

行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

捷運地下空間火災避難安全模式分析

--總計畫

計劃編號: NSC 89-2312-E-002-145

執行時間: 89/08/01 ~ 90/07/31

主持人: 陳發林教授

執行單位: 國立台灣大學 應用力學所

摘 要

本計畫含有四個子計畫，分別為：子計畫一：捷運地下空間人流避難時間計算模式分析，主持人：簡賢文——中央警察大學消防學系；子計畫二：捷運地下空間避難路線規劃及安全性評估，主持人：曾平毅——中央警察大學交通學系；子計畫三：捷運地下空間火災煙流控制及流場數值模擬分析，主持人：張鴻明——文化大學機械工程學系；子計畫四：捷運地下空間人流與氣流實測主持人：陳發林 國立台灣大學 應用力學所。本群體研究案擬透以上四個子計畫的研究結果，整合成一安全避難模式，供捷運地下空間內發生火災時人員逃生時之用。全案將分別對(1)安全避難最低容許時間作分析和計算，同時也進行(2)逃生避難路線之分析與規劃，另外也將對(3)火災所引起之濃煙如何飄散進行分析，並(4)選擇某特定地下空間作人流與氣流之實地監測，資以上分析工作之確認及參考。經由此四項研究成果，我們擬定出一適合台北捷運系統之地下空間火災逃生之避難模式。此模式亦能成為往後作為其它特定空間之同類分析之典型模式。所得之特例數據及適案模式均可供為設計審查驗證作業時之依據。

關鍵詞：大眾捷運系統、地下空間、避難安全、避難時間、計算分析模式

1. 前言

台北都會區捷運系統從民國七十年開始規劃，於民國八十八年全線通車。整個捷運網路分成五條線，全長八十八公里，其中設有八十個捷運站。從規劃初期，施工，到今日四條線相繼通車[註：木柵線，淡水線，新中線，板南線]，主管捷運工程單位碰到不少困難。如規劃時所提出之中運量捷運系統之實施，是一新的概念與方法；又如台北區地面路線規劃之複雜，地下路段施工之困難，都是工程及規劃上極大的挑戰。當全面通車後，另一困難的議題將隨即產生：地下空間系統的人員安全避難問題。

台北都會區捷運系統大部份採地下化設計。其外圍另闢有地下街商圈，二者構成都市中地下活動空間的主體。在全面通車後，每天會有超過百萬之使用人。在這龐大的地下空間系統中，使用人的安全是整個系統只准成功不准失敗之關鍵因素。安全永遠是設計公共空間的最優先考慮因素，尤其在使用人進出頻繁的交通要塞如捷運系統等更是如此。於1987年時，在號稱擁有世界最複雜的地下捷

運系統的倫敦市中最大的kings Cross地鐵站內，即因某乘客的疏忽，將一根火柴棒丟入電扶梯中而引發潤滑油的燃燒，所產生的濃煙在地下空間中迅速蔓延。當時該地鐵站並無緊急通風或相關避難逃生模式的設計或運作，故無法有效的將濃煙有效地控制及人員之避難疏散，因而造成多人死亡的悲劇。另於1994年間，東京地鐵系統內連續遭恐怖分子釋放沙林毒氣，造成數十人傷亡，引起整個社會之人心惶惶。以上二例均顯示地下空間通風系統之設計及運作之正確性與適當性的重要。

目前我國對於捷運地下車站之防災設計多採用美國國家防火協會NFPA130 作為消防安全設計指南，此項標準係專對定軌運輸系統之火災預防及人命安全而提出。當初台北捷運系統原始設計採用NFPA-130(1986年版)為消防設計指南，然現今NFPA-130已作多次修正，並賦予整體安全對策基準有較大彈性之工程設計方法。美國NFPA National Fire Code No.130 中有關所有使用車站人員應在四分鐘內自月台疏散完成，六分鐘內最後一人應進入安全區(safety point)。

本研究案首先擬透過對於捷運地下車站基本設計與規劃之瞭解，先進國家類似空間曾發生火災造成人員嚴重傷亡之案例分析，並引進先進國家對於地下車站整體防災法規、消防安全評估方法及工程技術，與國內已興建或正規劃之地下車站做一比較分析，試圖從中找出可建構我國捷運系統地下車站整體消防安全對策架

構體系及各火災成長階段(Fire phase)各重點對策(火災預防、探測預警、初期滅火、防火(煙)區劃、避難逃生、消防救助)功能需求指標及其可替代性方案。

其次，本案鎖定以「避難安全容許時間」為評估對象，試圖找出地下車站人員安全避難容許時間指標及在相同功能展現下之替代性方案內容。而發展過程所作之分析亦可訂成一模式，成為往後作為其它特定空間之相同分析之典型模式。所得之特例數據及適案模式均可供為設計審查驗證作業時之依據。

目前地下車站多被視為特種建築物，其有關滅火設備、防火區劃、直通樓梯及步行距離等無法適用建築技術規則或消防法規部分，應提替代方案併防災計畫書送內政部營建署及消防署審核。一般地下車站，其尖峰時段每小時進出車站旅客高達數千人甚至萬人以上，而先進國家類似空間又有曾發生火災造成人員嚴重傷亡之案例，不禁令國內地下捷運交通工程設計規劃、審核認可、使用管理單位、消防搶救單位及搭乘捷運鐵路運輸之民眾擔憂：若正駛進地下車站或於區間隧道之列車發生火災時，如何及時探測通報預警，適時啟動初期滅火設備有效控制火勢，或透過防火防煙區劃設施局限火煙之延燒擴大？及人員如何在惡劣空間內避難逃生？防災管理重點何在？消防救災人員如何救災？等皆是一大挑戰。而其防災計畫是否能符合國內實際狀況，亦有深入探討之必要。

大規模建物由於特殊的使用目的，往往擁有特殊的空間規劃設計，而不能循現有的法規要求內容與項目，達成控制火災損失或防災之目的。因此，國內外各相關法規均留有不能適用一般規定之替代性方案之例外作法，甚至有所謂完全不按法規項目逐一比對設計，而針對設計目標採功能性設計評估技術，達成認可安全水平之案例。

雖說各種功能性法規(Performance-based Code)之建構方法、評估模式及驗證技術日益明確；但就替代性方案仍屬初萌階段之台灣防火工程界而言，欲立即躍入功能性規範之設計驗證領域並形成政策付諸實施，可能仍力有未逮，尚需努力研究之處甚多且試誤程序仍不可避免。倒是由替代性方案檢討對整體防災對策影響效果之評估方法，不失為目前解決大規模建物防災計畫書內容建構方法及評估技術之有效作法。

防災計畫書之寫作要項內容及規範準則，目前雖已有研究者提出；惟仍處於紙面定性列述型態，無法充份瞭解各子計畫要項內容彼此關係及有機性結合之整體功能效益。有鑒於此，本研究試圖以「避難安全」之觀點與目標導向，審視貫穿大規模建物(以地下車站為例)火災各成長階段之『助長要因群』及『防災對策群』之組合關係，一旦各 Fire phase 可能之防災對策群其構成及條件能被充分釐清掌控，則國內便擁有一套可供達成延長地下車站空間人員安全避難容許時間可行性方案之操作方

法與工具。

3. 主要研究成果：

車站內發生緊急火災時，不同大小的火源位於不同位置，配合不同的列車進站速度所造成濃煙的飄散特性均不同。我們的架構以公館捷運站的模型為主體，此模型依照真實公館捷運站的比例，區分為大廳層以及月台層。在大廳層分別有四個通往地面層的逃生出口，我們的目的是在於了解當濃煙發生時，各個逃生出口的煙流情形，首先我們分別將 1MW，10MW 以及 20MW 的火源放置在四個不同的位置，分別是月台左側、月台中央、大廳左側、以及大廳右側，此時又假設列車進站以及沒有列車進站時的兩種情況。以下逐一以圖示分析其速度向量、溫度場以及濃煙場的分佈情形。這裡我們列舉火源 10MW 發生在月台中央的情形。

本研究也透過對於捷運地下空間基本設計與規劃之瞭解，從先進國家類似空間曾發生火災造成人員嚴重傷亡之案例分析，並引進先進國家適用於一般建物或地下車站之人流避難時間計算模式，與國內已興建或正規劃之地下空間防災計算中之避難規劃內容做一比較分析，試圖從中找出可建構我國捷運系統地下空間避難安全對策架構體系重點對策之避難逃生評估工具其模式架構、假設條件、計算步驟、解析技巧、功能需求指標及可替代性方案。

另外本研究也建立一套可以反應地下捷運車站避難安全程度之評估模式，據以評估地下捷運車站避難安全程度及分析危險因子。本研究首先將捷運車站避難安全之因素，予以系統化並建立評估架構。再應用多準則評

分法篩選出主要影響車站避難安全之因素，並藉由模糊分析層級程序法(FAHP)決定模糊相對權重，以模糊統計方法構建出各評估準則之隸屬函數，藉以進行避難安全程度之模糊綜合評判分析。經本研究兩次之專家學者問卷調查分析，共篩選出四個標的層面及十二項準則。經以公館站進行實例分析，經綜合研判與敏感度分析，顯示本模式具可操作性及實用性。

基本上 TVF 皆往隧道方向的通風井排煙的運作模式的優點為：一旦開啟 TVF 將站內空氣由隧道口附近的通風井排出，這可將地面層新鮮空氣吸入車站內，造成部份大廳是無濃煙可到達的安全空間。反觀月台層則容易佈滿濃煙，對於月台層人員來說，必須在極短時間內離開月台，否則會遭受濃煙的侵襲。

由 TVF 不同的運作速度來比較，較小的運作速度對於月台的排煙較無效果。拿運作速度 1m/s 來說，雖說 TVF 排氣會吸引地面層的空氣進入，但在此一速度下所造成的效果卻不明顯，大部分的空氣流動受到火源的影響。再比較 TVF 速度 3m/s 以及 5m/s 的情形，可以明顯發現，由於 TVF 速度增大，因此吸引地面層進入的風量相對變大，使得大廳層不受濃煙影響的區域面積更大。這個結果告訴我們，TVF 往隧道方向通風井排氣的運作模式可使大廳層呈現將較安全的情況，但是前提是 TVF 的運作速度必須達到一個定值，才能有效達到這個煙控的目的。不過這種運作模式的缺點就是造成月台層佈滿濃煙，呈現極危險的狀況。

此時的避難策略為大廳層的人員盡快移動到大廳層兩側，但是 TVF 的運作速度必須在一個有效值之上，至

少需 3m/s 才可以有效的吸引地面層的新鮮空氣達到壓制濃煙的效果，當然此時配合樓梯口風機打開的煙控策略更能確保大廳層人員的安全。而月台層的人員因為濃煙迅速擴散，所以應立即逃入位於月台兩側的逃生梯內。

本研究有關評估準則係從捷運車站營運安全設備以及國內、外相關文獻對捷運車站安全疏散之衡量方式與對策為出發點，並結合一般建築物在火災情況假設下，應考量之避難安全影響因素彙集而成，共選取 4 個標的層面與 17 項評估準則，並透過評分法篩選後得到 12 項準則。權重係採 FAHP 方法加以決定，可將人為的不理性與不一致性降至最低，故較具公正與客觀性。於綜合評判過程中，可由各評估準則的安全隸屬程度，瞭解受評車站在該項影響因素的相對危險程度(隸屬度愈接近 1 則愈表示安全)，作為研擬改善方案之參考依據。

由標的層的相對重要性可知：權重值大小分別為「消防與避難誘導設備可靠度」、「車站管理人員應變能力」、「避難設施的配置」、「旅客對避難環境的認知」。由評估準則的整體重要性可知：以算術平均數而言，在車站管理人員應變能力層面中，權重值最高的準則為「車站實施救災演習強度」，其次為「員工實施防災訓練強度」、最低為「員工在職訓練強度」；在旅客對避難環境的認知層面中，以「知道避難逃生路線的乘客比率」的權重最高、「知道緊急逃生梯位置的乘比率」次之；在消防與避難誘導設備可靠度層面中，權重值最高的準則為「緊急照明設備可靠度」、其次分別為「避難方向指示燈

正常作用比率」、「出口標示燈可靠度」、「消防設備自行檢查頻率」最低；在避難設施的配置層面中，最高為「自月台層疏散全部乘客所需時間」、其次為「最長避難路線之距離」、「所有避難逃生路線數」最低。

本研究限於時間與經費之限制，僅以捷運公館站為評估對象，建議後續研究者可以多個車站為評估對象，將可比較其避難安全性之高低，並可作為改善優先順序之參考。後續研究者可針對其他捷運車站之乘客對避難環境認知作比較分析，藉以瞭解不同的乘客屬性是否對避難空間有不同的認知差異。由於乘客知道捷運車站避難逃生路線與緊急逃生梯位置的人數比率偏低，建議營運單位應加強對乘客避難逃生知識、避難設施的使用方法的宣導，以及避難逃生路線及逃生梯位置的標示。而營運單位可將每月的某一日訂為防災宣導日，讓乘客實地操作各項安全設備，更有助於將可提昇乘客對避難逃生的能力。各捷運車站應定期、不定期實施緊急逃生演練，以熟悉各種狀況處置，有助提昇車站員工的緊急應變能力。

參考文獻

- (1)S. Simcox, N. S. Wilkes&I. P. Jones , "Fire at King's Cross Underground Station, 18th November, 1987: Numerical Simulation of the Buoyant Flow and Heat Transfer, AERE-G 4677, Computer Science and Systems Division , Engineering Science Division, Harwell Laboratory, Oxon O x 1 1 O R A , J u l y , 1 9 8 8
- (2)S. Simcox, N. S. Wilkes&I. P. Jones , "Fire at King's Cross Underground

Station, 18th November, 1987: Numerical Simulation of the Effect of Train Movements, AERE-G 4677, Computer Science and Systems Division , Engineering Science Division, Harwell Laboratory, Oxon O x 1 1 O R A , J u l y , 1 9 8 8

(3)楊冠雄，期末論文，台北都會區捷運系統火災煙控策略與緊急運轉程序分析，民86年。

(4)周湘魁，陳景池，捷運地下站適用排煙模式的探討，台北捷運10週年工程研討會專輯，台北捷運工程局，民86年。

(5)黃弟勝，我國捷運系統地下車站避難安全性評估的研究，民89年

(6)林同棧，台北都會區大眾捷運系統，環控模擬(包括1D&3D)分析報告，民89年。

(7)周湘魁，環控控制系統概述，捷運車站規劃講習教材(一)，台北市政府捷運局，民82年。

(8)台北市政府捷運工程局，台北都會區大眾捷運系統規手冊，民87年。