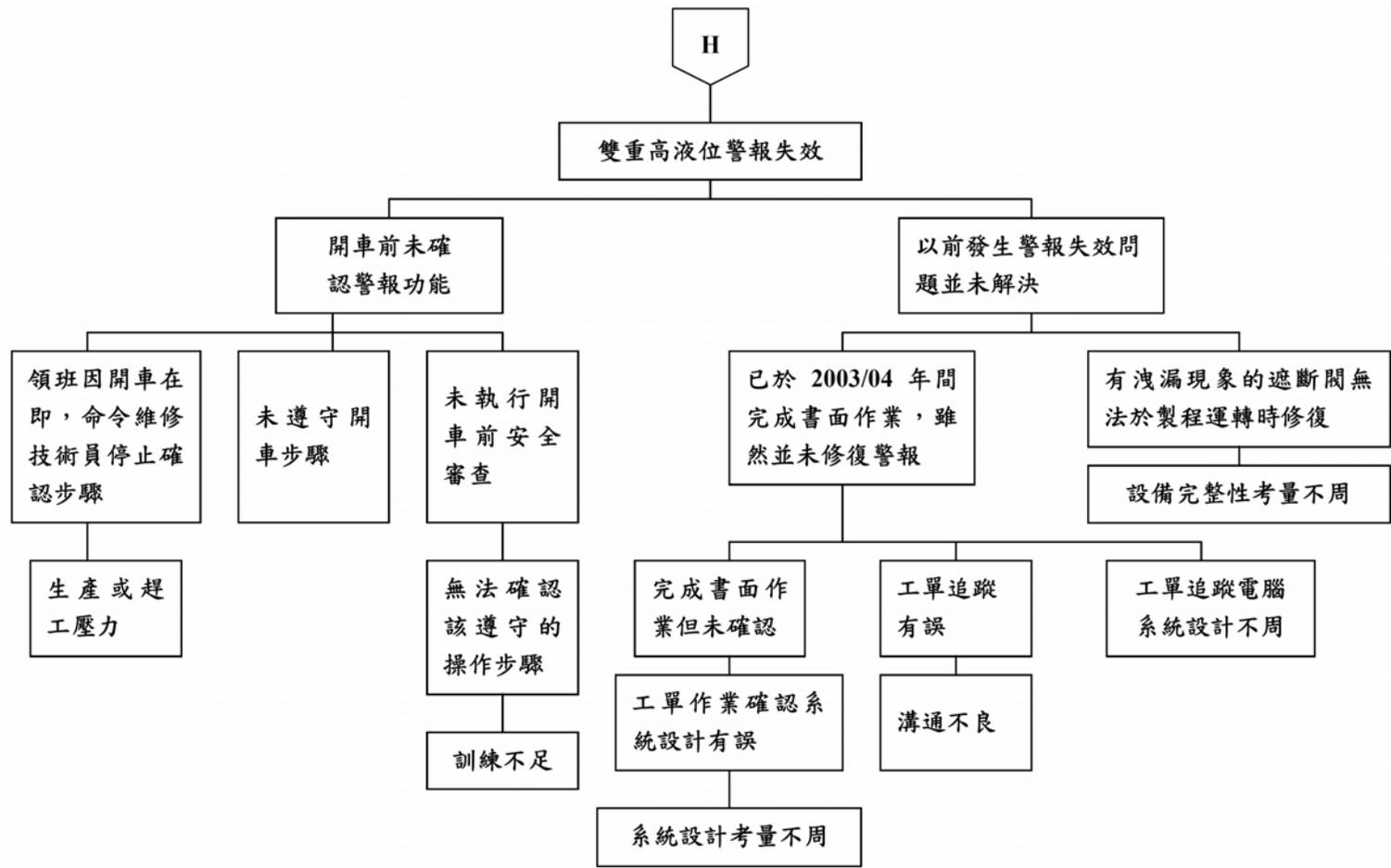


圖 64 BP 邏輯樹根本原因分析－9

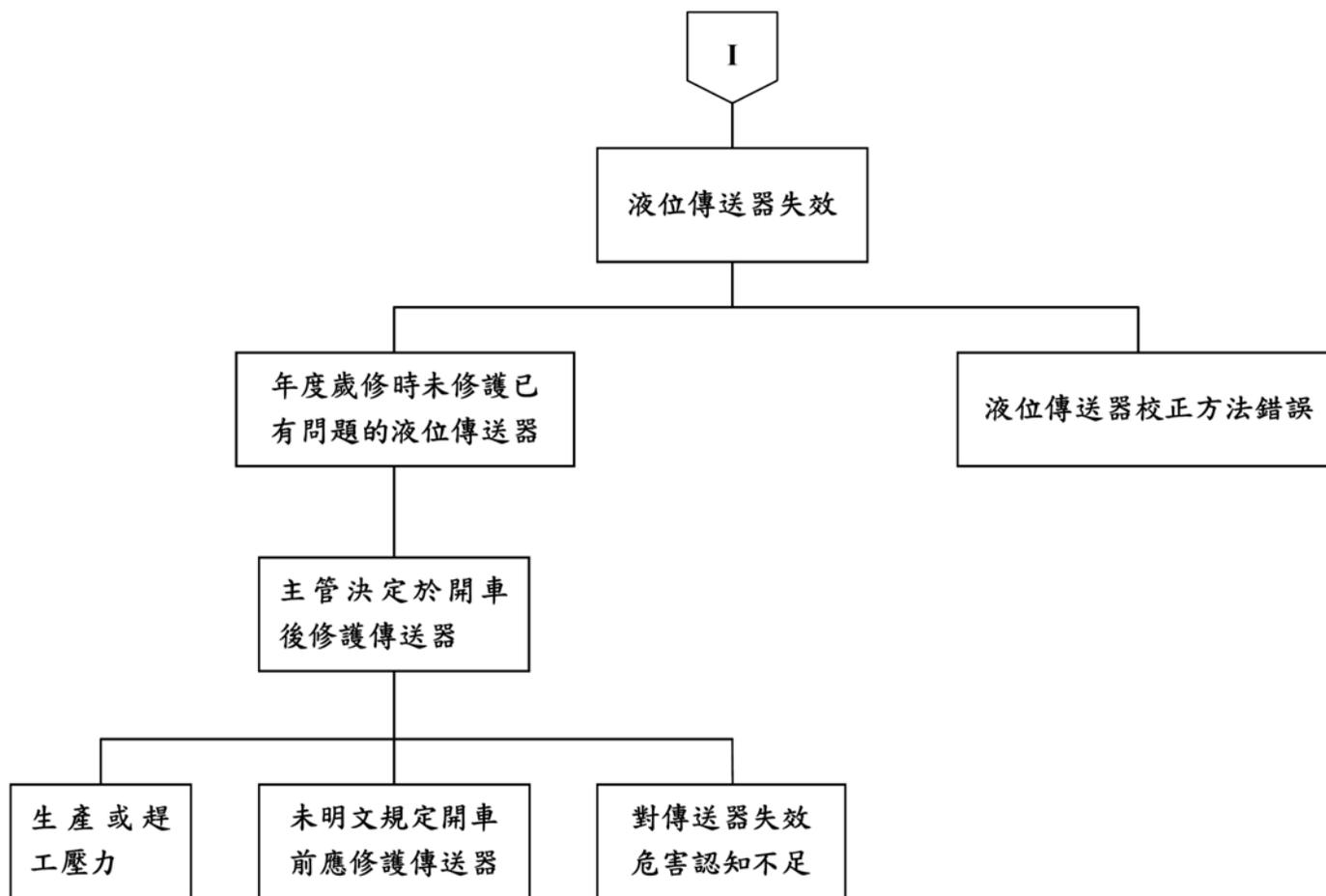


圖 65 BP 邏輯樹根本原因分析－10

第八章 結論

常見的事故調查方式多依賴專家的經驗，但我國專業人才和事故調查案例資料有限，事故調查在國內事業單位一直無法有效推動。有鑑於此，本研究採用改良型事件及成因圖形和事故原因分析表，期望以較容易執行的方法，協助一般事業單位的員工也能充分了解原因與衝擊分析的使用方式，本研究將事故調查工具區分為工安事故和職業傷害兩類，利用系統化的步驟，探究管理系統上的不足之處。

第一節 結論

本研究參考國際眾多事故調查資料，涵蓋數十年事故調查理論的發展及英國、美國、歐洲事故調查技術和國內外事業單位內部事故調查方法，最後利用BP 意外事故案例驗證，本研究重要結論為：

1. 近十餘年工安事故調查方法的發展與應用雖然頗具成效，但仍無一特定方法可適用於大部分的工安事故。有效的事故調查須仰賴不同方法的組合，現行的事故調查方法都有其應用限制和優缺點，依其特性可區分為邏輯樹、查核表、時間序列和特殊分析工具四類，邏輯樹和特殊分析工具需要相當專業的技術與經驗，本研究建議利用簡易的 CCPS 事故原因分析表，先行培養事故調查作業的邏輯和經驗。
2. 本研究所提供系統化的事故調查架構涵蓋資料收集至報告與建議，所列舉的表單、流程表、準則與規範頗具參考價值，研究結過證明結合時間序列和分析表是系統化事故調查有效的工具。
3. 事故通報是調查作業的第一步，事故通報應涵蓋發生時間、地點、事故簡介、事故類型等，關鍵作業是設計周全的事故通報機制，第一時間所收集的資料，有助於後續資料庫的建立。因此在表 16 特別將事故類型詳加分類，事故資料庫可協助調查人員調閱所有類似的報告，並判決是否需進行深入的根本原因分析，或是先行記錄，畢竟大多數事業單位沒有足夠的人力與資源針對每一件事務進行詳細的分析。
4. 事故調查小組人員的組成主要基於意外事故的特性和涉及的範圍，大型事業單位可能擁有不同製程，因此無法預先指定專責人員調查所有意外事故，大

部分均由環安人員負責。但為滿足勞檢法 26 條及 OHSAS 18001 職安衛管理系統要求，事業單位所有部門都需對事故調查作業有所了解，事業單位可藉由虛驚事件和輕傷害事件，培養公司內部的環安人員及現場主管事故調查的專業知識和經驗。

5. 本研究回顧眾多事故調查方法如屏障分析、變更分析、事件及成因圖、時間和事件序列圖、失誤樹、管理疏忽風險樹、事件樹、為何樹和原因樹等，發現雖然調查方式或技術為關鍵性作業，若是事業單位本身建置完善事故資料收集機制，並以系統化事故調查資料收集與分析為作業重點，調查的技術和方法已不是決定調查有效與否的唯一因素。
6. 時間序列的概念有助於證據資料的收集，避免與意外事故相關的資料和證據遺漏或是錯誤，經由眾多事故調查工具的比較分析，本研究認為事件及成因圖為目前較具系統化的方式進行資料收集與彙整，可用於確認資料的完整性，但事件及成因圖本身定義較為籠統，因此本研究提出改良式事件序列的建構方法，並以 2005 年 BP 重大事故為案例，驗證其可行性與應用性。主要有下列幾點修改：
 - (1) 衍生對事件和狀態的定義，希望以較具體的敘述，協助調查人員使用。
 - (2) 將事件依據時間分為三個階段，事故發生前、事故發生時以及事故發生後的緊急應變。
 - (3) 再檢視事件和事件是否有其他相關資料遺漏或是其正確性，於表 6.8 歸納九項發展時間序列的規則，調查人員可經由上述的規則檢視所有的事件是否充分以及必要，將不必要的資料刪除，並將所需的資料轉換成建構方塊的型態增列於時間序列中，完成時間序列圖。
7. 事故調查最終目的是改善管理系統的缺失，藉由改良型事件及成因圖和事故原因分析表技術的結合，逐一從顯性原因抽絲剝繭至管理系統的失效，將根本原因與 OHSAS 18001 職業安全衛生管理系統相互連結，增加事業單位推行事故調查的誘因並以 PDCA 的理念持續改善職業安全衛生管理系統。
8. 我國法規雖將所有工作場所發生的意外事故泛稱職業災害，經參考眾多文獻後，認為職業傷害和製程工安事故應有不同的調查方法。本研究建議以事件序列和 SCAT 進行職業傷害調查，而火災、爆炸等製程相關工安事故根本原

因分析，應採用改良型事件及成因圖和 CCPS 所建議方法的整合應用。

第二節 建議

本研究參考甚多文獻和方法，期望建置系統化和一致性的事故調查方法，但有些技術推行需要政府主導，才能獲得最大的成效。以歐美先進國家而言，美國化學安全與危害調查委員會提供相當多重大意外事故調查報告和事故資訊，而 WAIT 技術企圖建立歐盟通用的事故調查資料庫，並以預設的選項期望達成系統化和一致化的事故調查流程，可見歐美先進國家對意外事故調查重視的程度，有鑑於此，本研究認為工安事故調查未來發展重點為：

1. 系統化和完整的事故資料庫是事故調查關鍵因素，系統化事故調查提供調查者邏輯性的思考，完整的資料庫可記錄事故通報案件與追蹤執行進度，藉由事故資料庫搜尋可獲知是否先前有發生類似的事故，加以判別所需分析的程度。若事業單位尚未建置事故調查文件管理系統，可參酌本研究相關資料，建置適宜的事故資料庫。
2. 勞委會應建立全國性職災資料庫及職災事故原因分類，藉由一致性的選項與表單進行事故原因因子的分類。勞委會可參酌歐盟 WAIT 機制，建立職災通報制度和災因鑑定與分類方法，WAIT 企圖建立全歐盟共同事故資料庫，並且提出與 OHSAS 18001 聯結的概念，我國事故調查也應該以此理念邁進。
3. 本研究多半參考石化工業事故調查資料，對於其他相關產業探討較為不足，由於設計基準為製程安全管理基本要求，理論上也能適用於其他產業，但實際應用仍有待驗證。
4. 本研究由於尚未實際應用於國內事業單位的意外事故調查，只藉由已發生的事故案例驗證，未來可進一步驗證本研究所提方法的有效性和實用性。
5. 本研究雖然期望與 OHSAS 18001 職業安全衛生管理系統相互聯結，但發現 OHSAS 18001 本身的定義較為廣泛，不易提供員工明確的建議，可能在後續作業中需要將 OHSAS 18001 的細項更加明確定義，才能達到事故調查的預期成效。
6. 意外事故調查除了著重於找出引發事故發生的原因之外，另一項重要的項目為如何擬定改善建議事項並且提出矯正措施。很多專家雖然將誘發意外事故

的根本原因回歸到管理系統失效，但在改善措施擬定時也應依循所需的時間、經費和影響層面，排列優先順序，通常管理系統失效需要長期的改善時間，可依其特性研擬立即、中期和長期的改善建議。

7. 從 OHSAS 18001 的 4.3.1 危害鑑別、風險評估與風險控制的角度而言，意外事故的發生事由於風險控制措施失效而導致的，但風險控制措施的擬定是根據危害鑑別和風險評估的結果設計相關的控制措施，所以在意外事故發生之後，必須重新鑑別是否有其他相關危害尚未辨識，重新評估其他危害可能引起的衝擊，再設置相關的風險控制機制。
8. 如果是由於風險控制本身有所缺失，這時應該考量工程控制和行政控制兩個方向，從短、中和長程改善計畫的觀點而言，行政控制理論上最容易執行，在尚未執行工程控制之前，可以立即的檢視現有行政控制不足之處研訂改善規劃，而後再檢視工程控制，因為人的可靠度無法達到百分之百，事業單位應進一步辨識是否有任何地方需要進行工程改善的地方，由於 OHSAS 18001 所提的工程控制理論與防護層洋蔥模式的理論相似，可利用洋蔥圈理論中的實體屏障、排放系統、安全儀器系統、緊急警報與操作人員的介入、基本製程控制系統和製程設計防護層的概念改善工程控制措施。

誌謝

本研究計畫參與人員除本所張承明研究員，另包括中央大學于樹偉教授等人協助，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] Livingston AD, Priestley K. Root causes analysis: Literature review. HSE, Britain; 2001.
- [2] James A. The Report of The BP U.S. Refineries Independent Safety Review Panel. BP; 2007.
- [3] BSI (UK). Occupational Health and Safety Management Systems Requirements; 2007.
- [4] 行政院勞工委員會：勞動檢查法施行細則。http://laws.cla.gov.tw/; 2002。
- [5] Storbakken R. An Incident Investigation Procedure for Use In Industry, University of Wisconsin-Stout Menomonie. USA; 2002.
- [6] Center for Chemical Process Safety. Guidelines for Investigating Chemical Process Incidents, American Institute of Chemical Engineers. 2nd ed. USA; 2003.
- [7] Snorre S. Methods for accident investigation. Norwegian: Norwegian University of Science and Technology; 2002.
- [8] Hollnagel E. Barriers and Accident Prevention. Burlington: Ashgate Publishing Limited; 2004.
- [9] Department of Energy (US). Implementation Guide For Use With DOE Order 225.1A, Accident Investigations; 1997.
- [10] Munson S. Assessment of Accident Investigation methods: for wildland firefighting incidents by case study method. University of Montana; 1999.
- [11] 財團法人台灣產業服務基金會：事故調查指南。經濟部工業局；1998。
- [12] Sutton IS. Incident Investigation and Root Cause Analysis, Sutton Technical Books. Houston Texas, USA; 2008.
- [13] Buys JR, Clark JL. Events and Causal Factors Analysis. Technical Research and Analysis Center (US), Idaho; 1995.
- [14] Groeneweg J. Controlling the Controllable, Preventing Business Upsets. 5th ed. Global Safety Group; 2002.
- [15] British Petroleum. Incident Investigation-Root Cause Analysis Trainig : Comprehensive List of Causes. London, 1999.
- [16] Vesely WE, Goldberg FF, Robert NH, Haasl DF. Fault tree handbook. Nuclear Regulatory Commission (US); 1981.

- [17] United States Coast Guard: Risk Based Decision Making Guidelines, <http://www.uscg.mil/default.asp>.
- [18] Department of Energy (US). Standardization Guide for Construction and Use of MORT-Type Analytic Trees. Buys JR; 1992.
- [19] Frei R, Kingston J, Koornneef F, Schallier P. NRI MORT User's Manual, The Noordwijk Risk Initiative Foundation; 2002.
- [20] Ferjencik M, Kuracina R. MORT Worksheet or how make MORT analysis easy, Journal of Hazardous Materials, 2006, 151 : 143-154 .
- [21] Nivoliantou ZS, Leopoulos VN, Konstantinidou M, Comparison of techniques for accident scenario analysis in hazardous systems, Journal of Loss Prevention in Process Industries, 2004, 17 : 465-475 .
- [22] Rausand M. Event Tree Analysis. <http://www.ntnu.no/>; 2005.
- [23] Chemical Safety and Hazard Investigation Board (US). Summary Report-Nitrogen Asphyxiation; 1998.
- [24] 陳隆展：事故調查案例分析。財團法人工業技術研究院產業學院。
- [25] Hatcher S. Incident Investigation-Working to Prevent Recurrence. Louisiana Pacific, USA; 2007.
- [26] Jacinto C, Aspinwall E. Work Accident Investigation Technique. New University of Lisbon, Portugal; 2003.
- [27] 中華民國環保法規資料中心：毒性化學物質管理法。<http://law.epa.gov.tw/>，2007。
- [28] 中華民國環保法規資料中心：空氣污染防治法。<http://law.epa.gov.tw/>，2006。
- [29] 行政院勞委會：勞工安全衛生法。<http://laws.cla.gov.tw/>，2002。
- [30] 台灣巴斯夫：事故通報單。
- [31] The Canadian Centre for Occupational Health and Safety. What is an accident and why should it be investigated. <http://www.ccohs.ca/>.
- [32] 行政院勞委會：危險性工作場所審查檢查辦法。<http://www.fpg.com.tw/>，2005。
- [33] Chemical Safety and Hazard Investigation Board (US). Investigation Report, Refinery Explosion and Fire; 2007.
- [34] British Petroleum. Fatal Accident Investigation Report, Isomerization Unit Explosion Interim Report. Texas, USA; 2005.

[35] 產業服務基金會：安全文化與行為安全技術實務手冊。經濟部工業局，2007。

附件 一 金百利查核表

I. 間接原因

個人因素

1. 生理能力不足
 - 1.1 身高、體重、身材、力量、臂長不足
 - 1.2 身體移動範圍受限
 - 1.3 保持身體位置的能力有限
 - 1.4 身體對某些物質或過敏原過敏
 - 1.5 感官對(溫度、聲音) 極端情況的敏感性
 - 1.6 視力缺陷
 - 1.7 聽力缺陷
 - 1.8 其它感官的缺陷(觸覺、味覺、嗅覺、平衡)
 - 1.9 呼吸的缺陷
 - 1.10 其它永久性的身體殘疾
 - 1.11 暫時失能
2. 心智能力不足
 - 2.1 害怕與恐懼
 - 2.2 情緒困擾
 - 2.3 精神疾病
 - 2.4 智力水準
 - 2.5 理解能力不夠
 - 2.6 判斷力不夠
 - 2.7 協調能力不夠
 - 2.8 反應遲緩
 - 2.9 機械能力傾向較差
 - 2.10 學習能力傾向較差
 - 2.11 記憶力差
3. 身體或心理壓力
 - 3.1 受傷或疾病
 - 3.2 工作負荷過重或持續時間過長產生的疲勞
 - 3.3 缺乏休息所產生的疲勞
 - 3.4 感官負荷過大所生的疲勞
 - 3.5 接觸健康危害
 - 3.6 接觸極端溫度
 - 3.7 缺氧
 - 3.8 大氣壓力變化
 - 3.9 移動受限
 - 3.10 血糖不足
 - 3.11 藥物
4. 精神或心理壓力
 - 4.1 情緒壓力過大
 - 4.2 過度勞心或速度過快所產生的疲勞

- 4.3 過多的判斷與決策需求
- 4.4 例行、單調、對平靜無事警覺的需求
- 4.5 過度集中注意力/洞察力的需求
- 4.6 無意義或令人喪失工作意願的活動
- 4.7 混淆的方向/需求
- 4.8 相互衝突的要求/方向
- 4.9 專注於問題
- 4.10 挫折感
- 4.11 記憶力的疾病
- 5. 缺乏知識
 - 5.1 缺乏經驗
 - 5.2 缺乏引導
 - 5.3 初步的培訓不足
 - 5.4 再訓不足
 - 5.5 方向誤解
- 6. 缺乏技術
 - 6.1 初步的指導不足
 - 6.2 實作不足
 - 6.3 未經常實施
 - 6.4 缺乏在職輔導訓練
 - 6.5 審查或檢查步驟不足
- 7. 不正確的激勵
 - 7.1 不適當的行為得到獎勵
 - 7.2 適當的行為受到懲罰
 - 7.3 缺乏誘因
 - 7.4 過度挫折
 - 7.5 過於積極
 - 7.6 節省時間的企圖不當
 - 7.7 避免不舒適的企圖不當
 - 7.8 引起注意的企圖不當
 - 7.9 欠缺紀律
 - 7.10 不良的同儕壓力
 - 7.11 不合適的監督典範
 - 7.12 績效回饋不當
 - 7.13 過分強調適當的行為
 - 7.14 不當的生產績效獎勵

作業因素

- 8. 不適當的領導統御
 - 8.1 管理階層不清楚或相互衝突
 - 8.2 責任分配不清楚或相互衝突
 - 8.3 授權不清楚或不夠
 - 8.4 給予不適當的政策、程序、規章或指導書
 - 8.5 給予相互衝突的目標、標的與標準
 - 8.6 不當的規劃工作

- 8.7 不當的指導/引導與訓練
- 8.8 提供不當的參考文件、指令與指導性出版物
- 8.9 不當的鑑別及評估損失暴露
- 8.10 缺乏監督及管理工作的知識
- 8.11 個人條件與工作需求配合不當
- 8.12 績效量測及評估方法不當
- 8.13 績效回饋不當或不正確
- 9. 不正確的工程技術
 - 9.1 損失暴露的評估不當
 - 9.2 人因工程的考量不足
 - 9.3 不當的標準、規格或設計規範
 - 9.4 施工監督不當
 - 9.5 操作準備就緒的評估不當
 - 9.6 不當或不適合的管制
 - 9.7 啓始作業監督不當
 - 9.8 變更的評估不當
- 10. 不適當的採購
 - 10.1 請購的規格不當
 - 10.2 材料/設備的研究不當
 - 10.3 供應商規格不當
 - 10.4 裝運的方式或路線不當
 - 10.5 驗收及收貨方式不當
 - 10.6 安衛資訊溝通不當
 - 10.7 物料處理不當
 - 10.8 物料存放不當
 - 10.9 物料運輸不當
 - 10.10 危害品的識別不當
 - 10.11 不當廢棄物回收或處理
 - 10.12 供應商選擇不當
- 11. 不適當的維修
 - 11.1 預防保養不當
 - 11.1.1 預防保養需求評估
 - 11.1.2 潤滑與保養
 - 11.1.3 調整/組裝
 - 11.1.4 清潔/表面處理
 - 11.2 修復性維護不當
 - 11.2.1 修復性需求的溝通
 - 11.2.2 工作時間的安排
 - 11.2.3 設備的檢查
 - 11.2.4 零組件的更換
- 12. 不適當的工具或設備
 - 12.1 需求與風險的評估不當
 - 12.2 人因工程的考慮不足
 - 12.3 標準或規格不當

- 12.4 可用性不足
- 12.5 不當的調整/修理/維護
- 12.6 不當的補救及改裝使用
- 12.7 不當的拆除或更換不適合的組件
- 13. 不適當的作業標準
 - 13.1 標準建立方面的不足
 - 13.1.1 暴露及需求的計算與評估
 - 13.1.2 與流程設計協調
 - 13.1.3 員工參與
 - 13.1.4 程序/規範/規定不一致
 - 13.2 標準的溝通不足
 - 13.2.1 製作
 - 13.2.2 分發
 - 13.2.3 翻譯成適當語言
 - 13.2.4 訓練
 - 13.2.5 用標示、彩色條碼與工作輔助工具強化
 - 13.3 標準的維護不足
 - 13.3.1 追蹤工作流程
 - 13.3.2 更新
 - 13.3.3 監督程序/規範/規定的使用情況
 - 13.4 符合性的監督不足
- 14. 過度的磨損或損壞
 - 14.1 使用計畫不當
 - 14.2 不當的延長使用壽命
 - 14.3 檢查及監督不足
 - 14.4 不當的裝載或使用頻率不當
 - 14.5 維護不當
 - 14.6 不具資格或未經訓練
 - 14.7 爲了錯誤的目的使用
- 15. 濫用或誤用
 - 15.1 不當的行爲被寬恕
 - 15.1.1 故意的
 - 15.1.2 非故意的
 - 15.2 不當的行爲未被寬恕
 - 15.2.1 故意的
 - 15.2.2 非故意的

II. 系統需求

- 1. 管理階層的領導與承諾
 - 1.1. 安衛聲明
 - 1.2. 管理階層的角色與職責
 - 1.3. 安衛人員
 - 1.4. 安衛委員會
 - 1.5. 安衛目標
 - 1.6. 管理階層的活動

- 1.7.管理階層的訓練
- 1.8.安衛系統的評估
- 2.員工參與
 - 2.1.員工的角色與職責
 - 2.2.訓練
 - 2.3.危害鑑別與控制
 - 2.4.意外事件/事故調查
- 3.危害鑑別、預防與控制
 - 3.1.計畫性的檢查
 - 3.2.工程及改變的管理
 - 3.3.規章、許可及證照
 - 3.4.預防保養
 - 3.5.危害報告及矯正措施追蹤
 - 3.6.個人防護具
 - 3.7.標準作業程序
 - 3.8.作業觀察
 - 3.9.作業安全分析
 - 3.10.人因工程
 - 3.11.承攬商安全
- 4.衛生
 - 4.1.風險評估及危害溝通
 - 4.2.暴露評估
 - 4.3.衛生的控制手段
 - 4.4.醫護監視及傳染病
- 5.安全衛生訓練
 - 5.1.新進人員訓練
 - 5.2.知識與技能的需求評估
 - 5.3.知識與技能的訓練系統
 - 5.4.工作中的教導、輔導及訓練的強化
 - 5.5.講師的資格
 - 5.6.訓練系統的評估
- 6.緊急應變訓練
 - 6.1.潛在緊急情況的鑑別與評估
 - 6.2.緊急應變計畫
 - 6.3.緊急應變資源
 - 6.4.緊急應變演練及操演
- 7.意外事件/事故調查
 - 7.1.意外事件/事故報告及溝通
 - 7.2.意外事件/事故調查
 - 7.3.矯正行動的系統
 - 7.4.意外事件/事故分析與趨勢
- 8.紀錄保存
 - 8.1.傷病記錄
 - 8.2.安衛文件

9.法規符合性審查

9.1.特定的法規與法令的要求

9.2 法定機構執行的安衛檢查

附件 二 CCPS 事故原因參照表

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 嬉笑玩鬧(Horseplay)
- 4.5 暴力行爲(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.行爲
 - 5.1 不適當的行爲得到獎勵(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爲(Inadequate identification of critical safe behaviors)
 - 5.4 不當的強調重要的安全行爲(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 欠缺能力訓練教材審查(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 不充分的營建管控(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 無法落實(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)
- 15.9 因工作異動造成溝通不足(Inadequate communication due to job turnover)
- 15.10 安全和健康資訊、規則、指引溝通不足(Inadequate communication of safety and health data, regulations or guidelines)
- 15.11 沒有使用標準的專業用語(Standard terminology not used)
- 15.12 沒有驗證/重複檢驗方法(Verification /repeat back techniques not used)
- 15.13 訊息過於冗長(Messages too long)
- 15.14 語言障礙(Speech interference)
- 15.15 其他(Other)

附件 三 意外事故調查小組所需用品

I. 個人裝備

個人裝備主要為可隨身攜帶的物品如：

1. 照相機、錄影機、閃光燈、備份底片和電池。
2. 記事簿、紙夾板、筆、鉛筆等。
3. 小塑膠袋、夾鏈袋。
4. 膠帶、繩子、牙刷(用於清除證物上的煙垢或吹碎片)。
5. 瑞士刀(附有十字及一字螺絲起子)、剪刀。
6. 手電筒(防爆型)。
7. 袖珍型可伸長的鏡子。
8. 放大鏡。
9. 折尺或捲尺。
10. 不褪色的畫記號用筆。
11. 塑膠手套等。

II. 保護裝備

1. 安全帽、防毒面具、手套(橡皮或橡膠製)、橡皮靴(脛部與趾部要有鋼襯)。
2. 備份短襪與手套。
3. 空氣呼吸保護裝置，如自給式呼吸器(Self—carry Breathing Apparatus, SCBA)。
4. 雨衣。
5. 防墜皮帶或裝置等。

III. 意外事故調查小組用品

1. 隔離災區用的塑膠繩帶。
2. 證物的塑膠袋標籤。
3. 能封口的塑膠袋。
4. 小急救包。
5. 能蓋緊的有蓋塑膠瓶。
6. 水平儀。
7. 錄影機，附備份電池與多捲空白錄影帶。
8. 成對的無線電對講機，附備份電池與空白錄音帶。
9. 立可拍相機與相紙。
10. 安全繩索。
11. 溫度計。
12. 羅盤。
13. 捲尺。
14. 做記號用的油漆刷、油性筆等。
15. 小工具包、不起火花型工具，如有凹槽能鎖住的鉗子、尖嘴鉗、夾子等。
16. 承接落物用的塑膠布，以供保護證物之用。
17. 筆記型或可攜帶型個人電腦。

附件 四 唔談指引

1. 在唔談開始前，明確地告訴受訪者唔談的目的在於確認和意外事件相關的事實而非責備特定人員，並且對於任何資料儘可能的保密。
2. 尊重證人。
3. 給予所有受訪者同等的對待。
4. 確切、清楚的記錄名字，正確拼寫、日期、時間和描述。
5. 說明訪談的目的。
6. 提供受訪者一些關於唔談者的個人資料，以建立受訪者的信任和信賴。
7. 詢問受訪者一般性的問題如他們的背景和個人介紹。
8. 可能的話，在事故發生地點唔談證人，以利回顧當時事件發生的情境，必要時可以請他們指認與事故有關的設備。
9. 給予充足的時間，不要催促受訪者描述事件或是回答問題，當受訪者遲疑時，可提問後續的問題像是「告訴我更多關於... ..」可以幫助得到所需的資料。
10. 在證人與其他人討論之前，儘可能快速的唔談證人，一旦證人與其他人討論過後他的記憶也許會發生改變，舉例來說，如果一位操作員回想某個特定的閘是關閉的，但他的同事卻說閘是開啓的，他也許會覺得是他記錯了，而改變證詞。
11. 針對那些可能被混淆的專有名詞定義和縮寫應確認其定義。
12. 針對可能含糊的字眼應明確定義必儘量避免使用縮寫名詞。
13. 用簡單且非技術性的語言。
14. 確保資料記載是正確的，可藉由提問如「這些是我所聽到你所陳述的，是否正確？」。
15. 詢問你看到、聽到、感覺到、聞到或是嚐到什麼。
16. 詢問是否有任何其他的是你覺得是我們應該知道以助於完成調查。
17. 詢問是否有其他的人員知道發生什麼事。
18. 了解每一個人，包括唔談者的個人看法。不要詢問誘導式的問題，避免先入爲主的印象
19. 不要提供承諾，特別是保守資訊的秘密，因為資訊在稍後將被調查小組所揭露。
20. 以時間序列的形式註記，提供邏輯化的序列步驟有助於後續的分析，時間序列也許會指出先前問題所忽略的一些議題。
21. 不要同時唔談多位證人，因為較外向或主觀意識較強的成員會影響其他成員發言機會或發言內容。
22. 如果相關的現場證據在緊急應變時遭受移動、改變，需要詢問緊急應變人員是否有移動任何設備。
23. 如果可能，應安排兩位唔談者，如此可以避免忽略重要的問題，雖然其中一位唔談者主要專注於紀錄，另一位唔談者在訪談程序中的事項。
24. 避免引導式問題，不可將個人意見和事實混爲一談。
25. 避免詢問有關個人感受的主觀性問題。
26. 摒棄企圖責備某人或是自首的證詞。
27. 了解有些資訊會受個人經驗或情緒如害怕、尷尬等的影響。
28. 了解人員不會永遠記住事件發生的時間順序。
29. 了解一些不愉快經驗的細節通常從個人的記憶中忽略。

30. 注意受訪者是否有顯露任何精神或是生理壓力或是不尋常的行為，因為這些因素會影響訪談結果。
31. 鼓勵受訪者利用草圖說明他的看法。
32. 注意主動提供看法的受訪者，因為他們的陳述很可能受到主觀意識的影響，無法反應事故真實狀態。
33. 如果為一起嚴重的意外事件並且可能牽涉訴訟關係，也許需要要求受訪者簽署他的聲明。

附件 五 晤談證人

1. 當時的製程操作條件是什麼？
2. 是否在事件發生之前，有任何不尋常的作業發生？
3. 當時的天氣狀態？
4. 當天的工作計畫？
5. 工作計畫是否包括任何不尋常的作業？
6. 是否有其他工作同時進行嗎？
7. 是否存在某些特殊考量或限制
8. 誰在這個作業區域裡面？
9. 這些同仁在作業區內的所在位置？
10. 你當時正在做什麼？
11. 你是否有聞到、聽到、看到、感覺到或是嚐到任何不尋常狀態？
12. 你記得當時有什麼樣的警報？
13. 有哪些的設備損壞？
14. 你有注意到週遭人員在做什麼嗎？
15. 你面對事件立即的動作是什麼？
16. 是否有任何限制你的行動能力的事物(生理能力、程序、訓練)？
17. 你跟其他部門的同仁有什麼樣業務上的往來？
18. 在事件發生後你做了什麼？
19. 你看見別的人員做了什麼？
20. 是誰指揮這些活動？
21. 是不是有任何的狀態影響到你們的作業？
22. 什麼時候現場恢復正常？
23. 事後回顧，當時你會有不同的做法嗎？

系統化事故原因調查技術研究

著（編、譯）者：張承明、于樹偉

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：一版一刷

定價：250 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: 1009800579