

99-129-3372

MOTC-IOT-97-SDB002

地下軌道交通設施防救災安全管理 研究(1/2)



交通部運輸研究所

中華民國 99 年 11 月

ISSN 號碼
及條碼

GPN : 1009904048

定價 200 元

99-129-3372
MOTC-IOT-97-SDB002

地下軌道交通設施防救災 安全管理研究(1/2)

著者：史都華、蕭金喜、王珠沛、曹異慧、黃信雄、
陳一昌、張開國、賴靜慧、吳熙仁

交通部運輸研究所

中華民國 99 年 11 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

地下軌道交通設施防救災安全管理研究. (1/2) /
史都華等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研
所，民99.11
面；公分

ISBN 978-986-02-5621-5(平裝)

1. 地下鐵路 2. 防災工程 3. 災害應變計畫

557.85

99023024

地下軌道交通設施防救災安全管理研究(1/2)

著者：史都華、蕭金喜、王珠沛、曹異慧、黃信雄、陳一昌、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 (中文版>圖書服務>本所出版品)

電話：(02)23496789

出版年月：中華民國 99 年 11 月

印刷者：群彩股份有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：200 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：1009904048 ISBN：978-986-02-5621-5 (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：地下軌道交通設施防救災安全管理研究(1/2)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-02-5621-5(平裝)	政府出版品統一編號 1009904048	運輸研究所出版品編號 99-129-3372	計畫編號 97-SDB002
本所主辦單位：運輸安全組 主管：陳一昌 計畫主持人：陳一昌 研究人員：張開國、賴靜慧、吳熙仁 聯絡電話：(02)23496857 傳真號碼：(02)25450425	合作研究單位：台灣莫特麥克唐納工程顧問股份有限公司 計畫主持人：史都華 研究人員：蕭金喜、王珠沛、曹異慧、黃信雄 地址：臺北市 10668 敦化南路 2 段 92 號 5 樓 聯絡電話：(02)27025388	研究期間 自 97 年 3 月 至 97 年 12 月	
關鍵詞：安全管理、地下交通設施、捷運臺鐵及高鐵三鐵共構			
摘要： 本研究案係針對地下軌道及地下場站（捷運、臺鐵及高鐵三鐵共構（站））的防救災安全管理系統作研究、分析及建議，先透過文獻探討來蒐集歐、美、亞洲等國外先進國家有關地下交通設施之空間安全設備設施種類、構造、設置基準、工程原理、法令規定、管理規範及設計實例等相關文獻，進行有系統之整理及探討分析；而後建立三鐵共構（站）資料庫，並模擬火災之防救措施電腦模擬成果展示及協助相關同仁應用及操作防救災模擬軟體。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
99 年 11 月	246	200	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 月 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: Hazard Prevention and Safety Management of Underground Traffic Facilities (1/2)			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-02-5621-5 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009904048	IOT SERIAL NUMBER 99-129-3372	PROJECT NUMBER 97-SDB002
DIVISION: Safety Division PRINCIPAL INVESTGATER: Isaac I. C. Chen ADMINISTRATION STAFF: Chang, Kai-Kuo; Lai, Ching-Huei; Wu , Hsi-Jen PHONE: (02) 2349-6857 FAX: (02) 2545-0429			PROJECT PERIOD FROM March 2008 TO December 2008
RESEARCH AGENCY: Mott MacDonald. Ltd. PRINCIPAL INVESTIGATOR: Stuart Dickson PROJECT STAFF: Hsiao, Jin-shi; Karl Wang;; Tsao, Yih-Huey; Huang, Hsin-Hsiung ADDRESS: 5F, No 92, SEC 2 Tun-Hua South Road , Taipei 10668, Taiwan ,R.O.C. PHONE: 886-2-27025388			
KEY WORDS: Safety management, Underground traffic facilities, Co-located station (MRT, mainline and high speed railway station)			
ABSTRACT: The purpose of the research study is to review, analyze and suggest the safety management of disasters, like fire evacuation and smoke for co-located MRT, Taiwan Railroad, and High Speed Railway stations in Taiwan. The study collects materials, such as the types, structures, installation standards, engineering methodologies, codes, management regulations, and design case studies for safety equipment and facilities for the underground traffic facilities from Europe, North America and Asian nations, and compares this to the situation in Taiwanese co-located stations. A database of critical information was prepared and a modeling software system has been researched and purchased as part of the phase 1 study. Training for the disaster prevention and relief software is included in the study.			
DATE OF PUBLICATION November 2010	NUMBER OF PAGES 246	PRICE 200	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

地下軌道交通設施防救災安全管理研究(1/2)

目 錄

目 錄.....	III
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的	1
1.1.1 研究動機.....	1
1.1.2 研究目的	2
1.2 研究範圍及流程	2
1.2.1 研究範圍.....	2
1.2.2 資料分析.....	3
1.2.3 研究流程.....	10
1.3 研究方法與限制	12
1.3.1 研究方法.....	12
1.3.2 研究限制.....	12
第二章 地下軌道交通設施之火災災例探討.....	13
2.1 火災災例探討	13
2.2 災例分析與探討	17
2.3 災害避難危險性探討	19
2.4 災害檢討改善及回饋機制	20
2.4.1 起火危險分析	21
第三章 避難逃生相關模擬軟體之評估.....	25
3.1 CFAST、SIMULEX、 FDS 、STEPS 軟體簡介	25
3.1.1 CFAST軟體	25
3.1.2 SIMULEX軟體	25
3.1.3 FDS軟體	25
3.1.4 STEPS軟體	26
3.2 SIMULEX、STEPS軟體功能評估	32
3.2.1 SIMULEX、STEPS功能比較	32
3.2.2 Simulex軟體評估	32
3.2.3 STEPS 軟體評估	32
3.3 SIMULEX、STEPS軟體效益評估	33
3.3.1 SIMULEX、STEPS運算式	33
3.3.2 STEPS 與SIMULEX function comparison table(功能比較)	33
3.4 STEPS模擬軟體之評估與驗證	34
3.5 軟體評估結論	42
第四章地下軌道交通設施防救災安全管理設計上考量因素.....	43
4.1 設計預防機制	43
4.1.1設計通則	43
4.1.2地下場站設備設計設置原則	43
4.1.3隧道設備設計設置原則	50
4.2 設計緊急搶救機制	52

4.2.1地下場站設備設計設置原則	52
4.2.2隧道設備設計設置原則	54
4.2.3 地下場站設施與設備設置參考原則	56
4.2.4地下鐵路車輛設置原則	64
4.3 設計檢討改善及回饋機制	67
第五章 如何運用避難逃生疏散軟體模擬於防救災安全管理.....	69
5.1 軟體模擬範例：	69
5.1.1 預防機制	70
5.1.2 緊急搶救機制	75
5.1.3 檢討改善及回饋機制	76
第六章 歐美對地下軌道交通設施防救災安全管理之探討.....	77
6.1. 預防機制.....	77
6.1.1目的	77
6.1.2 定義	77
6.1.3工程安全管理基本項目	78
6.1.4過程處理基本原則	79
6.1.5風險評估基本原則	81
6.1.6實際演練實務	83
6.1.7系統生命週期	83
6.1.8 辨認危害及評估風險	85
6.1.9安全需求	85
6.1.10 SIL 指定原則	86
6.1.11 SIL 分派原則	86
6.1.12安全維護高階指導原則	87
6.1.13安全責任分派	93
6.1.14安全組織目標及安全文化	93
6.1.15安全溝通與相關資訊；	97
6.1.16安全規畫-系統化程序及實務運用	99
6.1.17型態管理及紀錄	109
6.1.18 獨立專業審查	111
6.1.19 災害辨認與風險評估	117
6.1.20風險監控	119
6.2 緊急搶救機制	119
6.2.1 緊急準備概念	119
6.2.2 緊急準備範圍	119
6.2.3. 緊急計畫研製	120
6.2.4. 訓練	121
6.2.5. 設施與設備	127
6.3. 檢討改善及回饋機制	127
第七章 臺灣三鐵共構(站)車站防救災安全管理之現況探討.....	129
7.1. 三鐵共構(站)車站防災(緊急應變)計畫	129
7.1.1 臺北三鐵共構車站簡介	129
7.1.2 臺北三鐵共構車站安全管理責任範圍	129
7.1.3 臺北三鐵共構車站營運安全管理計畫(防災計畫書)	130

7.1.4 緊急事故現場指揮體系之建立	130
7.1.5 訂定相關災害搶救計畫	133
7.1.6 大量傷病患之現場處置及緊急運送	133
7.1.7 災害復建	134
7.1.8 營運單位與防災中心聯繫	135
7.2. 三鐵共構(站)車站逃生動線探討	135
7.2.1 旅客緊急疏散動線圖	135
7.3. 三鐵共構(站)車站動態模擬及逃生時間檢核	141
第八章 結論與建議	157
8.1 結論	157
8.2 建議	159
參考文獻	161
附錄 1 第1次期中報告委員意見與回覆表	165
附錄 2 第2次期中報告委員意見與回覆表	171
附錄 3 期末報告委員意見與回覆表	175
附錄 4 地下場站設施與設備設置參考(英文部分)	183
附錄 5 避難逃生相關模擬軟體之評估(英文部分)	195
附錄 6 STEPS軟體之原理及功能介紹	209
附錄 7 STEPS與 NFPA 130 之比較	215
附錄 8 STEPS與 NFPA 130-07 之比較	225

表目錄

表 1-1 高鐵運量人次統計表	5
表 1-2 臺鐵臺北車站上下車人數統計表	6
表 1-3 臺鐵板橋站 97 年 1-9 月進出站人數統計表	7
表 1-4 臺鐵高雄站 97 年 1-9 月進出站人數統計表	9
表 2-1 近三十年地下車站重大火災災例一覽表	14
表 2-2 近三十年地下車站重大火災原因與位置之比較	17
表 2-3 世界各國地下場站及隧道災例回顧肇事原因分析	18
表 2-4 地下車站空間之潛在危險	21
表 3-1 SIMULEX、STEPS 功能比較	32
表 3-2 SIMULEX、STEPS 效用比較	32
表 3-3 SIMULEX、STEPS 使用運算式	33
表 3-4 STEPS 與 SIMULEX 功能比較	33
表 3-5 NFPA 130 與 STEPS 疏散時間比較(一)	38
表 3-6 NFPA 130 與 STEPS 疏散時間比較(二)	38
表 3-7 NFPA 130 與 STEPS 疏散時間比較(三)	40
表 3-8 NFPA 130 與 STEPS 疏散時間比較(四)	41
表 3-9 NFPA 130-03, 130-07 參數比較表	41
表 6-1 安全完整度等級(Safety Integrity Level,SIL)	86
表 6-2 SIL 分派原則	87
表 6-3 SIL 適當的獨立性等級	113
表 6-4 後果分類適當的獨立性等級	113
表 6-5 風險發生與嚴重性關係表格式	119
表 7-1 STEPS 模擬三鐵共構車站緊急逃生疏散結果(模擬月台人數、逃生時間)	142

圖目錄

圖 1.1 臺北三鐵共構(站)立體導覽圖	4
圖 1.2 板橋車站捷運藍線地下層月台透視圖	4
圖 1.3 臺灣高鐵路線及時間分布圖	5
圖 1.4 南港捷運車站透視圖	8
圖 1.5 南港捷運車站側視圖	8
圖 1.6 高雄車站三鐵共構(站)車站立體圖	9
圖 1.7 高雄車站三鐵共構(站)車站地面立體圖	9
圖 1.8 研究流程圖	11
圖 2.1 大邱車站火災之立體剖面圖	13
圖 3.1 STEPS 軟體預測出正常及緊急狀況的行人活動動態狀況	26
圖 3.2 STEPS 軟體瞬間動態畫面	26
圖 3.3 STEPS 捷運及地鐵系統的行人移動模擬模式	27
圖 3.4 STEPS 透過 3D 空間模擬預測特定行人個體(虛擬人群)動態狀況	27
圖 3.5 案例 #1 島式月台	39
圖 3.6 案例#1 島式月台(#2 電扶梯故障無法使用)	40
圖 3.7 案例 #2 側式月台	41
圖 5.1 模型的三階段流程圖	71
圖 5.2 獨立個人之可能行進方向	72
圖 5.4 疏散時間與設計門數對應	73
圖 5.5 疏散時間與門設計位置對應	74
圖 5.6 模擬軟體之疏散時間輸出報表	74
圖 5.7 疏散時間、專案費用、參數之對應曲線	75
圖 6.1 系統生命週期	84
圖 6.2 七階段過程	85
圖 6.3 維護與風險之關係範例	89
圖 6.4 維護週期	90
圖 6.5 維護計畫(策略)	91
圖 6.6 計畫維修(每日)	92
圖 6.7 執行維修	92
圖 6.8 維修檢視(每日)	93
圖 6.9 維修檢視(策略性的)	93
圖 7.1 臺北車站特定區範圍	129
圖 7.2 營運安全管理計畫體系圖	130
圖 7.3 臺北車站捷運地下四層月台避難動線圖	136
圖 7.4 臺北車站捷運地下三層避難動線圖	136
圖 7.5 臺北車站捷運地下二層避難動線圖	137
圖 7.6 臺北車站捷運地下一層月台避難動線圖	137
圖 7.7 臺北車站捷運地下四層月台避難動線圖	137
圖 7.8 臺北車站捷運藍線地下二層避難動線圖	138
圖 7.9 臺北車站捷運藍線地下一層避難動線圖	138
圖 7.10 臺鐵與高鐵臺北車站月台避難路線圖 1	139
圖 7.11 臺鐵與高鐵臺北車站避難路線圖 2	139

圖 7.12 臺鐵與高鐵臺北車站避難路線圖 3.....	139
圖 7.13 板橋車站捷運藍線地下層避難動線圖.....	140
圖 7.14 南港車站捷運藍線地下層避難動線圖.....	141
圖 7.15 臺鐵南港車站地下層避難動線圖.....	141
圖 7.16 捷運臺北車站紅線逃生情境模擬圖.....	143
圖 7.17 臺鐵臺北車站逃生情境模擬圖.....	144
圖 7.18 捷運臺北車站藍線逃生情境模擬圖.....	145
圖 7.19 高鐵臺北車站逃生情境模擬圖.....	146
圖 7.20 臺鐵南港車站逃生情境模擬圖.....	147
圖 7.21 高鐵南港車站逃生情境模擬圖.....	148
圖 7.22 捷運南港車站逃生情境模擬圖.....	149
圖 7.23 捷運板橋車站逃生情境模擬圖.....	150
圖 7.24 高鐵板橋車站逃生情境模擬圖.....	151
圖 7.25 臺鐵板橋車站逃生情境模擬圖.....	152
圖 7.26 臺鐵高雄車站逃生情境模擬圖.....	153
圖 7.27 高鐵高雄車站逃生情境模擬圖.....	154
圖 7.28 捷運高雄車站逃生情境模擬圖.....	155

第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

1.1.1 研究動機

隨著都市化發展，伴隨著交通問題日益嚴重。快速成長之人口及經濟發展迫使政府當局必須提出解決交通壅塞問題，於是捷運及地下鐵路系統等交通工具便成為不可缺的解決方式。捷運系統及地下鐵路對市區發展之影響重點大多集中在車站附近，由於具有大量且不特定乘客出入之特性，且基於土地充分開發利用，多以地下場站型式設計規劃，造成深廣、密閉之空間特性。若加上與地下街、百貨商場等複合用途建築物，甚至與高速鐵路、台鐵、捷運三鐵的整合規劃相互共構連結時，形成使用上、搶救上與管理上的高度複雜性，一旦發生火災等各種災變事故，人命安全恐遭受極大威脅；更由於先進國家類似空間曾發生火災造成人員嚴重傷亡之案例，促使如何確保地下軌道場站(以下簡稱地下車站)空間之大量乘客能在危險環境出現前及時順利避難疏散，成為設計者、管理者與使用者共同關心的重要課題。

以臺北車站為例，為求高度利用及解決交通問題而改建為含有商店、餐廳等大規模多用途之地下空間；另為求高強度之土地使用而與周圍地下鐵車站共構之百貨公司、飯店、「地下購物街」等與其他設施接續之傾向日益增加，造成車站空間型態有別於以往單純之用途。然而目前對於車站等大規模複合利用型態等設施，於火災發生時，對人命安全會造成之影響、防火及避難安全之對策、使用之安全管理等議題，實有必要探討地下車站避難安全性。

有關車站消防安全設計與人員避難時間計算，在美國國家防火協會規範 NFPA 130 (Standard for Fixed Guideway Transit Systems)中有較為完整之規定，其內容便廣泛地成為世界各國相關案例設計規劃時引用之依據。目前我國對於地下車站之防災設計，依國內交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」^[38] (97.07.29)，作為鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備規劃設計時之參考依循，亦採用 NFPA130 法規作為消防安全設計參考；此外整體車站設計時，要求應符合我國建築及消防法規、各類場所消防安全設備設置標準^[37]及美國運輸部之「Subway Environmental Design Handbook, Subway Environment Simulation Computer Program」。目前因地下車站為特種建築物之一，針對潛在火災危險而計畫之防災計畫書，便成為設計過程中相當重要之檢核項目。應明確規劃及界定應具備之安全性功能條件，而其中關鍵仍在人員避難安全逃生路徑之確保與評估。

建築法規條文雖有規定地下車站應達到之一定規模的避難安全設施；惟大都能明確規定其應達到之標準，但無法評估地下車站之防災避難成效。複合功能地下車站，如高速鐵路、臺鐵、捷運三鐵的整合規劃相互共構連結時，更無法以個別量化方式表現評估要因，而係以一共構之方式判定其避難安全性，或以法規規定之周延性來決定其安全性，但皆側重於評估對象空間方面之探討；如步行距離、出口寬度等。對於影響人員於避難逃生之人性行為(human behavior)及可能之火災情境(fire scenario)未能深入探討及展現。隨先進各國之建築法規逐漸朝向功能性規定，由於電腦等科學技術發達，目前歐美與日本等先進國家對地下車站人員避難路徑、時間計算，皆傾向以電腦模擬方式解決上

述問題。此外在進行避難模擬時，亦不能忽略模擬對象為地下車站時，其具有之空間侷限性、方向性、多層結構及眾多人員使用之特性。除此之外，對於火災時考量避難行為特性與危害物於空間發展等亦為選定軟體之參考條件，遂引發吾人嘗試選擇避難疏散適當模擬軟體，透過避難模擬軟體之疏散參數設定，可瞭解影響避難疏散安全之潛在因素，以評估地下車站之避難安全性。

1.1.2 研究目的

本研究之目的如下：

- 1.研究符合國內各鐵道運輸系統之地下軌道場站防救災安全管理系統，以提供各營運管理單位參考應用，以利即時進行災變處理，使得災害損失減至最低。
- 2.完成臺北車站、南港車站、板橋車站及高雄車站(捷運、臺鐵及高鐵三鐵共構)之防救災模擬軟體資料庫，並模擬火災防救措施之電腦模擬成果展示。
- 3.規劃我國地下軌道場站交通設施防救災安全管理系統之具體內容。

1.2 研究範圍及流程

1.2.1 研究範圍

本研究案係針對地下軌道及地下場站(著重於捷運、臺鐵及高鐵三鐵共構(站))之防救災系統整合及作業等的安全管理機制，因由統計中發現火災出現比率較高，所以對火災作深入探討及建議，由於時間及經費的限制，其他災難則不在本研究範圍內。對於96年「地下軌道交通設施防救災安全管理機制研究」，陳俊勳教授於已針對水災之研究做過深入的探討；因為水災多發生於颱風期間，且旅客搭乘較少；相對於火災，水災對旅客生命安全上的衝擊較小，所以本研究不再重複水災的部分。研究重點放在三鐵共構(站)資料庫建立、模擬測試研究、整合制度規劃等之系統性研究，將研究範圍區分為2年期之研究期程規劃。

1. 第一年期：三鐵共構(站)資料庫建立、防救災模擬軟體應用
 - (1) 防救災安全管理機制方面，進行相關文獻回顧後，參酌國外各鐵路防救災安全管理之經驗，研擬符合國內鐵路地下場站之防救災安全管理系統，其系統至少包含①預防機制；②緊急搶救機制；③檢討改善及回饋機制之三大功能。
 - (2) 於完成防救災模擬軟體評估與採購，說明模擬軟體之參數、校估及驗證，以及適用於防救災模擬並可充分達成本研究目的之理由。完成臺北車站、南港車站、板橋車站及高雄車站(捷運、臺鐵及高鐵三鐵共構或共站)之防救災模擬軟體資料庫，並提出火災防救措施電腦模擬之成果展示。
 - (3) 進行火災防救措施之電腦模擬，可初步提供場站緊急搶救機制及避難措施之規劃使用。
 - (4) 規劃以防救災模擬軟體，模擬分析三鐵共構危險辨認及評估之作法或方式。
 - (5) 透過國內、外之火災災例及文獻資料探討分析，瞭解地下車站起火危險與避難人員行為特性影響，以作為評估地下車站避難安全之基

礎。

2. 第二年期：建立我國地下軌道交通設施防救災安全管理系統

- (1) 以防救災模擬軟體模擬分析三鐵共構危險辨認及評估。
- (2) 綜合前一階段之各類文獻回顧、系統探討，並以防救災模擬分析結果，具體建議我國地下軌道場站交通設施防救災安全管理系統內容：

① 預防機制：

- 防救災規劃與設計：防災設計基準、工程原理、成本；最佳規劃；經濟效益分析。
- 資料庫：事故類型、三鐵共構站幾何、地理資訊、各國管理規範。
- 火災風險管理：三鐵共構之危險辨認及評估、風險控制、決策、執行；監督與稽查。

② 緊急搶救機制：

- 即時監控：消防偵測監控、運用 GIS、現場監視錄影、監控高齡層及身心障礙旅客可能場站內位置。
- 疏導緊急救護：防災管制策略、緊急應變機制、避難電腦模擬。
- 救援與資源整合：整合資訊、派遣救援人力與機器設備、救災電腦模擬、通訊作業及設備。

③ 檢討改善及回饋機制：

- 工程檢討回饋：防救災安全設備、建築設施、消防防護檢核。
- 教育檢討回饋：防救災安全宣導、各國消防教育訓練作法。
- 執法檢討回饋：防救災安全執法方式及其回饋機制。

1.2.2 資料分析

對地下軌道及地下場站(著重於捷運、臺鐵及高鐵三鐵共構(站))之進出捷運、臺鐵及高鐵之尖峰時段乘客數、避難路徑、列車班表與建物規模作一統計資料分析，並對地下軌道交通設施防救災及安全管理作分析研究。

有關三鐵共構車站資料的搜集；因臺北車站、板橋車站已完成多年，經向有關單位之取得圖檔均為掃描圖檔(*.tiff)、部分圖說為 CAD 檔；南港車站圖說全為掃描圖檔(*.tiff)；高雄車站圖說全為掃描圖檔(*.DXF)。

臺北車站為三鐵共構之車站，捷運車站部分可區分為淡水-新店線(紅線)、北投-南勢角線(橘線-與紅線車站部分重疊)及永寧-昆陽線(藍線-2008 年底通車至南港捷運站)，其中淡水-新店線(紅線)與北投-南勢角線位於臺北車站南北向地下三層(大廳層)與地下四層(月台層)，而永寧-昆陽線(藍線)則位於臺北車站東西向地下二層(大廳層)與地下三層(月台層)；高鐵及臺鐵於臺北車站東西向下一層(大廳層)、地下二層(月台層)。臺北車站立體導覽圖如圖 1.1 所示。



圖1.1 臺北三鐵共構(站)立體導覽圖
資料來源：狂牛部落格網頁(8/16 更新)

1.2.2.1 臺北捷運臺北車站

臺北車站捷運上午尖峰時間 7:00~9:00 運量平均值約 80,199 人次、下午尖峰時間 17:00~19:00 運量平均值約 95,094 人次。最小行車間距：淡水線約 2-3 分鐘 (23 班車/小時)，板橋線約 2 分鐘 (26 班車/小時) (資料來源：臺北捷運公司)。

臺北捷運車站逃生路徑規劃係由月台層經由樓梯及電扶梯向上逃生，經由大廳層，地下一層地下街往地面出口處。細逃生避難動線圖，請參考第七章第 7.2 節。

1.2.2.2 臺北捷運板橋車站



圖1.2 板橋車站捷運藍線地下層月台透視圖
資料來源：臺北捷運公司

板橋車站捷運上午尖峰時間 7:00~9:00 運量平均值約 7,439 人次、下午尖峰時間 17:00~19:00 運量平均值約 8,436 人次。最小行車間距約 3 分鐘 (22 班車/小時)。

板橋捷運車站逃生路徑規劃，由月台層經由樓梯及電扶梯向上逃生，經由大廳層，地下一層地下街往地面出口處逃生。詳細逃生避難動線圖，請參考第七章第 7.2 節。

1.2.2.3 臺灣高鐵臺北車站

臺北車站高鐵上午尖峰時間 7:00~9:00 運量平均值約 8,500 人次，下午尖峰時間 17:00~19:00 運量平均值約 9,000 人次。最短行車間距約 6 分鐘 (5 班車/小時)。

臺灣高鐵路線及時間分布如圖 1.3，高鐵 97 年 1 月至 9 月每月運量統計上下車人次統計如表 1-1。

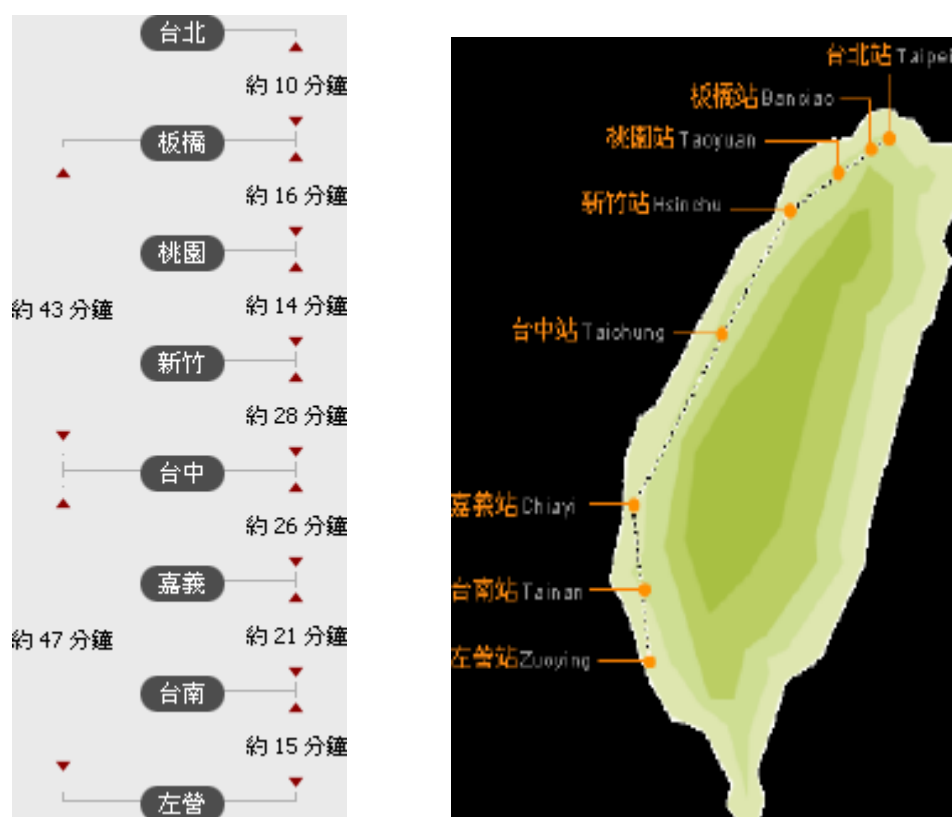


圖1.3 臺灣高鐵路線及時間分布圖

資料來源：台灣高鐵公司網站

表1-1 高鐵運量人次統計表

2008 年	臺北車站 上車人數	臺北車站 下車人數	板橋車站 上車人數	板橋車站 下車人數
1 月	601,169	592,024	127,417	128,060
2 月	627,687	615,057	150,185	145,893
3 月	680,217	694,204	146,052	149,349
4 月	746,241	744,712	163,968	169,443
5 月	757,563	759,411	167,943	171,732

6 月	747,432	759,417	158,977	164,531
7 月	832,443	833,450	174,964	179,384
8 月	888,463	887,349	178,344	184,320
9 月	726,719	735,772	155,180	159,807

資料來源：台灣高鐵公司

1.2.2.4 臺鐵臺北車站

臺北車站臺鐵上午尖峰時間 7:00~9:00 運量平均值約 16,000 人次，下午尖峰時間 16:30~18:00 運量平均值約 12,000 人次，最短行車間距：約 5 分鐘。

臺鐵 97 年 1 月至 9 月每月運量統計上下車人次統計如表 1-2。

表1-2 臺鐵臺北車站上下車人數統計表

臺鐵臺北車站上下車人數統計

97 年	上車人數	下車人數
1 月	1,291,854	1,138,580
2 月	1,215,931	1,139,701
3 月	1,332,683	1,242,698
4 月	1,255,709	1,142,022
5 月	1,300,385	1,194,526
6 月	1,251,654	1,160,043
7 月	1,348,578	1,296,632
8 月	1,136,416	1,084,684
9 月*	823,947	968,389

資料來源：臺灣鐵路局臺北車站

1.從臺北捷運臺北站 R13 與 BL7 之尖峰特性來看，不論就臺北捷運淡水線與板南線，其全日的尖峰小時均發生在下午 18:00~19:00。不論是從營運管理或是防災的觀點，此時段須特別注意大量密集人員之疏散對策。

2.比對目前臺北車站特定空間之各軌道系統，可以發現臺鐵及高鐵的一般假日運量高於平常日，而臺北捷運之一般假日運量則是明顯低於平常日運量。相反地，平常日之臺北捷運運量較高於假日，而此時之臺鐵與高鐵運量則低於一般假日之運量。就運量之大小而言，臺鐵及高鐵之運量明顯低於臺北捷運之運量。故綜合研判臺北車站特定空間之尖峰時段應該是在平常日之下午尖峰時段，約略在 17:30~19:30 之間，此時段亦為臺鐵及高鐵平常日之下午尖峰時段。防災規劃與營運管理面應以此時刻作為最不利境況之假設基礎，俾利有效呈現真實情況。

3.平常日之下午尖峰 18:00~19:00 時段內：(1)臺鐵運量約 8,000 人/小時；(2)高鐵運量約 4,500 人/小時；(3)進出捷運 R13 及 BL7 之運量可估計為 47,500 人/小時。

4.如僅考慮此臺北車站體內之主要系統：臺鐵及高鐵，則 2 系統之尖峰係發生在假日。

5.臺北車站三鐵旅客數之推估與討論

(1)主要針對臺鐵、高鐵及捷運之運量分析，在機場捷運營運之後，則可以增加其運量。

(2)就營運與防災規劃之觀點，臺北車站特定空間應特別注意之對象是尖峰小時在系統內活動之所有乘客數。

(3)在臺北車站三鐵系統中之所有乘客數，包括進站數、出站數及各自系統內轉乘（例如捷運紅線與藍線間之轉乘）三部分。由前述之推估，平日尖峰時段（18:00~19:00）臺鐵之運量為 8,000 人/小時，高鐵為 4,500 人/小時，捷運為 47,500 人/小時，捷運轉運為 40,000 人/小時，共約 100,000 人/小時。

(4)以上尖峰運量數值應為高估值，因為當有一旅次轉換軌道系統時，例如由臺鐵轉搭乘捷運，該旅次離開臺鐵時已經計算在臺鐵站離站數，進臺北捷運站後，則被計算捷運臺北站之進站數，故整個臺北車站之乘客數會有高估之情形。

(5)由於實際之各軌道系統間的轉乘量目前無適當的資料可以推估，而所有乘客在臺北車站之停留時間亦無適當的統計數值，在沒有更適當的統計資料進行推估之前，前述之推估值可以提供規劃與管理單位參考。

1.2.2.5 臺鐵板橋車站

板橋車站臺鐵上午尖峰時間 7:00~9:00 運量平均值約 3,000 人次，尖峰時間 16:30~18:00 運量平均值約 2,000 人次，最短行車間距：約 5 分鐘。

臺鐵 97 年 1 月至 9 月每月運量統計上下車人次統計如表 1-3。

表1-3 臺鐵板橋站97年1-9月進出站人數統計表

板橋站 97 年 1-9 月進出站人數統計表

97 年	上車人數	下車人數
1 月	424,264	412,358
2 月	423,295	408,895
3 月	459,383	445,821
4 月	443,326	436,585
5 月	441,123	436,598
6 月	420,808	412,124
7 月	436,411	423,100
8 月	373,801	365,230
9 月*	292,428	285,120

資料來源：臺灣鐵路局

*因 9 月 2 次颱風造成搭乘人數減少之現象。

1.2.2.6 南港三鐵共構(站)車站

南港三鐵共構尚未完成興建及營運，目前僅南港捷運車站興建中，僅用設計圖(如圖 1.4、1.5)說作一簡單說明。

高鐵、臺鐵為共構車站：高鐵月台於地下一樓，臺鐵月台於地下三樓；南港捷運南港車站位於忠孝東路 7 段路面以下，與高鐵、臺鐵屬於不同結構體，但屬於共站區，南港車站月台於地下三層，穿堂層於地下二樓。

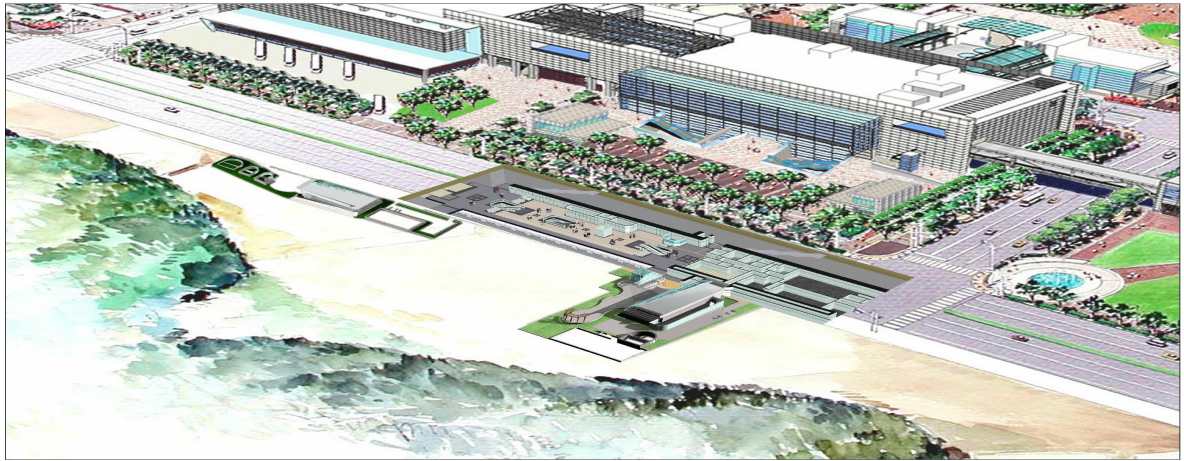


圖 1.4 南港捷運車站透視圖

資料來源：臺北捷運公司

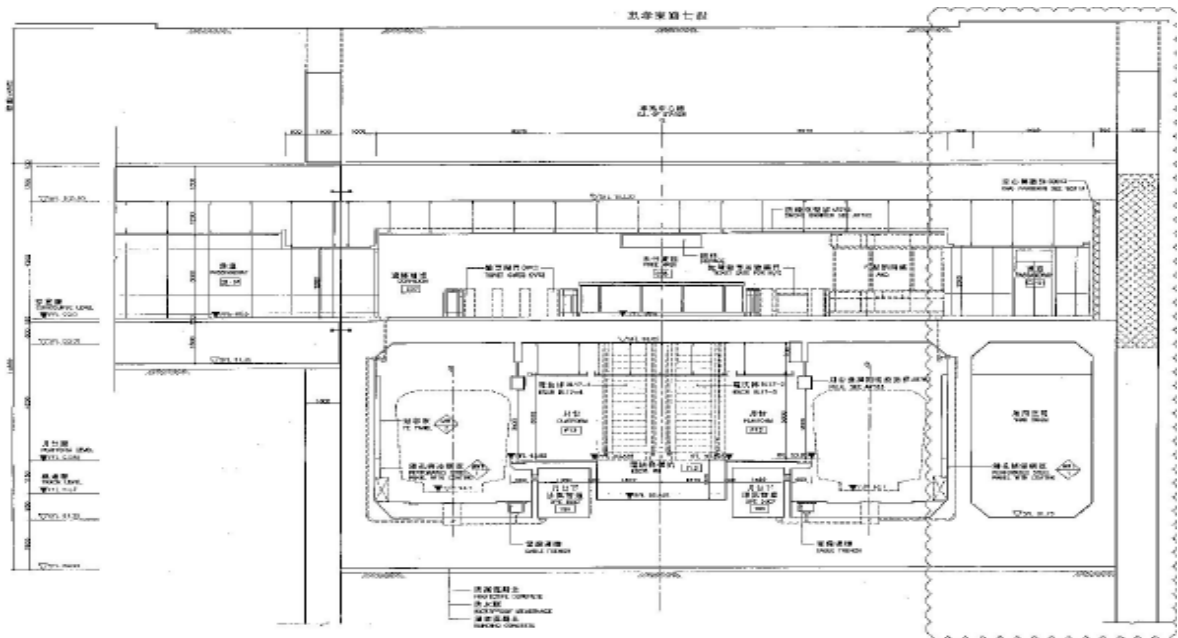


圖 1.5 南港捷運車站側視圖

資料來源：臺北捷運公司

1.2.2.7 高雄車站三鐵共構(站)車站

高雄車站設計係基於未來三鐵共構車站規劃配置，其各層配置為：

- 1.G+1 層—車站出入口 1 處、緊急出口 3 處。
- 2.B1-A 層—停車場。
- 3.B1 層—新建中博地下道。
- 4.B2 層—臺鐵與高鐵月台層。
- 5.B3 層—穿堂層。
- 6.B4 層—捷運月台層。

高雄車站未來之透視圖如圖 1.6 所示，目前高雄站之現況立體圖如圖 1.7 所示。

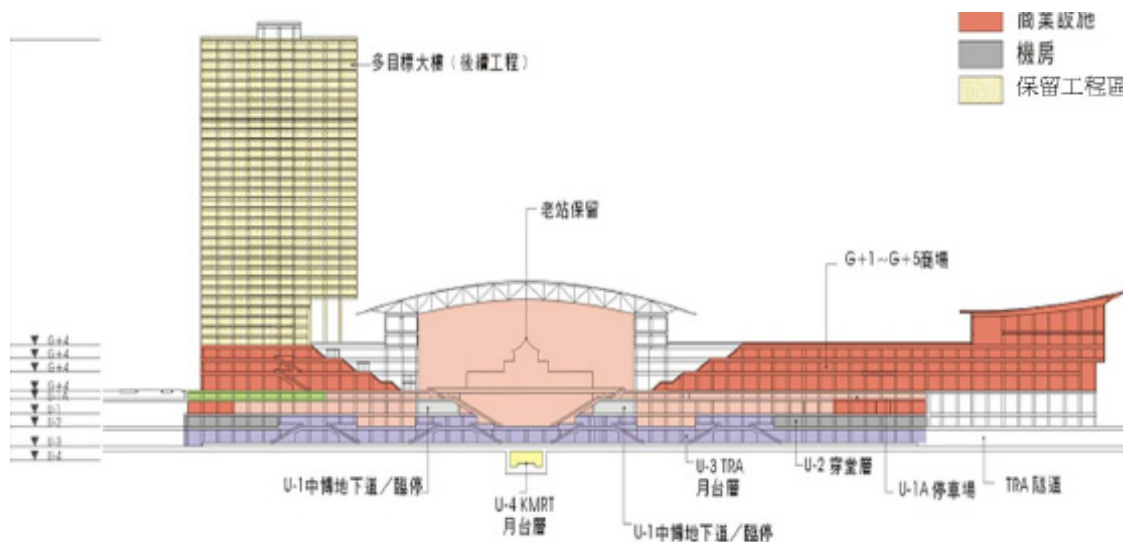


圖1.6 高雄車站三鐵共構(站)車站立體圖

資料來源：交通部鐵路改建工程局

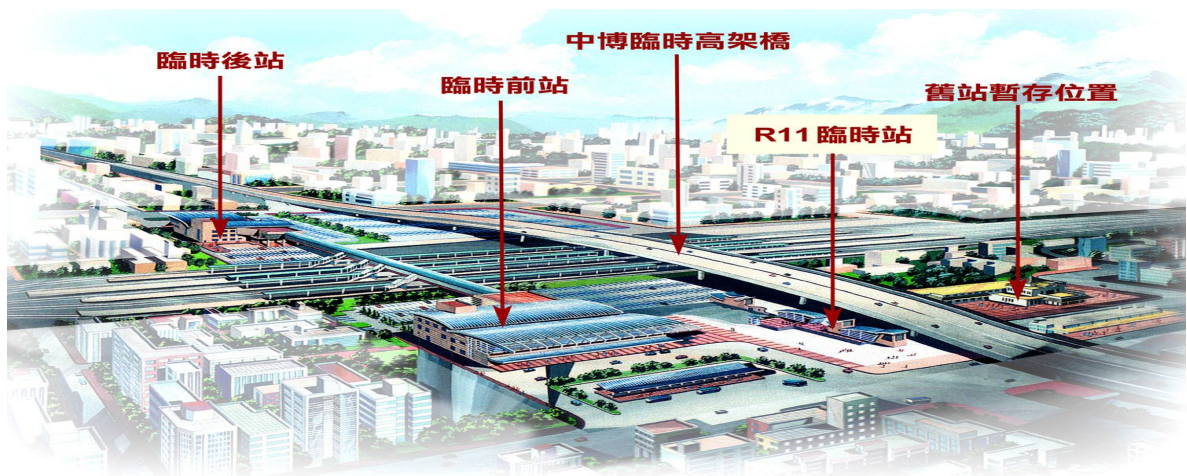


圖1.7 高雄車站三鐵共構(站)車站地面立體圖

資料來源：交通部鐵路改建工程局

表1-4 臺鐵高雄站97年1-9月進出站人數統計表

高雄站 97 年度上、下車人數

月份	上車人數	下車人數
1 月	622,725	604,043
2 月	642,270	629,425
3 月	690,699	669,978
4 月	634,561	621,870
5 月	623,375	604,674
6 月	576,124	564,602
7 月	647,973	628,534
8 月	699,770	685,775
9 月	592,052	574,290

資料來源：臺灣鐵路局

高雄車站捷運上午尖峰時間 7:00~9:00 運量平均值約 3,066 人次、下午尖峰時間 15:00~21:00 運量平均值約 9,700 人次。最短行車間距:約 6 分鐘。

由高雄車站臺鐵站、捷運高雄車站與高鐵左營站進出人數統計，可推論高雄三鐵共構站每日進出口流量將為 13 萬人次(臺鐵站高雄車站約 69,000、捷運高雄車站約 25,000 與高鐵左營站約 40,000 進出人數)，對高雄三鐵共構站也有安全疏散上的考慮，在危難情況時，如何利用安全設施與緊急安全疏散計畫將是高雄車站未來要思考及面臨之重要研討主題。

1.2.3 研究流程

本文於確立研究動機、目的、範圍及方法後，於第二章就有關地下車站之國內外災例予以探討，希望藉由災例瞭解地下發生火災之位置、人員避難成功與失敗原因及當時站內人員之應變措施，以歸納提出地下車站防火與避難安全之因素及相關對策。同時，評估人員避難疏散軟體並進行相關軟體之採購，進行瞭解地下車站避難疏散軟體之模擬。相關避難情境、避難人數、避難行為特性及空間之出口選擇特性，及樓梯位置與數量等重要參數之設定均列入考量，相關研究流程圖如 1.8 所示。

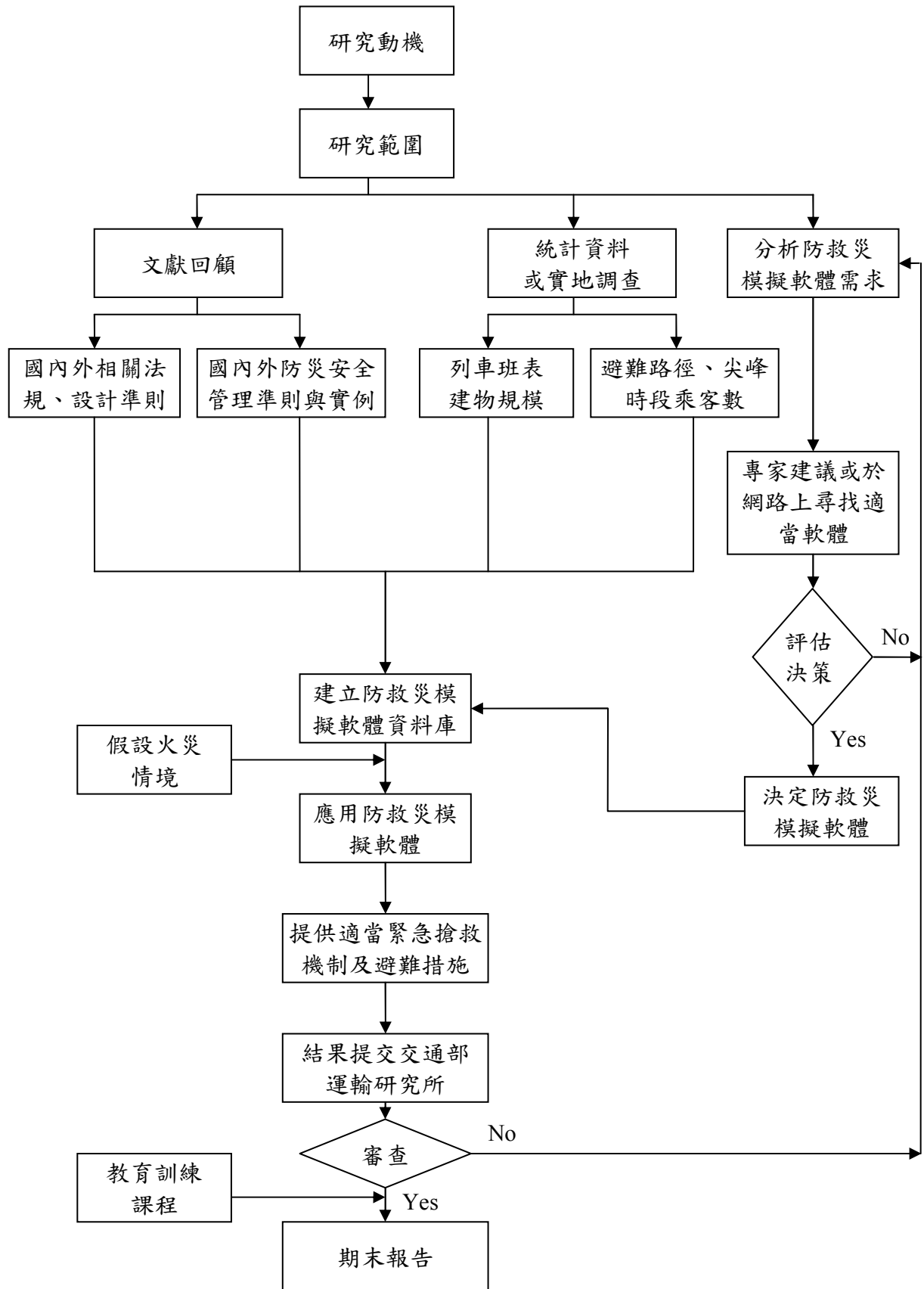


圖1.8 研究流程圖

1.3 研究方法與限制

1.3.1 研究方法

1. 文獻探討法 (Literature Survey Method) 蒐集國內外有關地下車站火災避難行為與重大火災災例中人類避難行為特性之著作、期刊及報告等文獻資料，予以整理分析比較，以作為研究分析之基礎。

2. 實地調查法 (Field Survey Method) 選定臺北車站進行，包括避難路徑、各逃生梯出口有效寬度，並推估尖峰時段時之乘客數，作為後續對臺北車站避難疏散之依據。

3. 電腦模擬評估法 (Computer Simulation Assessment Method) 建立地下車站實體空間之空間數值資料，透過電腦避難軟體模擬火災發生後人員之避難情況，進行避難疏散之模擬，評估站體避難人員之安全。

1.3.2 研究限制

由於現實存在之困難，原則上在觀察火災避難行動方面，於火災現場觀察幾乎是不可能的，故相關數據由平時或預定設計之資料取得，以完成緊急狀況或平時狀態之群流推論避難群流。

考量相關避難疏散軟體模擬因素時則力求建構接近火災時避難情境，惟限於軟體所能建置火場人員避難逃生之情境，對於消防人員之進入搶救致影響人員之避難逃生時間等情境，不在考慮範圍內。

備註：有關需要提供「運輸安全資訊網」相關資訊 (2篇科技新知)，台灣莫特已於97.11.20提供「*System Safety Engineering and Management*」、「*Railway Safety & Standards Briefing October 2008*」，及相關網站連結資訊。

第二章 地下軌道交通設施之火災災例探討

2.1 火災災例探討

近三十年發生地下車站重大火災之案例中，由其中選取 6 個案例為範例，其餘案例整理如表 2-1。

1. 南韓大邱案例分析

2003 年 2 月 18 日上午 9 時 55 分，韓國第三大城市大邱市的地鐵遭人為蓄意縱火，大火 3 小時後才被撲滅。火災發生於中央路車站之電聯車內，其後駛入車站的列車亦被波及而起火，截至 3 月 3 日止，共造成 192 人死亡，傷患約 148 人，並導致大邱市地鐵系統陷入癱瘓，市中心秩序混亂，就鐵路火災而言，實為歷史上的重大事故。由於捷運為世界各大都市普遍採用的公共交通工具，我國臺北捷運每日有近 120 多萬人次使用，為了防止類似事件的發生，必須詳細探討火災產生、災害擴大及人員死傷發生原因等，以利研擬防止對策。圖 2.1 為大邱車站發生火災之立體剖面圖；地下三層為火災發生點，及對地下一、二層人員傷亡之分布情形。

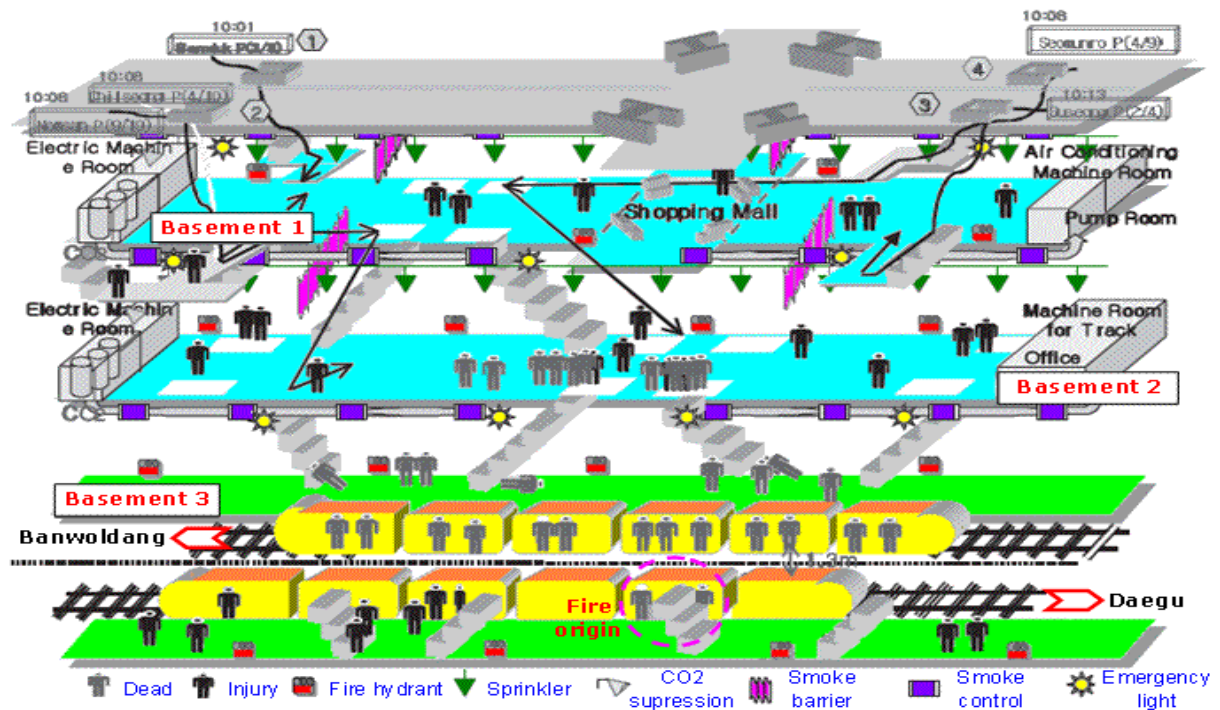


圖 2.1 大邱車站火災之立體剖面圖

資料來源：美國運輸部 NIST 網站

2. 日本地鐵日比谷線災例

日本地鐵日比谷線於 1968 年 1 月 27 日 12 時發生火災事故，肇因於列車阻抗器過熱，且未及時處理而發生電車火災。救災過程中由於營運團提供之相關資訊不夠詳盡，損耗不少救災時間，且搶救指揮所與進入隧道之救災人員因無線電通信之性能失效而嚴重影響救災聯絡。此次火災說明該站在軟體資訊的取得與硬體通信的支援設施有缺失，總計造成 11 人受傷及 3 輛電車受到火災波及之損失。

3. 美國舊金山灣區地下捷運大火

美國舊金山灣區地下捷運於 1979 年 1 月 14 日下午 6 時 6 分因機械損壞、碰撞

造成電弧，引燃儲氣槽，導致列車於隧道中發生火災。控制中心未及早通報消防隊，而失去搶救和滅火先機。且由於通信不佳亦延誤支援列車之運作，共造成1人死亡及10人受傷，5節車廂燒毀，牽引車廂及其餘車廂遭嚴重燒傷。

4. 英國King's Cross 地鐵災例

英國King's Cross 地鐵站於1987年11月18日19:29時，因煙蒂掉落在電扶梯的齒輪，引燃油脂而導致火勢延燒，由牆腳的廣告夾板、木製控制盤、扶梯踏板延燒到電扶梯之豎板，並經夾板延燒至木製廣告看板及天花板。由於用於鋪板及廣告夾板上的塗料具有高度可燃性，因此更加速了火勢之延燒擴大而造成災難。過程中因無線電於地下車站使用時通訊不良，延誤報警與初期滅火時機，初期搶救人員因廣告看板遮住消防栓而未能加以使用。整個事件造成31人死亡，50人受傷之慘劇，且財物損失高達25萬英鎊以上。

5. 臺北車站災例

臺北車站於1994年6月25日05時，地下二樓控制中心內的變電室房之電線走火，由於該變電室設置的海龍自動滅火設備遭人為關閉而未啟動，緊急電源亦無法供電，使消防幫浦及排煙設備失效故釀成火災。雖然火警探測通報系統有效偵測到火災的發生，但因臺鐵人員延誤報案的時間，所幸火災發生時旅客人數較少，但仍造成警消3人受傷，燒毀面積15平方公尺與約新台幣10萬元的損失。

6. 蘇聯亞塞拜然地鐵大火

亞塞拜然首都巴庫在1995年10月28日18時，1列5節車廂之地下鐵列車其第4節車廂機械發生故障，集電器與主保險箱間發生火花，由於保險絲未跳脫，因此造成電氣火災。列車持續開動直到駛近Uldus站約200公尺的距離時，其可燃材質製造車廂使火勢擴大迅速，濃煙滲入車廂後才被發現。因發生在隧道內，旅客被迫需在濃煙瀰漫之隧道中進行避難逃生，監控中心風機運轉模式切換不當，致使濃煙擴散至整個隧道內部空間而造成嚴重傷亡，導致337人死亡，270人受傷之慘劇。

表2-1近三十年地下車站重大火災災例一覽表

國別	鐵路系統	發生年	起火原因	損失 死傷	起火 位置	原因 歸屬
美國	紐約地鐵	1970	供電電纜起火。	死1人	隧道 電纜	電氣 火災
日本	日本國鐵	1971	山陽正線列車起火	死1人 傷44人	車廂	列車起 火
加拿大	蒙特婁 地鐵	1971	列車相撞，撞毀 電纜起火。	隧道、車 輛受損	隧道	電氣 火災
日本	日本國鐵	1972	餐車吸煙室電器 暖房配線漏電起 火。	死30人 傷714人	車廂內	電氣 火災
瑞典	斯德哥爾摩 地鐵	1972	坐墊被割破放入 可燃物縱火。	傷亡 不詳	車廂內	列車起 火

表 2-1 近三十年地下車站重大火災災例一覽表(續)

國別	鐵路系統	發生年	起火原因	損失 死傷	起火 位置	原因 歸屬
日本	大阪	1974	谷町2 號線垃圾場起火。	不詳	站體	站體起火
英國	倫敦地鐵	1976	車站內電器開關故障操作錯誤，致電纜爆裂冒煙。	傷25 人	站體	電氣火災
美國	舊金山灣區捷運	1979	列車自動煞車床板冒出火花起火。	死1 人 傷10 人	車廂底	列車起火
美國	紐約地鐵	1979	第三軌產生火花引起火災。	無	車廂底	電氣火災
美國	紐約地鐵	1981	集電器脫落，觸及車框起火。	傷24 人	車廂底	電氣火災
美國	紐約地鐵	1981	輸送到馬達控制組之凸輪輸送管破裂而起火。	2 人中毒	車廂底	列車起火
美國	紐約地鐵	1981	集電器脫落觸及車框起火。	不詳	車廂底	電氣火災
美國	紐約地鐵	1981	同上	傷16 人	車廂底	電氣火災
英國	倫敦地鐵	1981	堆置可燃廢料枕木等引發火災。	死1 人傷 15 人	站體	站體起火
美國	紐約地鐵	1981	同上	無	站體	站體起火
英國	倫敦地鐵	1982	車上電氣設備故障，軌道班工人將施工設備滯留軌道上阻斷通行。	傷數百人	車廂	電氣火災
日本	東京	1982	新橋站空調機冒煙。	不詳	站體	電氣火災
日本	東京	1982	丸內線荻窪站車輛於月台發生火災。	不詳	站體	站體起火
英國	倫敦地鐵	1983	車站電扶梯起火。	不詳	站體	站體起火
英國	倫敦地鐵	1983	車站電梯起火。	人員慌 張跌倒	站體	站體起火

表 2-1 近三十年地下車站重大火災災例一覽表(續)

國別	鐵路系統	發生年	起火原因	損失 死傷	起火 位置	原因 歸屬
日本	愛知、 名古屋	1983	車站變壓器起火。	700人避難，2名人員死亡，5人受傷	站體	電氣 火災
英國	倫敦地鐵	1984	車站儲藏室起火。	18 人受傷	站體	站體起 火
英國	倫敦	1985	手扶梯火災。	200人避難	站體	站體起 火
日本	東京	1985	站內電氣室變壓器短路起火。	2名人員死亡，5人受傷	站體	電氣 火災
日本	東京、 文京	1985	千駄木站車輛冒煙停駛。	不詳	車廂	列車起 火
英國	倫敦	1986	電扶梯火災。	不詳	站體	站體起 火
日本	東京	1986	半藏門線列車底部馬達冒煙。	不詳	列車	電氣 火災
日本	東京、中 央	1986	新橋站垃圾收集處起火。	不詳	站體	站體起 火
英國	倫敦地鐵 King Cross 車站	1987	香菸掉落至第4號電扶梯內齒輪，引燃油脂，使電扶梯之木質部分起火蔓延。	死31人，傷 50人	站體	站體起 火
日本	東京、中 央	1987	站內變電所火災。	無	站體	電氣 火災
英國	倫敦	1988	電纜火災。	2車站暫停 營運	隧道	電氣 火災
日本	東京、江 東	1988	東陽町站電車下方冒煙。	死31人，傷 57	車廂	電氣 火災
日本	東京、江 東	1990	東西線木場站垃圾桶起火。	全線停止 9分鐘	站體	站體起 火
日本	大手町站	1990	停車中電車冒煙停止運作。	全線停止	車廂	電氣 火災

表 2-1 近三十年地下車站重大火災災例一覽表(續)

國別	鐵路系統	發生年	起火原因	損失 死傷	起火 位置	原因歸 屬
日本	淡路町站	1990	車輛馬達過熱冒煙。	不詳	車廂	電氣 火災
臺灣	臺北車站	1994	地下二樓變電室電線短路起火。	人員 3 傷	站體	電氣 火災
前蘇 聯	亞賽拜然地鐵	1995	車廂機件故障。	死337 人傷 270 人	車廂	列車起 火
美國	華盛頓	2000	第三軌出火花引起火災。	273 人 安全避難	車廂	電氣 火災
美國	華盛頓	2000	列車碰撞金屬門引起火災。	無	站體	列車起 火
韓國	大邱市	2003	蓄意縱火	192死148傷	車內	列車起 火

資料來源：中央警察大學消防科學研究所，鐵路隧道及地下站場防火避難設施及消防安全設備標準，交通部鐵路改建工程局研究服務建議書。

將表2-1整理後，把最常起火之原因與較常起火之位置歸納如表2-2，可發現電氣火災占起火原因之50 % 為最高；起火位置則是列車比例為45 % 、站體為47.5 % 、隧道為7.5 % 。

表2-2 近三十年地下車站重大火災原因與位置之比較

起火位置 起火原因	起火原因			
	電氣火災	列車設備起火	站體設施起火	總計（件）
站體	6	1	12	19(47.5%)
列車	11	7	0	18(45%)
隧道	3	0	0	3 (7.5%)
總計(件)	20(50%)	8(20%)	12(30%)	40(100%)

資料來源：中央警察大學消防科學研究所，鐵路隧道及地下站場防火避難設施及消防安全設備標準，交通部鐵路改建工程局研究服務建議書

2.2 災例分析與探討

地下場站及隧道所發生之火災案例探討，於研究地下場站空間之防範對策前，應先瞭解地下場站空間之災害特性。可藉由對該場站之火災案例分析，瞭解地下場站防火及避難安全上之問題。由火災案例中可發現地下場站存在之防火、避難

問題。

以英國之King's Cross火災為例，便可發現其於火災應變計畫之缺失。由文獻資料中可知，最先是由旅客發現於第4號電扶梯下有微小火源，經報告售票員後，再由售票員轉報告稽查員；之後另一名民眾發現電扶梯起火後，呼喊人員離開電梯，引起稽查員注意前往察看，最後車站人員以無線電通知消防隊及警方，因地下無線電通訊不良，須跑至地面求救。最後警方來時，才下令站方進行旅客之緊急疏散。而於火災初期至真正下令疏散前，站方共有4組不同人員前往察看。其原因在於下級人員於發現火災後，通知較高層之人員，在重複通報及報告中，火源現場調查所需時間及通訊不良等多重原因下，最後造成了此樁悲劇。由上述案例中，可知地下場站對於此類緊急事故，站方人員應先制訂標準之作業處理流程，以節省通報、轉報時間，儘早進行滅火、通報及疏散旅客之動作。該案例於災後之調查，得知該車站電扶梯起火之原因為抽煙引起，故地鐵對火源之管理應更為加強，如防止危險物品之攜入措施、禁止抽煙等防火管理工作。

為了進行地下車站避難安全評估，首先應對該場所可能發生的災害本質有充分的了解，除了可透過實地現場勘查來了解地下場站之空間特性、潛在的危險性之外，經由各國相關火災案例之蒐集、檢討與分析，以掌握災害發生之真實情境更是不可或缺的過程，同時藉此亦可作為避難影響因素分析、避難動線檢討以及預測真實災害境況之基礎。以下為各國鐵路捷運系統曾經發生過的災害紀錄，表2-3 是世界各國地下場站及隧道火災案例之回顧及肇事原因分析。

表2-3世界各國地下場站及及隧道災例回顧肇事原因分析

日期	地點	肇事原因分析	損失概況
1968/ 1.27	日本東京營團 地下鐵日比谷線 六本木站~神谷町站 間	運行中的列車的抵抗器起火，緊急讓乘客下車，將列車回送修廠途中突然無法運轉，且列車連繫管道中斷，導致消防活動遲滯。	1 節車廂全燒、 2 節燒毀。傷患 11 人(含消防人員)
1972/ 11.6	日本國鐵 北陸隧道	運行中的餐車漏電起火，在隧道內緊急停車。曾試圖將餐車與客車分離失敗，隧道內死傷慘重，有許多旅客由救援列車救助脫離現場。	餐車全燒，1 節 車廂燒毀，死 亡 30 人、傷患 714 人。
1983/ 8.16	日本名古屋 地下鐵 東山線榮站	地下 2F 變電室內的整流器故障起火，濃煙擴散至鄰近之地下街，由於停電導致 2 列車在隧道內停車。	變電室部分燒 毀，死亡 2 人 (消防人員)、 傷患 5 人。
1985/ 9.26	日本東京營團地下鐵 半藏門線涉谷站	在車站內停車中的電聯車下部軸承破損發熱而起火。	車廂部分燒 毀，無死傷， 旅客 2800 人緊 急避難。
1988/ 9.21	日本關西近鐵 生駒隧道	供電電纜起火，電聯車停止在隧道內。幸好可利用舊隧道充當乘客逃生避難及消防人員進入的路徑。	燒毀電纜等設 備，死亡 1 人， 傷患 57 人。
1992/ 8.29	日本東京都營三田線 春日站~白山站間	電聯車底部設備脫落，引發車站變電所的高速度遮斷器動作，使列車	電聯車受損、 無死傷，乘客

日期	地點	肇事原因分析	損失概況
		緊急停車。	自行步行走出隧道避難。
1964/ 4.21	美國紐約地下鐵 Grand central 站	停止中的電聯車起火，導致車站火災。由於清晨乘客稀少，人員損害較輕。	傷患 13 人。
1969/ 5	Pen central 鐵路 哈德森河底隧道	電聯車抵抗器遇熱起火，無法行進。由後續列車將故障列車推至隧道外滅火。	死亡 1 人，傷患 8 人。
1979 /1.14	美國 舊金山灣高速鐵路 舊金山海底隧道	下行線電聯車迴路遮斷器故障起火，在隧道內停車，乘客由上行線列車救出。	5 節車廂全燒，1 節燒毀，死亡 1 人，傷患 10 人。
1979/ 9	美國賓夕法尼亞州 交通局地下鐵	行車中列車變壓器短路起火。	傷患 178 人。
1987/ 11.18	倫敦市 地下鐵	木製電扶梯的間隙內，因乘客亂丟煙蒂起火，火勢蔓延至其上之售票處，引起大量死傷。在月台的旅客部分由列車疏散避難。	車站約燒毀 500m ² 面積，死亡 31 人，傷患 50 人。
1994/ 06.25	中華民國臺灣 臺北車站	地下二樓監控中心旁變電室火災	3 名消防員嗆傷。
1995/ 10.28	亞塞拜然首都 巴庫市營地下鐵	地下鐵之車廂機械故障與第三軌供電軌發火燃燒。	死亡約 337 人，傷患約 270 人。
2000/ 11.11	奧地利 喀普倫山岳隧道	載滿滑雪旅客的電纜車在出發時起火，由於路線超過一半長度為隧道，災情擴大，乘客約半數死亡。	死亡 155 人。
2003/ 2.18	南韓大邱地鐵	縱火事件	192 死 148 傷

資料來源：1. 鐵路隧道及地下場站安全管理(鐵路部分)，
2. www.ndppc.nat.gov.tw/uploadfile/series/200409272160.pdf

2.3 災害避難危險性探討

地下場站等地下空間所存在於火災時之避難危險性，應從瞭解其場所火災之特殊性、空間使用狀態及利用、人員使用特殊性等三方面來著手。

1. 地下空間火災危險特性

地下空間之火災案例，從其空間之封閉性探討其火災特性。

- (1) 火災時因氧氣不足，易因不完全燃燒或悶燒產生大量的煙。
- (2) 火災時，熱與煙難以排出室外而易流入避難路徑，或因滯留瓦斯之存在而產生爆炸。
- (3) 飲食店、廚房起火之案例不少，管道間若不加以考量，則有延燒擴大之危險性及煙擴散之危險性。

- (4) 因方向感不易分辨，避難時易產生混亂。
- (5) 平時利用之人潮眾多(尤其是上下班時間)，若發生火災時，易產生恐慌而引起混亂。
- (6) 因設施規模較大，消防活動之確認火點、人命搜救、避難誘導、滅火行動均有困難性。
- (7) 和其他設施連接之情形很多，不管何處發生火災，皆有向另一邊擴散之可能。此複合性之設施，在管理體制上常為獨立之狀態，而且即使有共同防火管理體制，在實際火災混亂之中，有時亦無法發揮其功效。
- (8) 地下鐵中，因列車所產生之氣流易使內部氣流複雜化，致有延遲確認之發生源及地點，而使得全體空間充滿煙。
- (9) 滅火行動時，煙會流向供搶救人員使用之樓梯，使得視線遭其遮掩而無法靠近火點。

2. 地下車站在空間使用狀態方面存有下列實際情形

- (1) 大規模、多用途。
- (2) 與地下街、地下鐵、百貨公司等連接。
- (3) 多方面之有效利用。
- (4) 地下停車場之增加。

3. 地下車站利用人員使用特殊性方面

- (1) 因便利性之緣故，故利用人員眾多且為不特定人員。
- (2) 使用人員習性及使用人數會因平時、假日、季節（夏季、冬季）、天氣（晴天、雨天）有所不同。
- (3) 避難弱者之增加（老年人、幼童等行動緩慢者、行動不便之身心障礙者、不熟悉地形環境之外國人及外勞等）。

地下軌道系統消防逃生之基本原則為避免人為災害發生、防止天然災害造成生命財產損失，當不幸發生時能迅速疏散乘客、避免乘客受到傷害，並避免災害擴大造成二次傷害，使地下軌道系統受損減至最低。地下軌道系統營運所需之消防及逃生系統，係依據國內交通部頒布之「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」^[38] (97.07.29)，作為鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備規劃設計時之參考依循，國內建築技術規則、消防法規，及相關災害防救法規，並參考國外捷運系統火災事故之經驗，於細部設計上作整體之考量，必須涵蓋下列措施：

1. 儘量防止災害發生（使用不易燃燒之材料，禁止攜入易燃物、危險物、禁止使用瓦斯等）。
2. 災害初期階段之感知（光電式偵煙感知器、補償式溫度感知器、熱線式感知器、閉路電視等）。
3. 人員迅速避難（逃生梯、安全門、避難方向指示等設施）。
4. 抑制災害擴大（防火區劃、防煙區劃等）。
5. 消防設備（各種滅火設備、排煙設備等）。

2.4 災害檢討改善及回饋機制

地下場站因其特殊之密閉特性，這麼多之災害案例歷歷在目，無論檢討改善或相關肇因分析，都有許許多多需回饋及教育訓練之工作。由以上之災例統計分析可知：

- (1) 從世界各國地下場站及隧道火災案例分析災害發生原因，可以發現其中以發

生火災、爆炸之火災案例為最多。而且經起火原因之分析統計，列車火災件數，電扶梯起火的火災，配電室或變壓器起火等電氣火災，顯示火災型態與列車或電氣部分有密切關係。

- (2) 在上述各國之火災案例中不難發現，如縱火、丟置爆裂物等惡作劇、惡意犯罪行為在現代大都會地下車站內是會發生的，針對此種無預警人為因素之防範對策，應加強車站內初期應變能力與災變管理。
- (3) 由於時空差異及社會型態轉變之影響，對於越接近當今之火災案例進行災害發生起因分析，即對地下車站災害發生情境之掌握越有參考價值。從美國法規 NFPA 130 對電扶梯應以不易燃燒材質建造設置規定，可以合理排除早期電扶梯火災具高度火災危險性之看法。
- (4) 由以上火災案例分析，可以得到的共同結論為災害事故多以電器火災為主，而且在非公共區域電氣設備火災或公共區域列車起火部分是最主要的起火原因。以此火災案例統計所得到的結論，可作為在探討地下場站空間火災情境假設及分析時重要的參考依據及方向。
- (5) 地下車站空間密閉，並充斥各種用途之小隔間，除非火源發生於公共區大廳，否則初期火點不易被發現與確認，且於站體內人潮熙來攘往，存在多數對該場所不熟悉之不特定出入人士，並有動線路徑複雜、煙霧容易擴散之潛在危險等因素，請參見表2-4。

表2-4地下車站空間之潛在危險

空間特性	潛在危險
空間大、呈密閉性	1.初期火點確認不易，搶救時接近火點困難。 2.不易區劃，容易延燒。 3.熱煙蓄積，不易散去且易產生爆燃。 4.燃燒不完全，易生毒性氣體。
動線複雜交錯	1.動線複雜，逃生時不易判定。 2.動線交錯形成群流匯集，影響逃生速度。
仰賴人工照明	1.停電時易造成人員恐慌。 2.照明不足致搶救困難。
造成通信死角	通信障礙影響情報傳遞。
隧道活塞效應	列車行進所形成之活塞效應，使煙四處流竄。
逃生口均向上	向上之逃生出口與煙流上升路徑相同，影響人員向上逃生及救災人員進入。

2.4.1 起火危險分析

1.在營運期間地下場站，係提供旅客方便搭乘、使用頻繁的大眾運輸場所，若以火災發生境況為考量，可歸納出下列各項使用特性：

(1)由於地下場站位於市中心交通動線，平時即有不特定旅客進出，尤其是尖峰時刻，更是湧入大量人群密集使用，因此該場所之火災危險度是不言而喻的。由於地下場站平時有該站服務人員實施管理，同時在管理營運機制下該場所消防安全設備（撒水、排煙設備等）也有專人定期維修保養；故在緊急狀況發生時，設備動作機率應比一般場所較高，同時有關防火避難設施如走廊通道、出入口與緊急安全門，置放障礙物使避難受阻的機率不大，蘇水波先生之「鐵路地下化隧道通風對人

員繞越火場避難逃生之研究報告^[25]」：對火災快速成長，在不同火災強度下，人員繞越火場逃生安全時間計算，可供有關單位在鐵路地下化、高速鐵路、捷運系統規劃設計施工等之參考。

(2)由於一般通行閘門、殘障使用之服務門也供旅客自由進出使用，唯有公務門為其內部人員進出之管制，因此對防破壞與防縱火措施除由所架設之錄影監視系統外，亦可由內部管理巡邏機制加以防範。

(3)特殊大型公共場所之消防安全設施，除了應考量一旦火災發生時容易逃生與火災發生造成有形損失之因素外，更應考量避難動線出入口、通道之位置、容量大小等空間規劃的影響。

2.火災的危害應包括設計規劃階段、營運管理（正常營運、緊急災害發生）與維修養護方面的考量，地下場站站體空間配置依用途不同而形成不同潛在危險程度，因此可將主要起火處區分為公共區域與非公共區域來說明內部人員生命受威脅之情況。

(1) 公共區域

在地下場站公共區域的火災危險因素主要有電扶梯、垃圾桶及列車等；同時對於公共區天花板內的電線配置或使用不當所造成之電氣火災，雖已依設計規範納入纜線要求，其電線起火可能性已大為降低；但正式營運後，相關招牌看板等後續配管施工之防火性可能遭受較高質疑，因其較不易為人察覺，因此需考量其火災危險性。

● 電扶梯起火

在所有的機械設備室中，電扶梯機房是唯一不在車站末端而設置在公共區域之機房。大部分火災發生之原因均與點燃的香煙落入電扶梯末端之集塵盤有關，如果允許在電扶梯末端集塵盤中之灰塵持續累積，即易變成起火源，故在NFPA 130 規定，單一入口車站者，以及其他所有電扶梯的鐵架區上，應裝設自動撒水設備。

● 垃圾桶或乘客行李起火

車站公共區域垃圾桶之易燃物料的主要來源是由旅客無意、故意攜帶的易燃品。地下場站公共區域雖力求作到耐燃之內裝及地板，但由於月台、穿堂層等公共區域未設自動撒水設備，其火災發生時所產生之熱釋放率與煙的影響，是不可忽視的起火原因。

● 列車起火

地下空間的火災事件中，列車火災事件所占比例不低，車輛電氣系統絕緣不良，有因斷路器過熱而引起火災之虞，且車輛的動力機件“馬達控制組”（Motor Control Group）及“集電靴”（Current Collector）經常是造成火災的兩大主因。

● 縱火

由於現代生活緊張與壓力影響，人為的蓄意破壞或心理不平衡造成爆炸、縱火等行為時有所聞，其中有關人為蓄意縱火方面，則以公共區較易進行但也較易為人發現；若欲於非公共區縱火需穿越管制之門禁及監控，雖較難進行，但此空間一旦被縱火，可能造成比公共區縱火事件更嚴重之後果。事實上，隨時代人文屬性及道德之演變，已不能排除惡作劇、縱火等人為因素及可能衍生之境況。

(2) 非公共區域

非公共區域發生之火災，以員工室之用電設備，空氣壓縮機、空氣過濾機等機械室、電氣室所使用之變壓器、配電盤、電纜等及電氣機器設備引發油類火災等電氣火災為主。由於非公共區域多依建築、消防法規設有防火區劃及自動撒水設備，以控制火勢初期發展，其對設備、區劃仍具有一定之可靠度。

針對韓國大邱市地鐵火災事故的特性，我國捷運系統設計上可再檢討的項目，茲探討如下：

1.電聯車內裝材料之耐燃性檢討^[30]

根據韓國地鐵火災事故之災害鑑定，發現車廂採用許多可燃材料，導致大火延燒及有毒氣體，是產生大量人員死傷之主因。

臺北捷運電聯車的材料採用美國 NFPA130 的最高國際標準，車體使用高燃點的不銹鋼，車體內有防火的玻璃纖維耐熱棉，車廂內的裝備如椅子、地板均使用耐燃材料，且通過 45 分鐘的耐燃試驗，燃燒時產生煙霧量少、無毒性。

由於近年鐵路車廂朝輕量化發展，車體及內裝有逐漸採用高分子材料(如塑膠、橡膠等)之傾向，此等車輛本身的功能上不易由無機材料取代，因此，其燃燒時的特性必須再進一步釐清。尤其，日本及世界上各主要國家評估電聯車材料的防火性能試驗方法，係以漏電火災、人為過失火災所引起之小規模火災為對象，對於人為縱火、恐怖活動引起之大規模火災，原防火性能試驗方法及評估標準是否適用，仍有進一步研究之必要。

2.地下車站之消防逃生系統設計檢討^[30]

由於地下車站屬特殊封閉性之環境條件，為確保系統正常營運及緊急狀況時之乘客安全，設計時應採取以下之基本考量：

(1)足夠之設計容量

車站內之乘客設施，如：樓梯、電扶梯、走道、自動收費設備、緊急樓梯、月台寬度等之容量，需容納預估尖峰小時運量之需求，並需符合美國國家消防協會 NFPA130 對逃生避難時間之規定。

(2)設施之安全設計

如電扶梯兩端之安全淨距規定、電扶梯邊緣與結構物之最小間距規定、月台邊緣之警戒線距離、電聯車車廂與月台間之最小間距、避免公共區之死角空間、透明電梯之使用、監測器之安裝位置、驗票閘門之緊急使用、通訊管道消防設施之配置、防火建材之使用、明確的標誌系統等。

(3)建立新的安全區

利用環控系統正負壓之煙控模式，及配合防火、防煙區劃方式建立新的安全區。

由於地下車站屬封閉性空間，緊急時方向性不易辨識，過去對於此等空間之不特定群體之避難行為鮮有研究，即使有初步研究成果，亦不易進行群體避難行為之現場驗證。因此，不易瞭解發生緊急狀況時的真正安全需求，未來對於避難設施的軟、硬體之設計考量原則，仍有進一步評估檢討之必要。

3.電聯車火災之災害擴大防止策略檢討^[30]

大邱市地鐵火災事故，係發生於行進中或停止中的電聯車火災，加上車門無法開啟以致造成大量死傷。因此，有必要檢討車廂內火災之擴大防止策略，此策略主要在於確保車廂內裝及座椅之耐燃性，如果此點無法確保時，必須進一步檢討防止車廂間之相互延燒、控制濃煙擴散等方法，並對電聯車之運行方式做一檢討。

同時，對於過去幾乎無法想像的情況，如電聯車火災波及同一車站內的其他列車，未來應思考由車站設施軟、硬體著手改善，並研究利用他側月台的列車緊急進行救援或避難活動的可能性。

4.地下車站之排煙系統檢討^[30]

捷運的隧道一般均設有通風井及通風機，而且排風時係一端送風、一端抽風，風量須能確保濃煙朝一個方向移動，讓乘客可逆風逃生。

地下車站的月台層一般會設置機械排煙設施，但是地下車站並非完全密閉的空間，它有較開放性的穿堂層與隧道之接續口，以及樓梯、電扶梯等曲折的開口結構物，使細部設計所實施之煙控模擬的難度大幅提昇。目前，國內一般採用英國 Computational Dynamics 公司發展的 STAR-CD 程式進行三維計算流體力學分析，以確認排煙系統之流場與排煙效果等。但是 2 列車同時發生火災之條件下，正常的設備規模不易有效排煙，因此，仍應由濃煙控制的觀點，於火災初期極力控制燃燒的規模。

5.建立標準作業程序^[30]（SOP）

標準作業程序(Standard Operation Procedure 簡稱SOP)主要針對隧道之火災事故，例如旅客列車於長隧道內，因車身起火，當需要各單位跨部門聯合協助救災支援時，提供一適當應變作為的處置模式，期盼藉由一致的救援標準作業程序，使所有參與救災單位發揮最有效率之緊急應變能力。

6.救援標準作業程序演訓計畫^[30]（Scenario's Practice）

演訓應於通車前完成，以利通車後各單位皆可實際掌握未來救援作業，除了通車前演訓外，通車後亦應予以定期實施，以確保所有救災人員能保持熟悉救援作業。

7.預期目標及未來願景^[30]

回顧國際社會歷年來地下軌道的重大事故，總是造成眾多人命的傷亡及國家社會成本的損失。管理及救災單位亦無一套完整整合此類的搶救處理經驗，日後意外事故處理將考驗著管理營運機關的應變及地方救災單位的救援能力。因此將各種災害對地下軌道影響程度予以分類等級，並確立應變救援之對策與原則，據以完成應變，及救援標準作業程序之建置，同時提出地下軌道事故應變演訓計畫及程序並加強演練。

臺北地區鐵路地下化及臺北捷運之隧道多且距離長，發生火災時的救援行動極富挑戰性，而事故發生時的人命搶救及救援安全為第一優先考量。因此如何加強地下軌道搶救處理經驗、提供施救人員優良的救災裝備及確保安全的救災環境，是目前必須努力的。

第三章 避難逃生相關模擬軟體之評估

3.1 CFAST、SIMULEX、FDS、STEPS 軟體簡介

3.1.1 CFAST軟體

CFAST (Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport, Version 6) 係由美國國家標準局 (National Institute of Standards and Technology) 所開發通過的分析火災區域的火災增長及煙層分布的模擬軟體。其軟體的功能及操作,主要是針對火災區域之模擬,能預測多房火災環境,有效的描述煙霧分布與毒氣擴散,功能較多且齊全。藉由輸入經實驗所得燃料質量損失率或熱釋率、區間尺寸和通風條件、以及推導出熱力變數隨時間演變之常微分方程式(ordinary differential equation, ODEs) 的動態方程式等,可以得知在每一區間,隨時間變化之煙層厚度、熱層溫度、和冷層溫度等。

區域模式是由許多空間組合起來,一般是分為上、下兩區域,假設每個區域的物理性質和化學性質均勻,上下區間分別為高溫熱層及低溫冷層,由一組描述理想氣體和質量、動量與能量守恆的方程式,而彼此上下層間的能量、質量會因為火源所產生的氣柱進行交換。其優點為模式建立簡便,計算所得的結果為區域內變化的平均值,各區域間能量的傳送是以控制容積 (Control volume)來計算,所以只能得知區域與區域之間能量進出的情形,無法得知區域內部的詳細變化。由於區域模式已簡化許多參數,因此需要大量實驗數據來輔助,因計算方式較簡單,所需模擬時間較短,對於一般初步評估可節省很多時間,所得之結果可做為預測火場內部能量變動之參考。

3.1.2 SIMULEX軟體

SIMULEX (Simulation of Occupant Evacuation) 模型是基於人在建築物移動行為,用收集到的數據,從錄像分析的個人移動在人群之移動,具備有模擬建築物避難之功能。防災演習最重要的就是每個人均需了解在緊急情況下為能迅速的疏散安全。SIMULEX可模擬乘員在建築物發生災難時之疏散行為,找出潛在的問題並找出解決辦法。

SIMULEX軟體可以在建築物中建立模型,以模擬人員疏散,在模擬過程中使用者能觀看到在疏散過程人員移動或停止之實際狀態。其定義了一個實際空間,並模擬它們在緊急情況下如何疏散,它採用了一系列的二維平面圖,與出口及樓梯連結在一起。可以識別任何出現問題的地方和評估解決的辦法。

3.1.3 FDS軟體

FDS (Fire Dynamic Simulator) 是NIST/BFRL(美國國家標準局暨技術協會火災實驗室)所發展出來的計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)火災模擬軟體,於2000年2月推出第1版,並不斷增強及改善軟體功能,於2006年3月推出第4.0.7版。此軟體計算火場流場模式,採用直接數值模擬 (Direct Numerical Simulation, DNS) 以及大漩渦尺度模擬 (Large Eddy Simulation, LES) 等計算方式求解Navier-Stokes流體方程式,該方程式是屬於符合質量守恆、動量守恆、物種守恆以及能量守恆的流體方程式。在燃燒理論方面,採用混合分率模式(mixture fraction model),輻射熱傳是以有限容積法(Finite Volume Method, FVM)方式求得,並可設定多重網格、撒水設備、通風設備等。其平行運算(Message Passing Interface, MPI)介

面可連結數台電腦，加速火災模擬運算的速度，而3D動態顯像功能Smokeview軟體，可用來顯示火場之溫度場、速度場、火流方向、煙流擴散等參數之動態情境，供火災研究人員分析與探討。

3.1.4 STEPS軟體

STEPS 系統是一套應用三維空間預測虛擬離散人群流動方法所建構之實體基礎模型，對照諸如Pedroute等以連續流量所建構之預測模式，大幅改善了對實際人群流動的解析能力，並可對人群流動的關鍵細節資訊提供了更為微妙而精要的解釋能力。



圖3.1 STEPS 軟體預測出正常及緊急狀況的行人活動動態狀況

此一方法借用了源自可以完善建構有關人群動力學的「細胞自動機」理論，行人群眾就像很多由獨立個體組成的自我組織，由許多單一決定論或非決定論且被人群們所遵從的原則，展現出複雜的緊急應變行為模式，STEPS可以有效模擬並重現人群在緊急狀況下的行為模式，本模型方法已經藉由與許多國際設計標準與全尺寸測試的解決方案比對後，獲得驗證與效力。



圖3.2 STEPS 軟體瞬間動態畫面

3.1.4.1 STEPS的2個主要模式

正常模式是較普遍的。在疏散模式中，STEPS實體是被架構為確保逃生路徑是通往其所知最近的可用出口，其移動方式係隨著前述實體本身獨立的行為準則而調整。正常模式下實體可跟隨模式中的各種路徑，以便滿足其不同目標(例如:進站、購票然後到指定的月台)。可見正常模式下，模型的創立需要較顯著大量的使用者輸入，以便定義到達模式和實體的最終目的地，以上資訊包含在使用者所開設的系統

資訊矩陣表中。正常模式下，出口和檢查點設有一個標籤號碼，當人們被加入此一模型，即被給定一個初始目標標籤，並只能朝此出口和檢查點標籤移動，軟體注意系統資訊矩陣表以便發現下一個目標，此過程被不斷重複，直到人們透過系統出口離開模型。



圖3.3 STEPS 捷運及地鐵系統的行人移動模擬模式

在疏散模式中，將不使用檢查點和標籤號碼，人們在所在位置平面上尋找最感興趣的可用出口，他們在現場中對於模型並沒有整體性觀點，他們無法直接找到每個可用的系統出口，而需透過尋找路徑來到達出口。他們會在平面與平面之間移動，直到找到某個可用的系統出口。疏散模式中，如過度擁擠狀況，可於模型內增加鎖定狀況解除深度（Locks Solver Depth）方式予以處理解決。

STEPS 本質上以三維空間作為模型基礎，以反應其複雜的現代技術架構，空間幾何分為「平面」和「路徑」2種實體，「平面」用於建構人群移動位置的表面，包括樓層、月台、階梯等無法被單一平面表示的構造，可以依需要設定固定或變動的坡度。

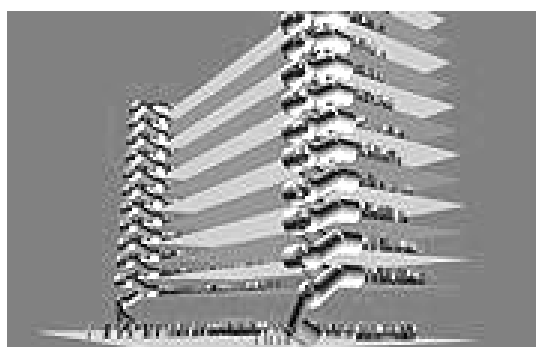


圖3.4 STEPS 透過3D空間模擬預測特定行人個體(虛擬人群)動態狀況

3.1.4.2 STEPS 軟體之功能

STEPS 在建立模型時基本上是物件導向的，它並不像一般的程式輸入一長串的參數，而是使用者建立一些簡單之物件，再將這些物件組合，以完成模型中複雜之狀況。物件中屬於相同型態者群組於同一類型中，無論編輯、再使用或刪除，都可以在其內之對談區塊中進行，對使用者而言，建立模型後均有其相當方便之再使用功能。

STEPS 之主要物件包含:

1. 分布 (Distributions)

分布(Distributions)，基本上是指定數值之範圍而不僅僅指定單一之特定值，舉例來說，一群人當定義其行走速度時，行走速度之設定，較符合實際的是設定於 1.0 m/s 及 1.3 m/s 之間，而不僅僅設定單一值。分布通常能將某一特定事件之影響散佈而與時間相關；當加入一群人於模型時，可以選擇立刻加入或者隨著時間分批的加入。在 STEPS 程式中，有 3 種型態均勻 (Uniform)，正常(Normal)及紀錄正常 (Log Normal)之分布可供選擇。其參數之調整可考量我國國情與國民習性不同，而做客觀之修正。

2. 曲線 (Curves)

曲線 (Curves)通常是用於指定 2 個參數之間的關係，程式中相關之物件可以利用曲線來定義其參數之間的關係。舉例來說，人員型態(People Types)可以利用 3 種不同型態之曲線：速度/距離，速度/距離及速度/煙氣。

3. 人員型態 (People Types)

人員型態 (People Types)是用於當模擬時有不同種類之人分布於其中，這些人員型態當建立人員群組模型時，依特定次數之建立並加以組合。每一個人員型態在模擬時可指定不同之顏色，其也能依據寬度、深度及高度來代表這種型態人員之大小。在決策路線過程中，耐性(Patience)因素，會藉模擬目標區排隊等待人員之耐性或不耐性，而成為影響因素。其參數之調整亦可考量我國國情與國民習性不同，而做客觀之修正。

當模擬進行時，人員型態會有 7 種 3D 之視像：

- (1) 人員拄著拐杖。
- (2) 人員。
- (3) 人員在輪椅上。
- (4) 人員帶著公事包。
- (5) 人員帶著 2 輪之行李箱。
- (6) 人員帶著四輪之行李箱。
- (7) 人員帶著推車。

4. 人員群組 (People Groups)

人員群組 (People Groups)是模型建立時，可指定群組之人數，模式建立之時，各群組人數之指定是必要的，為容易起見，在群組人數之指定同時可以採用分數比例之方式輸入。

5. 家庭 (Families)

家庭 (Families)是用於當建立模型人員群組時，當移動時會嘗試待在一起，假設在相同平面一開始家在不同之處，當移動時即會重新團聚，但如果在不同平面則不具備此功能。

當同一平面之人群屬於同一家庭時，其一會指定為家庭之首，其他家庭內之成員會常是跟隨家庭之首，一開始家庭成員即嘗試聚集，當家庭之首等待其他家庭成員時，其他家庭成員即會朝向家庭之首移動。當家庭成員重聚時，家庭之首朝向平面中某一出口移動時，其他家庭成員也相同的朝向平面中這一出口移動。

6. 形狀 (Shapes)

形狀 (Shapes)是由 (X,Y,Z)座標所訂定，有 3 種不同之形狀：

- (1) 開放式：此種形狀是由直線區塊所連結。

- (2) 封閉式：此種形狀如開放式，但其起點及終點是由直線區塊所連結，此形狀即成封閉式。
- (3) 充滿式：此種形狀亦如封閉式，為其外圍輪廓亦屬於此形狀之部分。
7. 網狀 (Meshes)
- 網狀 (Meshes)是當建立模型時，為附屬物件之群組，此種網狀第一個是 3D 之頂端，第二個即是連結第一個頂端之三角形狀，其間之相連，需指定 3 個頂端之座標位置。
8. 平面 (Planes)
- 平面 (Planes)是模擬時人員行走的平面，基本之平面是對 Z 軸四方直角的，單實際上是可依據形狀定義更多複雜之平面。當利用一個形狀時，其代表平面之中心線，形狀之厚度即給了平面之寬度，提醒的是當建立走廊模型時，沿著其長度，寬度需維持常數。
9. 路徑 (Routes)
- 路徑 (Routes)是 STEPS 用以模擬階梯及未指定方向之走廊，但建議使用者利用形狀及平面來模擬較佳。路徑仍可用以模擬電扶梯，在路徑中，基本上是由 2 點所決定，其行走速度已予設定，因防止人員在路徑上互相重疊，即便行走速度快的人，其位置在後，也無法超越雖在前而行走速度較慢之人。此功能可提供全部疏散或部分疏散之情境分析使用，亦即可配合臺北車站大樓所實施樓層及整棟避難安全性能模擬驗證之情境分析使用，俾利與後續安全管理相結合。
10. 矩陣 (Matrix)
- 矩陣 (Matrix)是指定人員之目的地，其路線雖然已經指定，但其提供更多之彈性。其之功能在指定標籤(Tag)時，STEPS 檢查相對矩陣之列，當到達指定標籤時，在此列之人數即代表到達指定標籤再往其他標籤之人數。
11. 通路 (Access)
- 通路(Access)是用來指定當人員不知道平面出口，檢查點，電梯或電聯車時，對模型中定義之人員形態，相關物件之通路是可定義的，程式中已設定所有的人員之道所有之可能出口，可以指定 50%的人員形態知道某特定之平面出口。
12. 阻礙物 (Blockages)
- 阻礙物 (Blockages)是用來設定平面之阻礙，因平面為四方形之表面，它們無法單獨代表地下車站之複雜環境，阻礙物之訂定即出自必要，以完整的建立特定之幾何配置，阻礙物可能是一個點，一條線，一個四方形，一個橢圓形，或者基於形狀或網狀物，一個阻礙物基本上只影響一個平面。
13. 位置 (Locations)
- 位置 (Locations)是定義於平面之地帶，當於模型表面加入人員時，通常不希望散佈於各處，而只希望加在平面中特定之區域，此即為位置之由來；另外，利用位置也可計算密度及其內之人員數，此亦為計算及展示時需要之功能。
14. 連結 (Junctions)
- 連結 (Junctions)是用於指定當人員到達路徑之終點時，人員會分成依各路徑行進，連結之功能即在此。每一個連結都是於到達路徑目的地時，人員開始依所設定之百分比朝向不同之路徑移動，相關人員移動之路徑，及連結之資訊都可在建立於模型內。

15. 電梯 (Lifts)
電梯 (Lifts)，在 STEPS 中，電梯是用來模擬實際之電梯狀態，當模型建立電梯時，尺寸、容量、加速度及起始位置均需指定，當然，也須指定到達那一層樓時電梯需停止，STEPS 之電梯功能僅能由其現行停止位置移動，如人員欲由此停止位置離去，需加以處理始能進行，如果基於某種原因人員無法自電梯中出來，此時電梯即無法移動。
16. 電聯車 (Trains)
電聯車 (Trains)是 STEPS 模型中實際模擬之電聯車，當在 STEPS 中建立電聯車時，需指定含多少車輛，同時須選擇形狀(Shape)以為電聯車之所在地，可以藉由參數之設定描述電聯車之最大速度，煞車率或加速度。
17. 車輛元件型態 (Vehicles Element Types)
車輛元件型態 (Vehicles Element Types)是用來定義一個或更多不同之車輛元件，之後再組合成車輛，每一個車輛元件形態均已指定了元件之大小，門之位置，開關時所需之時間，及開啟時之容量。
18. 車輛 (Vehicles)
車輛 (Vehicles)是模型中不同區塊用以模擬各種運送人員之車輛，雖然此種特色可指定建立火車，清軌車，甚至可建立公車，一般小客車等，當所有元件形態建立完成後，即可組合成車輛，當車輛移動時，其相關之停站處亦可一並指定。
19. 項目 (Items)
項目 (Items)為純圖像物件，其功能主要是使模型之建立更為實際，再模擬時不具有任何影響，但在用於 STEPS 簡介時即相當的有用。
20. 群組 (Groups)
群組 (Groups)是用於將不同之物件諸如平面、路徑、項目、車輛及其他物件予以整合，相關如人員數目或已離開出口之人員數目均可依據每一群組加以計算，群組之功能無論在路徑，區域或複雜模型，其功能是相當方便的。
21. 參數 (Variables)
參數 (Variables)是一般 STEPS 在程式運用時很基本之設定，參數如群組、檢查點、電梯、位置、路徑、平面、平面出口、路線與車輛等，於模擬時均可顯示，監測並加以儲存。
22. 狀態 (Conditions)
狀態 (Conditions)是用於當觸發某一行動時將其變數可加以比較，狀態與變數之比較為模擬時常需要的。
23. 展示 (Displays)
展示 (Displays)之功能主要在當模擬程式執行時，可展現於螢幕同時其相關之位置也可加以指定。
24. 警告 (Alerts)
警告 (Alerts)之功能主要再設定某種條件符合時顯示於螢幕，其功能相當有效，舉例來說，當模擬複合建築物疏散時，可設定那一樓層已完全淨空。
25. 標示 (Labels)
標示 (Labels)之主要功能即在模型動態展示時，可於螢幕加以說明，這項功能於再展示結果時相當有用。
26. 輸出 (Output)
輸出 (Output)是用於指定某些結果儲存於結果檔案中，當 STEPS 模擬程式執

行時，相關重要值之計算會寫在檔案中，輸出值之頻率可由使用者指定，如欲監測，亦可指定起始與結束時間，就其指定之結果輸出值，就其頻率及起始時間、終止時間加以儲存。

3.1.4.3 STEPS 程式之輸入參數

STEPS 程式之輸入參數基本上分為五大類，車站空間幾何、電聯車、環境影響參數、乘客參數及其他運轉參數。

1. 車站空間幾何

車站空間幾何含整體車站空間配置、尺寸、單位圖比例、房間及空間用途、出口數、各出口之驗票閘門數、驗票閘門寬度、樓梯數量、電動手扶梯數目、電動手扶梯寬度及電梯數目。

2. 電聯車

電聯車資訊含車廂長度及寬度、車廂數目、車門開門後淨寬度、每車廂車門數、電聯車平面配置圖、結構設計載重人數。

3. 環境影響參數

環境影響參數含車站正常通風流量、車站緊急通風流量、火災通風模式、車站正常溫度範圍及車站正常溼度範圍。

4. 乘客參數

乘客參數含尖峰時段、車站留滯人數、乘客年齡分布、乘客年齡範圍、正常行走速度、乘客是否擁塞、手扶梯正常速度、緊急時手扶梯速度、主要通行路徑、最小行車班距及每列車在每月台的上下車人數。

5. 其他運轉參數

其他運轉參數含緊急時驗票閘門狀態、緊急時電扶梯狀態、緊急時消防警報系統狀態及緊急時電梯狀態。

3.1.4.4 使用模型之建立

相關STEPS 程式之輸入參數，使用者欲建立模型時須：

1. 由 CAD 檔案輸入 STEPS 之幾何配置。
2. 建立模擬時不同之人員形態。
3. 建立模擬時模型之人員群組。
4. 建立人員行走之平面。
5. 建立平面出口，連結各平面，並提供出口。
6. 建立檢查點，模擬人員等待時之區塊。
7. 建立電梯，載送人員至不同樓層。
8. 建立車輛，將人員從這一區載至另一區。

9. 指定模型中每一個平面出口、檢查點、電梯及車輛之標籤。
10. 建立路線以指定模型中人員之移動，路線是由幾種層級組成，諸如標籤、平面出口、檢查點、電梯或車輛。
11. 建立位置，限制區塊人員之加入。
12. 建立人員事件，使人員於模型中活動。
13. 程式執行。

3.2 SIMULEX、STEPS軟體功能評估

3.2.1 SIMULEX、STEPS功能比較

表3-1 SIMULEX、STEPS功能比較

項目	功能
SIMULEX	採用二維平面(2-Dimensions)，建立模型模擬人員疏散，模擬過程中使用者能觀看到在疏散過程人員移動或停止之實際狀態
STEPS	本質上以三維空間作為模型基礎，反應複雜的現代技術架構，空間幾何分為「平面」和「路徑」2種實體，可模擬計算疏散時間

表3-2 SIMULEX、STEPS效用比較

項目	效用
SIMULEX	以數值及圖解方式進行二維平面逃生路徑分析。
STEPS	即時的3D模擬及動態畫面等方式展現的情境狀況，非專業人士也能進行找出逃生路徑的瓶頸位置及最適當的出口方向。在不同情境狀況，測試逃生路線及逃生時間。

3.2.2 Simulex軟體評估

1. 為二維空間軟體工具，沒有三維空間互動性視學模擬的功能。
2. 缺乏濃煙參數資料的輸入功能。
3. 逃生路徑的選擇是以避難逃生距離的選擇權優先於避難逃生時間為主，因此忽視了該逃生動線將會造成人群擁擠的現象。
4. 逃生移動的演算方法是固定的運算邏輯，無法因地域性人種特質的不同而可做調整修正

3.2.3 STEPS 軟體評估

1. 可以三維空間模擬正常及緊急運作模式。
2. 主要優勢
 - (1) 通用模擬軟體工具：具有正常及緊急逃生模式的完整性功能。
 - (2) 重大交通專案工程實績案例：英國倫敦Heathrow 第5號機場大樓、美國世貿中心交通樞紐、荷蘭阿姆斯特丹北方線及南方線、香港九龍the KCRC 沙田中環線。
3. 系統完全整合及具有最佳視覺效果的3D操作環境。
4. 技術專業人員可以辦理行人步行速度及濃煙效果等的各式狀況設定，而非以一蓋全

(one size fits all) 的單一情境模擬。

5. 具強而有力及效率的模擬演算功能，能在單一情境中，模擬超大量進出人群狀況。
6. Mott MacDonald 集團自行研發產品（不是一般大學或小公司產品）。

3.3 SIMULEX、STEPS軟體效益評估

3.3.1 SIMULEX、STEPS運算式

表3-3 SIMULEX、STEPS使用運算式

項目	使用運算式
SIMULEX	利用流體動力學微分方程式發展出二維平面人員逃生之動態分析模式。
STEPS	利用流體動力學微分方程式發展出三維立體情境，正常及緊急模式人員逃生路徑之動態瓶頸分析模式，與人員逃生時間之計算。可配合FDS SIMULATION於車站火災時人員立體逃生之動態情境，及估算逃生時間。

3.3.2 STEPS 與SIMULEX function comparison table(功能比較)

表3-4 STEPS 與 SIMULEX功能比較

ITEM		SIMULEX	STEPS
1	操作之模型(Modes of operation)		
1.1	Evacuation	√	√
1.2	Normal operations	-	√
1.3	Switch from normal to evacuation mode	-	√
2	使用之註冊權限(Licensing)		
2.1	Annual license	√	√
2.2	Paid up / perpetual license	√	√
2.3	Annual maintenance	√	√
3	出入旅客移動之一般原則(Pedestrian movement principles)		
3.1	自由行進速度 (Free walking speeds)		
3.1.1	Specification by group	√	√
3.1.2	Specification by statistical distribution	-	√
3.2	速度密度與距離之關係 (Speed-density/distance relations)		
3.2.1	Speed-density relation	-	√
3.2.2	Speed-distance relation	√	√
3.3	路線之選擇(Route choice)		
3.3.1	Based on potential table	√	√
3.3.2	Choice based on time or distance	Distance	√
3.3.3	Local or global route choice	Local	√
3.4	指定行為者之特色(Agent characteristics specified)		
3.4.1	Free walking speed	√	√
3.4.2	Patience	-	√
3.4.3	Familiarity	-	√
3.4.4	Association with other agents	-	√
3.5	預先移動時間(Pre-movement time)		
3.5.1	Specification by group	√	√
3.5.2	Specification by statistical distribution	-	√

3.6	垂直方向之運輸 (Vertical transportation)		
3.6.1	Escalator modeling	√	√
3.6.2	Lift modeling	√	√
4	危害模型之建立 (Hazard modeling)		
4.1	CFD 煙霧相關資料之輸入(Import of CFD smoke data)	No	
4.1.1	Import of 3D smoke surfaces	-	√
4.1.2	Import of temperature	-	-
4.1.3	Import of concentration data	-	√
4.1.4	Import of visibility data	-	√
4.1.5	Data import from which CFD codes	-	-
4.2	模擬煙霧資料影響區域之輸入(Import of zone model smoke data)	No	
4.2.1	Import of temperature	-	√
4.2.2	Import of concentration	-	√
4.2.3	Import of visibility data	-	√
4.2.4	Data import from which zone models	-	√
4.3	相關煙氣資料之應用 (Use of smoke data)	No	
4.3.1	Visual representation of smoke surface	-	√
4.3.2	Effect of visibility on walking speed	-	√
4.3.3	Calculation of toxic	-	-
4.3.4	Calculation of thermal	-	-
5	模擬之前之準備與模擬之後之流程及相關輸出 (Pre- and post-processing)		
5.1	幾何空間之準備 (Geometry preparation)		
5.1.1	Built in geometry modeling	√	√
5.1.2	Import of 2D floor plans	√	√
5.1.3	Import of 3D models	-	√
5.2	3D 相關對應之視像 (3D interactive visualization)	No	
5.2.1	Integrated / post-processor	-	-
5.2.2	Supports materials/textures/transparency	-	√
5.3	資料之輸出(Data export)		
5.3.1	Numerical data	√	√
5.3.2	x-y plots	-	-
5.3.3	2D contour plots	√	√
5.3.4	Export of still images	√	√
5.3.5	Export of animations	√	√

Note: “√” 代表 “有”；“-” 代表 “無”

3.4 STEPS模擬軟體之評估與驗證

3.4.1 序言

從 1997 年初開始，許多對 STEPS 之驗證即加以進行，無論從定性或定量都對 STEPS 模型進行驗證，在驗證之時，主要是採取 3 種方式進行：

1. 確認測試 (Verification tests)

基本之測試，保證軟體功能直如其所設計之初所設定之功能，同時可得到分析之解答，舉其例，如已訂定流率之規範，無論樓梯，空間，須在所預期之時間內完成空間之疏散。

2. 相關準則(code)之校估與驗證

STEPS 在相關之相同假設條件，其與 NFPA130 之計算比對結果，為相當接近之狀況，特別是均勻之行走速度，及不同之流率；尤其，STEPS 之模型建立是相當精細，且其假設條件基於 NFPA130 之假設條件所建立，STEPS 之模擬計算結果，其疏散時間較 NFPA130 所計算之時間為保守。

3. 全尺度之比對驗證

全尺度之比對驗證，基本上使用者都有相當之興趣，但基於缺少實際之數據。相關之測試數據，多是由疏散演習監測時得來，並進行相關之平行驗證；Mott MacDonald 公司亦與英國大學進行相關之研究。

Mott MacDonald 公司曾經在 2005 年，藉由英國 Stansted 機場之興建，於正常之運轉模式時，建立相關之模型並比較觀察實際週末之數據，比較之數據著重在不同之位置，相對之等待長度及期間；相關之結果顯示，觀察之數據與模型之計算結果相當的符合。

2006 年，英國 Network Rail 公司要求在正常情況，針對旅客在車站之移動進行仔細的驗證比對，此包含了模擬 Birmingham New Street 一個主要市中心車站之運作，期間涵蓋 3 小時之尖峰時間，並包含所有火車之移動，其模擬之結果與觀察之資料比對有相當之一致性。英國 Network Rail 公司對 STEPS 之模擬結果相當滿意，而 STEPS 也經由此次驗證獲得了第三者之認同。

3.4.2 相關之案例說明

3.4.2.1 車站內立即疏散及旅客動作模擬

1. 摘要

疏散的時候，疏散者之間及疏散者與環境之間互動複雜。本文係扼要敘述 STEPS 軟體之理念與方法，及使用 3 個案例解說。

2. 簡介

車站在規劃階段，設計者不但要知道車站日常運作情形，還要知道緊急情況之疏散。STEPS 可以自動計算這些疏散者之間及其與環境之間互動關係，還可以從電腦上觀察疏散過程。

3. STEPS

STEPS 可視為三部分：逃生路線網、行人模式的描述及人在路徑的運動行為。

(1)逃生路線網

車站可視為一個使用有方向性通道串連起來的開放空間，緊急逃生時，月台層與大廳層提供無數逃生路徑，而樓梯、電扶梯是有方向性的。STEPS 將他們區分為“平面”與“有方向性的通道”。大廳層可視為一個“平面”，表面下方假設有網狀格子，人們從網狀格子之節點踏過，由連接的圓弧規定人的運動方向，圓弧的長度最小設定為肩膀寬度。方向性通道指的是緊急逃生時的樓梯等。

(2)行人模式的描述

STEPS 由 2 個觀點來看旅客：旅客種類 (passenger type)、旅客群組 (passenger group)。每一類旅客都有不同的行走速度、不同的排隊耐心等級等，不同的旅客則組成旅客群組，其將放在指定位置，以開始模擬。

(3)人在逃生路徑的移動行為

疏散者的移動行為，依場所、個人的特性及路徑的設計決定。沿圓弧之行走速度係依場所及旅客種類所指定之速度。

如果場所為“平面”，乘客可根據評分選擇出口，選擇最低分之出口逃生。評分標準為：

- 1) 到出口距離最短。
- 2) 對出口熟悉度。
- 3) 出口是否擁擠。
- 4) 出口之寬窄。

4. 案例模擬

案例一：NFPA 130

本案例為高架島式月台，月台長 183m，月台層高出大廳層 9 m，月台層與大廳層之間有 4 個樓梯、2 個電扶梯，兩側 2 個緊急逃生樓梯可從月台層直至地面，大廳層有 4 個驗票閘門、1 個

服務閘門、2 個緊急出口，1 個電扶梯無法使用。月台層有 2,498 人，月台層最長路徑 41.45 m，大廳層最長路徑 16.46 m，樓梯、電扶梯、緊急逃生樓梯 LANES 數量為 3、2、2，驗票閘門、服務閘門、緊急出口 LANES 數量為 1、2、3。模擬結果：

- (1) 月台層疏散時間(秒): 3 分 28 秒
- (2) 車站疏散時間(秒): 4 分 17 秒

案例二：一個地下交會車站含 4 個月台

一列南向失火車輛進入4號月台，200名乘客下車，100名乘客等候疏散，另外3個月台不知道有火警。80秒後，另一列車進入3號月台，又帶來100名乘客。90秒後，700名乘客開始緊急疏散，但僅4號月台由通道往地面疏散。180秒後，全員疏散。

案例三：從隧道電聯車內逃生疏散

列車無論是內部或外部失火，乘客將由列車內部最後一節車廂疏散或由隧道邊之逃生走道疏散。當所有乘客疏散至列車最後一節車廂時，將隨列車員引導，由隧道邊逃生走道至安全出口。

發生火災時，啟動隧道排煙系統，乘客選擇與隧道排煙相反方向逃生。

以乘客逃生安全通道與消防人員進場全通道為主要逃生設計重點。

5. 模擬結果

- (1) 從上述三種模擬可知，STEPS之彈性及圖形動畫，可使用於各種車站之設計，並使相關設計變得輕鬆容易。
- (2) 可安排設定疏散時間，例如上述第二個模擬。
- (3) 可設計不同之乘客群體及行走速度。
- (4) CFD模擬結果及濃煙模擬也可加入STEPS，以模擬最壞情境。

3.4.2.2 預測疏散時間 — STEPS 逃生避難疏散軟體與 NFPA 130 之比較

1. 摘要

在一個建築物內疏散時，疏散者與建築物內環境互動複雜。STEPS是一種逃生避難疏散軟體，用來模擬及觀察人們從複雜建築物內(例如車站、展覽場所、摩天大樓、體育館)之疏散情形。本文將此種軟體模擬結果與普遍認同之國際標準計算結果相互比對。此國際標準即NFPA 130，其使用一種方法來評估車站疏散時間並提供2個案例。其疏散時間計算，係假設車站旅客數量、相同及保守之移動速度、每個出口的旅客負荷為均勻。利用NFPA 130兩個案例來比較STEPS軟體與NFPA 130兩者疏散時間預估結果。2者結果非常類似，差異在於STEPS模擬每個出口旅客負荷時並非均勻分布。

案例一：NFPA 130（島式月台）

月台層在大廳層之上，大廳層在地面，其他參數為：

- (1) 月台長183 m(捷運月台長約141m)。
- (2) 月台層高出大廳層9 m。
- (3) 月台層與大廳層之間有4個樓梯、2個電扶梯。
- (4) 2個緊急逃生樓梯可從月台層直至地面。
- (5) 電扶梯、緊急逃生樓梯、開門寬1.22m, 容量1.194 p/m/s。
- (6) 樓梯寬1.83m, 容量1.194 p/m/s。
- (7) 1個電扶梯無法使用。
- (8) 大廳層有4個驗票開門、1個服務開門。

- (9) 驗票閘門容量 50 ppm。
- (10) 2 個緊急出口可提供大廳層額外出口容量
- (11) 安全地點距車站出口 3.05 m
- (12) 水平行走速度 1.0 m/s
- (13) 旅客下電扶梯、樓梯垂直速度 0.305 m/s

模擬結果：

表3-5 NFPA 130 與 STEPS疏散時間比較(一)

疏散時間(秒)	
月台層	車站
NFPA 計算結果	
191 秒	240 秒
STEPS 之模擬結果	
212 秒	257 秒
差異 (STEPS 數值較保守)	
+11 %	+7 %

案例二：NFPA 130（側式月台）

大廳層則在地下一層，月台層在大廳層之下，其他參數為：

- (1) 月台長 183 m (捷運月台長約 141m)
- (2) 大廳層在地下 7.9 m
- (3) 月台層低於大廳層 5.5m
- (4) 每個月台層與大廳層之間有 2 個樓梯、1 個電扶梯
- (5) 4 個緊急逃生樓梯(每個月台層 2 個)可從月台層直至地面
- (6) 電扶梯、緊急逃生樓梯、閘門寬 1.22m, 容量 1.043 p/m/s
- (7) 樓梯寬 1.83m, 容量 1.043 p/m/s
- (8) 1 個大廳層至地面電扶梯無法使用
- (9) 大廳層有 2 排驗票閘門、每排 12 個驗票閘門、1 個服務閘門
- (10) 驗票閘門容量 25 ppm
- (11) 安全地點距車站出口 3.05 m
- (12) 水平行走速度 1.0 m/s
- (13) 旅客上電扶梯、樓梯垂直速度 0.254 m/s

模擬結果：

表3-6 NFPA 130 與 STEPS疏散時間比較(二)

疏散時間(秒)	
月台層	車站
NFPA 計算結果	
180 秒	306 秒
STEPS 之模擬結果	
181 秒	313 秒
差異 (STEPS 數值較保守)	
+0.6%	+2.3 %

3.4.2.3 預測疏散時間- STEPS 逃生避難疏散軟體與 NFPA 130-07 之比較

關於車站疏散時間計算，NFPA 130-2007 提供 2 個案例：

案例一：NFPA 130（高架島式月台）

圖 3.5，月台層在大廳層之上，大廳層則在地面，其他參數為：

- (1) 月台長 183m (捷運月台長約 141m)。
- (2) 月台層高出大廳層 9 m。
- (3) 月台層與大廳層之間有 4 個樓梯、2 個電扶梯。
- (4) 2 個緊急逃生樓梯可從月台層直至地面。
- (5) 電扶梯、緊急逃生樓梯寬 1.22m, 流量 0.925p/m/s。
- (6) 樓梯寬 1.83m,, 流量 0.925p/m/s。
- (7) 1 個電扶梯無法使用。
- (8) 大廳層有 4 個驗票閘門、1 個服務閘門。
- (9) 驗票閘門容量 50 ppm。
- (10) 2 個緊急出口可提供大廳層額外出口容量。
- (11) 安全地點距車站出口 3.05 m。
- (12) 水平行走速度 0.628m/s。
- (13) 旅客下電扶梯、樓梯垂直速度 0.243 m/s。

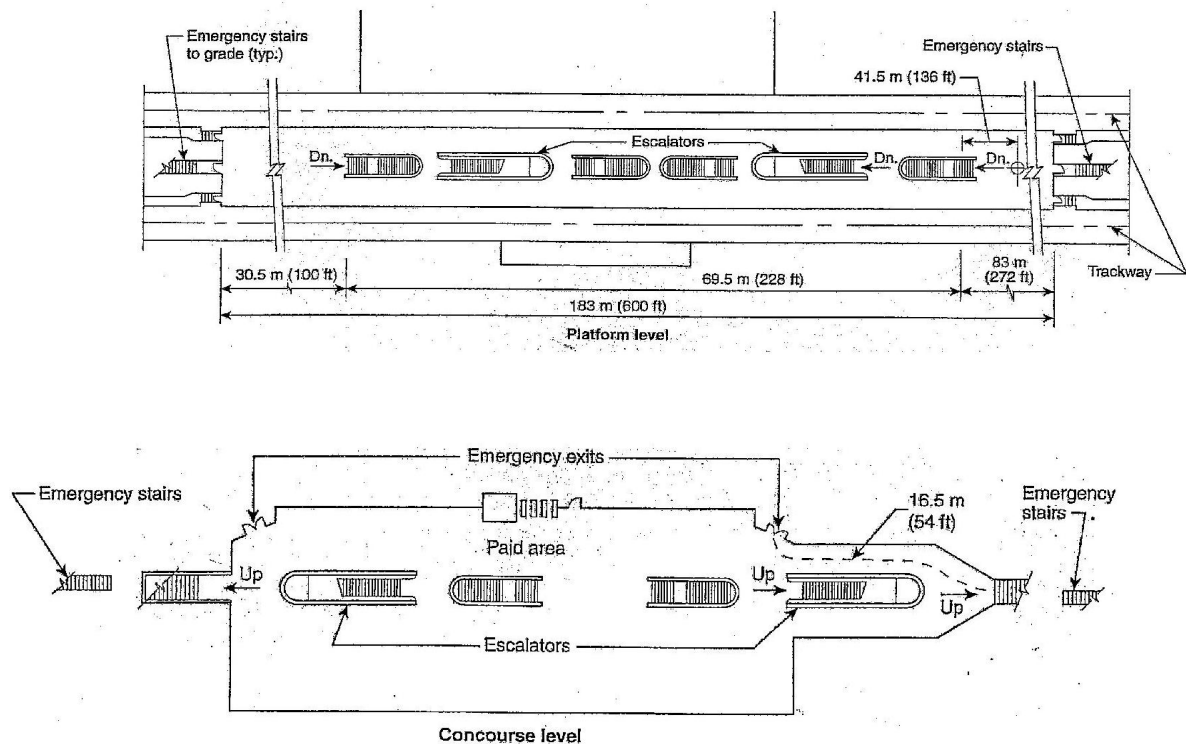


圖3.5案例 #1島式月台

表3-7 NFPA 130 與 STEPS疏散時間比較(三)

疏散時間(秒)	
月台層	車站
NFPA 計算結果	
228 秒	287 秒
STEPS 之模擬結果	
227 秒	278 秒
STEPS 標準設定模擬結果 (#2 電扶梯故障無法使用，詳圖 3.6)	
290 秒	308 秒
STEPS 標準設定模擬結果 (#5 電扶梯故障無法使用)※	
266 秒	297 秒

※ 因位置關係，由圖 3.6 可看出”#2 電扶梯無法使用”較”#5 電扶梯無法使用”影響乘客較大，疏散時間較長。

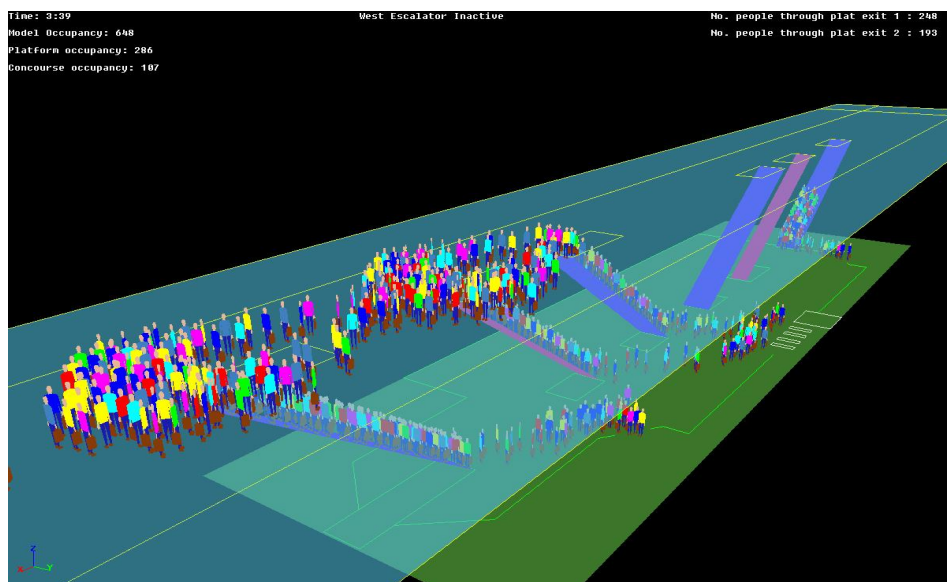


圖3.6 案例#1島式月台(#2電扶梯故障無法使用)

案例二：NFPA 130（地下側式月台）

圖 3.7，大廳層在地下一層，月台層則在大廳層之下，其他參數為：

- (1) 月台長 183m(捷運月台長約 141m)。
- (2) 大廳層在地下 8m。
- (3) 月台層低於大廳層 5.5m。
- (4) 每個月台層與大廳層之間有 2 個樓梯、1 個電扶梯。
- (5) 4 個緊急逃生樓梯(每個月台層兩側各一個)可從月台層直至地面。
- (6) 電扶梯、緊急逃生樓梯寬 1.22m, 流量 0.86p/m/s。
- (7) 樓梯寬 1.83m, 流量 0.86p/m/s。
- (8) 1 個大廳層至地面電扶梯無法使用。
- (9) 大廳層東西兩側各有一排驗票閘門、每排 12 個驗票閘門、1 個服務閘門。
- (10) 驗票閘門容量 25 ppm。

- (11) 安全地點距地面車站出口 3.05 m。
 (12) 水平行走速度 0.628m/s。
 (13) 旅客上電扶梯、樓梯垂直速度 0.202 m/s。

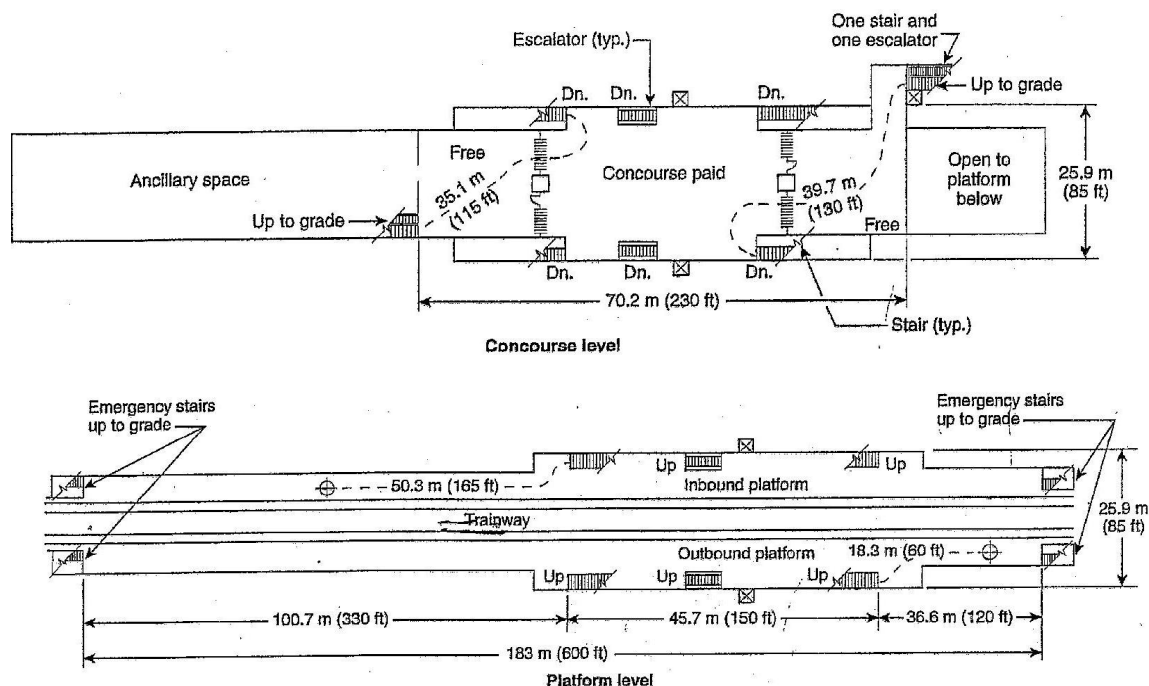


圖3.7 案例 #2 側式月台

表3-8 NFPA 130 與 STEPS疏散時間比較(四)

疏散時間(秒)	
月台層	車站
NFPA 計算結果	
203 秒	405 秒
STEPS 之模擬結果	
212 秒	411 秒

* 此模擬方式不再採用 NFPA”大廳層東西兩側通過驗票閘門乘客均分”方式(東西兩側皆為 534 人， $534 \times 2 = 1,068$ 人)；STEPS 東側採用 642 人、西側採用 426 人， $426 + 642 = 1,068$ 人)。

小結

NFPA130 -07 年版與 NFPA130 -03 年版之主要差異(如表 3-9)，諸如流率及步行速度都很明顯的降低。

表3-9 NFPA 130-03, 130-07參數比較表

出口種類	舊值(p/m/s) (NFPA130)	新值(p/m/s) (NFPA130-07)
NFPA 坡度 < 4%	1.49	1.365
NFPA 坡度 < 4% Up	1.04	0.86
NFPA 坡度 < 4% Down	1.19	0.925
NFPA 門 / 大門	1.49	1.365
步行速度	1.0 m/s	0.6 m/s

STEPS 在模擬時基本上已將這些因素考慮在內，同時在旅客出口之分區，也做了一些改變，以反映準則之假設條件。STEPS 之模擬結果與 NFPA130 -07 年版之結果相比較，無論基於類似之假設條件，或基於 STEPS 標準設定值之模擬結果，在假設條件理想化之情況，其結果都極其相近；STEPS 在使用上，較更接近實際之假設條件，所得出之模擬結果，很明顯的，其結果亦較保守。

利用 STEPS 軟體，將 STEPS 之模擬結果，直接與相關之車站空間設計進行 NFPA130- 07 準則之驗證，對驗證 STEPS 之有效性具有相當之保證。

3.5 軟體評估結論

SIMULEX 雖然是早期發展之產品，但其發展之進步有限，直到現階段，仍只能顯現基本之 2D 視像效果。若與現階段已發展之 3D 模擬情境的比較，已顯現 SIMULEX 研發之劣勢。同時，SIMULEX 無法將濃煙資料輸入模組模擬功能中，對模型之發展，顯示出有明顯之缺陷；另外，其對避難逃生路線之選擇，僅選擇距離而不考慮時間因素，亦忽略了擁塞因素所造成的影響。

STEPS 之主要特色具有一般正常狀況及緊急狀況時之使用功能，屬於一般旅客於車站進出時的模組模擬。SIMULEX 僅為一般之緊急逃生疏散軟體；而 STEPS 又能與 CFD 相結合，將 CFD 之濃霧之輸出檔案輸入 STEPS 中，並進行相關之避難逃生模擬；同時，STEPS 之 3D 模擬，更顯現其功能之優異性是無庸置疑的。

STEPS 包含永久的許可執照、日後之版本更新版本及售後諮詢等服務。基於本研究案之要求，相關之 CFD 與避難逃生疏散模擬軟體需合併結合作業，且 STEPS 之功能，在模型建立時較切合實際狀態，並考量在人群因素(Human Factor) 遠較 SIMULEX 完整，諸如輸入樓層配置平面圖，3D 模擬才能反應真實的實際狀況；有關人員特質考慮了排隊的耐性，移動速度，於選擇路線時特別加以考量；人員的避難逃生，非僅只考慮距離因素，當選擇逃生出口時，時間也是重要之因素；同時，STEPS 3D 模擬之視學動畫效果，功能優異是無庸置疑的。相關避難逃生疏散軟體之評估，研究團隊建議選擇 STEPS 避難逃生疏散軟體，並搭配 CFD 軟體共同使用。

第四章地下軌道交通設施防救災安全管理設計上考量因素

參考國內外捷運系統，地下軌道交通設施防救災安全管理於細部設計上應作整體之考量，且必須涵蓋下列因素：(1)預防機制、(2)緊急搶救機制、(3)檢討改善及回饋機制。

4.1 設計預防機制

設計階段時各設備應符合法規要求，設備製作時材料應有各項檢驗證明，測試時應符合設計要求：

- (1)儘量防止災害發生(不燃材料或耐燃材料，禁止攜入易燃物、危險物、禁止使用瓦斯等)。
- (2)災害初期階段之感知(光電式煙霧感知器、補償式溫度感知器、熱線式感知器、閉路電視等)。
- (3)人員迅速避難(逃生梯、安全門、避難方向指示等設施)。
- (4)抑制災害擴大(防火區劃、防煙區劃等)。
- (5)消防設備(各種滅火設備、排煙設備等)。

4.1.1 設計通則

一般注意事項：

1. 本章所稱之隧道指地底開鑿供鐵路列車行駛之通道。
2. 本章所稱之地下場站係指月台層位於地下之鐵路場站，包括地下月台區、軌道區、穿堂層及其他允許乘客到達之地下空間。
3. 火災安全應藉由整合防火設施、消防設備等各項軟硬體，並透過良好之訓練管理，以達到有效維護乘客之生命安全。
4. 隧道及地下場站應有乘客逃生避難之設計，以使乘客於火災發生時，可逃離事故現場至安全場所。
5. 隧道及地下場站之結構及使用之材料，應有耐火或耐燃之設計。
6. 隧道及地下場站之設備不得使用瓦斯等可燃性氣體為能源，且不得容許瓦斯管線通過或穿越。
7. 由防火設施及消防設備所構成之消防設施，其系統性能應具穩定性及可操作性，並能適時動作及持續操作，有效減少危害發生及影響。
8. 本章消防設施之設計乃以單一起火源為基準。
9. 既存鐵路隧道及地下場站於擴建、改建、遷移及變更時，其消防設備應比照「各類場所消防安全設備設置標準」^[37]第 13 條之原則辦理。

4.1.2 地下場站設備設計設置原則

4.1.2.1 地下場站防火設施

(由交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)摘錄：以下稱為本規範)

1. 不同鐵路運輸系統地下場站共構時，除依本規範^[38]3.1 之規定外，應進行共構防火避難性能設計計畫。
2. 不同鐵路運輸系統地下場站間應以無開口且具有 2 小時以上防火時效之牆壁及樓地板區劃分隔；或以緩衝區連接，且緩衝區符合建築技術規則設計施工編第 181 條及本規範^[38]3.1.6 之規定者，得視為他棟建築物，分別適用本規範^[38]3.2 及 3.3 之規定。

3. 地下場站與地下相關建築物毗鄰時，除以緩衝區連接外，兩者應以無開口且具有 2 小時以上防火時效之牆壁及樓地板區劃分隔。
4. 地下場站「防火避難性能設計計畫書」經中央建築主管機關認可者，得不適用本規範^[38]3.2 及 3.3 一部或全部之規定。
5. 地下場站之主結構應具有 3 小時以上防火時效，樓地板應具有 2 小時防火時效。
6. 連接地下場站之緩衝區，其牆壁、防火門窗等防火設施及該層防火構造之樓地板應具有 2 小時以上防火時效。
7. 安全梯之樓梯間、緊急昇降機間、垂直貫穿樓板之管道間及其他類似部分，應以具有 2 小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設施形成區劃分隔，防火門窗並應具有 1 小時以上之遮煙性。前述管道間之維修門應具有 1 小時以上防火時效及遮煙性。
8. 地下場站之公共區域與非公共區域間應以 2 小時以上防火時效之牆壁與該分界處之樓地板形成區劃分隔，其開口應裝設具有 2 小時以上防火時效之防火門窗等防火設施，防火門窗等防火設施並應具有 1 小時以上之阻熱性及遮煙性。
9. 地下場站之非公共區域其防火區劃之樓地板面積不得超過 1,000 平方公尺。
10. 防火區劃以具有 2 小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設施及該處之樓地板形成區劃分隔。
11. 地下場站穿堂大廳及月台部分設置之商店應以 2 小時以上防火時效之牆壁與該處之樓地板形成獨立之區劃分隔，其開口應裝設具有 2 小時以上防火時效之防火門窗等防火設施，防火門窗等防火設施並應具有 1 小時以上阻熱性及遮煙性。
12. 變電站及其附屬機房應以 3 小時以上防火時效之牆壁與該處之樓地板形成獨立之區劃分隔，其開口應裝設具有 3 小時以上防火時效之防火門窗等防火設施，防火門窗等防火設施並應具有 1 小時以上阻熱性及遮煙性。
13. 地下場站之防災中心及其附屬機房應以 2 小時以上防火時效之牆壁與該處之樓地板形成獨立之區劃分隔，其開口應裝設具有 2 小時以上防火時效之防火門窗等防火設施，防火門窗等防火設施並應具有 1 小時以上阻熱性及遮煙性。
14. 一般設備機房應以 2 小時以上防火時效之牆壁與該處之樓地板形成獨立之區劃分隔，其開口應裝設具有 2 小時以上防火時效之防火門窗等防火設施，防火門窗等防火設施並應具有 1 小時以上阻熱性及遮煙性。
15. 垃圾處理室應以 1 小時以上防火時效之牆壁與該處之樓地板形成獨立之區劃分隔，其開口應裝設具有 1 小時以上防火時效之防火門窗等防火設施。
16. 貫穿防火區劃牆壁或樓地板之風管，應於貫穿部位任一側風管內裝設具有 2 小時以上防火時效之防火閘門或防火閘板，但風管本身具有 2 小時以上防火時效者，不在此限。前述風管與貫穿部位填塞合成之構造，應具有 2 小時以上之防火時效。
17. 貫穿防火區劃牆壁或樓地板之電力管線、通訊管線及給排水管線或管線匣，與貫穿部位填塞合成之構造，應具有與貫穿部位之牆壁或樓地板相同之防火時效。
18. 地下場站牆面、天花板及地坪之裝修材料應以不燃材料（耐燃一級材料）為限。

19. 地下場站內部裝修裝設之廣告物材料應以防焰材料為限。
20. 構造物之耐火性能應符合 CNS 12514、CNS 11227 及 CNS 14514 之標準或具同等以上性能。耐燃材料應符合 CNS 6532 標準或具同等以上性能。防焰材料得參照內政部「防焰性能試驗基準」之規定。

4.1.2.2 地下場站避難設施

(由交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)摘錄)

1. 地下場站避難安全性能驗證應滿足以下之基準：
自地下多層場站之最低層月台，必須在 4 分鐘內將乘客疏散至逃生口，然後其上每增加一層得增加 2 分鐘之疏散時間，最後疏散至避難層或安全地點。
2. 地下場站應檢具避難安全性能驗證計算書，經中央建築主管機關認可。
3. 地下場站於避難層或地面層以上設有供公眾使用之公共區域，且其樓地板面積超過 500 平方公尺者，其開向屋外之出入口總寬度在避難層供公眾使用之樓地板面積每增加 100 平方公尺增加寬度 36 公分之計算值以上。前述每處出入口之寬度在 2 公尺以上。
4. 地下場站，應有直通樓梯到避難層或其出入口直接開向道路；避難層應於適當位置，開設 2 處以上不同方向之出入口直接通向道路。
5. 直通樓梯於避難層開向屋外之出入口，寬度應在 1.2 公尺以上，高度應在 1.8 公尺以上。
6. 地下場站公共區域之走廊寬度應在 1.8 公尺以上，非公共區域之走廊兩側有居室者，其寬度應在 1.6 公尺以上；其他走廊寬度應在 1.2 公尺以上。
7. 地下場站之走廊坡度不得大於 4%。
8. 地下場站自避難層以外之各樓層均應設置 2 座以上直通樓梯(包括坡道)通達避難層或地面。
9. 地下場站各樓層自樓面居室任一點至直通樓梯之步行距離應在 30 公尺以下。月台到避難出口所需之最大步行距離應在 90 公尺以下。
10. 地下場站之深度在 15 公尺以上或樓層數為地下 3 層以上者，至少應有 2 座以上之直通樓梯為特別安全梯。地下場站之深度在 10 公尺以上，未達 15 公尺或樓層為地下 2 層者，至少應有 2 座以上之直通樓梯為室內安全梯。
11. 直通樓梯之寬度應在 1.8 公尺以上，但如設有緊急昇降機或其他消防救災通道時，寬度得在 1.4 公尺以上。以坡道代替直通樓梯者，其坡度應在 4 % 以下，寬度應在 1.8 公尺以上。

4.1.2.3 地下場站滅火設備

(由交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)摘錄)

1. 地下場站之自動滅火設備應考慮封閉空間之特性優先選用適當及潔淨藥劑之滅火設備，惟不得使用二氧化碳滅火設備及移動式滅火設備。
2. 滅火器應符合審核認可基準規定，並依下列規定設置：
 - (1) 地下場站樓地板面積每 100 平方公尺(含未滿)應有 1 單位以上之滅火效能值。

- (2) 其他應符合各類場所消防安全設備設置標準^[37]（以下簡稱設置標準）^[37]第 31 條規定。
- 3. 室內消防栓設備之水源容量應依下列規定設置：
 - (1) 室內消防栓水源得與本規範^[38]3.3.1 所列其他滅火設備水源併設，但其總容量應在各滅火設備應設水量之合計以上。
 - (2) 其他應符合設置標準^[37]第 36 條規定。
- 4. 依本規範^[38]3.3.3 設置之水源，應連結加壓送水裝置，並符合設置標準^[37]第 42 條規定。
- 5. 依本規範^[38]3.3.4 設置之加壓送水裝置除重力水箱外，應依下列規定設置：
 - (1) 應設在便於檢修，且無受火災、爆炸等災害損害之處所；設於屋外時應不得受積水及雨水之侵襲或採同等之防水措施。
 - (2) 使用消防幫浦之加壓送水裝置，應以具 2 小時以上防火時效之牆壁、樓地板及防火門窗等防火設施區劃分隔。
 - (3) 以減壓自動啟動之方式，應於消防栓控制盤設手動停止裝置，並得設自動停止裝置。
 - (4) 以手動啟動之方式，應於每一室內消防栓箱上設手動啟動裝置，其停止僅限於消防栓控制盤以手動停止裝置操作。
 - (5) 應採取有效之防震措施。
 - (6) 加壓送水裝置與其他水系統滅火設備共用時，其出水量應為各系統之合計，揚程或壓力應取各滅火設備所需值之最大者，並應加設同等能力之加壓送水裝置備用。
- 6. 室內消防栓設備之緊急電源，應符合設置標準^[37]第 38 條規定。
- 7. 室內消防栓設備之配管、配件及頂層水箱應依下列規定設置：
 - (1) 配管部分：
 - A. 立管應連接頂層水箱，使配管平時充滿水，但若採有效措施，能使加壓送水裝置不致因配管失水致蓄積空氣而頻繁啟動者不在此限。
 - B. 水平主幹管應於每 20 公尺以明顯之方式標示水流方向及配管名稱。
 - C. 埋設於地下之配管應採有效之防蝕措施。
 - (2) 配件：
 - A. 止水閥應設於方便操作處，並應以明顯之方式標示開/關之狀態及方向，逆止閥應標示水流之方向。
 - B. 於建築結構伸縮縫或水平管路達 100 公尺以上者，應設伸縮接頭。
 - C. 配管之吊架不得與電力配線共用。
 - (3) 其他應符合設置標準^[37]第 32 條及第 33 條之規定。
- 8. 地下場站應設置室內消防栓設備，並依下列規定設置：
 - (1) 應設室內消防栓設備之場所，依本規範^[38]設有自動撒水、水霧、潔淨藥劑及其他自動滅火設備者，在該有效範圍內（該有效範圍外之樓梯間、走廊，得以補助撒水栓防護之），得免設室內消防栓設備。
 - (2) 消防栓開關距樓地板之高度，在 0.3 公尺以上 1.5 公尺以下，與出水口並設時，間距應為 40 公分以上且不得有使用之障礙。

- (3) 其他應符合設置標準^[37]第 34 條及 37 條之規定。
9. 室內消防栓箱，應符合下列規定：
- (1) 室內消防栓箱上方應有紅色啟動表示燈，箱體應為不燃材料製造，其顏色形狀得配合場所特性設置，壁掛式之消防栓箱，其箱身厚度應採用 1.6 公厘以上之鋼板或具同等性能以上之不燃材料者。
- (2) 箱面應有明顯而不易脫落之「消防栓」字樣，每字在 20 平方公分以上，箱面或箱內板應有圖面及文字標示之操作說明。
- (3) 其他應符合設置標準^[37]第 35 條規定。
10. 自動撒水設備應依下列不同用途空間設置：
- (1) 除軌道區及月台外，未設自動滅火設備之車站商業用途區、維修保養區、垃圾室、儲藏區、機房區通道、職員室等均應設置自動撒水設備，但依本規範^[38]3.3.21 之規定或中央消防主管機關認可之場所得免設。
- (2) 驗票閘門外之公共區與商店均應設置自動撒水設備，但月台及穿堂公共區與月台同一層（即驗票閘門以內）得免設。
11. 自動撒水設備，應依其場所特性就撒水系統之性能選擇設置。
12. 自動撒水設備之水源容量，應依設置標準^[37]第 57 條地下建築物之規定計算，但連續放水須能維持 20 分鐘以上。
13. 依本規範^[38]3.3.12 設置之水源應連結加壓送水裝置，並應符合設置標準第 58 條規定擇一設置，其加壓送水裝置除應準用本規範^[38]3.3.4 規定外，撒水頭放水壓力應在每平方公分 10 公斤以下或 1 MPa 以下；與其他滅火設備共用加壓送水裝置者，應符合本規範^[38]3.3.5 (6) 之規定。
14. 自動撒水設備之緊急電源，應依本規範^[38]3.3.6 規定設置。
15. 自動撒水之送水口，應依各類場所消防安全設備設置標準^[37]第 59 條規定設置。
16. 自動撒水設備之配管、配件及頂層水箱，除準用本規範^[38]第 3.3.7 條之規定外，依下列規定設置：
- (1) 預動式之流水檢知裝置二次側配管，應依下列規定裝置：
- A. 支管之傾斜應在千分之四以上；主管之傾斜應在千分之二以上。
- B. 應於明顯易見處設排水閥，並標明「排水閥」字樣。
- (2) 其他應符合設置標準^[37]第 44 條之規定。
17. 自動撒水設備應裝置適當之流水檢知裝置，該流水檢知裝置應符合「流水檢知裝置認可標準」及「設置標準」^[37]之規定。
18. 開放式自動撒水設備之自動及手動啟動裝置，依下列規定設置。
- (1) 自動啟動裝置應符合下列規定：
- A. 感知撒水頭限裝設於裝置面距樓地板面高度 5 公尺以下，高度超過 5 公尺應使用探測器。感知撒水頭或探測器動作後，應能啟動一齊開放閥及加壓送水裝置。
- B. 探測器應使用定溫式一種或二種，但高度超過 8 公尺以上者應依設置標準^[37]規定設置，每一放水區域至少 1 個。
- C. 其他應符合設置標準^[37]第 52 條之規定。
- (2) 手動啟動裝置，應符合下列規定：手動啟動開關應有明顯之顏色或標示，區分所屬之放水區域。

- (3) 其他應符合設置標準^[37]第 53 條之規定。
- 19. 放水型自動撒水設備之設置應符合設置標準^[37]之規定。
- 20. 開放式自動撒水設備之一齊開放閥應依各類場所消防安全設備設置標準^[37]第 53 條規定設置。
- 21. 符合設置標準^[37]第 49 條規定或設有潔淨藥劑、其他自動滅火設備者，在該有效範圍內得免設自動撒水設備。
- 22. 使用密閉式撒水頭之自動撒水設備配管末端之查驗閥，應依設置標準^[37]第 56 條規定設置。
- 23. 水霧滅火設備之緊急電源、配管、配件、頂層水箱、竣工時之加壓送水試驗、流水檢知裝置、啟動裝置及一齊開放閥準用本規範^[38]3.3.5 與 3.3.16 之規定設置。
- 24. 水霧送水口應依設置標準^[37]第 67 條規定設置。
- 25. 細水霧及潔淨藥劑滅火設備應取得中央消防主管機關之審核認可。

4.1.2.4 地下場站警報設備

(由交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)摘錄)

- 1. 地下場站警報設備種類如下：
 - (1) 火警自動警報設備。
 - (2) 手動報警設備。
 - (3) 緊急廣播設備。
- 2. 地下場站應設火警自動警報設備，並應符合設置標準^[37]第 112 條、第 114 條至第 127 條之規定。
- 3. 地下場站之火警自動警報設備鳴動方式，應使用全區鳴動之方式，必要時得採指定樓層鳴動。
- 4. 火警自動警報設備之緊急電源，應使用蓄電池設備或不斷電系統設備(UPS)，其容量能使其有效動作 10 分鐘以上。

4.1.2.5 地下場站手動警報設備

- 1. 手動報警設備應依設置標準^[37]第 129 條至第 132 條之規定設置，且自火警分區內任一點至火警發信機之步行距離在 50 公尺以下。

4.1.2.6 緊急廣播設備

- 1. 裝設緊急廣播設備之地下場站，應依設置標準^[37]第 133 條至第 139 條之規定設置。

4.1.2.7 地下場站之排煙設備

(由交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)摘錄)

- 1. 地下場站若無法依設置標準設置排煙設備時應進行煙控模擬，其防煙設施及排煙設備依煙控模擬之結果設置，但應經模擬驗證合格。
- 2. 煙控模擬時，所要求之防煙設施及排煙設備於火災事故時須能保護乘客、員工及事故處理人員不受火及煙之危害。
- 3. 煙控模擬時，需考慮下列事項：
 - (1) 因該用途車廂之可燃性物質或其他可燃性物質引起之熱釋放率。
 - (2) 火災成長率。
 - (3) 車站與軌道空間之幾何配置。

- (4) 中央監控室能在火警初期及時做出反應之緊急應變計劃。
4. 防煙設施及排煙設備之設計應符合下列要求：
- (1) 為發生火災之地下場站，提供一安全環境的避難通道。
- (2) 能在 180 秒內達到完全模式運轉。
5. 特別安全梯或緊急昇降機間之排煙設備應依設置標準^[37]第 189 條規定設置。
6. 特別安全梯或緊急昇降機間內設計壓力煙控系統，並提供緊急運轉模式下有效壓力數據佐證者，得不受本規範^[38] 3.9.5 之限制。排煙設備之通風井應符合下列規定：
- (1) 穿過地面和用於火災中的進排氣井，應置於適當位置或預防煙回流經由地面開口部流入。
- (2) 進氣孔與排氣孔相反方向之夾角應在 15°以上，若介於 15°至 60°之間時，2 孔之間距須大於 2 公尺以上。
- (3) 若無法達到(1)之要求，地面開口應具防止煙回流措施。
- (4) 應考慮鄰近構造物及住宅的使用。
7. 下列處所得免設排煙設備：
- (1) 設有潔淨藥劑自動滅火設備之場所。
- (2) 其他應符合設置標準^[37]第 190 條之規定。
8. 火災緊急情況之排煙設備需具備進氣或排氣其中之一種模式。個別的排煙風機需設計能於 30 秒內由靜止狀態達到全速運轉；若為變速馬達，則不能超過 60 秒。
9. 排煙設備風機組、馬達組及其他相關零件暴露在排煙模式之氣流中時，其設計需能於周圍溫度 250°C 下運作至少 1 小時。
10. 現場馬達啟動器及相關控制元件應儘可能遠離風扇主要氣流。該緊急排煙系統之馬達控制元件不得裝設過熱保護裝置。
11. 與乘客及員工舒適度有關之風機組（空調設備）及其他非緊急排煙設備之風扇，應於火警事故初期自動關機，以免與緊急排煙氣流衝突、抵消。不會與緊急排煙系統氣流衝突之其他通風系統應可允許繼續動作，但需經驗證。
12. 有關排煙設備及其附屬裝置設備在構造上，應能承受列車和煙控氣流的反覆及加壓作用。
13. 排煙設備之控制及操作，應符合下列規定：
- (1) 各項緊急排煙之細部設備應可用遙控之方式於防災中心或其他適當地點進行操作及動作顯示。
- (2) 在防災中心操作無效下，應能就地繼續操作緊急排煙系統。
14. 排煙設備應連接**緊急電源**，其**供電容量應供其有效動作 40 分鐘以上**。
15. 排煙風機組及其附屬設備之導線應有耐燃及防止火災損害之設計，可藉由將之埋入、包覆或置於適當位置來達成。

4.1.2.8 緊急電源

(由交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)摘錄)

1. 依設置標準規定應設置緊急電源之設備，其緊急電源得使用緊急發電機設備或蓄電池設備，其供電容量應供其有效動作並符合上述條文之規定。若地下

場站或隧道之第二電源來自於場站外不同變電站時，得取代緊急發電機設備之功能。

4.1.3 隧道設備設計設置原則

4.1.3.1 隧道防火設施

(由交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)摘錄)

1. 都市計畫區域之鐵路隧道結構應使用不燃材料構材，非結構及設施部分應使用耐燃二級以上之構材，除照明燈具外，配電盤、控制盤、緊急電話及插座等設備部分應使用不燃材料包覆，其佈設之電纜線除緊急供電線路應採耐燃保護外，其餘得採低煙無毒耐熱電纜敷設。隧道內不得存放可燃性物質，若有裝修須採用不燃材料。
2. 隧道之主要構造應具有 2 小時以上防火時效，並應符合 CNS 12514 標準或具同等以上性能。

4.1.3.2 隧道避難設施

1. 鐵路隧道之避難設施應以不燃材料建構，且應具防滑設計。
2. 緊急出口之數量及位置在無開口隧道時，每個出口最大間隔不得大於 760 公尺。若無法依規定設置，經中央目的事業主管機關認可同意，不在此限。
3. 在雙孔隧道或者具 2 小時防火分隔區劃的隧道，橫坑得做為緊急出口使用，但應符合下列規定：
 - (1) 每個橫坑間距在 400 公尺以下。
 - (2) 在開口處有 2 小時防火時效可自動閉鎖的門或開口。
 - (3) 橫坑應能避免緊急情況時受危害，且能利於避難時使用。
4. 除了橫坑的門之外，避難路徑的門應開向避難的方向並符合下列規範：
 - (1). 開門之力應在 25 公斤力以下。
 - (2). 能抵抗由列車所造成各種氣壓。
5. 避難設施或鄰接於軌道的步道從步道面計算空間寬度在 60 公分以上。

4.1.3.3 隧道滅火設備

1. 隧道內滅火設備種類如下：
 - (1) 滅火器。
 - (2) 消防栓。
 - (3) 自動滅火設備。
2. 機房及隧道內應設置滅火器。
 - (1) 機房內之滅火器依本規範^[38]3.3.2 規定設置。
 - (2) 隧道內之滅火器應符合滅火器認可基準規定，並依下列規定設置：
 - A. 應使用 20 型 ABC 乾粉滅火器(滅火效能值 A-5,B-16,C)。
 - B. 滅火器應置於滅火器箱中，設置間隔以不超過 50 公尺為原則，隧道口、緊急出口與橫坑口應優先或加強設置。但設有消防栓箱之隧道，得與消防栓箱併設。

- C. 固定放置於取用方便之明顯處所，並設有長邊 24 公分以上，短邊 8 公分，以紅底白字標明滅火器字樣之標識。
 - D. 懸掛於牆上或放置滅火器箱中之滅火器，其上端與地板面之距離，18 公斤以上者在 1 公尺以下，未滿 18 公斤者在 1.5 公尺以下。
- 3. 隧道消防設備之水源容量，在所有消防栓連續放水 40 分鐘之水量以上，但全部消防栓數量超過 3 支時，以 3 支計算之。
- 4. 該水源之計算以儲水槽之實際有效深度為有效水位，並在實際深度之 80% 以下。
- 5. 隧道四周 50 公尺內無室外消防栓或有效水源者，水源容量需加倍計算。
- 6. 消防用水與普通用水合併使用者，應採取必要措施，確保水源容量在有效水量範圍內。
- 7. 依本規範^[38]4.3.3 至 4.3.6 設置之水源，應連結加壓送水裝置，並依下列擇一設置：
 - (1) 重力水箱，應符合下列規定：
 - A. 應有水位計、排水管、溢水用排水管、補給水管及人孔之裝置。
 - B. 水箱必要落差在下列計算值以上：

$$\text{必要落差} = \text{消防水帶摩擦損失水頭} + \text{配管摩擦損失水頭} + 25$$
 (計算單位：公尺)

$$H = h_1 + h_2 + 25\text{m}$$
 - (2) 壓力水箱，應符合下列規定：
 - A. 應有壓力表、水位計、排水管、補給水管、給氣管、空氣壓縮機及人孔之裝置。
 - B. 水箱內空氣在水箱容積之 1/3 以上，壓力在使用建築物最遠處之消防栓維持規定放水水壓所需壓力以上。當水箱內壓力及液面減低時，能自動補充加壓。空氣壓縮機及加壓幫浦，應與緊急電源相連接。
 - C. 水箱必要壓力在下列計算值以上：

$$\text{必要壓力} = \text{消防水帶摩擦損失水頭} + \text{配管摩擦損失水頭} + \text{落差} + 2.5$$
 (計算單位：公斤／平方公分)
 - (3) 消防幫浦，應符合下列規定：
 - A. 幫浦出水量，1 支消防栓至少每分鐘 400 公升。但全部消防栓數量超過 2 支時，以 2 支計算之。
 - B. 幫浦全揚程在下列計算值以上：

$$\text{幫浦全揚程} = \text{消防水帶摩擦損失水頭} + \text{配管摩擦損失水頭} + \text{落差} + 25$$
 (計算單位：公尺)

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + 25\text{m}$$
 - C. 應為專用。但與其他滅火設備並用，無妨礙各設備之性能時，不在此限。
 - D. 應連接緊急電源。
 - (4) 前列(3)加壓送水裝置除採重力水箱外，準用本規範^[38]3.3.4 規定，並以自動啟動之方式，或於水帶箱設手動啟動裝置，其停止僅限於消防栓控制盤以手動停止裝置操作，與其他滅火設備

兼用加壓送水裝置時，應符合本規範^[38]3.3.4之規定。

8. 依設置標準^[37]設置所需之緊急電源，比照本規範^[38]3.10之規定辦理。

9. 消防栓之配管及配件依下列規定設置：

(1) 配管部分：

A. 消防管得採乾式或濕式配管，其管徑至少應在 100 公厘以上。

B. 消防管應有明顯、耐久且易於識別的數字和符號或直接以紅色油漆標示。

(2) 配件：

A. 於隧道結構伸縮縫或水平管路達 100 公尺以上者，應設伸縮接頭。

B. 配管之吊架不得與電力配管線共用。

(3) 其他應符合設置標準^[37]第 32、33 條規定。

10. 隧道應設置隧道消防栓，並依下列規定設置：

(1) 消防栓應設置於隧道二側，採交錯方式排列，每一消防栓間距在 50 公尺以下，緊急出口及場站兩端隧道層出入口應設有水帶箱。

(2) 全部消防栓同時使用時，各消防栓瞄子放水壓力在每平方公分 2.5 公斤以上或 0.25 MPa 以上，出水量在每分鐘 350 公升以上。

(3) 水帶箱內，應配置口徑 65 公厘及長 30 公尺水帶 2 條及直線噴霧兩用型瞄子 1 具。

(4) 消防栓放水壓力超過每平方公分 7 公斤或 0.7 MPa 時，應採取有效之減壓措施。

11. 應於緊急出口之適當位置設置消防栓送水口。其裝置應在隧道上方或外側之地面，靠近道路易於接近處。並符合下列規定：

(1) 消防送水口應為雙口形，接裝口徑 65 公厘陰式快速接頭，距隧道口地面之高度在 0.5 公尺以上，1 公尺以下，且應標明「消防送水口」字樣。

(2) 消防送水口應在其附近便於檢查確認處，裝設逆止閥及止水閥。逆止閥與送水口間及乾式立管底部應設有排水閥。

12. 隧道內之變電站或機房應依本規範^[38]第 3.3.1 條設置自動滅火設備。其裝置應符合本規範規定。

4.1.3.4 隧道機房

1. 隧道內之機房應比照本規範^[38]第三章地下場站之相關規定設置消防安全設備。

4.2 設計緊急搶救機制

4.2.1 地下場站設備設計設置原則

4.2.2.1 地下場站避難逃生設備^[38]

(由交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)摘錄)

1. 地下場站避難逃生設備如下：

(1) 避難梯。

(2) 其他應符合設置標準^[37]第 10 條規定。

安全梯之數量及位置符合本規範^[38]3.2.1 規定者，得免設避難梯。

2. 出口標示燈應設於符合設置標準^[37]第 147 條規定出入口之上方，但因樑或天花板過低無法設於門上方時，得設於出入口旁距地板面高度 1.5 公尺以上之位置，設具有方向標示之出口標示燈。
3. 出口標示燈依下列規定設置：
 - (1) 應保持不熄滅，其亮度在地下場站內走道應在 1 勒克司(Lux)以上。
 - (2) 設於地下場站中有視障或聽障人員出入之場所，其設置處不易辨識者，得附有點滅裝置及語音引導之功能。
 - (3) 出口標示燈有效範圍內不得為 40 公分以上之樑、風管及不具透視性之防煙垂壁或高度 150 公分以上之屏風等障礙物掩蔽。
 - (4) 其他應符合設置標準規定。
4. 地下場站應使用大型出口標示燈，其標示面尺寸應符合各類場所消防安全設備設置標準規定。
5. 避難方向指示燈應裝設於地下場站之月台、走廊及通道，並符合下列規定：
 - (1) 應裝設於地板面上，除設置面之地板與避難通道有高低差無法有效指引時，得距樓地板面 1 公尺以下。
 - (2) 自走廊或通道任一點至避難方向指示燈之步行距離在 10 公尺以下。應優先設置於走廊或通道之轉彎處，設置位置不得妨礙通行，且其周圍不得設有影響視線之裝潢及廣告招牌，設於地板面之指示燈，應為防水型並具有不因荷重而破壞之強度。
 - (3) 地下場站應考量避難弱者需求，適度增設附有點滅裝置及語音引導之功能。
 - (4) 其他應符合設置標準規定。
6. 避難方向指示燈應保持不熄滅，樓地板面及路面之各主要部分，其照度應達 1 勒克斯(Lux)以上。
7. 避難方向指示燈之標示面尺寸應符合設置標準大型避難方向指示燈之規定。
8. 標示設備得採用中央消防主管機關認可之蓄光型標示，並依下列規定設置：
 - (1) 蓄光型標示應設於自乘客避難部分(但設在室內之避難設施除外)之任一點距其中一個標示設備之步行距離 50 公尺以內之處所或轉角處之有效避難處所。
 - (2) 周圍不得設有遮蔽或混淆之廣告物或張貼物等。
9. 地下場站的出口標示燈及避難方向指示燈之緊急電源應符合設置標準^[37]第 155 條之規定。
10. 出口標示燈及避難方向指示燈之配線，應依各類場所消防安全設備設置標準^[37]第 156 條規定設置。
11. 避難指標之設置應符合各類場所消防安全設備設置標準^[37]第 153 條及第 154 條之規定設置。
12. 緊急照明設備應依下列規定設置：
 - (1) 蓄電池集中設置型應符合下列規定：
 - A. 蓄電池室應以防火區劃區隔，充放電時有發散可燃氣之虞者，應有適當之防爆或通風措施。

- B. 其他應符合設置標準^[37]第 175 條規定。
- (2) 內置蓄電池型除符合前列(1) A.至 B.之規定外並應符合 CNS 8802 之規定。
- 13. 緊急照明設備之配線，依下列規定：
 - (1) 蓄電池集中設置型應符合設置標準^[37]第 176 條規定。
 - (2) 內置蓄電池型不得與緊急供電之迴路連接，以確保火災時能藉由供電迴路之斷電而點燈。
- 14. 緊急照明設備之緊急電源應依下列規定設置：
 - (1) 應使用蓄電池或不斷電系統（UPS）設備。
 - (2) 容量應能使其持續動作 60 分鐘以上，20 分鐘以後之容量得以緊急發電機供應。
- 15. 地下場站緊急照明燈之照度，應符合下列規定，但無礙於人員避難逃生之牆柱角落不在此限：
 - (1) 應以等照度曲線核算在 10 勒克斯(Lux)以上，且通道曲折處，應另增設緊急照明燈。
 - (2) 前列(1)照度之計算在使用日光燈具時應加倍計算。

4.2.2.2 消防搶救上之必要設備

(由交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)摘錄)

- 1. 地下場站消防搶救上之必要設備應符合設置標準^[37]第 180 條至 192 條規定。
- 2. 出水口及送水口，依下列規定設置：
 - (1) 地下場站之月台、穿堂及通道等滅火活動必要之處所應設有連結送水管之出水口。
 - (2) 在連結送水管管線末端之適當位置至少應設置 1 只測試用出水口。
 - (3) 逆止閥與送水口間及乾式立管底部應設有排水閥。
 - (4) 其他應符合設置標準^[37]第 180 條規定。
- 3. 緊急升降機間應設有出水口，但符合本規範^[38] 3.8.2 規定 5 公尺以內之處所者，機間內得免設置。
- 4. 配管應依設置標準^[37]第 181 條規定設置。
- 5. 送水設計壓力，應依設置標準^[37]第 184 條規定設置。
- 6. 消防專用蓄水池之標示，應依設置標準^[37]第 187 條規定設置。
- 7. 地下場站應設有無線電通信輔助設備，其設置應符合設置標準^[37]第 192 條之規定。

4.2.2 隧道設備設計設置原則

4.2.2.1 隧道避難逃生設備

- 1. 隧道內之避難逃生設備如下：
 - (1) 標示設備。
 - (2) 緊急照明設備。
- 2. 出口標示燈應設於緊急出口防火門之上方及橫坑入口旁側壁上，並應依設置標準^[37]之規定設置，且應採中型以上之標示面。
- 3. 出口位置指標依下列規定設置：

- (1) 設置間隔為隧道內每 25 公尺以下，設置高度應在 2 公尺以下。
- (2) 單孔雙向隧道應在兩側側壁上相對設置。
- (3) 標示面尺寸，長邊與短邊長度比為 2:1，長邊之長度為 120 公分以上，分別標出至兩方向緊急出口之距離。
- (4) 標示面應有足夠光源提供照明亮度，並連接緊急電源。
4. 出口標示燈應符合出口標示燈認可基準。出口標示燈及出口位置指標光源之緊急電源應符合本規範^[38]3.7.9 之規定。
5. 出口標示燈及出口位置指標光源之配線應依本規範^[38]3.7.10 之規定設置。
6. 緊急照明設備，應依本規範^[38]3.7.12 至 3.7.15 之規定設置。緊急照明燈水平照度之最大亮度與最小亮度比應不超過 10:1。

4.2.2.2 消防搶救上必要設備

1. 隧道消防搶救上之必要設備如下：
 - (1) 連結送水管。
 - (2) 緊急電源插座。
 - (3) 排煙設備。
 - (4) 無線電通信輔助設備。
2. 連結送水管送水口應於隧道緊急出口之適當位置設置連結送水管送水口，其裝置位置應在隧道上方或外側地面靠近道路易於接近處。
3. 連結送水管出水口連結送水管出水口及其配管，得與隧道內消防栓共用。
4. 隧道兩側每 50 公尺應配置緊急電源插座一處，且得與維修電源併設，並採交錯配置。
5. 排煙設備
- 5.1. 隧道應進行煙控模擬，並依煙控模擬之結果設置排煙設備，且應經模擬驗證合格。
- 5.2. 煙控模擬時，至少需考慮下列事項：
 - (1) 該隧道使用用途車廂之可燃性物質或其他可燃性物質引起最大熱釋放率。
 - (2) 至少使用一維分析，在必要之路段時，得採用三維分析。
 - (3) 車站、通風井與軌道空間之幾何配置。
 - (4) 排煙系統的設計與操作，應以配合在緊急事故時通風井間依據營運可能有的最多車廂數之列車。
- 5.3 排煙設備須符合下列規定：
 - (1) 排煙風機需設計能於 30 秒內由靜止狀態達到全速運轉，若為變速馬達，則不能超過 60 秒。
 - (2) 排煙設備風機組、馬達組及其他相關零件暴露在排煙模式之氣流中時，其構造設計需能於周圍溫度 250℃ 下運作至少 1 小時。
 - (3) 現場馬達啟動器及相關控制元件應儘可能遠離風扇主要氣流。該緊急排煙系統之馬達控制元件不得裝設過熱保護裝置。
 - (4) 有關排煙設備及其附屬裝置設備在構造上，應能承受列車行駛最大之活塞效應和煙控氣流的壓力。
- 5.4 排煙設備之控制及操作，應符合下列規定：
 - (1) 緊急排煙設備應可用遙控之方式於防災中心或其他適當地點進行操作及動作顯示。
 - (2) 在防災中心操作無效下，應能就地繼續操作緊急排煙系統。

6. 無線電通信輔助設備應依本規範^[38]3.8.7 規定設置。
7. 隧道內兩側應每隔 15m 以下設置緊急照明，並採交錯配置。

4.2.2.3 鐵路隧道及地下場站除以上設施外應增加：

1. CCTV (閉路電視監控設施)
2. PA (公共廣播系統)
3. PIDS (旅客資訊顯示系統)

以上設施應安裝於各車站公共區及月台，以利站務員將及時資訊傳達給乘客，其設置應符合通信設施設置標準。

4. 洪水保護設施

具有潛伏性洪水氾濫區域，應設置防洪設施於出入口及隧道內；排水系統及抽水站應包含於基本設計中：

- (1) 抽水站應設置於地下場站內之最低點。
- (2) 抽水泵浦之容量設計，應考量洪水量與消防時產生之水量，及其他情況。
- (3) 抽水泵浦及其電源應考慮備用設施與備用電源(redundancy)設計原則。
- (4) 抽水泵浦應為自動控制系統，現場控制盤可用手動控制。
- (5) 防洪閘門應設置於隧道中，其設置地點應妥善規劃。
- (6) 地下場站之出口處是否設置防水門，應考慮 200 年地面洪水紀錄並妥善規劃之。

另外，美國交通運輸部於 1992 年出版「Recommended emergency preparedness guidelines for rail transit system」^[40]，其目的在於協助地下軌道運輸系統對於緊急情況搶救機制：對於緊急情況時需有效的發揮設備與設施之功能，並對設計時針對建造地下場站時之設計提出注意事項，在以上之設計預防機制中也許已經提到一些相關性之原則，但為使安全管理於設計考量其緊密性，特別摘錄美國交通運輸部 1992 年出版「Recommended emergency preparedness guidelines for rail transit system」^[40] 有關之要點與讀者一同參考，並對地下場站設計人員提供正確之思考方向，集思廣益為交通建設之鐵道運輸設計貢獻一點心力。

4.2.3 地下場站設施與設備設置參考原則

本小節所說明之原則係提供車站設計時可以確保所提供之設施得以有效的進行緊急狀況下之疏散。這些原則係用於規劃新的系統、系統延伸及系統之更新。捷運系統設施之主要部分包括，旅客車站、軌道及行控中心，每一項設施及其相關元件均於此章節考量。本原則係一概要性之原則，其得運用於不同地點考量下捷運系統。本原則係依不同來源包括討論會、與捷運單位討論、學術文章設計規範及標準等予以發展，這些原則係以結果導向且為捷運系統中之實務作法。

4.2.3.1 旅客車站

捷運旅客車站基本上具有四種型態，地下、高架、平面及開放式。雖然各不同車站型態有其不同之特性，仍有其共通之特點，本小節說明這些共通點之原則。其他有關特定車站之型態將於列車單元說明。

4.2.3.1.1 興建

捷運車站之建造必須提供旅客快速逃生及緊急救援單位人員快速進入車站，故在建設捷運車站時，應考量下列：

- 系統安全概念應於車站設計時予以考量及納入，明確訂定出可能之風險危害及捷運系統緊急應變之能力。

- 重要的車站進出動線必須於規劃階段予以確定，且應保持暢通。

- 捷運車站不一定會具有穿堂層，必須依據車站設計。在任何狀況，穿越百貨公司或是非捷運系統建物之進出動線應不可被考慮作為緊急進出車站之需求。

4.2.3.1.2 照明

照明在逃生時極為重要，特別是地下車站，其亦提供高架車站、平面車站旅客夜間照明之需求。

- 緊急照明之亮度應提供足夠之車站照明需求，包括月台、穿堂層、驗票區、走道及進出口。

- 提供旅客自該區域逃生

- 緊急照明之燈具及電源應保護不致受事故、水、維修等而被破壞。

- 緊急照明應符合法規之規定。

- 緊急照明應於失去正常照明時自動啟動，且提供依捷運系統規範之一定照明時數，其時數需求可由旅客安全逃離車站所需之時間而定。

- 正常照明之照明燈具亦可考慮緊急照明需求，若其照明燈具係由不同或獨立之電源供應。

- 車站應考量裝設足夠數量之照明燈具於牆壁下方，以提供旅客於濃煙狀況下仍可視並逃生（該燈具應避免被破壞）。

4.2.3.1.3 進出及逃生動線

車站內之進出及逃生動線是設計時重要的考量，包括進出口之位置及數量，以及相關設施之安排，如賣店、站務員室、驗票閘門、樓梯/電扶梯及電梯等，均對於緊急狀況之逃生動線是否足夠有所影響。

車站出口將是逃生時最重要之設施，其提供旅客離開系統之重要通道，其同時亦提供消防救援人員進入系統之通道。

- 每一緊急出入口均需有圖示或採顏色並提供燈光。

- 緊急逃生門於任何時候均不可由內部被上鎖。

- 地面層之緊急出口，其應避免設於具有危害之區域，如車道上或是停車場等，且其出口區域必須保持淨空不得堆放雜物，如廠商推車、垃圾桶等。

- 緊急出口必須可以由外部打開，以利消防人員進入。

- 緊急逃生應避免使用垂直折疊梯。

- 所有的門、樓梯等如無提供逃生之能力者，必須加以標示「請勿進入」。

- 行動不便旅客之進出動線（如輪椅、老人等）必須加以考量其需求，驗票閘門區域應加以評估以便於行動不便者離開。

- 若有可能發生月台過於擁擠的狀況，則應可考量發展限制進入月台之設施。

4.2.3.1.4 通訊

旅客車站通訊系統將用於緊急狀態時之通報、請求協助、通知旅客、監控狀況及與消防救助單位之聯繫協調。不同設備將提供給不同之使用者，包括無線電、自動交換機、直線電話、維修直線電話、公共廣播、對講設備、資料傳輸纜線及閉路電視。

- 通訊系統必須於每一車站及行控中心內提供，以便提供彼此間之快速聯繫。
- 廣播設備之裝設，應可利於車站人員或是行控中心人員清楚地發布訊息給予車站旅客。
- 廣播系統必須提供備援之電力，以避免正常供電失效時無法使用。
- 廣播設備必須妥善保護，以避免無授權使用、破壞及受損。
- 雙向之直線電話應提供備援電力。

4.2.3.1.5 通風及空調

通風（及空調）系統提供旅客車站舒適空間，包括降低熱氣及去除異味。通風系統亦用於火災發生時清除煙霧及熱氣，除此之外，風扇及風門之操作將是重要之一環，透過適當之操控，可將煙霧及火災控制於局部區域。通風系統之設計將是捷運車站緊急防範之重點。

- 風扇及風門之就地控制應可透過燈號及圖示瞭解其控制狀態。
- 通風系統之操作應考慮可由攜帶式之電源或輔助電源來供電。
- 風扇及風門應可以於行控中心遙控控制。

4.2.3.1.6 支援設備及系統

4.2.3.1.6.1 消防設備

A. 偵測器及警報箱位置

- 偵煙及火災偵測器應設於車站區之非公共區，特別是附屬空間及儲藏空間係為重點。
- 手動警報裝置，建議裝置於車站人員視線可及之處。
- 警報控制面盤上應明確指出偵測器之告警發生位置。

B. 手提消防滅火器

- 車站應配置手提消防滅火器及相關之使用說明。
- 消防滅火器應防止被偷或是破壞。

C. 消防栓箱系統

- 若使用消防栓箱系統應符合 NFPA130 之規範。
- 消防栓箱若非裝設於站間，則其應裝於月台側與第三軌反向。

4.2.3.1.6.2 救援設備－車站依其需求可能放置不同之救援設備

- 消防用斧頭、撬棍、折疊梯、擔架等可考慮置於車站作為救援之必要設備（通常放於站務員室或設備房）

4.2.3.1.7 可燃液體及揮發性氣體

可燃性液體及揮發性氣體可能會在捷運車站產生潛在的火災及爆炸風險，該等物質之存放應強制規定，並依照 NFPA130 第 3.2.7 節之規定。

4.2.3.1.8 洪水防範

捷運車站可能均會遇到漏水的問題，特別是遇到暴雨可能會從出入口及豎井進入。車站之抽排水將於本節說明。

- 抽水設備應於車站之最低點提供。
- 抽排水泵之設備大小應足以應付不同之狀況，包括天候、消防等。
- 每一區位之抽排水泵應互有備援。
- 若抽排水泵為自動操作，則應提供就地控制得以手動操控。

4.2.3.1.9 牽引電力

牽引電力系統是捷運系統緊急應變準備中重要的一環，下列項目應於發展牽引電力系統時內入考慮：

- 電力斷電或是復電應考慮系統安全分析牽引電力需求應評估所有緊急情境，該需求可能會包含備援電力供應或是特定之系統設計以符合系統需求。
- 第三軌區間之現場斷電裝置應予以提供（此可為緊急跳脫站）行控中心亦應有能力遙控進行某一區間斷電。
- 應提供確認第三軌斷電之設備。

4.2.3.1.10 標誌

標誌用於地點，即重要的車站設施或設備指標，用於辨識出口、出口路徑、緊急出口、消防栓等。

以下提出使用於車站之標誌原則

- 標誌需考量雙語及圖形化
- 使用標準化的緊急標誌
- 廣告標示應與標誌指標區隔開
- 廣告應避免佔據所有重要標誌點
- 標誌應置於可視範圍最大重要位置
- 車站應放置標誌供緊急事故指標及緊急疏散使用
- 應提供標誌位置及緊急逃生、消防栓及緊急對講機或警示器。

4.2.3.1.11 緊急電源

為確保營運重要設備如照明、緊急通風系統及抽排水站等能夠持續的運作，考量 2 組不斷電設備是需要的。第一種選擇當一個元件或系統失效時，另一組系統能夠提供備援。第二種選擇係提供 2 組電源選擇，當一組電源失效時，使用另一組作為備援。

下列車站設備應為電力系統備援連結之方案考量：

- 車站緊急照明
- 所有照明式出口標示
- 選定的標示
- 通風系統（隧道）

- 無線電及電話系統
- 廣播系統
- 火警系統
- 抽水設備

4.2.3.2 軌道^[40]

雖然在緊急情況下，傾向將旅客於車站疏散，然而某些情況下將旅客於站間疏散，將旅客疏散至另一列車或步行至最近車站似乎是必要的，此時軌道內環境及可用設備，在此情況下將有很大的影響。

三種典型的軌道形式為地下段（隧道及水底遂道）、高架及地面段。

4.2.3.2.1 施工

典型的鐵路軌道係由軌枕、鋼軌、道碴或鋼板或道版路基所組成。軌道施工應事先考量易於旅客緊急逃生及員工於緊急事件時能夠容易進出事發地點進行緊急處理。基於上述考量，當施工興建時應考量下列因素：

- 系統安全概念應將各設計階段納入及預期列車可能發生的緊急災害。
- 關鍵外部路徑應考量進各階段系統

4.2.3.2.2 照明

4.2.3.2.2.1 地下段－符合地下段之照明等級對於緊急情況時之旅客疏散占有相當關鍵的重要性。此外，消防員及救援人員需要有足夠的照明可見度方能執行其救援工作。

建議的指導原則應包含下列各項：

- 考量相關的照明設備應朝向隧道牆底部，當處於煙霧瀰漫的狀態下，提供可視範圍。
- 緊急照明之最小照明亮度，應能提供旅客從隧道疏散時，足夠的可視範圍，提供旅客的步行安全。

4.2.3.2.2.2 地面段－一般來說，地面段的軌道並不會提供緊急照明設備。相較於隧道段而言，地面段有日照且侷限空間較少，故不需要緊急照明設備，然而列車每日有幾個小時的無日照運轉時間，因此當緊急狀況發生時，也會有照明不足的狀況。基於上述狀況，某些移動式緊急照明設備可考慮應用於這類狀況。

4.2.3.2.3 出口進出

緊急通道應提供緊急狀況時，旅客行走的安全出口。

4.2.3.2.3.1 地下段－2種典型的緊急出口形式用於地下段，使用明挖覆蓋法的隧道段，通常位於街道下方。一般來說深度較淺，因此可以提供通風井及緊急逃生階

梯，離開隧道。然而，若是位於河川下方之隧道，由於深度較深且無法直接提供至地面段的緊急通道，因此於興建階段需考量不同型式的緊急出口。

4.2.3.2.3.2 高架段－緊急出口，不同於隧道段內侷限空間及相關的限制條件，在所有的高架段旅客疏散的案例中，比較常用的方式為將救援列車，行駛至故障列車前方或後方接駁故障列車之旅客至最近的車站疏散。然而仍然有某些特殊情況，有可能發生旅客需要在高架站間疏散，此時藉由消防雲梯車或高架軌道設置安全走道亦為可行方案。

4.2.3.2.3.3 平面段/開方區段－於平面段通常不提供緊急出口，但提供緊急通道讓營運人員及救援人員進出。除了在第三軌區域外，多數區域在緊急狀態時，可以讓旅客下軌道疏散。多數的例子，旅客能夠經由短階梯離開列車，然後直接到安全地點。然而，安全地點有時候不容易存在。此外，某些地面段的某些區段也許被圍籬或其他材質的限制。

- 進出口從裡面開啟時，應該不需要用鑰匙或工具開啟。
- 消防人員或相關員工需要鑰匙從外面開啟圍籬門進入。
- 第三軌及道岔走道之間隙應提供人員行走位置。

4.2.3.2.4 安全走道

4.2.3.2.4.1 地下段－在某些地下段的案例中，安全走道提供了直接、高容量的疏散路徑，設置在軌道兩旁。然而，由於走道過於狹小，當旅客從列車上下到走道上時，會限制了旅客的移動速度。

- 當軌道的地下段設置安全走道時，建議其設置點應為第三軌設置點的反向，且具有足夠的寬度。
- 若於地下段設置安全走道，無論何種理由，安全走道都應該與車廂地板齊高。
- 安全走道應為平面、不滑的表面。
- 緊急出口路徑不應有跨過第三軌的區域。

4.2.3.2.4.2 高架段－當安全走道設置於軌道兩側或於軌道中間，對於旅客疏散至安全地點，將提不同的考量方式（如疏散至下個車站）。

- 安全走道的寬度應足夠，以避免與第三軌或其他電源接觸。
- 當安全走道設置於軌道兩側時，應設置扶手協助旅客疏散。
- 安全走道應設置於第三軌的另一側。
- 緊急出口路徑不應有跨過第三軌的區域。

4.2.3.2.5 通訊

當發生緊急事件時，有效的通訊及依據救援狀況提供重要的訊息，至關重要。不同的通訊設備可以提供各種類行的通訊服務。舉例來說，緊急直線電話可直接聯繫行控中心，維修電話及行動無線電等。

- 語音通訊設備應設置於緊急出口及鐵路沿線，且應有圖示及照明顯示其位置。

4.2.3.2.6 通風

通風系統係用作火警時之煙霧控制，提供乘客新鮮空氣及可視範圍。因此可視為地下段之重要的基本設備。此外，適當的通風及抽風運轉在火災及煙霧瀰漫的時候，扮演關鍵的角色。

- 手動通風控制應有照明及圖示清楚顯示其位置。
- 通風應能由行控中心遙控控制。

4.2.3.2.7 支援的設備及系統

4.2.3.2.7.1 火災防護設備

A. 火災偵測

- 當列車停駐於隔離的地下段區域，火警偵測系統應能驅動聲音及視覺得訊號告警，通報行控中心或車站。

B. 滅火器

滅火器的位置及使用指示應清楚標示。

C. 消防栓及水管系統

- 消防栓及水管系統需符合 NFPA 130 標準。
- 消防栓應放置於第三軌另一側。

4.2.3.2.7.2 其他支援設備

- 當操作需要時，第三軌的電力測試設備應能確實將供電電力斷電。

4.2.3.2.8 道旁侵入警報

在許多公共建設，鐵路捷運系統之營運規劃路線大多位於道路交通公共廊道上，可能緊鄰著高速公路沿線兩側、或是建設在高速公路的中央分隔島、或是緊鄰著貨物旅客鐵路列車路線旁。若有高速公路上動力車輛的交通意外車禍，或鄰旁的鐵路出軌狀況等事件發生，將會直接影響到鐵路捷運系統的軌道營運區域，而導致產生列車駕駛無法預知的重大危安事件。

當此類交通事件發生而且有物件侵入至軌道區時，列車駕駛員及行控中心應該能即時接獲緊急警報通知。規劃設計及工程建設時，應考量於軌道兩側設置護欄、或建置監測及警告系統。

4.2.3.2.9 易燃物及易爆液體/氣體入侵

意外性的易燃液體或氣體若入侵至營運路線，將產生一連串火災或爆炸，並危及至列車、旅客及工作人員。NFPA 130—3.2.7 完善的規範規定，將可降低危險災害。

4.2.3.2.10 防洪

地下及地面車站設施可能遭受水災侵襲。另外，強風帶來的雨水可能經由人員進出口及通風口進入到鐵路捷運系統建築物內。

- 第一道的排水設施應使用適當的道路一路基（road-bed）設計及結構，以達到截流功能。滿溢的水，應引流至截水溝，導至抽水坑。
- 應於鐵路捷運沿線的水平低處設置抽水站。

4.2.3.2.11 牽引電力

請參考 4.2.3.1.9 小節。

4.2.3.2.12 標誌

系統顯示設備，應能顯示重要鐵路捷運設施設備的位置及其系統狀態。緊急出口、逃生路線、消防設備等是必須的標示。

- 設備位置及逃生出口標誌應沿線設置，其大小及設立位置應能讓為司機員容易看見為原則。
- 標誌應顯示出最近車站及逃生口的距離，特別是地下段區域。
- 每一個逃生口應設置明顯標誌及緊急出口燈，包含使用說明。
- 應考慮顯示方式為中英文雙語及簡單圖像方式。
- 採用國際通用標準緊急標示圖像文字。
- 資訊標誌應設立於關鍵區域地點，以便容易辨識。

4.2.3.2.13 緊急電源

為確保相關重要設備單元能持續運轉，諸如：照明、通風設備及抽水站等設備之供電電源，應考慮採用下述 2 種系統不斷電的供電方式。如雙迴路控制、雙饋電電纜等方式，以確保一線失效時，另一迴路能及時供電。如當正常電源設備故障時，提供備援電力電源。

下列設施應考量連接至備援電力系統：

- 隧道緊急照明。
- 緊急出口標誌燈具。
- 必要的導引標誌。
- 地下段的通風設備。
- 廣播系統設備。
- 消防警報設備。

緊急電源系統設備的設置位置，應能防止任何水源侵犯破壞，或設置於使用設備的鄰近位置。

4.2.3.3 行控中心

行控中心包含維持路網營運、列車運轉、電力控制及通訊暢通等所需的工作人員、辦公室設施及系統設備。另外，行控中心也是透過無線電話系統、直線電話、牽引電力斷電控制及通風系統設備控制等的控制中心。

4.2.3.3.1 緊急出口

行控中心應配置各車站及鐵路捷運沿線的每一個逃生出口的正確位置圖。

4.2.3.3.2 通訊

行控中心的通訊設備，應具備下列功能：

- 當重要設備施行控制命令失效時，設置於行控中心的警音及警鈴應動作。
- 假如系統安裝道旁入侵警報系統，該系統應與行控中心連線。當發生道旁入侵警報時，行控中心應能直接及立即通知相關車站站務人員及鄰近駕駛員採取緊急應變措施。
- 行控中心應有列車控制失效的應變計畫。

4.2.3.3.3 通風設備控制

通風設備設計應依據各緊急狀況情境所模擬出各通風設備控制模式的驗證結果辦理規劃設計、系統設備規格採購及安裝。

4.2.3.3.4 牽引電力斷電

行控中心應具有辦理第三軌或電車線的遠端遙控電力電源斷電控制功能。

4.2.3.3.5 標誌

清楚顯示每一個緊急逃生出口、給水系統、通風機、抽水站、緊急電話、牽引變電站、斷電開關、警報裝置等設備單元。

4.2.4 地下鐵路車輛設置原則

車輛的設計原則，應使緊急意外狀況發生時，能確保降低災害連鎖反應的損失。本小節適用於新車採購，如：旅客列車車輛及救援車輛等2種車型，包含車輛結構、照明、進出通道、通訊、通風、電力設備、電力纜線、車載設備、機械設備、相關圖文標誌、緊急電源等系統。

4.2.4.1 旅客車廂

車輛及車站為旅客使用捷運鐵路系統時常接觸的設施。因為車輛是屬於一種動態運轉、完全封閉、由行車人員操控的交通運具，因此，車輛也隱藏著潛在危險（如：內裝材料燃燒）及緊急狀況時如何逃生（引導旅客至其他未受災害影響的車廂）等安全危機風險。

4.2.4.1.1 車體結構

捷運車體結構應包含：

A. 概述

- 應於車輛設計階段將系統安全概念納入考量，以確認及解決所有與捷運系統緊急應變防護措施有關的安全危害因素。

- 經由系統設計，確認及保持關鍵的車輛/系統的進出通路路徑暢通。

B. 車輛外體結構

- 於緊急狀況時，應該允許車體的垂直支撐架構可承受衝擊力，不會影響整體結構。

- 車輛應有車內緊急逃生出口。

C. 車廂內部

- 座位及其他內裝之組件應該與車體緊密安裝。

- 門邊的座位配置設計，應該避免擁擠。

- 應有足夠的乘客拉環、握把及握柱。

- 避免尖銳的轉角及邊緣。

4.2.4.1.2 照明

- 緊急照明是提供必要的能見度，以利乘客疏散的一個關鍵的因素。

- 緊急照明必須設置在所有的門上方。

- 車標誌燈必須能連接到備電系統。

- 軌道車輛的側壁下方和車門前庭，應考慮設置緊急照明裝置。

- 應保護緊急照明裝置、電路等，以保證需要時緊急照明正常作用。

- 正常供電系統內的照明電路，如果有特定數量的裝置連接到一個分開、獨立電源，此照明電路可認為緊急照明的一部分。

- 車輛駕駛室的燈具應能連接到備電系統。

4.2.4.1.3 出入車輛

乘客由月台經車輛側門進出車輛。當車輛故障時不能移至最近車站，必須使用替代方式疏散乘客。乘客可能要從已控制火勢的車廂端門，移動到毗鄰而未受影響的車廂安全地點。其他緊急情況，須將乘客從一列故障車調動到另一搶救車。此情況下，二列車的邊門並排，且乘客可直接轉移到救援列。

4.2.4.1.3.1 車輛端門

- 在列車外邊應設置一不需電力開門控制的緊急門。

- 緊急狀態條件下，必須允許乘客從一列車輛移動到另一輛。

- 除非提供一內部緊急門釋放裝置，不鼓勵末端門上鎖。

- 末端門的緊急開門控制不需用到電力，必須設置在車廂內部。

- 緊急門釋放控制的位置和操作說明應以圖表明顯表示。應提供措施避免鼓勵非必要的釋放操作。

4.2.4.1.3.2 車輛側門

- 車輛駕駛室內應設置一連鎖門控以允許開啟所有側門。

- 車輛內外側均須設置一個不需電力的緊急側門解鎖設施。

- 側門在車廂區域的位置應嘗試不直接設置在集電組件的上方。

- 車輛的側門應有足夠寬度以允許 2 位乘客並排進出。

-緊急門釋放控制的位置和操作說明應以圖表明顯表示。應提供措施避免鼓勵非必要的釋放操作。

4.2.4.1.4 車輛通訊

-車輛之車廂內須設有各種樣式的通訊器材，包括：駕駛員對乘客、乘客對駕駛員及行控中心對駕駛員。

-所有車輛通訊系統應連接到緊急電源。

4.2.4.1.5 車輛通風

-緊急狀況之前或是期間，應具備一個緊急重要功能，以提供車廂內部新鮮空氣，或以避免濃煙進入車廂內的能力。

-位置、能量及能力用以控制新鮮空氣的風口、風扇、風門等均在維持呼吸及能見度方面扮演重要的角色。

-允許關閉通風的控制部分應設置在駕駛室內。

4.2.4.1.6 車載輔助設備

4.2.4.1.6.1 滅火器

- 滅火器應設置在車廂內的特定位置。

4.2.4.1.6.2 急救設備

- 每一列車應設置梯子。
- 應提供手電筒給列車人員使用。
- 緊急狀況時使用的重要逃生設備應能快速取得。

4.2.4.1.7 特殊機械設備

車輛應設置一定種類的機械設備，包括但不限於；緊急煞車、集電靴、頂昇機、車輛解聯器等，這些設備提示如下：

4.2.4.1.7.1 緊急煞車

- 每一列車應設置一失效趨安之摩擦式煞車以提供手動煞車之用。
- 當不小心列車的車廂解聯時，獨立於列車人員的緊急煞車應能啟動。

4.2.4.1.7.2 集電靴絕緣器

- 應提供絕緣器以便從集電靴移開電源。

4.2.4.1.7.3 車輛聯結器

- 應考慮提供一個車輛解聯系統，允許列車人員無需離開車就能將車廂解聯。

4.2.4.1.8 車輛之標誌

標誌是一些資訊符號指示重要的車輛裝置如車門通話機等的位置及操作。

- 應考慮使用雙語及或繪畫文字標誌。
- 應使用標準化的緊急標誌。
- 位置標誌及說明應提供車輛內的通話機、門窗緊急出口、滅火器等。
- 車輛辨識碼應顯示在車廂內及車輛外部。

4.2.4.1.9 緊急電源

每一車輛內下述元件應連接到緊急電源：

- 乘客區燈具，特別是毗鄰車門處。
- 通訊系統，包括：廣播、無線電及內部通話機。
- 駕駛室照明。
- 外部標誌燈。

4.2.4.2 緊急使用之車輛

各種樣式的軌道車輛用來因應軌道運輸的緊急狀況。視情況而定，可能用到柴油機車、工作車、空車、路軌兩用車等。此節聚焦在緊急因應車輛，其提供軌道上侷限區域內緊急時獨特的能量。

- 車輛應儲放在提供出入軌道的地方。
- 車輛應擁有牽引電力外的驅動力。
- 車輛應設置輔助發電機以備照明及其他特殊工具。
- 應有一無線電或一些其他通訊系統以提供車輛與行控中心間聯繫。
- 任何輔助軌道車輛用於緊急狀況應備有相容的聯結設備。
- 此一車輛（機車頭）應能推動最長列車到軌道最陡處。

4.3 設計檢討改善及回饋機制

地下軌道交通設施防救災安全管理基本原則為避免人為災害發生、防止天然災害造成生命財產損失，當不幸發生時能迅速疏散乘客、避免乘客受到傷害，並避免災害擴大造成二次傷害，使捷運系統受損減至最低。國內交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」^[38] (97.07.29)，作為鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備規劃設計時之參考依循，未來各機關仍得依其需求引用或參考本規範，以訂定更細部之規範。目前臺北捷運系統、高雄捷運系統、臺灣鐵路系統、臺灣高速鐵路系統，營運所需之消防及逃生系統設計時所引用之法規，詳如表 4-1。

表 4-1 國內鐵路系統營運所需之消防及逃生系統設計時所引用之法規

系統	引用之設計規範或方法
臺灣鐵路系統	1. 臺灣鐵路管理局工務規章。 2. 建築技術規則。 3. 各類場所消防安全設施設置標準。 4. 美國國家防火協會(NFPA 130)「軌線固定之大眾運輸系統」等相關規定。 5. NFPA 相關規定 ※建議依交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)
臺北捷運系統	1. 臺北市捷運工程局編訂「規劃手冊」。 2. 建築技術規則。 3. 消防法。 4. 各類場所消防安全設備設置標準。 5. 美國國家防火協會(NFPA130)。 6. Subway Environmental Design Handbook, Subway Environment Simulation Computer Program, 美國運輸部。 ※建議依交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)
高雄捷運系統	1. 建築法。 2. 建築技術規則。 3. 消防法。 4. 各類場所消防安全設備設置標準。 5. 美國國家防火協會(NFPA130)。 6. Subway Environmental Design Handbook, Subway Environment Simulation Computer Program, 美國運輸部。 ※建議依交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)

高速 鐵路 系統	1. 建築法。 2. 建築技術規則。 3. 消防法。 4. 各類場所消防安全設備設置標準。 5. 美國國家防火協會(NFPA130)。 6. Subway Environmental Design Handbook, Subway Environment Simulation Computer Program, 美國運輸部。 ※建議依交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)
----------------	---

由表 4-1 可知臺灣鐵路系統、臺北捷運系統、高雄捷運系統、高速鐵路系統，所採用之設計準則不盡相同；何種設計準則應為國內地下軌道交通設施防救災安全管理之基礎，建議依交通部 97 年 7 月 29 日頒布之「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」作為國內交通運輸系統設施設計之基本規範，於設計不足之處再參考國內之「建築技術規則」、「消防法」、「各類場所消防安全設備設置標準」、並加以參考國外之「NFPA130」、「Subway Environmental Design Handbook, Subway Environment Simulation Computer Program, 美國運輸部」設計標準。

有關試運轉時對所使用之硬體部分應注意事項；一般控制盤內使用之控制器，或是油路上之電磁閥...等：在剛開始測試時，應注意電源“開”、“關”之頻繁性，硬體設備對所產生之突波電壓衝擊，造成硬體設施之損壞。試運轉期間硬體設施極易受損，應有足夠備品可進行更換。營運後 5 至 6 年設備置於高溫、高濕度區之硬體也容易損壞，事故對於硬體於高溫、高濕度區之硬體也應注意，特別是在備品管理上應予注意。

由於設計僅為初始階段所運用之法則，於運轉維護期間可對設計之法則加以檢驗，若發現設計上仍有缺失，應予以改善並將改善成果作成紀錄，並應將報告發表於設計回顧之研討會，使改善成果作為未來設計之依據與參考，並對未來之工程成本降低有所助益。

第五章 如何運用避難逃生疏散軟體模擬於防救災安全管理

應用避難安全軟體不僅可透過不同避難情境進行避難安全模擬分析，並合理的查證不同危險情況對避難安全之影響，據此評估該場所之生命安全避難成效，同時也對該空間緊急逃生路徑的可用性與限制性進行預測，經由模擬所得的輸出結果可作為如何對該場所進行安全控管之依據，並歸納出確保避難人員安全之避難對策，此不但可提供在確保生命安全上自由化的設計方式，更可獲得比規格式法規更有保障的安全。

在過去 50 多年內，世界各地新興都市大多開始興建都會區捷運系統，許多城市都吸引了大量人口。相信更好的教育，醫療保健，就業/業務前景等理由，以滿足需求的人口密度，因此許多捷運系統地下場站及大型公眾聚集場所的新興城市正加速興起。正是由於這個原因，地下場站乘客在緊急情況下如何安全撤離以是一重要安全上之議題；如何避免災難發生及安全撤離乘客是具有非常重要的意義。

雖然一些傳統上使用的手工計算程序可用於疏散時間的估計，例如使用 NFPA 130 法規計算方式，然而試圖以模擬相同的更為現實和可靠的方式使用最新的計算技術。在 2007 年 2 月 15 日 Sriram Krian, Dilip Kumar P.V. and Ramacharla Pradeep Kumar, 在印度“國際資訊理工學院”研究「Simulation of public evacuation from a building」^[55]。在此研究中，開發了一個程序，計算出最佳的撤離時間，同時輸入參數模擬樓層平面、對門數、門的大小、人數和座位安排。這個工具可以幫助建築師設計高效率的公共聚會場所。

城市化正在迅速擴大，大購物中心，劇院，禮堂和許多其他設施越來越大並吸引越來越多的人，考慮建設具有現代化的安全基礎設施就顯的是十分重要了。

鑑於公眾聚集場所的火災事故：2004 年 7 月 16 日於印度 Kumbakonam 學校火災有 83 名兒童死亡；在 2004 年 2 月 3 日於 Srirangam 婚禮火災事故的悲劇，其中 62 人死亡；2005 年 5 月 22 日，在德里 2 電影院炸彈爆炸造成至少 40 人受傷。有很多事例，由於緊急疏散在人煙稠密的地方涉及嚴重的踐踏事件發生。通過緊急疏散研究，希望具有智慧型的空間設計，可預先並確定問題領域。最後，設計更安全，更高效的建築，音樂廳和其他公眾聚集場所，是未來發展的目的。雖然法規對於逃生出口設計有規範，但緊急疏散系統的實際成效是難以評估的。有許多事件的報告，是關於在體育場館、影劇院、體育館、社會的聚會場所和其他設施緊急情況下發生的過度擁擠和擠壓事件。

對於建物的形狀、門的大小、數目和位置的設計參數，肯定與人群的壅塞有關。改善緊急安全疏散研究仍在進行，以提高公眾聚集場所的安全。這方面涉及許多在建築設計中的安全疏散，人群的規劃和管理，人群仿真，應急規劃和其他許多相關原則。藉著安全層級，建築設計和整體費用投資等因素考量，運用這種模擬的先進技術建築物設計可導致最佳設計。傳統的建築規則對緊急安全疏散，大多數情況下，在撤離過程中多採用簡化模型，這種模式均未利用現有的知識和先進技術進行評估是否合於 NFPA 130 之規定。

在這項研究中，利用現有的知識和最新的技術，及模擬疏散軟體工具(如 STEPS)，可計算出最佳的撤離時間。

5.1 軟體模擬範例：

Sriram Krian, Dilip Kumar P.V. and Ramacharla Pradeep Kumar, 於2007.02.15在印度 “International Institute of Information Technology” 研究「Simulation of public evacuation from a building」，以下敘述為本範例之內容摘要。

5.1.1 預防機制

回顧現有的疏散模式：在開始討論前，對回顧過去和現在的模式是有益的。一個安全的基本概念，即對於如何在意外事故發生時，迅速及適當地疏散在建築物內的群眾是非常重要的。例如建物在設計時與使用時都包含了許多安全措施，目的是確保人員在建物倒塌、吸入高溫或有毒氣體之前可以安全地離開。為此目的對特定建物、壅塞地區、瓶頸區域、不當疏散因數，許多緊急疏散模式已開始發展。

為了實現緊急疏散計算的仿真模擬，工程師們一直在尋找與建立疏散計算模型來評估建物的人員安全。目前，有一些疏散仿真模式可以從現有軟體中選擇，每一個都有其獨特的特點和專門之領域。現有可以取得之模式有下列項目：FPETool4, EVACNET45, 6, TIMETEX7, WAYOUT8, STEPS9, 10, PEDROUTE/PAXPORT11, 12, ASERI13, building EXODUS14, EXITT15, 16, models available on consultancy basis are PathFinder17, EESCAPE18, Myriad19, 20. 其中有的模式尚未被公開啟用，有的模式則不再被使用。上述每個模型至少有這些特殊功能，如人流計算，手動設定出口封閉或是障礙出口，影響消防情況的行為模式，族群定義，殘疾人士/慢速行人族群，延誤/移動前需時間，使用電梯，毒性氣體，不耐慢行/前進變數，行人路線選擇/行人分配等考慮之因素。

這些模型已經使用模型之分類功能中的來分類。建物疏散時間的計算由一種行為模式包含行為者的意見決策或行動。運動模型顯示人員從一個點到另一個點(出口或安全的地方)，主要模擬在壅塞區，排隊或瓶頸中。部分行為模式在計算行人移動，但是一開始在行為模擬。部分行為模式可藉移動預備時間，獨特人行特性，快速趕上行為，及煙霧對行人之影響。經由所觀察人類行為資料統計模式，可以將建物中行人移動建立模擬模式。

模擬模型的建立，因為它涉及到某些建築類型，可以模擬任何種類的建物，模式可以專注於住宅，可以專注於公共交通場站，能夠模擬低高樓大廈，及只有模擬僅有一種路徑/出口的建物。一種樓層平面可劃分為小格平面，行人可以從一小格中移動到其他小格中。而樓層也可劃分為房間、走道、樓梯區，等等；行人可由一個房間移動至另一個房間。連續模式可套用 2D 空間到結構樓層平面，行人可由一點走動至建物其他空間。

透視模型解釋了由模型如何觀看行人之避難行為，以及行人如何觀看建物。由 2 種方式、一種模式可以觀看在全景及個別觀察行人，藉由追蹤個別移動或是一群同性質移動至出口是有區別。當了解模擬每一行人位置的移動將會是更細微的觀察。人員可以查看建物以一個全景或個別的方式觀察。人員個別觀看建物，是人員不知道的所有出口路徑下，依據所獲得之信息來決定他/她的路線。

人員行為模式可以分為下列幾種方式：

No behaviour - 只有一種疏散移動方向。

Implicit behaviour - 疏散時行為模式中隱含指定的延遲回應或行人特質影響移動之行為模式。

Conditional behaviour - 所指定的個別行動對一個人或是受疏散建物結構或環境之一群人反映出之影響模式。

Artificial intelligence resembles - 疏散時，藉由模擬人工智慧之模式。

Probabilistic – 或然率代表許多規則性或基本條件模式的隨機性，藉由重複特定的模擬在結果上的變化。

運動為主要因素之一指的是人員在建物中的移動模式。在大多數模式中，通常在使用者模組程式裡指定一個特定的速度。當人員在相當高密度情景下，產生壅塞及等待隊伍時，在模組表示會有差異。

情境化的模式為是否允許使用者由建物結構輸出的疏散情境。疏散情境可以讓使用者看出何處是瓶頸與壅塞處位置。許多模擬至少可以用 2-D 平面情境顯示，所發布的版次均以 3-D 立體情境顯示。其他模式都無法以情境化顯示。現今有更多疏散模式將發展及現有之模擬模式正在更新當中。

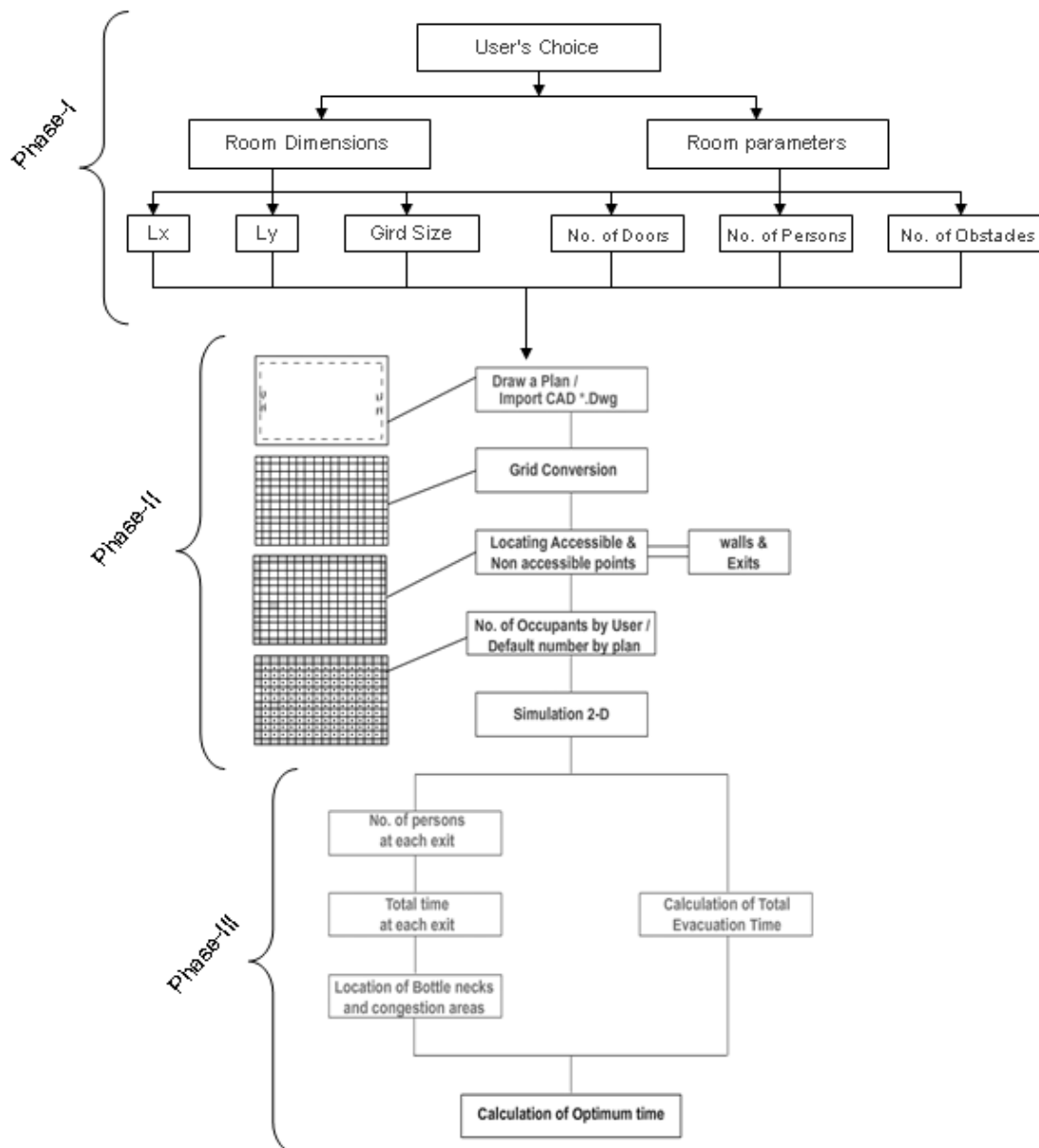


圖5.1 模型的三階段流程圖

圖5.1 說明 軟體對不同之階段 (phases)所做出之行為模式參數輸入之考慮項目，並對此模式做成之模式流程說明。

一、建立模型

建物模組設計參數之建立由以下因素組成：

1. 門數；
2. 門位置；
3. 障礙物數目；
4. 障礙物位置；
5. 建物內疏散人數。

這一模型之設計為計算最佳疏散時間與不同空間內模擬疏散之人數。藉著改變參數來計算疏散時間。

模型是使用者先將建物平面輸入，如房間尺寸、房間參數等。再將平面區分為小格(一人可停留之空間)，人數；每一人所有之行為模式特徵：

1. 所有人員均採用定速；
2. 任何時間一小格，僅可一人佔據；
3. 人員可自由決定行進方向；
4. 分析情況；
5. 程式內設定小格大小 $0.25\text{ m} \times 0.25\text{ m}$ ，設定可由使用者改變設定值。

高密度情況或在排隊進出時，移動速度會被旁邊行人影響。獨立個人有八種可能行進方式如圖 5.2 所示，在任何位置所作之行進方向決定會受旁邊行人影響。若旁邊有多於一個格子可以容許前進，任意之選擇功能將被使用。

多人基礎計算系統的概念已樣板畫，這種模式是引用緊急人類社會行為，如競爭行為，排隊等待行為，群組行為，雙向群流經由人內行為模擬。2-D 平面模擬是非常重要的因素之一，在疏散過程中可顯示人員移動流量及顯示壅塞瓶頸區域。

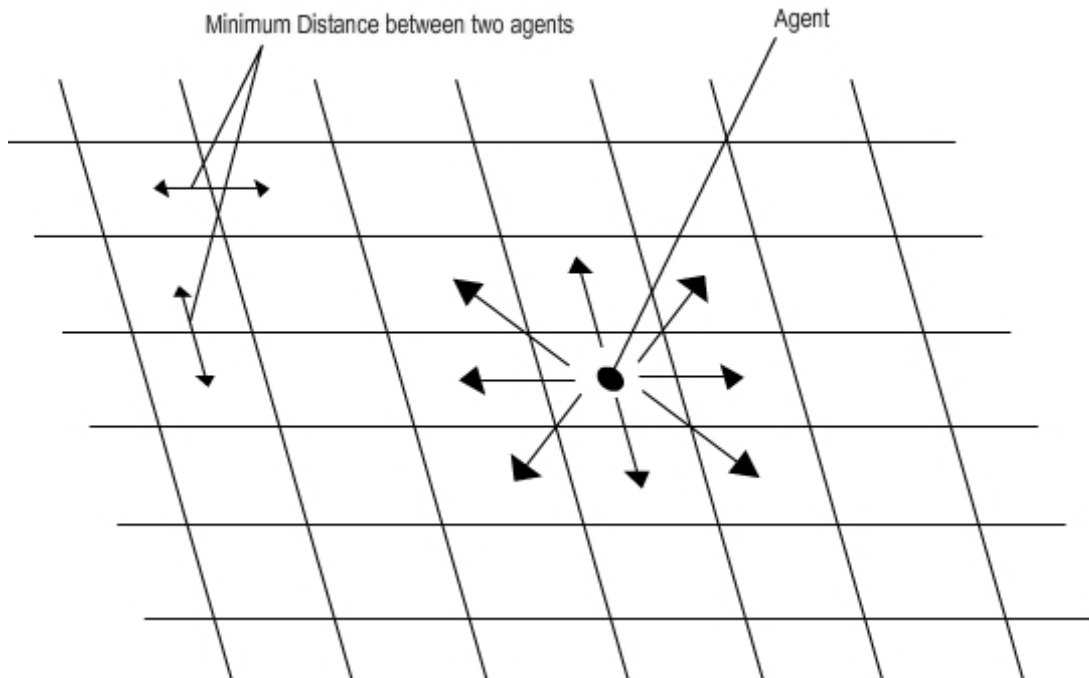


圖5.2 獨立個人之可能行進方向

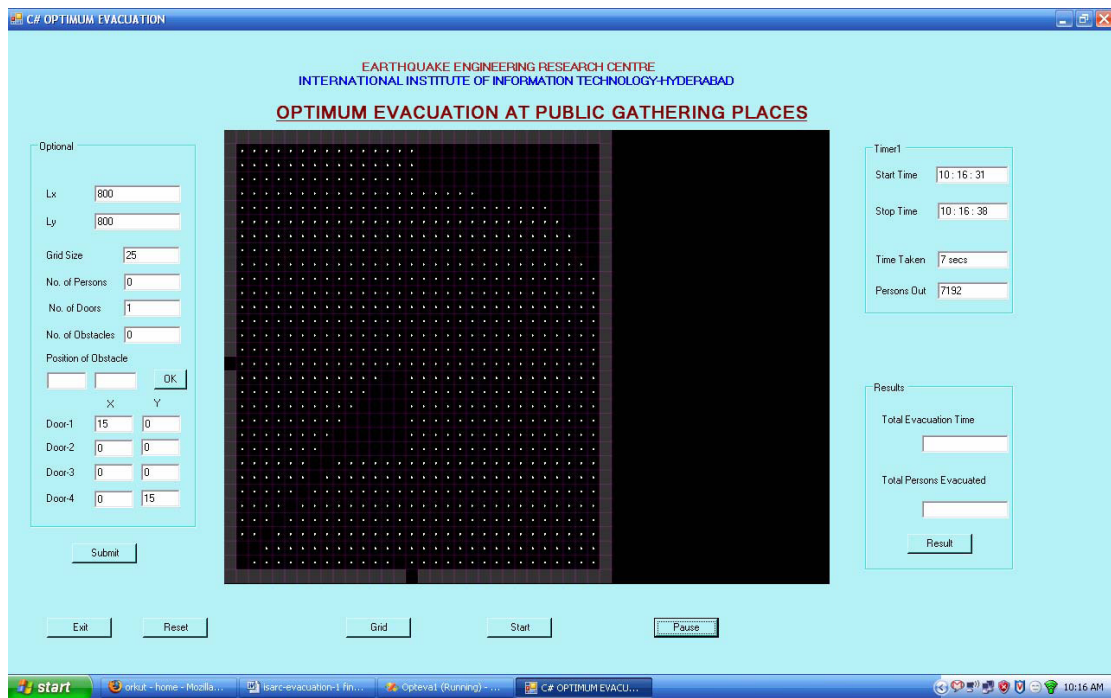


圖5.3 模型中設定拍照參數

圖5.3 說明於模擬中設定參數值，可取得動態輸出之期望之模擬疏散照片。下列參數不同之組合可產生最佳時間：

1. 改變門的數目；
2. 改變門的位置；
3. 改變門的大小；
4. 分析緊急逃生情景；
5. 改變在地下場站疏散旅客人數。

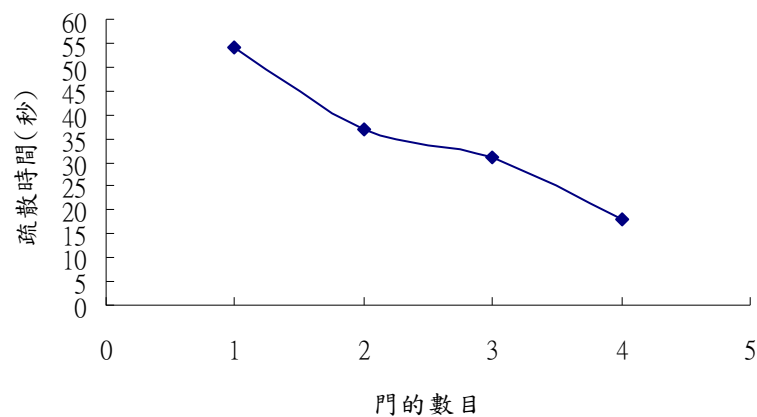


圖5.4 疏散時間與設計門數對應

圖5.4 說明門的數目與緊急逃生時間（秒）之對應：門的數目越多，疏散時間（秒）越快。

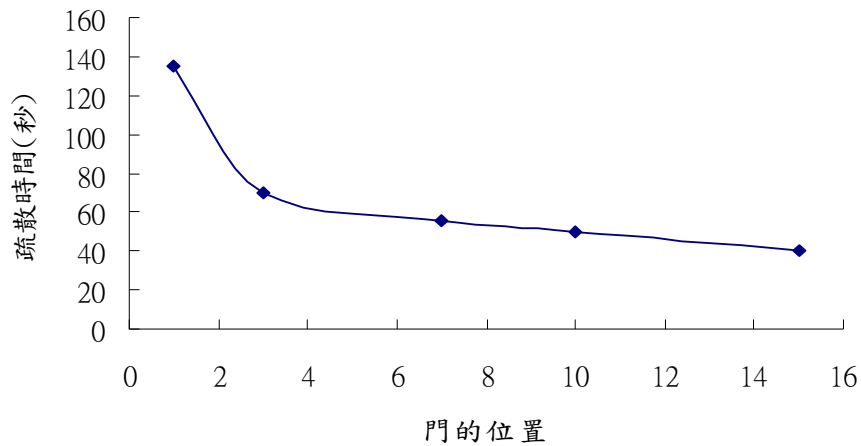


圖5.5 疏散時間與門設計位置對應

圖 5.5 說明為門設計的位置與疏散時間（秒）對應：(Assumption room dimension 800 x 800 with two doors): 門的設計位置在低於三處時，疏散時間（秒）成線性特性；門的設計位置在大於三處時，疏散時間（秒）變化漸趨不變。

軟體模型應輸入下列之參數 (I-INPUT, O-output, U-user)：

1. 房間尺寸 (800 x 800 without obstacles)(I/U)；
2. 格子大小，人數，門數，障礙物數目，障礙物位置(I/U)；
3. 門的位置(I/U)；
4. 模擬建物圖形面積 (O)；
5. 緊急疏散人數(O)；
6. 緊急疏散之總時間 (O)。

Evacuation Time - Notepad

File Edit Format View Help

----- OPTIMUM EVACUATION IN PUBLIC GATHERING PLACES-----

Plan Dimensions	-----	8m X 8m or 26.74ft X 26.74ft
Agent Speed	-----	1.4m/s
Number of floors	-----	1
Door Width	-----	1.2m

----- RESULTS -----

Door NO:	Evacuation Time (S)	Number of Evacues
Number of Exits - 1		
1	47.4	256
----- For Every 5 Seconds -----		
1	5	23
1	10	31
1	15	30
1	20	29
1	25	28
1	30	27
1	35	27

圖5.6 模擬軟體之疏散時間輸出報表

圖5.6 說明輸出報表:包含模型之尺寸、人員移動速率、樓層數、門寬、每扇門經過人數及緊急疏散時間。

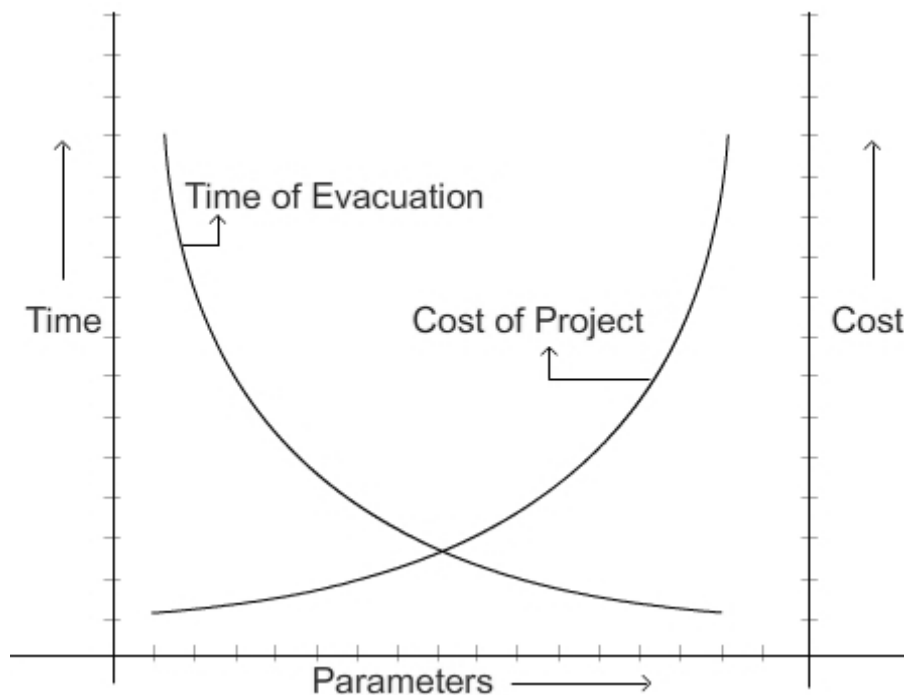


圖5.7 疏散時間、專案費用、參數之對應曲線

圖5.7說明由模型參數與疏散時間及專案費用上之對比：可成為專案之最佳成本參數分析之參考。

透過避難軟體操作可知對各不同出口的熟悉程度、人員反應時間、避難過程等候耐性、改變選擇往各出口的能力等人員屬性參數對避難影響的重要性，更接近真實避難情境。

STEPS 模擬軟體，可於細部設計時對地下場站之內部建築佈置 (layout)可先期進行驗證是否符合緊急逃生時間之規範需求，並藉 STEPS 模擬軟體達到設計最佳模式。

5.1.2 緊急搶救機制

避難模擬結果可得到所有避難人員平均往緊急安全梯、電扶梯等各個出口避難，並透過人群屬性與位置分布、出口流量大小、對主要出口與緊急出口，找出較佳化與較符合真實情境避難模式，因此，以此較佳化避難模式所設定之各出口人流移動、分配等相關數據資料作為營運單位相關安全對策與緊急應變的參考。

STEPS 模擬軟體，可於緊急搶救時對地下場站之內部路徑選擇 (emergency route)可先期進行驗證是否符合緊急逃生時間之規範需求，並藉STEPS 模擬軟體達到設計最佳模式。

避難模擬分析考量複雜避難因素影響，將人員避難動線合理規劃，呈現在發生火災之避難過程中選擇最有利的出口逃生避難，再透過營運管理機制實現合理經濟避難安全設計，提供更接近真實行為的較佳化避難過程，同時據此避難動線所進行之煙控模擬，始具實務上的貢獻與價值。

5.1.3 檢討改善及回饋機制

由上面範例可知由軟體模擬可選擇，也可藉此模式試驗出建築較佳設計之方式，並對輸出之3-D立體畫面進行分析，並可對隔離之路線，模擬分析緊急疏散時間，人流動線集中區域及可緊急疏散人數，對於輸出之資料進行分析與檢討。

第六章 歐美對地下軌道交通設施防救災安全管理之探討

英國鐵道工程安全管理與我國安全管理模式大同小異，參考「工程安全管理基本原則與指引」第一冊、第二冊，又稱為黃皮書^[54]，由英國鐵道安全與標準部於2007年發布，黃皮書為英國鐵道安全管理之參考典範，故在地下軌道交通設施防救災安全管理研究引用之重要參考，因為其安全管理範圍廣泛、且思考邏輯緊密，期望未來國內地下軌道交通設施防救災安全管理能引用其優點、並配合國內之文化，擇其適用條款廣為引用。

6.1. 預防機制

6.1.1 目的

已撰寫工程安全管理（或一般泛稱之黃皮書）協助軌道工程人員確認其工作確實改善了安全性及之後軌道設計變更的效率。工程安全管理考量不僅是工程以外的事物，包含非工程人員等。

黃皮書主要是寫給檢視或對於影響軌道安全有權下決定的人參考，若僅是檢視整體架構、程序的人，黃皮書也許非必讀項目，然而並非鼓勵不去讀它，實際上若人員的工作與軌道安全相關，黃皮書仍然是非常有用的。黃皮書亦提供文獻考證（例如安全案例），及風險值在可接受的範圍程度下，設定相關的安全程序。這些安全程序能夠讓鐵路持續運轉，然而黃皮書僅考量安全相關之範疇。

黃皮書能協助人員在相關法規及標準下從事工作，然而在英國有一些軌道工程在工程安全管理上的共識，代表著良好經驗的基礎，某些經驗仍未完全涵蓋於黃皮書中。若從事於軌道工程相關工作，需要檢視目前所做的工作是否有良好的前例可循，若從事軌道其他方面的工作時，雖然這些良好的前例或許無法反映目前的特定工作，但仍不失為一個有用的參考依據。

6.1.2 定義

一般來說本文件係以平易近人的文字敘述，然而仍有一些特殊詞彙，其相關定義敘述如下：

Hazard（災害）－ 於任何狀態下會導致事故的事件。災害基本上應能以可行的方式排除，但非百分之百。若災害無法完全排除，那麼將存在風險。

Risk（風險）－ 即意外將發生的可能及傷害可能升高，在許多案例裡，風險無法完全排除，若持續改善安全，就必須接受風險存在的事實。

用維修的手段，確保某些設備是“適合運轉”，包含將某些以磨損的元件以新的元件替換等。亦即當提到維修時，包含一些專有名詞如『翻新』、『矯正』、『升級』及『強化』等。

當某些是事物安全的時候，實際上是當風險被控制於可接受的程度下，可接受的程度意味著隨著科技的進步，風險程度可能隨之降低更甚以往。

Safety case（安全案例）－ 描述確保某些鐵路安全方面的措施。

6.1.3 工程安全管理基本項目

一個系統性的方法對於工程安全管理來說，扮演了一個重要部分，用以確保鐵路是安全的。若人員的工作範圍所涉及到的安全程度非常的低或在安全的標準範圍內，那麼將不必執行完整的ESM。但若非上述範圍，某些基礎的特徵表現，需要執行ESM，四個標題如下：

1. 組織: 一般性的特徵需求來看，任何工作上對安全有影響的組織
2. 過程: 對安全有影響的一種工作方法
3. 風險評估: 認定災害及評估風險
4. 風險控制: 控制風險並顯示其為可接受範圍

工程安全管理基本項目確認哪些需求在軌道工程安全管理的範圍下，是需要完成的。這並非意味著誰應該負什麼樣的責任，而是藉由工程安全管理基本項目的確認，瞭解那些工作需要完成，藉由這些需完成的工作項目，計畫相關的責任分配。某些軌道產品若是已經有前例安全驗證可尋，則不需要證據來佐證。在某些已使用過的元件上或打算要用的元件時，應考量其差異性，組織及過程基礎仍然與安全工作相關。

6.1.3.1 組織基礎

6.1.3.1.1 安全職責

組織需確認安全職責並且紀錄成冊。當安全職責移轉時必須詳細記錄，確認每個人都瞭解其安全職責並且接受。每個人在組織中需明確定義其職責並且據以執行。在組織中需要找出誰對安全工作是可靠的。

對於那些有可能發生意外的工作，應該要有共同協助的安全責任在組織中。這將包含每個人的安全可能被其工作活動所影響，這些人包括員工及非員工。任何可能產生風險之工作，其工作人員需有足夠的知識及瞭解可能之風險並且將風險控制在最低範圍。

當組織領導包括維修或營運方面的改變，須確保其他組織清楚瞭解各項安全職責以及這些職責以涵蓋所有安全相關應辦事項。對於軌道的每個部分，某些部分需要持續的更新資訊，例如如何執行各項安全及可靠的工作、這些項目是如何設計、為什麼要這樣設計及使用這些資訊評估各項變更。

6.1.3.1.2 組織目標

組織的主要目標即是安全，組織領導人應使安全為主要的組織目標，並將安全與其他目標結合，設定各項資源需求用以符合安全之目標。

黃皮書提供關與安全管理目標的一些指引，這些指引將是考量與其他目標結合後，最有效率的指引。

6.1.3.1.3 安全文化

於組織內需要使所有的員工瞭解及重視與他們工作活動、職責相關的風險。

組織管理應確保下列事項：

1. 員工瞭解風險、持續更新安全影響因子、準備安全事故報告，包含事故及有效地管理回應。
2. 員工應瞭解何謂可接受的行為、一些安全作為及鼓勵員工從錯誤中學習。
3. 組織應有足夠的適應性，有效的處理各種異常環境。
4. 組織應學習過往之經驗案例，並從中學習做成教材。

6.1.3.1.4 能力及訓練

組織應確保員工有能力執行影響安全之相關工作。必須給員工足夠的資源及授權以執行其執掌。員工的績效應被檢視。

組織領導人應有能力設定組織內各級人員執掌及目標。

組織內部應有專門人力負責訓練、技術知識、技能、經驗及資格審核等工作，並決定何者應適當地執行。員工能夠從工作中學習經驗並成長，組織中應篩選適當的員工，確認員工之訓練符合各項影響安全相關之工作，符合執掌之需求標準。

6.1.3.1.5 與供應商共事

不論何時都應確保供應商有能力執行其合約範疇內影響安全的活動，供應商提供產品及服務，應分擔相關安全責任，但組織不能完全將安全責任移轉給供應商。所謂安全責任意指組織需清楚定義出供應商與組織所應擔負之安全職責。

與供應商共事基礎需確保合約關係，組織應於合約內設定特定的工作需求，要求供應商達成工作要求，當供應商工作完成後，業主亦需檢視承包商是否有能力達成相關之需求。

6.1.3.1.6 聯繫與安全相關之訊息

若組織內部得到某些區域或物品之風險過高時，應採取適當的行動，若風險過高的訊息需由相關人員控制，並將該訊息傳遞至相關部門，採取合理的步驟，確保接收者能瞭解該訊息。訊息應包含下列各項：

1. 關於軌道目前狀態的訊息
2. 關於系統實際如何運作的訊息
3. 關於目前工作進度訊息，特別是輪班或小組之工作責任轉換
4. 關於標準及程序改變的訊息
5. 意外之訊息
6. 發現其他員工問題之訊息
7. 某些員工之工作與安全相關性非常重要的訊息

組織內部的溝通必須是雙向的，特別是組織內部的管理者需要獲得正確的資訊作適當的判斷，並確保其所下之決策能夠下達至各部門員工，且所有員工皆清楚瞭解。組織應將災害及安全需求相關訊息傳遞給供應商瞭解。

6.1.3.1.7 相互合作

組織內部無論何時若需要與其他影響安全之組織工作時，必須要相互合作確保。

6.1.3.1.8 持續的安全管理

若組織的活動及職責影響安全且這些活動尚未納入安全管理活動項目中，應必須盡快納入。

越早開始安全管理，則安全管理的建立越省錢及越早能享受到風險降低所帶來的利益。如同章節1.4所討論，事情永遠不會一樣，風險控制於可接受的範圍內，並不意味著災害永遠不會發生。因此，組織應隨時警覺意外的發生，當意外發生時立即採取對應措施。

6.1.4 過程處理基本原則

6.1.4.1 安全計畫

執行安全計畫前應詳細規畫所有的安全管理活動，並非所有的安全相關活動都

必須放在安全計畫裡，然而在執行任何活動之前，一定要先規劃再執行。

每份計畫也需詳細程度不一，然而組織需要策略性計畫，分析當前情況、設定相關活動以達成安全目標。然後計畫個別任務及專案，安全管理活動可納入安全計畫裡，此部分亦設計為達成相關安全目標。舉例來說，安全管理活動一般來說考量到維修活動的計畫流程，這些計畫流程最終也許名稱不會是某個「計畫」，也許稱做某「規範」或「時程」等。然而，組織應該依據風險內容加以調整各個活動的項目。

6.1.4.2 系統的過程及良好的練習

組織應藉由經過實證的系統性過程執行與影響安全的活動，並且將過程紀錄下來及定期檢視。

組織應採用良好的系統工程練習，發展及維持安全相關之系統。工程如同其他活動一般亦需要安全文化。安全需仰賴人員有效地執行工作，同時亦仰賴員工所採用的工作方法及工具，主管應鼓勵員工採用最佳範例作為工作執行之方法。

當選用任何方法時，應考量相關標準規範，是否適合該項任務，並且持續檢視工作過程。

6.1.4.3 型態管理

型態管理應涵蓋所有需要達成的安全目標及展示，並且追蹤相關的改變及關係。型態管理應能協助瞭解下列各項：

1. 需求
2. 如何成為
3. 為何應如此
4. 個別地確認每個版本內的每個項目
5. 歷史紀錄及每個版本內的每個項目的狀態
6. 記錄每個項目的部分(若有的話);
7. 記錄各項目之間的關係
8. 定義確切實際及建議改變的項目

詳細資料的程度應事先決定方向，是否將持續個別地追蹤最基本的元件或僅僅元件的總成。要驗證系統的安全就必須要有足夠的資訊細節，若對於上述有些許的懷疑，那麼將無法確定風險是否已經在可控的範圍。

6.1.4.4 紀錄

組織必須保持影響安全的全部活動和充分的可稽核的紀錄。組織應該持續記錄，支援任何已降至可接受範圍的風險。各種實際案例的經驗亦需記錄下來做為未來決策的參考依據。

紀錄應包括執行計畫的安全管理活動的證據，這些活動包含但不限於下列各項：

1. 設計活動的結果
2. 安全分析
3. 測試
4. 檢視紀錄
5. 準事故、事故及意外的紀錄
6. 維修及更換紀錄
7. 影響安全決策的紀錄

記錄災害種類、描述災害復舊或風險控制及更新紀錄等，建立此資料在災害記錄表。這些紀錄應被安全地保存，直到確認已不再需要為止。通常來說，當改變某些鐵路安全事項，這些紀錄需要存放至這些改變已經移除為止。因此為了履行合約或達到標準，許多紀錄需要長時間的被保存。

6.1.4.5 獨立專業審查

組織內部執行的安全管理活動需要有獨立且為涉及該活動之專業人員檢視，這些專業審查可視為一系列的安全稽核或安全評估。稽核提供證據安全地據以執行計畫，評估則審查這些活動是否符合安全需求。2者一起支援安全案例，安全稽核、評估的頻率、深度及各項專業獨立的稽核人員，需依據活動的風險、工作的複雜度來評定，並非所有的活動，其專業檢視皆是固定的。舉例來說，號誌燈泡的更換也許有標準程序，那麼在更換燈泡的時候，就應該檢視其規格及程序是否據以執行。

6.1.5 風險評估基本原則

風險評估提供訊息，做為良好判斷安全的基礎。就專案來說，這些決策將包含是否要將新元件用於營運服務中。在維修來看，這些決策包含了是否將非預期性的行為考量在故障預防內。上述2個例子牽涉到平衡風險，從維修工作中提高之風險之於非從維修工作中提高之風險，2者的風險也許包含了鐵路營運的風險及維修人員於工作中產生的風險。

6.1.5.1 工作定義

組織內部必須清楚定義各項安全活動的內容及範疇，若對於各項安全行動有遲疑，將會導致安全活動執行時缺乏信心。

若維修部門的工作，其工作範圍將包含鐵路各項設施、設備的維修，其內容可能還包含了交通水準，某些鐵路維修工作部分可能被影響，某些鐵路維修可能會影響自身的工作。因此，各項工作需要找出核准安全案例的主管來負責。

6.1.5.2 災害辨識

組織內部應採用系統化的方法，鑑定所有與可能的災害相關的活動及責任。災害辨識是安全管理的基礎，若沒有災害鑑定則將無法用特定的行動，將災害去除，或將風險有效的控制。

當災害辨識為與組織的活動及職責相關，在執行各項活動或工作時，組織或個人必須確實瞭解如何避免發生災害。

不能只考慮意外可能發生在正常營運的時候，意外亦可能發生在某件事做錯了之後、異常營運的時候或其他時候，例如系統安裝測試的時候、維修的時候，非測試的時候、故障物處理的時候及降級營運的時候。當災害辨識的時候，應考量：

1. 人員及組織裡其活動及產品將可能影響安全者
2. 剩餘的鐵路營運對於人員的工作活動的影響及其相鄰者，那些你可能一點也不相信或一點也不需要控制的東西，可能存在的災害也許被辨識出。這些災害仍應被記錄，並且定期檢視，雖然你不太相信會發生。

你應該考慮災難性的事件，通常不會太常發生，因為鐵路方面改變的影響是被控制的。

6.1.5.3 風險評估

組織必須評估各項工作及職責對整體鐵路風險的影響，在多數的國家，風險評估是法定的責任，例如在英國，風險評估規定於regulation 3 of the *Management of*

Health and Safety at Work Regulations 1999。風險係為意外發生的可能性及災害可能升高的程度，2項因子皆因考量於風險評估，更甚者誰會被影響亦應考量於內。

為了讓鐵路營運更安全，某些事情係被清楚定義，就長遠來看，至少能減低整體鐵路的風險。

風險評估應將風險監控活動的結果加以考量如下：

6.1.5.4 風險監控

組織應採取所有合理的步驟，檢視及改善風險管理，並且尋找、收集、分析各種資料，用以改善風險管理，只要是與安全執掌相關的工作皆須持續進行的。

監控的形式係依照執行各種安全相關形式來決定，為了將風險監控範圍控制在工作執掌範圍內，應監控範圍如下：

1. 當所有的工作皆已執行，鐵路營運有多安全及可靠？
2. 工作人員確實執行程序的比例
3. 鐵路運作之環境影響

應考量收集及分析資料如下：

1. 事件、意外及準意外；
2. 員工的建議及回饋；
3. 沒有遵守的標準及程序；
4. 故障、耗損及剝落等；
5. 任何其他可能影響工作的事件。

若某些安全是依照假設條件，那麼應該收集、分析各項資料。當分析事件、事故及準事故時，應從根本去分析這些資料。因為將這些資料分析加以預防，也許同樣地能夠預防其他相同的問題。

組織主管應不時詢問員工各種安全的問題，並且請他們提出改善的建議。若是設備供應商，應該要求鐵路公司使用設備供應商所提供之設備與服務，收集並提供各項設備供應商所需要的資料。

6.1.5.5 風險控制基礎

6.1.5.5.1 減少風險

組織應執行完整的措施，用以控制鐵路整體的風險及其範疇內之責任。每項措施實施前，應考量是否合理。每項措施應於法律範圍內施行，若採取各項措施後，仍發覺風險過高，那麼結果仍將不予接受。

依照優先順序，應該尋找：

1. 將災害排除的方法或減少的方法；
2. 包含影響災害的方法；
3. 若有任何意外時的預備措施，用以減少傷害。

組織應認知減少風險的措施，取決於員工及各項設備，是否完整的執行其任務。盡量避免單靠某人或某樣設備，完成所有的安全措施。

組織應該找尋已經用於鐵路業之控制災害的方法，與工作相結合。即使本身的工作已是從事於使軌道更安全的設計工作，仍應該尋找各種能夠改善安全的措施，使鐵路更安全。

6.1.5.5.2 安全需求

組織應設定及符合各項安全需求，用以將工作相結合的風險降至可接受的範

圍，安全需求可設定如下：

1. 控制風險的行動；
2. 特定的功能或鐵路產品特徵或元件；
3. 維修或營運經驗的特徵；
4. 某些維修產品、項目的維修週期容許值。

組織也許需要有不同等級詳細的資訊，舉例來說，組織可設定職責範圍內之整體風險目標，然後定義各別設備的技術需求。

組織應確認所設定之安全需求是清楚確實可行的並且是可以檢視是否符合需求。

6.1.5.5.3 安全證據

組織應相信所有與風險相關的活動與責任已經控制在可接受的範圍內。組織應該提供各項有爭議的目標證據等，包含符合安全需求的證據。

組織應顯示：

1. 已有效地評估風險；
2. 已設定滿足安全的需求；
3. 已依計畫執行各項安全管理活動；
4. 具技能及經驗的員工已完成所有與安全相關的工作。

安全相關證據結論應是可靠的。若需要依靠別人的行動支持其安全證據，應記錄在案。盡可能的使用合理的方法，確保員工能夠瞭解他們所應執行的任務及接受這項職務之責任。

相關服務內的經驗及安全許可的證據應被包含在內。對於安全的爭議與證據通常表現在安全案例上。若是維修鐵路設施的維修人員，應該被告知，無論任何人負責安全範例，其改變皆可能造成影響或顯示出錯誤。

6.1.5.5.4 接受及核可

在作任何可能影響鐵路安全的行動前，應獲得必要的核可。安全核可一般來說基於安全範例的接受或伴隨的技術檔案。安全授權機構應核發證明、設定各種工作執行限制等。

在某些安全範例中，安全授權機構也許會核定組織整體流程，然後證明其工作。安全授權機構可能亦需同意組織的基礎建設管理或列車營運的風險已經受到合適的控制。

當改變鐵路時，改變之前應取得核可或將改變應用至營運服務中。某些專案中採用階段式的改變，每階段的改變也許都需要被核可。大型或複雜度高的專案，也許需要額外的許可，在提出改變之前，舉例而言，像是安全計畫或安全需求。若是維修部門，於執行各項維修活動前，也許需要維修計畫及程序的核可。

6.1.6 實際演練實務

組織裡已經有一套系統性的安全管理方法，只需要確認是否將各項作為實際演練。組織並不需將系統性方法作為唯一方法，因為那不是唯一有效的方法，但確認經過實證的方法。

6.1.7 系統生命週期

一個軌道系統的系統生命週期，可由下圖瞭解：

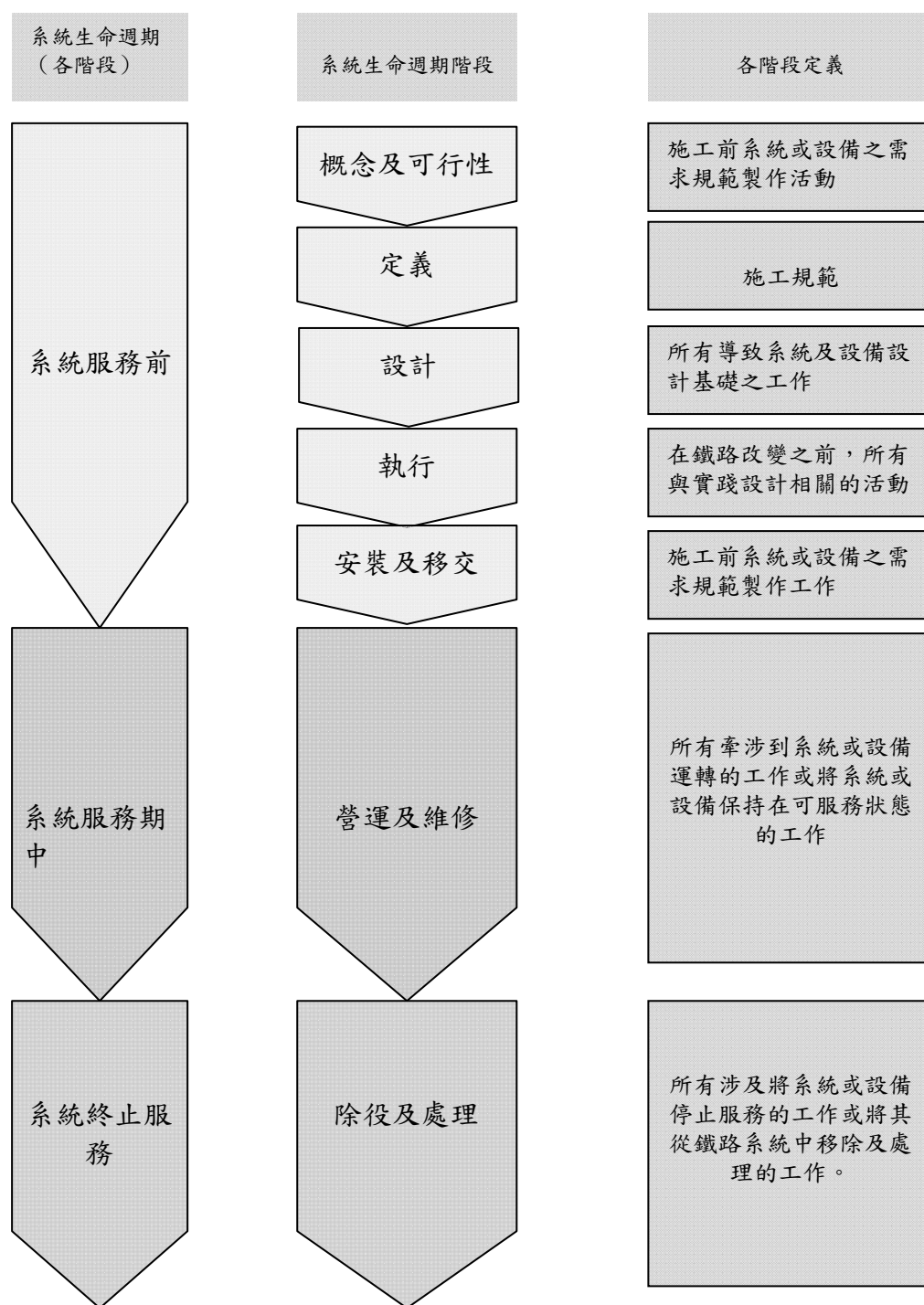


圖6.1系統生命週期

註：上圖非商業生命週期或專案生命週期，上圖僅代表各階段系統的生命週期。典型的系統於其生命週期中，其中將不只一個組織工作。

一般來說每一個階段牽涉到2種活動：

1. 活動係直接貢獻至階段的產出；
2. 檢視這些產出是否正確，包含了各階段的輸入及系統整體需求。生命週期含括3個團隊，營運中與後營運團隊僅各自有一個階段。然而將找到其他的方法分解所關心的各項活動。

6.1.8 辨認危害及評估風險

經過這個階段應該重新定義對系統災害的瞭解，整體鐵路風險的系統影響、考量系統環境的影響。這包含了改善及延伸初步災害分析，盡可能的將各項資訊變為可能。

7階段過程如圖6.2 所示。

1.災害辨識 涉及災害的鑑定及分級。

2.原因分析 牽涉到建立主要臨時因子，也許會增加災害風險及評估每一災害發生的可能性。

3.結果分析 牽涉到建立可能升高的災害的中間狀態及最終結果，從每一個災害提高的可能性評估意外。分析原因及或許與分析結果是平行的執行。每一個災害的結果，將會連結到損失的範圍（包括：人員傷害、環境損害或商業損失）等。

4.損失分析 考慮減少風險選項前，需要強大的安全損失評估（主要指人員傷害），降低風險及控制需要先鑑定每一個災害，減低潛在風險措施的範圍。

5.選項分析 由每一個措施所組成及評估其執行的成本。

6.衝擊分析 牽涉到執行每項風險降低措施之淨利益。

7.可接受程度展示 牽涉到那一項降低風險措施需要被執行及驗證其風險接受度。可接受的風險值及安全目標需要符合法律規範。

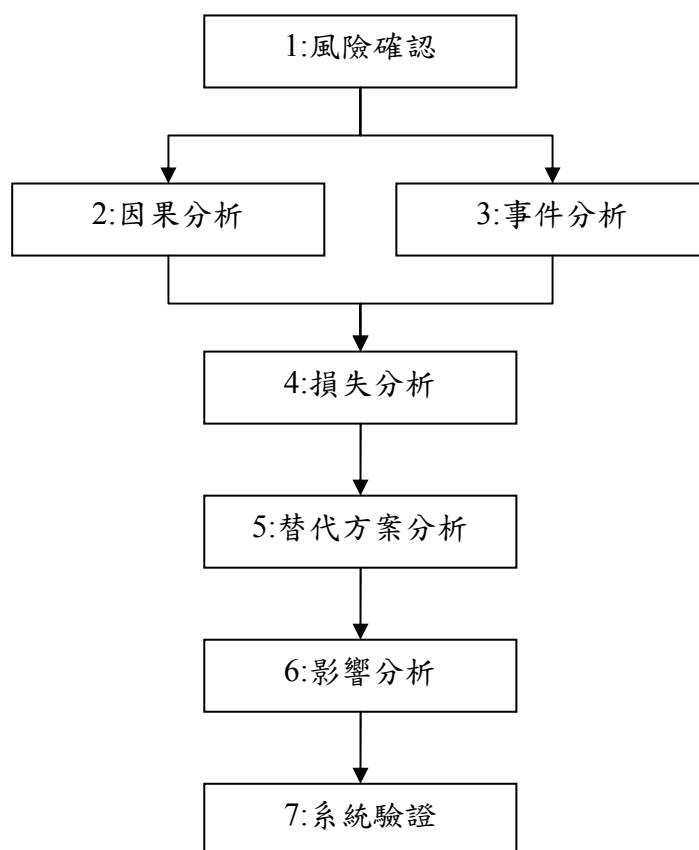


圖6.2 七階段過程

人為疏失通常為重大的風險來源。應該尋求證明的、模式的及可控制的方式，降低人為疏失。

6.1.9 安全需求

在這個階段應設定安全需求用以控制風險。執行跟專案相關的工作應確認可能會導致災害及意外發生的工作，評估這些工作的風險，控制風險至可接受的範圍，然後設定安全需求，確保符合風險範圍。

評估與風險相關的工作為法律需求。安全需求需與事先同意的安全目標一致。安全需求或許可定量或定性。良好的工程典範為符合元件的需求，諸如軟體及電力設施等，用於安全指定原則，特別考量系統性失效。

6.1.10 SIL 指定原則

隨機失效的評估及風險升高控制，係已經建立良好的技術。在許多工程行為中，藉由嚴格的確認及運用標準程序、指令及接受良好的練習，可將控制系統失效的風險降至可控制的範圍內。

然而隨著設計複雜度的增加，系統性的失效可能性，具有比例相當高的風險。就軟體而言，所有的失效皆是系統性的。在軟體及某些其他領域，其設計相當複雜，例如電氣設計，目前最佳的典範為使用指定原則，將系統性失效控制在可接受範圍。

指定範圍廣泛用於多數的標準中，包含EN 50129:2003 [F.6] and IEC 61508 [F.5] 及標準可行的指定原則等。

註：即使於複雜的系統，指定原則並不意味著是唯一的控制系統風險，亦可以從其他方面著手控制，例如從建築設計。

指定原則代表發展不同等級的嚴格程度及相關接近機率目標。五個程度被定義，四個安全相關的指定原則，範圍從指定範圍4(最緊急)至指定範圍1(最不緊急)，當功能無法依靠所有的風險控制時，可將其歸類為指定範圍0。每一個指定原則皆設定一個故障機率目標。如表6-1所示，表6-1係參照IEC 61508[F.5]。多數的案例中，表格包含高需求欄與低需求欄。

低需求欄僅用於預期會發生的需求：

1. 一年不超過一次；
2. 常用功能測試時不超過2次。

表6-1 安全完整度等級(Safety Integrity Level,SIL)

低需要的操作模式	連續性/ 高需要的操作模式(每小時危險性失效率)	安全完整度等級
$\geq 10^{-5}$ to 10^{-4}	$\geq 10^{-9}$ to 10^{-8}	4
$\geq 10^{-4}$ to 10^{-3}	$\geq 10^{-8}$ to 10^{-7}	3
$\geq 10^{-3}$ to 10^{-2}	$\geq 10^{-7}$ to 10^{-6}	2
$\geq 10^{-2}$ to 10^{-1}	$\geq 10^{-6}$ to 10^{-5}	1

註：無失效目標機率設定於指定原則範圍0。

系統性功能的失效目標機率應設定於達成整體系統風險可接受範圍。

整體系統內的每一個子系統將使用最大的指定原則範圍。

然而，若每個子系統的功能能夠被清楚的驗證為完全獨立的（即功能的失效被限制在其子系統之立即性的影響），要證明子系統功能性的獨立是非常困難的，因此瞭解各系統的功能是非常重要的。

6.1.11 SIL 分派原則

為了設定達成必要機率目標的指定原則範圍，分析員需要分攤各個低程度的範

圍值。藉由預設低程度功能範圍，將繼承支援高功能範圍值。

然而藉由使用複聯的建築物建立高指定原則系統，子系統的低指定原則範圍建立為備援或功能防護。若建築物確保其高指定原則範圍之功能失效，僅於所有主要及備援功能失效時，且2功能各為獨立。那麼最上位功能之指定原則範圍也許應高於各別之主要及備援功能。

表6-2 顯示某些組合，一般而言為核可的原則如下：

1. 低程度功能實體上分離的及使用不同設計準則建造；
2. 任何一個低程度功能的失效的組合物抑制了災害。

註：組合物總是限制最高等級之指定原則

表6-2 SIL 分派原則

最上層 SIL	低層功能 SIL		組合者(主要功能+其他輔助功能)
	主要功能	其他輔助功能	
SIL 4	SIL 4	None	None
	SIL 4	SIL 2	SIL 4
	SIL 3	SIL 3	SIL 4
SIL 3	SIL 3	None	None
	SIL 3	SIL 1	SIL 3
	SIL 2	SIL 2	SIL 3
SIL 2	SIL 2	None	None
	SIL 1	SIL 1	SIL 2
SIL 1	SIL 1	None	None

6.1.12 安全維護高階指導原則

6.1.12.1 簡介

本指導原則與營運及維修之系統生命週期階段相關，然而黃皮書的範圍並未含括營運的指導原則，因此本小節僅侷限於維修部分。

將維修分為5個階段，用以說明維修循環及提供某些指導原則於各階段應辦事項，最先說明何謂『維修』。

6.1.12.2 維修的定義

維修係用來描述維持一個系統適合運作所需要的所有活動，用以讓設備（子系統、元件及其他部件）在其運作生命週期階段持續在安全及可靠的範圍內，。

這意味著當談到維修，其所包含的維修活動如下：

1. 設備反覆的維修、檢視及測試；
2. 找出故障及修理；
3. 元件替換；
4. 功能性更新。

維修常常考量保持在某些參數設定下，例如在某特定限制下軌道行駛里程。這些限制範圍常常成為系統是否該維修的標準，這些標準為了達到安全目標、績效、可靠度等也許由維修單位制訂相關數值，當這些參數超過標準而仍未維修時，可能導致災害。

維修計畫及維修紀錄包含：

1. 計畫及紀錄維修的方法，從新品一直到設備更換為止。
2. 計畫及紀錄現有維修活動的改變。

維修亦包含下列各項：

1. 翻修及大修；
2. 系統調整（暫時性的或永久性的）；
3. 系統升級。

6.1.12.3 維修及風險摘要

若某件事會影響安全，那麼使系統能夠符合運作將牽涉的持續的維持系統安全。大部分鐵路設備，潛在性的都會影響安全，風險控制為軌道維修之整合部分。維修與不維修皆有可能導致系統風險增加。

本小節提供於維修時段風險控制之指導原則。系統可靠度（效能）接近與安全連結，特別是當系統降級（失效）運作時，列車的操作方式。

當談到風險時，總是考量人員接觸系統之意外產生及人員傷害，這些傷害包含了人員及旅客等。許多案例顯示，風險無法完全去除，這是必須接受的事實，當人們持續想要改善安全時。

6.1.12.3.1 換新及更換設備

當專案影響軌道營運設施時（例如分期建置），應考量新的災害可能性。例如於軌道旁施行工程作業時，號誌回路應事先考量其影響。設施設備的維修責任，包含任何改變維修工作的情况，在工作開始之前，應事先被相關單位核准與授權。相關的維修需求應完全瞭解，所有的資源應齊備。

在開始新專案之維修工作之前，各項資源應齊備，資源應包含：

1. 新的或是升級的維修設施（機廠或維修工場）；
2. 額外的維修工具及測試設備；
3. 備品；
4. 新的或是變更的維修標準及程序；
5. 維修人員能力的改變；
6. 組織的改變；
7. 系統型態紀錄。

維修組織應找出進行之新專案是否已考量風險範圍。維修組織或許需要改變既有維修設備，由於新設備的引進及改變相關軌道設備之運作等。

6.1.12.3.2 既有維修型態

若維修既有鐵路系統，那麼維修工作應基於既有的良好的維修經驗，然而，維修人員並不是完全清楚，為何之前的維修需要這樣做。在多數的例子裡，維修工作係基於多年以來所發展的經驗及練習。某些關於維修工作的決策，係出自於以前發生過的意外及某些最近的經驗亦能完全協助風險評估。

紀錄及分析許多關於軌道實際性能及比較安全性能是需要的。僅僅收集資訊是不夠的，無論何時某些改變或事件皆有可能影響所負責的維修部分。因此持續的蒐集資訊是必要的，因為往往事故發生前，並不容易被察覺。舉例來說，下列事項皆有可能改變：

1. 車輛運行模式、列車速度及承載；
2. 組織及人員；
3. 其他鐵路部件；
4. 區域環境；

5. 社會（例如恐怖威脅等）；
6. 風險等級。

若僅是維修管軌道系統部分，瞭解個人所負責的維修部分是很重要的。部門間的維修工作可能引起其他部門維修工作的風險，例如惡化的路基可能導致車輛懸吊系統的惡化，反之亦然。

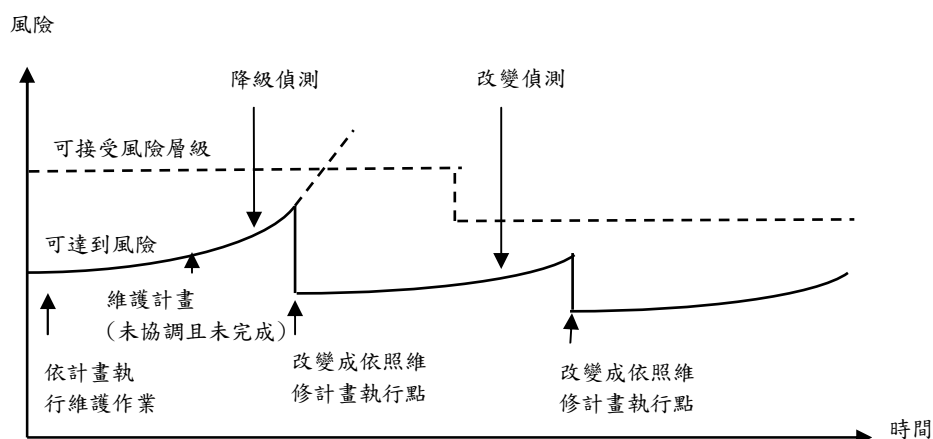
維修部門應該瞭解到如何在系統生命週期中，維持鐵路系統之功能。為了達到這個目的，必須瞭解存在的關鍵故障模式，特別是某些單一項目故障時，會導致嚴重的意外，2個案例如下：

1. 元件故障（例如車站手扶梯故障）係由預期性的循環負載所致；
2. 元件的異常載重由於某些其他元件失效所導致（例如鋼軌效能降低係由於車輪失圓所致）。

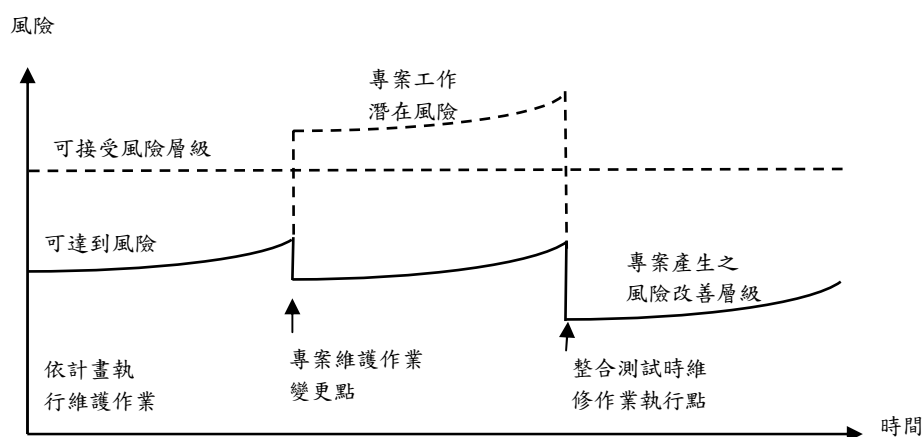
應定期監控鐵路營運實際之效能並將其與預期之效能作比較，決定出維修工作是否需做修正。若與預期不同，可能是因為：

1. 假設條件或依照標準基礎不同所致，或維修覺得不適當；
2. 設備的設計不夠周延；
3. 並非所有的風險已經被驗證或控制。

圖6.3 顯示某些上述觀念。



(a)營運生命週期期間風險



(b)專案工作產生之風險

圖6.3 維護與風險之關係範例

6.1.12.3.3 維修風險

選定的設備其運作基本資訊應考量如下：

- 這項方法符合黃皮書之基礎，因為以考慮若沒有確實執行維修工作時，導致設備失效的關連性風險。應成立一個獨立檢視小組（至少一位維修人員及一位最終使用者）檢視相關步驟程序，用以決定每一項設施設備之維修需求。

維修工作通常是由計畫-執行-檢視作為其維修循環模式。2個連動的循環，執行階段將區分為計畫及檢視2程度：

-
- ```
graph TD; A[維護計畫
(策略)] --> B[維護計畫
(每日)]; B --> C[維護檢查
(每日)]; C --> D[維護檢查
(策略)]; D --> A; C --> E[維護工作]; E --> B; E --> A;
```
- The diagram illustrates the maintenance management cycle with the following components and flow:
- 維護計畫 (策略)** (Maintenance Plan - Strategy) at the top left.
  - 維護計畫 (每日)** (Maintenance Plan - Daily) in the middle left.
  - 維護檢查 (每日)** (Maintenance Check - Daily) at the bottom left.
  - 維護檢查 (策略)** (Maintenance Check - Strategy) at the bottom left, below the daily check.
  - 維護工作** (Maintenance Work) on the right.
- The flow of the cycle is as follows:
- An arrow points from **維護計畫 (策略)** down to **維護計畫 (每日)**.
  - An arrow points from **維護計畫 (每日)** down to **維護檢查 (每日)**.
  - An arrow points from **維護檢查 (每日)** up to **維護檢查 (策略)**.
  - An arrow points from **維護檢查 (策略)** up to **維護計畫 (策略)**.
  - An arrow points from **維護檢查 (每日)** right to **維護工作**.
  - An arrow points from **維護工作** up to **維護計畫 (每日)**.
  - An arrow points from **維護工作** up to **維護計畫 (策略)**.

圖6.4提供各階段維修工作的指導原則，每一階段所建議的一系列維修活動皆與

潛在的維修基礎、可能的維修技術及工具。

這些指導原則的範圍用於執行維修工作是實際可行的，圖6.3 至圖6.9 包含典型的維修活動計畫。

註：雖然圖6.9 僅顯示資料報告分析及修正活動系統(DRACAS2)可能通知所有階段的維修活動。

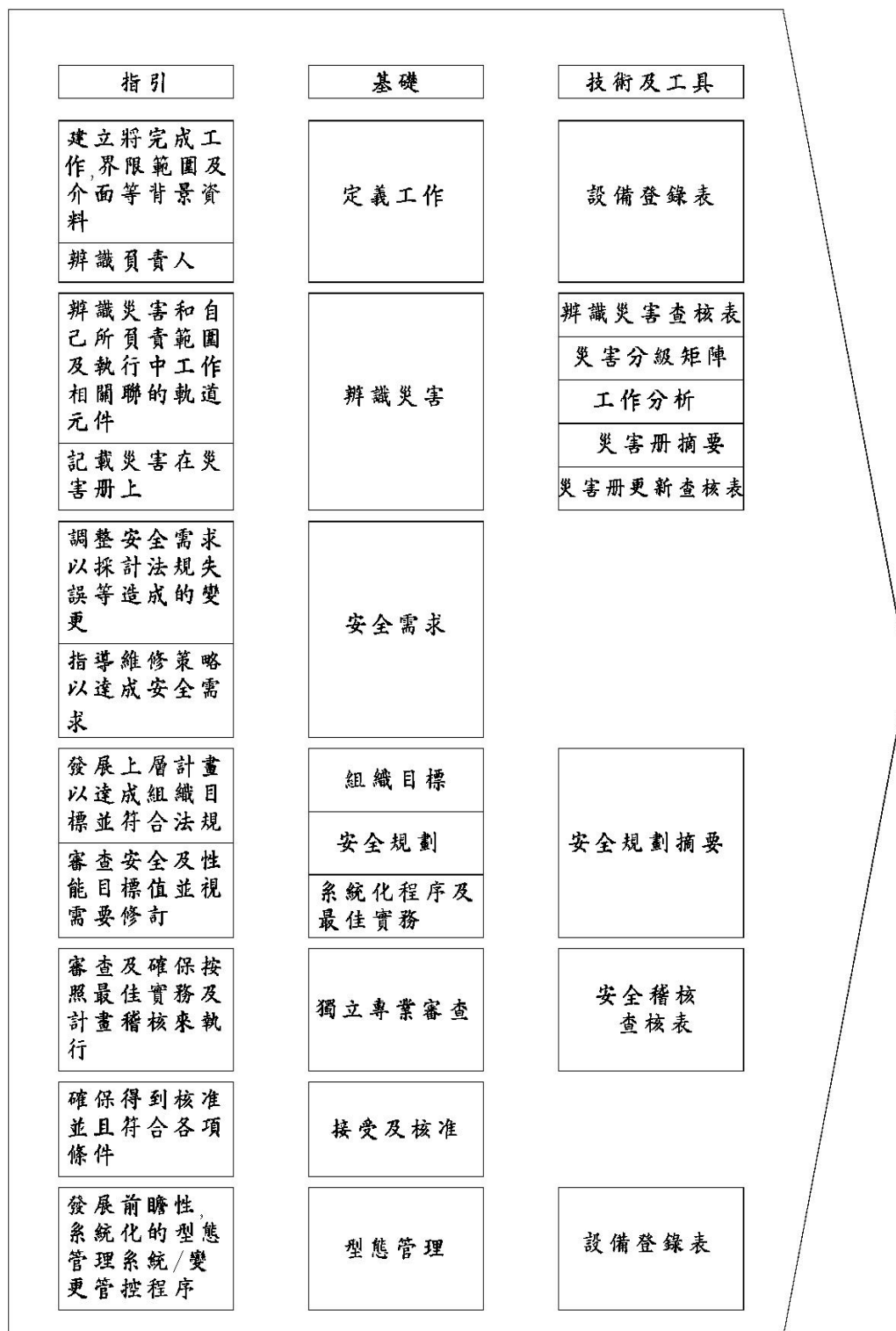


圖6.5 維護計畫(策略)

## 計畫維修（每日）

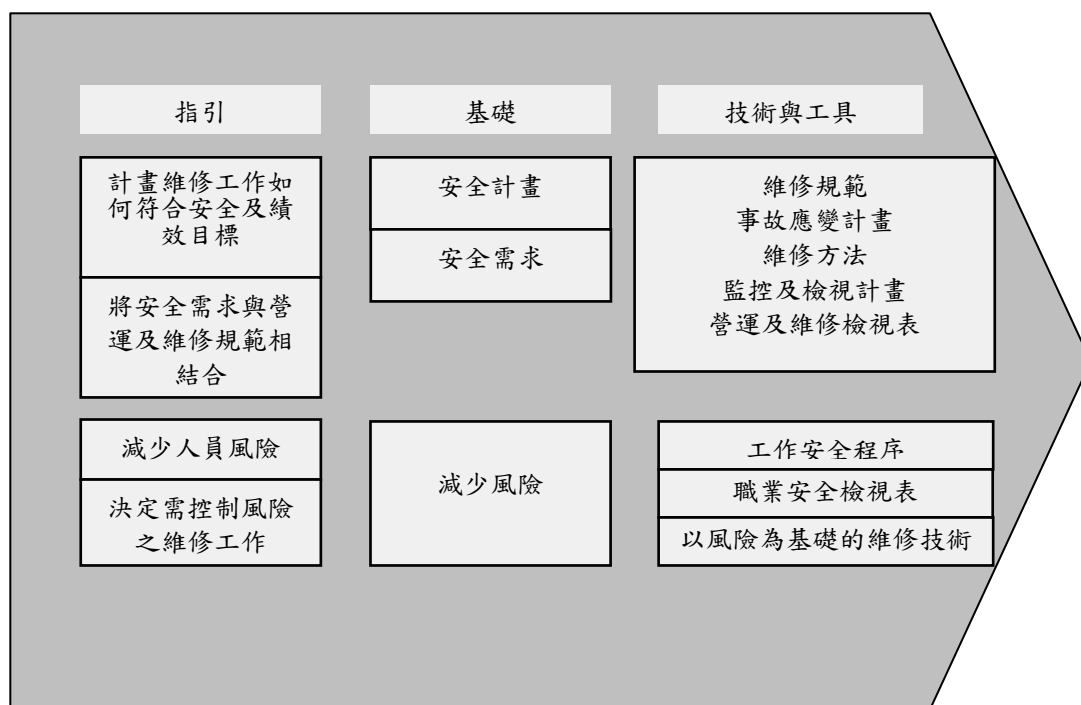


圖6.6 計畫維修（每日）

## 執行維修

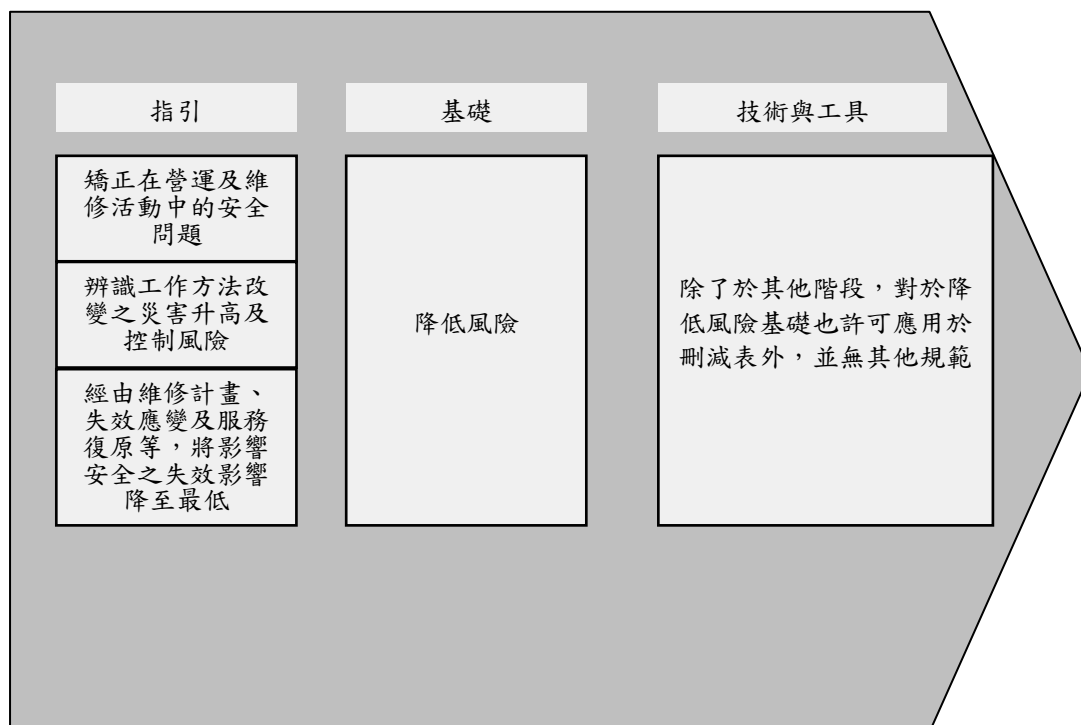


圖6.7 執行維修

### 維修檢視（每日）

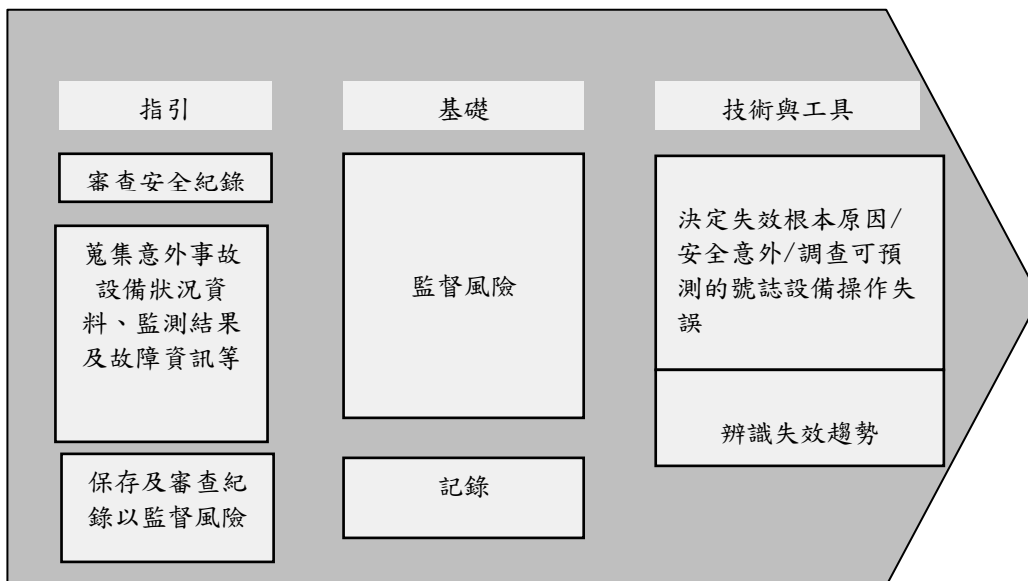


圖6.8 維修檢視（每日）

### 維修檢視（策略性的）

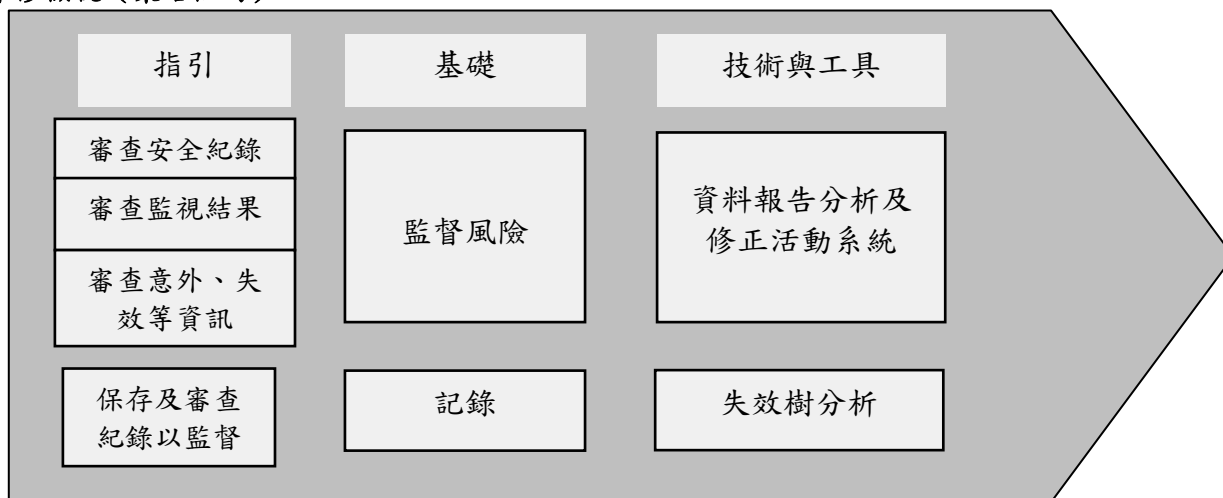


圖6.9 維修檢視(策略性的)

#### 6.1.13 安全責任分派

組織應符合其資源及管理，並讓每個員工瞭解安全責任，舉例來說，主管單位藉由資源的符合及人員的維修活動執行等，作為相關安全決策的考量。備援計畫應該確保讓安全能夠得以持續及支援當員工不足時的處理。當考量鐵路維修的安全時，應確保有人負責最新資料的收集及建立各項維持安全可靠的資料、如何設計、為何要這麼做且分析這些趨勢等資訊。

#### 6.1.14 安全組織目標及安全文化

##### 6.1.14.1 組織目標

組織內的主管應將組織目標清楚定義出來，設定安全目標並符合其他目標及資源需求。

組織應先設定主要目標，黃皮書僅提供管理安全的指導原則，其並非達到目標的指導原則，而是提供最有效率的方式，將各主要目標一併思考。

#### 6.1.14.2 安全文化

組織管理階層應確認下列各項：

1. 所有員工皆瞭解風險及將所有影響安全的因子更新至最新；
2. 所有員工需準備安全報告，包含事故、準事故，管理階層應有效地回覆；
3. 所有員工皆瞭解何謂可接受的行為，各項疏失所承擔的罰則及被鼓勵從錯誤中學習；
4. 組織應採有效地方式，處理異常狀態；
5. 組織應學習過往的經驗，當作改善安全的教材。

#### 6.1.14.3 一般性指導原則

組織的安全文化為其對安全的一般對策及態度。好的安全文化，安全永遠是放在第一位，在工作中可明顯的感受。安全成為組織的產品，安全程序支援已經達成。

好的安全文化可藉由管理階層設定的安全政策、員工的自我意識及將安全政策具體施行的動機等，建立起良好的安全文化。

本小節提供培養良好安全文化及詳盡的安全政策角色的指導原則，並且描述了安全政策宣言的內容及組織如何施行的方法。

業主有某些法律義務與安全政策相關。

本小節之指導原則適用於系統各階段的生命週期。

##### 6.1.14.3.1 組織目標

所有組織內與安全相關的工作，皆應將安全設為主要目標。作為組織的管理階層，將安全政策推廣於全組織及讓員工有動機遵守並施行安全政策，將是很好的練習。在英國，為了要符合法律規範，鐵路營運組織當考量如何管理安全時，需要提出三個領域如下：

1. 旅客的安全；
2. 員工的安全；
3. 工作上與安全有影響的人。

組織應針對上述3個層面，設定安全管理目標並提供必要的資源達成目標，為了達成目標，需要：

1. 瞭解你目前的安全狀況；
2. 決定你的安全目標；
3. 決定你要做什麼工作才能符合目標。

為了達到上述目標，需要考量：

1. 要如何收集與安全相關的資料（請參閱黃皮書第16章）；
2. 將如何計畫在工作上確保安全（請參閱黃皮書第11章及第9章）。

組織並應設定目標，減少員工發生意外、準意外的事故。長期的安全目標應以零事故為安全等級，並專注安全政策是否落實。

##### 6.1.14.3.2 安全文化

安全文化應推廣至所有組織，組織應盡力推廣安全文化與下列相結合：

1. 符合可行的標準及程序；
2. 就是第1次；
3. 不接受差勁的工作標準；
4. 瞭解：
  - (1) 整體風險已被控制；
  - (2) 風險非一成不變，當風險升高時，新的災害需要被管理；
  - (3) 什麼樣的組織應該被完成。
5. 從事故中學習改善工作安全及整體鐵路安全；
6. 與維修人員資訊分享；
7. 行動-當發現某些事情作錯時。

#### 6.1.14.3.3 安全文化的好處

一個有良好安全文化的組織時，員工：

1. 會瞭解到安全的重要性；
2. 在所有的工作中，視安全為最高原則；
3. 持續地努力改善安全；
4. 瞭解相關法律及法規。

良好安全文化的好處：

1. 安全為組織的產品及服務；
2. 潛在的災害及故障能於早期偵測、消除或控制；
3. 組織的產品是安全及可視的；
4. 組織瞭解到效率、節省成本及法律遵守等。

一個良好的安全文化將強化組織的聲譽，然而卻可能因單一主要事故將所建立的信譽毀於一旦。

#### 6.1.14.3.4 安全政策

良好的安全文化起始點，是管理者承諾的一部分。最好的表達方式為設定一個安全政策，由董事會認可。安全政策應說明組織的安全主要達成目標。

安全政策宣言應定訂組織內安全管理的基本方法。安全政策宣言應包含安全步驟及產品安全議題。每個組織依據其情況發展各自的安全政策宣言，然而，安全政策宣言應包含：

1. 確認安全為組織的主要目標；
2. 清楚定義組織的責任與安全績效；
3. 清楚瞭解每個人在組織內的職責，確保安全；
4. 確保產品符合安全需求；
5. 組織內部持續性的改善安全；
6. 遵守法律規範及標準；
7. 採取所有合理的步驟減少風險。

絕對的安全是無法被保證的，因此安全應與其他影響安全因子一併考量。

意味著：

1. 雖然安全為主要目標，但它不只是目標；
2. 安全的事務在所有的成本裡並不明確；
3. 何時需要停止嘗試降低風險需要被判斷。

藉由定義安全政策宣言，確保各項組織內活動能夠有效地執行及監視安全的影響。管理階層應鼓勵良好的安全典範，監控安全及提供必要的資源。

#### **6.1.14.3.5 安全文化中員工的職責**

安全部門主管通常扮演起草、執行及維護組織安全文化及安全政策的角色。

組織內的員工，從上到下皆必須瞭解安全的重要性，遵守安全政策並將其融入至每日工作中。

一般來說，主管仍負工程安全管理的責任。

#### **6.1.14.3.6 落實安全政策**

組織董事會應確保：

1. 遵守安全政策係管理承諾；
2. 組織員工應瞭解遵守安全政策的重要性；
3. 提供必要的訓練及資源；
4. 監控及改善組織執行工程安全管理的方法；
5. 定期稽核組織，藉以評估其安全相關之績效。

瞭解為成功執行安全政策的主要關鍵，組織內的每位員工應意識到安全的重要性及組織的安全政策。由於組織成員及型態不同，因此達成安全政策的方法亦有所不同。就小型組織而言，利用直接安全政策簡報即有可能達成安全政策目標，就大型組織而言，不間斷的提醒可能更為實際。

管理階層應將主要元件，以程序方式執行安全政策。這包括經過訓練的即有相關背景的員工。

管理階層應提供機會及動機給所有員工，用以改善安全作業。

#### **6.1.14.3.7 如何監控安全政策**

管理階層應檢視安全政策是否落實。典型的例子，這是持續性的計畫，確保時間內的每個層面的政策皆是落實的。

一般來說，組織內的安全政策監控，係利用抽樣的方式，對組織內相關安全的活動抽樣監控。某些實例來說，抽樣檢查已經足夠，就某些案例來說，仍然需要執行正式的稽核才行。

安全政策落實的方法應定期檢視各種安全相關活動是否符合良好的典範。

#### **6.1.14.3.8 人員因子管理**

人員因子管理如同其他安全工程管理般重要，鐵路行業是高度依賴人力執行其安全營運的行業，人總會犯錯，因此人為疏失可能會帶來風險，也許是所有風險之最。任何組織裡的安全文化都應該將員工行為視為重要的議題。

#### **6.1.14.4 額外維修指導原則**

在基本鐵路的設計中，在沒有任故障的情況下，一切都是安全的。良好的維修組織目標為將所有的故障情況降至最低，一般良好的經驗為設定維修目標，減少設備發生故障的次數及找出關鍵失效的因素等。同時設定故障回應的目標（多少時間能修復）及確保一定能達成。



#### **6.1.14.5 訊息傳遞**

組織應安排將各項安全相關的訊息，傳遞給需要的員工，以降低風險：

1. 災害風險及安排控制它；
2. 設備及系統的極限；
3. 相關安全事故案例學習；
4. 設備安全相關的訊息；
5. 災害鑑定及風險評估；
6. 設定風險控制的策略；
7. 建立的安全需求。

若任何資訊改變，應確保所有人員包含供應商等安全工作相關者皆能收到訊息。

組織應記錄各種類型的資訊，決定誰需要收到該訊息，然後確保收訊者收到訊息。

#### **6.1.15 安全溝通與相關資訊；**

##### **6.1.15.1 相互合作**

###### **6.1.15.1.1 與組織溝通**

若要完善的安全管理，良好的溝通是基本的。組織內應建立將最新安全訊息傳遞溝通的方法，讓所有需要相關資訊的人，能夠及時及地收到需要的資訊。良好的溝通系統將協助組織對於安全相關的事務，做正確的決策，並且瞭解其所擔負的安全責任。確保組織內成員，當發現任何有安全風險的情況時，他們可以透過何種管道向誰報告。

當傳遞訊息時，應確認接收者已收到及瞭解所傳遞之訊息。對於訊息的傳遞，盡量使用正式文件方式（例如備忘錄、使用者手冊、安全範例、災害紀錄表等），下列為有效的傳遞訊息方法：

1. 面對面說明；
2. 非正式文件（公佈欄、電子郵件等）；
3. 聲音、影像封包；
4. 訓練。

不論何種傳遞方式，皆需要留下紀錄，且可被稽核的。

###### **6.1.15.1.2 組織間的溝通**

理論上，若一開始的時候，組織間使用良好的口頭溝通方式，那麼誤會可以很快的解決。然而，與安全相關的訊息溝通，需要有事後稽核的機制，因此所有的溝通都應該建檔成冊。

基於商業信任的考量及在組織之間某些等級的訊息傳遞可能比較慢及昂貴。為了避免上述情況，通常比較好的作法是簽署非揭露協議並且同意支付簽署組織之相關費用。

###### **6.1.15.1.3 通訊系統**

建立能夠在正常、降級及緊急情況下的通訊系統係鐵路單位重要的基礎。組織需要有一個通訊系統紀錄所有安全相關的訊息及正確的使用。安全相關的訊息需要有效且立即地收集供管理階層作決策。

通訊系統的型態應能夠符合使用者需求，組織應將安全相關之通訊流程及時間急迫訊息等，使用故障回報設施作為資訊來源（例如從維修管理中心連接至單一熱線）。應確保所有人員有詳細的聯絡資料能夠跟其他單位聯繫及提供足夠的資源管理所有型態的訊息。

需要管理的訊息方法包含：

1. 手寫的通訊；
2. 口頭的通訊；
3. 訊息資訊及資料系統。

當選定通訊的方法時，應同時考慮維護通訊紀錄的方法。某些時候需要利用無記名或獨立的通訊報告設施，例如機密事故報告及分析系統（CIRAS），為了擷取某些各別員工事故安全資料，然而當使用時需要特別注意其合法性。

#### **6.1.15.1.4 文件通訊**

良好的通訊係使用清楚的語言及圖形傳達訊息，簿記通訊為有效的通訊方法之一：

1. 使用表列、規格化的文件或表格；
2. 利用設計圖說表達型態資訊；
3. 使用文件報告傳達現況資訊。

若使用文件通訊方式傳達需求，應確保所有的員工能夠正確地存取文件並且取得最新版本的文件。

#### **6.1.15.1.5 口頭聯繫**

良好的口頭聯繫係依賴清楚的語言表達。使用認可的詞彙及標準英文，避免不正式的俚語或方言。使用結構化的訊息表達，包含標準語音符號及結構化訊息格式用於溝通。當傳訊者發出訊息時，收訊者於接收後，應重複指令，確保所收到的訊息與傳達者想表達的意思一致。

組織應將所有交談內容用語音記錄器記錄下來，做為未來訓練教材及事故調查之參考資料。

#### **6.1.15.1.6 資訊科技及資料系統**

若組織擁有網際網路系統、行動通訊設備及電子郵件設施，那麼將有大量的訊息收集的能力，並且通告給個職務所需之員工。但須注意不可將大量不必要的資訊傳送給不相關的員工，避免系統負荷過大。

資訊系統提供另一種文件訊息傳遞的方式，因此文件語言的辨識是非常重要的。

組織應有備援的方法以維持當IT通訊故障時，維持系統運作的功能。

#### **6.1.15.1.7 正常狀態下的聯繫**

工作班相互交錯工作為一般鐵路常見的方式，若幾個工作班做相同的工作，那麼將需要設定相關的工作團隊及規則，包含使用者、維修者及供應商。工作團隊需要使用相同的專有名詞，並且需要有一個授權單位解決直接面對到的問題（例如重大的、非預期性的問題等），所有的聯繫安排應做成文字紀錄存檔，以備稽核。組織應聯合發展工作程序及工作計畫，讓安全不會被各項工作影響。

#### **6.1.15.1.8 緊急狀態下的聯繫**

若組織有潛在性將會處理各種意外或緊急事故的情況，那麼將需要一套備援計畫聯繫相關單位或人員，應付當情況發生時的狀況，例如：

- 組織需事先安排，通訊線路及控制及設定專用的通訊設施等，如無線通訊等。
- 組織應事先聯繫相關救援單位，萬一發生天然災害或意外時，能夠事先建立一套

防災管理模式及處理方法。

每位員工都應該瞭解各項防災作業的範圍及處理方式。

緊急狀態相關處理方式應明訂於組織安全管理系統中或勞工安全衛生計畫或安全範例中。這些安排通常為了如建築物、辦公室、工地及機廠等地之事故預防而發展。應定期檢視及更新必要的改變。

典型的風險，考慮的緊急計畫部分：

1. 列車出軌或碰撞；
2. 火災及人員縱火；
3. 恐怖活動；
4. 闖入者及故意破壞；
5. 洪水及其他惡劣天候；
6. 油品/化學品外洩；
7. 高風險作業，如侷限空間工作、高溫作業及其他需授權才能進行之工作；
8. 關鍵性設備及系統遺失。

**6.1.15.2 通訊** 將是緊急計畫之主要考量要點且必須包含主要人員與每一個外部單位的聯繫方式。例如地方醫院、緊急救援服務、公共設施及消防疏散計畫的詳細資訊。在緊急狀態的情況下，所有的資訊如電力隔離、瓦斯、自來水管線等需提供安全工作環境。

需要確保關鍵員工的可靠度，擁有正確技能的員工在關鍵時候在時限內作出正確的決定。

關鍵性系統的安排應該被維持，例如關鍵性材料、工具及設備等需要持續的供應。重要電腦資料的備份應計畫成每日備份。

對於組織來說，利用模擬練習各種緊急事件的處理情況，例如火災模擬演練、桌上演練及實際模擬。

### **6.1.15.3 人員因素管理**

當設計一個系統的時候，使用者與其他系統的界面需要被仔細考慮。

主要人員因素管理如要：

1. 最終使用者的特質、能力與極限。為了瞭解系統能夠被多安全的使用，這些因素需要被考量。
2. 既有相似系統的詳細資料，為了瞭解人員因素的安全需求，組織應該要瞭解既有系統及相似系統是如何做的。

在一個專案裡若沒有與相關人員共事過，執行這些人員的能力考量並不容易。當多元專案在某一項大的專案裡時，組織應有一位人員因素聯繫人員，人員因素聯繫者負責確保專案的聯繫活動及發現各項活動中的衝突等。

### **6.1.16 安全規畫-系統化程序及實務運用**

#### **6.1.16.1 安全規畫**

所有計畫於實務上必須是得以運用的，若參與任何鐵路運輸之緊急運作時，應事先有一詳細的計畫。計畫內容可以涵蓋所有項目，但亦可依不同情境加以區分，例如可依不同之工作時間、不同工作性質來加以區分計畫分類，然任何計畫必須事先完成。計畫亦可依不同程度區分其細節，例如於上位階可採用策略性方式，用來分析現有狀況，然後設定一完整計畫來達成安全之目標。

此外，將可依個別項目及計畫來制訂詳細的安全管理作業，且該安全管理作業

亦可做為達成其他目的之作業要項。例如，一般而言，安全管理作業僅考量規劃維修作業之一環，而此規劃程序之結果亦可作為其他「計畫」，如「規範」或「時程」；其所使用之名稱並非重點，重要的是所有的規劃作業已經完成。隨著計畫的延伸，必須調整原來之規劃及安全管理作業已符合計畫延伸所衍生之風險，任何與風險相關之新的訊息，必須加以瞭解，若有需要並需修改計畫。

#### 6.1.16.2 一般原則（安全計畫）

無論任何形態得規劃作業，主要之目標均是確保預定完成之工作，得以安全且有效地達成，所有參與之人員均以此為目標並依此來進行聯繫與協調。下列為7個主要元素：

1. **事：** 描述所涵蓋之工作範疇，包括詳細的工項與所需之紀錄。詳細之程度需足以反映出使用本計畫人員之需要及誤動作後所產生之後果。
2. **法：** 描述所需之方法，通常需引用或參閱相關之規範。
3. **地：** 描述作業發生之場所。
4. **時：** 描述整體之工作時間及部分工作完成所需之時間，包括作業之順序及重複工項之週期。
5. **人：** 指派工項，並指名執行及檢查之人員名單。
6. **物：** 描述需要之資源（工具、材料、機具、供應商等）
7. **何：** 描述該工作與公司目標相關之基本原則，及軌道運輸需管理之整體目標。

所有計畫必須整合（參閱黃皮書第9章），有關緊急規劃之綱要亦參閱黃皮書。構成一好的實務計畫仰賴於：

1. 執行之工作形態；
2. 所設計之系統與設備之完整度；
3. 目前實務所採行之標準，其將會依時間有所改變。

本小節並不訂定何謂好的實務作法，但僅提供依原則性用來判斷好的實務方式，及其文件，做為參考依循。

本小節所說明之原則適用於系統生命週期中之所有階段。

##### 6.1.16.2.1 初步說明

任何鐵路系統上之重大變更應視為一專案。

任何與安全相關之專案，其應規劃其安全管理作業，而作法則是制訂一安全計畫。

安全計畫執行下列兩大功能：

- 1 提供一完整詳細之清單描述如何降低安全風險至可接受之範圍（或顯示其已為可接受範圍）；
- 2 提供任何形式之證明來確認此部分已被執行。

安全計畫應說明並證明其以工程安全管理（ESM）之方式來適用該專案，故其已完整考量且被同意的。

安全計畫可能與可靠度、維修度與可用度等計畫合併為一系統保證計畫，然而其通常將其分開故其可單獨提送給安全審議單位。

本小節說明於專案執行時各不同形態之安全計畫，及安全計畫準備之程序及其內容。

#### 6.1.16.2.2 安全規劃之深度

安全計畫之範圍及深度將依計畫之複雜度與風險程度而有所不同。就簡單且低風險之專案，簡要之安全計畫訂定計畫人員及說明其執行方式即可。(註：若假設該專案為低風險，則該假設必須是明確的且被實際確認。安全計畫不管其複雜性或風險程度，均需被安全審理單位核准。)

安全計畫可被允許依據先前之工作來展示其可接受之風險程度，然需確保下列：

1. 先前之工作係依照完善之實務作法；
2. 其包含計畫之所有風險；
3. 沒有採用其他新的發展項目、應用或使用。

最後一項條件可能可以稍微調整，如於低風險之專案得允許低程度或有限度之開發。

#### 6.1.16.2.3 安全規劃程序

典型之安全規劃程序如下：

- 1 發展一初步安全計畫用來制訂整體安全管理，其中，基本安全計畫應說明執行完整之安全分析，並確保執行該工作人員之能力。
- 2 提請初步安全計畫送相關之安全審議單位確認及核可。
- 3 執行安全分析及發展安全需求項目。
- 4 準備安全計畫說明如何達成安全需求。
- 5 提請安全計畫送相關之安全審議單位確認及核可。
- 6 若有需要更新該版本之安全計畫並重新送審核可。(註：可以先請安全審議單位先行提供相關之意見後再另行提送。)

計畫經理必須負責準備初步及完整之安全計畫。計畫經理可以指派合格之人員來準備該文件然其仍須保有完全之責任。安全計畫之範圍應依據相關之資料及計畫組織架構而定，其可以區分為幾個小計畫用以涵蓋計畫之不同階段，或是必須執行之特定項目等，然而所有安全相關之作業必須涵蓋於安全計畫內。

安全計畫之主要目的係制訂一套用來控制風險之作業程序。同時，其亦用來告知安全審議單位，有關專案之想法並取其回饋意見。因此安全計畫應通常提送給安全審議單位核准。

安全計畫於專案執行階段，若有對已規劃項目之任何變更，必須進行更新，若有重大之更新，安全計畫必須重新提送。

註：通常，特別是針對基礎建設之專案其僅可於夜間及週末進入軌道區域，其執行階段將分為幾個步驟。部分人員會將此解釋為「階段性工作」，部分人員解讀為自鐵路初步階段「轉移」至其最終階段。若有此狀況，必須確保風險已控制至可接受之程度不論鐵路於中途任何階段開始運作。此與最終階段之風險控制之安全可接受程度相比通常較為直接明瞭，然而此議題必須加以考量並於初期規劃。

#### 6.1.16.2.4 初步安全計畫目錄

本小節說明必須包含於初步安全計畫之內容。初步安全計畫必須為一簡短，上位階之安全計畫，於專案展開之前完成，並說明整體策略及如何降低安全風險。

建議架構如下：

- 1 概述及背景說明；
- 2 安全分析；
- 3 主要人員；
- 4 安全審核及評估；

5 安全文件；

6 安全工程。

每一單元必須是簡短概要性說明，詳細之規劃將於安全需求及安全計畫文件被定義後展開。

概述及背景說明應描述鐵路系統之目標、範圍及所做過之變更（詳第14章）。

安全分析應描述系統所欲採用決定風險管理之技術並建立安全需求。此章節必須確認執行危害確認及分析之主要人員。

主要人員章節係用來確認參與安全角色之人員及證明其能力。

安全審核及評估應訂定審核者及/或評估者之能力及獨立需求。若已經知道，應將其明確定義。

安全文件應描述應產出之文件，其包括災害登錄表、安全計畫及安全分析文件，並說明安全範例是否需要。

安全工程應包括高位階、主要之工程步驟其用於降低風險（如備援系統、保護系統、故障自趨安全之設計原則）。

#### 6.1.16.2.5安全計畫之目錄

本小節描述需包含於安全計畫之內容，章節架構建議如下：

1 前言；

2 背景說明及需求；

3 工程安全管理項目；

4 安全控管；

5 安全文件；

6 安全工程；

7 外部項目認證。

詳細之安全計畫綱要詳附錄B。如採用不同之章節架構，其亦需確認包括上述相關訊息。複雜之專案其亦可將其分為不同之子計畫，包含上述一個或多個章節。

##### 一、前言

此章節應包含目標、目的、範圍及安全計畫之架構。

##### 二、背景說明及需求

此章節包含：

1. 利用工程安全管理之規範，如本書或是安全原則等來證明所採用之方式；
2. 描述或是引用採用之安全原則；
3. 描述鐵路系統之目標、範圍及所做過之變更（詳第14章），並提供或引用系統與設備之概述，包括相關之介面；
4. 說明或提供安全需求規範；
5. 簡述用來衍生風險耐受度所使用之風險評估標準；
6. 描述指派安全功能至系統元件之程序；
7. 列出本專案或系統之任何假設及限制條件。

項目(3)及(4)可於前期中被省略，但是若已有完成之項目應包含在內。

##### 三、工程安全管理項目

下列工程安全管理項目應加以說明

- 1 安全角色及權責；
- 2 安全生命週期；
- 3 安全分析；

- 4 安全提送項目；
- 5 安全標準；
- 6 安全評估；
- 7 安全審核；
- 8 安全範例及安全核准；
- 9 供應商管理；
- 10 型態管理；
- 11 專案安全訓練；
- 12 系統營運、變更及維修；
- 13 除役及廢棄。

下列章節說明安全計畫針對每個項目應描述之內容

#### 四、安全角色及權責

此章節應訂定專案內之安全主要人員，包括其角色、權責、資格、經驗及其通報流程，特別針對下列項目之管理及執行之人員必須明訂。

1. 訂定安全需求；
2. 主要負責設計、執行或是驗證；
3. 執行安全分析；
4. 與相關權責單位（如HMRI）之聯絡人(註：供應商通常會透過營運單位與HMRI聯繫。)
5. 專案經理應負責：
  - 製作安全計畫；
  - 提送安全計畫給予相關安全審核單位；
  - 如有必要，必須參與會議決定風險可接受與否；
  - 確認安全文件按照規劃時間製作；
  - 執行安全審核及評估；
  - 實施工程安全管理項目；
  - 確保每個參與專案之人員瞭解安全計畫；
  - 確保並指派足夠資源來執行安全計畫；
  - 確認主要人員之能力。
6. 協調組織內其他單位及業主之安全作業。若有專案安全經理，其將被指派下列權責：
  - 製作安全計畫；
  - 提送安全計畫給予相關安全審核單位；
  - 如有必要，必須參與決議會議；
  - 確認安全文件已如規劃時製作；
  - 執行安全審核及評估；
  - 實施工程安全管理項目。

此章節定義安全督導及安全評估員之安全權責。

安全督導應執行安全稽核確保其符合安全計畫及相關程序之規定。

安全評估員應評估安全需求是否足夠，且其是否符合。

黃皮書第五章提供安全角色及權責之原則，第13章則提供安全審查與評估之原則。

#### 五、安全生命週期

本小節定義專案之主要階段及安全生命週期中必須執行之安全工作。安全生命

週期應依照黃皮書第3章之規範中工程安全管理作業之時程中加以衍生，且必須符合本專案之特殊需求。專案與安全生命週期之關連必須加以定義（其為於專案任一階段安全作業必須被執行）。

#### 1. 安全分析

本小節定義用來決定安全需求之安全分析程序本程序，各程序必須依據專案需求訂定。本手冊第15章訂定執行安全分析之原則。

每一項安全分析作業，應包含詳細之權責、文件及提送時程，同時亦應說明建立風險耐受度之標準。

#### 2. 安全提送項目

本小節應說明與安全相關之項目（與安全文件不同，詳黃皮書11.3.5.5）其必須於專案中提送，其包括與安全相關之硬體及軟體，但大部分亦需包括與維修程序相關部分。

#### 3. 安全標準

任何安全相關工作應依符合ISO-9000之品質管理系統（QMS）規定辦理。

本小節應說明本專案需依循之程序及標準。程序應參閱符合國家或是國際標準之品質與技術文件，其亦需說明這些程序與標準之優先順序，以避免互相衝突。

#### 4. 安全評估

本小節應說明一系列安全評估之時程，或者說明專案期間與安全評估員間之作業安排。任何一種方式均應確保所有作業可以提供權責單位或獨立單位判斷專案是否符合安全需求。

安全評估員應為獨立單位之人員。黃皮書第13章提供如何展開安全評估之原則及安全評估員之獨立性。

本小節亦應說明供應商之安全評估，若該等供應商有參與本專案之安全相關工作。

#### 5. 安全審核

本小節應說明一系列之安全審核來確保安全程序符合安全計畫。安全督導應為獨立之人員。本小節亦應說明供應商之安全審核，若該等供應商有參與本專案之安全相關工作。黃皮書第13章提供如何展開安全審核之原則及安全督導之獨立性。

#### 6. 安全範例及安全核准

本小節應說明滿足本專案安全相關之標準，其中包括程序及核准之機制。

本小節應提供作為系統安全核准之依循，一份經核可之安全範例應提供作為安全核准之參考，其中應說明誰將需發展本安全範例且哪些安全核准單位必須核可。

專案可以提供其他證明文件來證明，例如，第三單位之安全證書及安全評估報告等，若有採用其他證明文件者應於本小節說明。註：若專案性質為發展產品，事先提供並確定安全核可單位可能有所困難。

#### 7. 供應商管理

本小節應說明供應商之管理已確保其所提供之作業符合整體安全需求。供應商應擔保其產品可符合適當之規範，其測試計畫應展示滿足安全性質。測試計畫文件應作為認證文件之參考依循。

外包之項目應與自行生產之安全分析相同，供應商所提供之分析與評估結果應作為系統分析之輸入。外包工作之安全目標應由專案經理來訂定並由供應商同意。專案經理應要求供應商提供滿足本規範之安全計畫，並由專案經理核可。



本小節應包含供應商之安全審查及安全評估之時程，其中應包括評估供應商之ESM及QMS，以確保其符合標準。黃皮書第8章提供透過供應商解除安全責任之規範。

#### 8. 形態管理

本小節應說明如何管理系統之型態，通常將參閱型態管理計畫。本小節應說明系統、元件及設備如何訂定標示，以確保其安全性不致於因使用錯誤或未測試之設備而有影響。黃皮書第12章提供型態管理之原則。

#### 9. 計畫安全訓練

本小節應訂定執行安全相關作業之訓練需求，並提供訓練時程以符合需求。

#### 系統營運、變更及維修

本小節說明分析系統營運之程序以確保滿足需求，其中應包含系統變更與維修之程序與核准機制。

#### 10. 安全控制

本小節應說明與安全相關之品質控制，通常將參閱另外之品質計畫。其應訂定出於限制區域使用設備及不得於公共區域使用之設備之需求。這些需求可能包括訓練、保安及使用特定安全相關程序或控制。本小節應包含本專案每一項安全提送之簽名紀錄。

- 提送之起始人；
- 核准人（此指技術工作之核准）；
- 核定人（此為權責管理人，通常為專案經理）。

#### 11. 安全文件

本小節應說明是否應採用階段性之安全範例或單一安全範例及明列需產出之安全文件，其中應說明何時需產出及誰需負責撰寫。本小節應提供表單、內容、提送等之規範參考，其每份文件需核定之人員。

#### 12. 安全工程

本小節應說明主要之工程步驟其用來降低風險（如備援、保護系統、故障自趨安全之設計原則）。工程步驟應符合系統設計之完整性，於工程之每一階段，應說明所採用之方法，包括追蹤記錄、驗證及認證及所製作之文件。每一階段完成應作一完整之驗證作業（如測試計畫、檢視或是檢驗）

#### 13. 外部項目之認證

本小節應說明如何控制安全相關之外部項目其風險得以控制（如工具、設備及元件於先前已發展或採購）至可接受範圍。本小節應說明使用外部項目之核准程序，程序應包含下列：

- 決定哪些與安全相關之項目將使用；
- 取得該項目之所有文件；
- 評估文件；
- 判定該項目使用於專案需求之能力及限制；
- 測試該項目之安全性質，包括個別及與系統；
- 執行使用該項目之風險評估；
- 執行該項目供應商之安全評估；

使用外部項目其核准程序若有不同應於安全計畫調整，若無核准應依下列：

- A. 非安全相關項目應參閱災害記錄表；
- B. 有營運實績且在相同使用環境下使用之系統或設備；
- C. 先前已獲安全審核單位核准。

相同之程序應用於更新或修改先前使用於專案之外部項目。

本小節說明任何與安全相關之工具及設備應被核准，其必須說明外部項目供應商之分析、測試及驗證得以滿足上述核准程序之需求，其亦需指出負責核准人員。

#### 6.1.16.2.6 規劃人因工程作業

人因工程作業應事先規劃。

於專案開始時應於安全程序中發展出一套整合之人因工程策略，其將說明專案所採用之方式。

一旦專案之安全需求確定，應開始展開人因工程之規劃。可以另外發展獨立之人因工程計畫或僅將人因工程當成一般考量，任一方式均需與專案之計畫文件整合，並說明欲採用之技術、所需之技能及需執行之詳細計畫。同時必須確保人因工程之考量已納入整體系統設計程序之中。

#### 6.1.16.3 維修之其他原則

工作方式之規劃將會影響組織之設立（參閱黃皮書第5章）

在開始工作方式之規劃時，應先行考量目標，瞭解目前現況及決定所需執行之工作及如何達成（參閱黃皮書第6章）。

規劃方向將是決定鐵路資產得以確保持續性之安全與執行。假如將規劃重大改變，應參閱本小節之專案原則，然而維修規劃應允許重大改變之可能，例如有能力應變立即性之環境影響。

安全規劃應於維修組織中之任一層級，規劃係決定如何執行工作而其將會影響其他單位之作業內容，如其他維修組織及營運單位，所以必須安全地執行工作。維修計畫應確保備援、保護系統及營運系統均是符合服務狀態的，而此將可以確保系統所設計之風險降低方案仍得有效執行。

縱使單一元件之失效並不會造成事故（故障自趨安全元件將有安全之失效模式），然而鐵路系統之整體風險程度將會增高，若列車於降級模式中運行時。例如，採用手作號誌之風險將高於正常狀況採用道旁號誌，因此，維修型態之規劃應降低失效之發生。

維修計畫應明確訂定需要仰賴其他來完成工作及所執行項目有影響其他的部分。

##### 6.1.16.3.1 上位階安全規劃

組織應先訂定一上位階計畫用來說明如何滿足整體目標並滿足法律規範（參閱黃皮書第6章），要完成上位文件組織應先發展計畫確定需完成之工項，在規劃安全時，應先瞭解目前之狀態，並決定新的目標，並收集相關資料以幫助發展新的目標。相關工作應：

1. 事- 需收集之資料有助於瞭解風險及控制；
2. 法- 如何收集及紀錄；
3. 地- 何處收集；
4. 時-何時收集及收集頻率；
5. 人-誰負責收集，誰檢視，及誰決定哪些需改變；
6. 物-用何種機具收集並記錄資料；

#### 7. 何-瞭解所收集資料之目的。

當收集資料時，應瞭解資料之正確性及其所代表正調查之狀況，其結果可能改變正執行工作之方式及刺激組織改變。

實務上固定檢視安全及績效目標（如每年一次）是有必要的，以決定是否需改變。同時於事件發生後及重大改變造成所負責工作有所影響時，亦應檢視規劃安全及績效之方式，其必須與上位階之安全計畫連結，所以每個人可以瞭解所執行之工作。實務上組織應每年公布其策略計畫並列出其安全及績效目標，並指出需達成該目標之負責單位。

#### 6.1.16.3.2組織層級之維修策略

在組織層級，應計畫如何執行工作來符合安全及績效目標，同時應制訂監督程序以確保工作執行與計畫相符，並達成主要績效指標。利用所收集之資料，應可以規劃如何發展控制流程以執行維修作業。

#### 6.1.16.3.3維修規範

維修規範應說明每一項目之維修作業及其週期，此應考量安全範例內之假設及承包商之文件，內容之詳細程度取決於執行維修作業人員之能力，採用一致性之標準將有助於風險掌控及審計紀錄之保存。

規範應包括安全容許值之資料。

可利用維修規範之安全資料附錄來作為風險控制，其中接近限制係指特殊項目其僅有有限時間得以維修，所以訂定優先順序，尤其針對安全重大之測試，故此部分得以先行完成，其餘未完成工作則為較不緊急將可另行安排。

維修規範通常與設備操作手冊併同，以利於工區使用，其中若不適合描述工作方式，應另外製作如操作原則或是檢視清單等。

#### 6.1.16.3.4 工作指示

維修規範應附錄工作指示，其描述工作如何執行，需要之資源，人員能力及相關介面之安全準則。一套好的工作指示應該是明確的，且清楚描述不同等級及經驗人員所需之能力。一般將會先描述通則，並特別針對不常發生之風險予以明訂（如密閉空間、特殊列車運行）

工作指示必須與現場維修人員說明以滿足其需要（參閱黃皮書第9章），最新之工作指示應於工區置放，且應採用標準之架構及格式，以便使用者容易找尋。

#### 6.1.16.3.5 規劃收集資料

計畫如何收集安全與績效資料是非常重要的，其有助於瞭解風險控制是否得宜，其是否需要改變維修作業。資料應包括規劃預完成之工作及該工作控制風險之效力。很多維修組織要求其維修人員登錄維修項目維修前後之重要訊息，例如調整、增置、修護、置換、降級及發現任何例外項目。

#### 6.1.16.3.6詳細維修時程

需發展詳細的維修時程以確保維修策略得以有效的執行。一個好的維修時程必須明確訂定出那一項設備需進行維修且何時需進行維修，通常需預留部分彈性以利額外的工作及故障復原，但不能超過最長之維修週期之要求。當維修作業彼此之間互有衝突時，必須整合各項工作確保均被執行（參閱黃皮書第9章），若有可能應使維修人員得以具有多項技能，以保持其維修能力並可以執行多項維修作業。

好的維修組織會定期檢視並更新其維修時程，以反應工作之實際狀態，若預定

之工作無法及時完成，應調整維修時程並重新指派相關資源給予較優先之工項。

#### 6.1.16.3.7 規劃程序

應明確訂定規劃人員之權責並給予其適當之規劃資源，較好之模式為賦予執行計畫之人同時具有規劃之權責，例如軌道工程師應發展其軌道維修之策略計畫，基地工程師則應依該策略發展特定地點之執行計畫，督導人員則規劃如何完成該項工作等等，一直至小組組長其應規劃執行每項工作所需使用之工具及設備。

為達成完善之規劃作業，規劃人員必須具有能力，且瞭解何項維修作業必須完成及會影響該項作業之限制條件等資訊，同時需確保規劃人員能獲取該項資訊及可能影響維修作業之其他工項，通常應發展一規劃程序已提供一致性的流程及結果。

所完成之計畫必須透過溝通使所有人員瞭解所需完成之維修作業，通常可以利用IT系統來管理維修時程，其可以將每項維修工作指派到個別維修小組（例如分派工單），且可以瞭解實際工作完成之狀態，工單上之資料必須得以符合現場環境及完成該工項所需之所有資料。

此外，必須訂定如何管理計畫變更之程序以符合整體需求及工作優先順序，此對於維修極為重要，因為維修作業可能因一些非預期之狀況而延誤，未完成之工作必須重新安排。

無論計畫進行何項變更，必須重新提交計畫，並與相關人員說明以利其作業。

#### 6.1.16.3.8 督導及檢查

在完成維修時程後，必須確保所有工作均有效執行，且其結果得有效的掌控所辨識出之風險，維修工作之內容應有規劃以檢查鐵路安全、人員安全、旅客安全及鄰近相關設施之安全等。

下列有2種方式得以執行：

1. 人員執行工作時之督導；
2. 檢查所完成之工作。

確認所規劃之督導及檢查應以「維修時就正確」之理念來執行，以避免產生「檢查時可以修正」之觀念。

當確認如何檢查維修作業之安全時，應同時將其建立於組織內。

若發現問題應詳實記錄，並改正相關工作人員，若安全得以於其他部分執行，則應加以執行以降低風險。

**督導**包含監督工作之執行透過檢查符合施工說明之要求來確保所執行之工作得以人員安全、旅客及相關鄰近設施之安全。同時其將檢查其工作是否合乎維修規範及工單，督導作業必須確保所有項目、人員及每一工區均被涵蓋。

督導工作之範疇及頻率應反映人員之經驗及其所執行工作之風險程度，通常應先督導新的工作或是較無經驗之人員，且最好預留部分彈性以使督導工作得以針對重要的工項。重要之工項包括，高空作業或有高安全相關（如維修道岔或是車輛煞車系統）

檢查所完成之工作包含在維修工作完成後檢查設備以確保維修工作有正確地管理風險（如避免系統惡化），應計畫設備檢查確保所有資產設備之維修已包含了不同位置、年限、狀況及使用。具高風險之資產應給予較高之優先權，此外應於維修週期內之不同時間進行檢查，以瞭解其是否會影響維修作業，例如於維修週期到期之前前往檢查，其將可能獲得與維修規範相關之資料、上次維修工作完成之品質及適當之檢查週期等。

#### **6.1.16.3.9 維修實務作法**

維修組織應尋求維修之實務作法，其將包含採用一般鐵路業界使用之維修規範，其中將為制訂維修工項、何時需維修及於何種環境中如何維修等，其亦包含如何規劃維修作業、聯繫及執行人員安全。

實務作法可能包含使用新的技術，如裝設於車上之影像偵測及超音波偵測等。若選擇採用新的技術，應同時考量該方式所衍生出之風險危害，及既有已降低之危害。實務作法可能包含管理工作，如限制軌道維修工作必須於營運時間結束才得以執行。

假若有發現實務作法得以改善安全，或是既有之作法無法有效管理安全，則應改變原有之作法。

若採用新的實務作法，應確認其一致性，應制訂如何執行此實務作法及與相關人員通知。同時必須持續性檢視鐵路之維護作業，確保此實務作法及改變並未降低安全。不論採行何種方式，必須確保所執行之工作符合鐵路法規及相關標準之規定。

若改變作法會降低安全，則應予以避免。與既有作法一致之方式應比經常改變較佳，經常改變可能會產生一些安全風險。

#### **6.1.17 型態管理及紀錄**

##### **6.1.17.1 型態管理**

組織應記錄所有為達成安全之變更及與其相關之所有項目，此為型態管理之目的，型態管理可以幫助瞭解：

1. 所取得的項目；
2. 其將執行何功能；
3. 其型態及形式採用型態管理將可。

1. 每個項目均有特定之版本識別
2. 記錄每個項目版本之歷史及狀態
3. 記錄每個項目之元件（若有）
4. 記錄每個項目間之關連性
5. 精確定義實際的項目及建議之變更

應先訂定型態管理之詳細程度，是否要記錄個別之零組件或是僅是組裝後之元件。應採用詳細之程度以便展示安全性。若對上述任何項目有所質疑，則將無法確認所有的風險已被控制。

若有執行鐵路系統之維修作業，型態管理之安排應包含所維修部分之所有鐵路資料。

計畫應可以將作基層之項目付諸執行，若有機會參與緊急工作，則亦應將及納入計畫內。

##### **6.1.17.2 型態管理計畫**

專案之型態管理應予以規劃並記錄於型態管理計畫內，本計畫應定義：

1. 明列型態之所有項目；
2. 型態管理於專案內之權責包含可核准更新型態項目之人員權責；
3. 基準型態必須制訂；
4. 版本控制安排；
5. 變更控制程序；

6. 軟體型態管理安排（若有需求）；
7. 型態管理使用工具。

項目1.到7.將於下列說明。

#### **6.1.17.2.1 基準型態**

基準型態為一一致且完整之型態項目版本，其必須定義：

1. 需求規範；
2. 所有從此規範衍伸出之型態項目；
3. 依此規範所建構之所有元件及其相關版本之型態項目。基準型態係建立於系統生命週期之主控點，任何未來之變更將以此為基準點。

#### **6.1.17.2.2 版本控制**

於計畫進行當中，或是營運時期，相同之項目可能因系統之發展而有不同之版本，以便得以提供不同之應用。

可利用給予版本一特定號碼、有意義之名稱及版本狀態等來控制不同之版本，並加以控制版本之變更。

應制訂變更追蹤表來記錄所有版本變更，此外，已被取代之文件版本及軟體應存檔以便日後參閱。

由其是否已被核准使用之條件，應可立即建立版本之狀態。若已確定是有誤之版本應予以清楚標示以避免誤用。

#### **6.1.17.2.3 變更控制程序**

任何與基準型態不同之變更應被評估以確認其安全相關影響（如新的危害）。所有的變更應紀錄且應依照要求變更之程序，評估變更是否會影響其他的型態，並檢視其變更。

#### **6.1.17.3 安全紀錄**

安全紀錄之維護取決於專案之複雜度及風險程度，所有以執行之活動及紀錄應保存以便於管控風險，並作為證明該風險已被控制。簡單及低風險之專案將僅需保存少部分與安全相關之資料，故其紀錄將較少。高風險及複雜專案將需要更多安全紀錄。

安全紀錄是有價值的且不易被更換。適當的保安及備援應採用以確保其完整性。

危害登錄表是主要之安全紀錄，其功能應包含：

1. 詳細危害及潛在之事故；
2. 維持一系列之安全紀錄及依時間記錄事件之條目；
3. 提供可追蹤之所有其他安全紀錄；
4. 收集所有安全證據以支援安全範例（若有）。

圖6.10 展示危害登錄表及其他安全紀錄之關連。

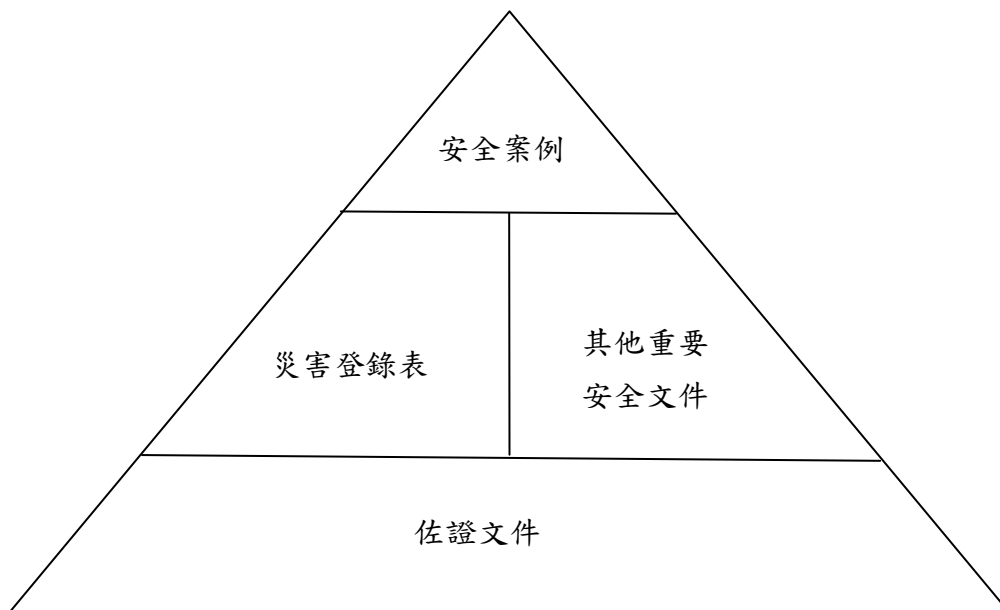


圖6.10 安全管理文件架構

#### 6.1.17.4 管理及控制風險登錄表

危害登錄表之進展及更新應：

1. 相關之危害或潛在事件被定義；
2. 相關之事件發生；
3. 其他與既有危害、事件或事故之相關訊息；
4. 安全文件被產出或重新修正。

危害登錄表應與專案檔案存放，故相關之參閱可以容易取得。每一項目之危害登錄表可為分開之檔案，只要個別文件存放在同一地方。

所保留之紀錄必須清楚、簡單並適合於未來決策時使用。應清楚瞭解保留紀錄之目的以避免保留非必要之紀錄。

保存紀錄之方式及所保存之紀錄將會納入標準及法規內。

維修組織應檢視紀錄來確認是否風險已控制於最低之程度，而此將會決定是否需要改變以提高安全，相關之決策應加以記錄。

應確保於工作地點容易取得紀錄，相關之格式可能取決於法律要求（例如有些要求要保留簽名之紙本等）之應盡量

假如於設備上工作時需參閱紀錄，應確保該紀錄於工作地點得以取得，例如設備的測試結果應提供給維修人員及其他維修組織以用來分析超時耐受程度及故障排除等。

紀錄應妥善保存避免遺失。

#### 6.1.18 獨立專業審查

組織內執行的安全管理活動必須由未曾參與相關活動的專家來進行審查。這些審查工作可區分為一連串的安全稽核和安全評估工作；稽核的結果要能提供按照計畫執行安全工作的佐證紀錄，評估則是要呈現出符合所有安全需求的證據。因此，這兩者都是安全案例(Safety Case)的主要依據。至於各種形式的審查，其執行的頻率與完整性以及審查者的獨立性則是要視風險是否擴延、新奇程度以及工作的複雜性等因素來決定。

如果一項安全管理活動做好幾次才完成，最好是回頭去把該項安全管理活動規定清楚，而不是檢討安全管理活動是否落實執行。舉例來說，更換號誌燈的程序經過審查是有效的，還是要檢查號誌燈本身是否符合規範要求，才能夠替換。

由獨立專家來審查安全相關工作，對於專案本身和維修作業時的安全信心有重大的貢獻，然而，提供來執行的工作指引在這兩方面卻有相當顯著的基本差異。

#### **6.1.18.1 安全稽核與評估**

##### **6.1.18.1.1 安全稽核**

安全稽核的目的在檢查專案的工程安全管理(Engineering Safety Management, ESM) 是否適當，且已經按照安全計畫執行。如果沒有一本安全計畫，在執行安全稽核之前，就必須要求準備好。

安全稽核報告是稽核的主要產出，此報告應包括：

1. 專案工程推展是否符合安全計畫的判斷；
2. 安全計畫是否適當性的判斷；
3. 符合或改善安全計畫所採取行動的建議。

執行安全稽核應考慮：

1. 從上次稽核以來的工作進展；
2. 下一階段的所有規劃工作；
3. 上次稽核的建議。

##### **6.1.18.1.2 安全評估**

安全評估是形成某一判斷的過程，判斷發展出的系統所伴隨的風險是否已經（或將要）降至適當的水準。系統的安全需求是安全評估的核心所在，評估者應審查安全需求規範以評判他是否足以控制風險，且要審查該系統以評定是否它已符合或將要符合安全需求規範。

安全評估包括使用設計分析、稽核技術以及有能力經驗人員實務的評估。如果專案工程於近期內未執行有效的安全稽核，則開始安全評估之前應該做過一次，以確保所要評估的文件是在應用正確的安全計畫之下編製而成。執行安全稽核的結果未達一定標準，安全評估應延期到矯正行動完成才做。安全評估的結果應編製成安全評估報告，報告應包含評估所發展系統連帶的風險是否降低到某一適當水準，而且視需要建議某些矯正行動。萬一風險評定無法接受，則做過矯正行動之後可能需要再做一次安全評估。

##### **6.1.18.2 安全稽核或評估的啟動**

一般而言，審查形式的深度與頻率，是由審查者依專案工程的複雜性及風險水準決定。通常在專案工程期間會安排讓審查者與專案工程有一段持續地交流，長短會依專案工程的複雜性及風險水準成比例增減。典型的安全稽核如果是簡單且低風險的專案工程，一位稽核者應該不超過一天就能做完。

安全稽核及評估的起始點應該在安全計畫中有所規定，而計畫經理或是安全經理可視需要額外執行。

執行安全稽核或評估的人必須填寫一份安全稽核/評估紀錄表，詳載安全稽核或評估的各項需求以及所有相關細節，包括：

1. 計畫名稱與參考；
2. 安全稽核/評估者的姓名、資歷及獨立性程度；
3. 前次稽核及評估的參考；
4. 稽核或評評估需求的定義。



- (1) 稽核或評估的範圍；
- (2) 稽核或評估的目的；
- (3) 稽核或評估的基準；
- (4) 前次稽核或評估結果的查證。

此一紀錄表應由專案經理、稽核/評估者同意及署簽。

#### 6.1.18.2.1 獨立性

安全稽核/評鑑者必須獨立於專案工程，每一稽核或評估執行者都應決定獨立性程度。以下章節只是提供作為指引。

獨立性等級應依專案呈現的風險水準而定，對一些系統而言，特別是電子系統是以發展的系統裝備的安全完整度(Safety Integrity Level, SIL)做為指標，SILs (黃皮書第 17章)已有充分討論，以下表格則是提供有關獨立性等級的指引。表6-3 提供由(IEC 61508 [F.5])摘錄的相對於SIL適當的獨立性等級的指引，此表只能在已指定SIL的系統使用，而不適用於未應用SIL或應用但還不知道的系統。舉例來說，當安全需求還未設定時獨立性等級應依據系統設備造成意外的可能後果來決定。表6-4提供相對於後果分類適當的獨立性等級的指引。

須注意‘HR’表示高度建議，‘NR’表示不建議，而‘-’表示不考慮。對於低風險的專案執行單位或許與專案有密切往來但不應在專案工作。

表6-3 SIL適當的獨立性等級

| 獨立專業審查層級 | 安全完整度(SIL) |    |    |    |
|----------|------------|----|----|----|
|          | 1          | 2  | 3  | 4  |
| 獨立專業審查人員 | HR         | HR | NR | NR |
| 獨立專業審查部門 | -          | HR | HR | -  |
| 獨立專業審查組織 | -          | -  | HR | HR |

表6-4 後果分類適當的獨立性等級

| 獨立專業審查層級 | 結果  |    |    |    |
|----------|-----|----|----|----|
|          | 可忽略 | 一般 | 嚴重 | 災難 |
| 獨立專業審查人員 | HR  | HR | NR | NR |
| 獨立專業審查部門 | -   | HR | HR | -  |
| 獨立專業審查組織 | -   | -  | HR | HR |

表格中亦指出獨立性是可以選擇的（舉例而言，表6-3指出對於SIL 2的系統，獨立人員及獨立部門都屬高度建議），決定適當的獨立性等級，下列因素必須加以考慮：

1. 之前經驗類似設計的程度；
2. 複雜性程度；
3. 設計或技術新奇的程度；
4. 設計樣式的標準化程度。

這些因素也可以作為決定特定安全稽核或評估時間長短的指引。例如；某一系統的發展採用一項新奇技術，比使用成熟技術發展，需要更大規模。

#### 6.1.18.2.2 資格

安全稽核者應具備下述資格：

1. 安全稽核者或安全工程師的以往經驗至少5年系統設備相關領域；
2. 程序性保證的經驗（如品質或安全稽核）；
3. 熟悉外部的安全標準與程序；
4. 熟悉英國軌道營運範圍法律與安全方面法令規定的作業；
5. ESM提到的訓練。

安全評鑑者應具備下述資格：

1. 系統設備相關的工程或科學領域的現任註冊工程師；
2. 安全評估者或安全工程師的工作經驗至少5年系統設備相關領域；
3. 可展現應用領域的經驗；
4. 程序性保證的經驗（如品質或安全稽核）；
5. 熟悉外部的安全標準與程序；
6. 熟悉英國軌道營運範圍法律與安全方面法令規定的作業；
7. ESM提到的訓練。

建立相關經驗時下列因素應納入計算：

1. 專案的意圖；
2. 使用過的技術與方法；
3. 系統要求的完整度以及意外的潛在性。

以團隊方式執行安全評鑑，則整體上應具備相關領域與程序保證的經驗，主任評鑑員個人須持有其他證照，而最好是專案始終能保留同一位安全稽核者或評估者。

#### **6.1.18.2.3 審查深度**

對於特定專案需要應用上述哪項指引，必須經過工程判斷來決定程度。

#### **6.1.18.2.4 規則與責任**

計畫經理應負責：

1. 按安全計畫時程起啟動安全稽核或評估；
2. 準備安全稽核/評估需求；
3. 指定被安全核准單位接受的稽核者或評估者；
4. 確保稽核者/評估者擁有適當的人員接觸管道、災害登錄冊以及其他文件；
5. 對安全稽核/評估提意見；
6. 形成需要的改善行動以因應報告所提的建議；
7. 將報告中提到會影響安全評估過程的部分轉交安全核准單位；
8. 執行改善行動。

安全稽核者應負責：

1. 規劃安全稽核；
2. 完成安全稽核；
3. 準備安全稽核報告。

安全評估者應負責：

1. 規劃安全評估；
2. 完成安全評估；
3. 準備安全評估報告。

#### **6.1.18.3 安全稽核與評估程序**

##### **6.1.18.3.1 執行安全稽核**

安全稽核程序主要由3項活動所組成：

1. 規劃安全稽核及編排稽核時程；

2. 執行所排定的稽核；
3. 準備安全稽核報告。

稽核時程應該由安全稽核者編排，經計畫經理簽署。已規劃的活動可能會做修改，以反映過去稽核所蒐集的資訊而必要的更動，然而並非一定要重新發布稽核時程。時程表應簡短且應包括：

1. 依稽核表及同意的修改，提出稽核需求聲明；
2. 辨認所要稽核的活動；
3. 辨認要面談的個人；
4. 辨認要查驗的文件；
5. 稽核時刻表；
6. 稽核報告分送及期望發布的日期。

稽核規劃期間，安全稽核者應先熟悉：

1. 安全計畫；
2. 任何先前安全稽核的發現及建議；
3. 從上次安全稽核以來的進展細節；
4. 下階段工作的細節；
5. 專案人員的細節。

這些熟悉情形應向專案經理做一簡報，且先期檢驗專案文件，才代表完成。稽核活動應包括：

1. 面談專案人員；
2. 查驗專案文件；
3. 觀察正常工作情形；
4. 安排現場展示稽核者的要求。

從這些活動提出的符合或不符安全計畫的佐證資料，必須在安全稽核報告內提示。

#### **6.1.18.3.2 安全稽核重點**

安全稽核主要是查核安全計畫的正確性及符合安全計畫，稽核時應查核是否按照安全計畫描述的標準規範，進行專案已規劃執行中或已完成的活動。

安全稽核者應粹取出一份稽核表，用來調查、指引提問、以及記載結果及佐證資料等。而查核表的格式應反映安全計畫及連帶的ESM活動，如此每一議題直接以問題條列在查核表內，回答可能只是「是」或「不是」。查核表應以達成稽核需求來草擬，稽核者必須對查核表每一項目，提示有客觀性錯誤的任何發現。應注意查核表示安全稽核者的輔助工具，不應由專案人員來填寫。稽核必須查核安全計畫所正確應用的所有標準規範及程序書，並追溯安全計畫規定的專案工作的落實情形。稽核時應尋找每項安全活動執行的文書佐證，對稽核表每項問題的回答，應以書面佐證來支持。

若無符合佐証，應記載在安全稽核報告內，和補救措施建議一起。每一項不符事項應依據安全計畫明確的要求來辨識，稽核者應對每一發現分類清楚。

稽核發現必須記載於查核表內，若缺少符合佐証進一步深度查驗應完成。

#### **6.1.18.3.3 執行安全評估**

安全評估者應熟悉：

1. 災害登記冊；
2. 安全計畫；

3. 安全需求規範；
4. 任何先前安全評估或安全稽核的發現及建議；
5. 從上次安全評估以來的進展細節；
6. 下階段工作的細節。

這些熟悉情形應向專案經理做一簡報，且先期檢驗專案文件，才代表完成。安全評估者應準備一安全評估計畫，此計畫應簡短且包括：

1. 依評估表及同意的修改，提出評估需求聲明；
2. 辨認所要稽核的活動；
3. 辨認任何專案或其他有關事項，如專案人員或文件的管道；
4. 辨認要面談的個人；
5. 安排管理性活動；報告發現、審查、簽署及分送安全評估報告等；
6. 評估時刻表包括安全評估報告分送及期望發布的日期。

評估活動應包括：

1. 面談專案人員；
2. 查驗專案文件；
3. 觀察正常工作情形；
4. 重做部分安全分析工作以查驗準確性、專注特定關鍵區域或懷疑有問題等；
5. 安排現場展示稽核者的要求。

#### 6.1.18.3.4 安全評估重點

規劃與執行安全評估的主要目的，在於確信蒐集足夠資訊以支持對風險可接受性的判斷。下面的指引可幫助規劃評估工作，但是評估者必須使用專業判斷及經驗以調整修改這些指引成為手中可用的工具。

評估時必須查驗；發展與應用的程序、審查專案人員對擁有安全涵義的設計抉擇，以及依據安全需求查證風險已控制在可接受水準。安全評估者應粹取出一份評估查核表，用來指引提問、以及記載結果及佐證資料等。附錄D中有一份查核表案例，而查核表應以達成評估需求來草擬，評估者必須對查核表每一項目，提示有客觀性錯誤的任何發現。應注意查核表示安全評估者的輔助工具，不應由專案人員來填寫。

評估時不應將焦點放在文件而是他們背後的程序及組織，評估者應尋找安全方法上的任何短缺處，且做出建議。評估時應留意災害登記冊，它提供追溯從安全需求到專案各項工程活動的支持文件。評估時亦須查核每項執行的安全活動的文書佐證，對評估查核表每項問題的回答，應以書面佐證來支持。而如果營運數據是可利用的，評估者應分析它成為下列項目的證據：

1. 災害並非先前以辨識的；
2. 風險未正確分類；
3. 安全需求未能達成；
4. 營運使用形態已改變。

安全評估者可要求重現任何正式的測試，專案經理必須安排在安全評估者監督下運作。

如果先前已做過評估，未因設計變更無效或新知識，則評估者不需要重複被執行過的分析，且應該集中分析新和被改變的材料。而面談收集的資訊，應該儘可能通過查核從其他獨立來源的同樣資訊，進行查證。

#### 6.1.18.3.5 發現

發現應儘快與專案經理和專案團隊溝通，而不應等到安全稽核/評估報告準備好和分送。這可以簡單的三段式完成：

1. 第一段：發現；
2. 第二段：專案回覆；
3. 第三段：稽核者/評估者對專案回覆的意見。

#### 6.1.18.4 稽核/評估發現

所有稽核與評估者的發現必須單獨編號並分類，以下分類的規劃方式用途廣泛且建議使用。使用1~3類型可支持安全核准單位對稽核/評估的要求，分述如下：

1. 類型 1 - 問題是十分地重要，須提出實在的解決方案，要求在進入實際操作之前執行變更(也許實施某項特定的管理措施作為短期控制風險的替代方法)。
2. 類型 2 - 問題是十分地重要，須在3~6個月內提出解決方案，但可在實際操作時才變更(也許和一項防護管理措施一起執行)。
3. 類型 3 - 問題已經突顯出來，將納入安全案例於下次做定期審查，但是不需另外的行動。

對於那裡有大量低類別的問題，稽核員或評估者應該考慮，是否充份代表殘餘風險實際上等同於一個或多個更高類別問題(那麼他們會擔保採取額外的減輕措施)。在這些情形中，應該考慮這些顯著的問題是否整體缺乏嚴格或只是審查的文件品質。

專案經理應審查和簽署安全稽核或評估報告，並且形成改善行動以回應安全稽核員或評估者的研究結果。也許系統發現的所有缺點記錄在數據報告、分析和矯正行動系統(Data Reporting, Analysis and Corrective Actions System, DRACAS)(參見黃皮書第11章)是適當的，所以，專案經理應該實施這些改善行動。

安全評估報告也許包括由相關安全核准單位的行動建議，例如審查系統或設備認同使用。如果報告包含任何如此建議，專案經理應該及時地，遞交報告該部分給相關的安全核准單位，然後安全核准單位得以考慮任何建議和貫徹所有必要的行動。

#### 6.1.19 災害辨認與風險評估

##### 6.1.19.1 災危害辨認

安全管理的基礎就是災害辨識。在安全範圍邊緣界線時，就可以開始採取行動防範。若不能進行災害辨識，就不需針對災害採取特別行動。在執行工作時已預測會有災害隨之發生，必須了解可能發生的災害並進行預防。在安裝、測試、系統測試、維護時，不可只考慮在正常營運的意外，而且須考慮意外事件惡化或造成不能營運或降級運轉的結果。災害辨識需考慮以下幾點：

1. 對人員與組織得影響；
2. 工作結果對周圍環境與其他營運路線的影響。在執行工作時已預測不會有災害發生，所以就不做任何防災害動作。此類災害不應忽略；應該將此類工作紀錄，並將認定不會發生的理由紀錄，經常對此類工作進行評估。

##### 6.1.19.2 評估風險

風險是對於將發生的意外與升高傷害的可能性。評估時應將此原因考慮在內。在組織上應考慮何者將受到的影響。有些特定的工作是為了使營運更安全，在長期來看是為了降低風險發生。為了控制風險，評估風險工作應有持續性。對於以下的基本的風險監控應包含在評估風險工作中。

##### 6.1.19.2.1 背景說明

大多工作都與風險有關；如對人員可能的傷害的風險。由可忽略風險至完全不可接受的風險是程度上是相當不同的。風險是可以降低的，雖然有時會發生一些費用。

風險評估需要有關工作得可能損失與減低嚴重損失方法之系統的分析。風險評估是緊密的與災害辨認與降低風險連結。在風險正確評估之前，應先確認系統的災害。經由系統或設備的生命週期，風險評估提供了降低風險的因素與成功案例的因素。

#### **6.1.19.2.1.1 量化與品質分析**

七步驟程序代表對風險評估的全刻度標準架構。於此架構中，分析可能進行至不同的程度。對較小的風險與較大風險的量化，品質風險評估適合一的方式。使用混合評估方式是可採用的。採用概算，提供保守方式都是可接受的，那是他們未低估風險。品質風險評估為在專家意見與過去經驗的領域中。他強調目的與態度尚工作風險。量化上、大小次序的分析是通常所使用的。考慮下面幾點將對品質風險評估是有利的：

1. 不須詳細的量化、資料收集或分析工作；
2. 相當簡單的；
3. 比量化風險評估上是較便宜的。

品質風險評估的益處有下面幾點：

1. 假設上需有完整的文件；
2. 對於高頻率低損失事件，與低頻率高損失事件作為主要風險的主要基礎是不宜。

量化風險評估用在審慎的分析過程。如品質風險評估基本原則，使用目的與正確資料之量化風險評估用模型分析是典型的分析；在風險上重要因素之相關性上清楚的表達是重要的。量化風險評估的益處有下面幾點：

1. 比品質風險評估更為正確；
2. 幫助證實隱含的假設情形；
3. 提供災害可能造成因素與結果更進一步的了解。

量化風險評估的不利因素有下面幾點：

1. 較複雜；
2. 須要專家；
3. 須要許多標的資料；
4. 量化系統失效的或然率是較為困難的；
5. 比品質風險評估是較花錢的；
6. 須要有效教電腦資源。

品質風險評估可能對大多数的災害就足夠了。然而，對可能引導大災難結果，風險需要量化風險評估。量化可由新的系統發展，此系統無足夠經驗來支持實驗性的量化方式。量化風險評估比品質風險評估較貴，若是為證實增加預期的信心，才可採用量化風險評估。

#### **6.1.19.2.1.2 利用歷史資料**

風險評估總是倚賴從過去到未來的推論。在許多的階段會使用歷史資料，但是要很小心使用。下列的理由應包含：

1. 對於是否歷史上的統計是與考慮條件相關，特別在關於大災難意外與以前意外事件的周圍環境案件，不足的資訊可能可以判斷。

2. 意外事件所引起的附屬結果是可能很難決定的。不當的使用歷史資料可能會破壞分析，與嚴重的減低風險評估的正確性。

#### 6.1.19.2.1.3 文件處理

在風險評估研究的結果將會編入風險評估報告書中，所以這些文件會被審查與核准。風險評估結果完成審查與核准就會併入災害紀錄中(Hazard Log)。

#### 6.1.19.2.1.4 使用簡化評估圖表

若使用系統的應用近似的連串風險評估，就會發現使用簡化評估圖表的容易性。

下面的圖例為風險發生與嚴重性關係表一般格式：

表6-5 風險發生與嚴重性關係表格式

| 發生可能性 | 嚴重性 |    |    |    |
|-------|-----|----|----|----|
|       | 不重要 | 一般 | 嚴重 | 災難 |
| 經常    |     |    |    |    |
| 可能    |     |    |    |    |
| 偶爾    |     |    |    |    |
| 稀少的   |     |    |    |    |
| 不可能   |     |    |    |    |
| 不能相信的 |     |    |    |    |

#### 6.1.20 風險監控

營運部門應對風險管理加以合理的檢查，並進行風險管理內容或步驟加以改善。對於風險管理的資料經找尋、收集、分析的步驟改善。如果在環境上的條件有改變就會影響到風險，只要是與安全上有關這樣的工作需持續的進行。

### 6.2 緊急搶救機制

美國交通運輸部於 1992 年出版「Recommended emergency preparedness guidelines for rail transit system」<sup>[40]</sup>，其目的在於協助地下軌道運輸系統對於緊急情況搶救機制、緊急救援組織協調之評估、發展、文件及改善其能力；主要在於緊急計畫準備，及緊急救援訓練上加以分析。歷經多年之探討與工作會議討論，對地下軌道交通設施防災安全管理之緊急搶救部分，有參考引用之價值。

#### 6.2.1 緊急準備概念

安全計畫可分為預防階段與反應階段。而緊急計畫準備為著重於反應階段如何，來準備對於鐵路運輸系統安全事件或是意外發生時之即時反應及有效的方式。

#### 6.2.2 緊急準備範圍

緊急準備綱要應針對四大方向：緊急計畫、訓練、設施與設備、車輛。

緊急計畫與訓練的內容應展現鐵路運輸系統安之建議、程序與準則，可用來評估或改善緊急反應的能力。設施與設備與車輛則可即時有效疏散乘客與設備的保護；它的目的在使用原系統計畫、系統延伸與系統復原。

##### 6.2.2.1 緊急計畫

這節描述在緊急計畫中一些通用組成要素。這些組成要素有：政策、範圍、緊急組織內的協議、鐵道運輸系統功能與責任劃分、一般反應準則、緊急時使用文件。

#### **6.2.2.2 人員訓練**

這節描述各公司之人員訓練與緊急時所依緊急組織的人力及使用之緊急程序。

#### **6.2.2.3 設施與設備**

鐵路運輸系統的設施與設備之最重要硬體部分為車站與行控中心。其中所組成之硬體為：土建結構、照明、進/出口、通訊、通風、消防設施、門禁系統、動力系統、緊急電源系統、標誌。

#### **6.2.2.4 車輛**

車輛部分可由乘客用車輛與緊急時使用車輛。

乘客用車輛將強調在車輛結構、照明、出入口、通訊、通風、車上設施、硬體設備、標誌與緊急電源。

### **6.2.3. 緊急計畫研製**

許多的經驗說明需要有正式緊急計畫。例如：缺少緊急計畫以及與介面上沒有相關協議、通信設施的頻道聯繫不足等，造成在緊急救援中的障礙，影響到緊急救援的效果發揮。

緊急計畫應包含：救援政策、範圍、與外面緊急救援組織的協議、機電系統功能與責任、緊急救援步驟(SOP)、緊急時反應準則、緊急時依據手冊。

#### **6.2.3.1 救援政策**

救援政策應有目標與目的；鐵路運輸系統要發展自己的緊急應變與其他緊急救援組織協調能力。政策上應明確說明安全是在所有管理中為最重要的。

#### **6.2.3.2 範圍**

緊急計畫範圍應含括：緊急事件報告、緊急事件之評估與相關原因、通知緊急時之組織聯絡人、緊急時之應變人員與緊急設備至現場、緊急計畫應變組織人員之協調工作、緊急時在現場保護乘客人員與設備安全，疏散乘客至安全區域、繼續將相關訊息告知乘客、同事、緊急救助人員與其他有關單位，以及恢復正常運轉等。

#### **6.2.3.3 救援組織間之協議**

在許多運輸系統的緊急情況發生時，應將外部的救援組織一併納入。越大的有效利用所有之救援組織將會使緊急情況發生率降至最低。為確認與外部緊急救援組織有合適的協調與反應，應建立協議制度。

這些與外部救援組織之協議應屬於最上層之合法文件；如消防局、醫院、警察局等。在這些相互之協議中應將責任分界點釐清，細節於協議書中詳細述明。

在緊急情況時，救援組織協議，協調應考慮以下事項：

- 參與救援組織之名單；包含聯絡人姓名、電話、緊急聯絡頻道、緊急聯絡電話。
- 緊急聯絡之維護人員、設備清單。
- 適度的綱要式緊急步驟。
- 救援組織間責任劃分及界定。
- 組織間之文件核准流程表。
- 文件之術語、交通運輸系統術語、特定組織之術語定義文件。



- 一節有關訓練責任釐清文件。

#### **6.2.3.4 營運人員的功能與職責**

營運人員之標準作業程序(SOPs)，與緊急計畫文件應提供足夠之協調資訊。

對於建立於緊急組織中之人員責任給予合適之人員，這對緊急情況、緊急事件回應上的能力是十分重要的。下面之基本要件對於緊急時內部與外部的協調是應注意的：

- 運輸系統人員含營運人員、維護人員、安全人員在緊急情況功能與責任的定義。
- 24 小時內緊急人員之電話聯絡表
- 於緊急救援組織中，連絡人員層級決定準則。
- 於緊急救援組織中，決定特定型態、位置與緊急情形嚴重性之判定步驟。
- 於緊急救援組織中，決定通知何種單位加入之步驟。
- 於緊急救援組織中，決定建立緊急事故之負責人員之步驟。
- 於緊急救援組織中，由參與單位移轉至不同單位之步驟。
- 緊急事故組織中，決定緊急事故不再成立與相關緊急救援組織退出之步驟。

#### **6.2.3.5 緊急程序**

對於許多緊急事故應分類建立緊急程序書。緊急程序至少應包含下列分類情形：

- 列車火災；
- 列車行進通道火災；
- 車站火災；
- 列車脫軌/碰撞；
- 乘客死亡或受傷；
- 列車疏散；
- 炸彈威脅；
- 失去電力；
- 易燃/燃燒液體或氣體；
- 列車行進通道受阻；
- 自殺/列車行進通道有人受傷或死亡；
- 自然災害(強風、水災、地震等)。

#### **6.2.3.6 一般回應準則**

每一系統應對下列要點回應：

- 通知；
- 通訊；
- 切斷車輛供電；
- 排風；
- 車輛連接與分離；
- 疏散；
- 消防設施。

#### **6.2.4. 訓練**

營運人員對於緊急情形之處置為工作中之最重要一環。營運人員提供適當訓練對緊急反應是必須且有意義的。在適度的訓練後，才可期望營運人員在處理緊急事故時發揮即時有效的反應，及在使用設施與設備上取得最佳決定。

本節緊急步驟指引強調下面一些情況：

- 應具有對系統設施、設備、車輛之緊急計畫反應的知識。
- 對於自己的緊急計畫、系統設施、設備、車輛與緊急救援組織的之緊急回應知識。
- 乘客對緊急情況時之處理步驟的認識。
- 對現場設施與設備有一定程度的了解；若不了解應予訓練改善。
- 營運人員應有週期性之訓練，可適度的對改善後設施與設備進一步的了解與認識。安全資訊的更新與乘客的互動，可視為對乘客的了解安全制度的方式。

#### **6.2.4.1 營運人員的訓練**

營運人員，特別駕駛人員開始時的工作與標準運轉程序有關。駕駛人員的營運訓練最初占大部分訓練時間的就是標準作業程序。這些訓練包含安全防護原則與緊急操作程序。建議營運人員訓練包括以下訓練事項：

- 對所有營運人員作初級運轉與緊急事件訓練(第一階段)；
- 對特定的營運人員作特定之緊急事件訓練(第二階段)；
- 第一階段與第二階段課程訓練內容的更新。

##### **6.2.4.1.1 初級訓練**

對於所有員工應進行初級訓練。訓練內容應包含操作系統內容摘要與熟悉操作規定及操作程序、設施設置規劃與地點、緊急時通訊設施與緊急設備的使用。須包含以下項目：

#### **A. 操作 規定**

- 所有營運人員應有所有系統的操作手冊(最新版)。
- 特別規定的通知、更新、修訂，與分發：應由監督管理者提供，公告於告示欄，訓練中提供。
- 應將人員收到文件，閱讀，與完全明瞭新版資訊列入管制。

#### **B. 標準作業程序**

- 標準作業程序，應依正常，不正常、緊急時之操作；依操作程序建立。
- 在緊急操作程序的開始訓練，應在營運人員在訓練時，討論發生何種狀況可以稱為緊急情況，情況可發生在車上或是車子行駛通道中，及可造成乘客及營運人員危險的緊急事故。

#### **C. 設施與設備安排**

- 設施與設備之設計安排應提供照片或錄影帶說明現場分布情形，或是在現場實際觀察現場設施之分布位置。
- 應加強對緊急出口、通訊設施、其他安全設施位置及操作之訓練。

#### **D. 通訊設備**

- 營運人員應熟悉使用通訊設備並了解其現場位置。
- 訓練內容應強調使用通訊資訊優先次序，藉此減少傳輸時間與提升設施功能。
- 應針對營運人員對乘客溝通方式上提供特別訓練。

#### **E. 緊急設施**

- 應進行提供營運人員對特別之緊急設施位置與指定用途訓練。

- 應提供操作維護人員對遺失、偷竊、破壞設施之報告進行訓練。

#### 6.2.4.1.2 特別的緊急訓練

依據營運人員的執掌而給予不同緊急情況下的特別訓練。

- 應針對年長的與殘障人員的需要，應提供營運人員提供特別的訓練。
- 營運人員訓練應對緊急操作程序進行分別訓練。
- 應針對可能會遇上緊急情況之營運人員，在訓練期間提供特別訓練。
- 在訓練期間應正式使用緊急程序文件。
- 訓練期間應與營運人員依劇本演練，模擬實際發生之緊急情況。
- 緊急演練應模擬緊急情況，營運人員如何判定為緊急事件，分辨命令，與適當的處置。

行控中心通常是對緊急情況判定開始的組織。行控中心內的控制員訓練對緊急情況掌握及降低緊急情況影響有很大的作用。行控中心內得控制員應具有：

- 熟悉車輛駕駛員的工作與其環境，及控制員可掌握的所有之設施。
- 熟悉現場設施。
- 對車輛行車模式、車輛控制、電力、通訊等設備了解與功能、限制等。

營運與督導人員、維護人員、捷運警察需有適度的訓練，訓練的內容依照不同的責任及任務，對下列緊急情況處置之反應行為。：

- 隧道火或災；
- 列車火災；
- 列車行進遇到火災，或於鄰近處火災；
- 車站火災；
- 出軌、碰撞、或結構受損；
- 車輛之乘客逃生；
- 列車行徑方向有人出現；
- 乘客發病；
- 人質事件；
- 城市騷亂；
- 炸彈威脅；
- 失去電力；
- 水災；
- 可燃液體/氣體；
- 風災。

最後將針對以下各範圍對特別訓練：隧道緊急疏散、緊急通風、消防、乘客緊急照顧、人群控制、防止人員恐慌、列車分離、移除車輛之電力。

#### A. 緊急疏散

- 提供營運人員隧道訓練特別課程，不僅是自己人員的而且對緊急事故有關之營運人員，作緊急反應的特殊訓練。
- 訓練須含隧道內之標示，隧道內現場訓練(現場觀察)，對於熟環境是有較大的幫助。
- 營運人員應做定期之隧道疏散演練。

- 營運人員應使用緊急疏散程序、製作隧道緊急疏散說明之看板以協助隧道疏散。
- 於緊急疏散時，營運人員應有樓梯、斜面、木板、或擔架可在緊急疏散時使用。

## **B. 隧道緊急通風**

- 營運單位應提供行控中心人員、督導員有關隧道通風之特別訓練，訓練課程應依據緊急事故之隧道通風運轉手冊執行隧道通風工作。
- 捷運系統提供在隧道與地面之通風倚賴車輛移動，自然產生之氣流，訓練時應根據這些限制來建立訓練操作程序。

## **C. 消防**

如火災後報告，一般規定，火災現場第一要件就是乘客疏散與協助消防人員快速抵達現場滅火。

然而對營運人員灌輸自信與個人安全責任，是消防工作最基本上開始訓練。這樣的訓練使他們在發生緊急情況下能作更好得決定；在消防人員到達前即可對小規模之火災進行滅火；與當在執行消防工作能設計一些對滅火之改善方法。

- 熟悉使用消防設施及其所在之位置。
- 為了使快速裝填或補充滅火器，應對文件報告程序與滅火器遺失報告程序了解。

## **D. 緊急照顧乘客訓練**

對營運人員應提供適當之照顧乘客緊急訓練。訓練須含下列領域：

- 急救箱:出血、瘀血、擦傷處理；
- 乘客頭部與背部受傷，意識清楚與不能移動；
- 心肺復甦術 (CPR) ；
- 呼吸到阻塞與抽搐處置。

## **E. 人群管制與恐慌預防**

若是可能，營運人員訓練應發展可用的技術處理方法，用來人群管制與恐慌預防。

## **F. 軌道車組於緊急時之分開**

- 在緊急時所需要之車輛解連工作，應有合適營運人員提供必要之技術訓練。

## **G. 車輛的動力電源移除**

- 對於系統上緊急關斷第三軌電源應提供適當之訓練。

### **6.2.4.1.3 訓練更新/重新訓練**

訓練更新/重新訓練課程應針對下列情形實行：

- 程序與設備上變更通知員工；
- 確信員工之技術水平可以完成所賦予之責任；
- 對於個別人員無法適當執行工作；或是員工工作職位上調整(如車輛駕駛)。對訓練之特定時間，須執行再訓練。對於設備變更、程序變更上模擬演練，訓練更新。

### **6.2.4.1.4 訓練方法與訓練設備**

- 對訓練車輛駕駛、行控中心人員與其他人員應用正式方式訓練。這些方式應包含，但不限定於現場熟悉、訓練演練緊急反應及公共設施。

- 經常訓練與檢查，能減少對操作規定、標準作業程序、營運團隊責任中之不一致程度。對於防止未來的困惑將有助益。

#### **6.2.4.1.4.1 教室講解**

- 教室上使用材料為撰寫之材料、討論材料，可用測驗來檢核人員於課程中瞭解的程度。教室內之教學可使用錄影帶教學及設備模型使用。

#### **A. 規定，標準作業程序與緊急程序書**

- 使用之材料應經由管理階層到適當人員討論與審查。

#### **B. 視聽訓練**

- 視聽訓練可利用影片、錄影帶、或視投影片來說明緊急疏散程序，緊急反應來訓練營運人員。這些工具應可在再訓練時使用。
- 視聽訓練簡報可強調內部團隊與救援組織間協調重要重要性，及列車人員遵守特定疏散程序，與緊急疏散有關團隊。

#### **C. 設備 模型**

- 理想的情況，製作一些設備模型：如駕駛室、號誌、行控中心控制台、廣播、馬達控制盤。

#### **6.4.2.1.4.2 熟悉現場**

- 營運人員熟悉現場才可對現場工作處理；包含在職訓練、現場步行觀察、教室教材實際說明實驗練習。

#### **A. 在職訓練**

- 在教室說明後，對受訓人員提供督導下之在職訓練；此訓練讓受訓人員親自參予，及了解操作定與操作程序。

#### **B. 工地參觀**

- 對車站、隧道、緊急出口等建物設施處理現場觀察，對受訓人員進一步加強對現場設施與環境的熟悉度。

#### **C. 實務解說/練習期間**

- 實際參與練習期間應隨錄影帶或設備簡報影片，與程序來提升技術層面，與降低所需緊急反應的時間。

#### **6.2.4.1.4.3 訓練演練緊急反應**

- 在演練時緊急反應訓練應予執行。模擬演練應全刻度演練，其中包含緊急組織人員與車輛人員。更重要是評估演練在緊急事件所展現的反應能力。演練可在營運期間與非營運期間執行，或在新延伸線試營運前。

#### **A. 模擬演練**

- 模擬演練可加強緊急反應、乘客疏散的教室訓練與緊急事件時團隊的緊急反應能力。
- 這些演練應屬對軌道與隧道失火、煙霧移除、乘客疏散，突發性測試與強化緊急操作程序。

- 演練應測試緊急通訊系統之能力與緊急設施之操作與有效性質。
- 對程序、反應能力、在此區域間之任何變更應演練測試訓練與再訓練。  
模擬演練應於計畫中考慮以下方面：
- 於試營運前演練。
- 在非營運服務期間演練。
- 在營運服務期間演練。
- 監視器的功能。

#### **B. 緊急模擬設施**

- 每一系統應有能力模擬緊急情況，在軌道區中演練或是在系統本身所在之區域執行演練。

#### **C. 參加演練之人員/組織**

雖然演練最初是捷運人員參加，其他緊急模擬演練應包含不同的緊急救援組織。下表為可能參加演練的組織及人員：

- 鐵路捷運參與者；
- 較高層管理階層(如總經理，副總經理，處長等)；
- 列車駕駛；
- 行控中心人員；
- 電力調度控制員；
- 段長；
- 維護人員；
- 捷運警察；
- 緊急參加人員；
- 高階消防管理人員(如：隊長、副隊長等)；
- 消防人員；
- 火警發布人員；
- 緊急醫療服務人員；
- 警察；
- 公共設施人員(如電力公司、自來水公司、瓦斯與電信局)；
- 其他相關人員。

#### **6.2.4.1.5 內部- 捷運系統資訊交換**

捷運人員應考慮將自己的人员參加其他不同捷運系統的訓練。有關緊急反應能力的思想與觀點分享，將對所有參與捷運人員有共同利益。

#### **6.2.4.2 緊急救援組織人員訓練**

對消防人員、地方警察、救護車/護理人員、或其他之緊急救援應提供緊急程序訓練。

對於消防局之高階管理人員應提供有關捷運緊急情況之行動有關資訊。

對火警發布中心人員應同樣提供相似之訓練。火警發布中心人員在緊急情況的協調擔任重要之角色；在行控中心人員與消防局、警察局、救援人員間之聯繫上，有重要的功能。

#### **6.2.4.3 公眾教育**

捷運系統應使用下列方法來改善緊急情況時之公眾能力：

- 公眾參加模擬演練；
- 車站與列車上公開展示緊急程序資訊於海報中；
- 公開免費發送安全小冊。

#### **6.2.4.3.1 乘客注意**

使乘客了解緊急程序與使乘客在緊急事件中適當反應，為乘客的教育訓練。

這個將藉著分送宣傳小冊及車站內的資訊中心、車輛內的海報與車站內的公共廣播系統來完成。這些來源不同的資訊再內容上應一致，在系統的發送足夠使用者瞭解，而非大量造成過多爭議。

乘客緊急預備訓練應包含資訊：

- 如何得知捷運人員緊急事件之報告；
- 如何得知系統的災害(例如：第三軌、設備高電壓、車輛間之通道等)；
- 如何得知緊急有關設施操作功能，如以下設施：
  - 車輛內部與列車駕駛通話；
  - 車輛內部的滅火器；
  - 車上緊急停車裝置；
  - 車廂側門；
  - 車輛的端門；
  - 對車輛緊急疏散使用之樓梯、斜坡用板、木板；
  - 對老人及殘障人員協助疏散之裝置；
  - 地下街緊急出口，緊急逃生門等；
  - 車站緊急用電話；
  - 如何得知在緊急時小孩、老人與殘障人員的預期需求。

#### **6.2.4.3.2 學生安全計劃宣導**

對於捷運路線附近之學校應在一般安全計劃下指導。這樣的計畫宣導許多的安全災害事故；如第三軌電力，丟入石子對轉換軌的損害，在軌道中置放東西等。這樣的安全宣導對新的系統或是延伸線是非常重要的。

#### **6.2.5. 設施與設備**

這節展現的原則，是要確定設計之設施與設備具有對緊急情況的有效對應。這些原則目的是應用在新系統、系統延伸與系統恢復。捷運系統的設施與設備主要為使用於車站、道旁與控制中心。

### **6.3. 檢討改善及回饋機制**

當捷運安全紀錄已完成很好的建立與幾乎無意外事件發生，嚴重緊急事件將不會再未來發生之假設是不能成立的。若是不能即時偵測與有效的討論，過去的經驗回顧只是揭露許多微小事件可能造成生命威脅事件。

為了有效的回應此類發生事件，捷運系統須小心的計畫與此類的事件關聯。捷運系統的預備層級將直接影響緊急情況危害或破壞的規模。

#### **內部組織間協議**

內部組織間協議的內容應包含以下之組織：

#### **A. 消防局**

- 建立適當的消防管轄範圍。
- 建立服務層級(設備，人員)，快速緊急服務程度與種類。
- 通知的指定層級、控制、現場責任程度。
- 決定合適的聯絡方法與對協調與命令的發展程序。
- 提供消防人員熟悉捷運設施、車站進出口、消防設備、程序、乘客行為模式的熟悉訓練。
- 指定工具使用、處理捷運設備、捷運人員的使用等來幫助消防與救助營運。
- 消防局參與消防演練。
- 辨認所需要的特殊工具與設備，在捷運設施中所不具有的設備。

#### **B. 緊急醫療服務**

- 建立合適的緊急醫療服務範圍。
- 建立服等級。
- 建立合宜的通訊聯絡方法。
- 緊急醫療服務加入定期演練。

#### **C. 警察局**

- 建立合宜的通訊聯絡。
- 對應於緊急服務之類別建立標準程序。

#### **D. 相鄰之鐵路局**

- 建立緊急事件協界面危機管理程序。
- 當緊急事故發生時之對應聯絡窗口。
- 建立關於臨時發生與災害程序的資訊交換方法。

#### **E. 公共設施**

- 於緊急時與公共設施單位之聯繫方式。

#### **F. 醫院**

- 建立緊急聯絡醫院電話、地址、最近之醫院分布圖。
- 建立病患運送至不同醫院清單。



## 第七章 臺灣三鐵共構(站)車站防救災安全管理之現況探討

### 7.1. 三鐵共構(站)車站防災(緊急應變)計畫

本研究案，乃針對地下軌道及地下場站(著重於捷運、臺鐵及高鐵三鐵共構(站))之防災難及安全管理，對進出捷運、臺鐵及高鐵三站之乘客、避難路徑、之防災害規模作緊急避難分析，並對地下軌道交通設施防救災及安全管理作分析研究。

目前營運之三鐵共構站，僅有臺北車站、板橋車站，以及規劃中之南港車站、高雄車站。南港三鐵共構車站中之臺鐵車站已經先行局部營運，捷運南港站預計於2008年年底開始營運，高鐵南港車站也在興建中；高雄三鐵共構站目前在規劃設計中，距離完成興建還有很長一段時間，目前僅捷運高雄臨時站在營運中，高鐵也僅通車至高雄左營站。

對於三鐵共構(站)防災(緊急應變)計畫僅舉一例：臺北三鐵共構車站之防災為範例，與其他三鐵共構之安全防災計畫可為之參考，並可依此範例發展出合於地方特性之防災緊急應變計畫。

#### 7.1.1 臺北三鐵共構車站簡介

臺北三鐵共構車站區為臺鐵、高鐵及捷運三種大眾運輸之交會車站(請參閱圖1.1 臺北三鐵共構站導覽圖)，每日約有41萬人次搭乘臺鐵(約7萬)、高鐵(約4萬)及捷運(約30萬)或到地下街逛街購物。96年3月2日高鐵臺北站加入營運後，提供民眾更便捷之交通轉乘，預期未來進入臺北車站特定區的民眾更多。

由於交通便利及人潮聚集，為附近帶來龐大商機，在土地利用幾近飽和現況，建物開始朝向高層化、地下化之發展，形成錯縱複雜之立體結構空間，在臺北地下街啟用後，鄰近地下商場逐一開始營業，週遭商業大樓為吸引人潮，規劃建設與車站特定區之地下連通道，此外交九用地聯合開發大樓及捷運機場線之開發，更加繁榮車站特定區之經濟發展；車站三鐵共構區地下空間提供車站、購物廣場、辦公室、廣場、機關辦事處、控制中心、停車場、機房、軌道、通道、庫房…等多元使用，儼然成為五臟俱全之精巧地下城市。惟經濟成長可能帶來之負面災害風險、環境衝擊、治安維護、商業管理及垃圾污染等，則如同一般城市均須投注心力加強管理。

臺北車站三鐵共構區位於臺北市管轄區域內，為全方位統籌規劃公共安全管理事項，從而製定防災難安全緊急疏散計畫。

#### 7.1.2 臺北三鐵共構車站安全管理責任範圍

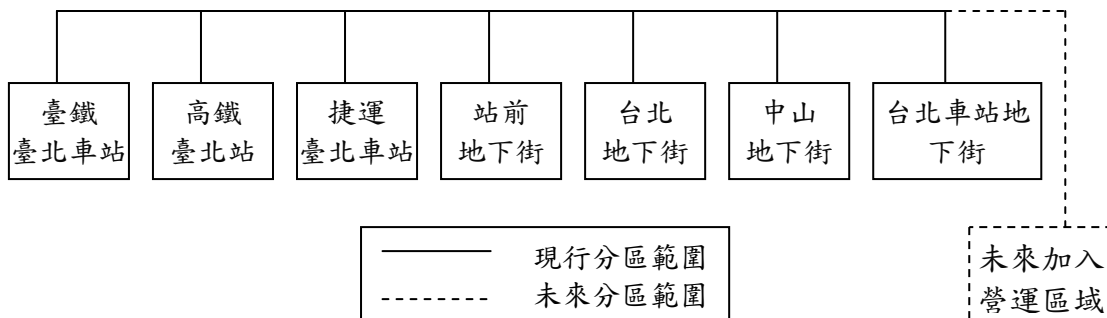


圖7.1 臺北車站特定區範圍

臺鐵臺北車站：由交通部臺灣鐵路管理局負責管理。  
捷運臺北車站：由臺北大眾捷運股份有限公司負責管理。  
高鐵臺北站：由交通部（高鐵局）合約承商臺灣高速鐵路股份有限公司負責管理。  
臺北地下街：非本研究案研究範圍(由臺北市政府負責管理)。  
站前地下街：非本研究案研究範圍(由臺北市政府負責管理)。  
臺北車站地下街(新世界購物中心)：非本專案研究範圍(由臺北市政府負責管理)。  
中山地下街：非本研究案研究範圍(由臺北大眾捷運股份有限公司負責管理)。  
其它依法令或中央主管機關或本府指定之區域。

### 7.1.3 臺北三鐵共構車站營運安全管理計畫(防災計畫書)

臺北三鐵共構車站：臺鐵、高鐵及捷運為確保公共安全，應依臺北市各級地區災害防救計畫、災害防救業務執行計畫及臺北車站特定區共同消防防護計畫訂定「營運安全管理計畫(防災計畫書)」並執行之。

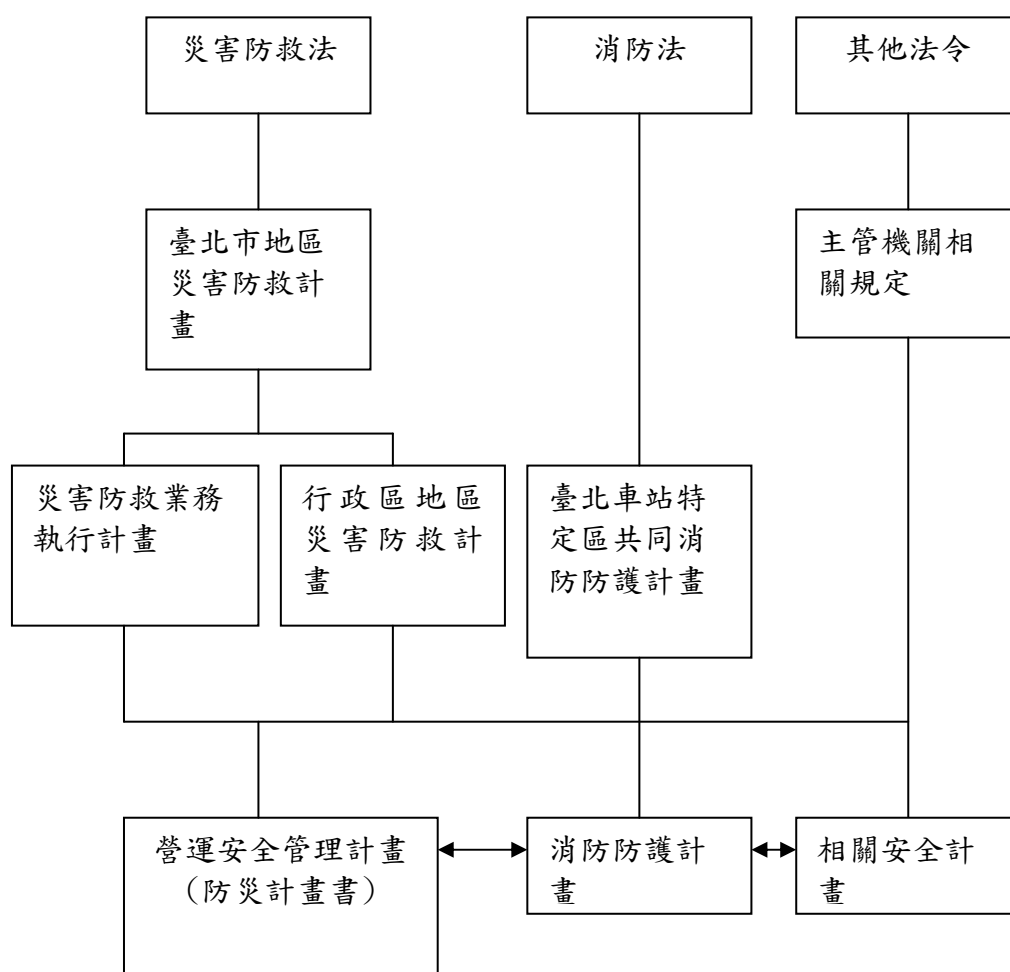


圖7.2 營運安全管理計畫體系圖

### 7.1.4 緊急事故現場指揮體系之建立

### 1. 工作要項：

為因應不同型態或規模災害之處理，由各災害防救業務主管機關依實際災害情況及所需配合事項，增減參與編組之單位及人員，各編組單位及人員所需執行之任務如下：

- (1) 總指揮官：依災害時程之進展，指揮權及移轉規定中所指定之人員擔任，綜理災害現場指揮協調、救災應變等全般事宜。
- (2) 新聞官：由災害防救業務主管機關與發言人室派員擔任，適時提供媒體各項資料。
- (3) 救災指揮官：由當地政府消防局派員擔任，執行各項災害搶救、人命救助及緊急救護任務，並提出救災資源需求及調度建議。
- (4) 醫療指揮官：由當地政府衛生局派員擔任，成立現場臨時救護站，負責傷病患之檢傷分類、醫療救護、後續就醫等相關事宜。
- (5) 警戒指揮官：由當地政府警察局派員擔任，執行災害現場警戒封鎖治安及受災民眾個人資料查詢等事宜。
- (6) 搶修指揮官：由業務主管機關派員擔任，執行災害現場障礙排除、抽除積水、調度工程機具等相關事宜。
- (7) 後勤官：由當地政府消防局或災害地點所轄行政區區公所，依架設災害現場前進指揮所單位原則派員擔任，負責現場救災人員各項飲水膳食及其他必要物資之後勤補給事宜。
- (8) 指揮幕僚：由災害防救業務主管機關派員擔任，負責各救災單位報到、任務分配及各單位間協調聯繫事宜。

### 2. 任務及功能

- (1) 災害現場搶救計畫之擬訂、災情蒐集及掌握、救災訊息之發布及與當地政府消防局救災救護指揮中心(以下簡稱消防局 119)或當地政府災害應變中心之聯繫。
- (2) 統一指揮現場編組人員執行災害搶救、人命救助、緊急救護、警戒封鎖、障礙排除、人員機具調度、後勤補給及其他各項災害應變等相關任務。
- (3) 接受各救災機關(單位)、人員報到集結及任務調配。
- (4) 建立現場連絡通訊設施，隨時與當地政府警察局勤務指揮中心(110)、消防局(119)、衛生局災難應變指揮中心(EOC)、市及區級災害應變中心等單位保持密切聯繫。
- (5) 統合各相關單位之救災資源以利執行各項救災事宜。
- (6) 必要時得通報消防局(119)或市災害應變中心，向軍方申請調度人力或行政院國家搜救指揮中心申請支援。

### 3. 架設單位

- (1) 當地政府災害應變中心尚未成立，災害現場涉及緊急人命搶救作業時，由當地政府消防局備妥架設裝備及器具派員前往架設；災害現場非涉及緊急人命搶救時，初期由消防局成立簡易指揮站，再交由災害業務主管機關備妥架設裝備及器具派員前往架設。
- (2) 於當地政府災害應變中心成立後，災害現場前進指揮所由各災害地點所轄區公所派員前往架設，並辦理災害現場協調聯繫調度支援事宜。

### 4. 設置地點、方式及所需設備

- (1) 於災害初期，各編組人員尚未到達現場時，以「救災指揮官車輛停放位置為災害現場前進指揮所」，隨災情發展，各編組人員陸續進駐，則應選擇

目標明顯、交通便捷、通訊作業良好、適合長時間作業、易於掌控災情進展、不受災害波及且能供相關單位人員集結報到之地點設置。

- (2) 考量夜間及天氣因素，災害現場前進指揮所應配備有照明設備及帳篷，另應備有桌椅、白板、文書用具、攝影機、數位相機、PDA、喊話器、各編組人員背心及「前進指揮所」之明顯標示，以方便行使各項災害現場指揮任務。
- (3) 當地政府消防局及各區公所，平時應該清點各項災害現場前進指揮所裝備器材之數量並定時維護保養，遇有災害發生時應立即派員前往災害地點現場架設。
- (4) 前進指揮所各編組單位或人員應依實際任務需求攜帶通訊設備(如：無線電、衛星電話)、救災設備、警戒用具、醫療照護設備...等。

#### 5. 指揮權及移轉

- (1) 災害發生初期：災害發生初期，首先到達災害現場之救災單位多為當地政府消防局分隊及警察局派出所，由上述 2 個單位人員擔任第一時間現場之救災工作，並由消防局分隊長擔任初期救災指揮官兼總指揮官。

- (2) 災情嚴重或有擴大之虞時：

①在災害現場初步進行災情評估及搶救作業後，由救災指揮官將相關狀況回報消防局(119)，如災情嚴重或有擴大之虞時，由消防局(119)再行派遣其他後續鄰近單位前往支援，並依「當地政府重大災害災情蒐報作業執行計畫」之相關規定，分別通報該項災害防救業務主管機關、所轄區公所及本府相關單位，派員前往現場協助搶救。

②後續消防支援單位到達現場時，其救災指揮官兼總指揮官即依消防局中隊長、大隊長及總值日官之順序進行移轉。各參與搶救單位抵達現場後，帶隊人員應向前進指揮所報到及請示任務，並接受指揮調派，指揮官受理各後續支援單位報到後，應依各項救災需求，分別交付相關任務。另災害業務主管機關已有人員到達現場時，則負責擔任指揮幕僚工作，提供相關資訊供指揮官救災參考。

③災害所轄行政區之任務編組人員到達現場時，應協助擔任相關幕僚工作，如災害處理其特性屬長期性(如疫災)或多點式(如震災、水災)之災害，於區長到達現場時，初期總指揮官應向區長報告救災狀況並接受其指揮調派；如非屬前述災害時，則俟災害防救業務主管機關首長或消防局長到達時，指揮權再進行移轉。

④災害現場涉及緊急人命搶救作業時，由當地政府消防局長擔任總指揮官，災害防救業務主管機關首長則協同指揮；緊急人命搶救階段結束，尚須於災害現場持續進行救災、服務性及復原重建等作業時，由災害防救業務主管機關首長擔任總指揮官，消防局長則協同指揮。災害現場非涉及緊急人命搶救作業時，由災害防救業務主管機關首長擔任總指揮官，消防局長則協同指揮。

⑤如災害規模程度持續擴大或升高，副秘書長層級以上當地政府高層首長抵達災害現場時，總指揮官應向市府高層首長報告救災狀況並接受其指揮，災害業務主管機關首長及消防局長則協同指揮。

- ⑥新聞、醫療、警戒及搶修指揮官指揮權指派及移轉規定，由相關單位自行訂定之。

### 7.1.5 訂定相關災害搶救計畫

臺北三鐵共構車站捷運臺北車站(淡水線、板南線)、臺鐵臺北車站及高鐵臺北車站所組成，北面臨市民大道(西起塔城街向東延伸至華山特區)，南臨忠孝西路(向南延伸至南陽特定區、接博愛特區、全國政治中心)，東接華山特區(北平東路、忠孝東路段、全國行政中心)，西向臺北車站廣場(承德路延伸至國道客運總站、中華路一帶)。此區域人口流動率高、不特定出入人員較多、空間、結構複雜，訂定災害搶救計畫以迅速執行相關緊急應變工作。

#### 1. 工作要項

- (1). 依「臺北市災害防救規則」消防局權責主管之災害為「重大火災」及「重大爆炸」，而搶救第一要務是人命救助，次為撲滅火勢及財物維護。
- (2). 大規模地下場站建築物火災搶救首重建築物內部的消防安全設備，有完善的防火管理制度，才能在第一時間控制火勢、疏散群眾，以降低災害損失。
- (3). 大規模地下場站建築物火災緊急應變中主要分為業者自行防火管理階段及政府各機關單位介入緊急應變搶救階段兩大部分，其過程包括火災的察覺、通報、初期滅火、避難引導、安全防護、人命救助、緊急救護與火勢撲滅等階段。

#### 2. 對策與措施

目標：藉由訂定相關災害搶救計畫及定期辦理模擬演練，增進搶救災人員對臺北車站熟悉度，以將傷亡及損失降到最低。

措施：

- (1) 評估建築物結構本身因素及建築物內部空間使用或管理造成之危險性及發生火災、擴大延燒、無法安全避難之原因。
- (2) 研擬搶救標準作業程序。
- (3) 定期辦理模擬演練或兵棋推演，並檢討修正臺北車站特定區火災搶救計畫。

### 7.1.6 大量傷病患之現場處置及緊急運送

#### 1. 工作要項

- (1) 建置當地政府急救責任醫院緊急醫療救護通訊系統：專用無線電通訊設備、業餘無線電、有線通訊及緊急醫療資訊網。
- (2) 強化區級應變中心與緊急醫療通訊系統之聯繫。
- (3) 加強無線電系統之管理，且設專人負責無線電系統之管理與維護。
- (4) 定期檢測無線電系統以確保系統雙向通訊：
  - ①每日與當地政府消防局救災救護指揮中心通聯測試專業無線電。
  - ②每週測試當地政府急救責任醫院業餘無線電系統。
  - ③每年 6 月、12 月配合行政院衛生署主辦之「全國醫療單位業餘無線電緊急醫療通訊演練」。
- (5) 隨時掌握各醫療院所病房空床情形，以適切且即時處理受災之傷病患醫療事宜。
- (6) 有關藥品醫材(藥品：26 項、醫材：64 項)之儲備：

- ① 依據行政院衛生署「藥品醫材儲備動員管制辦法」規定辦理。
- ② 儲備管理、品項、數量均應依「物力調查作業手冊」等有關規定確實執行。
- (7) 成立當地政府醫院災難醫療救護隊人力編組並每年更新名冊。
- (8) 規劃災難醫療救護隊編組類別，包含醫療執行單位、醫療支援單位及特殊型醫療執行單位（毒生化、小兒及心理衛生）。
- (9) 建立災難醫療救護隊各編組標準作業程序。
- (10) 建置災難醫療救護隊物資裝備，包含醫療支援單位及醫療後勤單位。
- (11) 每年辦理災難醫療救護隊隊員之教育訓練。
- (12) 每年辦理災難醫療救護隊之救災救護演習。

### 7.1.7 災害復建

現場交通維持疏導與捷運系統恢復營運之機制

#### 1. 工作要項

- (1) 災中民眾之疏散及災後現場人員進出管制，以利後續事故災害之復建及維持民眾服務品質。
- (2) 有計劃進行災後捷運設施之復原重建，以利捷運系統以及本特定區經濟與交通運輸活動恢復正常運作。

#### 2. 對策與措施

目標：特定區內災害發生時，利用廣播告知民眾，現場由服務人員執行相關緊急避難疏導機制，捷運設施災後透過緊急動員復原及計劃性復原重建，在安全無虞情況下，儘早恢復通車營運。

措施：

- (1) 執行相關緊急避難疏導機制，現場人員利用廣播告知民眾訊息，並引導民眾避難疏散，災害發生時先行暫停營運，研判災害事故類型、範圍及影響區域及設施設備狀況，再行判斷營運狀態。
- (2) 依據相關搶修及復原工作規定，運用事先訂定之防災物資、裝備及器材之調度計畫與專業技術人員之編組支援計畫，爭取搶修及復原時效，迅速進行受災毀損設備、設施之修復工作，並以恢復原狀為基本考量。
- (3) 從防止再度發生災害之觀點，施以改良之修復，並以滿足儘速通車營運之基本需求為原則，在安全無虞情況下，儘早恢復通車營運。
- (4) 於重大災害發生後，建立災害復原重建會議，考量受災受損情形，確認完成復原之各階段措施，成立工作小組掌握相關進度與支援需求，確定短、中、長期計畫性重建目標追蹤執行，協議復原重建作業之分工，金融財務措施之研議支援、責任歸屬及賠償之主張，以期在最短時間內恢復系統功能，並以全系統運轉模式提供服務。

於天然災害或意外事故完成搶救搶修後，捷運公司現場搶修指揮官應指派維修人員先對設備、設施進行檢視並對功能進行測試確認無誤後，立刻通知該線運務中心、行控中心人員，會同進行行車測試儘速恢復行車營運。

#### 3. 災情勘查及災後檢討

##### (1) 工作要項：

於災害發生之後進行災情勘查，並擇期召開檢討會議。

##### (2) 對策與措施：

目標：藉由災情勘查了解事故之原因，並藉由檢討會的召開，提列各項優

缺點及應改善事項，綜以做為日後災害防救整備之借鏡。

措施：

- (1) 火災部分由消防局進行火災原因調查及召開檢討會。
- (2) 其他災害由各災害防救業務主管機關進行災情勘查及召開檢討會。

#### 7.1.8 營運單位與防災中心聯繫

三鐵共構車站，皆有設置防災中心；內部之硬體設施包含消防、火警、電力、排水（含抽水站）、給水、空調、排煙、電梯/電扶梯等各系統，皆已納入監控或監視，可清楚了解各系統之運轉狀況，特別與安全有關設施。營運部門之站務人員應定期與防災中心值班人員聯繫，並將轄區內所有異常情形或維修人員定期測試安全設施功能的工作提早告知防災中心，以免造成錯誤安全信息至防災中心。任何上述系統之運轉安全異常警報信號，也應與防災中心人員聯繫，保證現場之安全設施在控制之中，確保硬體設施功能與乘客之安全。

### 7.2. 三鐵共構(站)車站逃生動線探討

臺北車站特定區除捷運外，還與臺鐵、高鐵、各地下商店街鄰接，本特定區應以整體空間考量，規劃特定區內避難疏散路線與據點；災害發生時，藉由共同執行緊急避難疏導機制，以確實迅速疏散民眾。

目標：藉由整體規劃緊急避難疏導機制，提升民眾疏散之效率。

措施：

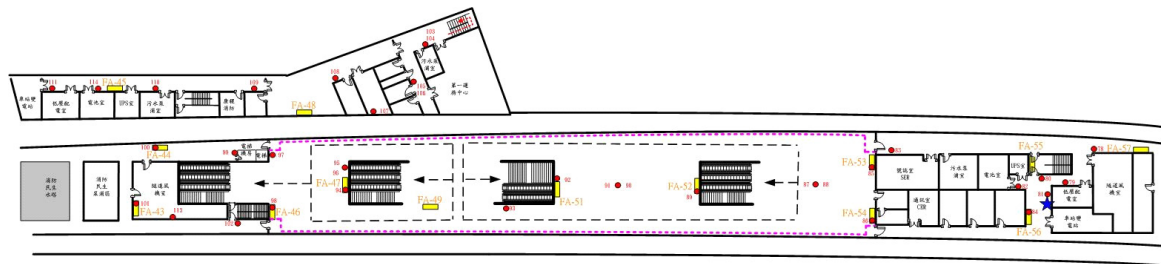
1. 訂定緊急疏散應變計畫相關內容應包含：
  - (1) 緊急狀況類型。
  - (2) 事故災害之應變處理原則。
  - (3) 旅客緊急疏散動線圖。
  - (4) 旅客緊急疏散之注意事項。
  - (5) 人員編組與任務分工。
  - (6) 事故災害緊急通報流程。
2. 納入救災人員路線及避難逃生路線（包括傷患、未受傷民眾與老人及身心障礙等弱勢族群）。
3. 經由共同管理協議會議機制，檢討納入共同防護計畫。

臺北車站特定區發生事故災害時，經由緊急避難疏導機制，得以將民眾有效率且迅速地獲得疏散，救災人員亦可迅速到達事故地點，防止事故導致人員傷亡及災情擴大。

#### 7.2.1 旅客緊急疏散動線圖

1. 臺北車站緊急疏散動線圖

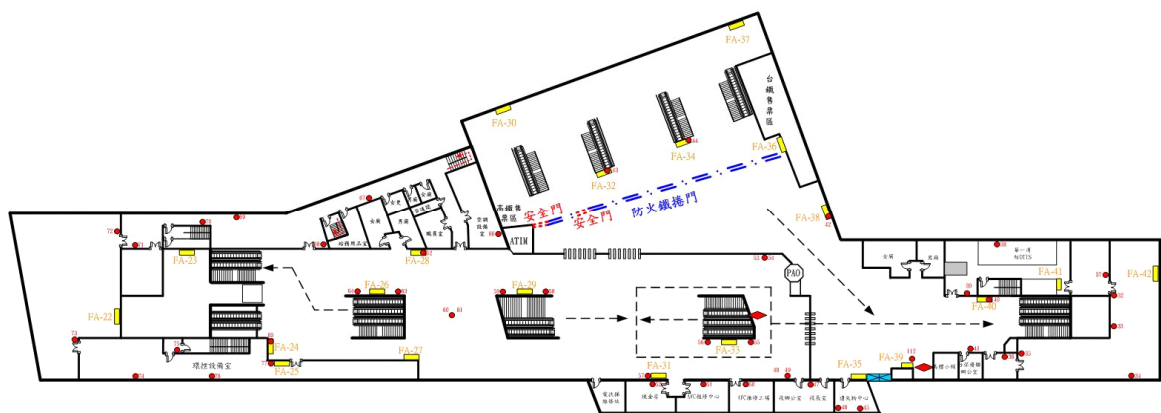
## 台北車站R13平面圖與避難動線圖 [U4月台層]



- 圖例：
- 滅火器
  - 消防控制箱/火警綜合盤
  - 避難逃生動線
  - 月台門
  - 軌道平板車

圖7.3 臺北車站捷運地下四層月台避難動線圖  
資料來源：臺北捷運公司

## 台北車站R13平面圖與避難動線圖 [U3大廳層]



- 圖例：
- 滅火器
  - 火災受信總機
  - 消防控制箱/火警綜合盤
  - 避難逃生動線
  - 鐵捲門/防火鐵捲門
  - 安全門
  - 消防水帶箱

圖7.4 臺北車站捷運地下三層避難動線圖  
資料來源：臺北捷運公司



## 台北車站R13平面圖與避難動線圖 [U2層]

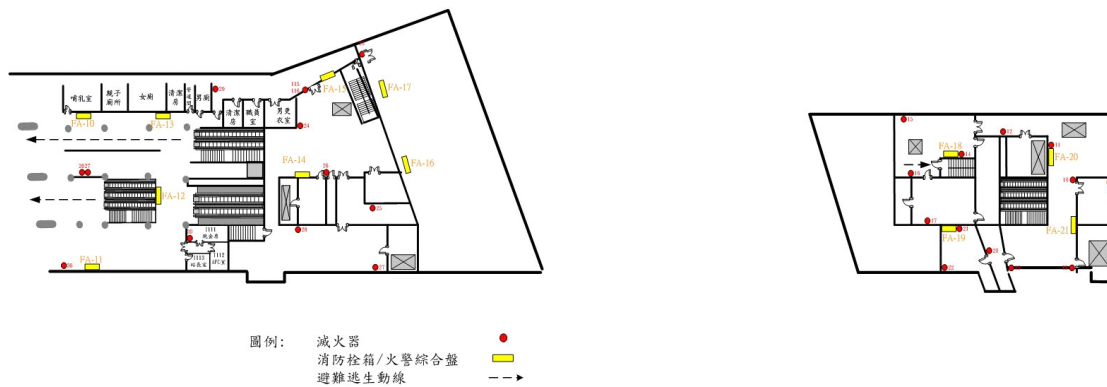


圖7.5 臺北車站捷運地下二層避難動線圖

資料來源：臺北捷運公司

## 台北車站R13平面圖與避難動線圖 [U1層]



圖7.6 臺北車站捷運地下一層月台避難動線圖

資料來源：臺北捷運公司

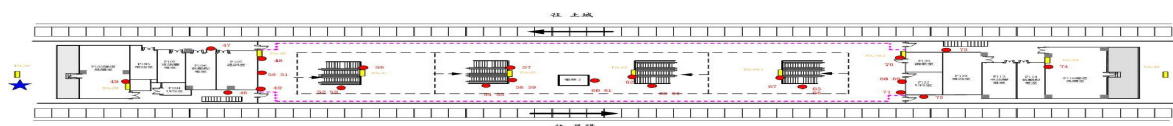


圖7.7 臺北車站捷運地下四層月台避難動線圖

資料來源：臺北捷運公司

## 台北車站BL7平面圖與避難動線圖

### [B2大廳層]

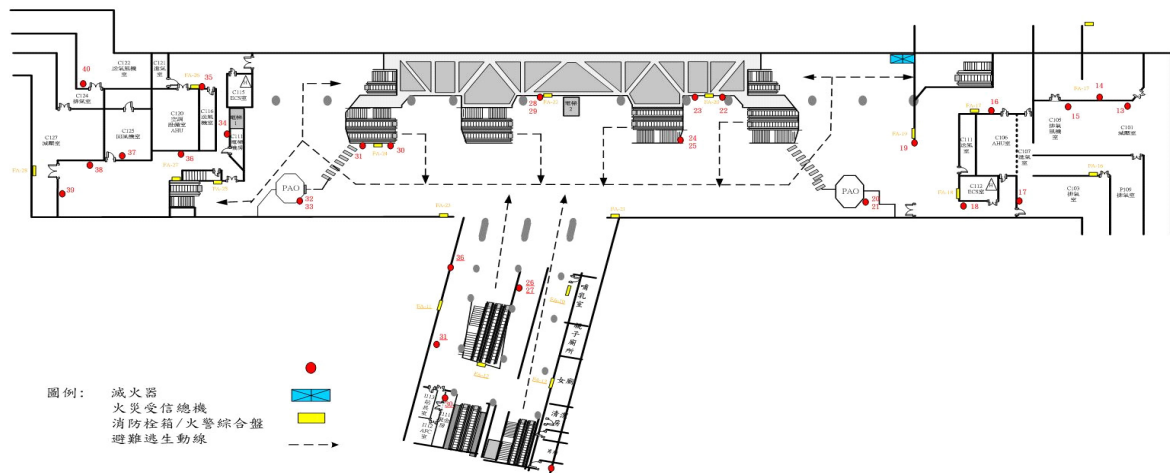
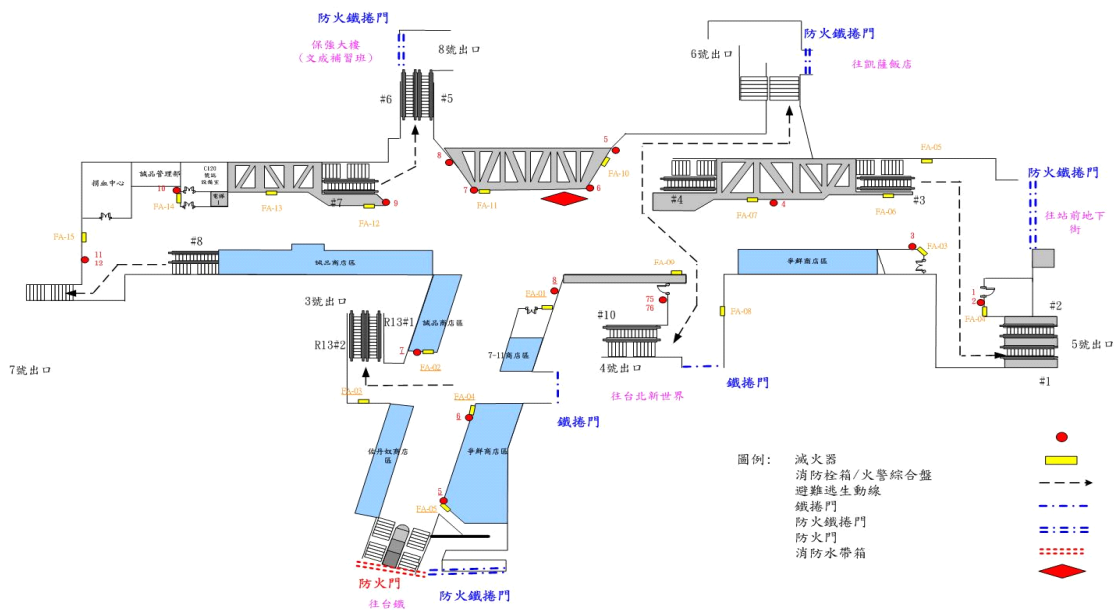


圖7.8 臺北車站捷運藍線地下二層避難動線圖  
 資料來源：臺北捷運公司

## 台北車站BL7平面圖與避難動線圖

[B1層]



註：設備編號加底線為R13設備，未加底線為R17設備

圖7.9 臺北車站捷運藍線地下一層避難動線圖  
 資料來源：臺北捷運公司

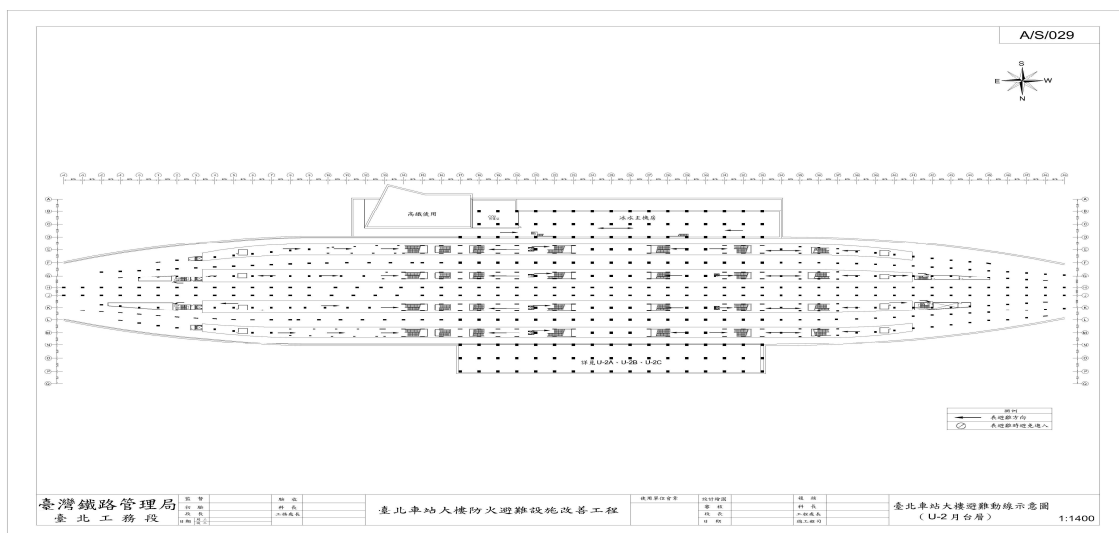


圖7.10 臺鐵與高鐵臺北車站月台避難路線圖1

資料來源：臺灣鐵路局

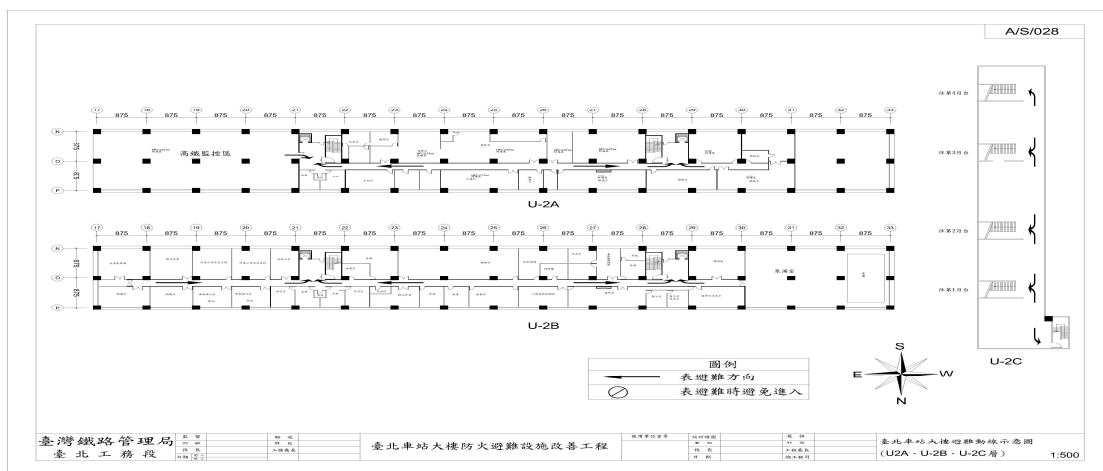


圖7.11 臺鐵與高鐵臺北車站避難路線圖2

資料來源：臺灣鐵路局

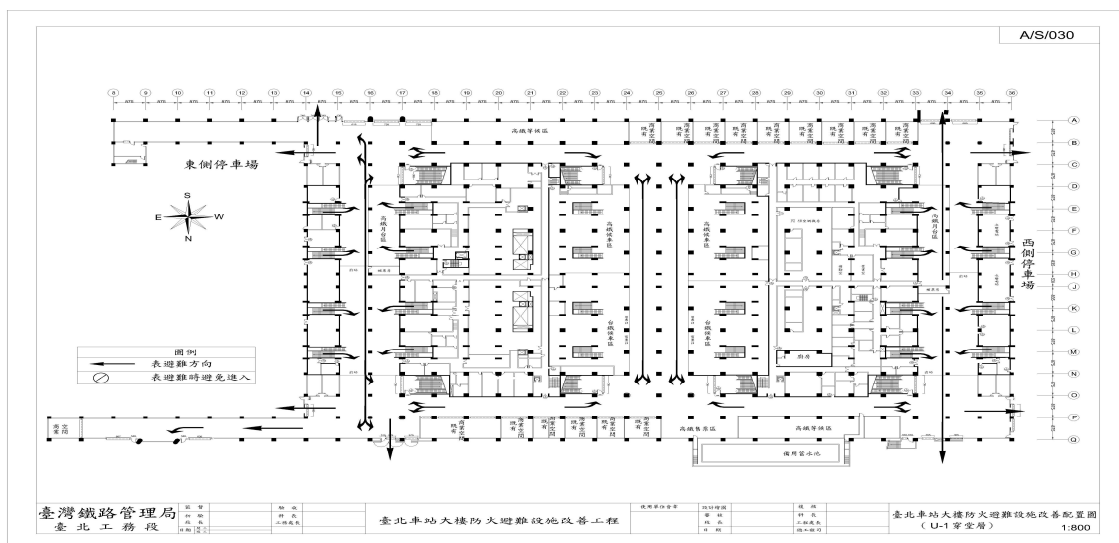


圖7.12 臺鐵與高鐵臺北車站避難路線圖3

資料來源：臺灣鐵路局

## 2. 板橋車站緊急疏散動線圖

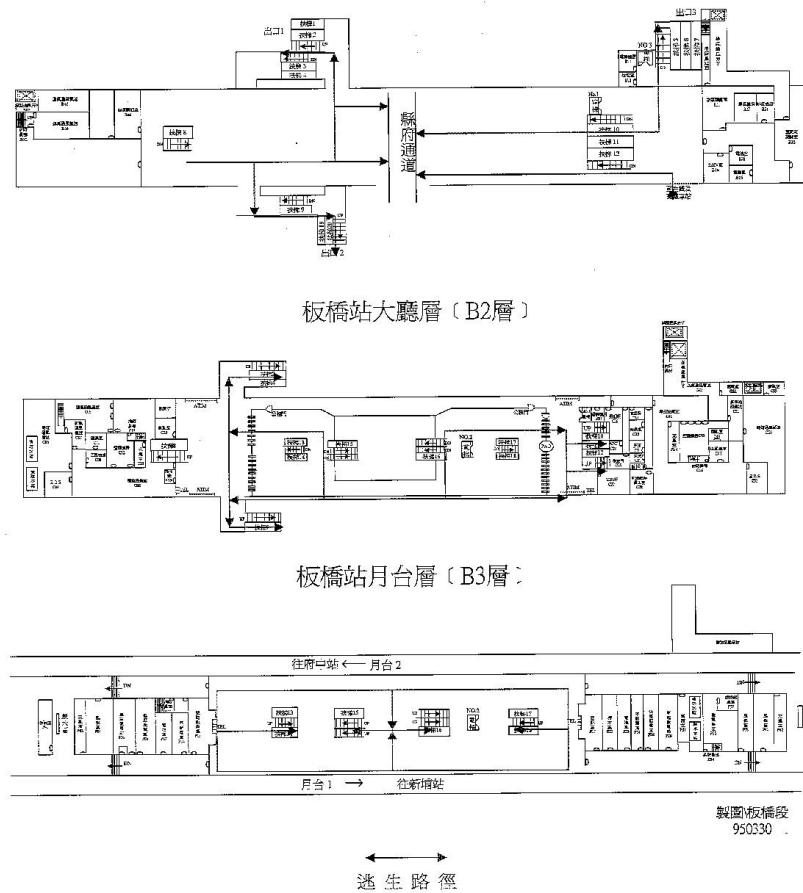
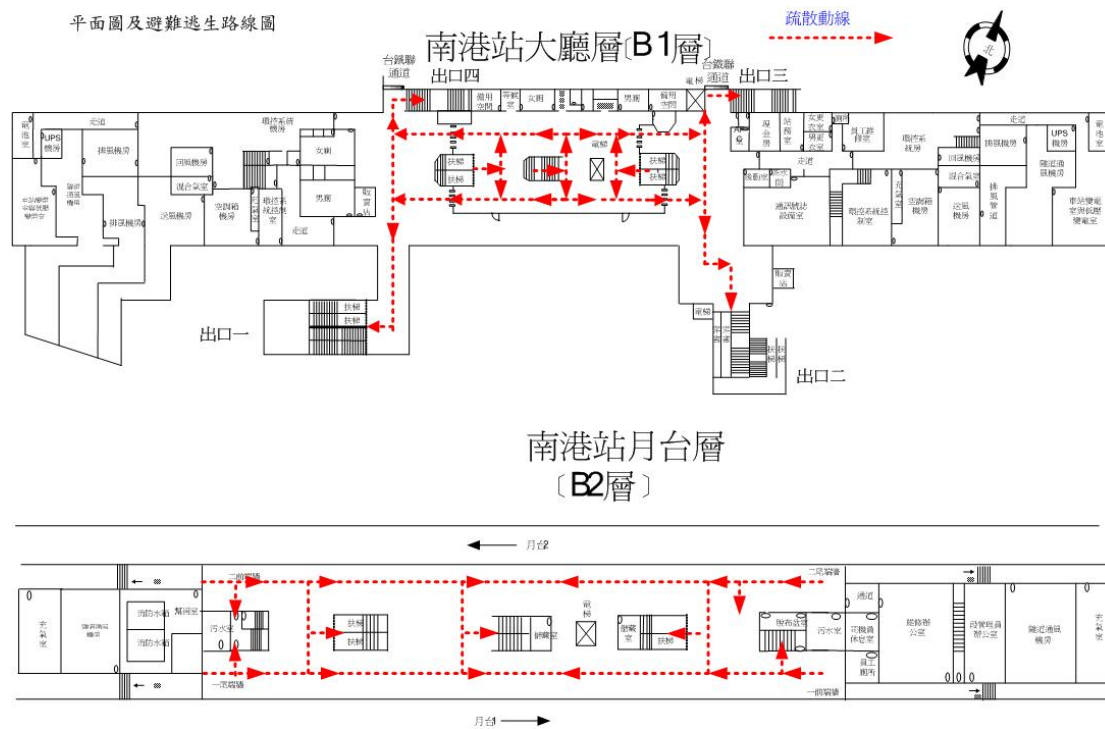


圖7.13 板橋車站捷運藍線地下層避難動線圖

## 3. 南港車站緊急疏散動線圖

三鐵共構南港車站中臺鐵南港車站部分出口及月台已完成，且對乘客運送服務已開始局部營運；捷運南港車站也開始營運。臺北捷運公司南港車站營運人員提供之緊急避難疏散動線如下：



製圖 南港段 970306

圖 7.14 南港車站捷運藍線地下層避難動線圖

資料來源：臺北捷運公司

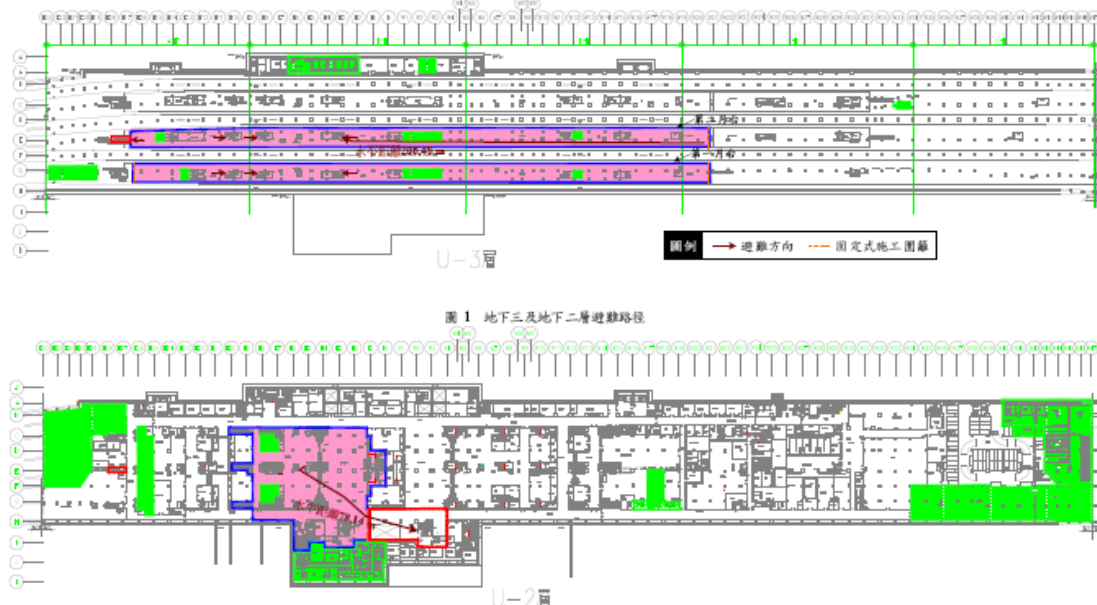


圖7.15 臺鐵南港車站地下層避難動線圖

資料來源：交通部鐵路改建工程局

#### 4. 高雄車站緊急疏散動線圖

目前三鐵共構高雄站在規劃中，尚未投入營運，所以緊急疏散動線圖未能由臺鐵、高鐵、捷運各單位提出，待各單位於高雄站營運人員進駐後，再行規劃緊急避難疏散計畫。

### 7.3. 三鐵共構(站)車站動態模擬及逃生時間檢核

三鐵共構車站之初步簡單動態模擬：

1. 先建立模型(MODEL):依設計圖說資料建立不同之平面資料庫；如月台層座標、大廳層座標、地面層座標、…；等各種需要之幾何圖面。
2. 建立各平面樓梯及電扶梯之出入口地點座標(x, y, z)、方向、大小、連接之平面層名稱等資料庫。
3. 建立各平面逃生出口資料庫、乘客之逃生路徑是由此建立。
4. 付費區與非付費區應建立隔離線資料庫，所有付費區乘客均須經由 TICKET GATE 進出。
5. 建立 people group，乘客可由此分類為不同行為模式團體；如家庭、行動不便等。
6. 最後建立 people event，完成初步簡單之模型。

本研究案使用資料庫所建立之三鐵共構站之模型(Model)，STEPS 模擬三鐵共構站捷運、臺鐵、高鐵逃生疏散時間；發現產生人流密集區在月台之樓梯與電扶梯、大廳層之收票閘門，以及與收票閘門較近之樓梯與電扶梯等處；臺北車站內之地下三層轉換區樓梯與電扶梯。建議營運部門在於發生緊急事故時，應針對收票閘門、較近之樓梯與電扶梯等處派服務人員協助疏散旅客，使人員意外事故發生率降低。

使用 STEPS 模擬三鐵共構車站逃生疏散情境時，在參數設定上使用 9 個觀察點，在觀察路徑上同樣取 9 個不同觀察路徑；並於月台上設定產生所需要的逃生疏散人數後，設定拍照取景地點，與全程錄影時間；下達執行命令執行后，當車站逃生疏散完成後，即可取得所需之照片及錄影。以臺北車站臺鐵月台人員疏散為例：每一月台設定 2000 人，共有 4000 人於月台逃生(2 個月台)疏散；於 186 秒月台淨空(NFPA 130 要求 4 分鐘疏散完畢)，人員由月台上大廳層或地下三層轉換層疏散，最後至地面。人員總共疏散時間為 4 分 30 秒，符合 NFPA130 疏散時間規定(增加一層逃生可以加上 2 分鐘)。對於下表內各站逃生疏散時間皆合乎 NFPA 130 疏散時間規定。圖 7.16－7.28 為 STEPS 之輸出逃生疏散情境照片，每 30 秒於不同地點取景一次，並建立 270 秒之 3D 動態錄影影片。詳細請參閱附圖及光碟片(D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION)。

表7-1 STEPS 模擬三鐵共構車站緊急逃生疏散結果(模擬月台人數、逃生時間)

| 三鐵共構車站 | 捷運                                     | 臺鐵         | 高鐵         | 附註            |
|--------|----------------------------------------|------------|------------|---------------|
| 臺北車站   | 紅線:<br>2000,5'34"<br>藍線:<br>2000,4'57" | 4000,4'30" | 4000,4'31" | 如圖:7.16~7.19  |
| 南港車站   | 1000,4'16"                             | 2000,4'33" | 2000,4'38" | 如圖:7.20 ~7.22 |
| 板橋車站   | 2000,5'11"                             | 4000,4'46" | 4000,4'31" | 如圖:7.23 ~7.25 |
| 高雄車站   | 1500,7'39"                             | 3000,6'07" | 3000,6'18" | 如圖:7.26 ~7.28 |

圖 7.16 為臺北車站捷運紅線之逃生疏散模擬情境：月台上 2000 人進行疏散模擬，由地下四層月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察 月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此疏散至大廳層(地下三層)；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地下街；逃生疏散時間使用 5 分 34 秒完成；也得知緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Taipei co-location station\MRT-taipei Red line\MRT red line movie.avi

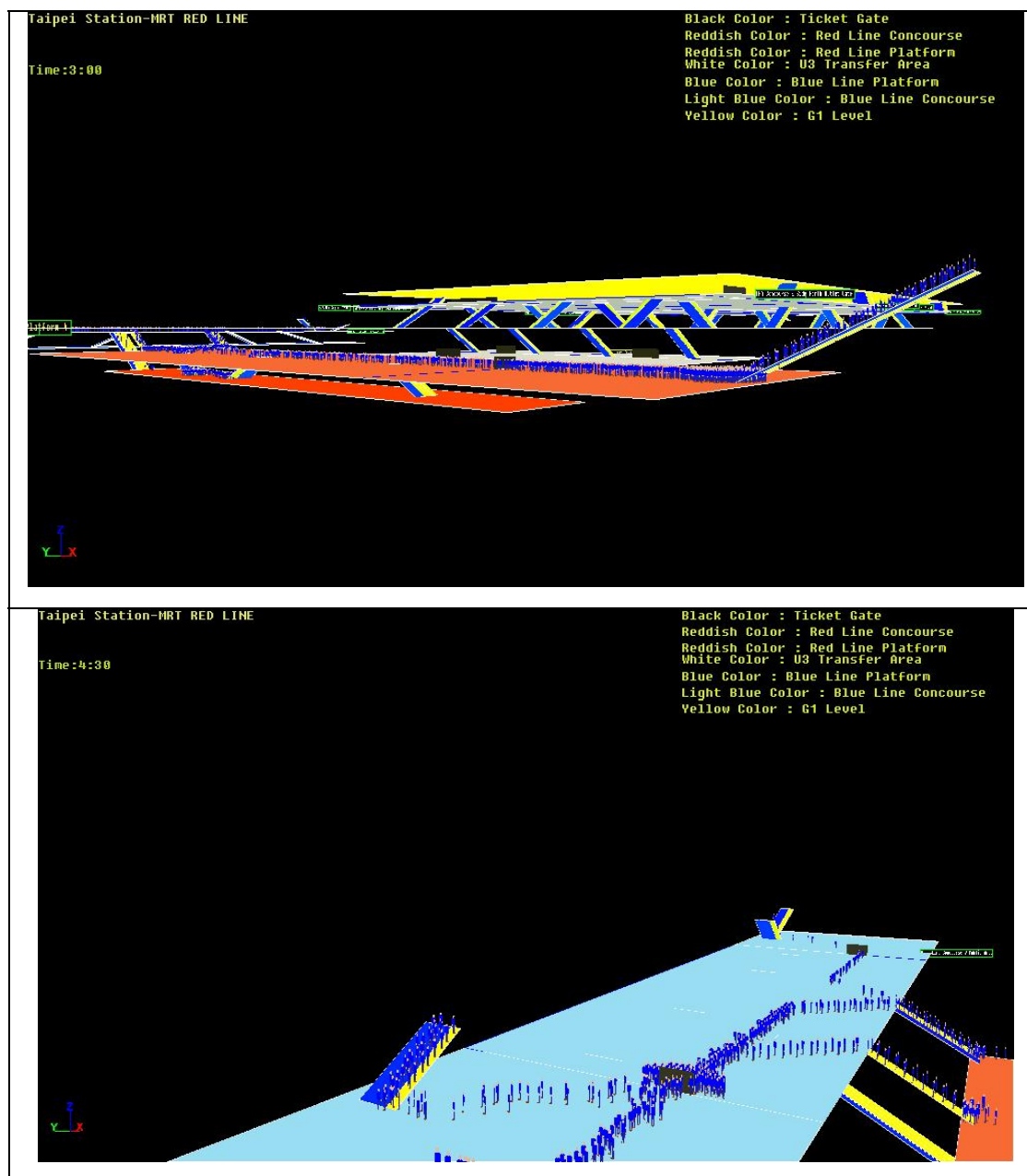


圖7.16 捷運臺北車站紅線逃生情境模擬圖



圖 7.17 為臺鐵臺北車站之逃生疏散模擬情境：每一月台 2000 人進行疏散模擬，共 4000 人於月台疏散，由地下月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察 月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向下疏散至轉換層(地下三層)或向上疏散至大廳層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 4 分 30 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Taipei co-location station\MRT-taipei Blue line \MRT blue line movie.avi

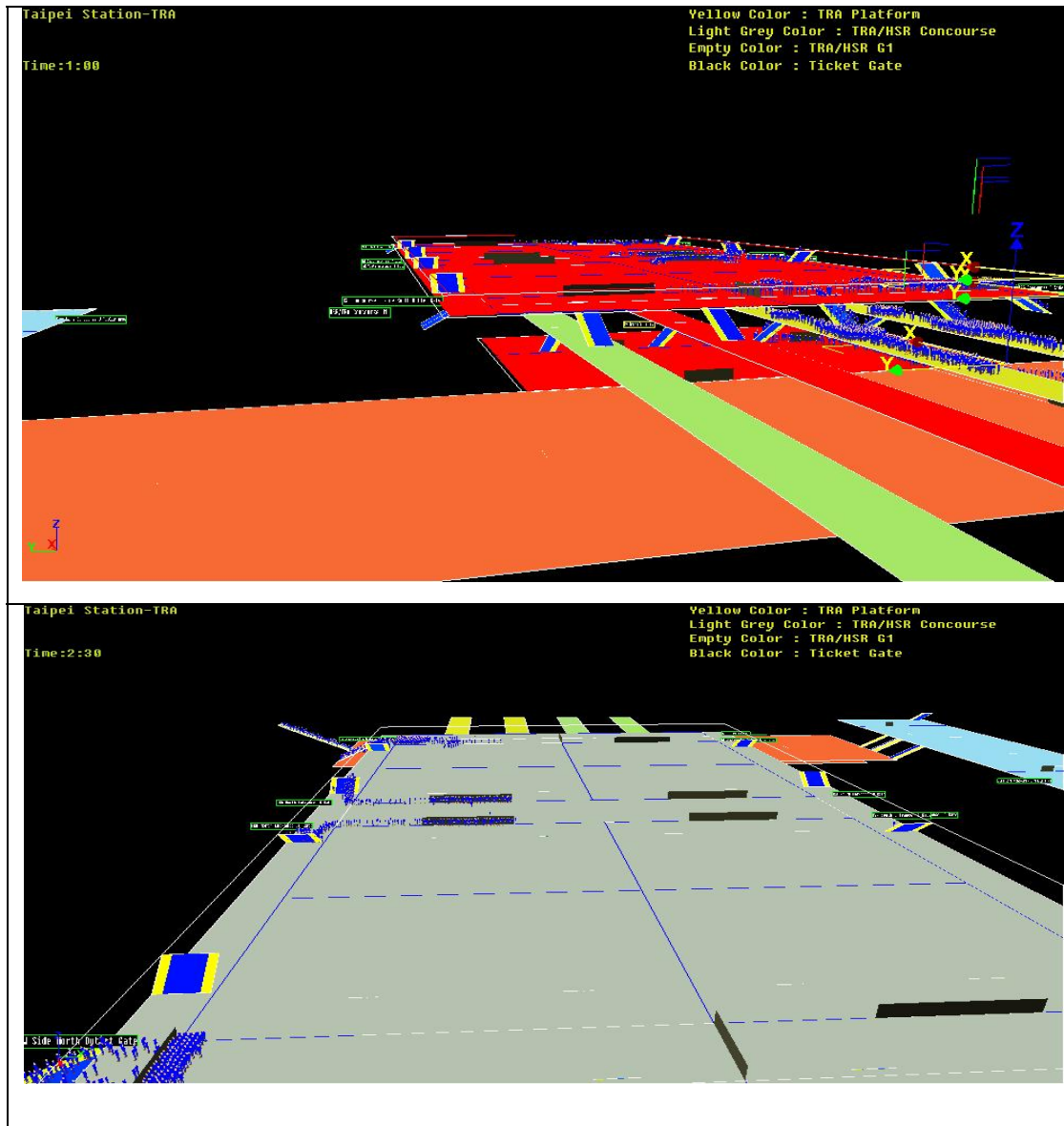


圖7.17 臺鐵臺北車站逃生情境模擬圖



圖 7.18 為臺北車站捷運藍線之逃生疏散模擬情境：月台 2000 人進行疏散模擬，由地下三層月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察 月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此疏散至大廳層(地下二層)；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地下街；逃生疏散時間使用 4 分 57 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Taipei co-location station\MRT-taipei Blue line \MRT blue line movie.avi

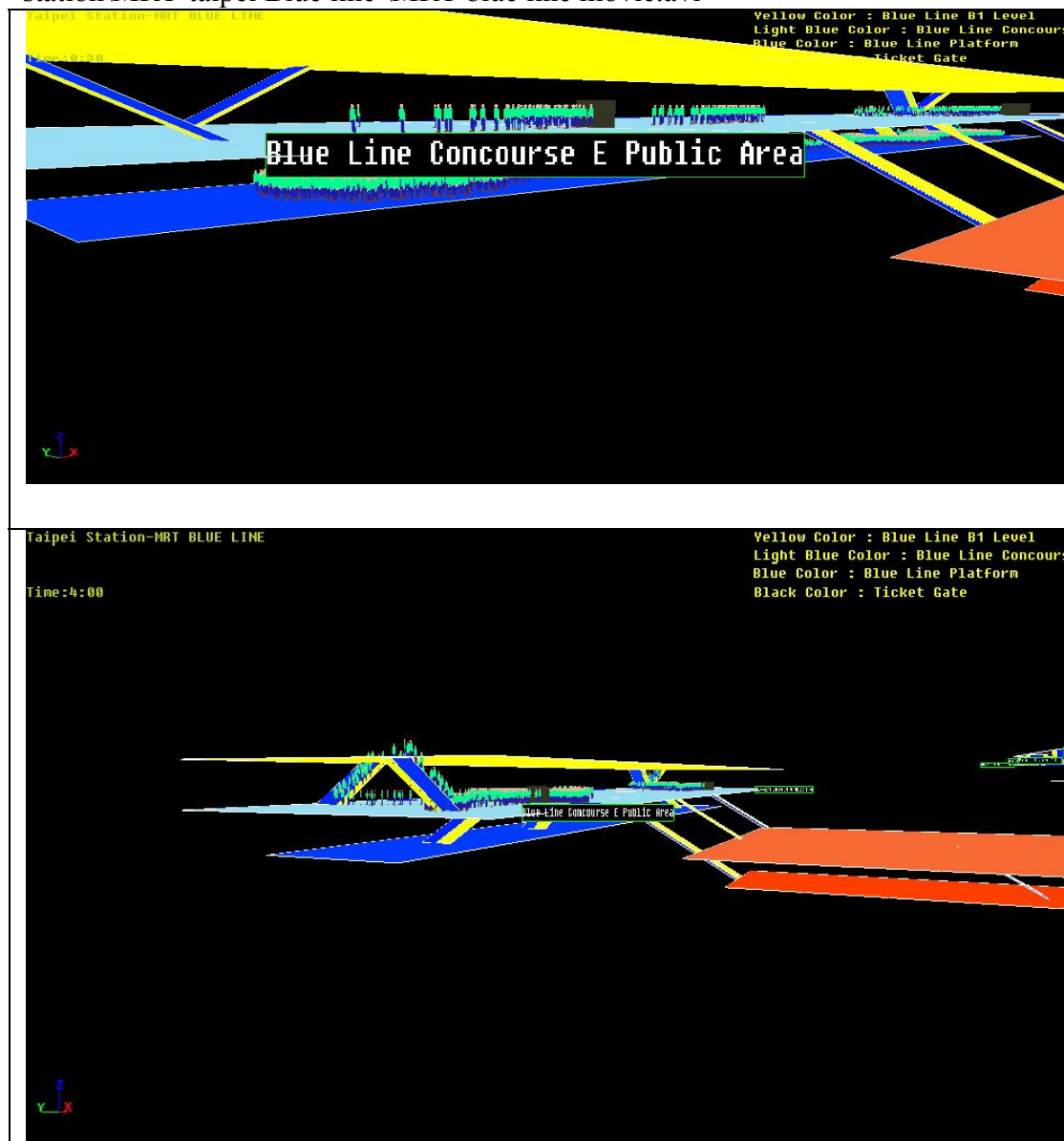


圖7.18 捷運臺北車站藍線逃生情境模擬圖

圖 7.19 為高鐵臺北車站之逃生疏散模擬情境：每一月台 2000 人進行疏散模擬，共 4000 人於月台疏散，由地下月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察 月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向下疏散至轉換層(地下三層)或向上疏散至大廳層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 4 分 31 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Taipei co-location station\HSR-taipei \HSR TPE eva Simulation.avi

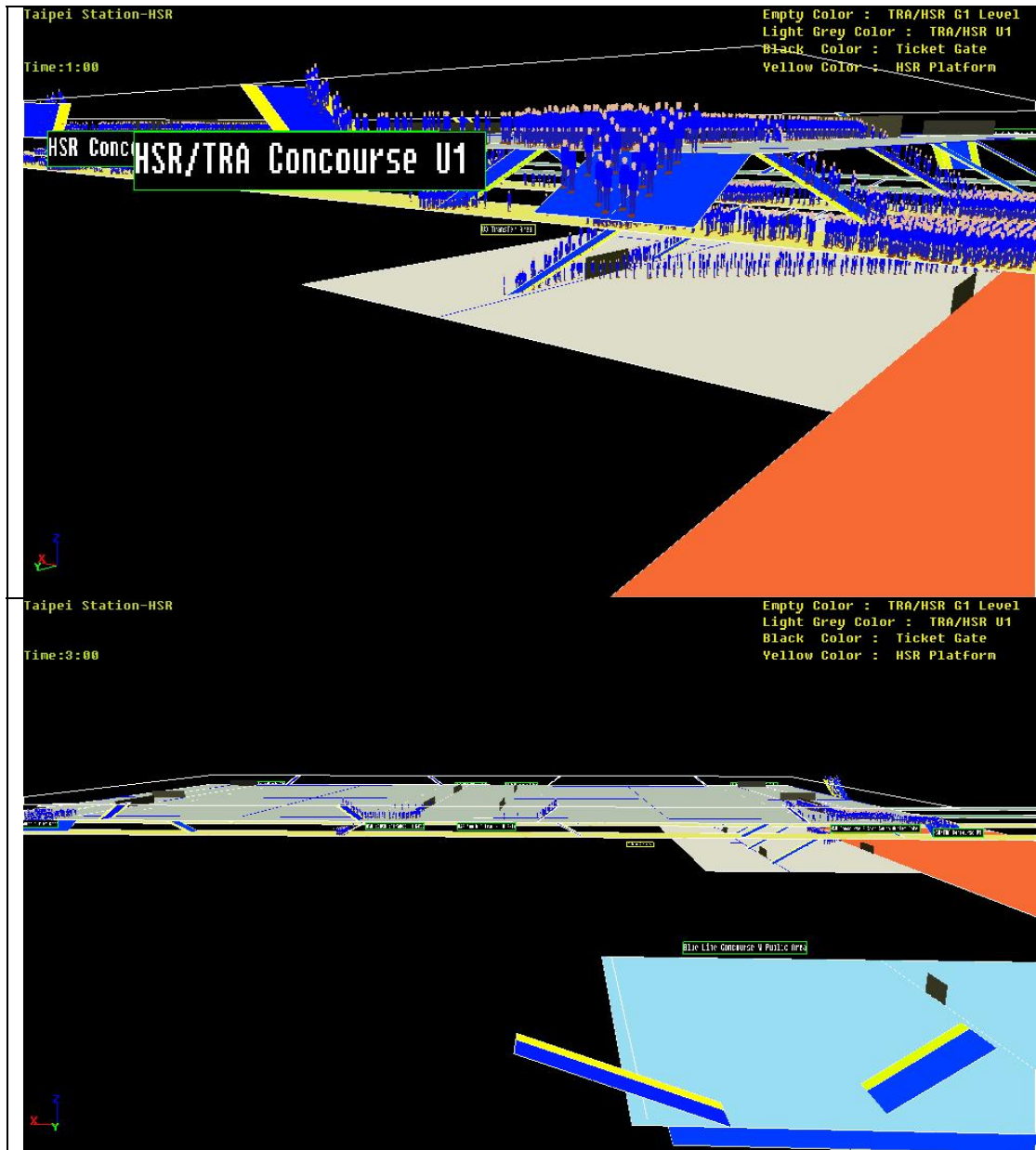


圖7.19 高鐵臺北車站逃生情境模擬圖

圖 7.20 為臺鐵南港車站之逃生疏散模擬情境：因有三月台，假設其中一月調度使用，僅用兩月台營運；每一月台 1000 人進行疏散模擬，共 2000 人於月台疏散，由地下三層月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向上疏散至大廳層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 4 分 33 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Nankang co-location station\TRA Nankang Station\ TRA Nankang Eva Simulation.avi

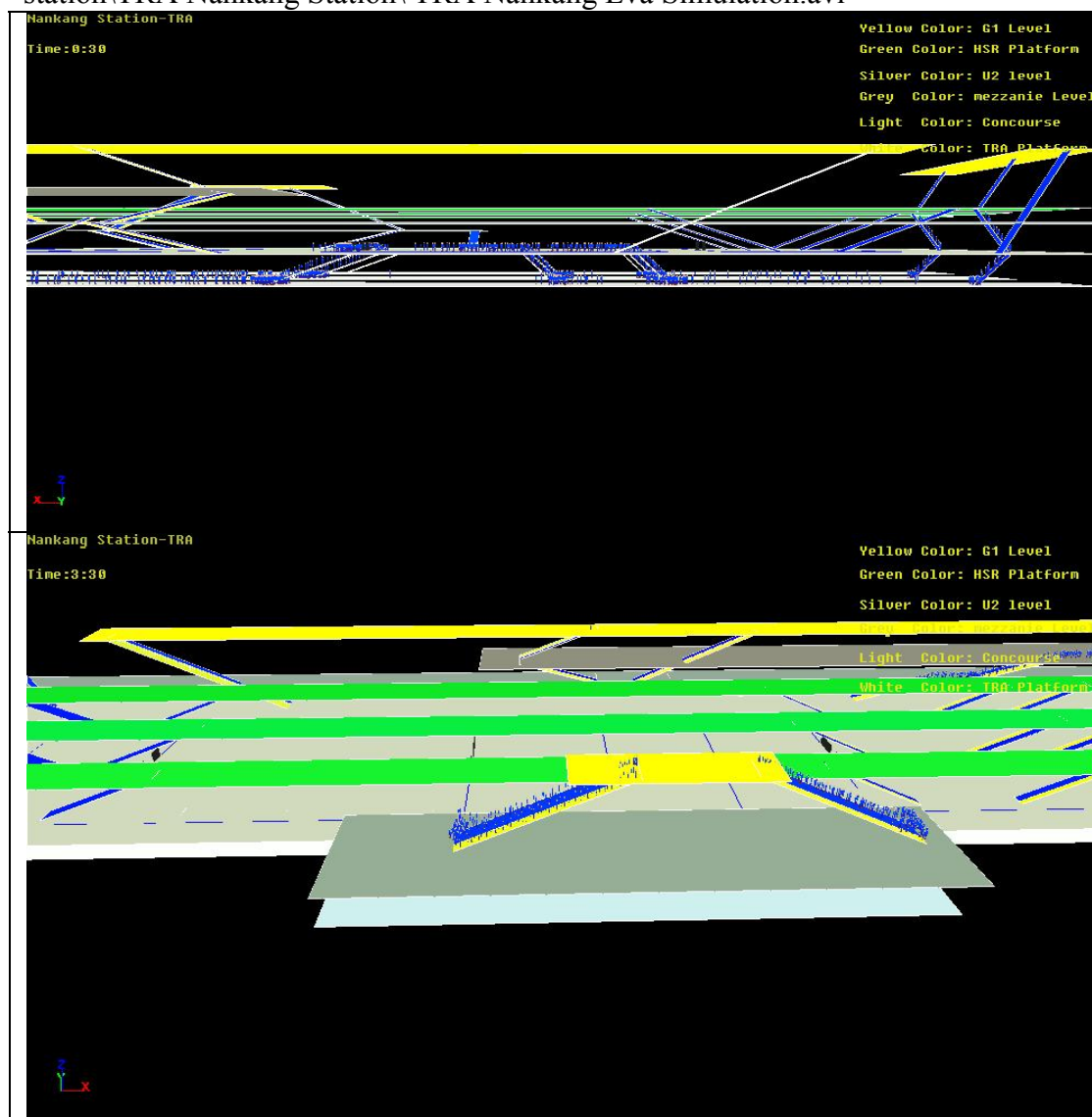


圖7.20 臺鐵南港車站逃生情境模擬圖

圖 7.21 為高鐵南港車站之逃生疏散模擬情境：因有三月台，假設其中一月調度使用，僅用兩月台營運；每一月台 1000 人進行疏散模擬，共 2000 人於月台疏散，由地下一層月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察 月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向下疏散至大廳層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 4 分 38 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Nankang co-location station\HSR Nankang Station\ HSR Nankang Eva Simulation.avi

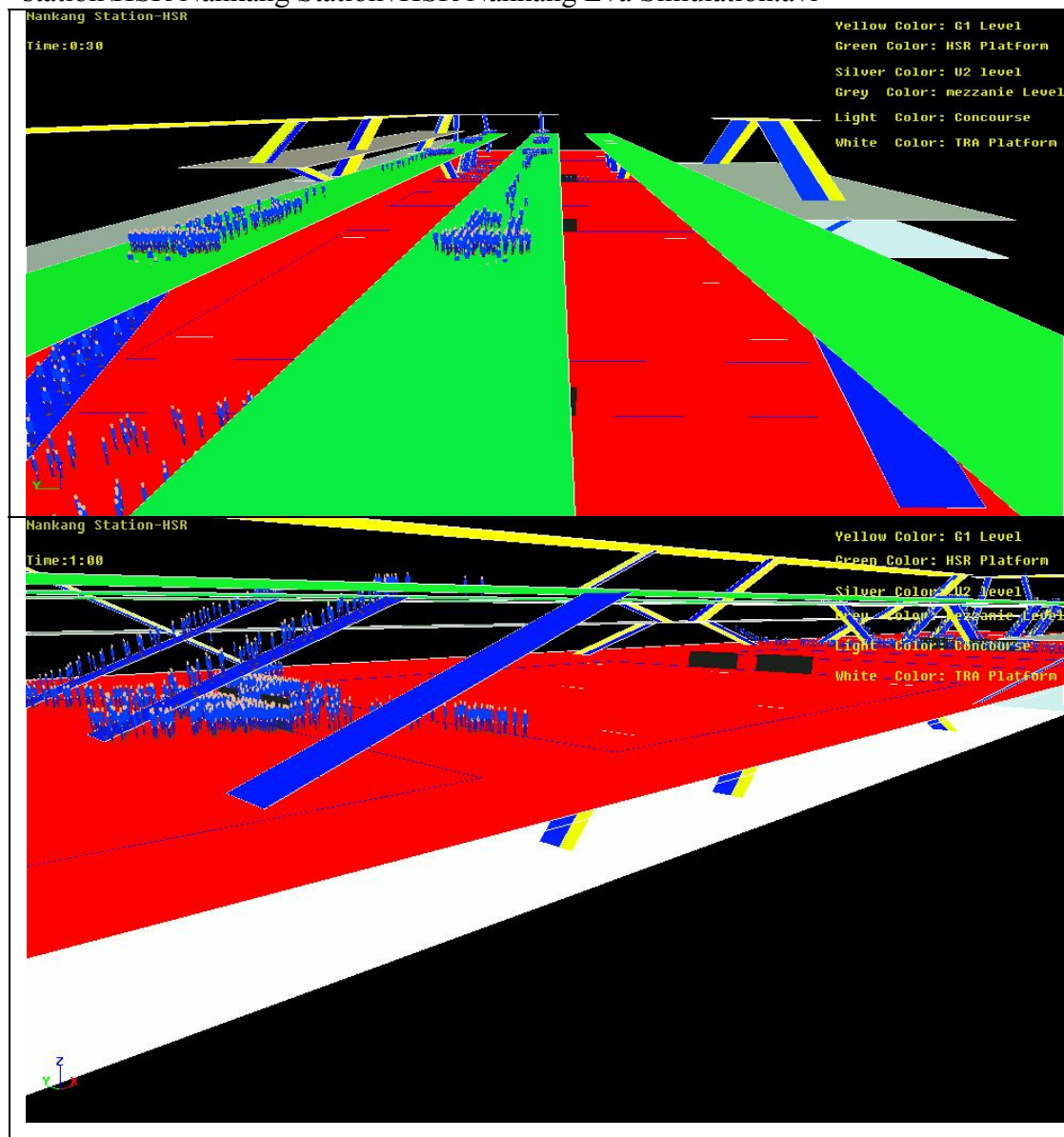


圖7.21 高鐵南港車站逃生情境模擬圖



圖 7.22 為捷運南港車站之逃生疏散模擬情境：月台 1000 人進行疏散模擬，由地下月台層開始作緊急疏散，由照片上可觀察月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向上疏散至穿堂層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 4 分 16 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Nankang co-location station\MRT Nankang Station\MRT Nankang Eva Simulation.avi

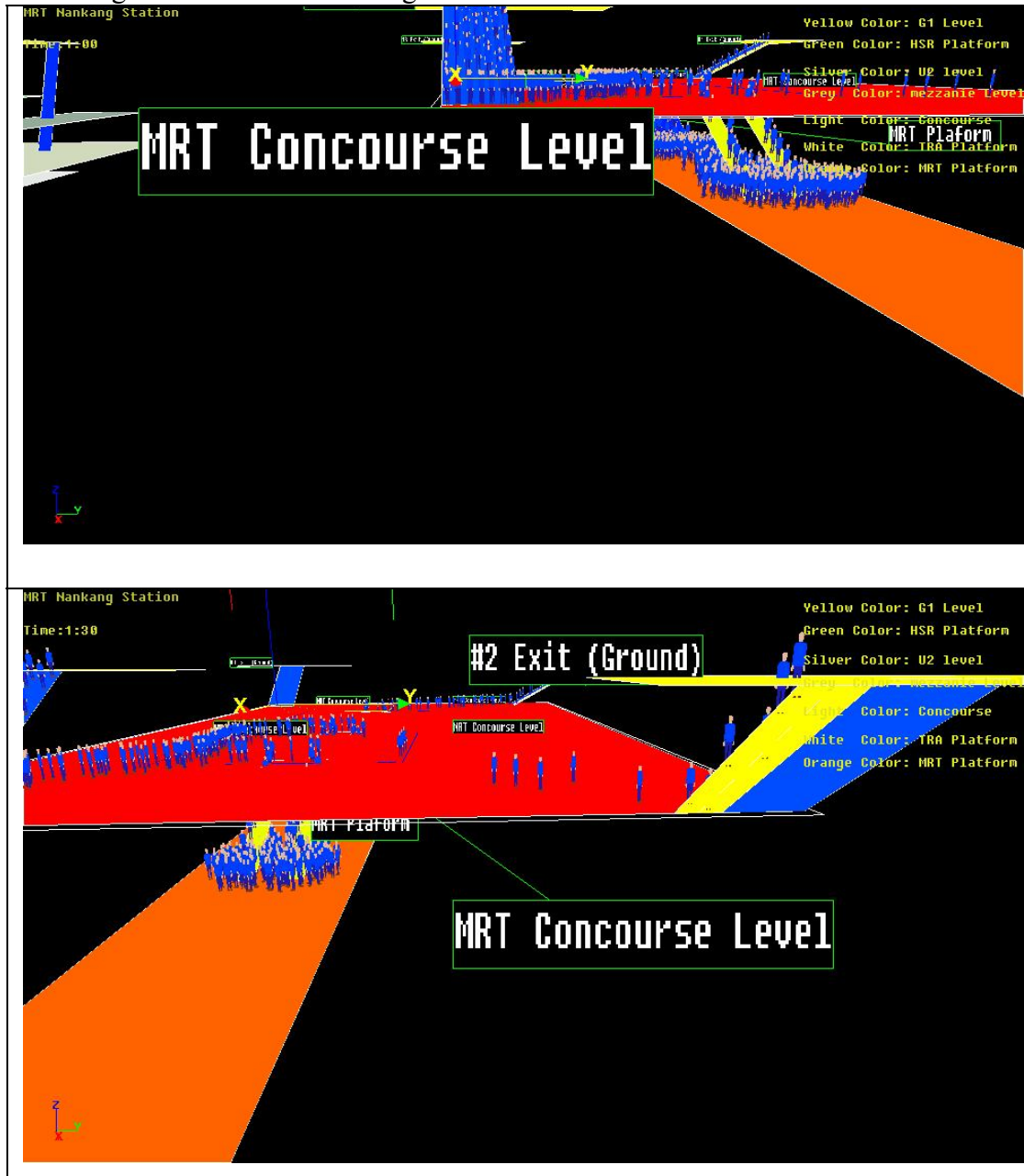


圖 7.22 捷運南港車站逃生情境模擬圖

圖 7.23 為捷運板橋車站之逃生疏散模擬情境：月台 2000 人進行疏散模擬，由地下月台層開始作緊急疏散，由照片上可觀察月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向上疏散至穿堂層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 5 分 11 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Baxiao co-location station\TRA - Banqiao Station\ TRA Banqiao Station EVA Simulation.avi

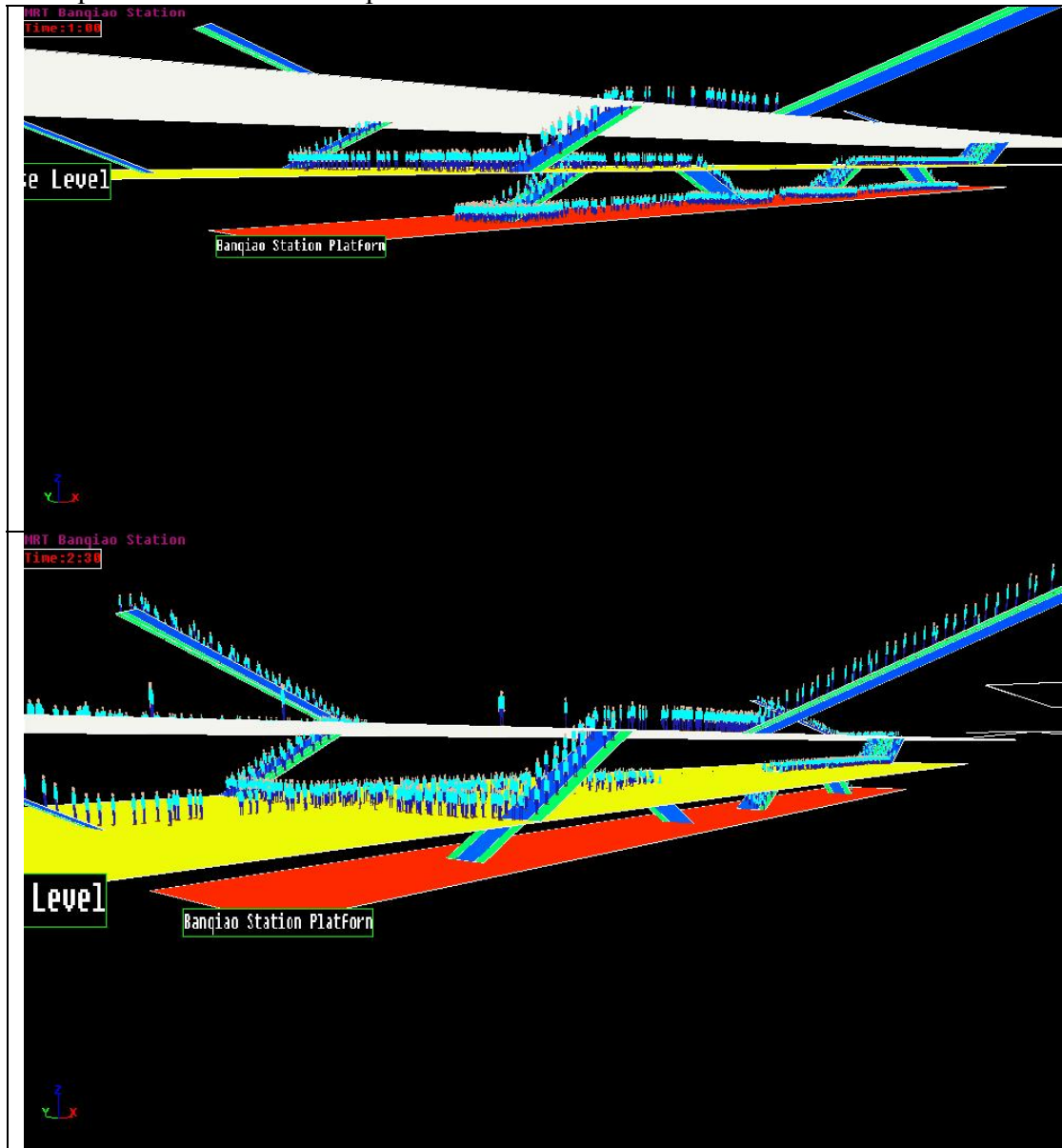


圖7.23 捷運板橋車站逃生情境模擬圖

圖 7.24 為高鐵板橋車站之逃生疏散模擬情境：因有二月台，一月台 2000 人進行疏散模擬，共 4000 人於月台疏散，由地下月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向上疏散至大廳層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 4 分 31 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Baxiao co-location station\HSR - Banqiao Station\TRA - Banqiao Station\HSR Banqiao Station EVA Simulation.avi

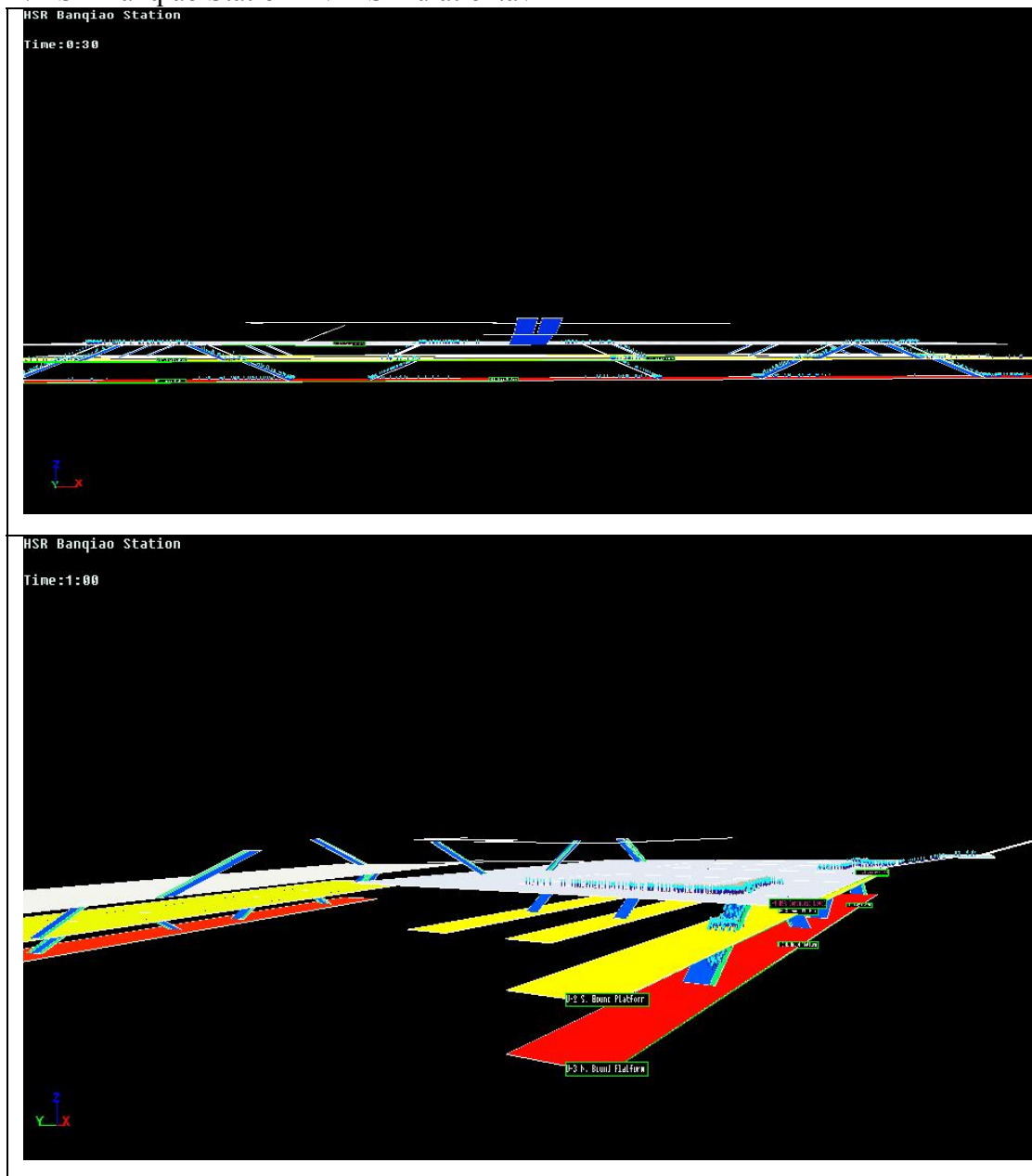


圖7.24 高鐵板橋車站逃生情境模擬圖

圖 7.25 為臺鐵板橋車站逃生疏散模擬情境：因有二月台，每一月台 2000 人進行疏散模擬，共 4000 人於月台疏散，由地下月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向上疏散至大廳層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 4 分 46 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Baxiao co-location station\TRA - Banqiao Station \ TRA Banqiao Station EVA Simulation.avi

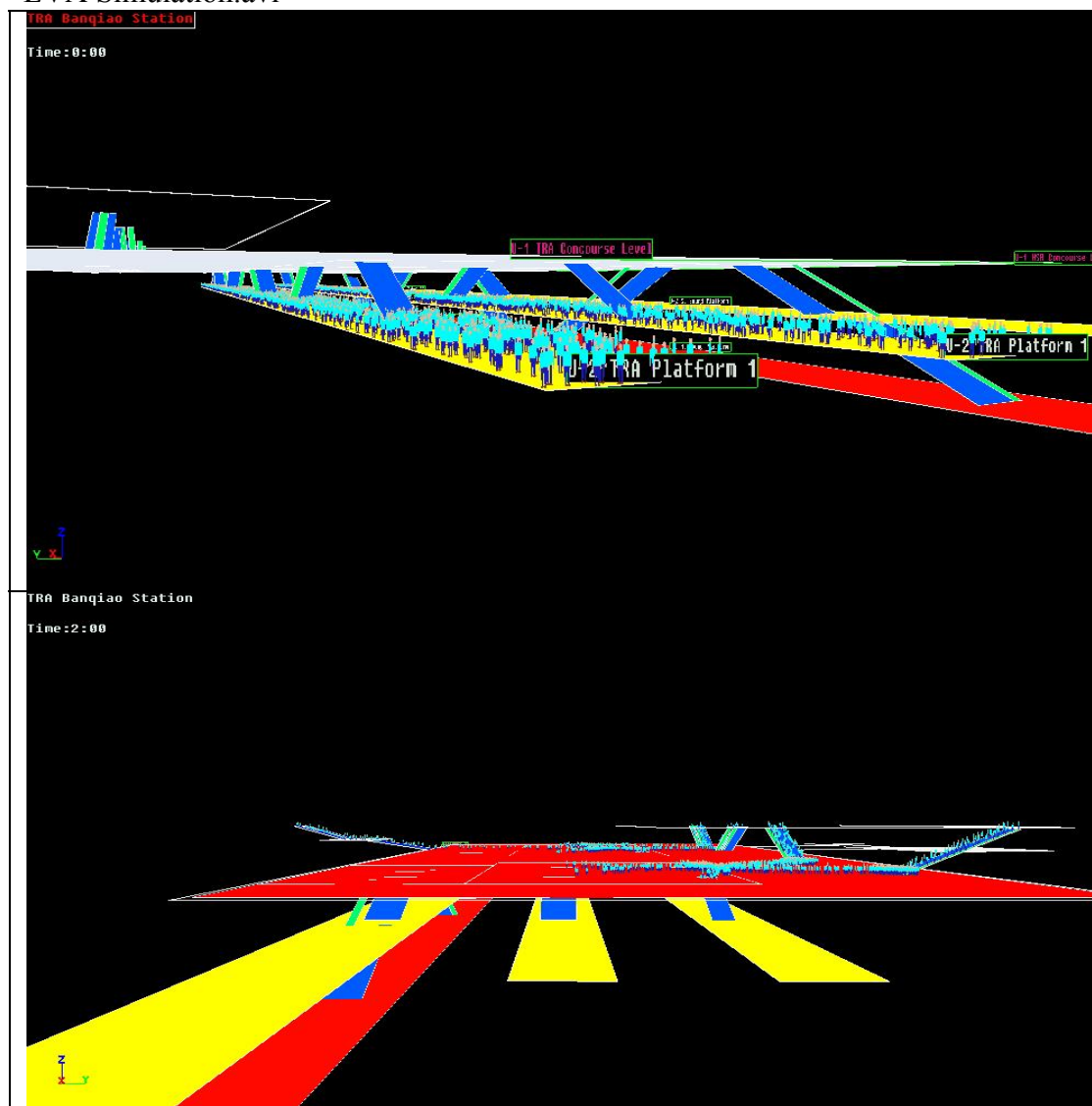


圖7.25 臺鐵板橋車站逃生情境模擬圖



圖 7.26 為臺鐵高雄車站逃生疏散模擬情境：因有二月台，每一月台 1500 人進行疏散模擬，共 3000 人於台鐵月台疏散，由地下二層月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向上疏散至大廳層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 6 分 07 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Kaohsiung co-location station\TRA Kaohsiung Station \ TRA Kaohsiung EVA Simulation.avi

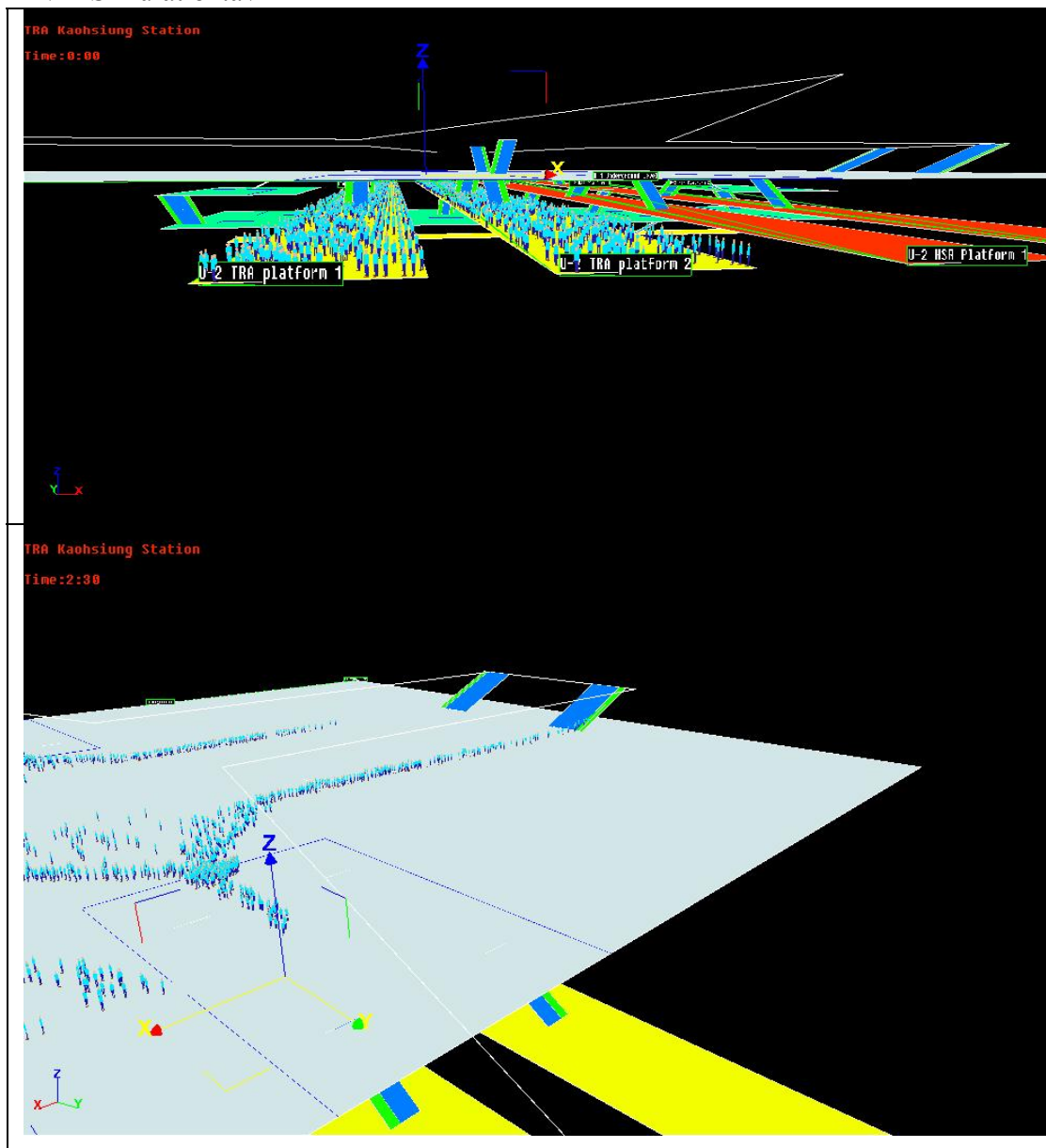


圖7.26 臺鐵高雄車站逃生情境模擬圖

圖 7.27 為高鐵高雄車站逃生疏散模擬情境：因有二月台，每一月台 1500 人進行疏散模擬，共 3000 人於月台疏散，由地下二層月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向上疏散至大廳層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 6 分 18 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Kaohsiung co-location station\HSR Kaihsuing Station \ HSR Kaohsiung EVA Simulation.avi

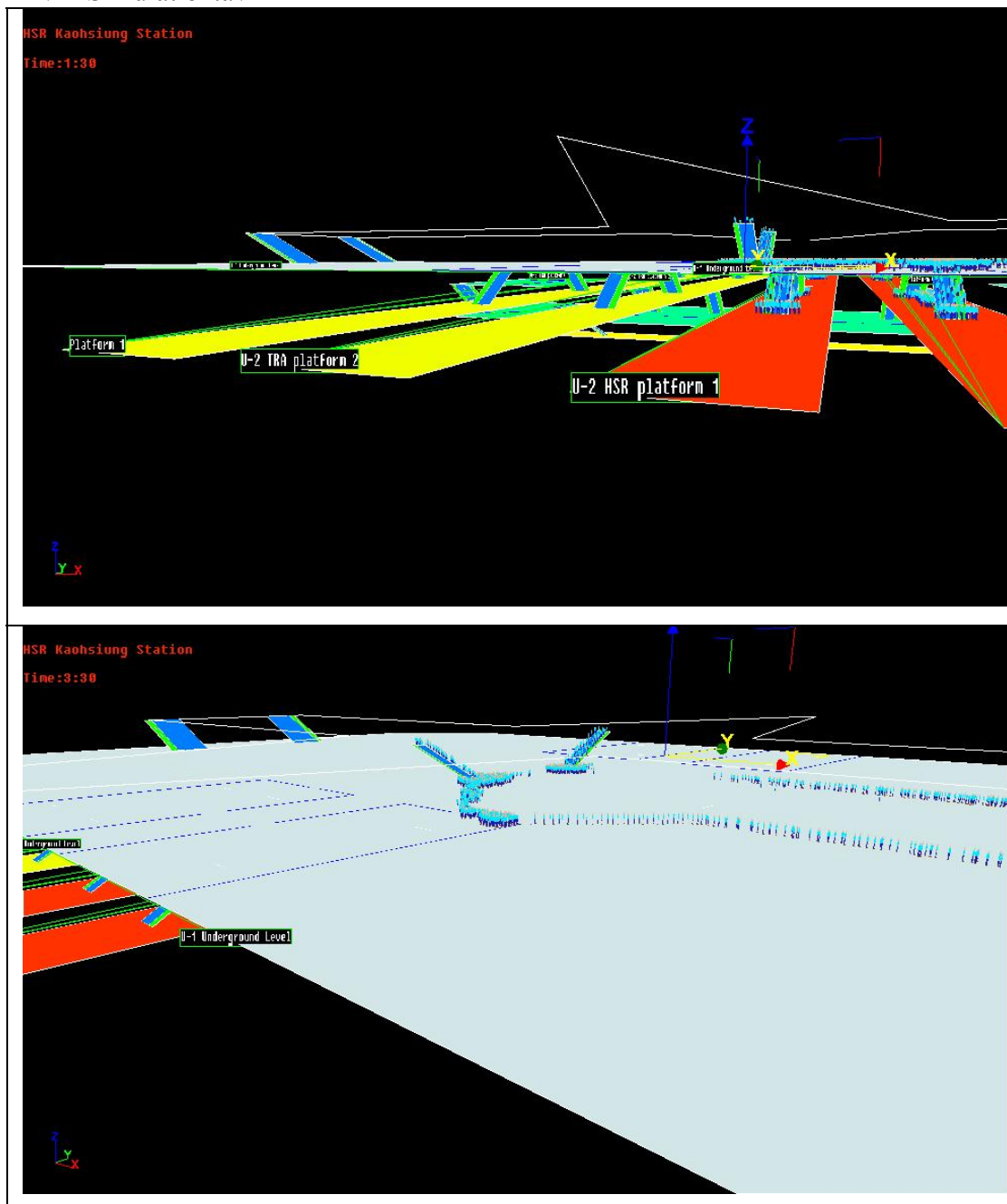


圖7.27 高鐵高雄車站逃生情境模擬圖

圖 7.28 為捷運高雄車站逃生疏散模擬情境：月台 1500 人進行疏散模擬，由地下四層月台開始作緊急疏散，由照片上可觀察月台上之樓梯、電扶梯聚集人流高密度，再由此向上疏散至大廳層；收票閘門也有高密度之人流出現，疏散人流再向較近之逃生樓梯、電扶梯逃生，最後疏散至地面；逃生疏散時間使用 7 分 39 秒完成；緊急疏散之瓶頸出現在樓梯、電扶梯、收票閘門等處。本站的 3D 動態錄影請參考光碟路徑: D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION\Kaohsiung co-location station\MRT Kaohsiung Station \ MRT Kaohsiung EVA Simulation.avi

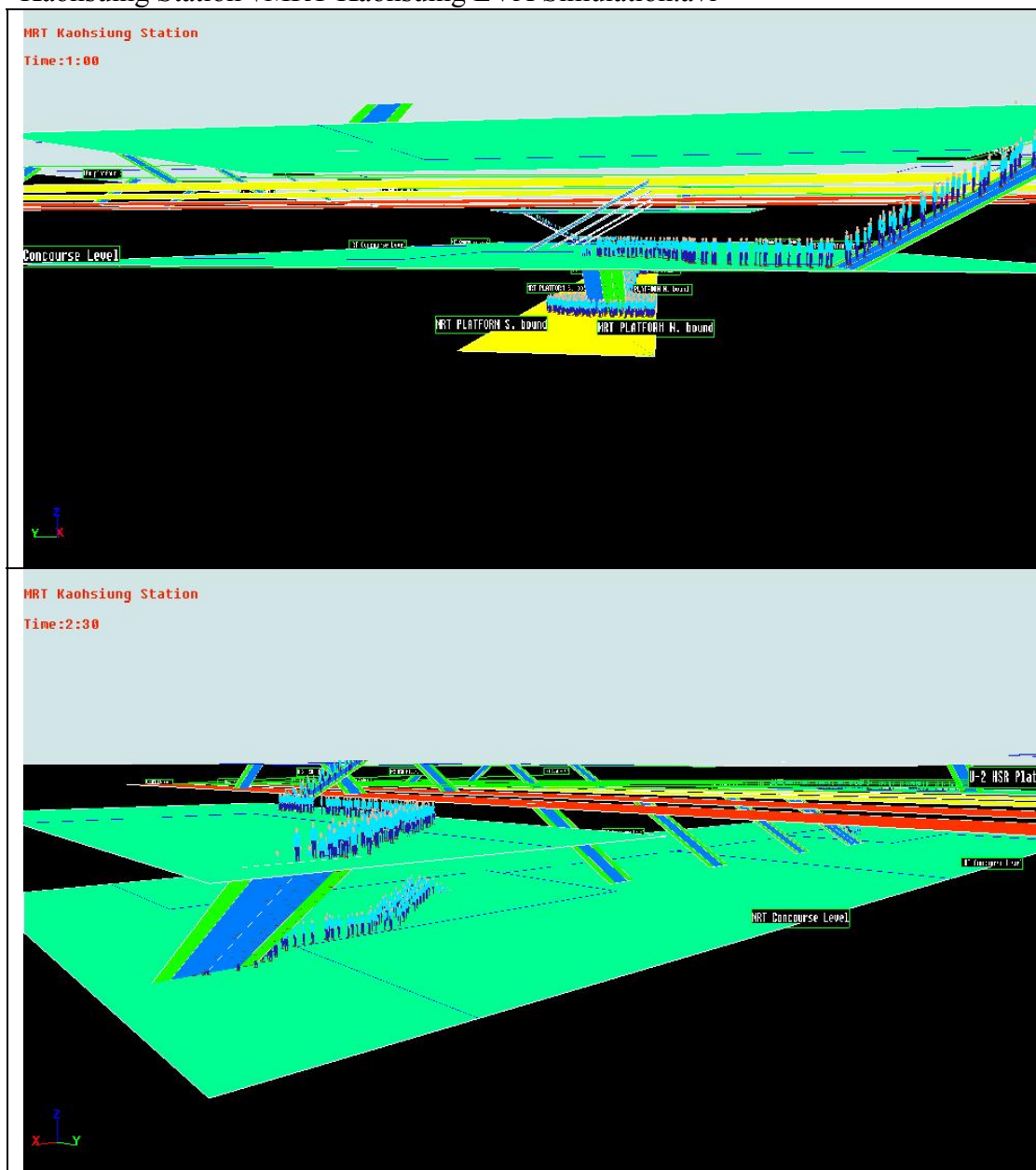


圖7.28 捷運高雄車站逃生情境模擬圖



## 第八章 結論與建議

本研究係針對地下軌道及地下場站(著重於捷運、臺鐵及高鐵三鐵共構(站))之防救災系統之整合及作業等之安全管理機制，及其他相關事項，作深入探討。

### 8.1 結論

1. 本研究範圍為針對於捷運、臺鐵及高鐵三鐵共構車站之防救災及安全管理，對進出臺北車站、板橋車站，高雄車站、南港車站站之乘客、避難路徑、列車規模作統計分析，對捷運、臺鐵及高鐵等於尖峰時間內，列車間距、乘客人數等資料統計與分析；對於預防機制、緊急搶救機制、檢討與改善與回饋機制三大功能做特別的探討。
2. 對近 30 年地下軌道交通設施之發生火災災例進行探討；此類緊急事故，站方人員應先制訂標準之作業處理流程，以節省通報、轉報時間，儘早進行滅火、通報及疏散旅客之動作。對火源之管理應更為加強；如防止危險物品之攜入措施、禁止抽煙等防火管理工作。地下場站平時有該站服務人員實施管理，同時在管理營運機制下該場所消防安全設備(撒水、排煙設備等)也有專人定期維修保養；故在緊急狀況發生時，設備動作機率應比一般場所較高，同時有關防火避難設施如走廊通道、出入口與緊急安全門，置放障礙物使避難受阻的機率不大。另外緊急疏散路徑、避難指標也可節省逃生時間應考慮設置的地點，如何使緊急疏散中的乘客可容易看見與利用。
3. 在評估並建議適用之防救災模擬軟體方面，本研究認為 SIMULEX 直到現在仍只能顯現基本之 2D 視像，同時 SIMULEX 無法將煙霧資料輸入模型功能中。STEPS 之主要特色為：一般正常營運及緊急狀況時之使用功能；屬於一般旅客於車站進出模型模擬，而 STEPS 能與 CFD 相結合，將 CFD 之煙霧之輸出檔案輸入 STEPS，並進行相關之避難逃生模擬，STEPS 之 3D 模擬更顯現其功能之優異，因此本研究採用 STEPS 模擬軟體作為三鐵共構站之防救災模擬軟體。
4. 國內外相關防救災安全管理法規、設計準則基於參考國外捷運系統火災事故之經驗，於細部設計上作整體之考量，必須涵蓋措施：儘量防止災害發生(使用不易燃燒之材料，禁止攜入易燃物、危險物、禁止使用瓦斯等)、災害初期階段之感知裝置(光電式偵煙感知器、補償式溫度感知器、熱線式感知器、閉路電視等)、人員迅速避難設施(逃生梯、安全門、避難方向指示等設施)、抑制災害擴大方法、(防火區劃、防煙區劃等)、消防設備(各種滅火設備、排煙設備等)；NFPA 130 規定之緊急疏散時間與 STEPS 模擬軟體緊急逃生之比較結果，二者相差在 11% 以內。
5. 對於如何使用模擬逃生軟體在實際設計上取得最佳設計；在地下場站建物的初始規劃；如月台、大廳層面積，房間大小、門位置與門數、逃生動線、電梯與電扶梯數量位置、大小，樓層規劃，乘客流量，避難出口位置；在使用模擬軟體，對實際上之專案於費用及逃生時間與輸入參數，可由模擬軟體之輸出報表結果，經過多次分析中取得最佳設計模式。
6. 在研擬適合國內各軌道運輸系統之防救災安全管理系統方面，經由針對分析歐美地下軌道交通設施防救災安全後，本研究認為可在著重於在工程安全管理制度面加強，如何經由組織、安全管理過程、並對安全工作進行風險評估與安全上的風險控制，其中包含安全計畫內容準備方向，以及標準作業程序的討論；對緊急情況時，協助營運人員對於緊急情況搶救、緊急救援組織協調之發展與評估、文件管理及改善。

7. 在規劃以防救災模擬軟體，模擬分析三鐵共構車站危險辨認及評估之作法部分，對於三鐵共構車站內部之捷運、高鐵、臺鐵之防救災安全管理計畫之整合，在第七章中有作一敘述，並對三鐵共構站內逃生動線加以說明；使用 STEPS 模擬三鐵共構車站逃生疏散時間時，發現產生人流密集區在月台之樓梯與電扶梯、大廳層之收票閘門，以及與收票閘門較近之樓梯與電扶梯等處；臺北車站內之地下三層轉換區樓梯與電扶梯。以臺北車站臺鐵月台人員疏散為例：每一月台設定 2000 人，共有 4000 人於月台逃生(2 個月台)疏散；於 186 秒月台淨空(NFPA 130 要求 4 分鐘疏散完畢)，人員由月台上大廳層或地下三層轉換層疏散，最後至地面。人員總共疏散時間為 4 分 30 秒，符合 NFPA130 疏散時間規定(增加 1 層逃生可以加上 2 分鐘)。對於 STEPS 模擬三鐵共構車站緊急逃生疏散結果(模擬月台人數、逃生時間)請參考表 7-1，結果皆合乎 NFPA 130 疏散時間規定。

在建立包含臺北車站，南港車站，板橋車站，高雄車站，捷運，台鐵，高鐵三鐵共構(站)之防救災模擬軟體庫部分，本研究之三鐵共構車站(臺北車站、板橋車站，高雄車站、南港車站)之資料庫(目錄按照三鐵共構車站，依次建立捷運、高鐵、臺鐵資料庫)已完成建立，有關三鐵共構車站資料的搜集；因臺北車站、板橋車站之取得圖檔為掃描圖檔(\*.tiff)、部分圖說為 CAD 檔；南港車站圖說全為掃描圖檔(\*.tiff)；高雄車站圖說全為掃描圖檔(\*.DXF)。

8. 三鐵共構(站)之月台、穿堂層與捷運、臺鐵及高鐵之連接通道、地面層之設計資料輸入 STEPS 3D 圖檔( file with extension stm)以建立資料庫，可以進行車站緊急逃生之簡易動態模擬。臺北車站、板橋車站，高雄車站、南港車站內捷運、高鐵、臺鐵緊急人員疏散之動態 3D 模擬錄影短片 4-6 分鐘，及現場不同位置取景之人員疏散照片(每 30 秒拍攝一張)，也置放於資料庫中以供參考。請參閱所附光碟片(D:\STEPS CO-LOCATIONS SIMULATION)。
9. 本研究第二年期之研究重點規劃原則如後：  
建立我國地下軌道場站交通設施防救災安全管理系統：
- (1).以防救災模擬軟體模擬分析三鐵共構危險辨認及評估。
- (2).綜合前一階段之各類文獻回顧、系統探討，並以防救災模擬分析結果，建議我國地下軌道之場站交通設施防救災安全管理系統內容(至少包含下列項目)：
- ①.預防機制：
- A. 防救災規劃與設計：—防災設計基準、工程原理、成本；較適規劃；經濟效益分析。
- B. 資料庫：事故類型；共構場站幾何資訊；美國或英國管理規範。
- C. 火災風險管理：三鐵共構危險辨認及評估；風險控制；決策、執行；監督與再檢查。
- ②.緊急搶救機制：
- A. 即時監控：消防偵測監控；現場監視錄影。
- B. 疏導緊急救護：防災管制策略；緊急應變機制；避難電腦模擬。
- C. 救援與資源整合：整合資訊；派遣救援人力與機器設備；救災電腦模擬。
- ③.檢討改善及回饋機制：
- A. 工程檢討回饋：防救災安全設備；建築設施；消防防護檢核。
- B. 教育檢討回饋：防救災安全宣導；各國消防教育作法。
- C. 執法檢討回饋：防救災安全執法方式及其回饋機制。



- (3) 學者專家、民眾、主管機關之場站交通設施防救災安全管理系統內容意見蒐集與溝通。
- (4) 其他未來推廣有關地下軌道交通設施防救災安全管理制度之具體做法與建議。

## 8.2 建議

1. 三鐵共構車站：目前共有臺北車站、南港車站、板橋車站、高雄車站四站；其中南港車站(興建中)、高雄車站(設計規劃中)，僅臺北車站與板橋車站三鐵(捷運、臺鐵及高鐵)營運中。臺北車站人員進出三鐵站為人次最多(每日約 41 萬人)，對於防救災安全管理之挑戰最大，危險性最高。如何妥善利用現有之安全設施與緊急逃生演練，對日後可能發生之災害降低至最少傷亡結果，確實有其必要性。捷運、臺鐵及高鐵都有其緊急災難逃生計畫；如何使捷運、臺鐵及高鐵相互合作，並由地方政府於急難時成立共同指揮中心，整合捷運、臺鐵及高鐵之各急難指揮中心，使其發揮真正之防救災安全效用。當然聯合演練各種災難之模擬為可行之辦法，且效果最佳。若是無法安排三鐵工作人員同時演練，也可各自執行防救災安全演練計畫，而三鐵防救災安全聯合演練建議可一年一次。
2. 建議營運部門在於發生緊急事故時，應針對收票閘門、較近之樓梯與電扶梯等處派服務人員協助疏散旅客，使人員意外事故發生率降低。
3. 對於未來之三鐵共構車站，於細部設計時即可利用 STEPS 模擬軟體可先行對設計之緊急避難疏散情境作 3D 立體模擬，並可對設計之疏散路徑、空間使用，電扶梯位置與樓梯寬度等參數進行分析，並與 NFPA130 緊急疏散時間規定預先檢核；設計空間規劃是否合理，對於實際興建時成本最佳化分析，可得最好投資結果。使三鐵共構(站)之捷運、臺鐵及高鐵對乘客提供最好之安全保證。目前三鐵共構(站)使用 STEPS 軟體進行 3D 動態模擬：如臺北車站、板橋車站、南港車站、高雄車站；依照原設計圖輸入各樓層座標：如月台層、穿堂層、樓梯、電扶梯、轉換層、地面層；緊急逃生疏散人數、方向及路徑建立簡單之動態模擬。因 STEPS 軟體可設定不同觀察點 (viewpoint)、並對不同觀察點可以設定觀察路徑 (view path)：有如在現場拍攝相片或錄製影片，並可做 360° 旋轉、任何角度、任何地點作現場觀察分析。期望明年研究可增加車站之牆壁顏色、材質，並可再加入電聯車進出月台動態模擬、火災之煙霧模擬，使其內容更精彩、豐富。STEPS 3D 動態模擬可對三鐵共構(站)、商業大樓、機場、展覽中心、購物中心、體育館、隧道等建物之緊急疏散動態模擬，並可核對 NFPA 130 規定之逃生時間，建議日後國內交通運輸之新建車站，可使用 STEPS 3D 動態模擬來分析緊急逃生動態情境，增加對乘客安全保障之可靠性。
4. 三鐵共構(站)之防災計畫應依規劃確實執行，並應由其上級機關確實考核是否有按計畫執行模擬防災演練，與確實訓練站內人員熟悉車站內之安全設施。





## 參考文獻

1. 王隆昌，「鐵路捷運系統災害之研究」，國立交通大學，碩士論文，民國 76 年。
2. 國立中山大學能源工程研究中心，「臺北都會區捷運系統火災煙控策略與緊急運轉程序分析」，期末報告，臺北市政府捷運工程局，民國 78 年。
3. 沈子勝，「避難安全設計與專題」，鼎茂圖書出版公司，民國 85 年 10 月出版。
4. 李振坪，「地下捷運空間人命安全確保之研究」，中央警察大學消防科學研究所碩士論文，1996。
5. 楊冠雄，「臺北都會區捷運系統火災煙控策略與緊急運轉程序分析」，臺北市政府捷運局，1997。
6. Mott MacDonald Ltd.，「捷運地下車站緊急狀況逃生疏散模式及疏散時間之分析」，臺北市政府捷運工程局，民國 86 年。
7. 王永生，「地下捷運站火災及通風現象之研究」，中原大學，碩士論文，1997。
8. 黃弟勝，「我國捷運系統地下車站避難安全性評估之研究」，中央警察大學消防科學研究所，1999。
9. 高雄市政府捷運工程局，「高雄都會區捷運系統地下車站之緊急煙控策略及避難動線分析之檢討」，2000 年 12 月出版。
10. 許添本，田欣雷，賴以軒，「捷運車站行人流特性分析」，都市交通季刊，第十五卷，第一期，1~11 頁，民國 89 年。
11. 曾朝顯，「地下捷運車站避難安全性評估模式之研究」，中央警察大學，碩士論文，2000。
12. 鄭震崇，「地下捷運車站火災之人員避難安全性評估」，中央警察大學，碩士論文，2000。
13. 薛裕霖，「捷運地下車站起火延燒擴大防止對策之研究」，中央警察大學消防科學研究所碩士論文，2001。
14. 簡賢文，「地下車站整體消防安全對策基準」，中華顧問工程司，2001。
15. 陳榮進，「新型捷運車站性能式煙控與避難系統設計分析」，中山大學，碩士論文，2001.06。
16. 吳晉光，「軌道運輸系統安全管理檢核評估之研究—以臺北捷運公司為例」，國立交通大學，碩士論文，民國 90 年。
17. 郭承瑋，「以系統安全方法檢核我國軌道運輸之安全-以臺鐵站務系統為例」，國立交通大學，碩士論文，民國 91 年。
18. 趙勇維，「運用 buildingEXODUS 驗證地下捷運車站人員避難安全之研究-以捷運新店站為例」，中央警察大學，碩士論文，2002。
19. 柯建明，「大型車站建築之火災煙控系統設計與電腦模擬分析」，國立中山大學機械與機電工程研究所，2003.06。
20. 祝匡華，「我國防救災體系之強化管理 (The Management of Disaster Prevention and Rescuing System of the ROC)」，大葉大學，碩士論文，2003。
21. 邱豪磊，「台灣公路隧道安全管理與風險評估」，中華大學，碩士論文，民國 92 年。

22. 高雅娟，「捷運地下車站火災應變安全系統可靠度評估」，臺灣大學，碩士論文，2003。
23. 林聖凱，「公路長隧道重大火災滅火作業之研究」，中央警察大學，碩士論文，民國 93 年。
24. 簡良典，「我國消防機關對地鐵災害危機管理現況調查」，元智大學，碩士論文，2004。
25. 蘇水波，蔡尤溪，林啟基，「鐵路地下化隧道通風緊急運轉模式與人員繞越火場避難逃生」，國立臺北科技大學，碩士論文，2004。
26. 呂志明，「捷運系統營運安全風險管理之探討」，國立臺北科技大學，碩士論文，2004。
27. 陳明桐，「捷運隧道火災之數值模擬及其在人員避難與救援策略應用研究」，國立高雄應用科技大學，碩士論文，2004。
28. 楊志偉，「捷運內火災意外時煙控與逃生策略之建立與評估」，臺灣大學，碩士論文，2004。
29. 林宜鋒，「地下車站避難安全性能法規應用之研究-以台灣高鐵為例」，中央警察大學，碩士論文，2004。
30. 陳瑞胤，「鐵路隧道及地下場站安全管理標準作業程序」，主辦機關：交通部臺灣鐵路管理局協辦機關：內政部消防署、臺北市政府捷運局、臺北捷運公司，2004.1.14。
31. 陳弘毅，「火災學」，鼎茂圖書出版有限公司，2006。
32. 宋宜倫，「鐵路地下車站避難瓶頸點之研究-以南港車站為例」，國立臺灣科技大學，碩士論文，2006。
33. 李興志，「應用地理資訊系統於學童步行上下學安全路線之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2006.06。
34. 林慶元、簡賢文、周智中、林裕昌，「軌道系統地下交通設施之防火設計評估與防救災系統研究」，運輸研究所，民國 95 年 9 月。
35. 王鵬智，「居室火災避難容許時間基準之驗證研究」，台灣科技大學，2007.01.30。
36. 運輸研究所，「地下軌道交通設施防救災安全管理機制研究」，印製中。
37. 「各類場所消防安全設備設置標準」，內政部，2008.05.15。
38. 交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)。
39. Canter, David(Ed), 「Fires and Human Behaviour (2nd edition)」, David Fulton Publishers, 1990。
40. William T. Hathway, Stephanie H. Markos 「Recommended Emergency preparedness guidelines for rail transit system」, U.S. Department of Transportation, 1992。
41. N A Hoffmann and D A Henson, 「Simulating Transient Evacuation and Pedestrian Movements in Stations」, International Conference on Mass Transit Management, Kuala Lumpur, Malaysia, May 1997。
42. D G Newman, N Rhodes and H A Locke, 「Simulation versus code methods for predicting airport evacuation」, 1st International Symposium on Human Behaviour in Fire, Ulster, 1998。
43. N Rhodes and N A Hoffmann, 「Fire Safety Engineering for the International

- Centre for Life」，Interflam 99, Edinburgh, UK，1999。
44. Howarth D.J.; Kara-Zaitri C，「Fire safety management at passenger terminals」，Emerald Group Publishing Limited，Disaster Prevention and Management: An International Journal Volume 8, Number 5, 1999，pp. 362-369(8)，1999。
  45. NFPA，「NFPA 130 “Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems」，2000 Edition。
  46. N Rhodes and N A Hoffmann，「Modelling Newcastle’s International Centre for Life for Fire Safety」，Building Performance, Issue 3，2001.
  47. 簡賢文，「A Research of Evacuation and Rescue Operation on Mass Rapid System」，Earthquake Engineering and Engineering Seismology，Vol. 3，No. 1，pp. 79–82，2001。
  48. London Underground Limited，「Quantified Risk Assessment」，Network and Business Unit Summary 2001。
  49. J. M. Walh and N.P. Waterson，「PREDICTING EVACUATION TIMES – A COMPARISON OF THE STEPS SIMULATION APPROACH WITH THE NFPA 130-07 CODE」，Fire Command Studies vol 1，2002。
  50. Managing large events and perturbations at stations，Davis Associated Limited，RSSB 2004.08。
  51. Evacuation of Multi-Level office building : Comparison of Predicted Results Using An Agent-Based Model with Measured data，poster, interflam 2004。
  52. Dr S Turner，G Brownless,、BSc(Hons), PhD，「An Asset Management Model for UK Railway Safety – Literature Review and Discussion Document」，Health safety Laboratory，2005。
  53. A. Haack, J. Schreyer，「Emergency Scenarios for Tunnels and Underground Stations in Public Transport」，Tunneling and Underground Space Technology，Volume 21，Issues 3-4，pp. 285-294，2006。
  54. 「Engineering Safety Management (The Yellow Book)，Volumes 1 and 2 Fundamentals and Guidance」 Issue 4，Published by Rail Safety and Standards Board on behalf of the UK rail industry，2007。
  55. Sriram Krian, Dilip Kumar P.V. and Ramacharla Pradeep Kumar，「Simulation of public evacuation from a building」，International Institute of Information Technology，2007.02.15。
  56. Raymond Yau，tunnel evacuation fire model，the Arup Journal，2007.03。

-本頁空白-

## 附錄 1 第 1 次期中報告委員意見與回覆表

交通大學 陳俊勳教授

| 項次 | 意 見                                                        | 合作單位回覆說明                                                                                                                              | 本所審查意見 |
|----|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1  | 期中報告格式及內容有待改進。                                             | 謹遵辦理。                                                                                                                                 | 悉。     |
| 2  | 本研究主要目標應在防救災安全管理研究，但綜觀期中報告內容偏重在 STEPS 軟體應用，似乎忘卻了管理系統及火災模擬。 | 謹遵辦理，已於期中報告第二章加以說明。                                                                                                                   | 悉。     |
| 3  | CFAST 火災軟體有其限制條件，不能使用在地下場站。                                | 謹遵辦理，相關之意見如 3.2.1 節陳述：<br>” CFAST 之功能是分析火災區域模型，其軟體的功能及操作，主要是針對火災區域之模擬，諸如火災發生時煙氣危害性並應用該軟體對某建築物的火災溫度場之數值模擬，CFAST 火災軟體有其限制條件，不能使用在地下場站。” | 同意。    |
| 4  | 應將設計規範尤其是 NFPA130 相關要求提出檢討。                                | 謹遵辦理，已納入第五章 5.2.2 及 5.2.3 節補充 NFPA130 及 NFPA130 -07 之說明。                                                                              | 同意。    |
| 5  | 在訓練課程中應加強各種 SCENARIO 的說明，尤其在環境、人員的特性必須先說明清楚，否則可能會產生不同的後果。  | 謹遵辦理。已於訓練課程中就委員指示事項逐一說明。                                                                                                              | 同意。    |

## 臺北市政府捷運局 張副總工程司志榮

| 項次 | 意 見                                                                                                                         | 合作單位回覆說明                   | 本所審查意見 |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------|
| 1  | 建議格式依運研所格式撰寫並附列參考文獻。                                                                                                        | 謹遵辦理。                      | 悉。     |
| 2  | 建議於第一章(前言)就 P7 第二段文字內容再整理，敘明研究目的、範圍、方法及步驟等項目，以利與研究成果查對。                                                                     | 謹遵辦理。已於第一章就指示事項再整理。        | 同意。    |
| 3  | 第二章內容涵蓋隧道、列車、車站等處所發生之災例，本章章名則為世界各國隧道災例，未能涵蓋其他部分內容所述，建議再斟酌調整章名。P8、P15 之表格應列計表序，及註明資料來源；內容方面建議依前述隧道、列車、車站等發生之災例 再進一步加強肇事原因分析。 | 謹遵辦理。已於第二章節就委員指示事項加強相關之內容。 | 同意。    |
| 4  | 第三章有關災變避難模擬軟體之評                                                                                                             | 謹遵辦理。已於第三章節就委              | 同意。    |

| 項次 | 意 見                                                                                            | 合作單位回覆說明                   | 本所審查意見 |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------|
|    | 估，建議先確定評估項目，在使用功能 效用性 配套措施 經費等方面做定性定量之比較分析後，才選定適合研究標的之軟體，建議加強評估內容之說明。                          | 員指示事項就相關之內容逐一說明。           |        |
| 5  | 第六章（模式之校估與驗證）為本研究之最重要工作，必須以嚴謹之工作流程來證明並調整 STEPS，使其可模擬本研究選定車站的防救災情境，尤其本土性特質的考量方面，建議研究單位再加強內容之說明。 | 謹遵辦理。已於第五章節就委員指示事項加強相關之內容。 | 同意。    |

### 交通部臺灣鐵路管理局運務處楊處長正德

| 項次 | 意 見                                                                                                                  | 合作單位回覆說明                                                                                                                             | 本所審查意見 |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1  | 研究報告章節建議應採標準格式，如目錄標題數字之大小寫應採標準用法。                                                                                    | 謹遵辦理。                                                                                                                                | 悉。     |
| 2  | P.30 及 P.96 附件 5 之 STEPS 程式參數之定義是否應考量各國國情與國民習性不同，而應有更客觀之修正或說明。                                                       | 謹遵辦理，相關建議在第四章 4.2.1 分布加以說明，相關之說明如後：<br>在 STEPS 程式中，有三種型態均勻 Uniform)，正常(Normal)及紀錄正常(Log Normal)之分布可供選擇。其參數之調整可考量我國國情與國民習性不同，而做客觀之修正。 | 同意。    |
| 3  | 本期中報告之重點僅以臺北站防救災模擬軟體之應用，而本研究未來要推展至各不同地下軌道交通設施，因此，在引進防救災模擬軟體之前，建議是否應就南港、板橋、高雄等其他各地下化車站站體樓層、動線等設施及防救災安全管理機制之異同先予以簡介說明。 | 謹遵辦理，相關委員之指示事項將於期末報告說明。                                                                                                              | 同意。    |
| 4  | 本期中報告事關三鐵共站之防救災體系，有關各運具間之通報、連繫及指揮系統等、是否亦納入防救災模擬軟體之參數考量。                                                              | 謹遵辦理，相關委員之指示事項將於期末報告說明。                                                                                                              | 同意。    |

臺北大眾捷運公司 楊主任秦恆

| 項次 | 意 見                                                                                 | 合作單位回覆說明                                          | 本所審查意見 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------|
| 1  | 蒐集各國災例及原因分析，其參考價值有限，建議增加蒐集並比較各類型模擬軟體之應用案例，各模擬軟體所應用之學(原)理、應用價值及使用限制等。                | 謹遵辦理，相關委員之指示事項已於第三章 3.2.2.1.1 節及 3.2.2.1.2 節加以說明。 | 同意。    |
| 2  | 模擬軟體中所提 STEPS 的 2 種模式：正常模式及疏散模式。此 2 種模式之應用說明於報告中非常簡單，建議針對此 2 種模式之應用方式、功能等，再深入介紹與說明。 | 謹遵辦理，相關委員之指示事項已於第三章 3.2.2.1.2 節加以說明。              | 同意。    |
| 3  | STEPS 程式之驗證(P31)，實際應用於模擬之驗證項目及其結果，建議詳細補充說明。                                         | 謹遵辦理，相關委員之指示事項已於第五章 5.2.1、5.2.2 及 5.2.3 節加以說明。    | 同意。    |

鐵改局 蘇水波先生

| 項次 | 意 見                                                                  | 合作單位回覆說明                                                                               | 本所審查意見 |
|----|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1  | P31 驗證項目建請加列或說明歐洲及日本相關可接受標準。                                         | 驗證項目基本上採用 NFPA130 為接受標準，相關之比較已列於第五章 5.2.2 及 5.2.3 節。                                   | 同意。    |
| 2  | P26 疏散模式，模擬軟體避難逃生最大計算容量建請補充說明。                                       | NFPA130 基本上為接受標準，如 overcrowded 可於模型內增加 Locks Solver Depth 予以處理解決。相關補充說明已列於 3.2.2.1.2 節 | 同意。    |
| 3  | P26 臺北站屬三鐵共構疏散模式，疏散模式(情境)何者狀況下需進行全部疏散或部分疏散之情境分析，建請補充說明，俾利與後續安全管理相結合。 | 疏散模式(情境)，需進行全部疏散或部分疏散之情境 已於第四章 4.2.9 節補充說明。                                            | 同意。    |
| 4  | STEPS 驗證部分，建請再補充說明。                                                  | 謹遵辦理。相關之補充說明增列於第五章。                                                                    | 同意。    |

### 高鐵局 高耀宏先生

| 項次 | 意見                                                                                                                                    | 合作單位回覆說明 | 本所審查意見 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|
| 1  | 謝謝運研所對地下營運空間旅客疏散避難之重視，相關議題(臺北車站特定區安全管理事項)行政院災防會亦列管中，期望本研究案不僅能對臺北車站(三鐵共構)之防救災系統之整合及安全管理機制提供建議，若能藉此研究建立臺北車站災害防救整體應變機制或計畫，將更有助於防救災業務之落實。 | 謹遵辦理。    | 悉。     |

### 高雄捷運股份有限公司 安衛環保處 蔡佳霖先生(書面意見)

| 項次 | 意見                                                                                                         | 合作單位回覆說明                                                                                                     | 本所審查意見 |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1  | 第 4 頁，目錄，建議將附件名稱列出。                                                                                        | 謹遵辦理。                                                                                                        | 悉。     |
| 2  | 摘要提及”先以文獻探討法來蒐集歐、美、亞洲等先國外先進國家有關地下交通設施之空間安全設備設施種類、構造、設置基準、工程原理、法令規定、管理規範及設計實例等相關文獻，進行有系統之整理及分析，然於本文中未見相關資料。 | 謹遵辦理。已於第二章補充說明。                                                                                              | 同意。    |
| 3  | 未列出參考文獻。                                                                                                   | 謹遵辦理。                                                                                                        | 悉。     |
| 4  | 第 19 頁，第 2 段所提 CFAST 是由國家標準與技術研究院，建議明確說明為哪個國家哪個技術研究院？                                                      | 謹遵辦理。已列於第三章 3.2.1 節，相關之說明內容:” CFAST 由美國國家標準與技術研究院 ( National Institute of Standards and Technology ) 所開發通過的” | 同意。    |
| 5  | 本計畫名稱為「地下軌道交通設施防災安全管理研究」，於文中列出相當多之案例及 STEPS 等分析模式，然未見在防災安全管理上的分析探討及相關安全管理之具體方法或建議。                         | 謹遵辦理。已於第二章補充說明。                                                                                              | 同意。    |
| 6  | 文中之相關圖表之編碼應確實，並與本文相對應，另建議於目錄中增列圖表目錄。                                                                       | 謹遵辦理。                                                                                                        | 悉。     |



交通部運輸研究所運安組(書面意見)

| 項次 | 意見                                                                                                                                                                | 合作單位回覆說明                                                                               | 本所審查意見 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1  | 報告格式請參考本所報告格式修正。                                                                                                                                                  | 謹遵辦理。                                                                                  |        |
| 2  | 報告僅說明 STEPS 驗證(validation)，僅於附件 6 中提及參考文獻，並未摘述文獻之驗證重點，請補充說明。另外，對於校估(calibration)部分，則相對較少，請增加說明。                                                                   | 謹遵辦理。相關之補充說明增列於第五章 5.1 及 5.2 節。                                                        | 同意。    |
| 3  | P.67 提及旅客移動原則(movement principles)部分，惟僅說明詳細原則請參考附錄 A，但未見附錄 A 資料。因旅客移動原則為模擬重點，建議補充中文說明。                                                                            | 謹遵辦理。相關之補充說明增列於第四章 4.2 節。                                                              | 同意。    |
| 4  | 本研究為 2 年期計畫，第 1 年期研究重點為防救災安全管理機制文獻回顧、三鐵共構(站)資料庫建立、防救災模擬軟體應用之規劃，然而就期中報告之主要部分則在於防救災模擬軟體應用之規劃，相對而言，防救災安全管理機制文獻回顧及三鐵共構(站)資料庫建立則是在期末審查前必須加強之工作，建議研究團隊可均衡分配人力，完成合約要求項目。 | 謹遵辦理。                                                                                  | 悉。     |
| 5  | 於期末報告前，尚需要蒐集南港車站、板橋車站及高雄車站(捷運、臺鐵及高鐵三鐵共構或連通)之防救災模擬軟體資料庫，建議研究團隊說明如何取得上述資料。                                                                                          | 南港車站、板橋車站及高雄車站之樓層配置為主要之需，期望能獲得該項資料，於建立模擬軟體資料庫之所需資料，將密切聯繫運研所，同時，研究團隊將依據擁有之經驗，相關資料將合理判定。 | 同意。    |
| 6  | 交通部已於 97 年 7 月 29 日頒布交通技術標準規範鐵路類防火消防設備部「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」，請研究團隊於模擬時一併納入參考。                                                                              | 謹遵辦理。相關之指示事項將於期末報告說明。                                                                  | 同意。    |



## 附錄 2 第 2 次期中報告委員意見與回覆表

### 一 交通大學 陳俊勳教授

| 項次 | 意 見                                                       | 合作單位回覆說明 | 本所審查意見 |
|----|-----------------------------------------------------------|----------|--------|
| 1  | 本報告內容遠較第 1 次期中報告詳盡充實，值得肯定。                                | 感謝指教。    | 悉。     |
| 2  | 建議在使用軟體模擬計算時，必須先了解我國人員在逃生避難時，對逃生路徑上人員安全的要求。               | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 3  | 建議在有關 STEPS 軟體之原理及功能介紹可以附錄方式為之，主要是以研究題目的觀點視之，似乎沒有必要以專章介紹。 | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 4  | 建議在資料庫的建立方面，可能須和運研所加強討論，需要何種數據以及何種呈現格式等等。                 | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 5  | 建議就有關災防會對地下軌道交通設施防救災體系的要求，配合模擬結果，多加以探討。                   | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 6  | 建議對我國地下場站有關的模擬設計進行蒐集探討。                                   | 謹遵辦理。    | 悉。     |

### 二 臺北市政府捷運局 張副總工程司志榮

| 項次 | 意 見                                                                                                                                                                                                                              | 合作單位回覆說明 | 本所審查意見 |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|
| 1  | 目錄頁中 P.V 中，第 5.2.1、第 5.2.2、第 5.2.3 節之表達方式建議修正，「文獻回顧」應為「參考文獻」，附錄 2「地下軌道交通設施防救災安全管理研究」應為「地下軌道交通設施防救災安全管理研究工作會議紀錄」。                                                                                                                 | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 2  | 同一目錄頁中 P.V，「附錄 4 STEPS 程式輸入參數表」建議以附表方式直接插置於第四章 4.3 節 (P.79) 中之適當位置，而不必列為附錄。                                                                                                                                                      | 以附錄方式為之。 | 同意。    |
| 3  | 第一章第 1.1.2 節研究目的(P.2)第一項，「研析符合國內各『鐵路』之防救災安全管理系統…」，其中「鐵路」建議修正為「軌道運輸系統」。                                                                                                                                                           | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 4  | 第二章表 2-1(P.11 至 P.12)、表 2-2(P.15 至 P.18)建議註明資料來源。                                                                                                                                                                                | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 5  | 第二章有關場站災例分析之文字敘述及內容(P.8 至 P.35)幾乎聚焦於火災之探討，P.19 更以表 2-2(P.15 至 P.18)之災例統計分析，獲得世界各國地下場站災例以火災最多的四點結論，並訂為本研究之參考依據及方向，惟 P.35 引入「英國倫敦相關地下鐵之風險評估」，其分析結果(P.39 至 P.40)，火災相關事件(車站、電梯、電扶梯、車體)卻僅占 2.82%，本研究對於此部分探討所做之結論(P.41)亦不很清楚，建議對於此部分之內 | 謹遵辦理。    | 悉。     |

| 項次 | 意 見                                                                                                                                                  | 合作單位回覆說明 | 本所審查意見 |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|
|    | 容，就與本研究之關連性與需要性方面再作斟酌。                                                                                                                               |          |        |
| 6  | 建議第三章表 3-1(P. 52 至 P. 54)與表 3-2(P. 56 至 P. 60)合併為一個表，以讓 SIMULEX 與 STEPS2 個不同模式能在同一表格中就各個評估項目比較。                                                      | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 7  | 建議在第三章之 3.5 節(P. 61)中依第一章之 1.2.1(1)第 2 項(P. 3)所述，加強說明研究團隊所建議之模擬軟體可適用於防救災模擬，並可達成本研究目的的理由。                                                             | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 8  | 模擬軟體所能建置與模擬之避難逃生情境，基於人因、行為、空間、設備、管理等因素的相互影響與複雜性，與實際狀況必然有所差別，因此其模擬「能力」亦必然有所限制，建議於第四章第 4.4 節之後(P. 80)斟酌加述有關本研究所採用之軟體之輸出項目(output)及其功能上之限制(limitation)。 | 謹遵辦理。    | 悉。     |

### 三 臺北大眾捷運公司 楊主任秦恆

| 項次 | 意 見                                                                                                                                                                                             | 合作單位回覆說明      | 本所審查意見 |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|
| 1  | 第二章災例文獻探討(P. 11 至 P. 18)中部分災例於表中陳述內容、案例分析內容其發生日期及受傷人數等有部分不一致情形，建請研究團隊針對各案例發生日期、原因、受傷人數等資料再詳加確認並予以更正。                                                                                            | 謹遵辦理。         | 悉。     |
| 2  | 表 2-3 綜整表 2-2 近 30 年地下車站重大火災災例，但表 2-3 之災例件數為 40 件，表 2-2 災例件數為 39 件，二者總件數不符，建請釐清。                                                                                                                | 已更正，件數為 40 件。 | 同意。    |
| 3  | P. 91，5.2.3.3 陳述 STEPS Standard Setting 模擬結果較保守，惟於表 5-5 所呈現結果，於車站疏散時間 STEPS 模擬結果反較 NFPA 為少，此矛盾結果建請釐清。另 5.2.3.2.1(P. 91)該段說明「STEPS 東側採用 401 人，西側採用 667 人」與期末報告初稿附錄 6，P. 153 東側配置人數多於西側配置人數，建請釐清。 | 已更正，請參考附錄。    | 同意。    |

#### 四 鐵政局 蘇水波先生

| 項次 | 意 見                                                             | 合作單位回覆說明                         | 本所審查意見 |
|----|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------|
| 1  | 研究主題係針對地下軌道及地下場站，目前報告相關重點皆以地下場站為主，對於隧道部分並未進一步探討，建請補充說明。         | 謹遵辦理。                            | 悉。     |
| 2  | P. 84 5.2.1.4.3 隧道內電聯車疏散方式與臺鐵安全疏散方式不符，建請再檢討。                    | 已更正。                             | 同意。    |
| 3  | P. 83 5.2.1.4 模擬，本文展示 3 種案例，(3)從隧道內電聯車之疏散，目前並未說明相關之模擬分析，建請補充說明。 | 謹遵辦理。                            | 悉。     |
| 4  | P. 95 文獻回顧建議修正為參考文獻，相關參考文獻建議註記完整及加強最近文獻。                        | 謹遵辦理。                            | 悉。     |
| 5  | 上次審查意見 1 因涉及各國引用不同標準，建議加列或說明日本及歐洲相關可接受標準進行比較。                   | 採用 NFPA130 及交通部 97.7.29 頒布之標準規範。 | 同意。    |
| 6  | 上次審查意見 3 因涉及營運單位多，建議詳加說明各項情境模擬分析與模擬結論，俾利與後續安全管理相結合。             | 謹遵辦理。                            | 悉。     |
| 7  | P. 6 研究流程包含統計資料及實地調查，惟目前資料中並未含相關資料，建請補充說明。                      | 謹遵辦理。                            | 悉。     |
| 8  | P. 6 火災結合防救災軟體進行模擬分析，似乎尚未進行，建請加速。                               | 謹遵辦理。                            | 悉。     |

#### 五 高鐵路 高耀宏先生

| 項次 | 意 見                                                                                                                  | 合作單位回覆說明                                        | 本所審查意見 |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------|
| 1  | 依據研究計畫，第一年期之期中報告最重要的任務是各國災例及管理機制之文獻回顧，再者便是防救災模擬軟體之研選及採購。建議本報告應先敘明完成本研究所需軟體之功能項目，再蒐集市面上具有此功能之軟體種類，接著再進行功能性、價格…等優缺點比較。 | 謹遵辦理。                                           | 悉。     |
| 2  | 因本研究成果將提供各營運單位參考，並提供軟體使用之教育訓練，軟體是否亦提供各單位免費使用？                                                                        | 軟體因有版權，無法提供各單位免費使用，但各單位若有興趣，可至各單位說明如何應用與參數輸入方法。 | 悉。     |
| 3  | 未來在進行火災逃生避難分析時，應考慮地下場站有許多防火門會降下，可能會影響逃生避難路徑，應列入模擬因素之一。                                                               | 謹遵辦理。                                           | 悉。     |

## 六 臺鐵局

| 項次 | 意見                                                           | 合作單位回覆說明 | 本所審查意見 |
|----|--------------------------------------------------------------|----------|--------|
| 1  | 報告中有關 STEPS 軟體所模擬之環境條件與本國不同，例如月台長度，建議後續之實際模擬能考慮本土化實際模擬之環境條件。 | 謹遵辦理。    | 悉。     |

## 七 交通部運輸研究所運安組(書面意見)

| 項次 | 意見                                                            | 合作單位回覆說明 | 本所審查意見 |
|----|---------------------------------------------------------------|----------|--------|
| 1  | 請將第二章增修部分納入本次期中報告並做適當調整，增加易讀性。                                | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 2  | 適當修改表 2-2 之表名，以符合該表隧道、列車及站體之內容。                               | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 3  | 地下場站或地下車站之名詞宜統一，建議依法規使用之地下場站為統一用語。                            | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 4  | 第 2.5.1 小節之英文請簡化為中文，表 3.2 亦同，另表 3.2 有部分文字未列出，請調整適當行距。         | 謹遵辦理。    | 悉。     |
| 5  | 部分文字請更正，例如第二章增修之 P.20「應無核設計」修正為「應符合設計」，以及 P.38「詳圖六及圖七所示」應刪除之。 | 謹遵辦理。    | 悉。     |

### 附錄 3 期末報告委員意見與回覆表

#### 一 交通大學 陳俊勳教授

| 項次 | 意 見                                                                     | 合作單位回覆說明                           | 本所審查意見 |
|----|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------|
| 1  | 本報告封面所謂合作辦理並不恰當，因其為委託研究案，委託單位為運研所，該工程公司為執行單位，彼此應有從屬關係非平行單位。             | 已將封面合作單位刪除，另增次頁將受委託者名稱、人員列入。       | 同意。    |
| 2  | 因本報告係定位於一”研究報告”，因此相關參考文獻應依出現序排列，請修正。                                    | 已重新編排，中英分開，依出現序排列，詳參考文獻。           | 同意。    |
| 3  | 本報告之所有圖的說明（caption）應放置在圖下方，應修正。                                         | 所有圖的說明（caption）已放置在圖下方。            | 同意。    |
| 4  | 另報告中文字大小不一，請依建研所格式處理，尤其圖、表之說明文字特大。                                      | 報告中文字為 12 號字，圖、表之說明文字改正為 12 號字。    | 同意。    |
| 5  | 1.2.2 之統計資料實把調查和 12 之名稱不符，另外車班表建議放在附件（錄），以避免本文過份煩雜，閱讀不易。                | 1.2.2 之統計資料內容已更正為尖峰時間班次、人數與避難逃生路徑。 | 同意。    |
| 6  | 在 1.3.2 之研究限制中，很明顯本研究內容是著重火災的災害以及其對應之人員逃生避難和消防搶救，此點是否和當初之招標內容符合，請運研所確認。 | 已確認。                               | 悉。     |
| 7  | 第二章案例分析中，不知圖 2.1 之用途何在，內文未見說明，另本章章名應為”火災”災例探討，而非災例探討。                   | 已將內文與圖 2.1 說明，本章章名已更正為”火災”災例探討。    | 同意。    |
| 8  | 表 2-2 所謂起火原因，只有電氣火災可視為原因，其它列車起火和站體起火應是位置而非原因，請再修正內容。                    | 原因已更正為列車設備、站體設施。                   | 同意。    |
| 9  | 第二章之案例探討中之 2.5 節放在此章是否恰當，請再檢討。                                          | 檢討後，將 2.5 節移除。                     | 同意。    |
| 10 | 第三章所有原文引用部分應放在附錄中參考，不要放在本文（主體應為中文）。                                     | 第三章已更新為中文，所有原文移至附錄 5。              | 同意。    |
| 11 | 表 3-1 之第二部分應翻成中文，不是原文照抄，另外 CFAST 係火災模擬軟體（見表 3-2 說明），和逃生避難軟體比較，不恰當，應修正。  | 已將表 3-1 之第二部分翻成中文，CFAST 從比較表       | 同意。    |

|    |                                                                                                                                                   |                                                                        |                           |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|    |                                                                                                                                                   | 刪除。                                                                    |                           |
| 12 | 期末報告第三章內容較第二版期中報告第三章內容還差，應修正。                                                                                                                     | 已修正內容。                                                                 | 同意。                       |
| 13 | 第四章內容亦是著重火災，但突然在 p.95 冒出一小節之洪水保護設施（共 12 行），非常不當，應修正。                                                                                              | 部分審查委員意見認為可以略提一下。故未刪除。                                                 | 同意。                       |
| 14 | 從 4.2.3 到 4.2.4 都為英文且原文照抄非常不妥，請移至附錄。                                                                                                              | 4.2.3 到 4.2.4 都為英文已移至附錄 4。                                             | 同意。                       |
| 15 | 第五章所有圖會用掃描，甚至建圖號都包括進來，而且非依序排序，非常不妥，請修正。                                                                                                           | 掃描圖號，已修正內容。                                                            | 同意。                       |
| 16 | 第六章又有原文（英文）照抄的情形，請修正，建議移至附錄，且受委託單位應該自己作個整理及比較。                                                                                                    | 第六章翻成中文。                                                               | 同意。                       |
| 17 | 第七章內容不夠深入，只有描述 STEPS 模擬避難時間，應該和採用 NFPA130 之相關避難時間來作檢討和比較（因為高鐵及各地捷運以及鐵路地下化均採 NFPA130 為防火設計準則）。                                                     | NFPA 130 與 STEPS 已有評估結論，2 者計算差異不大。各車站避難疏散以模擬，並將模擬結果以光碟片內資料庫及第七章更正內文說明。 | 同意。                       |
| 18 | 綜合結論：審查者強烈建議本報告依上述意見修正，並應依運研所報告格式書寫。最重要是報告內容的架構應要重新考量，以目前看來整體內容是很雜亂無章，閱讀非常吃力且無法整理出頭緒來了解本報告要作什麼以及其所達成的目標，尤其許多內容是直接抄襲其他國內外報告，沒有消化整理，更使本報告之參考價值喪失不少。 | 感謝委員意見，內文盡力修正。                                                         | 已於例次工作會議要求報告內容品質，以符合本所要求。 |

## 二 臺北市府捷運局 張副總工程司志榮

| 項次 | 意 見                                                                                                                                                                                                           | 合作單位回覆說明                                     | 本所審查意見 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------|
| 1  | 格式方面：<br>本報告部分章節之撰寫格式請嚴格遵守運研所之規定撰述，並求各章一致。                                                                                                                                                                    | 格式已修訂。                                       | 同意。    |
| 2  | 第一章第 1.2.2 節「統計資料實地調查」之內容及格式品質有待改善（包含插圖之圖名的位置及相關說明文字的大小）例如 P10-P13 之圖 1-3、4、5、6 等與 P212、P221-226 之圖 7-1、4、5、6 等重覆，表 1-3 及表 1-4（P10 及 P16）均為英文版之時刻表等等。基於一般研究報告較少於第一章「緒論」中即置列此種資料，另一方面其內容又與第七章諸多重覆，因此建議本小節斟酌修改格 | 第一章第 1.2.2 節已修正重複插圖與內文，英文時刻表已刪除，與第七章重複部分已修正。 | 同意。    |



| 項次 | 意 見                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 合作單位回覆說明                                                                                                                                                                    | 本所審查意見 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|    | 式及內容後列為附錄而不必列於第一章本文中。                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                             |        |
| 3  | 第三章(P59-71)、第四章(P96-P113)、第六章(P127-P209)的內容，既然做為本報告主文的重要章節(而非附錄)，建請仍依運研所之報告撰寫規定以中文撰述，而非如目前三章通篇以英文錄列原文，並要(由讀者自行編譯)(P127)，其中的相關圖表建議依規定格式以呼應章節方式系統化的命名，而非任意性的編列，例如第三章 P60-69、第五章(P121-125)、第六章 P136(Figure2-3)、P138(Figure3-3)、P139(Table17-1)、P140、P143(Figure4-1)、P164、P170、174、180-P189 等等。 | 第三章(P59-71)、第四章(P96-P113)、第六章(P127-P209)的內容已更新。第三章P60-69、第五章(P121-125)、第六章 P136(Figure2-3)、P138(Figure3-3)、P139(Table17-1)、P140、P143(Figure4-1)、P164、P170、174、180-P189 也更新。 | 同意。    |
| 4  | 第七章圖 7-18 至圖 7-30，建議加強整理內容後作為附錄或以光碟片方式隨附。                                                                                                                                                                                                                                                   | 已依建議加強整理內容，以光碟片方式隨附。                                                                                                                                                        | 同意。    |
| 5  | 內容方面：<br>依本報告 P2「研究目的」所述，本第一年期應完成之研究成果為：①建立包含臺北車站，南港車站，板橋車站，高雄車站，捷運，臺鐵，高鐵三鐵共構(站)之防救災模擬軟體庫；②評估並建議適用之防救災模擬軟體；③回顧相關文獻後，研擬適合國內各軌道運輸系統之防救災安全管理系統；④規劃以防救災模擬軟體，模擬分析三鐵共構車站危險辨認及評估之作法。因此，建議第八章「結論與建議」依前述之研究標的項目，逐項精要說明研究成果，闡明成果之核心內容或彰顯研究過程之相關篇章之要點。                                                 | 已於第八章將成果更新於內文中。                                                                                                                                                             | 同意。    |
| 6  | 在本報告中未見有關前述防救模擬軟體資料庫建立之撰述，相關資料庫階架構，資料類型及項目，資料呈現的格式，資料蒐集與儲存，GIS 的運用，使用規則等，均未見有從資訊系統層面作架構性地探討及檢核之說明，建請加強本部分之內容。                                                                                                                                                                               | 資料庫說明：在建立包含臺北車站，南港車站，板橋車站，高雄車站，捷運，台鐵，高鐵三鐵共構(站)之防救災模擬軟體庫部分，本研究之三鐵共構車站(臺北車站、板橋車站，高雄車站、南港車站)之資料庫(目錄                                                                            | 同意。    |

| 項次 | 意 見                                                                                                                                                                                                                        | 合作單位回覆說明                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 本所審查意見    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|    |                                                                                                                                                                                                                            | <p>按照三鐵共構車站，依次建立捷運、高鐵、台鐵資料庫）已完成建立，有關三鐵共構車站資料的搜集；因臺北車站、板橋車站圖檔取得為掃描圖檔(*.tiff)、部分圖說為CAD檔；南港車站圖說全為掃描圖檔(*.tiff)；高雄車站圖說全為掃描圖檔(*.DXF)。取得之所有圖說置入光碟之圖檔目錄內；請參考 D:\7. Drawings；各站之設計圖說、各車站之逃生路徑、工程圖說、進出站人數統計已完成；依照三鐵共構之車站次序作目錄，並在子目錄上分捷運、高鐵、台鐵，將各相關圖說置於子目錄之下。詳請參閱所附光碟片。(例 D:\7. Drawings\Nankang-TRA &amp; HSR)</p> |           |
| 7  | <p>本報告建議引進 STEPS 軟體以模擬分析臺灣三鐵共構車站之防救災情境，惟研究團隊對該 STEPS 軟體之校估與驗證目前僅止於理論性的資料與國外之相關論述，對於具本土特質的環境條件與情境，仍未見有具體而深入的檢核，建議於下一年期之研究中能針對臺灣三鐵共構車站所蘊涵的人因，行為，空間，設備，管理等因素，配合本土的防災法規，深入分析並融入 STEPS 軟體的模擬能力中，以期能貼切地模擬本研究所選定的四個共構車站的防災情境。</p> | <p>謝謝建議。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>悉。</p> |

### 三 交通部臺灣鐵路管理局 黃副局長民仁

| 項次 | 意見                             | 合作單位回覆說明                                                                                                                      | 本所審查意見 |
|----|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1  | 請清楚界定災害範圍，除火災之外是否應考量其他災害，如水災等。 | 在 1.2.1 研究範圍已有說明。對於 96 年「地下軌道交通設施防救災安全管理機制研究」，陳俊勳教授於已針對水災之研究做過深入的探討；因水災多發生於颱風期間，旅客搭乘較少；相對於火災，水災對旅客生命安全上的衝擊較小，所以本研究就不再重複水災的部分。 | 同意。    |
| 2  | 本研究大部分僅提供及逃生，針對救災部分說明很少，建議補充。  | 請參閱 4.2 以及第六章內文。                                                                                                              | 同意。    |
| 3  | 本研究針對防災部分之說明，重點不是非常清楚，請改善。     | 已盡力改善。                                                                                                                        | 悉。     |

#### 四 臺北大眾捷運公司 楊主任秦恆

| 項次 | 意 見                                                                                                                                    | 合作單位回覆說明       | 本所審查意見 |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------|
| 1  | 標題 1.1, 2.1, 2.2, 2.3. 2.4, 2.5, 6.1, 6.3, 7.1, 7.2, 7.3 末多一個“.”                                                                       | 已更正。           | 同意。    |
| 2  | 1.2.2.2 臺北捷運臺北車站淡水線尖峰時刻列車班表，表 1-3 為臺北車站淡水線尖峰時刻列車班表，惟表之內容為首末班車及 23:00 以後各站列車時刻表，非為尖峰時刻列車班表，僅備註部分說明列車班距，建議應再蒐集較完整列車到站時刻資料，以建立較真實之列車到站資料。 | 已更正為尖峰時間班距，與班次 | 同意。    |
| 3  | 1.2.2.3 應建立臺北捷運臺北車站板橋線尖峰時刻列車班表，非為板橋車站尖峰時刻列車班表。                                                                                         | 已更正為尖峰時間班距，與班次 | 同意。    |
| 4  | P16 應建站立臺北捷運板橋車站一節，另表 1-4 為板橋時刻列車班表，惟表之內容為首末班車及 23:00 以後各站列車時刻表，非為尖峰時刻列車表，僅備註部分說明列車班距，建議應再蒐集較完整列車到站時刻資料，以建立較真實之列車到站資料。                 | 已更正為尖峰時間班距，與班次 | 同意。    |
| 5  | 2.5.2 此段文中“且由近年之研究顯示，....”，請註名引用來源。                                                                                                    | 已刪除此部分。        | 同意。    |
| 6  | 2.5.2 避難行為的特性是否存在「羊群效應」？看著別人跑，即使沒看災害的現象也會跟著跑。                                                                                          | 已刪除此部分。        | 同意。    |
| 7  | 4.2.1.2 4 洪水保護設施<br>依納莉風災的經驗，泵浦控制盤應提高設置，請參考。                                                                                           | NA             | 悉。     |
| 8  | P11 引用 2008-6-2 聯合新聞，此段為今年 6 月悠遊卡由原八折優惠為 7.5 折之運量相關新聞，與本研究是否相關？請考量後再適當引用。                                                              | 已刪除此部分。        | 同意。    |

#### 五 鐵改局 蘇水波先生

| 項次 | 意 見                                                                                  | 合作單位回覆說明   | 本所審查意見 |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------|
| 1  | 1. 第四章安全管理說明偏重設計部分，引用標準大部分以「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(硬體)為主，建議本案安全管理針對營運管理部分再整合補強。 | 已加強請參閱第六張。 | 同意。    |

|   |                                                                                                                                            |             |     |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----|
| 2 | 2. P228 7.3.動態模擬及逃生檢核建議加列火災情境分析、相關模擬參數補充說明。                                                                                                | 已補充說明，詳7.3。 | 同意。 |
| 3 | 3. 三鐵共構中危害辨識與及評估做法建請補充說明。                                                                                                                  | 已盡量加強。      | 同意。 |
| 4 | 4. 建議於 STEPS 模擬中增加 3D CFD 火災及濃煙之影響評估，使本研究的模擬更接近於實際火警逃生之情境。                                                                                 | 列為第二期研究中進行。 | 同意。 |
| 5 | 三鐵共構鐵路車站，皆設置防災中心，內部設置包含消防，火警，電力，排水(含抽水站)給水，空調，排煙，電梯／電扶梯各系統，皆已納入監控或監視，可清楚了解各系統運輸狀況，特別與安全有關設施，建議本案防救災安全管理與共構車站防災中心彼此互相結合，報告中可針對本部分加強供營運單位參考。 | 已加強內文。      | 同意。 |

## 六 交通部 鄭技監賜榮

| 項次 | 意 見                                                       | 合作單位回覆說明                                                                                                                                       | 本所審查意見 |
|----|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1  | 圖 1.23 (P31) 只有提及火災，是否包含其他災害，若否，請於第一章 將工作範圍界定清楚。          | 於第一章、1.2.1 節已特別強調就三鐵共構站研究有關緊急疏散逃生。對於 96 年「地下軌道交通設施防救災安全管理機制研究」，陳俊勳教授於已針對水災之研究做過深入的探討；因水災多發生於颱風期間，旅客搭乘較少；相對於火災，水災對旅客生命安全上的衝擊較小，所以本研究就不再重複水災的部分。 | 同意。    |
| 2  | 本研究僅考量車站（月台）之緊急逃生，是否應包含隧道段之逃生，若否，亦請於第一章 將工作範圍界定清楚。        | 工作範圍未含隧道逃生，第一章工作流程內說明。                                                                                                                         | 同意。    |
| 3  | 本研究於第三章，請用中文介紹四個軟體之差異、優劣、模型等，並依照一定之流程評估，解釋使用 STEPS 軟體之原因。 | 已更新加入評估表。                                                                                                                                      | 同意。    |

|   |                                                                                   |              |     |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----|
| 4 | 本研究於第四章，請將所收集之規範消化整理，歸納分析，再作重點陳述，而非只是將規範全盤複製。                                     | 已更新內容。       | 同意。 |
| 5 | 本研究第六章探討國外歐美對交通設施防救災之安全管理，請通盤瞭解後，配合國內之實際狀況，加以借鏡或適度調整後應用於國內。                       | 已更新內容。       | 同意。 |
| 6 | 本研究第七章，雖已建立臺灣四個三鐵共構車站之站體模型及軟體模擬逃生資料庫，惟未將模擬結果加以說明，且未說明是否滿足相關規定要求，請研究單位就本部分加強並提出建議。 | 請參閱第七章，7.3節。 | 同意。 |

## 七 臺鐵局

| 項次 | 意見                                                                                   | 合作單位回覆說明                    | 本所審查意見 |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------|
| 1  | 簡報 p19，請確認高雄車站上下車人數之正確性。                                                             | 已更正錯誤。                      | 同意。    |
| 2  | 簡報 p113，於臺北車站臺鐵逃生時間為 5'54"（2000 人），然而高鐵逃生時間為 4'31"（4000 人），前者人數較少卻需要較多時間逃生，似不合理，請確認。 | 重新檢查應為 4000 人，時間是 4 分 30 秒。 | 同意。    |

## 八 交通部運輸研究所運安組(書面意見)

| 項次 | 意見                                                          | 合作單位回覆說明             | 本所審查意見 |
|----|-------------------------------------------------------------|----------------------|--------|
| 1  | 請將第一章圖 1.14~圖 1.22 與第七章圖 7.12~圖 7.15 之資料來源更正為權責單位，而非發文協助單位。 | 已更正。                 | 同意。    |
| 2  | 第三章、第四章及第六章之英文內容宜更改為摘要敘述性之中文，英文說明部分宜調整至附錄。                  | 已改至附錄。               | 同意。    |
| 3  | 第七章三鐵共構車站動態模擬結果頗具有價值，建議斟酌納入結論中。                             | 已更正加入結論。             | 同意。    |
| 4  | 建議增加針對如何以防救災模擬軟體，模擬分析三鐵共構危險辨認及評估之作法或方式，提出說明。                | 已於第四章、第六章、第七章、第八章說明。 | 同意。    |
| 5  | 第八章 8.2 第 2 項之研究訪問計畫部分，建議修正為辦理座談會，進行意見交換。                   | 此部分修正。               | 同意。    |

## 附錄 4 地下場站設施與設備設置參考(英文部分)

美國交通運輸部於 1992 年出版「Recommended emergency preparedness guidelines for rail transit system」[40]，其目的在於協助地下軌道運輸系統對於緊急情況搶救機制：對於緊急情況時需有效的發揮設備與設施之功能，並對設計時針對建造地下場站時之設計提出注意事項，在以上之設計預防機制中也許已經提到一些相關性之原則。

### 4.2.3 地下場站設施與設備設置參考原則

The guidelines presented in this section are designed to help transit systems ensure that they possess the facilities and equipment needed to cope effectively with emergency situations. These guidelines are intended for use primarily in the planning of new systems, system extensions, and system rehabilitation. The main elements of a rail transit system's facilities and equipment are passenger stations, trainway, and Central Control. Each of these areas and their respective components are considered in this section. In each instance, the guidelines presented here are of a general nature, allowing for the site-specific differences among transit systems. The guidelines have been developed from a variety of sources, including workshops, discussions with transit system personnel, and available literature sources including industry design guidelines, codes, and standards. These guidelines are performance-oriented, and are intended to reflect the best practices of the rail transit industry.

#### 4.2.3.1 PASSENGER STATIONS

Rail transit passenger stations are located in four basic environments: underground, elevated, at grade, and open cut. Although rail transit passenger stations located in these different environments have unique characteristics, there are a number of elements common to almost all passenger stations. This section presents guidelines for these common elements. Additional information pertaining to specific station environments may be obtained from the sections describing trainway elements.

##### 4.2.3.1.1 Construction

Transit station construction should provide for rapid patron evacuation and rapid emergency response personnel access for potential emergency scenarios. With this in mind, transit station construction should take the following into consideration:

- The system safety concept should be applied in the station planning phase to identify and resolve potential safety hazards associated with a transit system's emergency response capabilities.
- Critical station egress and access paths should be identified in the planning phase, and thereafter remain unobstructed.
- Concourses may or may not exist in rail transit stations, depending on station design. In any event, access/egress through department stores or other non-transit buildings should not be considered among the emergency exit requirements for stations.

##### 4.2.3.1.2 Lighting

Lighting is an essential factor in many emergency situations, particularly in underground stations. It can also play an important role during hours of darkness at elevated, at grade, or open cut passenger stations.

- The minimum illumination level for emergency lighting should furnish sufficient visibility in passenger station areas - platforms, mezzanines, ticketing areas, passageways and entrances
  - to allow passenger evacuation from these areas.
- Emergency lighting fixtures and power sources should be protected from damage caused by accidents, water, maintenance to adjacent equipment, or vandalism.
- The emergency lighting should conform to the codes and regulations of authorities having proper jurisdiction.
- The emergency lighting system should be activated automatically upon loss of the normal lighting system and provide continuous operation for an amount of time specified

by the individual transit system. This time-span should be determined by the amount of time necessary for safe evacuation of passengers from the station.

- Lighting fixtures in the normal lighting system may be considered emergency lighting if a designated number of the fixtures are powered by a separate or independent power source.

- Consideration should be given to locating a designated number of lighting fixtures towards the bottom of the walls of the station to provide visibility for passenger evacuation under smoke conditions. (Such fixtures should be vandal-proof.)

#### 4.2.3.1.3 Access/Egress

The amount of available adequate access and egress is an important design consideration for rail transit passenger stations. The number and location of entrances and exits, as well as the arrangement of such facilities as concessions, station attendant kiosks, fare gates, revolving gates, public stairways, escalators, and elevators within the passenger station, all determine the extent to which access/egress is judged to be adequate for evacuation during emergency situations.

Station exits are particularly important facilities during emergency situations because they provide the primary means of evacuating passengers from the system. They also provide an entry into the system for fire/rescue personnel.

- Each emergency exit should be identified by graphics and by a light of distinctive color, and provided with dual light circuitry.

- Emergency exit doors should not be locked on the inside at any time.

- Emergency exit doors on the surface level should not issue onto a hazardous area such as a vehicle roadway or parking area, and should be kept free of such obstructions as vendor carts, trash dumpsters, etc.

- Emergency exits should have the capability of being readily opened from the outside by the fire department or other rescue personnel.

- The use of vertical ladders in emergency exits should be prohibited.

- All doors, ladders, etc., that do not provide egress capability should be clearly labeled "Not an Exit."

- The needs of passengers with special egress requirements (wheelchair, elderly, etc.) should be addressed. Fare gate areas, exits, etc., should be evaluated for ease of evacuation by those passengers.

- Consideration should be given to developing a means of limiting access to station platforms when overcrowded conditions exist.

#### 4.2.3.1.4 Communications

Passenger station communication systems make possible the reporting of emergencies and crimes, requests for assistance, announcements to passengers, visual surveillance, and coordination of fire/rescue efforts. The different types of equipment available for these uses are: radio, private automatic branch exchange (PABX), direct line telephones, maintenance line telephones, public address system (PA), intercoms, data transmission cables, and closed circuit television (CCTV).

- A communication system should be provided between all stations and Central Control to permit rapid and coordinated communication between passenger stations and Central Control.

- The P.A. system speakers should be installed in a manner which allows announcements made by a station attendant or Central Control to be clearly understood by passengers.

- The P.A. system should have an alternate source of power to permit use when the normal power system fails.

- P.A. system components should be protected from unauthorized use, vandalism, or other damage.

- The direct two-way line telephones should receive redundant power from an alternative power source.

#### 4.2.3.1.5 Ventilation and Air Conditioning



Ventilation (and air conditioning) systems provide passenger comfort by dissipating heat from train and station operations, and by removing objectionable odors. Ventilation systems are also used to purge smoke and heat in the event of a fire. In addition, the proper operation of fans and dampers may play a critical role in confining the fire and smoke to a limited area. Proper design of ventilation systems is essential for emergency preparedness in rail transit stations.

- The local fan and damper controls should be clearly identified by lighting and/or graphics.
- Consideration should be given to providing a portable stand-by power source or other auxiliary power for ventilation system operation.
- Fans and dampers should be remotely controlled from Central Control.

#### 4.2.3.1.6 Support Equipment and Systems

##### 4.2.3.1.6.1 Fire Protection Equipment

###### A. Location of Detection and Alarm Boxes

- Fire and smoke detection devices should be located in non-public areas of rail transit stations. Ancillary and/or storage rooms located in stations are of particular importance.

- Manual alarm devices should be of a type to discourage activation except during an actual fire/smoke condition. It may be advisable to install them within the station attendants' line of vision.

- Graphics and lights on annunciator panels in passenger stations should indicate the geographical location of alarms.

###### B. Portable Fire Extinguishers

- The location of fire extinguishers and simple instructions for their use should be clearly identified with graphics within the rail transit station.

- Fire extinguishers should be protected from theft or vandalism.

###### C. Standpipe and Hose Systems

- If standpipe and hose systems are used, they should comply with the requirements of NFPA 130.

- When not located between the tracks in a station, standpipes should, when possible, be located on the side of the station platform opposite the third rail.

4.2.3.1.6.2 Rescue Equipment - Different types of rescue equipment may be stored at rail transit stations according to transit system requirements.

- Fire axes, crowbars, ladders, and stretchers are among the items which may be considered for storage in designated station areas (such as attendant kiosks or equipment rooms).

#### 4.2.3.1.7 Flammable and Combustible Liquid/Vapor Intrusion

Accidental flammable liquid or vapor intrusion can create the potential for a serious fire or explosion within the rail transit station. Extensive specifications to minimize emergency conditions which could result from such hazardous liquid or vapor intrusion are contained in Subsection 3.2.7 of NFPA 130.

#### 4.2.3.1.8 Flood Protection

Rail transit passenger stations may in many areas be subject to water leaks. In addition, storm water drainage may enter at portals and shafts. Drainage and pumping stations for minimizing flooding in the rail transit station are presented in this section.

- Pumping stations should be provided at low points within the transit station.
- The drainage pumps should be of the proper size to handle water intrusion from weather, fire fighting operations, etc.
- There should be two separately powered alternate pumps at each location.
- Where the pumps operate automatically, local controls should be able to manually override the system.

#### 4.2.3.1.9 Traction Power

The traction power system is an integral part of a transit system's emergency preparedness. The following items should therefore be taken into consideration when developing the traction power system:

- The capability of removing or reapplying power should be considered in the system safety analysis. Traction power requirements should be carefully evaluated for all emergency scenarios. Such requirements might include redundant power supplies or specific system design features to meet system needs.
- A means for locally removing power from specific sections of the third rail or catenary should be provided. (This could be accomplished by local emergency trip stations.) Central Control should also have the ability to remove power from specific sections of rail or catenary.
- When appropriate, devices for verifying that power has been removed from third rail sections should be incorporated into the system.

#### 4.2.3.1.10 Graphics

Graphics are defined as the informational symbols indicating the location and use of crucial passenger station facilities and equipment. They are essential in identifying exits, exit paths, emergency exits, fire extinguishers, etc.

This section addresses guidelines for graphics used in passenger transit stations.

- Consideration should be given to using bilingual and/or pictograph signs.
- Standardized emergency graphics should be used.
- Advertising should be segregated from informational graphics.
- Advertising should be avoided entirely at decision points.
- Information signs should be located at decision points for maximum visibility.
- Signs should be posted in stations providing instructions for reporting unusual occurrences and procedures for emergency evacuation.
- Location signs and instructions for operation of emergency exits, fire extinguishers and emergency intercom or alarm should also be provided.

#### 4.2.3.1.11 Emergency Power

In order to ensure the continued operation of such vital components as lighting and emergency ventilation systems and pumping stations, it is necessary to consider two options for furnishing uninterruptible power. One option involves the use of dual controls, feeder cables, etc., to provide redundancy should failure in one component occur. The second option is to provide an alternative power source in case the normal power source becomes unavailable.

The following station components should be considered for connection to alternative power systems:

- Station emergency lighting,
- All illuminated exit signs,
- Selected signs,
- Ventilation system (subway),
- Radio and telephone systems,
- Public address system,
- Fire alarm system,
- Pumps (subway).

#### 4.2.3.2 TRAINWAY

Although the preferred method of evacuating passengers under emergency conditions is to move all or part of the train to the nearest station, in some cases it may be necessary for passengers to exit from the train while it is located between stations, in order to walk to another train or to the closest station or emergency exit. The trainway environment and available equipment can thus have a large effect on passenger evacuation in emergency situations.

The three basic types of trainway are underground (tunnels and underwater tubes), elevated, and surface (at-grade and open cut).

#### 4.2.3.2.1 Construction

The typical rail transit trainway consists of ties, rail, and road bed of ballast and/or a steel or concrete structure. This trainway may be located in a subway tunnel or underwater tube; on an aerial structure; on the same general ground level as other vehicle roadways (at grade); or in an uncovered depression (open cut).

Trainway construction should be of such a design as to facilitate passenger evacuation and emergency response personnel access for potential emergency scenarios. With this in mind, trainway construction should incorporate the following:

- The system safety concept should be applied in the trainway design phase to identify and address prospective safety hazards associated with the transit system's emergency response capabilities.
- Critical egress paths should be identified in the system design phase and remain unobstructed.

#### 4.2.3.2.2 Lighting

4.2.3.2.2.1 Underground - An adequate level of lighting in tunnels and underwater tubes is critical for successful passenger evacuation under emergency conditions. In addition, fire/rescue personnel depend on sufficient lighting for visibility during fire suppression and/or rescue operations.

The recommended guidelines contained in Section 4.1.3<sup>[40]</sup> should be followed with the following modifications:

- Consideration should be given to locating a designated number of lighting fixtures toward the bottom wall of the tunnel or tube (near the top of the rail) to provide for visibility under smoke conditions.
- The minimum illumination level for emergency lighting should furnish a sufficient amount of visibility to enable passenger evacuation from the tube or tunnel to a place of safety.

4.2.3.2.2.2 Surface - In general, emergency lighting has not been provided along the surface portions of the rail transit trainway. The belief has been that because of daylight and the less confined environment (in contrast to the dark and constricted area within the underground trainway), emergency lighting is not necessary. However, all systems operate trains during hours of darkness, and thus similar problems of insufficient visibility could arise during emergency situations. Adjacent street lights may not exist, or may provide insufficient illumination. For these reasons, some type of transportable emergency lighting should be considered for use along the trainway in emergency situations.

#### 4.2.3.2.3 Access/Egress

Emergency exits provide the means for transit passengers to exit from emergency conditions within the trainway to a point of safety.

4.2.3.2.3.1 Underground - There are two basic types of emergency exits typically provided along the underground trainway. Tunnels constructed using the cut and cover method are usually located just below street level. Their relatively shallow depth facilitates the provision of vent shafts and emergency exit stairways (in some cases located adjacent to each other) leading up to the surface. Because of their depth, deep bore tunnels and sunken caissons (underwater tubes) possess limited exit capability directly to the surface level. For this reason, underground trainways utilizing these methods of construction must provide alternative types of emergency exits.

Options used have included cross passages and/or fire door's leading to the opposite track-way area, or a separate center passageway between the adjacent track-way areas.

Recommended guidelines applicable for emergency exits from underground trainways are contained in Section 4.1.4.<sup>[40]</sup>

4.2.3.2.3.2 Elevated - Emergency exits, so vital for underground trainways, have rarely been provided along elevated trainways. Although the height of the aerial structure presents a condition of confinement similar to that of an underground tunnel, an important difference exists. The complete availability of open air minimizes the degree of danger in comparison to poor tunnel ventilation. As in all cases of passenger evacuation, the

preferred methods of moving passengers to safety involve moving all or part of the train to the nearest station, or moving a rescue train up to the front or rear, or alongside, for passenger transfer. However, in some cases, the only alternative has been for passengers to leave the trainway by means of fire department ladder trucks, an extremely slow and time-consuming process. Walkways have been used as an alternative means of reaching a point of refuge (i.e., the next station); these are discussed in Section 4.2.4<sup>[40]</sup> of this document

4.2.3.2.3.3 At Grade/Open Cut - Emergency exits are not usually provided along surface trainways unless the trainways are fenced. It is common to provide emergency access gates which can be opened by transit personnel or rescue crews.

With the exception of the third rail hazard, the dangers inherent in a confined tunnel or aerial structure are not present during passenger evacuation from a disabled train on a surface trainway. In most instances, passengers are able to simply leave the vehicle via a short ladder and walk directly to a point of safety. However, difficulties in proceeding to a point of safety may exist when the trainway is shared with highways or railroad tracks. In addition, certain sections of the surface trainway may be protected by fencing or other restraining material.

- The access gates should be readily opened from the inside, without keys or special tools.
- Fire department personnel should possess keys or other methods of opening the access gates from the outside.
- Gaps in the third rail and crosswalks should be provided at access gate locations.
- When the surface trainway is shared with highways or railroads, provisions should be made for some means of exit which does not require passengers to face other moving traffic when evacuating a rail transit train.

#### 4.2.3.2.4 Walkways

4.2.3.2.4.1 Underground - Walkways, when they exist within the underground trainway, may consist of a flat surface located at track level or on a ledge located preferably at the floor height of vehicle doors. In either case, walkways may serve as a direct, high capacity exit route through the side doors of the vehicle. However, a major disadvantage is the narrowness of the walkways, which tends to restrict the movement of passengers once they exit from the vehicle.

- When walkways exist in the underground trainway, it is recommended that they be located on the side of the track opposite the third rail, and that they be of a width deemed suitable by the transit system.
- When walkways are used, they should, whenever possible, be of vehicle floor height.
- When walkways exist, consideration should be given to the use of a fixed railing to assist passengers.
- The walkway should have a flat, non-slippery surface.
- Emergency exit paths should not require passengers to step over the third rail.

4.2.3.2.4.2 Elevated - A walkway located along one side or in the center of an aerial structure would provide an alternative means of moving passengers from the vehicle to a point of safety (i.e., the next station).

- The walkway should be of sufficient width for passengers to avoid contact with the third rail or other power sources.
- Walkways located along the side of the aerial structure should be equipped with a fixed railing or other restraint to help passengers maintain their balance.
- The walkway should be located on the side of the track opposite the third rail.
- Emergency exit paths should not require passengers to step over the third rail.

#### 4.2.3.2.5 Communications

Effective on-the-scene communications are vital during emergency situations and provide the major source of information for coordinating rescue/fire suppression efforts within trainway areas.

Examples of various kinds of communications equipment are direct line emergency telephones connecting directly with Central Control, maintenance telephones, and mobile radio units.

- A means of voice communication should be installed at all emergency exits and at selected locations along the trainway, and be conspicuously identified with graphics and lighting.

#### 4.2.3.2.6 Ventilation

Ventilation systems can be used in the event of a fire to control smoke and heat, and provide visibility and fresh air to passengers and rescue/fire suppression teams. They are therefore considered essential components in the underground trainway. In addition, the proper operation of fans and dampers may play a critical role in confining the fire and smoke to a limited area.

- Manual fan and damper controls should be clearly identified by lighting and/or graphics.
- Fans and dampers should be remotely controlled from Central Control.

#### 4.2.3.2.7 Support Equipment and Systems

##### 4.2.3.2.7.1 Fire Protection Equipment

###### A. Fire Detection

- When trains are parked in isolated underground storage areas not immediately visible to or frequented by transit personnel, some means of fire detection which activates an audible or visible signal at Central Control or other supervising station should be provided.

###### B. Fire Extinguishers

The location and user instructions for fire extinguishers should be clearly marked.

###### C. Standpipe/Hydrant and Hose System

- Where the standpipe and hose systems are used, they should comply with the requirements of NFPA 130.
- Standpipes should be located whenever possible on the side of the trainway opposite the third rail.

##### 4.2.3.2.7.2 Other Support Equipment

- Third rail power "testing!" devices should be available for ensuring that the power is indeed cut off when requested.

#### 4.2.3.2.8 Intrusion Alarm

In many cases, rail transit systems operate trains along a shared corridor. The rail transit track may be located adjacent to highways, along the center median of highways, or adjacent to freight/passenger railroads. Motor vehicle accidents or train derailments may thus intrude on the transit track area and present serious hazards to train operators unaware that any problem exists.

It is essential that both train operators and Central Control become immediately alerted when accidents cause intrusion into the transit track area. Consideration should be given to protection of the trainway by physical barriers or by some type of detection and alarm system.

#### 4.2.3.2.9 Flammable and Combustible Liquid/Vapor Intrusion

Accidental flammable liquid or vapor intrusion creates the potential for a serious fire or explosion resulting in damage to the trainway and/or injury to transit passengers and personnel. Extensive specifications to minimize the hazards of such liquid or vapor intrusion are presented in Subsection 3.2.7 of NFPA 130.

#### 4.2.3.2.10 Flood Protection

The underground and surface trainway in many areas may be subject to water intrusion. In addition, storm water drainage may enter at portals and shafts. Drainage and pumping station components to reduce flooding should comply with the guidelines presented in Section 4.1.9<sup>[40]</sup>, with the following modifications:

- Primary drainage should be achieved through the use of proper road- bed design and construction. Excessive water should drain into grates, to be carried in culverts to a pump pit.
- Pumping stations should be provided at low points throughout tile trainway.

#### 4.2.3.2.11 Traction Power

See the guidelines contained in Section 4.1.10. <sup>[40]</sup>

#### 4.2.3.2.12 Graphics

Graphics are defined as the informational symbols indicating the location and use of crucial trainway facilities and equipment. They are essential in identifying emergency exits and routes, fire extinguishers, etc. This section presents guidelines for graphics used in and along the trainway.

- Location marker signs should be posted along the trainway which are highly visible to the train operator.
- Signs indicating the distance to and direction of the closest passenger station and emergency exits, should be posted, especially in underground sections.
- Each emergency exit should be identified by a sign and a light, and include instructions for use.
- Consideration should be given to providing bilingual and/or pictograph signs as appropriate.
- Standardized emergency graphics should be used.
- Information signs should be located at decision points for maximum visibility.

#### 4.2.3.2.13 Emergency Power

In order to ensure the continued operation of such vital components as lighting, ventilation systems and pumping stations, two options for furnishing uninterruptable power must be considered. One of these entails the use of dual controls, feeder cables, etc., to provide redundancy in case of failure in one component. The second option is to provide an alternate power source should the normal power source become unavailable.

The following trainway components should be considered for connection to alternative power systems:

- Tunnel emergency lighting,
- All illuminated exit signs,
- Selected signs,
- Ventilation system (subway),
- Public address system,
- Fire alarm system.

Emergency power system components should be located so as to be protected from damage by water or by normal maintenance to adjacent equipment.

#### 4.2.3.3 Central Control

Train operations within most rail transit systems are controlled from a central facility. This headquarters (Central Control) contains the personnel, offices and equipment necessary to maintain normal train operations, control power, and maintain communications throughout the system. In addition to these functions, Central Control becomes the command center for coordinating responses to emergency situations through the use of such equipment as transit radio systems, direct "hot" line telephones, traction power cut-off controls and ventilation controls.

The guidelines in this section are intended to assist Central Control in responding to emergency situations occurring within the station and trainway sections of the system.

##### 4.2.3.3.1 Emergency Exits

Diagrams indicating the exact location of every emergency exit within stations and along the trainway should be available in Central Control.

##### 4.2.3.3.2 Communications

Central Control should possess the following minimum communication capabilities:

- Audible and visible alarms located in Central Control should indicate when critical equipment commands fail.
- If intrusion alarms are installed, they should communicate directly with Central Control. Central Control should be able to directly and immediately notify the appropriate railroad control center in the event that intrusion occurs from railroads into the transit trainway or vice versa.
- Central Control should have a plan for reacting to train control failures.

#### 4.2.3.3.3 Ventilation Equipment Controls

Consideration should be given to the implementation of a series of predetermined ventilation control system scenarios which may be employed in responding to various emergency situations.

#### 4.2.3.3.4 Traction Power Removal

Central Control should have the capability of remotely removing third rail or catenary power from any location for which Central Control is responsible.

#### 4.2.3.3.5 Graphics

Some means of clearly indicating the location of every emergency exit, standpipe connection, pump station, ventilation fan, emergency telephone, traction power sub-station, power cut-off switch, and alarm should be available in Central Control.

#### 4.2.4 地下場站車輛 (VEHICLES)設置參考原則

The purpose of the guidelines presented in this section is to identify those vehicle features which can minimize the consequences of an emergency situation. These vehicle guidelines are meant for use primarily in the procurement of new vehicles. For the purposes of this section, "vehicles" are considered to be of two general types: passenger rail vehicles, and rail vehicles used for emergencies.

The guidelines address transit vehicle construction, lighting, access/egress, communications, ventilation, electrical equipment and wiring, on-board support equipment, mechanical equipment, graphics, and emergency power. Whenever possible, the guidelines are general enough to allow for the site-specific differences between rail transit systems. The guidelines have been developed from a variety of sources including workshops, discussions with transit personnel, and available literature sources such as industry design guidelines, codes and standards. These performance-oriented guidelines are intended to reflect the best practices of the rail transit industry.

#### 4.2.4.1 PASSENGER RAIL VEHICLES

The rail transit vehicle is (with the transit station) one of two environments with which passengers normally come in contact when using rail transit systems. However, the passenger rail vehicle is unique in that it is a dynamic, confined "envelope", with movement and access/egress controlled by the train crew. Moreover, the vehicle represents both a potential safety hazard (e.g., burning interior materials) and an area of refuge from such a hazard (by the movement of passengers to other unaffected cars of the train).

The guidelines in this section are intended to provide for rapid patron evacuation and rapid emergency response personnel access for all possible emergency scenarios.

##### 4.2.4.1.1 Construction

Transit vehicle construction should incorporate the following:

##### A. General

- The system safety concept should be applied in the vehicle design phase to identify and resolve all prospective safety hazards associated with a transit system's emergency response capability.
- Critical vehicle/system egress and access paths should be identified and remain unobstructed throughout the system design.

##### B. Exterior

- The transit vehicle structure should permit the vertical jacking of the vehicle in an emergency without affecting structural integrity.
- The vehicle should be constructed so as to allow emergency access from the exterior.

#### C. Interior

- The seats and other interior components should be securely attached to the vehicle.
- The seating arrangement within the vehicle should be designed so as to minimize congestion around doors.
- A sufficient number of grabrails and stanchions should be installed within the vehicle to provide stability for standing passengers.
- Design of the vehicle interior should limit the presence of sharp corners and edges.

#### 4.2.4.1.2 Lighting

Emergency lighting is a crucial factor which contributes to the level of visibility needed to evacuate passengers successfully.

- Emergency lighting should be provided at all door locations.
- Vehicle marker lights should be connected to the emergency power system.
- Consideration should be given to locating emergency lighting fixtures toward the bottom sidewall and door vestibules of the rail transit vehicle.
- Emergency lighting fixtures, circuits, etc., should be protected to ensure that the emergency lighting will perform when necessary.
- Lighting circuits within the normal power system are considered to be emergency lighting if a designated number of the fixtures are connected to a separate, independent power source.
- Lighting fixtures located in the train operator cab should be connected to the emergency power System.

#### 4.2.4.1.3 Access/Egress

The normal location and manner for passengers to enter and exit a rail transit vehicle is at a station platform through doors located on the side of the train. When a disabled train cannot be moved to the nearest station, alternative methods of evacuating passengers must be used. Passengers may be moved through the end door(s) from a car containing a fire to a point of safety within an adjacent unaffected vehicle. Other emergency situations involve the transfer of passengers from an entire disabled train to a rescue train. In this instance, the train side doors of the two trains are aligned and passengers are transferred directly to a rescue train.

##### 4.2.4.1.3.1 End Doors

- An emergency door opening control requiring no electrical power should be located on the exterior of the vehicle.
- A means should be provided that allows passengers to move from one car to another in an emergency.
- Locking of the end doors is to be discouraged unless an interior emergency door release is provided.
- Emergency door release controls for the end doors requiring no electrical power should be located within the interior passenger compartment.
- The location and operating instructions for the emergency door release controls should be clearly indicated by graphics. Provisions should be made for discouraging unnecessary operation of the release.

##### 4.2.4.1.3.2 Side Doors

- An interlocking door control should be located in each train operator cab to permit the opening of all doors on either side of the train.
- An emergency door unlocking device for side doors requiring no electrical power should be located both in the interior and on the exterior of the vehicle.
- An attempt should be made to locate side doors in an area of the car not directly over the current collector assemblies.
- Vehicle side doors should be of sufficient width to permit the passage of two people, side by side.



- The location and operating instructions for the emergency door release controls should be clearly indicated by graphics.

#### 4.2.4.1.4 Communications

A variety of mutual communication needs exists within the environment of the rail transit vehicle. These include: train operator to passengers, passengers to train operator, and Central Control to train operator.

- All vehicle communication systems should be connected to a source of emergency power.

#### 4.2.4.1.5 Ventilation

A critical element of emergency preparedness is the ability to provide fresh air in the vehicle interior, or to prevent smoke from entering the interior, prior to or during emergency situations.

The location, capacity, and ability to control fresh air intakes, fans, dampers, etc., all play a key role in maintaining sufficient breathing and visibility levels.

- Controls which allow the shutoff of the ventilation system should be provided in the train operator cab.

#### 4.2.4.1.6 On-Board Support Equipment

##### 4.2.4.1.6.1 Fire Extinguishers

- Fire extinguishers should be provided at a designated location in all transit vehicles.

##### 4.2.4.1.6.2 Rescue Equipment

- Ladders should be provided in each rail transit vehicle.
- Flashlights should be provided for the use of train operating personnel.
- Critical evacuation equipment for use in emergency situations should be readily available.

#### 4.2.4.1.7 Special Mechanical Equipment

The rail transit vehicle should be equipped with certain types of mechanical equipment, including but not limited to emergency brakes, current collector shoe lifts, car uncoupling controls, etc. Guidelines for this equipment are listed below.

##### 4.2.4.1.7.1 Emergency Brakes

- Each rail transit vehicle should be equipped with a fail-safe friction brake to provide manually activated braking.
- Emergency braking independent of the train operator should be activated in the event of unintentional uncoupling of any car within a train.

##### 4.2.4.1.7.2 Current Collector Isolation

- A means should be provided for removal of power from the current collector.

##### 4.2.4.1.7.3 Couplers

- Consideration should be given to a vehicle uncoupling system which allows the train operator to uncouple cars without leaving the train.

#### 4.2.4.1.8 Graphics

Graphics are the informational symbols indicating the location and operation of such crucial vehicle components as doors, intercoms, etc.

- Consideration should be given to using bilingual and/or pictographic signs.
- Standardized emergency graphics should be used.
- Location signs and instructions should be provided within the vehicle for intercom operation, window and door emergency exits, fire extinguishers, etc.
- Vehicle number identification should be displayed within the interior and on the exterior of the transit vehicle.

#### 4.2.4.1.9 Emergency Power

The following components in each vehicle should be connected to an emergency power system:

- Selected lighting fixtures in the passenger area, particularly those adjacent to doors;
- The communication system, including the P.A., radio, and intercom systems;
- Lighting in the train operator cab;
- Exterior marker lights.

#### 4.2.4.2 Vehicles Used in Emergencies

Various types of rail vehicles are used to respond to rail transit emergencies. Depending on the situation, diesel rail engines, work equipment, empty passenger trains, and road/rail vehicles may be utilized. This section focuses on the "transit emergency response vehicle" which possesses unique capabilities directed at emergencies occurring in the confined area of the trainway.

- Vehicles should be stored at locations offering ready access to the trainway.
- Vehicles should possess a motive power source independent of the traction power.
- Vehicles should be equipped with auxiliary power generators for lighting, and other special tools.
- There should be a radio or some other communication system to provide contact between the vehicle and Central Control.
- Any auxiliary rail vehicle to be used in an emergency should have compatible coupling available.
- Such a vehicle (locomotive) should be capable of moving maximum length trains up the maximum grade of the trainway.

## 附錄 5 避難逃生相關模擬軟體之評估(英文部分)

### 5.1 CFAST、SIMULEX、FDS、STEPS 軟體簡介

#### 5.1.1 CFAST 軟體

CFAST 軟體資訊由網路 <http://fast.nist.gov/> 摘錄以下相關資訊:

CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) is provided by NIST (National Institute of Standards and Technology), U.S. Department of Commerce; CFAST is a two-zone fire model capable of predicting the environment in a multi-compartment structure subjected to a fire. It calculates the time evolving distribution of smoke and fire gases and the temperature throughout a building during a user-prescribed fire. This report describes the equations which constitute the model, the physical basis for these equations, and an evaluation of the sensitivity and predictive capability of the model. In CFAST, each compartment is divided into two gas layers.

The modeling equations used in CFAST take the mathematical form of an initial value problem for a system of ordinary differential equations (ODEs). These equations are derived using the conservation of mass, the conservation of energy (equivalently the first law of thermodynamics), the ideal gas law and relations for density and internal energy. These equations predict as functions of time quantities such as pressure, layer height and temperatures given the accumulation of mass and enthalpy in the two layers. The CFAST model then consists of a set of ODEs to compute the environment in each compartment and a collection of algorithms to compute the mass and enthalpy source terms required by the ODEs.

In general, this document provides the technical documentation for CFAST along with significant information on validation of the model. It follows the ASTM E1355 guide for model assessment. The guide provides several areas of evaluation:

- **Model and scenarios definition:** CFAST is designed primarily to predict the environment within compartmented structures which results from unwanted fires. These can range from very small containment vessels, on the order of 1 m<sup>3</sup> to large spaces on the order of 1000 m<sup>3</sup>. The appropriate size fire for a given application depends on the size of the compartment being modeled.
- **Theoretical basis for the model:** Details of the underlying theory, governing equations, correlations, and organization used in the model are presented. The process of development of the model is discussed with reference to a range of NIST memorandums, published reports, and peer-reviewed journal articles on the model. In addition to overall limitations of zone-fire modeling, limitations of the individual sub-models are discussed.
- **Mathematical and numerical robustness:** CFAST has been subjected to extensive use and review both internal to NIST and by users worldwide in a broad range of applications. In addition to review within NIST independent of the model developers, the model has been published in international peer-reviewed journals worldwide, and in industry-standard handbooks referenced in specific consensus standards. Besides formal internal and peer review, CFAST is subjected to continuous scrutiny because it is available to the general public and is used internationally by those involved in fire safety design and post-fire reconstruction.

#### 1 History

Analytical models for predicting fire behavior have been evolving since the 1960s. Over the past decade, the completeness of the models has grown considerably. In the beginning, the focus of these efforts was to describe in mathematical language the various phenomena which were observed in fire growth and spread. These separate representations have typically described only a small part of a fire. However, when combined they can create a

complex computational model that can predict the expected course of a fire. Once a mathematical representation of the underlying physics has been developed, the conservation equations can be re-cast into predictive equations for temperature, smoke and gas concentration and other parameters of interest, and solved numerically.

The equations are usually in the form of *differential equations*. A complete set of equations can describe the conditions produced by the fire at a given time in a specified volume of air. Referred to as a *control volume*, the model assumes that the predicted conditions within this volume are uniform at any time. Thus, the control volume has one temperature, smoke density, gas concentration, *etc.* Different models divide the building into different numbers of control volumes depending on the desired level of detail. The most common fire model, known as a *zone model*, generally uses two control volumes to describe a compartment – an upper layer and a lower layer. In the compartment with the fire, additional control volumes for the fire plume or the ceiling jet may be included to improve the accuracy of the prediction (see figure 1).

This two-layer approach has evolved from observation of such layering in real-scale fire experiments. Hot gases collect at the ceiling and fill the compartment from the top. While these experiments show some variation in conditions within the layer, these are small compared to the differences between the layers. Thus, the zone model can produce a fairly realistic simulation under many common and important conditions.

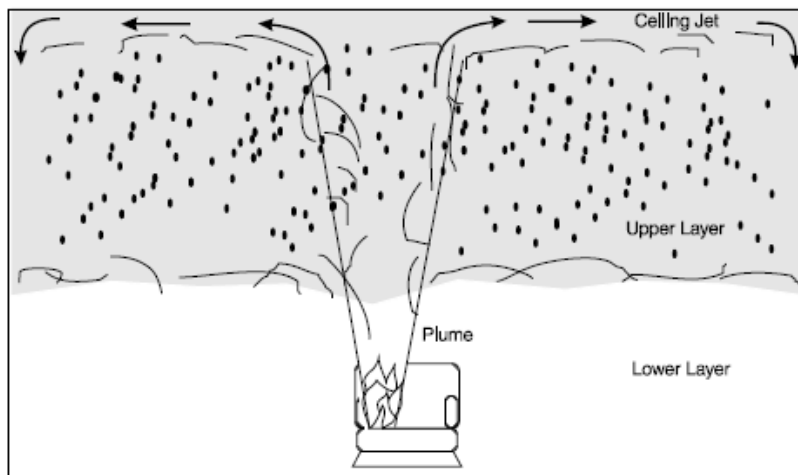


Figure 1. Zone model terms.

Other types of models include *network models* and *field models*. Network models use one control volume per compartment and are used to predict conditions in spaces far removed from the fire compartment where temperatures are near ambient and layering does not occur. The field model goes to the other extreme, dividing the compartment into thousands or millions of control volumes. Such models can predict the variation in conditions within the layers, but typically require far longer run times than zone models. They are used when a highly detailed prediction of the flow itself is of interest.

## 2 Model Evaluation

The process of model evaluation is critical to establishing both the acceptable uses and limitations of fire models. It is not possible to evaluate a model in total; instead, available guides such as ASTM E1355 are intended to provide a methodology for evaluating the predictive capabilities for a specific use [1]. Validation for one application or scenario does not imply validation for different scenarios. Several alternatives are provided for performing the evaluation process including comparison of predictions against standard

fire tests, full-scale fire experiments, field experience, published literature, or previously evaluated models.

The use of fire models currently extends beyond the fire research laboratory and into the engineering, fire service and legal communities. Sufficient evaluation of fire models is necessary.

NIST 聲明:

The U. S. Department of Commerce makes no warranty, expressed or implied, to users of - CFAST and associated computer programs, and accepts no responsibility for its use. Users of CFAST assume sole responsibility under Federal law for determining the appropriateness of its use in any particular application; for any conclusions drawn from the results of its use; and for any actions taken or not taken as a result of analyses performed using these tools.

CFAST is intended for use only by those competent in the field of fire safety and is intended only to supplement the informed judgment of a qualified user. The software package is a computer model which may or may not have predictive value when applied to a specific set of factual circumstances. Lack of accurate predictions by the model could lead to erroneous conclusions with regard to fire safety. All results should be evaluated by an informed user.

#### 5.1.2 SIMULEX 軟體

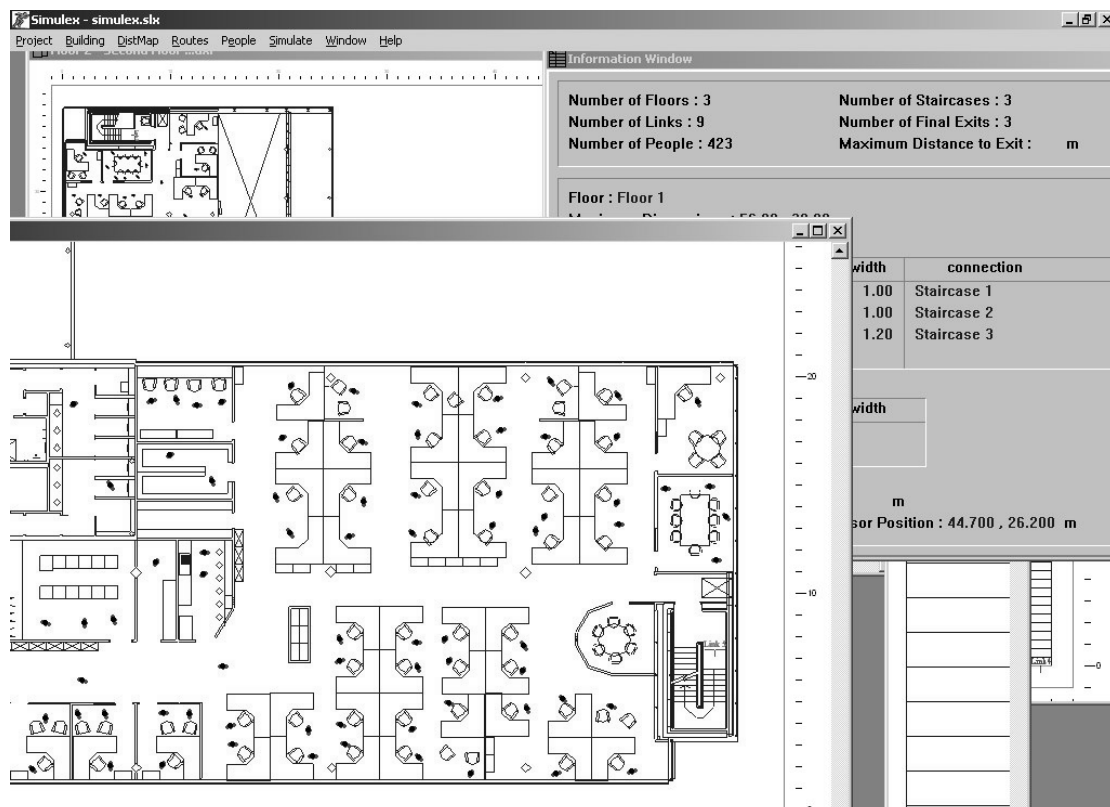
SIMULEX由網路 <http://www.iesve.com/CONTENT/mediaassets/pdf/Simulex.PDF> 摘錄以下  
相關資訊:

#### **Simulex – simulation of occupant evacuation**

Everyone hates the inconvenience of fire drills, but we all appreciate why we have them. Getting everybody out quickly and safely in an emergency must be a major objective of any new building design. Simulex from IES <Virtual Environment> enables you to simulate occupant behaviour in the event of a building evacuation, identify potential problems and find solutions. Used throughout the world, Simulex is a simple, convenient design tool to help keep people safe.

#### **What SIMULEX does**

Simulex enables you to define a building and its occupants, and simulate how they will evacuate during an emergency. It uses a series of 2D floor plans, with exits and staircases 'linked' together. You can identify any problem areas and evaluate solutions. Simulex is used worldwide and is readily accepted by planning authorities.

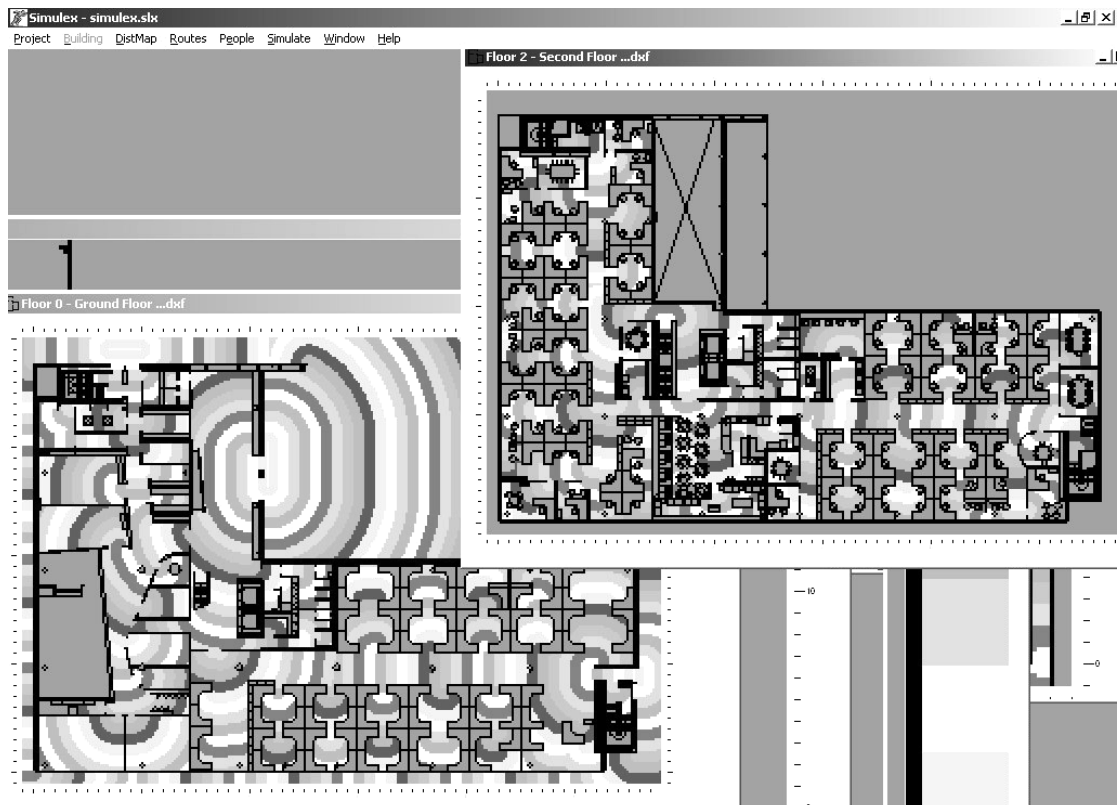


### How SIMULEX works

Simulex models movement of people in a building. It is based on real human behaviour, using data gathered from video analysis of individuals moving in crowds. Research results from around the world are used to augment the data, giving a unique level of accuracy and an unmatched capability for simulating building evacuation. The starting point for any Simulex study is a set of 2D floor plans. Ideally, these plans will include obstructions such as tables and columns. The plans are connected via 'linked' staircases, and exits are defined where occupants can leave. Each floor plan and staircase is displayed in its own simulation window so you can view every event. You can go on to define 'distance maps' for different evacuation strategies. Each occupant can be assigned a distance map. You can also test travel distances and escape routes by 'dropping' people into the model and viewing what happens. Having established your distance maps, you can define the building population by age and gender, and take account of factors including walking speed, body shape and time taken to respond to a fire alarm. You can refine the profile by placing individuals or groups in defined areas.

The simulation begins, allowing you to view how the population evacuates (including queuing, congestion, overtaking etc.) as it happens. You can monitor the number of people left in the building at any time, and ask Simulex to predict how long it will take all the occupants to reach the exits.

Depending upon the size of the model and the speed of your computer, the simulation may not occur in real time. You can therefore 'record' the simulation and play it back in real time, with all the usual video control functions.



## Commercial Benefits

Simulex can help you prove to planning authorities that your design meets or exceeds their criteria. It can also help you win projects by demonstrating your capabilities where occupant evacuation and/or safety is a particular design issue.

Features of Simulex, such as the distance maps, can be used in other contexts such as planning the distances between spaces or objects. For example, in a hospital you can measure the distance between different departments, or look at the optimal placement of shared life-saving equipment.

## Simulex Features

### Model Building

- ◆ Uses <VE> or CAD generated DXF files to create and define each floor plan.
- ◆ Allows users to create staircases to connect floor plans together for a multi-storey building analysis.
- ◆ Users define and position 'Final Exits', either outside or inside the building.
- ◆ 'Links' are used to connect each doorway from a floor plan into a staircase.
- ◆ Users can place people on each floor or staircase individually, or as groups over defined areas.

### Building analysis

- ◆ Defines the building fabric with exactly the same accuracy as the DXF files.
- ◆ Automatically generates a 0.2m x 0.2m spatial mesh, overlaid onto the DXF floor plans.
- ◆ Can generate a 'distance map' which calculates the total distance-to-exit for every point on the spatial mesh.
- ◆ Distance maps can be displayed graphically as distance 'contours' – in a similar way to height contours on a geographic map.
- ◆ Route analyses can be carried out by 'dropping' test people into the model and observing their escape route, based on the distance maps. The total distance travelled is displayed while movement occurs.

### Populations

- ◆ Different 'population groups' are defined. Each population group contains combinations of

the following features:

- ✓Body shape and size
- ✓Walking speed
- ✓Time to respond to alarm.

- ◆ Any combination of individuals with specific characteristics can be combined in one model, in any part of the building.
- ◆ All aspects of the population demographics can be changed, allowing you to customise body sizes, walking speeds, stair ascent and descent speeds. This enables you to test any range of occupant disability.

## **Analysis Options**

### **Evacuation simulation**

- ◆ The user initialises the evacuation when the model has been built and populated.
- ◆ Live on-screen display of the plan views of any part of the building, which can be zoomed in or out.
- ◆ Each person is shown, and movement animated every 0.1 seconds.
- ◆ Still shots of this movement can be captured at any time and pasted into a graphics or word processing package.
- ◆ All queuing, congestion, overtaking etc. is viewed by the user as it happens.
- ◆ The user can change views of any part of the building as the simulation progresses.
- ◆ The evacuation proceeds until all occupants have escaped
- ◆ The user has complete control over which part of the building is viewed at any time. Any combination of views is accommodated.
- ◆ Simulations can be played back at real-time, paused, reversed, or stepped forward.

### **Different Scenarios**

- ◆ Distance maps calculate the distance to the nearest exit by default.
- ◆ Additional distance (or route) maps can be set up, which use different exits and staircase links.
- ◆ The alternative route maps can be applied to any number of occupants in any part of the building.

## **Outputs and deliverables**

### **Deliverables**

- ◆ Still screen-shots from the simulations or recorded simulations can be placed in reports etc.
- ◆ Results generation:
  - Creates a text file of general occupant flow details
  - Can create a text file of every individual's movements, every 0.1 seconds. This can be used by customised 3<sup>rd</sup> party applications to generate 3D visualisations.
- ◆ If a simulation has been recorded, the simulation playback file can be distributed.

### **Visualisation and demonstration**

- ◆ Simulex comes with a freely distributable version which can play back previously calculated simulations.
- ◆ This 'demo' version can be used to demonstrate nearly all features of the software, including all display and playback features.

### **Development & Validation**

- ◆ Simulex has been developed over a number of years. Right from the start it has used results gathered from video analyses of individuals moving in crowds.
- ◆ Academic papers are available describing the underlying principles of the software.
- ◆ Independent testing by other companies and institutions
- ◆ shows that Simulex is a very accurate tool. which can be used to create realistic simulations of highly populated multistory buildings.
- ◆ Simulex maintains accuracy of simulation even in very complicated models



### 5.1.3 FDS 軟體

FDS軟體 由網路 <http://www.fire.nist.gov/fds/> 摘錄以下相關資訊:

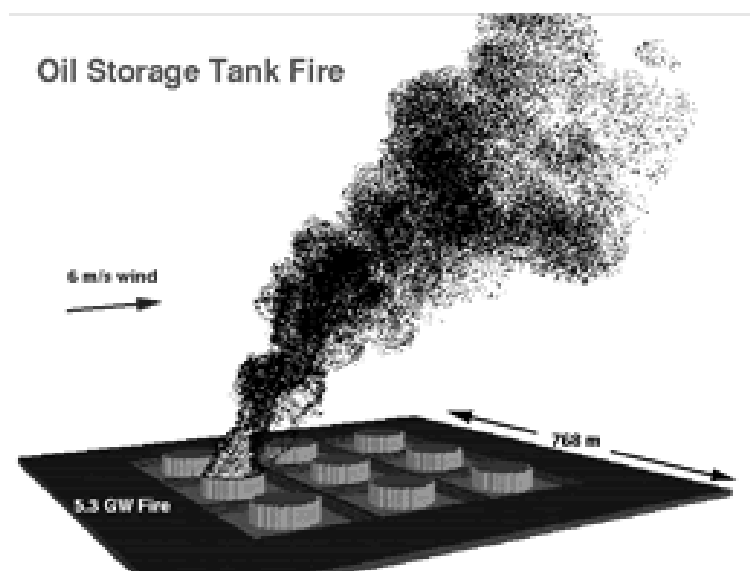
**Fire Dynamics Simulator (FDS)** is a computational fluid dynamics (CFD) model of fire-driven fluid flow. The software solves numerically a form of the Navier-Stokes equations appropriate for low-speed, thermally-driven flow, with an emphasis on smoke and heat transport from fires.

**Smokeyview (SMV)** is a visualization program that is used to display the output of FDS and CFAST simulations.

Please read the manuals for each program and be aware that FDS is not a typical "point and click" computer program. Rather, FDS is run from the command line, and it requires that input parameters be written into a text file. Third party software is available to assist in the preparation of the input files and execution of the program, but this software is not necessarily free. See the 3rd Party Tools page for more information.

The Fire Dynamics Simulator and Smokeview applications are developed by the National Institute of Standards and Technology (NIST) of the United States Department of Commerce, in cooperation with VTT Technical Research Centre of Finland.

FDS and Smokeview is free software developed through the National Institute of Standards and Technology (NIST) by employees of the Federal Government in the course of their official duties. Pursuant to Title 17, Section 105 of the United States Code. This work is not subject to copyright protection and is in the Public Domain.



From NIST study on Oil Storage Tank Fires, Prior to release of FDS

NIST assumes no responsibility whatsoever for use by other parties of its source code, documentation or compiled executables, and makes no guarantees, expressed or implied, about its quality, reliability, or any other characteristic. See the Disclaimer page for additional information.

The Fire Dynamics Simulator (FDS), a recently developed field fire model based on large eddy simulation (LES), is used to simulate seven full-scale fire tests. The fire tests were conducted in a large mechanically ventilated enclosure with dimensions of 18.3 m x 12.2 m x 6.1 m high, with air injection rates ranging from 1 to 12 air changes per hour (ACH), and fire heat release rates ranging from 0 to 2 MW. Test measurements and simulation predictions are compared. Comparison methods are presented and discussed. Simulations are run with 6,000, 48,000, and 162,000 grid cells to evaluate the influence of grid resolution on prediction accuracy. One test series was run on six different personal computers to explore the effects of different hardware configurations on simulation times. A grid dependent plume study was performed to investigate the relationship of grid resolution and plume temperature predictions. Increasing the number of grid cells in the plume

region does not improve temperature predictions significantly, but does result in more accurate simulation of plume turbulent structures.

The first official version of FDS, released in 2000, was aimed at large scale simulations of smoke movement from prescribed, well-ventilated fires, ideal for design work where the fire's heat release rate is not predicted by the model, but rather specified by the Authority Having Jurisdiction, or AHJ. Over the next few years, Jason Floyd, then a NIST post-doctoral fellow, and Simo Hostikka of VTT, Finland, as a guest researcher at NIST, developed the mixture fraction combustion model and the finite volume radiation transport solver, respectively, that have been the backbone of FDS ever since. These improvements were implemented in version 2 (2001). Versions 3 (2002) and 4 (2004) saw gradual improvements in these routines, along with the development of multiple-meshes (Kuldeep Prasad) and parallel processing (Chuck Bouldin and Kevin McGrattan).

During the NIST Investigations of the World Trade Center collapse and the Station Nightclub fire, it became fairly obvious what needed to be done with FDS to make it an effective tool for reconstructing fires. Up to that point, FDS had been used by the FPE community for design applications, and to some extent forensic work, but the scope of the Investigations pushed the model to its limits. By 2005, it was clear that FDS was going to need a major overhaul, so we set about creating a new version (FDS 5) that would dramatically increase the flexibility and functionality of the model. The work proceeded along two broad fronts - the gas phase and the solid phase. In short, better combustion and better pyrolysis. Jason Floyd and Kevin McGrattan tackled the gas phase and Simo Hostikka at VTT tackled the solid. Meanwhile, the FDS user community continued working with FDS 4, and we struggled to keep up with the ever-increasing demand. By 2006, it became painfully evident to all of us that we could not keep up with the tremendous growth in support requests, and we were also not able to efficiently merge our various new algorithms into FDS 5. We decided to open up a new front - IT support, both to service user needs and to help us developers work better together. Glenn Forney, via Smokeview, had up to then played the dual roles of computer support and software support, but he was becoming overburdened with other responsibilities. So at the end of 2006, we hired Bryan Klein to take some of the weight off our shoulders.

#### 5.1.4 STEPS 軟體

STEPS軟體由網路 <http://www.mottmac.com/skillsandservices/software/stepssoftware/> 摘錄以下相關資訊:

Successful buildings – including office blocks, sports stadia, shopping malls and underground stations – require people to be able to move freely under normal conditions and evacuate rapidly in an emergency. Using simulation to optimise people flow can result in a more agreeable environment and more effective fire safety design in large and busy locations.



STEPS software predicts pedestrian movement under both normal and emergency conditions

STEPS is a microsimulation tool designed by Mott MacDonald for the prediction of pedestrian movement under both normal and emergency conditions. It originates from the extensive experience of Mott MacDonald in the design of transportation systems, in particular underground rail stations and interchanges, combined with its long experience in developing computer simulation tools for engineering design.

By producing real-time 3D simulations in an easily understandable graphical form, results can be interpreted by both non-specialists and experts alike – helping to identify natural bottlenecks and preferred exits, as well as testing evacuation routes and timings for different emergency scenarios.



A screenshot from the STEPS software

### ■ Key features

Some key features of the STEPS software can be summarised as follows:

- modern agent-based microsimulation approach
- applicable to both normal and emergency operations
- extensive track record
- efficient handling of large and complex models
- direct import of 2D and 3D CAD models
- 3D interactive (virtual reality) graphical user interface
- route system as alternative to cumbersome origin-destination matrix
- moving vehicles eg trains and lifts
- variety of pedestrian movement metrics with graphical representation

### ■ Track record

STEPS has been applied worldwide both by Mott MacDonald and other major engineering consultancies to a variety of major projects and is one of the most widely used pedestrian modelling packages for metro and underground rail systems. Some typical example projects are listed below.

- London Heathrow Terminal 5: station and track transit system
- Minneapolis Light Rail Transit, USA
- Rotterdam Metro, The Netherlands
- Delhi metro, India
- KCRC Shatin-Central Link, Hong Kong
- Luton Network Rail station, UK
- International Centre for Life, Newcastle, UK

A study commissioned by the Railway Safety and Standards Board (RSSB) and completed during 2004 included an assessment of the suitability for station design of seven commercial products. STEPS was judged to be “fully compliant” in four out of the six categories considered – higher than any other product. The full report: Managing large events and perturbations at stations – passenger flow modelling technical review, can be obtained from the RSSB website: [www.rssb.co.uk](http://www.rssb.co.uk)

### ■ General principles

STEPS employs a modern agent-based approach which predicts the movement of discrete individuals (virtual people) through three-dimensional space. This is in contrast to the older generation of pedestrian models which treat the problem as one of a continuum flow. The major advantages of agent-based models are that they give a more realistic representation of pedestrian movement and allow the elucidation of subtle but important details of pedestrian movement, thereby giving much greater insight to the designer.

The approach uses principles borrowed from the theory of cellular automata which are now well-established in the modelling of pedestrian dynamics. Pedestrian crowds, like many self-organising

systems made up of individual entities, display complex emergent modes of behaviour which arise from simple deterministic and non-deterministic principles followed by the individuals making up the population. The STEPS model is able to recreate this type of emergent crowd behaviour which is fundamental to effective pedestrian simulation. The modelling approach has been verified and validated by comparison with analytical solutions, internationally-accepted design codes and full-scale testing.

#### ■ **Normal and evacuation modes**

The two key modes of operation for STEPS are:

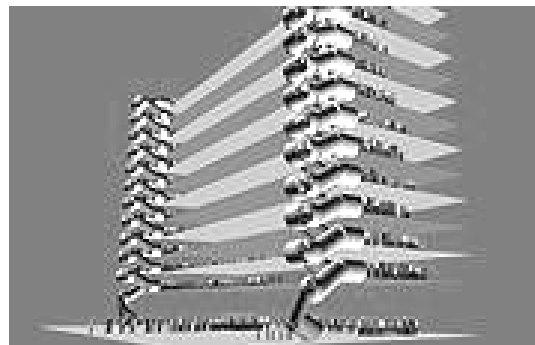
- normal mode
- evacuation mode

with normal mode being the more general. In evacuation mode the STEPS entities are instructed to make their way to the nearest available exit of which they are aware, with their movement modified according to their own individual behaviour characteristics. In normal mode the entities will follow a variety of paths through the model in order to fulfil their different aims (for example: enter the station, buy a ticket and go to the assigned platform).



STEPS is one of the most widely used pedestrian modelling packages for metro and underground rail systems

In evacuation mode, STEPS can be used to calculate evacuation times, exit usage and other criteria essential for fire-engineering design while in normal mode other parameters may be of interest such as level of service and space usage. Normal mode can be used to examine routine operating conditions, for example morning and evening peak flows, but also to assess operational incidents such as escalator failure or variations in train headway which may cause crowding and other problems.



STEPS predicts the movement of discrete individuals (virtual people) through three-dimensional space

#### ■ **Model output**

There are several types of output available in STEPS (before, during and after a simulation) allowing maximum benefit to be gained from the model.

#### ■ **Interactive 3D visualisation (“virtual reality”)**

This is available when building the model and running the simulation. It is possible to navigate through the 3D model in an intuitive manner and observe the movement of people from different viewpoints which can be used to make fly-through animations of the model. Several rendering modes are available such as wireframe or solid and both texture mapping and lighting can be used. If desired, an existing 3D Studio Max model can be imported into STEPS to increase the realism of the visualisation.

#### ■ **Interactive 2D visualisation**

This allows detailed information on particular planes, or parts of planes, to be plotted using colour contours. This information includes local densities and usage levels. These contours plots can be animated to show the development of the relevant quantity with time.

#### ■ Animations and still images

It is possible to record animated sequences either from fixed or moving viewpoints in AVI format as well as still images in JPG, TIFF, PNG and BMP format.

#### ■ Data export

A wide variety of numerical data can be exported, as selected by the user, such as number of people or density in a specific region and exit usage. The data are written to a CSV text file which can then be imported into a spreadsheet package for further analysis.

## 5.2 CFAST、SIMULEX、STEPS 軟體功能評估

### 5.2.1 CFAST、SIMULEX、STEPS 功能比較

表 5-1 CFAST、SIMULEX、STEPS 功能比較

| 項目      | 功能                                                            |
|---------|---------------------------------------------------------------|
| CFAST   | 係為消防及煙霧模型建立，用以模擬綜合火和濃煙所籠罩環境的影響，其可建構過去或潛在火災和煙霧於特定的環境           |
| SIMULEX | 採用二維平面(2-Dimensions)，建立模型模擬人員疏散，模擬過程中使用者能觀看到在疏散過程人員移動或停止之實際狀態 |
| STEPS   | 本質上以三維空間作為模型基礎，反應複雜的現代技術架構，空間幾何分為「平面」和「路徑」2種實體，可模擬計算疏散時間      |

| 項目      | 效用                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CFAST   | Two zone fire mode used to calculate the evolving distribution of smoke, fire gases and temperature throughout compartment of a building during fire.                                                                                                                                         |
| SIMULEX | 2-Dimensions, extract both numerical and graphic information for egress analysis                                                                                                                                                                                                              |
| STEPS   | Producing real-time 3D simulation and easily understandable graphic form, results can be interpreted by both non-specialists and experts alike – helping to identify natural bottlenecks and prefer exits, as well as testing evacuation routes and timing for different emergency scenarios. |

### 5.2.2 Assessment-Simulex (Simulex 軟體評估)

- Simulex remains an essentially 2D tool without 3D interactive visualization capability (2D軟體工具)
- Has no capability to import smoke data. (無輸入煙霧資料能力)
- Though it has an effective underlying movement algorithm, it would appear that route choices are based on distance rather than time, thereby ignoring the influence of congestion (具移動運算能力)

- Movement algorithm is fixed and cannot be made specific to region e.g. Taiwan

### 5.2.3 Assessment-STEPS (STEPS 軟體評估)

- STEPS is a general-purpose pedestrian modelling package for both normal and emergency operations (可模擬正常及緊急模式 3D-model)
- Key STEPS advantages (STEPS 之優勢)
  - General purpose tool: full capability in both normal operations and evacuation (正常及緊急逃生模式3D模擬工具)
  - Strong track record on major transportation projects e.g. London Heathrow Terminal 5, UK; World Trade Center transportation hub, New York, USA; North/South Line, Amsterdam, The Netherlands; and the KCRC Shatin-Central link, Hong Kong. (重大交通專案引用案例)
- fully-integrated 3D environment with excellent visual quality. Direct import of 3D models for visualization and model definition.
- expert users can make informed choices regarding most aspects of the modelling from walking speeds to effects of smoke – not “one size fits all”. fully-integrated 3D environment with excellent visual quality. Direct import of 3D models for visualization and model definition.
- expert users can make informed choices regarding most aspects of the modelling from walking speeds to effects of smoke – not “one size fits all”.
- robust and effective underlying algorithms able to handle large numbers of passengers in a single model.
- backed up by global Mott MacDonald group (rather than university or small company).

## 5.3 CFAST、SIMULEX、STEPS 軟體效益評估

### 5.3.1 CFAST、SIMULEX、STEPS 運算式

表 5-2 CFAST、SIMULEX、STEPS 使用運算式

| 項目      | 使用運算式                                                                                                                                                            |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CFAST   | 利用熱力學第一定律（質量不減、能量不減）微分方程式發展出室內火災之煙霧、可燃氣體、溫度分布模式。                                                                                                                 |
| SIMULEX | 利用流體動力學微分方程式發展出二維平面人員逃生之動態分析模式。                                                                                                                                  |
| STEPS   | 利用流體動力學微分方程式發展出三維立體情境，正常及緊急模式人員逃生路徑之動態瓶頸分析模式，與人員逃生時間之計算。可配合FDS SIMULATION於車站火災時人員立體逃生之動態情境，及估算逃生時間是否合於交通部頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」(97.07.29)及NFPA 130之逃生標準。 |

### 5.3.2 STEPS 與 SIMULEX function comparison table(功能比較)

表 5-3 STEPS 與 SIMULEX 功能比較

| ITEM |                                       | SIMULEX | STEPS |
|------|---------------------------------------|---------|-------|
| 1    | 操作之模型(Modes of operation)             |         |       |
| 1.1  | Evacuation                            | √       | √     |
| 1.2  | Normal operations                     | -       | √     |
| 1.3  | Switch from normal to evacuation mode | -       | √     |
| 2    | 使用之註冊權限(Licensing)                    |         |       |
| 2.1  | Annual license                        | √       | √     |
| 2.2  | Paid up / perpetual license           | √       | √     |
| 2.3  | Annual maintenance                    | √       | √     |

|       |                                                    |          |   |
|-------|----------------------------------------------------|----------|---|
| 3     | 出入旅客移動之一般原則(Pedestrian movement principles)        |          |   |
| 3.1   | 自由行進速度<br>(Free walking speeds)                    |          |   |
| 3.1.1 | Specification by group                             | √        | √ |
| 3.1.2 | Specification by statistical distribution          | -        | √ |
| 3.2   | 速度密度與距離之關係<br>(Speed-density/distance relations)   |          |   |
| 3.2.1 | Speed-density relation                             | -        | √ |
| 3.2.2 | Speed-distance relation                            | √        | √ |
| 3.3   | 路線之選擇(Route choice)                                |          |   |
| 3.3.1 | Based on potential table                           | √        | √ |
| 3.3.2 | Choice based on time or distance                   | Distance | √ |
| 3.3.3 | Local or global route choice                       | Local    | √ |
| 3.4   | 指定行為者之特色(Agent characteristics specified)          |          |   |
| 3.4.1 | Free walking speed                                 | √        | √ |
| 3.4.2 | Patience                                           | -        | √ |
| 3.4.3 | Familiarity                                        | -        | √ |
| 3.4.4 | Association with other agents                      | -        | √ |
| 3.5   | 預先移動時間(Pre-movement time)                          |          |   |
| 3.5.1 | Specification by group                             | √        | √ |
| 3.5.2 | Specification by statistical distribution          | -        | √ |
| 3.6   | 垂直方向之運輸<br>(Vertical transportation)               |          |   |
| 3.6.1 | Escalator modeling                                 | √        | √ |
| 3.6.2 | Lift modeling                                      | √        | √ |
| 4     | 危害模型之建立<br>(Hazard modeling)                       |          |   |
| 4.1   | CFD 煙霧相關資料之輸入(Import of CFD smoke data)            | No       |   |
| 4.1.1 | Import of 3D smoke surfaces                        | -        | √ |
| 4.1.2 | Import of temperature                              | -        | - |
| 4.1.3 | Import of concentration data                       | -        | √ |
| 4.1.4 | Import of visibility data                          | -        | √ |
| 4.1.5 | Data import from which CFD codes                   | -        | - |
| 4.2   | 模擬煙霧資料影響區域之輸入(Import of zone model smoke data)     | No       |   |
| 4.2.1 | Import of temperature                              | -        | √ |
| 4.2.2 | Import of concentration                            | -        | √ |
| 4.2.3 | Import of visibility data                          | -        | √ |
| 4.2.4 | Data import from which zone models                 | -        | √ |
| 4.3   | 相關煙氣資料之應用<br>(Use of smoke data)                   | No       |   |
| 4.3.1 | Visual representation of smoke surface             | -        | √ |
| 4.3.2 | Effect of visibility on walking speed              | -        | √ |
| 4.3.3 | Calculation of toxic                               | -        | - |
| 4.3.4 | Calculation of thermal                             | -        | - |
| 5     | 模擬之前之準備與模擬之後之流程及相關輸出<br>(Pre- and post-processing) |          |   |

|       |                                              |    |   |
|-------|----------------------------------------------|----|---|
| 5.1   | 幾何空間之準備<br>(Geometry preparation)            |    |   |
| 5.1.1 | Built in geometry modeling                   | √  | √ |
| 5.1.2 | Import of 2D floor plans                     | √  | √ |
| 5.1.3 | Import of 3D models                          | -  | √ |
| 5.2   | 3D 相關對應之視像<br>(3D interactive visualization) | No |   |
| 5.2.1 | Integrated / post-processor                  | -  | - |
| 5.2.2 | Supports materials/textures/transparency     | -  | √ |
| 5.3   | 資料之輸出(Data export)                           |    |   |
| 5.3.1 | Numerical data                               | √  | √ |
| 5.3.2 | x-y plots                                    | -  | - |
| 5.3.3 | 2D contour plots                             | √  | √ |
| 5.3.4 | Export of still images                       | √  | √ |
| 5.3.5 | Export of animations                         | √  | √ |

Note: “√” 代表 “有”；“-” 代表 “無”

## 5.4 軟體評估結論

SIMULEX 雖然是早期發展之產品，但其發展之進步有限，直到現在仍只能顯現基本之 2D 視像，與現階段已發展之 3D 模擬情境的比較已顯現 SIMULEX 其研發之劣勢；同時 SIMULEX 無法將煙霧資料輸入模型功能中，對模型之發展顯示明顯之缺陷；其對避難逃生路線之選擇，僅選擇距離而不考慮時間因素，忽略了壅塞因素所造成的影響。

STEPS 之主要特色為：一般正常營運及緊急狀況時之使用功能；屬於一般旅客於車站進出模型模擬，SIMULEX 僅為一般之緊急逃生疏散軟體，而 STEPS 能與 CFD 相結合，將 CFD 之煙霧之輸出檔案輸入進 STEPS，並進行相關之避難逃生模擬，同時，STEPS 之 3D 模擬更顯現其功能之優異是無庸置疑的。

STEPS 包含永久的許可執照，其後之版本更新，及售後之諮詢服務等。基於本研究案之要求，相關之 CFD 與避難逃生疏散模擬軟體需合併結合作業，且 STEPS 之功能，在模型建立時較切合實際狀態，並考量在人員特質分析 (Human Factor) 遠較 SIMULEX 完整，諸如樓層配置之輸入，3D 模擬才能反應實際狀態；人員特質考慮了耐性，移動速度，於選擇路線時特別加以考量；人員的避難逃生，非僅只考慮距離，選擇逃生出口時，時間也是重要之因素；同時，STEPS 3D 模擬之視像顯現，功能優異是無庸置疑的。相關避難逃生疏散軟體之評估，研究團隊建議選擇 STEPS 避難逃生疏散軟體，並搭配 CFD 煙霧軟體共同使用。



## 附錄 6 STEPS 軟體之原理及功能介紹

### 7.1 STEPS 軟體之原理

STEPS 系統是一套應用三維空間預測虛擬離散人群流動方法所建構之實體基礎模型，對照諸如 Pedroute 等以連續流量所建構之前世代預測模式，大幅改善了對實際人群流動的解析能力，並可對人群流動的關鍵細節資訊提供了更為微妙而精要的解釋能力。

此一方法借用了源自可以完善建構有關人群動力學的「細胞自動機」理論，行人群眾就像很多由獨立個體組成的自我組織，由許多單一決定論或非決定論且被人群們所遵從的原則，展現出複雜的緊急應變行為模式，STEPS 可以有效模擬並重現人群在緊急狀況下的行為模式，本模型方法已經藉由與許多國際設計標準與全尺寸測試的解決方案比對後，獲得驗證與效力。

STEPS 軟體含有疏散與正常營運模式，其相關應用方式及功能說明如下：  
STEPS 的 2 個關鍵模式包括：

- 正常模式
- 疏散模式

正常模式是較普遍的。在疏散模式中，STEPS 實體是被架構為確保逃生路徑是通往其所知最近的可用出口，其移動方式係隨著前述實體本身獨立的行為準則而調整。正常模式下實體將跟隨模式中的各種路徑，以便滿足其不同目標(例如：進站、購票然後到指定的月台)。可見正常模式下模型的創立需要較顯著大量的使用者輸入以便定義到達模式和實體的最終目的地，以上資訊將包含在使用者所開設的系統資訊矩陣表中。

正常模式下，出口和檢查點設有一個標籤號碼，當人們被加入此一模型，即被給定一個初始目標標籤，並只能朝此出口和檢查點標籤移動，軟體注意系統資訊矩陣表以便發現下一個目標，此過程將被不斷重複，直到人們透過系統出口離開模型。

特別記得相同的標籤號碼可被數個不同的出口和檢查點所指派，例如，某人在搭車前需要先購票，則數個購票亭在模型中皆可能被設為相同的標籤號碼。該旅客將選擇那一座購票亭係根據 STEPS 計算邏輯所描述的演算法。

在疏散模式中，將不使用檢查點和標籤號碼，人們在所在位置平面上尋找最感興趣的可用出口，他們在現場中對於模型並沒有整體性觀點，他們無法直接找到每個可用的系統出口，而需透過尋找路徑來到達出口。他們會在平面與平面之間移動，直到找到某個可用的系統出口。疏散模式中，如 overcrowded，可於模型內增加 Locks Solver Depth 予以處理解決。

STEPS 本質上以三維空間作為模型基礎，以反應其複雜的現代技術架構，空間幾何分為「平面」和「路徑」2 種實體，「平面」用於建構人群移動位置的表面，包括樓層、月台、階梯等無法被單一平面表示的構造，可以依需要設定固定或變動的坡度。

### 7.2 STEPS 軟體之功能

STEPS 在建立模型時基本上是物件導向的，它並不像一般的程式輸入一長串的參數，而是使用者建立一些簡單之物件，再將這些物件組合，以完成模型中複雜之狀況。物件中屬於相同型態者群組於同一類型中，無論編輯、再使用或刪除，都可以在其內之對談區塊中進行，對使用者而言，建立模型後均有其相當方便之再使用功能。

STEPS 之主要物件包含：

27. 分布 (Distributions)
28. 曲線 (Curves)
29. 人員型態 (People Types)
30. 人員群組 (People Groups)
31. 家庭 (Families)
32. 形狀 (Shapes)
33. 網狀 (Meshes)
34. 平面 (Planes)
35. 路徑 (Routes)
36. 矩陣 (Matrix)
37. 通路 (Access)
38. 阻礙物 (Blockages)
39. 位置 (Locations)
40. 連結 (Junctions)
41. 電梯 (Lifts)
42. 電聯車 (Trains)
43. 車輛元件型態 (Vehicles Element Types)
44. 車輛 (Vehicles)
45. 項目 (Items)
46. 群組 (Groups)
47. 參數 (Variables)
48. 狀態 (Conditions)
49. 展示 (Displays)
50. 警告 (Alerts)
51. 標示 (Labels)
52. 輸出 (Output)

以下對各主要物件分別說明：

#### **7.2.1 分布 (Distributions)**

分布(Distributions)，基本上是指定數值之範圍而不僅僅指定單一之特定值，舉例來說，一群人當定義其行走速度時，行走速度之設定，較符合實際的是設定於 1.0 m/s 及 1.3 m/s 之間，而不僅僅設定單一值。分布通常能將某一特定事件之影響散佈而與時間相關；當加入一群人於模型時，可以選擇立刻加入或者隨著時間分批的加入。在 STEPS 程式中，有三種型態均勻 Uniform)，正常(Normal)及紀錄正常(Log Normal)之分布可供選擇。其參數之調整可考量我國國情與國民習性不同，而做客觀之修正。

#### **7.2.2 曲線 (Curves)**

曲線 (Curves)通常是用於指定 2 個參數之間的關係，程式中相關之物件可以利用曲線來定義其參數之間的關係。舉例來說，人員型態(People Types)可以利用三種不同型態之曲線：速度/距離，速度/距離及速度/煙氣。

### 7.2.3 人員型態 (People Types)

人員型態 (People Types)是用於當模擬時有不同種類之人分布於其中，這些人員型態當建立人員群組模型時，依特定次數之建立並加以組合。每一個人員型態在模擬時可指定不同之顏色，其也能依據寬度、深度及高度來代表這種型態人員之大小。在決策路線過程中，耐性(Patience)因素，會藉模擬目標區排隊等待人員之耐性或不耐性，而成為影響因素。其參數之調整亦可考量我國國情與國民習性不同，而做客觀之修正。

當模擬進行時，人員型態會有七種 3D 之視像

1. 人員拄著拐杖
2. 人員
3. 人員在輪椅上
4. 人員帶著公事包
5. 人員帶著 2 輪之行李箱
6. 人員帶著四輪之行李箱
7. 人員帶著推車

模型中每一種人員型態會有不同之行走速度，這些行走速度可以在平面及路徑中，藉指定速度索引而個別加以指定。

### 7.2.4 人員群組 (People Groups)

人員群組 (People Groups)是模型建立時，可指定群組之人數，模式建立之時，各群組人數之指定是必要的，為容易起見，在群組人數之指定同時可以採用分數比例之方式輸入。

### 7.2.5 家庭 (Families)

家庭 (Families)是用於當建立模型人員群組時，當移動時會嘗試待在一起，假設在相同平面一開始家在不同之處，當移動時即會重新團聚，但如果在不同平面則不具備此功能。

當同一平面之人群屬於同一家庭時，其一會指定為家庭之首，其他家庭內之成員會常是跟隨家庭之首，一開始家庭成員即嘗試聚集，當家庭之首等待其他家庭成員時，其他家庭成員即會朝向家庭之首移動。當家庭成員重聚時，家庭之首朝向平面中某一出口移動時，其他家庭成員也相同的朝向平面中這一出口移動。

### 7.2.6 形狀 (Shapes)

形狀 (Shapes)是由 (X,Y,Z)座標所訂定，有三種不同之形狀：

1. 開放式：此種形狀是由直線區塊所連結。
2. 封閉式：此種形狀如開放式，但其起點及終點是由直線區塊所連結，此形狀即成封閉式。
3. 充滿式：此種形狀亦如封閉式，為其外圍輪廓亦屬於此形狀之部分。

### 7.2.7 網狀 (Meshes)

網狀 (Meshes)是當建立模型時，為附屬物件之群組，此種網狀第一個是 3D 之頂端，第二個即是連結第一個頂端之三角形狀，其間之相連，需指定三個頂端之座標位置。

### 7.2.8 平面 (Planes)

平面 (Planes)是模擬時人員行走的平面，基本之平面是對 Z 軸四方直角的，單實際上是可依據形狀定義更多複雜之平面。

當利用一個形狀時，其代表平面之中心線，形狀之厚度即給了平面之寬度，提醒的是當建立走廊模型時，沿著其長度，寬度需維持常數。

### 7.2.9 路徑 (Routes)

路徑 (Routes)是 STEPS 用以模擬階梯及未指定方向之走廊，但建議使用者利用形狀及平面來模擬較佳。路徑仍可用以模擬電扶梯，在路徑中，基本上是由 2 點所決定，其行走速度已予設定，因防止人員在路徑上互相重疊，即便行走速度快的人，其位置在後，也無法超越雖在前而行走速度較慢之人。

此功能可提供全部疏散或部分疏散之情境分析使用，亦即可配合臺北車站大樓所實施樓層及整棟避難安全性能模擬驗證之情境分析使用，俾利與後續安全管理相結合。

### 7.2.10 矩陣 (Matrix)

矩陣 (Matrix)是指定人員之目的地，其路線雖然已經指定，但其提供更多之彈性。其之功能在指定標籤(Tag)時，STEPS 檢查相對矩陣之列，當到達指定標籤時，在此列之人數即代表到達指定標籤再往其他標籤之人數。

### 7.2.11 通路 (Access)

通路(Access)是用來指定當人員不知道平面出口，檢查點，電梯或電聯車時，對模型中定義之人員形態，相關物件之通路是可定義的，程式中已設定所有的人員之道所有之可能出口，可以指定 50%的人員形態知道某特定之平面出口。

### 7.2.12 阻礙物 (Blockages)

阻礙物 (Blockages)是用來設定平面之阻礙，因平面為四方形之表面，它們無法單獨代表地下車站之複雜環境，阻礙物之訂定即出自必要，以完整的建立特定之幾何配置，阻礙物可能是一個點，一條線，一個四方形，一個橢圓形，或者基於形狀或網狀物，一個阻礙物基本上只影響一個平面。

### 7.2.13 位置 (Locations)

位置 (Locations)是定義於平面之地帶，當於模型表面加入人員時，通常不希望散佈於各處，而只希望加在平面中特定之區域，此即為位置之由來；另外，利用位置也可計算密度及其內之人員數，此亦為計算及展示時需要之功能。

### 7.2.14 連結 (Junctions)

連結 (Junctions)是用於指定當人員到達路徑之終點時，人員會分成依各路徑行進，連結之功能即在此。

每一個連結都是於到達路徑目的地時，人員開始依所設定之百分比朝向不同之路徑移動，相關人員移動之路徑，及連結之資訊都可在建立於模型內。

### 7.2.15 電梯 (Lifts)

電梯 (Lifts)，在 STEPS 中，電梯是用來模擬實際之電梯狀態，當模型建立電梯時，尺寸、容量、加速度及起始位置均需指定，當然，也須指定到達那一層樓時電梯需停止，STEPS 之電梯功能僅能由其現行停止位置移動，如人員欲由此停止位置離去，需加以處理始能進行，如果基於某種原因人員無法自電梯中出來，此時電梯即無法移動。

### 7.2.16 電聯車 (Trains)

電聯車 (Trains) 是 STEPS 模型中實際模擬之電聯車，當在 STEPS 中建立電聯車時，需指定含多少車輛，同時須選擇形狀 (Shape) 以為電聯車之所在地，可以藉由參數之設定描述電聯車之最大速度，煞車率或加速度。

#### **7.2.17 車輛元件型態 (Vehicles Element Types)**

車輛元件型態 (Vehicles Element Types) 是用來定義一個或更多不同之車輛元件，之後再組合成車輛，每一個車輛元件形態均已指定了元件之大小，門之位置，開關時所需之時間，及開啟時之容量。

#### **7.2.18 車輛 (Vehicles)**

車輛 (Vehicles) 是模型中不同區塊用以模擬各種運送人員之車輛，雖然此種特色可指定建立火車，清軌車，甚至可建立公車，一般小客車等，當所有元件形態建立完成後，即可組合成車輛，當車輛移動時，其相關之停站處亦可一並指定。

#### **7.2.19 項目 (Items)**

項目 (Items) 為純圖像物件，其功能主要是使模型之建立更為實際，再模擬時不具有任何影響，但在用於 STEPS 簡介時即相當的有用。

#### **7.2.20 群組 (Groups)**

群組 (Groups) 是用於將不同之物件諸如平面、路徑、項目、車輛及其他物件予以整合，相關如人員數目或已離開出口之人員數目均可依據每一群組加以計算，群組之功能無論在路徑，區域或複雜模型，其功能是相當方便的。

#### **7.2.21 參數 (Variables)**

參數 (Variables) 是一般 STEPS 在程式運用時很基本之設定，參數如群組，檢查點，電梯，位置，路徑，平面，平面出口，路線，車輛等於模擬時均可顯示，監測並加以儲存。

#### **7.2.22 狀態 (Conditions)**

狀態 (Conditions) 是用於當觸發某一行動時將其變數可加以比較，狀態與變數之比較為模擬時常需要的。

#### **7.2.23 展示 (Displays)**

展示 (Displays) 之功能主要在當模擬程式執行時，可展現於螢幕同時其相關之位置也可加以指定。

#### **7.2.24 警告 (Alerts)**

警告 (Alerts) 之功能主要再設定某種條件符合時顯示於螢幕，其功能相當有效，舉例來說，當模擬複合建築物疏散時，可設定那一樓層已完全淨空。

#### **7.2.25 標示 (Labels)**

標示 (Labels) 之主要功能即在模型動態展示時，可於螢幕加以說明，這項功能再展示結果時相當有用。

#### **7.2.26 輸出 (Output)**

輸出 (Output) 是用於指定某些結果儲存於結果檔案中，當 STEPS 模擬程式執行時，相關重要值之計算會寫在檔案中，輸出值之頻率可由使用者指定，如欲監測，亦可指定起始與結束時間，就其指定之結果輸出值，就其頻率及起始時間、終止時間加以儲存。

### **7.3 STEPS 程式之輸入參數**

STEPS 程式之輸入參數基本上分為五大類，車站空間幾何、電聯車、環境影響參數、乘客參數及其他運轉參數。

### 7.3.1 車站空間幾何

車站空間幾何含整體車站空間配置、尺寸、單位圖比例、房間及空間用途、出口數、各出口之驗票閘門數、驗票閘門寬度、樓梯數量、電動手扶梯數目、電動手扶梯寬度及電梯數目。

### 7.3.2 電聯車

電聯車資訊含車廂長度及寬度、車廂數目、車門開門後淨寬度、每車廂車門數、電聯車平面配置圖、結構設計載重人數。

### 7.3.3 環境影響參數

環境影響參數含車站正常通風流量、車站緊急通風流量、火災通風模式、車站正常溫度範圍及車站正常溼度範圍。

### 7.3.4 乘客參數

乘客參數含尖峰時段、車站留滯人數、乘客年齡分布、乘客年齡範圍、正常行走速度、乘客是否擁塞、手扶梯正常速度、緊急時手扶梯速度、主要通行路徑、最小行車班距及每列車在每月台的上下車人數。

### 7.3.5 其他運轉參數

其他運轉參數含緊急時驗票閘門狀態、緊急時電扶梯狀態、緊急時消防警報系統狀態及緊急時電梯狀態。

## 7.4 使用模型之建立

相關 STEPS 程式之輸入參數，使用者欲建立模型時須：

1. 由 CAD 檔案輸入 STEPS 之幾何配置
2. 建立模擬時不同之人員形態
3. 建立模擬時模型之人員群組
4. 建立人員行走之平面
5. 建立平面出口，連結各平面，並提供出口。
6. 建立檢查點，模擬人員等待時之區塊。
7. 建立電梯，載送人員至不同樓層。
8. 建立車輛，將人員從這一區載至另一區。
9. 指定模型中每一個平面出口，檢查點，電梯，及車輛之標籤。
10. 建立路線以指定模型中人員之移動，路線是由幾種層級組成，諸如標籤，平面出口，檢查點，電梯或車輛。
11. 建立位置，限制區塊人員之加入。
12. 建立人員事件，使人員於模型中活動。
13. 程式執行。

## 附錄 7 STEPS 與 NFPA 130 之比較

### PREDICTING EVACUATION TIMES – A COMPARISON OF THE STEPS SIMULATION APPROACH WITH NFPA 130

*J M Wall and N P Waterson*

*Mott MacDonald Limited, St Anne House, Wellesley Road, Croydon CR9 2UL*

*steps@mottmac.com*

#### Abstract

During a building evacuation, complex interactions occur between the evacuees and the built environment through which they move. The computer model STEPS (Simulations of Transient Evacuation and Pedestrian movementS) has been developed to simulate and visualize the evacuation of people from within complex structures such as stations, exhibition spaces, high rise buildings and stadia. It is of interest to compare the predictions of such a simulation approach with the established calculation techniques prescribed by recognized design codes.

One design standard with widespread international acceptance is the United States' National Fire Protection Association 130 "Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems" [1], referred to here simply as "NFPA 130". The NFPA 130 document [1] includes a methodology for assessing egress times from stations and provides two examples of its application. Its evacuation time calculations assume station occupant loadings, uniform conservative travel speeds and load balancing of exit routes.

The present study compares the predictions of the STEPS approach with those described in [1], based on the two example cases. It is shown that when set to imitate the NFPA 130 methodology the STEPS models give quite similar predictions, though some simplifications, such as balanced use of exits, are difficult to reproduce and therefore differences exist in the results. Results are also compared with the STEPS model using its standard settings.

#### Introduction

The need to effect safe egress of occupants in the case of an emergency is a key design criterion for any large structure, in particular one that is open to the public. As buildings become increasingly complex and ambitious in design the estimation of this egress time under different conditions has become more challenging and interest has grown in the use of computer-based simulation techniques.

One such computer simulation technique is the STEPS model (Simulation of Transient Evacuation and Pedestrian Movements) presented originally by Hoffmann and Henson [2] and extensively applied since to a variety of problems [3]-[5]. This is an entity-based approach which predicts the movement of discrete individuals through a three-dimensional space. The space is divided into a series of planes joined together by paths with each plane discretized using a uniform Cartesian mesh, see Figure 1. The individuals then move across this mesh using their assigned basic walking speed (which can be different for each individual) and slowing down or stopping as they encounter other individuals.

The STEPS modelling approach allows great flexibility in modelling the movement of individuals with a variety of characteristics however restrictions can be placed on it which bring its behaviour closer to that of NFPA 130. In this way STEPS may be employed on projects where compliance with NFPA 130 is required.

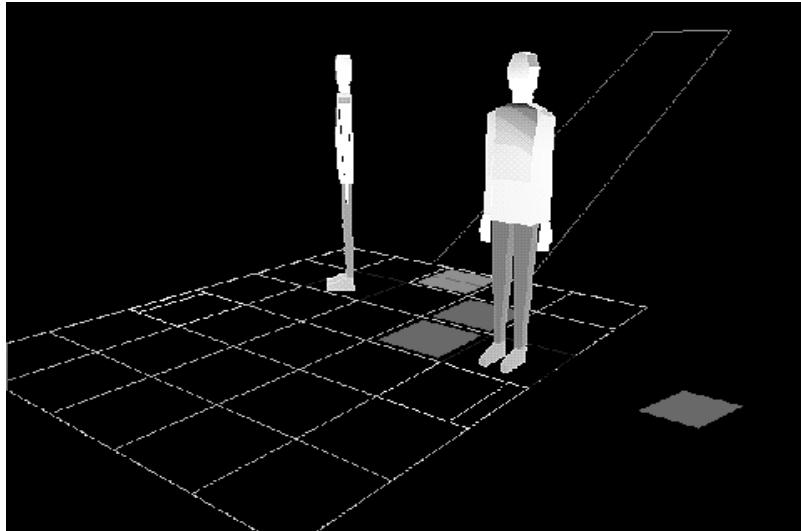
With this in mind, two questions present themselves:

- When testing a system for compliance with NFPA 130, how closely can STEPS replicate its methodology, and what is required to do so?

- When STEPS is given ‘free-reign’ by how much would it be expected to differ from the results obtained from NFPA, and why?

The NFPA 130 document provides two examples demonstrating its application with hypothetical station geometries. These models may be represented in STEPS to demonstrate the ability of the program to adhere to NFPA 130. It should also be noted that by changing the variables for exit rates and passenger travelling speeds, STEPS may be made compatible with other similar standards.

Figure 1: Illustration of STEPS plane and path arrangement



### Modeling Approach

Before describing the comparison exercise it is first necessary to outline the modelling process used in STEPS. This may be broken down into the following stages:

- Define People Types
- Define People Groups
- Define Planes
- Define Paths
- Define Plane Exits
- Define Blockages
- Define People Events
- Define Outputs

Defining the people types involves the specification of each individual in terms of their size, walking speed and level of patience. Particular types could cover classes such as the young, elderly or those who are mobility impaired. The walking speed allows each individual to move at pre-set speeds depending upon their location, for example on escalators or stairs. The patience level describes how the individual will react to the possibility of having to queue. Impatient people types are less inclined to choose an exit with a longer queuing time, even if moving to a less congested exit will take longer overall to evacuate. People types are collected together to form groups, which can be added to the model as a complete body of people via “people events”.

The geometrical space is defined in terms of two basic elements: *planes* and *paths*. Planes are used to model any surface on which people move, this could include floor space, stairs and escalators. At any location on a plane it is possible to define blockages which simply demarcate regions where no person is permitted to move. The planes themselves are broken down into square cells which in general represent the area occupied by a single person. Planes are interconnected, either directly or via paths, the latter only allowing a unidirectional flow in single file. Given these characteristics, paths provide precise control



of flow rates. Connections between the planes and paths are provided by *exits*, the flow rate through such an exit being a function of its width and capacity. The value for the capacity can be matched to that used in a particular design standard or alternatively a custom value may be specified. In addition, exits offer final egress points from the model. Once they have passed through these so-called *system exits*, people are deemed to have left the system and are removed from the model.

A decision process is followed by every individual in the system at every time step, which might occur as often as 10 times per second. For each plane exit or target on a plane, a potential is calculated at each grid cell. This potential is essentially the distance from the cell to the exit, though taking into account intervening blockages. Each target is then scored according to the time to reach it, including queuing time and accounting for reduced travel time to the beginning of the queue. The patience level is then incorporated and the final score calculated. Once the scores are determined, the target with the lowest value is set as the individual's aim. With the target chosen, the model attempts to move the person in the eight possible directions to get it closer to the target.

### Cases Considered

In the present study the two hypothetical station layouts presented in the NFPA 130 document [1] are considered and for each a STEPS model has been constructed.

#### NFPA 130 Case 1

The first case is a representation of a centre-platform station where the platform is raised above the concourse, which is at grade level. The model layout is shown in Figure 2 and summarized below:

- Platform 182.9m (600ft) long to accommodate train.
- Platform raised 9.1m (30ft) above the concourse/grade level.
- Access between platform and concourse provided by 4 stairs and 2 escalators
- Two emergency stairs for direct access between platform and grade.
- Escalators, emergency stairs and gates 1.22m (48in) wide, with capacity of 1.194p/m/s, persons/metre/second (1.82pim).
- Stairs regularly used by passengers 1.83m (72in) wide, with capacity of 1.194p/m/s.
- One escalator from platform to concourse considered inoperable/unavailable.
- Station has one concourse area containing an array of 4 ticket gates and 1 service gate.
- Capacity of the ticket gates 50ppm.
- Two emergency exits giving additional egress capacity from the concourse.
- Place of safety considered to be 3.05m (10ft) from station exits at grade level.
- Walking speed on level ground 1.0m/s (200fpm).
- Walking speeds down stairs and escalators give a vertical speed of 0.305m/s (60fpm).

Figure 2: Schematic diagram of Case 1

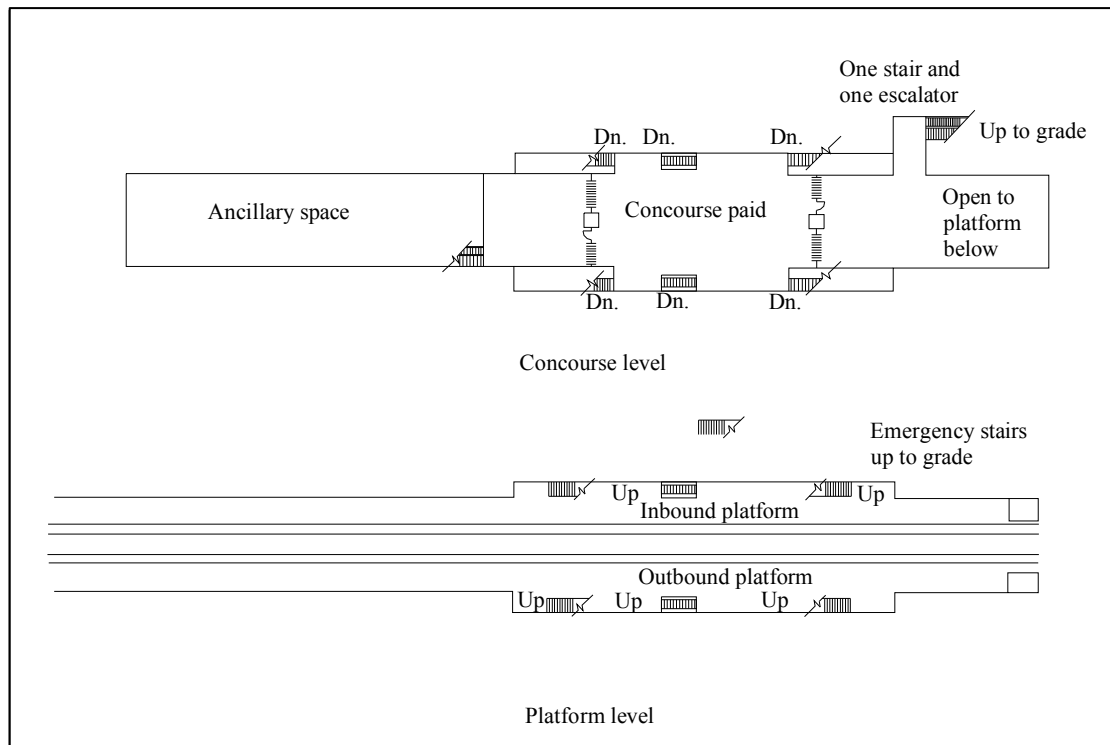
#### NFPA 130 Case 2

The second simulation is more complex and represents a side-platform station, shown in Figure 3. In this example, the concourse is below grade level and the platform is below the concourse level. In summary:

- Platforms 182.9m (600ft) long to accommodate train.
- Concourse situated 7.9m (26ft) below grade level.
- Platforms situated 5.5m (18ft) below concourse level.
- Each platform connects to concourse via two stairs and an escalator.
- Four emergency stairs (two at either end of each platform) for direct access between platform and grade.
- Escalators, emergency stairs and gates are 1.22m (48in) wide, with capacity of 1.043p/m/s, persons/metre/second (1.59pim).
- Stairs in regular use 1.83m (72in) wide, with capacity of 1.043p/m/s.
- One escalator from concourse to grade considered inoperable/unavailable.

- One concourse area containing two ticket gate arrays, each consisting of twelve turnstiles and one service gate.
- Capacity of turnstiles 25ppm.
- Place of safety considered to be 3.05m (10ft) from the station exits at grade level.
- Walking speed on level ground 1.0m/s (200fpm).
- Stairs and escalators have a vertical speed of 0.254m/s (50fpm).

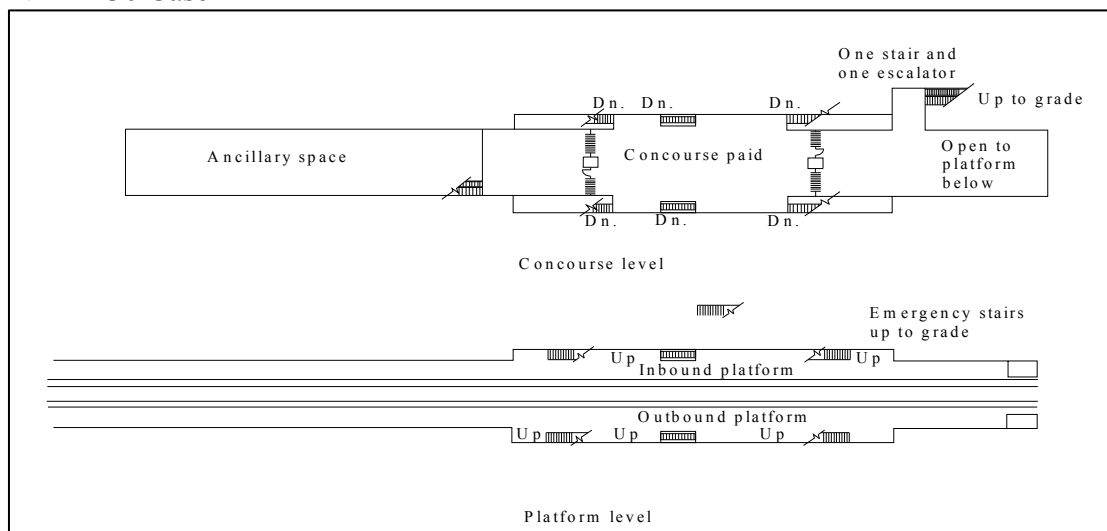
Figure 3: Schematic diagram of Case 2



## Results

In addition to describing the two example cases, the NFPA 130 document also lays out a sequence of tables and calculations detailing the process of determining the evacuation times. In order to avoid confusion arising from typographic errors which appear in [1], summaries of the calculation process are given in 0 and reference should be made to these figures which differ slightly from those in [1].

### NFPA130 Case 1



From the NFPA 130 calculations for Case 1 (see Appendix 0), the total time to clear the platform was found to be 190.7 seconds and total time to evacuate the station was found to be 239.9 seconds. An identical model generated using STEPS gave the mean time to clear the platform as 212.4 seconds and the mean complete evacuation time as 257.4 seconds, see Appendix 0. This indicates a 7.3%-11.4% difference between NFPA 130 and STEPS, with the latter being more conservative.

As the platform evacuates in STEPS, the asymmetrical geometry causes a natural imbalance in egress usage with some stairs/escalators being in use while others remain empty, see Figure 4. This contrasts with the NFPA methodology, which assumes all exits are used optimally from the instant the simulation commences. The net result is seen in the figures as the variation between NFPA and STEPS for platform evacuation times. However, the delay before total evacuation is then achieved remains comparable.

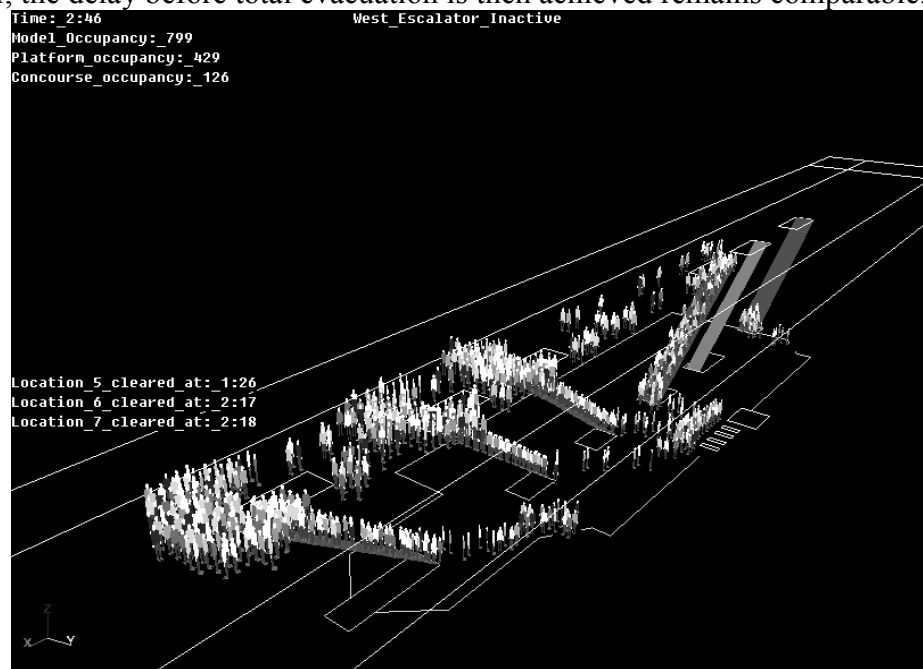


Figure 4 – Case 1, Stair/Escalator Usage  
NFPA130 Case 2

From the NFPA 130 calculations for Case 2 (see Appendix 0), the total time to clear the platform was found to be 179.8 seconds and total time to evacuate the station was found to be 369.8 seconds.

In accordance with NFPA 130, this calculation assumes that people evacuating the station are distributed evenly between the exits at the east and west ends of the station. Unlike NFPA, STEPS makes no *a priori* assumption about the split between the east and west platforms. Instead, people are distributed during the run according to the most effective exit available for each individual. Thus in order to allow an accurate comparison of the results the NFPA approach can be adjusted to reflect the less prescriptive behaviour of STEPS. Figure 5 shows the relative usage of the two exit routes. Recalculating the NFPA station evacuation times using the split indicted in Appendix 0 gives 306.3 seconds.

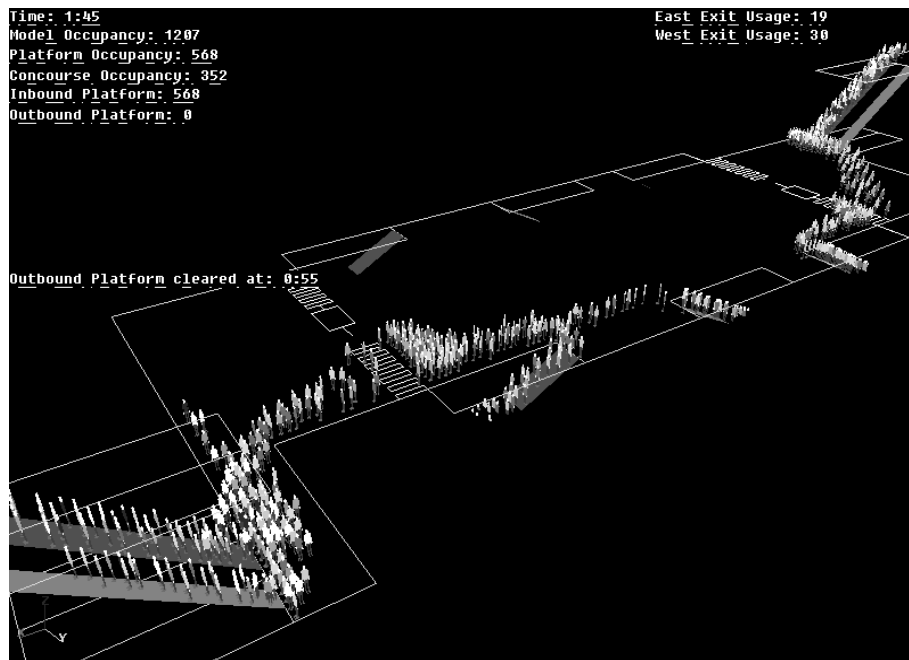


Figure 5 - NFPA Example 2, Stair/Escalator Usage

The identical model generated using STEPS gave the mean time to clear the platform as 181.4 seconds and the mean complete evacuation time as 313.2 seconds. This indicates a 0.9%-2.3% difference between NFPA 130 and STEPS with the latter being more conservative.

## Conclusion

The cases considered have highlighted two specific areas of consideration. The first is the effect of assumption in the NFPA 130 methodology concerning exit usage. In assuming an ideal usage of exits from the moment of initiating evacuation we see a reduction in evacuation time from the platform of over 10%. This is enough to cause a design to transition from compliance to non-compliance. However the results indicate the importance of not just considering a result in isolation but also its context. Providing that the designer is aware of the limitations of an approach such as NFPA 130 then there is of course still much that can be usefully derived from its output. For particular geometries, in order to achieve NFPA 130's idealized exit usage in STEPS it would be necessary to set up similarly idealized people distributions.

Secondly, the centre platform station example demonstrates the effect of assuming passengers split equally at any given point of divergence. The results have shown that this adds almost 20% to the overall evacuation time.

From these two results, it seems clear that when suitably applied STEPS can closely reproduce figures obtained by hand using NFPA 130. However STEPS' extended movement model must be taken into account when comparing results and in some cases the NFPA 130 calculation must be adjusted to model the same case.

## References

1. NFPA 130 "Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems", 2000 Edition, National Fire Protection Association, Massachusetts, USA, 2000.
2. N A Hoffmann and D A Henson, "Simulating Transient Evacuation and Pedestrian Movements in Stations", *International Conference on Mass Transit Management*, Kuala Lumpur, Malaysia, May 1997.
3. D G Newman, N Rhodes and H A Locke, "Simulation versus code methods for predicting airport evacuation", *1<sup>st</sup> International Symposium on Human Behaviour in Fire*, Ulster, 1998.

4. N Rhodes and N A Hoffmann, "Fire Safety Engineering for the International Centre for Life", *Interflam 99*, Edinburgh, UK, 1999.
5. N Rhodes and N A Hoffmann, "Modelling Newcastle's International Centre for Life for Fire Safety", *Building Performance*, Issue 3, Winter 2000/1.

### NFPA 130 Case 1

#### Input

Total platform occupancy load = 2498 people.

#### Platform to Concourse

| Element          | No. of units | Width (m) | Flow Rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|------------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Stairs down      | 4            | 1.829     | 1.194             | 8.734          |
| Escalator down   | 1            | 1.219     | 1.194             | 1.456          |
| Emergency stairs | 2            | 1.219     | 1.194             | 2.911          |
| <b>Total</b>     |              |           |                   | <b>13.102</b>  |

#### Through Fare Barriers

| Element         | No. of units | Width (m) | Flow Rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|-----------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Ticket gates    | 4            | 1 (array) | 50 (ppm)          | 3.333          |
| Service gates   | 1            | 1.219     | 1.490             | 1.816          |
| Emergency gates | 2            | 1.829     | 1.490             | 5.448          |
| <b>Total</b>    |              |           |                   | <b>10.597</b>  |

#### Walking Time for Longest Route

| Element                             | Distance (m) | Speed (m/s) | Time taken (s) |
|-------------------------------------|--------------|-------------|----------------|
| T <sub>1</sub> (on platform)        | 41.453       | 1.016       | 40.800         |
| T <sub>2</sub> (on stairs)          | 9.144        | 0.305       | 30.000         |
| T <sub>3</sub> (on concourse)       | 16.459       | 1.016       | 16.200         |
| T <sub>4</sub> (on grade to safety) | 3.048        | 1.016       | 3.000          |
| <b>Total</b>                        |              |             | <b>90.000</b>  |

#### NFPA Results

$$\begin{aligned}
 W_1, \text{ Time to clear platform} &= \text{Platform occupancy load} / \text{Platform exit rate} \\
 &= 2498 / 13.102 \\
 &= 190.665 \text{ seconds} = 3\text{m } 11\text{s} \\
 W_p, \text{ Waiting time at platform exits} &= W_1 - T_1 \\
 &= 190.665 - 40.800 \\
 &= 149.865 \text{ seconds} \\
 \text{Concourse occupancy load} &= \text{Platform occupant load} - (W_1 * \text{Emergency stair} \\
 \text{capacity}) &= 2498 - (190.665 * 2.911) \\
 &= 1942.889 \\
 &= 1943 \text{ people} \\
 W_2, \text{ Fare barrier flow time} &= \text{Concourse occupancy load} / \text{Ticket area exit capacity} \\
 &= 1943 / 10.597 \\
 &= 183.348 \text{ seconds} \\
 W_f, \text{ Waiting time at fare barriers} &= W_2 - W_1 \\
 &= 183.348 - 190.665 \\
 &= 0 \text{ seconds} \\
 T, \text{ Walking time} &= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \\
 &= 40.800 + 30.000 + 16.200 + 3.000 \\
 &= 90.000 \text{ seconds} \\
 \text{Total time taken} &= T + W_p + W_f \\
 &= 90.000 + 149.865 + 0 \\
 &= 239.865 \text{ seconds}
 \end{aligned}$$

Total time taken = 4m 00s

### Sample STEPS Results

Using the STEPS model available with this document, the following evacuation times were recorded:

| Run No.     | Evacuation time [s] |              |
|-------------|---------------------|--------------|
|             | Platform            | Station      |
| 1           | 212.0               | 258.0        |
| 2           | 212.0               | 256.0        |
| 3           | 214.0               | 261.0        |
| 4           | 212.0               | 256.0        |
| 5           | 212.0               | 256.0        |
| <b>Mean</b> | <b>212.4</b>        | <b>257.4</b> |

## NFPA 130 Case 2

### Input

Platform occupancy load,  $P_I = 1372$  people (Inbound platform)

Platform occupancy load,  $P_O = 228$  people (Outbound platform)

### Inbound Platform to Concourse

| Element          | No. of units | Width (m) | Flow Rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|------------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Stairs up        | 2            | 1.829     | 1.043             | 3.816          |
| Escalator up     | 1            | 1.219     | 1.043             | 1.272          |
| Emergency stairs | 2            | 1.219     | 1.043             | 2.544          |
| <b>Total</b>     |              |           |                   | <b>7.632</b>   |

### Outbound Platform to Concourse

| Element          | No. of units | Width (m) | Flow Rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|------------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Stairs up        | 2            | 1.829     | 1.043             | 3.816          |
| Escalator up     | 1            | 1.219     | 1.043             | 1.272          |
| Emergency stairs | 2            | 1.219     | 1.043             | 2.544          |
| <b>Total</b>     |              |           |                   | <b>7.632</b>   |

### West Through Fare Barriers

| Element         | No. of units | Width (m) | Flow Rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|-----------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Turnstiles      | 12           | 1 (array) | 25 (ppm)          | 5.000          |
| Service gates   | 1            | 1.219     | 1.490             | 1.816          |
| Emergency gates | 0            | 1.829     | 1.490             | 0              |
| <b>Total</b>    |              |           |                   | <b>6.816</b>   |

### East Through Fare Barriers

| Element         | No. of units | Width (m) | Flow Rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|-----------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Turnstiles      | 12           | 1 (array) | 25 (ppm)          | 5.000          |
| Service gates   | 1            | 1.219     | 1.490             | 1.816          |
| Emergency gates | 0            | 1.829     | 1.490             | 0              |
| <b>Total</b>    |              |           |                   | <b>6.816</b>   |

### West Fare Barriers to Safe Area

| Element          | No. of units | Width (m) | Flow Rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|------------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Stairs up        | 1            | 1.829     | 1.043             | 1.908          |
| Escalator up     | 0            | 1.219     | 1.043             | 0              |
| Emergency stairs | 0            | 1.219     | 1.043             | 0              |
| <b>Total</b>     |              |           |                   | <b>1.908</b>   |

### East Fare Barriers to Safe Area

| Element      | No. of units | Width (m) | Flow Rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|--------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Stairs up    | 1            | 1.829     | 1.043             | 1.908          |
| Escalator up | 1            | 1.219     | 1.043             | 1.272          |

|                  |   |       |       |              |
|------------------|---|-------|-------|--------------|
| Emergency stairs | 0 | 1.219 | 1.043 | 0            |
| <b>Total</b>     |   |       |       | <b>3.180</b> |

#### West System Exit – Walking Time for Longest Route

| Element                                 | Distance (m) | Speed (m/s) | Time taken (s) |
|-----------------------------------------|--------------|-------------|----------------|
| T <sub>1</sub> (on platform)            | 50.292       | 1.016       | 49.500         |
| T <sub>2</sub> (on stairs to concourse) | 5.486        | 0.254       | 21.600         |
| T <sub>3</sub> (on concourse)           | 35.052       | 1.016       | 34.500         |
| T <sub>4</sub> (on stairs to grade)     | 7.925        | 0.254       | 31.200         |
| T <sub>5</sub> (on grade to safety)     | 3.048        | 1.016       | 3.000          |
| <b>Total</b>                            |              |             | <b>139.800</b> |

#### East System Exit – Walking Time for Longest Route

| Element                                 | Distance (m) | Speed (m/s) | Time taken (s) |
|-----------------------------------------|--------------|-------------|----------------|
| T <sub>1</sub> (on platform)            | 18.288       | 1.016       | 18.000         |
| T <sub>2</sub> (on stairs to concourse) | 5.486        | 0.254       | 21.600         |
| T <sub>3</sub> (on concourse)           | 39.624       | 1.016       | 39.000         |
| T <sub>4</sub> (on stairs to grade)     | 7.925        | 0.254       | 31.200         |
| T <sub>5</sub> (on grade to safety)     | 3.048        | 1.016       | 3.000          |
| <b>Total</b>                            |              |             | <b>112.800</b> |

#### NFPA Results

$$\begin{aligned}
 W_1, \text{ Time to clear platform,} &= \text{Platform occupancy load} / \text{Platform exit capacity} \\
 \text{Inbound} &= 1372 / 7.632 = 179.769 \text{ seconds} = 3\text{m } 00\text{s} \\
 \text{Outbound} &= 228 / 7.632 = 29.874 \text{ seconds} \\
 W_p, \text{ Waiting time at platform exits} &= W_1 - T_1 \\
 \text{Inbound} &= 179.769 - 49.500 = 130.269 \text{ seconds} \\
 \text{Outbound} &= 29.874 - 18.000 = 11.874 \text{ seconds} \\
 \text{Concourse occupancy load} &= \text{Platform occupant load} - (W_1 * \text{Emergency stair capacity}) \\
 \text{Inbound} &= 1372 - (179.769 * 2.544) \\
 &= 914.667 = 915 \text{ people} \\
 \text{Outbound} &= 228 - (29.874 * 2.544) \\
 &= 152 \text{ people} \\
 \text{Total concourse occupancy load} &= 915 + 152 = 1067 \text{ people} \\
 W_2, \text{ Fare barrier flow time} &= \text{Concourse occupancy load} / \text{Ticket area exit capacity} \\
 \text{West} &= 533^1 / 6.816 = 78.247 \text{ seconds} \\
 \text{East} &= 533 / 6.816 = 78.247 \text{ seconds} \\
 W_f, \text{ Waiting time at fare barriers} &= W_2 - W_1 \\
 \text{West} &= 78.247 - 179.769 = 0 \text{ seconds} \\
 \text{East} &= 78.247 - 29.874 = 48.373 \text{ seconds} \\
 W_3, \text{ Time to exit concourse} &= \text{Concourse occupancy load} / \text{Concourse exit capacity} \\
 \text{West} &= 533 / 1.908 = 279.525 \text{ seconds} \\
 \text{East} &= 533 / 3.180 = 167.715 \text{ seconds} \\
 W_c, \text{ Waiting time at concourse exits,} &= W_3 - (W_1 \text{ or } W_2)_{\max} \\
 \text{West} &= 279.525 - 179.769 = 99.755 \text{ seconds} \\
 \text{East} &= 167.715 - 78.247 = 89.468 \text{ seconds} \\
 T, \text{ Walking time} &= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 \\
 \text{West} &= 139.800 \text{ seconds} \\
 \text{East} &= 112.800 \text{ seconds} \\
 \text{Total time taken} &= T + W_p + W_f + W_c
 \end{aligned}$$

<sup>1</sup> NFPA assumes an even split of evacuees between the east and west platforms.

$$\begin{aligned}
&\text{West} &&= 139.800 + 130.269 + 0 + 99.755 = 369.825 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 112.800 + 11.874 + 48.373 + 89.468 = 262.515 \text{ seconds} \\
&\text{Total time taken} &&= 369.825 \text{ seconds} \\
&&&= 6\text{m } 10\text{s}
\end{aligned}$$

### Sample STEPS Results

Using the STEPS model available with this document, the following evacuation times were recorded:

| Run No.     | Evacuation time [s] |              | Exit Usage |            |
|-------------|---------------------|--------------|------------|------------|
|             | Platform            | Station      | East       | West       |
| 1           | 182.0               | 314.0        | 661        | 423        |
| 2           | 181.0               | 313.0        | 659        | 407        |
| 3           | 182.0               | 314.0        | 659        | 410        |
| 4           | 180.0               | 313.0        | 663        | 407        |
| 5           | 182.0               | 312.0        | 658        | 414        |
| <b>Mean</b> | <b>181.4</b>        | <b>313.2</b> | <b>660</b> | <b>412</b> |

The end results for final exit usage are shown in the table above. In the light of these results, the latter stages of the NFPA calculation may be modified as follows.

$$\begin{aligned}
W_2, \text{ Fare barrier flow time} &= \text{Concourse occupancy load} / \text{Ticket area exit capacity} \\
&\text{West} &&= 412 / 6.816 = 60.475 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 660 / 6.816 = 96.831 \text{ seconds} \\
W_f, \text{ Waiting time at fare barriers} &= W_2 - W_1 \\
&\text{West} &&= 60.475 - 179.769 = 0 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 96.831 - 29.874 = 66.957 \text{ seconds} \\
W_3, \text{ Time to exit concourse} &= \text{Concourse occupancy load} / \text{Concourse exit capacity} \\
&\text{West} &&= 412 / 1.908 = 216.038 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 660 / 3.180 = 207.547 \text{ seconds} \\
W_c, \text{ Waiting time at concourse exits,} &= W_3 - (W_1 \text{ or } W_2)_{\max} \\
&\text{West} &&= 216.038 - 179.769 = 36.268 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 207.547 - 96.831 = 110.716 \text{ seconds} \\
T, \text{ Walking time} &= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 \\
&\text{West} &&= 139.800 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 112.800 \text{ seconds} \\
\text{Total time taken} &= T + W_p + W_f + W_c \\
&\text{West} &&= 139.800 + 130.269 + 0 + 36.268 = 306.338 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 112.800 + 11.874 + 66.957 + 110.716 = 302.347 \\
&\text{seconds} \\
\text{Total time taken} &= 306.338 \text{ seconds} \\
&= 5\text{m } 06\text{s}
\end{aligned}$$



## **附錄 8 STEPS 與 NFPA 130-07 之比較**

### **PREDICTING EVACUATION TIMES – A COMPARISON OF THE STEPS SIMULATION APPROACH WITH THE NFPA 130-07**

#### **1. Introduction**

This study compares the predictions of the STEPS program on the evacuation times of a station with the results obtained by the NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems (2007 Edition).

Two STEPS models were created to simulate the evacuation of two hypothetical stations presented in the NFPA 130. A first set of tests were carried out with a number of restrictions on the walking speeds, exit flow rates and evacuation routes to determine how closely STEPS can replicate the NFPA behaviour. A second set of tests were performed with the STEPS standard settings to evaluate the differences with the NFPA and determine the reasons of those differences.

#### **2. Cases Considered**

The two NFPA 130 example cases considered in the present study are presented below.

##### **2.1. Example Case 1**

Example Case 1 features:

- The platform is 183m (600ft) long to accommodate the train.
- The platform is raised 9m (30ft) above the concourse/grade level.
- Access between platform and concourse is provided by 4 stairs and 2 escalators
- There are two emergency stairs for direct access between platform and grade.
- Escalators and emergency stairs are 1.22m (48in) wide, with a capacity of 0.925p/m/s, persons/metre/second (1.41pim).
- Stairs regularly used by passengers are 1.83m (72in) wide, with a capacity of 0.925p/m/s.
- One escalator from platform to concourse is considered inoperable/unavailable.
- The station has one paid concourse area containing an array of 4 ticket gates and 1 service gate.
- The capacity of the ticket gates is 50ppm.
- Gates are 1.22m (48in) wide, with a capacity of 1.49p/m/s.
- There are two emergency exits giving additional egress capacity from the concourse.
- Passengers are considered in a place of safety once 3.05m (10ft) from the station exits at grade level.
- Walking speed on level ground is 0.63m/s (124fpm), except on the concourse level where it is 1.016 m/s (200 fpm).
- Walking speeds down stairs and escalators give a vertical speed of 0.244m/s (48fpm).

##### **2.2. Example Case 2**

Example Case 2 features:

- The platforms are 183m (600ft) long to accommodate the train.
- The concourse is situated 8m (26ft) below the grade level.
- The platforms are situated 5.5m (18ft) below concourse level.
- Each platform connects to the concourse via 2 stairs and an escalator.

- There are 4 emergency stairs (2 at either end of each platform) for direct access between platform and grade.
- Escalators and emergency stairs are 1.22m (48in) wide, with a capacity of 0.925p/m/s, persons/metre/second (1.41pim).
- Stairs regularly used by passengers are 1.83m (72in) wide, with a capacity of 0.925p/m/s.
- One escalator from concourse to grade is considered inoperable/unavailable.
- The station has one paid concourse area containing 2 ticket gate arrays, each consisting of 12 turnstiles and 1 service gate.
- The capacity of the turnstiles is 25ppm.
- Gates are 1.22m (48in) wide, with a capacity of 1.49p/m/s.
- Passengers are considered in a place of safety once 3.05m (10ft) from the station exits at grade level.
- Walking speed on level ground is 0.63m/s (124fpm), except on the concourse level where it is 1.016 m/s (200 fpm).
- Walking speeds up stairs and escalators give a vertical speed of 0.244m/s (48fpm).

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Example Case 1

From the NFPA 130 calculations for Example Case 1 (see Appendix A), the total time to clear the platform was found to be 228.0 seconds and the total time to evacuate the station was found to be 286.5 seconds.

##### 3.1.1. Model set to imitate the NFPA

An identical model was generated in STEPS and was set to imitate the NFPA (refer to Appendix C for the STEPS settings used).

STEPS gave the time to clear the platform as 227.3 seconds and the complete evacuation time as 277.6 seconds (see Appendix A.3). This indicates a -0.3% and -3.1% difference respectively between NFPA 130 and STEPS, with the first being more conservative. These results prove that STEPS can closely replicate the NFPA behaviour when set to do so.

##### 3.1.2. STEPS standard settings

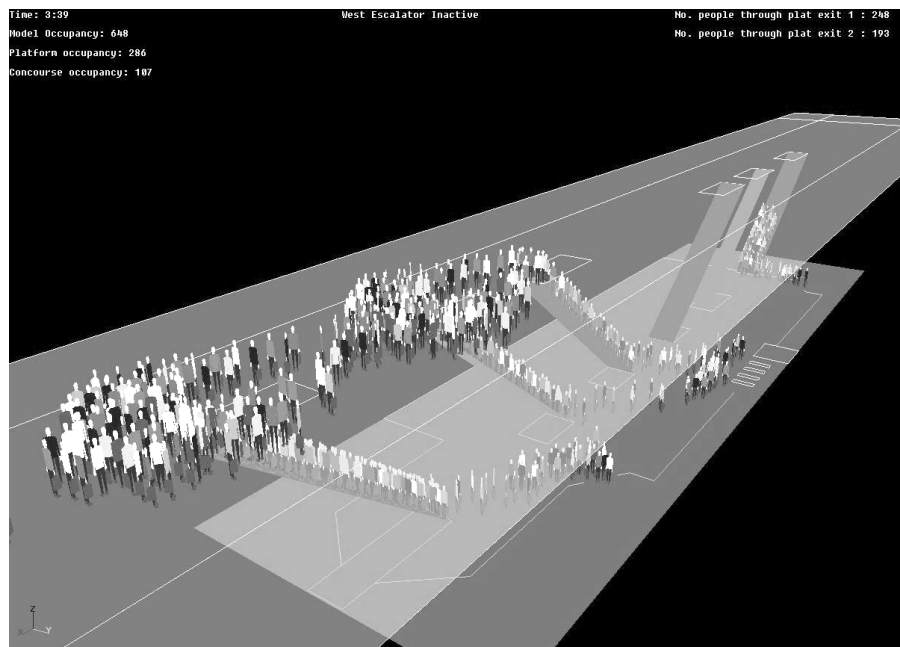
The same model was used to carry out additional evacuation simulations with the STEPS standard settings (refer to Appendix C). The results obtained were found to be very different from the NFPA ones for the platform evacuation time and very similar to the NFPA ones for the complete evacuation time. It was observed that the choice of escalator made unavailable during evacuation had an impact on the results.

When escalator 1 was made unavailable, STEPS gave the time to clear the platform as 262.6 seconds and the complete evacuation time as 283.7 seconds (see Appendix A.3). This indicates a 15.2% and -1.0% difference respectively between NFPA 130 and STEPS, with the first being more conservative for the complete evacuation time and the latter being much more conservative for the platform evacuation time.

When escalator 2 was made unavailable, STEPS gave the time to clear the platform as 280.3 seconds and the complete evacuation time as 294.4 seconds (see Appendix A.3). This indicates a 22.9% and 2.8% difference respectively between NFPA 130 and STEPS, with the latter being more conservative.

The rather large difference between the predicted platform evacuation times can be explained by the NFPA 130 assumption that all exits are used optimally from the moment the simulation starts. This differs from STEPS where, due to the asymmetrical geometry of the platform, the people evacuating towards the nearest exit with the smallest waiting time create a natural imbalance in egress usage with some stairs and/or escalators being in use while others remain empty (see Figure 1).

This asymmetrical geometry is the reason why the choice of the escalator made unavailable during the evacuation makes a difference in the evacuation time. In STEPS, people are added randomly on the platform plane, meaning that initially there are more people on the longer side of the platform. Therefore when all exits are available, more people will evacuate through the exits located on the longer side of the platform. As a result, if the escalator made unavailable is located on the longer side of the platform, either more people will have to use the exits on that side of the platform, or else people will travel to one of the exits located on the other side of the platform. Either way, the evacuation time will be much longer than if the escalator on the shorter side of the platform is made unavailable.



**Figure 1 – Case 1, Stair/Escalator Usage (escalator 1 unavailable, escalator 2 in use)**

While the platform evacuation times predicted by STEPS were much more conservative than the NFPA ones, STEPS produced very similar complete evacuation times. This is mainly due to the Fruin walking speed distribution used, which produces much higher walking speeds. Its effect is not obvious on the platform level as the pedestrian movements are limited by the platform exit capacity. This can be seen by the significant waiting time at platform exits in the NFPA calculations (refer to Appendix A.2). However, on the stairs/escalators and concourse levels, there is no waiting time at the exits, which means that people are free to move at their maximum walking speed, therefore their walking time is reduced, and consequently the evacuation time is smaller.

### **3.1.3. STEPS standard settings with the speed-distance curve**

Additional tests on the standard settings model were carried out with the Thompson speed-distance curve to evaluate its effect on the evacuation times.

When escalator 1 was made unavailable, STEPS gave the time to clear the platform as 266.0 seconds and the complete evacuation time as 297.6 seconds (see Appendix A.3). This indicates a 1.3% and 4.9% difference respectively with the standard settings results.

When escalator 2 was made unavailable, STEPS gave the time to clear the platform as 290.3 seconds and the complete evacuation time as 308.8 seconds (see Appendix A.3). This indicates a 3.6% and 4.9% difference respectively with the standard settings results.

These results indicate that the use of the Thompson speed-distance curve produce more conservative evacuation times. This can be explained by the fact that the pedestrian walking speed is reduced when the distance between two people becomes smaller, i.e. in high-density areas, which leads to an increase of the total walking time and therefore an increase of the total evacuation time.

### **3.2. Example Case 2**

From the NFPA 130 calculations for Example Case 2 (see Appendix B), the total time to clear the platform was found to be 202.8 seconds and the total time to evacuate the station was found to be 405.1 seconds.

#### **3.2.1. Model set to imitate the NFPA**

An identical model was generated in STEPS and was set to imitate the NFPA. It included the following NFPA assumptions: an optimal use of exits on the platform level and an even split of evacuees between the east and the west platforms (refer to Appendix C for the STEPS settings used).

STEPS gave the time to clear the platform as 212.2 seconds and the complete evacuation time as 411.8 seconds (see Appendix B.3). This indicates a 4.6% and 1.7% difference respectively between NFPA 130 and STEPS, with the latter being more conservative.

#### **3.2.2. STEPS standard settings**

STEPS gave the time to clear the platform as 229.3 seconds and the complete evacuation time as 312.0 seconds (see Appendix B.3). This indicates a 13.1% and -22.9% difference respectively between NFPA 130 and STEPS, with the first being more conservative for the complete evacuation time and the latter being more conservative for the platform evacuation time.

Like in Example Case 1, the more conservative platform evacuation time predicted by STEPS can be explained by the asymmetrical geometry of the platform leading to a natural imbalance of the exit usage, as well as the fact that STEPS does not use all the exits available as soon as the simulation starts, unlike the NFPA assumption that all exits are used optimally from the start of the evacuation.

Compared to the first example case, the distance covered after evacuating the platform is much larger in the second example case. Therefore the higher pedestrian walking speed used in STEPS with the standard settings has a much more significant impact on the total evacuation time. This is the reason why the STEPS complete evacuation time is much shorter than the one predicted by the NFPA, even though the platform evacuation time is longer in STEPS compared to the NFPA.

Another cause of this much shorter total evacuation time is the NFPA assumption of an even split of evacuees on the concourse level to obtain that optimal use of available exits; however it does not take into account the fact that past the fare barriers, the exit capacity of the East side is very different the one on the West side where an escalator is made unavailable. Unlike the NFPA,

people in STEPS exit the station in a more effective way, meaning that the evacuation time is shorter. Thus in order to accurately compare the STEPS and the NFPA results, the latter must be adjusted to the distribution of evacuees between the East and the West exits (refer to Appendix B.3, section b). The total evacuation time obtained by the NFPA in that case was found to be 341.3 seconds. This reduces the difference to -8.6%.

### 3.2.3. STEPS standard settings with the speed-distance curve

Additional tests on the standard settings model were carried out with the Thompson speed-distance curve to evaluate its effect on the evacuation times.

STEPS gave the time to clear the platform as 249.1 seconds and the complete evacuation time as 316.6 seconds (see Appendix A.3). This indicates an 8.6% and 1.5% difference respectively with the standard settings results.

Like in Example Case 1, these more conservative evacuation time predictions are caused by the walking speed reduction when the distance between pedestrians decreases.

## 4. Conclusions

From the two test cases results, it was found that when the program settings were adjusted to imitate the NFPA 130 behaviour, STEPS could closely reproduce the figures obtained by the NFPA. This confirms that the STEPS program may be used in projects where the compliance with the NFPA, or other similar standards, is required.

Large differences were found between the STEPS and NFPA results when the standard settings were used, with STEPS giving more conservative platform evacuation times and the NFPA 130 giving more conservative complete evacuation times. These differences were caused by many factors including the main NFPA assumption on the ideal optimal use of the exits which does not always reflect people's behaviour in reality, the STEPS significantly higher walking speeds and the asymmetrical geometry of the stations.

## Appendix A NFPA 130 Example Case 1

### A.1 Input

Total platform occupancy load = 2314 people

#### Platform to Concourse

| Element          | No. of Units | Width (m) | Flow rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|------------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Stairs down      | 4            | 1.829     | 0.925             | 6.767          |
| Escalator down   | 1            | 1.219     | 0.925             | 1.128          |
| Emergency stairs | 2            | 1.219     | 0.925             | 2.255          |
| <b>Total</b>     |              |           |                   | <b>10.150</b>  |

#### Through Fare Barriers

| Element         | No. of Units | Width (m) | Flow rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|-----------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Ticket gates    | 4            | 1 (array) | 50 (p/min)        | 3.333          |
| Service gates   | 1            | 1.219     | 1.49              | 1.814          |
| Emergency gates | 2            | 1.829     | 1.49              | 5.444          |
| <b>Total</b>    |              |           |                   | <b>10.592</b>  |

### Walking Time for Longest Route

| Element                             | Distance (m) | Speed (m/s) | Time taken (s) |
|-------------------------------------|--------------|-------------|----------------|
| T <sub>1</sub> (on platform)        | 41.453       | 0.630       | 65.798         |
| T <sub>2</sub> (on stairs)          | 9.144        | 0.244       | 37.501         |
| T <sub>3</sub> (on concourse)       | 16.459       | 1.016       | 16.189         |
| T <sub>4</sub> (on grade to safety) | 3.048        | 0.630       | 4.838          |
| <b>Total</b>                        |              |             | <b>124.327</b> |

### A.2 NFPA Results

$$\begin{aligned}
 W_1, \text{ Time to clear platform} &= \text{Platform occupancy load} / \text{Platform exit rate} \\
 &= 2314 / 10.150 \\
 &= 227.980 \text{ seconds} = 3 \text{ m } 48 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_p, \text{ Waiting time at platform exits} &= W_1 - T_1 \\
 &= 227.98 - 65.798 \\
 &= 162.181 \text{ seconds}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Concourse occupancy load} &= \text{Platform occupant load} - (W_1 * \text{Emergency stairs capacity}) \\
 &= 2314 - (227.980 * 2.255) \\
 &= 1799.872 \\
 &= 1800 \text{ people}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_2, \text{ Fare barrier flow time} &= \text{Concourse occupancy load} / \text{Ticket area exit capacity} \\
 &= 1800 / 10.592 \\
 &= 169.928 \text{ seconds}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_f, \text{ Waiting time at fare barriers} &= W_2 - W_1 \\
 &= 169.928 - 227.980 \\
 &= 0 \text{ seconds}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T, \text{ Waiting time} &= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \\
 &= 65.798 + 37.501 + 16.189 + 4.838 \\
 &= 124.327 \text{ seconds}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total time taken} &= T + W_p + W_f \\
 &= 124.327 + 162.181 + 0 \\
 &= 286.508 \text{ seconds}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total time taken} = 4\text{m } 47\text{s}$$

### A.3 Sample STEPS Results

a) Model set to imitate the NFPA

| Run No. | Evacuation Time (s) |         |
|---------|---------------------|---------|
|         | Platform            | Station |
| 1       | 227.3               | 277.4   |
| 2       | 227.4               | 279.3   |
| 3       | 227.2               | 276.5   |
| 4       | 227.4               | 277.3   |
| 5       | 227.1               | 277.7   |

|             |               |               |
|-------------|---------------|---------------|
| <b>Mean</b> | <b>227.28</b> | <b>277.64</b> |
|-------------|---------------|---------------|

b) STEPS standard settings – Fruin walking speed distribution

| <b>Run No.</b><br><i>(esc 2 not working)</i> | <b>Evacuation Time (s)</b> |              |
|----------------------------------------------|----------------------------|--------------|
|                                              | Platform                   | Station      |
| 1                                            | 260                        | 288          |
| 2                                            | 261                        | 283          |
| 3                                            | 265                        | 283          |
| 4                                            | 282                        | 285          |
| 5                                            | 264                        | 294          |
| 6                                            | 273                        | 281          |
| 7                                            | 310                        | 310          |
| 8                                            | 270                        | 386          |
| 9                                            | 312                        | 312          |
| 10                                           | 306                        | 322          |
| <b>Mean</b>                                  | <b>280.3</b>               | <b>294.4</b> |

| <b>Run No.</b><br><i>(esc 5 not working)</i> | <b>Evacuation Time (s)</b> |              |
|----------------------------------------------|----------------------------|--------------|
|                                              | Platform                   | Station      |
| 1                                            | 254                        | 295          |
| 2                                            | 254                        | 272          |
| 3                                            | 254                        | 286          |
| 4                                            | 261                        | 272          |
| 5                                            | 275                        | 287          |
| 6                                            | 253                        | 284          |
| 7                                            | 253                        | 287          |
| 8                                            | 275                        | 281          |
| 9                                            | 296                        | 296          |
| 10                                           | 251                        | 277          |
| <b>Mean</b>                                  | <b>262.6</b>               | <b>283.7</b> |

c) STEPS standard settings – Fruin walking speed distribution with speed-distance curve

| <b>Run No.</b><br><i>(esc 2 not working)</i> | <b>Evacuation Time (s)</b> |              |
|----------------------------------------------|----------------------------|--------------|
|                                              | Platform                   | Station      |
| 1                                            | 295                        | 319          |
| 2                                            | 290                        | 320          |
| 3                                            | 284                        | 324          |
| 4                                            | 273                        | 299          |
| 5                                            | 311                        | 311          |
| 6                                            | 278                        | 296          |
| 7                                            | 306                        | 323          |
| 8                                            | 290                        | 296          |
| 9                                            | 295                        | 297          |
| 10                                           | 281                        | 303          |
| <b>Mean</b>                                  | <b>290.3</b>               | <b>308.8</b> |

| <b>Run No.</b><br><i>(esc 5 not working)</i> | <b>Evacuation Time (s)</b> |         |
|----------------------------------------------|----------------------------|---------|
|                                              | Platform                   | Station |
| 1                                            | 258                        | 298     |
| 2                                            | 271                        | 303     |

|             |              |              |
|-------------|--------------|--------------|
| 3           | 266          | 298          |
| 4           | 262          | 294          |
| 5           | 256          | 297          |
| 6           | 266          | 312          |
| 7           | 286          | 286          |
| 8           | 258          | 295          |
| 9           | 263          | 298          |
| 10          | 274          | 295          |
| <b>Mean</b> | <b>266.0</b> | <b>297.6</b> |

## Appendix B NFPA 130 Example Case 2

### B.1 Input

Platform occupancy load,  $P_I = 1372$  people (Inbound platform)

Platform occupancy load,  $P_O = 228$  people (Outbound platform)

#### Inbound Platform to Concourse

| Element          | No. of Units | Width (m) | Flow rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|------------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Stairs up        | 2            | 1.829     | 0.925             | 3.384          |
| Escalator up     | 1            | 1.219     | 0.925             | 1.128          |
| Emergency stairs | 2            | 1.219     | 0.925             | 2.255          |
| <b>Total</b>     |              |           |                   | <b>6.766</b>   |

#### Outbound Platform to Concourse

| Element          | No. of Units | Width (m) | Flow rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|------------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Stairs up        | 2            | 1.829     | 0.925             | 3.384          |
| Escalator up     | 1            | 1.219     | 0.925             | 1.128          |
| Emergency stairs | 2            | 1.219     | 0.925             | 2.255          |
| <b>Total</b>     |              |           |                   | <b>6.766</b>   |

#### West Through Fare Barriers

| Element         | No. of Units | Width (m) | Flow rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|-----------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Turnstiles      | 12           | 1 (array) | 25 (p/min)        | 5.000          |
| Service gates   | 1            | 1.219     | 1.49              | 1.814          |
| Emergency gates | 0            | 1.829     | 1.49              | 0.000          |
| <b>Total</b>    |              |           |                   | <b>6.814</b>   |

#### East Through Fare Barriers

| Element         | No. of Units | Width (m) | Flow rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|-----------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Turnstiles      | 12           | 1 (array) | 25 (p/min)        | 5.000          |
| Service gates   | 1            | 1.219     | 1.49              | 1.814          |
| Emergency gates | 0            | 1.829     | 1.49              | 0.000          |
| <b>Total</b>    |              |           |                   | <b>6.814</b>   |

#### West Fare Barriers to Safe Area

| Element          | No. of Units | Width (m) | Flow rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|------------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Stairs up        | 1            | 1.829     | 0.925             | 1.692          |
| Escalator up     | 0            | 1.219     | 0.925             | 0.000          |
| Emergency stairs | 0            | 1.219     | 0.925             | 0.000          |
| <b>Total</b>     |              |           |                   | <b>1.692</b>   |

#### East Fare Barriers to Safe Area



| Element          | No. of Units | Width (m) | Flow rate (p/m/s) | Capacity (p/s) |
|------------------|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Stairs up        | 1            | 1.829     | 0.925             | 1.692          |
| Escalator up     | 1            | 1.219     | 0.925             | 1.128          |
| Emergency stairs | 0            | 1.219     | 0.925             | 0.000          |
| <b>Total</b>     |              |           |                   | <b>2.819</b>   |

### West System Exit - Walking Time for Longest Route

| Element                                 | Distance (m) | Speed (m/s) | Time taken (s) |
|-----------------------------------------|--------------|-------------|----------------|
| T <sub>1</sub> (on platform)            | 50.292       | 0.630       | 79.829         |
| T <sub>2</sub> (on stairs to concourse) | 5.486        | 0.244       | 22.499         |
| T <sub>3</sub> (on concourse)           | 35.052       | 1.016       | 34.477         |
| T <sub>4</sub> (on stairs to grade)     | 7.925        | 0.244       | 32.502         |
| T <sub>5</sub> (on grade to safety)     | 3.048        | 0.630       | 4.838          |
| <b>Total</b>                            |              |             | <b>169.307</b> |

### East System Exit - Walking Time for Longest Route

| Element                                 | Distance (m) | Speed (m/s) | Time taken (s) |
|-----------------------------------------|--------------|-------------|----------------|
| T <sub>1</sub> (on platform)            | 18.288       | 0.630       | 29.029         |
| T <sub>2</sub> (on stairs to concourse) | 5.486        | 0.244       | 22.499         |
| T <sub>3</sub> (on concourse)           | 39.624       | 1.016       | 38.974         |
| T <sub>4</sub> (on stairs to grade)     | 7.925        | 0.244       | 32.502         |
| T <sub>5</sub> (on grade to safety)     | 3.048        | 0.630       | 4.838          |
| <b>Total</b>                            |              |             | <b>123.004</b> |

## B.2 NFPA Results

|                                                 |                                                               |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| W <sub>1</sub> , Time to clear platform         | = Platform occupancy load / Platform exit rate                |
| Inbound                                         | = 1372 / 6.766 = 202.8 seconds = 3m 23s                       |
| Outbound                                        | = 228 / 6.766 = 36.696 seconds                                |
| W <sub>p</sub> , Waiting time at platform exits | = W <sub>1</sub> – T <sub>1</sub>                             |
| Inbound                                         | = 202.8 – 79.829 = 122.939 seconds                            |
| Outbound                                        | = 36.696 – 29.029 = 4.667 seconds                             |
| Concourse occupancy load capacity)              | = Platform occupant load – (W <sub>1</sub> * Emergency stairs |
| Inbound                                         | = 1372 – (202.8 * 2.255)                                      |
|                                                 | = 914.729 = 915 people                                        |
| Outbound                                        | = 228 – (36.696 * 2.255)                                      |
|                                                 | = 152.010 = 152 people                                        |
| Total concourse occupancy load                  | = 915 + 152 = 1067 people                                     |
| W <sub>2</sub> , Fare barrier flow time         | = Concourse occupancy load / Ticket area exit capacity        |
| West                                            | = 534 <sup>2</sup> / 6.814 = 78.365 seconds                   |
| East                                            | = 534 / 6.814 = 78.365 seconds                                |
| W <sub>f</sub> , Waiting time at fare barriers  | = W <sub>2</sub> – W <sub>1</sub>                             |
| West                                            | = 78.365 – 202.8 = 0 seconds                                  |
| East                                            | = 78.365 – 36.696 = 44.669 seconds                            |

<sup>2</sup> NFPA assumes an even split of evacuees between the east and west platforms.

$$\begin{aligned}
W_3, \text{ Time to exit concourse} &= \text{Concourse occupancy load} / \text{Concourse exit capacity} \\
\text{West} &= 534 / 1.692 = 315.635 \text{ seconds} \\
\text{East} &= 534 / 2.819 = 189.402 \text{ seconds} \\
\\
W_c, \text{ Waiting time at concourse exits} &= W_3 - (W_1 \text{ or } W_2)_{\max} \\
\text{West} &= 315.635 - 202.8 = 112.868 \text{ seconds} \\
\text{East} &= 189.402 - 78.365 = 111.037 \text{ seconds} \\
T, \text{ Waiting time} &= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 \\
\text{West} &= 169.307 \text{ seconds} \\
\text{East} &= 123.004 \text{ seconds} \\
\\
\text{Total time taken} &= T + W_p + W_f + W_c \\
\text{West} &= 169.307 + 122.939 + 0 + 112.868 = 405.114 \text{ seconds} \\
\text{East} &= 123.004 + 4.667 + 44.669 + 111.037 = 283.377 \text{ seconds} \\
\\
\text{Total time taken} &= 405.114 \text{ seconds} \\
&= 6\text{m } 45\text{s}
\end{aligned}$$

### B.3 Sample STEPS Results

- a) Model set to imitate the NFPA

| Run No.     | Evacuation Time (s) |              |
|-------------|---------------------|--------------|
|             | Platform            | Station      |
| 1           | 212.0               | 411.0        |
| 2           | 213.0               | 413.0        |
| 3           | 211.0               | 412.0        |
| 4           | 213.0               | 412.0        |
| 5           | 212.0               | 411.0        |
| <b>Mean</b> | <b>212.2</b>        | <b>411.8</b> |

- b) STEPS standard settings – Fruin walking speed distribution

| Run No.     | Evacuation Time (s) |              | Exit Usage   |              |
|-------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|
|             | Platform            | Station      | West         | East         |
| 1           | 211                 | 313          | 426          | 655          |
| 2           | 222                 | 317          | 413          | 685          |
| 3           | 247                 | 307          | 427          | 618          |
| 4           | 235                 | 318          | 440          | 608          |
| 5           | 253                 | 297          | 398          | 631          |
| 6           | 237                 | 311          | 420          | 617          |
| 7           | 211                 | 293          | 397          | 616          |
| 8           | 230                 | 327          | 461          | 690          |
| 9           | 230                 | 332          | 470          | 641          |
| 10          | 217                 | 307          | 410          | 663          |
| <b>Mean</b> | <b>229.3</b>        | <b>312.2</b> | <b>426.2</b> | <b>642.4</b> |

The NFPA calculations can be adjusted with the exit usage above:

$$W_2, \text{ Fare barrier flow time} = \text{Concourse occupancy load} / \text{Ticket area exit capacity}$$

$$\begin{aligned}
&\text{West} &&= 426 / 6.814 = 62.516 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 642 / 6.814 = 94.214 \text{ seconds} \\
W_f, \text{ Waiting time at fare barriers} &&&= W_2 - W_1 \\
&\text{West} &&= 62.516 - 202.8 = 0 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 94.214 - 36.696 = 60.518 \text{ seconds} \\
W_3, \text{ Time to exit concourse} &&&= \text{Concourse occupancy load} / \text{Concourse exit capacity} \\
&\text{West} &&= 426 / 1.692 = 251.799 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 642 / 2.819 = 227.708 \text{ seconds} \\
W_c, \text{ Waiting time at concourse exits} &&&= W_3 - (W_1 \text{ or } W_2)_{\max} \\
&\text{West} &&= 251.799 - 202.8 = 49.032 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 227.708 - 78.365 = 133.494 \text{ seconds} \\
T, \text{ Waiting time} &&&= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 \\
&\text{West} &&= 169.307 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 123.004 \text{ seconds} \\
\text{Total time taken} &&&= T + W_p + W_f + W_c \\
&\text{West} &&= 169.307 + 122.939 + 0 + 49.032 = 341.277 \text{ seconds} \\
&\text{East} &&= 123.004 + 4.667 + 60.518 + 133.494 = 321.683 \text{ seconds} \\
\text{Total time taken} &&&= 341.277 \text{ seconds} \\
&&&= 5\text{m } 41\text{s}
\end{aligned}$$

c) STEPS standard settings – Fruin walking speed distribution with speed-distance curve

| Run No.     | Evacuation Time (s) |              | Exit Usage   |              |
|-------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|
|             | Platform            | Station      | West         | East         |
| 1           | 257                 | 314          | 391          | 651          |
| 2           | 240                 | 306          | 417          | 643          |
| 3           | 261                 | 306          | 418          | 604          |
| 4           | 237                 | 318          | 437          | 636          |
| 5           | 259                 | 306          | 419          | 647          |
| 6           | 243                 | 312          | 421          | 651          |
| 7           | 255                 | 322          | 448          | 612          |
| 8           | 247                 | 324          | 436          | 637          |
| 9           | 258                 | 316          | 432          | 620          |
| 10          | 234                 | 342          | 475          | 642          |
| <b>Mean</b> | <b>249.1</b>        | <b>316.6</b> | <b>429.4</b> | <b>634.3</b> |

## Appendix C STEPS Settings

| Features        | Categories                        | NFPA Settings                                | Comments                                                                                     | Standard Settings                                  | Comments                                                                                          |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Main parameters | Simulation mode                   | Normal conditions                            | <i>In order to use routes</i>                                                                | Evacuation                                         | <i>People evacuate through the nearest exit</i>                                                   |
| People type     | Max Walking speed                 | 0.63 m/s                                     |                                                                                              | Fruin distribution                                 |                                                                                                   |
|                 | Local speed                       | 1.016 m/s                                    | <i>For concourse level where pedestrian density is expected to be lower than other areas</i> | None                                               |                                                                                                   |
|                 | Speed-distance curve <sup>3</sup> | Not used.                                    |                                                                                              | Not used.                                          | <i>See Footnote <sup>2</sup></i>                                                                  |
|                 | Speed-density curve               | Not used.                                    |                                                                                              | Not used.                                          |                                                                                                   |
|                 | Up & down slope factors           | 0.387                                        | <i>Used to generate the required vertical speed of 0.244 m/s</i>                             | 0.387                                              | <i>Same value as the NFPA settings but note that it does not produce the same vertical speed.</i> |
| People groups   | No. of groups                     | 1 group per exit                             |                                                                                              | 1 group per platform                               |                                                                                                   |
|                 | No. of people / group             | Proportional to corresponding exit capacity. |                                                                                              | Based on number of people needed on each platform. |                                                                                                   |
| Routes          |                                   | 1 route created for each group of people     |                                                                                              | Not applicable.                                    |                                                                                                   |
| People events   | Initial aim                       | Route                                        | <i>Route corresponding to group</i>                                                          | Random                                             |                                                                                                   |
|                 | Target type                       | Location                                     | <i>One created for each group and positioned next to initial target of evacuation route</i>  | Plane                                              | <i>Platform Plane</i>                                                                             |

<sup>3</sup> Additional tests on the standard settings model were carried out with the Thompson speed-distance curve to determine its effect on evacuation times.