



以 BIM 輔助開發捷運建築設計、校核工具與智慧化逃生檢核工具

中興工程顧問股份有限公司軌道二部建築師 / 陳柏愷
中興工程顧問股份有限公司軌道二部規劃師 / 王思涵
中興工程顧問股份有限公司軌道二部工程師 / 洪晨瑋
中興工程顧問股份有限公司軌道二部技術經理 / 賴建名

關鍵字：捷運車站、設施量、空間配置、規範校核、逃生路徑

摘要

為改造既有的捷運車站設計與校核流程，及有效應用BIM工作成果，中興工程以車站建築空間配置的創新為出發點，引領捷運設計團隊數位轉型。本文簡介中興工程因應捷運車站設計與校核需求的相關技術發展（SinoStation），包含設施及逃生檢核平台、空間配置程式、建模及規範校核API、最嚴峻逃生路徑分析程式等工具之開發與應用。

一、前言

捷運車站建築空間配置的優劣直接影響旅客進出站與候車的舒適度，以及站內各種

設備的運作效益。一般車站設計初期即須考量包含路外用地、路寬等外在限制條件，確認各出入口設置的位置；站內公共區規劃需考量旅客的水平或垂直動線，包含付費區、未付費區及通往各出入口的動線等；機電水環等機房利用非公共區空間設置，特定功能的機房之間具有相鄰或相近的需求，須以模組方式配置，若是地下車站，其進氣、排氣、釋壓等管道需要占用較大的空間，且須連通到地面出入口或特定地點的通風井。捷運車站設計流程中包含上述基本要件及其衍生細節，設施量、空間配置等設計成果需符合規範要求，另須檢討車站逃生路徑與時間。捷運車站設計規則繁多，各種設計參數環環相扣，尤其在細部設計階段需要更嚴謹

的檢閱。

設計與校核是緊密結合的工作重點。以往通常在設計成果完成以後，再進行校核，除了耗時以外，校核重點項目或標準可能偏向個人主觀認定，若非由經驗豐富的資深設計者把關，較容易產生疏失。為確保設計成果符合需求與規範，中興工程嘗試跳脫傳統作業方式的束縛，研發新工具，輔助建立新作業流程，將設計與校核工作妥善整合。以平台、應用程式、API等工具的串聯應用，實現捷運車站建築設計與校核的流程改造。

二、建立捷運車站設計與校核的新流程

捷運車站空間配置依需求而生，而需求設計參數須以業主頒布的規範為基準，以臺北捷運為例，環狀線、萬大-中和-樹林線等中運量系統設計即依據臺北市政府捷運工程局的中運量系統土建水環固定設施規劃手冊。其中，公共區設施量計算與旅運量直接相關，由各車站間尖峰小時的上行/下行與進站/出站旅客量資料，可逐步計算設施量需求，如電扶梯設置數量、樓梯寬度、售票機與驗票閘門數量等。通常設計者採用手算或是建立Excel表單等方式輔助計算，參考計算結果進行設計。各車站設計者不同，其計算方式或採用的表單也不同，標準難以掌握。因此中興首先利用公司內部計畫管理資訊系統（Project Management Information System, PMIS）的環境，建立一個計畫導向的通用工

具，將捷運車站設施量計算流程統整於一個標準化的網頁式設施及逃生檢核平台。設計者透過此單一平台執行的設施量計算結果，將保留於資料庫，作為後續空間配置階段的參考資訊，也可輔助計畫追蹤及知識管理等用途。設施及逃生檢核平台說明詳第三章。

建立捷運車站新設計流程的主要目標之一，是取代傳統以CAD平面圖為工作主軸的作業方式。在傳統空間配置流程中，CAD平面圖是資訊傳遞及跨專業溝通的主要媒介，若有建置BIM模型的需求，多半也以發展成熟的CAD平面圖為參考，建置相應的三維模型。近年來捷運建設專案相繼將BIM納入契約，因此專業顧問公司的作業方式應有適度調整。以CAD為主的作業方式，在設計方案變動時，須由CAD平面圖反映修正再回饋到三維模型，難以避免重工且影響效率；此外，在協同作業的過程中，團隊無法確知應該以CAD平面圖或是BIM模型為參考依據。有鑒於此，中興團隊以開發客製化空間配置應用程式取代CAD平面圖為策略，以期達到改造並簡化三維模型建立流程的目標。程式將介接設施及逃生檢核平台的輸出，搭配依規範參數建立的空間需求資料庫，及由設計者自定的幾何邊界條件，以演算法排列組合多種符合條件的配置方案供設計者評估，選用的方案可保存於平台。由於程式運算方案時已考量使用者選定的規範參數及其他自定設計條件，因此可視為在設計階段即同步進行一定程度的校核。



空間配置程式搭配自動建模API，可將配置方案生成基本模型。為達到此目的，程式中的特定物件，需與特定模型元件有對應的關係，因此整頓公司元件庫也是必要的前置作業。人工建模本是耗時且繁瑣的工作，若藉由空間配置程式研擬方案，及利用建模API，將加速建模流程，且完全跳脫傳統CAD繪圖的步驟。設計者也能夠利用空間配置程式輔助研擬多種方案，因應不斷變動的需求或設計條件，再由建模API產生基本模型持續深化。空間配置工具與建模API詳第四章。

車站建築三維模型在設計階段後期將包含更多內容與細節，在此階段需要針對深化後的模型成果做全面的規範校核，包含設施量、空間、逃生等主要項目。中興持續開發Revit API，以互動式介面輔助設計者在模型中檢查建置成果，將傳統人工規範校核的作業方式提升為半自動化輔助規範校核；另回饋設計成果參數到平台，輔助設計報告產出。規範校核API詳第五章。

過去的車站逃生校核方式是在平面圖上繪製最嚴峻逃生路徑，再計算逃生時間，仰賴資深設計者的經驗與判斷。為了得到更嚴謹的校核結果，中興公司與臺灣大學合作開發應用程式，依據三維模型各樓層的幾何條件、邊界、垂直動線設定，以類流體演算法辨識公共區，再以站內緊急情況的擁擠程度進行公共區佈點，依點位運算逃生路徑。以

地下島式月台車站為例，程式將針對每一個防煙區劃失火的情境，計算出由月台層經由穿堂層再通往特定出入口的最嚴峻路徑，設計者可由此得知最嚴峻的逃生情境，作為製作報告的依據。程式另具備選定出發點的功能，預計未來運用於動態逃生指標的研究。逃生路徑檢核程式詳第六章。

捷運設計已進入BIM普及的時代，中興團隊嘗試利用新工具，開發新技術，以實現捷運車站建築設計與校核的流程改造。上述平台、應用程式、API等工具的串聯應用流程與傳統作業流程的對照如圖1，各項目內容依序說明如後。

三、捷運設施及逃生檢核平台

捷運車站內的設施及設備數量、通道及月台寬度等，均以旅客運量為基礎進行規劃；並需依據車站內設施、設備的數量及旅客運量，計算逃生時間，確保旅客能於一定時間內逃離失火的車站。

參酌臺北捷運中運量系統土建水環固定設施規劃手冊有關車站設施及逃生檢核之規定，可歸納出七大檢核項目，分別為電扶梯及樓梯數量檢核、自動售票機數量檢核、驗票閘門數量檢核、月台淨寬度檢核、緊急逃生時間計算、出入口通道寬度檢核、公廁數量檢核等[1]，各檢核項目之關聯性彙整如圖2。中興公司發展網頁式設施及逃生檢核平

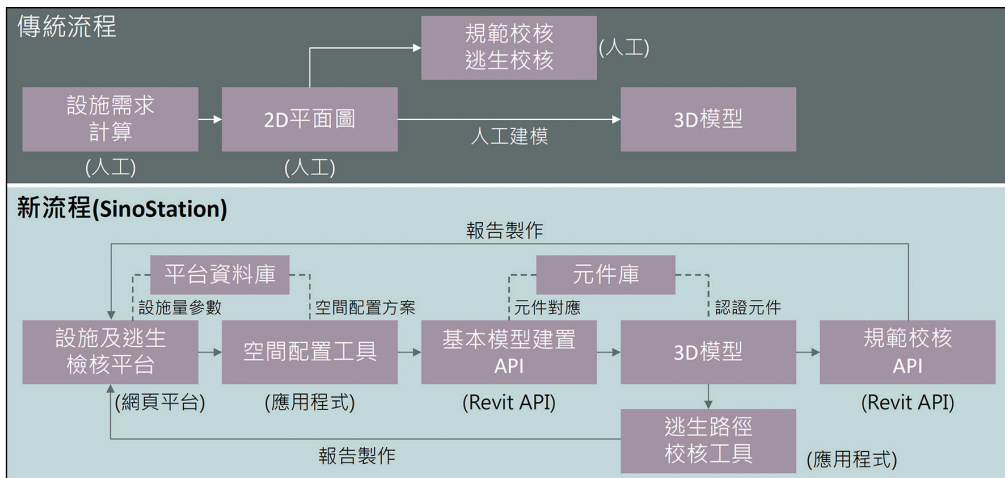


圖 1 中興工程 SinoStation 捷運建築設計及校核工具流程

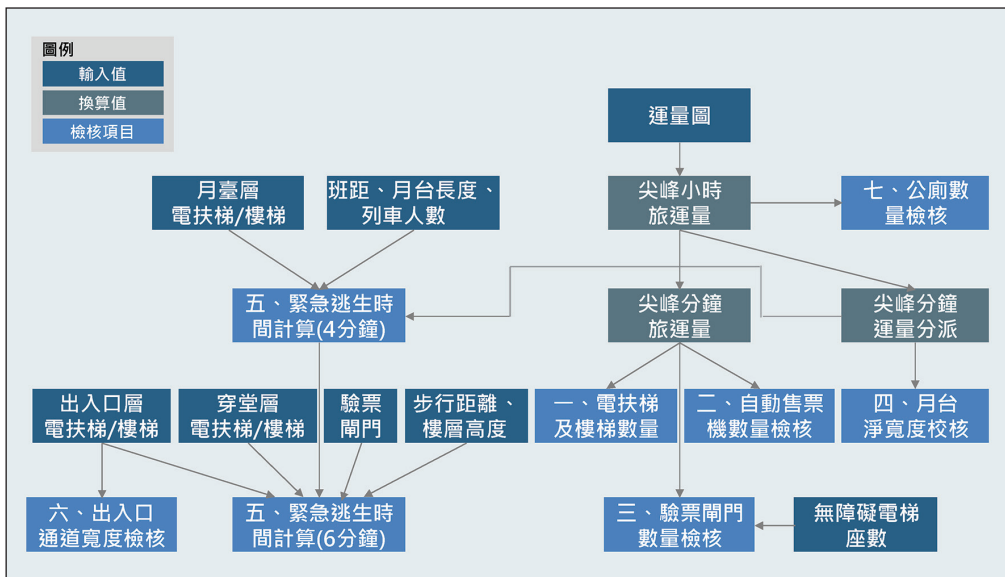


圖 2 車站設施及逃生檢核關係流程圖

台，協助設計者快速且正確地進行捷運車站配置前準備工作。捷運設施及逃生檢核平台（以下簡稱網頁檢核平台）之內容說明如本章第（一）～（六）節。

（一）捷運設施及逃生檢核平台首頁及運量輸入

網頁檢核平台介包含首頁、運量圖及



圖 3 網頁檢核平台首頁

前述七大檢核項目。首頁的設計如圖3所示。使用者在首頁設定計畫、車站和方案等相關資料後將建立車站方案，包含一般站或轉乘站，及島式、側式及疊式等不同月台型式，同一車站也可依需求創建新的月台型式。使用者尚須輸入樓層數量、尖峰小時列車班距、月台長度、滿載列車人數等資料，其餘規範相關參數將由規範資料庫帶入作為預設值。

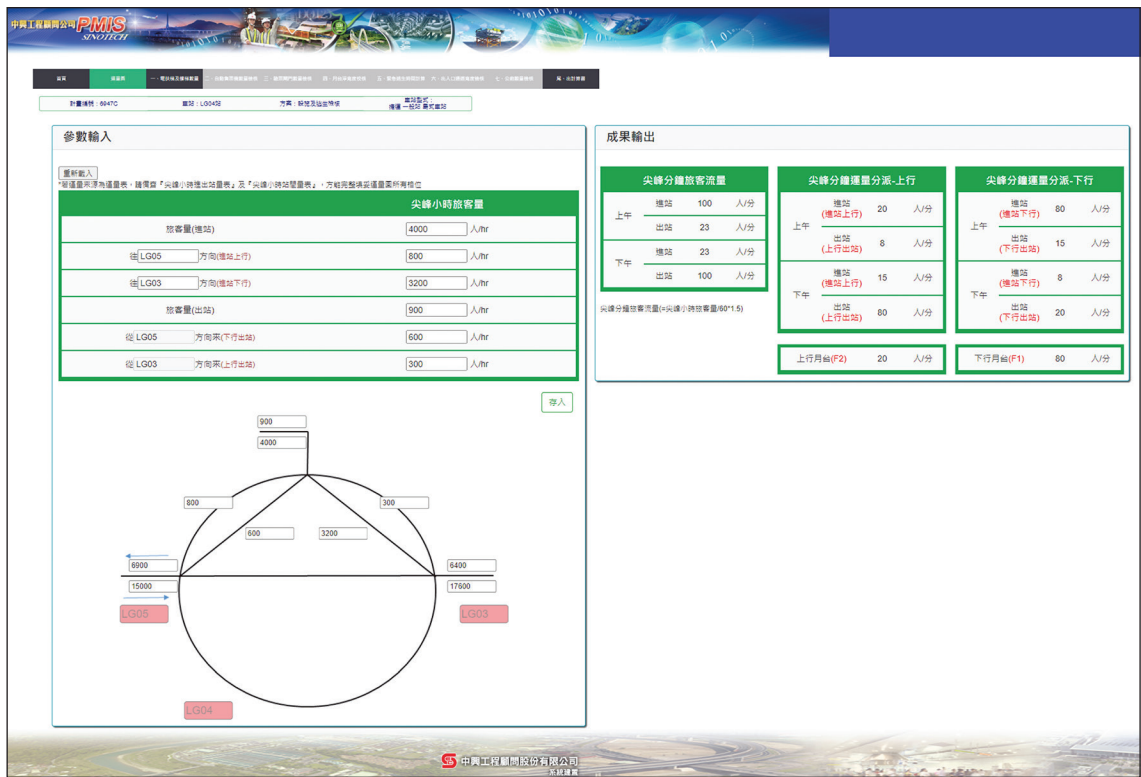
旅運量依據契約書中業主提供的目標年全線通車營運運量圖或運量表而得，主要分為一般車站與轉乘車站兩大類，通常於圖或表上標示有尖峰時間每小時進站、出站、轉乘旅客量，須再拆分為尖峰分鐘旅運量與尖

峰分鐘運量分派，供後續檢核計算使用，如圖4所示。

(二) 設施數量檢核

設施數量檢核主要包含電梯、電扶梯、售票機、驗票閘門等項目。

首先依據尖峰分鐘旅客流量，以及電扶梯及樓梯的運送能力，計算車站各層需設置的電扶梯最小應設數量值。臺北捷運設計方式以電扶梯設置為優先，且以每個出入口均有電扶梯可使用為原則，因此通常電扶梯即可提供足夠運載能力；若因車站空間受限無



法滿足電扶梯最小應設數量（需求值）時，須再檢討樓梯寬度。

自動售票機之最小應設數量（需求值），取決於上午或下午最大的尖峰分鐘的旅客流量（進站）、單程票的使用比例、自動售票機每分鐘處理人數等參數，並考量備用數量及擴充數量。

在網頁檢核平台上可以設定車站有一處或兩處售票區，網頁將跳出對應的檢核計算。以臺北捷運中運量系統為例，一處售票

區至少設置2座售票機，二處售票區至少設置4座售票機。

驗票閘門數量之最小應設數量（需求值），取決於上午或下午最大的尖峰分鐘旅客流量（進站、出站）及驗票閘門服務旅客的速度，且需考量設置備用閘門。當驗票閘門總數 < 10座時，應設置1座備用閘門；當驗票閘門總數 ≥ 10座時，應設置2座備用閘門。另須因應車站大廳型式（單大廳或雙大廳）預留無障礙通道，每處大廳設置1座無障礙用之驗票閘門。



PMIS SINO TECH

計畫編號: 6947C 車站: LG04站 方面: 設施及逃生檢核 選擇一般站 島式車站

參數輸入

月台門寬度(E) = 0.3 公尺(預設值)
 正常情況每位旅客需求面積 = 0.8 m²(預設值)
 緊急情況每位旅客需求面積 = 0.2 m²(預設值)

備註: 設計圖月台寬度為10.7m; 當柱樑兩側之月台最小寬度為(10.7 - 4.7) / 2 = 3m, 足夠使用。

參考資料

正常情況旅客需求面積
 $(F1 + F2) \times W \times E$
 尖峰時進站每分鐘乘客量(尖峰行車方向)
 (不含樓梯/電梯)
 $W = 2$

緊急情況
 尖峰時進站每分鐘乘客量(非尖峰行車方向)
 (不含樓梯/電梯)
 $(2F1 + F2 + L) \times 0.2 \times E$
 $W = 2$

F1 = 80 = 尖峰時進站每分鐘乘客量(尖峰行車方向)
 F2 = 20 = 尖峰時進站每分鐘乘客量(非尖峰行車方向)
 L = 2 = 尖峰小時列車班距(分鐘)
 W = 80 = 月臺長度(M)

成果輸出

正常營運	月台最小寬度	1.3	m
緊急狀況	月台最小寬度	1.63	m

	需求值	實設值	檢核結果
月台層上行淨寬度需大於	2.5	3	OK
取正常營運和緊急狀況月台最小寬度的最大值與2.5m比較取最大值			
月台層下行淨寬度需大於	2.5	3	OK
取正常營運和緊急狀況月台最小寬度的最大值與2.5m比較取最大值			

註:
 1.單位為m
 2.月台層淨寬度不得小於2.2m+月台門0.3m=2.5m

圖 5 網頁檢核平台 - 月台淨寬度檢核

(三) 月台淨寬度檢核

月台淨寬度之檢核，共有島式、側式或疊式等月台型式。各種型式皆須考量正常營運及緊急狀況等二種情境的月台最小寬度。

正常營運的情境，島式月台需考量上行和下行方向於月台上候車的旅客數量；側式或疊式月台，則取上行或下行旅客較多的方向計算月台上候車旅客數量。正常營運時每個旅客之需求面積為0.8 m²。

緊急狀況的情境，月台上的旅客量需加上列車延誤的考量，尖峰方向將有2倍的候車旅客數量；除了於月台候車的旅客外，尚需

考量滿載列車的旅客量。緊急情況時每個旅客之需求面積0.2 m²。

網頁檢核平台附加計算公式及淨寬度示意圖，輔助使用者了解淨寬度的計算。以島式月台之淨寬度計算為例，如圖5所示。

(四) 緊急逃生時間計算

依據臺北捷運中運量規劃手冊4.9.6、4.9.9之規定，在軌道區失火的情況下，車站之設計應能將月台乘客於4分鐘內疏散完畢，月台層以外每多一樓層必須增加2分鐘之疏散時間。以地下三層車站為例，若月台位於最低層，總疏散時間為8分鐘。



4分鐘內疏散月台層的條件是月台層總疏散容量（實設值）必須大於等於月台層總疏散需求量。月台層總疏散需求量（每分鐘）為月台候車旅客加列車滿載旅客的疏散量除以4分鐘，月台層總疏散容量（實設值）則依電扶梯（扣掉一台維修中）與樓梯設置數量計算。於網頁檢核平台上，使用者確認月台

層電扶梯及樓梯設置數量後，即可檢討月台層最後一個旅客可否於4分鐘內逃離月台層，介面如圖6所示。

以地下二層車站為例，6分鐘內抵達地面層安全地點之檢核，目前依據使用者輸入的逃生步行距離進行計算，如圖7所示。逃生時

4分鐘內逃離月台層之檢核

月台層電扶梯實設值：3 座

月台層樓梯實設值

	樓梯座數	樓梯寬度(m)	Lane 數
月台層樓梯實設值	3	1.8	3L
		1.8	3L
		1.8	3L
月台層緊急逃生梯(往戶外)			-
月台層緊急逃生梯(往付費區)			-
月台層緊急逃生梯(往非付費區)			-
總樓梯列數(b)			9L

月台層總疏散需求量	265	人/分
月台層總疏散實設值	455	人/分

月台層總疏散量(實際值) ≥ (最小值), OK

月台層疏散時間(W1)	2.32	分
-------------	------	---

月台層疏散時間(W1) < 4min, OK

圖 6 網頁檢核平台 - 緊急逃生時間 4 分鐘檢核（地下二層島式月台）



距離	出入口A	出入口B	出入口C
月台層(U3)最遠處至樓梯口的距離(m)	28.3	28.3	46.76
月台層(U3)高度(m)	5.35	5.35	5.35
U2高度(m)	5.45	5.45	5.45
穿堂層(U1)樓梯口至地面層樓梯口的距離(m)	79.65	93.22	45.99
穿堂層(U1)高度(m)	10.66	10.66	10.66
地面層樓梯口至安全地點的距離(m)	8.2	9.18	1.54

*若疏散時間不合格，則下方表格疏散時間為紅色

代號	時間	出入口A	出入口B	出入口C
T1	月台層(U3)最遠處至樓梯口的時間(min)	0.48	0.48	0.78
T2	月台層(U3)高度的時間(min)	0.36	0.36	0.36
T5	U2高度的時間(min)	0.37	0.37	0.37
T7	穿堂層(U1)樓梯口至地面層樓梯口的時間(min)	1.33	1.56	0.77
T8	穿堂層(U1)高度的時間(min)	0.72	0.72	0.72
T9	地面層樓梯口至安全地點的時間(min)	0.14	0.16	0.03
T		3.03	3.28	2.66

T=T1+T2+T3+...=T與T1~Tn的權位合併

往各出入口的時間需小於 8 分鐘

往各出入口的疏散時間(分)	出入口A	出入口B	出入口C
	4.87	5.12	4.5

W1	2.32	2.32	2.32
W2	1.88	1.88	1.88
W3	2.02	2.02	2.02

W1=月台層疏散時間
 W2 = 穿堂乘載量 / 驗災閘門容量
 W3 = 穿堂乘載量 / 出口容量
 月台層樓梯口額外等候時間 = W1 - T1
 驗災閘門口額外等候時間 = W2 - W1
 穿堂層額外等候時間 = W3 - W1

圖 7 網頁檢核平台 - 緊急逃生時間 6 分鐘檢核 (地下二層島式月台)



間計算須考量步行時間，以及在各樓層梯口與驗票閘門口的額外等候時間。於網頁檢核平台上，使用者須輸入各水平及垂直逃生路徑的距離，由平台計算各段時間及總和，檢討月台上最後一個旅客是否能於6分鐘內抵達地面層安全地點。未來將可利用最嚴峻逃生路徑校核程式進行計算，再匯出各段逃生距離與所需時間等資料到平台。

（五）出入口通道寬度檢核

出入口通道寬度檢核，可以分為正常狀況及緊急狀況兩種，正常狀況通道的輸送能力考慮雙向流通（70人/分/公尺）；而緊急狀況通道的輸送能力考慮單向流通（85人/分/公尺）。

通道容量至少須與其連接的電扶梯與樓梯之容量相等，另加上通道二側預留0.3公尺的淨空。由使用者設定向上與向下電扶梯及樓梯的數量後，網頁檢核平台可計算正常狀況與緊急狀況的通道需求寬度，並取大值作為需求值，供使用者設計時參考。

（六）公廁數量檢核

公廁數量之最小應設數量（需求值），取決於尖峰小時進站與出站旅客數。臺北捷運中運量規劃手冊4.5.14節，對於不同尖峰小時進出站乘客流量，已規定應設置之最少便器、洗面盆、無障礙廁所、親子廁所之數

量。網頁檢核平台依前述原則，以及使用者輸入之尖峰小時進站與出站旅客數，計算公共廁所應設置之相關設備之最小應設數量。

四、捷運空間配置與建模工具開發

進行捷運車站建築空間配置時，常需考慮多種方案，在符合設計概念、規範要求、業主需求等條件下，盡可能在多種可行方案裡選擇最理想的配置。空間配置設計方案最終將以三維模型的方式呈現，據以出圖及交付工作成果。建立模型的方式則因人或組織而異，例如繪製平面圖作為建模的參考即為常用的方式之一，在方案研析階段，設計者可能以平面圖為主，模型為輔；或是直接利用模型探討方案。由方案到三維模型，若能跳過平面圖繪製或是從無到有的建模步驟，將可簡化三維建築模型的建立流程，加速產出可供套圖或出圖的基本模型工作成果，提前進行跨專業協調或輔助與業主的視覺化溝通。

開發客製化空間配置應用程式是導入此新流程的必要手段。中興開發團隊選用WPF（Windows Presentation Foundation）作為單機程式介面，程式須先引導設計者設定樓層、邊界等幾何條件，再接續進行月台、公共區、垂直動線等初步規劃；配置非公共區各個機房時，則須連動規範資料庫中有關空間需求的參數，例如各機房面積的需求等。程式將依據設計者設定的幾何條件以及

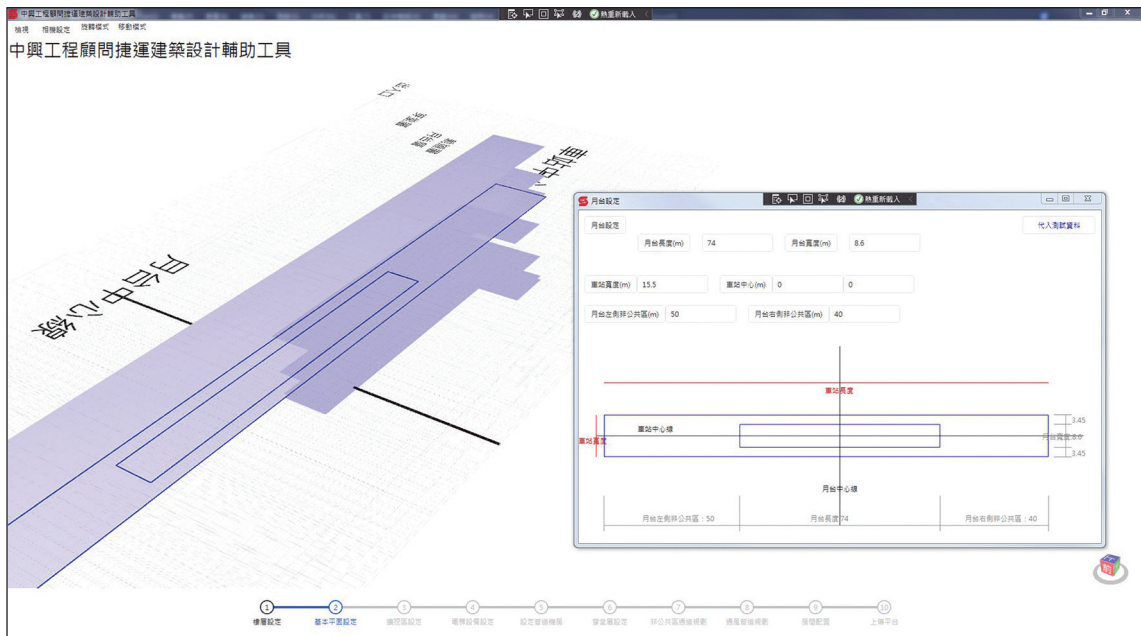


圖 8 空間配置工具預覽介面示意

空間規劃概念，應用衍生式設計[2]概念進行排列組合，運算多種可行的配置方案，另提供二維及三維預覽輔助檢視，介面示意如圖8。由於在配置過程中已將規範參數納入考量，所有的輸出成果都是可行的方案，設計者選用其中最適方案，保存於平台，再利用建模API自動生成三維模型。空間配置工具與接續建模的流程，如圖9所示。

由選定的配置方案自動化生成三維模型，須借助Revit API以及與元件庫中特定元件的連結。中興團隊盤點元件庫中的捷運建築元件，針對歷年來曾經採用的元件進行篩選、改良，歸屬於專用群組，建立認證元件、空間配置程式、建模API的對應關係。部

分與計算設施量直接相關的元件，例如售票機、驗票閘門、公共廁所等，可藉由適當的參數化設定由API依設計方案一次擺放，便於將設施需求計算結果直接反應於模型中。樓板、牆、樓梯、欄杆等元件通常利用模型中的系統元件處理，因此在空間配置程式中需針對此類元件參數預先進行設定，作為建模API執行時的參考。

空間配置程式與建模API的搭配應用，提供了一個建立三維模型的新流程。在基本設計階段，新工具取代傳統平面圖繪製的人工，輔助設計者探索更多的可能性；細部設計階段有相對明確的幾何限制條件，有助於方案收斂，加上自動建模取代人工建模，

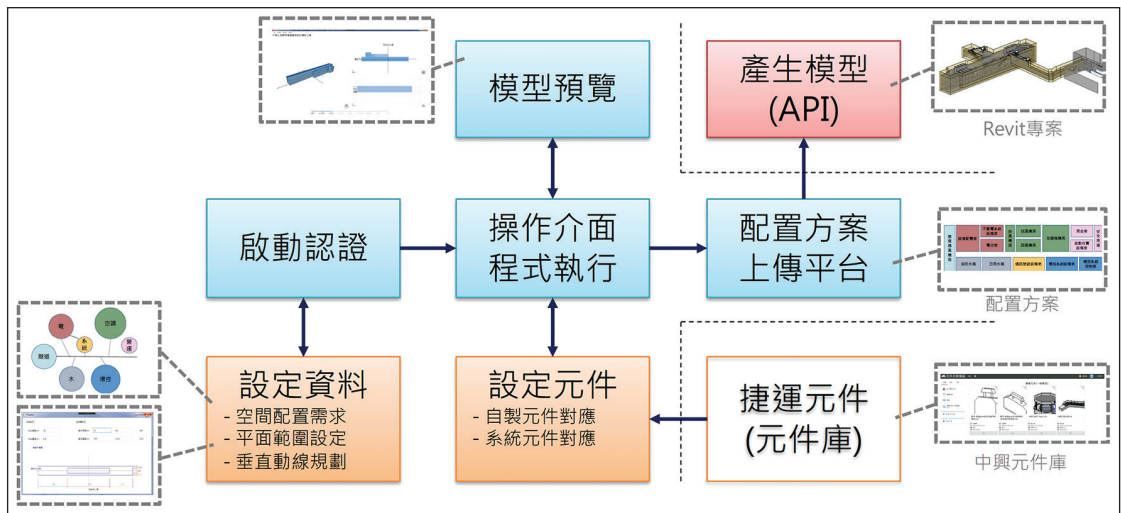


圖 9 空間配置工具與建模流程

設計者可快速得到依選定方案產出的基本模型，提升建模的效率。

五、規範校核工具開發

由自動建模生成的建築三維模型並非一步到位，隨著設計逐漸發展深化，加上跨專業協調整合，建築模型常須要不斷調整。為了確保模型內容在協同作業時或提交時仍符合業主需求與規範，中興開發規範校核API，功能包含針對設施量、空間、逃生等三大項目及其細項的檢討。

規範校核API以互動式介面輔助設計者逐項檢討需求與規範，在必要時調整模型。以房間校核為例，程式可採用來自規範資料庫或制式表單的房間幾何參數為基準，比對模型中各個房間的面積、淨高是否符合設定值

或是否在容許範圍內，校核結果以不同顏色表列，設計者也能點選欄位快速切換到欲檢視房間的所在位置，介面如圖10所示。以月台校核為例，程式也依據規範資料庫及使用者提供的相關機電系統參數，檢查軌道中心線至月台邊緣、月台邊緣至固定障礙物間的距離，表列障礙物元件供設計者快速切換至其位置檢閱或調整，並計算實際月台寬度，介面示意如圖11。設計成果完成所有規範校核後，將實際設計參數回饋到平台，自動製作各式報告文件。

六、以旅客觀點運用 BIM 及演算法開發智慧化逃生檢核工具

(一) 以旅客觀點優化逃生設計流程

過去車站內失火的逃生檢核流程，通常



房間校核

房間規範檢討 房間需求檢討 未放置房間 移除特殊符號

代碼	名稱	樓層	規範面積(m ²)	面積(m ²)	規範高度(m)	最大進長(m)	規範淨高(m)	淨高(m)	ID
2B	站務室	穿堂層	20 m ² MAX	19.1	NA	4.85	3	3	1077460
2C	女更衣室	穿堂層	8 m ² MAX	$5.2 < 8 \times 90\% = 7.2$	NA	2.73	3	3	1194505
2C	男更衣室	穿堂層	8 m ² MAX	$5.1 < 8 \times 90\% = 7.2$	NA	2.7	3	3	1194508
2D	女廁	穿堂層	6 m ² MAX	52.6	NA	9.21	3	3	1015754
2D	女廁	穿堂層	6 m ² MAX	7.1	NA	2.67	3	3	1194514
2D	男廁	穿堂層	6 m ² MAX	29.5	NA	4.84	3	3	1015766
2D	男廁	穿堂層	6 m ² MAX	7.6	NA	2.87	3	3	1348954
2E	茶水間	穿堂層	6 m ² MAX	6.8	NA	2.97	3	3	1128217
2F	候車室	穿堂層	8 m ² MAX	7.5	NA	4.38	3	3	1087009
2G	清潔人員休息室	穿堂層	10 m ² MAX	$10.3 \leq 10 \times 110\% = 11$	NA	3.38	3	3	884714
2H	垃圾室	穿堂層	10 m ² MAX	$8.2 \leq 10 \times 90\% = 9$	NA	3.85	3	3	1154974
2K	維修員工室	穿堂層	25 m ² MAX	41.9	NA	12.3	3	3	1475836
3A-1	自動收費設備室	穿堂層	12 m ² MAX	11.5	3	4.54	3	3	964926
3A-16	通訊話誌設備室	穿堂層	80 m ² MAX	$86.4 \leq 80 \times 110\% = 88$	6	11	3	4	1432971
3A-17	電信室	穿堂層	40 m ² MAX	$43.1 \leq 40 \times 110\% = 44$	NA	8.73	3	4	1450098
3A-2	現金室	穿堂層	20 m ² MAX	$20.4 \leq 20 \times 110\% = 22$	NA	6.98	3	3	965023
3A-3	安全走道	穿堂層	NA	11.5	1.8	4.12	3	3	965762

OK NG 容許範圍 更新 關閉

圖 10 房間校核 API 介面示意

月台校核

檢核月台樓板邊緣距離 檢核月台寬度 檢核月台淨高

檢核月台寬度

月台寬度: 2.5 m 檢查 規範 *檢核月台邊緣到月台上障礙物的距離

月台左側檢核範圍 37 m 月台右側檢核範圍 37 m

月台門設定寬度 0.3 m 調整

*點擊該欄位下，即可觀看此元件的位置

ID	名稱	距離月台邊緣(m)	可調整方式(m)
3500204	矩形餐櫃(300x1050mm)	0.3	需向下平移2.2
3500205	矩形餐櫃(300x1050mm)	1.5	需向下平移1
555074	Basic Wall(RC20cm)	1.7	需向下平移0.8
1364936	Stacked Wall(W1-120x185cm磁磚板(...	1.6	需向下平移0.9
1364943	Basic Wall(W-厚踢腳-7cm)	1.6	需向下平移0.9
1364944	Basic Wall(W-磁磚板120x170-10cm厚)	1.6	需向下平移0.9
1366766	Stacked Wall(W1-120x185cm磁磚板(...	1.6	需向下平移0.9
1366772	Basic Wall(W-厚踢腳-7cm)	1.5	需向下平移1
1366773	Basic Wall(W-磁磚板120x170-10cm厚)	1.5	需向下平移1

圖 11 月台校核 API 介面示意

由資深設計者主觀判斷可能造成最遠逃生路徑的火源位置，再依據臺北捷運規劃手冊規

定之逃生檢核計算方法，計算旅客以此路徑從月台層逃至地面層之時間。接著採用FDS



圖 12 以旅客角度進行逃生檢核之流程

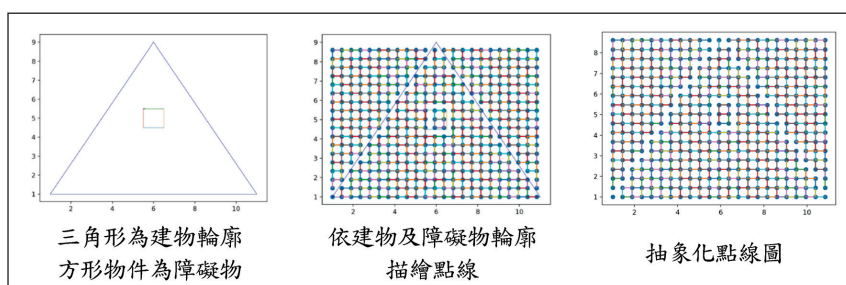


圖 13 圖像化的概念說明

(Fire Dynamics Simulator) 火災模擬軟體，以該火源位置模擬火災時的車站環境，檢討火場環境相關指標模擬結果，例如煙層下降時間等，並與計算所得的逃生時間比對。

站內失火的最嚴峻逃生情境，應由客觀方式驗證，較具說服力。中興工程與臺灣大學工管系團隊合作研發，透過演算法全面檢視所有逃生情境及路徑，從而得知最嚴峻逃生情境與相應的最遠路徑，據以計算逃生時間。另外，利用人流模擬軟體，可考量旅客間爭讓行為（考量人與人之間社會力之關係），讓逃生模擬更符合實際狀況，並視覺化呈現，同時與計算結果比對檢討。以旅客角度進行逃生檢核之新流程如圖12所示。

將三維BIM模型轉換成帶有所需基本資訊的二維點線圖，是逃生路徑程式運作的關鍵之一。其中，點表示車站內旅客可能所在的位置，相鄰兩點之間若可通過則以線將兩點連起來，代表可能路徑，圖像化的概念如圖13所示。依據臺北捷運規劃手冊之規定，於緊急狀況下，每個旅客所需之空間為 0.2 m^2 ，故以 m 為點間距進行佈點。

執行程式的前置作業，包含取得車站建築模型及機械模型的必要資訊進行合併，才進入轉換為2D點線圖的流程，包含Extended gbXML、Parsed BIM、BIM Graph及Final Graph等階段，流程如圖14，以下依序說明。

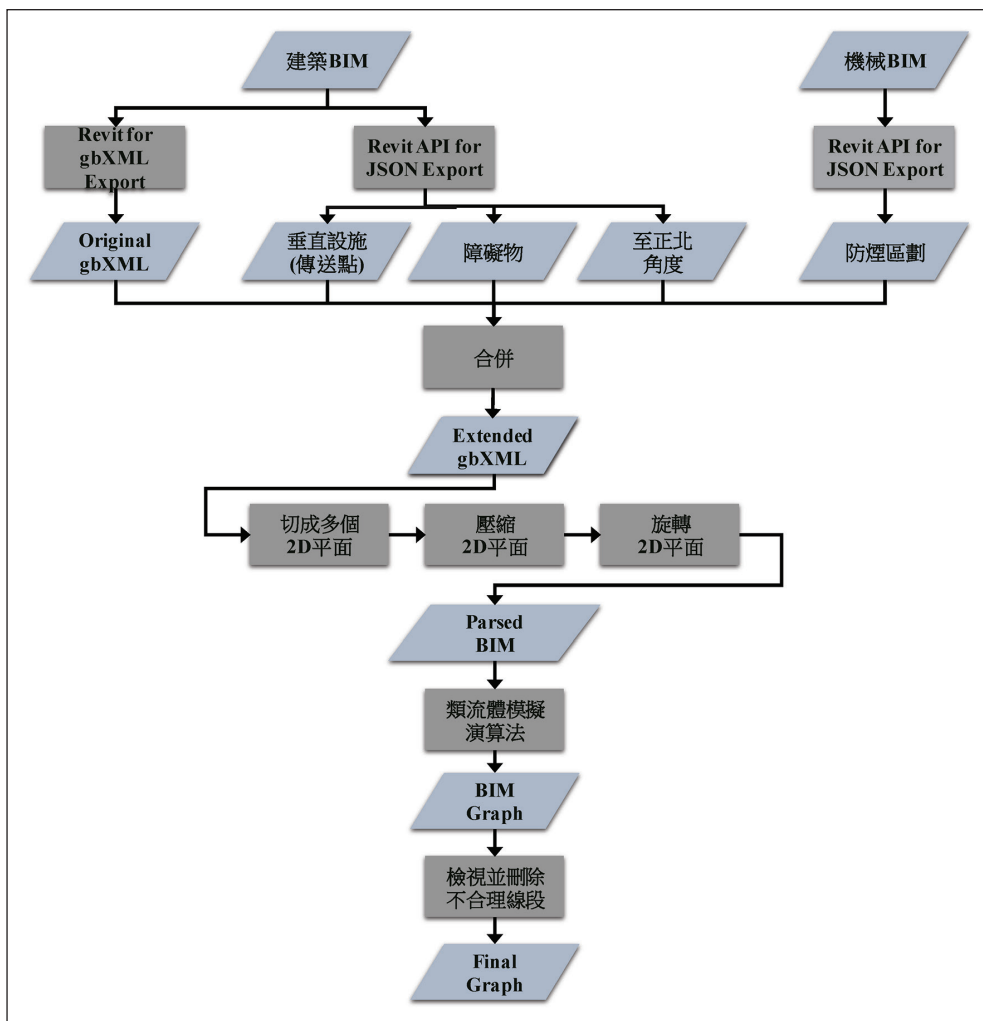


圖 14 BIM 模型轉換成 2D 點線圖之流程

1. 轉換為Extended gbXML之說明

考量需將車站空間完整保留，故先將車站建築模型轉換成只有空間資訊的gbXML (green building XML) 格式，如圖15所示。將建築模型匯出為gbXML檔，預設僅帶有基本的空間資訊，如板、牆、房間等，不包含欄杆、座椅、驗票閘門等會影響旅客

逃生動線的障礙物，也不包含垂直動線設施如電扶梯、樓梯及緊急逃生梯等。因此，須利用Revit API從建築模型取得必要的障礙物幾何資訊，以及由機械模型中取得防煙區劃資訊，以json檔型式儲存，再併入建築的gbXML檔，稱為Extended gbXML。

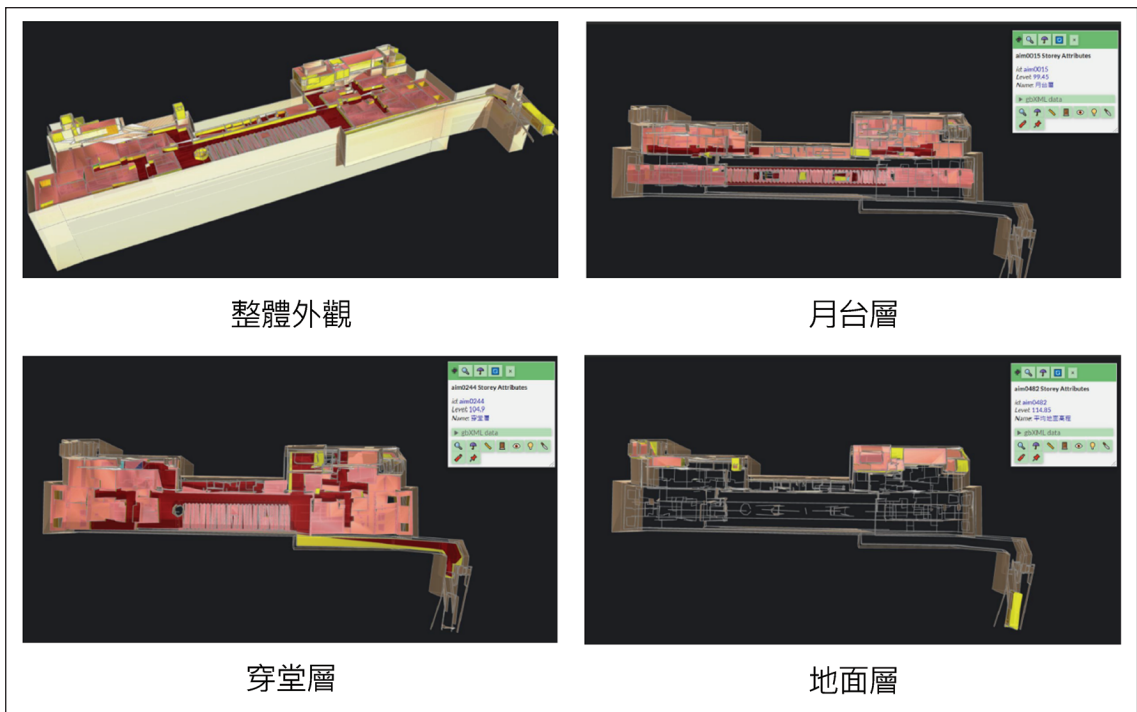


圖 15 車站 gbXML 模型

2. 轉換為Parsed BIM之說明

Extended gbXML檔將用於產出帶有資訊的各樓層2D平面底圖，例如月台層、穿堂層、地面層等。由各樓層平面高程向上每10公分切一個平面，切到200公分（考量人的高度），再將所切的各平面套疊成一個新平面，確保除了實牆以外的障礙物範圍完整，此階段稱為Parsed BIM。

3. 轉換為BIM Graph之說明

程式以類流體模擬演算法將捷運站內公共區與非公共區自動區分並且佈點，點與點之間連線表示可通行，不連線則表示兩點間

不可通行。公共區與非公共區之間有實牆區隔，且公共區內具備電扶梯等垂直動線設施，可利用其位置向外搜尋至實牆，確認公共區範圍。類流體模擬演算法在此處的應用，可想像為將水由地面出入口灌入站內，將水可流經的區域視為公共區。經過類流體模擬演算法處理後之檔案，稱為BIM graph，如圖16所示。

4. 轉換為Final Graph之說明

程式利用Parsed BIM切出的各樓層平面進行BIM Graph佈點，圖像化的正確性或準確度可能有些微偏差。程式提供一編輯介面

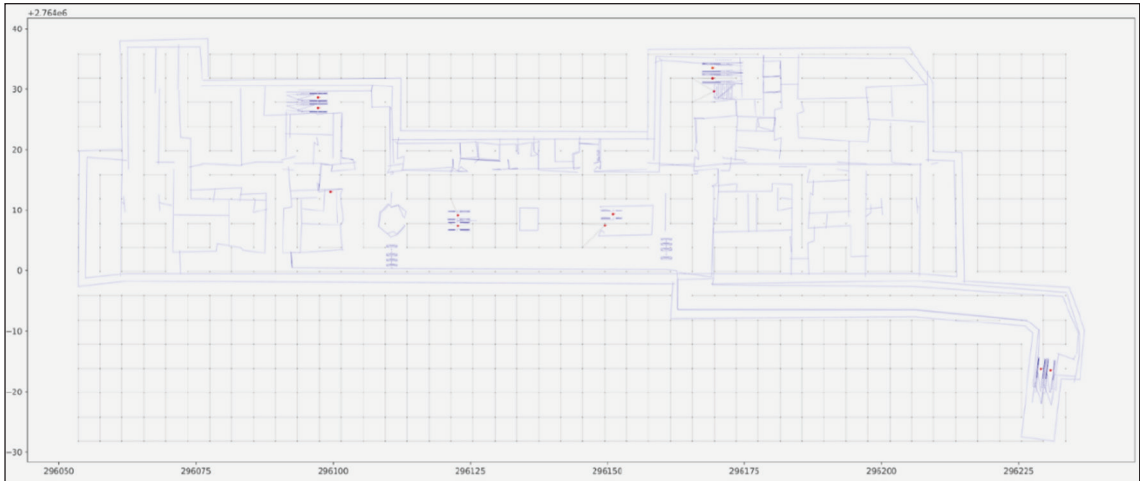


圖 16 BIM graph (以穿堂層為例)

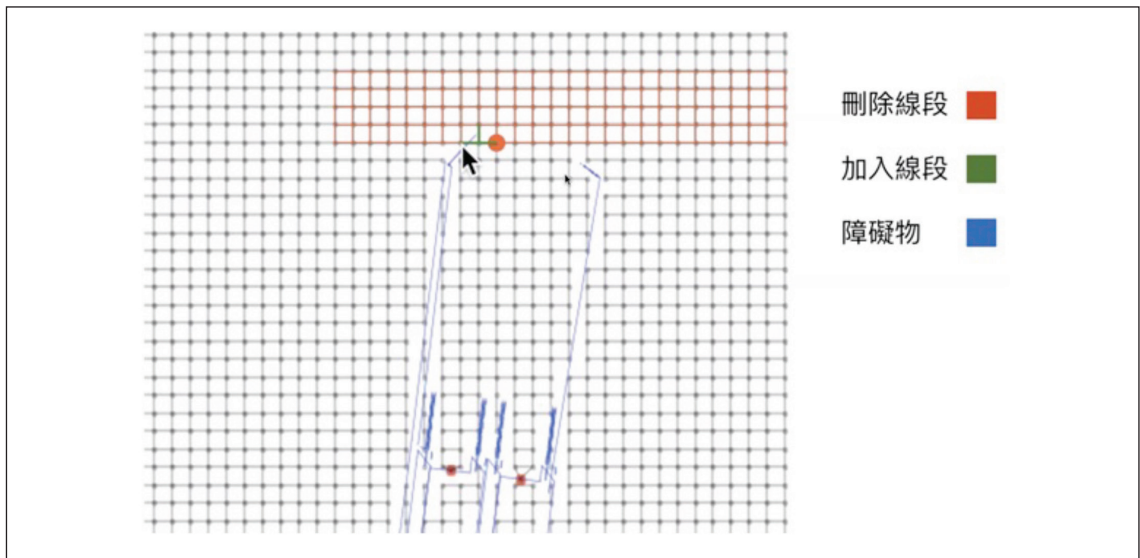


圖 17 增調整點與點之間連線或不連線之編輯介面

供使用者檢閱各樓層平面佈點的成果，必要時可自行編輯，將點與點之間連線或取消連線。例如使用者須確保垂直動線設施於各樓

層都可到達，及確認非公共區為不可到達，介面示意如圖17。

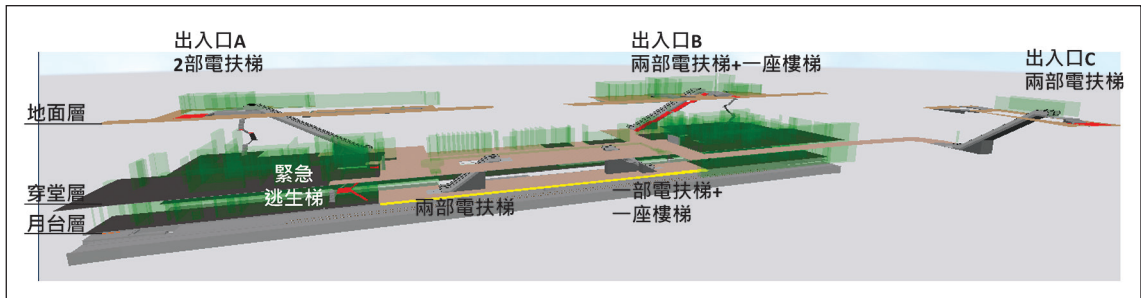


圖 18 LG10 站動線配置示意圖

(二) 以演算法尋找最嚴峻逃生情境及逃生路徑

各樓層點線圖編輯完成以後，即可開始運算路徑。程式將在不同防煙區劃失火的情形下，尋找由車站內部任一公共區內位置逃至出入口之最遠路徑，透過Dijkstra Algorithm演算法考量所有旅客可能位於車站的位置，納入逃生路徑計算。以某一節點當作出發點，在與其相鄰且尚未被選取的節點裡，選擇路徑最短的下一個節點。如此重覆加入新節點，發展路徑，直到抵達安全地點的節點為止。程式執行另有如下規則作為條件。

1. 起點（旅客位置）均勻分布。
2. 不得跨越牆壁、扶手、欄杆、詢問處等障礙物，旅客僅能從驗票閘門離開付費區。
3. 節點間的移動路徑不為對角。
4. 特定情境下，由每一起點的最佳逃生路徑中，選取最遠的路徑。
5. 各防煙區劃失火情境都需假設有一座電扶梯維修中，不能供旅客逃生使用。

6. 不考慮旅客折返的行為。例如旅客由月台層上到穿堂層時，若剛好進入火源所在的防煙區劃，該路徑不予採計。

以臺北捷運萬大線LG10站為例，如圖18所示。LG10站為地下二層車站，月台層公共區有2處防煙區劃，穿堂層有9處防煙區劃，公共區內共有9座電扶梯、2座樓梯、1座緊急逃生梯。

本站最嚴峻逃生情境如圖19所示。此情境為防煙區劃C09（圖19穿堂層紅色佈點區塊）失火及電扶梯ESCR-02（圖19月台層右側電扶梯）維修中，旅客自月台層公共區右角落開始逃生，經由月台層右側樓梯上到穿堂層，再由付費區左側閘門往出入口A（圖19地面層左上角）逃生，路徑總長約為169 m。

(三) 以人流模擬結合火場模擬方式展現最嚴峻逃生情境

依據逃生路徑程式演算法所得到的LG10



圖 19 LG10 站最嚴峻逃生情境分析結果

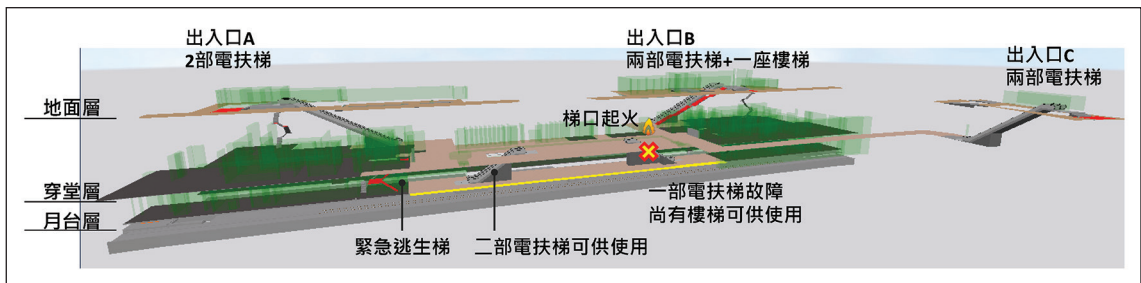


圖 20 人流模擬分析 LG10 站最嚴峻逃生情境（穿堂層出入口 B 梯口起火）



圖 21 車站內失火逃生之模擬畫面

站最嚴峻逃生情境及路徑成果，以人流模擬軟體實際測試。將火源置於穿堂層出入口B之梯口前，造成旅客無法從出入口B逃生，同時考慮月台層右側恰有一部電扶梯故障維修中，無法供旅客使用，迫使月台層右側旅客旅客需由該電扶梯旁的樓梯逃生，如圖20所示。

參考目標年運量，設定共有104位候車旅客同時由月台層開始逃生，最後一位旅客逃離月台層時間為2.06分鐘（<4分鐘），最後

一位旅客逃至出入口A之時間為4.18（<6分鐘），人流模擬畫面如圖21所示。

將人流模擬結果與計算結果比對，整理如表1。模擬結果略大於計算結果，可能原因為人流軟體模擬考慮較保守的情境，例如並非所有旅客都非常熟悉車站設施與空間關係，故不一定會選擇最有利的路徑進行疏散，且在逃生時與其他旅客之間的爭讓行為也會影響逃生效率。另外，因火源位於穿堂層，對旅客將產生半主動反應，估計火源產



表 1 人流模擬結果與規劃手冊計算結果比較表

位置	人流模擬		規劃手冊計算	
	模擬結果	模擬結果 + 半主動反應時間	計算結果	計算結果 + 半主動反應時間
出入口 A	4.18 分鐘	6.18 分鐘	3.62 分鐘	5.62 分鐘

表 2 火場環境模擬結果

NFPA130 逃生安全標準	最危險防煙區劃之安全標準維持時間 (秒) (出入口 B 火源位置防煙區劃)
能見度 > 10 m	200
溫度 < 60°C	205
CO 濃度 < 1150 ppm	>600
輻射熱強度 < 2.5 kW/m ²	55

生後旅客通報至火警系統自動警報之時間約為120秒。故總疏散時間=模擬或計算結果+半主動反應時間。

進一步與FDS (Fire Dynamics Simulator) 火場環境模擬結果比較，如表2。除了火源所在防煙區劃 (最危險防煙區劃) 之能見度、溫度與輻射熱強度，分別在200秒、205秒與55秒時會達到危險狀態，其餘防煙區劃之各項逃生安全指標在600秒內均屬安全。依較保守的人流模擬結果，最後一位旅客離開車站至地面層安全地點的時間為6.18分鐘 (<600秒)，因此判定在最嚴峻情境下，站內旅客皆能安全疏散。

七、結論

中興工程的 (SinoStation) 系列研發，

依捷運車站建築的設計、校核需求，開發各流程的相應工具，達到BIM的有效應用。

建築三維模型是捷運車站設計協同作業的主要參考依據，需要最先發展到一定程度，供結構、地工、水環、機電等專業參考。捷運工程設計已普遍納入BIM相關要求，設計時程與過去相比卻已大幅縮短，同時須兼顧對設計品質的管控，對專業顧問公司行之有年的傳統作業流程產生衝擊。因此，中興工程以改造捷運建築專業組的作業方式為出發點，提升設計效率，產出符合需求與規範的BIM工作成果，為團隊爭取寶貴的協同作業時間。若在設計過程中可即時校核工作成果，如設施量、空間、逃生等，也能夠節省設計後期校核人力，彌補人工檢閱的不確定性，維護設計品質。

空間配置、建模、規範校核等工具與



BIM模型中的元件直接關聯，中興公司將妥善維護所有元件，並隨時關注相關規範的更新，維持資料庫的正確性。若遇到規範要求並非完全明確的情況，工具宜引導設計者依專業判斷設計是否適當，在不違背規範精神的前提下發展最適當的設計方案。

開發自動化、智慧化工具的目的是改善作業流程，並非大量取代人工。捷運工程涵蓋多元專業，期望設計者都能善用工具，發揮專業價值。

致謝

感謝中興工程研資部協助建立設施需求計算平台，持續開發空間配置程式及建模API。

感謝國立臺灣大學工管系孔令傑老師團隊協助開發逃生路徑程式。

參考文獻

1. 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」(107年)
2. Nauata, N., Chang, K.H., Cheng, C.Y., Mori, G., Furukawa, Y. (2020) House-GAN: Relational Generative Adversarial Networks for Graph-constrained House Layout Generation. https://www.researchgate.net/publication/339971950_House-GAN_Relational_Generative_Adversarial_Networks_for_Graph-constrained_House_Layout_Generation