

101-128-3393

MOTC-IOT-100-SBB008

# 風險管理應用於鐵路運輸安全 之初探-以臺鐵風險分析與評量為例



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 10 月

ISSN 號碼  
及條碼

GPN : 1010102326

定價 300 元

101-128-3393

MOTC-IOT-100-SBB008

# 風險管理應用於鐵路運輸安全 之初探-以臺鐵風險分析與評量為例

著者：孫千山、鍾志成、李治綱、林杜寰、張仕龍、張恩輔、  
林蓁、黃笙玔、黃宏仁、張開國、賴靜慧、吳熙仁

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 10 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

風險管理應用於鐵路運輸安全之初探：以臺鐵風險分析與評量為例 / 孫千山等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所, 民101. 10面；公分  
ISBN 978-986-03-4004-4(平裝)

1. 鐵路管理 2. 風險管理 3. 運輸系統

557

101020952

風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵風險分析與評量為例

著者：孫千山、鍾志成、李治綱、林杜寰、張仕龍、張恩輔、林藁、黃笙玟、黃宏仁、張開國、賴靜慧、吳熙仁

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw)(中文版>圖書服務>本所出品)

電話：(02)23496789

出版年月：中華民國 101 年 10 月

印刷者：承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：300 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市:10485 臺北市中山區松江路 209 號•電話:(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010102326 ISBN：978-986-03-4004-4(平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵風險分析與評量為例			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-4004-4(平裝)	政府出版品統一編號 1010102326	運輸研究所出版品編號 101-128-3393	計畫編號 100-SBB008
本所主辦單位：運輸安全組 主管：張開國 計畫主持人：張開國 研究人員：賴靜慧、吳熙仁 聯絡電話：(02)23496857 傳真號碼：(02)25450425	合作研究單位：財團法人中興工程顧問社 計畫主持人：孫千山 研究人員：鍾志成、李治綱、林杜寰、張仕龍、張恩輔、林蓁、黃笙玹、黃宏仁 地址：臺北市南京東路5段171號 聯絡電話：(02)27692131 ext. 20956 傳真號碼：(02)27655010	研究期間  自 100年3月至 100年11月	
關鍵詞：風險管理、風險分析、風險評量			
摘要： 本研究延續99年「風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵辨識為例」研究案之成果，以臺鐵為研究對象繼續進行風險管理的第二與第三個步驟－風險分析與風險評量，研究過程中回顧軌道業界常用的風險分析方法及風險評量原則，以及國內外軌道系統的實務經驗，並以「鐵公路車輛於平交道碰撞」及「旅客上下車摔倒」兩項危害為例深入探討。  「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害因涉及設備、環境、人員等諸多因素，本研究採失誤樹（FTA）與事件樹（ETA）方法進行風險分析，研究結果發現「公路駕駛因素」是平交道事故主因，其中又以「誤判短時間無車而闖越」、「未保持安全間距」、「誤判未侵入」為關鍵因素，另根據97～99年資料，評估本項危害屬於「必須降低」之危害，應立即採取改善手段。  「旅客上下車摔倒」危害大多肇因於人為疏失，因此本研究採人為錯誤分析與降低技術（HEART）進行分析，研究結果發現「感知失效」、「決策失效」、「疏忽」是主要因素，同樣根據97～99年資料發現本項危害風險落在「ALARP」區間，亦即合理可行的條件下應採取改善措施。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
101年10月	380	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: A Preliminary Application of Risk Management of Railway Transportation Safety—A Case Study of Risk Analysis and Evaluation for the Taiwan Railway Administration			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-03-4004-4 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010102326	IOT SERIAL NUMBER 100-128-3393	PROJECT NUMBER 100-SBB008
DIVISION: Safety Division PRINCIPAL INVESTIGATOR: Kai-Kuo Chang PROJECT STAFF: Ching-Huei Lai; His-Jen Wu PHONE: 886-2-23496857 FAX: 886-2-25450429			PROJECT PERIOD  FROM March 2011 TO November 2011
RESEARCH AGENCY: Sinotech Engineering Consultants, Inc. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jyh-Cherng Jong, Chi-Kang Lee, Chian-Shan Suen, PROJECT STAFF: Tu-Huan Lin, Sloan Cheng, En-Fu Chang, Jen Lin, Sheng-Hsuan Huang, Hung-Jen Huang ADDRESS: 171 Nanking E. RD. SEC. 5, Taipei, Taiwan, R.O.C. PHONE: 886-2-27692131 ext. 20956 FAX: 886-2-27655010			
KEY WORDS: Risk Management, Risk Analysis, Risk Evaluation			
<p>ABSTRACT:</p> <p>As a follow-up to the 2010 study “A Preliminary Application of Risk Management to Railway Transportation Safety - A Case Study of Risk Identification for Taiwan Railway Administration”, this study has continued to focus on the subject with the second and third steps in risk management - risk analysis and risk evaluation. The study reviewed the common risk analysis methodologies and risk evaluation principles in practice, as well as with hands-on experiences in railway systems both domestic and abroad. Two particular hazards of collisions at railroad crossings and passengers falling while boarding or alighting were selected for further study.</p> <p>Because collisions at railroad crossings involve equipment, environment, manpower, and many other factors, this study adopted Fault Tree Analysis (FTA) and Event Tree Analysis (ETA) to perform risk analysis. We discovered automobile driving to be the main cause of collisions at railroad crossings, of which, misjudgment of train's arriving time, failure to keep a safe distance, and misjudgment of not entering were the key elements. Based on data from 2008~2010, this hazard was evaluated to be among the must-reduce hazards, and improvement measures must be taken immediately.</p> <p>Passengers falling while boarding or alighting were mostly due to human error. Hence, this study adopted Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART) to conduct analysis. We found that perception failure, decision failures, and omission were the main factors for this issue. Based on the same data between 2008~2010, this hazard fell on the ALARP (As Low As Reasonably Practicable) zone. In other words, improvement may be taken under reasonable and feasible conditions.</p>			
DATE OF PUBLICATION  October 2012	NUMBER OF PAGES  380	PRICE  300	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目 錄

	頁 次
目 錄 .....	III
圖 目 錄.....	IX
表 目 錄.....	XII
第一章 緒論.....	1-1
1.1 研究緣起.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-2
1.3 研究範圍與對象.....	1-3
1.4 研究內容與項目.....	1-3
1.5 研究方法與流程.....	1-4
第二章 風險辨識研究案成果回顧.....	2-1
2.1 風險管理文獻回顧成果.....	2-1
2.1.1 軌道系統風險管理名詞定義.....	2-1
2.1.2 軌道系統風險管理概念.....	2-3
2.1.3 軌道系統風險管理步驟.....	2-9
2.2 臺鐵既有危害項目說明.....	2-11
2.3 臺鐵安全危害辨識之成果.....	2-12
2.3.1 危害辨識名詞定義.....	2-12
2.3.2 危害辨識方法.....	2-13
2.3.3 危害辨識結果.....	2-14
2.4 危害項目更新.....	2-14
2.5 小結.....	2-18
第三章 軌道系統風險分析方法回顧.....	3-1
3.1 系統可靠度理論概念.....	3-1
3.1.1 系統與介面.....	3-1
3.1.2 功能分析.....	3-3
3.1.3 失效模式.....	3-3

3.2	初步危害分析 (PHA)	3-5
3.2.1	沿革說明	3-5
3.2.2	作業程序說明	3-5
3.2.3	方法優點與限制	3-7
3.3	失效模式、效應與關鍵性分析 (FMECA)	3-7
3.3.1	沿革說明	3-7
3.3.2	作業程序說明	3-8
3.3.3	定量分析-失效模式與效應分析 (FMEA)	3-11
3.3.4	定量分析-關鍵性分析 (CA)	3-21
3.3.5	方法優點與限制	3-26
3.4	失誤樹分析 (FTA)	3-27
3.4.1	沿革說明	3-27
3.4.2	作業程序說明	3-27
3.4.3	定性分析	3-35
3.4.4	定量分析	3-41
3.4.5	方法優點與限制	3-52
3.5	事件樹分析 (ETA)	3-52
3.5.1	沿革說明	3-52
3.5.2	作業程序說明	3-53
3.5.3	定量分析	3-55
3.5.4	方法優點與限制	3-57
3.6	可靠度方塊圖 (RBD)	3-57
3.6.1	沿革說明	3-58
3.6.2	作業程序說明	3-58
3.6.3	方法優點與限制	3-61
3.7	特性要因圖 (CED)	3-62
3.7.1	沿革說明	3-62
3.7.2	作業程序說明	3-62
3.7.3	定量分析	3-64
3.7.4	方法優點與限制	3-68



3.8	人為錯誤危害與可操作性分析 (Human Error HAZOP)	3-68
3.8.1	沿革說明	3-69
3.8.2	作業程序說明	3-69
3.8.3	方法優點與限制	3-71
3.9	人為錯誤評估及降低技術 (HEART)	3-71
3.9.1	沿革說明	3-72
3.9.2	作業程序說明	3-72
3.9.3	定量分析	3-78
3.9.4	方法優點與限制	3-79
3.10	小結	3-80
<b>第四章</b>	<b>軌道系統風險評量與接受原則</b>	<b>4-1</b>
4.1	風險評量原則	4-1
4.2	風險接受原則	4-2
4.3	門檻值的建立	4-5
4.4	風險目標配當	4-9
4.5	小結	4-11
<b>第五章</b>	<b>國內外軌道風險分析與評量實務</b>	<b>5-1</b>
5.1	國外案例	5-1
5.1.1	歐洲 MODURBAN	5-1
5.1.2	英國倫敦地鐵	5-3
5.1.3	澳洲塔斯馬尼亞州際鐵路	5-5
5.1.4	澳洲糖鐵	5-6
5.1.5	美國軍規標準	5-7
5.1.6	韓國鐵道研究中心	5-9
5.1.7	香港地鐵	5-10
5.1.8	東日本鐵道公司	5-12
5.1.9	中國城際鐵路	5-13
5.2	國內案例	5-15
5.2.1	臺鐵局	5-15
5.2.2	台北捷運	5-24

5.2.3	高雄捷運	5-25
5.2.4	台灣高鐵	5-27
5.2.5	桃園捷運	5-29
5.2.6	阿里山森林鐵路	5-31
5.2.7	台灣糖鐵	5-32
5.3	危害登錄表	5-33
5.3.1	台北捷運	5-34
5.3.2	桃園捷運（機場捷運）	5-35
5.3.3	台灣高鐵	5-36
5.3.4	英國軌道設備商提供之系統	5-37
5.3.5	歐洲 MODURBAN	5-38
5.3.6	香港地鐵	5-40
5.4	可借鏡之風險實務作業	5-41
5.4.1	遭列車門夾傷拖行風險分析	5-41
5.4.2	英國 Railtrack 平交道設備風險分析	5-43
5.4.3	英國安全風險模式 SRM6.0	5-44
5.4.4	歐盟 SELCAT 平交道之人為與設備失效率	5-46
5.5	風險分析評量案例	5-47
5.5.1	背景說明	5-48
5.5.2	風險分析操作模擬	5-48
5.5.3	風險評量操作模擬	5-52
5.6	小結	5-53
<b>第六章</b>	<b>危害選定及分析評量方法說明</b>	<b>6-1</b>
6.1	臺鐵安全危害項目選定	6-1
6.1.1	危害選定原則	6-1
6.1.2	專家會議的考量因素	6-2
6.2	臺鐵風險分析方法的選擇	6-5
6.2.1	行車類危害	6-5
6.2.2	非行車類危害	6-6
6.3	臺鐵風險評量與接受原則	6-6

<b>第七章 鐵公路車輛於平交道碰撞危害分析與評量 .....</b>	<b>7-1</b>
7.1 風險分析 .....	7-2
7.1.1 發生機率分析 .....	7-2
7.1.2 嚴重程度分析 .....	7-19
7.1.3 風險值評估 .....	7-20
7.2 風險評量 .....	7-21
7.3 改善建議 .....	7-22
<b>第八章 旅客上下車摔倒危害分析與評量 .....</b>	<b>8-1</b>
8.1 風險分析 .....	8-2
8.1.1 發生機率分析 .....	8-2
8.1.2 嚴重程度推估 .....	8-14
8.1.3 風險值評估 .....	8-14
8.2 風險評量 .....	8-15
8.3 改善建議 .....	8-16
<b>第九章 結論與建議 .....</b>	<b>9-1</b>
9.1 結論 .....	9-1
9.2 建議 .....	9-4
<b>附錄 A 縮寫對照表 .....</b>	<b>A-1</b>
<b>附錄 B 布林代數演算與范恩圖 .....</b>	<b>B-1</b>
<b>附錄 C 科技新知 .....</b>	<b>C-1</b>
<b>附錄 D 專家工作會議紀錄 .....</b>	<b>D-1</b>
D.1 第 1 次專家工作會議 .....	D-3
D.2 第 2 次專家工作會議 .....	D-5
D.3 第 3 次專家工作會議 .....	D-7
D.4 第 4 次專家工作會議 .....	D-9
D.5 第 5 次專家工作會議 .....	D-11
<b>附錄 E 教育訓練 .....</b>	<b>E-1</b>
<b>附錄 F 鐵公路車輛於平交道碰撞-原始失誤樹 .....</b>	<b>F-1</b>
<b>附錄 G 績效影響因子及影響比率分析表 .....</b>	<b>G-1</b>
<b>附錄 H 美國與澳洲平交道事故調查表 .....</b>	<b>H-1</b>

附錄 I 期中報告審查意見與處理情形 .....	I-1
附錄 J 期末報告審查意見與處理情形 .....	J-1
參考文獻 .....	R-1

## 圖 目 錄

	頁 次
圖 1-1 風險管理架構及程序 .....	1-2
圖 1-2 研究流程圖 .....	1-5
圖 2-1 事故、事件、危害的關係示意圖 .....	2-2
圖 2-2 失效、失誤、與錯誤的關係示意圖 .....	2-2
圖 2-3 歐盟制定之 IEC61508&EN5012X 之架構 .....	2-3
圖 2-4 降低系統風險的手段 .....	2-4
圖 2-5 歐盟 EN5012x 之範圍 .....	2-5
圖 2-6 EN50126 之 V 型系統生命週期 .....	2-6
圖 2-7 整合性風險管理循環改善程序 .....	2-10
圖 2-8 行政院研考會制定之風險管理步驟概要 .....	2-10
圖 2-9 危害辨識方法 .....	2-13
圖 2-10 危害項目分類說明 .....	2-14
圖 3-1 系統與介面示意圖 .....	3-2
圖 3-2 功能樹示意圖 .....	3-3
圖 3-3 IEC50(191)的失效種類 .....	3-4
圖 3-4 製程 FMECA 流程圖 .....	3-9
圖 3-5 物品單元關鍵性矩陣示意圖 .....	3-25
圖 3-6 以「空間」界定分析範圍示意圖 .....	3-28
圖 3-7 以「流程」界定分析範圍示意圖 .....	3-29
圖 3-8 用路人通過平交道行為 .....	3-30
圖 3-9 任一情境即可造成危害發生之範例 .....	3-31
圖 3-10 同時滿足條件方可造成危害發生之範例 .....	3-32
圖 3-11 失誤樹圖示範例 .....	3-33
圖 3-12 失誤樹與其最小分割集合等效圖 .....	3-37
圖 3-13 成功樹與其最小路徑集合等效圖 .....	3-38

圖 3-14 簡化前之失誤樹.....	3-43
圖 3-15 布林運算後之失誤樹等效圖.....	3-44
圖 3-16 重要性分析範例.....	3-47
圖 3-17 失誤樹推估頂端事件發生機率示意圖.....	3-51
圖 3-18 事件樹圖示範例.....	3-55
圖 3-19 事件樹量化分析範例.....	3-57
圖 3-20 兩種典型的 RBD 組成方式.....	3-58
圖 3-21 RBD 與 FTA 轉換關係範例.....	3-60
圖 3-22 至少 2 元件正常系統才正常的 RBD 表示法.....	3-60
圖 3-23 橋式 RBD 範例圖.....	3-61
圖 3-24 特性要因圖（魚骨圖）範例.....	3-62
圖 3-25 原因型特性要因圖.....	3-63
圖 3-26 對策型特性要因圖.....	3-63
圖 3-27 模型工作流程圖.....	3-64
圖 3-28 魚骨圖分析案例.....	3-65
圖 3-29 層級結構示意圖.....	3-66
圖 3-30 HEART 分析流程圖.....	3-73
圖 4-1 英國風險管理 ALARP 概念.....	4-3
圖 4-2 德國最低可接受死亡風險圖.....	4-4
圖 4-3 臺鐵旅客安全風險門檻建議值.....	4-9
圖 5-1 韓國 KRRI 之風險評估程序.....	5-9
圖 5-2 韓國風險分析模式.....	5-10
圖 5-3 東日本鐵道公司安全風險矩陣圖.....	5-12
圖 5-4 東日本鐵道公司三維風險矩陣示意圖.....	5-13
圖 5-5 臺灣鐵路管理局風險管理推動小組組織圖.....	5-15
圖 5-6 臺鐵風險管理推動小組研擬之主要風險項目架構圖.....	5-16
圖 5-7 臺鐵 10×10 風險矩陣簡化示意圖.....	5-17
圖 5-8 機場捷運興建階段風險管理資訊平台.....	5-35
圖 5-9 台灣高鐵風險管理系統.....	5-36
圖 5-10 台灣高鐵風險管理系統（續）.....	5-36

圖 5-11 英國設備監控商提出之軌道危害登錄系統 .....	5-38
圖 5-12 歐洲 MODURBAN 危害登錄表.....	5-39
圖 5-13 香港地鐵危害登錄表 .....	5-40
圖 5-14 旅客遭列車門夾傷拖行之風險分析案例-處置前.....	5-42
圖 5-15 旅客遭列車門夾傷拖行之風險分析案例-處置後.....	5-42
圖 5-16 地下車站火災失誤樹分析 .....	5-49
圖 5-17 地下車站火災失誤樹分析 .....	5-50
圖 5-18 風險評量示意圖 .....	5-52
圖 6-1 臺鐵 2008-2010 年安全風險排序圖（前 10 序位） .....	6-2
圖 6-2 臺鐵 2008-2010 年量化風險矩陣圖（前 10 序位） .....	6-4
圖 7-1 近 3 年鐵公路車輛於平交道碰撞事故統計 .....	7-1
圖 7-2 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹-原始圖第 1 頁.....	7-5
圖 7-3 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 1 頁.....	7-6
圖 7-4 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹次數統計 .....	7-17
圖 7-5 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹量化分析 .....	7-18
圖 7-6 鐵公路車輛於平交道碰撞事件樹分析-原始圖.....	7-19
圖 7-7 鐵公路車輛於平交道碰撞事件樹分析-簡化後.....	7-21
圖 7-8 鐵公路車輛於平交道碰撞風險評量（臺鐵標準） .....	7-21
圖 8-1 近 3 年臺鐵旅客上下車摔傷人數 .....	8-1
圖 8-2 旅客順利上下車的層級任務分析圖 .....	8-4
圖 8-3 臺鐵旅客無法順利上下車之特性要因圖 .....	8-5
圖 8-4 旅客未順利上下車與實際摔倒的關係示意圖 .....	8-13
圖 8-5 旅客上下車摔倒與實際受傷的關係示意圖 .....	8-14
圖 8-6 臺鐵旅客上下車摔倒風險評量（臺鐵標準） .....	8-15

## 表 目 錄

	頁 次
表 2.1 危害發生機率分級表 .....	2-7
表 2.2 危害嚴重程度分級表 .....	2-7
表 2.3 EN50126 風險等級一覽表 .....	2-7
表 2.4 EN50126 安全風險矩陣表 .....	2-8
表 2.5 英國 SRM 版本更新對照表 .....	2-15
表 2.6 臺鐵 119 項危害項目 .....	2-17
表 3.1 PHA 危險等級 .....	3-6
表 3.2 PHA 範例說明 .....	3-6
表 3.3 依失效發生機率訂定嚴重等級 .....	3-12
表 3.4 依失效模式對系統影響程度訂定嚴重等級 .....	3-12
表 3.5 失效模式對產品影響程度評估表 .....	3-13
表 3.6 失效模式對產品影響範圍評估表 .....	3-14
表 3.7 失效模式發生機率評估表 .....	3-14
表 3.8 多要因評估法-嚴重等級劃分表 .....	3-15
表 3.9 列表評估法之嚴重性評估表 .....	3-15
表 3.10 列表評估法-嚴重等級劃分表 .....	3-16
表 3.11 FMEA 嚴重性等級範例 .....	3-17
表 3.12 FMEA 發生率等級範例 .....	3-17
表 3.13 FMEA 檢測率等級範例 .....	3-18
表 3.14 失效模式與效應分析表範例 .....	3-20
表 3.15 關鍵性分析表範例 .....	3-22
表 3.16 失效效應機率 ( $\beta$ ) 填寫原則 .....	3-23
表 3.17 典型機械零件失效模式分佈摘要表 .....	3-23
表 3.18 定性的失效機率等級 .....	3-25
表 3.19 失誤樹常用分析符號一覽表 .....	3-33



表 3.20 重要性計算值一覽表 .....	3-47
表 3.21 歷史事故資料嚴重性統計範例 .....	3-53
表 3.22 特性要因圖類型 .....	3-63
表 3.23 AHP 之 R.I.值對照表 .....	3-68
表 3.24 Human Error HAZOP 關鍵字 .....	3-70
表 3.25 HEART 的通用任務類型 .....	3-74
表 3.26 HEART 的失效產生條件 .....	3-74
表 3.27 HEART 定量分析案例 .....	3-79
表 3.28 風險分析方法比較表 .....	3-81
表 4.1 風險矩陣表範例 .....	4-1
表 4.2 個別風險可容忍上限值一覽表 .....	4-6
表 4.3 可參考之系統安全風險標準 .....	4-7
表 4.4 臺鐵單一旅客一年致命風險 .....	4-7
表 4.5 依歷史經驗比例配當風險 .....	4-10
表 4.6 採其他系統推估風險標準範例 .....	4-11
表 5.1 MODURBAN-嚴重程度分級表 .....	5-2
表 5.2 MODURBAN-發生機率分級表 .....	5-2
表 5.3 MODURBAN 安全風險矩陣表 .....	5-2
表 5.4 歐洲 MODURBAN 安全風險等級一覽表 .....	5-3
表 5.5 英國倫敦地鐵-嚴重程度分級表 .....	5-3
表 5.6 英國倫敦地鐵-發生機率分級表 .....	5-4
表 5.7 英國倫敦地鐵-安全風險矩陣表 .....	5-4
表 5.8 英國倫敦地鐵-安全風險等級一覽表 .....	5-4
表 5.9 澳洲塔斯馬尼亞州-嚴重程度分級表 .....	5-5
表 5.10 澳洲塔斯馬尼亞州-發生機率分級表 .....	5-5
表 5.11 澳洲塔斯馬尼亞州-安全風險矩陣表 .....	5-6
表 5.12 澳洲塔斯馬尼亞州-安全風險等級一覽表 .....	5-6
表 5.13 澳洲糖鐵-安全風險矩陣表 .....	5-7
表 5.14 澳洲糖鐵-安全風險等級一覽表 .....	5-7
表 5.15 美國 MIL-STD-822D-嚴重程度分級表 .....	5-8

表 5.16	美國 MIL-STD-822D-發生機率分級表 .....	5-8
表 5.17	美國 MIL-STD-822D-安全風險矩陣表 .....	5-8
表 5.18	美國 MIL-STD-822D-安全風險等級一覽表 .....	5-9
表 5.19	香港地鐵-安全風險等級一覽表 .....	5-10
表 5.20	香港地鐵-安全風險矩陣表 .....	5-11
表 5.21	中國平交道-安全風險等級一覽表 .....	5-13
表 5.22	中國平交道-安全風險矩陣表 .....	5-14
表 5.23	臺鐵局風險管理教育訓練統計表 .....	5-16
表 5.24	臺鐵局行車類風險-發生機率分級表 .....	5-17
表 5.25	臺鐵局行車類風險-運務處嚴重程度分級表 .....	5-18
表 5.26	臺鐵局行車類風險-工務處嚴重程度分級表 .....	5-18
表 5.27	臺鐵局行車類風險-機務處嚴重程度分級表 .....	5-19
表 5.28	臺鐵局行車類風險-電務處嚴重程度分級表 .....	5-19
表 5.29	臺鐵局-安全風險矩陣表 .....	5-20
表 5.30	臺鐵局-風險等級一覽表 .....	5-20
表 5.31	臺鐵局近年行車類危害風險比較表 .....	5-21
表 5.32	臺鐵局非行車類－發生機率分級表 .....	5-22
表 5.33	臺鐵局非行車類－嚴重程度分級表 .....	5-22
表 5.34	臺鐵局近年非行車類危害風險比較表 .....	5-23
表 5.35	臺鐵局台北車站三鐵共構危害風險值比較表 .....	5-23
表 5.36	台北捷運-安全風險矩陣表 .....	5-24
表 5.37	台北捷運-安全風險等級一覽表 .....	5-25
表 5.38	高雄捷運-人員安全風險目標 .....	5-25
表 5.39	高雄捷運-個別系統安全風險目標 .....	5-26
表 5.40	高雄捷運-安全風險矩陣表 .....	5-26
表 5.41	台灣高鐵-系統安全風險目標 .....	5-27
表 5.42	台灣高鐵-發生機率分級表 .....	5-27
表 5.43	台灣高鐵-嚴重程度分級表 .....	5-28
表 5.44	台灣高鐵-安全風險矩陣表 .....	5-28
表 5.45	台灣高鐵-安全風險等級一覽表 .....	5-29

表 5.46	機場捷運-個別系統安全風險目標表.....	5-29
表 5.47	機場捷運-發生機率分級表.....	5-30
表 5.48	機場捷運-嚴重程度分級表.....	5-30
表 5.49	機場捷運-安全風險矩陣表.....	5-31
表 5.50	機場捷運-安全風險矩陣值一覽表.....	5-31
表 5.51	危害登錄表之欄位項目建議.....	5-33
表 5.52	台北捷運風險管理登錄表範例.....	5-34
表 5.53	英國 AHB 平交道失效情形與發生機率.....	5-43
表 5.54	英國 SRM6 部分危害標準化指標與風險值.....	5-44
表 5.55	英國 AHB 平交道之人為與設備失效率.....	5-47
表 5.56	各基本事件之假設失效率.....	5-48
表 5.57	各情境之假設機率.....	5-50
表 5.58	事件樹各路徑之風險值計算一覽表.....	5-51
表 5.59	國內外各軌道系統風險分析與評量作法比較.....	5-54
表 6.1	臺鐵 2008-2010 年安全風險排序表（前 20 序位）.....	6-3
表 7.1	可能被鐵路列車撞擊的情境說明.....	7-11
表 7.2	失誤樹分析基本事件次數統計一覽表.....	7-13
表 7.3	通過平交道公路車輛數統計一覽表.....	7-14
表 7.4	列車公里統計一覽表.....	7-14
表 7.5	失誤樹分析基本事件機率值.....	7-15
表 7.6	事件樹分析結果.....	7-20
表 7.7	鐵公路車輛於平交道碰撞風險評量（其他標準）.....	7-22
表 7.8	降低鐵公路車輛於平交道碰撞風險的改善手段.....	7-23
表 8.1	人為錯誤分析技術使用名詞對照表.....	8-2
表 8.2	通用錯誤類型與失誤率參考值.....	8-6
表 8.3	旅客上下車過程可能發生的錯誤類型與失誤率.....	8-7
表 8.4	績效影響因子之定義與對應之影響因數.....	8-8
表 8.5	通用錯誤類型與對應之績效影響因子及影響因數.....	8-9
表 8.6	績效影響因子之影響情境.....	8-10
表 8.7	臺鐵整體旅客績效影響因子影響比率.....	8-11

表 8.8	旅客上下車發生感知失效的失誤率分析 .....	8-12
表 8.9	旅客上下車發生決策失效的失誤率分析 .....	8-12
表 8.10	旅客上下車發生疏忽的失誤率分析 .....	8-12
表 8.11	臺鐵旅客上下車摔倒風險評量（其他標準） .....	8-16
表 8.12	降低績效影響因子之影響比率的改善手段 .....	8-17

# 第一章 緒論

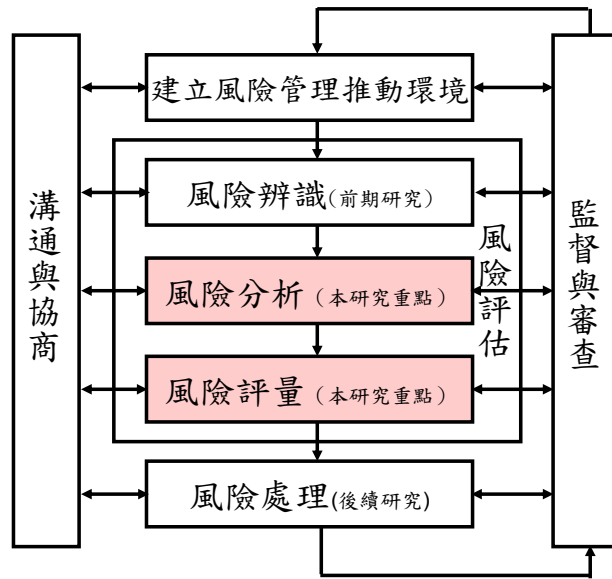
## 1.1 研究緣起

風險管理（Risk Management）最早起源於美國，因應 1929~1933 年全球性經濟危機，主要應用在金融保險領域。而隨著時間的演進，風險管理從 1938 年起陸續引進科學性的方法來輔助分析，持續發展至 1950 而成為一門學科，且普遍受到各業界的重視。

任何組織皆存在影響組織目標之潛在事件，潛在事件均有其發生的可能性與嚴重程度，為有效管理可能發生的事件，所執行之步驟與過程即為風險管理。以鐵路運輸系統而言，歐美等先進國家在鐵路安全監理與鐵路安全管理的作法，均是採用風險管理為基礎之安全管理制度，據此才能面對現實的安全問題、篩選關鍵課題、探討危害之原因與後果、研擬排除危害之手段，並推動安全改善作業。

圖 1-1 說明風險管理包括風險辨識（Risk Identification）、風險分析（Risk Analysis）、風險評量（Risk Evaluation）、風險處理（Risk Treatment）、風險管理監督（Monitoring Risk Management）及風險管理改善 6 大步驟<sup>[100, 134]</sup>，亦即當危害辨識出來後，要分析危害可能的發生機率與可能的嚴重度，接著透過風險評量判斷各個危害的風險值是否可接受，並擬定改善策略處理不可接受的危害，最後則是持續的監督與改善。

本期研究延續 2010 年交通部運輸研究所之「風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵風險辨識為例」研究案<sup>[127]</sup>（以下簡稱前期研究），繼續探討軌道系統安全「風險分析」與「風險評量」兩項課題，期作為後續進行風險處理與監督改善研究（以下簡稱後續研究）之基礎。



資料來源：[100, 134]及本研究繪製

圖1-1 風險管理架構及程序

## 1.2 研究目的

本研究承襲前期研究所辨識的臺鐵危害清單，進一步蒐集整理軌道系統風險分析與評量的方法，同時參酌國內外軌道系統的實務經驗，針對臺鐵兩項危害選擇合適的風險分析與評量方法，藉以找出兩項危害發生的原因與影響嚴重度的關鍵，並評量兩項危害的風險是否可接受，最後提出改善建議供臺鐵參考，相關研究成果具備本土性、可用性、執行性與示範性，可作為臺鐵與國內其他軌道系統未來執行風險分析與評量時的參考依據，說明如下：

1. 本土性：本研究以臺鐵為例進行危害分析與評量實作，確保本土性之特質。
2. 可用性：本研究採用的風險分析與評量方法均以軌道系統常用的方法為主，以確保研究成果具有可用性。
3. 執行性：研究方法中歸納明確且容易操作的步驟，確保臺鐵與其他軌道系統後續可自行操作之執行性。

4. 示範性：軌道系統之風險分析與評量作業流程較少見於國內外文獻，本研究以兩個危害為例詳細說明各步驟之操作程序，使其具有示範性。

### 1.3 研究範圍與對象

風險管理的應用範圍相當廣泛，對軌道營運機構而言，包括天然災害、行車事故、司機員罷工等，均為可能的風險。本研究主要探討鐵路運輸安全議題，因此研究範圍著重在風險管理於鐵路運輸安全之應用，並以臺鐵系統為例進行探討。本研究承襲前期「風險辨識」研究成果，著重在「風險分析」與「風險評量」，未來尚須進行「風險處理」方能深入探討改善措施的效益（如圖 1-1所示）。

### 1.4 研究內容與項目

本研究案完成的工作項目包括：

1. 回顧並整理各國軌道領域風險分析與評量實務經驗，包括：所採用之風險矩陣，判斷不可忍受、不理想、可忍受、或可忽略的危害項目，及定性、半定量或量化評量方法等。
2. 蒐集並綜整國內外風險分析與評量理論及方法，以及應用於鐵路運輸安全風險分析與評量方面之文獻。
3. 針對國內鐵路運輸業（臺鐵、高鐵、捷運、森鐵、糖鐵）蒐集分析其風險分析與評量的作法與對策。
4. 比較分析國內外風險分析與評量之理論及實務，與臺鐵有關安全方面之風險分析與評量及實作方法。
5. 參考「風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵風險辨識為例」研究案成果、國內外鐵路運輸安全風險分析與評量實務經驗及臺鐵實務作業方式，列出臺鐵安全方面的風險矩陣、危害發生頻率、危害嚴重性、危害風險值、風險標準。

6. 建立風險分析與評量之執行步驟與過程，並從臺鐵安全危害清單中選擇「鐵公路車輛於平交道碰撞」、「旅客上下車摔倒」兩項危害，依據風險分析與評量程序，分析該危害之發生頻率以及可能導致的嚴重程度，最後再依風險矩陣判斷兩項危害的風險等級，以確定其為不可忍受、不理想、可忍受、或可忽略的危害。
7. 辦理鐵路運輸風險分析與評量之訓練課程。
8. 邀集臺鐵運、工、機、電、行保會、勞安室、企劃處 7 位鐵路安全專家，召開 5 次專家工作會議，確保本研究案之成果具體可行。
9. 完成 3 篇學術論文投稿。
10. 完成 2 篇科技新知，並刊登於「運輸安全資訊網」，同時於「相關網站連結」新增本研究推薦的網頁連結。

## 1.5 研究方法與流程

本研究回顧國內外軌道系統於風險分析與評量之作法，並與臺鐵專家討論後，選定兩項危害項目進行風險分析與評量，過程中研擬風險分析適用方法與步驟供後續臺鐵提昇系統安全之參考，茲將研究流程整理如圖 1-2 所示，說明如下：

### 1. 風險辨識研究案回顧與更新

由於本研究承襲 2010 年「風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵風險辨識為例」研究案，故首先回顧相關研究成果，同時參酌國外經驗與國內軌道專家建議，根據臺鐵最新事故、事件資料更新危害清單為 119 項，相關資料整理於第二章。



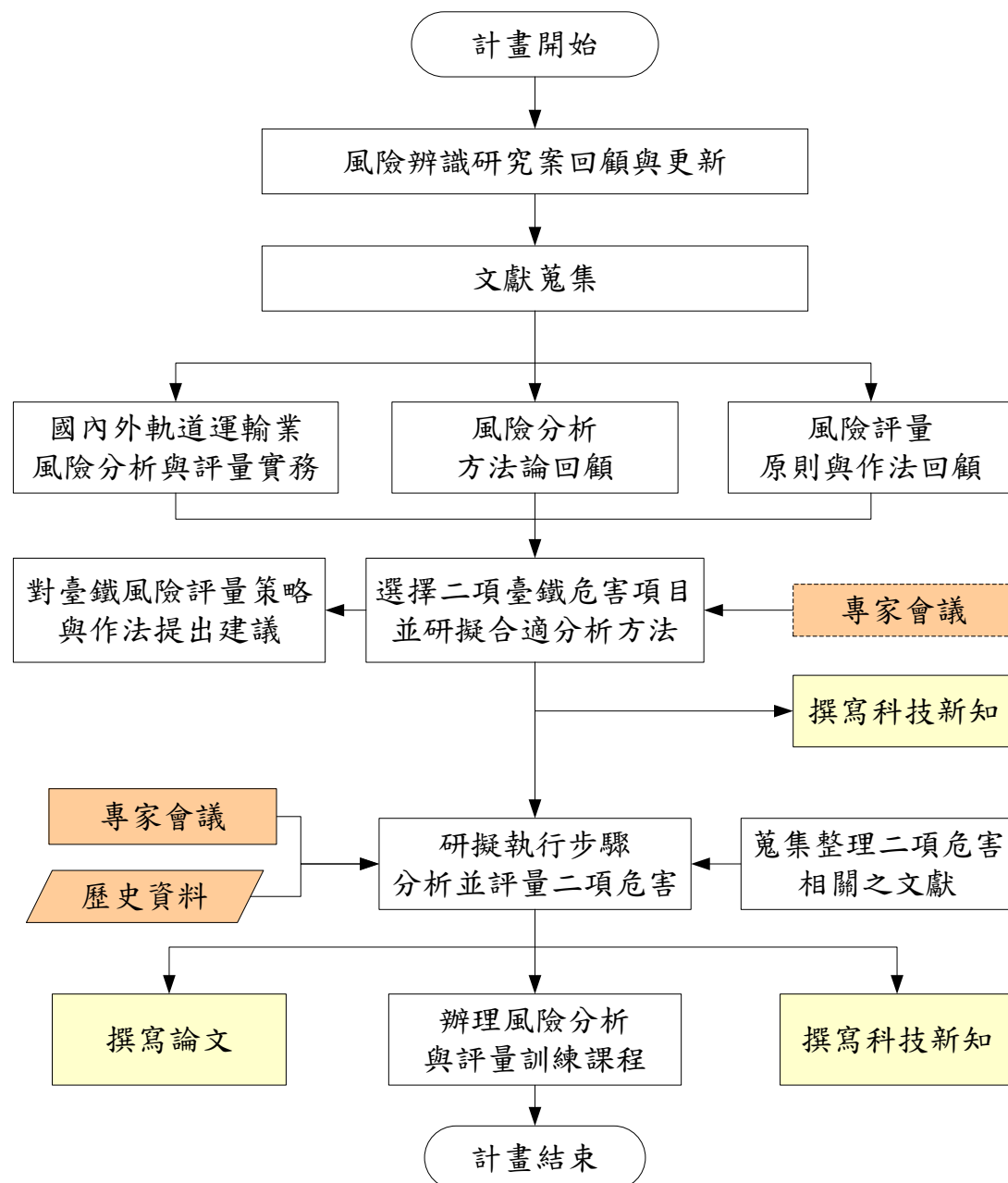


圖1-2 研究流程圖

## 2. 文獻蒐集

本研究案著重於風險管理的第二步驟與第三步驟，亦即風險分析與風險評量，文獻蒐集方向包括：

### (1) 風險分析方法論回顧

軌道系統常採用的風險分析方法包括有失效模式、效應與關鍵性分析(FMECA)、失誤樹分析法(FTA)、事件樹分析(ETA)...

等。另外，在可靠度工程領域亦有諸多方法可供參考，例如可靠度方塊圖（RBD）、特性要因圖（CED）...等，在人為錯誤評估部分則有人為錯誤危害與可操作性分析（Human Error HAZOP）、人為錯誤評估與降低技術（HEART）...等，本研究回顧多個適用於軌道系統之方法，再根據兩項危害項目之特性，選擇適當的方法來進行分析，相關文獻整理於第三章。

## (2) 風險評量原則與作法回顧

軌道系統進行風險評量時，普遍採 EN50126<sup>[21]</sup>所提出之風險矩陣，而在風險可接受原則部分，EN50126 提出 3 種原則，其中又以 ALARP（As Low As Reasonably Practicable）觀念最常被採用，即合理可行的情況下應將風險降至最低。本研究回顧風險評量相關原則與作法，一方面作為評量臺鐵兩項危害風險之依據，同時亦提供國內軌道系統評量風險之參考，詳見第四章。

## (3) 國內外軌道運輸業風險分析與評量實務

除了回顧風險分析與評量的理論方法外，本研究亦蒐集整理國內外軌道系統的實務作法，國外部分包括倫敦地鐵、澳洲 Tasmania 城際鐵路與糖鐵、香港地鐵等資料，國內部分包括高鐵、北捷、高捷、桃捷（機場捷運）、森鐵、糖鐵及臺鐵現況作法，同時也蒐集整理與兩項危害相關的國外研究資料與參考數據，最後用一假設案例說明軌道系統風險分析與評量的操作流程，相關內容整理於第五章。

# 3. 選擇兩項臺鐵安全危害項目進行分析與評量

本研究於專家工作會議中，邀集臺鐵局運務處、工務處、機務處、電務處、行保會、勞安室、防護團、企劃處之專家進行討論，並選定「鐵公路車輛於平交道碰撞」、「旅客上下車摔倒」兩項危害進行風險分析與評量作業，挑選此 2 項危害的過程與原因詳見第六章。

#### 4. 研擬執行步驟並分析與評量兩項危害

「鐵公路車輛於平交道碰撞」之分析係採失誤樹分析（FTA）與事件樹分析（ETA），而「旅客上下車摔倒」則是採用英國鐵路安全與標準委員會（RSSB）修訂後之人為錯誤評估與降低技術（Rail-Specific HEART）。在風險評量方面，除了採用臺鐵現行風險矩陣評量兩項危害的風險等級之外，亦與其他系統的風險矩陣標準比較，針對兩項危害提出改善建議，詳細的風險分析與評量過程分別於第七章與第八章說明。

#### 5. 辦理風險分析與評量訓練課程

本研究於 2011 年 10 月 19 日假臺灣鐵路局辦理鐵路風險分析與評量之訓練課程，課程主題為「量化風險評估」及「人為錯誤評估」。該次會議邀請國內各軌道系統專家學者參與，除分享本研究成果與經驗外，同時也汲取各系統在風險分析與評量的經驗，使研究成果更為完善，相關資料整理於附錄 E。

#### 6. 撰寫科技新知與投稿論文

本研究共完成 3 篇論文，分別為：

- (1) 「Using Fault Tree Analysis to Identify the Failures of Level Crossing Protection Devices<sup>[37]</sup>」，收錄於 7th International Conference on Urban Regeneration and Sustainability。
- (2) 「應用 FaultTree+於平交道防護設備失效之初探<sup>[148]</sup>」，收錄在 2011 年電子計算機於土木水利工程應用研討會論文集
- (3) 「鐵路安全風險分析與評量方法之回顧與案例分析<sup>[147]</sup>」，收錄在 26 屆中華民國運輸學會論文集。

此外，本研究共撰寫兩篇科技新知，分別為「影像辨識技術應用於平交道障礙物偵測」以及「利用 GPS 提前告知平交道位置」，收錄於附錄 C 及本所之運輸安全資訊網。



## 第二章 風險辨識研究案成果回顧

本研究以交通部運輸研究所之「風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵風險辨識為例」研究案<sup>[127]</sup>為基礎，繼續進行風險管理第二步驟與第三步驟，故本章先回顧風險辨識研究案成果，以作為後續參考之用。2.1節說明風險管理的相關定義與程序，2.2節回顧臺鐵現況危害清單，2.3節說明危害辨識研究案之成果，2.4節則說明檢討前期研究更新危害項目的結果，最後2.5節說明前期研究之結論。

### 2.1 風險管理文獻回顧成果

本節分別回顧軌道系統風險管理之名詞定義、概念與執行步驟。

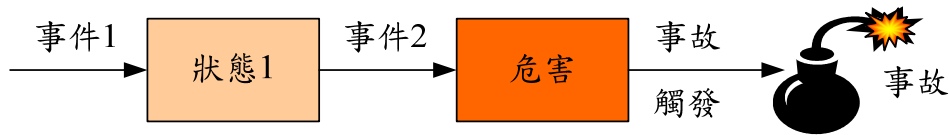
#### 2.1.1 軌道系統風險管理名詞定義

##### 1. 事故（Accident）與事件（Incident）

對軌道系統來說，事故乃定義為：實際造成人員傷亡、財產損失、或環境破壞的情事；事件則定義為：不會造成實質損害，但會對軌道系統的營運與安全造成影響的情事。

##### 2. 危害（Hazard）

EN50126<sup>[21]</sup>對危害的定義為：可能直接導致人員受傷的情事。本研究後續所指的危害即依循此定義，並根據 EN50129<sup>[25]</sup>所述：「危害乃可能直接造成事故的情事」，將危害視為事故發生前最後一個演變情境，若再滿足某些條件則將導致事故發生。有關事故、事件、與危害的關係如圖 2-1所示：



資料來源：[82、95、127]及本研究繪製

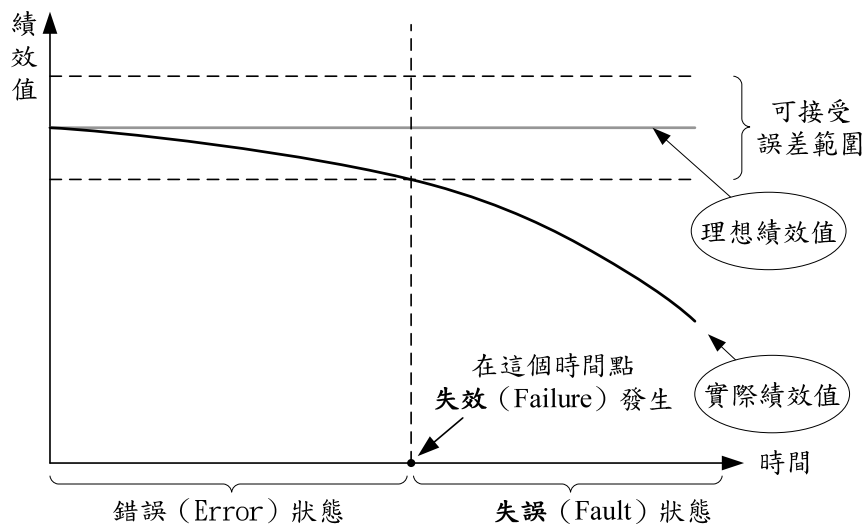
圖2-1 事故、事件、危害的關係示意圖

### 3. 風險 (Risk)

EN50126<sup>[21]</sup>將風險定義為：危害之發生機率 (Probability) 或頻率 (Frequency) 與嚴重程度 (Consequence) 的組合。

### 4. 失效 (Failure)、失誤 (Fault) 與錯誤 (Error)

根據 IEC50(191)<sup>[54]</sup>的規範，當績效表現未達理想時，若誤差還在可接受水準內則稱其處在錯誤 (Error) 狀態，但若誤差超出可接受誤差範圍時則稱其處在失誤 (Fault) 狀態，當績效超出可接受範圍的時間點稱之為失效 (Failure)，三者關係如圖 2-2所示：

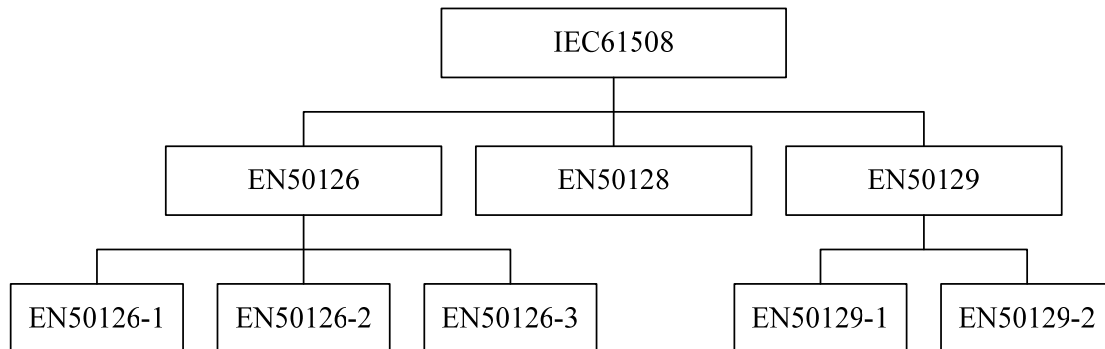


資料來源：[61]

圖2-2 失效、失誤、與錯誤的關係示意圖

## 2.1.2 軌道系統風險管理概念

目前有關軌道系統安全管理的規範大多以歐盟（European Union）所制定的標準為主，因此本節以歐盟之規範來說明風險管理的概念。歐盟為了使其會員國的軌道安全管理有一致的標準，乃針對軌道運輸系統制定安全管理的規範，如 IEC61508、EN50126、EN50128、EN50129 等，其架構如圖 2-3 所示，說明如下。



資料來源：[127]

圖2-3 歐盟制定之 IEC61508&EN5012X 之架構

### 2.1.2.1 IEC61508

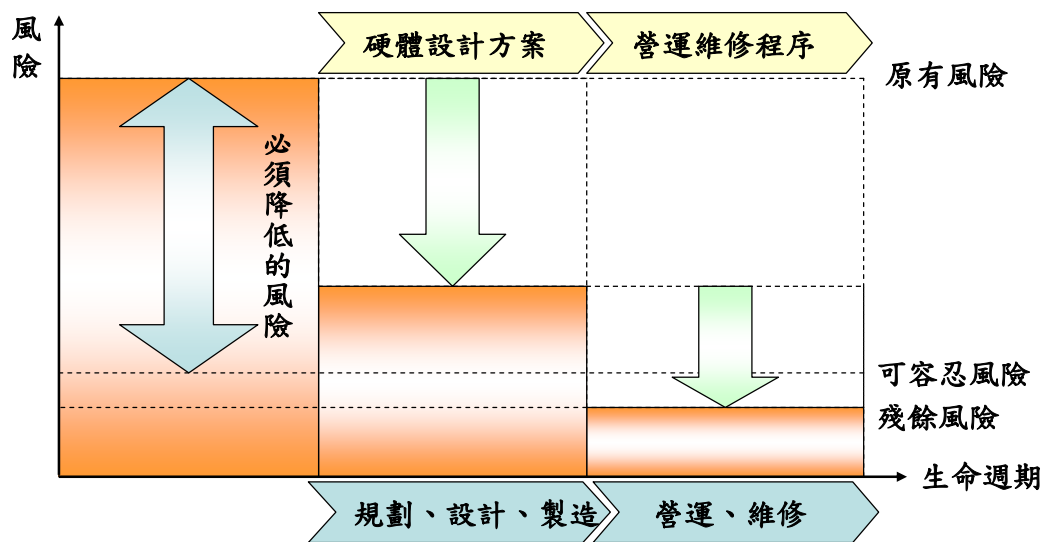
IEC61508<sup>[53]</sup>（Standard for Functional Safety of Electrical / Electronic / Programmable Electronic Safety-Related Systems）是安全相關系統理論與技術的整合，用以規範電氣/電子/可程式化電子組件的整體安全生命週期，建立一個基礎的評估方法。此為通用的規範，適用於軌道運輸、航太工業、核能電廠及一般製造業。

IEC61508 將「風險」視為衡量危險的指標，這邊的風險指的是發生的概率（Likelihood）和危害嚴重性（Consequence）的組合，同時也定義了以下 4 種風險：

1. 被控裝置的風險：指被控制裝置及裝置間互相作用產生的風險。
2. 可容忍的風險：在現行標準基礎下可以被接受的風險。
3. 殘餘的風險：採取防護措施後仍殘留的風險。

4. 必須降低的風險：對安全相關系統進行需求分析及危險分析後，可得到系統的「可容忍的風險」與「被控裝置的風險（現存風險）」，兩者之差即是必須降低的風險，管理者必須採取手段降低風險，使改善後「殘餘的風險」低於「可容忍的風險」。

大體而言，在系統建置階段會儘可能利用硬體的設計方案來降低風險，但若硬體設備的改善成本過高或技術無法達到時，則會進一步利用營運維修的程序來克服，直到系統殘餘的風險低於可接受風險為止，如圖 2-4所示。

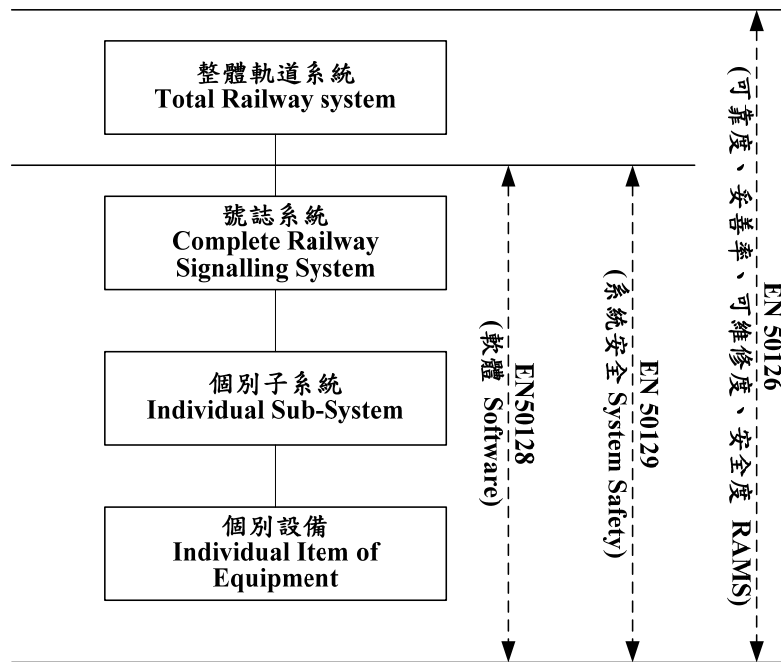


資料來源：[127]

圖2-4 降低系統風險的手段

之後歐盟即以 IEC61508 為標準，分別制定了 EN50126、EN50128、EN50129 三個規範，各規範對於軌道系統所囊括的範圍可參考圖 2-5所示。





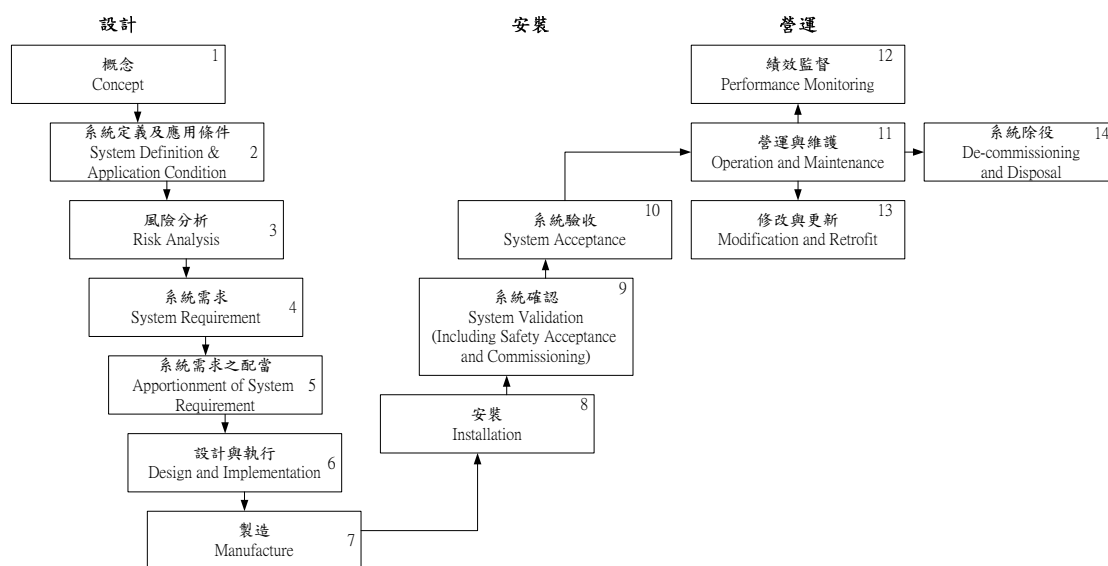
資料來源：[127]

圖2-5 歐盟 EN5012x 之範圍

#### 2.1.2.2 EN50126

EN50126 ( Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability, and Safety, RAMS )，共有 3 份應用指導規範，其中 EN50126-1<sup>[21]</sup>主要是用來控制整體鐵路系統的可靠度、可用度、可維修度及安全性 (RAMS)；EN50126-2<sup>[22]</sup>是安全相關的應用規範；EN50126-3<sup>[23]</sup>則是在車輛 RAMS 分析的應用規範。

該規範提出了生命週期的觀念，訂出各階段生命週期的作業內容及程序，同時採用故障自趨安全 (Fail-Safe) 之設計，經由一系列的作業，以確保軌道運輸系統滿足其 RAMS 目標，來達到預定的服務品質。圖 2-8 之 V 型生命週期共可分為三階段來檢視，分別為：左側由上往下 (Top-Down) 部份可視為發展與修正階段，右側由下往上 (Bottom-Up) 部分則為組合安裝與接受階段，最後則是整體的營運階段。



資料來源：[21、127]

圖2-6 EN50126 之 V 型系統生命週期

在安全管理方面，EN50126 提出構成安全風險矩陣的兩項要素，其一是危害的可能性或其發生的機率，其二是危害所造成後果的嚴重程度，由前兩項要素組成的安全風險矩陣，則可提供安全管理過程中風險評量的重要基礎，亦即找出風險等級的關係。

EN50126 將危害發生的機率分為 6 個等級，各機率等級的意義如表 2.1 所示；至於危害所導致的嚴重程度係依危害對人（或環境）及系統之服務所造成的衝擊來分類，共區分為 4 個程度如表 2.2 所示；此外，危害機率及嚴重程度交叉所得的風險等級亦是可以分類的項目，但是不同系統對風險忍受度不盡相同，因此 EN50126 提出了 1 個範例，表 2.3 將風險等級分為 4 級並說明其所需的因應措施，表 2.4 則說明不同發生機率以及嚴重程度下所對應之風險等級。

表2.1 危害發生機率分級表

等級	發生機率說明
經常 Frequent	可能會經常發生，預料災害將持續出現
有可能 Probable	會發生多次，預料災害會時常出現
偶然 Occasional	可能會發生數次，預料災害將發生數次
甚少 Remote	有可能在系統使用期限內發生，在合理情況下將預料災害發生
不大可能 Improbable	幾乎不會但仍有可能發生，可以假定災害只會在特殊情況下發生
不可能 Incredible	發生機率極微，可以假定災害將不會發生

資料來源：[21]及本研究整理

表2.2 危害嚴重程度分級表

嚴重程度	對人或環境造成的影響	對服務造成的影響
非常嚴重 Catastrophic	多人死亡及/或嚴重受傷及/或嚴重的環境破壞	列車服務中斷
很嚴重 Marginal	一人死亡及/或嚴重受傷及/或對環境造成相當程度的破壞	主要系統不能運作
嚴重 Critical	有人輕微受傷及/或對環境有相當程度的威脅	系統嚴重損壞
輕微 Insignificant	可能有人受傷	系統輕微損壞

資料來源：[21]及本研究整理

表2.3 EN50126 風險等級一覽表

等級	因應措施說明
不可忍受 Intolerable	必須降低該風險
不理想 Undesirable	在一般情況下必須將風險減低，只有當所有風險減輕措施都不可行時方能接受，並須與主管機關達成協議
可忍受 Tolerable	可接受，但須有適當的控制措施與主管機關達成協議
可乎略 Negligible	可接受

資料來源：[21]及本研究整理

表2.4 EN50126 安全風險矩陣表

風險矩陣		嚴重程度			
		輕微 Insignificant	不嚴重 Critical	嚴重 Marginal	災難 Catastrophic
機率	經常 Frequent	不理想	不可忍受	不可忍受	不可忍受
	有可能 Probable	可忍受	不理想	不可忍受	不可忍受
	偶然 Occasional	可忍受	不理想	不理想	不可忍受
	甚少 Remote	可乎略	可忍受	不理想	不理想
	不大可能 Improbable	可乎略	可乎略	可忍受	可忍受
	不可能 Incredible	可乎略	可乎略	可乎略	可乎略

資料來源：[21]及本研究整理

### 2.1.2.3 EN50128

EN50128<sup>[24]</sup> (Railway Applications-Software for Railway Control and Protection Systems) 用於規範軌道運輸系統控制與保護相關軟體的開發過程，並對軟體開發的各個階段，提供作業程序與準則。此標準的適用範圍很廣，從與安全高度相關的系統，例如安全號誌系統，以至於與安全低度相關的系統，例如管理資訊系統，均可適用。

### 2.1.2.4 EN50129

EN50129<sup>[25]</sup> (Railway Applications-Safety Related Electronic Systems for Signaling) 用以規範安全相關電子系統（包含其子系統及設備），主要應用於「故障自趨安全」及「高度完整性」的系統，如主線號誌及自動列車保護 (Automatic Train Protection, ATP) 系統。此項標準可用於號誌系統之規範訂定、設計、製造、安裝、驗收、營運、

維修，以及修改或擴充等作業，相關作業規定也適用於號誌系統之子系統及設備。

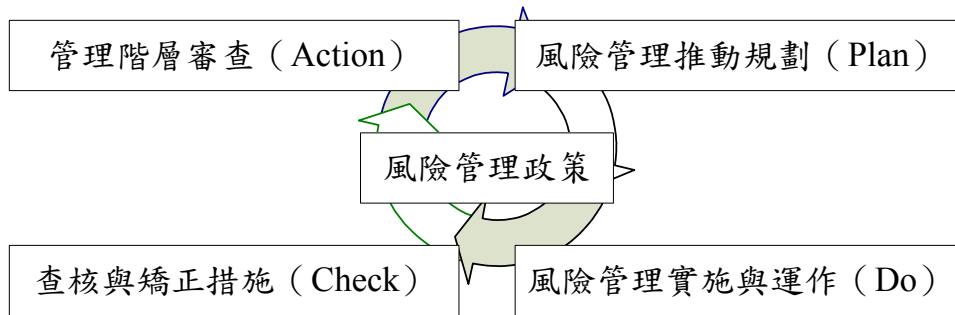
由以上說明可知，EN50126、EN50128、EN50129 是專門為鐵路運輸系統所制定，內容包括規劃設計、興建製造，乃至於營運階段的所有安全規範，同時也是先進國家軌道業界最常採用的規範之一。

### 2.1.3 軌道系統風險管理步驟

風險管理最早由美國、加拿大傳至世界各地，爾後澳洲與紐西蘭於 1995 年制定了 The Risk Management Standard AS/NZS 4360<sup>[100]</sup> 風險管理標準後，讓風險管理進入了科學的領域。該規範將風險管理程序定義為：「溝通與諮詢」、「建立背景」、「風險辨識」、「風險分析」、「風險評量」、「風險處理」、「監控與回報」，同時這些步驟均採閉環/滾動式之持續改善的管理模式。

此外，世界各先進國家亦紛紛仿效 AS/NZS 4360 制定風險管理作業程序，例如：加拿大在決策風險管理標準所制定的 CAN/CSA-Q850-97<sup>[11]</sup>（Risk Management: Guideline for Decision Makers）、英國標準協會制定的風險管理作業要點及標準 BS 31100<sup>[10]</sup>（Code Of Practice For Risk Management）、日本標準協會所制定的風險管理標準 JISQ 2001<sup>[36]</sup>（Guidelines for Development and Implementation of Risk Management System），其中最具影響力的則是國際標準組織的 ISO 31000<sup>[55]</sup>（Risk Management Standard）。

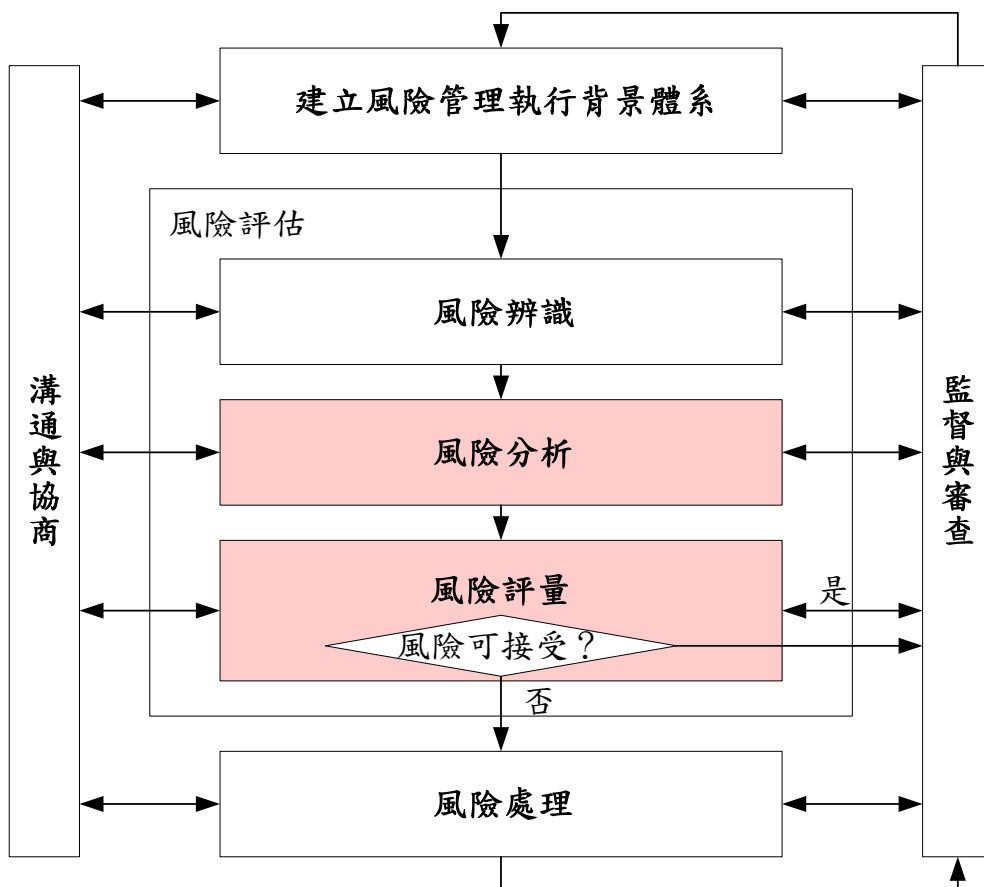
ISO 31000 適用於任何組織與企業，其目的乃協助處理特定的風險，而非取代企業既有之標準，ISO 31000 透過風險管理的程序適當的回饋應用在相關聯的流程中，同時視風險管理為一循環改善的程序，即品質循環改善之規劃、執行、查核、審查與行動（Plan、Do、Check、Action, PDCA）之概念，其流程可參考圖 2-7 所示。



資料來源：[6, 10, 11, 36, 55, 58, 59, 98, 134]及本研究繪製

圖2-7 整合性風險管理循環改善程序

圖 2-8為行政院研考會參考 AS/NZS 4360 與 ISO 31000 之精神所制定之風險管理步驟<sup>[134]</sup>，本研究主要依循此程序，延續前期臺鐵安全危害辨識的成果，繼續深入研究適合軌道系統安全風險分析與評量的方法，並以臺鐵為對象，針對兩項危害進行分析。



資料來源：[134]

圖2-8 行政院研考會制定之風險管理步驟概要

## 2.2 臺鐵既有危害項目說明

臺鐵現行「行車保安資訊系統」已納入風險管理精神，其危害分類方式承襲「交通部臺灣鐵路管理局行車事故調查報告與救援須知」中 33 項行車事故分類，再依據「事故原因」、「發生原因」、「發生原因分析」細分成 961 項危害，然而此分類方式存在以下問題<sup>[127]</sup>：

### 1. 危害分類與國際慣例不同

從英國、南韓、MODURBAN 及國內較近期興建的軌道系統來看，「列車危害」、「移動危害」、「非移動危害」已是國際上軌道系統危害項目的主要分類方式，然而臺鐵目前的分類方式並非採用此原則，除了與國際標準比較時會有標準不一的情形外，欲導入國外安全設備並進行成本效益評估時，評估基礎亦可能產生誤差。

### 2. 危害分類方式並非周延互斥

臺鐵現行危害項目雖多達 961 項，但許多危害項目均有重複的情形。以臺鐵關注的「行人闖越平交道」危害為例，現行分類中有許多危害項目均與此議題有關，由於重疊性高，後續欲發展風險模式預測系統安全時會有重複計算之問題。

### 3. 安全、可靠、維修、妥善的危害混淆

RAMS 包含了可靠度 (Reliability)、妥善率(Availability)、維修度 (Maintainability)、安全度 (Safety) 4 個構面，從不同的構面探討危害項目時會有不同的指標考量，例如「延誤時分」是可靠度關注的一種指標，安全度關注的則是「等效死亡」或「財務損失」。然而，臺鐵目前的危害清單混合了 4 個構面的危害，例如危害清單中同時存在設備故障與人員死傷的項目，除了無法突顯出「安全」關注課題外，也將造成後續執行風險分析時選用指標的困擾。

#### 4. 危害名稱不應納入危害原因與危害後果

單一危害發生的原因很多，例如出軌可能肇因於超速，也可能因路基流失所導致，危害名稱若納入危害原因，除了將產生大量危害項目不易管理外，為符合周延原則勢必讓清單更加複雜（例如一旦納入「超速導致的出軌」項目，則勢必再有「其他原因導致的出軌」以符合周延原則）。危害後果同樣不應出現在危害名稱，例如「出軌導致旅客死亡」與「出軌導致旅客受傷」，同樣都是出軌卻分屬兩個危害，將導致後續分析各個危害項目時難窺全貌。

## 2.3 臺鐵安全危害辨識之成果

考量2.2節所述問題，前期研究重新研擬辨識適合臺鐵的危害清單，本節整理其中的名詞定義、辨識方法與臺鐵危害辨識的成果。

### 2.3.1 危害辨識名詞定義

從文獻回顧中得知，同樣的名詞在不同國家有不同的定義，加上我國目前對相關名詞並未有明確之共識，因此本研究參考運研所臺鐵安全績效指標研究<sup>[125]</sup>、英國安全風險模式<sup>[90, 91]</sup>及臺鐵規章之規定<sup>[122, 131]</sup>，於本節說明前期研究所辨識出的危害項目中，各種名詞之定義，待未來相關法令修改或增訂時可再調整。

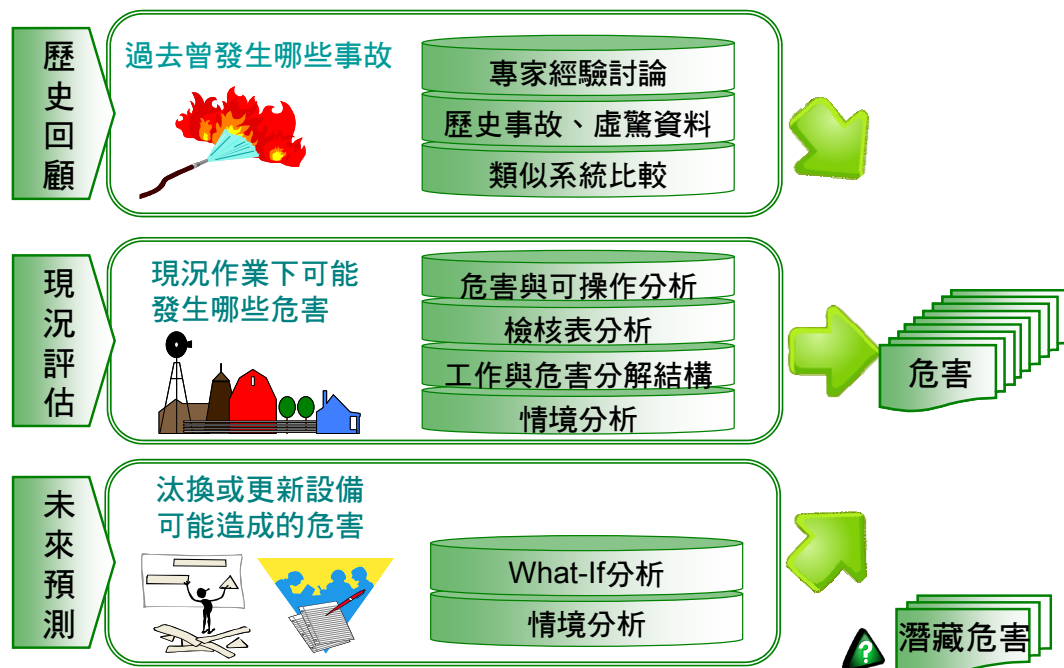
1. 旅客：車上非員工之人員、付費區內欲搭乘列車或送行之人員，包含持票及未持票者<sup>[96]</sup>。
2. 員工：如司機、車長、勤務員、售票員、剪票員、行車副站長…等屬於營運單位或其承商（含下包與分包）的人員。
3. 大眾：不屬於旅客與員工的其他人員；另旅客如有違規行為者，亦歸屬於大眾<sup>[96]</sup>。
4. 列車危害：可能會導致載客列車、非載客列車或鐵路車輛損壞的危害。
5. 移動危害：在列車上發生或與列車營運相關的危害。



6. 非移動危害：不在列車上發生且與列車營運無關的危害。
7. 載客列車：具有完備列車標誌者，在正線運轉且載客之列車。
8. 非載客列車：具有完備列車標誌者，在正線運轉且非載客之列車，如貨物列車、迴送列車、工程車…等。
9. 鐵路車輛：不具有完備列車標誌者，指動力車、客車、貨車及特殊車輛。
10. 障礙物：非人員（旅客、員工、大眾）及公路車輛的異物。

### 2.3.2 危害辨識方法

危害辨識的方法眾多，包括經驗導向的「腦力激盪法」、「類似系統比較法」，與結構化思考的「危害與可操作性分析（HAZOP）」、「失效模式與效應分析（FMEA）」...等，各方法分別從不同的角度來思考系統潛在的危害，大致可將其區分為歷史回顧、現況評估與未來預測三類，如圖 2-9所示。須特別說明的是，無論採用何種方法都還是可能存在未被發現的危害，管理者應根據系統運作狀態，持續追蹤檢討異常事件方能使潛藏風險降到最低。

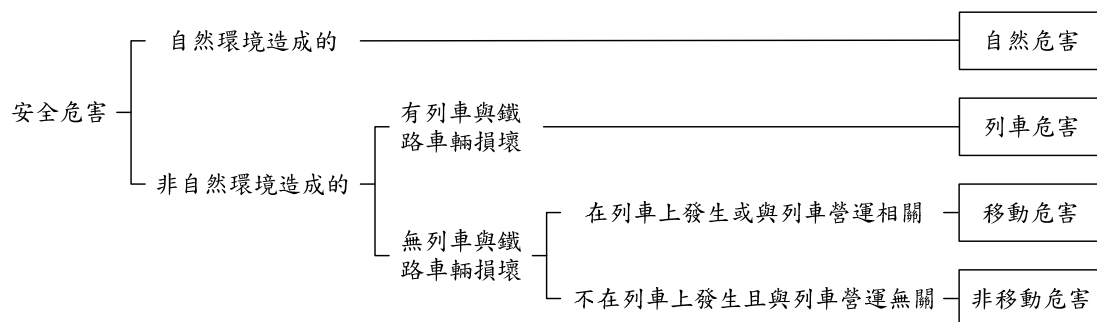


資料來源：[127]

圖2-9 危害辨識方法

### 2.3.3 危害辨識結果

參考國內外軌道系統之危害項目，發現「列車危害」、「移動危害」、「非移動危害」是國際軌道系統危害項目之主要分類方式，考量臺鐵之危害分類應與國際接軌，同時該指標門檻值未來可與各國相互比較，因此沿用此分類方式，並加上「自然危害」來研擬臺鐵所有安全危害項目，有關各類危害定義與區別如圖 2-10所示。



資料來源：[127]

圖2-10 危害項目分類說明

此外，危害分類與辨識時，係以周延互斥為原則，同時要避免納入危害原因的描述或既成之事故（例如「旅客死亡」已屬事故結果，不應作為危害項目），以方便後續風險分析作業。因此，每個危害項目是以描述事故發生前的最後一個狀態為原則，並視情況涵蓋「人員」或「地點」的敘述。

依據上述「列車危害」、「移動危害」、「非移動危害」、「自然危害」四項分類原則，在 2010 年時共辨識出 113 項臺鐵的營運安全危害項目。

## 2.4 危害項目更新

由於危害辨識係 1 項持續進行之作業，因此在辨識過程中若有更適合的分類方式，或者因其他類似系統發生原先並未考量過的情形時，應將危害項目更新。以英國的安全風險模式（Safety Risk Model, SRM）為例，自 2001 年 1 月 SRM1.0 發佈後，陸續都有資料、模式或

危害分類的更新，至 2011 年為止已經改版至 SRM7.0，其相關的版次與改版資訊如表 2.5 所示。

表2.5 英國 SRM 版本更新對照表

版本	發佈時間	備註
1	2001 年 1 月	首次發佈
2	2001 年 7 月	第 1 版第 2 刷
3	2003 年 2 月	資料更新、模式精進與危害分類更新
4	2005 年 1 月	資料更新與模式精進
5	2006 年 8 月	資料更新、模式精進與危害分類更新
5.5	2008 年 5 月	部分資料更新、等效死亡數值變更
6	2009 年 1 月	資料更新、模式精進、風險基準值公布
6.5	2011 年 1 月	模式精進
7	2011 年 7 月	資料更新

資料來源：[91]及本研究整理

此外，研究過程中亦拜訪國內各軌道系統安全風險管理專家，了解軌道營運機構更新風險管理資料的實務經驗，歸納之後建議危害項目更新的頻率大致可分為定期與不定期兩種方式，說明如下：

#### 1. 定期更新

- (1) 依據風險等級高低，每 1~5 年定期重新檢視危害項目。例如：高風險危害可每年檢視、中風險危害每隔 3 年檢視、低風險危害每隔 5 年檢視。
- (2) 每年安全績效發生異常時，重新檢視。

#### 2. 不定期更新

- (1) 系統發生重大事故時。
- (2) 其他軌道系統發生重大事故時。

(3) 系統有重大改變或重置更新時。

(4) 社會大眾有新的期待與要求時。

本研究參考上述國內外經驗，於研究進行期間重新檢視臺鐵近兩年虛驚事件與事故資料後，將 2010 年所辨識出的 113 項安全危害更新為較合適的 119 項分類，茲將更新內容說明如下，另整體安全危害清單可參考表 2.6 所示。

#### 1. 以「旅客上下車摔倒」取代「掉落月台間隙」

原本的安全危害項目，分別以移動危害中的「掉落月台間隙」及「旅客滑倒/跌倒/摔倒」代表旅客上下車摔倒的行為，然而此類安全危害涉及車廂與月台諸多因素，為避免後續分析「旅客滑倒/跌倒/摔倒」過於複雜，故將「旅客上下車摔倒」獨立出來。

而原本的「掉落月台間隙」危害係列車進站後，旅客上下車不慎踩入月台與車廂間隙的情況，此一情形屬於「旅客上下摔倒」的 1 種結果，故將「掉落月台間隙」併入「旅客上下摔倒」，未來事故資料若能記錄的更完善，則可將「是否掉入間隙」作為影響「旅客上下車摔倒」嚴重度的 1 個因素。

#### 2. 新增移動危害的「非列車、車輛之撞擊」

原本的安全危害中，僅非移動危害中有「非列車、車輛之撞擊」的危害項目，經查許多車上旅客受傷事故亦肇因於車上撞擊，例如服勤人員餐車的撞擊，行動不便旅客輪椅的撞擊等，故新增此項。

#### 3. 新增移動危害的「旅客跳車」

主要考量旅客跳車乃臺鐵關注的危害，故從原本移動危害的「旅客滑倒/跌倒/摔倒」中獨立出來。

表2.6 臺鐵 119 項危害項目

列車危害	出軌	車站內載客列車出軌	移動危害	物體墜落	
		車站內-非載客列車出軌		上下車摔倒	
		車站間-載客列車出軌		夾傷	
		車站間-非載客列車出軌		遭列車門夾傷	
		機廠（段）內-鐵路車輛出軌		遭其他物體夾傷	
		平交道-載客列車出軌		有害氣體/液體	
		平交道-非載客列車出軌		電磁波/輻射	
	碰撞	車站內-載客列車碰撞		噪音	
		車站內-非載客列車碰撞		溫度異常	
		車站內-載客列車與止衝檔碰撞		灼傷	
		車站內-非載客列車與止衝檔碰撞	火災	車站（地下段）火災	
		車站內-載客列車與障礙物碰撞		車站（平面段）火災	
		車站內-非載客列車與障礙物碰撞		車站（高架段）火災	
		車站間-載客列車碰撞		站間（地下段）火災	
		車站間-非載客列車碰撞		站間（平面段）火災	
		車站間-載客列車與障礙物碰撞		站間（高架段）火災	
		車站間-非載客列車與障礙物碰撞		機廠火災	
		機廠（段）內-鐵路車輛碰撞		行控中心火災	
		機廠（段）內-鐵路車輛與公路車輛碰撞	爆炸	車站爆炸	
		機廠（段）內-鐵路車輛與止衝檔碰撞		站間爆炸	
		機廠（段）內-鐵路車輛與障礙物碰撞		機廠爆炸	
		平交道-載客列車與公路車輛碰撞	滑倒/跌倒/摔倒	天橋-滑倒/跌倒/摔倒	
		平交道-非載客列車與公路車輛碰撞		月台-滑倒/跌倒/摔倒	
		平交道-載客列車與障礙物碰撞		地下道-滑倒/跌倒/摔倒	
		平交道-非載客列車與障礙物碰撞		電扶梯-滑倒/跌倒/摔倒	
		車站內-載客列車火災		樓梯-滑倒/跌倒/摔倒	
		車站內-非載客列車火災		平交道-滑倒/跌倒/摔倒	
		車站間-載客列車火災		廁所-滑倒/跌倒/摔倒	
		車站間-非載客列車火災		其他地點-滑倒/跌倒/摔倒	
	火災	機廠（段）內-鐵路車輛火災	非移動危害	摔入軌道	
		載客列車爆炸		攻擊	
		非載客列車爆炸		旅客遭受攻擊	
	爆炸	鐵路車輛爆炸		員工遭受攻擊	
		車站內-撞擊旅客		大眾遭受攻擊	
		車站內-撞擊員工		窒息	
	撞擊（含自殺）	車站間-撞擊旅客		觸電	旅客觸電（牽引電力系統）
		車站間-撞擊員工			旅客觸電（非牽引電力系統）
		車站間-撞擊大眾			員工觸電（牽引電力系統）
		機廠（段）內-撞擊員工			員工觸電（非牽引電力系統）
		機廠（段）內-撞擊大眾			大眾觸電（牽引電力系統）
		平交道-撞擊員工			大眾觸電（非牽引電力系統）
		平交道-撞擊大眾	物體墜落		
		滑倒/跌倒/摔倒	旅客滑倒/跌倒/摔倒	夾傷	
	員工滑倒/跌倒/摔倒		非列車、車輛之撞擊		
	大眾滑倒/跌倒/摔倒		有害氣體/液體		
	摔入軌道	旅客摔入軌道	電磁波/輻射		
		員工摔入軌道	噪音		
		大眾摔入軌道	溫度異常		
	攻擊	旅客遭受攻擊	灼傷		
		員工遭受攻擊	溺斃		
		大眾遭受攻擊	割傷、擦傷		
	移動危害	窒息	窒息	扭傷、拉傷	
觸電			旅客觸電	地震	
			員工觸電	洪水	車站（地下段）洪水
		大眾觸電	車站（平面段）洪水		
非列車、車輛之撞擊		站間（地下段）洪水			
旅客跳車		站間（平面段）洪水			
割傷、擦傷		機廠內洪水			
		強風			
		山崩			
		土石流			
	雷擊				

4. 新增移動與非移動危害的「割傷、擦傷」

先前未考慮人員除了遭受攻擊外，可能於站內或車上被尖銳物割傷的情形，例如椅子底座的鐵片等。

5. 新增非移動危害的「廁所-滑倒/跌倒/摔倒」

考量有許多廁所摔傷之案例，故新增此項目。

6. 新增非移動危害的「拉傷、扭傷」

主要考量工作人員搬運重物或作業時可能的受傷情況，故新增此項目。

## 2.5 小結

茲將臺鐵風險辨識研究案的成果綜整如下：

1. 臺鐵已有百年歷史，雖不似台灣高鐵或高雄捷運在興建之初便導入風險管理概念，但近年來在行政院研考會持續推動風險管理之政策下，臺鐵已將風險管理及危機處理融入日常作業及決策運作，藉以減少事故發生機率或降低其嚴重程度。
2. 臺鐵在風險管理第一步驟所辨識出的 119 個安全危害項目中，主要係依據「列車危害」、「移動危害」、「非移動危害」與「自然危害」來分類，未來各危害項目若有實際營運風險值時，可方便與其他軌道系統比較作為改善的目標。
3. 臺鐵危害辨識雖已有初步成果，但該作業仍有後續發展的空間，亦即要發掘尚未被辨識出的潛在危害，因此仍須定期或不定期的檢討與更新。
4. 在整體研究案之應用上，臺鐵局已參照研究案之成果，將研究建議納入其未來改善之目標，而部分國內軌道業者亦將研究案之部分成果作為教育訓練教材使用，顯見此系列之研究已經逐漸受到肯定與重視。

## 第三章 軌道系統風險分析方法回顧

本節整理軌道系統進行風險分析時常用的分析方法，有些可進行定量分析，有些則僅能提供定性的建議。由於定量分析的過程引用到許多系統可靠度理論（System Reliability Theory）的概念與方法，故3.1節首先扼要回顧可靠度理論的主要概念，3.2~3.9節依序介紹各種適用軌道系統的風險分析方法，最後於3.10節比較各種方法的優點、限制與適用時機。

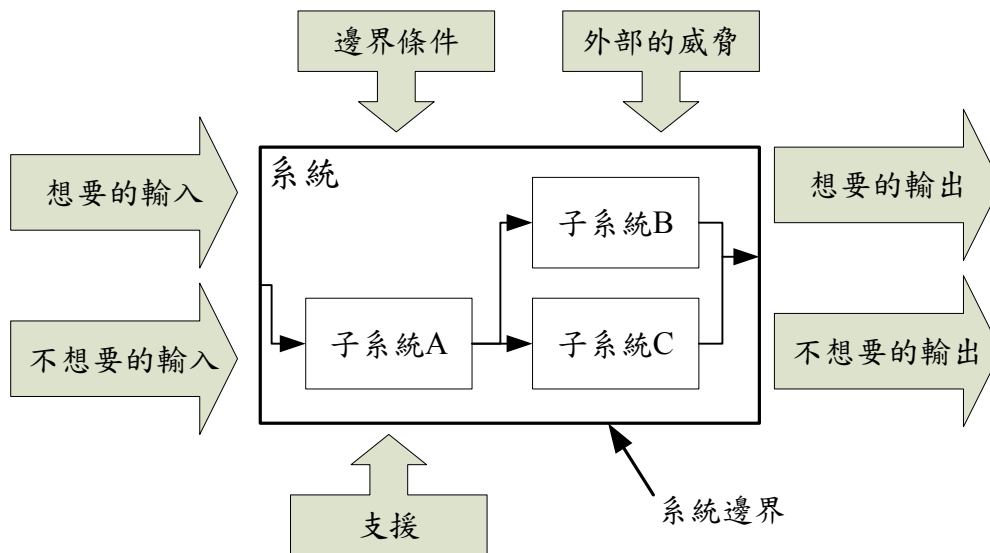
### 3.1 系統可靠度理論概念

可靠度（Reliability）理論最早從一次世界大戰後才被有系統的使用，主要用來分析飛機的失事率，並於二次大戰期間蓬勃發展，乃至戰後被廣泛應用到各個領域，包括本研究探討的風險分析亦源自於可靠度理論。本節先扼要說明可靠度理論的主要概念，使本章所介紹的風險分析方法更容易被瞭解，亦可作為後續選擇分析方法的參考依據。

#### 3.1.1 系統與介面

1 個系統與它的介面圖可以用來說明可靠度分析時考量的項目，圖 3-1 乃典型的系統與介面圖，其中各項元素的說明如下：

1. 系統（System）：意指分析的對象，通常系統內還包括很多子系統。例如分析列車系統時，通常就包括煞車系統、動力系統、空調系統等等隸屬於列車系統的子系統。
2. 系統邊界（System Boundary）：代表系統的界線，也就是分析的範圍。例如分析平交道系統的安全時，不只是鐵路側，也要將公路側納入分析範圍。



資料來源：[61]及本研究繪製

圖3-1 系統與介面示意圖

3. 輸出（Output）：意即系統的產出，其中又可區分為「想要的」與「不想要的」輸出。在軌道安全的領域，想要的輸出通常就是系統安全正常的運作，不想要的輸出即是人員傷亡或財務損失。
4. 輸入（Input）：相對於輸出，在工程領域通常泛指讓系統運作的能源或物質，同樣的也可區分為「想要的」與「不想要的」輸入。此外，在軌道安全的領域，輸入通常還包括人員的操作，其中正常的操作行為是想要的輸入，違規的操作是不想要的輸入。
5. 邊界條件（Boundary Condition）：系統在運作上通常有一些維持穩定度的要求，例如須保持在何種環境下方能正常運作，因此維持穩定度的門檻值即是邊界條件的考量範疇。在軌道安全的領域，邊界條件除了包括環境限制外，通常也代表營運單位所設定的可接受風險值。
6. 支援（Support）：泛指系統所受到的各種維修、清潔、或保養的支援，目的是為了讓系統能維持正常的運作。
7. 外部威脅（External Threats）：意指影響系統運作的各種外部威脅，通常包括環境上的威脅，例如颱風、洪水等；設備的威脅，例如設備的損壞故障；社會的威脅，例如縱火、破壞等；以及其他不屬於上述種類的外部威脅。然而，「不想要的輸入」與「外

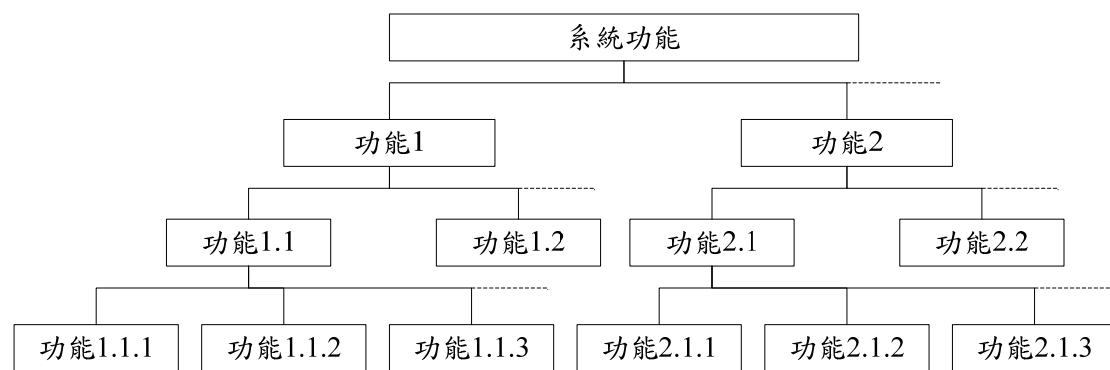


部威脅」通常難以清楚區別，實務上進行系統分析時，重點在於是否納入所有影響因素，兩者的區別不須刻意釐清。

### 3.1.2 功能分析

一個系統要能正常運作，關鍵就是各子系統能發揮應有的功能，因此瞭解系統架構後，須進行功能分析才能探討可能的失效。結構觀點（Structural Focus）與功能觀點（Functional Focus）是一般探討失效的兩個主要方向，前者探討系統的組成元件，例如號誌系統包括軌道電路、燈號、ATP（Automatic Train Protection）等，後者則是從功能的角角度來思考，例如燈號接收鄰近軌道電路斷路訊號而亮紅燈，或是列車 ATP 接受前方軌道電路斷路訊號而開始煞車等。通常結構觀點可以發現個別軟硬體之失效，但因不同軟硬體間交互影響而衍生的失效則須從功能觀點來挖掘。

功能項目包括必要功能、輔助功能、保護功能、資訊功能、與介面功能等，而功能樹（Functional Tree）則是 1 種常被用來表示不同功能之間關係的方法，如圖 3-2 所示。



資料來源：[61]

圖3-2 功能樹示意圖

### 3.1.3 失效模式

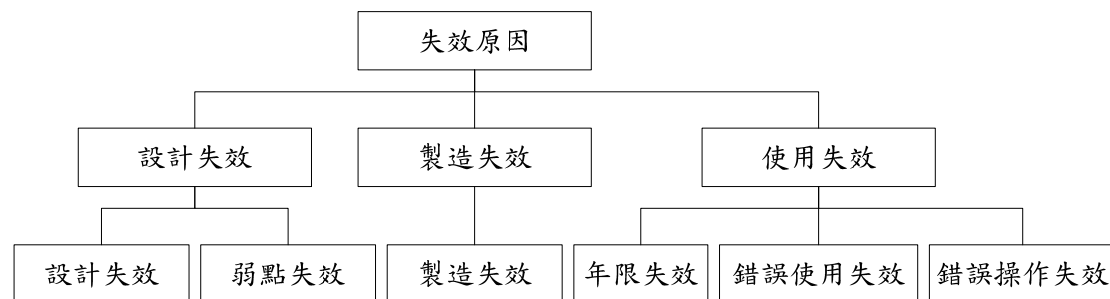
當系統功能無法達到預期時便代表失效發生。嚴謹的說，根據 2.1.1 節的定義，失效模式（Failure Mode）指的其實是一種失誤（Fault）

狀態，但實務上還是習慣稱之為失效模式，另根據 Blanche 與 Shrivastava<sup>[8]</sup>的建議，失效模式主要可分為以下 2 類：

1. 間歇性的失效：此種失效通常只持續 1 段短暫的時間，待失效結束後功能即會恢復正常。
2. 持續性的失效：意指失效發生後，若沒有替換設備或進行維修，則失效將一直持續下去。

上述持續性的失效又可分為完全（Complete）失效與不完全（Partial）失效，前者代表功能完全喪失，後者尚保有部分功能，而兩者都可再分為驟然（Sudden）失效與漸進（Gradual）失效，顧名思義，前者表示此種失效突然發生，而後者則代表逐漸演進的失效，例如鋼軌的磨損便是 1 種漸進的失效。

除了失效的種類之外，探討失效的原因在風險分析時更為重要，除了可將失效區分為人為、設備、環境、與軟體外，IEC50(191)<sup>[54]</sup>將失效分類如圖 3-3所示，其中各項失效的說明如下：



資料來源：[54]

圖3-3 IEC50(191)的失效種類

1. 設計失效（Design Failure）：因不適當的功能設計所導致的失效。
2. 弱點失效（Weakness Failure）：在功能能力範圍內，因遭受內部或外來的壓力所導致的失效。
3. 製造失效（Manufacturing Failure）：設備在製造時未符合標準所導致的失效。
4. 使用失效（Use Failure）：因使用所衍生的失效。

5. 年限失效 (Ageing Failure)：隨使用時間越久發生機率越高的失效。
6. 不當使用失效 (Misuse Failure)：因不當使用超出功能能力範圍時所造成的失效。
7. 錯誤操作失效 (Mishandling Failure)：在功能能力範圍內，但因不正確的操作所導致的失效。

後續章節所介紹的各種分析方法，其實就是從不同角度探討功能不彰時可能的失效模式，本小節所述的失效模式種類可輔助分析人員更周延的思考，避免遺漏任何潛在的失效。

## 3.2 初步危害分析 (PHA)

本節說明初步危害分析<sup>[49]</sup> (Preliminary Hazard Analysis，以下簡稱 PHA) 之沿革、作業程序及方法的優點與限制。

### 3.2.1 沿革說明

初步危害分析主要是針對大型或複雜的系統進行第一次的危害篩選，以發掘潛在高風險的危害項目，之後再對這些篩選後危害進行進階的分析。一般來說 PHA 主要在軌道系統規劃設計階段進行，但若於營運階段才執行 PHA 對系統安全也能有所助益。

### 3.2.2 作業程序說明

軌道系統進行 PHA 主要是以同類型系統過去發生的事故為依據，其分析程序大致可整理如下：

1. 透過大量的文獻，找出可能產生問題所在的地方，廣泛了解與調查系統的任務、目的、環境與操作過程。
2. 參照類似系統過去曾發生的事故，分析系統是否可能會發生相同的問題。

3. 對確定存在的危害進行分類，並製作初步危害項目清單。
4. 針對每個危害項目，確定該危害的起因及後續觸發事故的關鍵。
5. 進行危險等級判斷，通常可分為 4 個等級，如表 3.1 所示。
6. 制定事故的預防措施。

表3.1 PHA 危險等級

級別	危險等級	可能導致後果
I	安全 Safe	不會造成人員傷亡與系統損壞
II	嚴重 Marginal	會影響績效但暫時不會有人員傷亡與系統損壞
III	很嚴重 Critical	會造成人員傷亡與系統損壞，須立即採取改善措施
IV	非常嚴重 Catastrophic	造成人員重大傷亡與系統嚴重損壞，必須予以排除

資料來源：[49]

如表 3.2 所示，PHA 是採用表格的方式來進行，實際操作時會列出一系列主要的危害予以評估。此外，執行 PHA 之目的並不在於對危害做有效的控制，而是在於認知危害狀況以及此危害與其他系統的關係。初步危害分析所得結果，可應用於發展系統安全之所需條件，以及提供績效標準與設計規範之用，同時亦可進行風險排序，作為後續是否要針對風險較高的危害進行深入分析的依據。

表3.2 PHA 範例說明

危害項目	原因	主要後果	危險等級	改正或避免措施
噪音危害	長時間暴露於高分貝場所	聽力受損	II	攜帶耳罩並減少暴露在高分貝場所時間
異常低溫	保溫措施不足 佇留時間過長	身體不適	II	備妥保溫衣物並減少暴露在室外之時間

資料來源：[49]

### 3.2.3 方法優點與限制

初步危害分析的優點包括有：

1. 初步危害分析是 1 種簡單且全面、省時的危害鑑定方法。
2. 以最小的成本控管危害。

初步危害分析的限制包括有：

1. 易受評估者主觀認知而影響結果。
2. 可能高估危害風險或疏漏潛在高風險之危害。

## 3.3 失效模式、效應與關鍵性分析（FMECA）

失效模式、效應與關鍵性分析<sup>[119, 127]</sup>（Failure Mode Effects and Criticality Analysis，以下簡稱 FMECA）乃軌道系統慣用的風險分析方法，本節說明其發展沿革、作業程序、定量分析手段及本方法的優點與限制。

### 3.3.1 沿革說明

FMECA 是由失效模式與效應分析（Failure Mode and Effects Analysis, FMEA）及關鍵性分析（Criticality Analysis, CA）兩種分析技術所組成，為風險管理工具的先驅。1950 年代美國空軍首先將 FMEA 的觀念應用在航空器系統之失效模式分析上，之後發展了 FMECA 這套方法，並廣泛用來分析噴射機之可靠度，1960 年代美國太空總署（NASA）將 FMECA 帶入航太工業，1970 年代汽車零件設計和製程規劃也陸續導入該方法，直到 1974 年是 FMECA 發展的重要里程碑，軍用 FMECA 標準 MIL-STD-1629 正式發表，並於 1980 年改版為 MIL-STD-1629A，至今仍為全球重要之參考標準，例如 1985 年由國際電工技術委員會（International Electrotechnical Commission, IEC）所出版的國際標準 IEC812，即是以 MIL-STD-1629A 為樣本加以修改而成之 FMEA 程式。此外，ISO9000 及歐市產品 CE 標誌也將 FMEA 視

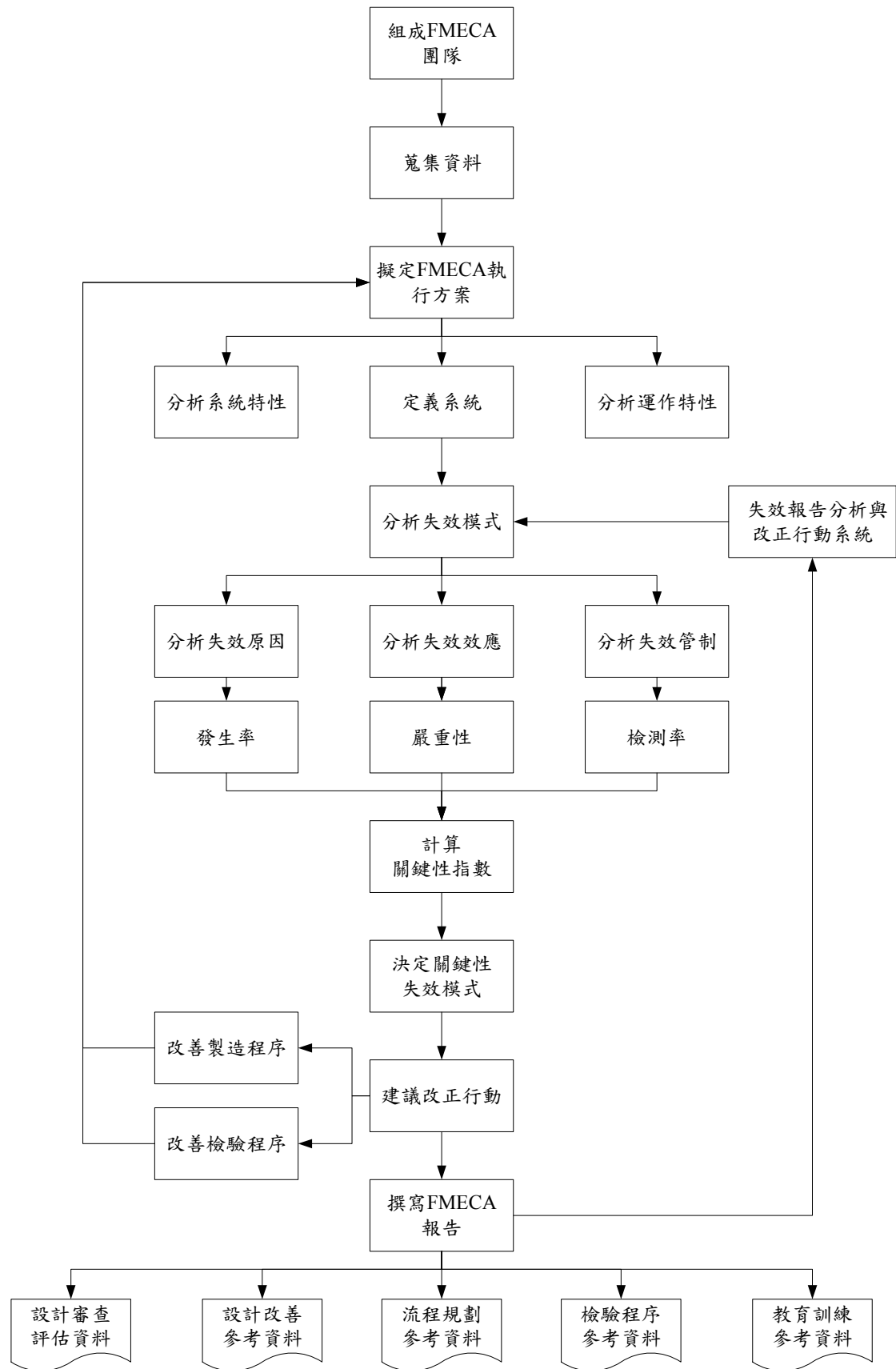
為重要的設計管制與安全分析方法，1993 年美國三大汽車（通用、福特、克萊斯勒）在美國品質協會和美國汽車工業小組的協助下，整合為現行工業界 QS9000 規定的內容，使其廣泛應用於各行各業，雖然 QS9000 中並未強調關鍵性分析，但已納入風險優先指數（Risk Priority Numbers, RPN）之評價，意即隱含了關鍵性分析的精神。

### 3.3.2 作業程序說明

FMECA 是 1 種「結構化」、「預防性」的系統分析方法，考量的對像是系統中的元件，以軌道系統為例，FMECA 所考量的為「集電弓」、「鋼軌」、「輪軸」、「車門」...等軌道系統元件。FMECA 所稱的「失效模式」指的是元件可能故障的狀況，例如集電弓斷裂、鋼軌挫曲、輪軸不整、車門無法閉合等，而且每一個元件可能有多個失效模式，例如鋼軌除了挫曲也可能斷裂，車門除了無法閉合也可能無法開啟，必須集合專家學者逐一探討系統各項元件可能衍生的失效模式，再進一步探討該失效模式衍生的後果，即是系統潛藏危害的嚴重程度與發生機率。

一般而言，FMECA 是一種由下而上的歸納式（Inductive）系統分析或流程分析方法，主要用來評量潛在性的錯誤，包含找出什麼會造成錯誤，以及會發生錯誤的失效模式。FMECA 的主要內容乃分析關鍵因素，即失效模式影響系統運作的情形，在進行 FMECA 時，要說明失效模式和潛在失效的原因，並探討失效反映的結果，過程中可採取變更設計或修改流程步驟的方式，藉以降低失效機率或減少失效衝擊，並彌補不良的影響。惟 FMECA 較不易處理多個元件同時失效所衍生的危害，必須仰賴專家經驗，周延地考量每一元件失效可能潛藏的各種危害來克服此項缺點<sup>[21]</sup>。

以軌道系統的設計規劃為例，其完整的 FMECA 作業程序如圖 3-4 所示，說明如下：



資料來源：[162]及本研究修訂繪製

圖3-4 製程 FMECA 流程圖

## 1. 組成 FMECA 團隊

進行 FMECA 分析時，應廣納不同部門人員參與，例如號誌、通訊、車輛、電力...等專業人員都應加入團隊，且隨著系統設計規劃階段的不同，也要一併補足最適合的成員。

## 2. 蒐集資料

實施 FMECA 所須蒐集的資料包含：

- (1) 有關軌道系統設計方面的資料。
- (2) 有關製造工藝方面的資料。
- (3) 有關維修方面的資料。
- (4) 有關環境方面的資料。
- (5) 有關操作方面的資料。
- (6) 類似系統失效的資料。

上述資料應儘可能蒐集齊全，如此所執行之 FMECA 將具有較高的實質效益。若初期無法蒐集所有資料，則可於操作過程中假設某些理想的條件，使分析可以順利進行，而隨著分析的進行，資料也會越趨完整，此時先前假設的資料也要隨之補足並修正結果。

## 3. 擬定 FMECA 執行方案

在 FMECA 作業中，表格是執行也是記錄分析結果的主要工具，這步驟通常是透過填寫「失效模式與效應分析表」、「關鍵性分析表」來完成，團隊成員可以依據需求來擬定 FMECA 方案，並在執行方案後更新 FMECA 結果，以作為後續參考。

## 4. 定義系統

定義所要分析的系統，包含其特性與運作流程，通常可藉用「功能方塊圖」、「可靠度方塊圖」來描述一個系統的運作流程。



## 5. 失效模式分析

利用專家座談方式或根據過去的經驗，依序探討各個子系統與介面間可能存在的失效模式。

## 6. 失效效應分析與嚴重等級

針對每一個失效模式，找出所有可能的失效原因，並透過專家經驗與腦力激盪，分析可能的嚴重性等級、發生率與檢測率。

## 7. 關鍵性分析

透過嚴重性、發生率與檢測率的綜合評估，決定每一個失效模式的關鍵程度，實務上慣用兩種方法來評估，分別是：透過嚴重性、發生率與檢測率三者相乘所得出的風險優先指數（Risk Priority Number, RPN），另一個則是美國 MIL-STD-1629A 所採用的關鍵性矩陣，其中：

- (1) 風險優先指數：指數值越大者通常表示越關鍵。
- (2) 關鍵性矩陣：通常落在矩陣之右上方者表示關鍵性越高。

## 8. 失效對策與決策

根據前一步驟排序結果研擬改善對策。

## 9. 失效模式效應與關鍵性分析報告

根據前述分析結果提出設計審查評估報告、設計改善參考資料、流程規劃參考資料、檢驗程序參考資料、教育訓練參考資料供決策者參考。

### 3.3.3 定量分析-失效模式與效應分析（FMEA）

由於 FMECA 包含 FMEA 與 CA 兩部分，本節先說明 FMEA 的定量分析，3.3.4節再說明 CA 的定量分析。

### 3.3.3.1 重要性分析

實際操作 FMEA 時，嚴重等級之評定必須仰賴分析者之經驗以及適切的方法才能達到正確且客觀之指標，以下將說明三種可行的評定方法。

#### 1. 單要因嚴重等級評估法

此評估法可僅就單一種要因進行失效模式嚴重性等級的評估，例如可依表 3.3 之發生機率加以評定，或者按表 3.4 之失效模式對產品或系統的影響程度加以評估。

表3.3 依失效發生機率訂定嚴重等級

失效模式發生機率	嚴重等級
經常發生	I
發生機率普通	II
較少發生，但仍有可能	III
幾乎不可能發生	IV

資料來源：MIL-STD-1629

表3.4 依失效模式對系統影響程度訂定嚴重等級

失效模式對系統之影響	嚴重等級	備註
整個系統喪失或造成致命傷害	I	致命受損
主要系統受損將導致任務失敗或造成嚴重傷害	II	嚴重失效
次要系統受損將減低或喪失可能度，導致無法完全達成任務或者造成較小傷害	III	主要失效
不致於造成傷害或系統之受損，但須不定期維護或修理	IV	次要失效

資料來源：MIL-STD-1629

## 2. 多要因嚴重等級評估法

評估嚴重度時，若有數個影響失效模式嚴重等級之要因須列入考慮，則此失效模式之嚴重等級計算方法可用幾何平均數的方式求得，如式(3.1)：

$$C_s = (C_1 \cdot C_2 \cdot \dots \cdot C_i \cdot \dots \cdot C_n)^{1/n} \quad (3.1)$$

其中：

$n$ ：影響失效模式嚴重等級之要因數量

$C_s$ ：失效模式之嚴重等級

$C_i$ ：第 $i$ 個要因之評估係數，其中 $i \in 1 \sim n$

常見的要因項目包含如：表 3.5 失效模式之影響程度、表 3.6 失效模式之影響範圍、表 3.7 失效模式發生機率的大小…等，而失效模式之嚴重等級 則如表 3.8 所示。

表3.5 失效模式對產品影響程度評估表

要因係數 $C_i$	失效模式之影響程度
10	無法達成任務
9	無法達成任務，但可用替代方法達成部分任務
8	無法達成任務的重要部分
7	無法達成任務的重要部分，但使用輔助方法可達成
6	無法達成一部分任務
5	無法達成一部分任務，但使用輔助方法可達成
4	無法達成任務之次要部分
3	無法達成任務之次要部分，但使用輔助方法可達成
2	使外觀機能受損之輕微影響
1	絕大部分均無影響

資料來源：[143]

表3.6 失效模式對產品影響範圍評估表

要因係數 $C_i$	失效模式之影響範圍
10	發生室外、工廠之死亡事故
9	發生室內、工廠之死亡事故，房屋及工廠外部受損
8	發生室內、工廠內之死亡事故，房屋及工廠內部受損
7	發生人員受重傷，房屋及工廠內部受到損害
6	發生人員受輕傷，房屋及工廠內部受到損害
5	無人受災害，僅房屋及工廠內部受到損害
4	間接之設備、裝置受到損害
3	間接之裝置一部分受到損害
2	外壁受震動高溫影響，外觀受損
1	絕大部分不受損害

資料來源：[143]

表3.7 失效模式發生機率評估表

要因係數 $C_i$	失效模式發生的機率
10	$1.0 \times 10^{-2}$ 以上
9	$1.0 \times 10^{-2} \sim 3.0 \times 10^{-3}$
8	$3.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}$
7	$1.0 \times 10^{-3} \sim 3.0 \times 10^{-4}$
6	$3.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-4}$
5	$1.0 \times 10^{-4} \sim 3.0 \times 10^{-5}$
4	$3.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-5}$
3	$1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-6}$
2	$1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-7}$
1	$1.0 \times 10^{-7}$ 以下

資料來源：[143]

表3.8 多要因評估法-嚴重等級劃分表

嚴重程度 $C_s$ 值	嚴重等級
$7 < C_s \leq 10$	I
$4 < C_s \leq 7$	II
$2 < C_s \leq 4$	III
$C_s \leq 2$	IV

資料來源：[143]

### 3. 列表嚴重等級評估法

此法與多要因評估法的觀念大致相同，惟作法是將各要因係數  $C_i$  相乘後，得出失效模式的嚴重程度  $C_s$ ，如式(3.2)：

$$C_s = C_1 \cdot C_2 \cdots C_i \cdots C_n \quad (3.2)$$

其中  $C_i$ 、 $C_s$  與式(3.2)的定義相同。另外，要因係數可參考表 3.9，最後再將求得的嚴重程度依據表 3.10 得出嚴重等級。

表3.9 列表評估法之嚴重性評估表

考慮因素	說明	要因係數 $C_i$
失效影響大小	造成致命性損失之失效	5.0
	造成相當損失之失效	3.0
	喪失功能之失效	1.0
	未喪失功能之失效	0.5
系統所受影響之程度	系統遭受雙重以上重大的影響	2.0
	系統遭受重大的影響	1.0
	系統遭受之影響不大	0.5
失效發生之次數	發生次數高	1.5
	有發生的可能性	1.0
	發生的可能性少	0.7

考慮因素	說明	要因係數 $C_i$
失效防制的可能性	不可能防制	1.3
	可以防制	1.0
	很容易防制	0.7
是否變更設計	須重大變更設計	1.2
	只採用類似的設計	1.0
	不變更設計	0.8

資料來源：[143]

表3.10 列表評估法-嚴重等級劃分表

嚴重程度 $C_s$ 值	嚴重等級
$3.0 \leq C_s$	I
$1.0 < C_s \leq 3.0$	II
$C_s = 1.0$	III
$C_s < 1.0$	IV

資料來源：[143]

### 3.3.3.2 風險優先指數

可透過風險優先指數（Risk Priority Numbers, RPN）的計算來確認風險值的大小，藉以評量危害處理的優先等級順序。RPN 是由嚴重度、發生率及檢測率（Severity  $\times$  Occurrence  $\times$  Detection, SOD）三項相乘的結果，計算方法如式(3.3)：

$$\text{風險優先指數 RPN} = \text{嚴重性 (S)} \times \text{發生率 (O)} \times \text{檢測率 (D)} \quad (3.3)$$

其中：

嚴重性（S）：在功能失效後，可能產生最嚴重的後果等級

發生率（O）：在營運期間，可能產生失效的等級

檢測率（D）：特定環境下，失效模式可被檢測出的等級

風險優先指數 RPN 假定 SOD 三項指標具有相同之重要性，得分等級範圍在 1~10 之間，所以 RPN 數值會落在 1~1000 的範圍內，表 3.11~表 3.13 則為 ISO 2007 Security<sup>[2]</sup>所採用之數值範例。

表3.11 FMEA 嚴重性等級範例

嚴重性	嚴重性說明	等級
大災難 Catastrophic	Resource not available / Problem unknown	10
極端的 Extreme	Resource not available / Problem known and cannot be controlled	9
非常高 Very High	Resource not available / Problem known and can be controlled	8
高 High	Resource Available / Major violation of policies	7
普通 Moderate	Resource Available / Major violations of process	6
低 Low	Resource Available / Major violations of procedures	5
非常低 Very Low	Resource Available / Minor violations of policies	4
次要 Minor	Resource Available / Minor violations of process	3
非常次要 Very Minor	Resource Available / Minor violations of procedures	2
無 None	No effect	1

資料來源：[2, 34, 127]

表3.12 FMEA 發生率等級範例

故障發生機率	故障機率值	等級
非常高 Very High: Failure is almost inevitable	>1 in 2	10
	1 in 3	9
高 High: Repeated failures	1 in 8	8
	1 in 20	7
普通 Moderate: Occasional failures	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
低 Low: Relatively few failures	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
極少的 Remote: Failure is unlikely	<1 in 1,500,000	1

資料來源：[2, 34, 127]

表3.13 FMEA 檢測率等級範例

檢測率	檢測率說明	無法檢測機率	等級
完全不確定 Absolute Uncertainty	Control cannot prevent / detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	86-100	10
非常極少 Very Remote	Very remote chance the control will prevent / detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	76-85	9
極少的 Remote	Remote chance the control will prevent / detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	66-75	8
非常低 Very Low	Very low chance the control will prevent / detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	56-65	7
低 Low	Low chance the control will prevent / detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	46-55	6
普通 Moderate	Moderate chance the control will prevent / detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	36-45	5
普通偏高 Moderately High	Moderately High chance the control will prevent / detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	26-35	4
高 High	High chance the control will prevent / detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	16-25	3
非常高 Very High	Very high chance the control will prevent / detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	6-15	2
幾乎確定 Almost Certain	Control will prevent / detect potential cause/mechanism and subsequent failure mode	0-5	1

資料來源：[2, 34, 127]



此外，FMEA 分析方法雖有建議的操作表格，惟實際操作上是可彈性依據需求而修改<sup>[143]</sup>，表 3.14 即為 FMEA 的操作範例。

茲將表 3.14 欄位內容條列如下：

1. 功能規格：儘可能簡單說明分析對象滿足設計目標所具備的功能，包括有關此分析對象之操作環境的資訊。
2. 失效模式：分析對象可能無法滿足其設計目標的失效結果，其基本假設是可能發生，但是並非必然發生。
3. 失效效應：因發生特定的失效模式，所導致可能對功能產生的影響。
4. 失效原因：某項設計上弱點，最終將導致失效模式發生，應儘可能的就各個失效模式條列出所有可能失效原因。
5. 補救措施：營運階段決策者採行可以繼續運作的措施，惟功能可能衰退或不足。
6. 檢測方式：營運階段可以發現或研判失效的方法。
7. 嚴重性：依據預先設定的嚴重性等級找出適合的得分。
8. 發生率：依據預先設定的發生率等級找出適合的得分。
9. 檢測率：依據預先設定的檢測率等級找出適合的得分。
10. RPN：由嚴重度、發生率及檢測率相乘之風險優先指數。
11. 建議措施：建議可採行之預防性措施或謀求改進之對策。
12. 採行措施：確認實際所採取之預防措施為何。

表3.14 失效模式與效應分析表範例

系統 子系統	失效 模式	失效 效應	失效 原因	現況					建議	控制結果			
				現行 方式	檢測方式	嚴重 性	發 生 率	檢 測 率		嚴 重 性	發 生 率	檢 測 率	R.P.N.
列車 空調系統	濾網設備	異常阻塞	未定期 更換濾網	定期更換	目視	2	3	3	建議措施	2	2	2	8
車站 飲水機	生飲系統	水質異常	施工不當 造成細菌 滋長	施工後 消毒	水質定期檢查	5	3	3	消毒記錄搭配水質檢驗 膜管出廠證明	5	2	2	20
			膜管品質 不良										
車廂 滅火器	滅火設備	乾粉 無法噴出	壓力不足	每3年 更換設備	目視	6	3	1	每月定期檢視壓力表	6	1	1	6
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

資料來源：[143]

### 3.3.4 定量分析-關鍵性分析 (CA)

關鍵性分析 (Criticality Analysis, CA) 之目的，是把 FMEA 中確定的每一種失效模式按其影響的嚴重程度類別及發生機率的綜合影響加以分析，將所有可能發生之失效效應按順序排列，以確定該分項的關鍵程度，其分析的流程可依據表 3.15之填寫範例進行。

茲將表 3.15欄位內容條列如下：

1. 單元編號：分析對象之名稱或編號。
2. 功能規格：簡單說明分析對象滿足設計目標所具備的功能，包括有關此分析對象之操作環境的資訊。
3. 失效模式：分析對象可能無法滿足其設計目標的失效結果，其基本假設是可能發生，但是並非必然發生。
4. 失效原因：某項設計上弱點，最終將導致失效模式發生，應儘可能的就各個失效模式條列出所有可能失效原因。
5. 嚴重等級：係失效模式發生時，考量該失效是否造成生命及財產受到影響所分析得出的一個指標。
6. 失效率 ( $\lambda$ )：代表設備或元件無法達到預期功能時發生機率，通常可採用設備商提供之產品可靠度及維護度分析報告中所使用之失效率資料。
7. 失效效應機率 ( $\beta$ )：代表當此失效模式確定發生時，產品或系統發生失效之機率，其填寫原則可依據表 3.16之建議，或者利用失誤樹計算出之關鍵性測度值代替。

表3.15 關鍵性分析表範例

單元編號	功能規格	失效模式	失效原因	嚴重等級	失效率 $\lambda$	失效效應 機率 $\beta$	失效模式 比例 $\alpha$	操作 時間 $t$	失效模式 關鍵性值 $C_m$	單元 關鍵性值 $C_r$
E1	當控制電壓過高時， LED 發出光亮	開路	固有 失效	II	$0.8 \times 10^{-9}$	1.0	0.51	8	$3.264 \times 10^{-9}$	$C_{rI} = 0$ $C_{rII} = 4.152 \times 10^{-9}$ $C_{rIII} \approx 0.002 \times 10^{-9}$ $C_{rIV} = 0$
		短路	固有 失效	II	$0.3 \times 10^{-9}$	1.0	0.37	8	$0.888 \times 10^{-9}$	
		飄移	磨耗	III	$0.2 \times 10^{-9}$	0.01	0.12	8	$0.00192 \times 10^{-9}$	
E2	薄膜式電阻限制集電 器電流	開路	固有 失效	II	$0.5 \times 10^{-9}$	1.0	0.59	8	$2.36 \times 10^{-9}$	$C_{rI} = 0$ $C_{rII} = 2.360 \times 10^{-9}$ $C_{rIII} = 0$ $C_{rIV} = 0$
		短路	固有 失效	II	$\approx 0$	1.0	0.36	8	$\approx 0$	
		飄移	磨耗	IV	$\approx 0$	0	0.63	8	$\approx 0$	

資料來源：[143]

表3.16 失效效應機率（ $\beta$ ）填寫原則

系統影響	$\beta$ 值
系統完全失效	1.00
極可能喪失	0.20
可能喪失	0.10
幾乎不可能喪失	0.01
對系統無影響	0.00

資料來源：MIL-STD-1629

8. 失效模式比例（ $\alpha$ ）：代表同一產品或系統之各種失效模式的發生比例，主要可依據設計者累積的經驗或蒐集的資料填寫，或者亦可參考如表 3.17之範例填寫。

表3.17 典型機械零件失效模式分佈摘要表

零件名稱	重要失效模式	發生比例 $\alpha$ 值
繼電器	無傳遞	0.2
	間歇性	0.7
	線路開路	0.1
固定電容	線路短路	0.6
	線路開路	0.2
	過度洩漏	0.1
	參數變異	0.1
...	...	...

資料來源：[143]

9. 操作時間（ $t$ ）：依據實際運作狀況填寫各單元操作時間或；若無法確定者，則可比照產品操作時間來填寫。
10. 失效模式關鍵性值（ $C_m$ ）：參考式(3.4)，失效模式關鍵性值係依據事件樹分析之事件發生機率估計作法推導而來，代表分析對象單元發生此失效模式的狀況下，將導致全系統發生失效的機率。

$$C_m = \lambda \cdot t \cdot \alpha \cdot \beta \quad (3.4)$$

其中：

$C_m$ ：失效模式關鍵性值

$\lambda$ ：失效率

$t$ ：操作時間

$\beta$ ：失效效應機率

$\alpha$ ：失效模式比例

11. 物品單元關鍵性值 ( $C_r$ )：參考式(3.5)，物品單元關鍵性值係將分析物品中同屬嚴重等級  $j$  之各個失效模式的關鍵性值  $C_m$  加總，以得出分析對象同屬於  $j$  嚴重等級之物品單元關鍵性值。

$$(C_r)_j = \sum_i (C_m)_{ij}, j = I, II, III, IV \quad (3.5)$$

其中：

$i$ ：分析對象（物品單元）之第  $i$  個失效模式

$j$ ：嚴重等級

$(C_r)_j$ ：同屬嚴重等級  $j$  之物品單元關鍵性值

此外，關鍵性值除了上述的定量分析外，也可以透過定性分析來取得關鍵性值。例如：當分析對象的失效率無法獲取時，則可按表 3.18 之判斷原則，將單元關鍵性值劃分成定性的五個等級，或者直接填寫失效效應機率值。

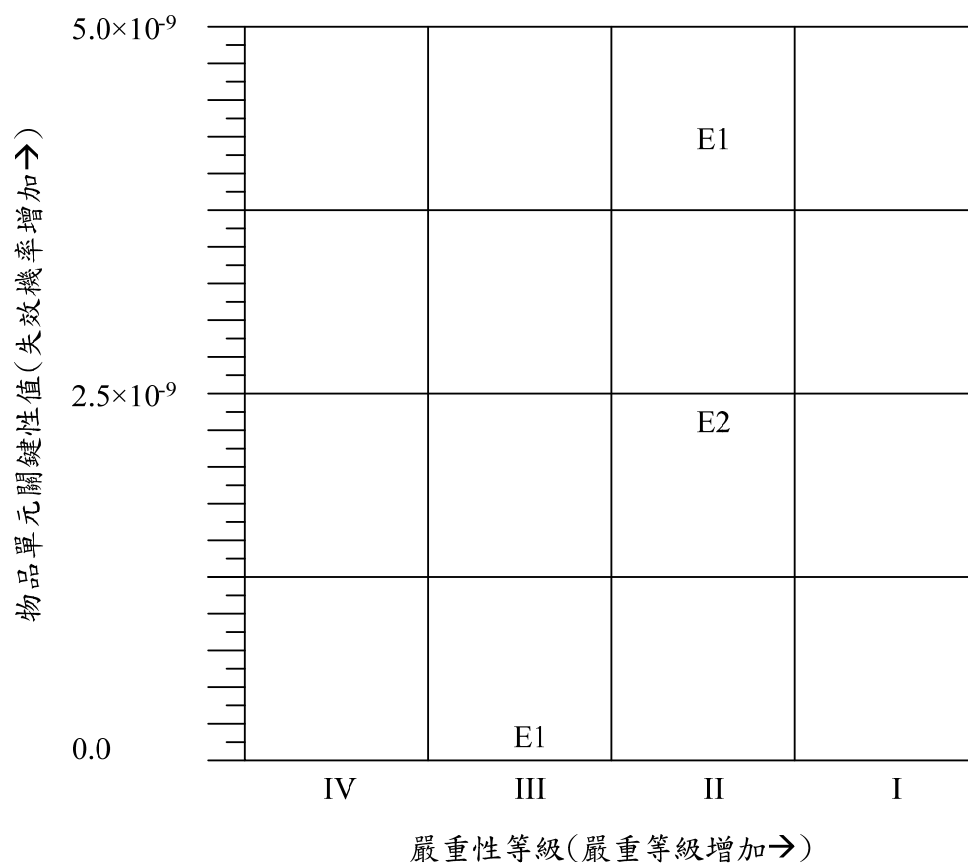
透過上述各項目的填寫，即可完成表 3.15 之關鍵性分析，而該表的目的主要是希望提供分析對象之關鍵清單，以交付決策者採取必要防制或補救措施，其作法則是繪製如圖 3-5 之系統關鍵性矩陣。圖中橫軸代表的是嚴重性等級，縱軸則可以是失效模式關鍵性值 ( $C_m$ ) 或者是物品單元關鍵性值 ( $C_r$ )，視欲評估的內容而定，此時再將表 3.15 內的分析單元編號依序填入圖中，由於分析之物品單元可能同時擁有

4 種嚴重等級之失效模式，因此該物品之單元編號最多會在圖上出現 4 次。依此步驟，各個失效模式在關鍵性矩陣的相對位置即可判定關鍵失效模式，可作為管制的重點對象，並配合相關的防制計畫來加強評核作業。

表3.18 定性的失效機率等級

等級	內涵
A	經常發生
B	相當可能發生
C	偶爾發生
D	極少發生
E	幾乎不可能發生

資料來源：[143]



資料來源：[143]及本研究繪製

圖3-5 物品單元關鍵性矩陣示意圖

### 3.3.5 方法優點與限制

FMECA 的優點包括有：

1. 使用表格操作，方法原理極為簡單，計算也十分簡便。
2. 主要分析系統或子系統中的零組件，對於複雜系統中的設備零件，最能發揮其故障針砭的功效，非常適合在系統規劃、設計、興建階段使用。
3. 對於設計改變或系統改變，更新容易。

FMECA 的限制包括有：

1. 不易處理多個元件同時失效。
2. 分析對象大多限於硬體，故對於人為錯誤和作業環境因素較少納入分析考慮範圍。
3. 無法直接顯現組件發生故障之根本原因。
4. FMECA 的風險優先數 RPN (Risk Priority Number) 雖然操作的方式簡便，但是對於這樣的做法，部分文獻<sup>[16, 33, 62]</sup>曾提出以下的一些質疑，茲將其中主要的爭議歸納如下：

- (1) RPN 的衡量方式和傳統的測量觀念並不相符。
- (2) 發生率為線性關係，檢測率為非線性關係，此種現象未必合理。
- (3) 不同的嚴重性、發生率及檢測率可以組合出相同的 RPN 值，但是其意義可能完全不同。
- (4) RPN 為何是三者的乘積，而非其他關係？
- (5) RPN 忽略了產量的影響。
- (6) RPN 中之嚴重性、發生率及檢測率三個因數沒有給予相對的權重。
- (7) RPN 無法估計改善方案的效果。



## 3.4 失誤樹分析（FTA）

本節說明軌道業界在風險分析常用的失誤樹分析法<sup>[49, 61, 75, 143]</sup>（Fault Tree Analysis，以下簡稱 FTA）。

### 3.4.1 沿革說明

FTA 係 1960 年美國開發洲際彈道飛彈時，美國國防部得到貝爾（Bell）電話研究所技術支援而開發的一種方法，當時的應用案例中，儘針對三項不期望發生的危害（飛彈不慎發射、彈藥意外點火、不正常發射）進行分析，再對飛彈發射管制系統進行安全評估，即可分析此複雜的系統並予以控制。由於對人員安全的要求與日漸增，因此這項技術便被廣泛的應用到人造衛星開發、汽車工業各階段之開發與設計、化學工廠工業系統、核能發電廠、營建工程、軌道系統等有重大安全顧慮的系統上，以防止重大災害發生。

### 3.4.2 作業程序說明

FTA 是一種逆向推論的方法，以頂端事件演繹的方式，逐步找出導致該事件發生的原因，並依據彼此關係透過邏輯閘（Gate）有系統的表達，繪製成圖形。失誤樹分析可作定性與定量分析，一般多用於分析具有高度風險性、或具有一定複雜度的災難事件，其流程大致包含下列幾項步驟：

#### 1. 選擇頂端事件（Top Event）

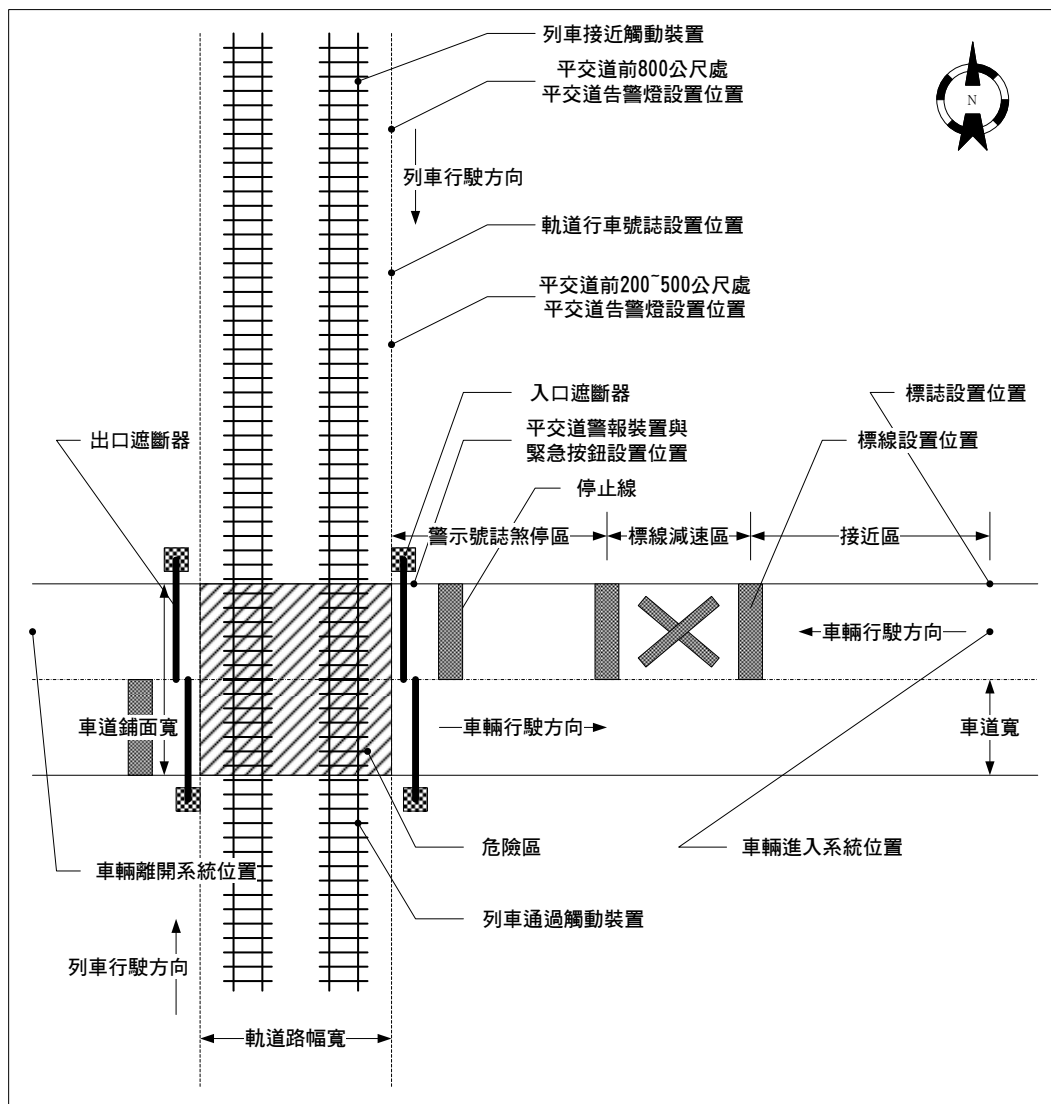
頂端事件以所關注的問題為主，因為頂端事件選定之分析目標不同，分析之結果亦將有所不同，因此必須慎重處理。

#### 2. 界定範圍

界定範圍可從幾個構面思考，例如「空間」的範圍或「流程」的範圍。界定「空間」範圍通常可從危害名稱探討，例如「鐵路列車與公路車輛於平交道碰撞」危害已描述危害發生地點在平交道，但仍須

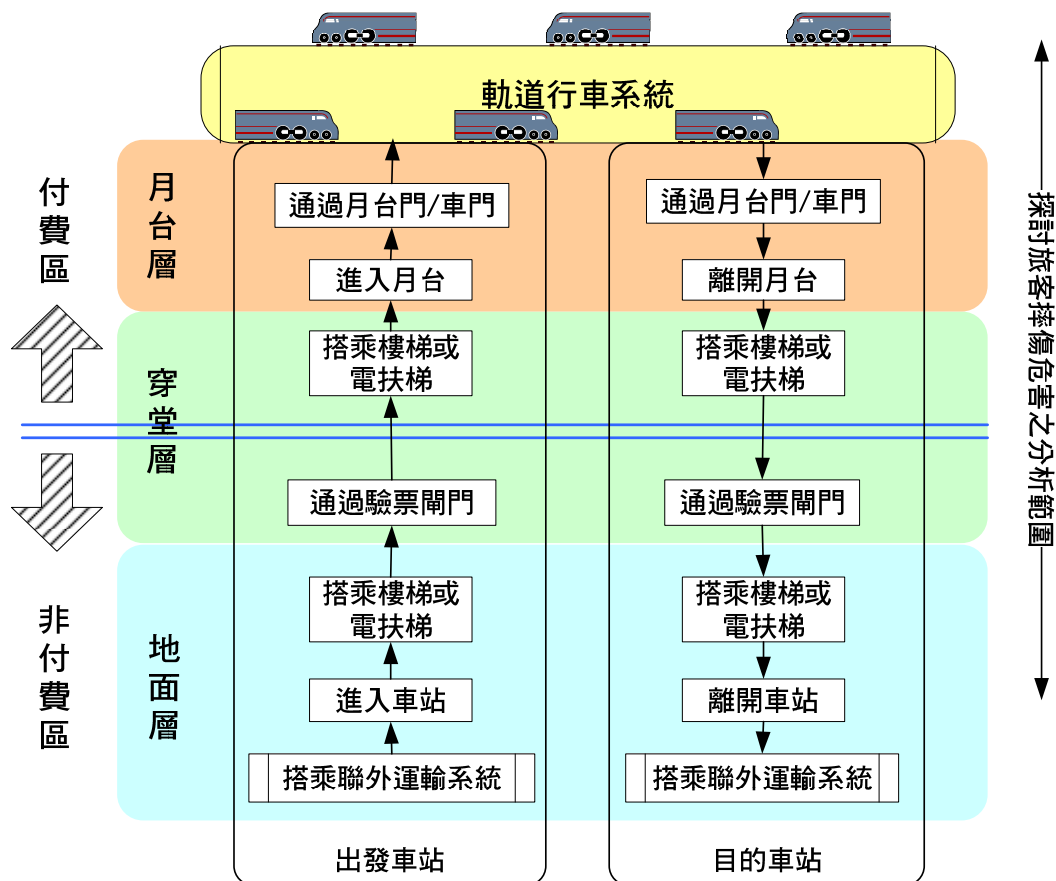
定義空間上的界線，圖 3-6可說明包括平交道各項防護設備，以及公路側警告標誌與鐵路側告警燈都是分析範圍。

除了「空間」的範圍之外，「流程」也是界定範圍的一種方法，以圖 3-7旅客進出軌道系統的流程為例，若欲分析旅客摔傷危害，則無論從付費區與非付費區，或是從地面層、穿堂層與月臺層等不同「空間」的角度都無法清楚釐清範圍，此時從「流程」的角度思考較合適，例如圖 3-7中以旅客完成「進入/離開車站」為界來劃定分析範圍。



資料來源：[125, 149]及本研究繪製

圖3-6 以「空間」界定分析範圍示意圖



資料來源：[118, 127]及本研究繪製

圖3-7 以「流程」界定分析範圍示意圖

### 3. 釐清設備與關係者

界定分析範圍後，須進一步思考範圍內所有與危害相關的設備與人員，思考方向應包括：

#### (1) 防止危害發生之設備與人員

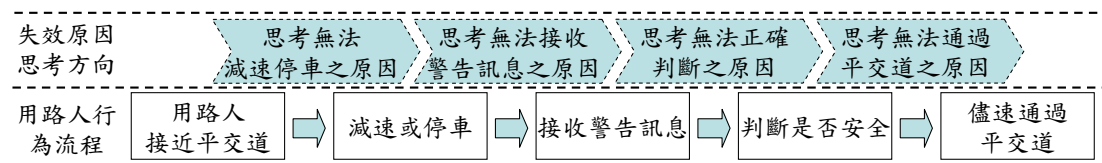
一般來說軌道營運機構均已針對潛在危害設置許多防護設備或防範措施，例如列車門安裝感測元件避免人員遭到夾傷，地面貼有防滑貼條避免旅客滑倒，平交道更設有遮斷桿、警示燈、警鈴等提醒用路人列車即將抵達之訊息，避免用路人進入危險淨空區域，這類防範危害發生之設備在建構失誤樹前應周全考量。此外，包括尖峰時刻車站旅客導引人員、平交道保全人員亦是避免危害發生的其中一道防線，同樣須納入考慮。

## (2) 故障或失效後可能導致危害發生之設備與人員

部分設備或人員雖非直接阻止危害發生，然而其故障或失效後可能營造危險環境時同樣須納入考量範圍。例如列車空調系統故障可能導致旅客窒息，平交道鄰近公路號誌故障可能導致平交道路塞進而遭受列車撞擊，看柵人員疏失可能導致用路人誤闖而遭受列車撞擊，由於失誤樹分析最終目的在探討危害發生之機率，因此任何可能導致危害發生之異常事件都不應遺漏。

### 4. 思考可能的失效情形

任何人員與設備均有可能發生失效，此步驟應從正常運作程式思考人員與設備可能的失效情形。例如用路人是平交道事故的主要關係者，仔細思考用路人正常通過平交道的行為並從中探討可能的失效，如圖 3-8所示：



資料來源：[127]

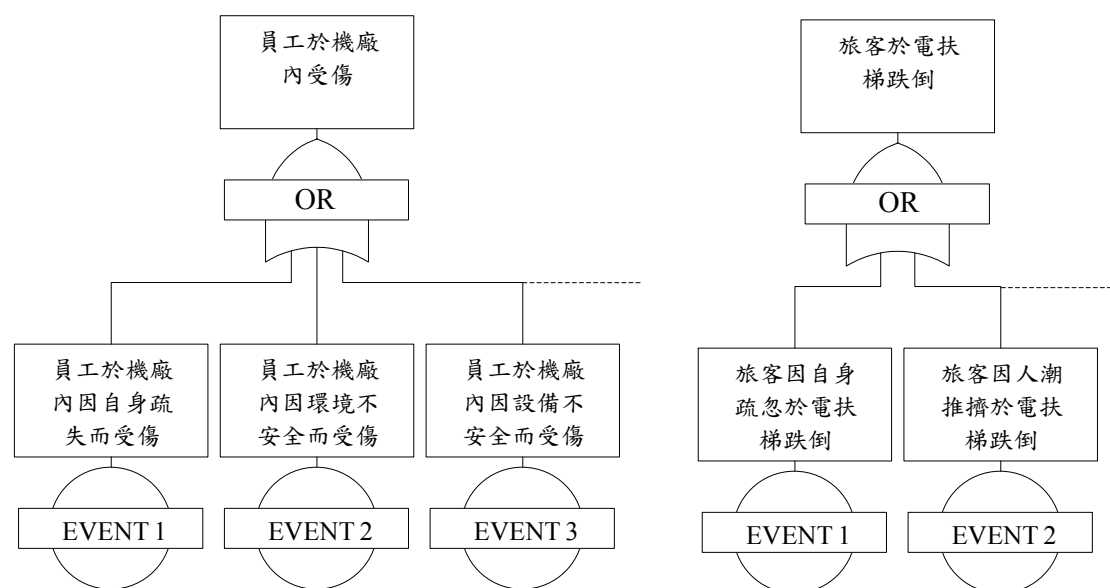
圖3-8 用路人通過平交道行為

茲將相關失效原因舉例說明如下：

- (1) 用路人無法減速之原因：例如失能、不耐久候。
- (2) 用路人無法接收警告訊息之原因：例如視線受到干擾、天候不佳影響。
- (3) 用路人無法正確判斷之原因：誤判短時間無列車通過、誤判無後續列車通過。
- (4) 用路人無法儘速通過平交道之原因：路塞、擦撞、駛出鋪面。

## 5. 分析失效或危害情境與原因

一個危害或失效可能肇因於許多不同的情境，例如員工於機廠內受傷有可能因自身疏忽、環境不安全或是設備不安全，旅客於電扶梯跌倒有可能因為自身疏忽或是人潮推擠，其中「自身疏忽」、「環境不安全」、「人潮推擠」等都是危害發生的情境，亦即在危害發生的前提下，任何一種情境下都可能導致危害發生，故各情境之間屬於「或」的關係，通常用「OR」表示，如圖 3-9之範例所示。

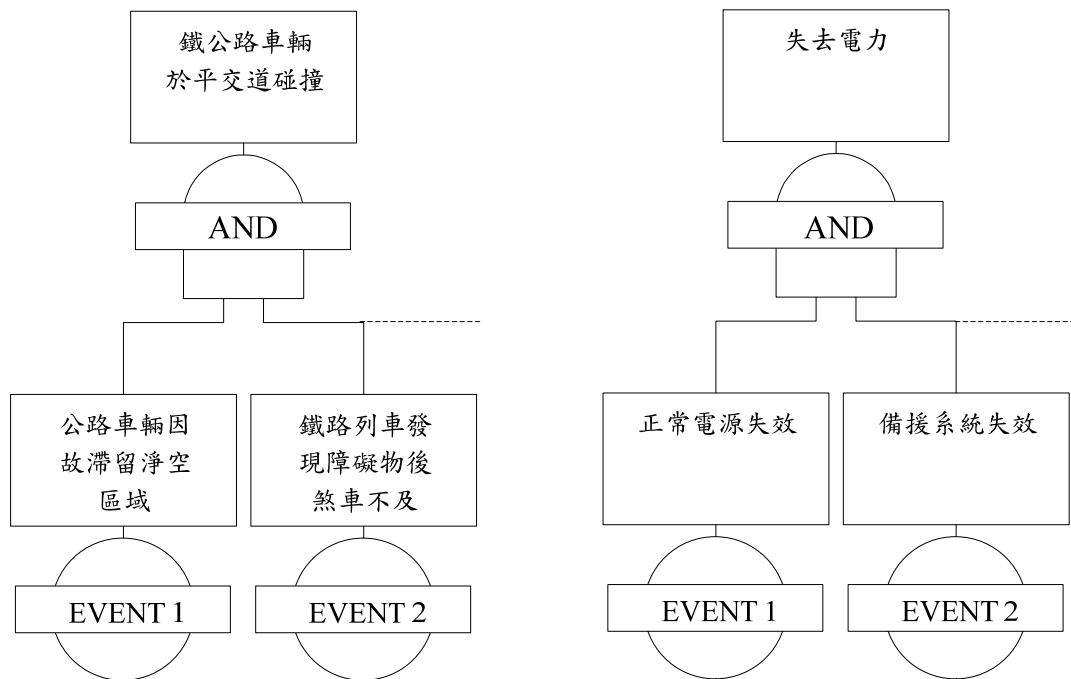


註：本圖僅供輔助說明，並非完整失誤樹。

資料來源：[127]

圖3-9 任一情境即可造成危害發生之範例

此外，某些危害或失效須同時滿足特定原因才有可能發生，例如「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害，便須同時滿足「用路人因故滯留淨空區」與「列車司機員煞車不及」才有可能發生，而「失去電力」之類的失效事件則須同時滿足「正常電源失效」與「備援系統失效」才有可能發生，亦即在危害發生的前提下，各原因之間屬於「且」的關係，通常用「AND」表示，如圖 3-10之範例所示。



註：本圖僅供輔助說明，並非完整失誤樹。

資料來源：[127]

圖3-10 同時滿足條件方可造成危害發生之範例

## 6. 構建失誤樹

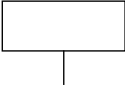

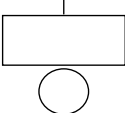
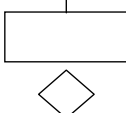




依據前述步驟，逐步瞭解各組件間的關連，以及個別失效的原因，採取由上而下的方式，利用表 3.19 若干常用之符號，用以聯結各層次要因即可，其所建立失誤樹圖形可參考圖 3-11 所示。

上述步驟已大致構建失誤樹之前置工作，然構建過程中仍有賴風險管理專家、營運機構管理人員與第一線工作人員之共同參與，以下說明構建過程應注意的事項：

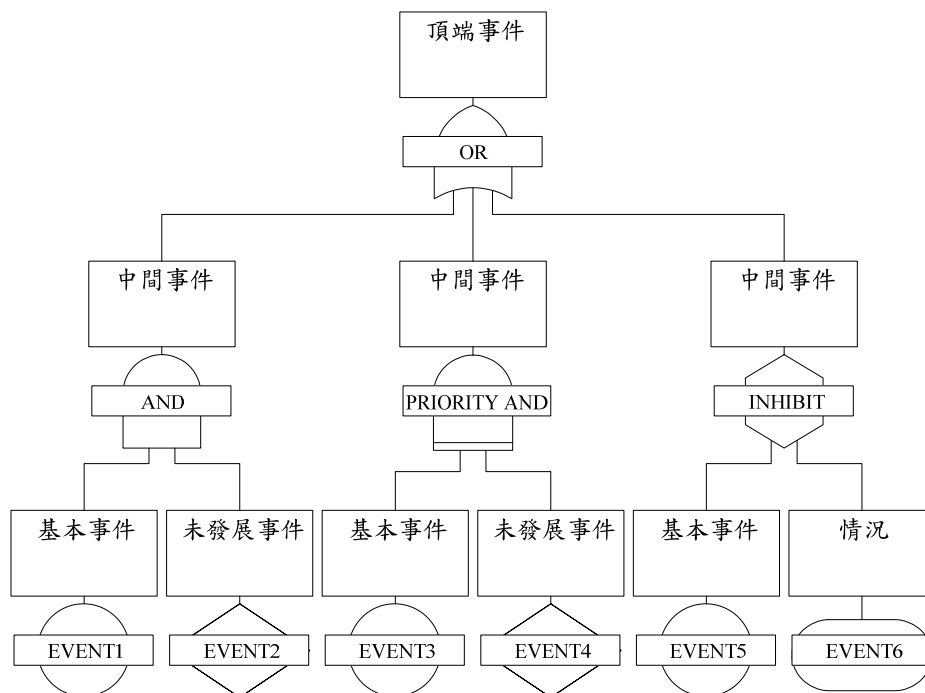
### (1) 失誤樹中的事件均為「異常」或「失效」事件

一般來說，邏輯閘的上方稱之為上層事件，下方稱之為下層事件，邏輯閘的目的乃說明上下層事件之間的關係，特別須注意的是，構建過程中應確保事件均屬於異常或失效的事件，若要強調在某種非屬異常的情況下，下層事件方導致上層事件發生時，應使用條件閘（Inhibit Gate）描述。

表3.19 失誤樹常用分析符號一覽表

<b>頂端事件</b> 	代表「危害項目」，是失誤樹分析的起點。	<b>中間事件</b> 	通常代表「失效」，為分析過程中的事件
<b>基本事件</b> 	分析的末端，通常是設備、元件故障，或人為失效，可用圓形表示	<b>未發展事件</b> 	有時因資料有限或超出分析範圍時，用來表示無法深入分析之事件，可用菱形表示
<b>「或」邏輯閘</b> 	只要其中一種「下層失效」發生，就會導致「上層失效」。	<b>「且」邏輯閘</b> 	當所有「下層失效」都發生，才會導致「上層失效」發生。
<b>條件邏輯閘</b> 	描述下層事件只有在某一種「情況」下才會導致上層事件發生。	<b>順序的「且」邏輯閘</b> 	當所有「下層失效」都按照順序發生（通常由左至右），才會導致「上層失效」發生。

資料來源：[127]



資料來源：[127]

圖3-11 失誤樹圖示範例

## (2) 「AND」閘的下層事件為原因

構建過程中若欲使用「AND」閘，應確定下層事件為上層事件的「原因」之一，且須有其他同層事件（原因）也發生的情況下才會導致上層事件發生，此外，構思「AND」閘下的同層事件時，應確保事件之間沒有必然的相關性。

## (3) 「OR」閘的下層事件為情境

若以安全危害項目之[移動危害][攻擊][旅客遭受攻擊]作為上層事件，則無論採用地點來區分下層事件如「旅客於車上廁所遭受攻擊」與「旅客於座位上遭受攻擊」，或採用時間區分如「旅客於白天在車上遭受攻擊」與「旅客於晚上在車上遭受攻擊」，均應確保每一個下層事件都代表上層事件的一部分，亦即上層事件使用的部分字眼會出現在下層事件描述中，例如圖 3-9中上層事件的描述均於下層事件中出現，此外，下層事件彼此之間是否周延互斥是使用「OR」閘必須特別注意的原則。

## (4) 釐清防護作為與失效之間的關係

防護作為與各種失效之間的關係可大致區分為三類：

- 防護作為異常與失效之間屬於「OR」的關係。
- 防護作為異常與失效之間屬於「AND」的關係。
- 防護作為僅減少失效發生的機率。

其中以第三項最常遭到誤解並影響分析涵蓋範圍，例如「平交道違規照相設備」通常被視為平交道設備之一，然而實際上違規照相僅能嚇阻用路人減少闖越之機率，並無法直接阻止闖越行為，故分析闖越行為的失誤樹時不會出現「違規照相設備故障」之類的失效事件，而是在探討「不耐久候」機率時納入有無照相設備的影響因數。



## 7. 驗證失誤樹

構建失誤樹的過程須經過反覆的驗證，確認失誤樹已涵蓋所有可能造成危害發生的失效事件，以及各項防護設備異常與相關人員可能的疏失，建議可從兩個方向著手驗證：

### (1) 從歷史事故資料驗證

構建完成的失誤樹至少要能說明過去曾導致危害發生的各種原因，因此從歷史資料驗證是必須的過程。以臺鐵為例，過去已累積數十年的事故資料，但考量較早期的系統設備已與現況有所不同，應適度予以篩選。此外，其他系統的經驗亦可納入參考，部分較普遍的危害例如「旅客摔倒」等，參考的範圍亦不限於軌道系統。

### (2) 從專家經驗驗證

由於許多虛驚事件或潛在危害無法從歷史資料中發現，且實務上營運可能遭逢的問題還是有賴營運單位內部專家提供建議，此外考量非營運單位的專家學者因不具備刻板印象，有時較容易發現系統既有人員一直忽視的安全問題，因此構建的失誤樹務必經由系統內部專家與外部學者共同審視，反覆討論並修改確認後才算完成。

## 3.4.3 定性分析

本節將依序介紹布林代數（Boolean algebra）、最小分割集合（Minimal Cut Set）、最小路徑集合（Minimal Path Set）、基本事件重要性（Importance）與共因（Common Causes）失效，說明如下。

### 3.4.3.1 布林代數

布林代數演算是一種快速且簡單，可用來重整複雜失誤樹的方法（詳可參閱附錄 B），輔助決策者找出最小分割集合或最小路徑集合，進而瞭解頂端事件發生的原因與有效預防手段的一種方法。

有關布林代數演算，主要係執行「0」與「1」狀態結合分析（Combination Analysis）所用的邏輯演算方法，失誤樹中基本的布林代數運算原則如下：

1. 將每一個基本事件視為一個布林變數（Boolean Variables）。
2. 對每一個「OR」閘之上層事件以其下層事件之布林變數之總和（Sum）來表示。
3. 對每一個「AND」閘之上層事件則是以其下層事件之布林變數乘積（Product）來表示。

有關基本的布林代數運算式可參考式(3.6)~式(3.10)，式中之 $X, Y, Z$ 為事件的布林變數，代表事件的狀態，其值可為1（事件發生）或者0（事件沒發生）。

$$X \cdot X = X \quad (3.6)$$

$$X + X = X \quad (3.7)$$

$$X \cdot (X + Y) = X \quad (3.8)$$

$$X + X \cdot Y = X \quad (3.9)$$

$$X + Y \cdot Z = (X + Y)(X + Z) \quad (3.10)$$

### 3.4.3.2 最小分割集合

所謂的分割集合（Cut Set）是指一群基本事件的組合，當組合內所有基本事件皆發生時，則頂端事件必然會發生，而所謂的最小分割集合（Minimal Cut Set）則表示一種滿足頂端事件發生的「最低要求」，亦即最小分割集合中，只要有一個事件不成立，則頂端事件就不會發生。最小分割集合不僅可進行定性分析，亦可作為定量分析之用途，而尋找最小分割集合之主要目的，在於發現導致頂端事件發生所需之最少基本事件組合。

以圖 3-12為例，左側為一設備之失誤樹，經式(3.11)之布林代數運算後，可得該失誤樹等效於右側之關係，亦即用兩個最小分割集合

$\{X_1\}$ 與 $\{X_2, X_3\}$ 來表示，其中 $T$ 為頂端事件， $A_1, A_2, B_1, C_1$ 為中間事件， $X_i, i \in 1 \sim 3$ 為基本事件。

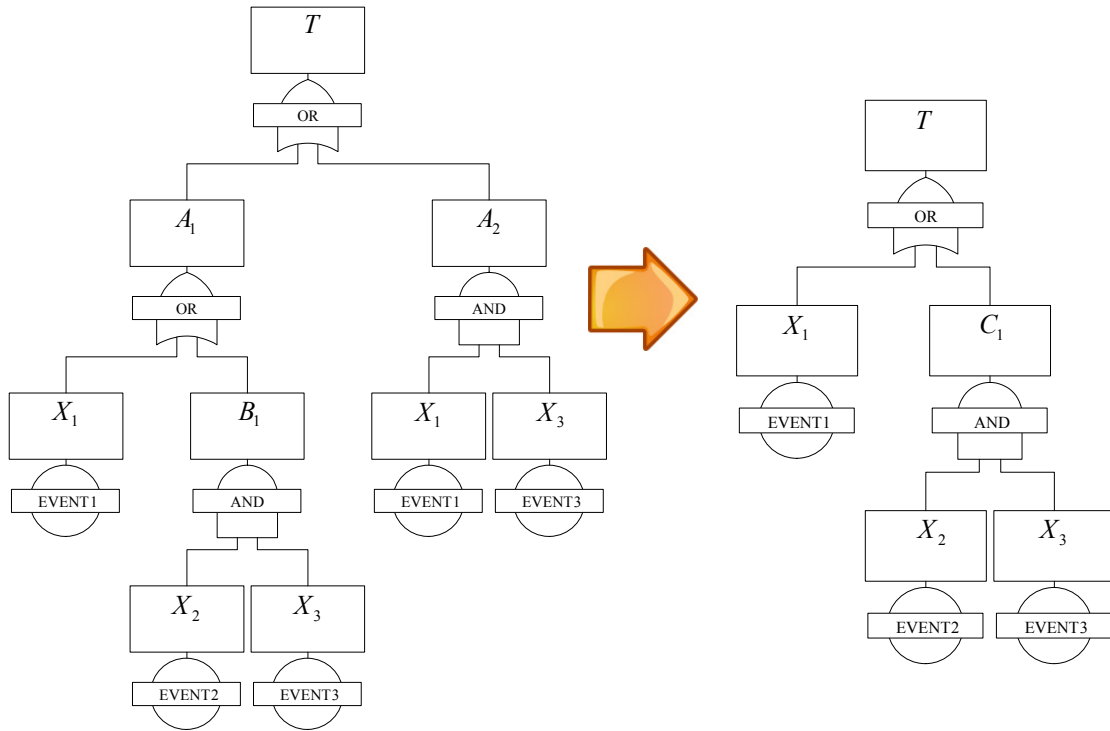


圖3-12 失誤樹與其最小分割集合等效圖

$$\begin{aligned} T &= A_1 + A_2 = (X_1 + X_2 X_3) + X_1 X_3 \\ &= X_1(1 + X_3) + X_2 X_3 = X_1 + X_2 X_3 = X_1 + C_1 \end{aligned} \quad (3.11)$$

最小分割集合表示的是系統的危險特性，求出最小分割集合可掌握事故發生最直接的可能途徑，例如圖 3-12之最小分割集合表示頂端事件要發生共有兩種途徑，分別為 $X_1$ 發生，或者 $X_2$ 、 $X_3$ 同時發生。相較於原本的失誤樹，最小分割集合可協助決策者掌握導致頂端事件發生原因的資訊，且不會有掛一漏萬之疑慮。

最小分割集合內基本事件的數量，亦可概略說明危險程度的特性，通常分割集合內僅有一個基本事件的發生機率比多個基本事件同時發生容易，因此可概略得知圖 3-12之最小分割集合中，發生 $X_1$ 的機率相較於 $X_2$ 、 $X_3$ 同時發生來得高，因此，若欲防止頂端事件發生，可先在 $\{X_1\}$ 之最小分割集合內增加一個基本的防護事件，這樣就可降低

頂端事件的發生機率。有關各基本事件重要性的部分，會於後續章節進階說明，此部份均屬於定性的直觀分析，實務上若要確切瞭解哪個基本事件較為重要，可根據定量分析的風險值進行比較。

### 3.4.3.3 最短路徑集合

最短路徑集合 (Minimal Path Set) 與最小分割集合是具有對偶 (Dual) 的關係，作法係將原本失誤樹中的「OR」閘轉換為「AND」閘，原本的「AND」閘轉換成「OR」閘，同時將基本事件失誤的「發生機率」改為「不發生機率」，待求出成功樹的最小分割集合後，再次透過對偶變換即可得出最短路徑集合，說明如下。

圖 3-13 左側之成功樹係源自於圖 3-12 失誤樹的對偶變換得出，透過布林代數運算可得式(3.12)之關係，並再次利用對偶變換得出式(3.13)之關係，亦即圖 3-12 失誤樹的最短路徑集合為  $\{X_1, X_2\}$  與  $\{X_1, X_3\}$ ，如圖 3-13 右側所示，其中  $T$  與  $T'$  為頂端事件， $A'_1, A'_2, B'_1, D_1, D_2$  為中間事件， $X_i, i \in 1 \sim 3$  為基本事件， $T' = 1 - T$ ， $X'_i = 1 - X_i$ 。

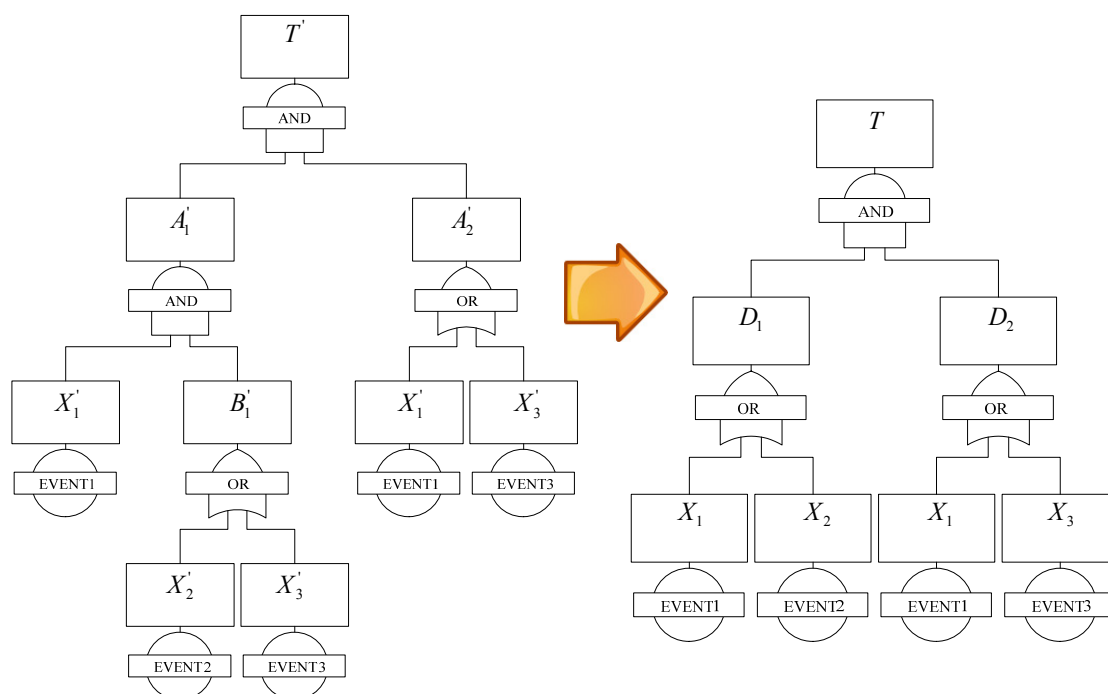


圖3-13 成功樹與其最短路徑集合等效圖

$$\begin{aligned}
T' &= A_1' A_2' = [X_1'(X_2' + X_3')] \cdot (X_1' + X_3') = (X_1' X_2' + X_1' X_3') \cdot (X_1' + X_3') \\
&= X_1' X_2' + X_1' X_3' + X_1' X_2' X_3' = X_1' X_2' (1 + X_3') + X_1' X_3' = X_1' X_2' + X_1' X_3'
\end{aligned} \quad (3.12)$$

$$T = (X_1 + X_2)(X_1 + X_3) = D_1 D_2 \quad (3.13)$$

最小路徑集合表示的是系統的安全性，求出最小路徑集合可知要使頂端事件「不」發生，有哪幾種方案可處理。從圖 3-13 可知最小路徑集合包括有  $\{X_1, X_2\}$  與  $\{X_1, X_3\}$ ，亦即對管理者來說，要確保頂端事件不發生有兩種作法，一種是同時確保  $X_1$  與  $X_2$  不發生，另一種則是確保  $X_1$  與  $X_3$  不發生，管理者可自行根據量化分析結果選擇最經濟的方案，若無量化資料，建議可針對基本事件較少的路徑集合研擬防範措施。

#### 3.4.3.4 基本事件重要性

判斷基本事件的重要性是失誤樹分析的主要功能之一，管理者可根據基本事件的重要性程度，在資源有限時，優先改善重要性較高的基本事件之失效率，能有效降低頂端事件的發生機率。然而，並非每個基本事件都能得到精確的風險值，因此，實務與文獻上慣用 4 種方法，在基本事件的風險值不明確時，仍可概略測度各個基本事件的重要性<sup>[61, 143, 167]</sup>（Qualitative Importance）。本小節僅以判斷「最小分割集合」內基本事件的重要性為例說明，若欲判斷「最小路徑集合」內基本事件的重要性時，其結果完全相同不予贅述。

##### 1. 依基本事件的數量評估重要性

當最小分割集合內之基本事件數目增加時，失效機率將以階數次序（Order）遞減，故可依此原則概略比較各個基本事件的重要性。例如某失誤樹頂端事件與基本事件的關係如下：

$$T = X_1 + X_2 X_3 + X_4 X_5 X_6 \quad (3.14)$$

其中：

$T$ ：頂端事件

$X_i$ ：基本事件

其中包括三個最小分割集合： $\{X_1\}$ 、 $\{X_2, X_3\}$ 、 $\{X_4, X_5, X_6\}$ ，假設所有基本事件的失效機率均為  $10^{-1}$ ，則一階分割集合（ $\{X_1\}$ ）之失效機率為  $10^{-1}$ ，二階分割集合（ $\{X_2, X_3\}$ ）之失效機率為  $10^{-2}$ ，三階分割集合（ $\{X_4, X_5, X_6\}$ ）之失效機率則為  $10^{-3}$ ，就重要性而言，低階的最小分割集合因失效率高，其中的基本事件相對也較重要，故可知 6 個基本事件重要性的排序為  $X_1 > X_2 = X_3 > X_4 = X_5 = X_6$ 。

## 2. 依基本事件出現的次數評估重要性

若最小分割集合內的基本事件數量相同，則可根據各個基本事件重複出現的次數來比較，重複次數多者重要性大於重複次數小者。例如某失誤樹的最小分割集合為： $\{X_1, X_2, X_3\}$ 、 $\{X_4, X_5, X_6\}$ 、 $\{X_7, X_8, X_9\}$ 、 $\{X_1, X_4, X_6\}$ 、 $\{X_3, X_4, X_6\}$ 。此五組最小分割集合中， $X_4$  與  $X_6$  共出現 3 次， $X_1$  與  $X_3$  共出現 2 次，其餘則都出現 1 次。儘管五組最小分割集合內之基本事件數量均為 3 個，但仍可依據其出現的次數來判定重要性為： $X_4 = X_6 > X_1 = X_3 > X_2 = X_5 = X_7 = X_8 = X_9$ 。

## 3. 綜合上述二種方式評估重要性

最小分割集合內基本事件數量較少或者重複出現次數較少者，通常具有較大的重要性，例如：某失誤樹的最小分割集合為： $\{X_1\}$ 、 $\{X_2, X_3\}$ 、 $\{X_2, X_4\}$ ，依據前述的兩種方法，先判斷最小分割集合內基本事件的數量，再判斷出現次數，可得重要性為： $X_1 > X_2 > X_3 = X_4$ 。

## 4. 其他方法

除了上述三種方法，重要性的大小亦可透過一些假設<sup>[97]</sup>來評估，例如可以下述方式判斷：

- (1) 人為錯誤最重要。
- (2) 主動設備失效次之。
- (3) 被動設備失效再次之。

然而，由於組件失效可能與養護週期、測試、停機時間等有關，因此上述之重要性評估方法，僅能作為一個初步參考，實際之重要性排序仍須以量化分析結果為主。

#### 3.4.3.5 共因失效

一個基本事件可能導致多個組件失效，進而累積造成整體系統失效，則此源自於共同原因之多重組件失效者，即稱為共同原因（Common Cause）失效，簡稱共因失效。而共因失效分析的重點，則是找出兩個以上失效事件同時發生的共同原因，例如：同一個製造程式、相同的環境、同一批操作人員…等因素。

#### 3.4.4 定量分析

3.4.3節所說明的布林代數、最小分割集合、最小路徑集合、重要性分析、共因失效的概念同樣適用於定量分析中，然而定量分析牽涉到機率的運算，故本節說明定量分析時應額外注意的事項，包括計算方式、分析假設，以及不同於定性分析的重要性測度方法，最後則說明資料有限時該如何進行定量分析。

##### 3.4.4.1 定量分析計算方式

定量分析是失誤樹分析的另一個重點，本節首先說明常見的「AND」閘與「OR」閘在定量分析中，所代表上下層事件發生機率的關係：

1. 「AND」閘上層事件與下層事件的發生機率關係為：

$$P_{AND} = P_1 \times (P_2 | P_1) \times (P_3 | P_1 \cap P_2) \cdots \quad (3.15)$$

式中：

$P_{AND}$ ：代表「AND」閘上層事件的發生機率

$P_i, i \in 1 \sim n$ ：代表「AND」閘各下層事件之發生機率

$(P_i | P_j)$ ：表示若  $P_j$  發生，則  $P_i$  的發生機率

2. 「OR」 閘上層事件與下層事件的發生機率關係為：

$$\begin{aligned} P_{OR} &= 1 - [1 - P_1][1 - P_2] \cdots [1 - P_n] \\ &= 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i] = 1 - \prod_{i=1}^n \bar{P}_i = \prod_{i=1}^n P_i \end{aligned} \quad (3.16)$$

式中：

$P_{OR}$ ：代表「OR」 閘上層事件的發生機率

$P_i, i \in i \sim n$ ：分別代表「OR」 閘各下層事件之發生機率

$\bar{P}_i, i \in i \sim n$ ：分別代表「OR」 閘各下層事件之不發生機率

#### 3.4.4.2 定量分析假設

當「AND」 閘或「OR」 閘的下層事件數量很多時，式(3.15)與式(3.16)的計算會變得相當複雜，故實務上為求計算方便，通常會假設基本事件彼此互為獨立（Statistically Independent），甚至在計算「OR」 閘時會假設下層事件彼此互斥（Mutually Exclusive），兩者之意義為：

1. 獨立性：若基本事件  $A$  與  $B$  互為獨立，意指無論事件  $A$  發生與否，均不影響事件  $B$  的發生機率，反之亦然，故可知：

$$P(A \cap B) = P(A)P(B) = P(B \cap A) \quad (3.17)$$

2. 互斥性：若基本事件  $A$  與  $B$  互斥，則表示兩事件沒有交集，故可知：

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) \quad (3.18)$$

若假設下層事件彼此間互為獨立，則「AND」 閘的下層事件與上層事件的發生機率關係可從式(3.15)簡化為式(3.19)：

$$P_{AND} = P_1 \times P_2 \times \cdots \times P_n \quad (3.19)$$

同樣的，若假設下層事件彼此間互斥，則「OR」 閘的上層事件與下層事件的發生機率關係可從式(3.16)簡化為式(3.20)：



$$P_{OR} = P_1 + P_2 + \cdots + P_n \quad (3.20)$$

須特別說明的是，儘管式(3.19)與式(3.20)可相當程度的簡化量化分析的計算過程，但若有一個以上的基本事件出現在不同分支，則頂端事件的發生機率很有可能因重複計算導致高估，或者因忽略共因失效而產生低估。因此，必須透過一些方法調整失誤樹，避免發生上述高估或低估頂端事件發生機率的情形，而布林代數運算即為最簡單、快速的方法之一。

以下將用一範例來說明，圖 3-14 中僅假設基本事件  $X_i$ ,  $i \in 1 \sim 4$  為互相獨立與互斥的事件，但因部分基本事件重複出現在不同分支，若直接套用式(3.19)、式(3.20)來計算頂端事件  $T$  的發生機率，則可能發生高估或低估的情形，故須先透過式(3.21)之布林代數運算，得到圖 3-15 的等效失誤樹再計算才正確。

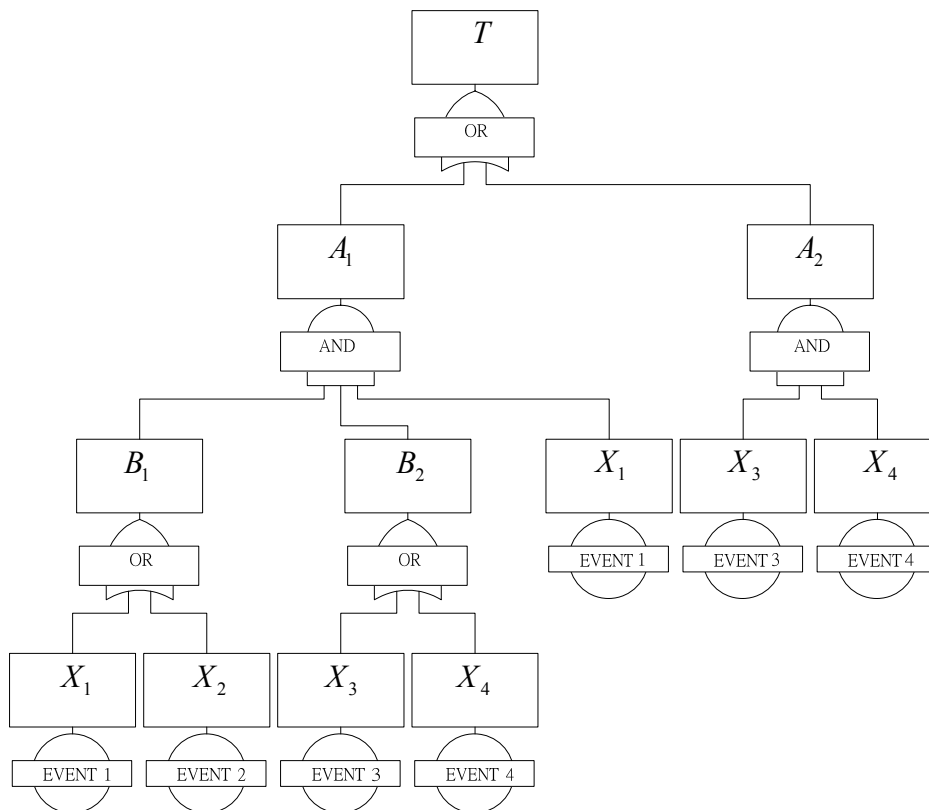


圖3-14 簡化前之失誤樹

$$\begin{aligned}
P(T) &= P(A_1) + P(A_2) \\
&= P(B_1)P(B_2)P(X_1) + P(X_3)P(X_4) \\
&= \{[P(X_1) + P(X_2)][P(X_3) + P(X_4)]\}P(X_1) + P(X_3)P(X_4) \\
&= P(X_1)P(X_3) + P(X_1)P(X_4) + P(X_1)P(X_2)P(X_3) \\
&\quad + P(X_1)P(X_2)P(X_4) + P(X_3)P(X_4) \\
&= P(X_1)P(X_3)[1 + P(X_2)] + P(X_1)P(X_4)[1 + P(X_2)] + P(X_3)P(X_4) \\
&= P(X_1)P(X_3) + P(X_1)P(X_4) + P(X_3)P(X_4)
\end{aligned} \tag{3.21}$$

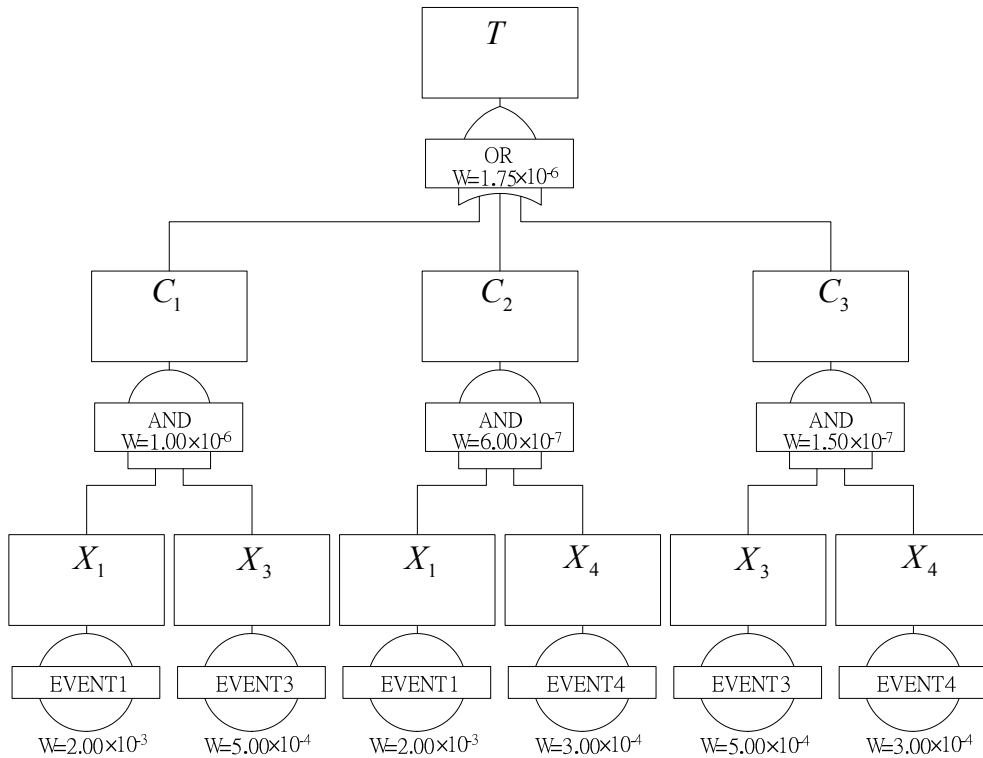


圖3-15 布林運算後之失誤樹等效圖

#### 3.4.4.3 基本事件重要性測度

重要性測度是失誤樹分析的重點，在3.4.3.4節定性分析中，利用最小分割集合內所含的基本事件數量，以及基本事件重複出現的次數

來決定重要性，本節則說明數種常用的定量重要性測度方法<sup>[61, 97, 155, 160, 167]</sup>，可用來評估基本事件的重要性（Importance）。

### 1. Fussell-Vesely 重要性測度

Fussell-Vesely 重要性測度係考量頂端事件發生的前提下，某一基本事件  $X_i$  發生機率對頂端事件發生機率的貢獻或影響。其計算方法說明如式(3.22)：

$$I_{X_i}^{FV} = \frac{P(F)}{P(T)} \quad (3.22)$$

其中：

$I_{X_i}^{FV}$ ：基本事件  $X_i$  之 Fussell-Vesely 重要性測度

$P(F)$ ：所有包含基本事件  $X_i$  之最小分割集合，其發生機率的總和，因此  $P(F)$  也可表示為  $\sum P(f_{X_i}^n)$

$f_{X_i}^n$ ：第  $n$  組包含基本事件  $X_i$  之最小分割集合

$P(T)$ ：頂端事件發生的機率

### 2. Birnbaum 重要性測度

Birnbaum 重要性測度主要考量的是基本事件機率發生變化，會對頂端事件的機率造成多大的影響，其測度方式係將頂端事件發生機率對某一基本事件發生機率取偏微分，說明如(3.23)所示：

$$I_{X_i}^B = \frac{\partial P(T)}{\partial P(X_i)} \quad (3.23)$$

其中：

$I_{X_i}^B$ ：基本事件  $X_i$  之 Birnbaum 重要性測度

$P(X_i)$ ：基本事件  $X_i$  之發生機率

$P(T)$ ：頂端事件發生的機率

從其計算方式可看出，一個基本事件的 Birnbaum 重要性測度並不取決於本身的機率值大小，而是與其所在的最小分割集合中，其他基本事件機率乘積大小以及其在各個最小分割組中重複出現的次數有關。例如事件  $X_1$  增加 0.1 失效機率會造成頂端事件發生機率增加 10%，而事件  $X_2$  增加 0.1 失效機率後卻讓頂端事件發生機率增加 20%，則稱事件  $X_2$  的 Birnbaum 重要性比事件  $X_1$  高。

### 3. Improvement Potential 重要性測度

此乃針對 Birnbaum 重要性測度做進一步修正，亦即除了考量基本事件  $X_i$  發生與否對頂端事件機率是否有影響外，同時將基本事件的失效率納入考量，說明如式(3.24)：

$$C_{X_i}^{IP} = P(X_i) \times I_{X_i}^B \quad (3.24)$$

其中：

$C_{X_i}^{IP}$ ：基本事件  $X_i$  之 Improvement Potential 重要性測度

$P(X_i)$ ：基本事件  $X_i$  發生的機率

$I_{X_i}^B$ ：基本事件  $X_i$  之 Birnbaum 重要性測度

### 4. 關鍵性測度

基本事件的關鍵性 (Criticality) 係從敏感度和 Birnbaum 重要性測度綜合評估各基本事件的重要程度。關鍵性越高的基本事件，則些微的改善即可大幅降低頂端事件發生的機率，應列為優先改善方向，其計算方法說明如式(3.25)：

$$I_{X_i}^{CR} = \frac{P(X_i)}{P(T)} \times I_{X_i}^B \quad (3.25)$$

其中：

$I_{X_i}^{CR}$ ：基本事件  $X_i$  的關鍵性測度

$P(X_i)$ ：基本事件  $X_i$  發生的機率

$P(T)$ ：頂端事件發生的機率

$I_{X_i}^B$ ：基本事件  $X_i$  之 Birnbaum 重要性測度

以下將以簡單的範例來說明上述的各種重要性測度，圖 3-16 左側為包含兩個基本事件與「OR」閘的關係，右側為包含兩個基本事件與「AND」閘的關係，其中  $T_1$  與  $W_1$  為頂層事件， $A_1$  與  $A_2$  及  $B_1$  與  $B_2$  為互相獨立且互斥的基本事件，且  $P(A_1) = P(B_1) = 0.02$ 、 $P(A_2) = P(B_2) = 0.04$ ，表 3.20 則是以精確值的計算方式將其重要性分別列出。

從表 3.20 可知，在圖 3-16 之「OR」閘的範例中， $A_2$  事件的重要性均大於  $A_1$  事件；另一方面，圖 3-16 之「AND」閘的範例中，除了 Birnbaum 測度以  $B_1$  事件較重要外，其餘的測度中  $B_1$  事件與  $B_2$  事件的重要性均相同。

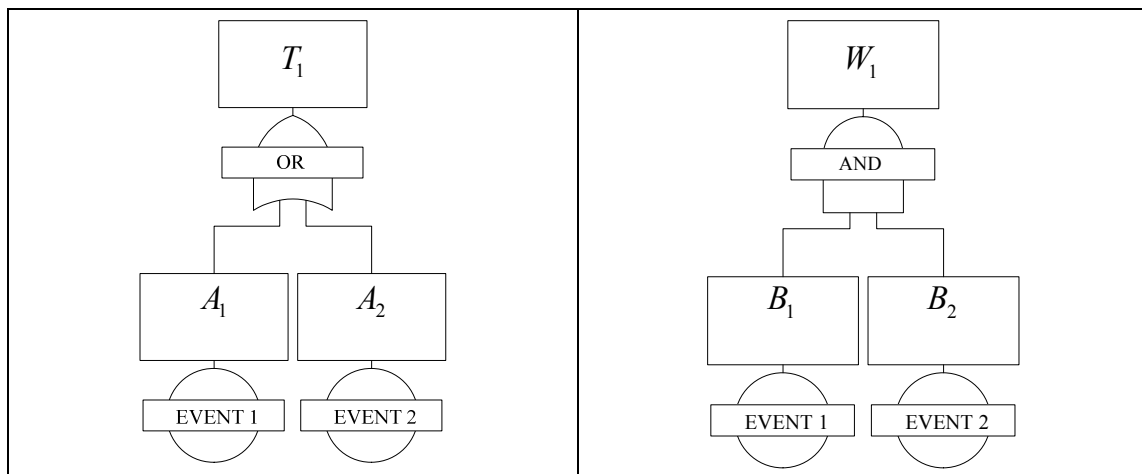


圖3-16 重要性分析範例

表3.20 重要性計算值一覽表

重要性測度	$T_1$ $P(T_1) = \{1 - [1 - P(A_1)] \cdot [1 - P(A_2)]\}$	$W_1$ $P(W_1) = P(B_1) \times P(B_2)$
Fussell-Vesely	$I_{A_1}^{FV} = \frac{P(A_1)}{P(T_1)} = 0.3378$ $I_{A_2}^{FV} = \frac{P(A_2)}{P(T_1)} = 0.6757$	$I_{B_1}^{FV} = \frac{P(B_1) \times P(B_2)}{P(W_1)} = 1$ $I_{B_2}^{FV} = \frac{P(B_1) \times P(B_2)}{P(W_1)} = 1$

重要性測度	$T_1$ $P(T_1) = \{1 - [1 - P(A_1)] \cdot [1 - P(A_2)]\}$	$W_1$ $P(W_1) = P(B_1) \times P(B_2)$
Birnbaum	$I_{A_1}^B = \frac{\partial P(T)}{\partial P(A_1)} = 0.96$ $I_{A_2}^B = \frac{\partial P(T)}{\partial P(A_2)} = 0.98$	$I_{B_1}^B = \frac{\partial P(T)}{\partial P(B_1)} = 0.04$ $I_{B_2}^B = \frac{\partial P(T)}{\partial P(B_2)} = 0.02$
Improvement Potential	$C_{A_1}^{IP} = P(A_1) \times I_{A_1}^B = 0.0192$ $C_{A_2}^{IP} = P(A_2) \times I_{A_2}^B = 0.0392$	$C_{B_1}^{IP} = P(B_1) \times I_{B_1}^B = 0.0008$ $C_{B_2}^{IP} = P(B_2) \times I_{B_2}^B = 0.0008$
Criticality	$I_{A_1}^{CR} = \frac{P(A_1)}{P(T)} \times I_{A_1}^B = 0.3243$ $I_{A_2}^{CR} = \frac{P(A_2)}{P(T)} \times I_{A_2}^B = 0.6622$	$I_{B_1}^{CR} = \frac{P(B_1)}{P(T)} \times I_{B_1}^B = 1$ $I_{B_2}^{CR} = \frac{P(B_2)}{P(T)} \times I_{B_2}^B = 1$

#### 3.4.4.4 資料有限時的操作手法

在構建好失誤樹後，若因為基本事件不易觀察或沒有歷年的統計資料時，通常會參考類似系統的經驗，或引用過去文獻內曾使用的數值，若上述方式均無法取得基本事件的發生機率資料，可能使量化分析難以進行。針對上述疑慮，Innis<sup>[52]</sup>等人建議可根據專家經驗，針對各個邏輯閘下的基本事件給予權重值，再根據有限的資料即可進行量化分析，茲將執行流程說明如下。

##### 1. 評估各個邏輯閘下層事件的權重值

當失誤樹構建完成後，可邀集專家學者來評估每個邏輯閘下基本事件的權重值，須考量各個下層事件影響上層事件的程度，以及下層事件彼此間相對的發生機率，最後分別給予權重值，常見的方法是給予 1~10 的權重分數。

##### 2. 標準化權重值

個別給予權重值後，須再以式(3.26)的方式標準化各個邏輯閘的下層事件權重，使其加總後為 1。

$$W_i = \frac{W'_i}{W'_1 + W'_2 + \dots + W'_n} \quad (3.26)$$

其中：

$W'_i$ ：下層事件*i*之原始專家評分權重值，介於 1~10 之間

$W_i$ ：下層事件*i*標準化後之權重值，且  $\sum_1^n W_i = 1.0$ ，*n* 為下層事件的數量。

### 3. 標準化權重值與基本事件失效機率之關係

權重值與該下層事件失效機率之間必存有式(3.27)之關係

$$W_i = k_g \cdot P_i \quad (3.27)$$

其中：

$W_i$ ：下層事件*i*標準化後之權重值

$k_g$ ：常數值

$P_i$ ：下層事件*i*實際發生的機率

### 4. 依據邏輯閘修正平均權重值

有關前述評分之平均權重值的計算，又會因為所連結的邏輯閘而有所修正。當所有下層事件均為互斥，且某一邏輯閘符號下方有 *n* 個下層事件時，則該值的修正演算法如式(3.28)~式(3.30)所示：

$$\text{「OR」閘} \quad W_{im} = \frac{W_i}{1.0 - \sum_{i < j}^{gate} W_i \times W_j} \quad (3.28)$$

$$\text{「AND」閘} \quad W_{ia} = \frac{W_i \cdot k_g^{(n-1)}}{W_1 \times W_2 \times \dots \times W_i \times \dots \times W_n} \quad (3.29)$$

$$\text{「INHIBIT」閘} \quad W_{ih} = 1.0 \quad (3.30)$$

其中：

$W_{im}$ ：「OR」閘下之修正權重值，且  $W_{im} > W_i$

$W_{ia}$ ：「AND」閘下之修正權重值，且  $k_g = \frac{W_i}{P_i}$

$W_{ih}$ ：「INHIBIT」閘下之修正權重值

$r$ ：「VOTING」閘下導致上層事件發生的最小事件數目

惟實務上要達到上述各下層事件的互斥假設並不容易，因此必須採用更複雜的方式處理各邏輯閘的修正權重值，惟此部份非主要討論之範圍，因此不在此說明。

## 5. 推估頂端事件失誤機率

接下來，則可透過已經蒐集到的基本事件，從該層找 1 個路徑到頂端事件，然後來推估其發生的機率，其計算方法如式(3.31)所示：

$$P(T) = \frac{P_i}{\prod_{i}^{path} (W_{iq})} \quad (3.31)$$

其中：

$P(T)$ ：頂端事件發生的機率

$P_i$ ：基本事件  $i$  發生的機率

$W_{iq}$ ：標準化權重值，或依據邏輯閘修正之權重值

由於式(3.28)中  $W_{im} > W_i$  之關係，因此計算出來的發生機率會有式(3.32)之關係。

$$P(T)_{im} = \frac{P_i}{\prod_{i}^{path} (W_{im})} < P(T)_i = \frac{P_i}{\prod_{i}^{path} (W_i)} \quad (3.32)$$



以圖 3-17之失誤樹為例，若各層之標準化權重值（ $W_1 \sim W_8$ ）均已計算出來，且基本事件 $A_5$ 可蒐集到其發生機率為 $P_5$ ，則頂端事件 $T$ 的發生機率如式(3.33)或式(3.34)：

$$P(T)_{im} = \frac{P_1}{W_{1m}} = \frac{1}{W_{1m}} \times \frac{P_3}{W_{3m}} = \frac{1}{W_{1m}} \times \frac{1}{W_{3m}} \times \frac{P_5}{W_{5m}} = \frac{P_5}{W_{1m} \times W_{3m} \times W_{5m}} \quad (3.33)$$

$$P(T)_i = \frac{P_1}{W_1} = \frac{1}{W_1} \times \frac{P_3}{W_3} = \frac{1}{W_1} \times \frac{1}{W_3} \times \frac{P_5}{W_5} = \frac{P_5}{W_1 \times W_3 \times W_5} \quad (3.34)$$

由於 $P(T)_{im} < P(T)_i$ 之關係，因此式(3.33)為樂觀的估計值，而式(3.34)為保守的估計值。此方法可在僅知 1 個基本事件的發生機率時，結合前述的平均權重值或者修正權重值來推估頂端事件的機率。

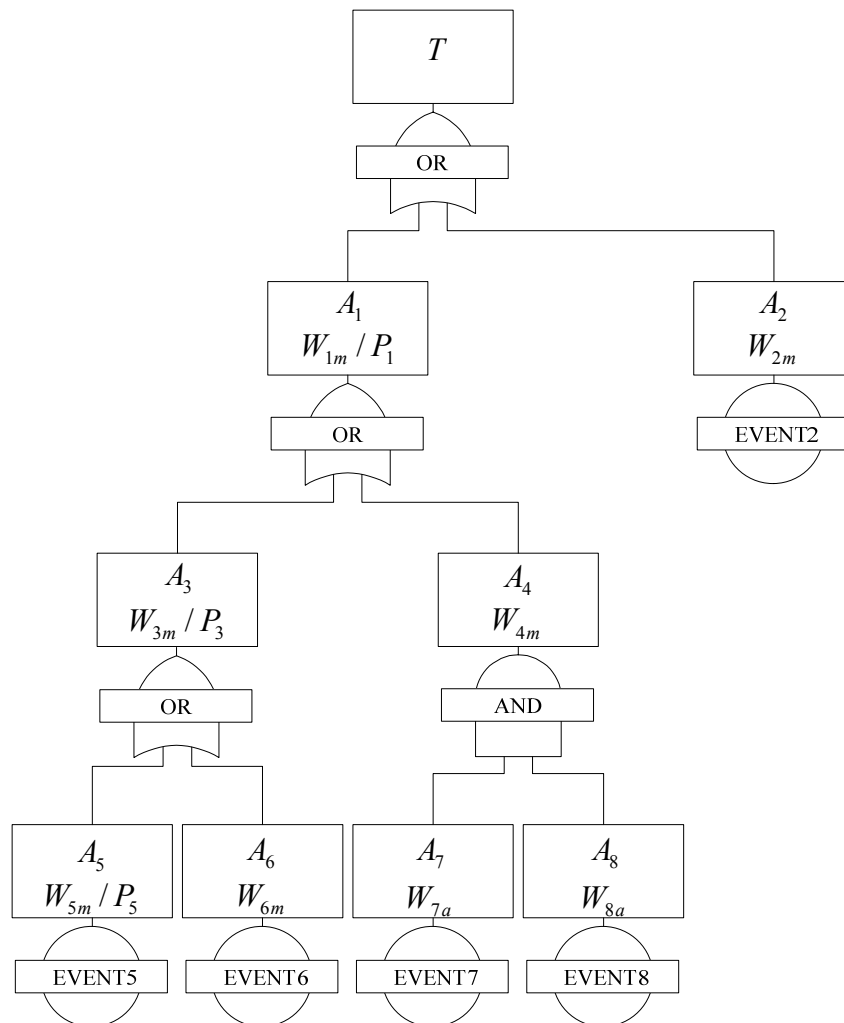


圖3-17 失誤樹推估頂端事件發生機率示意圖

### 3.4.5 方法優點與限制

失誤樹分析的優點包括有：

1. 分析範圍廣，包括人為、設備、環境之失誤。
2. 因果關係明確，對事故發生的各種原因及邏輯關係能做出明確地描述，從而使相關人員瞭解和掌握安全控制的要點和措施。
3. 可根據基本事件發生失效的機率，確定各基本事件對頂端事件的影響程度與重要性。
4. 透過重要性分析，可確定對各基本事件進行安全控制所應採取措施的優先順序。

失誤樹分析的限制包括有：

1. 分析人員必須非常熟悉所分析的對象系統，否則分析結果會與實際情況不符。
2. 對於複雜系統，失誤樹模型會較龐大且計算也較為複雜，增加定性、定量分析之困難度。

## 3.5 事件樹分析（ETA）

本節說明軌道業界另一個常用的事件樹分析法<sup>[49, 61, 160, 167]</sup>（Event Tree Analysis，以下簡稱 ETA）。

### 3.5.1 沿革說明

ETA 起源於決策樹分析(Decision Tree Analysis, DTA)，約在 1970 年代初期，先自核能電廠的危害分析開始，如美國政府於 1975 年對商業用核電廠的安全評估報告（WASH-1400）<sup>[73]</sup>，後續再應用於石化工業或煉油業，如英國政府於 1978 年對泰晤士河口石化工業區實施的風險評估（CANVEY）<sup>[43]</sup>。

ETA 是一種按事故發展的時間順序，由初始事件開始推論各類防護層或情境之成功或失敗所可能的後果，並可將其發生機率加以量化，適合應用於分析可能引發出不同情況的基本事件，或於意外發生後作為鑑定結果之工具，其主要目的便是探討影響危害嚴重度的關鍵。

### 3.5.2 作業程序說明

事件樹分析法包含以下步驟：

#### 1. 選定嚴重性指標

不同領域的事件樹分析會關注不同的影響指標，以安全領域的分析為例，關注的指標不外乎「等效死亡」、「財產損失」與「環境影響」，分析人員於回顧歷史資料過程中，若能先擬定觀察指標，可便於統計過去事故的嚴重性，例如表 3.21 的統計範例中，可經由簡單加權計算後，將結果作為後續量化分析的基礎。

表3.21 歷史事故資料嚴重性統計範例

指標 情境	等效死亡					財產損失				環境影響			
	0	1~2	3~5	6~20	>20	無	低	中	高	無	低	中	高
情境 A		✓				✓				✓			
情境 B			✓				✓				✓		
...													

註：本表僅舉例說明，表中財產損失與環境影響若有合適量化範圍亦可採用。

#### 2. 分析關鍵事件

危害發生時不一定會造成人員財產的損失，只有當某些關鍵事件同時發生時才會引發嚴重的後果，這些影響危害後果的關鍵即是事件樹的「分支」，亦是建構事件樹的重點。分析影響關鍵事件的方式除了可以歸納系統本身的歷史事故外，亦可從相關的研究中探討，或是參考其他系統的經驗，惟須考量該關鍵是否有被記錄的可能，因無法被記錄的關鍵事件後續欲進行量化分析時將造成困擾。

例如在分析平交道撞擊時<sup>[127]</sup>，除了從歷史事故資料發現「公路駕駛人行為」、「公路機動車輛車種」乃影響危害後果的主因外，參酌

國外的研究<sup>[92]</sup>亦發現「列車速度」、「列車載重」、「公路車輛是否起火」亦是影響危害後果的關鍵。

### 3. 釐清各關鍵事件的因果關係

在探討可能導致嚴重後果的影響關鍵事件後，必須要釐清各項事件的因果關係，以找出適當的順序予以分析。若以韓國大邱地鐵於2003年發生之地鐵縱火案為例，該事故共造成198人死亡、148人受傷，之所以造成此重大傷亡的主要原因係第1輛列車遭縱火後，反向的列車正好駛進車站受到波及，又因供電系統正好停擺，使得第2列起火的電車只打開1個門，導致車內乘客逃生無門。針對此類型地下車站之火災危害，本研究參酌韓國軌道研究中心所構建之事件樹<sup>[12, 58, 59]</sup>，將其考慮的關鍵事件條列如下：

- (1) 是否有成功偵測到列車火災
- (2) 火災是否成功抑制
- (3) 司機員是否有通報行控中心並協助旅客逃生
- (4) 旅客是否有逃離該火災列車
- (5) 旅客是否透過逃生通道離開現場
- (6) 旅客是否抵達安全區域

### 4. 構建事件樹

根據關鍵事件的發生順序，搭配嚴重程度的說明，即可構建如圖3-18之事件樹：

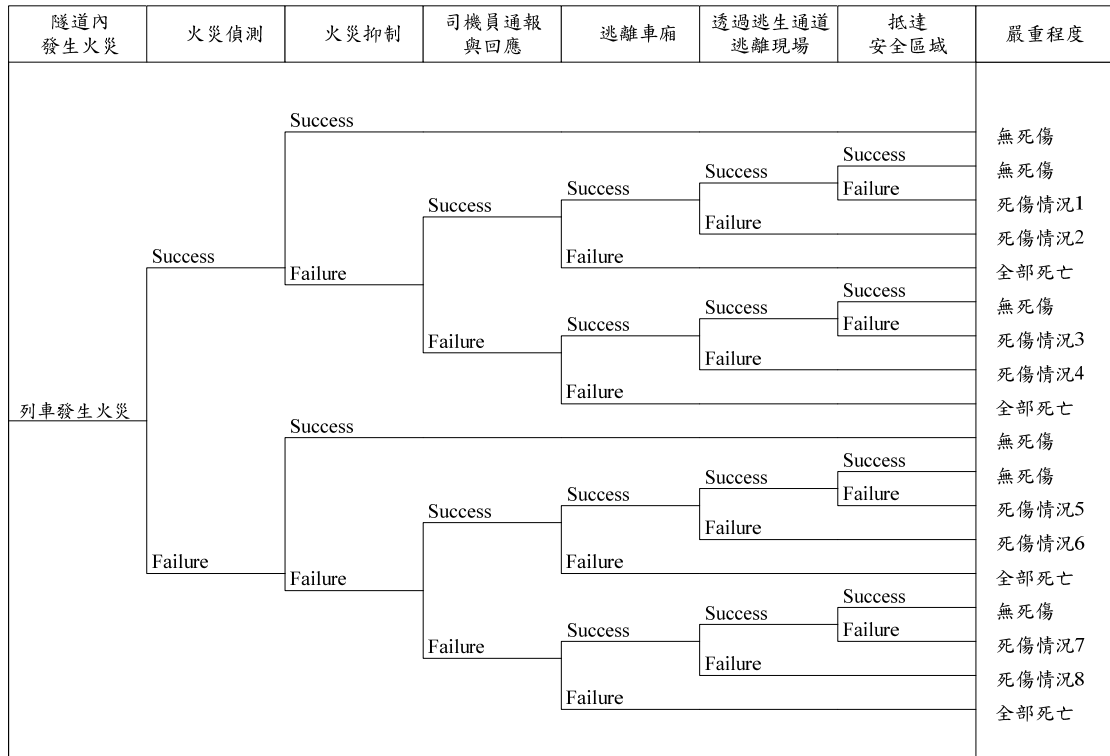


圖3-18 事件樹圖示範例

須注意的是，事件樹必須要合乎邏輯推理，或者設備之間的互相關係，並將圖 3-18 中不合理的分支刪除，才不會有重複計算機率之疑慮。再者，不管分支的結果是二元或者多元，都要遵守每一分支的指派機率總和為 1 的原則。

## 5. 驗證事件樹

除了從歷史事故資料中驗證影響危害後果的關鍵事件均已納入分析外，應檢視每一個關鍵事件是否於事發後都能被觀測並記錄，確保後續量化分析的可行性。

### 3.5.3 定量分析

事件樹之定量分析係計算關鍵事件發生與不發生的機率，並考量各分枝最終的嚴重程度，最終評估分析對象的整體風險。值得注意的是，ETA 各分枝的事件發生機率是條件機率，假設某事故依序以  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  3 個情境之途徑發生，則當各事件之間相互統計獨立時，其事

故發生機率如式(3.35)比較簡單；當事件之間相互統計不獨立時，則事故發生機率如式(3.36)會較為複雜。

$$P(E_1) \times P(E_2) \times P(E_3) \quad (3.35)$$

$$P(E_1) \times P(E_2 | E_1) \times P(E_3 | E_1 E_2) \quad (3.36)$$

圖 3-19 為 1 個爆炸導致火災之事件樹量化分析案例，假設事件之間相互獨立，各項結果的發生機率  $\lambda_i, i = A, B, C, D, E$  計算如下：

1. 不可控之火災，無警報

$$\lambda_A = 0.01 \cdot 0.8 \cdot 0.01 \cdot 0.001 = 8.0 \cdot 10^{-8}$$

2. 不可控之火災，有警報

$$\lambda_B = 0.01 \cdot 0.8 \cdot 0.01 \cdot 0.999 = 7.992 \cdot 10^{-5}$$

3. 可控之火災，無警報

$$\lambda_C = 0.01 \cdot 0.8 \cdot 0.99 \cdot 0.001 = 7.920 \cdot 10^{-6}$$

4. 可控之火災，有警報

$$\lambda_D = 0.01 \cdot 0.8 \cdot 0.99 \cdot 0.999 = 7.9 \cdot 10^{-3}$$

5. 安全

$$\lambda_E = 0.01 \cdot 0.2 = 2.0 \cdot 10^{-3}$$

初始事件	起火	灑水頭未自動啟用	警報鈴響未觸動	Consequence	Frequency
$w=1.00 \times 10^{-2}$ EXPLOSION	$O=8.00 \times 10^{-1}$ START OF FIRE	$O=1.00 \times 10^{-2}$ SPRINKLER NOT FUNCTION	$O=1.00 \times 10^{-3}$ ALARM NOT ACTIVE		$1.00 \times 10^{-2}$
$1.00 \times 10^{-2}$ : 爆炸	$8.00 \times 10^{-1}$ : True	$1.00 \times 10^{-2}$ : True	$1.00 \times 10^{-3}$ : True	A: 不可控、無警鈴	$8.00 \times 10^{-8}$
			$9.99 \times 10^{-3}$ : False	B: 不可控、有警鈴	$7.99 \times 10^{-5}$
		$9.90 \times 10^{-3}$ : False	$1.00 \times 10^{-3}$ : True	C: 可控、無警鈴	$7.92 \times 10^{-6}$
			$9.99 \times 10^{-3}$ : False	D: 可控、有警鈴	$7.91 \times 10^{-3}$
	$2.00 \times 10^{-1}$ : False	1	1	E: 安全	$2.00 \times 10^{-3}$

資料來源：[61]與 IEC60300-3-9

圖3-19 事件樹量化分析範例

### 3.5.4 方法優點與限制

事件樹分析的優點包括有：

1. 層次清楚直觀，便於了解嚴重事故的發展過程，應用於重大問題的決策。
2. 方便計算每一個節點的機率，有利定量分析。

事件樹分析的限制為：

1. 事件樹成長非常快，為了保持合理的規模，有時可能分析的不太細緻，且保留的分支關鍵受分析人員的主觀影響。
2. 若沒有明顯影響嚴重度的關鍵事件時不適用。

## 3.6 可靠度方塊圖（RBD）

本節說明可靠度方塊圖<sup>[49]</sup>（Reliability Block Diagram，以下簡稱RBD）之沿革、作業程序及方法的優點與限制。

### 3.6.1 沿革說明

可靠度方塊圖又稱為網路模型（Networking Modeling），主要是利用圖形來表示系統的可靠度特性，系統可以用數個功能方塊（Functional Block）來表示，其結構可能採串連、並聯或綜合的方式所組成。其中，功能方塊代表系統的元件或組成成分，且假設每個功能方塊故障的發生機率彼此獨立，而線段則代表各區塊間的關係，惟線段的連接並非實體系統的連接方式，而是代表系統正常或故障的區塊功能連接狀況。

### 3.6.2 作業程序說明

圖 3-20說明兩種典型的 RBD 組成方式，若 A 點與 B 點能連通則代表功能正常運作，由此可知左圖中只要元件 1、2、3 任一個元件連通就表示功能正常，右圖則須 3 個元件都連通方能使功能正常發揮。

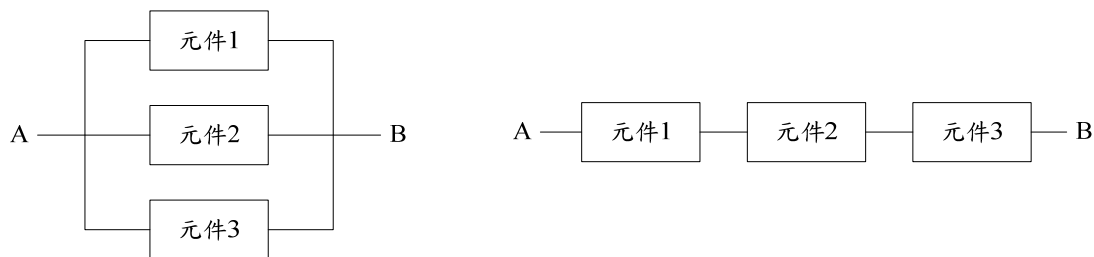


圖3-20 兩種典型的 RBD 組成方式

以圖 3-20左圖並聯的圖形為例，其可靠度的數學表示方式如式 (3.37)：

$$\phi(x) = 1 - [(1 - x_1)(1 - x_2)(1 - x_3)] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_n) = \prod_{i=1}^n x_n \quad (3.37)$$

式中：

$\phi(x)$ ：系統正常運作的機率

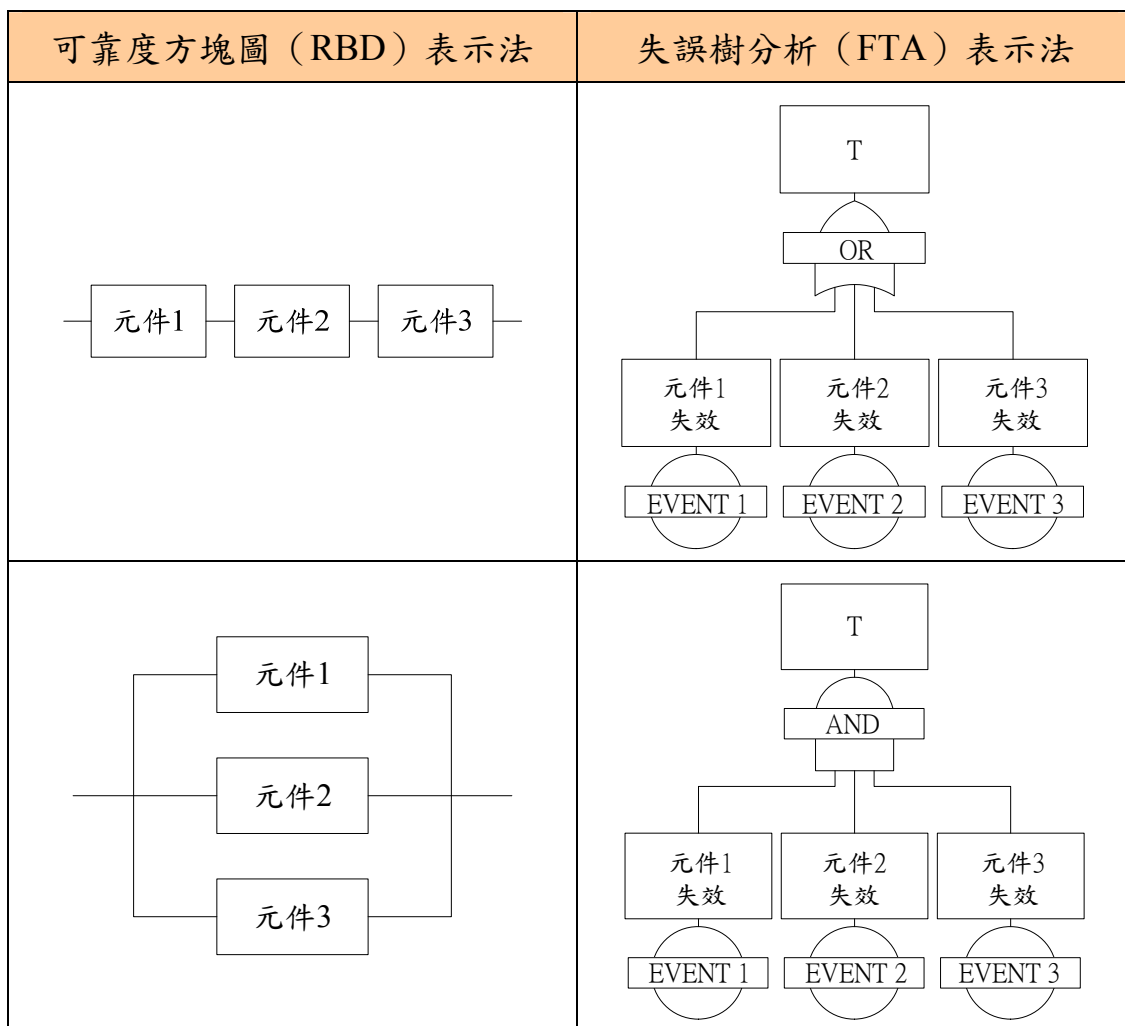
$x_n$ ：元件  $n$  正常運作的機率

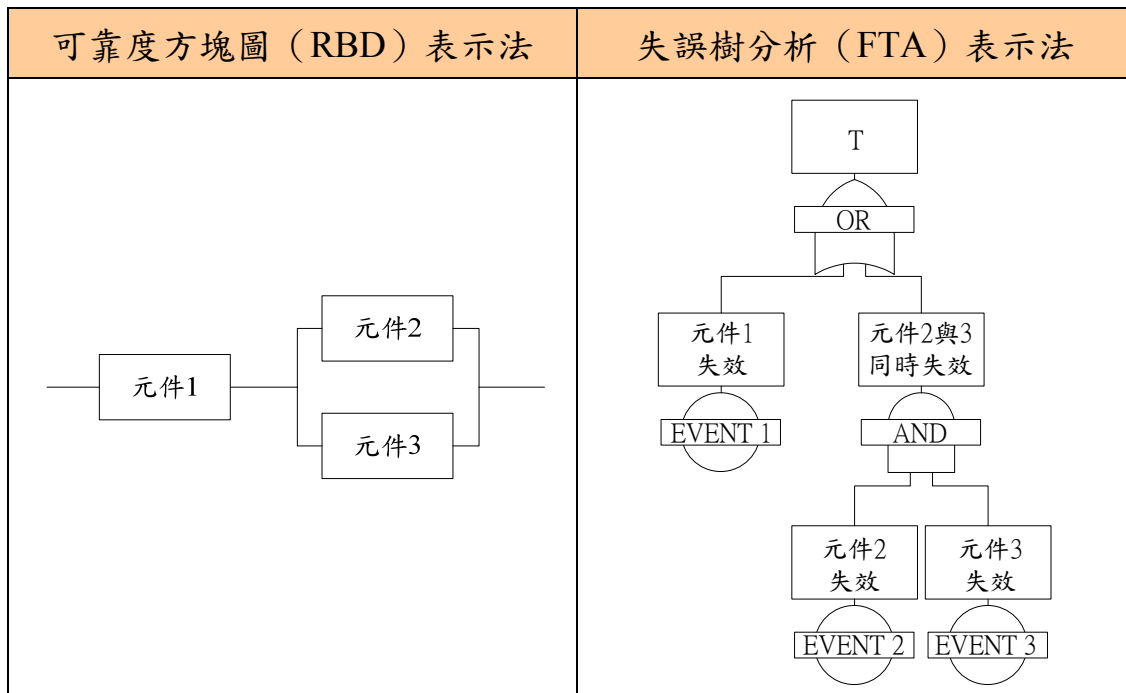


同理，圖 3-20右圖串聯的數學式可表示如式(3.38)：

$$\phi(x) = \prod_{i=1}^n x_n \quad (3.38)$$

RBD 分析法與3.4節所提的失誤樹分析法有許多類似之處，兩種方法也可互相轉換，只是 RBD 從正向的觀點討論系統正常運作所需的要素，FTA 則從反向的觀點探討系統失效的原因關係，圖 3-21說明在同一系統下，兩種方法不同的表示方式。

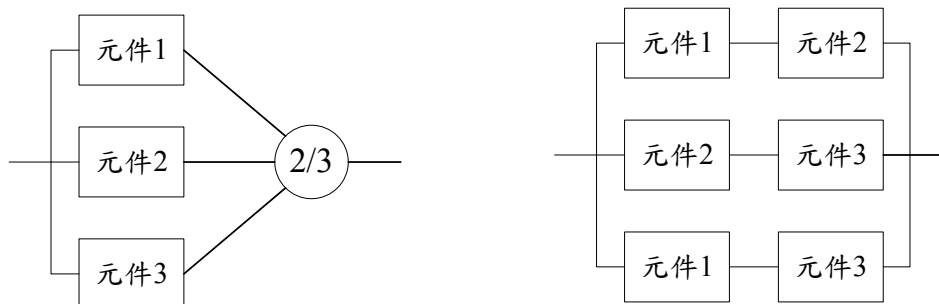




資料來源：[61]及本研究繪製

圖3-21 RBD 與 FTA 轉換關係範例

有時欲表示「至少某幾樣元件正常」系統方能運作的情況時，可用圖 3-22 的表示方式，左右兩側的表示法在意義上完全相同。



資料來源：[61]及本研究繪製

圖3-22 至少 2 元件正常系統才正常的 RBD 表示法

此外，RBD 亦可搭配最小路徑集合（Minimal Path Set）與最小分割集合（Minimal Cut Set）的概念來探討關鍵危害。以圖 3-23 為例，從中可以發現只要元件 1&4、元件 2&5、元件 1&3&5、元件 2&3&4 之 4 種組合的元件正常，則無論其他元件是否正常，系統均能正常運作，因此圖 3-23 的最小路徑集合（Minimal Path Set）為：

$$\{1,4\}, \{2,5\}, \{1,3,5\}, \{2,3,4\} \quad (3.39)$$

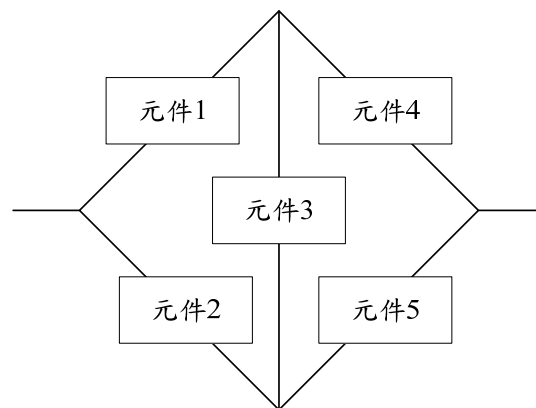


圖3-23 橋式 RBD 範例圖

反之，只要元件 1&2、元件 4&5、元件 1&3&5、元件 2&3&4 之 4 種元件組合中有 1 種發生，無論其他元件是否正常，系統都確定失效，因此圖 3-23 的最小分割集合（Minimal Cut Set）為：

$$\{1,2\}, \{4,5\}, \{1,3,5\}, \{2,3,4\} \quad (3.40)$$

管理者可以根據上述分析結果擬定策略來防範失效，例如將元件 1、元件 2 的動力系統脫勾，可確保兩者不會因同一動力系統失效而同時故障，進而造成其中 1 種 Minimal Cut 發生而導致系統失效。或是同時提昇元件 1 與元件 4 的可靠度，確保其中一個 Minimal Path 維持暢通，儘管其他元件故障也能確保系統功能正常。

### 3.6.3 方法優點與限制

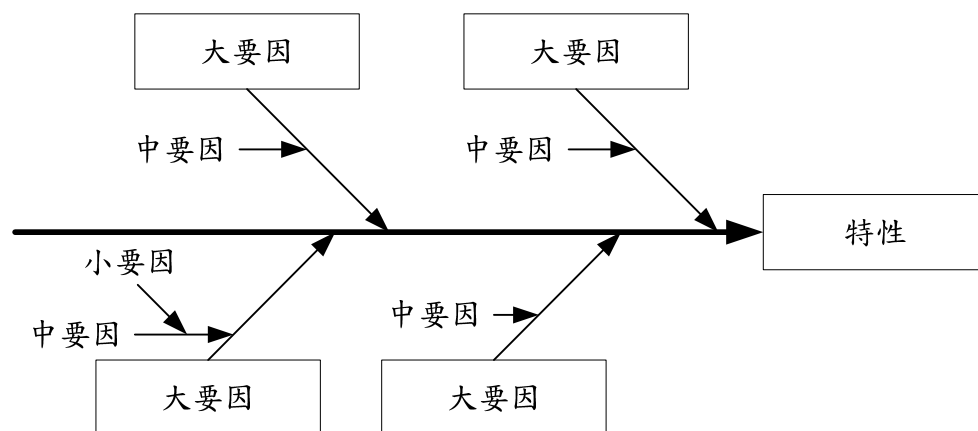
可靠度方塊圖優點為：將實際系統轉換為功能方塊，構建方式直覺，後續量化分析方便；而可靠度方塊圖限制為：元件間關係複雜時較難構建。

### 3.7 特性要因圖（CED）

前述各種方法主要透過邏輯分析的方式描述可能的失效模式，但有時分析的對象所遭受的影響因素眾多且沒有一定的邏輯關係時，除了靠腦力激盪探討外，特性要因圖<sup>[61]</sup>（Causes & Effects Diagram，以下簡稱 CED）也是常用的 1 種輔助工具。

#### 3.7.1 沿革說明

如圖 3-24 所示，當一個問題的特性（或結果）受到一些要因（原因）影響時，將這些要因加以整理，成為有相互關係且有條理的圖形，這個圖形稱為特性要因圖（CED），由於這方法最早於 1943 年由日本品管大師石川馨（Kaoru Ishikawa）所創，因此也有人稱之為石川圖（Ishikawa Diagram）。此外，該圖形類似魚骨之關係，因此常被稱為「魚骨圖」（Fish-Bone Diagram），以下亦使用魚骨圖之名稱來說明。



資料來源：[61]

圖3-24 特性要因圖（魚骨圖）範例

#### 3.7.2 作業程序說明

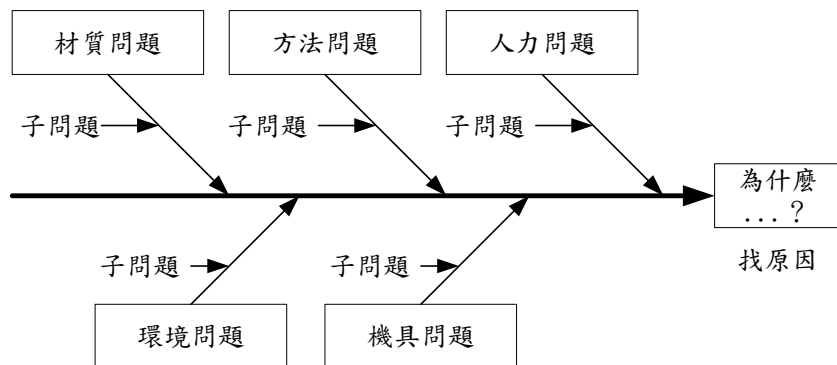
因為魚骨圖的魚頭通常表示某一特定問題或結果，因此可以分為「原因型」及「對策型」兩類特性要因圖，通常會將原因型的魚頭向右繪製，對策型的魚頭向左繪製，表 3.22 即整理出兩者之魚頭方向、箭頭所指意涵、魚身要因以及如何發問的方式。

表3.22 特性要因圖類型

特性要因圖	原因型	對策型
魚頭方向	向右	向左
箭頭所指	問題	目的
魚身(要因)	原因	對策或手段
如何發問	Why	How

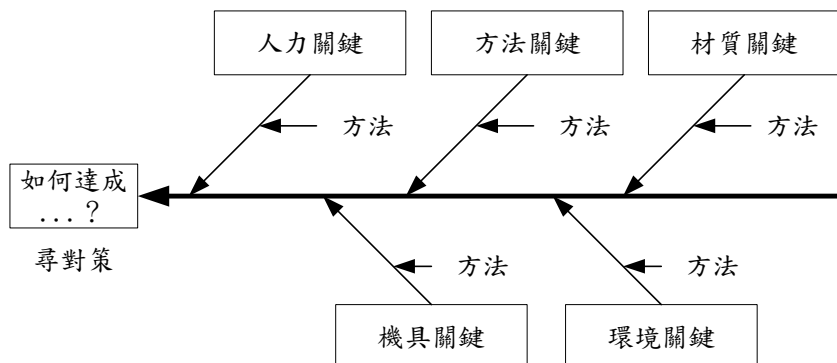
資料來源：[61]

圖 3-25與圖 3-26則說明一般分析時，建議可從 5 個 M 著手思考，亦即人力（Manpower）、方法（Methods）、材質（Materials）、機具（Machinery）、與環境（Milieu），可依據實際需求選擇適合的構面來思考可能造成系統失效的各種子問題，通常建議將思考方向限縮在至多 7 個構面以內以得到比較好的效果。



資料來源：[61]

圖3-25 原因型特性要因圖



資料來源：[61]

圖3-26 對策型特性要因圖

此方法通常是藉由腦力激盪的方式完成，其流程可歸納如下：

1. 決定問題或品質的特性

所選擇的特性必須要很明確，不能為抽象或含混不清的主題。

2. 決定要因

一般而言，大要因通常代表是 1 個具體方向，中要因通常代表的是一個概念、想法，小要因通常代表的是具體事件。此步驟會重複的詢問發生原因或解決對策，直到沒有任何的可用資訊為止。

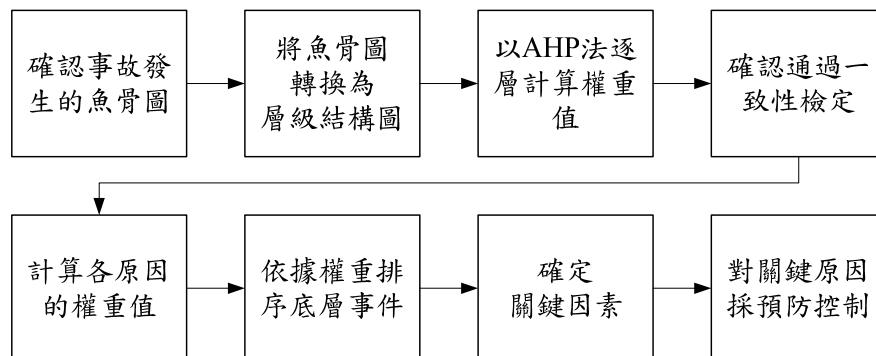
3. 評估影響問題點的主要原因。

通常是圈選四至六個重要的要因為原則，然後再評估其影響度。

### 3.7.3 定量分析

當魚骨圖完成後，即可分析導致問題發生的原因為何，但是該方法屬定性的分析工具，因此在眾多原因當中，哪些是較重要的因素，何者應該要優先處理，通常無法立即從魚骨圖中得知。

為解決上述問題，通常可使用層級分析法<sup>[156, 164, 174]</sup>（Analytic Hierarchy Process, AHP）之方式，透過專家問卷來取得魚骨圖中各原因的權重影響值，而各原因的權重值即可視為問題發生的相對可能性，決策者可依此資訊評估改善措施的優先順序，提昇改善的效益，其流程可說明如圖 3-27所示。



資料來源：[156]及本研究繪製

圖3-27 模型工作流程圖

茲將魚骨圖透過層級分析法找出權重值之操作方式說明如下：

### 1. 確認魚骨圖

假設欲探討可能導致問題 T 發生之原因，最後歸納出四種情況（ $B_1 \sim B_5$  大要因），並找出共 18 個原因（ $C_1 \sim C_{18}$  小要因），如圖 3-28 所示。

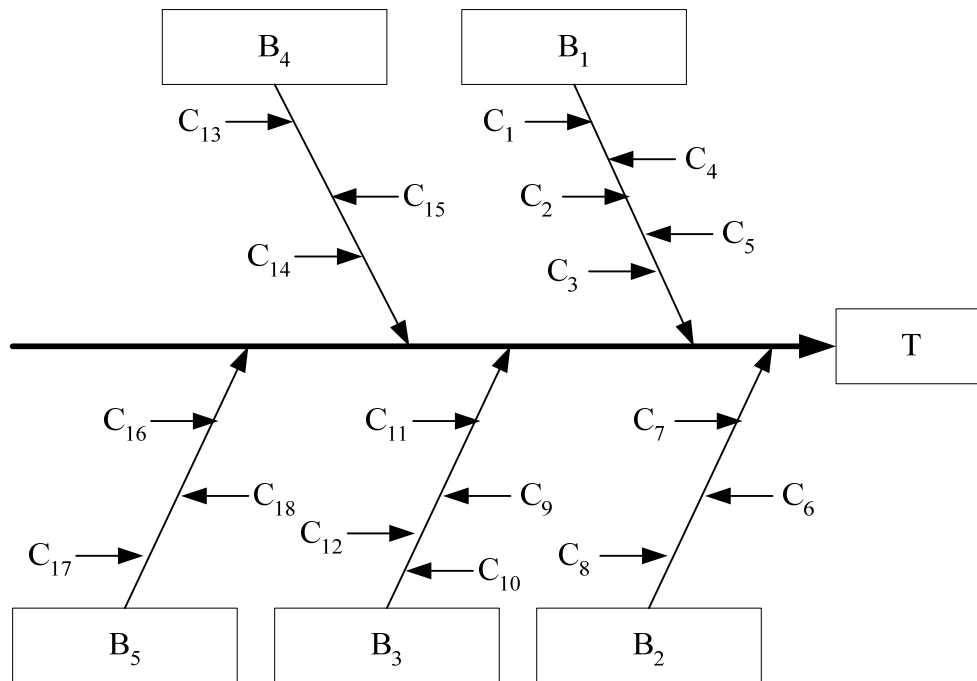
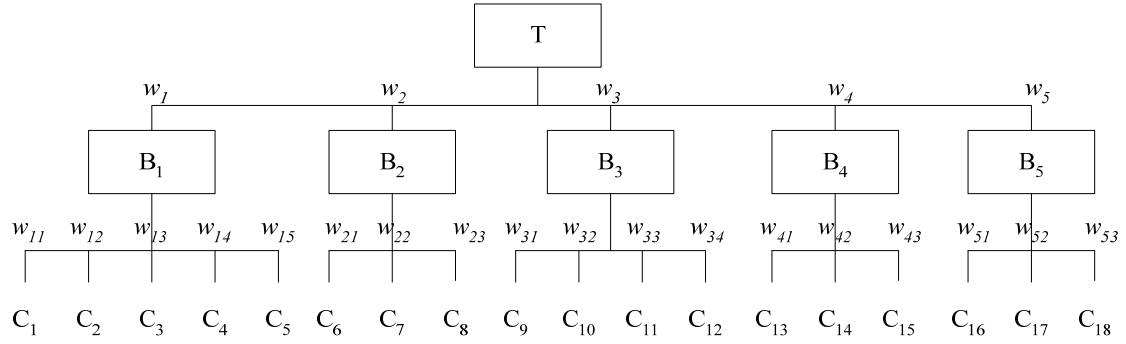


圖3-28 魚骨圖分析案例

### 2. 將魚骨圖轉換為層級結構圖

AHP 與魚骨圖的基本思路是一致的，兩者都是在分析實際問題的基礎上，將有關因素按不同的屬性自上而下分解成若干層，同一層次的因素從屬於上一層因素或對上層因素有影響，同時又支配下一層因素或受下一層因素作用。因此圖 3-28 之魚骨圖可轉化為圖 3-29 之層級結構圖。



資料來源：[164]

圖3-29 層級結構示意圖

該層級架構為系統結構的骨架，可分析出階層中各因素的交互影響，以及對整個系統的衝擊。圖 3-29 透過分析架構將問題 (T)、大要因 ( $B_1 \sim B_5$ )、小要因 ( $C_1 \sim C_{18}$ ) 逐一分層，並將其上下串聯建構為系統化模式。其中， $w_i$  為問題 (T) 下方大要因 ( $B_1 \sim B_5$ ) 的權重，且  $\sum_i w_i = 1$ ； $w_{ij}$  為大要因 ( $B_1 \sim B_5$ ) 下方小要因 ( $C_1 \sim C_{18}$ ) 的權重，且

$$\sum_j w_{ij} = 1。$$

### 3. 建立成對比較矩陣

此步驟目的乃計算同一層內各原因的相對權重，假設同一層內欲評估的原因共有  $m$  個，且第  $i$  個評估原因之權重為  $W_i$ ，則共需進行  $m(m-1)/2$  次的成對重要性比較，並將每次比較之比重值  $a_{ij}$  記錄於對比矩陣 A 內的上方三角矩陣中，矩陣內的下三角形矩陣各數值為上三角形矩陣內各數值之對應倒數值  $1/a_{ij}$ ，而矩陣對角線上所有數值均為 1，如此即可獲得完整對比矩陣，該矩陣形式如方程式(3.41)所示。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \cdots & W_1/W_m \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \cdots & W_2/W_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_m/W_1 & W_m/W_2 & \cdots & W_m/W_m \end{bmatrix} \quad (3.41)$$



由方程式(3.41)可得方程式(3.42)，方程式(3.42)中  $\mathbf{A}'$  即為特徵向量 (Eigenvector)， $\lambda$  為特徵值 (Eigenvalue)，利用  $(\mathbf{A} - \lambda \cdot \mathbf{I}) \cdot \mathbf{A}' = 0$  可求得特徵向量  $\mathbf{A}'$ 。另外為了後續判斷權重一致性問題，須求解最大特徵值  $\lambda_{\max}$  如方程式(3.43)所示。

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}' = \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \cdots & W_1/W_m \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \cdots & W_2/W_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_m/W_1 & W_m/W_2 & \cdots & W_m/W_m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix} = m \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix} = \lambda \cdot \mathbf{A}' \quad (3.42)$$

$$\begin{bmatrix} W'_1 \\ W'_2 \\ \vdots \\ W'_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{m} \left( \frac{W'_1}{W_1} + \frac{W'_2}{W_2} + \cdots + \frac{W'_m}{W_m} \right)$$

#### 4. 一致性檢定

檢定一致性的主要目的是檢測受訪者對於問卷之填寫是否符合遞移性 ( $a_{ik} \cdot a_{kj} = a_{ij}$ )，若不符合即表示問卷之結果不可採信。檢定的依據為一致性指標  $C.I.$  (Consistency Index)，定義如方程式(3.44)所示。當  $C.I. = 0$  時，表示決策者前後判斷具一致性， $C.I.$  愈大表示不一致性愈高，一般多以  $C.I. < 0.1$  做為容許的偏誤值，若  $C.I.$  不小於 0.1 應立即找出不一致處予以修正，直到通過一致性檢定為止。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad (3.44)$$

另外為檢查層級架構是否具一致性，則以一致性比率  $C.R.$  (Consistency Ratio) 表示。當  $C.R. < 0.1$  時，代表權重之分配具合理性；反之，則應重新評估以獲得滿意之數值。其定義如方程式(3.45)所示。

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (3.45)$$

其中  $R.I.$  為依據  $m$  所定出的隨機指標(Random Index)，各階層數之  $R.I.$  值如表 3.23 所示：

表3.23 AHP 之  $R.I.$ 值對照表

階數	1	2	3	4	5
$R.I.$	0	0	0.58	0.90	1.12
階數	6	7	8	9	10
$R.I.$	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49
階數	11	12	13	14	15
$R.I.$	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

資料來源：[174]及本研究繪製

#### 5. 計算各原因之權重值

一致性檢定通過後，即可依據  $w_i \cdot w_{ij}$  之方式計算各項原因之權重值，最後再依據權重值之高低予以重新排序，找出重要性較大者優先進行處理。

#### 3.7.4 方法優點與限制

魚骨圖分析的優點包括思考範圍較廣泛，有機會找出隱藏在主因中的次要因素，且影響因素分門別類，有系統的掌握問題來源。魚骨圖分析的限制則是分析結果僅靠專家經驗得出，須透過實際的改善措施來驗證。

### 3.8 人為錯誤危害與可操作性分析（Human Error

#### HAZOP)

由於軌道系統內許多危害都與「人」相關，而「人」犯錯的原因較為複雜且沒有一定的邏輯關係，故學術上發展出許多分析人為錯誤的方法，其中常被軌道系統採用的 1 種便是人為錯誤危害與可操作性分

析（Human Error Hazard and Operability Study，以下簡稱 Human Error HAZOP）。

### 3.8.1 沿革說明

HAZOP 最早應用在化學產業製程的安全管理上，主要透過整合各個領域專家的經驗，逐一檢核製程中各個階段可能發生的異常，進一步探討造成異常的原因與後果以謀求改善之道，屬於創造性、系統性與腦力激盪的一種方法，最大的特色乃藉由「關鍵字」引導分析人員的思考方向，藉以挖掘容易被忽視的安全問題<sup>[21, 119]</sup>，此方法後來被進一步發展為探討人為錯誤的 1 種分析方法<sup>[41]</sup>，藉由開放性思考的優點探討潛在的人為錯誤。

### 3.8.2 作業程序說明

以下逐一說明 Human Error HAZOP 方法的執行步驟<sup>[101]</sup>：

#### 1. 組成專家團隊

Human Error HAZOP 分析結果的好壞絕大因素取決於專家團隊的成員，Swann 與 Preston 認為至少應有下列成員一同參與才能有較好的分析結果<sup>[103]</sup>：

- (1) 有經驗的 HAZOP 主持人
- (2) 人因專家
- (3) 人為可靠度分析/人為錯誤辨識專家
- (4) 計畫管理工程師
- (5) 流程管理工程師
- (6) 執行團隊的主管
- (7) 控制室的操作員
- (8) 資料記錄人員

## 2. 思考分析任務包含的所有子任務

為了避免分析過程中發生疏漏，應先釐清分析對象的細部流程並拆解成更細部的子任務，例如分析「行控中心與列車司機員通訊」，應拆解成「行控中心呼叫列車司機員」、「行控中心控制人員傳遞訊息」、「列車司機員接收訊息」、「列車司機員複誦」等子任務。

## 3. 透過關鍵字思考每個子任務可能的錯誤

Human Error HAZOP 建議採用表 3.24 的關鍵字，對照前一步驟所拆解的各個子任務，逐一思考可能的失效。

表3.24 Human Error HAZOP 關鍵字

沒做 (not done)	重複 (repeated)
太多 (more than)	太快 (sooner than)
太少 (less than)	太慢 (later than)
和...一樣 (as well as)	弄錯順序 (mis-ordered)
除了 (other than)	部分 (part of)

資料來源：[101]

## 4. 思考錯誤導致的後果

此步驟主要借重團隊成員的經驗，針對前一步驟探討出的錯誤思考可能的後果。

## 5. 思考錯誤的可能原因

同前一步驟，但改為探討可能的原因。

## 6. 分析錯誤是否有機會被改正

探討步驟 3 所發現的潛在失效，是否能在步驟 2 分析出的其他子任務執行過程中被發現。例如「行控中心控制人員傳遞訊息」時可能發生口誤，但有機會在「列車司機員複誦」時被發現而即時更正。

## 7. 思考改善方法

分析團隊應思考現有的流程是否已有足夠的能力修正可能的錯誤，或在錯誤發生時即時提出警告，若不足則應思考是否增加警示設備或作業程序，甚至加強人員的訓練。

### 3.8.3 方法優點與限制

Human Error HAZOP 的優點包括有：

1. 有機會發掘原本料想不到的問題。
2. 實務上已有很多領域採用且都有不錯的效果。
3. 相較於其他由單一分析者適用的方法，結合團隊經驗與智慧可以避免疏漏與偏執。
4. 操作程序簡單。

Human Error HAZOP 的限制包括有：

1. 所需時間長。
2. 若不能找齊組織內不同部門的成員一同參與，則分析結果很可能有疏漏，但實務上不同部門的人員要找到同時有空的時間相當困難。
3. 執行過程中會產生很多過程文件需要思考與分析。
4. 團隊中若有意見強烈者會造成困擾。

## 3.9 人為錯誤評估及降低技術（HEART）

本節說明人為錯誤評估及降低技術<sup>[40, 43, 64, 94, 113]</sup>（Human Error Assessment and Reduction Technique，以下簡稱 HEART）。

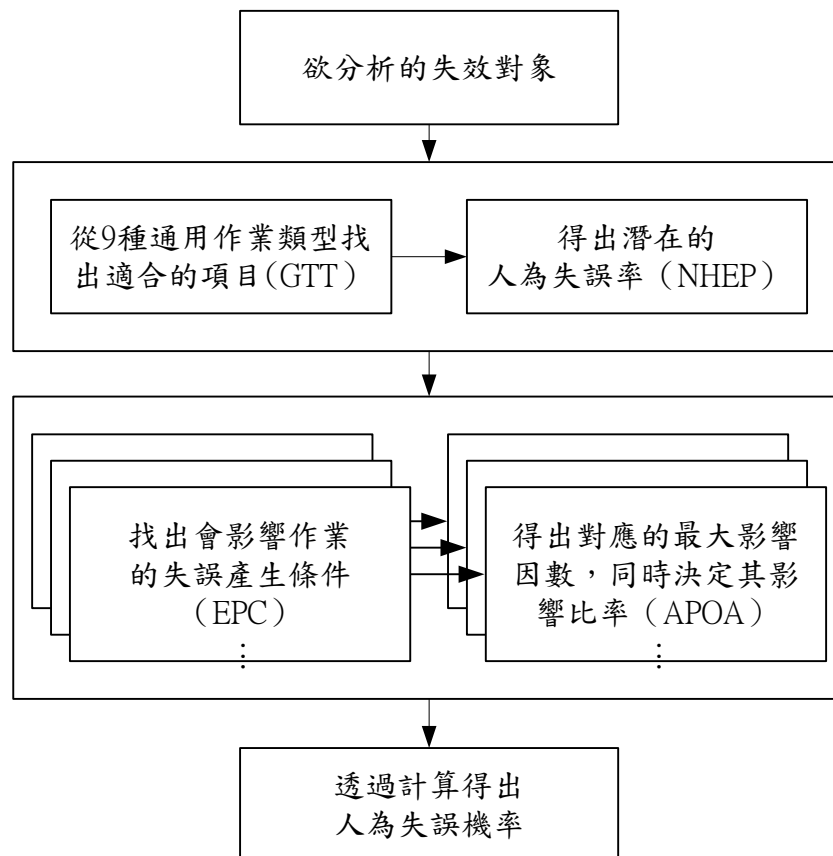
### 3.9.1 沿革說明

HEART 之方法係 J.C. Williams<sup>[113]</sup>於 1985 年首度於研討會中提出，並於 1986~1988 年陸續發展成完整的人為可靠度評估技術(Human Reliability Assessment, HRA)，發展理念是期望可以快速簡便的估算人為失誤率，已被廣泛應用於核能、化學、飛航、醫療、鐵路等工業中，且被更廣泛開發成其他特定系統的 HRA 技術，如：專為飛航安全設計的 CARA (Controller Action Reliability Assessment)、專為核能安全設計 NARA (Nuclear Action Reliability Assessment)。在軌道系統的應用上，英國於 2004 進行鐵路司機員駕駛行為可靠度分析時<sup>[94]</sup>，其量化分析的架構即是以 HEART 為基礎，重新檢討各種司機員失誤經驗的機率值、影響因數及影響比率，以成為軌道系統司機員專用的人為錯誤分析技術 (Rail-specific HEART)。

此外，英國在 2009 年出版的 RR679<sup>[43]</sup>研究報告中，共檢視了 72 種人為可靠度評估相關技術，其中多數為非公開且僅適用於核能安全的方法，其餘公開的方法中，HEART 係與重大危害相關且具有發展潛力的技術之一，常用來評估軌道系統內的人為錯誤因素。

### 3.9.2 作業程序說明

人為可靠度分析 HEART 主要係透過專家的腦力激盪來進行分析，其程式可說明如圖 3-30 所示。



資料來源：[103]

圖3-30 HEART 分析流程圖

此方法首先將欲分析的作業分為如表 3.25 所示的 9 種通用任務類型 (Generic Task Types, GTT)，每種任務類型均有其對應之潛在人為失誤率 (Nominal Human Error Potential, NHEP)。接著從表 3.26 的 38 種失誤產生條件 (Error Producing Conditions, EPC) 中找出各種可能會影響該分析任務的情境，以得出其最大的影響因數，接下來則需要藉由專家的討論，以得出該情境下可能對分析任務的影響比率 (Assessed Proportion of Affect, APOA) 來調整失誤產生條件 (EPC)，最後再依據 HEART 方法所提供的機制進行運算後，即可得出人為失誤機率<sup>[103]</sup>。

表3.25 HEART 的通用任務類型

通用任務類型 (GTTs)		潛在人為失誤率 (NHEP) (5 <sup>th</sup> 至 95 <sup>th</sup> 區間)
A	對完全不熟悉的事物，在情急下操作且對可能造成的後果毫無概念時	0.55 (0.35~0.97)
B	在沒有督導者在旁，也沒有標準程式可遵循下，欲將系統從故障的狀態復原或轉換為新狀態時	0.26 (0.14~0.42)
C	需要高理解力或高技術的複雜工作	0.16 (0.12~0.28)
D	簡單且經常執行常常會沒放心思執行的工作	0.09 (0.06~0.13)
E	技術門檻很低，且幾乎每天都要進行的例行公事	0.02 (0.007~0.045)
F	有標準程式可遵循的情況下，或是有一些查核項目可以確認時，將系統從故障的狀態復原或轉換為新狀態時	0.003 (0.0008~0.007)
G	每小時都要做好幾次的例行公事，操作者非常熟悉也需要盡量以高標準進行的工作，就算做錯也還有時間即時修正，但對操作者來說沒有明顯助益的工作	0.0004 (0.00008~0.009)
H	對系統自動化的警示做出反應	0.00002 (0.000006~0.00009)
M	雜項的作業，在上述說明中無法找到	0.03 (0.008~0.11)

資料來源：[64]

表3.26 HEART 的失效產生條件

失誤產生條件 (EPCs)		最大 影響因數
1	對於潛在重要的狀態不熟悉，這種狀況過去很少發生或不曾發生 Unfamiliarity with a situation which is potentially important but which only occurs infrequently or which is novel	17
2	有時間壓力無法進行錯誤的檢查或修正的情況 A shortage of time available for error detection and correction	11
3	信號/雜訊比低（雜訊干擾很大的情況） A low signal-noise ratio	10



失誤產生條件（EPCs）		最大 影響因數
4	處在一種非常容易隱瞞或壓抑訊息的情況 A means of suppressing or over-riding information or features which is too easily accessible	9
5	沒辦法傳達空間與功能等資訊讓操作者容易理解 No means of conveying spatial and functional information to operators in a form which they can readily assimilate	8
6	操作者所想的模式與設計者原本設計的模式存在落差 A mismatch between an operator's model of the world and that imagined by the designer	8
7	沒辦法反轉意想不到的行為 No obvious means of reversing an unintended action	8
8	傳遞訊息管道負荷過載，特別是部分起因於重要資訊的同時呈現 A channel capacity overload, particularly one caused by simultaneous presentation of non-redundant information	6
9	須改掉舊技術而採用原理相反的新技術時 A need to unlearn a technique and apply one which requires the application of an opposing philosophy	6
10	作業轉換的過程中須要傳遞資訊且不可遺漏的情況 The need to transfer specific knowledge from task to task without loss	5.5
11	作業的績效標準模稜兩可時 Ambiguity in the required performance standards	5
12	系統回饋不佳、模稜兩可或匹配不良的情況 Poor, ambiguous or ill-matched system feedback	4
13	操作者感受的風險與實際風險有落差時 A mismatch between perceived and real risk	4
14	操作者執行計畫中的行為時沒有得到清楚、直接且即時的確認資訊，這些資訊應該來自於已進行部分控制的系統。 No clear, direct and timely confirmation of an intended action from the portion of the system over which control is exerted	4
15	操作者經驗不足（如剛通過考核但技術不熟的技工） Operator inexperience (e.g., a newly qualified tradesman but not an expert)	3

失誤產生條件（EPCs）		最大 影響因數
16	品質低落的資訊透傳遞或不良的人員互動 An impoverished quality of information conveyed by procedures and person-person interaction	3
17	很少或根本沒有獨立驗證來測試結果的情況 Little or no independent checking or testing of output	3
18	長期目標與短期目標發生衝突時 A conflict between immediate and long term objectives	2.5
19	真實程度的檢查作業沒有多樣化的資訊輸入 No diversity of information input for veracity checks	2.5
20	個人的教育程度與作業所需的要求之間有落差 A mismatch between the educational achievement level of an individual and the requirements of the task	2
21	鼓勵採用其他較危險程式的情況 An incentive to use other more dangerous procedures	2
22	操作者在工作範圍之外，很少有機會思考或鍛鍊身體 Little opportunity to exercise mind and body outside the immediate confines of a job	1.8
23	不可靠的儀器（已被標明不可靠） Unreliable instrumentation (enough that it is noticed)	1.6
24	須要超出操作者能力與經驗的判斷 A need for absolute judgements which are beyond the capabilities or experience of an operator	1.6
25	功能與權責定位不清 Unclear allocation of function and responsibility	1.6
26	沒有顯著的方法記錄操作過程 No obvious way to keep track of progress during an activity	1.4
27	體力可能無法負荷或超出實際處理能力的危險 A danger that finite physical capabilities will be exceeded	1.4
28	任務本身的意義不大或根本沒意義 Little or no intrinsic meaning in a task	1.4
29	高度的情緒壓力 High level emotional stress	1.3

失誤產生條件（EPCs）		最大 影響因數
30	操作者生病，特別是發燒的時候 Evidence of ill-health amongst operatives especially fever	1.2
31	工作士氣低落 Low workforce morale	1.2
32	程式不一致 Inconsistency of meaning of displays and procedures	1.2
33	很糟或不友善的環境 A poor or hostile environment	1.15
34	長時間無動作或高度重複的低思考工作（前半小時×1.1/其他則×1.05） Prolonged inactivity or highly repetitious cycling of low mental workload tasks (1st half hour/thereafter)	1.1/1.05
35	睡眠週期被打斷的工作 Disruption of normal work sleep cycles	1.1
36	操作步調被其他人打擾 Task pacing caused by the intervention of others	1.06
37	任務在基本人力需求外，有多餘的人力同時執行工作的情況（其他每個成員×1.03） Additional team members over and above those necessary to perform task normally and satisfactorily. (per additional team member)	1.03
38	執行作業的人員具有經驗 Age of personnel performing perceptual tasks	1.02

資料來源：[64]

### 3.9.3 定量分析

HEART 的量化計算方法說明如式(3.46)：

$$P(f) = NHEP \times \prod [(EPC_i - 1) \times APOA_i + 1] \quad (3.46)$$

其中：

$P(f)$ ：人為失誤機率

$NHEP$ ：潛在人為失誤率

$EPC_i$ ：失誤產生條件之最大影響因數

$APOA_i$ ：影響比率

由此種方式計算機率值有可能使結果  $P(f) > 1$ ，因此 Williams<sup>[113]</sup> 說明若發生該情況時，則令發生機率定為  $P(f) = 1$ 。

以下舉出「列車長未確實檢查車門是否關妥」案例，說明人為錯誤評估的程序。經判斷該類失誤屬於表 3.25 通用任務類型中的：「G. 每小時都要做好幾次的例行公事，操作者非常熟悉也需要盡量以高標準進行的工作，就算做錯也還有時間即時修正，但對操作者來說沒有明顯助益的工作」，其對應之潛在人為失誤率  $NHEP = 0.0004$ 。

接著透過表 3.26 來判斷列車長執行此項檢查任務時可能受影響的情境，包括有五種失誤產生條件（EPC），分別為：

1. 「02.有時間壓力無法進行錯誤的檢查或修正的情況」。
2. 「29.高度的情緒壓力」。
3. 「33.不良或不友善的環境」。
4. 「35.睡眠週期被打斷的工作」。
5. 「37.任務在基本人力需求外，有多餘的人力同時執行工作的情況」。

接下來必須透過專家的腦力激盪，判斷每種條件的影響比率，之後則可透過表 3.27 分析出「列車長未確實檢查車門是否關妥」的失誤機率值約為 0.00177，亦即大約每執行 565 次列車關門任務即可能發生 1 次車門未關妥事件。

表3.27 HEART 定量分析案例

G T T	G.每小時都要做好幾次的例行公事，操作者非常熟悉也需要盡量以高標準進行的工作，就算做錯也還有時間即時修正，但對操作者來說沒有明顯助益的工作			潛在人為失效率
				0.0004
項 目	失誤產生條件 EPC	最大 影響 因數	影響比率 APOA	因數評估值
	02.有時間壓力無法進行錯誤的檢查或修正的情況	11	0.3	$(11-1) \times 0.3 + 1 = 4$
	29.高度情緒壓力	1.3	0.2	$(1.3-1) \times 0.2 + 1 = 1.06$
	33.不良或不友善的環境	1.15	0.2	$(1.15-1) \times 0.2 + 1 = 1.03$
	35.睡眠週期被打斷的工作	1.1	0.1	$(1.1-1) \times 0.1 + 1 = 1.01$
	37.任務在基本人力需求外，有多餘的人力同時執行工作的情况	1.03	0.1	$(1.03-1) \times 0.1 + 1 = 1.003$
列車長未確實檢查車門是否關妥之失誤機率 $= 0.0004 \times 4 \times 1.06 \times 1.03 \times 1.01 \times 1.003 = 0.00177$				

註：本表探討之內容為假設情境下之案例。

### 3.9.4 方法優點與限制

HEART 的優點包括有：

1. 快速簡單的計算方法。
2. 可用相對有限的資料來進行評估。

HEART 的限制<sup>[43]</sup>包括有：

1. 通用任務類型（GTT）與失誤產生條件（EPC）的確認須更明確的說明，以幫助使用者區別相關作業與失誤產生條件。
2. 由於部分失誤產生條件（EPC）隱含於各項作業的描述中，所以可能存在重覆計算的問題，若清楚切割各個 EPC 與 GTT 的關係，則又必須假設各因素間彼此獨立，恐於實際情形不符。
3. 影響比率（APOA）取決於分析者的主觀認定。
4. 通用任務類型（GTT）的失效率與失誤產生條件（EPC）的最大影響因數值，應用到不同領域時缺乏驗證。

### 3.10 小結

茲將上述的幾種適用於軌道系統風險分析方法之主要精神、適用時機、方法優點以及限制比較如表 3.28 所示，後續應用上，則可視危害的類型來選擇合適的分析方法。

表3.28 風險分析方法比較表

方法 內容	主要精神	適用時機	方法優點	方法限制
PHA	透過歷史經驗找系統內可能潛藏之重大危害	營運初期歷史資料尚不充足，或欲全盤檢視所有危害，挑選高風險者進行深入分析時。	省時快速的檢視所有危害。	可能高估或低估危害風險，可能忽略意料之外的危害。
FMECA	分析各失效模式對系統產生的影響	有較充分資料，且欲對所有危害進行全盤檢視時。	清楚條列所有危害的可能原因與可能後果，以及現況或預計採行的防護手段。	所需時間較 PHA 長，且多個失效同時發生時的後果不易評估。
FTA	分析造成頂端事件之各種原因因彼此間的關係	僅分析危害發生機率，適合高風險危害，且該危害牽涉複雜人員、設備、環境時。	清楚表示各種危害原因之間的關係，方便研擬改善對策	所需時間長，危害原因沒有必然因果關係時不適用。
ETA	分析危害發生後，接續發生的關鍵事件對危害嚴重度的影響	僅分析危害嚴重度，特別適用於當系統已有防護措施，但欲了解其失效的影響時。	釐清影響危害嚴重度的關鍵，方便評估各種情境下的結果。	影響危害後果的關鍵不明顯時不適用。
RBD	為系統結構網路，利用成功導向的方式來描述系統功能	適合分析元件與設備的失效關係，僅分析發生機率。	分析結果較直覺，方便後續量化分析。	危害原因複雜時不易構建。
CED	透過觀察與腦力激盪，綜合思考可能原因	適用於危害發生原因沒有一定的因果關係，或分析者尚未釐清分析對象的運作邏輯時。	簡單好操作，危害原因考量較周詳。	不易釐清關鍵原因，容易納入不重要的影響因素。

內容 方法	主要精神	適用時機	方法優點	方法限制
Human Error HAZOP	透過引導字，輔助專家 團隊找出系統潛在錯誤	適合分析人為疏失為主因的危害， 且能邀集各領域專家參與，有較長 時間可充分分析危害時。	開放性思考，易發現意料之 外的問題。	所需時間長，需要多元的 成員參與，但實務上跨部 門的成員不易有共同時 間。
HEART	分析人為錯誤的失效機 率。	適合分析人為錯誤為主因的危害， 且欲估計錯誤發生機率時。	適用性高，相對簡單的人為 錯誤量化分析方法。	受分析者的主觀認定影 響大，失誤率的適用性不 易驗證。



## 第四章 軌道系統風險評量與接受原則

風險評量是本研究的另一項重點，本章回顧軌道系統風險評量與風險接受原則，供後續研究參考。

### 4.1 風險評量原則

依據 EN50126<sup>[21]</sup>之定義，風險評量時應同時將危害的發生機率與嚴重程度考量在內，而透過風險矩陣之方式，正可將發生機率與嚴重程度同時考慮在兩個維度內，同時又可構建欲分析危害的風險等級或風險值，因此風險矩陣為各軌道系統風險評量常使用的工具，茲舉一範例如表 4.1 所示。

表4.1 風險矩陣表範例

風險矩陣		嚴重等級			
		輕微	不嚴重	嚴重	災難
發生 機率 等級	經常				
	有可能				
	偶然				
	甚少				
	不大可能				
	不可能				

風險矩陣的主要功能在於輔助決策者評量各種危害的風險等級或風險值，以供風險處理時可排出優先順序，評量時常用的方法包括定性、定量或半定量之方式<sup>[127, 145, 146, 175]</sup>，其中又以半定量最常見於軌道系統實務運作上，包括香港、澳洲、台北捷運、高雄捷運、台灣高鐵、機場捷運等系統都是採用類似作法。

無論採定量、半定量或定性風險矩陣，最後要評量風險等級時仍須透過落點法、相加法或相乘法來綜合考量發生機率與嚴重度，相關作法說明如下。

### 1. 落點法

此法可直接利用發生機率與嚴重程度之定性描述，在風險矩陣中找到落點位置，或者先將發生機率與嚴重程度以某門檻值做半定量之分類後，再依據半定量等級採落點方式得出危害在矩陣內的位置。經比對其落點區塊屬於預設高風險、中風險或低風險來進行分析，惟此法無法判別落於同一區塊內之不同危害間的優先等級。

### 2. 相加法

此法通常搭配半定量之發生機率與嚴重程度來使用，是將發生機率與嚴重程度之半定量維度值相加而得風險值。相較於落點法，相加法對於落在相同風險區域內之危害有更進階的資訊可找出風險處理的優先順序。

### 3. 相乘法

若危害的嚴重性與發生機率是不經排序或分類所計算出來的原始資料，則適合用相乘的方式得出風險值。由於此法需要有完整的嚴重等級與發生機率之初始資料，因此需要更多的時間、人力與經費來進行調查與執行。

## 4.2 風險接受原則

有關風險接受原則的部分，在 EN50126<sup>[21]</sup>中提到常用的方法包括有英國、德國與法國之觀念，說明如下。

### 1. 英國 ALARP

英國從成本效益的觀念出發，採用的方法是合理的情況下將風險降至最低（As Low As Reasonably Practicable，以下簡稱 ALARP）的

概念，其作法是訂出風險門檻值的上下限，分別是可容忍上限值(Limit of Tolerability, LOT) 以及期望下限值 (Limit of Acceptability, LOA) ，並將風險區分為三個等級，分別為：

### (1) 無法容忍區

若評估出來的安全風險高於上限 LOT 者，則該風險將被視為無法容忍風險，且於任何狀況下都不可被視為是安全的，必須立即採取改善措施。

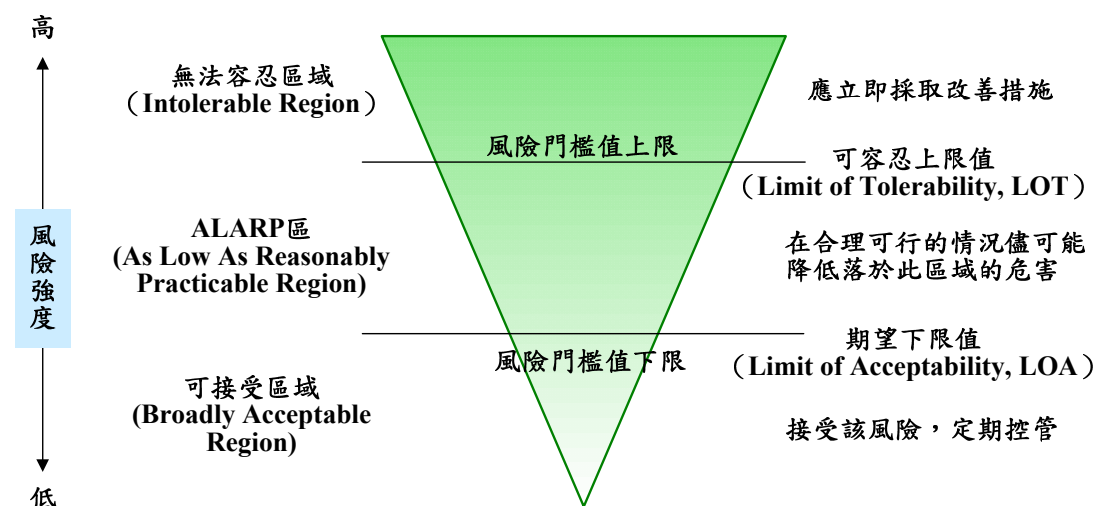
### (2) 可接受區

若評估出來的安全風險低於下限 LOA 者，則為可接受風險，不用再額外花費來降低該風險，只需要定期監控。

### (3) ALARP 區

若風險值介於上限 LOT 與下限 LOA 之間者，則稱之為落在 ALARP 範圍，亦即須考量風險降低手段所需要的成本和實施該手段所帶來的利益，經評估後認為成本效益在合理可接受範圍內，則應儘可能採行降低風險的手段。

上述各區與對應的手段示意如圖 4-1。



資料來源：[21, 127]及本研究繪製

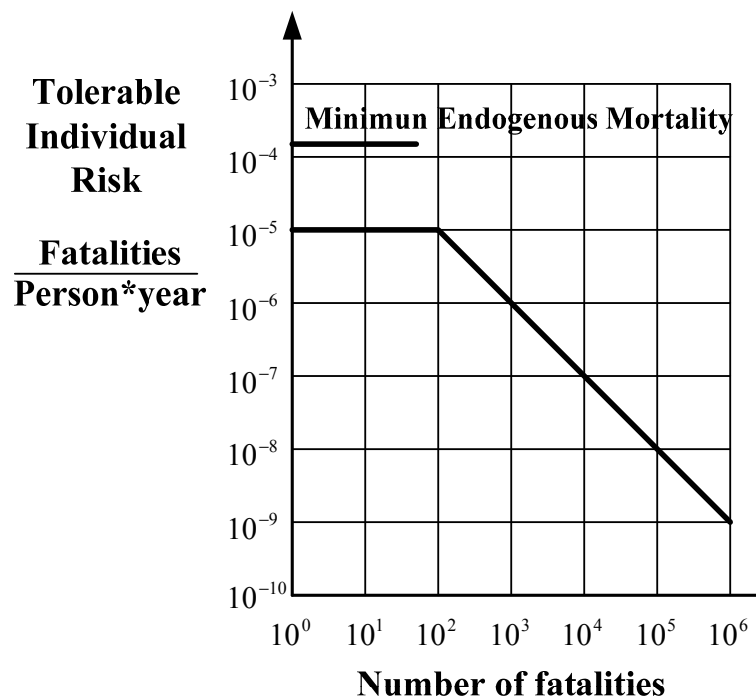
圖4-1 英國風險管理 ALARP 概念

## 2. 德國 MEM

德國從日常生活的角度出發，採用最小內生死亡率 Minimum Endogenous Mortality（以下簡稱 MEM）的方法。該原則說明每個人在娛樂、工作、交通...等活動中均會受到致命威脅，以先進國家而言，排除因疾病或先天身障之死亡，5~15 歲青年暴露在各個系統中的致命死亡率為每人每年  $2 \times 10^{-4}$ ，如圖 4-2 所示。而新系統所帶來的風險，應不致於明顯的增加該致命風險值。因此，德國政府針對新設的軌道系統有以下的風險值規定：

- (1) 死亡率  $\leq 10^{-5}$  /人年
- (2) 重傷率  $\leq 10^{-4}$  /人年
- (3) 輕傷率  $\leq 10^{-3}$  /人年

此外，圖 4-2 亦說明因應系統可能造成之死傷規模不同，因此會隨著總死亡人數增加而逐漸提高風險門檻。



資料來源：[21]及本研究繪製

圖4-2 德國最低可接受死亡風險圖

### 3. 法國 GAMAB

法國從政府管制的角度出發，採用的方法是 Globalement Au Moins Aussi Bon（相當於 Globally At Least As Good As，以下簡稱 GAMAB/GAME），即代表新系統安全性至少要與現有同類型系統一樣好。

## 4.3 門檻值的建立

在軌道系統內各種人員、設備、作業均存在風險，儘管有些風險很低但仍可量度，因此若能建立一套標準，界定系統風險的可容忍上限值（LOT）以及期望下限值（LOA），對管理者來說，判斷改善措施執行與否及執行的優先順序有很大的幫助。

有關「風險接受度」的觀念，最早源自於 1992 年英國安全與健康執行委員會（HSE）的核電廠風險接受度報告<sup>[46]</sup>，直到 1999 年 HSE 在一份降低旅客風險的報告<sup>[45]</sup>中，又重新確認並歸納風險接受度的原則與應用實務，自此之後該風險接受度的觀念普遍被各產業界採用。

導入「風險接受度」觀念時，首要步驟是評估可容忍上限值（LOT），HSE 的報告<sup>[46]</sup>中提到，可容忍上限值並非藉由科學化之計算來建立，而是經由觀察當時社會大眾與營運單位所能容忍的風險度而定。此外，期望下限值（LOA）係一個理想的追求目標，由於未必能達成，因此會設立一個介於 LOT 與 LOA 之間的整體風險目標。茲將該研究中針對 LOT、LOA 與風險目標的建議整理如下：

1. 任何產業中，單一員工安全風險的可容忍上限值（LOT）應為  $10^{-3}$  等效死亡/每年。
2. 大規模工業災害中，單一大眾安全風險的可容忍上限值（LOT）應為  $10^{-4}$  等效死亡/每年。
3. 個人安全風險的期望下限值（LOA）應為  $10^{-6}$  等效死亡/每年，若欲使風險低於此標準而須付出龐大成本時，則不予考慮。

4. 新建置系統的技術通常會超越之前的控制程度，因此風險標的通常會比可接受風險值（LOT）低很多。

2008 年北歐的核能安全研究中心<sup>[72]</sup>蒐集不同國家在不同領域有關可容忍上限值（LOT）的建議值，茲將其整理如表 4.2所示：

表4.2 個別風險可容忍上限值一覽表

國家	應用	可容忍上限值 (LOT)	可忽略的 風險水準	備註
荷蘭	既有工廠	$10^{-5}$	不適用	
	新設工廠	$10^{-6}$	不適用	
英國	有危險的產業	$10^{-4}$	廣義目標為 $10^{-6}$	可被忽略者為 $10^{-7}$
	有危險的貨品運送	$10^{-4}$	$10^{-6}$	
	工廠旁的新建案	$10^{-5}$	$10^{-6}$	
捷克	既有設施	$10^{-5}$	—	一定要執行風險處理
	新建設施	$10^{-6}$	—	
匈牙利	危險設備	$10^{-5}$	$3 \times 10^{-6}$	
香港	新設工廠	$10^{-5}$	無	
澳洲-新南威爾斯州	新設工廠與新蓋房屋	$10^{-5}$	無	
澳洲-維多利亞州	既有設施	$10^{-5}$	目標為 $10^{-7}$	
美國加州	新設工廠	$10^{-5}$	$10^{-6}$	
德國	交通建設	$10^{-5}$	—	

註：單位為等效死亡/每年

資料來源：[72]

表 4.3舉出 5 個軌道系統在旅客、大眾與員工之風險可容忍上限值（LOT）與風險期望下限值（LOA），由表中可知高速鐵路的標準相對最高、捷運系統次之、傳統城際鐵路則相對標準較低。

此外，由於臺鐵目前尚未訂定此安全風險標準之門檻值，因此本研究透過 2008~2010 年事故資料，來評估每一位臺鐵通勤旅客與非通勤旅客一年遭遇的致命風險，之後再以該值域範圍來擬定臺鐵在此兩個門檻的建議值，茲將相關數據整理如表 4.4所示。

表4.3 可參考之系統安全風險標準

風險標準	單一人員致命風險（每年）									
	可接受值（LOT）					目標值（LOA）				
	Rail-track	倫敦地鐵	香港機鐵	高雄捷運	台灣高鐵	Rail-track	倫敦地鐵	香港機鐵	高雄捷運	台灣高鐵
旅客風險	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-5}$	$10^{-10}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	整體風險為「0」等效死亡
大眾風險	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	
員工風險	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$2 \times 10^{-4}$	$3.5 \times 10^{-4}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	

註：除台灣高鐵之旅客風險為「等效死亡/旅次」，其餘之單位均為「等效死亡/人年」。

表4.4 臺鐵單一旅客一年致命風險

年度	通勤旅客	非通勤旅客	LOT 建議值	LOA 建議值
2008	$3.89 \times 10^{-5}$	$2.69 \times 10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$
2009	$7.72 \times 10^{-5}$	$6.26 \times 10^{-6}$		
2010	$4.98 \times 10^{-6}$	$6.24 \times 10^{-5}$		

有關表 4.4臺鐵旅客致命風險值的計算假說明如下：

1. 受傷的等效死亡係數採 0.1，與國內公路交通事故慣用的 0.368 不同，原因說明如下：

- (1) 鐵路系統中，許多事故中人員的受傷程度僅為輕傷，例如旅客車上摔倒、站內摔倒等，相較於公路事故多為碰撞來說，鐵路系統人員受傷的嚴重性相對較低，若採 0.368 會造成 3 個旅客站內摔倒受傷被視為 1 個旅客站內摔倒死亡，與常理不符，恐高估危害風險。
  - (2) 歐盟所制定的 EN50126-2<sup>[22]</sup>將鐵路系統的受傷區分為重傷與輕傷，其中，1 重傷視為 0.1 等效死亡，1 輕傷視為 0.01 等效死亡。
  - (3) 英國 RSSB<sup>[80]</sup>將鐵路系統的受傷區分為重傷與輕傷，其中，1 重傷視為 0.1 等效死亡，1 輕傷視為 0.005 等效死亡，而目前台灣高鐵<sup>[121]</sup>即是採用此數值進行統計與分析。
  - (4) 運研所「交通建設計畫經濟效益評估作業之研究」中之死亡相對於傷殘的貨幣比值為 10：1，與等效死亡係數 0.1 的意義雷同。
  - (5) 目前臺鐵內部的「行車保安資訊系統」的等效死亡係數亦採用 0.1。
2. 假設通勤旅客一年搭乘 320 次（一年 200 工作天，早晚各 1 次，80%調整）
  3. 假設非通勤旅客一年搭乘 8 次<sup>[128]</sup>。

茲將表 4.3與表 4.4之數值繪製如圖 4-3所示，圖中顯示國內外 4 個軌道系統的風險門檻標準與其 ALARP 區間，同時並將建議臺鐵的風險門檻及 2008~2010 年間通勤與非通勤旅客的致命風險標示上，可得知臺鐵單一旅客一年致命風險均落於建議門檻的 ALARP 區間內（ $10^{-4} \sim 10^{-6}$ ），表示臺鐵在合理可行的情況下應繼續降低旅客風險。



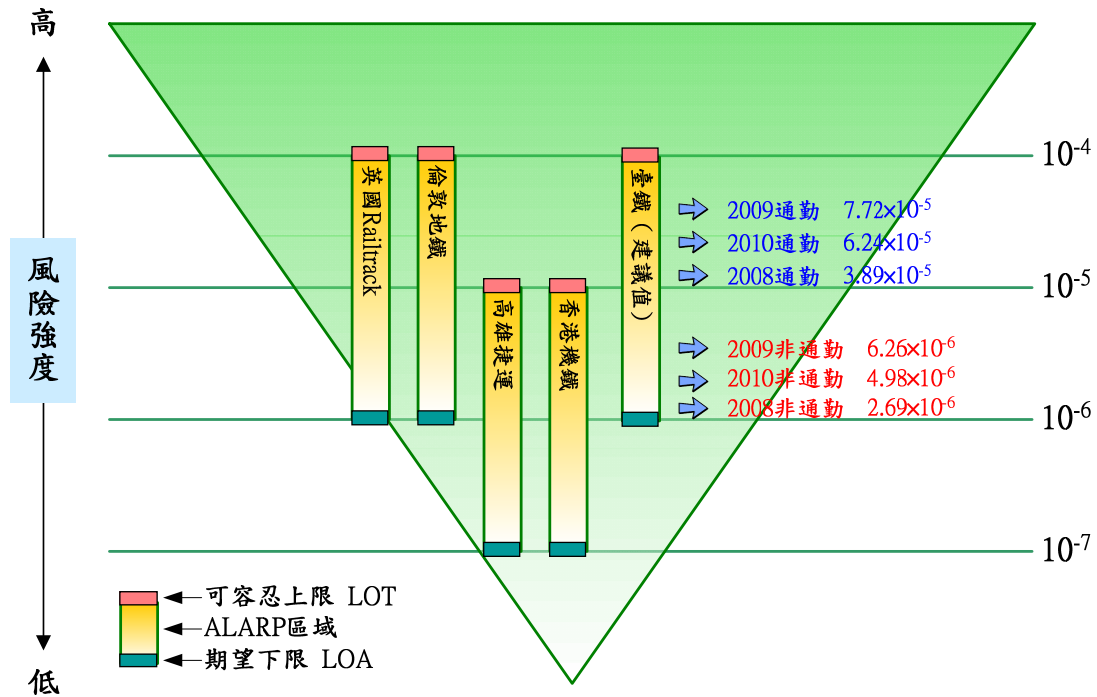


圖4-3 臺鐵旅客安全風險門檻建議值

有關上述臺鐵風險門檻值的擬定係初步的建議值，實務上仍取決於臺鐵欲達成的安全目標及能投入資源的多寡，臺鐵後續仍應邀集各部門專家（如：運務處、工務處、機務處、電務處、行保會、勞安室、防護團、企劃處...等）一起討論適合的風險門檻值，同時定期檢討以訂定出一個符合安全，又不會過度耗用資源的標準值。

#### 4.4 風險目標配當

整體安全風險標的可透過風險配當方式，將其分攤到各子系統內，以成為各系統之安全風險目標（例如：電扶梯、號誌、供電...等），而營運單位則可採用系統化的安全管理程序，確保達成風險目標，以下將說明兩種實務上常用之配當方法。

## 1. 依歷史經驗比例推估

此方式首先要能得知欲推估對象之整體風險值，然後再根據歷史經驗得知各子系統所占風險之百分比，並以此比例來進行配當。例如：假使 A 軌道系統之旅客風險值目標為每旅次小於  $2 \times 10^{-9}$  等效死亡，若歷史經驗得知電聯車系統占安全風險比例為 29.7%，則每旅次的電聯車致命風險配當後應小於  $0.594 \times 10^{-9}$  等效死亡，表 4.5 依此原則說明號誌、軌道設備、電扶梯、供電與月台門配當後的風險目標。

表4.5 依歷史經驗比例配當風險

子系統 \ 安全風險	單一旅客的致命風險目標 (每旅次)	
	配當百分比	A 軌道系統風險目標
電聯車	29.7 %	$0.594 \times 10^{-9}$
號誌	5.1 %	$0.102 \times 10^{-9}$
軌道設備	56.4 %	$1.128 \times 10^{-9}$
電扶梯	7.3 %	$0.146 \times 10^{-9}$
供電	0.5 %	$0.01 \times 10^{-9}$
月台門	1.0 %	$0.02 \times 10^{-9}$
整體風險		$2 \times 10^{-9}$

## 2. 參考其他軌道系統的經驗

若無法得知欲推估對象之整體風險時，營運單位仍可透過歸納類似系統之方式來推估風險目標，其方式為透過與類似系統之比對，如：路網設計、營運特性、旅客平均搭乘里程、號誌系統...等方式，來擬定各子系統應取其安全風險目標之比例為何。舉例來說，若 B 軌道系統欲參考倫敦地鐵及香港機場快鐵的風險標準，經評估後決定採用倫敦地鐵及香港機場快鐵之風險值比例如表 4.6 所示，則可得出 B 軌道系統內各子系統的風險標準。

表4.6 採其他系統推估風險標準範例

安全風險 子系統	單一旅客的致命風險（每旅次）				
	倫敦地鐵 風險目標	比例	香港機場快鐵 風險目標	比例	B 軌道系統 風險目標
電聯車	$6.67 \times 10^{-9}$	30%	$3.80 \times 10^{-10}$	70%	$2.27 \times 10^{-9}$
號誌	$1.02 \times 10^{-8(a)}$	40%	$1.00 \times 10^{-10}$	60%	$4.14 \times 10^{-9}$
軌道設備	$2.40 \times 10^{-9}$	10%	$1.10 \times 10^{-9}$	90%	$1.23 \times 10^{-9}$
電扶梯	$9.00 \times 10^{-10}$	30%	$4.00 \times 10^{-11}$	70%	$2.98 \times 10^{-10}$
供電	$3.70 \times 10^{-10}$	100%	0 <sup>(b)</sup>	0%	$3.70 \times 10^{-10}$
月台門	不適用 <sup>(c)</sup>	0%	$2.00 \times 10^{-11}$	100%	$2.00 \times 10^{-11}$

註：(a)無 ATP 保護、(b)使用架空線，封閉系統無平交道下，不致造成旅客危害、  
(c)無月台門。

資料來源：倫敦地鐵、香港地鐵

由上述兩種方法可知，風險目標之擬定並非藉由複雜模型演練得出，而是藉由經驗估計子系統可能占風險之比例，或者透過其他營運單位已達成或者預期達成之結果所配當出，因此其所展現的風險值是實用及合理之預期，而非數學模式的假設。

## 4.5 小結

透過本章的回顧，綜整相關結果如下：

1. 歸納風險評量原則可採用的方式包括有：
  - (1) 定性風險矩陣搭配落點法。
  - (2) 半定量風險矩陣搭配落點法。
  - (3) 半定量風險矩陣搭配相加法。
  - (4) 定量風險矩陣搭配相乘法。

2. 上述方法中，以「定量維度搭配相乘法」能得出最精確的風險值，惟所耗費成本最高，因此「半定量維度搭配落點法」或「半定量維度搭配相加法」較常見於軌道系統實務作業上。
3. 有關風險接受原則部分，由於 ALARP、MEM、GAMAB 三種方法中，僅英國之 ALARP 合理的情況下將風險降至最低原則有探討到成本效益的觀念，因此 ALARP 方法較常見於各軌道系統之實務作業上。
4. 整體風險門檻值之建立係社會大眾與營運單位所能容忍的風險度，而各子系統之風險目標配當則可透過以下兩種方式：
  - (1) 依歷史經驗比例推估。
  - (2) 參考其他軌道系統的經驗。

## 第五章 國內外軌道風險分析與評量實務

軌道系統通常視安全風險管理作業為公司內部之資產，由於資料蒐集取得不易，故本節主要以國內外監理或營運機構，以及一些研究單位主動公開之資訊為主。5.1節蒐集整理國外系統資料，5.2節則以國內經驗為主，5.3節說明軌道系統常用來記錄風險分析與評量結果的危害登錄表，5.4節說明可借鏡的軌道風險管理實務經驗，5.5節則在理想假設條件下，以一火災案例說明風險分析與評量的實務操作流程。

### 5.1 國外案例

本章節所回顧的風險分析與評量實務案例包括有：歐洲MODURBAN、倫敦地鐵、澳洲塔斯馬尼亞州際鐵路、澳洲糖鐵、美國軍規、韓國軌道研究中心、香港地鐵、東日本鐵道及中國城際鐵路。

#### 5.1.1 歐洲 MODURBAN

MODURBAN (Modular Urban Guided Rail System)<sup>[65, 66]</sup>是一個從2005年1月開始為期4年，由歐盟出資50%邀集歐洲許多都會捷運業者與城際軌道業者共同進行的研究計畫，主要目的是設計發展出新一代通用的軌道系統核心介面標準，提供給所有軌道營運業者與系統開發商參考，其中亦有部分內容建議安全風險的評量方式。

MODURBAN 沿用英國愛丁堡機場快線<sup>[26]</sup>的風險矩陣，以危害的嚴重程度與發生機率之定性描述來衡量風險。其中嚴重程度如表 5.1 所示區分為 5 個等級，危害的發生機率如表 5.2 所示區分為 5 個等級，兩者所組成之風險矩陣如表 5.3 所示。其風險矩陣值係依據嚴重程度及發生機率的落點得出等級，而等級所代表的意義可參考表 5.4。

表5.1 MODURBAN-嚴重程度分級表

等級	嚴重程度	
1	輕微 Minor	3 天內修養的輕傷，或導致 0~15 分鐘延誤
2	稍嚴重 Marginal	須修養 3 天以上的輕傷，或導致 15~60 分鐘延誤
3	嚴重 Major	重傷導致住院 24 小時以上，或者延誤 1 小時以上
4	很嚴重 Critical	1 人死亡，或小於 8 小時內之停止營運，或延誤超過 3 小時
5	非常嚴重 Catastrophic	多人死亡，或超過 8 小時以上之停止營運，或延誤超過 4 小時

資料來源：[66]及本研究整理

表5.2 MODURBAN-發生機率分級表

評分	發生機率	
1	不大可能 Improbable	每 1 百年發生 1 次以上
2	甚少 Remote	每 10 年發生 1 次以上
3	偶然 Occasional	每 1 年發生 1 次以上
4	有可能 Probable	每月發生 1 次以上
5	經常 Frequent	每周發生 1 次以上

資料來源：[66]及本研究整理

表5.3 MODURBAN 安全風險矩陣表

風險矩陣		嚴重程度				
		輕微 Minor	稍嚴重 Marginal	嚴重 Major	很嚴重 Critical	非常嚴重 Catastrophic
發生 機率	經常 Frequent	Amber	Red	Red	Red	Red
	有可能 Probable	Amber	Amber	Red	Red	Red
	偶然 Occasional	Green	Amber	Amber	Red	Red
	甚少 Remote	Green	Green	Amber	Amber	Red
	不大可能 Improbable	Green	Green	Green	Amber	Red

資料來源：[66]及本研究整理

表5.4 歐洲 MODURBAN 安全風險等級一覽表

等級	意義	因應措施說明
Green	低風險	可接受或忽略之風險
Amber	中風險	依據 ALARP 原則採適當的處理方式
Red	高風險	必須立即降低該風險值

資料來源：[66]及本研究整理

### 5.1.2 英國倫敦地鐵

英國的倫敦交通局（Transport for London, TfL）是負責管理英國首都大倫敦區主要運輸系統的地方政府機關，其主要的角色是將運輸政策或計畫付諸執行，並管理倫敦地區的運輸服務。

該局針對倫敦地鐵的風險評量方式係以定性的嚴重度描述搭配半定量發生機率來衡量。嚴重程度如表 5.5 所示區分為 5 個等級，危害的發生機率如表 5.6 所示分為 6 個等級，兩者所組成之風險矩陣如表 5.7 所示。其風險矩陣值係依據嚴重程度及發生機率的評分相加所得，數值所代表的意義可參考表 5.8 所示。

表5.5 英國倫敦地鐵-嚴重程度分級表

評分	嚴重程度	
15	非常嚴重	Fatal
14	很嚴重	Severe
11	嚴重	Major
8	稍嚴重	Serious
4	輕微	Minor

資料來源：[107]及本研究整理

表5.6 英國倫敦地鐵-發生機率分級表

評分	發生機率	
13	每天	Every day
12	每週	Every week
10	每月	Every month
9	每六個月	Every six months
8	每年	Every year
6	每三年	Every three years
5	每十年	Every ten years
1	小於每十年	Less frequent than every ten years

資料來源：[107]及本研究整理

表5.7 英國倫敦地鐵-安全風險矩陣表

風險矩陣		發生機率							
		每天	每週	每月	每六個月	每年	每三年	每十年	小於每十年
嚴重程度	非常嚴重	28	27	25	24	23	21	20	16
	很嚴重	27	26	24	23	22	20	19	15
	嚴重	24	23	21	20	19	17	16	12
	稍嚴重	21	20	18	17	16	14	13	9
	輕微	17	16	14	13	12	10	9	5

資料來源：[107]及本研究整理

表5.8 英國倫敦地鐵-安全風險等級一覽表

風險值	等級	說明
$\geq 19$	高	無法忍受之風險，必須立即改善
15~18	中	中度風險，屬於 ALARP 之區域內，應以符合成本效益的方式來降低風險
$\leq 14$	低	可接受風險

資料來源：[107]及本研究整理



### 5.1.3 澳洲塔斯馬尼亞州際鐵路

澳洲的鐵路公司依據國家鐵路安全管理系統標準與相關準則，同時參酌各州訂定之鐵路安全風險標準，設置該營運機構的鐵路安全管理系統。以塔斯馬尼亞州（Tasmania）為例，其所訂定的鐵路安全風險標準<sup>[17]</sup>（Rail Safety Risk Standard）係採用 EN50126 規範，係以危害的嚴重程度與發生機率之半定量化數值來衡量，嚴重程度區分為 6 個等級，主要依人員死傷與損失金額多寡分類如表 5.9 所示；危害的發生機率也分為 6 個等級，各機率等級的說明如表 5.10 所示；兩者所組成之風險矩陣如表 5.11 所示。其風險值評量方法係依據發生機率與嚴重度的評分相加而得，風險值所代表的風險等級可參考表 5.12 所示。

表5.9 澳洲塔斯馬尼亞州-嚴重程度分級表

評分	死傷程度	財務損失或者認知
6	超過 4 位死亡	每年損失超過 1 億美元以上或者系統需關閉
5	2~3 位死亡	每年損失在 1 千萬~1 億美元之間
4	1 人死亡或多人重傷	每年損失在 1 百萬~1 千萬美元之間
3	嚴重受傷	每年損失在 10 萬~1 百萬美元之間
2	需醫療照顧	每年損失在 1 萬~10 萬美元之間
1	無災害或不需處理	每年損失小於 1 萬美元

資料來源：[17, 127]及本研究整理

表5.10 澳洲塔斯馬尼亞州-發生機率分級表

評分	發生機率
6	每年發生超過 10 次
5	每年發生超過 1 次
4	每 1~10 年發生 1 次
3	每 10~100 年發生 1 次
2	每 100~1000 年發生 1 次
1	每 1000 年小於 1 次

資料來源：[17, 127]及本研究整理

表5.11 澳洲塔斯馬尼亞州-安全風險矩陣表

風險矩陣		嚴重程度					
		1	2	3	4	5	6
發生機 率	6	7	8	9	10	11	12
	5	6	7	8	9	10	11
	4	5	6	7	8	9	10
	3	4	5	6	7	8	9
	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7

資料來源：[17, 127]及本研究整理

表5.12 澳洲塔斯馬尼亞州-安全風險等級一覽表

風險值	風險等級與說明	
11~12	無法忍受之風險，必須停止營運立即改善	
8~10	高度風險	此兩者落於 ALARP 概念的管控範圍，應盡可能採取防範措施降低風險強度
5~7	中度風險	
2~4	可接受風險	

資料來源：[17, 127]及本研究整理

#### 5.1.4 澳洲糖鐵

澳洲糖鐵依據工作場所健康與安全法案（Workplace Health and Safety Act 1995）以及工作場所健康與安全施行細則（Workplace Health and Safety Regulation 2008），制定出符合澳洲 AS4292 標準的糖鐵安全實施規則<sup>[115]</sup>（Sugar Industry Code of Practice 2005），用以規範管理澳洲糖鐵的安全。此外，針對平交道的安全管理部分，又特別依循了 The Australian Level Crossing Assessment Model（ALCAM）<sup>[4]</sup>以及 The Manual of Uniform Traffic Control Devices（MUTCD Queensland）<sup>[78]</sup>來評估其風險與適合的防護措施。

澳洲糖鐵風險矩陣如表 5.13所示，其中風險值係採落點方式處理，風險等級的說明可參考表 5.14所示。

表5.13 澳洲糖鐵-安全風險矩陣表

嚴重性 發生機率	非常嚴重 Extreme	很嚴重 Major	嚴重 Moderate	輕微 Minor
非常可能 Very likely	1	2	3	4
可能 Likely	2	3	4	5
不可能 Unlikely	3	4	5	6
非常不可能 Very unlikely	4	5	6	7

資料來源：[115, 127]及本研究整理

表5.14 澳洲糖鐵-安全風險等級一覽表

風險值	風險等級與說明
1~3	無法忍受之風險，必須停止營運立即改善
4~5	中度風險，必須儘速改善
6~7	可接受風險，無需注意

資料來源：[115, 127]及本研究整理

### 5.1.5 美國軍規標準

美國之軌道系統在風險分析與評量時，係採用美國國防部發表之“System Safety Program Requirements<sup>[111]</sup>, (MIL-STD 882D)”作為標準。該標準主要的程序是從系統安全分析、危害分析評量、綜合評估、最佳化計畫決策，再反饋到系統安全分析，持續提昇系統安全。

MIL-STD 882D 係以危害的嚴重程度與發生機率之定性描述來衡量風險值。嚴重程度如表 5.15所示區分為 4 個等級，危害的發生機率如表 5.16所示分為 6 個等級，兩者所組成之風險矩陣如表 5.17所示。其風險矩陣值係依據嚴重程度及發生機率的評分相加所得，數值所代表的意義可參考表 5.18所示。

表5.15 美國 MIL-STD-822D-嚴重程度分級表

等級	項目	死傷、財損與環境破壞之認知
I	非常嚴重 Catastrophic	人員死亡，財損超過 1 百萬美元，或造成不可恢復之嚴重環境破壞
II	很嚴重 Critical	3 人以上受傷住院，財損超介於 20 萬~100 萬美元間，或造成可恢復之嚴重環境破壞
III	嚴重 Marginal	人員受傷需休息 1~數日，財損超介於 1 萬~20 萬美元間，或輕微之環境破壞可復原
IV	輕微 Negligible	人員受傷但無需休息，財損超介於 2 千~1 萬美元間，或環境破壞幾乎無影響

資料來源：[111]及本研究整理

表5.16 美國 MIL-STD-822D-發生機率分級表

等級	項目	說明
A	經常 Frequent	連續的發生
B	可能 Probabl	常會發生
C	偶爾 Occasional	發生數次
D	很少 Remote	不太可能發生，但合理的期望會發生
E	不太可能 Improbable	幾乎不會發生，但是不排除發生可能

資料來源：[111]及本研究整理

表5.17 美國 MIL-STD-822D-安全風險矩陣表

風險矩陣		嚴重性			
		I	II	III	IV
發生 機率	A	1	3	7	13
	B	2	5	9	16
	C	4	6	11	18
	D	8	10	14	19
	E	12	15	17	20

資料來源：[111]及本研究整理

表5.18 美國 MIL-STD-822D-安全風險等級一覽表

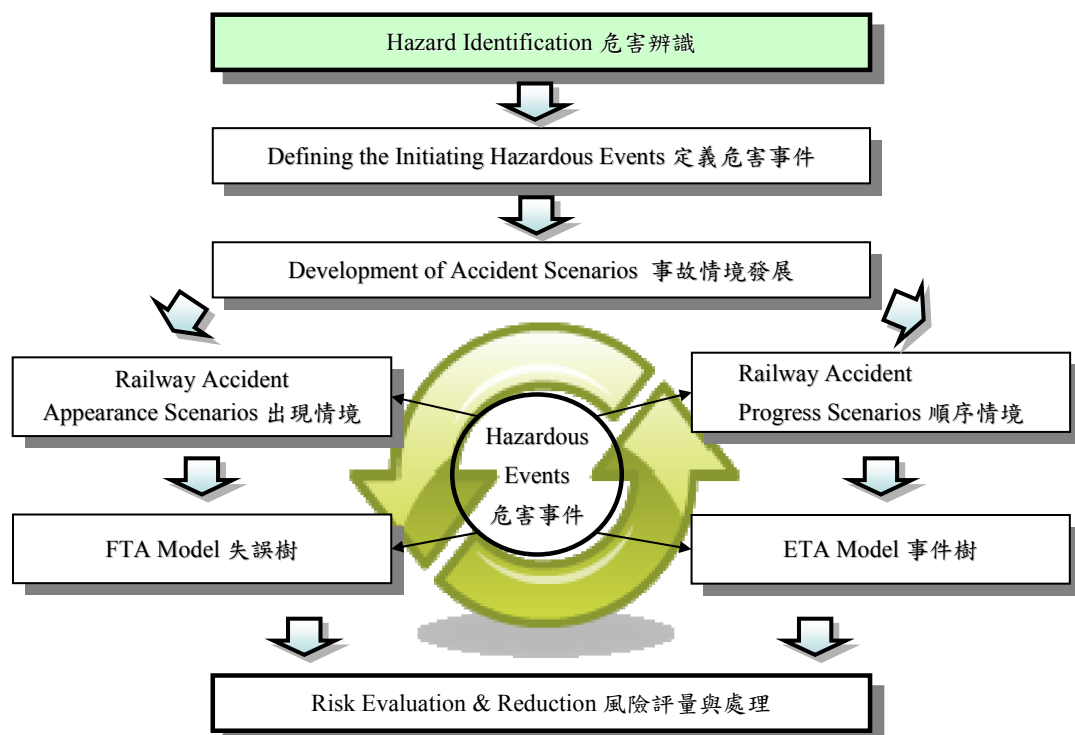
風險值	等級	說明
1~5	高	無法忍受風險，須將風險降低
6~9	嚴重	依據授權將風險值降低
10~17	中	
18~20	低	可接受風險

資料來源：[111]及本研究整理

### 5.1.6 韓國鐵道研究中心

韓國的高鐵系統（Korea Train eXpress, KTX）於 2004 年開始營運，而同年間也一併公布鐵路安全法案（Railway Safety Act），自此之後韓國開始著重於以風險管理為基礎的安全管理系統。

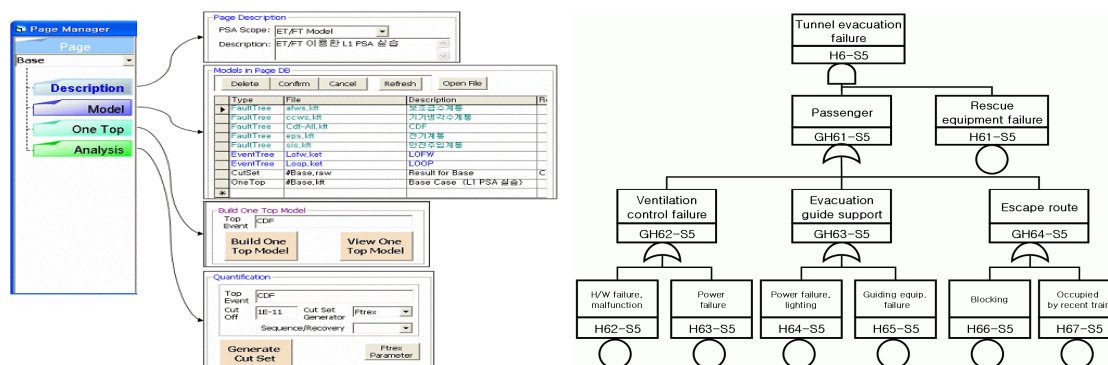
韓國鐵道研究中心（Korea Railroad Research Institute，以下簡稱 KRRI）於 2005 年提出風險管理的架構與分析模型，已應用在韓國的鐵道系統上，同時也提出如圖 5-1 的風險評估程序，包含有：危害辨識、危害定義、情境分析、失誤樹模型、事件樹模型，以及風險評量與處理。



資料來源：[58, 59]

圖5-1 韓國 KRRI 之風險評估程序

圖 5-2乃韓國風險分析的模式，採用失誤樹與事件樹分析法，針對結構、營運與養護三大區塊，各自發展相關的風險模式。



資料來源：[58, 59]

圖5-2 韓國風險分析模式

### 5.1.7 香港地鐵

香港地鐵公司將影響旅客、員工、承商及車務運營的風險等級分為 R1~R4 之 4 個等級，如表 5.19所示，該風險值主要是透過 7 個等級的嚴重程度以及 10 個等級的發生機率，於半定量風險矩陣中採落點法得出，詳如表 5.20所示。

表5.19 香港地鐵-安全風險等級一覽表

風險值	說明	
R1	風險必須降低	
R2	風險在切實可行的情況下必須降低	其中 R2 及 R3 界定為可容許區域，並需符合可行的最低風險程度（ALARP）原則
R3	風險可以忍受，但當符合成本效益時，應進一步降低	
R4	風險是可接受的	

資料來源：[127, 137]及本研究整理

表5.20 香港地鐵-安全風險矩陣表

Double Click The Item For Selecting		CONSEQUENCE						
		7	6	5	4	3	2	1
Staff/Contractor Safety	Fatality	Trivial	Negligible	Marginal	Serious	Critical	Catastrophic	Disastrous
	Major Injury					<5	5 or more	
	Minor Injury			<5	5 or more			
	with >=3 days sick leave							
Passenger /Public Safety	Minor Injury		<5	5 or more				
	with < 3 days sick leave							
	Fatality							
	Major Injury					<5	5-50	51-500
Service	Minor Injury			<5	5-50	51-500	501-5000	501-5000
	System Disruption			<20 min	1 hour	1 day	1 week	1 month
	Line Disruption		20-60 min	few hours	1 day	1 week	1 month	few months
	Station Disruption	<20 min	few hours	1 day	1 week	1 month	few months	1 year
A	Few times per week or more	R3	R1	R1	R1	R1	R1	R1
B	Few times per month	R4	R2	R1	R1	R1	R1	R1
C	Few times per year	R4	R2	R2	R1	R1	R1	R1
D	Few times in 10 years	R4	R3	R2	R1	R1	R1	R1
E	Once since operation	R4	R3	R3	R2	R1	R1	R1
F	Unlikely to occur	R4	R4	R3	R3	R2	R1	R1
G	Very unlikely to occur	R4	R4	R4	R3	R3	R2	R1
H	Remote	R4	R4	R4	R4	R3	R2	R1
I	Improbable	R4	R4	R4	R4	R4	R3	R2
J	Incredible	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R3

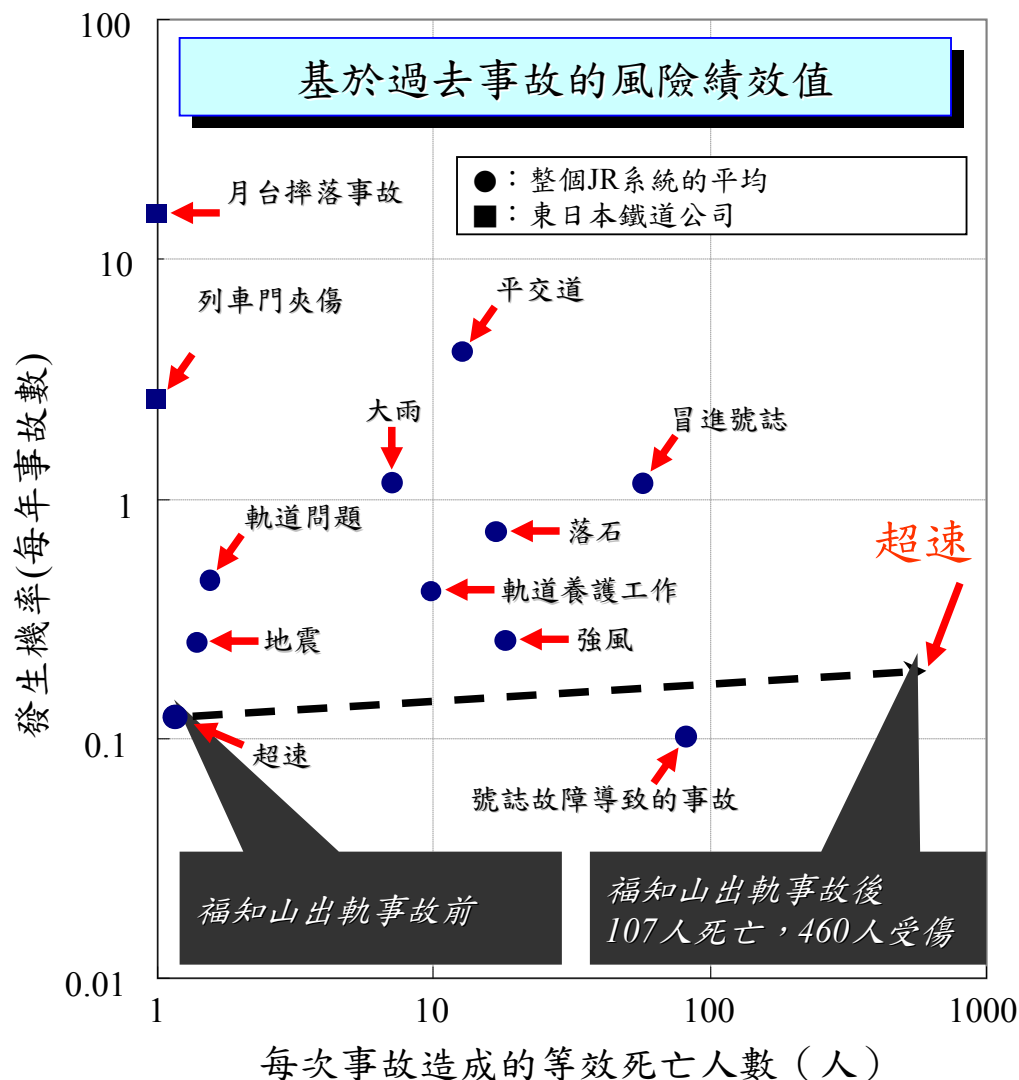
資料來源：[137]



### 5.1.8 東日本鐵道公司

有關風險值的評估，東日本鐵道公司（JR-East）提出了如圖 5-3 的定量風險矩陣，圖中可以看出超速項目在福知山線（Fukuchiyama Line）超速事故造成一百多人死亡及數百人受傷後，已將該項之嚴重程度大幅往上修正。

此外，東日本鐵道公司透過風險分析，亦挑選出特別重視的危害項目以研擬風險處理措施，包括有：東京都會區大地震、平交道闖越、列車超速、出軌、車站月台安全與落石山崩自然災害。

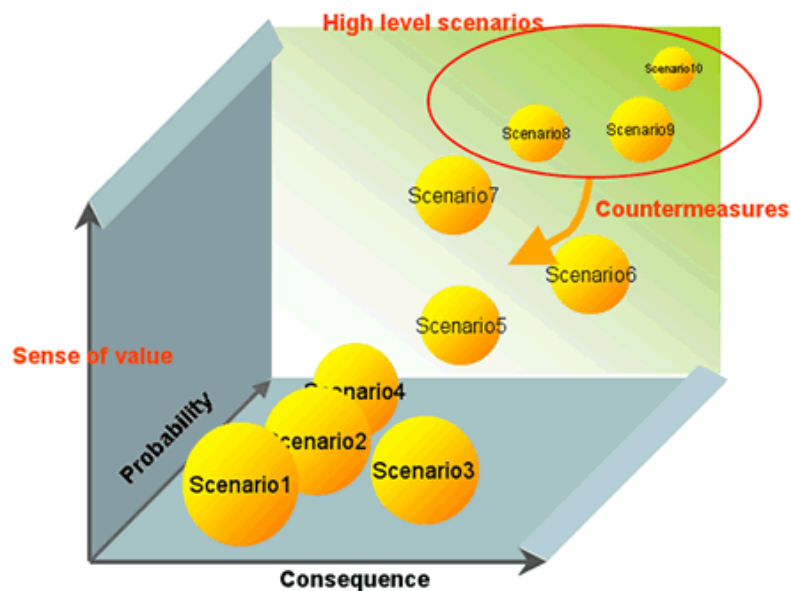


資料來源：[109, 139]及本研究繪製

圖5-3 東日本鐵道公司安全風險矩陣圖



再者，除了以等效死亡人數作為嚴重性指標外，東日本鐵道公司亦將受影響系統的資產價值視為另一項嚴重性指標予以綜合考量，衍生出三維空間的風險矩陣如圖 5-4所示，圖中框起來的危害即代表迫切需要改善的風險。



資料來源：[139]

圖5-4 東日本鐵道公司三維風險矩陣示意圖

### 5.1.9 中國城際鐵路

中國在分析鐵路平交道時，將風險矩陣值分為 A、B、C 共 3 個等級如表 5.21所示，該風險值乃藉由 6 個等級的嚴重程度以及 5 個等級的發生機率，於半定量風險矩陣中採落點法得出風險值，詳如表 5.22 所示。

表5.21 中國平交道-安全風險等級一覽表

風險等級	處理原則
A	不可忍受之風險，必須立即處理
B	該風險須依據 ALARP 來進行處理
C	該風險是可被接受或者忽略者

資料來源：[92]及本研究整理

表5.22 中國平交道-安全風險矩陣表

中國平交道 安全風險矩陣表				嚴重程度					
				死亡	0	0	1-2	3-9	>10
重傷	0	1	2-9	10-49	50-99				
輕傷	1-19	20-199	>200	0	0				
Ranking	C1	C2	C3	C4	C5				
						輕微	重大	嚴重	悲慘
發生機率	數值門檻	描述	等級	F5	B	A	A	A	A
	10-100	每月數次	經常	F4	B	B	A	A	A
	1-10	每年數次	可能	F3	C	B	B	A	A
	1-1/10	十年數次	偶爾	F2	C	C	B	B	A
	1/10-1/100	設計年限內 可能發生	罕見	F1	C	C	C	C	B
	<1/100	設計年限內 不易發生	不可能						B

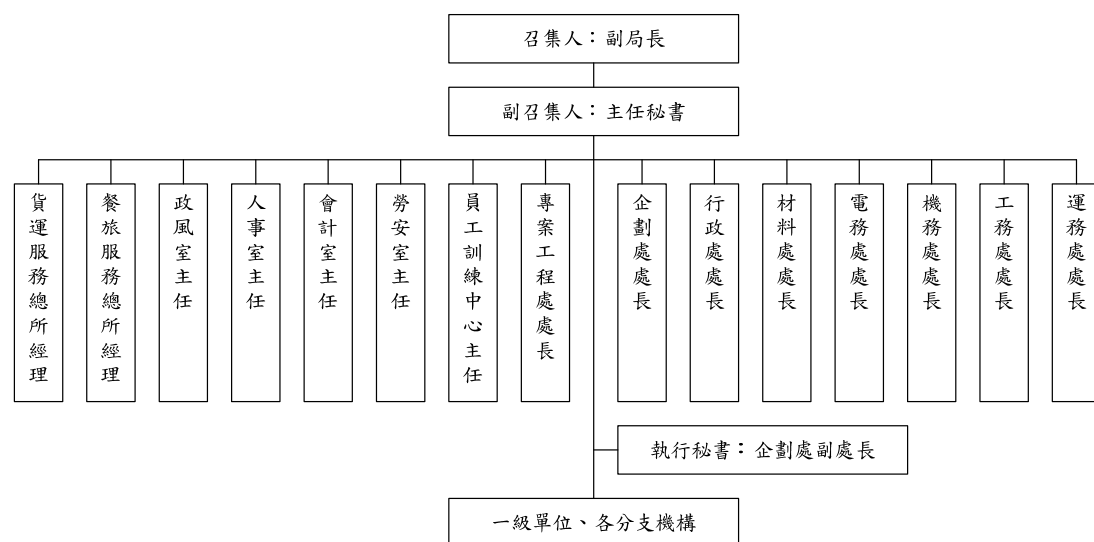
資料來源：[92]及本研究整理

## 5.2 國內案例

本節回顧整理臺鐵、北捷、高捷、高鐵、桃捷（機場捷運）、森鐵、糖鐵的風險分析與評量實務。

### 5.2.1 臺鐵局

臺鐵局近年來開始執行風險管理業務，由副局長擔任召集人成立「風險管理推動小組」，小組之組織架構如圖 5-5 所示。該組織為「臺灣鐵路管理局組織編制」中的一級單位，包括行政處、材料處、企劃處、人事室、會計室、政風室、餐旅服務總所及貨運服務總所等單位，以及勞安室、員工訓練中心、專案工程處等單位。



資料來源：臺鐵局

圖5-5 臺灣鐵路管理局風險管理推動小組組織圖

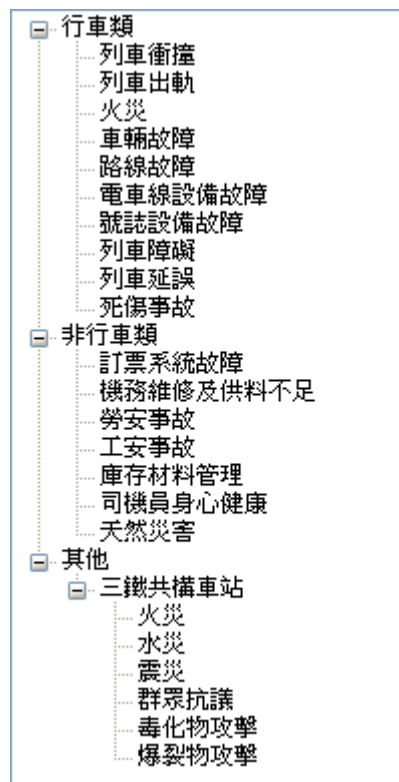
由於該小組的成員均為一級主管，為了將風險管理落實到基層的一線人員，臺鐵局自 2007 年~2010 年已陸續辦理近 5 萬 7 千人時的員工訓練課程，其課程內容與受訓人數等資訊如表 5.23 所示。

表5.23 臺鐵局風險管理教育訓練統計表

年份	課程內容	受訓人數	人時合計
2007 年	危機處理、事故應變處理及事故之防範、勞工衛生與職業病預防概論。	1,384	4,227
2008 年	通報及緊急應變措施、風險管理、災害防救、風險與危機管理。	3,662	10,797
2009 年	職業安全管理系統(TOSHMS)、災害防救、風險管理、風險及安全管理。	4,743	14,186
2010 年	風險管理等相關課程	10,545	27,713
總計		20,334	56,923

資料來源：臺鐵局及本研究整理

「風險管理推動小組」所關心的風險項目分為「行車類」、「非行車類」與「其他」三大類共 18 個子項目如圖 5-6，以下將分節說明各類風險的風險矩陣、風險評量、風險值現況等內容。

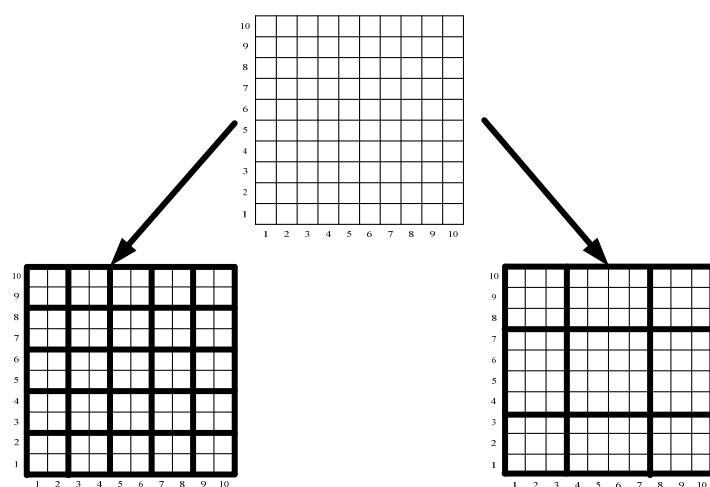


資料來源：臺鐵局及本研究繪製

圖5-6 臺鐵風險管理推動小組研擬之主要風險項目架構圖

## 1. 行車類風險

由於臺鐵行車環境的複雜，因此臺鐵在行車類風險評量採用 10×10 的風險矩陣，同時亦可視需要簡化為 5×5 矩陣或 3×3 矩陣，如圖 5-7 所示。有關臺鐵行車類之風險發生機率共分 10 級，如表 5.24 所示；嚴重程度亦分為 10 級，且因各單位所關注的分級指標與內容不同，表 5.25~表 5.28 分別為運務處、工務處、機務處、電務處四個單位的嚴重程度分級表；另有關臺鐵之風險矩陣表以及風險等級說明則如表 5.29 與表 5.30 所示。



資料來源：臺鐵局及本研究繪製

圖5-7 臺鐵 10×10 風險矩陣簡化示意圖

表5.24 臺鐵局行車類風險-發生機率分級表

可能性分類	等級	發生機率狀況
幾乎不可能	1	10 年從未發生
	2	10 年發生件數 1 次
不太可能	3	10 年發生件數 2 次
	4	10 年發生件數 3 次
可能	5	10 年發生件數 4~10 次
	6	10 年發生件數 11~20 次
非常可能	7	10 年發生件數 21~30 次
	8	10 年發生件數 31~49 次
幾乎確定	9	10 年發生件數數 50~99 次
	10	10 年發生件數 100 次以上

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.25 臺鐵局行車類風險-運務處嚴重程度分級表

嚴重等級		列車延誤 時分（分）	財務損失 搶修費用	平交道及跨越軌道		形象
				旅客死傷	民眾死傷	
非常 嚴重	10	241 以上	501 萬以上	死亡 10 人以上	死亡 10 人以上	國際性報導
	9	181~240	101~500 萬	死亡 6~9 人	死亡 8~9 人	國際性報導
相當 嚴重	8	151~180	81~100 萬	死亡 4~5 人	死亡 6~7 人	全國性電子媒 體頭版報導
	7	121~150	51~80 萬	死亡 2~3 人	死亡 4~5 人	全國性電子媒 體頭版報導
嚴重	6	61~120	21~50 萬	死亡 1 人	死亡 2~3 人或 受傷 4 人以上	全國性報導
	5	46~60	11~20 萬	受傷 3 人以上	死亡 1 人或受 傷 3 人	地方平面及電 子媒體報導
輕微	4	31~45	6~10 萬	受傷 2 人	受傷 2 人	電子媒體報導
	3	21~30	1~5 萬	受傷 1 人	受傷 1 人	地方平面報導
極 輕微	2	11~20	1 萬元以下	0	撞到不明物體	無
	1	10 以內	5 千元以下	0	0	無

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.26 臺鐵局行車類風險-工務處嚴重程度分級表

嚴重等級		颱風、豪雨災害 列車延誤時分（分）	路線故障 列車延誤時分（分）	施工事故 列車延誤時分（分）
非常 嚴重	10	停駛	停駛	停駛
	9	1001 以上	301 以上	2001 以上
相當 嚴重	8	751~1000	251~300	1501~2000
	7	601~750	201~250	1001~1500
嚴重	6	501~600	151~200	501~1000
	5	401~500	101~150	301~500
輕微	4	301~400	51~100	151~300
	3	201~300	31~50	101~150
極 輕微	2	101~200	11~30	51~100
	1	0~100	0~10	0~50

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.27 臺鐵局行車類風險-機務處嚴重程度分級表

嚴重等級		車輛故障 列車延誤時分（分）
非常嚴重	10	停駛
	9	91 以上
相當嚴重	8	81~90
	7	71~80
嚴重	6	61~70
	5	51~60
輕微	4	41~50
	3	31~40
極輕微	2	21~30
	1	10~20

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.28 臺鐵局行車類風險-電務處嚴重程度分級表

嚴重等級		號誌搶修時間（分）	電力搶修時間（分）	通訊系統中斷時間
非常嚴重	10	601 以上	1081 以上	5 天以上
	9	361~600	841~1080	3~5 天
相當嚴重	8	241~360	601~840	1~3 天
	7	181~240	421~600	12~24 小時
嚴重	6	121~180	241~420	6~12 小時
	5	91~120	121~240	3~6 小時
輕微	4	61~90	61~120	1~3 小時
	3	41~60	31~60	30 分~1 小時
極輕微	2	21~40	0~30	0~30 分
	1	0~20	不影響營運	不影響營運

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.29 臺鐵局-安全風險矩陣表

非常嚴重 5	C	B	B	A	A
相當嚴重 4	D	C	B	B	A
嚴重 3	D	D	C	B	B
輕微 2	E	D	D	C	B
極輕微 1	E	E	E	D	C
臺鐵局 風險矩陣	幾乎不可能 1	不太可能 2	可能 3	非常可能 4	幾乎確定 5

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.30 臺鐵局-風險等級一覽表

風險值	說明	處置方式
A	不可忍受	必須消除該類風險
B	勉強忍受	沒有可行風險解決方法時方可接受
C	不理想	在一般情形下必須降低風險
D	可忍受	需要有適當控制措施減輕其風險
E	可忽略	可接受

資料來源：臺鐵局及本研究整理

至於危害發生機率與嚴重程度的計算方式，臺鐵局則是依據式(5.1)~式(5.3)的方法，以該危害在某特定期間內，實際發生的機率與造成的嚴重程度來評估其等級，最後採相加法得到該危害的風險值。

$$L = \frac{\sum L_j}{n}, I = \frac{\sum I_j}{n} \quad (5.1)$$

$$SR_j = L_j + I_j \quad (5.2)$$



$$SR = \frac{\sum SR_j}{n} = \frac{\sum (L_j + I_j)}{n} = \frac{\sum L_j + \sum I_j}{n} = L + I \quad (5.3)$$

其中：

$L_j$ ：個別事故發生機率等級

$L$ ：整體事故發生機率等級

$I_j$ ：個別事故嚴重程度等級

$I$ ：整體事故嚴重程度等級

$n$ ：事故數

$SR_i$ ：個別事故風險值，介於 2~20，數值越小表示越安全

$SR$ ：整體事故風險值，介於 2~20，數值越小表示越安全

表 5.31 比較 2008 年與 2009 年，根據事故與事件資料所分析而得的臺鐵行車類危害風險值，可發現除了列車障礙與死傷事故之風險值下降外，其餘項目之風險值均有升高的情況。

表5.31 臺鐵局近年行車類危害風險比較表

危害項目	2008 年			2009 年			變化趨勢
	機率等級	影響程度等級	風險值	機率等級	影響程度等級	風險值	
列車衝撞	3.5	1.5	5.0	3.0	7.4	10.4	↑
列車出軌	5.0	4.9	9.9	6.0	6.0	12.0	↑
火災	0	0	0	0	0	0	—
車輛故障	9.2	4.9	14.1	9.1	5.7	14.8	↑
路線故障	8.6	3.0	11.6	9.5	3.1	12.6	↑
電車線設備故障	8.4	4.6	13.0	9.1	4.2	13.2	↑
號誌設備故障	5.2	4.3	9.5	5.6	4.3	9.9	↑
列車障礙	8.6	3.0	11.7	8.4	2.7	11.1	↓
列車延遲	7.7	3.3	10.9	7.9	4.4	12.3	↑
死傷事故	2.1	1.1	3.2	1.7	0.7	2.0	↓

註：此表之風險值係基於過去事故的風險績效值

資料來源：臺鐵局及本研究整理

## 2. 非行車類風險

臺鐵的非行車類風險採用 5×5 的風險矩陣，發生機率以表 5.32 方式分級，影響程度則如表 5.33 之方式分級，與行車類危害一樣採相加法評估風險值，在此分析基礎下，臺鐵 2008 年與 2009 年的非行車類風險值變化如表 5.34 所示，可發現大部分非行車危害的風險均下降。

表5.32 臺鐵局非行車類－發生機率分級表

發生機率	等級	詳細的描述
幾乎不可能	1	只會在特殊的情況下發生
不太可能	2	在少數情形下會發生
可能	3	在有些情形下會發生
非常可能	4	在許多情形下會發生
幾乎確定	5	在絕大多數的情況下會發生

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.33 臺鐵局非行車類－嚴重程度分級表

等級	形象影響	人員死傷	民眾抗爭	財務損失
非常嚴重	國際媒體持續負面報導	死亡 3 人以上	持續大規模抗爭	1 億以上
相當嚴重	國際媒體負面報導	死亡 1~2 人	至院級機關抗爭	0.5~1.0 億
嚴重	全國媒體負面報導	重傷 1 人以上	至中央部會抗爭	1000~5000 萬
輕微	區域媒體負面報導	輕傷 1 人以上	少數電話抱怨	200~1000 萬
極輕微	些許媒體負面報導	無人員傷亡	極少數電話抱怨	200 萬以下

資料來源：臺鐵局及本研究整理

表5.34 臺鐵局近年非行車類危害風險比較表

危害項目	2008 年			2009 年			變化趨勢
	機率等級	影響程度等級	風效值	機率等級	影響程度等級	風險值	
訂票系統故障	1	2	3	1	2	3	—
機務維修零件不足	2	1	3	1	1	2	↓
勞安事故	3	2	5	2	1	3	↓
工安事故	3	3	6	2	2	4	↓
庫存材料管理	2	1	3	1	1	2	↓
司機身心健康	4	2	6	3	2	5	↓
天然災害	3	5	8	1	5	6	↓

註：此表之風險值係基於過去事故的風險績效值

資料來源：臺鐵局及本研究整理

### 3. 其他風險

臺鐵局針對三鐵共構的台北站進行風險管理，列出許多關注的危害項目，各危害 2008 年與 2009 年之機率與影響程度如表 5.35 所示，由表中可知觀察期間的風險均有降低之趨勢。

表5.35 臺鐵局台北車站三鐵共構危害風險值比較表

危害項目	2008 年		2009 年		變化趨勢
	機率等級	影響程度等級	機率等級	影響程度等級	
火災	4	4	3	2	↓
水災	3	3	2	2	↓
震災	3	3	2	2	↓
群眾抗議	3	3	2	2	↓
毒化物攻擊	2	4	2	2	↓
爆裂物攻擊	2	3	2	2	↓

註：此表係評估各項控管措施實施前後的危害機率與影響程度之變化

資料來源：臺鐵局及本研究整理

## 5.2.2 台北捷運

台北捷運在 1996 年~2000 年營運初期之安全管理方式，主要係以承接捷運局 FMECA 及 RAMS 等相關文件，同時輔以其他軌道系統的營運經驗，搭配腦力激盪與事件樹分析方法，採取事故導向的列管追蹤方式進行安全管理，直到 2001 年，台北捷運公司為符合國際上軌道安全管理之趨勢，導入香港地鐵公司（MTR Corporation Limited）的風險管理機制。當時之風險管理係由工安室（現今已改為工安處）主導，採用 AS/NZS 4360 之規範，由各級單位分別辨識與列管可能之危害，並於每季定期討論減緩措施，採用組織導向的方式來管理危害，並以半定量的風險矩陣如表 5.36，搭配相加法評量各危害的風險值，風險等級說明如表 5.37 所示，針對 R2 與 R3 等級的危害項目，依循 ALARP 原則來降低風險。

表5.36 台北捷運-安全風險矩陣表

			事故規模						
			7	6	5	4	3	2	1
			微不足道	可以忽略	輕微	嚴重	重大	災難	大災難
	職工/ 承包商安全	死亡					<5	≥5	
		重傷				<5	≥5		
		輕傷			<5	≥5			
		傷		<5	≥5				
	旅客/ 大眾安全	死亡					<5	5-50	51-500
		重傷				<5	5-50	51-500	501-5000
		輕傷			<5	5-50	51-500	501-5000	>5000
	營運服務	系統中斷			<20 分	1 小時	1 天	1 週	1 個月
		路線中斷		20-60 分	幾小時	1 天	1 週	1 個月	數個月
		車站關閉	<20 分	幾小時	1 天	1 週	1 月	數個月	1 年
發生 機率	A	≥每週數次	≥100/年	R3	R1	R1	R1	R1	R1
	B	每月數次	10 - 100/年	R4	R1	R1	R1	R1	R1
	C	每年數次	1 - 10/年	R4	R2	R1	R1	R1	R1
	D	每十年數次	0.1 - 1/年	R4	R3	R2	R1	R1	R1
	E	不常發生	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-1</sup> /年	R4	R3	R3	R2	R1	R1
	F	不大可能發生	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-2</sup> /年	R4	R4	R3	R3	R2	R1
	G	非常不大可能發生	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-3</sup> /年	R4	R4	R4	R3	R3	R2
	H	絕少發生	10 <sup>-5</sup> - <10 <sup>-4</sup> /年	R4	R4	R4	R4	R3	R3
	I	未必會發生	10 <sup>-6</sup> - <10 <sup>-5</sup> /年	R4	R4	R4	R4	R4	R3
	J	難以置信會發生	<10 <sup>-6</sup> /年	R4	R4	R4	R4	R4	R3

資料來源：台北捷運公司及本研究整理

表5.37 台北捷運-安全風險等級一覽表

風險等級	說明
R1	無法容忍之風險。須取得主管機關同意或相關委員會特准方可豁免，否則不得營運且必須執行風險降等措施。
R2	不可以容忍之風險。如果有合理可行降低風險措施，必須執行風險降等措施。
R3	可以容忍之風險。但如果風險降措施符合成本效益，則應執行風險降等措施。
R4	可以接受之風險。不需要再採行任何風險降等措施。

資料來源：台北捷運公司及本研究整理

此外，台北捷運為確認本身的風險管理機制是否完善，更在 2005 年導入美國系統安全促進計畫（System Safety Program Plan，SSPP）與系統保全計畫（System Security Plan，SSP）來審視風險管理機制，以構建更完整的風險管理作業項目，此舉亦證實台北捷運一直不遺餘力的提供資源、時間與人力在維護安全管理，以確保整體系統安全。

### 5.2.3 高雄捷運

高雄捷運參考國際上軌道先進國家的作法，制定安全風險標準，包含系統內不同類人員的致命風險目標如表 5.38所示，個別系統的安全風險目標如表 5.39所示。

表5.38 高雄捷運-人員安全風險目標

風險標準 類別	人員風險（等效死亡/每年）		
	可容忍上限（LOT）	整體風險目標	期望下限（LOA）
單一旅客的風險 <sup>(a)</sup>	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
單一大眾的風險	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
單一員工 <sup>(b)</sup> 的風險	$2 \times 10^{-4}$ <sup>(c)</sup>	$10^{-4}$	$10^{-6}$

註：(a)假設單一旅客 1 年搭乘 500 次、(b)員工含承包商員工、(c)營運前兩年內為  $10^{-3}$ 。

資料來源：[153]及本研究整理

表5.39 高雄捷運-個別系統安全風險目標

個別系統	旅客風險 (等效死亡/每旅次)	員工風險 (等效死亡/每年每人)
電聯車	$0.58 \times 10^{-9}$	$1.0 \times 10^{-4}$
號誌	$0.10 \times 10^{-9}$	$0.1 \times 10^{-4}$
軌道設備	$1.10 \times 10^{-9}$	$0.4 \times 10^{-4}$
電扶梯	$0.14 \times 10^{-9}$	$0.2 \times 10^{-4}$
供電	$0.01 \times 10^{-9}$	$0.4 \times 10^{-4}$
月台門	$0.02 \times 10^{-9}$	$0.1 \times 10^{-4}$
電梯	不適用	$0.2 \times 10^{-4}$
其餘機電系統	不適用	$0.1 \times 10^{-4}$
土木結構	不適用	$0.1 \times 10^{-4}$

資料來源：[153]及本研究整理

高雄捷運在風險分析與評量的程序上，採用的是歐盟 EN50126 標準，安全風險矩陣如表 5.40所示，R1 表示不可接受的風險等級，R2 與 R3 則遵循 ALARP 原則降低風險，R4 為可接受風險等級，但仍要持續監控，其中 R1~R4 四種風險等級與 EN50126 規範之定義相同。

表5.40 高雄捷運-安全風險矩陣表

			嚴重等級			
			輕微	不嚴重	嚴重	災難
服務			系統輕微損壞	系統嚴重損壞	主要系統不能運作	列車服務中斷
影響安全/環境			可能有人輕傷	有人輕傷及/或對環境有相當程度的威脅	一人死亡及/或重傷及/或對環境造成相當程度的損壞	多人死亡及/或重傷及/或對環境造成嚴重損壞
發生機率 (每年)	經常	$\geq 100$ 次	R2	R1	R1	R1
	有可能	1~100 次	R3	R2	R1	R1
	偶然	$10^{-2}$ ~1 次	R3	R2	R2	R1
	甚少	$10^{-4}$ ~ $10^{-2}$ 次	R4	R3	R2	R2
	不太可能	$10^{-6}$ ~ $10^{-4}$ 次	R4	R4	R3	R3
	不可能	每年 $<10^{-6}$ 次	R4	R4	R4	R4

資料來源：[153]及本研究整理

## 5.2.4 台灣高鐵

台灣高鐵從規劃、設計、施工到營運管理均採用 EN50126 之規範，其整體系統風險目標如表 5.41所示。

表5.41 台灣高鐵-系統安全風險目標

類別\風險標準	人員致命風險	
	可容忍上限 (LOT)	期望下限 (LOA)
旅客風險(等效死亡/延人公里)	$1.0 \times 10^{-10}$	目標為 0 風險
大眾風險(等效死亡/人年)	$3.0 \times 10^{-5}$	
員工風險(等效死亡/人年)	$3.5 \times 10^{-4}$	

資料來源：[121]及本研究整理

此外，高鐵公司採用 EN50126 之規範，訂定出表 5.42之 10 種風險機率等級以及表 5.43之 7 種嚴重程度等級，並組成如表 5.44的風險矩陣。有關風險值的接受原則，台灣高鐵同樣採用 ALARP 原則，除了經成本效益分析須達合理程度外，同時要求符合現有法令或規範之規定，相關內容可參考表 5.45所示。

表5.42 台灣高鐵-發生機率分級表

類別	說明	發生機率
A 持續發生 Continuous	每週發生數次或更頻繁	$>10^2/\text{year}$
B 經常發生 Very Frequent	每月發生數次	$10/\text{year} \sim 10^2/\text{year}$
C 有時發生 Frequent	每年發生數次	$1/\text{year} \sim 10/\text{year}$
D 可能發生 Probable	十年發生數次	$10^{-1}/\text{year} \sim 1/\text{year}$
E 偶爾發生 Occasional	設計年限內可能發生	$10^{-2}/\text{year} \sim 10^{-1}/\text{year}$
F 不常發生 Unlikely	設計年限內不容易發生	$10^{-3}/\text{year} \sim 10^{-2}/\text{year}$
G 不太可能發生 Very Unlikely	設計年限內發生機率很小	$10^{-4}/\text{year} \sim 10^{-3}/\text{year}$
H 罕見 Remote	設計年限內單一事件	$10^{-5}/\text{year} \sim 10^{-4}/\text{year}$
I 不可能發生 Improbable	設計年限內幾乎不會發生	$10^{-6}/\text{year} \sim 10^{-5}/\text{year}$
J 竟然發生 Incredible	只能以機率估算其出現機會	$<10^{-6}/\text{year}$

資料來源：[121, 127]



表5.43 台灣高鐵-嚴重程度分級表

後果	無足輕重	可忽略	輕微	嚴重	重大	悲慘	災難性
死亡	—	—	—	—	少數(<5)	多數(5-50)	眾多(51-500)
重傷	—	—	—	少數(<5)	多數(5-50)	眾多(51-500)	無數(>500)
輕傷	—	—	少數(<5)	多數(5-50)	眾多(51-500)	無數(>500)	無數(>500)
心理影響	未造成個人心理衝擊/影響之事件	造成個人沮喪或憂慮	造成群體沮喪或憂慮	造成相關人員短期重大衝擊	造成相關人員長時間精神創傷	許多民眾因經驗或相關報導而害怕搭乘高鐵列車	高鐵運輸安全聲譽受到嚴重影響
造成不便	營運中斷少於10分鐘	高鐵部分關閉在一小時之內或計畫關閉	非計畫關閉部分高鐵達一小時以上	部分高鐵關閉達一日：輕度維修	部分高鐵關閉達一週：重大維修	部分高鐵關閉達兩週：重大重建或維修	部分高鐵因重大重建工程長期關閉

資料來源：[121, 127]

表5.44 台灣高鐵-安全風險矩陣表

嚴重性 發生機率	無足輕重	可忽略	輕微	嚴重	重大	悲慘	災難性
A 持續發生	Ar	Un	Un	Un	Un	Un	Un
B 經常發生	Ac	Un	Un	Un	Un	Un	Un
C 有時發生	Ac	Ud	Un	Un	Un	Un	Un
D 可能發生	Ac	Ar	Ud	Un	Un	Un	Un
E 偶爾發生	Ac	Ar	Ar	Ud	Un	Un	Un
F 不常發生	Ac	Ac	Ar	Ar	Ud	Un	Un
G 不太可能發生	Ac	Ac	Ac	Ar	Ar	Ud	Un
H 罕見	Ac	Ac	Ac	Ac	Ar	Ar	Ud
I 不可能發生	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ar	Ar
J 竟然發生	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ar

資料來源：[121, 127]



表5.45 台灣高鐵-安全風險等級一覽表

風險等級	處理原則
Un	不允許存在之風險，必須盡力將風險降低
Ud	不願見到之風險，必須依據 ALARP 原則，優先降低其風險。若必須勉予接受，必須經危害審查小組(Hazard Review Group, HRG)/資深危害審查小組(Senior Hazard Review Group, SHRG)之審核
Ar	雖可接受，但須經 HRG 技術審查同意；同時仍應依 ALARP 原則，持續降低其風險，但其優先順序低於 Ud
Ac	可接受之風險

資料來源：[121, 127]

### 5.2.5 桃園捷運

臺灣桃園國際機場聯外捷運系統（以下簡稱機場捷運）從規劃、設計到施工均採用 EN50126 之規範，未來興建完成後將由桃園捷運公司負責營運，其個別系統的安全風險目標值如表 5.46 所示。其中，機場捷運假設大眾不會與系統直接互動，因此若符合旅客安全風險標準，則亦符合大眾安全風險標準，故表中旅客與大眾的風險值相同。

表5.46 機場捷運-個別系統安全風險目標表

安全風險目標	旅客與大眾風險 (等效死亡/人年)	員工風險 (等效死亡/人年)
電聯車	$2.7 \times 10^{-8}$	$2.7 \times 10^{-7}$
號誌	$6.0 \times 10^{-9}$	$3.5 \times 10^{-8}$
軌道設備	$5.0 \times 10^{-9}$	$4.0 \times 10^{-8}$
第三軌	$1.8 \times 10^{-9}$	$1.6 \times 10^{-8}$
供電	$2.7 \times 10^{-9}$	$2.9 \times 10^{-8}$
通訊系統	$1.0 \times 10^{-9}$	$5.0 \times 10^{-9}$
月台門	$4.5 \times 10^{-9}$	$2.5 \times 10^{-8}$
行包系統	不適用	$1.5 \times 10^{-8}$
機廠設備	不適用	$3.0 \times 10^{-8}$

資料來源：臺灣桃園國際機場聯外捷運系統及本研究整理

機場捷運在施工風險管理上採「全面性施工風險管理」，所訂出之發生機率、嚴重程度、風險矩陣與風險等級分別如表 5.47~表 5.50 所示。此外，機場捷運在風險接受原則部分係採 ALARP 方式，除了經成本效益分析須達合理程度外，同時亦要求需符合現有法令或規範之規定。

表5.47 機場捷運-發生機率分級表

可能性 Likelihood		
1	極少 <10%	Unlikely <10%
2	不大可能發生 10~20%	Improbable 10~20%
3	較少的 20~30%	Remote 20~30%
4	偶爾 30~50%	Occasional 30~50%
5	很可能發生 50~75%	Probable 50~75%
6	時常發生的 >75%	Frequent >75%

資料來源：臺灣桃園國際機場聯外捷運系統及本研究整理

表5.48 機場捷運-嚴重程度分級表

時程影響 Schedule Impact		
1	稍微 少於 10 天	Slight less than 10 days
2	次要的 10~15 天	Minor 10~15 Days
3	嚴重的 15~30 天	Serious 15~30 Days
4	非常嚴重的 30~45 天	Very Serious 30~45 Days
5	災難 45~60 天	Disaster 45~60 Days
6	大災難 > 60 Days	Catastrophic > 60 Days

資料來源：臺灣桃園國際機場聯外捷運系統及本研究整理

表5.49 機場捷運-安全風險矩陣表

嚴重性 發生機率		嚴重程度					
		輕微	不嚴重	嚴重	重大	災難	大災難
發生 機 率	經常	R4	R3	R2	R1	R1	R1
	有可能	R4	R3	R2	R2	R1	R1
	偶爾	R4	R3	R3	R2	R1	R1
	絕少	R4	R4	R3	R2	R2	R1
	不太可能	R4	R4	R3	R3	R2	R1
	不可能	R4	R4	R4	R3	R2	R1

資料來源：臺灣桃園國際機場聯外捷運系統及本研究整理

表5.50 機場捷運-安全風險矩陣值一覽表

風險等級 Risk Level		
R4	次要的	Minor
R3	非常嚴重	Very Serious
R2	災難	Disaster
R1	大災難	Catastrophic

資料來源：臺灣桃園國際機場聯外捷運系統及本研究整理

### 5.2.6 阿里山森林鐵路

阿里山森林鐵路（以下簡稱森鐵）早期為行政院農委會林務局森林管理處主管與經營，管理處內並設「森林鐵路管理課」以專司業務。系統營運初期並無建置安全管理系統（Safety Management System, SMS），同時風險評估也尚未普遍落實到營運單位，因此交通部在 2006 年特別針對森鐵進行「阿里山森林鐵路監查作業程序及規範<sup>[123]</sup>」之研究，除了檢視森鐵之營運狀況外，同時也提出了 7 項建議，分別為：

1. 建議以營運、工務、機務、行政 4 組進行監察作業之分組。
2. 建議訂定符合系統的關鍵績效指標（Key Performance Indicators, KPI），供監理查核使用。

3. 訂定民營鐵路公司營業執照法。
4. 制定年度報告，定期針對 KPI 提出工作總結。
5. 建立安全管理系統。
6. 訂立司機員執照計畫。
7. 訂立鐵路安全法。

森鐵在 2008 年 6 月 19 日至 2010 年 3 月 22 日期間係採委外經營（Operation and Transfer, OT）模式，轉由宏都阿里山公司經營。監理單位為健全森林鐵路防範未然之體系，在 2008 年訂定了「阿里山森林鐵路營運風險及危機管理機制<sup>[135]</sup>」，其營運風險及危機管理機制主要包括有：

1. 營運風險項目
2. 採取對策措施
3. 危機處理準則及監控措施

目前森鐵已由嘉義林區管理處收回自管，經協商後預計 2014 年將轉交由臺鐵局經營。展望未來，森鐵仍須努力的方向乃為建立一套符合需求的安全管理系統，諸如安全政策、年度安全目標與安全相關措施，安全權責與義務...等。

### 5.2.7 台灣糖鐵

台灣糖業（以下簡稱台糖）目前僅剩下數十公里於產糖季節運送蔗糖的鐵路及專供休閒遊憩的觀光鐵路（以下簡稱糖鐵），分別由「砂糖事業部」與「休憩事業部」負責管理<sup>[166]</sup>。2005 年 6 月台糖制定了首份針對台糖鐵路的「風險評估作業要點<sup>[165]</sup>」，並於 2009 年 9 月根據「經濟部及所屬機關機構風險管理及危機處理作業原則」進行修正。根據台糖鐵路的「風險評估作業要點」，風險的嚴重程度與發生機率各區分為高中低三級，並對不同等級的風險訂有不同的處置原則，例如發生機率與嚴重性均低者以「風險保有」為原則，發生機率高但嚴

重性低者以「風險降低」為原則，發生機率低但嚴重性高者以「風險移轉」為原則，若發生機率與嚴重性均高者，則以「風險規避」為原則。

## 5.3 危害登錄表

風險管理的過程中，從風險辨識、風險分析、風險評量及風險處理的結果通常會一併記錄在危害登錄表（Hazard Log）內，由於各系統的需求不同，因此危害登錄表並沒有既定的格式，以下依據 EN50126-2<sup>[22]</sup>的建議以及軌道系統實務<sup>[28, 66, 121, 127, 137, 157]</sup>經驗，將危害登錄表內可能包含的欄位項目列出如表 5.51所示。

表5.51 危害登錄表之欄位項目建議

欄位	內容
說明	撰寫文件說明 Written document
日誌	日期 Date 登錄號碼 Entry number 管理或登錄人員 Person 修改原因 Description of change – Cause 參考文件 Referenced documents
危害資料	參考編號 Referenced number 危害名稱 Name 內容敘述 Description 負責單位 Responsibility 危害原因 Hazard Cause
事故資料	參考 Reference 描述說明 Description 觸發事故原因 Accident Trigger
風險評估	嚴重性 Severity of consequences 發生機率 Likelihood of occurrence 風險值 Risk： 可忽略 Negligible 可忍受 Tolerable 不期望發生 Undesirable 無法忍受 Intolerable

欄位	內容
風險減緩措施	參考編號 Reference number 內容描述 Description 日期 Date 負責單位或人員 Responsibility
參考資料	參考文件 Referencing document
控制狀態	危害狀態 Status of Hazard 風險減緩措施狀態 Status of risk Reduction Measure
備註	註記與建議 Notes and Comments

資料來源：[22, 28, 66, 121, 127, 137, 157]及本研究整理

在軌道系統實務部分，蒐集到的危害登錄表資料包含有：台北捷運、桃園捷運（機場捷運）、台灣高鐵、英國軌道設備商、歐洲MODURBAN系統與香港地鐵，分別說明如下。

### 5.3.1 台北捷運

台北捷運每季要求各部門研擬可能遭遇的風險清單與改善措施，由工安處負責彙整，該回報欄位包括有：項次、系統、次系統、系統操作模式、風險說明、易發生的位置、易發生的時間、潛在原因、效應（對員工或旅客）、發生機率（改善前/改善後）、嚴重性（改善前/改善後）、風險指數（改善前/改善後）、風險控制員、已採行措施/建議降低風險措施、歷史紀錄、登錄日期，本研究將其可能的形式整理如表 5.52所示。

表5.52 台北捷運風險管理登錄表範例

項次	系統	次系統	系統操作模式	風險說明	易發生的位置	易發生的時間	潛在原因	效應 (對員工或乘客)	發生機率		嚴重性		風險指數		風險控制員	已採行措施/建議降低風險措施	歷史紀錄	登錄日期
									前	後	前	後	前	後				
1	電聯車	車門	防夾系統	無法關門	感測開關	隨時	故障	時間損失	C	C	7	7	R4	R4	-	故障時先隔離	-	-

註：發生機率、嚴重性、風險指數部分請參閱表 5.36

資料來源：台北捷運公司及本研究整理

### 5.3.2 桃園捷運（機場捷運）

機場捷運為落實「全面性施工風險管理」，除了在招標文件中要求得標廠商必須依照 EN50126、EN50128、EN50129 之標準提出系統保證外，更要求建立「風險管理資訊平台」，以有效率提供施工風險管理執行現況資料，同時完整建構施工風險管理資料庫。

圖 5-8為機場捷運系統在興建工程中，所建置之施工風險管理資訊平台風險辨識功能頁面，其記載的項目包括：風險工作項目、風險等級、初步分析與列管控制。

此外，由於桃園捷運公司已經成立，因此有關營運階段之「安全管理計畫」、「風險管理計畫」與「營運災害登記冊」等文件，已在 2011 年開始由桃園捷運公司陸續發展。

風險工作項目	風險等級	初步分析等級	相關說明	初步分析	列管控制	刪除項目
<b>跨基中山高速公路橋樑08P015橋墩井式基礎工程</b> 風險描述:橋墩08P015井式基礎位於高速公路南下主線路肩外側,其施工範圍侵入高速公路路肩。1.開挖支撐期間因地質因素致施工不當導致井壁崩塌。2.開挖期間因交通車輛震動引起井壁崩塌。前兩項因素引起之井壁崩塌可能導致高速公路路面龜裂沉陷甚至坍塌,嚴重影響行車安全。	R2	註記			(已列管)	X刪除
<b>跨基中山高速公路橋樑08P016橋墩井式基礎工程</b> 風險描述:08P016橋墩均為井式基礎,其位置位於高速公路主線路肩外側,施工範圍佔用路肩。1.開挖支撐期間因地質因素致施工不當導致井壁崩塌。2.開挖期間因交通車輛震動引起井壁崩塌。前兩項因素引起之井壁崩塌可能導致高速公路路面龜裂沉陷甚至坍塌,嚴重影響行車安全。3.高速公路路肩封閉,因路型改變或交通擁擠設施設置不當,可能發生道路車輛衝撞交通設施或衝入基礎開挖區域之交通事故危害。	R2	註記			(已列管)	X刪除
<b>跨基中山高速公路橋樑08P015橋墩V型墩柱及柱頂蓋工程</b> 風險描述:08P015、08P016橋墩V型墩柱及柱頂蓋型樑結構採用斜撐懸吊支撐工法,侵入高速公路主線車道上方。1.V型墩柱施工模板支撐設備及工法不良,導致模板支撐倒塌事件。2.模板支撐荷重能力不足、混凝土澆置施工不當,導致模板物倒塌事件。前述因素引起之模板支撐倒塌物倒塌可能掉落高速公路主線車道路面,嚴重危害行車安全。	R2	註記			(已列管)	X刪除
<b>跨基中山高速公路橋樑08P015間懸臂工法橋墩蓋工程</b> 風險描述:08P015及08P016墩柱柱頂蓋樑間,跨越高速公路主線車道之上部結構箱型樑(75m)採懸臂工法施工。1.懸臂工作車組裝、推進作業,因未按照程序操作或工作車編號固定不當,導致工作車傾斜倒塌或掉落。2.車體支撐設備支撐不當導致工作車傾斜或倒塌。	R2	註記			(已列管)	X刪除

資料來源：[157]

圖5-8 機場捷運興建階段風險管理資訊平台



### 5.3.3 台灣高鐵

圖 5-9與圖 5-10為台灣高鐵 Web-Based 之危害登錄系統：

Microsoft Internet Explorer  
Last Update : 2009/5/6 下午 05:22:49 (4095)

System Maintain Query Report Form Help

Back to Query Save Result Filter

Query Result record count : 144

Select	Hazard ID	System	SubSystem	Hazard Description	Potential Cause	Effect Consequence	Hazard Mitigation Controller	Hazard Status
<input type="checkbox"/>	MH04088	Civil	Miscellaneous	The open position of the office door leaves obscure the view of the cars approaching from left...	Door opened with left leaves toward outside...	Staff hit by the car approaching from the left...	DMD	P4
<input type="checkbox"/>	MH04057	Civil	Viaduct & Bridge	Sparkling / electric shock during maintenance of pot bearing at steel girder...	Ground wire lost...	A shock with no injury (voltage may increase when train pass)...	IMD	P4
<input type="checkbox"/>	MH04054	Civil	Tunnel	Maintainer left unsecured aluminium ladder or work tools in safety walkway...	1. Staff careless. 2. Illegal use of work tools (eg. metal ladder). ...	1. Work tools dragged by train passing pressure into track leading to derailment. 2. Staff electrocution when performing maintenance activities near OHL using aluminium ladder. 3. Violation of regulation...	OSO	P4
<input type="checkbox"/>	MH00030	Civil	Tunnel	Concrete pieces falling from tunnel side wall...	Poor concrete lining workmanship or failure of lining repair work...	1. Major Damage of the rolling stock. 2. Derailment: Possible fatalities/ major injuries 3. Suspend operation for extended period 4. Distortion/deformation of track 5. Major Damage to equipment in the tunnel...	IMD	P4
<input type="checkbox"/>	MH00058	Civil	Viaduct & Bridge	Loss of Civil Works Ancillary items or core system equipment cover (anything bolted on, eg. point machine cover, viaduct / parapet expansion joint metal cover, cable connection box & longitudinal cover plate for girders within station area)...	1. Fasteners loosened Due to trainborne vibration or slipstream effect from passing train 2. Improper installation and lack of maintenance 3. Improper Design...	1. Structure (eg. metal cover) loosened and blown away Due to the slip stream effect of passing train and cause further Damage. 2. Damage to rolling stock or the neighbouring public. 3. Metal cover sit on TOR and cause Derailment....	IMD	P4
<input type="checkbox"/>	MH00059	Civil	Viaduct & Bridge	Unauthorized access by Human (maintenance staff or public), subsequently hit by a train...	1. No control of access. 2. Damage to security fencing. 3. At change of Double box girder to single box girder. 4. Maintainer forget to lock the Door after works. 5. Access from adjacent structure in close proximity to guideway.... 1. Parapet wall failure. 2. Noise Barrier failure.	1. People may be knocked Down by train. 2. Train service interrupted for line clear....	IMD	P4

where system\_id like '%Civil%'...

Message

資料來源：[121]

圖5-9 台灣高鐵風險管理系統

Hazard ID	MH04117 .VS. 2.0	Hazard Status	P2	HC	TNN	Classification	Frequency	Severity	Risk
System	Station	Subsystem	Fire Services System			Original	Unlikely	Serious	Ar
Operational Mode	Emergency	Exposed Group	Passenger			Mitigated	Remote	Marginal	Ac
Hazard Source/ Initiator	100SOD00055 2010/2/1 Hazard Identification Workshop			HRG / SHRG Ref & Date	2010/4/1 HRG#19 ref. 100SOD00124		Expected Mitigation Completion Date		
Hazard Description	Passenger moving toward the station which is in fire 台/高鐵車站失火，旅客卻仍向失火車站行進			Element			Location	TNN 台南車站	
Potential Cause				Effect/ Consequence					
Existing Design Measures				Existing O & M Measures					
Existing Closure Reference									
Further Mitigation Description				Further Mitigation Closure Ref.					
Remarks									

資料來源：[121]

圖5-10 台灣高鐵風險管理系統（續）



其內容包含有：

1. 發生危害的系統/次系統
2. 影響群組：旅客/員工/大眾
3. 現存/改善後之發生機率
4. 現存/改善後之嚴重度
5. 現存減輕對策
6. 後續減輕對策
7. 現存/改善之風險等級：可接受/可接受但須依據 ALARP 降低風險  
/不願見到/不允許危害控管人
8. 危害目前狀態

#### 5.3.4 英國軌道設備商提供之系統

Fararooy<sup>[28]</sup>針對軌道系統之遠端偵測設備與英國伯明翰大學（University of Birmingham）產學合作開發出了一套整合性安全管理系統，圖 5-11 即為該系統下的風險辨識登錄頁面。該危害登錄系統中記載了辨識出的危害、造成原因、後果、事前事後的嚴重等級、發生機率與風險等級、風險減緩措施。

**Hazard Log Form - DOORS**

Hazard ID:  Issue:

Category/Scenario:

Hazard:

Cause:  Consequence(s):

(Before Mitigation) Severity:  Probability:  Overall risk rating:

Safeguard / Mitigation:

(After Mitigation) Severity:  Probability:  Overall risk rating:

Action:  Owner:

Notes:

資料來源：[28]

圖5-11 英國設備監控商提出之軌道危害登錄系統

### 5.3.5 歐洲 MODURBAN

歐洲 MODURBAN 採用 Excel 表格來建立其危害登錄表，其內容記載項目包括：文件說明、日誌記錄、危害資料、事故資料、風險評估、風險減緩措施、參考資料、控制狀態、備註，其格式之範例可參考圖 5-12所示。



### 5.3.6 香港地鐵

香港地鐵將影響營運安全的風險資料，綜合記錄於營運危害登錄系統內，其內容包括有：危害編號、範圍、主危害管控員、危害管控員、合約編號、工作活動、系統、子系統、文字搜索、危害性質、工作組回應、風險指數、剩餘風險指數、減輕措施狀態、登記日期、風險管理表現指數、部門、前後發生機率、前後嚴重程度、負責工作組、排列次序，其格式之範例可參考圖 5-13所示。

地鐵公司  
MTR Corporation

危害登錄系統

危害登記-查閱-搜索

日期: 04/09/2007 12:22

一般 進階

危害編號 由 [ ] 至 [ ]

範圍 [ ] OR [ ]

主危害管控員 [ ]

適用於: URL, LAR, LAR2, TKL, H&S, DRL, AWE, SKP, LAR NB

危害控管員 [ ]

合約編號 [ ]

工作活動 [ ]

系統 [ ]

子系統 [ ]

文字搜索 [ ]

☐ 危害概述 ☐ 潛在原因

☐ 減輕措施內容 ☐ 減輕措施執行進度/備註

☐ 影響/後果 ☐ 受影響位置/區域

危害性質 [ ]

工作組回應 [ ]

風險指數 ☐ R1 ☐ R2 ☐ R3 ☐ R4

剩餘風險指數 ☐ R1 ☐ R2 ☐ R3 ☐ R4

減輕措施狀態 [ ]

登記日期 由 [ ] / [ ] / [ ] 至 [ ] / [ ] / [ ] (年/月/日)

風險管理表現指數 [ ]

部門 [ ]

原來頻率 [ ]

原來嚴重程度 [ ]

剩餘頻率 [ ]

剩餘嚴重程度 [ ]

負責工作組 [ ]

排列次序 [ ]

資料來源：[137]

圖5-13 香港地鐵危害登錄表

為了方便授權人員可以翻閱與更新，該系統以互動式網頁設計來輸入資料，成為風險管理體系中的一個核心部分，協助管理和評估危害的風險，監察控制措施進展的情況。同時系統設有簡易多元化的搜尋報告功能，以方便集中管理、訊息更新與共享。

## 5.4 可借鏡之風險實務作業

本節概述有助於後續執行臺鐵風險分析與評量的國外實務經驗，包括：利用失誤樹分析改善旅客遭列車門夾傷拖行的示範案例、英國 Railtrack 公司對英國自動化半遮斷平交道進行的風險分析、英國 SRM6.0 危害分析的標準化指標與風險值，以及歐盟 SELCAT 平交道之人為與設備失效率，這些實務作業均可作為軌道系統執行風險分析評量時之參考，本節逐一說明。

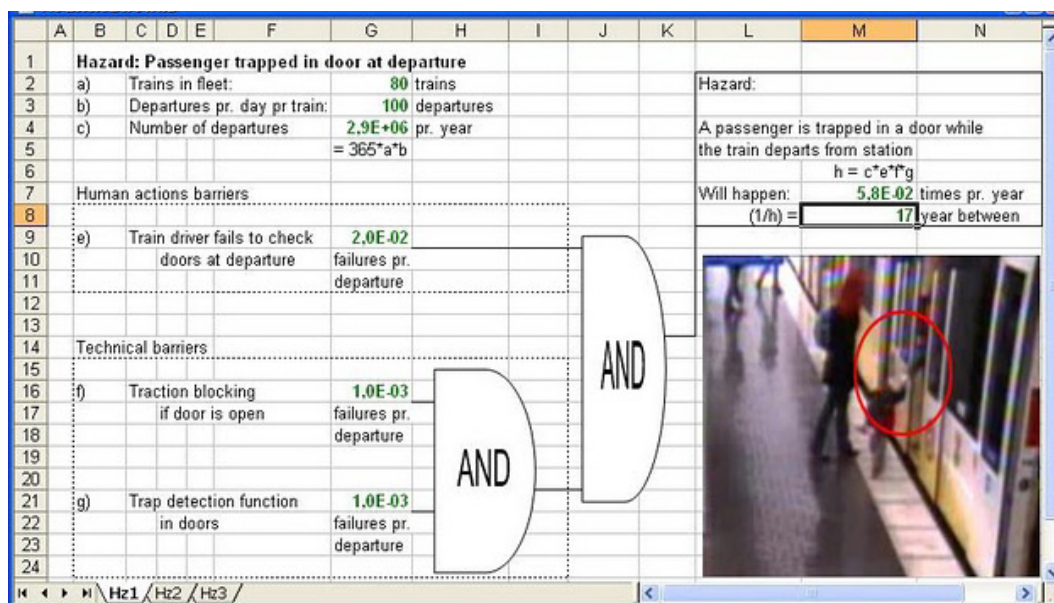
### 5.4.1 遭列車門夾傷拖行風險分析

Troels<sup>[108]</sup>在闡述 EN50126 之風險分析時，曾對「旅客遭列車門夾傷拖行」的危害進行案例說明，圖 5-14 為風險處置前的失誤樹分析，從圖中可知該危害包含有人為及設備因素，其內容為：

1. 確認關門（人為因素）：列車司機員於開車前沒有確認列車門是否關閉，此失誤發生的機率為  $2.0 \times 10^{-2}$ 。
2. 電子鎖（設備因素）：開啟車門列車仍能移動，即列車電子鎖失效，此失誤發生的機率為  $1.0 \times 10^{-3}$ 。
3. 偵測異物（設備因素）：車門夾到異物無法自動開啟的功能失效，此失誤發生的機率為  $1.0 \times 10^{-3}$ 。

由圖 5-14 可知：人為與設備因素為「AND」閘，兩項設備因素間亦為「AND」閘關係，表示所有失誤均發生的狀況下才會發生車門夾傷拖行的頂端事件，透過整體的分析可知風險處理前，平均約每 17 年會發生一次「旅客遭列車門夾傷拖行」。

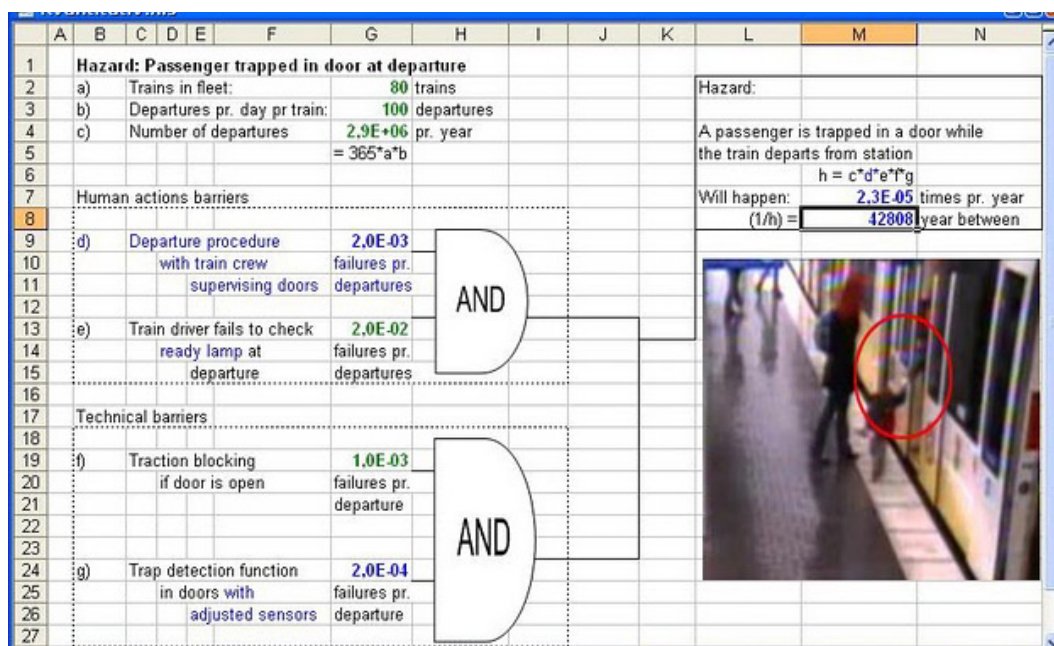




資料來源：[108]

圖5-14 旅客遭列車門夾傷拖行之風險分析案例-處置前

為了降低該項危害之機率，Troels 在人為因素與設備因素各採取了一些處理方法，如圖 5-15所示。



資料來源：[108]

圖5-15 旅客遭列車門夾傷拖行之風險分析案例-處置後

Troels 一方面在月台層要求站務員與司機員共同確認發車前列車門是否關閉，並估計該站務員失誤的機率為  $2.0 \times 10^{-3}$ ，另一方面則同時提昇車門夾到異物自動開啟的靈敏度，使其失誤機率由  $1.0 \times 10^{-3}$  降為  $2.0 \times 10^{-4}$ 。經過以上的處置後，「旅客遭列車門夾傷拖行」的危害已改善為每 42,808 年發生一次，實已遠超過系統的生命週期，當然其結果是可被營運單位所接受的。

#### 5.4.2 英國 Railtrack 平交道設備風險分析

英國 Railtrack 公司之職責乃執行全國軌道養護工作並促進鐵路運輸安全，為探究平交道碰撞事故的原因，Railtrack 公司從 1992 年開始連續 5 年，針對英國自動化半遮斷平交道（Automatic Half-Barrier，以下簡稱 AHB）研擬各種可能失效情形的失誤樹，並蒐集各種平交道設備的失效數據，藉此推估出各設備的平均故障機率與上限值，如表 5.53 所示。

表5.53 英國 AHB 平交道失效情形與發生機率

英國 AHB 平交道失效情形	每年每設備發生機率	
	平均值	95%信賴區間上限值
列車通過後遮斷桿沒升起或誤放下	1.5	2.3
遮斷桿的機械故障	$2.4 \times 10^{-1}$	$3.1 \times 10^{-1}$
號誌控制箱收到錯誤的訊息	$2.4 \times 10^{-1}$	$9.5 \times 10^{-1}$
就地控制失效	$1.1 \times 10^{-1}$	$1.9 \times 10^{-1}$
聲響設備失效	$9.0 \times 10^{-2}$	$1.3 \times 10^{-1}$
其他未被歸類的機械故障	$8.2 \times 10^{-2}$	$1.1 \times 10^{-1}$
聲響警告頻率錯誤	$2.9 \times 10^{-2}$	$4.7 \times 10^{-2}$
兩個紅色閃燈都沒閃	$2.3 \times 10^{-2}$	$3.9 \times 10^{-2}$
遮斷桿該降沒降	$7.4 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-2}$
遮斷桿降下不完全	$6.2 \times 10^{-3}$	$1.1 \times 10^{-2}$

英國 AHB 平交道失效情形	每年每設備發生機率	
	平均值	95%信賴區間上限值
遮斷桿降下時間不對	$4.1 \times 10^{-3}$	$6.7 \times 10^{-3}$
遮斷桿不該降卻降下且沒有誤訊號	$1.3 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$
遮斷桿在列車還沒完全通過前就升起	$2.5 \times 10^{-4}$	$5.7 \times 10^{-4}$

資料來源：[7]及本研究整理

### 5.4.3 英國安全風險模式 SRM6.0

英國軌道安全與標準委員會（RSSB）在安全風險模式 SRM6.0<sup>[90]</sup>（Safety Risk Model）中，估算出每十億旅客公里會造成 1.070 的旅客等效死亡，以及每百萬員工小時會造成 0.134 員工等效死亡，此外該份報告也提供各項危害的標準化指標與風險值，可作為評估軌道系統各項危害標準之參考依據，詳如表 5.54 所示。

表5.54 英國 SRM6 部分危害標準化指標與風險值

編號	危害模式名稱	標準化指標	風險值
HET-01 & 02P	兩列車發生碰撞（肇因於一列旅客列車的疏失）	旅客列車公里	$6.47 \times 10^{-10}$
HET-03 & 02NP	兩列車發生碰撞（肇因於非旅客列車疏失）	非旅客列車公里	$7.20 \times 10^{-9}$
HET-02NP POS	旅客列車與鐵路工程車輛發生碰撞（不在施工範圍）	工程小時	$2.21 \times 10^{-8}$
HET-03 POS	列車發生碰撞（與施工範圍內的工程車輛發生碰撞）	工程小時	$2.98 \times 10^{-6}$
HET-04	列車撞擊軌道上的異物（沒有造成出軌）	總列車公里	$5.33 \times 10^{-6}$
HET-04 POS	工程車輛在施工區域內撞擊異物（沒有造成出軌）	工程小時	$6.56 \times 10^{-6}$
HET-06	兩列旅客列車於站內發生碰撞（調度許可下）	旅客列車公里	$1.67 \times 10^{-8}$
HET-09	撞擊止衝檔	旅客列車公里	$1.44 \times 10^{-8}$
HET-09 POS	工程車輛於施工區域內撞擊止衝檔	工程小時	$5.90 \times 10^{-8}$



編號	危害模式名稱	標準化指標	風險值
HET-10	旅客列車與公路車輛於平交道碰撞	旅客列車公里	$2.74 \times 10^{-8}$
HET-11	非旅客列車與公路車輛於平交道碰撞	非旅客列車公里	$2.74 \times 10^{-8}$
HET-11 POS	工程車輛與公路車輛於平交道施工區域內發生碰撞	工程小時	$6.02 \times 10^{-8}$
HET-12	旅客列車出軌	旅客列車公里	$1.55 \times 10^{-8}$
HET-13	非旅客列車出軌	非旅客列車公里	$1.83 \times 10^{-6}$
HET-13 POS	非旅客列車（含工程車輛）於工程區域出軌	工程小時	$1.81 \times 10^{-5}$
HET-17	旅客列車於站內失火	車廂公里	$5.79 \times 10^{-9}$
HET-20	非旅客列車失火	貨廂公里	$6.97 \times 10^{-7}$
HET-20 POS	非旅客列車（含工程車輛）於工程區域失火	工程小時	$7.08 \times 10^{-7}$
HET-21	列車遭受建築物崩塌或大型異物壓損（非站內）	列車公里	$8.72 \times 10^{-13}$
HET-21 POS	列車在工程區域內遭受建築物崩塌或大型異物壓損（非站內）	工程小時	$2.09 \times 10^{-12}$
HET-22	站內建築物崩塌之壓損	車站數	$3.94 \times 10^{-6}$
HET-23	旅客列車發生爆炸	旅客列車公里	$4.42 \times 10^{-11}$
HET-24	貨物列車發生爆炸	非旅客列車公里	$2.12 \times 10^{-10}$
HET-25	列車解聯（未造成撞擊）	旅客列車公里	$2.58 \times 10^{-8}$
HET-26	故障車輛與救援車輛發生碰撞	旅客列車公里	$2.25 \times 10^{-10}$
		非旅客列車公里	$1.05 \times 10^{-9}$
HEM-01	旅客於疏散時受傷	旅次數	$1.53 \times 10^{-9}$
HEM-03	旅客因倚靠車身不慎摔出遭受撞擊（列車行進中）	旅次數	$4.41 \times 10^{-10}$
HEM-05	列車門關閉時夾傷旅客	旅次數	$2.32 \times 10^{-7}$
HEM-06	旅客陷落月台與車廂間隙	旅次數	$2.05 \times 10^{-7}$
HEM-07	旅客於站內摔落至軌道上	旅次數	$5.73 \times 10^{-10}$
HEM-08	旅客從月台上摔落且遭受列車撞擊	旅次數	$4.87 \times 10^{-9}$
HEM-09	旅客於上下列車時受傷（月台側）	旅次數	$4.13 \times 10^{-7}$
HEM-10	旅客於月台上遭受列車撞擊	旅次數	$7.73 \times 10^{-9}$
HEM-10 POS	旅客於月台上遭受列車撞擊（施工區域內）	工程小時	$2.76 \times 10^{-9}$
HEM-11	旅客跨越站內軌道時遭受撞擊	旅次數	$9.06 \times 10^{-10}$

編號	危害模式名稱	標準化指標	風險值
HEM-11 POS	旅客跨越站內軌道時遭受撞擊（施工區域內）	工程小時	$3.37 \times 10^{-10}$
HEM-12	成人或小孩的闖越者跨越站內軌道時遭受撞擊	總列車公里	$9.60 \times 10^{-9}$
HEM-12 POS	成人或小孩的闖越者跨越站內軌道時遭受撞擊（於施工區域內）	工程小時	$1.55 \times 10^{-9}$
HEM-13	列車過度擁擠導致旅客受傷	旅次數	$7.16 \times 10^{-9}$
HEM-19	軌道工程人員遭受列車撞擊	軌道工作小時	$8.20 \times 10^{-8}$
HEM-26	幼年闖越者跨越正線時遭受列車撞擊	總列車公里	$3.75 \times 10^{-9}$
HEM-31	大眾自殺或企圖自殺	路線長度（公尺）	$8.60 \times 10^{-9}$
HEM-38	旅客因緊急煞車受傷	旅客列車公里	$2.02 \times 10^{-7}$
HEM-40	大眾因站的太靠月台邊側而遭受列車撞擊	總列車公里	$1.87 \times 10^{-9}$
HEM-42	旅客遭受列車丟出的物體擊傷	旅次數	$2.58 \times 10^{-9}$
HEM-44	旅客從移動中列車跳出	旅次數	$1.17 \times 10^{-9}$
HEN-03	站內火災	旅次數	$5.43 \times 10^{-10}$
HEN-05	站內爆炸	旅次數	$4.07 \times 10^{-11}$
HEN-07	旅客暴露在危險物質	旅次數	$4.43 \times 10^{-9}$
HEN-09	旅客於站內遭架空線電擊	旅次數	$5.43 \times 10^{-11}$
HEN-10	旅客於站內遭導電軌電擊	旅次數	$7.22 \times 10^{-10}$
HEN-13	旅客從月台摔落至軌道（無列車靠近）	旅次數	$3.47 \times 10^{-8}$
HEN-14	旅客摔傷跌倒滑倒	旅次數	$2.37 \times 10^{-6}$

資料來源：[90]及本研究整理

#### 5.4.4 歐盟 SELCAT 平交道之人為與設備失效率

SELCAT<sup>[92]</sup>（Safer European Level Crossing Appraisal and Technology）是歐盟針對提昇平交道安全所進行的研究計畫，其目的除了分享平交道風險模式的構建經驗外，亦分享英國全自動半遮斷平交道（Automatic Half Barrier, AHB）的人為與設備失效率，整理如表 5.55 所示，可作為進行平交道相關危害量化分析時之參考依據。

表5.55 英國 AHB 平交道之人為與設備失效率

撞擊事故發生原因	失效率（平均每平交道每年因為該項原因失效導致撞擊的機率）
用路人故意的違規行為	
Z 字型闖越	0.00132
蓄意破壞或自殺行為	0.00018
公路側駕駛的疏失	
視野不良	0.00099
因陽光而目眩	0.00099
車輛故障或受困平交道	0.00134
路塞	0.00079
忽視接續列車	0.00039
車輛打滑	0.00040
平交道設備故障	
列車還在通過中卻升起柵欄	0.00003
柵欄延遲放下	0.00003
看柵工疏失	
人為操作錯誤	0.00004

資料來源：[92]及本研究整理

## 5.5 風險分析評量案例

本研究所蒐集之國內外案例中，大多為各軌道系統風險矩陣相關資料，主要原因即是軌道系統風險分析評量之作業過程不易取得，而相關文獻通常也少見此操作程序。因此，以下假設在一資訊充足且合理可得各基本事件失效率的情境下，說明風險分析評量之操作程序，以提供一個具有示範性的案例供參考。

### 5.5.1 背景說明

假設某軌道系統之某個地下車站每日平均運量為 1 萬旅次，若欲評估該地下車站發生火災危害之旅客風險，首先可參照本研究第二章所研擬之危害項目分類，判斷屬於[非移動危害][火災][地下段車站]之火災危害。再者，由於該危害可以透過明確的因果關係來說明火災發生的起因，同時亦可採用不同之情境方式來描述各種可能導致的後果，依據第三章的分析方法回顧，在資料充足且均可取得基本事件的失效率的前提下，建議可使用失誤樹與事件樹來進行分析。當風險分析完成時，則可依據第四章回顧可接受原則方式，採合理情況下將風險降至最低的 ALARP 方法來判斷該風險等級，以供後續風險處理之依據。

### 5.5.2 風險分析操作模擬

以下分別以失誤樹與事件樹方法來進行風險分析。

#### 1. 失誤樹分析

假設該地下車站發生火災的危害，可以歸納為表 5.56之 5 個原因，且各基本事件的失效率或發生機率均可取得前提下，則可透過圖 5-16之失誤樹量化分析，得知該地下車站發生火災的機率是  $9.75 \times 10^{-2}$ 。

表5.56 各基本事件之假設失效率

項次	基本事件	發生機率（每年）
1	丟棄煙蒂引發火災	$3.00 \times 10^{-2}$
2	旅客攜帶危險易燃品導致火災	$2.50 \times 10^{-3}$
3	電扶梯發生火災	$2.00 \times 10^{-2}$
4	升降梯發生火災	$2.00 \times 10^{-2}$
5	站內商店發生火災	$2.50 \times 10^{-2}$

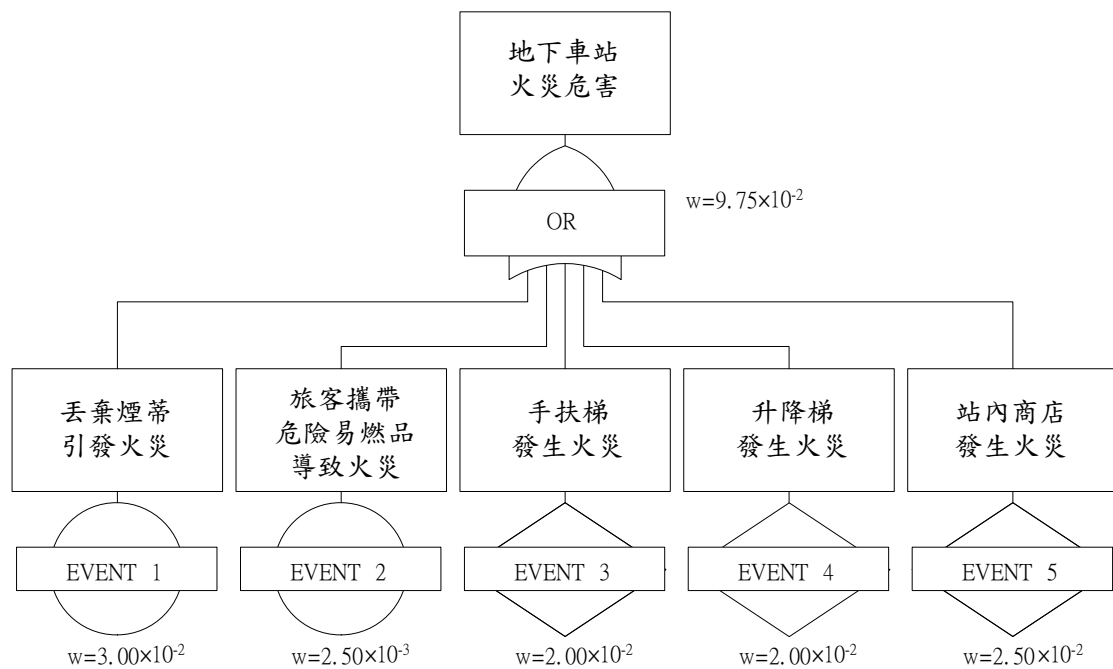


圖5-16 地下車站火災失誤樹分析

## 2. 事件樹分析

一旦該地下車站發生火災，在此假設可利用表 5.57 之情境來探討其可能的嚴重程度，分別為：消防系統是否正常啟動、排煙系統是否正常啟動、照明系統是否正常啟動、站務人員是否正確導引、以及是否發生在離峰時段，且在各情境的失效率或正常機率均可取得前提下，則可以圖 5-17 之事件樹量化分析得出各路徑之機率。

又假設各情境之旅客死傷情況可得如表 5.58 所示，則可依據事件樹的每條路徑分別計算其風險值，最後透過各路徑之加總，同時除上該站年運量後，即可預估旅客火災的風險值為  $2.3 \times 10^{-8}$ （等效死亡/旅次）。

表5.57 各情境之假設機率

項次	情境	失效機率 $p$	正常機率 $1-p$
1	消防系統正常啟動	$2.50 \times 10^{-3}$	$9.98 \times 10^{-1}$
2	排煙系統正常啟動	$1.00 \times 10^{-2}$	$9.90 \times 10^{-1}$
3	照明系統正常啟動	$2.50 \times 10^{-3}$	$9.98 \times 10^{-1}$
4	站務人員正確導引	$1.20 \times 10^{-1}$	$8.80 \times 10^{-1}$
5	發生在離峰時段	$2.50 \times 10^{-1}$	$7.50 \times 10^{-1}$

地下車站 發生火災	消防系統 是否正常啟動	排煙系統 是否正常啟動	照明系統 是否正常啟動	站務人員 是否正確導引	是否發生在 離峰時段	嚴重程度	頻率
$9.75 \times 10^{-2}$	$2.50 \times 10^{-3}$	$1.00 \times 10^{-2}$	$2.50 \times 10^{-3}$	$1.20 \times 10^{-1}$	$2.50 \times 10^{-1}$		
地下車站 發生火災	Y $9.98 \times 10^{-1}$					1. 程度1	$7.29 \times 10^{-2}$
	N $2.50 \times 10^{-3}$					2. 程度2	$2.43 \times 10^{-2}$
	Y $9.90 \times 10^{-1}$					3. 程度3	$1.59 \times 10^{-4}$
	N $2.50 \times 10^{-3}$					4. 程度4	$5.30 \times 10^{-5}$
	Y $9.98 \times 10^{-1}$					5. 程度3	$2.17 \times 10^{-5}$
	N $2.50 \times 10^{-3}$					6. 程度4	$7.22 \times 10^{-6}$
	Y $8.80 \times 10^{-1}$					7. 程度5	$3.98 \times 10^{-7}$
	N $2.50 \times 10^{-3}$					8. 程度6	$1.33 \times 10^{-7}$
	Y $7.50 \times 10^{-1}$					9. 程度5	$5.43 \times 10^{-8}$
	N $2.50 \times 10^{-3}$					10. 程度6	$1.81 \times 10^{-8}$
	Y $8.80 \times 10^{-1}$					11. 程度7	$1.60 \times 10^{-6}$
	N $2.50 \times 10^{-3}$					12. 程度8	$5.35 \times 10^{-7}$
	Y $9.98 \times 10^{-1}$					13. 程度7	$2.19 \times 10^{-7}$
	N $2.50 \times 10^{-3}$					14. 程度8	$7.29 \times 10^{-8}$
	Y $8.80 \times 10^{-1}$					15. 程度9	$4.02 \times 10^{-9}$
	N $2.50 \times 10^{-3}$					16. 程度10	$1.34 \times 10^{-9}$
	Y $7.50 \times 10^{-1}$					17. 程度9	$5.48 \times 10^{-10}$
	N $2.50 \times 10^{-3}$					18. 程度10	$1.83 \times 10^{-10}$

圖5-17 地下車站火災失誤樹分析

表5.58 事件樹各路徑之風險值計算一覽表

路徑 編號	嚴重 程度	旅客傷亡人數			等效 死亡	發生機率	風險值
		輕傷	重傷	死亡			
1.	程度 1	40	1	0	0.5	$7.29 \times 10^{-2}$	$3.65 \times 10^{-2}$
2.	程度 2	150	4	0	1.9	$2.43 \times 10^{-2}$	$4.62 \times 10^{-2}$
3.	程度 3	65	3	0	0.95	$1.59 \times 10^{-4}$	$1.51 \times 10^{-4}$
4.	程度 4	210	10	0	3.1	$5.30 \times 10^{-5}$	$1.64 \times 10^{-4}$
5.	程度 3	65	3	0	0.95	$2.17 \times 10^{-5}$	$2.06 \times 10^{-5}$
6.	程度 4	210	10	0	3.1	$7.22 \times 10^{-6}$	$2.24 \times 10^{-5}$
7.	程度 5	85	4	0	1.25	$3.98 \times 10^{-7}$	$4.98 \times 10^{-7}$
8.	程度 6	280	15	0	4.3	$1.33 \times 10^{-7}$	$5.72 \times 10^{-7}$
9.	程度 5	85	4	0	1.25	$5.43 \times 10^{-8}$	$6.79 \times 10^{-8}$
10.	程度 6	280	15	0	4.3	$1.81 \times 10^{-8}$	$7.78 \times 10^{-8}$
11.	程度 7	125	15	5	7.75	$1.60 \times 10^{-6}$	$1.24 \times 10^{-5}$
12.	程度 8	400	40	12	20	$5.35 \times 10^{-7}$	$1.07 \times 10^{-5}$
13.	程度 7	125	15	5	7.75	$2.19 \times 10^{-7}$	$1.70 \times 10^{-6}$
14.	程度 8	400	40	12	20	$7.29 \times 10^{-8}$	$1.46 \times 10^{-6}$
15.	程度 9	160	15	5	8.1	$4.02 \times 10^{-9}$	$3.26 \times 10^{-8}$
16.	程度 10	500	50	20	30	$1.34 \times 10^{-9}$	$4.02 \times 10^{-8}$
17.	程度 9	160	15	5	8.1	$5.48 \times 10^{-10}$	$4.44 \times 10^{-9}$
18.	程度 10	500	50	20	30	$1.83 \times 10^{-10}$	$5.49 \times 10^{-9}$
<p>合計該地下站整體旅客遭受火災的風險值：<math>8.3 \times 10^{-2}</math>（等效死亡/年）</p> <p>平均日運量 1 萬旅次，推估年運量 365 萬旅次，換算得每年每旅次因火災導致死亡的機率是 <math>0.083 \div 3,650,000 = 2.27 \times 10^{-8}</math>（等效死亡/旅次）</p>							

註：等效死亡係數採用 EN50126-2 之定義（1 死亡=10 重傷=100 輕傷方式計算）。

### 5.5.3 風險評量操作模擬

假設該軌道系統採用合理情況下將風險降至最低的 ALARP 方法來判斷該風險等級，同時旅客整體風險的門檻值分別為可接受值 $10^{-4}$ 以及目標值 $10^{-6}$ ，另根據其他系統歷史資料研判，火災導致的旅客風險約佔整體風險 2%（該比例係案例假設），則經過風險配當之程序，可知每位旅客的火災風險可容忍上限值為 $2 \times 10^{-6}$ ，期望下限值為 $2 \times 10^{-8}$ ，故該軌道系統旅客風險 $2.3 \times 10^{-8}$ 略高於期望下限值，如圖 5-18 落在 ALARP 區，亦即未來若有失效率更低的照明或排煙設備時，在可行合理的情況下應採用新的設備，或是透過火災演習加強站務人員對旅客疏散程序的熟悉度，使旅客火災風險降至 $2 \times 10^{-8}$ 以下。

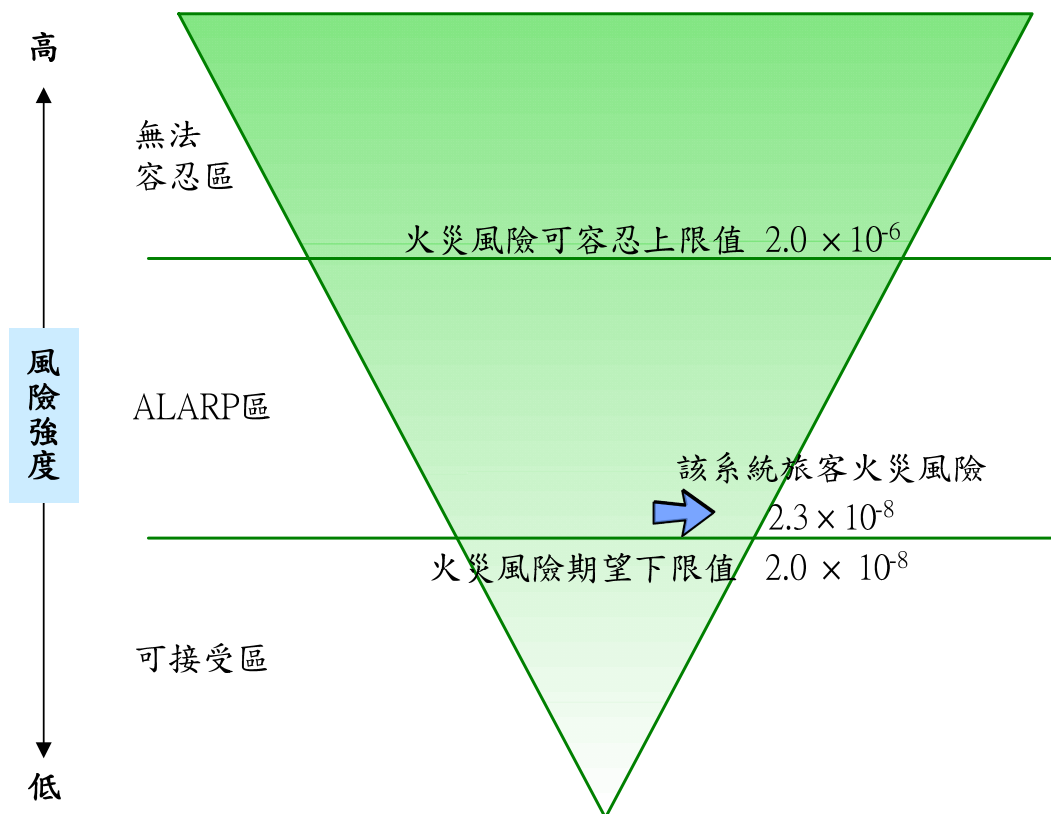


圖5-18 風險評量示意圖



## 5.6 小結

本章回顧國內外各軌道系統風險分析與評量實務，可知軌道業界大多已接受風險管理之觀念，亦即並非以零風險為目標，而是先進行風險分析確認各危害發生機率與嚴重程度，再透過風險評量確定風險值與風險等級，並採 ALARP 原則在合理可接受的前提下來降低風險才是最具有效益的方式，茲將國內外各軌道系統之風險分析與評量作法歸納如表 5.59 所示。

最後，整體的風險管理作業中，都應該將所有的過程與結果記錄在危害登錄表（Hazard Log）內，因此 5.3 節透過文獻以及軌道系統之實務案例，一併整理出常見的記錄項目供臺鐵參考使用。

表5.59 國內外各軌道系統風險分析與評量作法比較

系統	風險分析與評量標的	風險評量方法	風險值評估方式
臺鐵	行車類與非行車類危害	風險矩陣	半定量搭配相加法
歐洲 MODURBAN	危害項目（包括列車、車站、機廠、行控中心、維修等）	風險矩陣	半定量搭配落點法
倫敦地鐵	危害項目 針對個別人員與子系統訂定風險標準	風險矩陣 風險目標	半定量搭配相加法
澳洲糖鐵	危害項目（列車、路線、作業項目）	風險矩陣	定性搭配落點法
澳洲塔斯馬尼亞州際鐵路	危害項目	風險矩陣	半定量搭配相加法
香港地鐵	危害項目 針對個別人員與子系統訂定風險標準	風險矩陣 風險目標	半定量搭配落點法
台北捷運	危害項目	風險矩陣	半定量搭配落點法
高雄捷運	危害項目 針對個別人員與子系統訂定風險標準	風險矩陣 風險目標	半定量搭配落點法
台灣高鐵	危害項目 針對個別人員訂定風險標準	風險矩陣 風險目標	半定量搭配落點法
桃園捷運	危害項目 針對子系統訂定風險標準	風險矩陣	半定量搭配落點法

註：桃園國際機場聯外捷運系統未來將由桃園捷運公司負責營運，另部分軌道系統因資料取得不完整，故未納入比較。

## 第六章 危害選定及分析評量方法說明

雖然本研究已更新臺鐵安全危害項目至 119 項，然而因時間資源有限，本研究僅針對其中 2 項危害進行深入的分析與評量，故本章首先說明 2 項安全危害項目選定的原則與考量因素，之後再依據兩項危害的特性選用適當的分析方法，最後建議適合之風險評量與接受原則。

### 6.1 臺鐵安全危害項目選定

本節首先說明 2 項危害的選定原則，並簡述專家會議中選定此 2 項危害的考量因素。

#### 6.1.1 危害選定原則

安全危害項目的選定須要考量以下原則：

1. 該危害是否屬於高風險？

相較於中、低風險之危害，高風險危害較具有分析的效益。

2. 該危害是否高關注？

除了優先選擇高風險之危害外，受到民眾或社會輿論高度關注之危害亦值得深入分析。

3. 現況研擬該危害之改善手段時是否有困難？

若該項危害並無既有的防護措施或是成效不彰，且不易研擬有效的改善手段時，則適合深入分析，利用系統化的分析方法找出較佳的改善手段。

#### 4. 該危害相關統計數據是否完備？

危害分析結果的良窳，須視統計資料的完整性與詳細程度而定，此外，若有類似系統的事故風險值或文獻報告可供參考，亦可使分析過程更為順利，故應選擇現況事故事件資料較完整的危害項目。

### 6.1.2 專家會議的考量因素

本研究於民國 100 年 5 月 4 日邀集臺鐵運務處、工務處、機務處、電務處、行保會、勞安室、防護團、企劃處等專家選定 2 項危害，除了根據 6.1.1 所述原則，亦根據臺鐵近 3 年事故資料並參酌現行風險管理作法，最後選定[列車危害][碰撞][平交道-載客列車與公路車輛碰撞]與[移動危害][旅客上下車摔倒]進行分析，過程中的考量因素說明如下。

#### 1. 臺鐵近 3 年高風險危害項目

本研究整理臺鐵自 2008~2010 三年的事故資料，經排除不適當或記錄不清楚的資料，總計共有 925 件造成人員死傷的事故，茲將此資料依據 119 項安全危害項目予以分類，可得到圖 6-1 與表 6.1 之風險排序結果，其中等效死亡係數採 0.1 評估（參閱 4.3 節說明）。

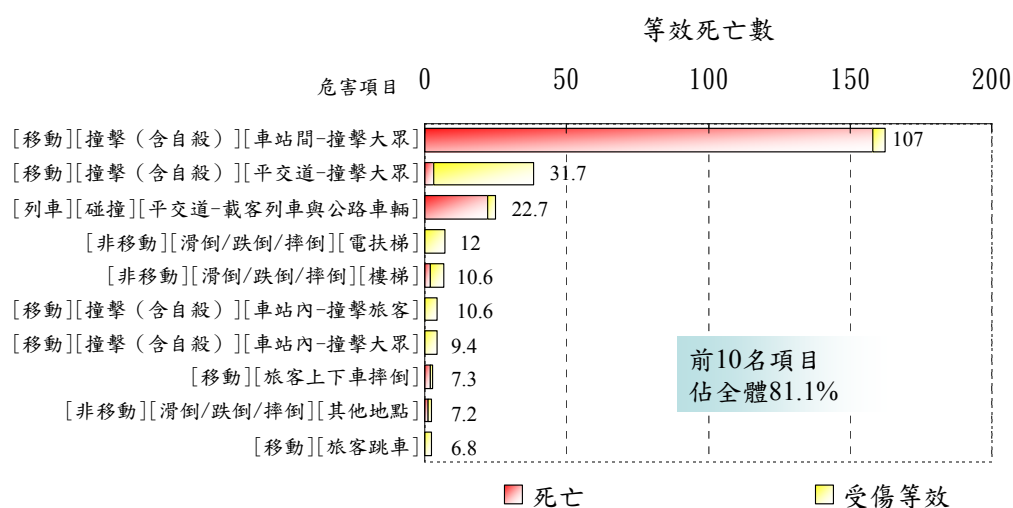


圖6-1 臺鐵 2008-2010 年安全風險排序圖（前 10 序位）

表6.1 臺鐵 2008-2010 年安全風險排序表（前 20 序位）

序位	危害項目	件數	死亡	受傷	等效 死亡
1	[移動危害][撞擊（含自殺）][車站間-撞擊大眾]	123	105	20	107.0
2	[移動危害][撞擊（含自殺）][平交道-撞擊大眾]	37	31	7	31.7
3	[列車危害][碰撞][平交道-載客列車與公路車輛碰撞]	42	20	27	22.7
4	[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][電扶梯-滑倒/跌倒/摔倒]	105	1	110	12
5	[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][樓梯-滑倒/跌倒/摔倒]	96	1	96	10.6
5	[移動危害][撞擊（含自殺）][車站內-撞擊旅客]	16	10	6	10.6
7	[移動危害][撞擊（含自殺）][車站內-撞擊大眾]	13	9	4	9.4
8	[移動危害][旅客上下車摔倒]	73	0	73	7.3
9	[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][其他地點-滑倒/跌倒/摔倒]	69	0	72	7.2
10	[移動危害][旅客跳車]	50	2	48	6.8
11	[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][月台-滑倒/跌倒/摔倒]	43	1	42	5.2
12	[移動危害][夾傷][遭列車門/通道門/廁所門夾傷]	41	0	42	4.2
13	[移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][旅客滑倒/跌倒/摔倒]	36	0	36	3.6
14	[移動危害][摔入軌道][旅客摔入軌道]	7	2	5	2.5
15	[非移動危害][摔入軌道]	15	1	14	2.4
16	[非移動危害][非列車、車輛之撞擊]	22	0	22	2.2
17	[移動危害][撞擊（含自殺）][車站間-撞擊員工]	2	2	0	2
18	[移動危害][攻擊][旅客遭受攻擊]	8	1	7	1.7
19	[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒][廁所-滑倒/跌倒/摔倒]	14	0	15	1.5
20	[非移動危害][夾傷]	14	0	14	1.4

註：本表格資料僅統計有造成人員死傷的事故資料

## 2. 臺鐵現行風險管理方式

由於臺鐵現行安全風險管理機制根據「行車類」與「非行車類」事故訂定不同風險矩陣與改善對策，故本研究若能分別選定一項「行車類」與一項「非行車類」危害進行分析，將有助於臺鐵後續自主進行其他危害的風險分析與評量，因此專家會議最終除了考量前述風險排序資訊外，亦分別於「行車類」與「非行車類」選定一項危害作為本研究後續深入分析評量的對象，茲分別說明如下：

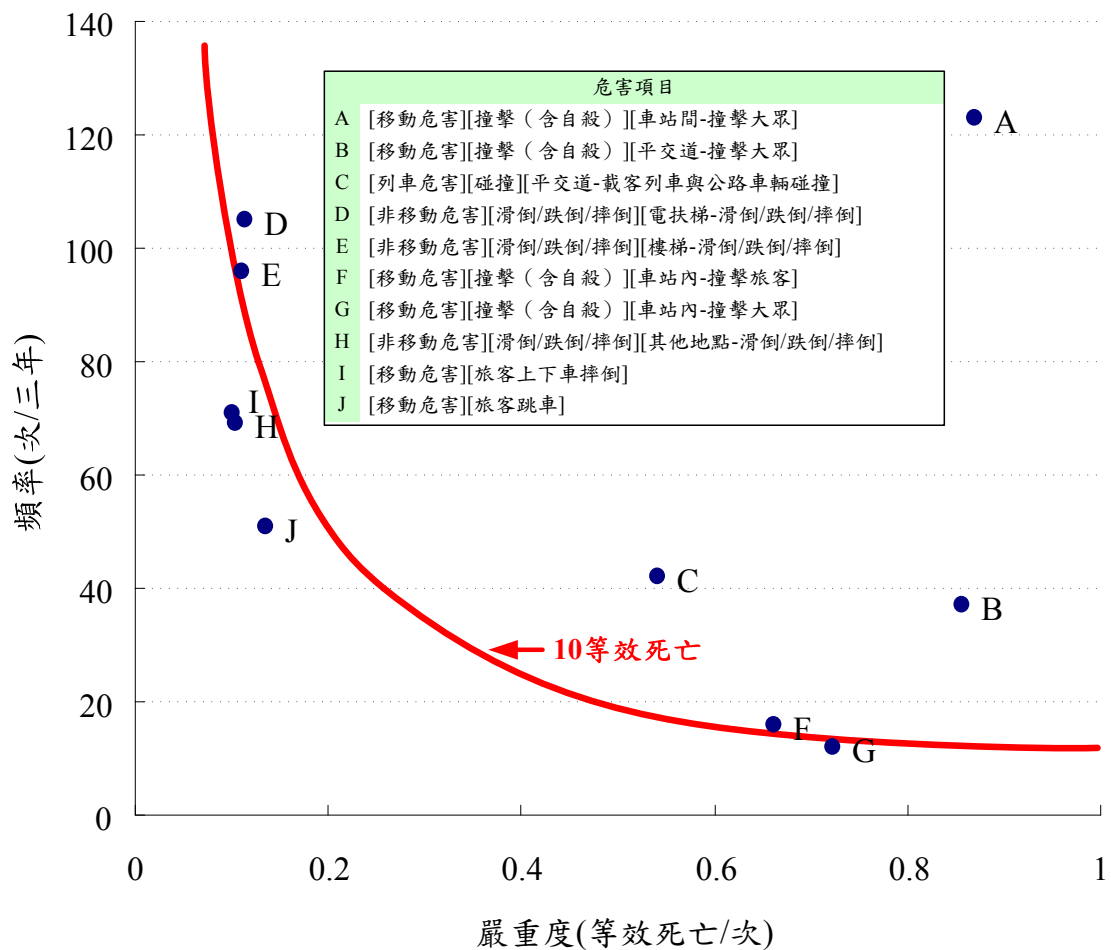


圖6-2 臺鐵 2008-2010 年量化風險矩陣圖（前 10 序位）

### (1) 行車類危害

根據圖 6-1 排名前 3 的危害都屬於行車類危害，由於序位 1 的[移動危害][撞擊(含自殺)][車站間撞擊大眾]危害已有明確的改善手段(沿線架設圍籬)，因此主要考量序位 2 的[移動危害][撞

擊（含自殺）][平交道-撞擊大眾]危害及序位 3 的[列車危害][碰撞][平交道-載客列車與公路車輛碰撞]危害。其中，因行人遭受撞擊的事故原因大多不易釐清且自殺比率相對較高，加上鐵公路車輛碰撞事故對臺鐵營運影響較大，且造成的社會衝擊性也較高，故最終選定序位 3 的[列車危害][碰撞][平交道-載客列車與公路車輛碰撞]進行分析。

## (2) 非行車類危害

非行車類危害序位排名前者中，包含有多項不同地點的[非移動危害][滑倒/跌倒/摔倒]危害列入候選名單（如序位 4、序位 5、序位 9、序位 11），以及序位 8 的[移動危害][旅客上下車摔倒]危害、序位 10 的[移動危害][旅客跳車]危害、序位 12 的[移動危害][夾傷][遭列車門/通道門/廁所門夾傷]危害。依據專家工作會議的討論，雖然電扶梯摔倒危害具有較高風險應深入研究，但臺鐵局目前正進行月台高度提升與車廂一階化改善工程，因此建議配合工程施作探討旅客上下車摔倒危害，選定序位 8 的[移動危害][旅客上下車摔倒]危害作為分析對象。

## 6.2 臺鐵風險分析方法的選擇

以下分別扼要說明 2 項危害適合的分析方法，細部分析過程於第七章與第八章詳述。

### 6.2.1 行車類危害

本項目欲分析[列車危害][碰撞][平交道-載客列車與公路車輛碰撞]危害，參考交通部運研所之臺鐵安全風險辨識<sup>[127]</sup>研究案，可延續其構建之失誤樹與事件樹，並適當簡化後進行量化分析。

此外，失誤樹在各系統功能失效做為上層事件加以展開時，為避免失誤樹展開過於複雜，以及方便後續進行蒐集資料和策略研討，因

此失誤樹展開的層級大多擬定在元件/裝備（Component），未能詳細探討之基本事件則建議由各子系統之技術單位繼續發展。

### 6.2.2 非行車類危害

本項目欲分析[移動危害][旅客上下車摔倒]危害，主要取決於不可控的人為錯誤因素，因此本研究擬採用分析人為錯誤的方法來探討可能導致旅客上下車摔倒的原因，之後再利用英國鐵路安全與標準委員會修訂之人為錯誤評估及降低技術（Rail-Specific HEART）之方式來進行量化分析。

## 6.3 臺鐵風險評量與接受原則

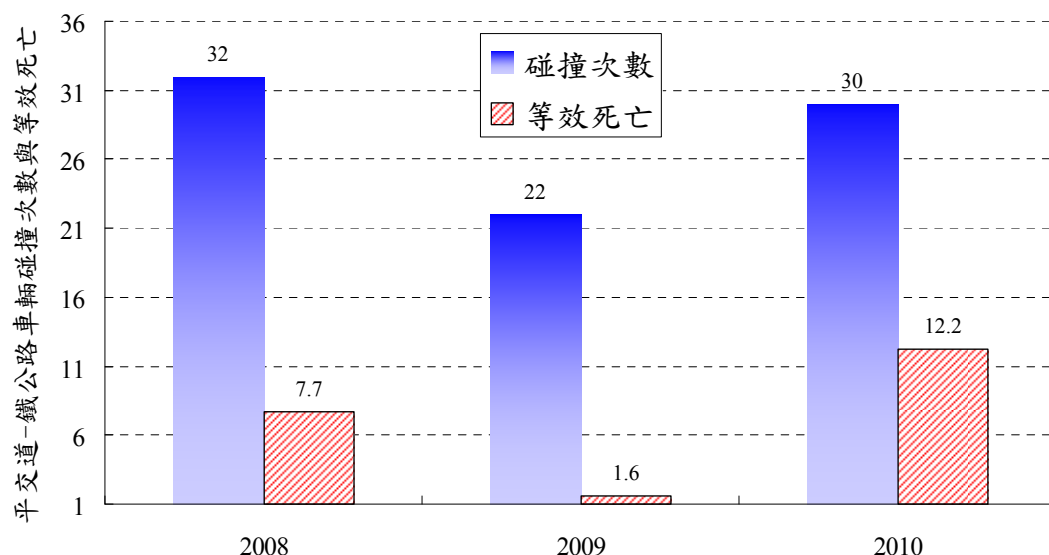
在行政院研考會持續推動風險管理之政策下，臺鐵已將風險管理作業納入日常作業中。依據第五章之回顧，臺鐵所建立的機制中，風險評量是採半定量維度搭配相加法之方式來找出危害的風險值。

另有關臺鐵之風險可接受原則部分，則是採用 ALARP 之方法，其作法是在風險矩陣上訂出五種不同的等級（不可忍受、勉強接受、不理想、可忍受、可忽略）之區塊，再依據既定方式來處理風險。由於風險等級乃取決於營運者的安全目標與可用資源，因此本研究擬延用臺鐵既有之風險可接受原則來進行風險評量，除此之外也將套用其他系統風險矩陣的評量標準供臺鐵參考。兩項危害的評量結果詳述於第七章與第八章。



## 第七章 鐵公路車輛於平交道碰撞危害分析與評量

圖 7-1係統計 2008~2010 年鐵公路車輛於平交道碰撞事故之次數與等效死亡人數，就統計數值可發現平均每年約有 28 次的碰撞事故，總計三年來共發生 84 次碰撞且造成 21.5 等效死亡（1 受傷=0.1 等效死亡），於臺鐵 119 項安全危害中排名第 3 序位。



註：本資料納入未造成人員死傷的事件資料，與表 6.1 僅考量造成死傷的統計數值不同。

圖7-1 近 3 年鐵公路車輛於平交道碰撞事故統計

然而，圖 7-1僅是臺鐵事故與事件統計中有登錄的資料，實際上仍有許多的闖越事件因為沒有發生碰撞事故而未被記錄。另一方面，臺鐵雖已陸續編列預算將平交道地下化或者高架化，但依據 2010 年的資料顯示，仍有 500 個以上的平交道佈設在環島 1,097 公里的路線內，亦即平均不到二公里就有一個平交道，如此高的平交道密度以及公路車輛通過需求，使得臺鐵平交道危害一直位居風險排序的前三名之內。因此，本章將針對[列車危害][碰撞][平交道-載客列車與公路車輛

碰撞]危害（以下簡稱「鐵公路車輛於平交道碰撞」）進行深入風險分析與評量。7.1節說明採用失誤樹（FTA）與事件樹（ETA）的風險分析步驟與結果，7.2節說明風險評量方式與結果，7.3節則根據分析結果從積極面與消極面提供建議。

## 7.1 風險分析

以下分別說明鐵公路車輛於平交道碰撞危害之發生機率、嚴重程度以及風險值評估。

### 7.1.1 發生機率分析

本研究依據交通部運研所 2010 年「風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵風險辨識為例<sup>[127]</sup>」研究案，沿用該案探討「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害之失誤樹定性分析成果，如圖 7-2所示（詳請參閱附錄 F），並透過適當之簡化後進行量化分析，說明如下。

#### 1. 步驟 1：確定分析範圍

界定個別危害的分析範圍時應與系統內專家討論，確認沒在分析範圍內但卻受到關注的議題，能在其他危害中被考量，否則應考量放寬研究範圍。為避免後續分析超出範圍或有疏漏，本研究分別從「公路車輛型態」、「平交道類型」、「碰撞型態」來界定分析範圍：

- (1) 「公路車輛型態」範圍：僅考慮機車、小型車、大型車，而不考慮腳踏車。
- (2) 平交道類型：以臺鐵三甲平交道為分析對象。
- (3) 碰撞型態：同時考量「鐵路列車撞公路車輛」及「公路車輛撞鐵路車輛」兩種情形。

#### 2. 步驟 2：原始失誤樹分支的簡化合併

圖 7-2原始之失誤樹分析中，無論是「鐵路列車撞公路車輛」或「公路車輛撞鐵路車輛」，都是依據 Johan<sup>[39]</sup>在平交道事故的失誤分

類進行分析，亦即以「人為」、「設備」、「環境」、「車輛」4 個因素來探討。由於兩種情境的分析結果有雷同之處，考量失誤樹規模不宜過大，以避免失誤樹展開過於複雜，因此本研究在量化分析時將兩種情境予以合併探討，亦即在頂端事件（鐵公路車輛於平交道碰撞）下，直接依據 Johan<sup>[39]</sup>的失誤分類進行碰撞原因分析，如圖 7-3 第一頁所示。

### 3. 步驟 3：原始失誤樹事件的簡化合併

上述步驟中，依據「人為」、「設備」、「環境」、「車輛」之構面可以分析出許多的失誤原因（即失誤樹的基本事件），惟目前之平交道事故記錄尚無法完整提供所需資訊，加上部分事故記錄之描述難以區別屬於何種基本事件，或者近年事故資料中無法觀察到該類事件，因此在量化分析的作業中，會將部分基本事件予簡化合併以利分析之操作，茲將本研究簡化的項目說明如下：

#### (1) 司機員人為失效與鐵路側防護設備失效

人為失效的來源包含有兩方面，分別為公路側駕駛人以及鐵路側司機員。其中，公路側駕駛人失效大致可從事故記錄中判讀出原因，並依序彙整於公路駕駛人失效因素內，惟鐵路側司機員失效的部分目前沒有相關資料可供判讀，加上司機員失效又隱含著鐵路側防護設備失效的因素在內，都是與鐵路列車剛好接近且煞車不及機率有關，因此本研究改採所有闖越事件中，導致碰撞的機率來推估因鐵路司機員與鐵路側防護設備失效導致列車煞車不及的機率，在失誤樹圖中係以「INHIBIT」閘方式來表示。

#### (2) 公路側防護設備失效

原始失誤樹之定性分析將設備失效細分為「公路側防護設備無動作」及「公路側防護設備誤動作」兩種情形，其中「公路側防護設備無動作」代表的是一種危險的狀態，亦即公路側防護設備該啟動而未啟動、晚啟動、早解除等狀況，公路駕駛人在沒有任何警告的情況下通過平交道隨時有被接近鐵路列車撞擊的可

能；而「公路側防護設備誤動作」表示公路側防護設備不該啟動而啟動、早啟動、晚解除等狀況，該情況下公路駕駛人依法不得逕行通過平交道，但即使闖越也沒有立即的危險，因此是處於防護的狀態。

上述的設備失效原因中，本應探討包括遮斷機、警鈴、警示燈、方向指示器等設備的失效，惟實務上資料無法完整取得，因此本研究整併原失誤樹中所有設備失效的基本事件，改採公路側防護設備無動作或誤動作時，公路駕駛於列車接近的情形下未注意列車而侵入或闖越的機率，來推估因設備失效導致公路駕駛侵入或闖入的機率，在失誤樹圖中係以「INHIBIT」閘方式來表示。

### (3) 事故資料中難以區分之項目

本研究將難以區分之項目合併至類似的事件中，包括有：

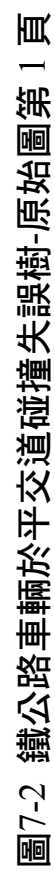
- 將公路駕駛因素中之「分心」合併至「誤判短時間無列車」。
- 將公路防護設備因素中的「秒差不足」合併至公路駕駛人因素的「未保持安全間距」。
- 將其他因素中之「公路線型不佳」合併至「事故」。

### (4) 未觀察到之事件

由於 2008~2010 年並未觀察到以下事件，或從事故記錄中難以判定，為讓失誤樹不致過於複雜，因此量化分析時暫予以刪除。

- 公路駕駛因素-誤認無後續列車。
- 公路駕駛因素-自殺。
- 其他因素-車輛遭異物卡住。
- 其他因素-受後方車輛推擠。

透過上述的考量，並將原始失誤樹予以合併或者簡化後，可得到本研究欲進行量化分析的失誤樹，如圖 7-3 所示。



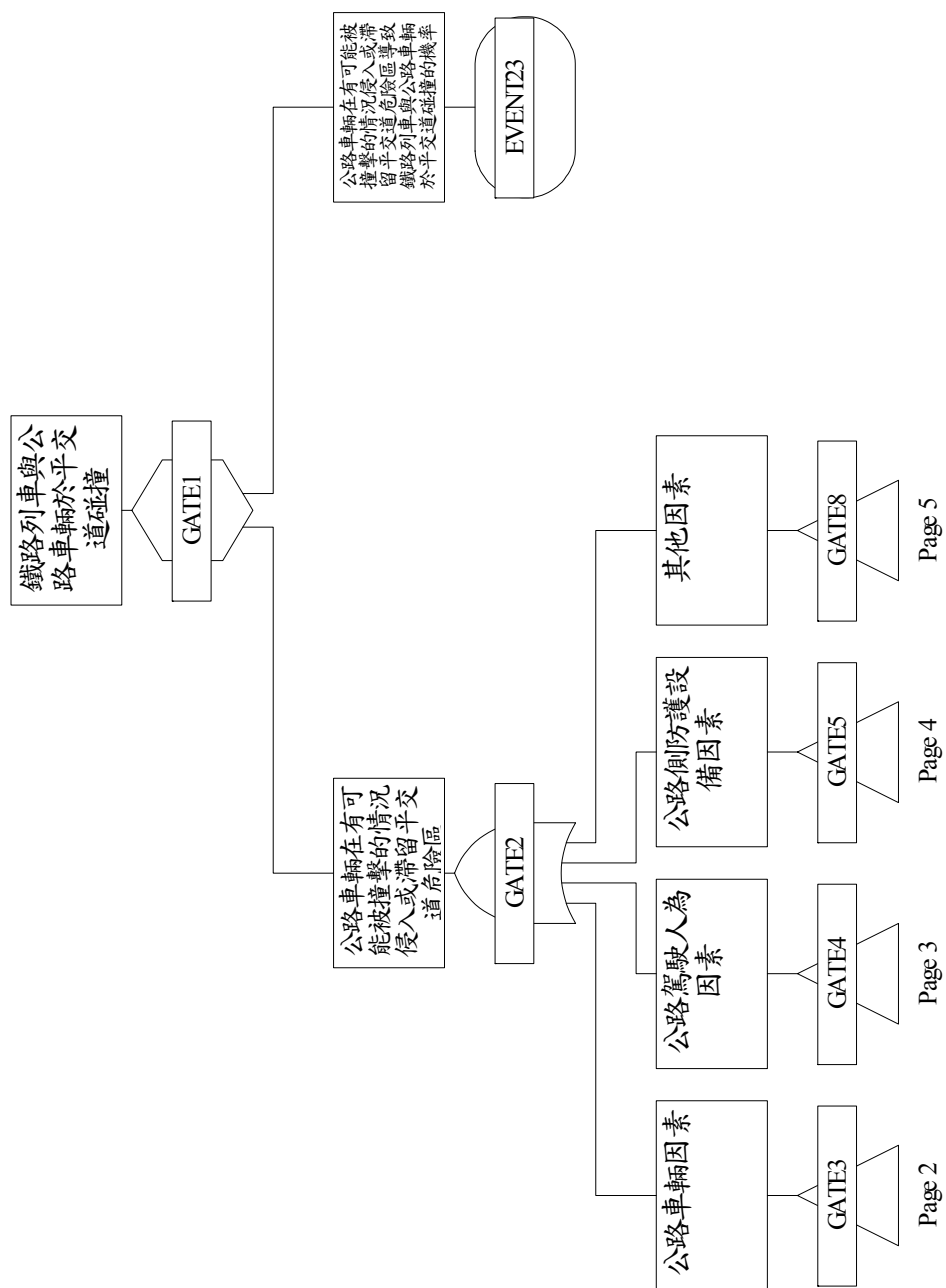


圖 7-3 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 1 頁

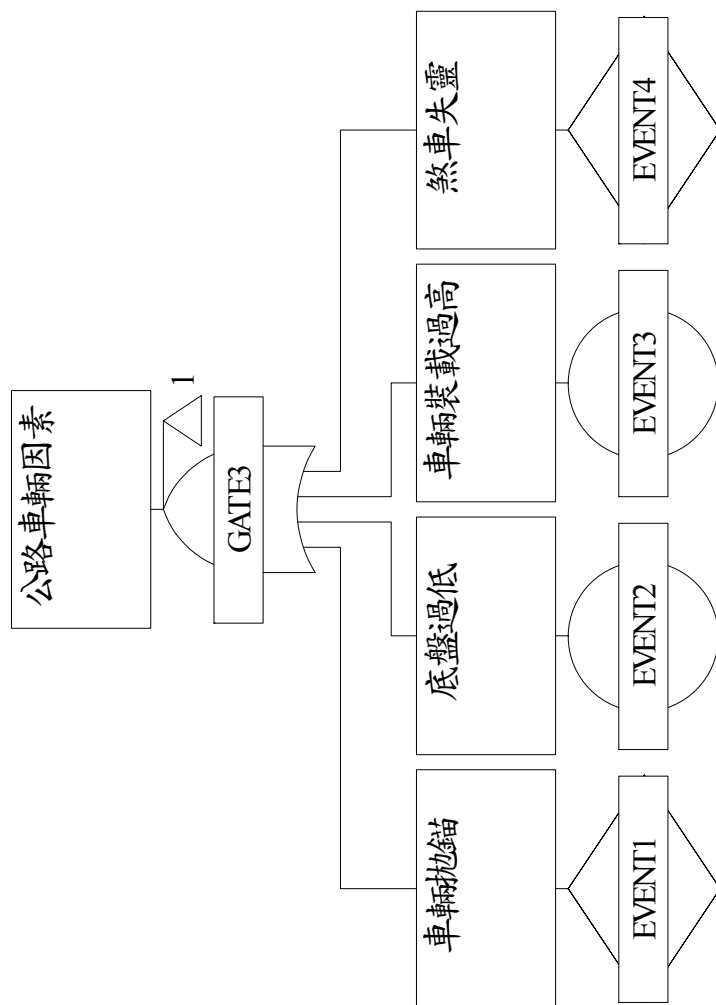


圖 7-3 鐵路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 2 頁

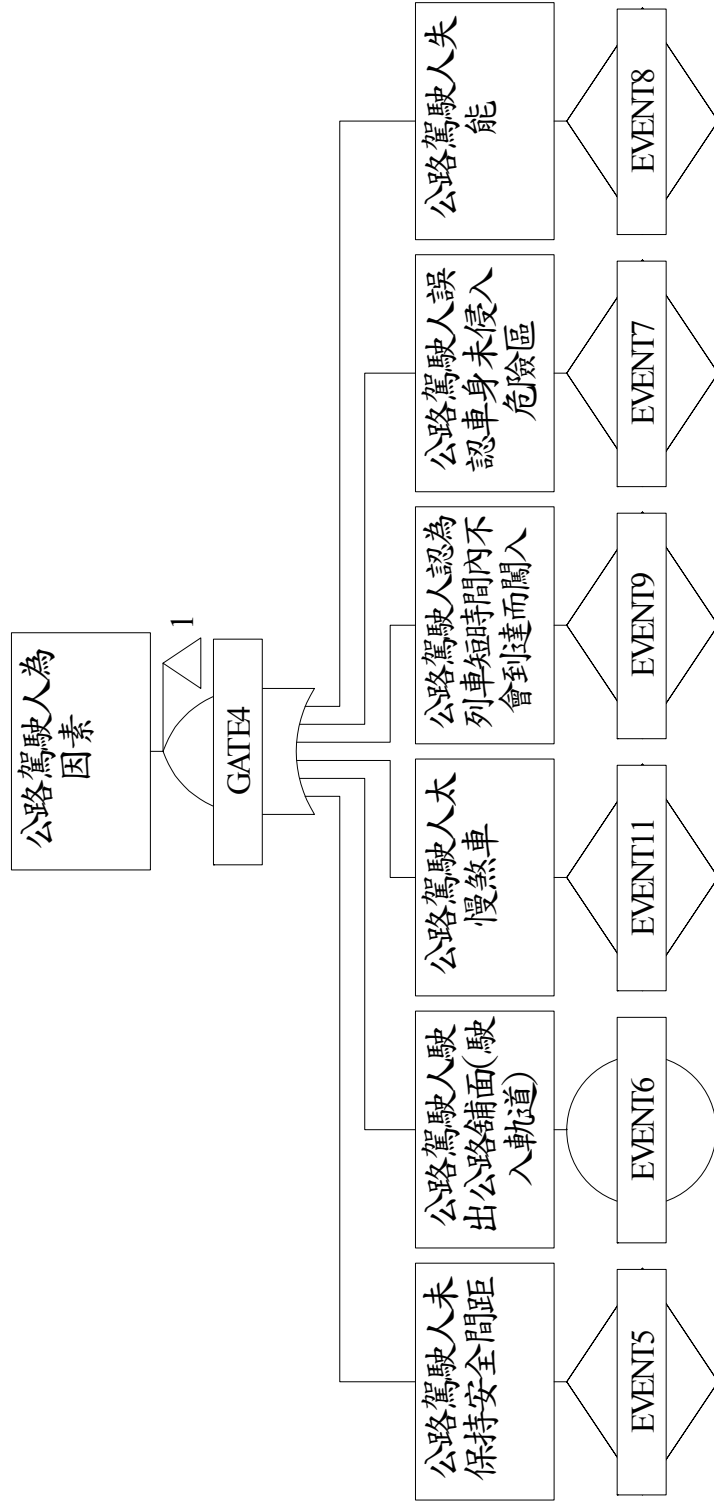


圖 7-3 鐵路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 3 頁



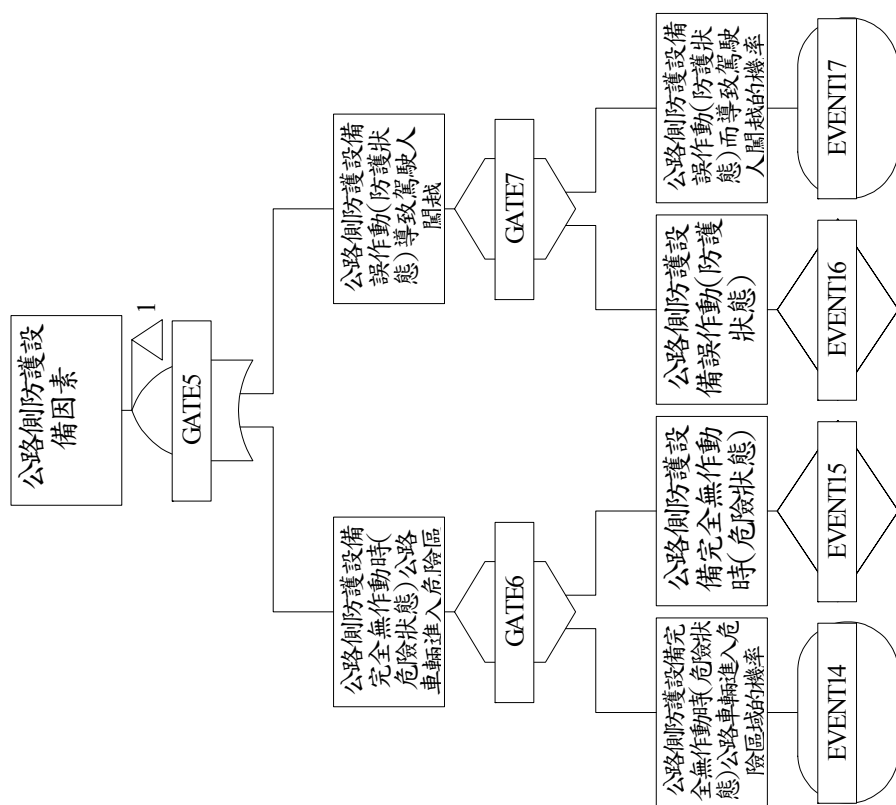


圖 7-3 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 4 頁

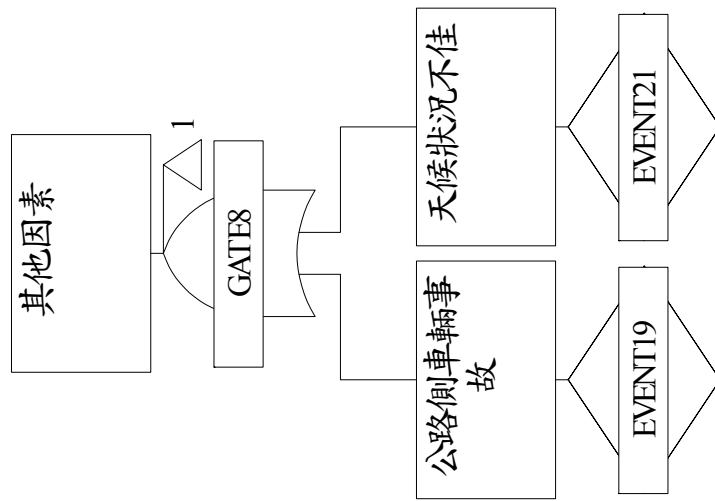


圖 7-3 鐵路車輛於平交道碰撞失誤樹-簡化後第 5 頁

此外，採用營運單位歷史資料進行危害的量化分析時，應界定清楚觀察事故的定義，例如圖 7-3 第一頁中 Gate2「有可能被鐵路列車撞擊」之描述，便須定義清楚如表 7.1，分別為：

- (1) 第 I 類事件：只要發生該類事件都視為可能被撞擊。
- (2) 第 II 類事件：該類事件要伴隨警報開始後才視為可能被撞擊。
- (3) 第 III 類事件：該類事件要伴隨列車接近才視為可能被撞擊。

表7.1 可能被鐵路列車撞擊的情境說明

分類	有可能被撞擊的定義	事件	
I	因此類事件造成公路側車輛的滯留時間較長，故無論何時發生都視為有可能被撞擊	公路車輛車輛拋錨	
		公路車輛底盤卡住	
		公路車輛裝載過高	
		公路車輛駛出鋪面	
		公路車輛事故	
II	公路側車輛於警報開始後發生此類事件，才有被撞擊的可能	公路車輛煞車失靈	
		公路車輛駕駛太慢煞車	
		公路車輛駕駛失能（酒醉）	
		公路車輛駕駛未保持安全間距（路塞）	
		公路車輛駕駛誤判短時間無車	
		公路車輛駕駛誤認未侵入淨空區域	
		天候不佳	
III	只有當公路側車輛於列車接近時進入平交道，才有被撞擊的可能	防護設備因素	無動作時公路車輛未注意
			誤動作時公路車輛闖越

#### 4. 步驟 4：各事件的發生次數統計

本研究在進行失誤樹量化分析時，須進行多方面的資料彙整，包括有：

- (1) 臺鐵 2008~2010 之行車事故資料。
- (2) 臺鐵 2008~2010 之虛驚事件資料。
- (3) 鐵路警察局 2008~2010 之行車事故類別及列車現場停留時間分析統計表。
- (4) 臺鐵 2010 年平交道通過公路車流量統計資料。
- (5) 臺鐵統計資料-營運列車行駛公里數。

透過上述資料的整理，本研究得出 2008~2010 年鐵公路車輛在平交道共發生 84 次碰撞，若一併將虛驚事件與碰撞事故的資料合計則共記錄有 120 次，如表 7.2 之第一欄與第二欄所示。

然而，軌道系統營運過程中有許多虛驚事件未被記錄，必須尋找其他具關連性的指標或用假設的方式還原實際事件發生數。以「鐵公路車輛於平交道碰撞」為例，許多公路車輛闖越的虛驚事件，因為沒有影響鐵路列車而未被記錄，如此將與實際現況不符，過去研究<sup>[125]</sup>發現碰撞事故的多寡與遮斷桿撞斷數量呈一定之正向關係，因此本研究擬用遮斷桿撞斷的數量來推估分析期間內所有可能的闖越事件數。

首先，依據事件型態找出可能撞斷遮斷桿的情境包括有：太慢煞車、失能（酒醉）、未保持安全間距、誤判短時間無車、公路車輛事故、天候不佳、原因不明，統計這些事件在 2008~2010 年間共記錄有 91 次，又依據臺鐵電務處號誌科的統計得知該期間共有 4,361 支遮斷桿遭撞斷，假設該類事件發生一次平均會撞斷一支遮斷桿（入口端或出口端），因此得出平均每撞斷 48 支遮斷桿才會被記錄一次，本研究亦依據此 48 之倍數來還原，並推估出 2008~2010 年之闖越事件可能為 5619.5 次，如表 7.2 之第三欄所示，而整體次數統計亦可參考圖 7-4 所示。

表7.2 失誤樹分析基本事件次數統計一覽表

基本事件	碰撞次數	2008~2010 年 記錄次數	2008~2010 年 推估次數
公路車輛車輛拋錨	3	7	336
公路車輛底盤卡住	2	4	192
公路車輛裝載過高	0	2	96
公路車輛煞車失靈	0	1	48
公路車輛駕駛太慢煞車	3	3	144
公路車輛駕駛失能（酒醉）	5	8	384
公路車輛駕駛 未保持安全間距（路塞）	12	13	624
公路駕駛誤判短時間無車	41	44	2112
公路駕駛誤認未侵入淨空區域	7	8	384
公路車輛駛出鋪面	1	6	288
公路車輛事故	1	4	192
天候不佳	1	2	96
原因不明	8	15	720
公路防護設備無動作 <sup>(a)</sup>	-	3	-
無動作時公路車輛未注意 <sup>(a)</sup>	0	3	-
公路防護設備誤動作 <sup>(b)</sup>	-	45(僅 2010)	138
誤動作時公路車輛闖越 <sup>(c)</sup>	0	0	0.5
總計	84	120	5619.5

註：(a)臺鐵實際統計數值，不須用 48 倍推估、(b)臺鐵實際統計 2010 年發生 45 次，再根據各年度三甲平交道數量等比例推估 2008~2010 發生 138 次(c)觀測期間內發生為 0 次，實務上作法上會以兩倍的時間點發生 1 次來推估，亦即觀測期間內發生 0.5 次。

## 5. 步驟 5：機率標準化基礎確定

在分析鐵公路車輛於平交道碰撞之機率時，理論上應以每通過平交道公路車輛被撞的擊機率較符合實際需求，惟英國鐵路安全委員會

(RSSB) 公布的數據係以每營運列車公里發生撞擊的機率來呈現。基於上述情況，本研究為顧及合理之風險值且又要能與國外風險值進行比較，因此採用兩種不同的標準方式來進行量化分析。

有關 2008~2010 年之通過平交道的公路車輛數及列車公里分別如表 7.3 與表 7.4 所示：

**表 7.3 通過平交道公路車輛數統計一覽表**

年期	三甲平交道數 (年初年底平均)	三甲平交道每日 總通過車輛數	備註
2010 年	473.5	2,897,209	實際調查
2009 年	480.5	2,940,040	等比估計
2008 年	490	2,998,168	
總計		8,835,417	

註：2010 年平交道通過車輛數為實際調查數值，2009 與 2008 年係利用三甲平交道數量等比推估。

**表 7.4 列車公里統計一覽表**

年期	臺鐵每年 營運列車行駛公里數	備註
2010 年	40,455,979	臺鐵 統計資料
2009 年	40,530,635	
2008 年	39,682,682	
總計	120,669,296	

## 6. 步驟 6：事件發生機率計算

### (1) 基本事件發生機率

本研究依據 2008~2010 年各基本事件於表 7.2 的推估次數，分別除以表 7.3 之通過平交道總車輛數以及表 7.4 總營運列車公里

數，即可得出各基本事件之「每通過平交道車輛發生機率」以及「每列車公里發生機率」，如表 7.5 所示。

表7.5 失誤樹分析基本事件機率值

基本事件	2008~2010 年推估次數	每通過平交 道車輛發生 機率	每列車公里 發生機率
公路車輛車輛拋錨	336	$1.04 \times 10^{-7}$	$2.78 \times 10^{-6}$
公路車輛底盤卡住	192	$5.95 \times 10^{-8}$	$1.59 \times 10^{-6}$
公路車輛裝載過高	96	$2.98 \times 10^{-8}$	$7.96 \times 10^{-7}$
公路車輛煞車失靈	48	$1.49 \times 10^{-8}$	$3.98 \times 10^{-7}$
公路車輛駕駛太慢煞車	144	$4.47 \times 10^{-8}$	$1.19 \times 10^{-6}$
公路車輛駕駛失能（酒醉）	384	$1.19 \times 10^{-7}$	$3.18 \times 10^{-6}$
公路車輛駕駛 未保持安全間距（路塞）	624	$1.93 \times 10^{-7}$	$5.17 \times 10^{-6}$
公路車輛駕駛誤判短時間無車	2112	$6.55 \times 10^{-7}$	$1.75 \times 10^{-5}$
公路車輛駕駛 誤認未侵入淨空區域	384	$1.19 \times 10^{-7}$	$3.18 \times 10^{-6}$
公路車輛駛出鋪面	288	$8.93 \times 10^{-8}$	$2.39 \times 10^{-6}$
公路車輛事故	192	$5.95 \times 10^{-8}$	$1.59 \times 10^{-6}$
天候不佳	96	$2.98 \times 10^{-8}$	$7.96 \times 10^{-7}$
原因不明	720	$2.23 \times 10^{-7}$	$5.97 \times 10^{-6}$
防護設備無動作	3	$9.30 \times 10^{-10}$	$2.49 \times 10^{-8}$
防護設備誤動作	138	$4.28 \times 10^{-8}$	$1.14 \times 10^{-6}$

## (2) 三個條件事件的機率

依據圖 7-3 共有三個「INHIBIT」閘之條件事件機率，其計算方式說明如下：

- 公路車輛在有可能被撞擊的情況下侵入或滯留平交道危險區，導致鐵路列車與公路車輛於平交道碰撞的機率：共有 5619.5 次闖越，共發生 84 次碰撞，因此機率為  $84/5619.5=1.49\times 10^{-2}$ 。
- 防護設備無動作時，公路駕駛於列車接近時未注意列車侵入危險區機率：共發生有 3 次公路防護設備無動作，且公路駕駛未注意列車接近而侵入亦為 3 次，因此機率為  $3/3=1.00\times 10^{-0}$ 。
- 防護設備誤動作時，公路駕駛於列車接近時未注意列車闖越機率：共發生有 138 次公路防護設備誤動作，但並無公路駕駛於列車接近而闖入，本研究依據實務上常用的方式採 0.5 次計算，因此機率為  $0.5/138=3.62\times 10^{-3}$ 。

## 7. 步驟 7：布林代數演算與量化分析

透過布林代數演算，可將圖 7-3 的失誤樹簡化為圖 7-4 並得出最小分割集合，之後再將各基本事件的機率值代入即可得出圖 7-5 之頂端事件發生機率，由於本研究依據兩種不同的機率計算基礎，因此分別說明如下：

- (1) 依每通過平交道公路車輛為基準，可得鐵公路車輛於平交道碰撞之發生機率為  $2.26\times 10^{-8}$ 。
- (2) 依每列車公里機率為基準，可得鐵公路車輛於平交道碰撞之發生機率為  $6.05\times 10^{-7}$ 。

## 8. 步驟 8：重要性分析

透過重要性分析，可知鐵公路車輛在平交道碰撞的基本事件中，公路車輛駕駛人的違規是最主要的原因，其中又以「誤判短時間無車而闖越」、「未保持安全間距」、「誤判未侵入」為最主要的三項原因，將在改善建議中進一步說明。



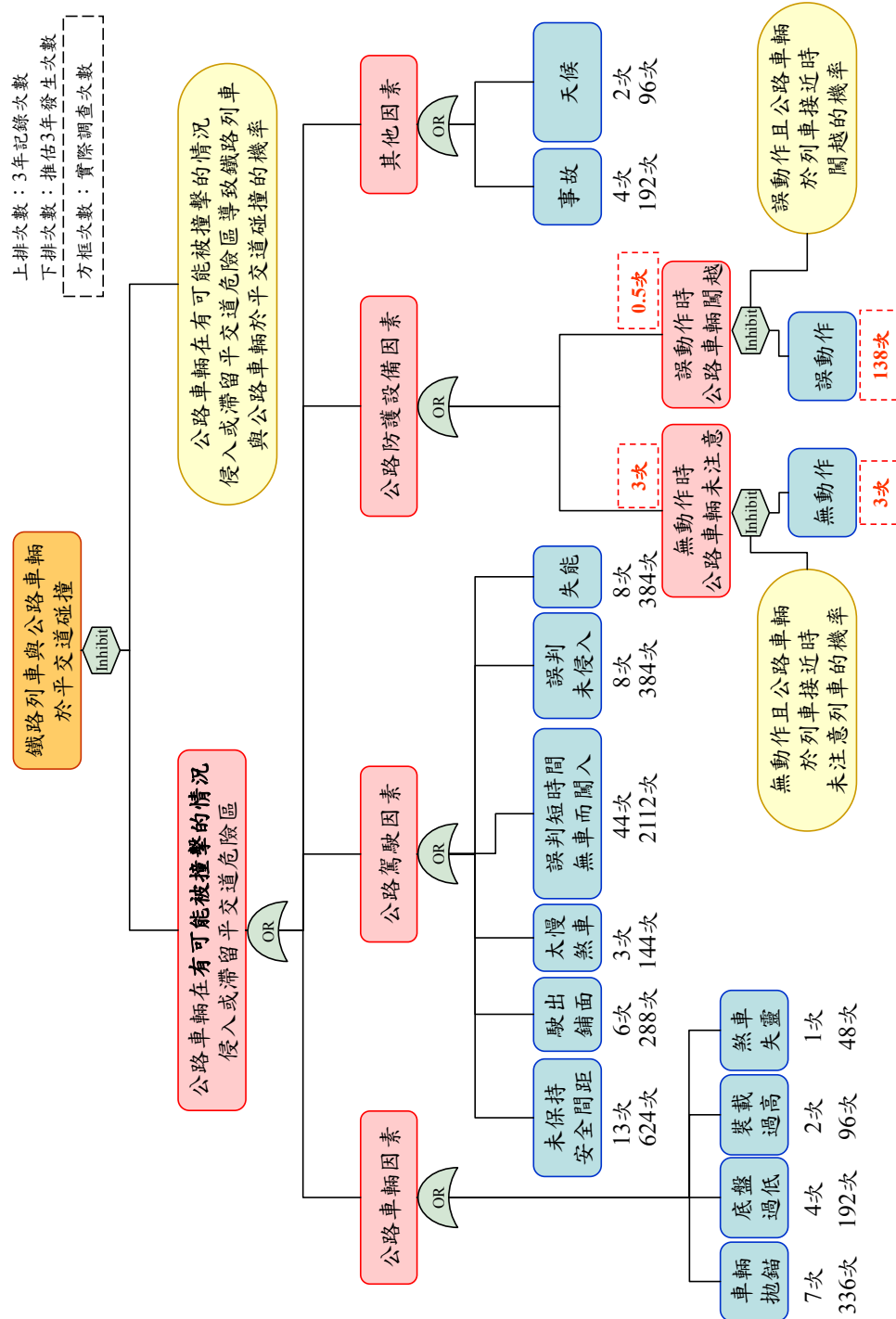


圖7-4 鐵路公路車輛於平交道碰撞失誤樹次數統計

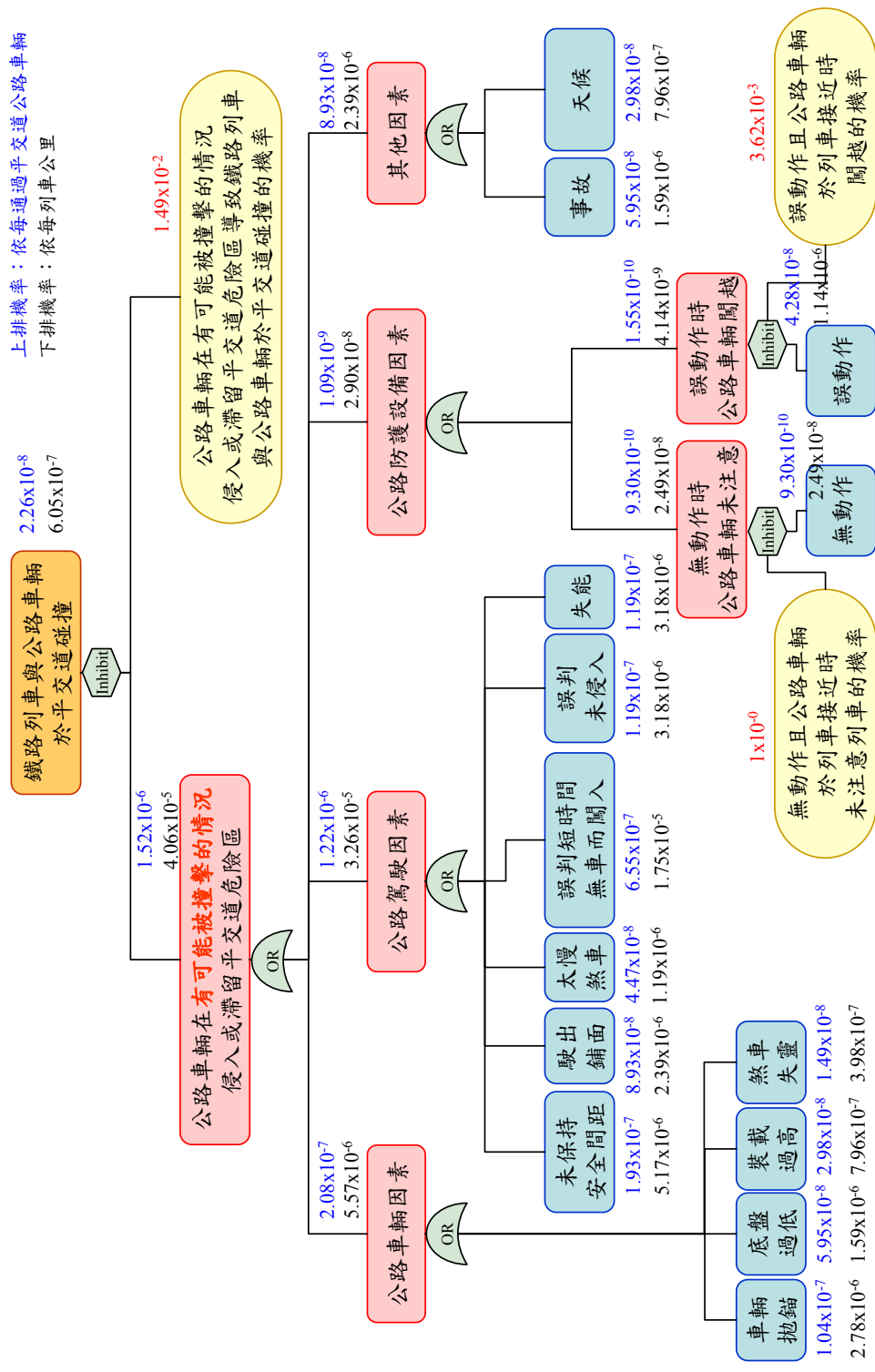


圖7-5 鐵公路車輛於平交道碰撞失誤樹量化分析

## 7.1.2 嚴重程度分析

本研究依據交通部運研所 2010 年完成之「風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵風險辨識為例<sup>[127]</sup>」研究案，沿用該案探討「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害之事件樹定性分析成果，如圖 7-6 所示，並透過適當之簡化後進行量化分析，說明如下。

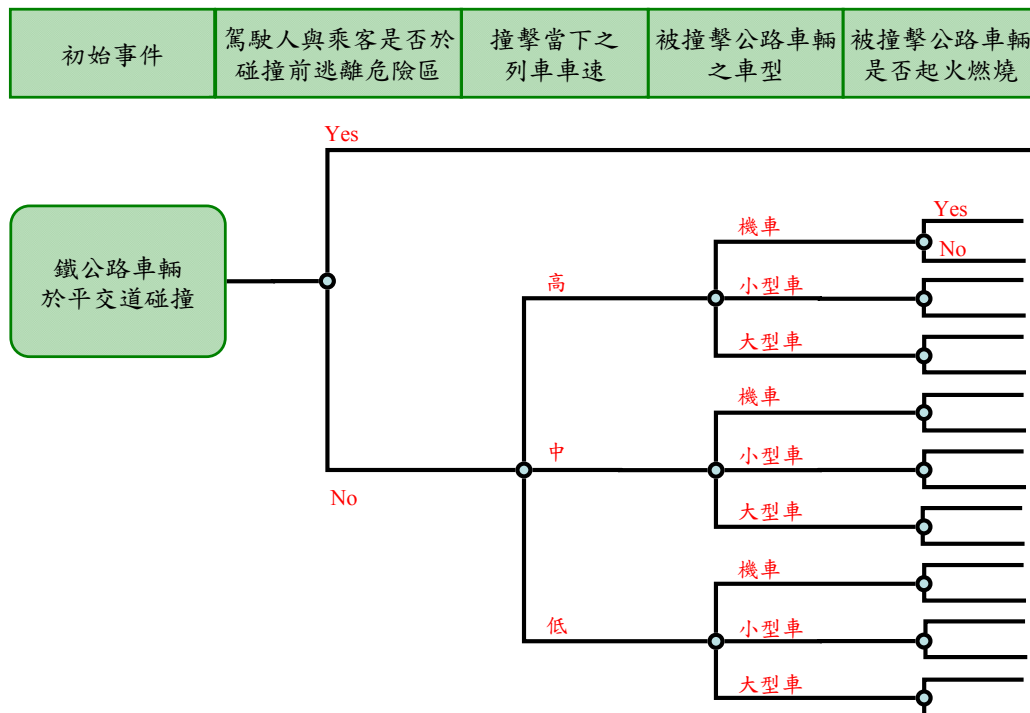


圖7-6 鐵公路車輛於平交道碰撞事件樹分析-原始圖

### 1. 步驟 1：分析情境確認

首先要確認圖 7-6 中四個分支關鍵中，是否有足夠的事故記錄供分析，茲將結果綜整如下：

- (1) 駕駛人與乘客是否於碰撞前逃離危險區：此部份資料不完整，無法提供分析。
- (2) 撞擊當下之列車速度：目前無此記錄資料。
- (3) 被撞擊公路車輛之車型：可從事故記錄內判讀出資料。
- (4) 被撞擊公路車輛是否起火燃燒：目前無此記錄資料。

由現況事故資料內容可知，目前僅能從公路車輛車型來進行事件樹分析。

## 2. 步驟 2：資料整理

以下將依據公路車輛不同車型來探討各別的碰撞次數與死傷程度，最後再計算整體碰撞事故之等效死亡。

- (1) 機車：發生 31 次碰撞事故，佔整體事故發生次數之 36.9%，造成大眾 12 死 16 傷，等值於 0.439 等效死亡/次。
- (2) 小型車（小客車、小貨車）：發生 49 次碰撞事故，佔整體事故發生次數之 58.3%，造成大眾 7 死 9 傷，等值於 0.161 等效死亡/次。
- (3) 大型車（大貨車、聯結車、特種車）：發生 4 次碰撞事故，佔整體事故發生次數之 4.5%，但 4 事故均未造成死傷，考量實際上大型車被碰撞仍有死傷可能，參考實務上之作法假設發生 8 次會造成一人受傷，等值於 0.0125 等效死亡/次。

整體而言，共有 84 次碰撞事故，共造成 19 死 25.5 傷，平均每次碰撞所造成的嚴重程度為 0.257 等效死亡（都是大眾）。

### 7.1.3 風險值評估

將上述的各項資料代入圖 7-7 簡化後的事件樹，可得出公路車輛不同車型經過平交道之風險值，如表 7.6 所示，其中撞擊大型車的事故因樣本數少，加上現況資料並未考量撞擊當下的列車速度，可能因此低估撞擊大型車時的嚴重程度，建議後續若有資料時應予以修正。

表 7.6 事件樹分析結果

車型	等效死亡/每通過平交道公路車輛	等效死亡/每列車公里
機車風險值	$3.67 \times 10^{-9}$	$9.80 \times 10^{-8}$
小型車風險值	$2.12 \times 10^{-9}$	$5.68 \times 10^{-8}$
大型車風險值	$1.36 \times 10^{-11}$	$3.63 \times 10^{-10}$
整體風險值	$5.80 \times 10^{-9}$	$1.55 \times 10^{-7}$

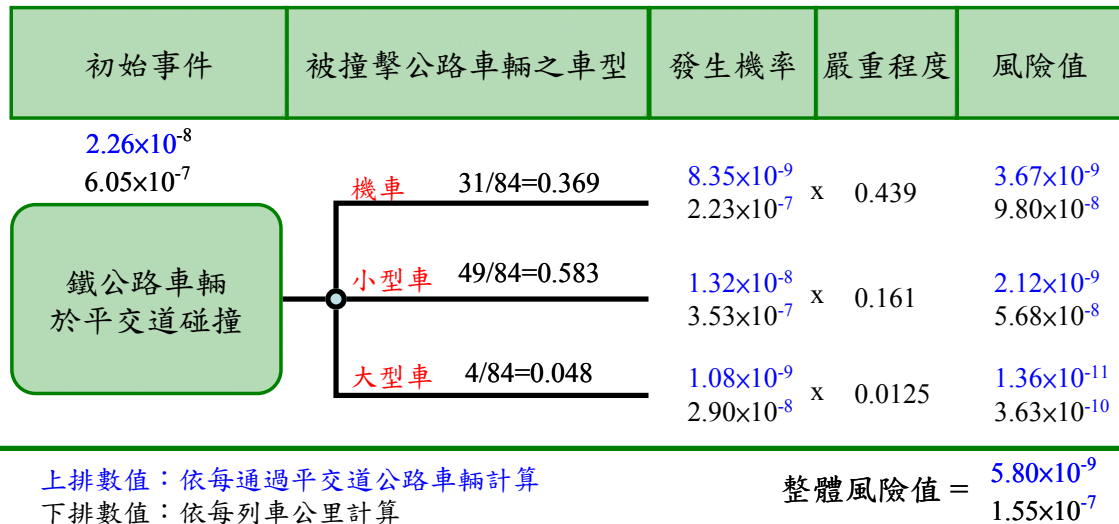


圖7-7 鐵公路車輛於平交道碰撞事件樹分析-簡化後

## 7.2 風險評量

本研究擬採用臺鐵既有之風險矩陣來進行定性的評量，有關發生機率與嚴重程度之兩個維度部分，依據 2008~2010 年臺鐵事故統計資料，三年間共有 84 次鐵公路車輛於平交道發生碰撞之事故，故發生機率為平均每年 28 次，又平均每次碰撞所造成的嚴重程度為 0.257 等效死亡。本研究依據臺鐵風險矩陣標準，採落點法後評估鐵公路車輛於平交道碰撞危害的風險落在「B 勉強忍受」區，亦即沒有可行風險解決方法時方可接受，如圖 7-8 所示。

非常嚴重	C	B	B	A	A
相當嚴重	D	C	B	B	A
嚴重	D	D	C	B	B
輕微	E	D	D	C	B
極輕微	E	E	E	D	C
	幾乎不可能	不太可能	可能	非常可能	幾乎確定

平交道

圖7-8 鐵公路車輛於平交道碰撞風險評量（臺鐵標準）

此外，除了依據臺鐵風險矩陣標準評估風險外，本研究亦整理第五章所回顧國內外軌道系統或軌道研究計畫所採用的風險矩陣標準，藉以評估「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害的風險等級。從表 7.7 可發現，臺鐵的鐵公路車輛於平交道碰撞的風險等級，除了以澳洲 Tasmania 洲際鐵路的標準是落在「ALARP」區內，對照其他標準都是落在「無法接受」的區域，亦即必須降低此項危害的風險，故雖然圖 7-8 依據臺鐵標準評量的結果勉強可接受，但本研究建議應視為無法忍受的危害。

**表7.7 鐵公路車輛於平交道碰撞風險評量（其他標準）**

其他標準	風險等級	代表意義
台灣高鐵	Un（落點）	不允許存在必須降低
台北捷運	R1（落點）	必須降低
高雄捷運	R1（落點）	必須降低
倫敦地鐵	高（相加）	不可忍受
澳洲 Tasmania	9 分（相加）	依據 ALARP 原則儘量降低
澳洲糖鐵	3 分（落點）	必須降低
香港地鐵	R1（落點）	必須降低
中國城際鐵路	A（落點）	必須降低
美國	高（落點）	必須降低
MODURBAN	紅（落點）	必須降低

## 7.3 改善建議

根據 7.2 節風險評量結果，本研究認為鐵公路車輛於平交道碰撞之危害係屬於「必須降低」等級，意即應在眾多改善方案中選取最有效的手段，暫時不須考量改善手段的成本效益。又鐵公路車輛在平交道碰撞的基本事件中，已發現最主要的原因是公路車輛駕駛人因素，其

中最主要的三項因素分別為：「誤判短時間無車而闖越」、「未保持安全間距」及「誤判未侵入」，因此表 7.8 分別針對以上三個因素提出可行的改善方法。此外，研究過程中受限過去並無平交道闖越的虛驚事件記錄，故以遮斷桿撞斷數進行推估，建議未來可利用影像辨識技術，記錄闖越平交道但未被記錄的虛驚事件，使分析數據更精確。

**表7.8 降低鐵公路車輛於平交道碰撞風險的改善手段**

基本事件	積極措施	消極措施
誤判短時間無車而闖越	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 公路側提前警示</li> <li>2. 考量降低入口端公路車輛車速之工程手段</li> <li>3. 加強教育宣導</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 違規攝影照相</li> <li>2. 加重罰則金額</li> </ol>
未保持安全間距	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 鐵公路號誌連鎖</li> <li>2. 重新檢討進出口遮斷桿秒差</li> <li>3. 加強教育宣導</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 違規攝影照相</li> <li>2. 加重罰則金額</li> </ol>
誤判未侵入	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 公路側提前警示</li> <li>2. 加強教育宣導</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 違規攝影照相</li> </ol>





## 第八章 旅客上下車摔倒危害分析與評量

圖 8-1 係 2008~2010 年臺鐵旅客上下車摔傷人數，就統計數值可發現平均每年約有 24 人於上下車時摔傷，總計 3 年來共發生 73 次上下車摔傷且造成 7.3 等效死亡（1 受傷=0.1 等效死亡），於臺鐵 119 項安全危害中排名第 8 序位。

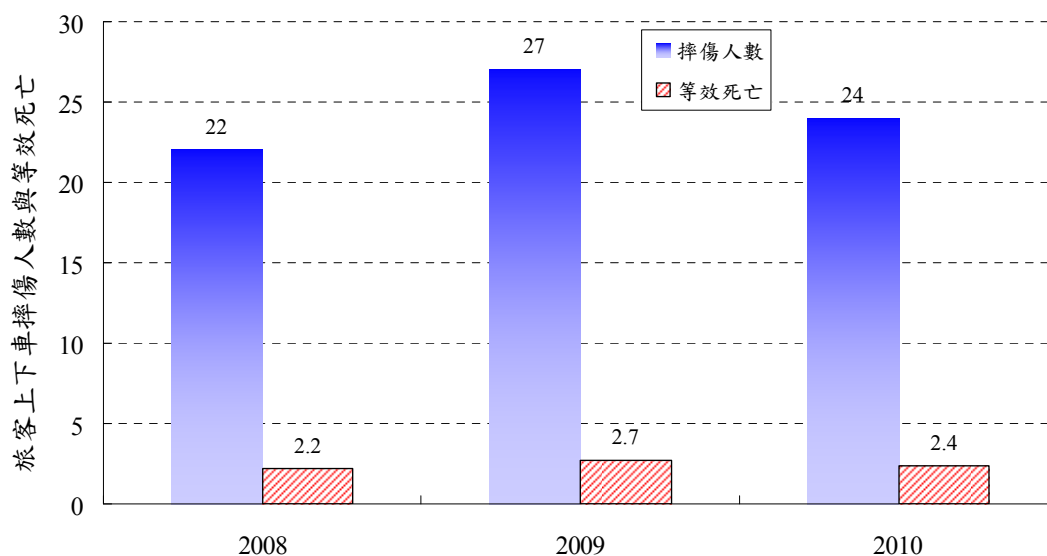


圖8-1 近 3 年臺鐵旅客上下車摔傷人數

然而，圖 8-1 僅是臺鐵營業科有記錄的人數，實際上仍有許多上下車摔倒事件，可能因傷勢不重或旅客未通報而沒有被記錄，尤其我國人口逐年老化，可預期未來臺鐵旅客平均年齡將逐年升高，上下車摔倒問題將日趨嚴重，加上近年來「無障礙」議題受到社會大眾的重視，友善的身障者乘車環境亦成為臺鐵未來優先考量的課題之一。因此，本章將針對[移動危害][旅客上下車摔倒]危害（以下簡稱旅客上下車摔倒）進行深入的風險分析與評量，8.1 節說明採用英國鐵路安全與標準委員會（RSSB）修正之人為錯誤評估及降低技術（Rail-Specific Human Error Assessment and Reduction Technique，以下簡稱

Rail-Specific HEART) 的風險分析步驟與結果，8.2節說明風險評量結果，8.3節則依據分析結果提供改善建議。

## 8.1 風險分析

以下分別說明旅客上下車摔倒之發生機率、嚴重程度以及風險值評估。

### 8.1.1 發生機率分析

旅客上下車摔倒雖然受設備、環境影響，但嚴格來說這些設備與環境因素並不會「失效」，而是在旅客發生人為疏失的情況下才會導致危害發生，或是在不良的設備與環境下，會提昇人為疏失的發生機率。因此，本研究採用英國安全與標準委員會（RSSB）修正之 Rail-Specific HEART 方法，分析「旅客上下車摔倒」危害，為避免讀者混淆 3.9 節說明的 HEART 以及本節使用的 Rail-Specific HEART，表 8.1 先比較兩方法中名詞的差異，以下再逐一說明 Rail-Specific HEART 的 7 個分析步驟。

表8.1 人為錯誤分析技術使用名詞對照表

HEART (Williams 提出)	Rail-Specific HEART (RSSB 修正後之方法)
通用任務類型 Generic Task Types, GTT	通用錯誤類型 Generic Error Type, GET
潛在人為失誤率 Nominal Human Error Potential, NHEP	潛在錯誤失誤率 Nominal Generic Error Probabilities, Nominal GEP
失誤產生條件 Error Producing Conditions, EPC	績效影響因子 Performance Factor, PF
影響比率 Assessed Proportion of Affect, APOA	影響比率 Assessed Proportion of Effect, APOE

## 1. 步驟 1：決定分析任務與牽涉範圍

Rail-Specific HEART 屬於人為錯誤 (Human Error) 的一種分析方法，主要探究「任務」的失敗機率，例如「列車司機員接收行控中心訊息」、「列車長目視列車門是否關妥」等都屬於任務的一種，故分析旅客上下車摔倒，可視為分析「旅客順利上下車」任務的失誤率，亦即不順利上下車就有可能導致旅客摔倒。

除了決定任務，範圍也須界定避免後續分析超出範圍或有疏漏，本研究分別從「對象」、「時間」、「空間」來界定分析範圍。

### (1) 「對象」範圍

- 旅客種類：一般旅客、老年與幼年旅客、身障旅客、視障與聽障旅客。
- 車門種類：自動車門、手動車門。

### (2) 「時間」範圍

本研究僅分析列車完全停妥後發生的旅客上下車摔倒事件，主要因列車尚未停妥時，旅客自行開啟手動車門下車屬於臺鐵 119 項危害中[移動危害][跳車]危害的範圍，並不在[移動危害][旅客上下車摔倒]的討論範疇內。

### (3) 「空間」範圍

雖然絕大多數情況列車都停靠在月台邊，但有時因列車長度過長，會發生部分車廂不臨月台的情況，此外臺鐵近年大力推廣的「遊輪式列車」亦在沒有月台的景點，由臺鐵員工協助旅客藉由移動式階梯直接在沒有月台處上下車（例如：南迴線的枋野號誌站），故不臨月台面的上下車情況亦納入探討範圍。

## 2. 步驟 2：思考任務涵蓋的所有子任務

將欲分析的任務拆解成有順序且更細部的子任務有助於後續思考失效原因，層級任務分析 (Hierarchical Task Analysis, 以下簡稱 HTA) 是一個在人為錯誤分析領域被廣泛用來拆解任務的方法，圖 8-2

即為使用 HTA 拆解「旅客順利上下車」所牽涉的各個子任務，可發現上下車前的準備行為在本研究中亦被納入考量。

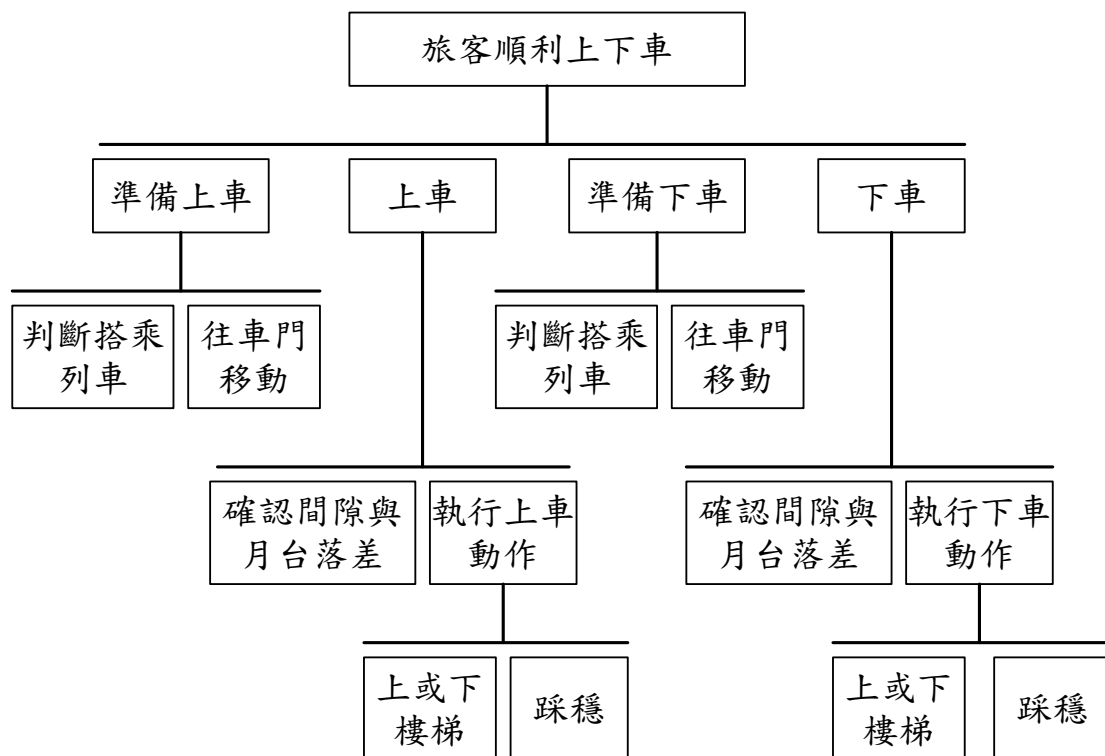


圖8-2 旅客順利上下車的層級任務分析圖

### 3. 步驟3：搭配人為錯誤評估方法探討可能的錯誤

本研究採用第三章介紹的特性要因圖（CED），分析造成臺鐵旅客無法順利上下車牽涉的影響因素如圖 8-3所示，包括人為因素、機械因素、車廂環境與月台環境都會影響旅客上下車。

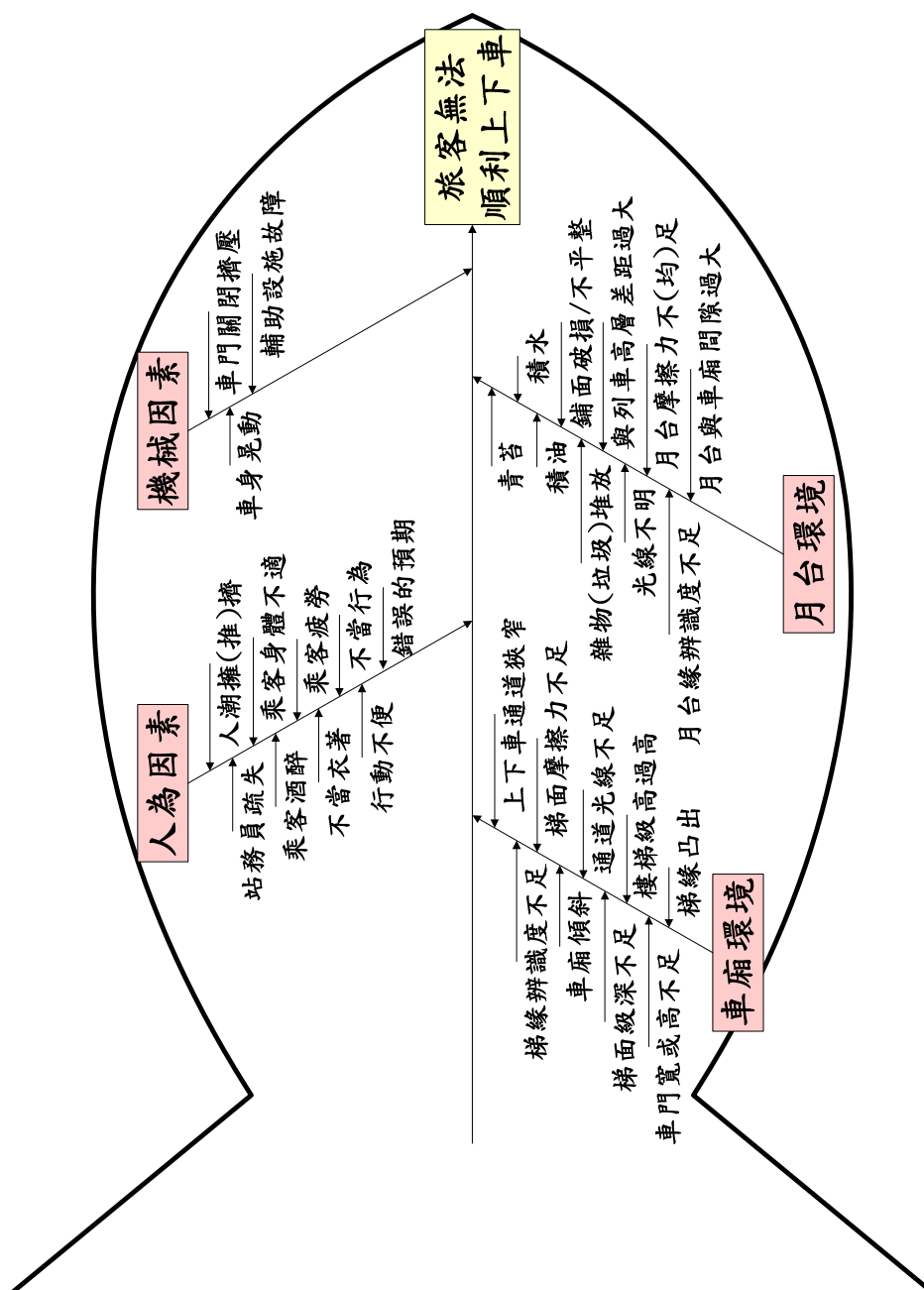


圖8-3 臺鐵旅客無法順利上下車之特性要因圖

#### 4. 步驟 4：思考各項任務可能發生哪類通用錯誤類型

本研究於第三章回顧 HEART 分析方法中，雖已說明九種通用任務類型（Generic Task Type, GTT），分析者須判斷分析任務屬於哪一類型來採用對應的失誤率，然而 HEART 的任務分類方式並不完全適用於軌道系統，因此在 Rail-Specific HEART 中，英國鐵路安全與標準委員會（RSSB）重新研擬 7 種適用軌道系統的通用錯誤類型（Generic Error Type，以下簡稱 GET），表 8.2 除了列出各類型潛在錯誤失誤率（Nominal Generic Error Probabilities, Nominal GEP）外，也提供失誤率上下限值供分析者參考<sup>[94]</sup>。

表8.2 通用錯誤類型與失誤率參考值

通用錯誤類型 GET	潛在錯誤失誤率 Nominal GEP	失誤率上限 Upper value	失誤率下限 Lower value
偵測失效 Detection Failure	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$4.51 \times 10^{-5}$
感知失效 Perception Failure	$2.05 \times 10^{-5}$	$4.43 \times 10^{-5}$	$5.32 \times 10^{-6}$
理解失效 Interpretation Failure	$1.57 \times 10^{-2}$	$2.65 \times 10^{-2}$	$6.24 \times 10^{-3}$
決策失效 Decision Failure	$3.68 \times 10^{-5}$	$6.4 \times 10^{-5}$	$1.65 \times 10^{-6}$
記憶失效 Memory Failure	$4.71 \times 10^{-4}$	$1.18 \times 10^{-3}$	$3.82 \times 10^{-5}$
疏忽 Omission	$6.88 \times 10^{-5}$	$1.10 \times 10^{-4}$	$7.61 \times 10^{-5}$
操作失效 Manual Failure	$4.4 \times 10^{-2}$	$1.31 \times 10^{-1}$	$3.93 \times 10^{-4}$

資料來源：[94]及本研究繪製

表 8.2 中各個通用錯誤類型（GET）的解釋如下

- (1) 偵測失效：在時間限制內，無法偵測預期或非預期目標的情況。
- (2) 感知失效：未能順利的接收視覺或聽覺的訊息，或接收到錯誤的訊息（不包括理解）。

- (3) 理解失效：誤會或不了解接收訊息的意義（不包括無法順利接收）。
- (4) 決策失效：作了一個錯誤的判斷或決定（當可提供判斷或決定的資訊都是正確的）。
- (5) 記憶失效：忘記或弄錯曾接收的視覺或聽覺的訊息。
- (6) 疏忽：因分心而忽略或忘記應該執行的步驟。
- (7) 操作失效：操作不正確。

本研究依據圖 8-2 的 HTA 分析結果，判斷旅客執行各子任務的過程中，可能產生的失誤主要有「感知失效」、「決策失效」、「疏忽」3 類。再者，表 8.2 的潛在錯誤失誤率原本係用來描述軌道系統員工的失誤率，本研究考量旅客上下車行為相對於員工所要執行工作的任務而言較為單純，故後續操作時將採用表 8.2 的失誤率下限值為依據，茲將本研究欲採用之通用錯誤類型（GET）與潛在錯誤失誤率（Nominal GEP）整理如表 8.3 所示。

**表8.3 旅客上下車過程可能發生的錯誤類型與失誤率**

通用錯誤類型（GET）	潛在錯誤失誤率（Nominal GEP）
感知失效 Perception Failure	$5.32 \times 10^{-6}$
決策失效 Decision Failure	$1.65 \times 10^{-6}$
疏忽 Omission	$7.61 \times 10^{-5}$

#### 5. 步驟 5：思考影響各通用錯誤類型（GET）的績效影響因子（PF）

本研究於第三章回顧 HEART 分析方法中，雖然介紹了 38 種失誤產生條件（Error Producing Condition, EPC），然而該 EPC 的描述不全然適用於軌道系統，故 RSSB 整理了 29 種績效影響因子（Performance Factor, PF）供軌道系統分析時使用（Rail-Specific HEART 的 PF 相等於 HEART 中的 EPC），表 8.4 列出 Rail-Specific HEART 的 29 項績效影響因子（PF）及其對應之影響因數（Multiplier）供後續分析參考。

表8.4 績效影響因子之定義與對應之影響因數

項次	績效影響因子 (PF)	定義	影響因數
1	不熟悉	對執行的任務「完全」不熟悉	17
2	時間壓力	卻乏足夠時間完成任務	11
3	感知能力	受外在環境影響視覺與聽覺的接收能力	10
4	准許忽略徵兆	警告訊息可以被忽視並非強制遵循	9
5	位置與設計	設備的位置或使用方式與直覺不符，可能混淆使用者	5
6	負擔過重	同時有多項任務被要求一起執行	6
7	技巧學習的衝突	新的技術或知識與舊有的發生衝突	6
8	程序理解的問題	執行者不清楚任務正確的執行程序	5
9	風險認知	因過度自信而輕忽可能的危險性	4
10	不好的回饋	反應給執行者的資訊不適當	4
11	延遲或不完整的回饋	反應給執行者的資訊有延遲或不完整（並非「不適當」而是「不完整」）	4
12	經驗不足	對執行的任務「部分」不熟悉	8
13	資訊品質與可接收性	傳遞給執行者的資訊不夠清楚（並非「反應」的資訊）	3
14	目標衝突	長期目標與當下的短期目標有衝突	3
15	單一資訊來源	執行者只有一個管道能獲取資訊	2.5
16	教育與訓練問題	執行者受的訓練或應具備的知識不足	2
17	資訊不可信	執行者不信任資訊的正確性	1.6
18	沒釐清職責	執行者不清楚負責的範圍	1.6
19	體能狀況	執行者本身的身體狀況不適合執行任務	1.4
20	情緒壓力	執行者內心遭遇壓力（包含私人因素）	2
21	健康	執行者本身有疾病或生理上的不舒服	2
22	士氣	與公司或長官的關係不好	2
23	資訊不一致	多個資訊來源傳遞不一樣的訊息	1.2
24	環境	執行任務的環境不良	8
25	不專注	因任務大多時候較單調，導致執行者不專注的情形	3
26	疲勞	因工作上或私人因素導致疲勞	1.1
27	分心	被周遭的人事物吸引而分心	1.03
28	團隊關係	與同事的關係不好	1
29	無標準流程	沒有好的方法或標準程序供執行者遵循	1.4

資料來源：[94]及本研究整理



本研究依據圖 8-3的特性要因分析及專家會議討論後，從表 8.4中挑出了八項績效影響因子（PF），並分別對應到表 8.3所列的三種通用錯誤類型（GET），整理如表 8.5所示。

表8.5 通用錯誤類型與對應之績效影響因子及影響因數

通用錯誤類型 (GET)	績效影響因子 (PF)	影響因數 (Multiplier)
感知失效	3.感知能力	10
決策失效	2.時間壓力	11
	9.風險認知	4
	19.體能狀況	1.4
	24.環境	8
疏忽	6.負擔過重	6
	12.經驗不足	8
	27.分心	1.03

#### 6. 步驟 6：判斷績效影響因子（PF）的影響比率（APOE）

表 8.4中各影響因子（PF）的影響因數（Multiplier）只代表該影響因子「最大」能影響任務失誤率的倍數，實務操作時仍要視分析對象與系統現況，考量績效影響因子（PF）的影響比率（Assessed Proportion of Effect, APOE），亦即影響因子（PF）的強度。例如：欲分析列車司機員可能犯的人為錯誤時，無論新進司機員或資深司機員都可能受「12.經驗不足」的績效影響因子（PF）影響，但新進司機員因「經驗不足」犯錯的比例理論上比資深司機員高，故分析時會給予兩者不同的影響比率（APOE），分別代表「經驗不足」的影響強度，用來修正影響因數（Multiplier）對失誤率的影響。因此，本研究在分析臺鐵旅客上下車摔倒危害時，也須一併考量臺鐵旅客特性，思考表 8.5所列之 8 項績效影響因子（PF）的影響比率（APOE）。

表 8.6係本研究在訪談台北站、桃園站及高雄站之站務人員並經專家會議確認後，整理出適用於臺鐵系統績效影響因子（PF）的影響情境，接著再於專家會議中以問卷方式來彙整臺鐵專家經驗，藉由各情境之比較後，歸納整理出八項績效影響因子（PF）的影響比率（APOE）對照表，以作為後續操作時之參考依據，詳見附錄 G。

表8.6 績效影響因子之影響情境

績效影響因子 (PF)	影響情境說明
時間壓力	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 於警鈴響起時匆促上車</li> <li>2. 不清楚列車的停靠位置，導致列車進站後須儘速移動至車門位置</li> <li>3. 不清楚停靠站訊息，未能提早準備下車</li> </ol>
感知能力	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 因月台光線不足而分不清楚樓梯面與車廂月台間隙</li> <li>2. 因月台邊側與車廂樓梯面的顏色不易區分而看不清楚車廂月台間隙</li> </ol>
負擔過重	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 手提大件行李上下車</li> <li>2. 自行開啟車門上下車</li> </ol>
風險認知	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 忽視安全，嬉笑打鬧、奔跑或採跳躍的方式上下車</li> <li>2. 無視列車門開關中強行上下車</li> </ol>
經驗不足	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不熟悉於不臨月台面下車</li> <li>2. 對起迄站的上下車環境不熟悉</li> </ol>
體能狀況	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 老年人、幼童、身障者無力上下車</li> <li>2. 旅客因健康因素身體不適而無力上下車</li> </ol>
環境	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 月台邊側破損、凹凸不平或止滑效果不佳</li> <li>2. 車廂樓梯「級高」太高或與月台落差太大</li> <li>3. 車廂樓梯「級深」不足</li> <li>4. 車站或車廂人潮擁擠</li> <li>5. 車廂與月台之間的間隙過大</li> </ol>
分心	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 講手機、操作手持電子設備而分心</li> <li>2. 尋找車站或轉乘資訊而分心</li> </ol>

考量臺鐵通勤旅客與非通勤旅客在各個績效影響因子（PF）的影響比率（APOE）不盡相同，例如：通勤旅客因搭乘次數頻繁且固定起迄點上下車，因此「經驗不足」的影響比率（APOE）明顯會比非通勤旅客低，故本研究依據附錄 H 的影響比率（APOE）對照表，判斷通勤旅客與非通勤旅客在各績效影響因子（PF）的影響比率（APOE），最後再依據臺鐵 2008~2010 年通勤電車與對號列車旅客數比例（約為 76：24），等比估算臺鐵整體旅客績效影響因子（PF）的影響比率（APOE），如表 8.7 所示。

表8.7 臺鐵整體旅客績效影響因子影響比率

績效影響因子 (PF)	通勤旅客 影響比率 (APOE)	非通勤旅客 影響比率 (APOE)	整體旅客 影響比率 (APOE)
時間壓力	0.1	0.2	0.124
感知能力	0.05	0.05	0.05
負擔過重	0.05	0.3	0.11
風險認知	0.05	0.05	0.05
經驗不足	0.05	0.1	0.062
體能狀況	0.05	0.05	0.05
環境	0.5	0.3	0.452
分心	0.1	0.3	0.148

## 7. 步驟 7：評估失誤的機率

依據表 8.5 與表 8.7，可分析臺鐵旅客上下車時，因「感知失效」、「決策失效」、「疏忽」而影響順利上下車的機率，其結果如表 8.8~表 8.10 所示。

表8.8 旅客上下車發生感知失效的失誤率分析

感知失效			潛在錯誤失誤率
			$5.32 \times 10^{-6}$
績效影響因子 PF	影響因數 Multiplier	影響比率 APOE	因數評估值 Assessed Affect
3.感知能力	10	0.05	$(10-1) \times 0.05 + 1 = 1.45$
旅客因感知失效無法順利上下車機率 $= (5.32 \times 10^{-6}) \times 1.45 = 7.71 \times 10^{-6}$			

表8.9 旅客上下車發生決策失效的失誤率分析

決策失效			潛在錯誤失誤率
			$1.65 \times 10^{-6}$
績效影響因子 PF	影響因數 Multiplier	影響比率 APOE	因數評估值 Assessed Affect
2.時間壓力	11	0.124	$(11-1) \times 0.124 + 1 = 2.24$
9.風險認知	4	0.05	$(4-1) \times 0.05 + 1 = 1.15$
19.體能狀況	1.4	0.05	$(1.4-1) \times 0.05 + 1 = 1.02$
24.環境	8	0.452	$(8-1) \times 0.452 + 1 = 4.164$
旅客因決策失效無法順利上下車機率 $= (1.65 \times 10^{-6}) \times 2.24 \times 1.15 \times 1.02 \times 4.164 = 1.81 \times 10^{-5}$			

表8.10 旅客上下車發生疏忽的失誤率分析

疏忽			潛在錯誤失誤率
			$7.61 \times 10^{-5}$
績效影響因子 PF	影響因數 Multiplier	影響比率 APOE	因數評估值 Assessed Affect
6.負擔過重	6	0.11	$(6-1) \times 0.11 + 1 = 1.55$
12.經驗不足	8	0.062	$(8-1) \times 0.062 + 1 = 1.434$
27.分心	1.03	0.148	$(1.03-1) \times 0.148 + 1 = 1.004$
旅客因疏忽無法順利上下車機率 $= (7.61 \times 10^{-5}) \times 1.55 \times 1.434 \times 1.004 = 1.70 \times 10^{-4}$			

從表中可發現「疏忽」為旅客無法順利上下車的主因，發生機率約為「決策失效」的 9 倍、「感知失效」的 22 倍。須特別說明的是，「無法順利上下車」不代表「旅客摔倒」，圖 8-4利用失誤樹說明無法順利上下車與實際造成摔倒的關係，假設「旅客未順利上下車而導致摔倒」的機率為五百分之一，可估計旅客上下車摔倒的發生機率為  $3.92 \times 10^{-7}$ 。

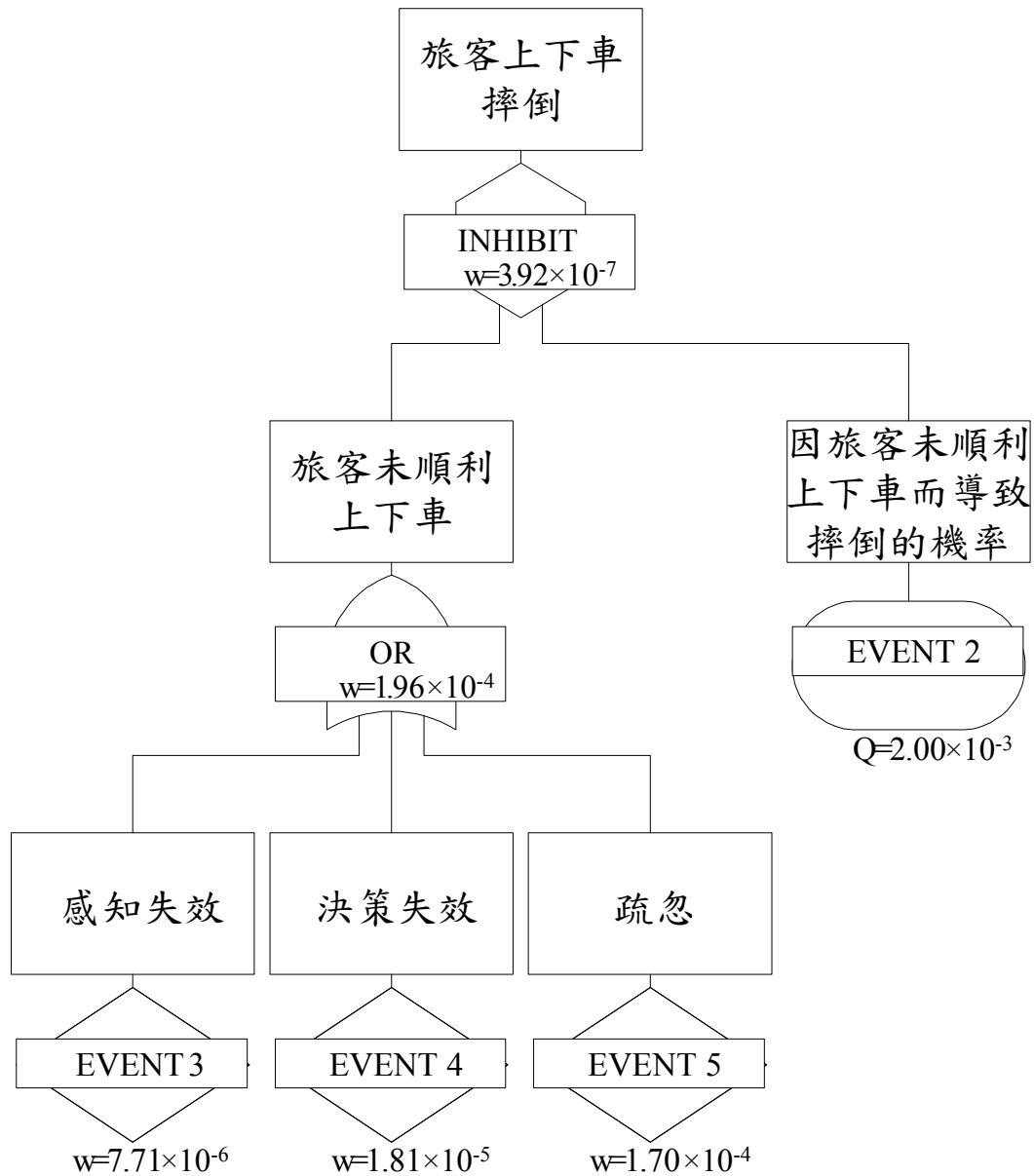


圖8-4 旅客未順利上下車與實際摔倒的關係示意圖

### 8.1.2 嚴重程度推估

因旅客上下車摔倒但未受傷的事件在實務上不會有記錄，因此本研究利用圖 8-5之旅客上下車摔倒與實際受傷的關係來推估每次摔倒的嚴重程度，說明如下。

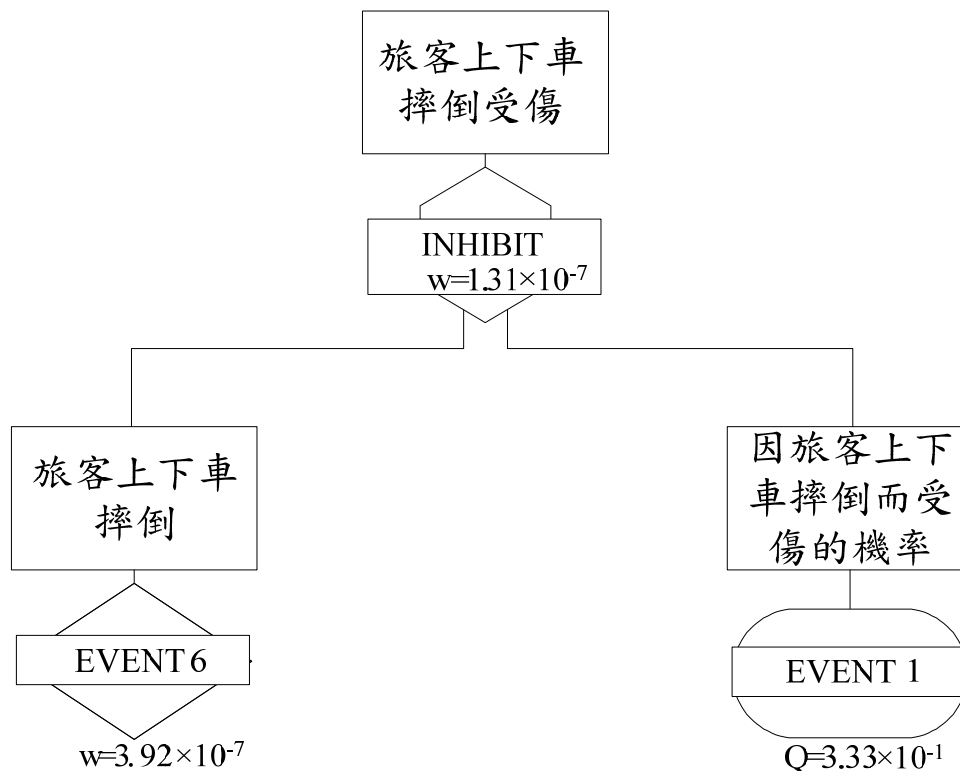


圖8-5 旅客上下車摔倒與實際受傷的關係示意圖

圖 8-4中已知旅客上下車「摔倒」的發生機率為  $3.92 \times 10^{-7}$ ，又依據 2008~2010 年臺鐵事故統計資料，得知旅客上下車「摔傷」的發生機率為  $1.33 \times 10^{-7}$ ，此兩者數值代表臺鐵旅客平均每 3 次摔倒事件中會有 1 人受傷（如圖 8-5所示），由於受傷與等效死亡之比例採 0.1 之數值，因此平均而言，旅客上下車摔倒的嚴重程度為 0.033 等效死亡。

### 8.1.3 風險值評估

透過以上的分析可知旅客上下車摔倒的機率為每旅次  $3.92 \times 10^{-7}$ ，又嚴重程度為每次摔倒的嚴重程度為 0.033 等效死亡，兩者相乘後即可得出每旅次因上下車摔倒而致死的風險值為  $1.29 \times 10^{-8}$ 。

## 8.2 風險評量

本研究擬採用臺鐵既有之風險矩陣來進行定性的評量，依據2008~2010 臺鐵統計資料，三年之平均年旅客量為 182,597,581 人，將該數值乘上旅客摔倒的發生機率  $3.92 \times 10^{-7}$ ，即可推估出每年約發生 23.8 次旅客摔倒事件，又根據8.1.2節假設得知每一次摔倒事件造成 0.033 等效死亡。

本研究依據臺鐵半定量風險矩陣，採落點法評估旅客上下車摔倒危害，約略落在「B 勉強忍受」與「C 不理想」區，亦即在沒有可行風險解決方法時方可接受，或者一般情形下須降低風險，如圖 8-6所示。

非常嚴重	C	B	B	A	A
相當嚴重	D	C	B	B	A
嚴重	D	D	C	B	B
輕微	E	D	D	C	B
極輕微	E	E	E	D	C
	幾乎不可能	不太可能	可能	非常可能	幾乎確定

圖8-6 臺鐵旅客上下車摔倒風險評量（臺鐵標準）

除了依據臺鐵風險矩陣標準來評估「旅客上下車摔倒」風險外，本研究亦整理第五章所回顧國內外軌道系統或軌道研究計畫所採用的風險矩陣標準，藉以評估「旅客上下車摔倒」危害的風險等級。從表 8.11可發現，臺鐵旅客上下車摔倒危害的風險等級，除了以台灣高鐵的安全標準是落在「Un 不可接受」區內，對照其他標準大多是落在「ALARP」區域，亦即合理可行的情況下必須降低此風險，與圖 8-6 依據臺鐵標準評量的結果相符。

表8.11 臺鐵旅客上下車摔倒風險評量（其他標準）

其他標準	風險等級	代表意義
台灣高鐵	Un（落點）	不允許存在必須降低
台北捷運	R2（落點）	可行情況下必須降低
高雄捷運	R2（落點）	可行情況下必須降低
倫敦地鐵	中（相加）	依據 ALARP 原則儘量降低
澳洲 Tasmania	8 分（相加）	依據 ALARP 原則儘量降低
澳洲糖鐵	4 分（落點）	須儘速改善
香港地鐵	R2（落點）	可行情況下必須降低
中國城際鐵路	B（落點）	依據 ALARP 原則儘量降低
美國	中（落點）	要管控
MODURBAN	黃褐（落點）	須適當處理

### 8.3 改善建議

依據8.2節風險評量結果，在合理可行的情況下，「旅客上下車摔倒」風險應儘可能降低，故本節依據8.1節 Rail-Specific HEART 的分析結果，從降低各個績效影響因子（PF）的影響比率（APOE）著手，思考可行的改善手段，亦即減少「旅客未順利上下車」的機率，可視為間接減少「旅客上下車摔倒」的機率。表 8.12整理降低各個績效影響因子（PF）之影響比率（APOE）的改善手段，惟「分心」主要還是取決於旅客的行為，故表中沒有降低「分心」之改善建議。



表8.12 降低績效影響因子之影響比率的改善手段

績效影響因子 PF	降低績效影響因子（PF）之影響比率（APOE）的改善手段
時間壓力	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 於旅客視線易受遮蔽處（月台建物旁、天橋下），標註各級列車停靠位置減少旅客匆忙上下車機率</li> <li>2. 車上通道與廁所應加裝廣播設備或提高廣播音量，確保旅客能接收到站訊息。</li> </ol>
感知能力	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 車廂樓梯緣與月台邊側材質避免使用黑色，讓視覺上與月台間隙產生區隔</li> <li>2. 確認各月台光線充足，同時避免因過高的月台花園、建物陰影影響旅客視線</li> </ol>
負擔過重	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 逐步汰換手動式列車門，避免旅客上下車過程還須自行開門增加危險性</li> <li>2. 車門寬度應足夠，減少提大件行李旅客上下車的危險性</li> </ol>
風險認知	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 持續勸導採危險行為上下車旅客</li> </ol>
經驗不足	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 避免列車於不臨月台面停靠導致旅客須跳下軌道</li> <li>2. 未來採購列車應朝統一月台高度、車門位置、車門寬度、車門高度、級高、級深，使旅客上下車感覺一致</li> </ol>
體能狀況	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 避免車廂樓梯級高過高造成行動不便者負擔</li> <li>2. 避免車廂月台間隙過大，應避免於路線曲率半徑過小處新設車站</li> </ol>
環境	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 老舊月台應儘速改建</li> <li>2. 尖峰時段勸導旅客分散搭車位置</li> <li>3. 進行月台整建工程時，應妥善規劃旅客動線，避免雜物堆放影響旅客上下車安全。</li> </ol>



## 第九章 結論與建議

本研究承襲「風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵風險辨識為例<sup>[127]</sup>」研究案成果，針對「鐵公路車輛於平交道碰撞」與「旅客上下車摔倒」兩項危害進行風險分析與評量作業，過程中除了回顧風險分析與評量的理論方法，亦蒐集軌道領域的實務作法，期能對臺鐵風險管理作業有所助益。

### 9.1 結論

本研究主要研究課題包括：「前期風險辨識成果回顧」、「風險分析方法回顧」、「風險評量方法回顧」、「風險分析與評量實務作法回顧」、「鐵公路車輛於平交道碰撞之風險分析與評量」、「旅客上下車摔倒之風險分析與評量」，以下分別說明各研究課題的重要發現與成果。

#### 1. 前期風險辨識成果回顧

- (1) 先進國家的軌道系統主要採用 EN50126、EN50128、EN50129 作為風險管理的標準與規範，其中包括：風險相關名詞定義、風險辨識、分析與評量方法。
- (2) 軌道系統的風險管理作業應持續進行並適時更新，因此，本研究依據臺鐵近期事件與事故資料，將 2010 年所辨識出的 113 項安全危害更新為 119 項。

#### 2. 風險分析方法回顧

- (1) 風險分析方法眾多，惟軌道系統實務上有慣用的幾種方法，有些方法僅針對設備故障進行分析，有些則專注於探討人為疏失，有些可提供定量分析，有些則僅能作定性的建議。其中，常用來探討設備故障的分析方法包括 FMECA、FTA 與

ETA，常用來探討人為疏失的則是 CED、Human Error HAZOP 與 HEART。

- (2) FTA 在軌道領域被廣泛用來發掘危害的關鍵並探討有效的改善手段，其中，最小分割集合可協助使用者了解導致危害發生的各種原因組合，最小路徑集合則提供各種杜絕危害發生的對策組合，使用者也可藉由重要性測度方法，決定最具效益的改善對策。
- (3) 軌道系統普遍採用 HEART 進行人為錯誤的量化分析，藉由選定通用作業類型、評估失誤產生條件並決定影響比率後，可估算出人為錯誤的失誤率，作為決策者判斷是否需要採取改善措施，並評估改善措施預期效益的依據。

### 3. 風險評量方法回顧

- (1) 先進國家普遍訂定風險可容忍上限值與期望下限值來評量軌道系統中旅客、員工、大眾的整體風險水準，該值主要參考健康與工業安全標準，或依據民眾普遍可接受的風險值而定。
- (2) 在資料有限的條件下，適合用風險矩陣法來評量單一危害的風險，藉由定性、半定量或定量的風險矩陣評估危害的發生機率與嚴重性，再透過落點法、相加法或相乘法決定風險等級與處理對策。
- (3) 在資料充分的條件下，可對各子系統或各危害訂定目標值來進行風險評量，亦即先考量旅客、員工、大眾的整體風險目標，再根據專家或類似系統經驗將風險目標配當到各子系統或各危害，作為風險評量時判斷改善與否的標準。

#### 4. 風險分析與評量實務作法回顧

- (1) 國內外軌道系統普遍導入風險管理觀念來控管安全，且並非以完全零風險為目標，而是採 ALARP 觀念，在合理可行的情況下儘可能降低風險。
- (2) 風險評量在實務上以風險矩陣法較常被採用，其中又以「半定量維度搭配落點法」與「半定量維度搭配相加法」最普遍。
- (3) 「危害登錄表」乃軌道系統普遍用來記錄風險分析與評量結果的工具，包括台北捷運、台灣高鐵、香港地鐵等國內外軌道系統都採用此一方式控管風險。

#### 5. 「鐵公路車輛於平交道碰撞」之風險分析與評量

- (1) 「公路駕駛因素」為鐵路列車與公路車輛發生撞擊的主因，其中又以公路駕駛人「誤判短時間無車而闖越」、「未保持安全間距」、「誤判未侵入」為最關鍵的因素。
- (2) 平交道防護設備的確曾因故障影響公路側用路人安全，總計 2008~2010 年共發生 3 次防護設備應作動而未作動或提早解除的事件，2010 年亦曾發生 45 次不該作動卻作動的事件。
- (3) 臺鐵目前「鐵路列車與公路車輛於平交道碰撞」之風險等級經評量後判斷應儘速改善，儘管依臺鐵標準其風險落於「勉強忍受」區，但對照國內外其他系統的標準則大多落於「必須降低」區，亦即應選擇最有效的方式降低風險，而暫不考量改善手段的成本效益。

#### 6. 「旅客上下車摔倒」之風險分析與評量

- (1) 感知失效、決策失效、疏忽是旅客上下車摔倒的原因，其中感知失效受旅客「感知能力」所影響；決策失效受「時間壓力」、「風險認知」、「體能狀況」、「環境」所影響；疏忽受「負擔過重」、「經驗不足」、「分心」所影響。

- (2) 臺鐵目前「旅客上下車摔倒」之風險等級經評量後判斷應儘可能予以改善，除了依臺鐵標準其風險約略落於「勉強忍受」區與「不理想」區之間外，對照國內外其他系統的標準也普遍落於「ALARP」區，亦即在合理可行的條件下，應儘可能降低風險。

## 9.2 建議

本研究除了深入分析「鐵公路車輛於平交道碰撞」與「旅客上下車摔倒」兩項危害並提出改善建議外，研究過程中亦發現其他軌道系統可供臺鐵借鏡的作法，以及後續可研究的方向，茲整理如下：

### 1. 改善「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害之建議

- (1) 建議應儘速汰換控制平交道防護設備啟動與解除的易故障號誌設備，避免因故障產生誤訊號甚至無訊號的情況，雖然平交道防護設備故障不見得造成事故，但對臺鐵形象衝擊較大，尤其尖峰時段防護設備收到誤訊號而持續作動時更容易引發民怨。
- (2) 消弭平交道公路側危險因素是未來提昇平交道安全的重點，例如進出口端遮斷桿落下秒差是否應因地制宜調整，或於公路線型不佳視線易受遮蔽處提前告警（詳可參考附錄 C 科技新知「以 GPS 提前告知平交道位置」）。
- (3) 建議於列車頭加裝影像記錄器輔助判斷事故原因，可有效改善目前許多平交道事故原因不明的情況。

### 2. 改善「旅客上下車摔倒」危害之建議

- (1) 於月台加強提供列車的到開資訊，包括提供各級列車停靠位置的資訊，並於尖峰時段列車密集到開時，加強廣播協助旅客判斷欲搭乘列車的停靠位置。

- (2) 於車上加強提供到站資訊，尤其在對號列車的車廂走道與廁所應考量加裝廣播設備或加大音量，減少旅客匆忙下車可能發生的危險。
- (3) 改善月台環境，例如應避免設置過高花圃或堆積雜物影響旅客上下車，同時應加速老舊車站改建。
- (4) 後續採購列車應統一規格，包括車門位置、車門寬度、車門高度、級高、級深等，除了避免車門過窄、級高過高、級深不足的情形外，也可讓旅客使用上的感覺較為一致，減少因不熟悉導致的危險。
- (5) 避免於曲率半徑過小處新設車站，除了因路線超高導致車廂傾斜影響旅客上下車外，也會拉大車廂月台間隙增加危險。

### 3. 臺鐵風險管理現況作法之建議

- (1) 應增加平交道事故記錄的詳細度，例如參考澳洲<sup>[51]</sup>、美國<sup>[30]</sup>的平交道事故記錄表格，詳如附錄 H 所示，增加限制性的欄位供記錄者勾選，避免過多開放性欄位的描述影響分析的精確度。
- (2) 應確實記錄平交道虛驚事件，建議可利用影像辨識技術從平交道的錄影監視影像中自動辨識，於後續分析平交道相關危害時能提供更多有用的資訊（詳可參考附錄 C 科技新知「利用影像辨識技術偵測平交道障礙物」）。
- (3) 建議調整危害分類方式，主要因臺鐵現有危害分類方式能提供的資訊有限，例如本研究探討的兩項危害都無法從現有分類方式中找到對應的項目，但這兩項危害卻一直是臺鐵關注的重點，可見現有分類方式不足之處。
- (4) 建議重新審視現行行車類與非行車類的風險矩陣，除了整併為一個外，嚴重度與發生機率的分級門檻也應重新考量，例

如太過詳細的分級標準是否好操作，各嚴重等級門檻值是否符合大眾預期等。

- (5) 設計適合臺鐵的危害登錄表，方便持續追蹤並控管各項危害，也可累積風險管理經驗。
- (6) 建議後續可將研究成果整併至臺鐵「行車保安資訊系統」的風險管理介面，未來由臺鐵企劃處統籌管理風險管理相關事宜，並邀請運、工、機、電、行保會、勞安室、防護團組成專責的風險管理團隊，定期審視臺鐵安全危害，除了可研擬安全提昇對策外，也可作為訂定防災演練項目的參考依據。

#### 4. 後續可研究方向之建議

- (1) 建議加強研究軌道系統中的人為錯誤問題，主要考量許多軌道系統的危害都與「人」息息相關，然而國內相關的研究卻相當罕見，且國外軌道系統有其獨特的規章程序，相關經驗不適用臺鐵或國內其他軌道系統。
- (2) 建議應繼續研究風險處理的標準與原則，延續運研所於臺鐵風險辨識、臺鐵風險分析與評量的成果，尤其當危害風險經評量落於 ALARP 區時，如何評估改善手段是否合理可行，應有一套標準供決策者參考，其中牽涉許多定義問題應深入研究。
- (3) 為了降低鐵公路車輛於平交道碰撞的風險，臺鐵已於鐵路側加裝許多防護設備，從本研究的分析結果亦明顯發現目前造成碰撞事故的主要問題來自於公路駕駛人的不當行為，建議後續應從公路側角度出發來進行改善，例如：研究如何用交通工程的方法使駕駛人接近平交道時確實減速，檢討路側標誌是否清楚告知用路人前方平交道資訊等。
- (4) 經文獻回顧後，發現阿里山森林鐵路之事故統計資料略顯不足，建議交通部對阿里山森林鐵路執行監理作業時應要求建立平常事故之登錄系統，以便進一步執行風險辨識與分析。



## 附錄 A 縮寫對照表



項次	英文縮寫	解釋
1.	AHB	Automatic Half-Barrier，自動化半遮斷平交道
2.	ALARP	As Low As Reasonably Practicable，合理的情況下將風險降至最低
3.	APOA	Assessed Proportion of Affect，主觀性的影響比率
4.	APOE	Assessed Proportion of Effect，英國 RSSB 修正 HEART 方法時提出的主觀性影響比率
5.	CA	Criticality Analysis，關鍵性分析
6.	CARA	Controller Action Reliability Assessment，航空專用之人為錯誤評估技術
7.	CED	Causes & Effects Diagram，特性要因圖
8.	ETA	Event Tree Analysis，事件樹分析
9.	EN50126-1	Railway Applications-The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety
10.	EN50126-2	Guide to the application of EN 50126-1 for safety
11.	EN50126-3	Guide to the application of EN 50126-1 for rolling stock RAMS
12.	EN50128	Railway Applications-Communications, Signaling and Processing Systems-Software for Railway Control and Protection systems
13.	EN50129	Railway Applications-Communication, Signaling and Processing Systems-Safety Related Electronic Systems for Signaling
14.	EPC	Error Producing Condition，錯誤產生條件
15.	EQF	Equivalent Fatality，等效死亡
16.	ETWB	Environment, Transport and Works Bureau，香港環境運輸及工務局
17.	FEMA	Federal Emergency Management Agency，美國聯邦緊急事故管理總署
18.	FMECA	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis，故障模式影響與嚴重性分析
19.	FTA	Fault Tree Analysis，失誤樹分析
20.	FTA	Federal Transit Administration，美國大眾運輸署
21.	FWI	Fatalities and Weighted Injuries，死亡與加權受傷
22.	GAMAB	Globalement Au Moins Aussi Bon，法國接受安全風險之標準，新系統安全性至少要與現有同類型系統一樣好

項次	英文縮寫	解釋
23.	GET	Generic Error Type，通用錯誤類型
24.	GTT	Generic Task Type，通用任務類型
25.	HAZOP	Hazard and Operational Analysis，危害與可操作性分析
26.	HEART	Human Error Assessment and Reduction Technique，人為錯誤評估及降低技術
27.	HEM	Hazardous Event Movement，移動危害
28.	HEN	Hazardous Event Non-movement，非移動危害
29.	HET	Hazardous Event Train，列車危害
30.	HRA	Human Reliability Assessment，人為可靠度評估
31.	HSE	Health and Safety Execution，英國健康與安全委員會
32.	HTA	Hierarchical Task Analysis，層級任務分析法
33.	ISTEA	Intermodal Surface Transportation Efficiency Act，美國陸面複合運輸效率法案
34.	KRRI	Korea Railroad Research Institute，韓國軌道研究中心
35.	KTX	Korea Train eXpress，韓國高鐵系統
36.	LOA	Limit of Acceptability，風險目標值
37.	LOT	Limit of Tolerability，風險可接受值
38.	MEM	Minimum Endogenous Mortality，德國接受安全風險之標準，訂出可接受的死亡率
39.	MKBF	Mean Car-Kilometers Between Service-Delay Failure，平均延誤失效發生之間隔車公里
40.	MTBF	Mean Time Between Failure，設備故障平均間隔時間
41.	MTA	Metropolitan Transportation Authority，紐約大都會運輸署
42.	NHEP	Nominal Human Error Potential，潛在人為失誤率
43.	Nominal GEP	Nominal Generic Error Probabilities，潛在錯誤失誤率
44.	OSS	Office of System Safety，紐約大眾運輸系統安全辦公室
45.	OT	Operation and Transfer，委外經營
46.	PDCA	Plan, Do, Check, Action，規劃、推動、矯正、審查之管理程序
47.	PF	Performance Factor，績效影響因子
48.	PHA	Preliminary Hazard Analysis，初步危害分析
49.	Rail-Specific	軌道系統之人為錯誤評估與降低技術，為英國 RSSB

項次	英文縮寫	解釋
	HEART	修正 HEART 之方法
50.	RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety，可靠度、妥善率、維修度、安全度
51.	RBD	Reliability Block Diagram，可靠度方塊圖
52.	RBS	Risk Breakdown Structure，風險分解結構方法
53.	RPN	Risk Priority Numbers，風險優先數值
54.	RSSB	Railway Safety and Standard Board，英國鐵路安全與標準委員會
55.	SIL	Safety Integrity Level，安全等級
56.	SMP	Safety Management Plan，高雄捷運的安全管理計畫
57.	SRI	Stanford Research Institute，史丹福國際研究院
58.	SRM	Safety Risk Model，英國安全風險模式
59.	SSP	System Security Plan，系統保全計畫
60.	SSPP	System Safety Program Plan，系統安全促進計畫
61.	STD	State Transition Diagram，狀態轉換圖
62.	SWIFT	Structured What-If Technique，結構化 What-If 分析法
63.	WBS	Work Breakdown Structure，工作分解結構



## 附錄 B 布林代數演算與范恩圖





### 1. 布林代數演算

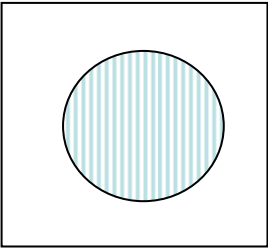
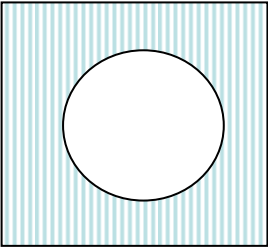
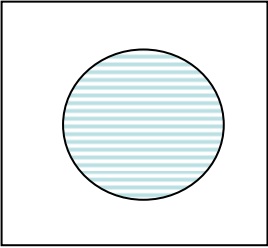
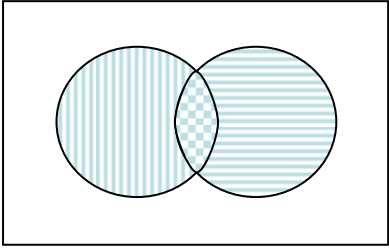
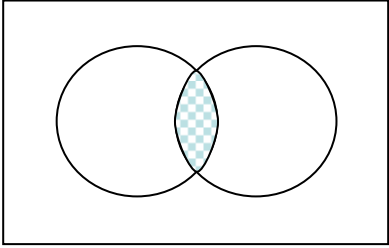
式中之  $X, Y, Z$  為事件的布林變數，代表事件的狀態，其值可為 1（事件發生）或者 0（事件沒發生）。

數學符號	工程符號	備註
$X \cap Y = Y \cap X$ $X \cup Y = Y \cup X$	$X \cdot Y = Y \cdot X$ $X + Y = Y + X$	交換律
$X \cap (Y \cap Z) = (X \cap Y) \cap Z$ $X \cup (Y \cup Z) = (X \cup Y) \cup Z$	$X \cdot (Y \cdot Z) = (X \cdot Y) \cdot Z$ $X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$	結合律
$X \cap (Y \cup Z) = (X \cap Y) \cup (X \cap Z)$ $X \cup (Y \cap Z) = (X \cup Y) \cap (X \cup Z)$	$X \cdot (Y + Z) = X \cdot Y + X \cdot Z$ $X + (Y \cdot Z) = (X + Y) \cdot (X + Z)$	分配律
$X \cap X = X$ $X \cup X = X$	$X \cdot X = X$ $X + X = X$	冪等律
$X \cap (X \cup Y) = X$ $X \cup (X \cap Y) = X$	$X \cdot (X + Y) = X$ $X + (X \cdot Y) = X$	吸收律
$X \cap X' = \phi$ $X \cup X' = \Omega = I$ $(X')' = X$	$X \cdot X' = \phi$ $X + X' = \Omega = 1$ $(X')' = X$	互補律
$(X \cap Y)' = X' \cup Y'$ $(X \cup Y)' = X' \cap Y'$	$(X \cdot Y)' = X' + Y'$ $(X + Y)' = X' \cdot Y'$	De Morgan's laws
$\phi \cap X = \phi$ $\phi \cup X = X$ $\Omega \cap X = X$ $\Omega \cup X = \Omega$ $\phi' = \Omega$ $\Omega' = \phi$	$\phi \cdot X = \phi$ $\phi + X = X$ $\Omega \cdot X = X$ $\Omega + X = \Omega$ $\phi' = \Omega$ $\Omega' = \phi$	$\phi$ 與 $\Omega$ 之運算
$X \cup (X' \cap Y) = X \cup Y$ $X \cap (X' \cup Y) = XY$ $X' \cap (X \cup Y') = X' \cap Y'$	$X + (X' \cdot Y) = X + Y$ $X \cdot (X' + Y) = XY$ $X' \cdot (X + Y') = X' \cdot Y'$	常用公式
符號說明： $\cup$ = 聯集 $\cap$ = 交集 $\Omega$ = 宇集，通常以 $I$ 代替 $\phi$ = 空集合 $'$ = 補集		

註：布林代數運算是邏輯的演算，非一般數值運算。

## 2. 范恩圖 (Venn Diagram)

使用范恩圖可使布林代數演算更簡單易懂，一般假設以方形代表全集合，而出現於方形中者均為子集合。

集合	范恩圖
$X$	
$X'$	
$Y$	
$X \cup Y$ $X + Y$	
$X \cap Y$ $X \cdot Y$	

## 附錄 C 科技新知



# 利用影像辨識技術偵測平交道障礙物

## 中興工程顧問社

平交道一直是鐵路系統中最危險的區域之一，且鐵公路車輛於平交道碰撞後往往造成嚴重後果。有鑑於此，臺灣鐵路管理局（以下簡稱臺鐵）近年來除了於轄下所有平交道設置緊急按鈕外，更大力推廣「按、推、跑」口訣，藉以教育公路側用路人當受困平交道時，應第一時間按下緊急按鈕通知鄰近列車以儘早煞車。然而緊急按鈕仍須仰賴用路人啟動，當公路側駕駛於遮斷桿降下才發現受困的時候，就算按下緊急按鈕也往往來不及通知列車駕駛，且從事故資料中亦發現許多被列車擦撞的用路人實際上未發現車輛已侵入淨空區域，此時緊急按鈕更無法發揮功用。

近年來影像辨識技術已被廣泛應用在許多領域，國外亦有許多利用影像辨識技術來偵測平交道障礙物的研究，由於臺鐵已決定於全線平交道設置監視攝影機，或許可利用類似概念發展辨識技術，當偵測到平交道有障礙物時能立即通知列車駕駛，減少平交道碰撞事故的風險，以下說明國外研究採用辨識技術於平交道偵測障礙物的成果。

### 辨識原理

此項研究乃利用比較前景與背景畫面相素的差異作為辨識的基礎，所謂的「背景」指的是沒有車通過時監視器所顯示的畫面，由於

白天晚上、陰天雨天可能有不同的背景，因此需透過統計的方式持續估算「背景」的相素資料。而「前景」則是捕捉畫面中與「背景」相素差異超過一定程度的畫面，作為判斷是否有車輛闖入淨空區域的依據，辨識步驟如下：

1. 統計背景相素資料
2. 分析變動相素作為前景
3. 將前景中的物件編號並記錄
4. 追蹤物件動態
5. 判斷物件是否為障礙物

圖 1 左側的藍線區域為淨空區範圍，右側則為影像辨識分析後的圖像，可看到除了車輛佔據的部份外，其他區域因與背景值相同而呈現黑色的狀態，後續將只對白色的區塊進行追蹤。

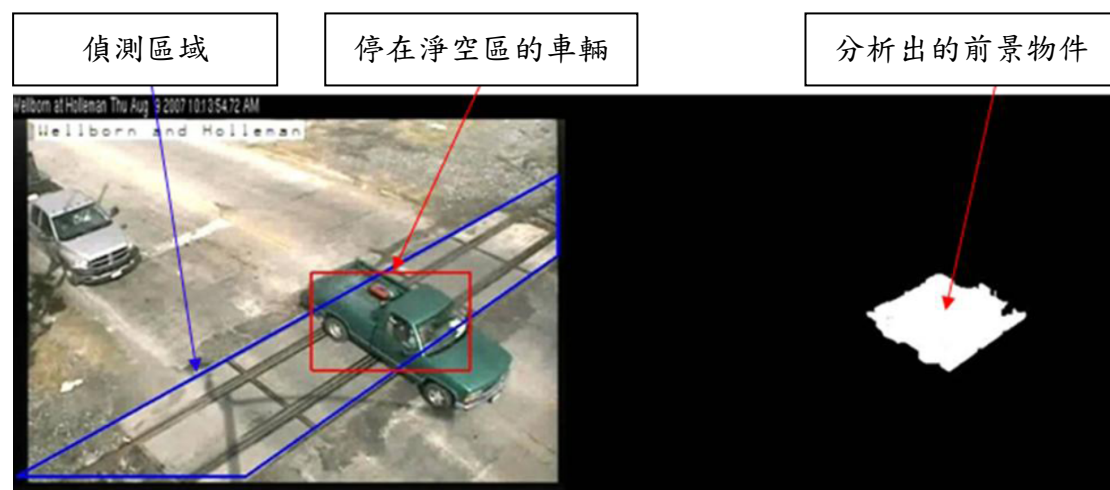


圖 1 當車輛停在淨空區時的辨識情形

## 案例分析

影像辨識最為人詬病的即是辨識率的問題，該項研究實際於 24 小時內辨識出的結果經與影像對照後，總計有 39 次正確偵測障礙物，3 次沒有障礙卻發出警訊，1 次有障礙卻沒偵測到。

3 次誤偵測的原因主要是陰影與車頭燈的影響如圖 2 所示，另 1 次沒偵測到則是因光線不足攝影機對焦失準，如圖 3 所示。整體來說，若能使用更高階的攝影機輔解決對焦問題，並從不同角度裝設兩台以上的攝影機同時判斷，將能有效提昇偵測的準確率。



圖 2 陰影與車頭燈影響而誤偵測的案例



圖 3 無法對焦導致沒有偵測到的案例

## 參考文獻

1. Safer European Level Crossing Appraisal and Technology D2 - Report about Examination of actual and potential Technologies for Level Crossings, 2007.



# 利用GPS提前告警前方平交道位置

## 中興工程顧問社

由於平交道乃鐵路系統中風險極高的區域，因此先進國家除了在乎交道設置許多防護設備外，亦開始結合全球衛星定位系統（Global Positioning System, GPS）與地理資訊系統（Geographic Information System, GIS），透過車載導航設備提前警告公路駕駛人前方有平交道的訊息，以下則說明英國目前相關技術的應用。

英國 Network Rail 與臺灣 Garmin 廠商合作，在 2011 年 6 月開始免費提供英國境內的平交道圖資供使用者下載，藉以讓用路人透過車載導航設備提前接收警告訊息。Network Rail 主要是希望藉由該系統之功效讓公路駕駛人得知前方欲通過的平交道位置，以降低在乎交道可能發生的闖越、搶越等事故。目前該系統先以「X」之符號來代表平交道位置，同時以火車汽笛聲作為告警音，如圖 1 所示。



資料來源：[1]

圖 1 英國 GPS 提供平交道資訊示意圖

文獻中指出，英國未來預計新增功能尚有：

1. 在初始的路徑規劃時即避開行經平交道的路徑。
2. 於平交道前遇遮斷桿放下，當等候達一定時間後，可重新尋其他更快的替代路徑。

## 參考文獻

1. <http://www.europeanrailwayreview.com/9646/rail-industry-news/sat-nav-technology-to-help-drive-down-level-crossing-incidents>

## 附錄 D 專家工作會議紀錄



# 風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵

## 風險分析與評量為例

### 第 1 次專家工作會議紀錄

時間：100 年 3 月 8 日（星期二） 下 午 2 時

地點：交通部運輸研究所七樓會議室

主席：張組長開國

出席人員：吳熙仁研究員、賴靜惠研究員、中興工程顧問社

紀錄：孫千山

#### 1. 工作進度報告

進度報告綱要如下，詳細內容參見會議資料。

- (1) 研究方向與內容之確認
- (2) 確認工作會議討論內容
- (3) 請運研所/臺鐵協助事宜
- (4) 討論臺鐵二個危害項目

#### 2. 討論事項

- (1) 台鐵資訊中心提供現階段台鐵風險管理執行之架構圖供參考使用。

（感謝協助）

- (2) 台鐵局願意協助提供資料，其中具隱私資料者需請中興社提供保密切結，同時請運研所發文。

（中興社配合辦理）

- (3) 有關臺鐵 2 項危害之選擇，建議將 97-99 年之等效死亡風險值算出後，與 94-96 年相比較再來決定，台鐵局企劃處會在收到結果後協助簽辦

該事宜。其中有關等效死亡之數值，會中討論採 1 受傷=0.1 死亡來處理。

**（中興社將儘速完成 97-99 年風險值，提供運研所與台鐵局參考）**

- (4) 後續欲邀請的臺鐵專家，可待 97-99 年風險值完成並確定二項危害之選取後，再由臺鐵局建議適當人選參與工作會議。

**（遵照辦理）**

- (5) 有關行車事故之分類，可於報告中建議臺鐵儘快符合世界潮流與國際趨勢，使用國際上慣用的分類方式。

**（同意辦理，將於研究報告中處理）**

### 3. 運研所建議事項

- (1) 有關研究的範圍，可考慮以單一車站或者單一平交道作範圍。

**（中興社會先構建完整的模式，相關細節部分會再依據蒐集資料情況來決定分析之範圍）**

- (2) 建議納入「旅客上下車摔倒」事故一併分析。

**（建議待後續台鐵局審視 97~99 年各危害風險值而選定兩項危害後，再於下次會議討論）**

- (3) 探討平交道問題時公路側交通量是影響因素之一，建議研究團隊應納入考量。

**（已蒐集 99 年台鐵局調查之交通量資料，將作為參考值估算風險水準）**

- (4) 欲向臺鐵局索取資料之內容，可擬定詳細欄位同時附上保密切結，以利發文作業。

**（中興社將儘快處理，屆時再請運研所協助辦理）**

### 4. 散會

# 風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵

## 風險分析與評量為例

### 第 2 次專家工作會議紀錄

時間：100 年 5 月 4 日（星期三） 下 午 2 時

地點：臺灣鐵路局五樓第一會議室

主席：范局長植谷

出席人員：臺鐵局（運務處、工務處、機務處、電務處、行保會、勞安室、防護團、企劃處）、張開國組長、吳熙仁研究員、中興工程顧問社

紀錄：孫千山

#### 1. 工作進度報告

進度報告綱要如下，詳細內容參見會議資料。

- (1) 臺鐵風險管理相關研究說明
- (2) 因應日本東北地震檢視風險辨識項目
- (3) 確定臺鐵 2 個危害項目
- (4) 哈佛商業評論閱後回饋建議

#### 2. 討論事項

- (1) 請說明關於 97~99 年風險值分析資料的來源。

（該資料為臺鐵局所提供的事故統計資料，經排除不適當或者記錄不清楚的資料，總計共有 925 件事務進行分析）

- (2) 請問車站內撞擊旅客與車站內撞擊大眾是否可合併視為同一危害。

（由於臺鐵具有絕對且專用的路權，因此車站內撞擊大眾的責任不在臺鐵，但是撞擊旅客則有營運安全的責任，此即該危害主要的區分原因）

- (3) 關於行車類危害之選擇，基於高風險與高關注之原則，出席單位均建議以鐵路列車於平交道撞擊車輛作為分析的項目。

**（中興社配合辦理）**

- (4) 關於非行車類危害之選擇，雖有部分單位考量電扶梯摔倒危害具有較高風險應深入研究，但路局目前正進行月台高度提增與車廂一階化改善工程，因此多數單位建議配合工程施作探討旅客上下車摔倒危害。

**（待主席裁示，中興社配合辦理）**

### 3. 決議事項

- (1) 主席裁示有關臺鐵安全相關之研究案，各單位出席會議的人員級職至少應科長以上，且儘可能指派相同人員參與，並設置代理人制度，使研究成果具有連貫性。

**（敬悉，此項目已由臺鐵局企劃處自行辦理）**

- (2) 經歸納出席單位之意見，主席裁示分析的二項危害分別為：行車類－列車於平交道撞車輛、非行車類－旅客上下車摔傷。

**（中興社遵照辦理）**

### 4. 散會



# 風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵

## 風險分析與評量為例

### 第 3 次專家工作會議紀錄

時間：100 年 6 月 14 日（星期二） 下 午 2 時

地點：運輸研究所 10 樓會議室

主席：張組長開國

出席人員：臺鐵局（楊總幹事正德、古副處長東峯、蘇科長展明、張科長喜美、張科長鎮濟、黃科長宗欣、鄭股長建榮、劉專員傳彥）、運研所（吳研究員熙仁）、中興工程顧問社

紀錄：林杜寰

#### 1. 工作進度報告

進度報告綱要如下，詳細內容參見會議資料。

- (1) 風險分析方法回顧
- (2) 風險評量方法回顧
- (3) 方法選用與初步分析

#### 2. 討論事項

- (1) 關於平交道列車與公路車輛碰撞危害，後續量化分析的標準化單位若採用「列車公里」，會否影響預測的成效？能否挑選部分平交道，以「公路車輛通過車輛數」為標準化單位進行分析？

（由於臺鐵目前僅有民國 84～86 年以及 99 年的公路車輛通過平交道數量資料，考量歷史資料的完整性，建議先以「列車公里」作為風險分析的標準化單位，待有初步成果後再研議是否有相關資料或統計方法可以補足採用「公路車輛通過車輛數」作為分析單位時資料缺漏的問題）

(2) 本研究是否僅針對上下車摔倒進行分析？旅客在站內其他地點的跌倒危害能否一併考量？

（本研究的重點專注於上下車摔倒的危害，但相關研究成果可供臺鐵欲降低其他類似危害風險時，研擬改善措施之參考）

(3) 研究單位分析臺鐵各站旅客上下車摔傷的風險排序結果，出現許多設備較新穎或已提昇月台高度的車站，能否說明原因？

（主要因這些車站的旅客量相對較少，就算僅發生一次事故，標準化後的風險仍然很高，後續書面報告將補充分析的詳細資料避免讀者誤會）

(4) 後續請補充 HEART 的詳細內容與作法。

（書面報告將清楚說明各項 GTT 與 EPC 內容供參考）

(5) 建議旅客上下車摔傷能否多考慮臺鐵員工的人為疏失，不只局限於站務人員疏失。

（後續將繼續拜訪臺鐵專家了解是否有其他人為疏失應納入考量）

(6) 關於簡報中「工務段事故」的說明不清建議調整。

（此乃 97 年研究案時，將臺鐵局的勞安事故依部門分類後的結果，本年度研究案不會採用以避免誤會）

(7) 建議研究團隊再回顧更多方法處理上下車摔倒的危害。

（遵照辦理）

### 3. 散會

# 風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵

## 风险分析與評量為例

### 第 4 次專家工作會議紀錄

時間：100 年 8 月 25 日（星期四） 下 午 2 時

地點：運輸研究所 10 樓會議室

主席：張組長開國

出席人員：臺鐵局（楊總幹事正德、古副處長東峯、宋科長鴻康、張科長喜美、張科長鎮濟、劉專員傳彥）、運研所（吳研究員熙仁）、中興工程顧問社

紀錄：林杜寰

#### 1. 工作進度報告

進度報告綱要如下，詳細內容參見會議資料。

- (1) 核能電廠量化分析重點
- (2) 鐵路列車與公路車輛於平交道碰撞模式說明
- (3) 旅客上下車摔傷模式說明

#### 2. 討論事項

- (1) 臺鐵平交道防護設備誤動作與無動作的實際頻率。

（無動作部分應已全部被記錄，誤動作部分請研究單位釐清定義後，臺鐵局將儘可能協助估算 99 年頻率作為分析基礎）

- (2) 關於旅客上下車摔傷採用 HEART 方法分析時，決定各個 PF 影響比例的情境門檻補充。

（風險認知部分建議新增「旅客於列車尚未停妥前上下車」，分心或感知部分建議考量「旅客戴耳機」，身體狀況部分則可考量「旅客嗑藥」）

### 3. 研究方向建議

(3) 誤動作與無動作的定義應詳細說明。

(後續將補充說明避免混淆)

(4) 平交道碰撞刻意區分公路車輛撞火車與火車撞公路車輛的用意？

(經深入分析後發現兩者原因相同，主要取決於用路人闖越的時間點，故後續將予以整併)

(5) 公路車輛「煞車失靈」與「太慢煞車」從路警局事故資料中應可明確釐清，建議研究單位予以澄清。

(後續會將兩者分開處理)

(6) 遮斷桿撞斷數量逐年減少，以此還原闖越頻率是否恰當？

(由於目前尚無法得知用路人實際闖越頻率，故僅能採用此方式概估，後續將建議每三年定期更新遮斷桿撞斷數以反應逐年減少的趨勢)

(7) 是否能針對臺鐵前十大危險平交道進行分析？

(由於平交道事故頻率少，若僅針對十大危險平交道分析則很多失效原因的頻率將無法估算，建議由專家判斷各危險平交道的危險原因，並對照到適合的失效事件，將該事件頻率採用上限值來反應其危險程度)

(8) 建議研究團隊與臺鐵第一線站務人員訪談了解旅客上下車摔傷可能的原因

(後續將與臺鐵聯繫實際拜訪站務人員)

### 4. 散會

# 風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵

## 風險分析與評量為例

### 第 5 次專家工作會議紀錄

時間：100 年 10 月 5 日（星期三） 下 午 2 時

地點：運輸研究所 10 樓會議室

主席：張組長開國

出席人員：臺鐵局（楊總幹事正德、古副處長東峯、宋科長鴻康、張科長鎮濟、黃科長宗欣、蘇科長展明）、運研所（吳研究員熙仁）、中興工程顧問社

紀錄：林杜寰

#### 1. 工作進度報告

進度報告綱要如下，詳細內容參見會議資料。

- (1) 核能電廠 PRA-貝氏更新
- (2) 鐵路列車與公路車輛於平交道碰撞模式說明
- (3) 旅客上下車摔倒模式說明
- (4) 風險績效評量

#### 2. 討論事項

- (1) 從歷史事故有記錄的各類事件發生頻率，還原到實際發生頻率時，採用 48 倍還原，可能有高估的疑慮，建議加強說明。

（48 倍主要根據 97~99 年遮斷桿撞斷數量與可能撞斷遮斷桿的事件數相除而得，例如「誤判短時間無車而闖越」、「太慢煞車」、「公路車輛事故」等共 7 類事件，並假設這類事件每發生一次平均撞斷一根遮斷桿。惟用 48 倍還原其他諸如「車輛拋錨」、「底盤卡住」等事件的確有高估的可能，然而目前路局並無其他可供參考的資料，故現階段僅能先以此假設估計，後續書面報告中將補充說明，並建議未來所有平交道錄影監視設備

都開始運作後，能更精確統計此類虛驚事件，屆時再根據新資料更新模式數據）

(2) 「誤判短時間無車」的根據為何建議加強說明。

（若事故資料均不屬其他事件，且非公路車輛撞擊鐵路列車，事故描述中出現「闖越」字眼時，則歸屬此類，後續書面報告中將補充說明各種事件的分類依據）

(3) 因防護設備誤動作導致駕駛人闖越被列車撞擊事故，雖然這三年沒有發生，但過去的確曾發生，研究單位採用三年 0.5 次的估計方式應屬合理。

（敬悉，此為業界在進行量化風險分析常用的方式，而後續書面報告亦將說明該事故採 0.5 次估計的合理性）

(4) 關於調整遮斷桿位置的改善建議，因軌道範圍外的路權屬公路監理單位，實際執行有其複雜性，且拉長平交道縱深恐增加公路車輛受困平交道的機率，不建議採行。

（經評估後的確弊大於利，將予以刪除）

(5) 建議於平交道危害分析模式中，適度反應鐵路列車駕駛因及早反應或受防護設備警告後，提早煞車避免碰撞的因素。

（99 年研究案之值化模式中的確有此類事件，惟本研究考量各事件均須量化，故將這類可能讓列車即時煞停的因素都包裹在條件機率「公路車輛在有可能被撞擊的情況侵入或滯留平交道危險區導致鐵路列車與公路車輛於平交道碰撞的機率」中，亦即駕駛越能及早反應，這個條件機率的值會越低）

(6) 關於「旅客上下車摔倒」危害，是否包括列車尚未停妥與旅客於非臨月台面上下車的行為，建議研究單位於模式中考量。

（列車尚未停妥時，旅客上下車摔倒係歸類在「旅客跳車」危害，考量未來列車都改為自動門後除非設備故障，此類事故將不再發生，故探討「上

下車摔倒」危害時，係著重在列車正常停妥後，旅客因上下車仍摔倒的影響因素。至於旅客於非臨月台面的上下車行為，經考量的確有可能，97～99 年間亦曾記錄 4 筆此類事故，後續將修正模式並納入)

(7) 旅客上下車除了摔倒外亦可能因車門高度不足而撞擊頭部，建議研究單位於模式中考量。

(由於旅客上下車摔倒考量的是旅客失去平衡的可能，撞到頭部屬於另一項「非列車、車輛之撞擊」危害，應與車廂走道寬度、座位區高度與寬度等一起思考，故探討「上下車摔倒」危害時沒有納入。另因應臺鐵月台高度提昇工程，後續書面報告中將建議臺鐵應配合月台高度改變而調整車廂門高度，避免旅客撞到頭部的事故頻率增加)

### 3. 散會





## 附錄 E 教育訓練



# 風險管理應用於鐵路運輸安全之初探 — 以臺鐵風險分析評量為例

## 【教育訓練】

緣起：軌道系統潛藏許多危害，其涉及生命財產的安全需要特別重視，所以軌道營運業者必須採取許多改善或防護措施以避免危害的發生或降低危害的嚴重度。由於軌道系統的危害眾多，如何在資源有限的情況下，找到適合的方法來進行風險分析與評量便成了重要的課題之一。本研究依循 99 年臺鐵風險辨識之成果，以臺鐵為研究對象繼續進行風險管理的第二與第三個步驟—找出適合臺鐵的方法進行風險分析與評量，並提供適合的策略藉以改善臺鐵在該營運安全上的風險。

主辦單位：交通部運輸研究所

協辦單位：臺灣鐵路管理局

承辦單位：財團法人中興工程顧問社

時間：民國 100 年 10 月 19 日

地點：臺灣鐵路管理局臺北車站 5 樓第一會議室（5036 室）

# 風險管理應用於鐵路運輸安全之初探- 以臺鐵風險辨識為例

## 【議程安排】

場次	時間	內容
報到	08：30～09：10	報到
開幕	09：10～09：20	主辦單位 運研所運安組 張組長開國 致詞 協辦單位 交通部臺鐵局 范局長植谷 致詞
場次一	09：20～10：10	量化風險評估
休息	10：10～10：30	休息時間
場次二	10：30～11：20	人為錯誤評估
綜合討論	11：20～12：00	分享、回饋與閉幕

## 【課程內容】

### 1. 量化風險評估(Quantitative Risk Assessment, QRA)

說明軌道系統為何要進行 QRA，解釋 QRA 的意義為何，並以「鐵路列車與公路車輛於平交道撞擊」之案例說明如何進行量化風險評估。

### 2. 失誤樹與事件樹分析與實作

介紹人為錯誤類型與評估方法，並以軌道界常用的 HEART 分析方法為例，針對「旅客上下車摔倒」危害，說明如何進行人為錯誤評估。

一、參訓名單：共計 88 位

序號	單位名稱	職稱	姓名
1	臺灣鐵路局	專員	林○志
2	臺灣鐵路局	科長	張○美
3	臺灣鐵路局	專員	李○國
4	臺灣鐵路局	工務員	廖○縉
5	臺灣鐵路局	技術主任	洪○欽
6	臺灣鐵路局	科長	陳○宏
7	臺灣鐵路局	正工程司	藍○誠
8	臺灣鐵路局	所長	吳○欽
9	臺灣鐵路局	專門委員	楊○德
10	臺灣鐵路局	勞安主任	羅○康
11	臺灣鐵路局	正工程司兼段長	陳○保
12	臺灣鐵路局	勞安室主任	何○郊
13	臺灣鐵路局	工務員	林○民
14	臺灣鐵路局	副段長	陳○海
15	臺灣鐵路局	分駐所主任	王○中
16	臺灣鐵路局	科員	林○祝
17	臺灣鐵路局	副段長	李○隆
18	臺灣鐵路局	工務員	張○財
19	臺灣鐵路局	副處長	余○杰
20	臺灣鐵路局	專員	李○洋
21	臺灣鐵路局	主任	張○清
22	臺灣鐵路局	副段長	高○壯
23	臺灣鐵路局	組長	林○界
24	臺灣鐵路局	專員	吳○忠
25	臺灣鐵路局	專員	黃○華
26	臺灣鐵路局	幫工程司	鄭○清
27	臺灣鐵路局	專員	劉○火
28	臺灣鐵路局	副段長	黃○全
29	臺灣鐵路局	幫工程司	黃○宏
30	臺灣鐵路局	副段長	林○正
31	臺灣鐵路局	幫工程司	鐘○明

序號	單位名稱	職稱	姓名
32	臺灣鐵路局	養路主任	林○鑫
33	臺灣鐵路局	技術領班	黃○瑩
34	臺灣鐵路局	正工程司兼段長	邱○松
35	臺灣鐵路局	副段長	洪○土
36	臺灣鐵路局	副工程司	彭○瑞
37	臺灣鐵路局	勞安主任	李○運
38	臺灣鐵路局	副段長	周○岳
39	臺灣鐵路局	工務員	吳○義
40	臺灣鐵路局	指導主任	黃○成
41	臺灣鐵路局	科長	蘇○明
42	臺灣鐵路局	副段長	謝○宇
43	臺灣鐵路局	設計員	李○偉
44	臺灣鐵路局	副段長	羅○東
45	臺灣鐵路局	分駐所主任	王○豐
46	臺灣鐵路局	勞安主任	簡○海
47	臺灣鐵路局	技術助理	吳○結
48	臺灣鐵路局	工務員	林○民
49	臺灣鐵路局	副工程司	丁○敏
50	臺灣鐵路局	勞安主任	鐘○煌
51	臺灣鐵路局	段長	呂○臺
52	臺灣鐵路局	處長	陳○其
53	臺灣鐵路局	勞安主任	陳○可
54	臺灣鐵路局	副段長	鍾○桂
55	臺灣鐵路局	正工程司	楊○心
56	臺灣鐵路局	廠長	賴○隆
57	臺灣鐵路局	幫工程司	江○忠
58	臺灣鐵路局	副工程司	楊○惠
59	臺灣鐵路局	助理工務員	何○文
60	臺灣鐵路局	副段長	王○賢
61	臺灣鐵路局	正工程司兼段長	鍾○村
62	臺灣鐵路局	專員	劉○彥
63	交通部運輸研究所	組長	張○國

序號	單位名稱	職稱	姓名
64	交通部運輸研究所	研究員	吳○仁
65	鐵路改建工程局	工程司	黃○民
66	鐵路改建工程局	科長	林○沂
67	林務局嘉義林區管理處	技正	楊○筌
68	林務局嘉義林區管理處	技正	周○洪
69	林務局嘉義林區管理處	站務長	林○五
70	林務局嘉義林區管理處	站務長	胡○華
71	林務局嘉義林區管理處	副站務長	蘇○定
72	台北捷運公司	副工程師	游○
73	高雄捷運公司	資深工程師	吳○辯
74	高雄捷運公司	工程師	李○瑋
75	桃園捷運公司	課長	朱○誌
76	桃園捷運公司	助理工程師	王○成
77	台灣高鐵公司	副工程師	李○純
78	台灣高鐵公司	助理工程師	黃○穎
79	台灣大學	助理教授	賴○成
80	台灣大學	碩士班學生	陳○廷
81	台灣大學	碩士班學生	葉○生
82	台灣大學	碩士班學生	黃○文
83	台灣大學	碩士班學生	劉○著
84	台灣大學	碩士班學生	林○雅
85	台灣大學	碩士班學生	范○中
86	台灣大學	碩士班學生	吳○宇
87	台灣大學	學士班學生	陳○宏
88	台灣大學	學士班學生	廖○穎

二、教材：摘錄於研究報告內容，故省略

### 三、教育訓練照片

說明	照片
主辦單位、協辦單位貴賓致詞	
學員參與情況	



說明	照片
授課進行中	
分享與回饋	

#### 四、討論內容：

##### 1. 主席邀請台北捷運分享風險分析評量經驗

（游凱副工程師說明：台北捷運公司營運以來持續進行風險管理作業，由於風險管理牽涉到非常大的人力與資源，可說是非常艱鉅的任務，目前看到運研所及臺鐵局持續在這方面推動，是非常好的方向。另有關風險管理的良窳，近期中國溫

州動車以及上海地鐵追撞事件中，都是可以供大家一個省思)

2. 臺鐵局台南電力段目前在岡山電力站有淹水斷電之風險，惟經費不足下暫時沒有解決方案，是否可給予相關建議。

(風險管理首要之務是危害辨識，同時將危害頻率與嚴重性分析出來，再進行成本效益的評估後選取優先項目來進行改善。因此，若岡山電力站之斷電對臺鐵整體的風險影響很大，則理當要優先給予資源來處理。建議臺鐵可以整體營運安全的風險進行成本效益評估，找出哪些是要優先改善的危害項目，以供資源的分配使用)

3. 非常贊同人為錯誤分析最後的結論，亦即人為錯誤不僅是原因，而同時是組織文化、系統設計、管理訓練的結果。

(敬悉)

4. 因應臺鐵最近在基隆發生冒進號誌之問題，是否可說明風險標的在進行配當時，如何應用到臺鐵號誌系統的 ATP 上。

(有關風險配當一方面是設計建置時可要求廠商提供符合規定的設備，二方面則是營運時，各子系統在安全上都要不致超過該風險作為目標。另有關臺鐵近期在基隆發生冒進號誌之問題，主要是人為將 ATP 隔離導致，屬於人為錯誤的疏失，可再進階去探討為何司機員要關閉 ATP，例如：設備設計錯誤…等方面。就目前臺鐵的 ATP 系統而言，是 ERTMS-Level1 等級，透過不連續的地上感應器讓列車獲得號誌資訊，由於當時列車受速限限制且無法立即獲得更新後的號誌訊號，因此司機員為能準點促使其關閉 ATP，進而導致號誌冒進事件)

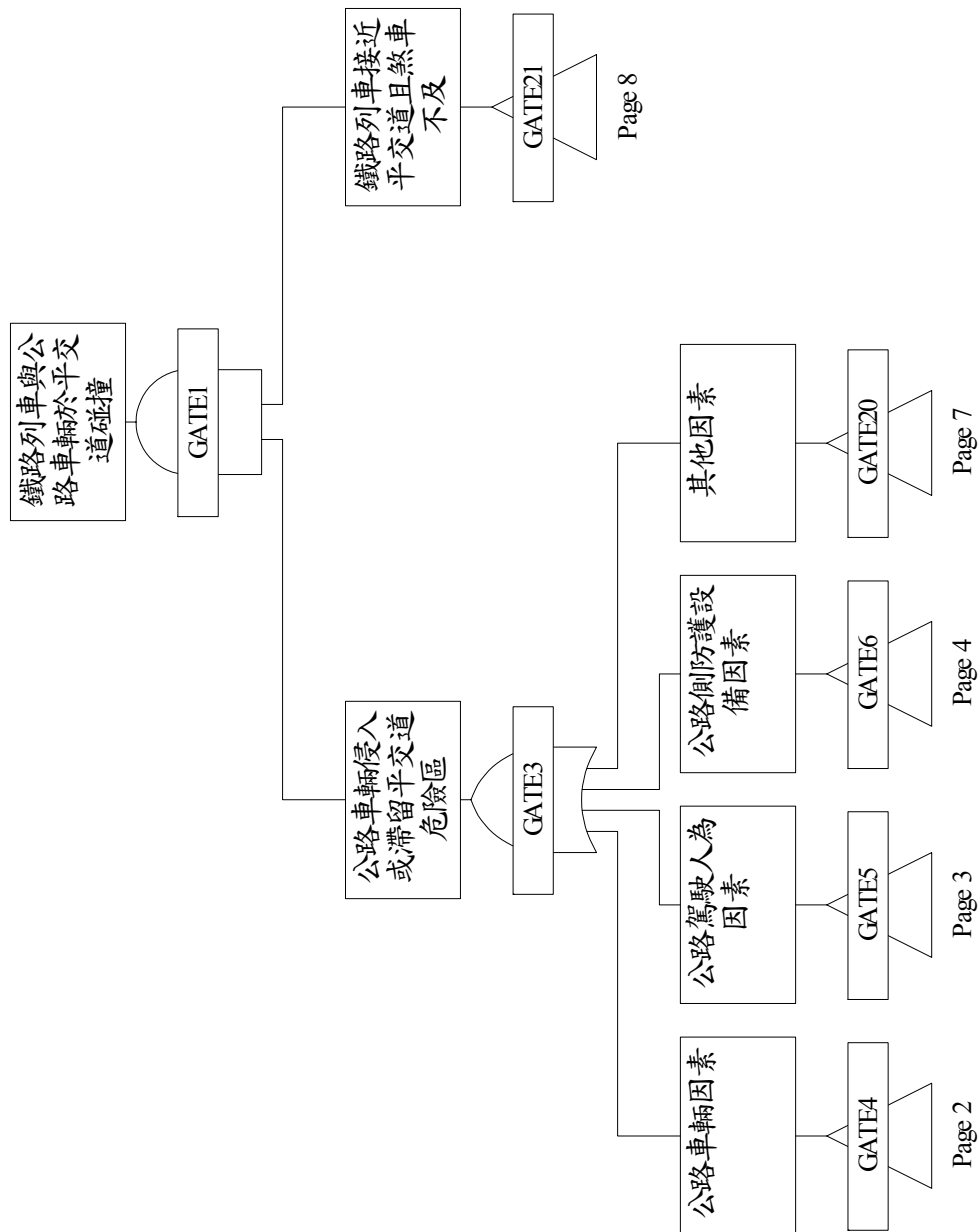
5. 有關上下車摔倒的危害，是否有考量到列車與月台間隙太大的問題。

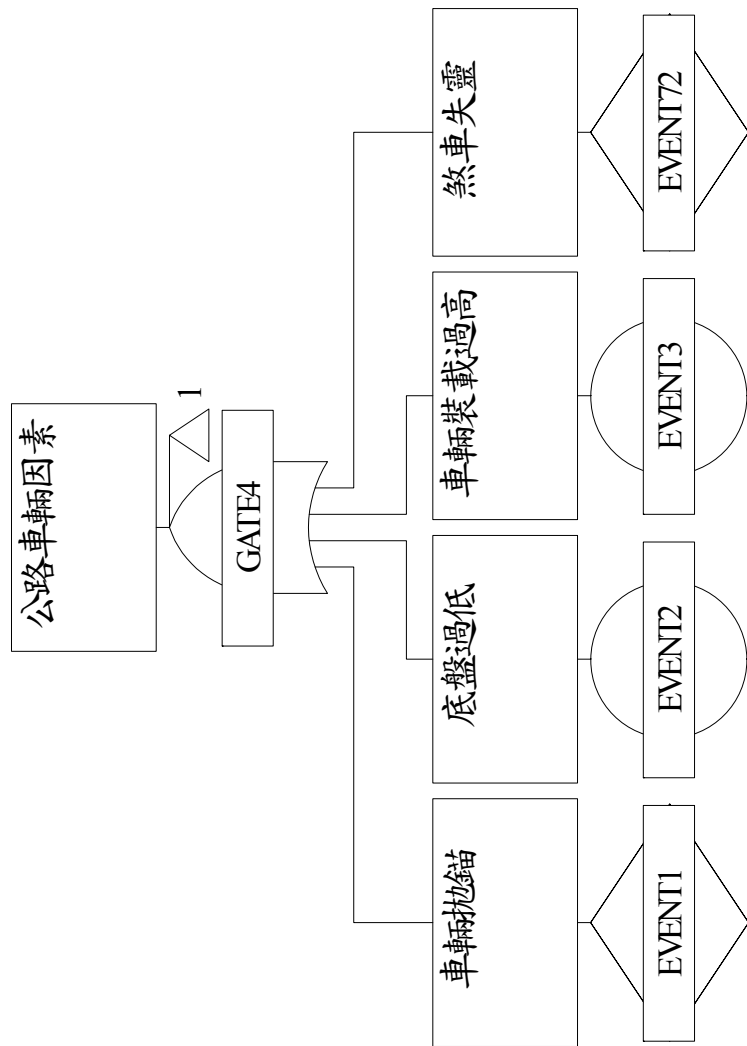
(列車與月台間隙太大的確是上下車摔倒的重要原因，教育訓練簡報中將其歸納到決策失效之環境影響內，由於沒有特別舉出說明可能造成大家誤解，將在期末報告把該原因說明清楚)

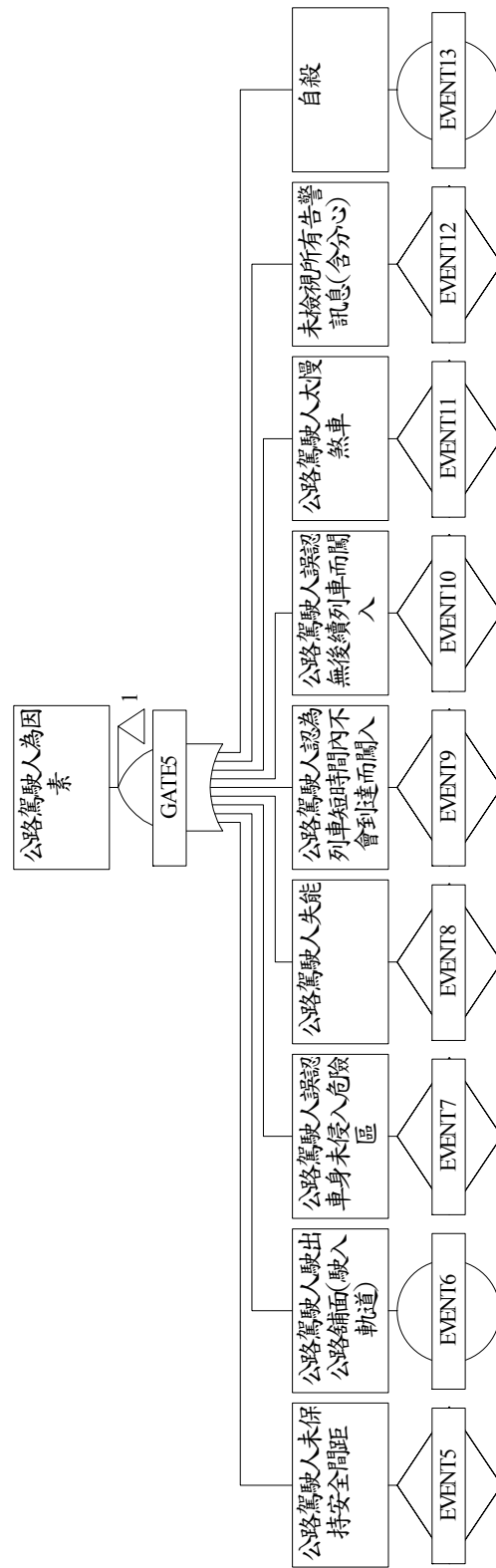
## 五、散會

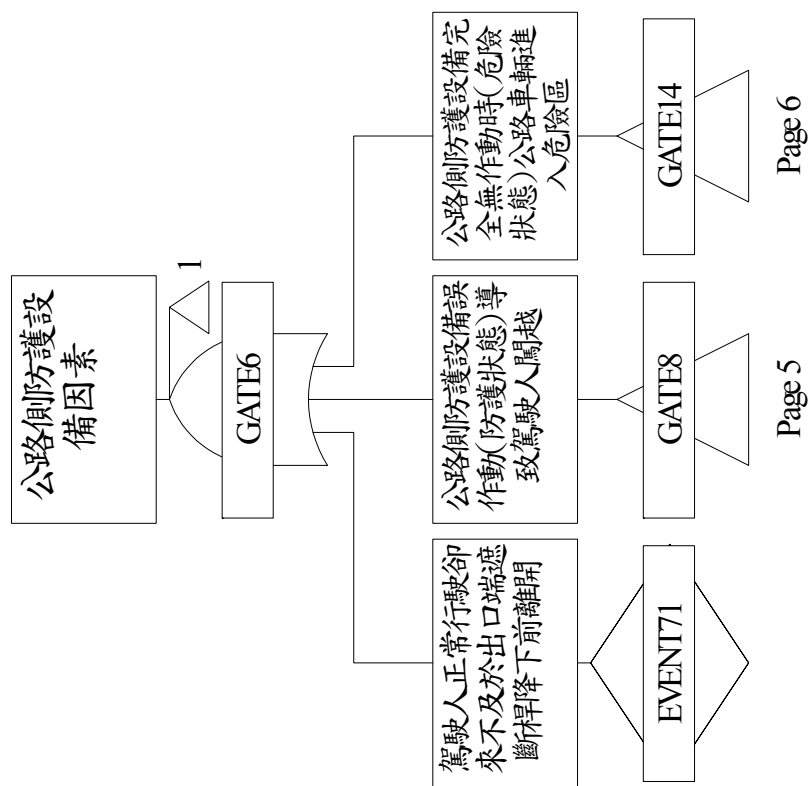
## 附錄 F 鐵公路車輛於平交道碰撞- 原始失誤樹



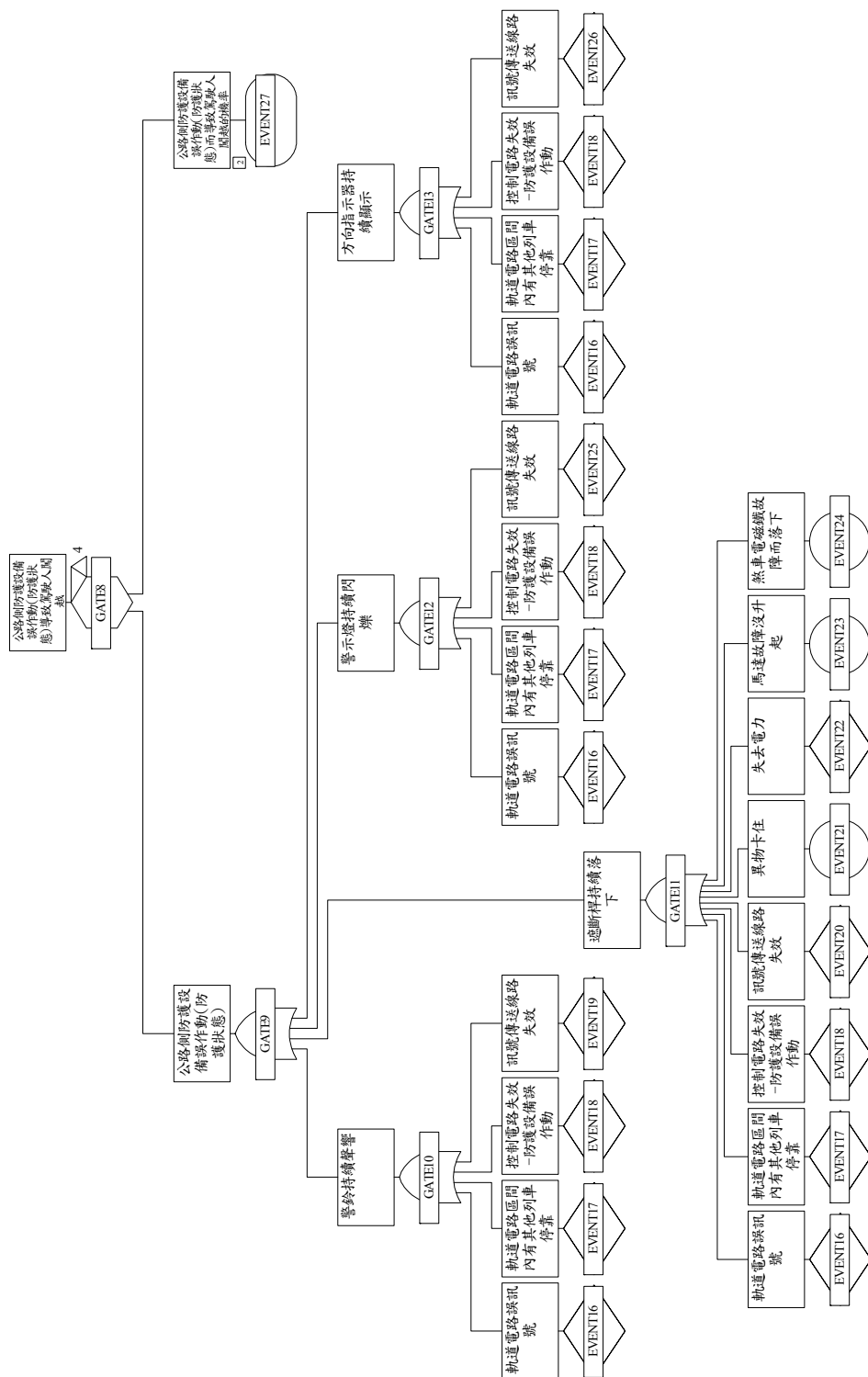


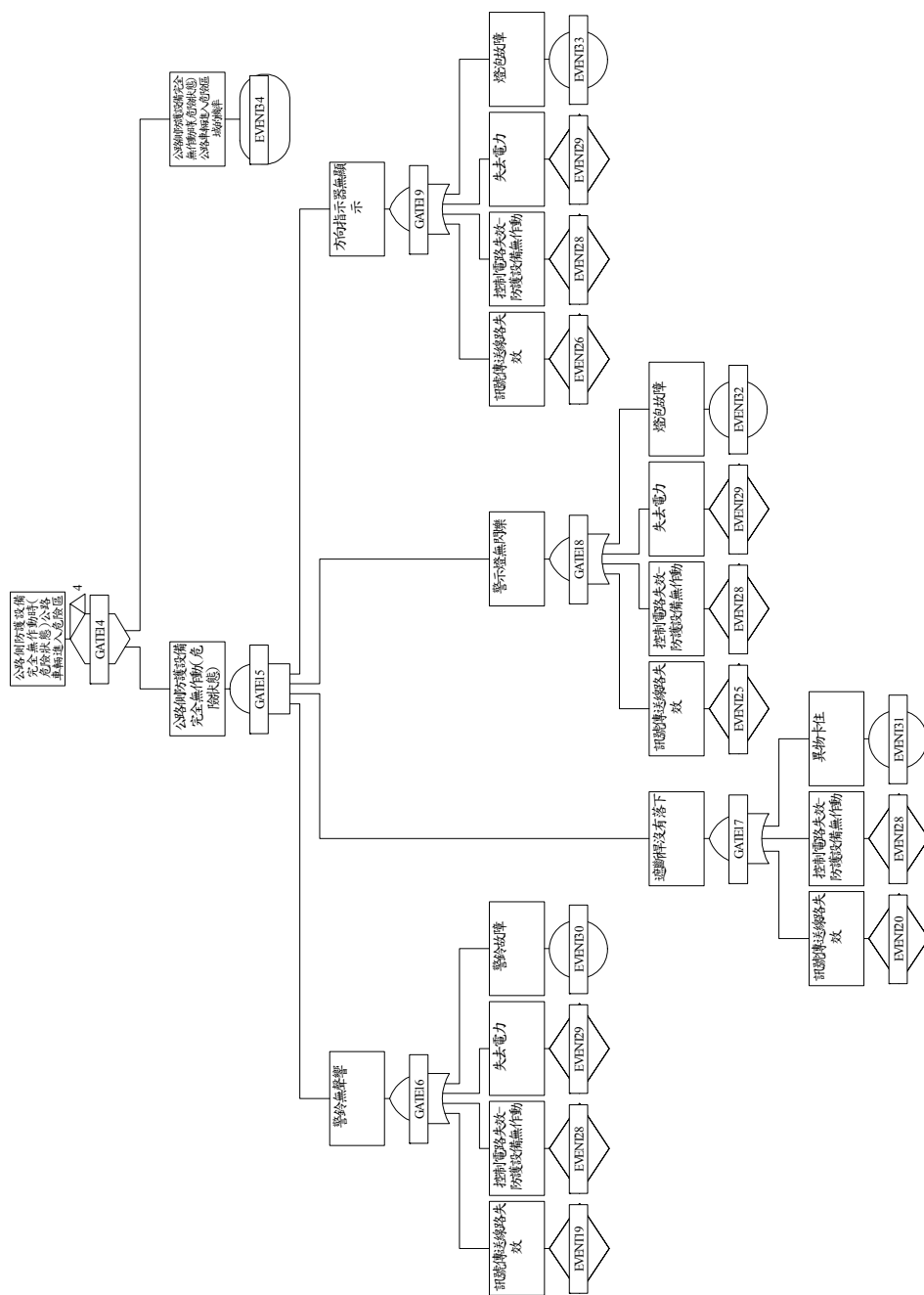


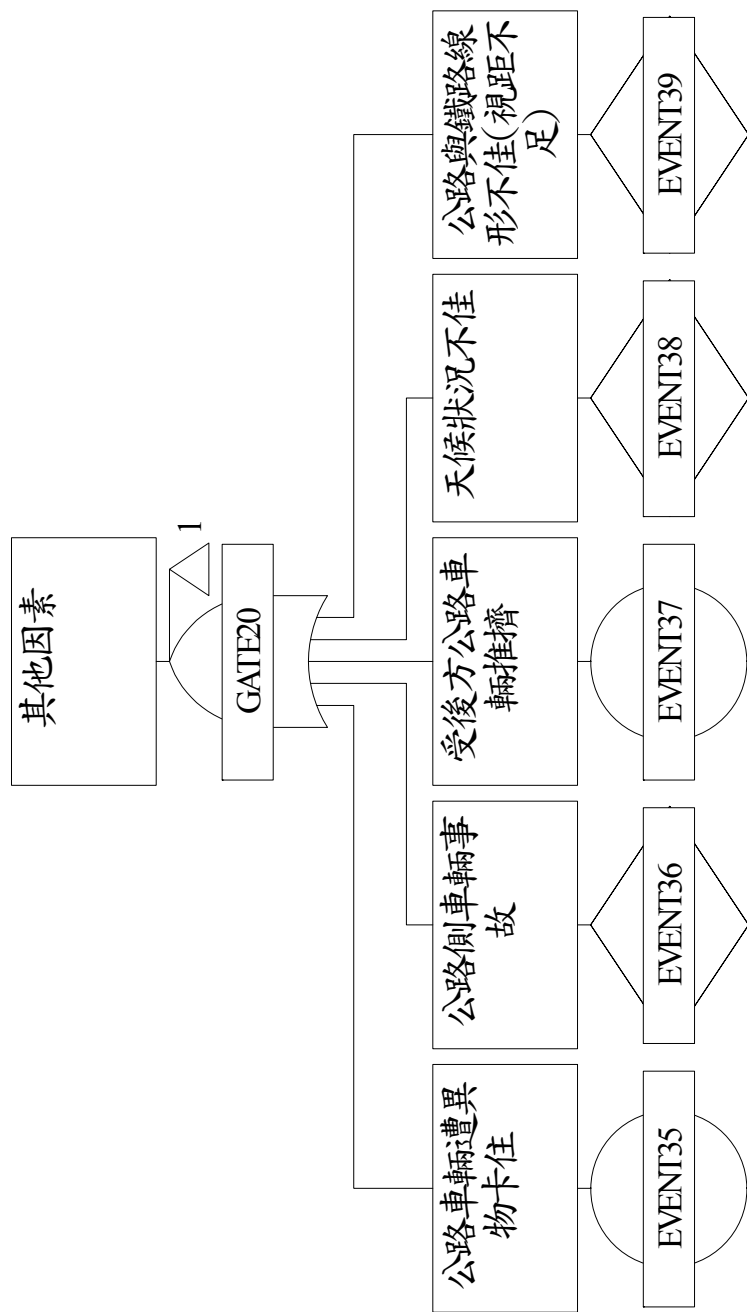


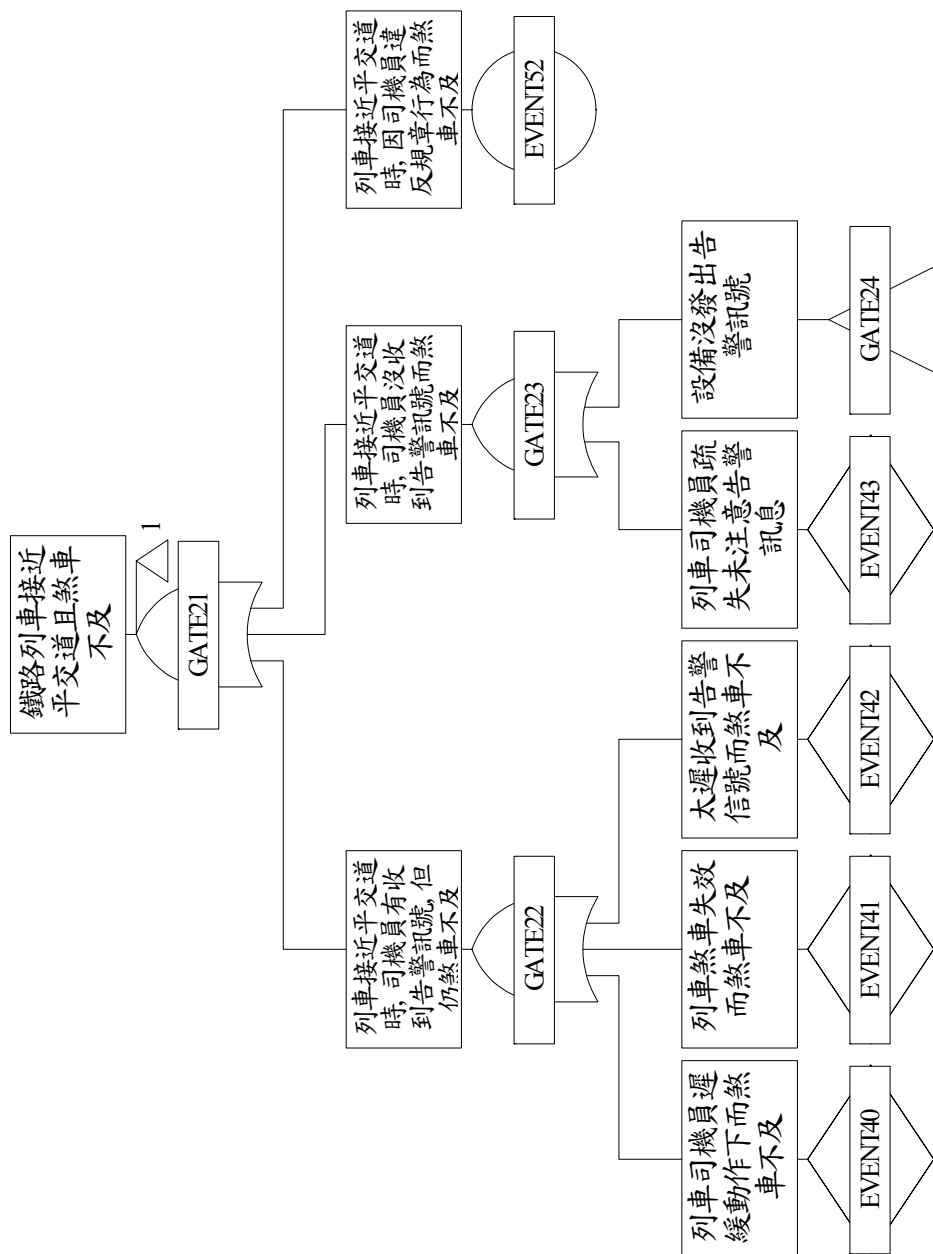




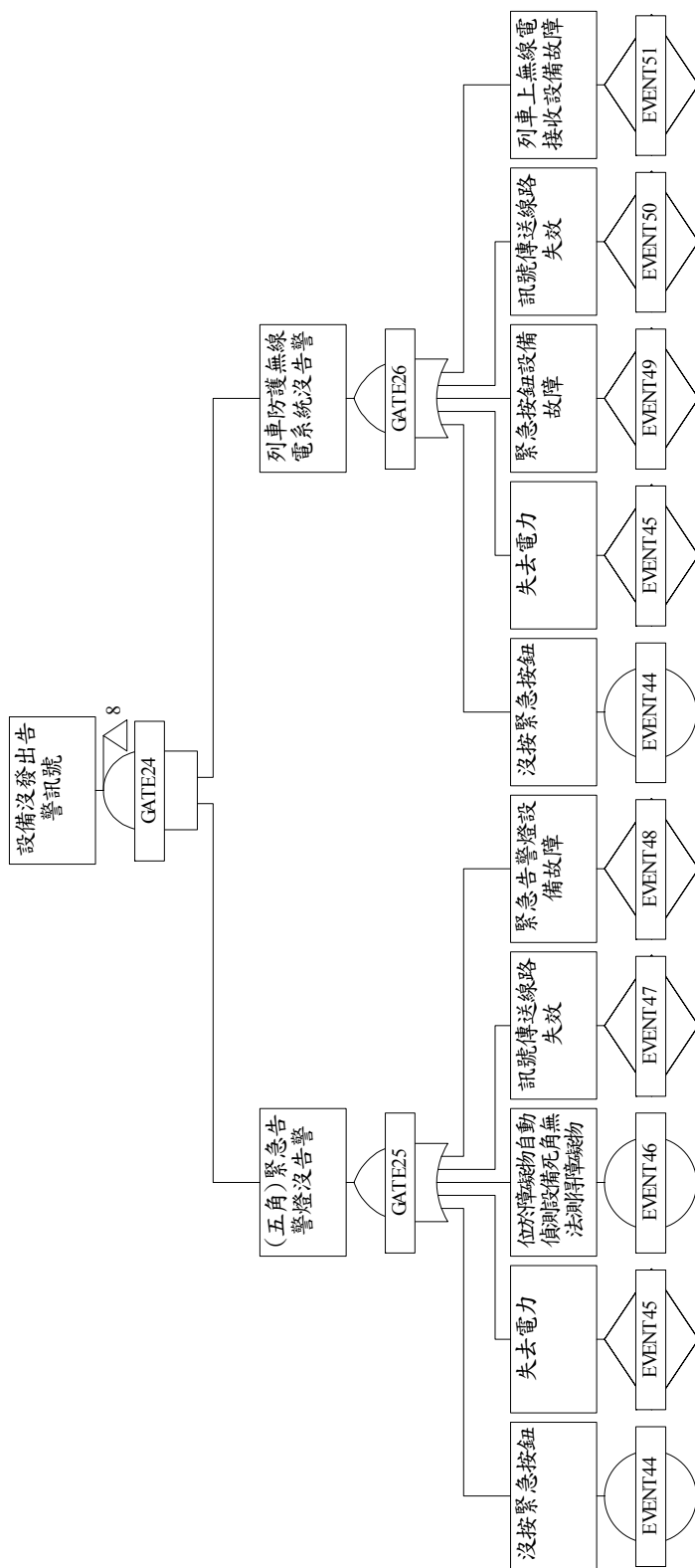








Page 9





## 附錄 G 績效影響因子及影響比率分析表





## 績效影響因子及影響比率分析表

表G.1 「時間壓力」之影響比率分析表

影響比率 (APOE)	描述
0.1	10%以上的機率在車上沒有收到抵達站訊息，10%以上機率未能清楚了解列車停靠位置，20%機率在警鈴響起時才匆忙上下車，上述三項只有滿足一個時
0.3	10%以上的機率在車上沒有收到抵達站訊息，10%以上機率未能清楚了解列車停靠位置，20%機率在警鈴響起時才匆忙上下車，上述三項有兩個以上同時存在時
0.5	20%以上的機率在車上沒有收到抵達站訊息，50%以上機率未能清楚了解列車停靠位置，20%機率在警鈴響起時才匆忙上下車，上述三項有兩個以上同時存在時
0.7	50%以上的機率在車上沒有收到抵達站訊息，50%以上機率未能清楚了解列車停靠位置，50%機率在警鈴響起時才匆忙上下車，上述三項有兩個以上同時存在時
0.9	50%以上的機率在車上沒有收到抵達站訊息，且50%以上機率未能清楚了解列車停靠位置

表G.2 「感知能力」之影響比率分析表

影響比率 (APOE)	描述
0.1	10%以上機率光線不足分不清月台與車廂間隙
0.3	10%以上月台與車廂樓梯顏色過近而無法分辨，且 10%以上機率光線不足分不清月台與車廂間隙
0.5	20%以上機率光線不足分不清月台與車廂間隙
0.7	10%以上月台與車廂樓梯顏色過近而無法分辨，且 20%以上機率光線不足分不清月台與車廂間隙
0.9	50%以上機率光線不足分不清月台與車廂間隙

G-4

表G.3 「負擔過重」之影響比率分析表

影響比率 (APOE)	描述
0.1	10%以上機率上下車要自己開門，或 10%以上機率手提大件行李
0.3	20%以上機率上下車要自己開門，或 20%以上機率手提大件行李
0.5	20%以上機率上下車要自己開門，且 20%以上機率手提大件行李
0.7	50%以上機率上下車要自己開門，或 50%以上機率手提大件行李
0.9	50%以上機率上下車要自己開門，且 50%以上機率手提大件行李

表G.4 「風險認知」之影響比率分析表

影響比率 (APOE)	描述
0.1	10%以上機率上下車用奔跑或跳躍等危險方式
0.3	5%以上機率於車門開關中強行上車，或 20%以上機率上下車用奔跑或跳躍等危險方式
0.5	10%以上機率於車門開關中強行上車，或 50%以上機率上下車用奔跑或跳躍等危險方式
0.7	10%以上機率於車門開關中強行上車，且 50%以上機率上下車用奔跑或跳躍等危險方式
0.9	20%以上機率於車門開關中強行上車

G-5

表G.5 「經驗不足」之影響比率分析表

影響比率 (APOE)	描述
0.1	10%機率上下車方式與預期不同 <sup>註</sup>
0.3	5%機率上下車時不臨月台，或 20%機率上下車方式與預期不同
0.5	10%機率上下車時不臨月台，或 50%機率上下車方式與預期不同
0.7	10%機率上下車時不臨月台，且 50%機率上下車方式與預期不同
0.9	20%機率上下車時不臨月台

註：例如旅客上車時上樓梯，下車時原本預期應是下樓梯，但因上下車兩站的月台高低不同，可能發生下車時還是上樓梯的情況。

表G.6 「體能狀況」之影響比率分析表

影響比率 (APOE)	描述
0.1	10%以上機率身體不舒服
0.3	10%以上機率無法自行上下車，或 20%以上機率身體不舒服
0.5	20%以上機率無法自行上下車，或 20%以上機率身體不舒服
0.7	20%以上機率無法自行上下車，且 20%以上機率身體不舒服
0.9	50%以上機率無法自行上下車

G - 6

表G.7 「分心」之影響比率分析表

影響比率 (APOE)	描述
0.1	5%以上機率上下車時講手機或操作熟持電子設備而分心
0.3	5%以上機率上下車時講手機或操作熟持電子設備而分心，或 10%以上因注意車站資訊而分心
0.5	10%以上機率上下車時講手機或操作熟持電子設備而分心，或 20%以上因注意車站資訊而分心
0.7	10%以上機率上下車時講手機或操作熟持電子設備而分心，且 20%以上因注意車站資訊而分心
0.9	20%以上機率上下車時講手機或操作熟持電子設備而分心

表G.8 「環境」之影響比率分析表

影響比率 (APOE)	描述
0.1	10%以上的機率感到間距過大或級高太高，10%以上機率月台防滑不佳或破損，20%機率人潮擁擠，上述三項只有滿足一個時
0.3	10%以上的機率感到間距過大或級高太高，10%以上機率月台防滑不佳或破損，20%機率人潮擁擠，上述三項有兩個以上同時存在時
0.5	20%以上的機率感到間距過大或級高太高，50%以上機率月台防滑不佳或破損，20%機率人潮擁擠，上述三項有兩個以上同時存在時
0.7	50%以上的機率感到間距過大或級高太高，50%以上機率月台防滑不佳或破損，50%機率人潮擁擠，上述三項有兩個以上同時存在時
0.9	50%以上的機率感到間距過大或級高太高，且 50%以上機率月台防滑不佳或破損



## 附錄 H 美國與澳洲平交道事故調查表





美國鐵路平交道事故/事件調查表<sup>[30]</sup>-本研究中譯版

1.鐵路名稱		1a.編號	1b.事故/事件編號
2.受事故/事件影響的其他鐵路名稱		2a.編號	2b.事故/事件編號
3.負責軌道維護的鐵路單位		3a.編號	3b.事故/事件編號
4.平交道編號		5.事故/事件日期	6.事故/事件時間
7.鄰近車站	8.區域	9.縣名	10.州名
11.城市		12.公路名稱編號	
公路用路人		鐵路設備	
13.公路使用者 A.自小客車 D.連結車 G.校車 K.行人 B.卡車 E.休旅車 H.機車 M.其他 C.拖車 F.巴士 J.其他動力車		17.設備 1.列車(拉) 5.車廂(固定) A.列車-拉-遙控 2.列車(推) 6.機車(移動) B.列車-推-遙控 3.列車(固定) 7.機車(固定) C.列車-固定-遙控 4.車廂(移動) 8.其他	
14.公路車輛速度			
15.方向(1.北、2.南、3.東、4.西)		18.列車中的哪節車廂	
16.位置(公路車輛於平交道上) 1.失速 2.停留 3.通過 4.陷入		19.環境 1.鐵路設備撞公路使用者 2.公路使用者撞鐵路設備	
20a.是否載運危險物質? 1.公路使用者 2.鐵路設備 3.兩者 4.均無		20b.是否有危險物質被釋放? 1.公路使用者 2.鐵路設備 3.兩者 4.均無	
20c.若有危險物質釋放,則在此描述其內容			
21.氣溫			
22.能見度: 1.清晨 2.白天 3.黃昏 4.晚上			
23.天氣: 1.晴 2.雲 3.雨 4.霧 5.雨雪 6.雪			
24.設備類型: 1.貨物列車 2.載客列車 3.通勤列車 4.工作車廂 5.單節鐵路車輛 6.多節鐵路車輛 7.吊車場/ 轉換區 8.機車 9.維修/檢測車 A.特殊維修車			

25.軌道形式：1.主要軌道 2.調車場 3.側線 4.廠區				
26.軌道名稱編號				
27.聯邦鐵路管理局軌道等級：等級（1-9,X）		28.機車數量		29.車廂數量
30.列車速度(實際或估計)		31.列車方向(1.北、2.南、3.東、4.西)		
32.平交道警告形式：1.柵欄 2.懸臂閃燈 3.標準閃燈 4.搖擺警告設備 5.公路交通號誌 6.警音 7.平交道告示牌 8.停標誌 9.看柵工 10.手工旗幟 11.其他 12.無				
33.平交道警告形式（從另一側觀察）：		34.禁止鳴笛：1.是 2.否 3.不清楚		
35.警告的位置：1.公路車行方向兩側 2.公路車行方向該側 3.公路車行方向另一側				
36.鐵公路號誌連鎖：1.是 2.否 3.不清楚				
37.平交道被路側燈光或特別光源照射：1.是 2.否 3.不清楚				
38.公路駕駛年齡			39.公路駕駛性別：1.男性 2.女性	
40.公路車輛與第二輛列車發生撞擊：1.是 2.否 3.不清楚				
41.公路駕駛人：1.繞過柵欄 2.停止後再前進 3.沒有停 4.在平交道上停止 E.其他				
42.公路駕駛人超越固定的公路車輛：1.是 2.否 3.不清楚				
43.無法看清楚軌道的原因：1.永久結構物 2.固定的鐵路設備 3.通過列車 4.地形關係 5.植物 6.公路車輛 7.其他 8.無障礙物				
嚴重等級	死	傷	44.公路駕駛：1.死 2.傷 3.未受傷	45.駕駛是否在車上：1.是 2.否
46.大眾			47.公路車輛損毀金額估計	48.使用平交道的大眾數量
49.員工			50.列車上的旅客與員工人數	51.該鐵路是否有事故/事件列管檔案：  1.是 2.否
52.旅客				
53a.需特別研究的項次			53b.需特別研究的項次	
54.對於該事故/事件的描述				
55.名稱			56.簽名	57.日期

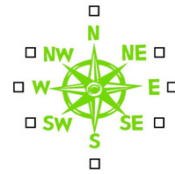
## 澳洲平交道事件調查表<sup>[51]</sup>-本研究中譯版

<p>第一部分：一般資訊</p> <p>1.事件編號：_____</p>																													
<p>第二部分：時間與地點</p> <p>2.發生日期：_____</p> <p>3.發生時間（24 小時制）：_____</p> <p>4.道路名稱：_____</p> <p>5.道路種類：<input type="checkbox"/>1.公有 <input type="checkbox"/>2.私有</p> <p>6.鄰近車站：_____</p> <p>7.鄰近城市：_____</p> <p>8.平交道區域：<input type="checkbox"/>1.市區內<input type="checkbox"/>2.郊區 <input type="checkbox"/>3.城鎮 <input type="checkbox"/>4.村落 <input type="checkbox"/>5.主要道路 <input type="checkbox"/>6.次要道路</p>																													
<p>第三部分：有關的鐵路機構</p> <p>9.鐵路機構名稱：_____</p> <p>10.受影響的營運車輛公司：_____</p> <p>11.受影響的鐵路設施單位：_____</p> <p>12.受影響的鐵路機關：_____</p>																													
<p>第四部分：事件細節</p> <p>13.撞擊的情況（若不知時預設為 1）：<input type="checkbox"/>1.鐵路列車撞公路用路人 <input type="checkbox"/>2.公路用路人撞鐵路列車</p> <p>14.與平交道事件有關的人員數量：</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 30%;">1.公路用路人</td> <td style="width: 20%;">總數：__</td> <td style="width: 20%;">死：__</td> <td style="width: 20%;">重傷：__</td> <td style="width: 20%;">輕傷：__</td> </tr> <tr> <td>公路駕駛</td> <td><input type="checkbox"/>死</td> <td><input type="checkbox"/>重傷</td> <td><input type="checkbox"/>輕傷</td> <td><input type="checkbox"/>未受傷</td> </tr> <tr> <td>2.列車上旅客</td> <td>總數：__</td> <td>死：__</td> <td>重傷：__</td> <td>輕傷：__</td> </tr> <tr> <td>列車上員工</td> <td>總數：__</td> <td>死：__</td> <td>重傷：__</td> <td>輕傷：__</td> </tr> <tr> <td>3.其他</td> <td>總數：__</td> <td>死：__</td> <td>重傷：__</td> <td>輕傷：__</td> </tr> </table> <p>15.預估財損：公路車輛\$：_____ 鐵路車輛與設備\$：_____</p>					1.公路用路人	總數：__	死：__	重傷：__	輕傷：__	公路駕駛	<input type="checkbox"/> 死	<input type="checkbox"/> 重傷	<input type="checkbox"/> 輕傷	<input type="checkbox"/> 未受傷	2.列車上旅客	總數：__	死：__	重傷：__	輕傷：__	列車上員工	總數：__	死：__	重傷：__	輕傷：__	3.其他	總數：__	死：__	重傷：__	輕傷：__
1.公路用路人	總數：__	死：__	重傷：__	輕傷：__																									
公路駕駛	<input type="checkbox"/> 死	<input type="checkbox"/> 重傷	<input type="checkbox"/> 輕傷	<input type="checkbox"/> 未受傷																									
2.列車上旅客	總數：__	死：__	重傷：__	輕傷：__																									
列車上員工	總數：__	死：__	重傷：__	輕傷：__																									
3.其他	總數：__	死：__	重傷：__	輕傷：__																									
<p>第五部分：地區情況</p> <p>16.溫度：_____</p> <p>17.能見度（單選）：<input type="checkbox"/>1.清晨 <input type="checkbox"/>2.白天 <input type="checkbox"/>3.黃昏 <input type="checkbox"/>4.夜晚</p>																													

<p>18.天氣（複選）：<input type="checkbox"/>1.清楚 <input type="checkbox"/>2.多雲 <input type="checkbox"/>3.雨天 <input type="checkbox"/>4.霧 <input type="checkbox"/>5.冰雹 <input type="checkbox"/>6.雪</p> <p>19.事件發生時，平交道鋪面是否濕滑（如冰、油、碎片、溢出）？<input type="checkbox"/>1.是（→關鍵的道路狀況） <input type="checkbox"/>2.否 <input type="checkbox"/>3.不清楚</p> <p>20.事件發生時，平交道入口、出口之公路路面是否濕滑（如冰、油、濕）？<input type="checkbox"/>1.是（→關鍵的道路狀況） <input type="checkbox"/>2.否 <input type="checkbox"/>3.不清楚</p>
<p>第六部分：軌道情況</p> <p>21.使用的軌道型態：<input type="checkbox"/>1.大眾可通過之正線區域 <input type="checkbox"/>2.大眾不可通過之正線區域 <input type="checkbox"/>3.大眾可通過之調車場/側線區域 <input type="checkbox"/>4.大眾不可通過之調車場/側線區域</p> <p>22.平交道的軌道是否不合乎標準？ <input type="checkbox"/>1.是，請說明_____ <input type="checkbox"/>2.否</p> <p>23.發生事件當時是否有禁止鳴笛的規定？ <input type="checkbox"/>1.是 <input type="checkbox"/>2.否 <input type="checkbox"/>3.不清楚</p> <p>24.鐵路列車通過平交道的速限為多少（km/h）？_____</p>
<p>第七部分：平交道通過交通量</p> <p>25.平均每天有多少公路車輛通過該平交道？_____</p> <p>26.事件發生當時的交通量是否較高？ <input type="checkbox"/>1.是，原因_____</p> <p style="padding-left: 40px;">→平交道事件通常較易發生在尖峰時間、午間、開學、放學期間</p> <p style="padding-left: 40px;">→高車流量導致高平交道事件率</p> <p><input type="checkbox"/>2.否 <input type="checkbox"/>3.不清楚</p> <p>27.平交道區域附近是否有大量的緩慢公路車輛？<input type="checkbox"/>1.是 <input type="checkbox"/>2.否 <input type="checkbox"/>3.不清楚</p> <p style="padding-left: 40px;">→慢行公路車輛越多，有越高的違規闖越平交道行為</p> <p>28.平均每天有多少列貨物列車通過平交道？_____</p> <p style="padding-left: 40px;">→貨物列車較長且速度較慢，因此會有越高的違規闖越平交道行為</p> <p>29.平均每天有多少列載客列車通過平交道？_____</p> <p>30.是否有其他鄰近平交道列車也幾乎快要撞上？<input type="checkbox"/>1.是 <input type="checkbox"/>2.否 <input type="checkbox"/>3.不清楚</p>
<p>第八部分：列車細節</p> <p>31.列車型態：<input type="checkbox"/>1.貨車 <input type="checkbox"/>2.載客列車 <input type="checkbox"/>3.僅機車頭 <input type="checkbox"/>4.軌道維/修偵測車 <input type="checkbox"/>5.調車場內使用之車輛 <input type="checkbox"/>6.溜逸車輛 <input type="checkbox"/>7.其他</p>

32.列車上的車廂數量？\_\_\_\_\_

33.列車行進的方位？\_\_\_\_\_ ☐不適用（列車在靜止時被撞擊）



34.列車時刻狀況？☐1.準點 ☐2.慢點，原因\_\_\_\_\_ ☐3.早點，原因\_\_\_\_\_ ☐4.不清楚  
☐5.不適用

35.哪節車廂與公路用路人相撞？\_\_\_\_\_

36.撞擊當時的列車時速（km/h）？\_\_\_\_\_ ☐行車記錄值 ☐推估值

37.撞擊當時列車的燈光明明？☐頭燈 ☐側燈 ☐警示燈 ☐標誌燈 ☐其他

→會影響列車辨識

38.列車前端是否容易辨識？☐1.是 ☐2.否（→會影響列車辨識） ☐3.不清楚

#### 第九部分：列車駕駛行為

39.列車駕駛在接近平交道時是否可聽到列車的鳴笛？☐1.是 ☐2.否（→缺乏聲音警訊） ☐3.不清楚

40.列車駕駛是否有注意即將通過的平交道？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

41.是否有任何的標誌或者警告訊息來通知列車駕駛即將通過平交道？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

#### 第十部分：平交道特性

42A.平交道上有幾條軌道？\_\_\_\_\_

42B.若多於一條軌道，則軌道中心距離為多少？\_\_\_\_\_

43.從公路側進入平交道的坡度：

☐1.陡峭的上坡（→基於視覺效應（see-through-effect），位於頂部之平交道較易被注意到）

☐2.輕微的上坡 ☐3.平緩

☐4.輕微的下坡（→增加超速與闖越的機率）

☐5.陡峭的下坡（→增加超速與闖越的機率；基於視覺效應（see-through-effect），位於底部之平交道不容易被注意到）

44.從平交道離開到公路側的坡度：

☐1.陡峭的上坡（→出口的陡升坡會將公路駕駛的注意力從平交道轉移，且車輛可能會有緩行延遲）

☐2.輕微的上坡 ☐3.平緩 ☐4.輕微的下坡

☐5.陡峭的下坡（→出口的陡降坡會將公路駕駛的注意力從平交道轉移）

45.平交道入口端的公路寬度為多少公尺？\_\_\_\_\_（→過窄的路寬可能使車輛在會車時緩行或停留於平交道上）

46.是否因為公路線型關係導致車行方向正好與列車接近方向正面相迎？☐1.是（→面對列車時較難判斷列車之速度與相對距離） ☐2.否

47.平交道前是否有清楚的決策點？☐1.是 ☐2.否（→對於未受保護的平交道，有清楚的決策點是非常必要的）

48.在決策點的視距為多少公尺？\_\_\_\_\_（→受限的視距可能使公路駕駛來不及在安全點做決策，而過長的視距又會使公路駕駛降低對風險的認知）

49.平交道入口端道路是否為超過 1 公里的直線路段？☐1.是（參考 62 題） ☐2.否 ☐3.不適用

50.在決策點處之道路與平交道的交角？

☐1. <30 度（→筆直的角度易使駕駛人冒闖越的風險？） ☐2. 31-60 度 ☐3. 61-90 度 ☐4. 91-120 度 ☐5. 121-150 度 ☐6. 151-180 度

51.接近平交道的公路速限為何？\_\_\_\_\_

52.公路鋪面？☐1.瀝青 ☐2.碎石 ☐3.爛泥 ☐4.其他

→鬆散的鋪面可能會使公路駕駛人低估煞車距離，且轉移公路駕駛注意力

53.是否因平交道鋪面不平坦，增加車輛之風險？☐1.是，內容為\_\_\_\_\_ ☐2.否

平交道位置的影響因素：→平交道位置可能影響公路用路人的行為、車流量以及闖越機率

54.平交道是否位於道路的彎曲位置處？☐1.是 ☐2.否

55.平交道是否位於主要道路/快速道路/高速公路的出入交叉口？☐1.是 ☐2.否

56.平交道是否位於商業區的出入口？☐1.是 ☐2.否

57.平交道是否鄰近火車站？☐1.是 ☐2.否

58.平交道是否鄰近學校接送學生的區位？☐1.是 ☐2.否

59.是否有交通寧靜區的設備在平交道附近設置（如急彎、減速丘、減速檔）？☐1.是 ☐2.否

60.平交道附近在近期是否有任何建設發展（房地產/商業區）導致近一年內使用平交道的情況有所變化？（例如通過車輛數增加）☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

61.公路或者鐵路的設施在過去一年內是否有重大的變化？

☐1.是，內容為\_\_\_\_\_ ☐2.否 ☐3.不清楚

62.在接近平交道前方 250 公尺內，是否有其他非平交道相關的標誌？

☐1.是，請說明該標誌的數量、類型與內容\_\_\_\_\_（→過多標誌可能降低公路駕駛人對平交道標誌的偵測能力，且同時降低車輛速度）

☐2.否

63.在平交道告警號誌後方是否有其他類似的號誌燈源造成平交道告警號誌難以辨識？

☐1.是（→可能影響平交道的偵測力與能見度） ☐2.否 ☐3.不適用

64.在平交道標誌後方是否有一些結構物造成這些標誌難以辨識？

☐1.是（→可能影響平交道的偵測力與能見度） ☐2.否 ☐3.不適用

65.接近平交道前方是否有速限的逐步變化（→如 80km/h->70km/h->60km/h）？☐1.是 ☐2.否

66.從平交道入口端是否能看見通過平交道後提高的速限標誌？☐1.是（→可能使公路駕駛提前加速） ☐2.否

#### 第十一部分：平交道警告

67A.警告方式：

☐1.閃燈與警鈴 ☐2.自動半遮斷桿 ☐3.停止標誌 ☐4.手動柵欄 ☐5.工作人員導引

☐6.讓標誌 ☐7.平交道位置看板 ☐8.其他\_\_\_\_\_ ☐9.無

67B.若 67A 選擇了 1 與 2，則請描述事件當下的警告設備狀態

☐1.提供至少 20 秒的警告 ☐2.聲稱警告時間大於 60 秒 ☐3.聲稱警告時間小於 20 秒

☐4.聲稱沒警告 ☐5.確認警告時間大於 60 秒 ☐6.確認警告時間小於 20 秒 ☐7.確認沒警告

67C.若 67B 選擇了 5,6,7，則請勾選以下的描述

☐A.絕緣的鐵路車輛 ☐B.風暴/閃電損壞 ☐C.遭受破壞 ☐D.無電力 ☐E.設備維修中 ☐F.設備無法提供服務 ☐G.警告大於 60 秒以上，主因為軌道電路偵測到列車停於平交道上 ☐H.警告大於 60 秒以上，主因為設備故障導致（如絕緣接頭故障） ☐I.警告大於 60 秒以上，主因為有其他列車佔用該軌道電路 ☐J.警告小於 20 秒，主因為列車抵達平交道前號誌逾時 ☐K.警告小於 20 秒，主因為計軸器與軌道電路設計方向之關係 ☐L.警告小於 20 秒，主因為列車速度超過軌道電路設計的限制 ☐M.警告小於 20 秒，主因為號誌系統失效未偵測列車接

近 ☐N.警告小於 20 秒，主因為列車違反營運規則 ☐O.無警告，主因為號誌系統異常 ☐P.  
其他原因\_\_\_\_\_

68.就公路用路者面相平交道方向而言，67A 的平交道警告設施位於何處？☐1.兩側 ☐2.左側  
☐3.右側 ☐4.不適用（→平交道沒有任何警告設備）

69A.在接近平交道的方向，出現過哪些資訊、標誌、標線或者告示牌？\_\_\_\_\_

69B.平交道前方是否有適當之視覺提醒？☐1.是 ☐2.否（→無法適當警告）

70.平交道警示燈、警鈴與遮斷桿是否運作正常？☐1.是 ☐2.否，請說明\_\_\_\_\_（→無法適當警告） ☐3.不適用

71.平交道的標誌與標線是否都維護良好（清楚且易讀）？☐1.是 ☐2.否，請說明\_\_\_\_\_（→無法適當警告）

72.鐵路與公路側的號誌是否有連鎖？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚 ☐4.不適用

73.平交道是否有等待通過時間的計時器？☐1.是 ☐2.否，平均等待時間幾秒\_\_\_\_\_ ☐3.不清楚 ☐4.不適用

74.是否有路燈或其他光源照亮平交道？☐1.是 ☐2.否

75.平交道的警示燈是否正好面向公路用路人？☐1.是 ☐2.否（→能見度差） ☐3.不適用

76.平交道的反光警告標誌是否正好面向公路用路人？☐1.是 ☐2.否（→能見度差） ☐3.不適用

77.陽光是否會直接照射到警示燈的鏡片上？☐1.是（→能見度差） ☐2.否 ☐3.不適用

78.接近平交道的標誌是否符合 AS1742.7 之規範？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚 ☐4.不適用

## 第十二部分：公路車輛資訊

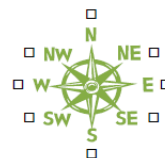
79.公路車輛種類：

☐A.小客車 ☐B.休旅車 ☐C.客貨雙用車 ☐D.貨車 ☐E.半拖車 ☐F.雙層拖車 ☐G.公車  
☐H.校車 ☐I.機車 ☐J.其他機動車 ☐K.腳踏車 ☐L.其他運具\_\_\_\_\_

80.車輛品牌和型號\_\_\_\_\_

81.公路用路人的行駛方向

→若用路人停止行進的話，則以欲前進的方向為準



82.公路用路人接近平交道的旅行速度？\_\_\_\_\_

83.碰撞當時公路車輛的時速？\_\_\_\_\_（→若用路人已停止在平交道，則填寫 0 km/h）

## 第十三部分：公路車輛資訊



84.公路駕駛人年齡？\_\_\_\_\_

85.公路駕駛人性別？☐1.男 ☐2.女 ☐3.不清楚

86.公路駕駛人經驗（年）？\_\_\_\_\_

87.公路駕駛人駕照類型？

☐1.正式駕照 ☐2.臨時駕照 ☐3.學習駕照 ☐4.國際駕照 ☐5.無駕照 ☐6.不清楚 ☐7.不適用

88.過去五年駕駛違規次數？\_\_\_\_\_ ☐不清楚

89.公路用路人是否為國外旅客？☐1.是（→外國人對於通過國內平交道程序可能會不熟悉，因此增加錯誤發生的機率） ☐2.否 ☐3.不清楚

90.公路用路人是否可理解英文撰寫的告示訊息？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

91.公路用路人是否有某方面的缺陷（聽覺/視覺/行動不便）導致影響其通過平交道的能力？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

92.公路用路人有受任何藥物的影響嗎？☐1.是，請說明\_\_\_\_\_ ☐2.否 ☐3.不清楚

93.事件當時公路用路人的血液酒精濃度值是否超過標準？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

#### 第十四部分：公路用路人/駕駛行為

94.公路駕駛：☐1.停下後再通過 ☐2.沒有停下來 ☐3.繞行或者直接通過柵欄 ☐4.停在平交道上 ☐5.其他\_\_\_\_\_

95.公路車輛在撞擊當下的狀態？☐1.在平交道上熄火 ☐2.停在平交道上 ☐3.正通過平交道 ☐4.困在平交道

96.撞擊當下，公路用路者是否在車內？☐1.是 ☐2.否

97.公路車輛是否被第二輛通過平交道列車撞擊？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

98.公路駕駛是否因為平交道寬度過窄而停留在平交道上方會車？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

99.公路車輛是否因前方空間不足的情況下一台接一台通過平交道？☐1.是，請說明\_\_\_\_\_ ☐2.否 ☐3.不清楚

100.公路車輛是否因車多的情況下一台接一台通過平交道？☐1.是，造成車多的原因\_\_\_\_\_ ☐2.否 ☐3.不清楚

101.事件當下公路駕駛人是否以 Z 字型繞行的方式避過半遮斷桿而闖越平交道？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚 ☐4.不適用

102.就在事件發生前一刻，公路駕駛人是否在通過平交道前超越另一慢車或停等車輛？☐1.是

☐2.否 ☐3.不清楚

103.事件發生當時，公路駕駛人是否正要超車？☐1.是，超越對象車種為\_\_\_\_\_ ☐2.否 ☐3.不清楚

104.公路駕駛人士是否跟著前車通過平交道？☐1.是，原因為\_\_\_\_\_ ☐2.否 ☐3.不清楚

105.公路駕駛人是否超過停止線（白色實線）？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚 ☐4.不適用

106.公路駕駛人是否在接近平交道時減速？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

107.承上，駕駛人是否在抵達平交道時再次加速？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚 ☐4.不適用

108.在通過此平交道前，公路駕駛人是否曾通過上游 5 公里內的另一個平交道？☐1.是（→對平交道的操作方式可能會有錯誤的預設心理） ☐2.否 ☐3.不清楚

109.公路駕駛人是否常常通過不同防護方式的平交道？☐1.是（→對平交道的運作方式可能會有錯誤的預設心理） ☐2.否 ☐3.不清楚

110.在事件發生前，公路用路人是否曾在 5 公里內被其他不同的平交道防護設備攔阻？☐1.是（→對平交道的運作方式可能會有錯誤的預設心理） ☐2.否 ☐3.不清楚

111.公路用路人是否在接近平交道前觀察接近列車？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚（→預設值）

112.公路用路人是否覺得列車短時間內不會抵達，導致其闖越平交道？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

113.公路駕駛是否將平交道視為捷徑而穿越使用？☐1.是（→通常會增加風險） ☐2.否 ☐3.不清楚

114.公路駕駛是否蓄意的闖越平交道（與誤判、未發現平交道、疲勞有所差異）？☐1.是（→違規） ☐2.否（→判斷錯誤） ☐3.不清楚

115.公路駕駛是否已看到平交道警示燈，但仍選擇闖越平交道？☐1.是（→違規） ☐2.否（→判斷錯誤） ☐3.不清楚

熟悉度：→住在平交道附近的居民在通過平交道時，通常對於風險的認知較低

116.公路駕駛是否有察覺有平交道？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

117.公路駕駛是否熟習該平交道？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

118.公路駕駛是否定期通過該平交道？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

119.公路駕駛是否居住在平交道 10 公里範圍之內？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

120.公路駕駛的旅次目的為何？\_\_\_\_\_

121.公路駕駛是否熟悉列車時刻表？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

122.公路駕駛是否在等待一段較長時間後嘗試著闖越平交道？☐1.是（→等候時間越久，越易造成闖越的機率。依據美國的研究，公路駕駛通常預期列車在 20 秒內會抵達，若是在無柵欄平交道通常等候超過 40 秒則會開始不耐煩，而有遮斷桿平交道則是 60 秒） ☐2.否 ☐3.不清楚

123.事件當下公路駕駛是否有時間的壓力？☐1.是（→越容易造成違規或者錯誤的決定） ☐2.否 ☐3.不清楚

124.是否因為公路駕駛疲勞造成事件（→如睡眠不足）？☐1.是，請說明\_\_\_\_\_（→越容易造成違規或者錯誤的決定） ☐2.否 ☐3.不清楚

125.是否有任何跡象顯示公路駕駛人是自殺行為？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

126.公路駕駛是否為鐵道迷想要近距離的觀測列車？☐1.是（→鐵道迷通常會忽視風險而近距離觀察列車） ☐2.否 ☐3.不清楚

#### 第十五部分：能見度與障礙物

127.是否因有車輛停靠平交道出入口附近而妨礙了用路人保持平交道的淨空？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

128.公路用路人因何者原因無法清楚看到軌道與接近列車？（→多選）

- ☐1.固定性的結構物 ☐2.地形關係 ☐3.固定不動的列車 ☐4.植物/葉子 ☐5.通過的列車  
☐6.鷹架 ☐7.移動中的公路車輛 ☐8.廣告看板 ☐9.路邊停車的車輛  
☐10.其他，請說明\_\_\_\_\_ ☐11.無障礙物

129.公路用路人因何者原因無法清楚看到平交道？（→多選）

- ☐1.固定性的結構物 ☐2.地形關係 ☐3.固定不動的列車 ☐4.植物/葉子 ☐5.通過的列車  
☐6.鷹架 ☐7.移動中的公路車輛 ☐8.廣告看板 ☐9.路邊停車的車輛  
☐10.其他，請說明\_\_\_\_\_ ☐11.無障礙物

130.公路用路人因何者原因無法清楚看到警告標誌或警示燈？（→多選）

- ☐1.固定性的結構物 ☐2.地形關係 ☐3.固定不動的列車 ☐4.植物/葉子 ☐5.通過的列車  
☐6.鷹架 ☐7.移動中的公路車輛 ☐8.廣告看板 ☐9.路邊停車的車輛  
☐10.其他，請說明\_\_\_\_\_ ☐11.無障礙物

131.平交道前方 250 公尺內，是否有路側的結構物（→如鷹架、建物）？☐1.是，請說明數量與內容\_\_\_\_\_ ☐2.否

132.事件發生當時是否在能見度較低的時候？

- ☐1.是（→何者原因造成能見度降低）

☐A.黑暗 ☐B.霧 ☐C.煙 ☐D.雨 ☐E.霾 ☐F.炫光 ☐G.冰雹 ☐H.塵土

☐I.其他，請說明\_\_\_\_\_

☐2.否 ☐3.不清楚

133.事件當時之陽光以及與公路駕駛的關係為？

☐1.約為 0 度（近水平線） ☐2.約為 45 度 ☐3.約為 90 度（頭頂上） ☐4.水平線之下

134.陽光是否照射（直射或間接反射）到接近平交道的公路駕駛臉上？☐1.是（→直射到公路駕駛可能導致眼盲且無法注意到平交道的標誌或者警示燈） ☐2.否 ☐3.不清楚

135.陽光是否照射（直射或間接反射）到正在通過平交道的公路駕駛臉上？

☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

136.平交道的標線是否能見度不良（在標準之下）？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚 ☐4.不適用

137.在公路車輛的車內是否有任何因素導致駕駛人無法看到軌道、列車或平交道？

☐1.是（→選擇其原因）

☐A.車輛結構（視覺死角） ☐B.車內黏貼之標籤 ☐C.前擋風玻璃骯髒

☐D.駕駛人的太陽眼鏡 ☐E.駕駛人的眼鏡 ☐F.其他，請說明\_\_\_\_\_

☐2.否 ☐3.不清楚 ☐4.不適用

#### 第十六部分：分心

138.是否因為某活動而使事件發生時通過平交道的使用者較平常多？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

139.在前往平交道的路上，是否有任何潛在會使公路駕駛分心的事物？

☐1.是（→選擇其原因）

☐A.永久性的事物（廣告看板/廣告牌） ☐B.暫時的事物（遊樂園/馬戲團/道路施工/小孩）

☐2.否 ☐3.不清楚

140.是否有任何環境上會使公路駕駛分心的事物（如閃燈、陽光、駕駛視線內的干擾物）？

☐1.是，請說明\_\_\_\_\_ ☐2.否 ☐3.不清楚

141.事件當時是否有道旁工人/鐵路員工/緊急服務在平交道處？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

142.周遭是否有噪音影響公路用路人接收列車鳴笛的聽力或者使其分心？☐1.是 ☐2.否 ☐3.不清楚

143.是否平交道周遭的噪音超過 80 分貝（為接近平交道 400 公尺時列車鳴笛的標準）？☐1.是

☐2.否 ☐3.不清楚

144.事件發生時公路車輛的窗戶狀態為何？☐1.全開 ☐2.部分開 ☐3.全關 ☐4.不清楚

145.公路車輛接近平交道時，車內是否有任何會導致駕駛人分心的事物？

☐1.是（→選擇其原因）

☐A.手機 ☐B.收音機 ☐C.冷暖氣 ☐D.乘客 ☐E.車內孩童 ☐F.車內寵物

☐G.其他，請說明\_\_\_\_\_

☐2.否 ☐3.不清楚

第十七部分：其他

146.是否有任何可助於釐清事件的情況描述？\_\_\_\_\_

147.對於該事件的描述：\_\_\_\_\_



## 附錄 I 期中報告審查意見與處理情形





「MOTC-IOT-100-SBB008 風險管理應用於鐵路運輸安全之  
初探-以臺鐵風險分析與評量為例」期中報告審查會議

壹、開會時間：100 年 8 月 3 日(星期三)上午 10 時

貳、開會地點：運輸研究所 5 樓會議室

參、主持人：吳副所長玉珍

肆、記錄：吳熙仁

伍、出席委員及單位：

單位及委員	職稱	出席簽名
張應輝委員		(請假)
張志榮委員		張志榮
蔡明志委員		蔡明志
張立言委員		張立言
胡湘麟委員		胡湘麟
鄭榮幫委員		鄭榮幫
交通部路政司		(請假)
臺灣鐵路管理局	副處長 副處長 科長 科長 科長	杜微 古東峯 宋鴻康 張鎮濟 黃宗欣

單位及委員	職稱	出席簽名
高速鐵路工程局	幫工程司	劉建愷
臺北市政府大眾捷運股份有限公司	工程員	吳品憲
高雄捷運股份有限公司		(請假並提供書面意見)
臺灣高速鐵路股份有限公司	經理	蘇文傑
台糖公司		(請假)
行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處		(請假)
財團法人中興工程顧問社		孫千山 鍾志成 林杜寰 李治綱
本所運安組	組長 副組長 研究員 研究員	張開國 葉祖宏 賴靜慧 吳熙仁 陳泓志

陸、主席致詞：(略)

柒、簡報：(略)

捌、審查意見與處理情形：

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
中興大學蔡教授明志	研究方向應釐清為安全管制或安全管理。	本研究主題偏重管理面，將於報告中補充說明避免讀者混淆。	同意。
	時間與資源有限下，建議危害分析不見得要採 FTA 或 ETA，FMECA 也不失為一個好方法。	敬悉。	悉。
	建議「自殺」應該從 Risk Profile 中排除。	目前國內並無明確的自殺認定標準，鐵路警察局也僅能以「疑似自殺」認定，因此現況下仍予以保留，但為避免與其他系統比較時誤判臺鐵安全水準，故在危害名稱上特別註明「含自殺」。	同意。
	為何選擇「上下車摔傷」不選其他危害？	第 2 次工作會議時已邀集包含局長在內的臺鐵專家參與討論，因適逢身障旅客投訴臺鐵無障礙設施不足問題，且臺鐵近年開始進行月台加高工程，故關注此一問題亦想了解改善工程後的效益，以及是否因此衍生其他風險，故選擇此危害。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	後續分析臺鐵旅客安全風險評量時，應說明評量單位並考量曝光量的差異，建議中長程與短程旅客可分開處理。	關於旅客、大眾與員工的風險衡量單位，採用的都是「一年致命機率」，後續分析臺鐵旅客風險時也會採納委員建議分別評量中長程與短程旅客的風險。	同意。
	等效死亡係數為何採用 0.1，依據為何？	國內監理機構並未明訂等效死亡權重，故本研究依據運研所 2008 年「交通建設計畫經濟效益評估作業之研究」案中，所建議之死亡認定貨幣平均值為 1296 萬，傷殘為 119 萬，約 10:1 的比例，因而採用 0.1。	同意。
	風險評量指標建議可納入社會衝擊程度。	本研究沿用目前臺鐵運務處嚴重程度分級表中的形象衝擊度。	同意。
	風險接受門檻建議應該由研究團隊客觀建議，不應由臺鐵決定。	研究團隊會與臺鐵專家共同討論，以客觀的角度建議合理之參考門檻值。	同意。
臺灣鐵路管理局杜微副處長	簡報 30 頁人為疏失率部分，建議加強說明是否還有其他影響因子與是否可應用於臺鐵行車人員。	遵照辦理，已於期末報告內說明。	悉。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	後續針對兩項危害深入分析時，建議研究團隊能考量工作人員的人性面，亦即不遵守 SOP 的可能（便宜行事、積非成是）以符實際。	後續分析時會納入委員建議。	同意。
臺灣鐵路管理局宋鴻康科長	簡報 48 頁臺鐵乘客安全績效之資料為 2005 年 1 月～2007 年 2 月，建議更新到 2011 年 6 月。	遵照辦理，期末報告已採用 2008～2010 年資料進行說明。	同意。
	針對車門夾傷旅客事故，臺鐵現已修改 EMU700 型車門開關時間，若研究單位可分析此改善措施之成效，臺鐵願意提供相關資料。	感謝路局提供資料，惟車門夾傷非此次研究重點，建議另案探討。	同意。
臺灣鐵路管理局古東峯副處長	後續分析列車與公路車輛於平交道發生碰撞的危害時，務必考量環境線形等環境因素，以及公路駕駛的人為因素。	委員建議會納入後續分析的失效原因。	同意。
	臺鐵目前正研議平交道標誌是否集中放置於限高門上，建議研究單位後續分析風險時能納入考量。	由於此改善手段牽涉太多人因因素，雖可預期降低部分事件的失效率，但亦可能提高其他失效事件的失效率，故建議另案探討。	同意。
臺灣鐵路管理局黃宗欣科長	建議報告應更口語化，避免太過理論的描述，以便臺鐵未來能操作使用。	遵照辦理。	悉。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高速鐵路工程局劉幫工程司建愷	本報告後續以「序位 3：載客列車與公路車輛碰撞」之危害作為分析對象，但其等效死亡數明顯低於「序位 1：車站間撞擊大眾」，惟在 P6-5 僅提及原因為「可利用圍籬來做好阻隔...」，是否有其他原因或考量因素？建議可在報告中補充說明。	除了報告中所言之理由外，由於序位 1 危害的原因大多為自殺或跨越者責任，已可預見未來分析結果的主要原因，然序位 3 危害牽涉平交道鐵公路側設備、環境、人為等各種因素，分析成果較具示範性對臺鐵幫助也較大，期末報告將補充說明原因。	同意。
	建議未來臺鐵局能確實依據本報告研究成果及 2010 年所提的風險辨識研究報告，落實風險管理。	敬悉。	悉。
台灣高速鐵路公司蘇副主任文傑	期末報告時建議於會議前提供簡報資料以利意見回覆。	遵照辦理。	悉。
	期中報告中有多處文字疏漏與繕打錯誤，請研究單位依據書面意見更正。	感謝委員提供資料。	悉。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
臺北市 政府捷 運局張 副總工 程司志 榮	在定位上，本研究為業主單位（運研所）進行風險管理應用於鐵路運輸安全一系列研究案中之第二案，與前一研究案（風險辨識）及未來可能進行的研究案（風險處理、管理監督、管理改善）之間，應具有「承上啟下」之關連性，本報告對此關連性已略有著墨，建議加強本部分之說明，以彰顯本研究之目的及重點。	遵照委員建議辦理，期末報告已加強與前期研究之關連。	同意。
	本報告 2-4 頁述及圖 2-5 係參酌英國、加拿大、南韓等國家之風險管理步驟，並回顧學者提出的文獻而形成風險管理的 PDCA 概念，建議將前述文獻或資料來源述明，以求其嚴謹性。	期末報告已補充說明文獻來源。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	<p>本報告 2-6 頁述及臺鐵危害項目更新，研究團隊（前期）由原有的 961 項縮減成 115 項，最後又改為 113 項而定案。本期則「為避免後續分析過於複雜」（2-6 頁倒數 6、7 行）而以更新方式調整為 119 項，對於類此危害項目的調整或更新的準則、時機、頻率，以及作業程序等，建議予以制度化。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由於文獻較無針對更新準則有相關之說明，因此本研究參考英國安全風險模式（Safety Risk Model, SRM）進行改版的經驗，同時訪問國內軌道業界及核能研究所與核電廠的經驗，歸納結果為：初期的更新頻率會較穩定期高，同時須搭配重大事故來進行檢討與調整危害項目。</li> <li>2. 本研究會與專家學者討論並歸納更新的準則與時機供臺鐵參考。</li> </ol>	<p>同意。</p> <p>同意。</p>
	<p>本報告 2-7 頁表 2.1「臺鐵 119 項危害項目中」，人員部分分為「旅客」、「員工」、「大眾」；其中「大眾」的定義為何？宜定義清楚。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究所指的大眾指的是非屬乘客與員工之人員。</li> <li>2. 關於旅客與員工之定義，本研究係直接引用過去研究成果，已於期末報告第二章內補充說明。</li> </ol>	<p>同意。</p> <p>同意。</p>



單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	本研究參採了很多歐盟制定之安全管理規範，諸如 EN50126、EN50128、EN50129 等，建議亦可參考 ISO31000（Risk Management-Principles and Guidelines）中相關的安全管理資料。	遵照委員意見，期末報告已補充 ISO31000 之相關說明。	同意。
	本報告 7-1 頁述及研究團隊至目前為止，已邀集鐵路安全專家及學者舉行三次之專家會議以協助二項臺鐵危害項目之研擬，並對臺鐵風險評量策略與作法提出建議（1-5 頁）；建議將該三次會議記錄列入附錄以供參考，並整理其重點納入報告主文。	遵照委員意見，已於本文中補充會議結論，另會議記錄扼要整理於附錄 E。	同意。
	建議以綜合表列的方式補充說明臺鐵在人員、運具、場站設施及制度等各方面有關風險分析與評估的作法，與國內外風險分析與評量之理論與實務之差異性，同時注意比較資料的適用性。	遵照辦理，本研究將於該章節最後作一綜整的列表比較。	同意。
嘉義大學張教	期中書面報告 P5-1 的圖 5-1，建議扼要說明各標準內容。	遵照辦理，已於期末報告第二章內補充說明。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
授 立言	建議研究單位補充風險管理過程中更新資料的機制。	<p>1. 由於文獻較無針對更新準則有相關之說明，因此本研究參考英國安全風險模式（Safety Risk Model, SRM）進行改版的經驗，同時訪問國內軌道業界及核能研究所與核電廠的經驗，歸納結果為：初期的更新頻率會較穩定期高，同時須搭配重大事故來進行檢討與調整危害項目。</p> <p>2. 本研究會與專家學者討論並歸納更新的準則與時機供臺鐵參考。</p>	<p>同意。</p> <p>悉。</p>
	書面報告第五章建議補充軌道系統實際執行風險管理的案例。	營運單位之實際案例不易取得，因此期末報告以一假設之案例來進行補充說明。	同意。
	建議書面報告 P3-65 的表 3.24 可以比較優缺點。	遵照辦理。	悉。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	研究團隊回顧很多風險分析方法，是否不同方法可能分析出不同結果，該如何解讀與處理？	<p>1. 誠如委員所言，不同方法可能呈現出不同結果，因 FTA 最適合分析失效之間具有關連性的危害，故本研究採用之。</p> <p>2. 同一種方法由不同專家來執行也可能有不同結果，如果分析的資料與過程正確，都應能指出降低該危害的關鍵問題。</p>	<p>同意。</p> <p>同意。</p>
	採用不同分析方法的危害項目之間該如何比較？	危害因特性不同，分析頻率時單位可能不同，但乘上嚴重性後都會化為等效死亡，因此可以比較。	同意。
	本研究成果未來應讓臺鐵實務上可以操作，故建議書面報告文字應更口語化。	遵照辦理。	
	最近發生阿里山小火車出軌翻覆與大陸溫州動車追尾事故，研究單位是否可納入分析？	由於該兩類事故非此次研究重點（屬於傾覆與列車之間撞擊），建議另案探討。	同意。
台灣高速鐵路公司鄭主任榮幫	風險分析的關鍵性分析是很重要的工作。	敬悉。	悉。
	事件樹分析時，慣例上讓 Yes 放上面，No 放下面。	感謝委員建議，已修正。	悉。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	針對上下車摔倒，HAZOP 比魚骨圖更能全面有效的分析，針對複雜的問題也能有比較好的分析結果。	敬悉，本研究已納入 Human Error HAZOP 分析法之回顧，惟操作上所需邀請之專家數量非常多，且根據文獻建議至少應有 20 次以上，每次 3 小時的專家會議方能有成效，因此本研究將採其他方法輔助分析。	同意。
	失誤樹分析時，底層事件的描述要夠清楚明確，例如「設計錯誤」相當不明確就不適合當底層事件，否則後續無法判斷發生機率，也無法了解真正的問題。	後續分析時將注意此問題，避免發生失效說明不清的情形。	同意。
	使用 HEART 時，因沒有標準的程序故實際操作時要很謹慎。	敬悉。	悉。
	簡報資料中比較很多系統的旅客風險，但以此作標準評量時，可能因各個系統規模不同、旅客密度不同而影響評量結果，忽略了潛藏的系統問題。	將納入委員意見供評量時參考。	同意。
	簡報中關於臺鐵旅客風險值部分是採用實際事故資料或是風險分析值？	採用實際事故資料並假設中長程與短程旅次的搭乘頻率而得，期末報告將補充說明。	同意。
	建議可比較各個風險分析方法的優劣。	第三章最後補充說明。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高速鐵路工程局胡副局長湘麟	期中報告之內容多屬技術理論或文獻探討，惟相關說明仍宜儘量予關係人士（Stakeholder）充分了解，如等效死亡指標之意義。	於附錄補充說明相關術語與定義。	同意。
	本研究後續實用性仍宜尊重臺鐵局之意見，惟後續就所建議兩項危害項目之風險分析與評量，應讓參與人員充分了解。	敬悉。	悉。
	本研究案所採用之作業程序似係依 EN50126 之規範，或是參考請清楚說明。（案例澳洲塔司馬尼亞「符合」EN50126 規範，高雄捷運「採用」EN50126 標準，台灣高鐵「參考」EN50126 規範，機場捷運「依據」EN50126 之規範等），其間差異建議適當說明。	期末報告統一以「採用 EN50126 標準」之用語。	同意。
	5.2.6 阿里山森林鐵路及 5.2.7 台糖鐵路兩節，皆有「定性分析不失為缺乏風險管理機制下的可行方式」之說明，建議刪除或作適當修正，以敘明定量或定性之優劣。	調整報告內容適當反應兩系統可能的問題。	同意。
	後續本案之工作會議，建議邀請營運監理小組參加。	配合辦理。	悉。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高雄捷 運公司 (書面 意見)	第2.3節臺鐵危害項目新增「割傷、擦傷」、「拉傷、扭傷」，惟其後果多屬輕微，建議說明列入危害項目之考量。	主要因危害項目中無「其他」，然近兩年臺鐵鼓勵第一線人員回報安全問題，故許多輕微的受傷事件均納入安全資料庫，在無「其他」可涵蓋的情形下，故新增此二類危害項目，後續將於報告中補充說明。	同意。
	第三章風險分析建議補充初步危害分析（PHA），提供臺鐵可從一開始大致了解風險的等級，並依實務需求決定是否使用更精確之定量分析。	遵照委員意見新增 PHA 方法於第三章內說明。	同意。
	第 5.2.1 節，報告中只有臺鐵事故發生頻率與嚴重分級表，建議補充臺鐵之風險的標準（風險矩陣），以利後續風險評量決定該風險的等級。	遵照委員意見，期末報告已補充臺鐵風險矩陣資料。	同意。
	第 5.2.5 節表 5.36 桃園捷運風險標準風險值過高，如接受值 $1.39 \times 10^{-0}$ 、 $2.80 \times 10^{-1}$ ，與其他系統差異過大，請確認。	經與桃園捷運公司確認，該數值應為規劃報告繕打錯誤，惟目前該規劃報告尚未有更新版本，因此期末報告將予以刪除避免造成混淆。	同意。
交通部 運輸研 究所運 安組	期中報告所完成內容符合本計畫方向，惟建議加強說明臺鐵之不可忍受、不理想、可忍受與可忽略的危害項目。	已於 7.3 與 8.3 節根據臺鐵與國內外軌道系統風險評量標準，判斷兩項危害分別屬於不可忍受與不理想的危害。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	依據本計畫的研究主題與重點，尚有如下工作內容需執行，請納入後續辦理工作中： (1)持續分析臺灣鐵路管理局之危害發生的機率，評估並決定危害頻率等級，分析危害所導致的風險嚴重程度，依前項所訂的安全風險矩陣，決定危害的風險等級，以確定不可忍受、不理想、可忍受、或可忽略的危害，並將風險分析中所決定的風險等級與先前訂定的風險標準相比較，篩選與挑出需要進一步優先處理的細項危害；(2)辦理鐵路運輸風險分析與評量之訓練課程。	遵照辦理，定於 10 月 19 日辦理教育訓練。	悉。
	第 5-27 頁表 5.36「機場捷運-系統安全風險標準」與第 6-9 頁表 6.2「可參考系統安全風險標準」之數值有很大的差異，請補充說明。	經與桃園捷運公司確認後應為規劃報告繕打錯誤，惟目前該規劃報告未有更新版本，因此期末報告予以刪除以避免造成混淆。	同意。
	期中報告書中部分數字表達方式，請查明。例如第 5-31 頁機率值為 $1.0 \times 10^{-2}$ ，第 5-32 頁機率值為 $1.0 \times 10^{-3}$ ，請查明。	已統一修改表達方式。	同意。
主席	請研究單位針對期中審查委員與機關代表之意見（含書面意見），整理列表檢討回應，並納入定稿之期末報告書。	遵照辦理。	悉。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	原則上期中報告通過審查	敬悉。	悉。



## 附錄 J 期末報告審查意見與處理情形



「MOTC-IOT-100-SBB008 風險管理應用於鐵路運輸安全之  
初探-以臺鐵風險分析與評量為例」期末報告審查會議

壹、開會時間：100 年 11 月 17 日(星期四)上午 9 時

貳、開會地點：運輸研究所 5 樓會議室

參、主持人：林所長志明

肆、記錄：吳熙仁

伍、出席委員及單位：

單位及委員	職稱	出席簽名
張應輝委員		張應輝
張志榮委員		張志榮
張辰秋委員		張辰秋
鄭榮幫委員		鄭榮幫
鄭永祥委員		鄭永祥
葉名山委員		(請假)
交通部路政司		(請假)
臺灣鐵路管理局		吳文烈 張喜美 劉傳彥 黃宗欣 羅慶煌 楊惇惠

單位及委員	職稱	出席簽名
高速鐵路工程局		謝金玫
臺北市政府大眾捷運股份有限公司	課長	林賢樑
桃園捷運股份有限公司		(請假並提供書面意見)
高雄捷運股份有限公司		(請假並提供書面意見)
臺灣高速鐵路股份有限公司	經理	蘇文傑
台糖公司		(請假)
行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處		(請假)
財團法人中興工程顧問社		孫千山 鍾志成 林杜寰 李治綱
本所運安組	組長 研究員 研究員	張開國 賴靜慧 吳熙仁

陸、主席致詞：(略)

柒、簡報：(略)

捌、審查意見與處理情形：

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
臺灣鐵路管理局機務處路線科黃科長宗欣	臺鐵月台兩階段之增高工程中，分別是從 76cm 增至 92cm，之後再增至 115cm。在施工過程中，該施工區域也會造成旅客摔倒，建議納入上下車摔倒的分析中。	Rail-Specific HEART 分析法中的「環境」影響因子即考量施工過程中對旅客的影響，相關建議亦補充於 8.3 節改善建議。	同意。
臺灣鐵路管理局吳文烈工程師	臺鐵月台一階化預計 101 年 3 月可完成，而零階化則預計待預算通過後之 6 年內完成。	敬悉。	
臺灣鐵路管理局張科長喜美	研究案結論可知：鐵公路車輛於平交道碰撞的原因多屬於公路駕駛人違規導致，這部份須教育大眾一起努力改善；另有關上下車摔倒危害，屬於 ALARP 區內之風險，臺鐵仍要持續改善該項危害。	敬悉。	
臺灣鐵路管理局張副局長應輝	有關月台兩階段提高之議題，曾經考慮過直接一步到位至 115cm，惟一方面車廂門要修改的時程無法配合，加上軍運上的疑慮尚未解決，因此採用兩階段方式處理。	敬悉。	
	目前 555 處平交道中，有 421 處裝設有攝影機，惟目前設備尚未有影像辨識的功能，是努力的方向。	敬悉。	

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	<p>可否請研究單位剖析本研究案成果與臺鐵目前「行車保安資訊系統」的風險分析評量方式之異同與優缺點？</p> <p>另建議主辦單位及研究團隊整合實務臺鐵局的行車保安資訊系統與本研究的應用，繼續延伸辦理「風險處理」的研究，使軌道系統風險管理應用在臺鐵之案例，有一個完整的示範，在量化分析上也可提出效益的分析（成本效益、外部效益等）。</p>	<p>1. 單就風險分析與評量方式來說，臺鐵現行作法缺點在於無法了解危害發生的關鍵原因，主要原因係既有 961 項危害分類造成之問題。在運研所 2010 年完成之臺鐵風險辨識研究報告 5.4 節（P5-32）中，已說明臺鐵目前危害分類方式的缺點，本研究亦補充於 2.2 節內供參考。</p> <p>2. 委員意見將補充於 9.2 節第 3-(6)點。</p>	<p>同意。</p> <p>同意。</p>
	鐵公路車輛於平交道碰撞的關鍵原因在於公路駕駛人的違規行為，建議研究成果可轉達至公路主管機關，一起來進行改善對策。	遵照委員意見納入 9.2 節 4-(3)建議中。	
	本報告附錄 I 有提供美國與澳洲平交道事故調查表，是否可請研究團隊翻譯成中文供臺鐵局參考。	遵照辦理，已將該調查表翻譯成中文並放大字體。另因刪除投稿論文附錄，因此國外平交道事故記錄格式改至附錄 H。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	簡報 P44、45 有提到「鐵公路車輛」與「旅客上下車摔倒」兩項危害的量化分析；但對應前面簡報中，只有「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害有說明其數據資料與量化分析內容（機率、嚴重度與風險值），但在「旅客上下車摔倒」危害只有在第 40 頁說明機率，而未說明嚴重程度與風險等數值如何產生，請補充，讓簡報資料更完整。	因旅客上下車摔倒但未受傷的事件在實務上不會有記錄，故本研究於 8.2 節根據頻率分析結果，對照 2008~2010 年旅客上下車摔傷頻率後，採每 3 次摔倒會導致 1 人受傷來分析嚴重性，亦即每次摔倒的嚴重性為 0.033 等效死亡。已補充至報告 8.1.2~8.1.3 內，使資料更為完整。	同意。
臺北市 政府捷 運局張 副總工 程司志 榮	就實用面而言，資料連貫、整合與文章鋪陳可再加強其親和性與可讀性。	遵照委員意見全面審視書面文字使其更具親和性。	同意。
	本次針對臺鐵兩個選定危害的研究方法及結果，如能先經過鐵路安全學者與專家的檢核（如業主招標須知所擬之「預期完成的工作項目」第 8 項）及臺鐵的確認以作為驗證，將較具有實際應用的可行性。	本研究遵照合約共辦理 5 次專家會議，每次專家會議均有徵詢臺鐵專家對內容的檢核與確認。此外，研究過程中，除了分別拜訪高鐵、北捷、高捷、桃捷的風險管理專家外，更拜訪在風險管理執行成效良好的核能電廠風險專家，以確保研究成果在實務上可行。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	本次針對臺鐵兩個選定危害的研究方法及結果，經驗證具體可行後，應以「標準作業程序（SOP）」及其「改善應變機制」的方式表示其分析步驟與評量過程（如業主招標須知所擬之「預期完成的工作項目」第 6 項），以建立後續風險分析與評量的作業模式。	7.1 節與 8.1 節風險分析過程已盡可能將操作流程步驟化，惟分析過程須因應系統特性、資料詳細程度而採取很多細微的假設與調整，並無一定的標準。定案報告中已盡可能補充說明細微的操作手法供讀者參考。	同意。
	建請研究單位進一步從組織面定位並建議臺鐵風險管理單位、執行人員及其運作機制，同時與訓練課程結合，以利臺鐵後續發展風險管理工作。	遵照委員意見，已於 9.2 節第 3-(6)點中補充建議。	同意。
	依業主招標須知所擬之「預期完成工作項目」第 2 項，應蒐集並綜整國內外風險分析與評量等理論及方法，以及應用於鐵路運輸安全風險分析與評量方面之「文獻」，惟依據本期末報告 P1-6，僅以單一頁面敘述文獻蒐集方向，卻未見任何文獻名稱或本報告何處可見該等文獻之目錄。	關於風險分析與評量的理論方法分別詳述於書面報告 CH3「軌道系統風險分析方法回顧」與 CH4「軌道系統風新評量與接受原則」，CH5「國內外軌道風險分析與評量實務」則整理國內外軌道系統的實務作法，各文獻參照均已於各章節清楚標示。報告中已於 1.5 節內說明所屬章節位置，使讀者更容易翻閱相關資料。	同意。



單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	建議以綜合列表的方式補充說明臺鐵在人員、運具、場站、設施及制度等各方面有關風險分析與評估的作法，與國內外風險分析與評量之理論與實務之差異性，以符業主招標須知所擬之「預期完成工作項目」第 4 項之要求。	5.6 節之表 5.58 已根據能取得的資料，整理臺鐵與國內外各軌道系統風險分析與評估作法的差異。	同意。
	本報告 P2-16 頁表 2.6「臺鐵 119 項危害項目」中，人員部分為「旅客」、「員工」、「大眾」；其中「大眾」依第 2-11 頁定義為「不屬於旅客與員工的其他人員，另旅客如有違規行為者亦歸屬於大眾」。字面與語意均難以理解，依研究單位的回應（第 J-10 頁），說是「直接引用過去研究成果」，建請慎重探討澄清。	風險管理中名詞的定義須考量的層面非常廣，本研究為能專注於範圍內之風險分析與評量，因此在名詞的定義上係採運研所過去研究中相關文獻回顧的成果。鑒於過去以來國內並未深入探討類似的名詞定義，建議可另案辦理探討各名詞本土化的定義。	同意。
	期中報告時，因桃園捷運公司資料中的風險目標有異常，但期末報告僅刪除確未見說明，建議補充。	考量承攬機場捷運興建承商未有更新之資料，因此本研究於報告中刪除該資料，以避免原錯誤資料保留造成讀者誤解與混淆。	同意。
	目錄第 V 頁及附錄第 F-5 頁均有誤植的錯字。	已更正。	

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	附錄 I 字太小，另外請考量附錄 B 是否有需要。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 附錄 I 已中文化並加大字體，同時因刪除投稿論文，故附錄 I 已更名為附錄 H。</li> <li>2. 考量並非所有讀者對機率概念都熟捻，且布林代數並非一般代數運算，因此建議保留供參考。</li> </ol>	<p>同意。</p> <p>同意。</p>
桃園捷運公司 張總經理 辰秋	軌道系統風險分析方法中，「經驗」是每一項分析方法的重要依據，建議針對經驗及案例在後續的研究中能作詳細的說明分析，例如「以軌道系統站內火災為例」（P3-57），若能以韓國大邱地鐵中央車站火災事故印證分析內容之關鍵事件，更能凸顯分析方法的正確性及優點，換言之，第七章之失誤樹分析（FTA）及事件樹分析（ETA），若能輔以實際案例，更能彰顯風險分析的重要與可貴。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究參酌韓國軌道研究中心（KRRI）之研究，以韓國大邱地鐵中央車站火災事故為例，將其分析事件樹之關鍵事件說明於 P3-54~P3-55，以提供參考。</li> <li>2. 有關第七章之失誤樹與事件樹，即是以臺鐵之實例進行分析，即「鐵公路列車於平交道碰撞」之量化分析案例。</li> </ol>	<p>同意。</p> <p>同意。</p>
	第 5-19 頁之表 5.25 中，嚴重等級最輕微的門檻中，採列車延誤時分在 10 分鐘以下，對照大多數乘客能容忍的時間為 5 分鐘，建議修正為 5 分鐘。	表 5.25 乃臺鐵現況作法，將於 9.2 節第 3-(4)點建議中納入委員意見。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	請說明 P7-22 表 7.7 臺鐵旅客上下車摔倒風險評量是否適宜列入本章。	該標題為誤值，已更正為「鐵公路車輛於平交道碰撞風險評量（其他標準）」。	同意。
	旅客上下車摔倒危害分析與評量，本章僅以「視為人為錯誤導致的危害進行分析」，建議後續研究仍應客觀地從設施面分析、評量與改善，以回歸 Hazard 分析的基本精神，即 Hazard 應由設施解決，不能解決或成本過高，方考量人為管理方式解決。	本研究所採用的 Rail-Specific HEART 分析法，雖然是探討人為失效機率的工具，但分析過程所考量的「績效影響因子（PF）」內是有納入環境與設備的影響因素。有關績效影響因子中針對「設備」的影響比率（APOE）可參閱附錄 G 所示。	同意。
	臺鐵尖峰時刻區間通勤列車經常超載，乘客上下車的安全係目前臺鐵急迫的安全風險，建議於後續研究中能專案考量，明列臺鐵旅客上下車摔倒風險因子及改善手段，俾能從設施改良面減少摔傷人數。	敬悉。	悉。
	建議組成固定的分析評估團隊，團隊成員具備豐富的軌道工作經驗，定期檢視及更新風險項目，降低臺鐵經營的風險程度，並作為訂定防災演練的參考依據。	遵照委員意見，將納入 9.2 節第 3-(6)點建議中。	同意。
台灣高速鐵路公司鄭	建議可以強調各風險分析方法的適用性。	遵照委員意見，於表 3.28 補充說明各方法的適用時機。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
主任榮 幫	建議可以探討改善措施對降低風險的效益。	成本效益分析已在研究範圍之外，建議可參閱後續「風險處理」之研究。	同意。
	表 5.25 中有關傷亡人數部分若規定的太詳細，實際上不見得好操作。	將採納委員建議，補充 9.2 節第 3-(4)點建議，提供臺鐵作為改善方向。	同意。
	社會大眾的期待也是一個更新風險管理內容的時機。	已補充於 2.4 節不定期更新時機。	同意。
	報告中之事件樹分析若有嚴重程度為 0 者，不代表真正沒有傷亡，而是觀察期間內沒有發生，建議還是採用一個極小值來處理。	遵照委員意見，修正為 6 年發生 8 次，造成 1 傷（原本 3 年發生 4 次無死傷），亦即大型車每次碰撞為 0.0125 等效死亡。	同意。
	通常風險矩陣是用來評量單一危害，而風險目標則是針對整個系統，建議研究單位可加強說明。	感謝委員建議，已於 9.1 節 3-(2)與 3-(3)點說明。	同意。
成功大學鄭永祥教授	本研究所構建之臺鐵風險分析及評量模式，應具可操作性，說明所評估之結果或是分析方法，可提供哪些決策者哪些有用之決策資訊？	7.3 與 8.3 節的改善建議均依據分析結果而得。	同意。
	請說明如何透過此分析模式及評估模式，分析新技術導入之風險等級變化情形？	成本效益分析已在研究範圍之外，建議可參閱後續「風險處理」之研究。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	平交道遮斷桿一年撞斷上千根，本研究是否納入作為虛驚事件並予以分析？	礙於資料限制，僅少部分符合表 7.1 定義者有納入分析，故 9.2 節 3-(2)建議臺鐵未來可採用影像辨識將撞斷遮斷桿的虛驚事件納入分析。	同意。
	風險矩陣的標準值是否具有本土性？而不僅是參考國外的數值來決定。	風險矩陣的標準值除了國內外之間有差異外，國內各軌道系統間也不盡相同，主要是依據營運單位的安全目標而定，因此沒有本土性的問題。	同意。
	臺鐵安全危害項目是否有納入地震？	表 2.6 自然危害的第一項即為地震危害。	同意。
	可否建議如何透過設備來記錄事故，而非僅由人為之資料記錄。	遵照辦理，已於 9.2 節 1-(3)建議加裝影像記錄器，9.2 節 3-(2)建議利用影像辨識技術。  影像設備雖能提供自動判別的資訊，惟後續仍建議以人為方式檢核，以避免誤判情況發生。	同意，惟仍注意影像辨識有其限制。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	操作風險矩陣時，在不同頻率與嚴重程度組合下得出相同的風險值時，該如何處理？	就風險評量的原則，同樣風險值的危害具有相同的處理優先性，差別僅在於高頻率低嚴重度的危害通常改善措施的重點在降低發生頻率，反之低頻率高嚴重度的危害，改善重點會是降低每次危害發生的嚴重性。	同意。
	請補充說明 HEART 分析人為疏忽的適合性，另操作上是否會有一些獨立假設的問題應補充說明。	有關本研究 Rail-Specific HEART 的假設與限制可參閱 3.9.4 節之說明。	同意。
台灣高速鐵路公司蘇副主任文傑	書面報告 P7-22 表 7-7 的標題有誤請更正。	感謝委員指正，已更正。	
	「旅客上下車摔倒」危害的分析，建議從設備面切入。	本研究所採用的 Rail-Specific HEART 分析法，雖然是探討人為失效機率的工具，但分析過程所考量的「績效影響因子（PF）」內是有納入環境與設備的影響因素。有關績效影響因子中針對「設備」的影響比率（APOE）可參閱附錄 G 所示。	同意。
	臺鐵現行風險矩陣的分級標準建議可稍作調整。	遵照委員意見，將補充於 9.2 節建議的第 3-(4)點。	同意。
	建議臺鐵後續可建立合適的危害登錄表，方便長期追蹤管理危害。	已於 9.2 節 3-(4)建議。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	建議臺鐵應以整個營運機構為對象，建立統一的風險矩陣。	遵照委員意見，將補充於 9.2 節第 3-(4)點建議。	同意。
	有關平交道遮斷桿放下與升起的邏輯，建議研究單位深入了解，對危害分析應會有所助益。	前期研究已進行了解，故本期歸納出「誤動作」與「無動作」的兩類公路側用路人感受的故障情形。	同意。
高速鐵路工程局謝科長金玫	諸如車輛故障、設備故障等經常發生影響安全的事件在臺鐵 119 項危害中並沒有看到，原因為何？	根據 2.1.1 節的定義，本研究所指危害為事故發生前的最後一個狀態，委員所提之「車輛故障、設備故障」兩者均為危害分析中的一個失效原因，並非危害項目本體。例如「鐵路列車煞車失靈」只是「鐵路車輛於平交道碰撞」危害分析中的一個失效事件。	同意。
	針對「旅客上下車摔倒」，目前僅從人為錯誤來分析，而無機械設備之探討，是否洽當？	本研究所採用的 Rail-Specific HEART 分析法，雖然是探討人為失效機率的工具，但分析過程所考量的「績效影響因子（PF）」內是有納入環境與設備的影響因素。有關績效影響因子中針對「設備」的影響比率（APOE）可參閱附錄 G 所示。	同意。
台北捷運公司 林課長	建議可探討改善措施執行前後風險值的變化。	成本效益分析已在研究範圍之外，建議可參閱後續「風險處理」之研究。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
賢樑	表 5.25 的操作方式可再檢討適用性。	該表係臺鐵現行風險評量作法，已將委員意見納入 9.2 節第 3-(4)建議臺鐵參考。	同意。
	探討風險評估的結果時，應注意不可作為排除安全措施的理由。	敬悉。	悉。
逢甲大學葉名山教授 (書面意見)	報告書中等效死亡係數採用 0.1，與過往研究多採用 0.368 相差甚鉅，對於風險的嚴重性有很大的影響。除了以死亡貨幣價值考量外是否有其他因素？	除了貨幣價值外，也參考國外經驗與臺鐵現行作法，詳細理由補充說明於 4.3 節的 P4-7~P4-8。	同意。
	本研究分析臺鐵眾多事故中之兩類事故，對於其他事故的風險分析及評估較無著墨，對於後續研究針對風險之管理監督及改善對策是否有影響。	改善措施的確有可能影響其他危害的風險，故後續進行風險處理時，應逐一思考改善措施對其他危害的影響，雖然其他危害沒有深入分析無法得到精確的成本效益值，但可條列定性分析結果，輔助決策者判斷改善措施是否可行。	同意。
	於旅客上下車事故分析中，是否有地區性及通勤旅遊次之差異，如有差異應如何進行風險分析及評估。	可透過 Rail-Specific HEART 分析法中各績效影響因子（PF）的影響比率（APOE）值來反應，例如 P8-11 表 8.7 之 APOE 欄位即是反應通勤與非通勤的旅客差異。	同意。



單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	報告書中回顧許多風險評估之方式，是否可在小節中比較各種方式之優缺點及差異，及選定失誤樹做為分析的原因。	1. 定案報告 P3-81 頁列表比較各風險分析方法的優缺點與適用性。 2. 本研究採用失誤樹分析法分析「鐵公路車輛於平交道碰撞」危害，主要係此危害牽涉人員、設備、環境等諸多因素，彼此間互有影響，適合用失誤樹分析法釐清關係，同時延續前期研究成果，確保整個系列研究案具一致性。	同意。  同意。
	對於研究過程中所遭遇之困難，是否有建議臺鐵局須改善之處。	研究過程中所遭遇的困難係事故記錄之詳細程度不足，已於 9.2 節 3-(1)點建議中提出。	同意。
	對於臺鐵運務、工務、機務、電務中之嚴重性延誤時間標準均不同，此需要檢討統一。	已納入 9.2 節 3-(4)點建議。	悉。
	阿里山鐵路之事故統計資料略顯不足，此建議交通部對阿里山鐵路監理時應要求建立平常事故之登錄系統，以便進一步進行風險辨識與分析。	的確如委員所言，此意見已補充於 9.2 節 4-(4)點。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
高雄捷 運公司 （書面 意見）	平交道碰撞風險評量結果屬於必須降低的等級，惟 7.3 節中的改善建議均係針對公路駕駛人，建議補充說明設備或維護方面的改善建議	由於近三年來並無因平交道防護設備故障而導致平交道碰撞事故，依據資料顯示大多數為誤動作加上少部分無動作等虛驚事件，故僅於 9.2 節 1-(1)建議提昇防護設備可靠度的建議。	同意。
	表 7.7 惟上下車摔倒的風險評量，惟該章節為平交道碰撞風險評量，請確認	已更正為「鐵公路車輛於平交道碰撞風險評量（其他標準）」。	同意。
	旅客未順利上下車而導致摔倒的機率假設為五百分之一，建議補充說明其假設考量，如專家會議或營運數據等	此係本研究中所假設之數值，建議後續若有相關研究數據可供參考時應予以修正。	同意。
桃園捷 運公司 （書面 意見）	第二章/CH2.3/P.2-15 頁危害項目以「旅客上下車摔倒」取代「掉落月台間隙」，兩者之主要成因、次要成因可能不盡相同，是否可以「取代」而非增列，建請說明之。	考量「掉落月台間隙」係「旅客上下車摔倒」嚴重度分析的一個影響因素，故本研究將「旅客上下車摔倒」危害獨立出來探討，並將「掉落月台間隙」整併在內，已於 2.4 節加強原因之說明。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	第五章國內外軌道風險分析與評量實務部分，本節國外案例包含歐州 MODURBAN、倫敦地鐵、澳洲塔斯馬尼亞州際鐵路、澳洲糖鐵、美國軍規、韓國軌道研究中心、香港地鐵、東日本鐵道、中國城際鐵路共 10 項。國內案例包含臺鐵、北捷、高捷、高鐵、桃園機場捷運、林鐵、糖鐵共 7 項。本報告詳列國內外各捷運、鐵道運輸產業之風險分析工具、分析後現況評量之資料彙整，對桃園捷運公司規劃發展系統保證與安全之業務極具參考價值。	敬悉。	悉。
	第五章第 5.3.2 小節(5-37 頁)桃園國際機場捷運聯外捷運系統僅提供「施工階段」風險管理，營運階段之「安全管理計畫」「風險管理計畫」「營運災害登記冊」等文件已於 100 年度由桃捷大眾捷運股份有限公司發展中。	敬悉，已於 5.3.2 節內補充說明。	同意。
	於第五章未見台北捷運系統之風險管理評量、風險矩陣表，依報告內文說明，北捷現行應已有風險管理機制，未列出之原因為何，請說明。	表 5.36 與表 5.37 係台北捷運之風險矩陣值與風險矩陣表。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	有關桃園捷運目前 ME01 標風險管理執行現況部分，「風險分析評量標的」係依危害項目分析(CHL)、針對子系統訂定風險標準；「風險評量方法」則採風險矩陣；「風險值評估方法」採半定量搭配落點法。目前桃捷工安處亦已依高鐵局提供之危害項目分析(CHL)進行審查。	感謝提供資訊，已補充於表 5.58 中。	同意。
	在旅客上下車摔倒危害分析過程，使用了特性要因圖，亦顯示了「車廂環境」「月台環境」等工程與設計階段即為造成本項危害之決定性原因(土建硬體、設備)，但後半段卻主要以「HEART」(人因)「HTA」(層級工作分析)作為主要分析手法，但未見針對前段特性要因之主要項目進行說明。	本研究所採用的 Rail-Specific HEART 分析法，雖然是探討人為失效機率的工具，但分析過程所考量的「績效影響因子(PF)」內是有納入環境與設備的影響因素。有關績效影響因子中針對「設備」的影響比率(APOE)可參閱附錄 G 所示。	同意。
交通部 運輸研 究所運 安組	期末報告所完成的工作內容符合本計畫方向，惟建議加強說明前期研究成果之運用，例如前期報告內容已被台北捷運公司作為新進員工教育訓練教材，或是臺鐵局運用成果	遵照辦理，已於 2.5 節內補充說明。	同意。
	第 3-21 頁表 3.14 範例部分，建議以較完整的範例呈現，例如表 3.15 有明確的數值	遵照辦理，已更新表 3.14 之範例。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	第 5-42 頁圖 5-14 部分文字模糊，建議改進。	受限原始文件圖已經模糊不清，本研究採後製作方式將圖中文字置換，以方便讀者閱覽。	同意。
	第 7-12 頁有關 48 之倍數還原，請加強說明其採用之限制，與未來可改善或更接近真實情況數值之作法，例如以錄影分析其參數。	已於 7.3 節補充。	同意。
	投稿論文已刊載於論文集，無須再於報告書中出現，建議不列入報告書中。	遵照辦理。	悉。
主席	日本軌道系統也有大量的平交道，建議可參考日本如何改善平交道安全的作法。	日本的確有許多提昇平交道安全的作法，但並非從風險管理的角度出發所得之結論，故本研究未深入探討，可參閱參考文獻編號 131「赴日本考察平交道設施與技術」一文中詳細說明。	同意。
	書面報告內容應加強與前期成果的連結，並說明後續的研究方向讓讀者更容易了解整個研究脈絡。	已於 1.1 節之圖 1-1 與 1.3 節研究範圍加強說明本研究的定位，另第二章亦彙整前期研究的重點。	同意。
	各種風險分析方法的假設與限制應補充說明。	已於表 3.28 中補充說明各種方法的適用時機。	同意。
	說明風險分析方法的操作步驟時，盡量說明細微的操作考量，增加報告的可讀性。	已補充說明各步驟實際操作時可能遭遇的問題與建議的處理方法。	同意。

單位/ 姓名	審查意見	承辦單位處理情形	主辦單位 審查意見
	請研究團隊針對期末審查委員與機關代表之意見（含書面意見），整理列表檢討回應，並納入期末報告書。	遵照辦理。	悉。
	原則上期末報告通過審查	敬悉。	悉。

## 參考文獻

1. American Society of Civil Engineers, Risk and Reliability Analysis: A Handbook for Civil and Environment Engineer, 2007.
2. An illustration of the application of Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) techniques to the analysis of information security risks, ISO 2007 Security, 2008.
3. Australian Transport Council (ATC), Standard ON-S1: Occurrence Categories and Definitions, 2004.
4. Australian Transport Council (ATC), The Australian Level Crossing Assessment Model (ALCAM), 2010.
5. Ayyub, B. M., **Risk Analysis in Engineering and Economics**, Chapman & Hall/CRC, USA, 2003.
6. Baker, S., et al., "Risk response techniques employed currently for major projects", *Construction Management and Economics*, Vol. 17, No 2, 1999.
7. Ballantye T. R., **Infrastructure Risk Modelling Automatic Level Crossing Automatic Half Barrier Type (Consequence Models)**, Railtrack, 1998.
8. Blanche, K. M., A. B. Shrivastava, "Defining Failure of Manufacturing Machinery and Equipment", *Proceedings from the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 1994.
9. Bousquet Paul, Use of New Technology for Highway Rail Intersections and Train Control, 2005.
10. British Standards Institution, Risk management. Code of Practice (BS 31100), 2008.

11. Canadian Standards Association, **Risk management: Guidelines for decision makers CAN/CSA-Q850-97**, Canadian Standards Association, 1997.
12. Chanwoo Park., et al., “Risk-based Evaluations and Trends of Railway Casualty Accidents on the National Railway of South Korea”, *International Railway Safety Conference 2007*, 2007.
13. Clifton A. Ericson, **Hazard Analysis Techniques for System Safety**, John Wiley & Sons, 2005.
14. David Hillson, “Use a Risk Breakdown Structure ( RBS ) to Understand Your Risks”, *Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars & Symposium*, 2002.
15. David Hillson, Sabrina Grimaldi, and Carlo Rafele, “Managing Project Risks Using a Cross Risk Breakdown Matrix”, *Risk Management*, Vol. 8, 2006.
16. Deng Julong, “Introduction to Grey System Theory” , *Journal of Grey System*, Vol. 1, No. 1, 1989.
17. Department of Infrastructure, **Energy & Resources( DIER )**, Railway Safety Risk Standard, Tasmania, 2004.
18. Eccles, R. G., Jr., and Lee Puschaver, “In Pursuit of the Upside: The New Opportunity in Risk Management”, *Pricewaterhouse Review*, 1996.
19. EN50126 Blog Website: <http://en50126.blogspot.com/>.
20. ETWB, **Risk Management for Public Works-Risk Management User Manual**, Environment Transport and Works Bureau, Hong Kong SAR, 2005.
21. European Committee for Electrotechnical Standardization ( CENELEC ) , Railway Applications-The Specification and



- Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety ( RAMS ) Part 1: Basic requirements and generic process, EN50126-1, 1999.
22. European Committee for Electrotechnical Standardization ( CENELEC ) , Railway Applications-The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety ( RAMS ) Part 2: Guide to the application of EN 50126-1 for safety, EN50126-2, 2007.
  23. European Committee for Electrotechnical Standardization ( CENELEC ) , Railway Applications-The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety ( RAMS ) Part 3: Guide to the application of EN 50126-1 for rolling stock RAMS, EN50126-3, 2006.
  24. European Committee for Electrotechnical Standardization ( CENELEC ) , Railway Applications-Communications, Signalling and Processing Systems-Software for Railway Control and Protection systems, EN50128, 2001.
  25. European Committee for Electrotechnical Standardization ( CENELEC ) , Railway Applications-Communication, Signalling and Processing Systems-Safety Related Electronic Systems for Signalling, EN50129, 2003.
  26. European Union, Edinburgh Airport Rail Link-Project Safety Management Plan, 2006.
  27. Evans, A. W., “Speed and rolling stock of trains in fatal accidents on Britain's main line railways: 1967-2000”, *Proc Instn Mech Engrs*, Part F: J Rail and Rapid Transit, Vol 216, 2002.
  28. Fararooy, S., Managing a System Safety Case in an Integrated Environment, 2004.

29. Fault-Tree.net Website:<http://www.fault-tree.net/>.
30. Federal Highway Administration, Railroad-Highway Grade Crossing Handbook, 2007.
31. Federal Transit Administration ( FTA ) , 49CFR659:Rail Fixed Guideway System:State Safety Oversight, 2005.
32. Federal Transit Administration( FTA ), Implementation Guidelines for 49 CFR Part 659, 2006.
33. Gilchrist, W., “Modelling Failure Modes and Effects Analysis” , *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 10, No. 5, pp. 16-23, 1993.
34. Goel P.S., Gupta P., Jain R., Tyagi R.K., **Six Sigma for Transactions and Service**, McGraw-Hill, 2005.
35. Hu R.L., Yeung M.R., Lee C.F., Wang S.J., Xiang J.X., “Regional risk assessment of karst collapse in Tangshan China”, *Environmental Geology*, Vol. 40, No. 11/12, pp.1377-1389, 2001.
36. Japanese Standards Association, JIS Q 2001 - Guidelines for Development and Implementation of Risk Management System, 2001.
37. J. C. Jong, T. H. Lin, C. S. Suen, C. K. Lee, I. C. Chen, H. J., Wu, “Using Fault Tree Analysis to Identify the Failures of Level Crossing Protection Devices”, *7th International Conference on Urban Regeneration and Sustainability*, 2011.
38. John Andrews, “Fault Tree Analysis Tutorial”, *Proceedings of the 16th International System Safety Conference*, 1998, UK
39. Johan Bäckman, **Railway Safety - Risks and Economics**, KUNGL. TEKNISKA HÖGSKOLAN Royal Institute of Technology Doctoral thesis, 2002.

40. J.W. Kim, W. Jung, S.C. Jang, and J.B. Wang, “A Case Study for the Selection of a Railway Human Reliability Analysis Method”, *Proceedings of the International Railway Safety Conference*, Belfast, U.K., 2006.
41. Kirwan, B. and Ainsworth, L.K., *A Guide to Task Analysis*, London: Taylor and Francis, 1992.
42. Haddon, W. Jr., M. D., “On the Escape of Tigers: An Ecological Note”, *Am J Public Health Nations Health*, Vol. 60, No. 12, pp. 2229-2234, 1970.
43. Health and Safety Executive (HSE) , *CANVEY: An Investigation of the Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area*, 1978.
44. Health and Safety Executive (HSE) , *Review of human reliability assessment methods*, RR679, U.K., 2009.
45. Health and Safety Executive (HSE) , *Reducing Risks Protecting People - HSEs decision making process*, London, 1999.
46. Health and Safety Executive (HSE) , *The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations (TOR)* , London, 1992.
47. Heinrich, H. W., **Industrial Accident Prevention**, McGraw-Hill, 1959.
48. Her Majesty’s Stationery Office (HSE) , *Investigation into the Clapham Junction Railway Accident*, 1989.
49. Hiromitsu Kumamoto, Ernest J. Henley, **Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists 2nd Ed.**, IEEE Press, 1996.
50. Hong Kong MTR Network, *Safety Management Systems*, 2007.

51. Independent Transport Safety Regulator, Checklist for Level Crossing Investigations-Version 1.0, Australia, 2010.
52. Innis C.L., T. Hammond, “Predicting Mechanical Design Reliability Using Weighted Fault Tree”, *Proceedings of the Failure Prevention and Reliability Conference*, ASME, pp.213-228, 1977.
53. International Electrotechnical Commission ( IEC ) , Standard for Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems, IEC61508, 2005.
54. International Electrotechnical Commission ( IEC ) , International Electrotechnical Vocabulary ( IEV ) , Chapter 191-Dependability and quality of service, IEC 50 ( 191 ) , Geneva, 1990.
55. International Organization Standardization, Risk management - Principles and guidelines ( ISO 31000 ) , 2009.
56. James Reason, **Human Error**, N. Y., Cambridge University Press, 1990.
57. Karl Ove, Ingebrigtsen, “Risk Management in Railway Projects”, *International Railway Safety Conference 2007*, 2007.
58. Korea Railroad Research Institute ( KRRI ) , Development and Application of Hazard Analysis & Risk Assessment Models for the Korea Railway, 2008.
59. Korea Railroad Research Institute ( KRRI ) , Review and Assessment of the Korea Rail Safety Performance using Risk Assessment Models, 2008.
60. Lorna Love, Chris Johnson, “Using Diagrams to Support the Analysis of System ‘Failure’ and Operator ‘Error’”, *Proceedings of HCI on People and Computers XII*, 1997.

61. Marvin Rausand, Arnljot Høyland, **System Reliability Theory Models, Statistical Method, and Application 2nd Ed.**, Wiley Inter-Science, 2004.
62. M. Ben-Daya and Abdul Raouf, “A Revised Failure Mode and Effects Analysis Model” , *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 13, No. 1, pp. 43-47, 1993.
63. Metropolitan Transportation Authority ( MTA ) , Department of Subways System Safety Program Plan, 2005.
64. Michael Harrison, “Human error analysis and reliability assessment”, *Proceedings of the 46th International Federation for Information Processing (IFIP) working group*, 2004.
65. MODURBAN Website: <http://www.modurban.org/>
66. MODURBAN, Preliminary Hazard Log, Final Draft, 2008.
67. Mowbray, A. H., **Insurance**, McGraw-Hill, 1930.
68. Muttram, R. I., “Railway Safety’s Safety Risk Model”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol. 216, No. 2, 2002.
69. New York State Department of Transportation Public Transportation Safety Board Commuter Rail and Subway Safety Section, System Safety Program Plan Guidelines for Commuter Rail Transit Systems, 1996.
70. New York State Department of Transportation Public Transportation Safety Board Commuter Rail and Subway Safety Section, System Safety Program Plan Guidelines for Heavy Rail Systems, 1996.
71. New York State Department of Transportation Public Transportation Safety Board Commuter Rail and Subway Safety Section, System Safety Program Plan Guidelines for Light Rail Systems, 1996.

72. Nordic Nuclear Safety Research, Probabilistic Safety Goals, Phase 2 - Status Report, 2008.
73. Nuclear Regulatory Commission, Reactor Safety Study -WASH-1400, Washington DC, U.S., 1975.
74. Office of Nuclear Regulatory Research , PRA Procedures Guide, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1983.
75. Office of Nuclear Regulatory Research , Fault Tree Handbook, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981.
76. Procedures for Performing a Failure Mode Effects and Criticality Analysis, Military Standard, U.S.A., 1980.
77. Proctor P., Infrastructure Risk Modelling Automatic Level Crossing Automatic Half Barrier Type, Railtrack, 1997.
78. Queensland Government, The Manual of Uniform Traffic Control Devices (MUTCD Queensland) , 2010.
79. Reliability Analysis Center (RAC) , Nonelectronic Parts Reliability Data 1995 (NPRD95) , N.Y., 1994.
80. Rail Safety and Standards Board( RSSB ), Annual Safety Performance Report, U.K., 2006.
81. Rail Safety and Standards Board ( RSSB ) , Development of a Level Crossing Risk Management Toolkit – Summary Report, 2008.
82. Rail Safety and Standards Board ( RSSB ) , Engineering Safety Management ( The Yellow Book ) , Volume 1 and 2 Fundamentals and Guidance Issue 4, 2007.
83. Rail Safety and Standards Board ( RSSB ) , Evaluating the safety benefits from miniature warning lights at user worked crossings, 2007.

84. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , Examining the benefits of ‘another train coming’ warnings at level crossings, 2008.
85. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , Half-year safety performance report 2009/10, U.K.,2009.
86. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , Human factors risk at user worked crossings, 2004.
87. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , Optimising public communication with signallers in emergencies at level crossings, 2009.
88. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , Research into obstacle detection at level crossings, 2006.
89. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , Research into the safety benefits provided by train horns at level crossings, 2006.
90. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , Risk Profile Bulletin version 6.0, U.K.,2009.
91. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , Risk Profile Bulletin version 7.0, U.K.,2011.
92. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , D3 - Report on Risk Modelling Techniques for level crossing risk and system safety evaluation, Safer European Level Crossing Appraisal and Technology (SELCAT) , 2008.
93. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , Understanding human factors and developing risk reduction solutions for pedestrian crossings at railway stations, 2009.
94. Rail Safety and Standards Board (RSSB) , Rail-specific HRA technique for driving tasks, Final report, U.K., 2004.

95. Railtrack PLC, Engineering Safety Management ( The Yellow Book ), Volume 1 and 2 Fundamentals and Guidance, Issue 3, 2000.
96. SAMRAIL, European Commission Fifth Framework programme SAMRAIL-WP 2.4.1 Definition of Risk, 2004.
97. Sydvest Software, User's Manual for CARA-FaultTree v4.1, Norway, 1999.
98. Smith, S. P., and Harrison, M. D., "Measuring reuse in hazard analysis", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 89, No. 1, 2005.
99. Standards Australia, AS 4292.1-2006 Railway Safety Management Part 1: General Requirements, Standards Australia, 2006.
100. Standards Australia/Standards New Zealand, RISK MANAGEMENT GUIDELINES Companion to AS/NZS 4360:2004, 2004
101. Stanton, A. N., etc., **Human Factors Methods**, ASHGATE, 2005.
102. Stephans, R. A., **System Safety for the 21st Century**, Wiley, USA, 2004.
103. Swann, C. D., and Preston, M. L., "Twenty-five years of HAZOPs", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v.8, n. 6, pp. 349-353, 1995.
104. The Institute of Petroleum, Human Factor Briefing Notes - Human Reliability Analysis, U.K., 2003.
105. The Rail Safety Regulators Panel Australia, National Rail Safety Accreditation Guideline Version 2.0, The Rail Safety Regulators Panel Australia, 2005.
106. The Rail Safety Regulators Panel Australia, Safety Management System Guidance for Tourist & Heritage Railway Operators, The Rail Safety Regulators Panel Australia, 2006.



107. Transport for London, LU Safety Certification and Authorisation Document, London Underground, UK, 2009.
108. Troels Winther, Quick guide to Safety Management based on EN50126, 2010.
109. Tsugio Sekiji (JR EAST), “Details of 2013 Safety Vision-The 5th Five-year Safety Plan for East Japan Railway Company” , *Proceedings of the International Railway Safety Conference (IRSC)*, 2009.
110. United Nations, Evaluation Of Cost-Effective Systems For Railway Level-Crossing Protection, Economic And Social Commission For Asia And The Pacific, N.Y., 2000.
111. U.S. Department of Defense, Standard Practice for System Safety (MIL-STD-882D) , Washington, DC, 1993.
112. Wharton, F., Risk Management : Basic Concepts and General Principle, in: Ansell, J., Wharton, F., Risk : Analysis, Assessment and Management, John Wiley & Sons, 1992.
113. Williams J.C., “A data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance”, *Proceedings of the IEEE 4th Conference on Human Factors and Power Plants*, Monterey, California, 1988.
114. Woolford, P., “Railway Group Safety Performance Monitoring - Definition and Guidance”, *Railway Safety London*, U.K., 2003.
115. Workplace Health and Safety Queensland Department of Justice and Attorney-General, Cane Rail Safety-A Supplement to the Sugar Industry Code of Practice 2005, 2008.
116. 卜賢琳，以技術預測方法探討傳統電信網路及網路電話的發展，中原大學碩士論文，2004 年。

117. 工業技術研究院知識分享網，網址：<http://www.ipc.itri.org.tw>。
118. 中興工程顧問社，捷運系統旅客流模擬模式及程式研發，民國 98 年。
119. 王世煌，工業安全風險評估，揚智文化，2002 年 9 月。
120. 台灣高速鐵路股份有限公司，ROD Incident and Accident Reporting and Investigation Procedure，2006 年。
121. 台灣高速鐵路股份有限公司，台灣高速鐵路公司風險危害管理，軌道運輸系統經營管理研討會，2010 年 5 月。
122. 交通部，鐵路行車規則，2008 年 8 月修正。
123. 交通部交通事業管理小組，專用鐵路-阿里山森林鐵路監查作業程序及規範，2006 年。
124. 交通部高速鐵路工程局，「甲仙地震高鐵列車出軌及設備損壞案」風險案例檢討報告，2010 年。
125. 交通部運輸研究所，建立臺鐵安全績效指標之研究，2009 年 7 月。
126. 交通部運輸研究所，應用風險管理於航空安全之研究，2002 年 2 月。
127. 交通部運輸研究所，風險管理應用於鐵路運輸安全之初探-以臺鐵風險辨識為例，定案報告，2011 年 1 月。
128. 交通部運輸研究所，運輸系統容量分析暨應用研究-軌道系統（2/4），2008 年 11 月。
129. 交通部臺灣鐵路管理局，風險管理案例分析，2010 年。
130. 交通部臺灣鐵路管理局，規章（運轉）（下），2002 年 1 月。
131. 交通部臺灣鐵路管理局，規章（運轉）（上），2002 年 1 月。
132. 交通部臺灣鐵路管理局，赴日本考察平交道設施及技術，行政院及所屬各機關出國報告，2007 年。
133. 交通部臺灣鐵路管理局，實用鐵路號誌，1996 年 6 月。

134. 行政院研究考核委員會，風險管理及危機處理作業手冊，2009 年。
135. 行政院農業委員會林務局，阿里山森林鐵路營運風險及危機管理機制，2008 年。
136. 余序江、許志義、陳澤義，科技預測與規劃，五南出版公司，1998 年。
137. 吳道章，「香港地鐵的安全風險管理」，都市快軌交通，第 20 卷，第 6 期，2007 年。
138. 李治綱等，「公共運輸之安全績效：臺灣鐵路管理局之個案分析」，運輸計劃季刊，第 38 卷，第 4 期，2009 年。
139. 東日本旅客鐵路株式會社網站，網址：  
<http://www.jreast.co.jp/tc/index.html>。
140. 施文雄，實務觀點下的鐵路系統安全發展趨勢，交通部運輸研究所科技新知，2004 年。
141. 施伯杰，以故障樹與事件樹分析法探討平交道風險事故，成功大學碩士論文，2008 年。
142. 施嘉申、錢雪軍、趙惠祥，「基于初步危害分析的城市軌道交通系統安全性分析」，城市軌道交通研究，第 9 卷，第 1 期，2006 年。
143. 柯煒耀，預防性失效分析，中華民國品質學會發行，初版，2001 年 11 月。
144. 韋伯線上字典查詢網站，網址：  
<http://machaut.uchicago.edu/websters>。
145. 風險博士—Dr. David Hillson 網站，網址：  
<http://www.risk-doctor.com/>。
146. 孫千山、鍾志成、李治綱、陳一昌、吳熙仁，「鐵路系統風險辨識方法之回顧」，第 25 屆中華民國運輸學會，2010 年。

- 147.孫千山、鍾志成、林杜寰、李治綱、張開國、吳熙仁，「鐵路安全風險分析方法之回顧與案例分析」，第 26 屆中華民國運輸學會，2011 年。
- 148.孫千山、鍾志成、林杜寰、李治綱、張開國、吳熙仁，「應用 FaultTree+軟體於平交道防護設備失效之初探」，2011 年電子計算機於土木水利工程應用研討會，2011 年。
- 149.唐鵬州，平交道模擬模式建構與肇事風險分析，國立成功大學交通管理學系碩士論文，民國 94 年。
- 150.凌氫寶，「企業經營的風險（上）（下）」，華僑產物保險雙月刊，第 5 卷，第 3、4 期，1983 年。
- 151.陳天健等，災害管理學辭典，五南圖書，2007 年。
- 152.陳繼堯，危險管理論，三民書局，1993 年。
- 153.陶冶中，軌道運輸系統智慧化之安全分析方法研究，2003 年。
- 154.張有恆，軌道運輸管理，華泰文化，2007 年 1 月。
- 155.張新立、林忠漢，「捷運電聯車系統關鍵維護項目及其維護優先性之研究」，運輸學刊，19 卷 1 期，2007 年。
- 156.張海鷹，「AHP 方法在工程質量管理因果分析中的應用」，湖南城市學院學報，14 卷 3 期，2005 年。
- 157.章艾霞，施工風險管理資訊平台建置成果及系統展示，中興工程顧問股份有限公司人員儲備訓練課程講義，2010 年。
- 158.麻省理工學院網頁，網址：<http://web.mit.edu>。
- 159.黃荻昌，捷運工程，北門出版社，2006 年。
- 160.黃清賢，危害分析與風險評估，第二版，新文京開發出版社，2010 年。
- 161.黃艷敏、郝建新，「WBS-RBS 法在城市軌道工程風險辨識中的應用」，都市快軌交通，第 17 卷，第 4 期，2004 年。

162. 彭鴻霖，可靠度技術手冊-失效模式效應與關鍵性分析技術，2000 年。
163. 葉名山、邱品翰、劉欣憲，「我國軌道行車保安委員會組織之研究」，*運輸計劃季刊*，第 35 卷，第 3 期，2006 年。
164. 楊鑒淞、羅俊，「層次分析法在因果圖中的應用研究」，*焦作礦業學報學院*，14 卷 3 期，1995 年。
165. 臺灣糖業股份有限公司，風險評估作業要點，98 年 9 月。
166. 臺灣糖業股份有限公司，網址：<http://www.taisugar.com.tw>。
167. 趙吉山、肖貴平，**鐵路運輸安全管理**，中國鐵道出版社，2003 年。
168. 蔡明志，「風險管理在大眾運輸安全管理管制課題之發展應用」，*運輸計劃季刊*，第 29 卷，第 1 期，2000 年。
169. 鄭子良，先進偵測系統對鐵路平交道安全之影響研究，國立中央大學土木工程學系碩士論文，2002 年。
170. 鄭自隆，高雄市設立都市危機溝通管理之研究，行政院研考會，1999 年。
171. 鄭裕哲，整合環境與安全衛生風險評估方法之研究，成功大學碩士論文，2008 年 7 月。
172. 鄭燦堂，**風險管理理論與實務**，五南圖書出版股份有限公司，2009 年 9 月。
173. 鄧家駒，**風險管理**，華泰文化，2005 年 6 月。
174. 潘麗英，因果圖和層次分析法在體育課程改革風險中的應用，*武漢體育學院學報*，43 卷 1 期，2009 年。
175. 鍾志成、孫千山、李治綱、陳一昌、吳熙仁，「國外鐵路系統風險管理實務」，*中興工程季刊*，2011 年 1 月。

