

地下捷運場站人員逃生避難緊急應變之研究

Research on emergency response for personnel escape and evacuation in underground MRT stations

邱晨瑋 *

Chen-Wei Chiu

紀惟仁 **

Wei-Ren Ji

陳俊勳 ***

Chun-Hsun Chen

摘要

本研究選定一地下捷運場站進行人員逃生避難緊急應變研究及電腦模擬分析，由於地下場站具密閉空間，人員逃生不易、消防救災困難及濃煙及高熱發展狀況難以掌握等特性。旅客逃生動線僅由地下月台層向左右水平移動，再由電扶梯及逃生梯由下往上垂直逃生到地面層安全區域。當災害發生時，在侷限逃生路徑將直接對旅客及場站工作人員構成生命威脅。現新建捷運車站在規劃設計，以提高人員逃生的速度，縮短逃生路徑、降低人命傷亡為宗旨。大眾捷運車站在法規定義為特定建築物，設計施工規範則依「臺北捷運中運量手冊」及參酌「NFPA-130」進行計算人員逃生避難時間是否符合法令要求，達到保障人員順利避難安全逃生之目標。

本研究在文獻整理中提出地下捷運車站災害發生對人命危害及人群避難行為主要特徵，指地下場站空間與人員避難的關聯性，瞭解災害所造成人命傷亡的重要影響因素、日本學者研究垂直逃生動線之相關性質及世界歷年捷運車站重大災害案例。從重大災害案例歸納出發生起火原因、發生起火位置二大類。如電氣火災、捷運設備設施使用機械故障失效、保養不當引發電線短路火災與恐怖攻擊、人為縱火等，然而發生位置為在站體、列車（車廂）、隧道等。

本研究為達地下車站公共區人員疏散計算及電腦模擬需求時，參考《中運量規劃手冊》、《NFPA-130》及《Pathfinder 避難模擬軟體》。以「手算公式（驗證公式）計算方法」及「規劃電腦模擬情境」。針對地下捷運車站月台層、水平路徑避難及全站垂直路徑避難等公共區封閉部分不同出口（如電扶梯或逃生梯），在緊急情況進行驗證模擬比較。模擬均符合規範假設在緊急情況下，運用標準計算方法（驗證公式）

* 回應作者：臺灣警察專科學校消防安全科教授，eswin.wei@gmail.com。

** 國立交通大學產業安全與防災學程碩士班，firevance119@gmail.com。

*** 逢甲大學特聘教授，chchen@mail.nctu.edu.tw。

結果，進行避難逃生驗證，檢核封閉不同逃生通道是否符合驗證目標進行說明。

後續採用電腦軟體程式 (PATHFINDER)，進行 (設計不同電腦模擬之不同封閉樓梯等情境比較) 總疏散時間、各階段疏散時間 (月台層、穿堂層) 比較，每部樓梯、電扶梯之疏散量、疏散使用時間、排隊壅塞情形，驗票閘門之排隊擁擠情形，不同時段人員移動速度變化等電腦模擬。在彙整驗證研究找出口 (維修封閉) 失效，最糟 (Worst Case) 的情況下電腦實境模擬成果，做出結論，期盼可做為未來地下捷運站規劃設計逃生避難動線時之參考。

關鍵字：地下捷運，逃生避難，臺北捷運中運量手冊，避難應變，NFPA-130，PATHFINDER，疏散時間

Abstract

In this study, an underground MRT station was selected for emergency response research and computer simulation analysis. Because the underground station has a confined space, it is difficult for personnel to escape, fire and disaster relief is difficult, and it is difficult to grasp the development of dense smoke and high heat. The passenger escape line only moves horizontally from the underground platform layer to the left and right, and then vertically escapes from the bottom to the top by the escalator and escape ladder to the safe area on the ground floor. When a disaster occurs, the limited escape route will directly threaten the lives of passengers and station staff. The new MRT station is currently under planning and design, with the purpose of improving the speed of people's escape, shortening the escape path, and reducing casualties. The mass rapid transit station is defined as a specific building in the regulations, and the design and construction specifications are based on the "Taipei MRT Medium Traffic Volume Manual" and refer to "NFPA-130" to calculate whether the escape and evacuation time of personnel meets the legal requirements, so as to ensure the smooth and safe evacuation of personnel. Escape target.

This study proposes the main characteristics of the hazards to human life and crowd evacuation behaviors caused by disasters in underground MRT stations in the literature review. Relevant nature of escape routes and major disaster cases of MRT stations in the world over the years. From the major disaster cases, the cause of the fire and the location of the fire are summarized into two categories. Such as electrical fires, mechanical

failures of MRT equipment and facilities, improper maintenance of wires, short-circuit fires, terrorist attacks, arson, etc. However, the locations of occurrence are in stations, trains (cars), tunnels, etc.

In order to meet the needs of personnel evacuation calculation and computer simulation in the public area of the underground station, this study refers to the "China Traffic Planning Manual", "NFPA-130" and "Pathfinder Evacuation Simulation Software". Use "Hand Calculation Formula (Verification Formula) Calculation Method" and "Planning Computer Simulation Scenario". For the different exits (such as escalators or escape ladders) of closed parts of public areas such as the platform level, horizontal path evacuation and the whole station vertical path evacuation of underground MRT stations, verification and simulation comparisons are carried out in emergency situations. The simulations are all in line with the specification assumptions. In an emergency, the results of the standard calculation method (verification formula) are used to verify the escape and escape.

Subsequently, the computer software program (PATHFINDER) was used to compare the total evacuation time, the evacuation time of each stage (platform floor, hallway floor) (comparison of different closed stairs and other scenarios simulated by different computers), and the evacuation volume of each stair and escalator. , Computer simulation of evacuation use time, queuing congestion, queuing congestion at the ticket gate, and changes in the movement speed of people at different times. The computer reality simulation results in the case of the failure of exit (maintenance and closure) and the worst case (Worst Case) are collected and verified, and a conclusion is drawn, which is expected to be used as a reference for the planning and design of escape and evacuation routes of underground MRT stations in the future.

Key words: Underground MRT, Evacuation and Evacuation, Taipei MRT Middle Transportation Volume Manual, Evacuation Response, NFPA-130, PATHFINDER, Evacuation Time

壹、緒論

一、研究動機

國家朝向現代化都市發展，整體經濟脈動同時快速發展，伴隨都市人口集中，大眾交通工具的出現，改變人類移動方式，開發中都市引進軌道式捷運系統縮短城鄉距離，替人們帶來了移動便利性，亦是先進國家發展的代表指標。

高度發展都市選擇大眾捷運系統（Mass Rapid Transit，簡稱 MRT），聯絡都市區域內及其周邊市鎮之都市大眾運輸系統交通工具，因運輸旅客流多班次密集、具備大量快速輸送能力，且擁有專用路權載運路徑，可運送都市及鄰近衛星城鄉地區旅客之公共運輸系統。營運形態以台鐵 TRA、高鐵 SHR、捷運 MRT 三鐵系統共構，場站間設置連通轉換層等區塊，動線交織複雜。又以台北捷運為例具有高度旅客運量，搭乘人次年年攀高，2019 年旅客運量年度累計搭乘總量達 78,959 萬人次，當站場或列車發生火災時，因火勢所造成煙霧瀰漫及高溫阻礙初期救災及逃生，可預期引發重大災害及人員死傷。



圖 1-1 近八年台北大眾捷運公司進出旅運量統計

資料來源：本研究整理

本研究針對地下捷運島式月台（又稱中置式月台）人員緊急應變避難探討分析，初步蒐集關於國內外捷運場站災害發生相關文獻及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範法規。如參考『臺北都會區大眾捷運系統中運量系統土建

水環固定設施規劃手冊』及美國 NFPA130 之規定，進行避難逃生時間、人員出入留置量。以手算公式進行計算比較分析。運用 Path finder 動態避難模擬程式，進行地下捷運場站乘客在月台層、穿堂層及電扶梯、逃生梯垂直逃生至地面層避難模擬分析，參酌 NFPA 130 避難時間之規定比對，(1) 採隨機模式觀察避難人群逃生路徑狀況及計算乘客離開月台層之避難時間，(2) 客流較大或同月台換乘站兩側列車同時到站時，人群易發生行進衝突情況，(3) 評估各避難路徑到達避難層安全區之安全性。提供未來建構新建之捷運地下車站之緊急避難逃生，實際避難系統設計之重要參考。

二、研究目的

- (一) 蒐集國內外相關文獻資料，整理地下捷運車站發生火災的類型及發生頻率較高原因，整理地下捷運站體構造及功能設計原理，如整體空間發生火災時，旅客所佇立位置及逃生路徑可能失敗或阻礙導致無法逃生至安全處所的機率。
- (二) 本研究是以某一捷運車站地下三層捷運轉乘區月台層空間為研究對象，運用臺北捷運中運量手冊與 NFPA-130，評估兩者規範驗證人員逃生避難時間之差異。
- (三) 探討電腦軟體程式 (PATHFINDER) 與驗證公式 (臺北捷運中運量手冊與 NFPA-130)，三者於驗證評估人員逃生避難時間之差異。

三、研究範圍及研究限制

(一) 研究範圍

本研究以下列區域作為研究場景空間範圍：

1. 地下捷運場站地上一層乘客入口 (地面層)
2. 地下捷運場站地下一層垂直樓梯 (穿堂層)
3. 地下捷運場站地下二層島式月台轉乘區 (月台層)

(二) 研究限制

1. 本研究方法所使用研究場景，為某興建中捷運站，本研究過程與結果，僅作為學術探討用途，不涉及相關檢核、驗證或審查工作。
2. 本研究所探討項目，為地下捷運車站非特定人員旅客於公共區逃生避

難，不包含未開放給非特定人員旅客使用之非公共區及捷運車站工作人員之逃生避難。

3. 人員避難能力相同，不探討個人避難能力差異及避難弱者。
4. 本研究模擬之避難情境，手算公式計算避難時間參考臺北捷運中運量手冊與 NFPA-130 版本。
5. 運用 Pathfinder 避難模擬軟體，對於情境模擬時所需輸入之模型建立、避難人員移動速度等相關數據。在合理範圍內作假設性調整，達擬真人員避難最佳路徑。

貳、相關文獻探討

一、月台形式介紹

1. 島式月臺 (Island Platform)

島式月臺係指上行軌 (Up Track) 與下行軌 (Down Track) 分別佈設於月臺兩側 (如圖 2-1)。地下車站島式月臺常見於典型與穿堂層設於月臺層正下方之路外 (Off-Street) 高架車站。

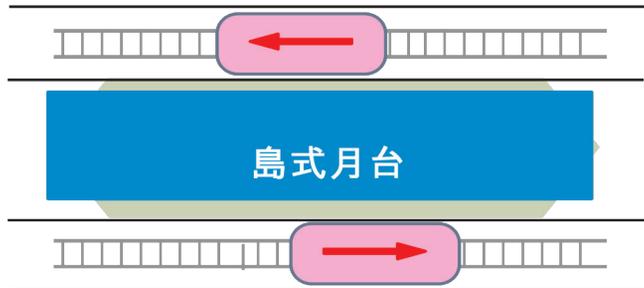


圖 2-1 島式月臺示意圖

資料來源：本研究繪製

2. 側式月臺 (Side Platform) :

側式月臺係指上行軌 (Up Track) 與下行軌 (Down Track) 一併佈設於兩月臺之間 (如圖 2-2)，上行列車與下行列車之候車乘客所使用月臺各自獨立不相連。其優點為列車可直行進入車站，不致因入站產生側向加速度，影響旅客搭乘舒適度，同時增加軌道與車輛之磨損，乘客依穿堂層之指標系統進入月臺層後不會錯搭不同方向之列車。缺點為設計上

月臺寬度與電梯，電扶梯數量均較島式月臺不經濟。通常使用於平面車站、路上（On-street）高架車站、淺式與疊式地下車站。

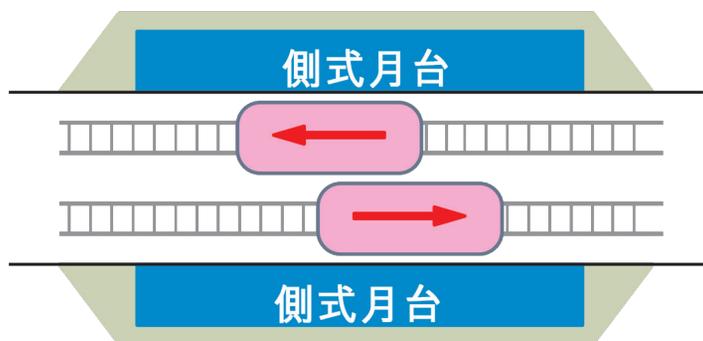


圖 2-2 側式月臺示意圖

資料來源：本研究繪製

3. 混合月臺（Mixed Platform）：

兩條或兩條以上路線，進入車站呈平面平行交會時，為便利乘客轉車，以及簡化路線水平定線，將多條軌道佈設在島式月臺與側式月臺之間，形成混合月臺（如圖 2-3），各月臺間必須藉由穿堂或陸橋相通。

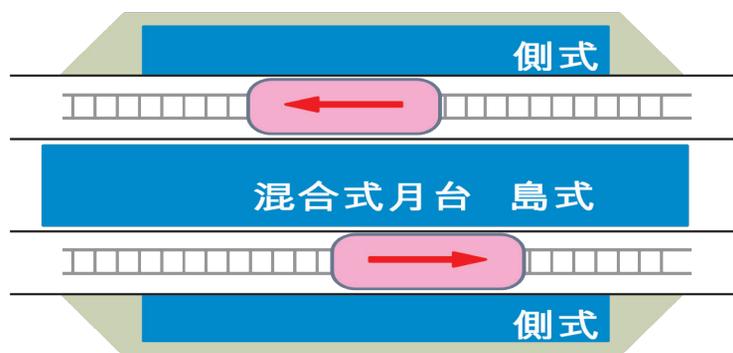


圖 2-3 混合式月臺示意圖

資料來源：本研究繪製

二、垂直逃生動線之相關性質

因人員行走移動方式由水平左右，改變至垂直往上，垂直行走較水平行走，日本學者奈良松範¹於西元 1996 年開始研究垂直逃生動線之相關性質。研究內容

¹ 奈良松範、大島太伸、渡部學，避難時的群集步行速度，Bulletin of Japan Association of Fire Science and Engineering Vol.45.No.1-2，1996

說明人員於樓梯之步行速度，人員聚集於樓梯時人員群體移動之入流量與人員收容密度的關係。在「避難時的群集步行速度」之研究成果指出：人員收容密度（群聚密度）隨著人員群體移動之流量增加而增加且與季節有關，冬天為 3.8 人/m²，夏季為 2.9 人/m²。

賴以軒²在 2001 博士論文研究指出「一般狀況下」與「緊急疏散時」，兩者情況下，人員流動之差異性與特徵，研究內容分為二個部分，其一為觀察捷運站於尖峰時間，行人水平的步行速率及垂直的步行速率，其二為以教學大樓樓梯，作為模擬實驗場所，經由研究與分析得知，若以一般狀況下之步行速率（營運時服務水準）作為人員緊急逃生疏散步行速率的標準，可能無法達到所需之安全性能，有必要重新建立一套計算或評估標準。

Ho, M.J. & Jian, S.W.於 1999 年疏散行為模式的基礎研究城市空間、建築與建築研究院案例研究報告中³。指出最佳化的避難設計，通常逃生避難設計時，經常以最大步行距離作為計算基準，

部分學者却認為最大步行距離與最近出口兩者間，應該可以找出最佳化避難模式。藉由最佳化的避難設計，可讓處於不同區域的避難逃生人員找到最佳逃生出口。換言之，以本研究說明人員在地下島式月台佇立不同區域，於逃生避難時，能找到最佳樓梯與出口。

黃浩彰，吳貫遠⁴在災害防救學報（民國 100.9），發表控制體積模式對高樓層建築物避難時間計算之適用性研究。將高樓避難區分成：平面樓層內避難與樓梯內人員避難兩種情境之結合。

平面樓層內避難時：人員由各房間出口流出後，滯留情形可能發生於該樓層出口，運用控制體積模式計算可知避難情境。樓梯內人員避難：假設分成：(1) 到達門口階段、(2) 人員避難至下一樓、(3) 合流階段、(4) 樓梯內達到最大留人數、(5) 第二樓人員疏散完畢、(6) 完全避難等 6 個階段進行分析，以模擬高樓層人員避難時依時序之避難情境與過程。

² 賴以軒，通道與樓梯一般通行及緊急疏散行人流分析與模擬模式建立之研究，2001

³ Ho, M. J.& Jian, S.W.. Basic Study on the Behavior Mode of Evacuation in Urban Space, Architecture & Building Research Institute Case Study Report, 1999.

⁴ 黃浩彰，吳貫遠控制體積模式對高樓層建築物避難時間計算之適用性研究災害防救學報（民國 100.9）第十二卷第一期第 109~138 頁，Journal of Disaster Mitigation Rescue (Sep. 2011) Vol.12, No.1, pp109-138.

高樓建築物人員之避難情境在結論與建議中區分為面樓內避難與樓梯內人員避難兩種情境。平面樓層內之避難情境，運用控制體積模式計算。樓梯內人員避難因與樓出口流率互相影響，且當樓梯下樓人流遇到樓層出口人流時，亦會造成合流現象，使高樓層建築物避難時間之實際計算更加複雜。

上述高樓層建築物避難時間計算之適用性研究，與本研究地下捷運人員避難緊急應變，同屬探討平面樓層（月台層）內避難與樓梯（電扶梯、緊急生梯）內人員避難情境。人員避難由月台層水平移動進入逃生梯出口流率互相影響，當樓層出口人流遇到樓梯上人流遇到時，產生合流現象。其因月台層樓梯口寬度及數量受限，人員流率均受限制而變小，月台平面人員流率大於樓梯內人員流率。樓梯口人員易產生推擠、行徑衝突、拱型效應等現象。

三、避難逃生理論

在指標性場所緊急事故應變程序-以車站共構空間為例期末報告中⁵，捷運疏散避難作業，在特定區旅客緊急疏散作業概分為「車站本身發生事故」及「地下街發生事故」兩大類型。依據報告內容，拮取「車站本身發生事故」其特性論述整理緊急疏散作業方式與本研究地下捷運車站人員避難逃生關聯性。

事故發生位置位車站內，緊急疏散人員依發生地點採適當疏散旅客，依災害發生之區域可區分為下列三種緊急疏散作業方式：

（一）災害區：「避難式」緊急疏散作業

現場有立即明顯之危害與災難，緊急疏散人員應以機動、靈活、及時方式疏散現場旅客，將附近旅客遠離災害地點外，避免旅客接近災害地點。

（二）鄰災害區：「迴避式」緊急疏散作業

緊鄰災害區之空間或樓層，因有潛在之危險，緊急疏散人員應採取「迴避式」緊急疏散作業。此種疏散作業避免旅客因緊急疏散而進入災害區，導致發生意外。鄰災害區雖暫時無立即、明顯之危險，惟災害地點就在附近，緊急疏散人員應以迴避「災害區」之方式疏散旅客，避免旅客直接經過災害區，並量遠離「災害區」，以免發生意外。

⁵ 指標性場所緊急事故應變程序——以車站共構空間為例期末報告。2009.12.31

(三) 非災害區：「引導式」緊急疏散作業

離災害區較遠之空間或樓層，緊急疏散人員應採取「引導式」緊急疏散作業。此種疏散作業以先期、迅速、鎮定、有秩序、安全為主要目的。

四、國際間歷年重大災例概要

本研究收集世界各國有關地下捷運及地下鐵車站重大災例（如表 2-1 所示），由於地下捷運車站及鐵路隧道空間具有密閉特性，發生災害原因眾多，大致可分電氣火災、捷運設備設施使用機械故障失效、保養不當引發電線短路火災與恐怖攻擊、縱火等。高雄市政府 104 年度研究發展成果報告中⁶，各國火災案例分析研討，國內學者統計地下空間各種災害，如地震、犯罪行為（如：縱火、爆裂物、恐怖活動等）、淹水、停電及火災、車禍等，以火災發生機率佔了百分之六十。這些事件大多發生在地下場站、月台、車廂、隧道內等處所，當災害發生最終引發火災、濃煙流竄四溢必造成嚴重傷亡、影響人員避難及威脅救災人員安全。所以旅客從地下月台層場站空間逃至地面層安全處所是首要考量，本研究列舉下列國內外重大火災案例概要及原因歸屬（如表 2-1）。

表 2-1 近年地下車站重大火災災例一覽表

時間	場所	概要	傷亡	位置	原因歸屬
1968.1	東京地鐵 日比谷線	第 3 節車廂主阻抗器過熱，致使上部配線短路後延燒。	1 傷	車廂	電氣火災 (電器故障)
1975.7	美國 波士頓	早上廣場站附近的輕軌隧道內，一條高架電纜破損引燃車輛，緊急疏散 400 人。	34 影響	隧道	電氣火災 (電線短路)
1979.1	美國 舊金山	接觸板裝置遭受破壞所引起之火災。	1 死 56 傷	隧道	電氣火災 (電線短路)
1979.9	美國 費城	列車變壓器短路起火並發生爆炸。	178 傷	車廂	電氣火災 (電線短路)
1981.6	俄國 莫斯科	列車電器故障引起火災，消防隊到達前，兩節車廂已被大火吞沒。	2000 撤離 7 死	車廂	電氣火災 (電器故障)

⁶ 吳至哲、鄭俊生、周佩儒，高雄市政府 104 年度研究發展成果報告「公部門提升民眾搭乘地下交通運輸空間安全之對策以高雄為例」。2005.9.31

時間	場所	概要	傷亡	位置	原因歸屬
1981.6	愛知 名古屋	車站變電室起火。撤離約 700 人	2 死 5 傷	站體	電氣火災 (電器故障)
1984.11	英國 倫敦	月台倉庫起火擴大致使月台天花板及隧道牆壁破損。	18 傷	站體	人為因素 (人為疏失)
1986	東京 地鐵	地鐵出口附近遊樂場垃圾收集處起火。啟動 4 個防火閘門關閉。	不詳	站體	不明原因
1987.11	英國倫敦 King's Cross	手扶梯機械室附近因旅客亂丟菸蒂起火。	84 死傷	站體	人為因素 (人為疏失)
1988.5	日本 大阪	千林大宮站月台塑膠容器爆炸。	1 傷	站體	不明原因
1994.5	台灣 台北	地下 2 樓繼電室電線走火。	10 傷	站體	電氣火災 (電器故障)
1995.7	法國 巴黎	奧塞美術館地鐵站遭炸彈攻擊，聖米歇爾地鐵站內有一裝滿爆裂物和釘子汽油瓶被引爆。	8 死 200 傷	站體	人為因素 (恐攻、爆裂物)
1995.10	蘇聯 亞塞拜然	第五節車廂機件故障引發火災，車廂門無法開啟導致阻礙逃生，造成重大傷亡	289 死 265 傷	車廂	機械故障
2000.11	奧地利 Kitzsteinhorn (喀普倫山 岳隧道)	山岳纜車進入隧道後，駕駛座車廂因電線起火。	12 死 155 傷	隧道	電氣火災 (電線短路)
2003.2	韓國 大邱	地鐵站發生縱火攻擊事件。	198 死 146 傷	車廂	人為因素 (縱火)
2005.1	泰國曼谷	因車輛進維修，控制中心錯誤信息導致操作員鬆開煞車掣，導致維修車輛後溜，撞向載滿乘客的列車。	146 傷	站體	人為因素 (人為疏失)
2005.7	英國 倫敦	倫敦發生四次恐怖攻擊，3 次攻擊地下鐵列車，1 次攻擊公車。	56 死 700 傷	站體	人為因素 (恐攻、爆裂物)
2010.3	俄羅斯 莫斯科	因車輛技術故障，列車脫軌產生火花。	23 死 160 傷	車廂	機械故障
2012.8	韓國	車廂內供應電設備短路產生火	100 疏散	車廂	電氣火災

時間	場所	概要	傷亡	位置	原因歸屬
	釜山	花，在大峙站緊急疏散乘客。	41 傷		(電器故障)
2014.7	韓國 釜山	因車廂上方集電裝置起火，緊急疏散地下鐵列車裏多名乘客。	400 疏散 2 傷	車廂	電氣火災 (電器故障)
2017.2	中國 香港	地鐵站發生縱火攻擊事件。	1 死 18 傷	車廂	人為因素 (縱火)
2020.3	美國 紐約	地鐵站發生蓄意縱火事件。	16 傷	車廂	人為因素 (縱火)

資料來源：王隆昌 1998⁷，高雅娟⁸及本研究整理

災例原因分析

本研究彙整近三十年來火災案例共 20 件(如表 2-1)。歸納出最常發生起火原因(如表 2-2)及最常發生起火位置統計(如表 2-3)。依據荷蘭官方調查 HIGH SPEED LINE SOUTH-GREEN HEART TUNNEL 資料中可分電器短路或過熱、縱火、機械過熱、隧道環境及其他火源等四大類。

本研究彙整火災案例統計：

(一) 發生原因分析統計，整理區分為電氣火災、人為因素、機械故障、不明原因等四大類。以電氣火災所佔比例最高(50%)，人為因素(30%)，接著才是機械故障(10%)及不明原因(10%)。(如表 2-2，圖 2-4)

1. 電氣火災：因系統設備碰撞、變壓器起火、集電裝置、電線短路、車站設施之電扶梯、垃圾桶發火等是最常發生的項目。
2. 人為因素：維修不良、操作錯誤、列車碰撞及炸彈攻擊、縱火等引起火災重要原因。
3. 機械故障：煞車制動器、傳動裝置、轉側軸、輪胎、軸承等故障失效及隧道內電纜、電器設備引起火災。
4. 不明原因：因地下場站整體捷運系統及設備複雜，旅客進出頻繁，有些屬天然災害如火災地震、地下結構變化等無法預防等因素。

⁷ 王隆昌「鐵路捷運系統災害之研究」交通大學交通運輸工程研究所碩士論文，1988

⁸ 高雅娟，「捷運地下車站火災應變安全系統可靠度評估」

表 2-2 近年地下車站重大災例原因分析

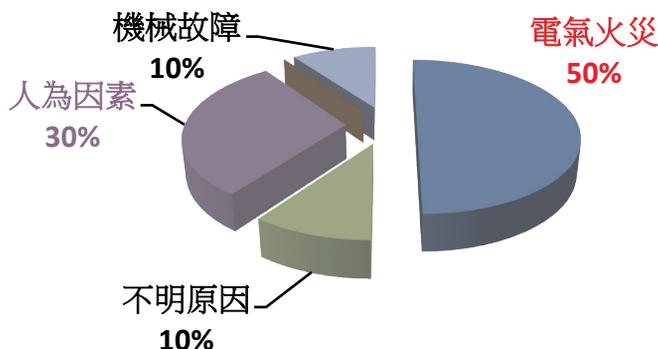


圖 2-4 地下車站重大災例發生原因分析統計圖

資料來源：本研究整理

(二) 發生位置分析統計，整理區分為站體、列車（車廂）、隧道等三大類。以站體所佔比例最高（45%），列車（車廂）（40%），接著才是隧道（15%）。（表 2-3，如圖 2-5）

1. 站體：因變電室起火、月台倉庫起火延燒至天花板、垃圾收集區起火、旅客亂丟菸蒂、炸彈攻擊、縱火等在車站位置引起火災重要原因。
2. 列車（車廂）：車廂機件電器故障，變壓器起火、車廂箱門失效、縱火、列車脫軌碰撞等引起火災。
3. 隧道：隧道內電纜破損、接觸板破壞、車廂電線起火等因素。

表 2-3 近年地下車站重大災例發生位置分析

事件位置	發生件數	發生比例
站體	9	45%
列車（車廂）	8	40%
隧道	3	15%

資料來源：本研究整理

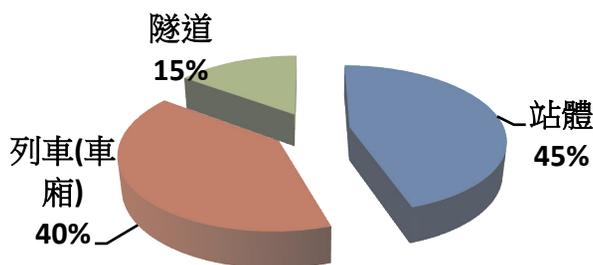


圖 2-5 地下車站重大災例發生位置分析統計圖

資料來源：本研究整理

五、國內外相關規範

因應都市進步與人群集中發展，國內許多建築物因用途、構造特殊或其他特別需求，於建構時未能、也未必需要完全符合建築法規之要求，由其鐵道、捷運等交通系統依建築法第 98 條之規定：「特種建築物得經行政院之許可，不適用本法全部或一部之規定」，所謂「特種建築物」乃應運而生。因此對於建築物防火安全的規範，已逐漸從規格式法規（Prescriptive-Based Codes）轉換至性能式法規（Performance-Based Codes）。表 2-4 為國內各類軌道及捷運系統引用之設計法規軌及施工依據之規範。

表 2-4 國內各類軌道系統引用之設計法規及規範（資料來源：本研究整理）

法規及規範	台北 捷運	高雄 捷運	桃園 捷運	台鐵	高鐵
台北市捷運工程局編訂「臺北都會區大眾捷運系統中運量系統土建水環固定設施規劃手冊」		○	○		
鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置標準	○	○	○	○	○
美國國家防火協會（NFPA130）	○	○	○	○	○
美國運輸部 Subway Environmental Design Handbook, Subway Environment Simulation Computer Program。	○	○	○	○	

(一) NFPA 130 (May 2019 ROP, Preprint)⁹

捷運地下車站的防火及消防安全設計，該類場所係屬特種建築物，以美國國家防火協會 NFPA 130 (Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems) 為準則，用以評估避難安全分析結果與軟體避難時間計算之合理性，由於地下車站空間之特殊性，目前執行中「各類場所消防安全設備設置標準」之法條，已無法滿足該類場所之需求，在性能設計納入 NFPA 130 規範可突破了條例式法規，提高更完善安全考量。

NFPA 130 Chapter 5 規定，捷運車站之設計應以滿足旅客能於六分鐘緊急疏散至安全地點 (Point of Safety) 為優先考量。

參、研究設計及方法

一、研究方法之逃生避難驗證公式介紹

本章節參考《臺北大眾捷運系統中運量規劃手冊》、《NFPA-130》及《Pathfinder 避難模擬軟體》。以「手算公式計算 (驗證公式) 方法」及「規劃電腦模擬情境設計」。針對地下捷運車站月台層水平路徑避難及全站垂直路徑避難等，在公共區封閉部分不同出口 (如電扶梯或逃生梯) 在緊急情況進行驗證模擬比較目標。

二、臺北捷運中運量手冊

依照《臺北都會區大眾捷運系統中運量系統土建水環固定設施規劃手冊》¹⁰內容所述，在評估車站公共區疏散之設計需求時，必須分析造成全面疏散之可能原因及其實際發生之可能情形，對極不可能發生之情況，或乘客之異常聚集，則不應納入設計需求之考量中。

進行公共區避難逃生驗證，以《臺北都會區大眾捷運系統中運量系統土建水環固定設施規劃手冊》內容所假設的緊急情況，透過標準計算方法 (驗證公式)，檢核車站設計是否符合驗證目標，下列分別就「緊急情況」、「標準計算方法 (驗證公式)」及「驗證目標」進行說明。

⁹ NFPA 130 (May 2019 ROP, Preprint) NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems (May 2019 ROP, Preprint)

¹⁰ 臺北市政府捷運工程局，臺北都會區大眾捷運系統中運量系統土建水環固定設施規劃手冊，2018.6。

(一) 緊急情況

下列為《臺北都會區大眾捷運系統中運量系統土建水環固定設施規劃手冊》所假設最壞之緊急情況及設計準則，發生火災可能為車站緊急疏散之主因。

1. 緊急事件發生於該設計目標年乘客運量之尖峰時刻內。
2. 緊急事件僅發生於某一方向之行車。
3. 發生緊急事件之電聯車載運尖峰站間運量乘客（滿載數），該列車誤點延遲兩倍尖峰小時列車班距後進入車站。
4. 在島式月臺車站，他側月臺正常行車之次班列車將不停靠月臺，因此不再卸客。
5. 誤點電聯車上之所有乘客皆須下車，並與候車兩倍尖峰小時列車班距所聚集之乘客匯集，在島式月臺尚需計入毗鄰月臺之候車乘客，其總數即稱為車站乘載量（Occupant Load）。
6. 電梯不作為逃生之用。
7. 電扶梯及樓梯可作為逃生路徑。
8. 所有進入方向之電扶梯皆停止轉動，並當成固定樓梯使用。
9. 月臺至穿堂之一部電扶梯正維修中，不得當作固定樓梯使用。
10. 車站人員於緊急狀況發生後，將禁止乘客繼續進入付費區。
11. 多層車站緊急事件僅發生於一個月臺，其他月臺仍正常營運。
12. 人員步行速度及設施疏散量，（如表 3-1）所列。

表 3-1 臺北捷運中運量手冊緊急狀況人員步行速度及設施疏散量

人員步行速度	
乘客之步行速度	1 公尺/秒
乘客上樓梯之步行速度	0.25 公尺/秒
乘客下樓梯之步行速度	0.3 公尺/秒
設施疏散量	
靜止中電扶梯（往上走）	70 人 / 分鐘
靜止中電扶梯（往下走）	80 人 / 分鐘
樓梯（往上走）	每 0.55 公尺寬度 35 人 / 分鐘

樓梯（往下走）	每 0.55 公尺寬度 40 人 / 分鐘
驗票閘門（備註）	45 人 / 分鐘
備註：所有驗票閘門皆可使用，當逃生時所有驗票閘門均打開，並允許免票出站。	

資料來源：臺北捷運中運量手冊【23】及本研究整理

（二）驗證目標

驗證車站公共區疏散之設計時，必須分析造成全面疏散之可能原因及其實際發生之可能情形，《臺北都會區大眾捷運系統中運量系統土建水環固定設施規劃手冊》以（表 3-2）所列驗證目標為準。

表 3-2 臺北捷運中運量手冊逃生避難驗證目標

驗證公式	驗證目標
測試 1	1. 在 4 分鐘內疏散完畢月臺的車站乘載量。 2. 地下多層車站之最低層月臺，必需在 4 分鐘內將乘客疏散至逃生口。
測試 2	3. 在 6 分鐘內疏散完畢月臺上最遠處至安全地點的車站乘載量。 4. 地下多層車站自最低層月臺，其上每增一層必須增加 2 分鐘之疏散時間，最後疏散至安全地點（即地下三層車站之總疏散時間為 8 分鐘）。
備註： 1. 安全地點包含通往站外街面之出入口通道及月臺層通達地面之緊急逃生梯入口。 2. 車站內任一點至逃生路徑（出入口、電扶梯或樓梯）之最大距離不得超過 60 公尺，僅具單方向逃生之處，其至逃生路徑之距離應小於 40 公尺。 3. 地下三層車站之下層月臺逃生路徑，按理應避開其上層月臺之緊急情況。然因由緊急事件而波及月臺全長，進而妨礙穿越該中間層逃生路徑之可能性卻極低。因此，若需要，下層月臺乘客可穿越已發生緊急事件之上層月臺之公共區疏散。若車站設計假設此種逃生方式，則在行車間隔內各下層月臺上所累積之乘客量，需加於上層月臺疏散之總乘客數量。	

資料來源：本研究整理

三、NFPA-130

以《NFPA-130》進行公共區避難逃生驗證，針對其內容所假設的緊急情況，透過標準計算方法（驗證公式），檢核車站設計是否符合驗證目標，下列分別就「緊急情況」、「標準計算方法（驗證公式）」及「驗證目標」進行說明。

(一) 緊急情況

1. 計算緊急疏散之人數：

- (1) 緊急事件發生於該設計目標年乘客運量之尖峰時刻內。
- (2) 緊急事件僅發生於某一方向之行車。
- (3) 發生緊急事件之電聯車載運尖峰站間運量乘客（列車滿載數依綜合規劃成果需求），該列車誤點延遲兩倍尖峰小時列車班距後進入車站。
- (4) 在島式月臺車站，他側月臺正常行車之次班列車將不停靠月臺，因此不再卸客。
- (5) 車站乘載量：誤點電聯車上之所有乘客皆須下車，並與候車兩倍尖峰小時列車班距所聚集之乘客匯集，在島式月臺尚需計入毗鄰月臺之候車乘客。

2. 水平疏散量：月臺、走廊及坡道之最大出口疏散量為 0.0819 人數/公厘-分鐘 (P/ mm-min)。

3. 水平步行速度

- (1) 月臺層、走廊及坡道之最大步行速度為 37.7 公尺/分鐘 (m/min)。
- (2) 穿堂層及其他預估具有較低行人密度區域之步行速度為 61 公尺/分鐘 (m/min)。

4. 樓梯和電扶梯之疏散量及移動速度應以下方式計算：

- (1) 容許量：0.0555 人數/公厘-分鐘 (P/ mm-min)。
- (2) 移動速度：14.6 公尺/分鐘 (m/min)（垂直部分）。

5. 位於公共區域出口路徑的門及閘門，其出口疏散量應按以下公式計算：

- (1) 單扇門和閘門，每分鐘通過 60 人人數/分鐘 (P/min)。
- (2) 對於兩葉式門和閘門，在無障礙寬度尺寸下測量為 0.0819 人數/公厘-分鐘 (p/mm-min)。

6. 閘門型式驗票閘門，每個單位的出口疏散量計算應具有 50 人數/分鐘 (P/min)。

7. 旋轉柵欄式驗票閘門（下降作為出口），每個單位的出口疏散量應具有 50 人數/分鐘 (P/min)，自由旋轉的旋轉門每個單位的出口計算能力應具有 25 人數/分鐘 (P/min)。

(二) 驗證目標

驗證車站公共區疏散之設計，《NFPA-130》以表 3-3 所列驗證目標為準。

表 3-3 NFPA-130 逃生避難驗證目標

驗證公式	驗證目標
測試 1	4 分鐘或更短的時間內疏散月臺層人數。
測試 2	6 分鐘或更短的時間內從月臺層最遠處疏散至安全處所。
備註： 1. 從月臺層至離開月臺層出口路徑，最大移動距離不應超過 100 公尺。 2. 月臺層末端的重複移動路徑，不得超過 25 公尺或最大列車長度。	

資料來源：本研究整理

四、人員逃生電腦模擬軟體介紹

目前國際上運用人員疏散模型軟體工具常用的約有二十多種。依照模型的基本原理分為三類：優化法、模擬法和風險評估法；

- (一) **優化 (optimization) 模型**：忽略周圍人員和非相關避難的行為，假定人員以最有效的方式進行疏散，將人員視為具有共同特徵的整體。如：EVACNET+和 TAKAHASHI'S MODEL。
- (二) **模擬 (simulation) 模型**：表現疏散行為和行動狀況，不僅要達到正確的評估結果，也要能採取接近真實避難路徑情景。如：BGRAF, EXIITT, EGRESS, ESCAPE, EVACSIM, EXIT89, EXODUS, MAGNETMODEL, PAXPORT, SIMULEX, VEGAS。
- (三) **風險評估 (risk assessment) 模型**：識別火災時與疏散有關的危險或相關事故，並對最後的風險進行量化。通過多次計算，它能評估改變防火分區設計、消防措施等參數的效果。

本研究所使用電腦模擬程式為美國Thunderhead Engineering公司動態避難分析模式性能驗證軟體，名稱為「PATHFINDER」¹¹。是一套簡單、直觀、易用的智能人員緊急疏散逃生評估系統。在國際許多設計單位、學術、學院都選擇PATHFINDER軟體來進行人員疏散仿真模擬。其特色為視窗化操作介面，不用編寫程式碼，具有設定人員速度、路線、3D模擬、指定逃生路徑、人員配置（指定或均勻分配）及使用電梯避難等功能，該軟體支援導入AutoCAD格式的DXF和DWG文件，透過內建的提取檔案工具，可快速導入幾何圖檔來建構模擬情境的空間模型，另可導入GIF、JPG或PNG格式，

¹¹ Pathfinder 官方網站，<https://www.thunderheadeng.com/Pathfinder/>，2019 年 6 月。

將其檔案作為背景，直接在圖像上快速繪製模型，節省使用人員建模作業時間。

PATHFINDER 軟體的模擬結果，具有動畫呈現功能，從模擬結果數值查看所需特定時間點模擬情形，有利於進行模擬結果分析，軟體運用在捷運車站，可根據不同危害情境進行設定，模擬捷運空間內部人員逃生避難，將模擬結果透過 3D 視覺化展示動態逃生避難情形，而分析人員逃生避難移動過程、各逃生避難路徑及設施（樓梯或電扶梯）使用情形，數據統計可交互比較方式，檢核與評估捷運車站動線規劃影響人員逃生避難安全性。



圖 3-1 PATHFINDER 軟體模擬地鐵車站情形

Pathfinder Simulation Modes (資料來源：Pathfinder 網站)

Pathfinder 可為使用者提供在模擬情境下人員之速度、密度等結果之基本圖表。種主要模擬模式，分成 Steering 模式及 SFPE 模式兩種，

在 Steering 模式大致遵循設定路線對環境變化做出反應，在人員當下狀態及速度，以最有效率方式使人員改變方向，

在某些逃生避難情況下，由於模擬空間幾何形狀的限制，使人員的移動與另一個人員的移動發生衝突（如圖 3-2、圖 3-3、圖 3-4），模擬軟體必須解決這類型衝突，逃生避難才能夠繼續進行，Pathfinder 軟體對於人員移動衝突解決方式包含：某一人員先靜止不動、產生轉向行為（如另一人員轉成相同方向）及依設定順位等級先後移動。

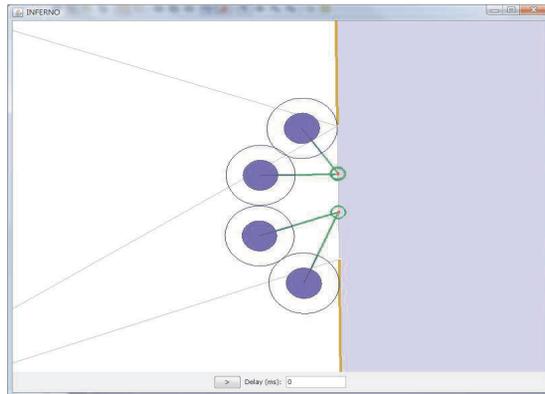


圖 3-2 多個人員同時朝著同一個方向移動
(資料來源: Pathfinder 網站)

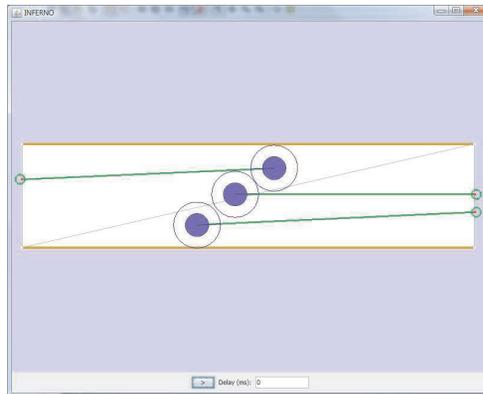


圖 3-3 人員在擁擠的走廊中朝相反的方向移動
(資料來源: Pathfinder 網站)

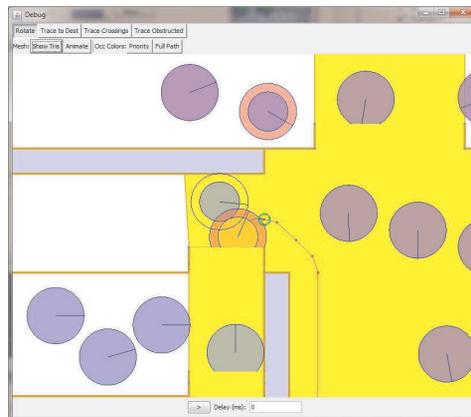


圖 3-4 來自不同方向人員擠入狹窄區域 (如門口)
(資料來源: Pathfinder 網站)

肆、捷運場站避難逃生模擬驗證分析

一、地下捷運場站模型概述

本研究選定某一新建捷運車站為模型（如圖 4-1、4-2 所示），地點坐落已開發之商業都會市中心。模擬捷運車站是機場捷運延伸重要的旅運線，交通樞紐匯集區，周邊考量交通運輸設施，包含鐵路車站、旅客使用汽、機車、自行車等轉乘設施並考量設置轉乘接駁巴士所需停靠空間。因此人潮眾多使用捷運系統極其便利性。

表 4-1 車站樓層簡介（資料來源：本研究整理）

樓層	名稱	位置
地面層	出入口 A、B	出入口 A 由中央西路側之地面廣場進入本站穿堂層及中豐路西側之乘客經由出入口 B 亦可銜接地下一層車站穿堂層。
地下一層	穿堂層	車站大廳、詢問處、自動售票機、購票、驗票閘門、旅客到達月台之前的緩衝空間。
地下三層	月台層	典型島式月台之設計

本研究建構全尺寸地下捷運車站模型為研究背景，利用 Pathfinder 電腦模擬軟體進行人員仿真模擬避難逃生。結合手算公式檢核分析計算步行疏散速度所需時間參數。

月台層避難：依照臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 均規定月台層所有人員需在 4 分鐘內離開月台層。

站體避難：依照臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 均規定地下車站（地下二層）所有人員需在 6 分鐘內離開車站。

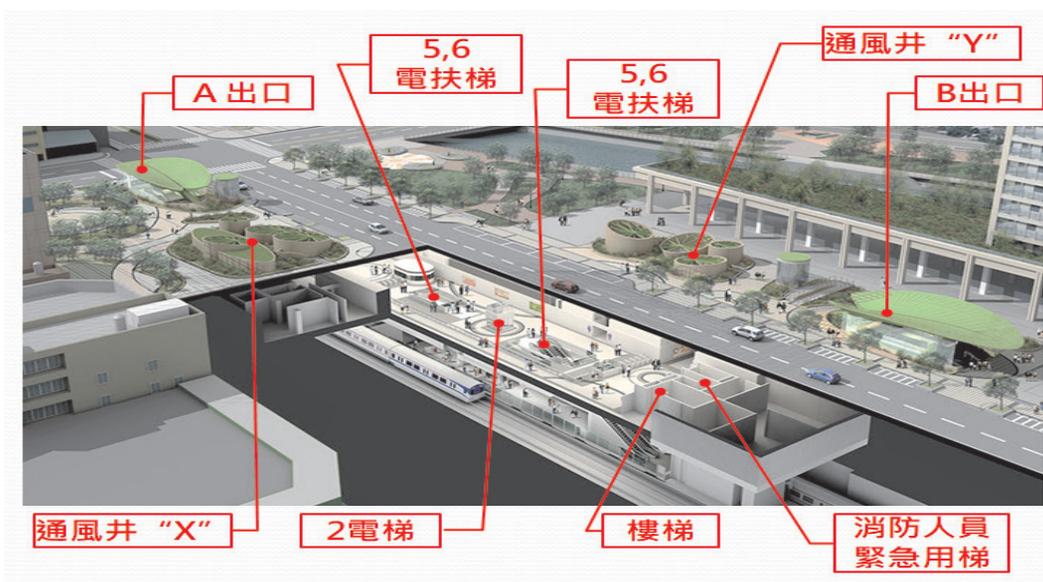


圖 4-1 新建捷運車站透視圖
(資料來源：潘冀建築師事務所網頁¹²)



圖 4-2 新建捷運車站模擬圖

¹² 潘冀建築師事務所網頁
<https://www.jjpan.com/portfolio/cks-intl-airport-access-mrt-system-zhongli-section-for-contract-du02a22%e3%80%81a23/>，2021

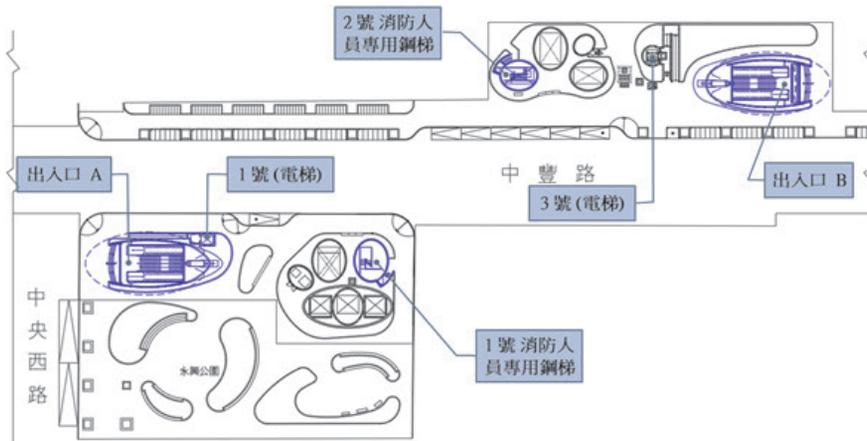


圖 4-3 地面層出入口平面圖

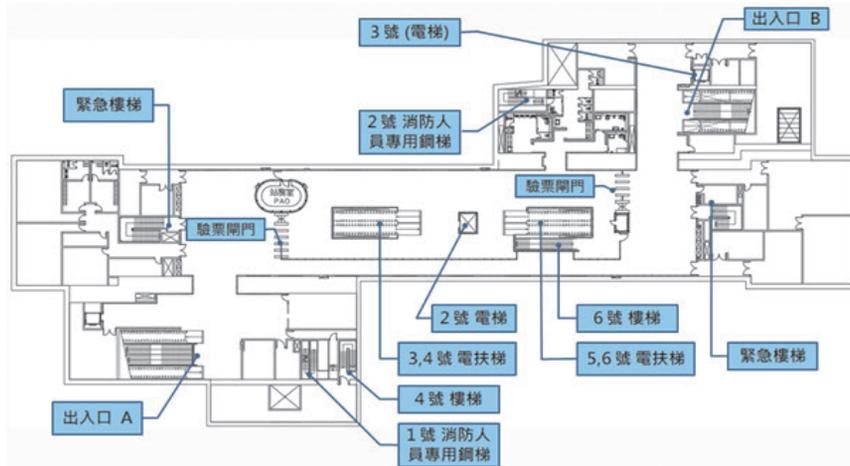


圖 4-4 地下一層穿堂層平面圖

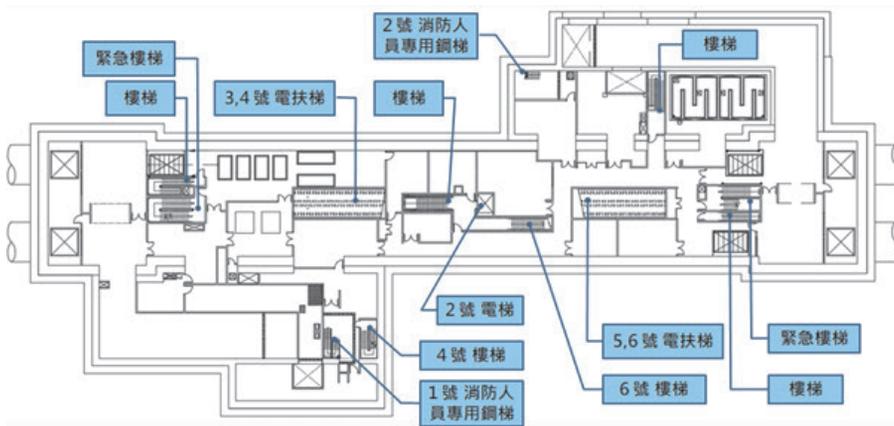


圖 4-5 地下二層設備層平面圖

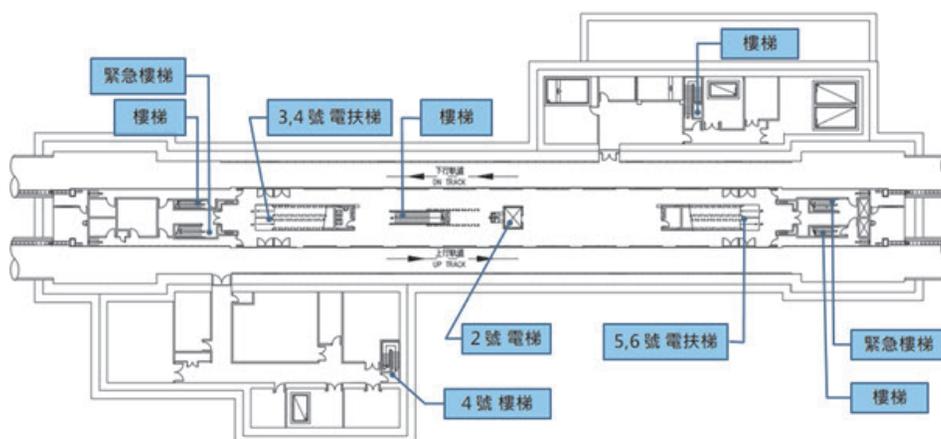


圖 4-6 地下三層月台層平面圖

(四) 情境模擬設定與參數說明

1. 情境模擬設定說明

本研究主要針對臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的手算驗證公式做計算，主要是針對公式內的參數不同來做為比較，來探討臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 在地下捷運車站的相關驗證；另外，採用 PATHFINDER 模擬軟體來套用臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的相關參數設定，比較手算與電腦模擬的差異性，並且探討 PATHFINDER 模擬軟體所呈現出來的可視化，評估模擬軟體與實際逃生避難的情況是否吻合。

而地下車站的主要驗證方式有兩種，一種是針對月台層的最糟糕情境，在列車延誤的情形下，月台累積了等待待車的民眾，所有人員需要在 4 分鐘內離開月台層；另一種為全站體計算驗證，在地下兩層的車站形式，所有的人員必須在 6 分鐘內避難至地面層的安全區域。因此，本研究亦針對臺北捷運中運量手冊、NFPA130 與 PATHFINDER 模擬軟體來加以比較，其情境規劃如表 4-2 所示。

表 4-2 驗證模擬情境

編號	研究方法		
1	月台層 避難	驗證公式	臺北捷運中運量手冊
2			NFPA130
3		電腦模擬	PATHFINDER 程式 (臺北捷運中運量手冊參數)
4			PATHFINDER 程式 (NFPA130 參數)
5	全站體 避難	驗證公式	臺北捷運中運量手冊
6			NFPA130
7		電腦模擬	PATHFINDER 程式 (臺北捷運中運量手冊參數)
8			PATHFINDER 程式 (NFPA130 參數)

2. 參數說明

臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的手算驗證公式有著相同與相異的地方，其差異的參數設定是否為計算時間結果的最大因素，因此本研究列出臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的相關參數，並做為 PATHFINDER 模擬軟體設定依據，相關整理如表 4-3 所示。

表 4-3 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 驗證公式的相異

	臺北捷運中運量手冊	NFPA130
相同	月台容納旅客量 = $L + 2IF_1 + IF_2$	
相異	月台層疏散時間 (W1) = 月台層容納旅客量 / 總疏散量。	
	總疏散時間 = $T_t + W_p + W_g + W_c$	
電扶梯與樓梯疏運量計算	月台層：70(電扶梯座數-1)+35b 穿堂層：70*電扶梯座數+35b b 為月台層樓梯的列數 (每 0.55m 為 1 個列數)	$((\text{電扶梯座數}-1) * \text{寬度} + \text{所有樓梯座數} * \text{寬度}) * 0.0555 * 1000$
驗票閘門總疏散量	閘門個數 * 45 + 無障礙閘門 * 85 + 維修門 * 85	閘門個數 * 50 + 無障礙閘門 * 60 + 緊急出口閘門座數 * 寬度 * 0.0819 * 1000
人員移動速度	水平移動速度為 60m/min 垂直移動速度為 15m/min	水平移動速度為 37.7m/min 垂直移動速度為 14.6m/min

(五) 月台層避難情境計算與模擬比較

依據地下車站地計算驗證，臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 其結果均

要在 4 分鐘內，而在兩種不同的規範下，其月台層的驗證公式的月台層疏散時間均為月台層容納旅客量 / 總疏散量，最主要的差異是樓梯疏散量的計算；而 PATHFINDER 模擬軟體將依據不同參數設定，以及不同的電扶梯封閉的設定，利用可視化的模擬結果來比較其差異結果。

1. 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 月台層計算比較

臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的月台層計算結果，其月台層容納旅客量計算結果均為一致，而在電扶梯與樓梯疏運量計算上有比較大的差異，導致計算結果上的不同，其相關計算結果如表 4-4 所示。從表 4-5 中，可看到電扶梯與樓梯的疏散量計算主要分為兩種模式，臺北捷運中運量手冊在電扶梯疏散量的計算上採用固定值的算法，而不考慮道寬度的影響，在樓梯疏散量的計算則是採用列數，而列數的使用上更像是在取寬度的範圍值，在 0.55m 的範圍值內都採用相同的列數，有一樣的疏散量；反之，NFPA130 不管在電扶梯或者是樓梯的疏散量皆只考慮寬度的影響。

而從電扶梯的比較中，NFPA130 隨著寬度愈寬，其疏散量會有機會高於臺北捷運中運量手冊，如表 4-6 所示；在樓梯疏散量的比較中，在 0.55m 的列數寬度中，剛好位於列數一半的四捨五入的界線值，會是臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 樓梯疏散量最小差值與最大差值，可從表 4-7 中樓梯寬度 1.9m 與 1.95m 做為比較。

表 4-4 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 月台層計算結果比較

	臺北捷運中運量手冊	NFPA130
月台層容納旅客量 = $L+2IF_1+IF_2$	$(840+2\times 10\times 14+10\times 7)=1190$ (人)	
電扶梯與樓梯疏運量計算	525 人/min	482 人/min
月台層疏散時間	2.27 分鐘	2.47 分鐘
備註： L：電聯車站間運量（尖峰行車方向列車人數） \leq 列車滿載數（人數）。 F1：尖峰分鐘乘客量（尖峰行車方向）（人數）。 F2：尖峰分鐘乘客量（非尖峰行車方向）（人數）。 I：列車班距（分鐘）。		

表 4-5 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 疏散量計算結果比較

月台層電扶梯與樓梯疏散量計算基本資料				臺北捷運中運量手冊		NFPA130
項目	座數	寬度	列數	運載量		運載量
電扶梯運量	(4-1 座)	1.1m	-	70 人/min	取 210 人/min	取 183.15 人/min
樓梯運載量	1	1.8m	3	35 人/min	取 105 人/min	取 99.9 人/min
緊急逃生梯運載量 (2)	2	1.8m	6	35 人/min	取 210 人/min	取 199.8 人/min
合計	列數 (每 0.55m 為 1 個列數)				525 人/min	482 人/min
備註：						
1. 臺北捷運中運量手冊疏散量計算公式： $70 * (\text{電扶梯座數} - 1) + 35 * \text{列數}$						
2. NFPA130 疏散量計算公式： $((\text{電扶梯座數} - 1) * \text{寬度} + \text{所有樓梯座數} * \text{寬度}) * 0.0555 * 1000$						

表 4-6 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 電扶梯疏散量比較

電扶梯寬度	0.9m	1.0m	1.1m	1.2m	1.3m
臺北捷運中運量手冊	70 人/min	70 人/min	70 人/min	70 人/min	70 人/min
NFPA130	49.95 人/min	55.5 人/min	61.05 人/min	66.6 人/min	72.15 人/min
備註：					
1. 臺北捷運中運量手冊疏散量計算公式： $70 * (\text{電扶梯座數} - 1) + 35 * \text{列數}$					
2. NFPA130 疏散量計算公式： $((\text{電扶梯座數} - 1) * \text{寬度} + \text{所有樓梯座數} * \text{寬度}) * 0.0555 * 1000$					

2. PATHFINDER 月台層模擬計算比較

依據臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的月台層計算，月台層的總人數為 1190 人，其中人員分部的情況為列車人數 840 人，等待人員為 350 人，PATHFINDER 模擬軟體將人員分佈可視化，如圖 4-7 所示。並依據臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 計算中提到減少一座電扶梯的方式，分別針對不同位置的電扶梯進行模擬，並對結果加以比較，其相關情境設定如表 4-8 所示，而電扶梯的封閉情況如圖 4-8。

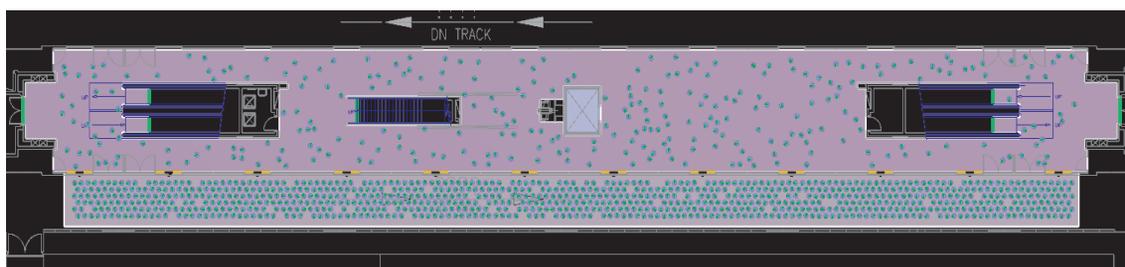


圖 4-7 月台層人員分佈圖

表 4-8 ATHFINDER 模擬軟體電扶梯封閉情境說明

參數說明	情境說明
PATHFINDER 模擬軟體 (臺北捷運中運量手冊參數) 水平移動速度為 60m/min (NFPA130) 水平移動速度為 37.7m/min	情境一 (手冊計算時間)
	情境二 (左上電扶梯封閉)
	情境三 (左下電扶梯封閉)
	情境四 (右上電扶梯封閉)
	情境五 (右下電扶梯封閉)

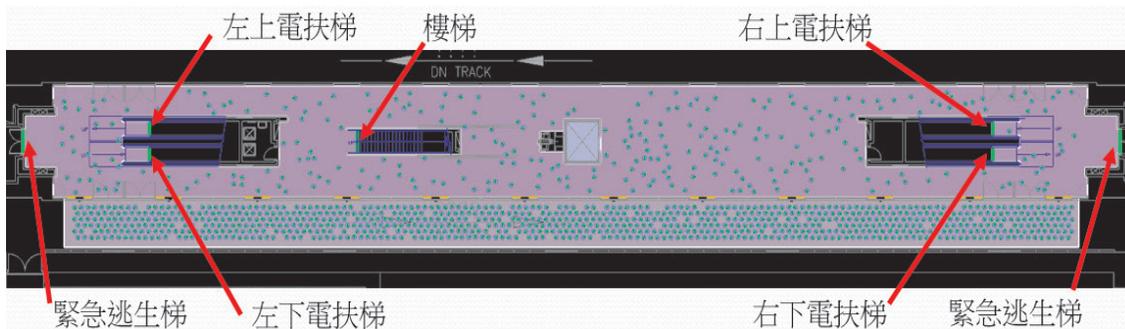


圖 4-8 月台層電扶梯分佈圖

從表 4-9 的結果可以發現，PATHFINDER 模擬的時間都比手算的結果還要來的多，最主要的原因是從模擬的過程可看到電扶梯和樓梯的疏散量在模擬中是最大值的設定，大部分的時間都不是最大的疏散量，而手算的計算都是採用最大的疏散量來計算，所以模擬的時間都會比較多；另外，手算的部分會減少一座電扶梯來計算，但不管是少哪一座電扶梯，對於手算的結果皆沒有影響，但是從 PATHFINDER 模擬的不同情境結果，如表 4-9 所示，不同電扶梯的禁行影響，確實會造成不同的結果，從情境二與情境三的模擬設定，關閉左側的電扶梯後，剩下的電扶梯與樓梯出口位置較平均，在避難上會更有利人員的疏散；從情境五的模擬

設定，關閉右側的電扶梯，剩下的電扶梯與樓梯出口位置明顯左右不平均，在避難上因為人員往較容易疏散的地方避難，因此避難時間會較久。

另外，不管在臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的月台層計算公式中，並沒有步行速度的參數計算，然而在 PATHFINDER 的模擬結果中，步行速度對於結果有很大的影響，因此，步行速度的設定也是造成 PATHFINDER 電腦模擬時間均會大於臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的計算結果。

表 4-9 PATHFINDER 模擬軟體電扶梯封閉情境模擬結果

情境說明	參數說明	臺北捷運中運量手冊參數 水平移動速度為 60m/min	NFPA130 水平移動速度為 37.7m/min
情境一（手冊計算時間）		2.27 分	2.47 分
情境二（左上電扶梯封閉）		175s=2.917 分	264.5s=4.408 分
情境三（左下電扶梯封閉）		176s=2.933 分	256.3s=4.272 分
情境四（右上電扶梯封閉）		185s=3.083 分	285.3s=4.755 分
情境五（右下電扶梯封閉）		182.3s=3.047 分	274.3s=4.572 分

（六）全站避難情境計算與模擬比較

依據地下車站地計算驗證，臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 其結果均要在 6 分鐘內，而在兩種不同的規範下，其全站避難的驗證公式的疏散時間均為一致，可參考表 4-10 所示，最主要的差異除了樓梯疏散量的計算外，驗票閘門總疏散量和人員移動速度亦不相同；而 PATHFINDER 模擬軟體將依據不同參數設定，利用可視化的模擬結果來比較其差異結果。

表 4-10 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 全站避難驗證公式

臺北捷運中運量手冊	NFPA130
總疏散時間= $T_t+W_p+W_g+W_c$	總疏散時間= $T_t+W_p+W_{fb}+W_c$
$T_t=T_1+T_2+T_3+T_4+T_5$ 所有路徑步行時間	$T_t=T_1+T_2+T_3+T_4+T_5$ 所有路徑步行時間
T1：月台層最遠處至樓梯口的距離(m)/步行速度	T1：月台層最遠處至樓梯口的距離(m)/步行速度
T2：月台層高度(m)/步行速度	T2：月台層高度(m)/步行速度
T3：穿堂層樓梯口至地面層樓梯口距離(m)/步行速度	T3：穿堂層樓梯口至地面層樓梯口距離(m)/步行速度
T4：穿堂層高度(m)/步行速度	T4：穿堂層高度(m)/步行速度
T5：地面層樓梯口至安全地點的距離(m)/步行速度	T5：地面層樓梯口至安全地點的距離(m)/步行速度
$W_p=W_1-T_1$ 在月臺出口增加的等候時間	$W_p=W_1-T_1$ 在月臺出口增加的等候時間
$W_g=W_2-W_1$ 在驗票閘門增加的等候時間	$W_{fb}=W_2-W_1$ 在驗票閘門增加的等候時間
$W_c=W_3-W_1$ 在穿堂層出口增加的等候時間	$W_c=W_3-W_1$ 在穿堂層出口增加的等候時間
W2：驗票閘門之疏散通行時間	W2：驗票閘門之疏散通行時間
W3：穿堂層出口之疏散等候通行時間	W3：穿堂層出口之疏散等候通行時間

1. 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 全站避難計算比較

臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的全站避難計算結果，其月台層容納旅客量計算結果均為一致，除了在電扶梯與樓梯疏運量計算上有比較大的差異外，驗票閘門總疏散量和人員移動速度亦不相同，如表 4-11 所示，導致計算結果上的不同，其相關計算結果如表 4-12 所示。

全站避難計算主要分為所有路徑步行時間、在月臺出口增加的等候時間、在驗票閘門增加的等候時間與在穿堂層出口增加的等候時間四個部分，從表 4-12 中可以發現臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 計算結果中差異最大的是所有路徑步行時間，從每段的步行時間計算結果中，水平的移動時間影響最大，主要原因還是在於兩種計算模式的步行速度不同；而從在月臺出口增加的等候時間中，可以發現兩種計算模式下的差異並不大，其差異原因在於總疏散的不同；在驗票閘門增加的等候時間與在穿堂層出口增加的等候時間經計算後均為 0，最主要是因為在設計上，驗票閘門的避難疏散量與穿堂層的總疏散量均要大於月台層的總疏散量。因此在臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的計算比較中，水平步行速度的參數設定是影響結果最重要的因素。

表 4-11 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 全站避難驗證相異參數

	臺北捷運中運量手冊	NFPA130
電扶梯與樓梯 疏運量計算	月台層：70 (電扶梯座數-1) +35b 穿堂層：70*電扶梯座數+35b b 為月台層樓梯的列數(每 0.55m 為 1 個列數)	((電扶梯座數-1)*寬度+所有樓梯 座數*寬度) *0.0555*1000
驗票閘門總疏 散量	閘門個數*45+無障礙閘門*85+維修 門*85	閘門個數*50+無障礙閘門*60+緊急 出口閘門座數*寬度*0.0819*1000
人員移動速度	水平移動速度為 60m/min 垂直移動速度為 15m/min	水平移動速度為 37.7m/min 垂直移動速度為 14.6m/min

表 4-12 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 全站避難驗證結果

	臺北捷運中運量手冊	NFPA130
$T_t=T_1+T_2+T_3+T_4+T_5$	$0.47+0.77+0.77+0.86+0.12=2.99$	$0.74+0.79+1.22+0.88+0.19=3.82$
$W_p=W_1-T_1$	$2.27-0.47=1.8$	$2.47-0.74=1.73$
$W_g=W_2-W_1$ ($W_{fb}=W_2-W_1$)	$0.79-2.27=-1.48$ (取 0)	$0.72-2.47=-1.75$ (取 0)
$W_c=W_3-W_1$	$1.23-2.27=-1.14$ (取 0)	$0.91-2.47=-1.56$ (取 0)
總疏散時間 $=T_t+W_p+W_g+W_c$ ($=T_t+W_p+W_{fb}+W_c$)	$2.99+1.8+0+0=4.79$	$3.82+1.73+0+0=5.55$

2. PATHFINDER 全站模擬計算比較

依據臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的月台層計算，月台層的總人數為 1190 人，其中人員分部的情況為列車人數 840 人，等待人員為 350 人，PATHFINDER 模擬軟體將人員分佈可視化，其全站模擬示意圖如圖 4-9 所示。依據臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的計算中，全站避難時會減少月台層一座電扶梯的方式來計算，因此 PATHFINDER 模擬軟體分別針對不同位置的電扶梯進行模擬，並對結果加以比較，其相關情境設定如表 4-13 所示，而電扶梯的封閉情況如圖 4-10。

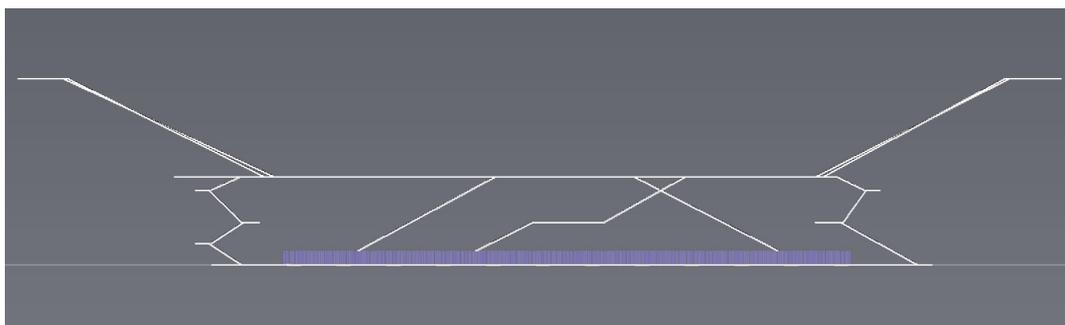


圖 4-9 全站剖面圖

表 4-13 PATHFINDER 模擬軟體電扶梯封閉情境說明

參數說明	情境說明
PATHFINDER 模擬軟體 (臺北捷運中運量手冊參數) 水平移動速度為 60m/min (NFPA130) 水平移動速度為 37.7m/min	情境六 (手冊計算時間)
	情境七 (左上電扶梯封閉)
	情境八 (左下電扶梯封閉)
	情境九 (右上電扶梯封閉)
	情境十 (右下電扶梯封閉)



圖 4-10 電扶梯的封閉情況圖

從表 4-14 的結果可以發現，PATHFINDER 模擬的時間都比手算的結果還要來的多，除了在之前月台層模擬時發現，模擬的過程可看到電扶梯和樓梯的疏散量在模擬中是最大值的設定，大部分時間的避難都不是最大的疏散量，而手算的計算都是採用最大的疏散量來計算，所以模擬

的時間都會比較多；另外，關於手算的部分會減少一座電扶梯來計算，但不管是少哪一座電扶梯，對於手算的結果皆沒有影響，但是從 PATHFINDER 的全站模擬中可以發現不同情境結果，如表 4-14 所示，不同電扶梯的禁行影響，確實會造成不同的結果，這部分與月台層的模擬結果一致，但是對總時間的影響卻沒有更多。

在臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 全站避難的計算結果中，驗票閘門增加的等候時間與在穿堂層出口增加的等候時間經計算後均為 0，但是從 PATHFINDER 的全站模擬可視化結果可以看到，在驗票閘門的位置，大部分的人還是會選擇自己知道的或認為是最近的驗票閘門等待出去，會發現有些驗票閘門並沒有完全被使用（圖 4-11），進而增加等待時間；另外在穿堂層往上的樓梯口也會發現人員壅塞的情況（圖 4-12），後面的人看不到前面還有別的樓梯可以走，造成時間的延長。PATHFINDER 的模擬在樓梯口與驗票閘門的情況與實際的情況較為符合，也是電腦模擬的避難時間都較手冊計算還要來得長的原因。

另外，在臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的全站避難計算公式中，水平步行速度分別 60m/min 和 37.7m/min 是造成時間上最大的因素，然而在 PATHFINDER 的模擬結果中，水平步行速度的差異對於結果的影響就更明顯了，因為在 PATHFINDER 的設定中，人與人之間的距離會造成步行速度的降低，也因此會增加所需要的避難時間，從結果上也可以發現到 PATHFINDER 電腦模擬時間遠大於臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的計算結果。

表 4-14 PATHFINDER 模擬軟體全站避難情境模擬結果

情境說明	參數說明 臺北捷運中運量手冊參數 水平移動速度為 60m/min	NFPA130 水平移動速度為 37.7m/min
情境六（手冊計算時間）	4.79 分	5.55 分
情境七（左上電扶梯封閉）	434s=7.233 分	687.8s=11.463 分
情境八（左下電扶梯封閉）	432.5s=7.208 分	686.8s=11.447 分
情境九（右上電扶梯封閉）	445s=7.417 分	694.8s=11.58 分
情境十（右下電扶梯封閉）	435.5s=7.258 分	691.3s=11.522 分



圖 4-11 驗票閘門疏散圖



圖 4-12 穿堂層樓梯與驗票閘門壅塞示意圖

伍、結論與建議

一、結論

本研究探討臺北捷運中運量手冊、NFPA130 與 PATHFINDER 電腦模擬相關比較，針對月台層避難與全站避難的討論可得到以下幾點的結論：

- (一) 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 在月台層的驗證計算中，其最大的差異在於疏散量的計算公式的不同。臺北捷運中運量手冊的電扶梯採用固定的疏散量，而樓梯則是採用 0.55m 為一個單位的計算，會因為四捨五入而容易產生較大的疏散量；NFPA130 不管是電扶梯或樓梯均隨著寬度做線性的變化。

- (二) PATHFINDER 的月台層模擬與手冊計算(臺北捷運中運量手冊與 NFPA130) 的最大差異在於步行速度。PATHFINDER 在月台層模擬需要有步行速度的輸入，而步行速度的不同是影響結果最大的因素；而手冊計算並無使用到步行速度。
- (三) 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 在全站的驗證計算中，在驗票閘門增加的等候時間與在穿堂層出口增加的等候時間經計算後均為 0，最主要是因為在設計上，驗票閘門的避難疏散量與穿堂層的總疏散量均要大於月台層的總疏散量。
- (四) 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 在全站的計算比較中，水平步行速度的參數設定是影響結果最重要的因素。
- (五) PATHFINDER 的全站模擬可視化結果可以看到，在驗票閘門的位置與穿堂層往上的樓梯口，並沒有完全被使用，會發現人員壅塞的情況，進而增加等待時間；PATHFINDER 的模擬在樓梯口與驗票閘門的情況與實際的情況較為符合，也是電腦模擬的避難時間都較手冊計算還要來得長的原因。
- (六) 臺北捷運中運量手冊與 NFPA130 的全站避難計算公式中，水平步行速度分別 60m/min 和 37.7m/min 是造成時間上最大的因素；而 PATHFINDER 的模擬結果中，水平步行速度的差異對於結果的影響就更明顯了，因為在 PATHFINDER 的設定中，人與人之間的距離會造成步行速度的降低，也因此會增加所需要的避難時間。

二、建議

- (一) 在本研究完成後，可提供未來的相關研究提出一下幾點的建議：
- (二) 可以利用 PATHFINDER 電腦模擬對於不同人員的設定，包括人員體型大小、步行速度、禁行區域與人員分流加以研究分析。
- (三) 可以導入應變人員的引導規劃，優化人員逃生的動線，是否可以減少避難時間。
- (四) PATHFINDER 電腦模擬可以預先規劃不同的避難情境，可供不同危害發生的同時提供引導人員或避難人員更清楚的引導指示。

參考文獻

- 謝宗勳，第四屆『捷運啟動、創意生活』跨校聯合課程與創業提案競賽。高雄捷運車站空間介紹簡報，2007.3
- 奈良松範、大島太伸、渡部學，「避難時的群集步行速度」，Bulletin of Japan Association of Fire Science and Engineering Vol.45. No.1-2, 1996
- 賴以軒，「通道與樓梯一般通行及緊急疏散行人流分析與模擬模式建立之研究」，國立臺灣大學土木工程學研究所博士論文，2001
- Ho, M. J. & Jian, S. W.. Basic Study on the Behavior Mode of Evacuation in Urban Space, Architecture & Building Research Institute Case Study Report, 1999.
- 黃浩彰、吳貫遠，控制體積模式對高樓層建築物避難時間計算之適用性研究，災害防救學報(民國 100.9)第十二卷第一期第 109~138 頁，Journal of Disaster Mitigation Rescue (Sep. 2011) Vol.12, No.1 , pp109-138.
- 內政部建築研究所委託研究報告「樓梯間避難與消防搶救空間競用之研究」。研究主持人莊英吉，2011.
- 指標性場所緊急事故應變程序——以車站共構空間為例期末報告。中央警官大學，主持人：曾偉文、共同主持人：簡賢文，2009.12.31
- 吳至哲、鄭俊生、周佩儒，高雄市政府 104 年度研究發展成果報告「公部門提升民眾搭乘地下交通運輸空間安全之對策以高雄為例」。2005.9.31
- 王隆昌「鐵路捷運系統災害之研究」交通大學交通運輸工程研究所碩士論文，1988
- 高雅娟，「捷運地下車站火災應變安全系統可靠度評估」，台灣大學土木工程學系碩士論文，2004
- 林世備「地下場站人員安全避難時間檢核分析與比較」，交通大學機械工程學系碩士論文，2010
- NFPA 130Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems (May 2019 ROP, Preprint)
- 臺北市政府捷運工程局，「臺北都會區大眾捷運系統中運量系統土建水環固定設施規劃手冊」，2018。
- Pathfinder 官方網站，<https://www.thunderheadeng.com/Pathfinder/>，2019 年 6 月。
- 潘冀建築師事務所網頁 <https://www.jjpan.com/portfolio/cks-intl-airport-access-mrt-system-zhongli-section-for-contract-du02a22%e3%80%81a23/>，2021

