

站體的煙控及避難系統設計

作者：亞新工程顧問公司機電部經理 張明坤

亞新工程顧問公司機電部空調技師 王偉棟

一 摘要

排煙系統在消防之立場而言係屬消極性措施，然其重要性在火災初期卻是不可或缺之一環，它除將煙限制蓄積在火災發生之區域並由區域內排煙口排除外，其最主要目的係控制煙之蔓延，爭取地下車站內之人員逃生時間及提供清楚之逃生路徑。

台北捷運系統在排煙系統規設上，歷經早期路線(木柵、淡水、新店及中和線)的初期規劃理念期、近期路線(南港及板橋線)的改進期及後續路線(新莊、蘆洲及信義線)因增設月台門對地下車站之排煙系統的因應，台北捷運局及台北捷運公司相關專業人士，已集國內各設計顧問公司設計成果並與消防單位充分討論後施行的精華，著有諸多論述。

本文擬從另一個角度，在建築技術與空間使用、價值工程、設計基礎、性能驗證、緊急應變、變更管理及乘客教育等方面，來探討捷運車站站體的煙控及避難系統等設計課題，並就教於先進。

二 課題與挑戰

(一) 建築技術與空間使用

捷運系統建築為減少對地面交通及環境之衝擊，以地下建築居多，同時為滿足都會區建築使用者之生活型態，往往在設計規劃時，將多元化之生活機能納入考量，例如地下商場及商店街等，形成滯留人潮，其衍生之人員安全問題自然比一般建物為複雜。

地下段捷運構造係由車站及連接車站間之隧道所組成。典型標準地下捷運車站為地下二層站，其中地下一層為穿堂層，地下二層為月台層。車站空間主要分為公共區(乘客區)及非公共區(員工區及機房區)，公共區之穿堂層及月台層均為無隔間之空曠區域，其中穿堂層為月台層與地面層間之緩衝地帶，它主要以驗票閘門分為付費區與非付費區。非付費區藉由樓梯、電扶梯及無障礙電梯和地面相通，付費區亦有樓梯、電扶梯及無障礙電梯至月台層，而月台層主要為乘客候車區；非公共區主要為車站員工辦公室及機電設備房，分設於車站穿堂層及月台層之前後兩端。

自月台層至穿堂層，以及自穿堂層至地面層之樓梯及電扶梯，在緊急狀況時，雖不似水平通道毫無阻礙，但它卻是無可取代的全開放通行設施。不

過，用以分隔付費區與非付費區的驗票閘門，雖然它被設計為斷電時成釋放狀態，但它必竟仍是緊急逃生時的一道障礙。

(二).價值工程

一個事件如果它屬經常發生，但發生的結果屬可忽略危險，與幾乎不發生，但發生的結果屬災難性危險，我們應如何看待及處理？就風險管理角度而言，前者並不因其屬可忽略之危險而不予處理，起碼應降低發生機率；後者則更不因其幾乎不發生加予忽視，而應有所作為加予防止其發生。譬如車站排煙設計理念由原有之全區排煙設計改為目前之分區排煙設計、部份區域設置兩個以上之排煙閘門，以及驗票門閘朝門板式設計以消除早期三柱式不利緊急逃生時的障礙等都頗符風險管理需求。

不過，在符合風險管理原則下若能兼顧價值工程應用，則更能達完美設計境界，譬如排煙系統偵煙器與火警偵測器共用，將可在不影響功能下尚能節省成本，同時，降低對景觀之衝擊。

(三) 設計基礎

目前國內對特殊建築之設計，尚無一套公認成熟的制式火災安全設計規範，而在國際間發展多年的性能式建築設計，應用層面卻已然擴大到消防安全。性能式設計以所需的性能做為設計引導，有別於完全遵循條文規範的傳統，對設計挑戰性大的特殊建築而言，「科學分析」儼然取代制式規範條文成為設計單位關注的焦點。就在這一波火災科學應用的熱潮中，我們警覺到相關防災知識其實具高度複雜性與廣泛性，例如火災潛害、燃燒測試、資料演繹、群眾行為等等，必須嚴謹處理所接觸到的科學依據、假設、限制與不確定性，這也是關係人應負起的責任與承諾。尤其國內目前相關之發展現況，多以引入技術為主，相關計算公式及技術標準等文獻頗多，而百家爭鳴的結果之一，就是更加必須從頭考究「設計基礎」這個首要課題的正確合理性。

(四) 性能驗證

一份設計最終要靠測試來驗證；從設計基礎與所需性能出發展開設計，其中，測試計畫書係在過程當中需要建立的一項重要文件。驗證特殊建築物煙控系統的實際性能，大多必須於現場實施熱煙測試 (hot smoke test)，測試的規劃判定則依據設計基礎和內容。一份測試計畫書應至少包括：範圍目的、事件矩陣 (event matrix)、測試方法、實施計畫、判定標準、測試協定與參考文獻。驗收測試應該盡量模擬實際情形；此外，驗收之前的各個施工階段都必須有足夠的監造活動與單元測試，以釐清施工品質是否影響設計性能。建物開始正式使用的定期測試計畫，也應依據設計書與驗收測試結果訂定。除此之外，有關建築物變更後之測試，亦應納入考量，以確保整體之性能完備。

(五) 緊急應變

再完善的火災安全設計，仍然倚賴臨場即時啓動正確的機制與程序方能竟全功；有效緊急應變的要素包括設計基礎、程序書、人員及演練。捷運系統之維護管理除須確保正常運轉，以提供高品質之服務外，更須在災害事故發生時，能迅速確實應變，將災害事故排除，避免釀成巨災，造成人員傷亡及財物損失。緊急應變程序書的制定過程，必須容納火災安全設計的詳細內容，加上廣泛的專業知識，如建築設施與系統設備等，才能保障應變程序基礎與運轉設定邏輯的合理性。此外，其他常見的問題有：缺漏緊急運轉失效備案、建築軟硬體變更未修訂緊急應變計畫並驗證、未針對建築與使用特徵量身訂做、臨場執行延誤、人員變數等。改善這些問題的研究與技術，有必要盡快趕上其他領域的進步。

(六) 變更管理

為因應都會區之持續發展及旅運需求之不斷成長，各都會區之大眾捷運系統在初期規劃時，均以目標年旅運量作為各路線之設計依據，然而由於路線需求的緩急、系統技術的差異、施工的難易以及對資源的分配，在整體路網的形成中會有分階段建構之程序性計畫。為使系統達到最有效之使用，在各階段所預定之路網完工前，即應著手準備通車營運事宜，使其正式進入營運之行列，儘早發揮服務之功能。因此，配合各階段之營運，相關軟體及硬體之管理，必須兼具擴充性、相容性及經濟性，以便於變更銜接及擴充時，不致影響整體系統之運作及安全。

三 站體煙控與避難系統

台北捷運排煙系統

台北捷運排煙系統規劃之演進，共經歷三個階段，分別為初期路網之早期排煙系統、現行排煙系統以及後續路網裝設月台門後之排煙系統，以下將分別作一說明。

(一) 初期路網早期排煙系統

初期路網之早期排煙系統僅於公共區有排煙之考量，其排煙係採用機械式排煙系統，其排煙動作為全區排煙之模式，而隧道排煙則類似正負壓煙控之「推-拉」模式(PUSH-PULL)

(二) 捷運現行排煙系統

- (a) 由全區排煙改為分區排煙之觀念，將煙儘量侷限於事故區劃內，使其餘區劃不受煙之干擾，提供人員清楚之逃生路徑。
- (b) 排煙風管改為專用，不與回風管共用，同時增設專屬排煙風機，且需掛接緊急電源。
- (c) 將穿堂層及月台層分別分隔成數個防煙區劃，每一防煙區劃內增設排煙專用偵煙迴路及排煙閘門，且每一區劃內設置手動開關可開啓該區排煙閘門。
- (d) 於PAO 附近增設排煙總機，使車站內之排煙系統為一獨立運作之智慧型系統。

(三) 後續路網採月台門對排煙系統之影響

後續路網(新莊線以後)為確保乘客和行車安全，同時降低空調負荷，節省初設成本和後續運轉費用，將採用月台門系統，使月台與軌道完全區隔。除可避免煙在隧道與月台層之間漫延，更因外氣之進入方向與人員逃生方向相反，可提供清楚之逃生路徑及新鮮外氣。

(a) 車站區域排煙系統

車站公共區及非公共區之排煙設計仍為分區排煙之觀念；唯一不同者為空調之送回風系統將不配合隧道通風系統，協助車站作加壓或減壓之功能。車站月台下回風管(UPE)將作為排除列車廢熱，促使隧道內空氣與外界空氣作熱交換之功能。

(b) 隧道區域排煙系統

配合車站增設月台門系統及站體減體減量政策，將隧道通風機房由月台層移至穿堂層，隧道通風系統採加壓式，因此隧道通風系統由原一推四抽之通風模式修改為兩推一抽之通風模式。

高鐵車站煙控設計〔以新竹六家車站為例〕

車站概述

車站站體規劃地面一層為非付費區之車站大廳，挑高約8M與15M，連結並輸送東側與西側進出的乘客。從地面一層車站大廳可經驗票閘門，沿著電扶梯(或樓梯)至地面二層的乘客休息區。

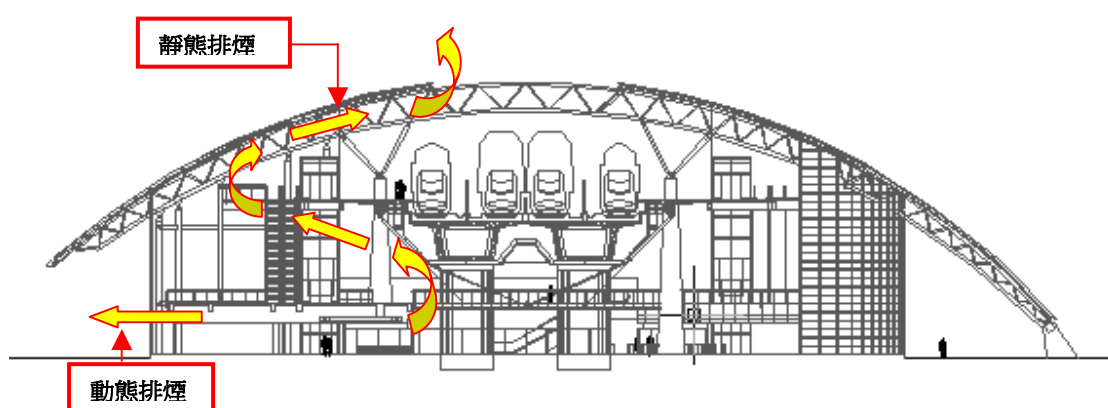
地面二層配置北上與南下乘客休息區，可藉由兩過橋連接形成

「Loop」。分別配置電扶梯與樓梯上至月台層，。

地面二層同時規劃有VIP休息室，廁所及部份的行政服務與機電空間。月台為站體與軌道連接樓層，全長計有420M並有約10m寬雨庇。月台層設計為一開放平台，北上與南下各有一月台站務室，並有規劃直通電梯，以利殘障人士與運輸行李使用。

煙控策略

地面一層靠近商業區的區域，由地面至天花有大約21米高，當有火及煙產生時，是最惡劣的區域。因此規劃設計時，利用了三維計算流體力學 (CFD) 技術去研究煙的擴散情況及空氣溫度分佈。利用靜態排煙系統進行分析時，補充空氣由大廳較低位置的外部幕牆開口和門流入，而沿月台邊牆的最高點配置高位排煙窗口。模擬顯示高溫的煙會成團的向上昇，後沿屋頂的形狀流出開放式的路軌區，再往大氣擴散，因而不會妨礙車站各層之乘客逃生。(如下圖) 分析選用的計算流體力學 (CFD) 模型是 Fire Dynamic Simulator. 釋熱量為2MW.



排煙設備之概要

- (a) 入口大廳及旅客等待區採靜態排煙模式，於屋頂側牆設置排煙窗，排煙窗之有效開口面積按消防法規要求，採大於防煙區劃面積百分之二設計。火災發生時由車站機電設施監控管理系統 (SBMS) 自動控制屋頂所有排煙窗之開啓，將煙排出室外。並停止所有車站區空調系統之運轉，其他樓層之排煙系統則保持原有操作模式。
- (b) 地面一層商業區採動態排煙模式，排煙風量按各類場所安全設置標準 $1\text{CMM}/\text{m}^2$ 設計; 每一商業區內之防火捲門用於隔離商業區及大廳，當火災發生時，大廳及商業區之空調通風設備自動停止運

轉，站區建物管理系統(SBMS)自動啓動排煙風機，其他樓層之排煙系統則保持原有操作模式。補充空氣經由月台電梯/樓梯挑空區域及車站入口處流入；火災時，車站入口處之空氣幕風機處於關閉狀態。

- (c) 地面二層貴賓室採動態排煙系統；火災時，由車站機電設施監控管理系統(SBMS)啓動排煙風機，並停止所有空調系統之運轉。補充空氣經由自動開啓之防火閘門直接由戶外引入。

經驗與建議

國內捷運及高鐵系統對於建築物消防安全之要求，除依據國內建築法規及「各類場所消防安全設備設置標準」之相關規定外，更參考國外 NFPA 之相關設計標準，已屬相當嚴謹；然而，建築設計及材料、工法之不斷推陳出新，往往超越現行法規標準之範疇，使得建築設計為了符合現行法規需求及儘快取得建造許可，必須犧牲創意或過度設計。不但無法提昇設計水準，甚至因過度投資，而造成浪費。

因此，建議及早檢視現行法規之適用性，推行性能式法規制度，給予設計者及投資者更大之發揮空間，同時，仍能確保建築物消防安全之首要目標。

四 未來展望

(一) 緊急應變程序分析

有效緊急應變的諸元要素中，最根本者莫過於產生一份充分妥善的應變程序書。制定程序書需要熟悉火災專業知識，才能確保基礎與邏輯合理。因此，緊急應變程序應由專家制定及分析，重點包括事件設定、程序基礎、運轉邏輯、失效備案、演練驗證、反應建築變更、維護修訂等。隨著台北捷運路網持續發展以及車站連通週邊使用空間的普遍現象，過去已建立的應變程序書或有重新檢討的必要，而未來需要制定的應變程序，更應合乎捷運全線完工後的統合需求。

(二) 應變指揮系統

火災緊急應變牽涉複雜的決策與指揮過程，傳統的應變實施方式有很大的改善空間。應變程序(標準決策)可以事先藉由專家分析達到合理正確，但更大的挑戰是臨場的指揮必須即時而且正確。尤其捷運系統介面錯綜複雜，倚賴厚重手冊來對應緊急情況的時效性及正確性，無法事先確保；即便平時加強訓練及模擬演練，亦無法做到全面性之情境演練及量化之成效評估。再者，防災計畫及應變程序必須配合營運管理之進展不斷檢討及更新，採用管理手冊之方式較難滿足即時同步更新之需求。

將緊急應變程序發展成為電腦程式的概念，已有實際應用的案例，緊急應變軟體不僅可大幅協助緊急指揮及應變作業，尚有許多其他優點：

1. 操作簡單，迅速正確

- a. 不需花費時間搜尋管理手冊的對應處置措施
- b. 依據制定的程序書內容，避免緊急情況疏忽
- c. 操作如同一般視窗環境，簡單易學
- d. 僅需利用滑鼠或鍵盤回應程式之詢問

2. 圖像化的使用介面

- a. 按既定的應變程序，導引指揮官順利操作
- b. 根據辨識之災害情境，導引做出正確適當之決定
- c. 可顯示災害現場配置圖等相關資訊

3. 紀錄功能

- a. 所有指揮過程均可輸出紀錄提供分析
- b. 實際事故發生或訓練完成後的紀錄，可協助判定應變處置是否得宜
- c. 所有紀錄可儲存列印

4. 統一訓練內容

- a. 可利用實際之事故情境做為訓練，同時驗證應變程序之適切性
- b. 所有使用者可採相同之訓練內容，藉以訓練標準化並評估使用者對緊急應變之訓練成效

5. 可在安全及彈性之時間下實施訓練

- a. 應變訓練可依個人時間，藉由電腦彈性進行
- b. 可在不影響系統整體性之情況下，隨時啟動或終止程式

6. 程式執行僅需基本軟硬體

- a. 只需視窗作業環境和I/O介面
- b. 不需高性能的電腦處理速度，記憶容量或資料儲存設備

7. 隨電腦通訊技術提昇功能

- a. 網路技術大幅簡化程序書更新作業
- b. 無線通訊技術賦予指揮應變人員更大的活動彈性，降低對固定設備的倚賴

(三) 火災測試

火災安全分析與設計的重要項目，例如火災危害、排煙量、設計情境、避難時間、火警與灑水作動等等，需要正確的基礎資料才能獲得有意義的結果，而火災測試則是取得火載燃燒性質等基礎資料的主要方法。美國方面，基於強調對設計基礎的重視，加上主管機關對具有測試數據支持的設計分析的接受度也比較高，因此，針對捷運車箱曾經進行許多火災測試，

研究車輛材質燃燒特性、火災潛害、電腦模式等課題，投入可觀的成本，發展火災測試技術與建立資料庫。建議國內可透過聯合研究的模式，建立交通運輸設施的相關火災測試能力；現階段則應該特別強調引用數據的考證過程與設計結果的驗證。

(四) 性能式設計

性能式設計 (Performance Based Design, PBD)，係先進國家對於建築物防火安全的發展方向。應用各種火災預防、主被動式防火及避難安全對策與方案，藉由防火安全工程 (Fire Safety Engineering, FSE) 手法，達成法規要求的安全水準。目前國內的建築防火設計，對建築物整體防火性能的全面評估驗證比較缺乏，但值得慶幸的是，性能式設計的觀念已在國內逐漸推廣，有關的技術研究與法規研擬也緊鑼密鼓進行中，相信未來在交通運輸系統之應用上，將有很大的潛力。

(五) 系統整合

火災防護與避難逃生系統，和其他建築設施，例如監視系統或保全系統等，要如何在各自的功能以外，確保在緊急情況下能夠相互搭配或至少不影響性能，仍然需要進一步研究。監視系統有火災警報和火場監視的功能，保全系統則要小心檢討對於避難逃生設計的可能影響。台北捷運初期路網，各車站水電、環控、電梯、電扶梯等工程均分別設置了監控設備及人機界面，但後續路網將整合車站各處之子系統人機界面至乘客服務處 (PAO)，透過電腦軟體掌控車站各系統之即時狀態。電腦化緊急應變軟體將可一併納入整合，提供捷運系統更完備之營運管理。

(六) 乘客教育

亞塞拜然在1995年發生一起最嚴重的地鐵事故，一列正行駛於隧道中的列車，最後兩節車箱發生電氣火災引燃車箱可燃材質，事故列車停在隧道中，火災濃煙迅速擴散引發乘客驚慌逃生，造成將近三百人死亡與一百多人受傷。現今的建築材料及設備系統等科技，對於火災的預防與人命安全的提昇已有相當成效，然而硬體以外的配合，例如乘客避難常識往往屬於日常較少思考的層面，一旦需要時反而成為生存的挑戰。若深入評估，加強乘客教育和應變訓練可能是最具效益的火災安全措施，值得相關單位重視。

五 結語

台北捷運之排煙系統由於規劃時間早，其間歷經消防法規之修訂、人民公共安全意識提高及實務上之檢討，更經消防主管機關現場指導及實地測試

演練之後，各線陸續上路加入營運，目前營運之捷運路網已為都會區帶來多樣化之運輸服務，並逐漸改變都會大眾的生活型態及對於運輸系統之期望與依賴。

「舒適」、「便捷」及「安全」為捷運系統的三大服務指標，因此，將來都會區捷運路網或高速鐵路之興建，除了要滿足「舒適」、「便捷」需求外，更應走在公共建設之前端，提供先進的技術及「安全」的服務；為達到以上之目標，無論是投資者、規劃設計者、施工建造者及營運管理者，均應責無旁貸，共同努力，突破既有之限制，開創更新的符合經濟及安全的系統。