

中 | 華 | 技 | 術 | 112

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY 2016. 10. 31 出版

系統機電創新突破



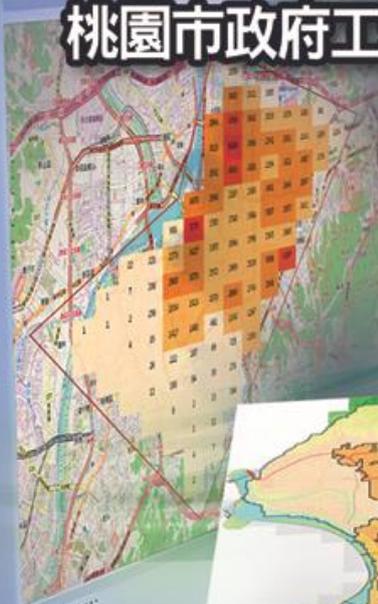
國內
郵資已付

台北郵局許可證
台北字第3758號

專訪人物／

鐵路改建工程局胡湘麟局長

桃園市政府工務局黃治峯局長



BIG DATA BIG DATA
BIG DATA BIG DATA
BIG DATA BIG DATA



機場智慧化系統建置

離岸風力發電系統規劃

地理資料空間視覺化呈現與分析應用

非公車專用道之公車優先號誌系統—以台南市為例

臺鐵電車線系統配合動力列車提速可行性研究

捷運地下車站智慧環控系統及節能減碳改良探討



財團法人中華顧問工程司 發行

CECI



台灣世曦工程顧問股份有限公司 編製



專輯前言

『科技，始於人性。』，即便資訊與通信科技（Information and Communication Technology，簡稱ICT）日新月異，它始終圍繞著一個核心價值，那就是『讓人類的生活，變得更美好。』。在邁入資訊和科技的創新世代，多元技術之整合加值應用，必須善加援引，方能創造新價值，此乃本專輯以「系統機電創新突破」為題的主因。

『交通為實業之母』，伴隨著人類的經濟發展，由內河、軌道、公路、至航空，一齣精采的交通運輸演變史乃孕育而生。當今，及可預見的未來，因ICT產業的蓬勃發展與先進技術的加持，傳統的機電系統設備與功能，呈現了多樣的面貌，更為全球交通運輸掀開嶄新的一頁。

此外，近年來，全球受到極端氣候及環境變遷的影響，災害頻傳，造成日常民生與社會經濟極大的衝擊。因此，環保意識抬頭、綠能發展需求殷切，我國政府亦積極投入災害防救體系的工程建置，以及提昇綠能與節能的革命性技術應用。

有鑑於此，台灣世曦工程顧問股份有限公司(以下稱本公司)乃積極參與政府單位與民間主辦之各項公共工程建設計畫，以創新突破的新思維，輔以地理空間資訊之決策支援工具，整合機電工程與智慧系統等專業技術，期能為我國經濟永續發展及資源有效管理，作出貢獻。

本專輯特別擇錄了本公司實際執行的部分計畫成果，專題

報導，以饗讀者。其內容涵蓋鐵公路隧道機電、機場設施、交通監控及地理空間資訊等相關領域，並以各重大工程中導入之智慧控制、智慧安檢、智慧商圈、智慧環控、節能減碳及先進防災等專業技術為例，闡述如何透過感測器、資通訊科技、自動控制、網路雲端、建築資訊模型(BIM)、空間資訊分析及展示等新科技應用，建構智慧型系統機電基礎環境，廣續發展各項創新服務。

本專輯之人物專訪部分，非常榮幸地邀請到國內兩位重量級專家，即現任高鐵局兼鐵工局胡湘麟局長，及桃園市政府工務局黃治峯代理局長，分別就鐵路系統機電及都市工務建設等專業領域，分享其過往寶貴經驗與未來發展願景。兩位專家對於如何在國內現有的環境條件下，建設優質交通工程，打造智慧友善都市，提供了高瞻遠矚的看法，內容精彩，務實可行。相關內容，請參閱後續之採訪報導。

綜上所述，本專輯係以鐵公路導入智慧系統、建設永續環境為出發點，多面向探討防救災需求、綠能發展趨勢，以打造智慧友善城市及建構優質交通運輸系統。期盼藉由本期中華技術的刊出，將台灣世曦，多年來，執行系統機電創新技術多元應用的專案經驗與初步成果，與各位先進分享，並祈不吝指教。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理

吳榮煊



訪鐵路改建工程局局長

胡湘麟

談

鐵路改建計畫與 核心系統機電展望

整理：黃渡根 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

胡湘麟局長畢業於國立交通大學運輸管理學系，歷經交通部運輸研究所工程司、高速鐵路工程局科長、副組長、組長等職務，於96年1月起升任高鐵局副局長，多年來致力積極推展高鐵後續工程及各項都會捷運建設計畫案，以及鐵路營運監理等業務，不遺餘力，始終秉持優良的工程專業精神，如期如質完成各項使命。並於103年9月25日升任交通部高速鐵路工程局局長並代理鐵路改建工程局局長。

胡局長從高鐵成立籌備處就全程參與推動高鐵建設計畫，包括催生辦理BOT的法源依據—獎參條例之立法作業、辦理各項先期規劃作業、徵求民間投資招商作業、招標甄審作業、興建營運合約之議約、融資協助、簽訂合約等，直到監督興建完成與通車營運，局長無役不與，見證高鐵從無到有，完成歷史性的任務。

而自102年6月代理高鐵局局長期間即領導全體同仁，全心全力投入執行高鐵財務改善及處理機場捷運機電系統進度落後的艱鉅任務，歷經努力，獲致突破性進展；並以其學養俱豐，積極任事與創新思維，帶領兩局同仁，廣續推動交通部交付的各項政策，致力執行各項工程業務，積極推動交通公共建設。本期刊很榮幸於民國105年9月1日專訪胡湘麟局長，以下是訪談紀要。

貳、訪談紀要

問：胡局長同時擔任鐵工局及高鐵局局長，肩負我國軌道建設重大責任，過往及執行中計畫已見成效；請問局長對於我國未來鐵路發展之願景及方向有何看法？

答：軌道運輸具有安全、可靠、高效率及節能減碳等優點，國際間現正興起一股建設鐵路的風潮，以期藉由軌道建設投資振興國內經濟、

降低運輸成本並增加就業機會，其中又以中國大陸及美國近年大幅加碼投入鐵路建設最為明顯。我國鐵道近年來由於高鐵及捷運陸續加入，已提供安全、穩定、潔淨、友善的服務，雖然鐵道密度仍有改善空間，但鐵道設施在世界經濟論壇(WEF)年度排名近幾年來持續往前，已逐漸提高在國際鐵道的地位。

臺灣軌道運輸包含高鐵、臺鐵、捷運及輕軌，雖然屬於不同的軌道系統，但應給予各自的定位，高鐵為西部中長程運具，臺鐵則服務



東部地區及中短程城際及區域運輸，捷運及輕軌為都會區內的主要軌道運輸系統，各軌道系統彼此相輔相成，從軌道路線到建構一個完整的軌道路網與改善市區鐵路環境，再與觀光列車相結合，應為未來推動重點：

一、強化軌道系統連結轉運

臺灣各運具系統間的無縫運輸一直是整體運輸規劃努力的方向，因此，臺鐵規劃銜接高鐵或捷運以完整全國鐵路路網為首要工作。目前大部分高鐵車站已利用與臺鐵車站共站(或共構)、鐵路支線連通、或以其他運輸系統(例如BRT)連結，但去年高鐵苗栗、彰化及雲林新站及今年南港站開通後，新站的軌道聯外運輸仍是未來要推動的方向。

二、完成環島動力一元化

臺鐵目前現存電力及柴油兩大動力系統，而柴油動力其服務效能不及於電力機車，且對環境造成影響，在臺鐵營運行車調度上也造成很大的限制。刻正辦理的南迴鐵路電氣化，為完成鐵路動力一元化的最後一哩路。

三、改善臺鐵路段容量瓶頸

臺灣鐵路運輸需求持續增加，而臺鐵也因



(左1)陳彥均經理 (左2)林啟豐協理

受限於鐵路現況容量的不足，無法增加列車調度彈性，影響旅客搭乘的便捷性及舒適度，且部分單軌路段也因交會待避導致的延誤而降低車輛運行的穩定性。容量不足的問題目前以北部及東部地區較為明顯，因此下一階段以改善北部通勤的鐵路運輸路廊以及花東地區鐵路雙軌化為主，未來可以隨著交通需求增加，接著再進一步觀察容量不足之路段，適時提出改善計畫。

四、鐵路立體化並非改善都市機能的唯一方式

以往市區發展以車站為中心向外擴展，鐵



(右4)吳榮煌副總經理 (右3)胡湘麟局長 (右2)黃郁文資深協理 (右1)黃渡根經理

路造成沿線兩邊的都市阻隔，且平交道也會嚴重降低地區的交通安全性及行車效率，對於區域都市發展仍有改善的空間。然而，鐵路立體化僅為解決上述問題的策略之一而非唯一，例如還可藉由重新規劃車站前後站的連通方式以降低兩側發展不均衡的問題，或利用電子票證以及加強車站轉乘的便利性來提升民眾使用大眾運輸的意願等，以改善目前臺鐵在都市所造成的負面效果。改造都市鐵路可先由整體都市發展進行規劃，瞭解地區對於鐵路的需求並配合都市設計及規劃，期能讓車站及鐵路融入當地生活，同時改善區域交通安全及效率下，為老舊的車站重新打造一個新的樣貌。

五、鐵路支線帶動觀光收益

鐵路建設是否僅以交通運輸容量為主要目的？這是可以再思考的問題。如何將鐵路建設與我國近年來推動觀光產業相結合，即從服務角度將臺灣美麗與特有景色，融入鐵道之旅應是另一不同思維。讓旅客可以悠遊於美景之中，慢活於路線之美。不再要求行駛速度的提升，多營造在車廂內與路線環境美的享受，應是另一種方向。如阿里山鐵道就是最好的例子，旅客要的就是那鐵道與山林結合加上那懷舊的感覺。後續恆春支線亦將以鐵路帶動觀光角度來思考。



問：鐵路改建為國內近年來重大公共工程建設的項目之一，建設成果除了國人可共享外，對於推進國內產業升級亦扮演相當重要的角色，懇請局長分享相關推動構思。



答：

一、成立軌道技術研究及認證中心



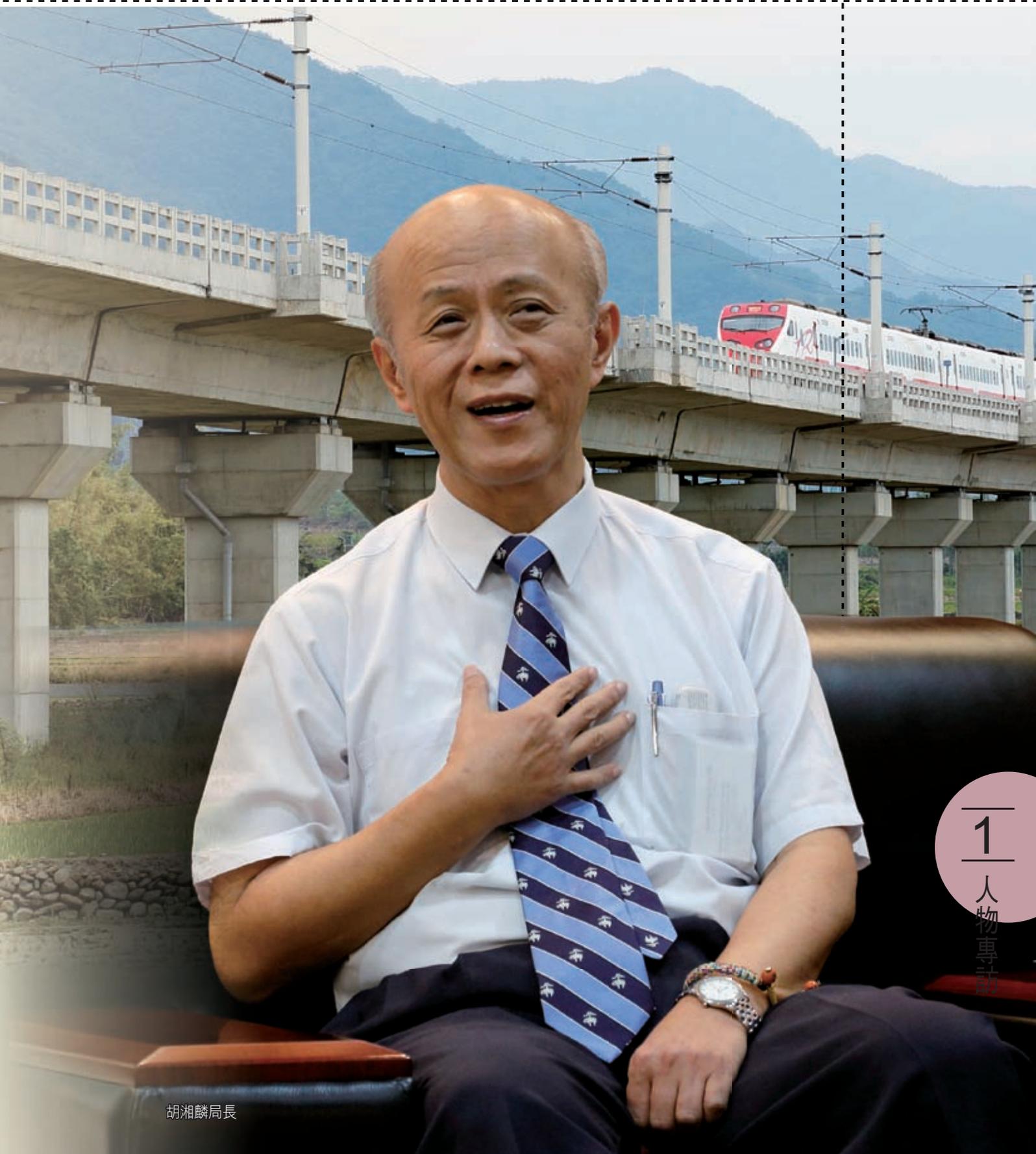
目前國內正積極推動成立軌道技術研究及認證中心，希望能成為產、官、學、研平台，以法人形式，從事軌道技術研究與認證制度建立，以協助政府進行鐵路事故調查、與鐵路車輛駕駛及行車人員訓練與證照頒發等相關監理作業，甚或藉由軌道技術研發，協助國內軌道產業發展。舉個例子，國內各軌道系統之駕駛皆由各事業單位自行訓練，並未有證照制度。高鐵初期亦曾因無訓練場所致初期引進外國駕駛，然各單位自行訓練亦有球員兼裁判之現象。本中心成立後希望建立相關訓練及證照制度，讓想要擔任駕駛工作的人員，經由學科、術科的訓練，再以學習執照方式至高鐵、臺鐵、捷運實際駕駛，經考試合格後頒發執照，使駕駛員的養成能有一完整訓練作業。相同的道理，亦可引用於產品、零組件之認證，對於各項研發成果或產品，若可藉由本中心認證，即可將研發成果應用到國內軌道工程，給予廠

商實戰之機會，方可確實推動國內軌道產業本土化。再舉一例，高鐵車廂椅套國內其實可以製造，但因防火、防煙的安全需求，如果沒有經相關認證就沒有辦法被採用。

二、掌握軌道產業發展趨勢

國際間對於鐵道運輸越來越重視，鐵道建設的需求也逐漸成長，無論是整組系統輸出，或是車輛製造組裝，還是電車線系統更新、號誌系統開發等，都有著無限商機，然軌道運輸的安全性要求相當高，其產業特性是需要高度技術、投入大量資本及技術人才，門檻高且回收期長，遠非一般中小企業所能負荷，在目前國內軌道市場並不大的環境下，應研究國內產業哪一部分可以受惠，並可取得相關技術生根臺灣，而集中培植國內某些軌道產業，以期能進而展望國際。

若能掌握此一趨勢，在建設國內鐵道的同時培植該項產業，厚植國內廠商競爭力，不僅能改善臺灣鐵道產業市場，更能增加國內就業機會，創造更多的國內經濟產值，進而培植鐵道相關的國際型企業，成為特定軌道技術輸出國。



胡湘麟局長



問：鐵路改建計畫推動過程中，如何與臺鐵局辦理的核心系統機電更新與永續發展等計畫有效連結，達到相互整合與共同升級之目標？

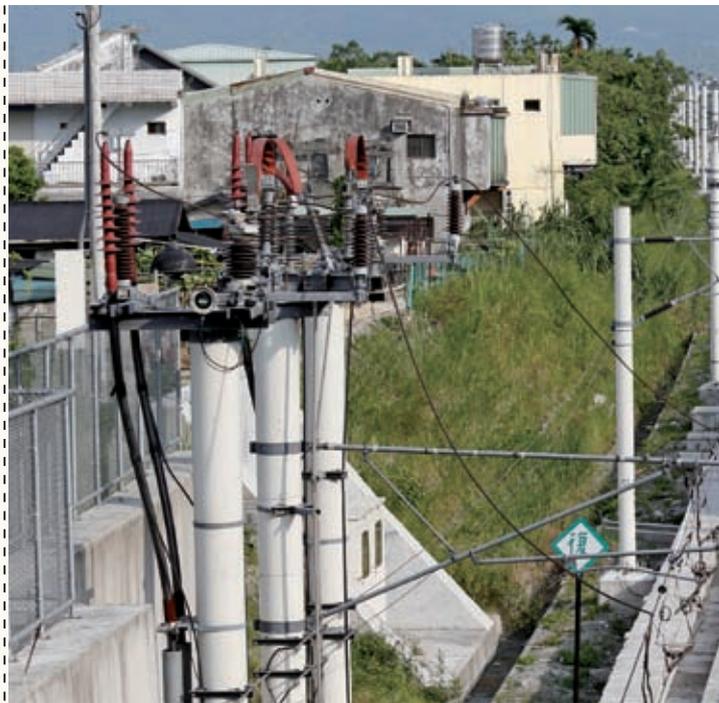
答：鐵路設施係屬高資本額投資，除營運單位之使用需求外，亦應兼顧財政健全、有效經營、永續發展等，故在推動鐵路改建計畫時，應納入下列策略性考量：

一、整合系統新需求

鐵工局職掌鐵路電氣化、多軌化、立體化等改建工程及支線鐵路新建工程，於可行性研究階段便以旅客安全為前提，考量臺鐵局營運需求，將各重大建設計畫範圍內之核心系統機電更新工作整合納入，並順應科技發展趨勢，依據臺鐵局最新核心系統機電技術規範辦理規劃設計，避免重複投資建置，並與臺鐵既設或更新的系統予以整合考量，有效加速環島鐵路系統更新進程。

以鐵工局甫完成及執行中計畫為例，包括：

- 電車線系統主吊線使用95 mm²硬抽銅線，可減少斷線機率、增加可靠度；平面段及高架段電車線系統採用圓鐵桿，除可提高



機械強度，更可增加美觀，兼顧花東線鐵路觀光特性及降低員林、臺中鐵路高架化區段對都市景觀之衝擊。

- 建置以電腦化系統及光纖通訊為架構之電力監控(SCADA)系統，可提供易使用的人機介面、減少養護作業，亦預留後續擴充之彈性機制。
- 號誌系統採用高可靠度之電子聯鎖，取消軌道電路改建置雙計軸器系統，提升抗電化干擾能力，降低環境因子對號誌系統可用度之影響。
- 電訊系統部分，為符合抗電化干擾需要並配合臺鐵環島通訊系統逐步光化政策，於



改建計畫範圍內敷設光纖纜線，並改善區段內行車調度無線電通訊品質。

二、考量全生命週期成本

公共工程全生命週期，包括可行性評估、規劃、設計、招標、施工、驗收至接管及營運階段，其中營運階段成本佔比相當高，加上營運階段時間相對長遠，若過去未持續蒐集統計資料，常被規劃設計者忽略，而落入控制建置成本優先的思考盲點，而以最低價標方式辦理工程採購，縱然可於施工階段通過品質查驗，卻殘留營運階段故障率高、養護成本高等風險因子。故設計時應將未來之管理維護需求一併考量，並思考如何與營運之觀點整合，舉例而言，電扶梯依規定應有政府委託機構定期每年

之安全檢驗認證，設計者即應將其納入未來營運規範內供營運者遵循，就可降低意外事故之風險。

三、建置自動化管理機制

臺鐵運量逐年提昇，若發生故障常造成嚴重延誤，加上夜間養護時間不足，員工於路線上搶修又有安全疑慮，為合理配置養護人力，資通訊技術應用是鐵路現代化的重要課題。利用設備遠端監視及維修管理資訊整合之機制，由系統即時偵測設備狀態，可於設備發生狀態異常但尚未故障時產生警告，由養護人員採行預防性保養維護。以自動化及智慧化管理方式，可減少搶修之情形、降低對營運之影響，並改善員工之勞動條件與環境。此外，藉由大量歷史資料庫逐步建立，未來更可藉由大數據技術分析，建立更有效率的預防性管理與保養制度。

四、導入系統保證制度

鐵路運輸一旦發生故障，其影響層面極廣，若發生意外更可能造成重大傷亡，但鐵路核心系統機電之可靠度及安全性會受規劃設計、施工安裝、營運、養護之情形影響，是一個動態變化的過程，僅靠施工階段的品質管理尚不足以有效控管風險。台灣高速鐵路建設



時，即參考歐盟先進國家執行鐵路工程計畫之作法，導入系統保證及獨立驗證與認證(IV&V)制度，成功完成高鐵建設，並於通車營運養護階段持續推動此制度。

鐵工局亦參考相同作法，陸續引進系統保證及獨立驗證與認證制度，藉由危害辨識、風險評估並研擬減緩對策，回饋修正設計並於施工階段持續控管風險，確保所有風險都在可接受之範圍內，符合營運單位對於安全性(Safety)之需求，並合理配置系統可靠度(Reliability)、可用度(Availability)、可維修度(Maintainability)。

因風險評估涉及對過往案例之瞭解及對未來各種可能性的合理預測，設計、施工單位之系統保證作業除由鐵工局審查以外，另委託國際鐵路安全專業機構執行獨立驗證與認證(IV&V)，借重該機構專業能力與過去參與各國鐵路、捷運新建或改建工程之經驗，減少系統保證作業之盲點，確保建設完成後旅客安全及營運穩定可靠。

問：胡局長多年參與軌道建設與營運稽核，對於軌道運輸安全的要求都是以最嚴謹的態度面對，若從管理與服務角度，如何運用資通訊技術以提升安全，您是否有相關看法？

答：個人曾參與多個鐵路事故調查，由過程中確實理解到有許多事故之避免與預防，可以於新建或改建之過程中，藉由新的資通訊技術引進，若管理或使用面可行，應可能有相當良好的效果。

一、車站監視系統智慧化

臺鐵汐科站曾發生旅客進站後長時間滯留於月台，因神智不清行走時不慎落入軌道區，而遭列車撞擊之不幸事故。雖該車站為簡易通勤站，依規定於車站月台免配置站務人員，但若當時能及時發現旅客落入軌道，由相關人員給予協助，便可避免憾事發生

無論是一般車站或簡易通勤站、招呼站，旅客的安全都不能打折，車站的人力配置不足之處，應以智慧化監視系統予以補足。除依車站內旅客動線配置攝影機，避免產生死角，更應思考如何利用影像辨識技術自動分析監視畫面，於月台、電梯口、電扶梯等易發生攸關安全事件之處所偵測異常，提供可疑事件自動告警功能，即時通知站務人員處理，相信能有效的提升車站營運安全。

二、高風險邊坡、橋梁及路線之監測

通過山區、河川之鐵路，應利用工程將



(左1)黃渡根經理 (左2)黃郁文資深協理 (左3)胡湘麟局長 (右3)吳榮煌副總經理 (右2)林啟豐協理 (右1)陳彥均經理

路線予以加固，並實施定期巡檢及補強，但邊坡及橋梁之穩定性易受豪雨侵襲而變化，風險無法僅靠工程手法完全消除，更應隨時監測其狀態變化，以確保行車安全。高風險邊坡、橋梁及路線之監測應包括路線兩側向外延伸之範圍，若有邊坡土石滑落、河水暴漲、林木倒塌等可能危及鐵路營運安全之路段，利用傾斜管、水位流量計及位移偵測器等設備監測，達到預防告警功能。

三、軌道線形監測

受極端氣候影響，國內已發生軌道因氣溫過高而變形之案例，而軌道亦可能遭受外力而變形，除定期保養工作利用軌道檢查車輛確認線形正常，還可利用溫度偵測器對異常軌溫產

生告警，將監視器及影像分析技術利用於軌道線形變動情形之監測，亦是值得思考發展的方向。

後記

承蒙胡局長於百忙中撥冗接受專訪，在訪談過程中，我們深切感受到局長非常深入了解鐵路工程，對於鐵路建設也有甚多具體務實構想，身兼高鐵局及鐵工局之局長，對於兩局成功執行案例及優異作業制度，依其嫻熟工程經驗及前瞻視野，引領兩局同仁相互交流，逐步落實於各項建設中。藉由本次專訪，我們當可從中學習甚多鐵路建設思維，更能周詳參與未來鐵路建設服務。



訪桃園市政府工務局局長

黃治峯

談

建設桃園優質工程、 打造智慧友善城市

整理：陳聖堯 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

黃治峯局長畢業於國立中央大學土木工程學系研究所、中原大學土木工程系，歷經臺北市政府工務局科長、簡任技正、養護工程處總工程司、水利工程處總工程司、水利工程處副處長、臺北市政府參議、工務局主任秘書、水利工程處處長、新建工程處處長、及工務局副局長等職務，公務經歷超過25年，於105年7月經桃園市鄭文燦市長延攬擔任桃園市政府工務局局長。

黃治峯局長於臺北市政府工務局副局長兼任新建工程處處長任內，除持續推動路平專案外，並於104年7月成立「臺北市道路管線暨資訊中心」，推動道路挖掘整合挖補，藉由道管中心跨領域之整合平台，以智慧化、源頭化管理方式整合挖掘申請案件，協調由單一管線單位進行統一挖補，或由各管線單位依序施工進行分挖齊補，以避免道路重複挖補情形，更以超前進度完成拆除臺北市忠孝西路公車專用道、忠孝橋引橋等工程，表現亮眼，行事風格極具效率，經桃園市鄭市長誠懇相邀，同意返鄉服務，鄭市長借重黃局長在工程上的綜合能力，未來市內的各項道路、橋梁、重劃、及公有建物等工程，將交由黃局長來執行推動。本期刊很榮幸於民國105年9月2日專訪黃治峯局長，以下是訪談紀要。



貳、訪談紀要

問：局長在臺北市政府擔任副局長及兼任新建工程處處長期間，對於忠孝橋引橋拆除等大型工程，皆如期甚至提前完成，展現高效率作為，是如何辦到的？

答：柯市長上任後，推動多項都市再生計畫，考量臺北車站是台鐵、高鐵、捷運六鐵交會的國家門戶，市府全面啟動西區門戶計畫，而拆除忠孝橋引橋即是改造西區門戶的關鍵第一步，忠孝橋引橋全長約750公尺，橋墩共計30處，拆除量體高達8,554立方公尺，忠孝橋位處交通要道，且因北門古蹟緊鄰忠孝橋引橋，更加深工程難度，新建工程處為如期達成拆橋



任務，除邀集處內專業工程人員、設計顧問、及施工專業廠商密集參與討論外，並採用BIM 3D模擬各項工法，順利施工完成任務，關鍵因素分享如下：

■ 縝密規劃、BIM模擬工法

(一)拆除工法依橋梁上部、下部結構類型，以及鄰近建築物、台鐵、捷運板南線、松山新店線地下隧道等因素，採行整跨全面支撐及配合原節塊採單元分割吊移拆除、整梁分割吊移工法、全跨鑿切吊移工法，以避免就地打鑿致混凝土塊墜落地面產生震動，影響鐵路及捷運營運安全。

(二)全區橋梁節塊採大尺寸切割吊離後運往洲美國小舊址堆置後破碎，施工現場噪音及震動影響較小，減少妨礙市民健康及環境安寧，並縮短施工影響期程。

(三)全面封閉拆橋工區，一次拆除完成，無須二次調整工區，縮短施工影響期程。

(四)由於集中8天全區拆除，大幅增加破碎機、吊車、板車等機具及工班動員需求，需於採購資格中限定廠商動員能力。

(五)北門為自1884年完成臺北舊城牆中，唯一

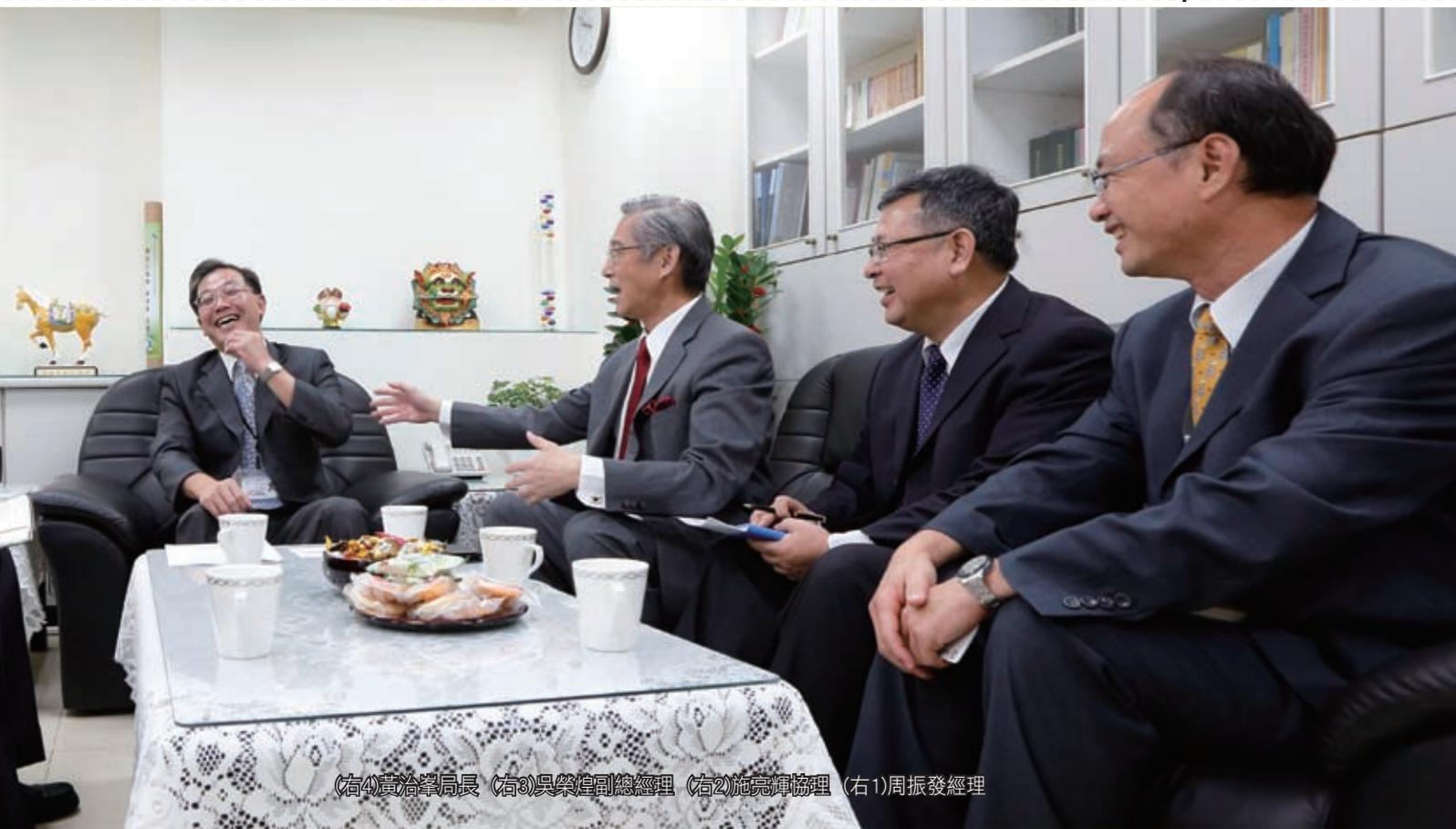


(左1)陳聖堯正工程師 (左2)黃郁文資深協理

保持原有完整面貌的臺北城門，為避免影響北門古蹟完整保存，近接古蹟之橋梁拆除需採行機械切割工法、北門廣場作業地面鋪鐵板、架設保護鋼架隔屏、實施安全監測管控等必要措施。

■ 順利且提前完工、圓滿達成任務

忠孝橋引橋拆除工程在新建工程處及施工團隊的努力之下，除了依原規劃之工法進行外，現場也有許多臨機應變的決策，所以比預定8天工期提前48小時完成，對於能圓滿達



(右4)黃治峯局長 (右3)吳榮煌副總經理 (右2)施亮輝協理 (右1)周振發經理

成此號稱臺北市史上最難的拆橋工程的關鍵因素，誠如柯市長在臉書上所說「一個偉大城市的前進來自於每一位基層同仁的奮鬥」，林欽榮副市長也感謝本工程之參與團隊本著「縝密規劃、日夜趕工、速戰速決、工進神速、貫徹始終」精神，犧牲春節假期，終能提前完工通車。

問：桃園市政府目前積極推動「智慧城市計畫」、「航空城計畫」、「亞洲矽谷計畫」，請問局長未來的施政構想為何？

答：桃園市剛升格為「直轄市」，陸續規劃重大建設計畫，未來工務局除了將臺北市政府一些制度或經驗引進桃園市，也開始導入新創產業或智慧城市概念，以及中央政府政策亞洲矽谷計畫，這些都要融入我們的工程建設，未來的施政構想：

一、桃園市全市都市計畫未來將整併為桃園都會區、中壢都會區、桃園航空城、龜山台地等4處都市計畫區；以及鄉村發展地區、生態遊憩地區等2處都市計畫群，在辦理前述都市計畫同時，工務局將推動共同管道，以大幅降低



日後道路挖掘問題。

二、為完善桃園市道路系統，提升整體生活機能，規劃自103年12月至111年12月開闢或拓寬19條道路，總計約22公里；並將投入10年新台幣100億的經費改善道路不平的情形，另將參照臺北市推動「路平專案」經驗，計畫於風禾公園成立「道路管線挖掘資訊中心」，推動道路挖掘整合挖補，藉由道管中心跨領域之整合平台，以智慧化、源頭化管理方式整合挖掘申請案件，針對不同管線之埋設路由及路面修復範圍進行案件整合，同時在考量地下管線複雜及交通特性等施工環境因素下，協調由單一管線單位進行統一挖補，或由各單位依序施工進行分挖齊補，以避免道路重複挖補情形。

三、「航空城計畫」同時也是「智慧城市的示範計畫」實驗場域，未來與中央合作的「亞洲矽谷計畫」，將會以桃園青埔特區做為示範點，桃園市將藉由國際城市交流方式參考其他先進城市的經驗，讓青埔成為桃園推動智慧城市的起點，市政府將推行先導計畫，委託顧問公司進行規劃評估及成立諮詢委員會，目前規劃優先於青埔特區試辦智慧路燈系統，智慧路燈系統除將燈泡改為LED節能街燈外，並在路燈上架設微型氣候站，可蒐集空氣懸浮物、風速、風向等資訊，將數據傳送至後端管理系統，同時也會與新創團體研商，納入可形的構

想，落實以協助改善城市生活品質，如果試辦結果成效不錯，將逐步推展至全市，以建構智慧友善的城市。

問：桃園市政府升格為六都後，積極推動「健康城市」，請問局長如何推動相關建設？

答：為了提供市民更優質的運動場域，市政府正陸續建設棒壘球場、國民運動中心、體育園區等各項體育設施，打造桃園成為健康城市，未來推動重點：

一、規劃在青埔慢速壘球場加裝夜間照明設施，讓這座球場，可以全天候使用。另外，也在觀音、楊梅及八德分別設置棒壘球場，讓喜歡棒壘運動的市民朋友，都能有更優質的運動場地。

二、桃園市升格後，積極建立新一代「直轄市級」市立圖書總館，並於105年1月確定選址於桃園市桃園區的藝文特區，規劃一座樓高8層、地下2層的建築物，內部規劃有電影院、文創廣場、主題餐廳等設施，預計106年動工、109年完工。完工後樓地板面積將超越高雄市立圖書館總館，為全國最大的地區性公共圖書館，並將成為僅次於國立臺灣圖書館、國



1
人物專訪

黃治峯局長談風禾公園



立公共資訊圖書館、及中華民國國家圖書館的第四大圖書館。

三、市府規劃打造一區一運動中心，其中南平、桃園、中壢三座國民運動中心已陸續開工，蘆竹、平鎮、八德等國民運動中心將陸續規劃施工。國民運動中心有溫水游泳池、體適能中心、羽球場、韻律教室、桌球場、綜合球場等多種功能。工務局未來在規劃國民運動中心階段，將邀請並徵詢委託經營(OT)廠商先行參與規劃構想，將OT廠商經營經驗回饋至新設之運動中心，並採一運動中心一個主題運動項目及符合國際級運動場地標準的方向規劃，可供日後舉辦國際級運動賽事。

問：桃園市政府目前全力推動桃園鐵路地下化建設，請問局長對於未來鐵路地下化之路廊，以及後站之都市計畫規劃、城市景觀再造及工程建設之願景為何？

答：過去平面鐵路的穿越，往往因阻隔形成不利鐵路兩側發展的風貌。此外，現有桃園市各中心普遍存在綠化及開放空間不足等問題，不利於都市綠網系統的建構。市府目前全力推動桃園鐵路地下化建設，未來在地面上之路廊將提供大型開放空間、道路綠化等綠資源的都市



桃園國民運動中心 (圖/桃園市政府養護工程處網站)

綠環及綠網，擺脫過度人工化及水泥化的舊市區都市景觀，提升為具有高度串連性的都市綠色景觀，以及連續舒適的生態人文活動空間，並以公共交通導向發展概念(Transit Oriented Development, TOD)結合都市計畫及都市景觀，以期不久之將來因應交通旅次移轉，形成車道寬度縮減、人行道加寬、無障礙設計、及林蔭植栽綠化之歐洲先進城市風貌，未來推動重點：

一、打通桃園前後站交通、亮化周邊車站、順暢人行通道

快速改善前後站地下道，使前後站無縫接合，改善車站周邊人行系統、地下道、及消除各死角空間，使車站周邊明亮。並以TOD整合車站周邊新建設，利用新計畫創造出良好的步行空間，提升車站周邊環境品質、都市景觀、及親和力車站。

1

人物專訪

二、進行都市計畫開發、打造綠意廊道

配合都市發展局都市計畫道路開闢及都市更新改善工程，推動台鐵綠廊道整合計畫，整合前後站並串聯桃園及中壢，形成都會綠帶。

問：在臺灣各縣市中，桃園市的陂塘最多，有千湖縣的美譽，但自從桃園大圳、石門大圳陸續開鑿，石門水庫供給充分的灌溉水源後，多數的陂塘喪失了原始的灌溉功能；請問局長推動市政建設，對於都市計畫內之陂塘將賦予何種新面貌或功能？

答：桃園市政府升格後，鄭市長特別重視陂塘水圳的發展與活化利用，上任至今舉辦過「陂塘之介-國際大師工作坊」、「陂塘工作營」等活動，以國際觀點、在地視野來發掘陂塘的歷史及文化連結。市長表示，桃園陂塘文化屬在地特有文化，市府將持續推動「一區一陂塘公園」以發展各地特色，並持續活化陂塘，妥善保存桃園的陂塘文化。

針對市內具發展可行性之陂塘，進行環境綠美化並規劃作為後續環境教育生態場所，配合一區一陂塘政策，已開闢25座陂塘公園，目前正在進行規劃的陂塘公園有大園5-8號陂塘、桃園2-5號陂塘、八德2-1號陂塘、新屋陂塘、觀音10-8號陂塘、觀音8-15號陂塘、新屋



桃園嵌津大橋



12-1-2陂塘、新屋12-14號陂塘、及八德陂塘生態公園環境教育種子計畫。

為了開啟一區一陂塘活化政策，以大園「5-8號陂塘」作為示範點，藉由整體環境規劃與設計，導入親和力設施並活化陂塘機能，美化陂塘景觀，淨化陂塘水圳網絡，增進周邊生活品質，展現陂塘獨特之活力與吸引力，成為高速鐵路桃園車站特定區內觀光、環境教育及文化生態新地標，並且市府也預定將5-8號陂塘正名為「橫山書法公園」，建置藝術館取名為「台灣橫山書法藝術館」。待藝術館完工，將成書法典藏、展覽、及教育場所，讓桃園增添更多藝術氣息，提升桃園文化質感。

此外，為配合2017農業博覽會，位於新屋氣象站旁，佔地25公頃的農博園區，除了舉辦活動外，未來將發展為環境教育中心，作為學生農業體驗和教育的場域，並針對園區基地現有之景觀池環境加以改善，周邊環境施以綠美化且設置導覽解說設施，打造教學環境。期望於維護生態池與改善12-14號陂塘景觀之同時也提高其教育解說功能，展現不同於農業體驗區鄉村風情之自然生態景觀，使園區整體景觀更加豐富多元，以期將桃園市打造成一個具有在地文化、藝術特質的「健康城市」。

問：桃園市政府目前規劃將桃林鐵路活化，請問局長如何利用桃林鐵路路廊打造更優質的綠色廊道或替代道路，讓桃園成為健康城市？

答：桃園經歷百多年的城市發展變遷，其發展軌跡中所遺留的文化資產已成為桃園的重要元素。因此維持城市的歷史風貌、創造多元文化體驗，已成為都市的重要指標。桃林鐵路沿線可提供之都市綠帶與開放空間為建構永續城市、發展健康城市的基礎及重要空間元素。未來將以綠美化、人行步道、及自行車道做為發展主軸，主要的目的在於建構良善、安全之自行車騎乘環境，藉由綠色無污染的自行車搭配大眾運輸系統組成都市交通網絡，期能對都市交通的壅塞、污染問題提供解決方案，以下是「桃林鐵路低碳綠色廊道」全線發展構想：

一、保留現有鐵路記憶

永續經營之鐵路遺構風貌，朝向在地生活及觀光休憩的一條旅行路線，保留各站原址的鐵道特色空間，如月台、倉庫、鐵道標誌等美化利用，以深化沿線特色風景。

二、結合南崁溪藍帶環境



(左1)陳聖堯正工程師 (左2)施亮輝協理 (左3)吳榮煌副總經理 (右3)黃洽學局長 (右2)黃郁文資深協理 (右1)周振發經理

增加城市中藍綠帶自然環境的可及性，有計畫擴大地區藍綠帶成長空間及提供多樣化的活動空間選擇，藉以培育居民永續生態的認知及提供探索在地生活趣味空間。

三、活化鐵路沿線生活機能

輔導沿線商家注入新活力，建築立面由反變正的朝向經營，優先結合學校、機關用地、閒置空間及公園整備活化使用，導入低碳交通工具及加強鐵道兩側周邊環境整理。

四、串連相關活動據點

配合沿線鄰近的活動中心及廟埕廣場空間，定期舉辦公益活動，並結合花市活動辦理一日遊的套裝行程，獎勵沿線商家共同推動鐵路消費觀光活動。

後記

承蒙黃局長在百忙之中撥冗接受專訪，除分享臺北市成功經驗外，更暢談工務局如何配合桃園市政府積極推動「智慧城市」、「航空城」、「亞洲矽谷」等計畫，在訪談過程中，我們深切地感受到黃局長的熱忱、自信、專業，相信必能協助鄭市長建設桃園成為優質、智慧、友善的城市。

非公車專用道之 公車優先號誌系統 ——以台南市為例

關鍵詞：公車、專用道、優先號誌

- 台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／協理／馮道亨 ❶
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／經理／李文騫 ❷
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／副理／黃惠隆 ❸
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／正工程師／樂楚全 ❹
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／工程師／吳宗昀 ❺
 台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／工程師／楊明杰 ❻



摘要 ABSTRACT

公車系統在大眾運輸扮演重要角色，在全球暖化與能源危機議題下，更因具備節能減碳效益之特性，使得公車系統推廣更是受到重視。而在台灣近幾年汽、機車等私人運具的成長依舊偏高，導致許多城市都有嚴重的交通問題，多數的民眾普遍不習慣使用公車系統，究其原因，使用公車系統需花費較多的旅行時間所致；因此藉由公車優先號誌系統建置可有效改善這些問題。

本篇以臺南市政府交通局於公車行駛路線導入優先號誌運作為例，透過OBU車載系統獲取公車GPS點位，並利用3G無線通訊將資料傳輸至路口號誌控制器，透過工業電腦即時運算下達綠燈延長或紅燈縮短等策略，使公車於抵達號誌化路口時可順利通過，並藉由演算法將號誌時制調整過程採補償機制，以降低對競向道路之交通衝擊，本計畫於非公車專用道上實施優先號誌控制，遭遇諸多不確定因素，因此系統建置完成後歷經多次系統調校，將優先號誌系統優化至適用於台南市之道路交通條件，經測試後導入優先號誌系統將可有效降低公車行駛路線10.1%的旅行時間、節省路口停等時間平均達35%。



壹、台南公車優先號誌計畫緣起與目標

台南市歷史悠久，都市發展與規劃係以過去之街道為考量，道路空間擴展不易，且私人運具持有率偏高，民國101年小汽車約61萬輛，導致嚴重之交通問題，對於整體居民生活環境及都市意象均將產生嚴重衝擊。另近幾年調查台南市公共運輸市占率皆為五都最低，根據交通部統計處「民眾日常使用運具狀況調查」，民國104年公共運輸市占率為五都最低(約5.5%)，亦低於全國平均(16.0%)。因此，市府配合中央政策，推動台南市捷運化公共運輸系統發展策略，在公車捷運化階段(101~105年)，除了班次密集外，也要有班次可靠度高及旅行時間短之特性，才能符合所謂「捷運化」。欲提高達班次可靠度並縮短旅行時間，則須有多項之配合措施，例如票證電子化、完善之候車設施、公車上下乘客動線之改善等均可縮短公

車之停靠時間，公車專用道及號誌優先觸動之優先路權措施，則可以縮短公車旅行時間。

在台南市縣市合併之後，必須正視跨區之運輸需求(如玉井、新化、佳里、麻豆等地之通學、通勤、醫療以及市區購物等之需求)，在台南尚未擁有先進運輸系統前，跨區公共運輸除了台鐵之外，僅能倚賴整併日漸完善之「大台南公車」系統，但台南道路先天條件限制，市區多為1~2線道且街廓短，公車行駛容易造成壅塞或與汽機車爭道之現象，且台南市沒有公車專用道，綜觀全世界的公車優先號誌，大都運用於公車專用道上，非公車專用道之公車優先號誌系統在全世界仍屬罕見。

台南市以公共運輸進步的城市發展作為目標，發展「以人為本」及「低碳環保」之公共運輸系統，以運量最高之綠幹線作為第一期(104年)公車優先號誌試辦，路線服務東區、

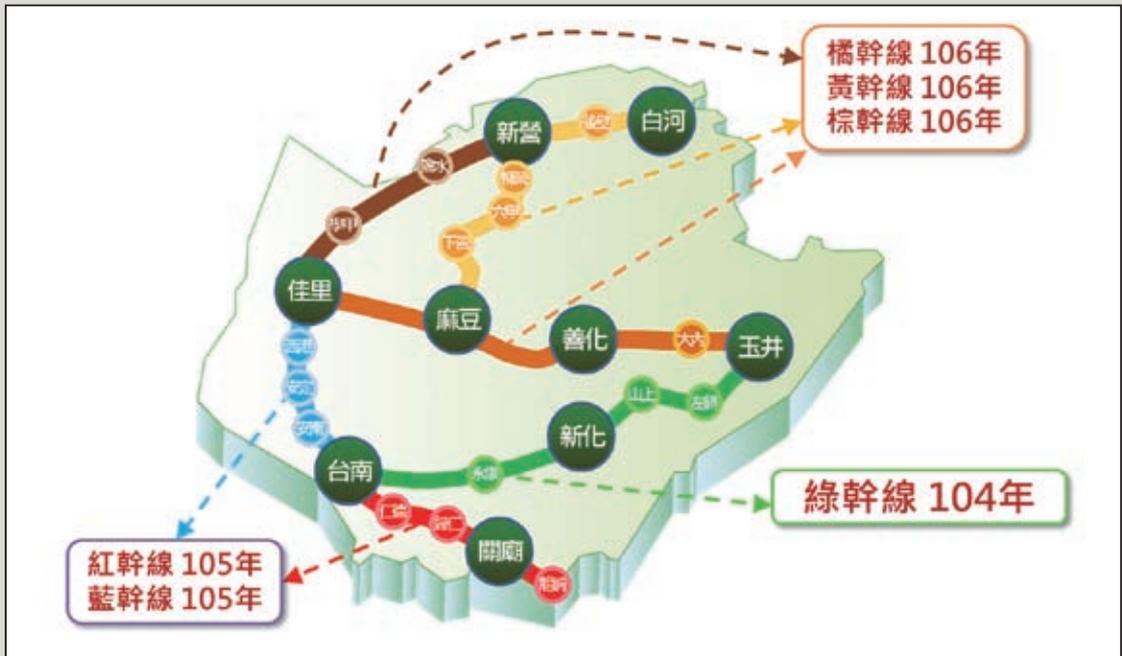


圖1 台南公車優先號誌系統開通時程

永康、新化、左鎮至玉井，實施公車優先號誌讓公車在抵達路口前，保持或改變路口號誌燈態，使公車能順利通過路口減少路口停等旅行時間，重建民眾對公車之信心而願意捨棄私人運具多利用大眾運輸系統，達到減少私有運具使用率與提高公車營運效率之目標。圖1為台南公車優先號誌系統規劃建置開通時程。

貳、公車優先號誌控制策略規劃設計

本計畫綠幹線公車優先號誌採用現場控制方式，當車輛通過目標路口前特定範圍時，車載機之車上GPS資訊透過3G無線通訊設備傳輸至路側設備，進行運算與判斷後，通知號誌控制器改變時制，讓該車輛優先通過目標路口。

一、公車優先實施路口選擇

根據國內外文獻回顧在壅塞路段之地點不適宜實施優先號誌，但台南市靠近市區段之

道路型態多為雙向1~2車道，路幅狹窄且街廓短，經與交通局就此種情況深入討論後，擬於部分市區段實施公車優先，再依實際情況微調；另外，亦考量部分路段為短街廓，部分路口採用連鎖號誌及共用虛擬點方式來處理公車優先。綜此，綠幹線公車優先號誌實施路口共計63處路口、28個群組，其中，以工業電腦(IPC)控制公車優先號誌範圍共57處路口、22個群組，永康站至新化站之間部分路口輔以時制重整方式處理，共計18處路口、12個群組。優先號誌路口之群組劃分部分，考慮以公車站位間數個路口劃分同一群組，同一群組之路口共用一組IPC控制實施公車優先號誌。整體實施範圍參見圖2所示。

二、公車優先實施路口選擇

(一) 優先號誌控制策略

1. 綠燈延長(Green Extension)

當公車於綠燈時相的尾端接近路口時，延長公車行進方向之綠燈時間，使公車能夠



圖2 綠幹線優先號誌實施範圍

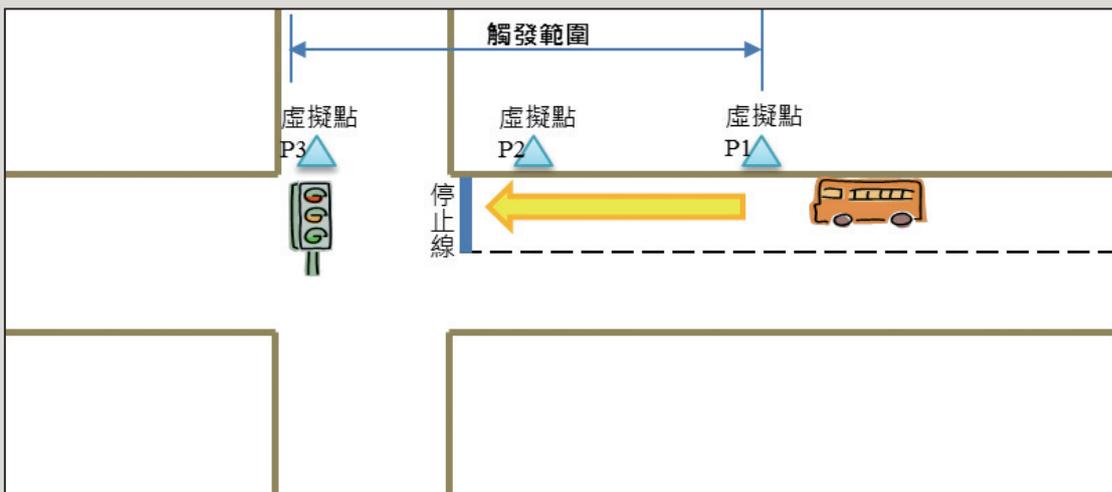


圖3 優先號誌觸發方式示意圖

順利通過路口，延長綠燈時間端視公車通過停止線的時間而定，若延長後之綠燈時間已大於公車行進方向最大綠燈時間，則不再進行綠燈延長且必須進行燈態轉換。

2. 紅燈切斷(Red Truncation)

在紅燈時相內有停等公車或公車到達時，可提前切斷紅燈時相(綠燈提早)，以減少公車之停等時間。為此需滿足橫交道路綠燈時相已經過最小綠燈時間後方能執行。

(二) 觸動方式

1. 一般路口設置2個check in 點(P1資料傳送開始點、P2決策點)，1個check out點(P3資料傳送結束點)。P1、P2距離路口停止線初始值分別為200公尺、80公尺，各路口之虛擬點設置位置需進行評估，後續可依現場條件(如幾何、站位等)及實施效果作彈性調整。
2. 本系統採用虛擬點觸發方式，當公車進入觸動範圍時(如圖3之虛擬點P1~P3)開始傳送公車資訊(車輛位置、車速、車號等)至路側設備，頻率為至少每兩秒一次(原公車定時傳送GPS資料仍依原設定的

頻率傳送)，通知公車已進入觸動範圍，以便路側設備可依此持續追蹤公車行進及計算公車到達時間；此通訊傳送頻率更改，主要是避免無線通訊不穩定性造成資料遺失，並可持續追蹤公車及計算，增加預測的準確性。

3. 路側IPC根據車輛位置與車速，計算車輛預定到達路口時間，並參考目前的號誌控制狀況，決定時制計畫需改變的方式(時制不變、綠燈延長幾秒或紅燈切斷幾秒)。
4. P2虛擬點為下達決策點，做最後檢視欲下達策略及相關資料(預定到達路口時間、時制計畫)之確認，以進行後續優先控制執行，此時也會回傳路口剩餘秒數給公車。
5. 當公車行駛至路口離開點(P3點)停止傳送公車資訊至路側設備，路側設備則記錄公車通過路口時間，並整理相關資料傳回中心。

參、優先號誌演算邏輯與參數設計

一、啟動控制判定

啟動控制判定分成一般啟動判定與短街廓路口啟動判定。以啟動公車優先策略判定為優先號誌最初之啟動基準，如交控中心啟動公車優先策略時，公車優先號誌系統才啟動，再由公車優先號誌系統進行後續判定(一般啟動判定與短街廓路口啟動判定)，參見圖4a與4b。

(一) 一般啟動判定

一般啟動距離為停止線至P1點的距離，本計畫設定在100~200m。最高60m

+6筆*20m(每2秒)+20m(誤差)=200m；
最低60m+4筆*10m(每1秒)=100m。

在公車通過觸發點P1後，若抵達決策點P2前燈下公車方向燈態非紅燈且有時速連續(至少)15筆(1秒≥1筆)以上低於門檻值(暫定15 km/hr)現象時，表示路口出現壅塞現象或其他特殊狀況，則不啟動優先號誌，其餘情況則仍啟動優先號誌。

(二) 短街廓路口啟動判定(上下游路口整合)

本計畫短街廓路口定義為，當路口間距離不足以劃設足夠觸發範圍(路口間距離小於100公尺)，可能導致無足夠時間預估到達下游路口停止線時間並下達策略，故採用以下短街廓路口號誌連鎖的方式進行公車優先，提供公車一次可續進多個路口。

短街廓路口優先號誌啟動分為兩種不同方式，如圖4b所示，若路口間距為60~100公尺，則上游路口虛擬點P3 = 下游路口虛擬點P1，此兩點視為同一點，離開上游路口時直接進入下游路口優先號誌觸發之範圍，因此還是視為兩個路口來處理；若路口間距為<60公尺，則兩個路口合併視為同一路口判斷(上下游路口共用虛擬點)，P1、P2設於上游路口，離開點P3則設於下游路口，公車連續通過兩個路口後才停止傳送資料。

(三) 近端設站路口啟動判定

另外在該路口若有近端設站時，當公車進站前速率不會降低，表示過站不停，仍執行優先號誌；公車進站前停車不啟動優先號誌策略，當公車停站後開車，即啟動公車優先，再以綠燈延長+紅燈截短方式處理，讓公車通過路口，如圖4c所示。

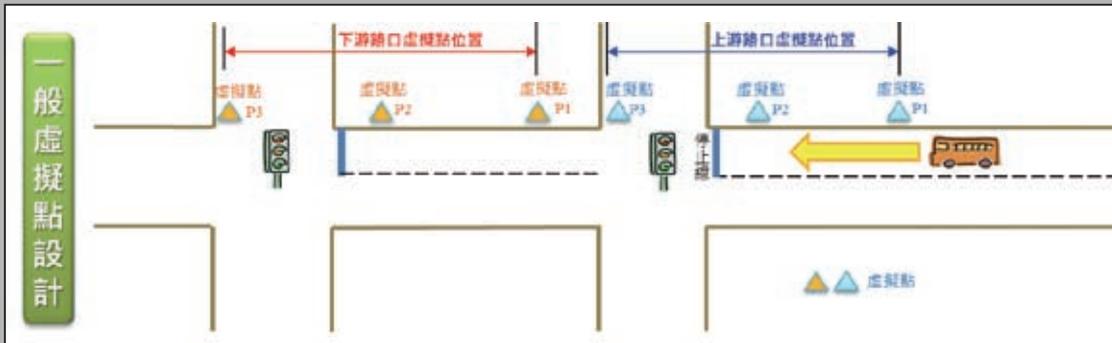


圖4a 一般路口啟動判定

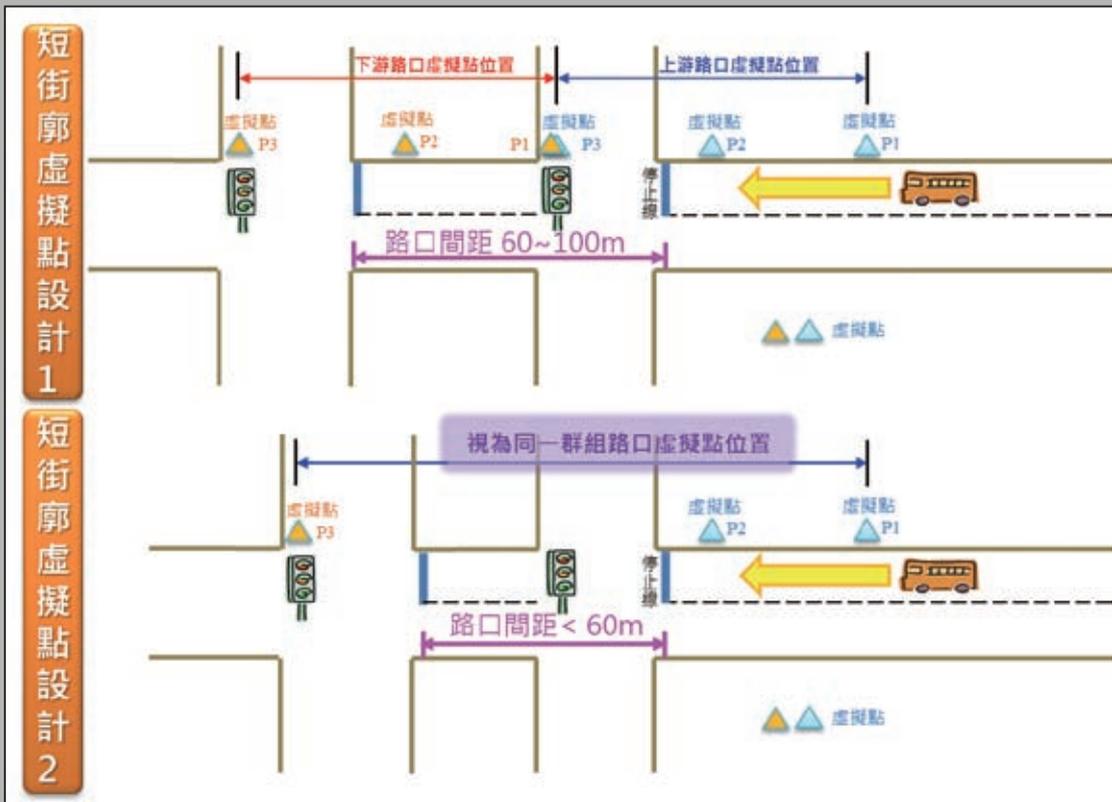


圖4b 短街廓路口啟動判定

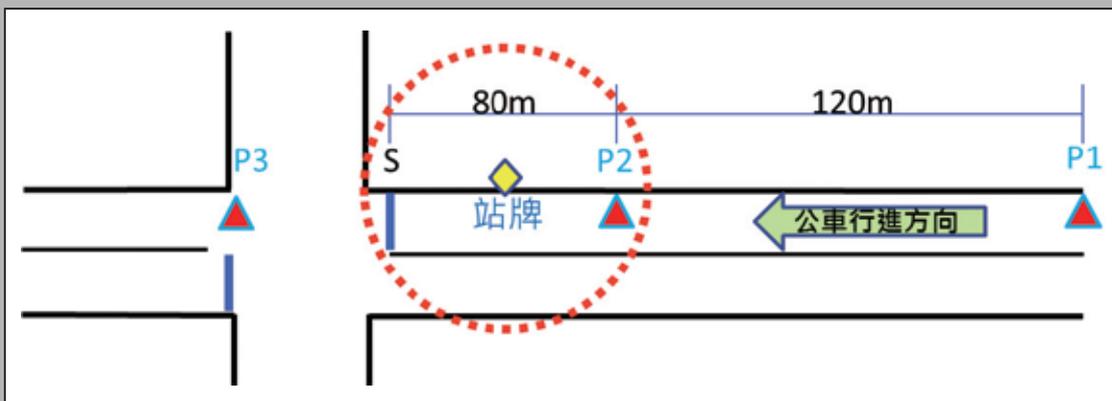


圖4c 近端設站啟動控制判定

二、公車到達時間之控制邏輯

台南綠幹線公车的控制邏輯，以簡單二時相為例，公車到達時間分成四個時段，公車到達各時段之控制邏輯說明如下：

(一) 公車預計於A時段(公車方向a之時相為綠燈)完全通過路口，無須改變時制計畫(圖5a)。

(二) 公車預計於B時段(公車方向a之時相為紅燈，橫向b之綠燈未達最小綠，且不超過公車方向a時相之最大綠)完全通過路口，執行綠燈延長至公車預定到達路口時間(圖5b)。延長時間於下週期公車方向綠燈縮短進行補償。

(三) 公車預計於C時段(公車方向a之時相為紅燈，且超過公車方向a之時相最大綠，橫向b未達最小綠)到達路口，須等候橫向最小綠燈時間結束後，轉換為公車方向綠燈(圖5c)。縮短之紅燈時間，於下週期加至橫向綠燈(即公車方向紅燈延長)進行補償，若橫向綠燈增加超過最大綠，則剩餘時間再移至下一週期的橫向綠燈。

(四) 公車預計於D時段(公車方向a之時相為紅燈，橫向b之綠燈時相已滿足最小綠)到達路口，則橫向b綠燈於公車到達時終止，轉換為公車方向綠燈(圖5d)。縮短之紅燈時間，於下週期加至橫向綠燈(即公車方向紅燈加長)進行

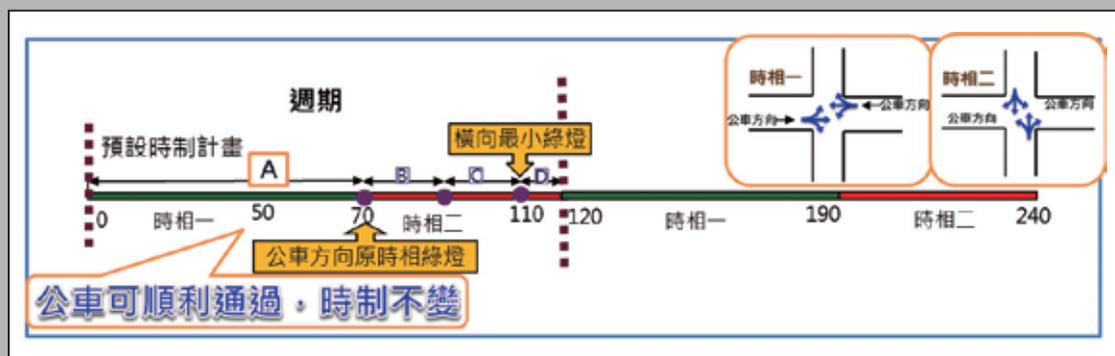


圖5a 公車於A時段到達路口控制邏輯圖(二時相)

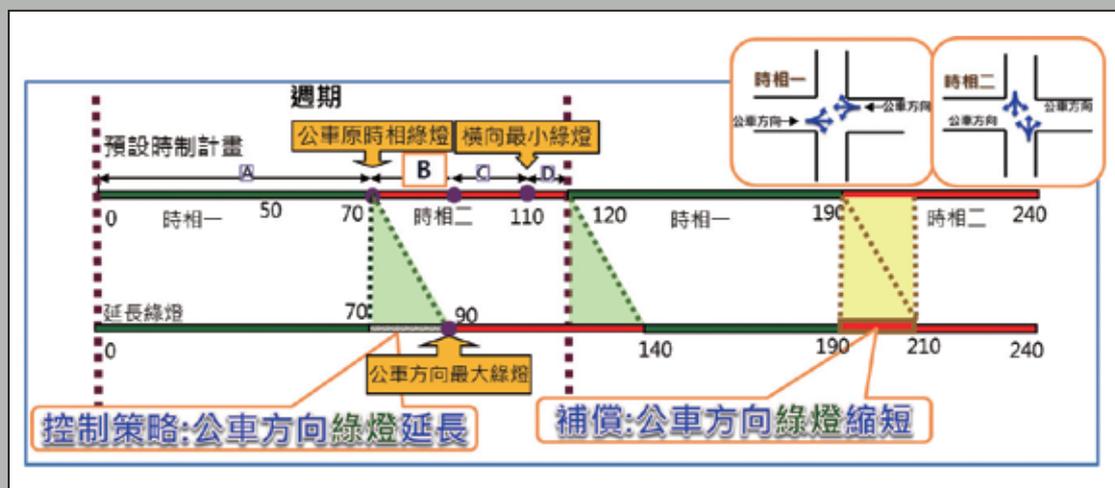


圖5b 公車於B時段到達路口控制邏輯圖(二時相)

補償，若橫向綠燈增加超過最大綠，則剩餘時間再移至下一週期的橫向綠燈。

三、補償機制

在路口執行完優先號誌後，可能破壞原號誌設計之幹道連鎖連續進，因此須對執行完之優先號誌路口進行補償，使號誌時制回復原時序。補償機制有多種方式，例如借多少還多少方式、時比分配補償方式、固定時間補償(例如每週期補償5秒)。

本計畫(綠幹線公車試辦)採借多少還多少之補償機制，於優先號誌啟動後下個週期啟動補償機制，該路口公車優先號誌暫停，待補償結

束後，即恢復區域路口號誌系統，該路口公車優先號誌則繼續執行。補償盡量在一週期內完成，以盡快恢復路口之時制計畫，維持路口間時制計畫之連鎖性，但仍需考量最小綠燈之時間限制，即如紅燈之縮短時間為多少，則在後續週期紅燈就補增多少(補償多少)；綠燈之延長時間多少，則在後續週期的綠燈就補減多少(補償多少)。

四、參數設計

根據上述公車優先號誌系統設計之基本控制策略、觸動方式以及控制邏輯說明，本計畫設計綠幹線之參數如下：

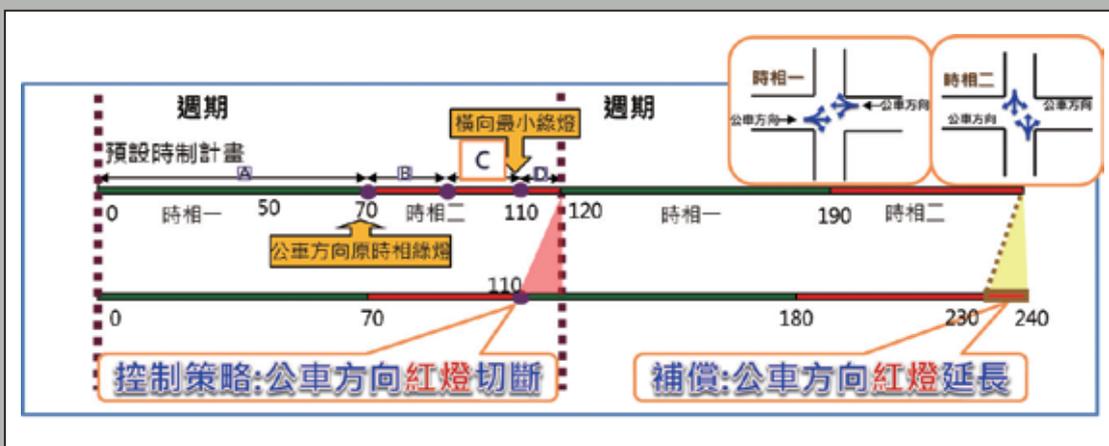


圖5c 公車於C時段到達路口控制邏輯圖(二時相)



圖5d 公車於D時段到達路口控制邏輯圖(二時相)

(一) 公車優先虛擬觸動點

公車優先虛擬觸動點傳送參數如表1所示，車機於虛擬點傳送公車位置資訊至IPC，由此可推算公車通過路口的時間並決定是否要進行優先策略。

表1 公車優先虛擬觸動點參數

虛擬點	傳送參數
虛擬點 P1	公車抵達觸動點P1時，車機開始較高頻率(至少每兩秒一次)傳輸公車訊息(公車ID、GPS、車速)給路側設備。
虛擬點 P2	公車抵達觸動點P2時，路側設備針對目前時相及預計公車到路口時間下達策略給號誌控制器。
虛擬點 P3	公車抵達觸動點P3時，車機停止較高頻率傳輸，路側設備整理相關公車優先資料回傳公車優先號誌中心。

(二) 公車優先時制設計

1. 幹道最長綠燈時間

最大綠燈時間設置目的，是為了避免公車方向綠燈時間過長造成支道的延滯過大，須考慮駕駛人的忍受程度，通常採延長綠燈時間長度最大值加以限制，後續可依綠幹線各路口設計其最大時間。一般而言，公車優先之綠燈延長時間 \leq 時制設計之最大綠燈時間。

2. 支道最小綠燈時間

最小綠燈時間設置目的，是為了確保行人通行的安全時間，綠幹線依各路口有不同之最小綠燈時間計算，設計最小綠燈時間考慮項目：行人起步延誤、行人穿越道路長度、行人步行速度以及黃燈時間。公車優先實施時，紅燈切斷策略需保障該分項最小綠燈時間。

(三) 公車通行之分相

本計畫於事前即調查且設定每套時制計畫公車通行之分相，如此才能正確判定公車到達路口剩餘秒數，以及該延長綠燈或縮端支道綠燈。

(四) 近端設站路口

本計畫於事前即調查且設定綠幹線有哪些路口為近端設站，公車進入該路口觸發範圍時啟動近端判斷機制，若符合近端策略條件(非紅燈、非正常速率)，則啟動近端策略。

五、優先策略情境

公車優先開啟時，綠幹線上裝有車機之公車進入各路口正常觸發公車優先，考量決策點當下的時制及各種輔助執行之策略，尚可歸類為以下12種策略情境，參見表2所示。優先時若有不同公車分相車輛，則以第一觸碰P2決策點之車輛為下達策略之標的。

肆、公車優先號誌系統規劃設計與建置

一、整體系統架構規劃與建置

公車優先系統之運作架構如圖6所示，資料傳遞整合架構參見圖7。圖6架構運作為公車到達路口，藉由車機定時發布座標及車速傳送至路口IPC，IPC收到公車資訊及收集的號誌訊息進行計算，首先計算公車到達路口需要之秒數，再確認路口綠燈剩餘秒數，判斷公車是否可通過，如不能通過則先試算延長綠燈秒數讓公車通過，如延長綠燈也不能通過或到路口為紅燈，則執行縮短公車競向時相之綠燈，讓公

表2 公車到達路口控制策略情境對照表

策略代號	決策點號誌燈態	說明
1-1	公車方向為綠燈	預判到路口停止線(S)為綠燈，可直接通行
1-2		第一輛公車方向為綠燈，預判到路口S未能通過 若所有車輛皆為同一公車分相，延長綠燈時間至最後一輛公車可通行 若有不同公車分相車輛，則延長第一觸碰P2之車輛綠燈時間
1-3		預判到路口S未能通過，且延長最小綠亦無法通過，縮短競向綠燈[縮短公車方向紅燈]，可通行
2-1	公車方向為紅燈	預判到路口S為綠燈，可直接通行
2-2		預判到路口S未能通過 (到達時在競向最小綠內)，縮短競向綠燈[縮短公車方向紅燈]，需等競向最小綠燈再通行 (到達時超過競向最小綠)，縮短競向綠燈[縮短公車方向紅燈]，可通行
5-5		觸碰P1後到P2間，連續15筆(參數可調)資料時速均小於15km/h
6-6		近端策略，採綠燈延長+紅燈縮短方式處理
8-8		補償策略，該路口目前不進行優先控制
9-9		現場手操燈
E1		時制異常
E8		時段關閉策略
E9		中心關閉策略
註		1-1、2-1→保持原樣 1-2→延長綠燈 1-3、2-2→縮短紅燈 5-5→低速策略 6-6→近端策略 8-8→補償策略 9-9→現場手操燈 E1、E8、E9→中心下達策略

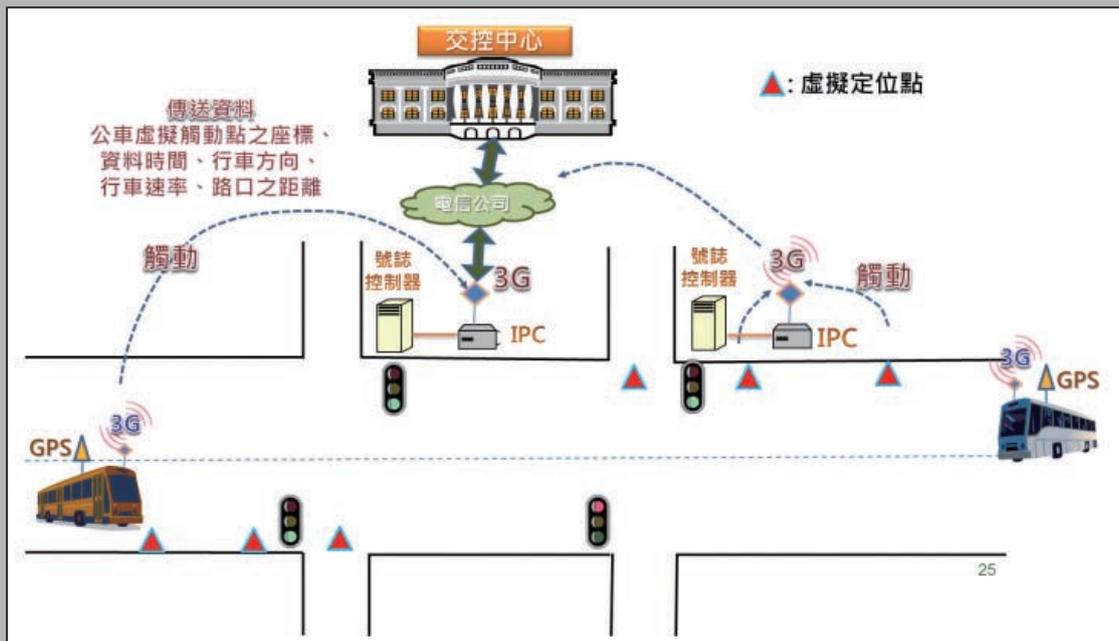


圖6 運作架構示意圖

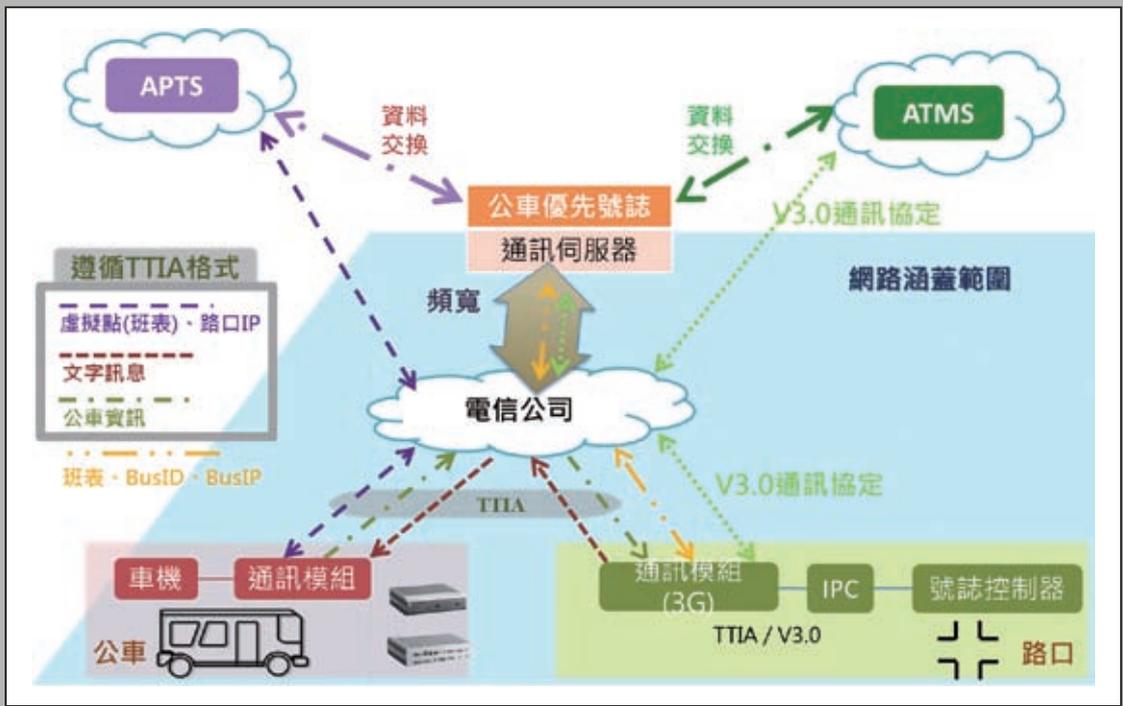


圖7 資料傳遞整合架構示意圖

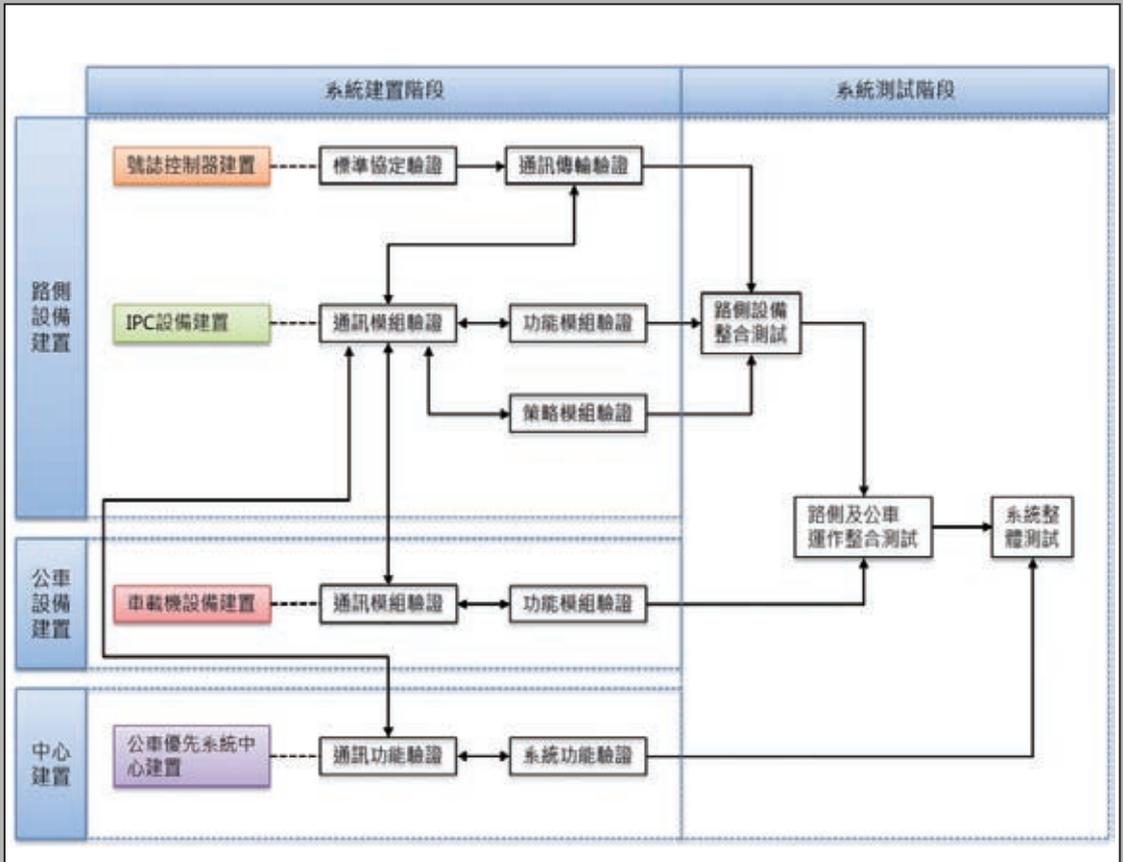


圖8 系統建置流程

車停等紅燈時間縮短。圖7資料傳遞架構，ATMS(交控系統)平時可利用V3.0通訊協定透過3G直接與號誌控制器正常執行交控運作，而不透過公車優先號誌系統轉傳，ATMS及公車優先號誌系統之間資料交換主要是傳遞公車優先策略啟動及關閉，APTS(公車動態系統)及公車優先號誌系統之間資料交換主要是傳遞路口相關資料(如虛擬點、IP等)，公車車機啟動時會向公車動態中心確認組態資料版本或取得最新組態資料，公車車機與IPC間傳遞相關公車資料，公車優先號誌系統與IPC間傳遞相關公車優先功能啟動及關閉、相關組態(如公車編號、公車IP、虛擬點...等)。

本系統建置設備包含公車優先系統中心端、路側設備及公車上的車載機，如圖8為建置流程，各設備建置首先都需經過通訊模組驗證，之後再進行公車優先策略及系統其它的功能驗證，各設備經過建置並完成基本驗證後，再安排進行系統測試。

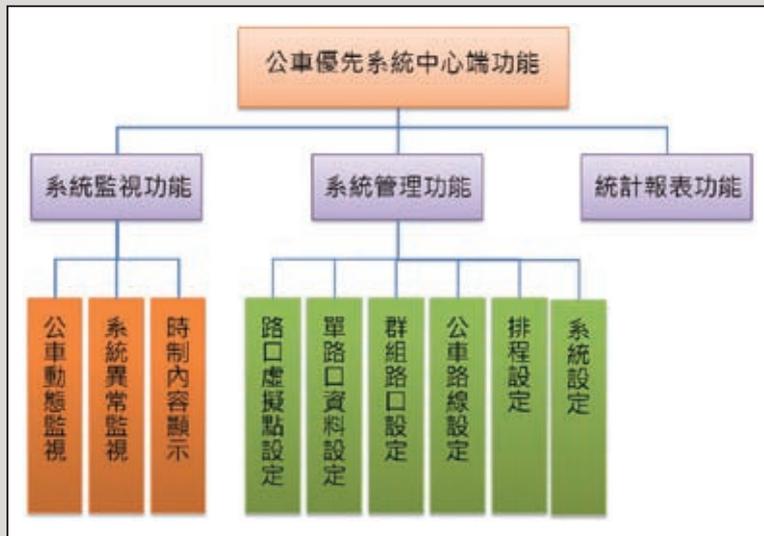


圖9 公車優先系統中心端功能架構

二、中心端功能架構及操作畫面

公車優先系統中心端功能主要提供公車優先運作所有功能，功能架構圖如圖9所示，操作主畫面參考如圖10。

三、路側端功能架構

路側設備功能主要是接收中心端下載命令及接收車載機動態訊息，決定公車優先策略後改變路口號誌秒數，設備包含3G通訊單元、

路口名稱	路口編號	路口IP	路口狀態	
忠孝路/中興路	102.168.234.152	23.09.1478	130.21.1587	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.153	23.09.1479	130.21.1588	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.154	23.09.1480	130.21.1589	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.155	23.09.1481	130.21.1590	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.156	23.09.1482	130.21.1591	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.157	23.09.1483	130.21.1592	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.158	23.09.1484	130.21.1593	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.159	23.09.1485	130.21.1594	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.160	23.09.1486	130.21.1595	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.161	23.09.1487	130.21.1596	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.162	23.09.1488	130.21.1597	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.163	23.09.1489	130.21.1598	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.164	23.09.1490	130.21.1599	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.165	23.09.1491	130.21.1600	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.166	23.09.1492	130.21.1601	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.167	23.09.1493	130.21.1602	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.168	23.09.1494	130.21.1603	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.169	23.09.1495	130.21.1604	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.170	23.09.1496	130.21.1605	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.171	23.09.1497	130.21.1606	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.172	23.09.1498	130.21.1607	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.173	23.09.1499	130.21.1608	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.174	23.09.1500	130.21.1609	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.175	23.09.1501	130.21.1610	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.176	23.09.1502	130.21.1611	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.177	23.09.1503	130.21.1612	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.178	23.09.1504	130.21.1613	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.179	23.09.1505	130.21.1614	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.180	23.09.1506	130.21.1615	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.181	23.09.1507	130.21.1616	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.182	23.09.1508	130.21.1617	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.183	23.09.1509	130.21.1618	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.184	23.09.1510	130.21.1619	啟用
忠孝路/中興路	102.168.234.185	23.09.1511	130.21.1620	啟用

圖10 公車優先系統操作畫面

IPC、號誌控制器，架構如圖11所示。

四、車機端功能架構

本計畫使用LCD螢幕整合型3G通訊車機開發優先號誌車機系統，進行定時定點回報車輛位置及接收並顯示號誌秒數。

使用C#開發車機單元上之軟體，車機單元可

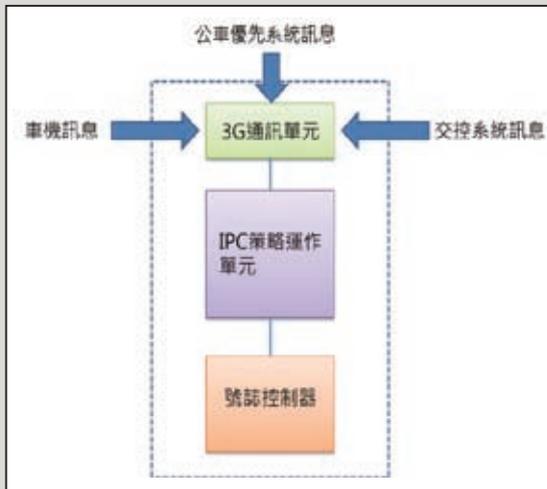


圖11 路側端架構圖

透過車機更新伺服器系統更新，優先號誌設定資訊及車機單元上之程式及資料。車機單元接近路口前與下一個路測端IPC進行連線，發送公車動態訊息給IPC，包含到達虛擬點位時發送定位資訊，到達路口範圍發送定時資訊，訊息內容包含公車座標、公車ID、路線ID等，並由路測端IPC接收路口的號誌資訊。整體車機單元運作如圖12所示。

五、系統執行邏輯

本系統於公車接近路口時，執行公車優先策略，策略流程如圖13所示。

伍、執行公車優先績效分析

公車優先績效評估指標

本計畫公車優先號誌系統以縮短旅行時間為目標，因此主要以「路段旅行時間」與「路

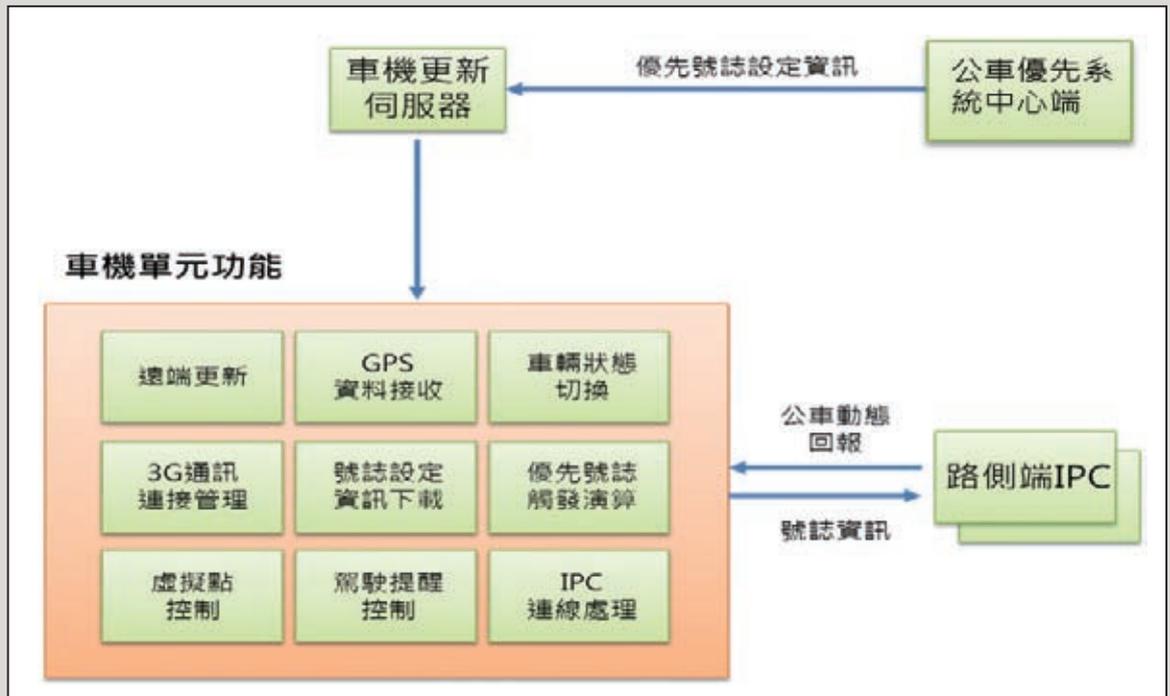


圖12 車機單元運作架構

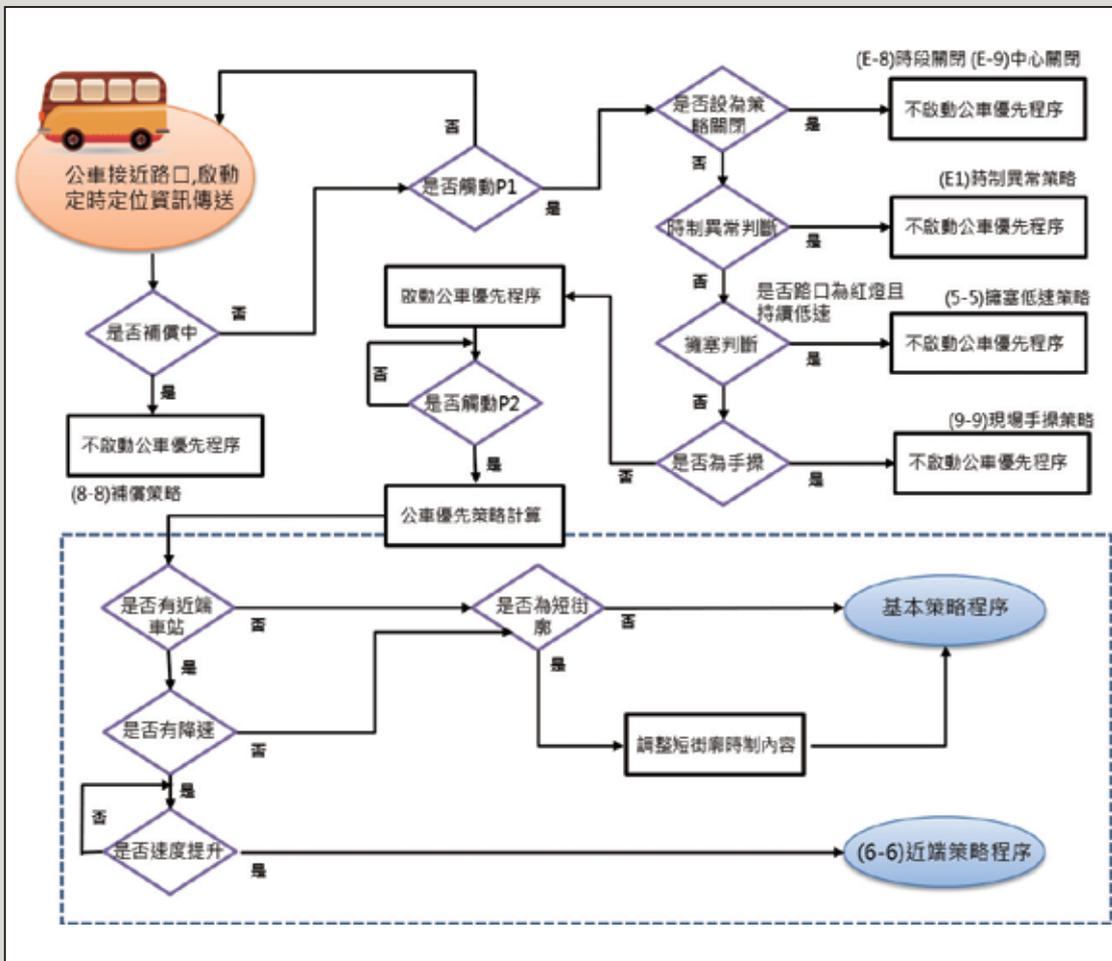


圖13 系統執行邏輯規劃圖

口停等時間」作為公車優先號誌績效分析的評估指標，並輔以「時間經濟效益」來檢核整體旅行時間的改善幅度。另外以「CO2排放量」作為公車優先主要之節能減碳效益分析，資料來源係擷取公車動態資訊系統103年9月為事前資料，104年9月為事後資料。

(一) 路段平均旅行時間分析

此一指標用以評估公車是否因實施公車優先號誌，而能提升旅行速率、減少旅行時間。對於用路人而言，旅行時間之感受最為明顯，因此若能藉由公車優先號誌系統降低搭乘公車之旅行時間，能提升民眾搭乘之意願，因此對於公車優先號誌系

統而言，旅行時間是適合做為績效評估的指標之一，本計畫以公車動態資訊系統之進出站時間，進行一段時間之資料收集(採用103年9月與104年9月之全日、平日上下午尖峰、平日離峰、假日上下午尖峰、假日離峰)，分析公車優先系統之事前事後旅行時間績效。

經統計分析，在執行公車優先之結果，平日去程及返程在上午尖峰改善相對較高，平均為11.9%及9.1%，下午尖峰改善平均差不多，平均為8.3%及8.0%；假日去程在下午尖峰改善較佳達12.4%，返程則在上午尖峰改善相對較高平均為13.1%。每日平均績效值的改善，約可達3~5分鐘

表3 旅行時間績效改善

比對時間：104.09/103.09		去程	返程	平均	
平日	尖峰	7:00~9:00	11.9%	9.1%	10.5%
		16:30~18:30	8.3%	8.0%	8.15%
	離峰	除平日尖峰外之時間	8.2%	8.3%	8.25%
假日	尖峰	10:00~12:00	9.4%	13.1%	11.25%
		16:30~18:30	12.4%	10.1%	11.25%
	離峰	除假日尖峰外之時間	7.7%	7.5%	7.6%
9月全日		10.3%	9.9%	10.1%	

表4 時間經濟效益分析

103年搭乘總人數(人)	每人節省時間(分鐘)	平均旅程比例(%)	[換算]總節省時間(小時)	時薪(元)	時間經濟貨幣化效益(元)
1,395,525	3.9	75	68031.84	177.9	12,102,865

註：時薪參考103年12月暨全年薪資與生產力統計結果「表1 薪資與生產力統計指標摘要」，103年每人每月平均工時。

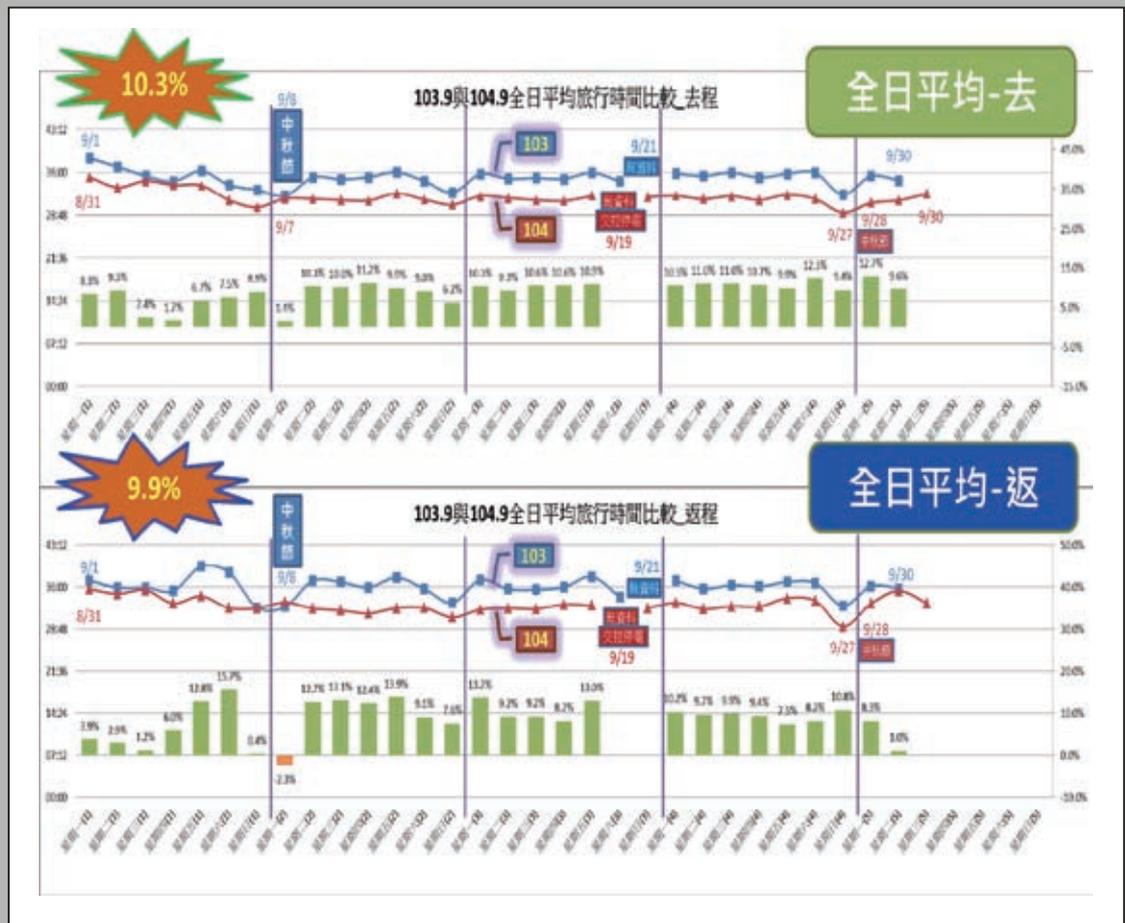


圖14 全日平均旅行時間績效

(參見表3及圖14)，全日平均去程方面節省03:37分鐘(約10.3%)，全日平均返程方面節省03:34分鐘(約9.9%)，以系統平均而言總節省達到10.1%。

(二) 路口停等時間分析

路口停等時間為路段上公車於各路口因紅燈停等之時間，係排除公車停靠站及路段行駛時間，此一指標用以評估公車是否因實施公車優先號誌，而減少紅燈停等時間。對於搭乘公車之旅客而言，雖停等時間縮短之感受較不明顯，但事後旅行時間之改善實為該指標績效所提供，故路口停等時間亦適合做為績效評估的指標之一。綠幹線路口停等時間節省約39%。

(三) 公車優先時間經濟效益

公車優先效益主要以旅行時間之改善作為主要評量依據，其時間價值之高低與工資率(表4註)、總搭乘公車節省時間有關，故公車優先效益計算如下列公式，總時間經濟效益為12,102,865元。

$$\begin{aligned} & \text{時間經濟效益(元)} \\ & = \text{年搭乘總人數} \times \text{公車平均旅行時間節省} \\ & \quad (\text{小時}) \times \text{平均旅程比例}(\%) \times \text{時薪} \\ & = 12,102,865(\text{元}) \end{aligned}$$

(四) 環境改善績效評估

公車優先之環境改善指標以二氧化碳(CO₂)排放減少量為主，二氧化碳參考台灣中油股份有限公司網站(http://www.cpc.com.tw/big5_BD/tmtd/content/index.asp?pno=136)，另參考經濟部能源局計畫「市區公車駕駛行為對油耗影響分析與應

用」，車輛怠速是影響市區公車油耗的主要因素之一，怠速時的油耗約等於3.15L/hr的油耗量。綠幹線二氧化碳排放約可減少23公噸/年。

陸、結語

公車優先號誌系統建置主要有三大目的，減少公車因路口號誌造成之停等延滯，有效縮短總體旅行時間更快到達目的地，提高營運效率使民眾對公車有信心轉而多利用大眾運輸系統，以達到減少私有運具使用率與提高公車營運效率之目標。

由於台南市環境限制，在私有車輛持續成長、路幅狹小、公車站牌緊靠路口以及無公車專用道導致與其他車輛混行等條件下，公車優先號誌系統須於保障行人安全下，最大限度優化公車行經路線之號誌，如確保支道最小綠燈時間、公車優先觸動時關閉行人倒數顯示等限制，利用每秒持續監控、彈性控制策略以及智慧預判機制來執行優先號誌。

公車經過優先之路段旅行時間改善於市區路段及尖峰時段較為明顯，旅行時間平均節省約10%，路口停等時間平均節省可達35%。若以時間經濟做為效益分析，轉化為貨幣化效益約可節省新台幣12,102,865元，顯示出本系統搭乘公車之年節省金額甚鉅，已達到預期系統目標。

未來將此公車優先系統不斷優化，可將之推廣於相似環境條件下之不同縣市，以提升大眾運輸使用效率，及節能減碳之目標。

公路明隧道排煙結合智慧防災水霧系統對人員疏散影響

關鍵詞：明隧道、自然排煙、水霧系統、計算流體力學、避難逃生

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／協理／施亮輝 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／技術經理／蔡福順 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／正工程師／曾豐育 ❸

摘要

ABSTRACT

半開放式公路隧道(明隧道)，其排煙易受內外環境氣流干擾，火災時煙層容易大面積擴散及漫延，隧道內機械排煙系統，不易營造臨界速度風場，導致火災上游將有逆流煙層，使得煙控不易，且主動式消防水霧(Water Spray)系統亦動作時，將使火災煙層因水霧噴灑而沉降，故水霧系統放水時機明顯與密閉隧道進行之煙控方式不同，值得加以探討，以避免阻礙用路人避難安全。

本文探討半開放式公路隧道之自然排煙、機械排煙、與主動式消防水霧系統之規劃方案，並藉由三維計算流體力學程式，探討一輛大貨車於火災情境下，分別針對自然排煙、自然併機械排煙、自然併機械排煙同時開啟水霧系統等三方案進行數值模擬分析，以探討在自然排煙與機械排煙動作下啟動水霧系統時，火災煙層沉降及水霧放水區域對人員所造成之疏散影響。



壹、前言

公路隧道消防系統若以水為滅火降溫介質，主要可分為撒水頭(Sprinkler)、水霧(Water spray)和細水霧(Water mist)等系統，本文將探討適於公路隧道消防之水霧系統作為模擬分析。

半開放式公路隧道(以下稱為：明隧道)通常有大面積開口，容易受到外氣與車道間氣流擾動影響，可能造成明隧道內火災時煙層大面積擴散及漫延。由於明隧道是否適用於交通部頒「公路隧道消防安全設備設置規範」[1]尚無定論，惟若以嚴謹角度考量需同時設置排煙與消防水霧系統時，應對水霧系統放水時機進行探討，避免因貿然啟動水霧系統，產生負面效果。

消防水系統應用於隧道火災效能，經過歐盟多次全尺寸隧道火災實驗結果顯示，隧道內

設置水系統確實可有效控制火勢、降低火場溫度、營造搶救以及維持有利逃生環境。各國對於水系統啟動時機定義不同，說明如下：

- 一、美國：NFPA 502[2]指出若水系統採自動化，則水系統之延遲啟動時間不得超過3分鐘，且水系統設置容量至少要滿足2個事故區劃，並需與偵測系統和排煙區劃作協調配合。
- 二、歐盟：UPTUN WP2[3]指出水系統啟動時機，則應由適當的工程方法來定義，並由訓練合格的隧道人員手動啟動。而水放射持續時間必須是救災人員抵達火災現場所需時間的2倍時間，如隧道長度超出500m以上者，水系統放射時間至少需達30min以上。因需考慮到交通堵塞等最嚴重之突發狀況，以確保消防人員未抵達前，隧道內尚未逃生成功之用路人是安全無虞的。

三、奧地利：奧地利政府認為隧道內設置水系統能避免閃燃的機會發生，且降低火災對隧道結構之損害。此外，於火災初期提供用路人10min之逃生時間，但其水系統作動時機則需在無煙層形成時，或確定隧道內之放水區域所有人員已疏散方能啟動[4]。

四、日本：規定隧道長度3km以上，且每日交通量達4000輛車以上之隧道需裝設水系統設備[5]。日本「道路隧道緊急用設施設置基準暨其解說」[6]提及，行控中心人員應透過閉路電視(Closed-Circuit Television, CCTV)或現場派員確認，放水範圍與其順風區域內無人員時，再啟動水系統設備會較恰當。以隧道災害風險評估角度，西日本高速公路株式會社建議單孔雙向隧道應於偵知火災發生後10min內自動啟動水系統設備；雙孔單向則建議為3分鐘內自動啟動。但若有異常狀況，例如：堵車、隧道較長、人員避難較慢，由行控中心人員切換成手動啟動。

過往隧道火災常以初期不滅火，但保障人員可逃生成功之防災避難設計思維，已被相關災審案例與中央防災科研單位所挑戰。因此，本文將探討明隧道於外在環境影響下，一輛大貨車於北上最內側車道發生火災，其火載量將於7分鐘前達30MW，最大火載量達100MW。起

火點後方造成大、小客車輛回堵情況，其中將包含951人的避難分析。模擬分析將分別討論自然排煙、自然併機械排煙條件、自然併機械排煙及開啟水霧系統等三方案，是否符合公路隧道火災性能驗證基準指標，進而了解火災煙層對排煙與水霧系統放水時機搭配及人員避難疏散之最佳組合。

貳、智慧防災之排煙與水霧系統輸入條件說明

一、明隧道尺寸模型

明隧道模型為單孔雙向8車道設計，全長2,000m，橫向寬度50m，淨高5m，每350m設置人行聯絡道，其斷面如圖1所示。

二、火災規模

本文參考Runehamar Tunnel全尺寸隧道實驗所得結果[7,8]，假設一輛大貨車火災熱釋放率(Heat Release Rate, HRR)約7分鐘內將大於30MW，10分鐘將增長至100MW。火源位置為北上最內側車道，火源面積為12m×3m，模擬時間總計20分鐘。本文以上述火災成長曲線分別進行3種火場情境之數值模擬，如表1所示。

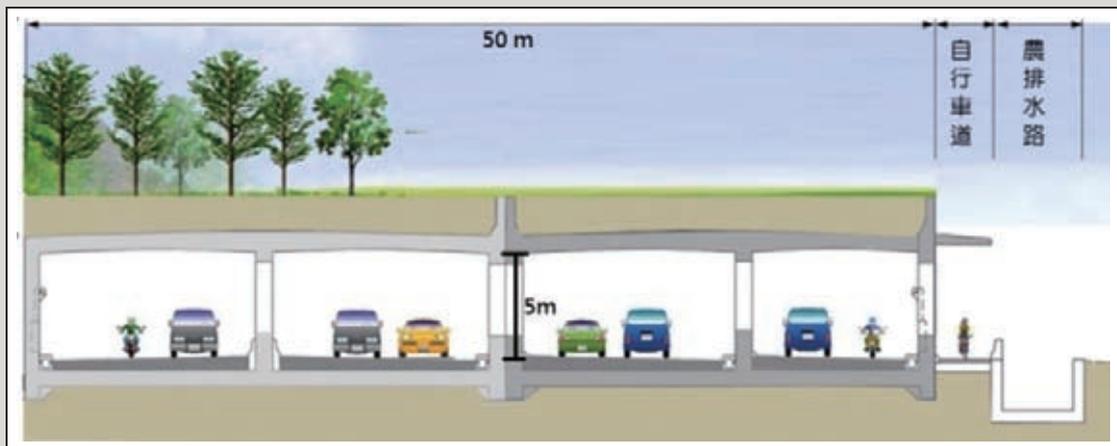


圖1 明隧道橫斷面示意圖

表1 模擬分析方案

案例	火災情境	自然排煙	機械排煙	水霧系統	啟動水霧系統時間(秒)
方案1	北上最內側車道1輛大貨車火災	Yes	No	No	-
方案2	北上最內側車道1輛大貨車火災	Yes	Yes	No	-
方案3	北上最內側車道1輛大貨車火災	Yes	Yes	Yes	360

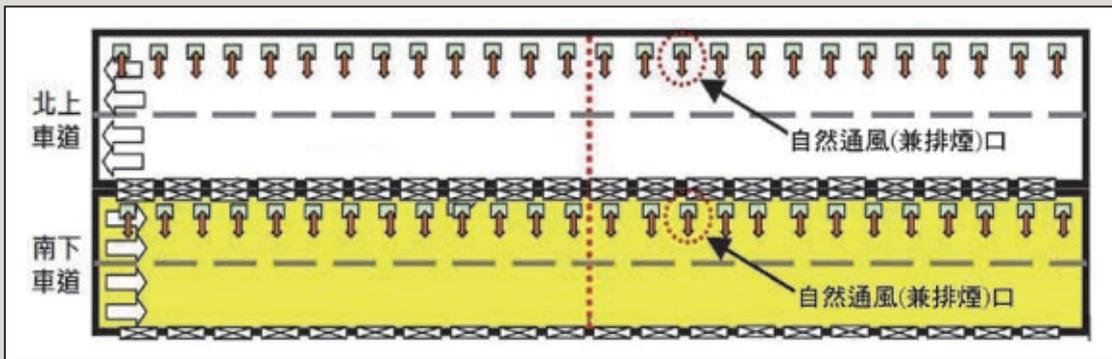


圖2 明隧道自然通風(兼排煙)口配置圖

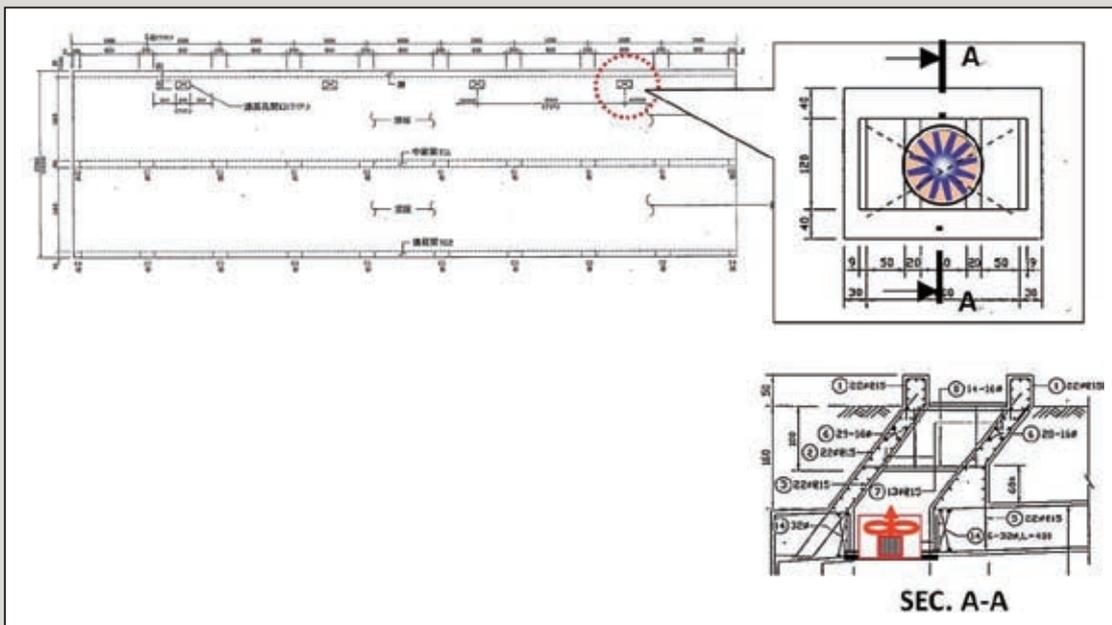


圖3 明隧道機械排煙設計

三、排煙系統設計與緊急操作模式

本文明隧道排煙規劃，自然通風(兼排煙)口其配置如圖2所示，機械排煙將於明隧道頂部分開口加設排煙風機，規劃如圖3所示。自然通風(兼排煙)口每20m有一處，每處面積為

2.0m×1.2m。機械排煙機每80m有一台，每台機械排煙風機容量設計為7CMS。

明隧道機械排煙採分區規劃，若當N區發生火災，將於偵知火災120秒內開啟火災區域(N區)、下游兩區(N+1區、N+2區)，及火災上游

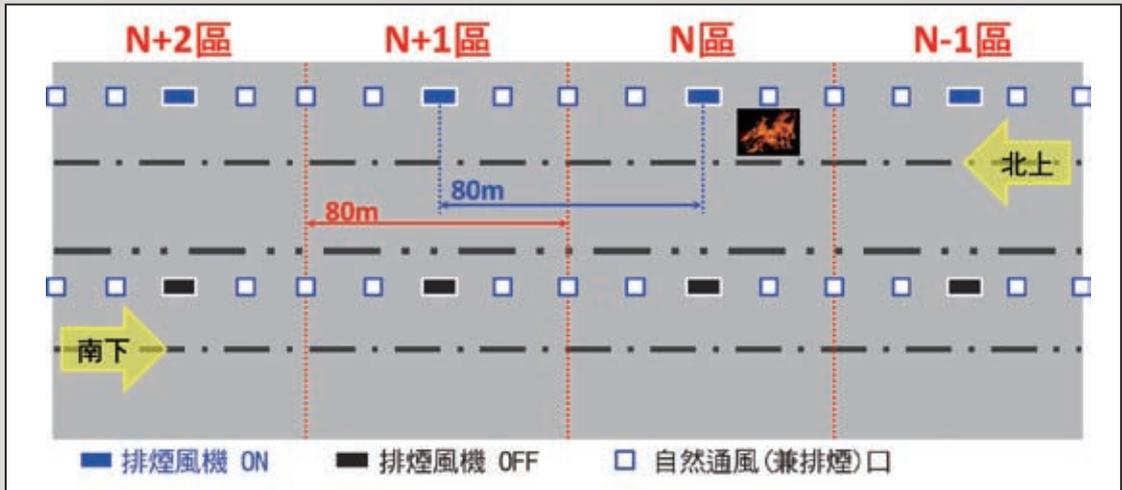


圖4 明隧道機械排煙分區示意圖

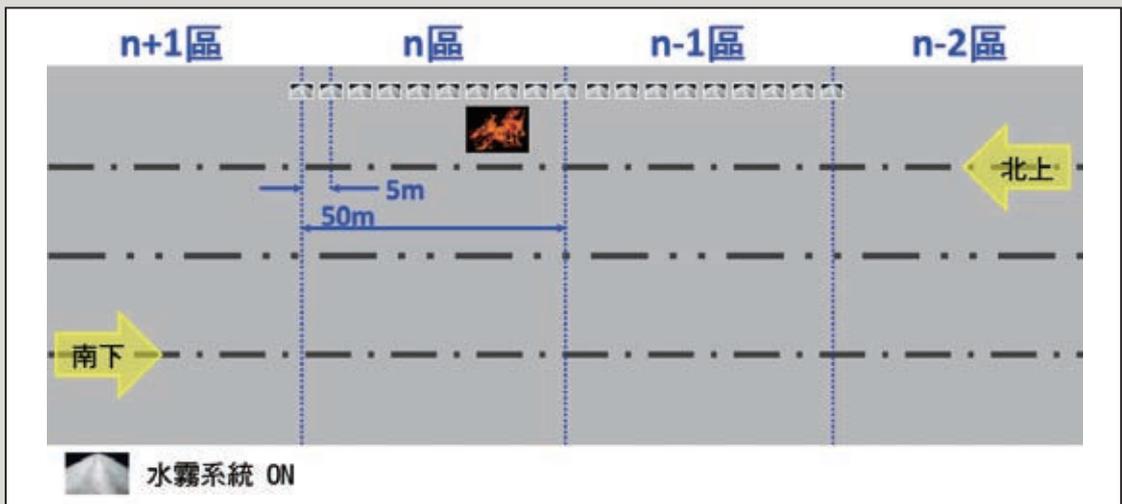


圖5 明隧道水霧系統分區示意圖

(N-1區)之排煙風機，而每一區域為80m，圖4為明隧道機械排煙分區示意圖。

四、水霧系統設計與緊急啟動時機

由於明隧道內車道間並無實牆區隔，本方案類似單孔雙向隧道，因此，明隧道水霧系統開啟時機為放水範圍內無人員時，再啟動水霧系統。經初步分析估算，火災發生後330秒，人員均已離開放水範圍。本文假設火災發生後360秒(即人員撤離時間加30秒)，啟動火災事故區域

(n區)及火災上游(n-1區)水霧噴頭，每區長度50公尺，總計佈設噴頭區域長度為100公尺，每顆噴頭間距5公尺，單一噴頭流率360L/min，且持續放水可達40分鐘以上之儲水量，圖5為明隧道水霧系統分區示意圖。

五、疏散情境與參數說明

疏散人數參考快速公路交通量預測，依序假設北上車輛回堵5分鐘後，大貨車、聯結車、大客車、小客車與機車之人數共951人受困於北

表2 快速公路交通量預測與疏散人數表

方向	尖峰交通量 (PCU/HR)	小型車 (PCU/HR)	大客車 (PCU/HR)	大貨車 (PCU/HR)	聯結車 (PCU/HR)	機車 (PCU/HR)	人數 (PER/HR)	人數 (PER/MIN)	回堵 5min人數
北	3,190	2,463	4	284	368	70	11,406	191	951
南	3,130	2,314	4	330	406	76	10,984	183	915

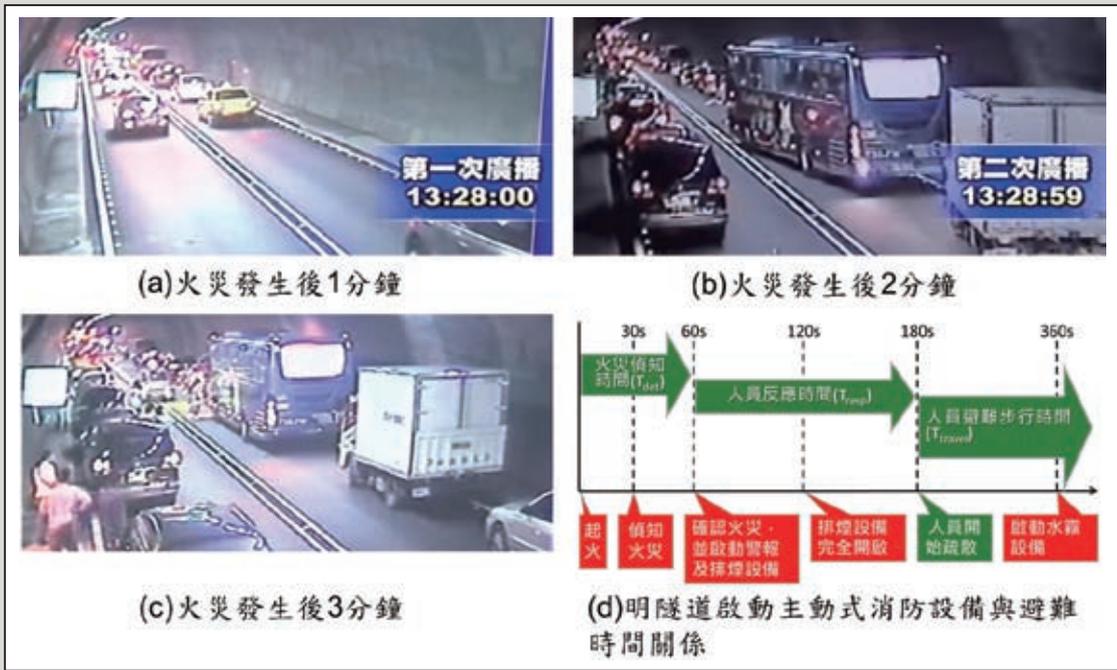


圖6 人員疏散時間示意說明

上車道需避難逃生。其中，成人760人，佔總人數之5分之4。避難弱者包含年長者與孩童有191人，佔總人數之5分之1，整體交通量預測與疏散人數分配如表2所示。

參考2012年雪山隧道火災案例，如圖6(a)(b)(c)為雪山隧道火災情境時之隧道內影像。當火災發生後1分鐘，行控中心開始廣播。火災發生2分鐘後，行控中心廣播請隧道內人員疏散。然而，隧道內人員於火災發生3分鐘後，始有疏散行為。因此，本文假設用路人確認有火災發生(T_{det})為火災發生後1分鐘，用路人準備展開避難行動(T_{resp})為火災發生後3分鐘，用路人避難所需時間(T_{req})，如圖6(d)所示，其相關計算式如下：

$$T_{req} = T_{det} + T_{resp} + T_{travel} \quad (1)$$

參、智慧防災之排煙與水霧系統數值模型說明

一、邊界條件

本文將採用美國NIST與芬蘭VTT研究中心所共同發行之FDS Version 6.1.2(Fire Dynamics Simulator, Version 6.1.2) + Evac 2.5.0版本進行火災與避難模擬分析[10-12]。邊界條件輸入大氣邊界層風速梯度分布[14]，如圖7所示，其風向風速為臺灣西部夏季盛行之西北西風8.0m/s，外氣溫度為夏季8月份白天盛行之溫度36°C，海岸

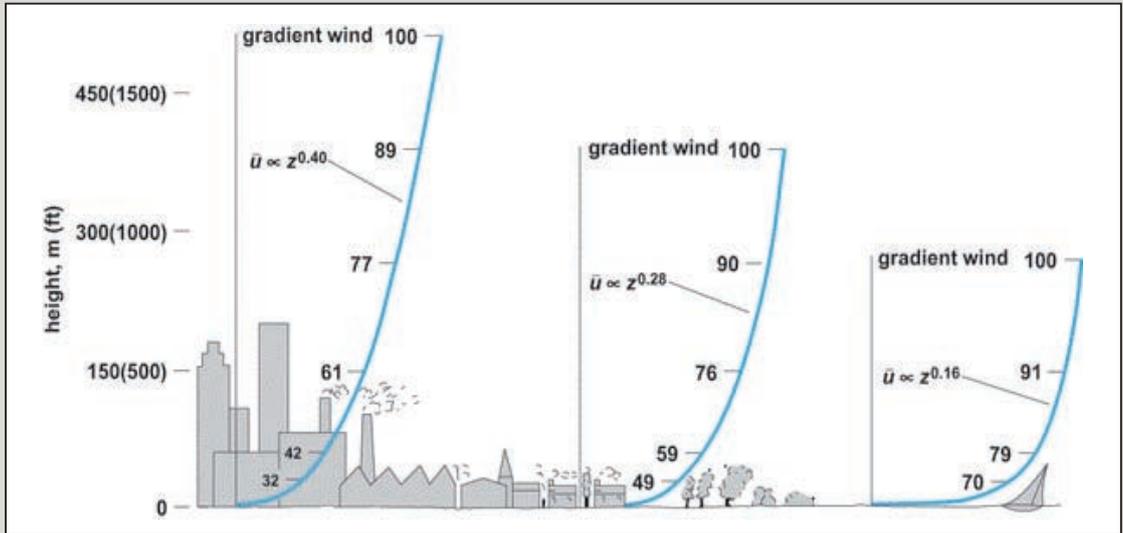


圖7 大氣邊界層風速梯度分布[14]

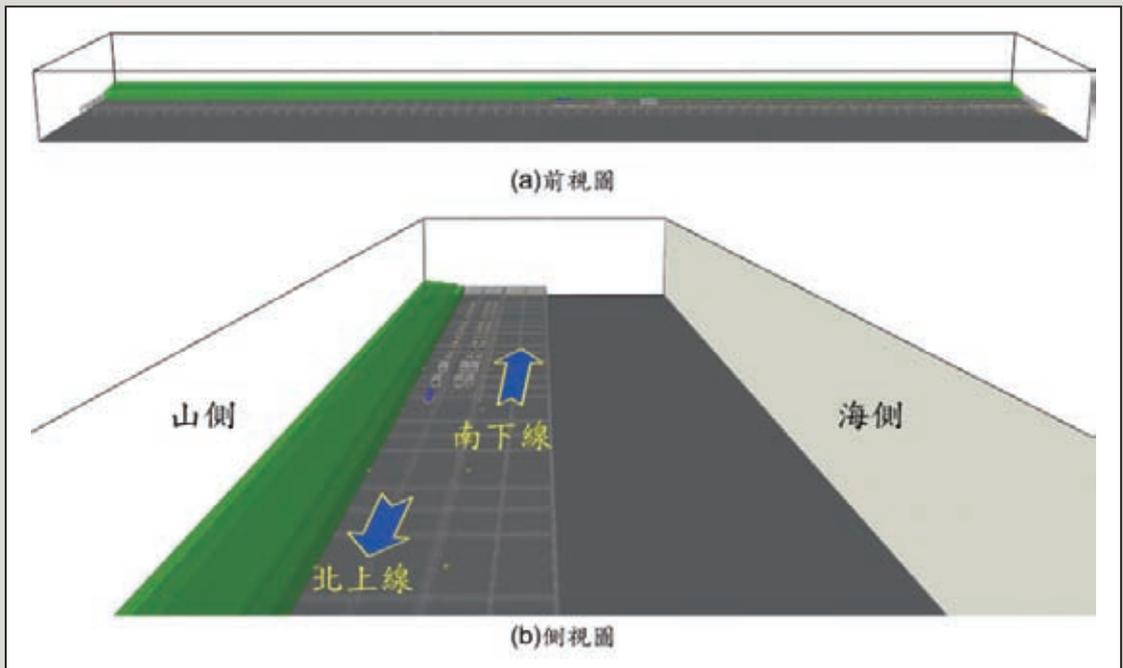


圖8 明隧道三維數值模型圖

邊之幕次法則(Power Law)指數為0.28，其餘明隧道兩側與數值模型上方均為大氣壓力條件。

二、數值模型

本文所建置之明隧道3維計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)數值模型

外觀整體建置如圖8所示，明隧道區與外在環境區域數值模型尺寸分別為700m(L)×50m(W)×6.0m(H)與700m(L)×150m(W)×42m(H)，隧道壁面與水泥隔板均設定為混凝土。圖9為明隧道三維數值網格圖，明隧道總網格數為2,283,000，最小網格間隔0.25m。

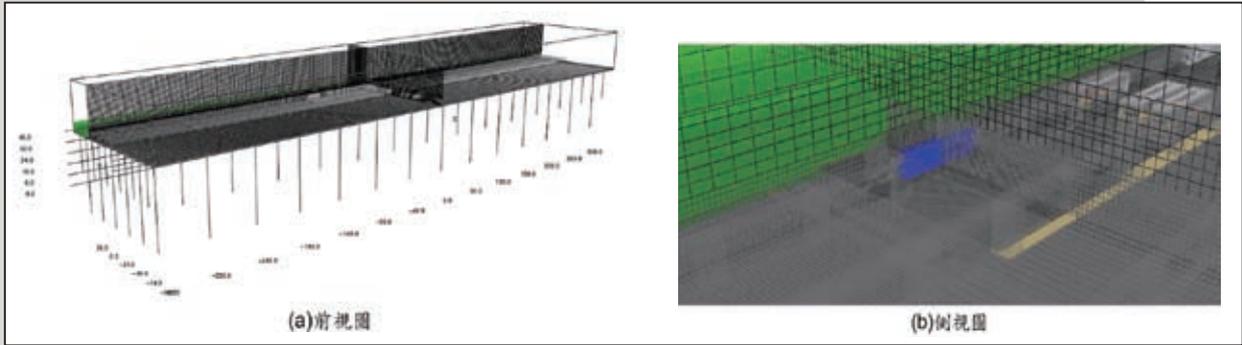


圖9 明隧道三維數值網格圖

表3 避難人數、人體尺寸、與逃生步行速度[12]

類別	人數	R_d (m)	平面動線避難速度(m/s)	垂直動線避難速度(m/s)
男性	381	0.270 ± 0.020	1.35 ± 0.20	0.675 ± 0.10
女性	380	0.240 ± 0.020	1.15 ± 0.20	0.575 ± 0.10
孩童	95	0.210 ± 0.015	0.90 ± 0.30	0.45 ± 0.15
年長者	95	0.250 ± 0.020	0.80 ± 0.30	0.40 ± 0.15

表4 公路隧道火災性能驗證基準指標

驗證指標	檢測點位	檢驗參數	安全臨界值
用路人避難安全性	距隧道底面 1.8公尺 行人高度	火場溫度	$<60^\circ\text{C}$
		CO濃度	$<800\text{ppm}$
		可視度	$>10\text{m}$
		輻射熱	$<2.0\text{kW/m}^2$

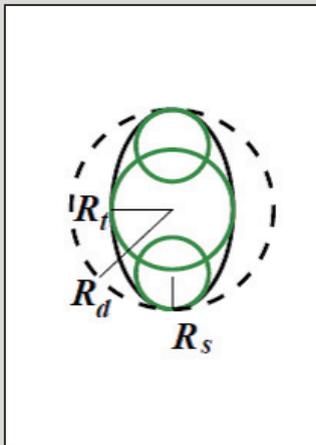


圖10 人體外形模型示意圖[12]

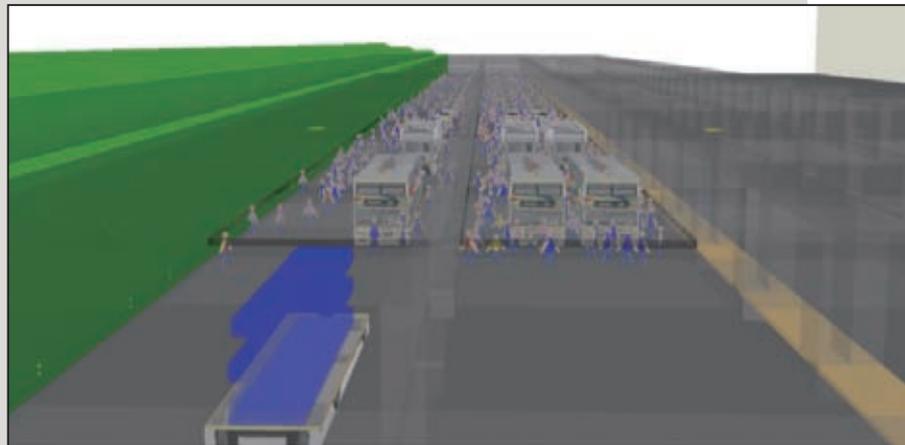


圖11 明隧道內人員初始分布圖

三、避難模擬程式與人數配置

FDS+Evac程式之計算模式，採用Helbing, D.及MoInar, P.[15-18]等人之研究。在同一平面上，視為二維空間計算。不同平面以樓梯或坡道相連，上下樓梯可設定不同步行速度。人體外形以三個圓形重疊，如圖10所示，人體外形、頭部、肩膀之半徑分別以 R_d 、 R_t 、 R_s 代表[12]。表3為避難人數、人體尺寸與逃生步行速

度[12]。整體疏散人數共951人受困於北上車道需避難逃生，疏散人員初始分布如圖11所示。

四、觀測點位置與評估指標

本文模擬火災結果將依據NFPA 502[2]與表4評估項目指標及檢測點位，驗證用路人避難安全性。

肆、公路長隧道模擬分析與火災避難安全檢討

一、火源熱釋放率分析

依據明隧道結構設計安全性，容許最大火源熱釋放率訂定100MW。故設定1輛大貨車火災熱釋放率可達100MW為基準，由圖12可知，方案1(Case 1)與方案2(Case 2)於火災規模420秒時超過33MW，600秒時超過102MW，最大火源熱釋放率為109MW。符合7分鐘達30MW，10

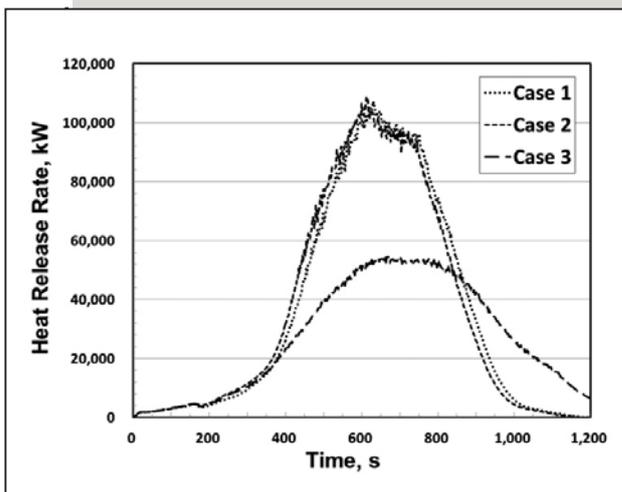


圖12 明隧道1輛大貨車火災之熱釋放率關係圖

分鐘達100MW的要求。另外，方案3(Case 3)於火災發生後360秒啟動水霧系統，致使火災發生420秒(7分鐘)時，火源熱釋放率僅為26.2MW，於火災發生後670秒，最大火源熱釋放率僅有54.5MW。由此可知，360秒啟動水霧系統，將有效降低1輛大貨車之火源熱釋放率達50%。

二、溫度分析

觀察方案1、方案2、與方案3之用路人避難溫度，由圖13所示，當火災發生後400秒時，方案1與方案2於1.8m行人高度處有相似溫度場分布，方案3因火災發生360秒啟動水霧系統，火災煙層因啟動水霧系統而有沉降現象。因此，起火點至上游50m範圍，方案3的用路人避難溫度隨水霧沉降而有超過60°C情況。但當火災發生後600秒時，觀察方案3用路人避難溫度在50至60°C範圍，明顯小於方案1與方案2溫度。

三、能見度分析

觀察方案1、方案2、與方案3之用路人避難能見度，由圖14所示，當火災發生後400秒時，方案1與方案2於1.8m行人高度處有相似能見度

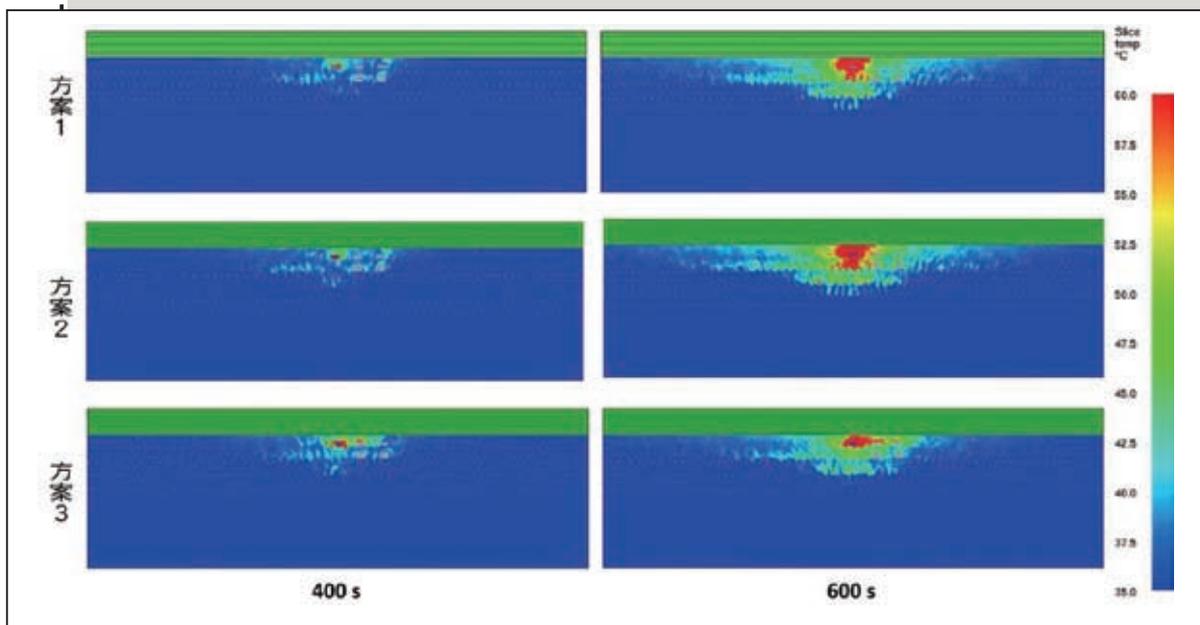


圖13 1.8m行人高度之用路人避難溫度

分布，方案3因火災發生360秒啟動水霧系統，故有沉降現象。因此，起火點至上游50m範圍，1.8m行人高度之能見度明顯較方案1與方案2為低，約降至1m。由於火災發生後325秒，放水範圍內已無人員情況，故不影響人員避難。另外，當火災發生後600秒，方案3的用路人避難能見度低於10m範圍，明顯較方案1與方案2更有利人員疏散避難。

四、一氧化碳濃度分析

觀察方案1、方案2、與方案3之用路人避難一氧化碳濃度，由圖15所示，當火災發生後400秒，方案1、方案2、與方案3於1.8m行人高度處，一氧化碳濃度變化相似。火災發生後600秒，方案3於1.8m行人高度處，放水區域內一氧化碳濃度變化較方案1與方案2為明顯。

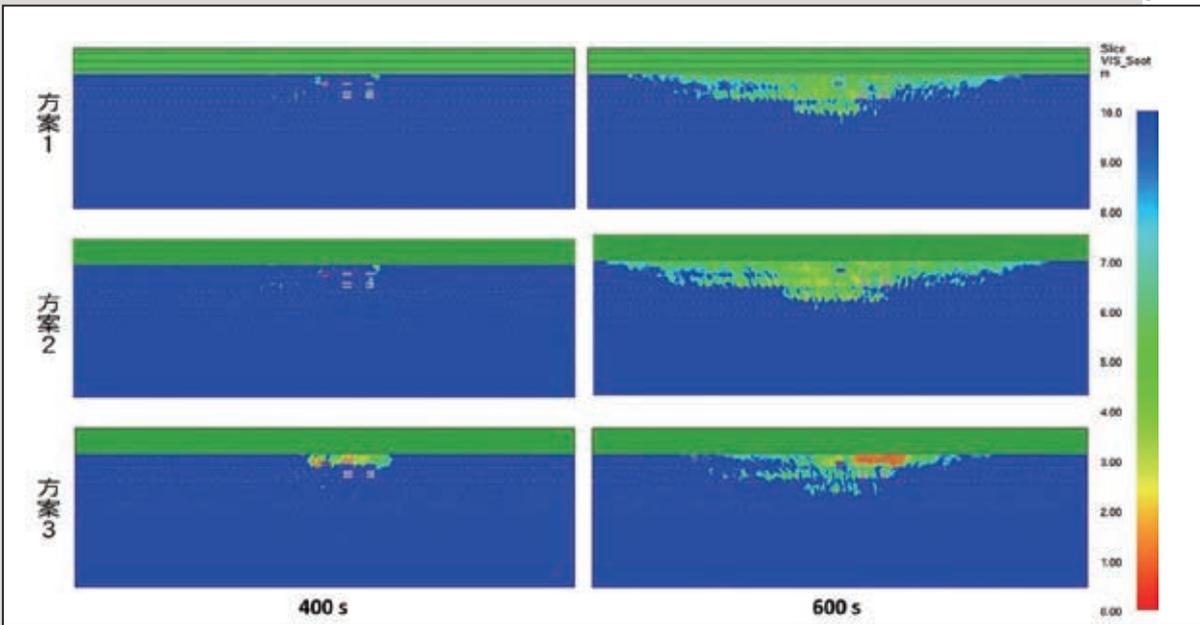


圖14 1.8m行人高度之用路人避難能見度

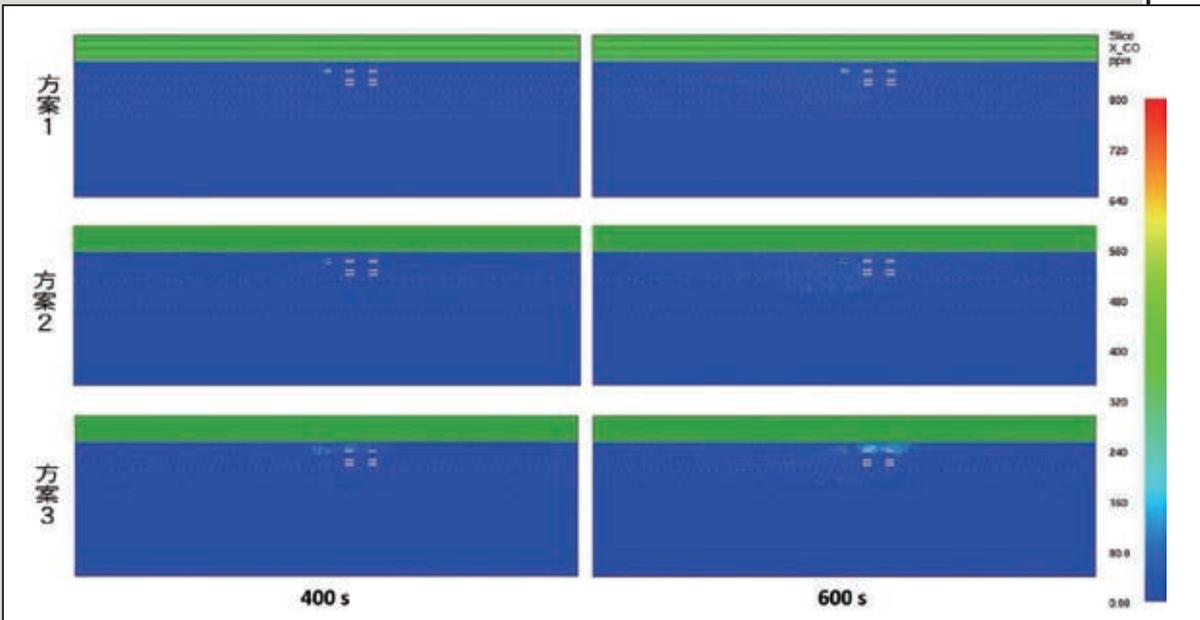


圖15 1.8m行人高度之用路人避難一氧化碳濃度

五、輻射熱通量分析

觀察方案1、方案2、與方案3之用路人避難輻射熱通量，由圖16所示，當火災發生後400秒，即水霧系統啟動後40秒(火災發生360秒啟動水霧系統)，方案3之用路人避難輻射熱通量與方案1與方案2差異尚不明顯。火災發生後600秒，方案3之用路人避難輻射熱通量分布範圍明顯較方案1與方案2為小。

六、用路人避難安全性分析

為瞭解明隧道水霧系統啟動前後之避難能見度，圖17為能見度長向分布，圖中白色虛線為火源上游水霧放水範圍。觀察水霧系統啟動前10秒(火災發生後350秒)，方案1、方案2、與方案3有相似的能見度長向分布。水霧系統啟動後10秒(火災發生後370秒)，方案3之火災煙

層明顯因啟動水霧系統而有沉降現象。由圖17模擬結果更加顯示各國對於水霧系統啟動時機對人員避難影響之重視，故其放水時機，建議應透過閉路電視或現場確認放水區域內無人員時，再啟動水霧系統較為妥當。

伍、結語

一、經由方案模擬分析結果顯示，1輛大貨車發生100MW的火災情況下，明隧道容易受到外氣與車道間氣流擾動影響，使用方案1自然排煙及方案2自然併機械排煙模式，僅能延緩煙層沉降時間，不易控制煙層擴散漫延方向。若以本明隧道模型規劃配置而言，隧道上方及側面均設有大開口，應以自然排煙為主，機械排煙為輔。

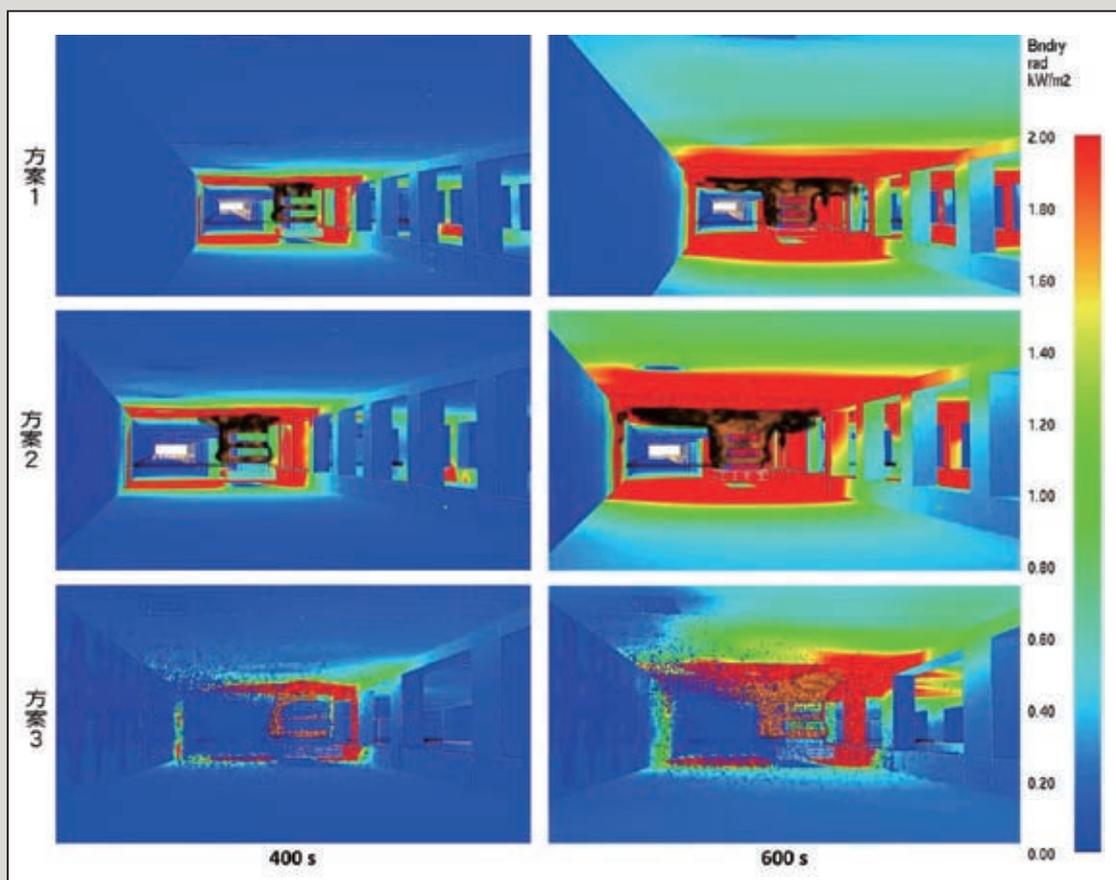


圖16 用路人避難輻射熱通量

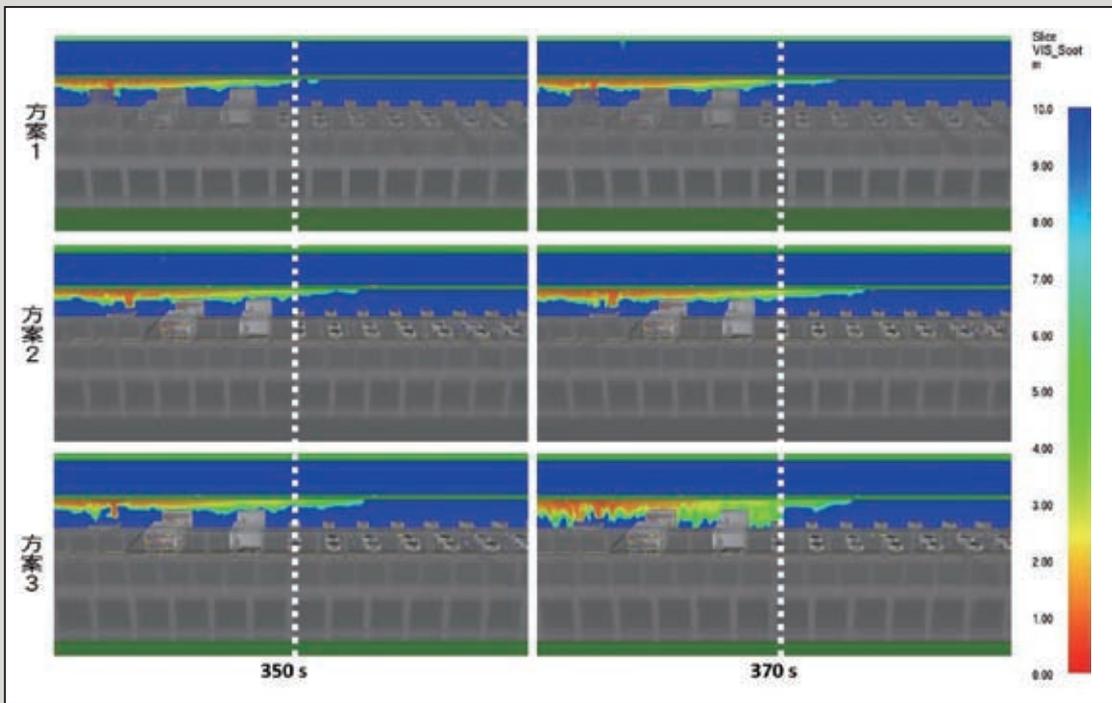


圖17 用路人避難能見度長向分布

二、方案3使用自然併機械排煙同時開啟水霧系統，經初步分析於火災發生後330秒人員均已離開放水區域，本方案模擬於360秒啟動水霧系統，經觀察可有效降低火源熱釋放率達50%與降低輻射熱通量。另一方面，觀察水霧於放水區域內煙層，明顯會因啟動水霧而有沉降現象，導致能見度偏低，且因水霧由高處往低處噴灑反而會讓低處之溫度升高超過60°C，可能影響人員疏散，故水霧系統的放水時機，應透過閉路電視或現場人員確認放水區域內均無人員時，再啟動水霧系統。

三、有鑑於水霧系統確實可有效控制火勢、降低火場溫度、營造搶救以及維持有利逃生環境，建置該系統除需考量與排煙系統結合並評估最佳之啟動時機及順序外，同時亦應納入中央監控及交控系統擬定整體緊急應變程序，以建立一套完整防護體系，以保障用路人及相關搶救人員之安全。

參考文獻

1. 中華民國交通部，公路隧道消防安全設備設置規範，交技(99)字第0990065279號，(2010)。
2. “NFPA 502, Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways,” 2014 Edition(2014).
3. “Engineering Guidance for Water Based Fire Fighting Systems for the Protection of Tunnels and Subsurface Facilities,” Work Package 2 of the Research Project UPTUN of the European Commission, Vol. 08, pp. 9-22(2007).
4. Ernst, S., Patel, M. et., “Underground Transportation Systems in Europe: Safety, Operations, and Emergency Response,” International Technology scanning program, pp. 21-24(2006).

5. Mashimo, H., Mizutani, T., “Current State of road tunnel safety in Japan,” Public Works Research Institute and Advanced Construction Technology Center(2003).

6. 道路トンネル非常用施設設置基準・同解説，日本道路協会，平成13年10月(2001年)。

7. Ingason, H. and Lonnermark, A., “Large-scale Fire Tests in The Runehamar tunnel - Heat Release Rate (HRR),” Proceedings of the International Symposium on Catastrophic Tunnel Fires, pp. 81-92(2003).

8. Ingason, H. and Lonnermark, A., “Heat release rates from heavy goods vehicle trailer fires in tunnels,” Fire Safety Journal, Vol. 40, pp. 646-668(2005).

9. 台9線蘇花公路山區路段改善計畫交通控制系統工程委託設計服務工作一緊急應變計畫專題研究期末報告，交通部公路總局蘇花公路改善工程處(2011)。

10. Fire Dynamics Simulation (Version 6) - User’s Guide, NIST Special Publication 1019, National Institute of Standards and Technology, May 27(2014).

11. Smokeview (Version 6) - A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume I: User’s Guide, NIST Special Publication 1017-1, National Institute of Standards and Technology, August (2013).

12. Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+ Evac, version 6. Technical Reference and User’s Guide, (FDS 6.1.2, Evac 2.5.0), VTT Technical Research Centre of Finland, July 18(2014).

13. NFPA 502: Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 2014 Edition (2014).

14. Erich J. Plate., Aerodynamic Characteristics of Atmospheric Boundary Layers, U.S. Atomic Energy Commission, 190 pp.(1971).



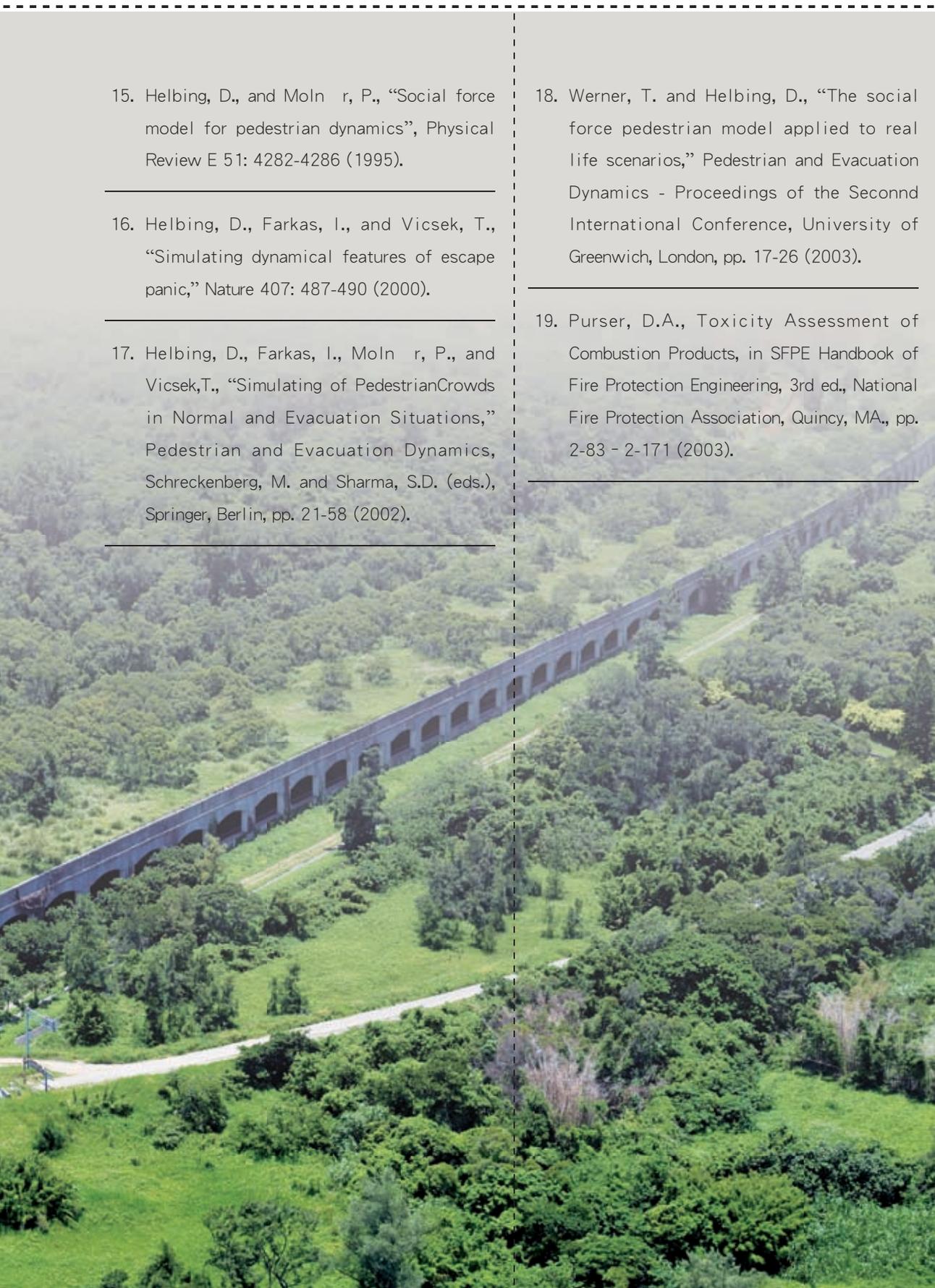
15. Helbing, D., and Molnar, P., "Social force model for pedestrian dynamics", Physical Review E 51: 4282-4286 (1995).

16. Helbing, D., Farkas, I., and Vicsek, T., "Simulating dynamical features of escape panic," Nature 407: 487-490 (2000).

17. Helbing, D., Farkas, I., Molnar, P., and Vicsek, T., "Simulating of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations," Pedestrian and Evacuation Dynamics, Schreckenberg, M. and Sharma, S.D. (eds.), Springer, Berlin, pp. 21-58 (2002).

18. Werner, T. and Helbing, D., "The social force pedestrian model applied to real life scenarios," Pedestrian and Evacuation Dynamics - Proceedings of the Second International Conference, University of Greenwich, London, pp. 17-26 (2003).

19. Purser, D.A., Toxicity Assessment of Combustion Products, in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA., pp. 2-83 - 2-171 (2003).



韓國首爾智慧交通 系統—TOPIS之 借鏡與省思

關鍵詞：智慧運輸、韓國首爾、TOPIS

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／協理／馮道亨 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／經理／李文騫 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／副理／范景皓 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／正工程師／張智華 ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／工程師／卓楷霖 ❺

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／工程師／劉宜傑 ❻



摘要

ABSTRACT

韓國首爾TOPIS為當地智慧交通管理中心與提供先進旅行者資訊之單位，亦為亞洲城市中相當先進且極具知名度的智慧交通管理系統，該智慧交通系統具有許多可供國內學習與借鏡之功能與精神。本公司蒐集許多與TOPIS相關之資料，並實地造訪TOPIS中心，以深入瞭解其相關功能與運作模式，並與國內當前智慧運輸系統相比較，彙整其可供學習的優勢，作為國內智慧運輸未來發展方向之參考。



壹、前言

首爾TOPIS為Transport Operation & Information Service之簡寫(以下文章中均以TOPIS稱之)，為韓國首爾市智慧交通管理中心與提供先進旅行者資訊之單位，亦為亞洲城市中具相當先進且極具知名度的智慧交通管理系統。國內許多縣市業主如台中市政府交通局、台南市政府交通局皆表示希望能效法TOPIS運作方式並學習其精隨，以作為當地智慧運輸管理中心未來發展方向與借鏡。

本公司承辦多個縣市的智慧運輸管理中心建置業務，面對新一代智慧運輸管理中心的需求，本公司蒐集許多首爾TOPIS相關參考資料，並實地造訪首爾TOPIS中心，以深入瞭解其組織架構、運作模式及各項系統功能，以鞏固及增進本公司在智慧運輸市場之佔有率，並提升相關業務推廣能力。

貳、TOPIS發展起源

韓國於1960年後，在工業化與都市化趨勢下，郊區民眾開始移向都會區域，公車成為當時首爾民眾之主要交通工具；1970年開始都會區人口數逐漸成長，小客車持有率開始上升；1974年首爾啟用第一條地鐵路線，但當時首爾民眾仍選擇以公車作為主要運具；到了1990年，8條地鐵路線陸續完工，小客車持有量成長至超過1,000萬輛，搭乘公車人數持續遞減，使都會區內交通嚴重壅塞並造成空氣汙染。當時，首爾公車運輸系統面臨以下幾項問題：

一、公車搭乘率降低，1990年後首爾地鐵多條路線完工啟用，小客車持有率亦持續增加，首爾市民眾搭乘公車意願降低，首爾市政府雖廣設公車專用道以增加公車行車速率，但仍然無法有效地提升民眾搭乘公車意願。

二、公車與地鐵票證系統尚未整合，當時首爾市公車與地鐵採用不同費率模式與收費方式，提高民眾搭乘成本，降低民眾搭乘意願。

三、缺乏轉乘設施，當時首爾市缺乏公車、地鐵、鐵路之間的轉乘設施，民眾轉乘步行距離長，轉乘時間成本高，且公車站牌散佈各處，缺少有效率之轉乘方式與舒適候車環境。

四、公車服務品質低落，民眾候車時間長、公車到站不準時、車輛過於老舊、公車過站不停、公車駕駛態度惡劣、公車事故等。

五、公車路線重疊，當時公車營運執照和路權都屬於私有，各家公車業者都選擇行駛具有較高利益之路線，並減少沒有利潤的路線，使公車路線過度重疊，且路線調整無法因應需求改變，此惡性競爭造成業者損失且降低民眾搭乘意願。

考量上述日益嚴重之問題，首爾市政府決定採取改善措施，並於2002年成立「公車改制規劃小組」，探討既有公車系統問題、研擬改善策略、系統整合規劃等，並於2004年進行公車路網重整計畫，其改善措施如下：

一、單一費率系統，首爾市政府將不同費率模式之公車系統與地鐵整合為單一費率系統，依據乘客搭乘起、迄點里程進行計費。

二、電子票證系統整合，首爾市政府於2004年進行公車路網重整之前，乘客已可使用非接觸式智慧卡支付搭乘大眾運輸費用，但是各系統之間互不相容且未整合，因此首爾市政府推出T-money智慧卡票證系統，讓乘客可持有一張卡就可搭乘首爾所有大眾運輸，管理中心亦可透過智慧卡系統收集

旅客起迄資料，作為路線調整與費率試算之依據。

三、改變公車路線經營模式，首爾市政府將公車路線營運方式由私有營運改為半公共營運，首爾市政府先收回所有公車路線的營運權和路權，再由「競標」方式給予業者一段時間投入營運，此作法不但提升業者經營效率、降低業者經營成本，亦使首爾市政府可依據需求彈性調整公車路線。

四、建置公車管理系統(BMS)/公車資訊系統(BIS)，管理中心透過車上機可蒐集公車即時動態資訊，包括運行資料、停靠資料、離站資料、事故資料等，可即時進行車輛或人力調度，並提供即時搭乘資訊。

五、改善候車環境，首爾市政府興建轉乘設施，減少乘客平均轉乘步行距離；首爾市政府亦興建智慧候車亭，將散佈各處之公車站牌整合至候車亭中，並提供公車動態資訊，以創造舒適候車環境。

首爾市政府透過費率系統整合、票證系統整合、路線經營改善、建置公車管理系統等措施，有效地改善公車運輸系統之問題，並顯著地提高民眾搭乘公車之意願。公車路網重整計畫獲得成功之後，首爾市政府將公車管理系統(BMS)升級為首爾市運輸資訊中心，即為現今之TOPIS，負責蒐集與管理首爾市所有大眾運輸工具與交通資訊，並提供民眾即時路況與搭乘資訊。

2005年，TOPIS建置無人監視管制系統(Unmanned Regular System)，以路側CCTV與公車攝影機自動辨識違規停車或違規行駛公車專用道之車輛，並傳回交控中心進行取締。2008年，TOPIS提升大眾運輸資訊服務，廣設智慧公車站牌(Bus Information Terminal)，站牌上顯示

即時公車到站資訊。2011年，TOPIS整合跨區域交通資訊服務，整合首爾市內主幹道、城際公路、京畿道區域之交通資訊，並推出APP以供民眾隨時隨地查詢。2013年時，TOPIS與緊急災害應變中心進行整合，兩中心位於同一個地點，以便進行業務之合作與溝通，當災害發生時，緊急應變中心會先收到資訊，隨後資訊將馬上發送至TOPIS，而TOPIS便可即時發佈道路封閉資訊或改道資訊予用路人。現今TOPIS已成為一個大型整合式交通管理資訊中心，除了提供相關交通資訊之外，亦與多個單位進行整合，如緊急災害應變中心、首爾市警察局、氣象局等，並提供跨區域交通資訊，如城際公路交通資訊、京畿道行政區域交通資訊等。

參、TOPIS管理中心組織架構

目前TOPIS中心擁有90位員工，中心內區分為四個組織，分別為交通資訊組、道路資訊組、公車資訊組、違規管制組，如圖1所示。

一、交通資訊組

交通資訊組主要負責監控道路壅塞狀況，

預防道路壅塞，提供即時交通資訊如道路壅塞狀況、旅行時間、改道資訊等。

二、道路資訊組

道路資訊組職司為提供科技輔助交通管理，主要負責協助公車營運，或疏導壅塞路段等。

三、公車資訊組

公車資訊組主要負責管理即時公車班表，管理公車之營運，負責即時車輛調度、班表調整、指引公車改道等。

四、違規管制組

違規管制組職司為利用無人監視管制系統進行違規停車、違規行駛公車專用道等行為之舉發與取締。

肆、TOPIS系統架構

TOPIS架構分為道路端、中心端、用戶端三



圖1 TOPIS管理中心組織架構

部分，如圖2所示，其中道路端係利用各項路側設施如車輛偵測器、CCTV、WiFi網路、電子票證、公車之車上機等設備蒐集交通資料；而中心端負責將蒐集之交通資料進行整合與分析，並管理各項系統，擬定交管措施及策略，並發佈交通資訊；而用戶端部分即為用路人接收交通資訊，可透過智慧型手機APP、即時交通資訊網、智慧公車站牌、資訊可變標誌等接收相關交通資訊。

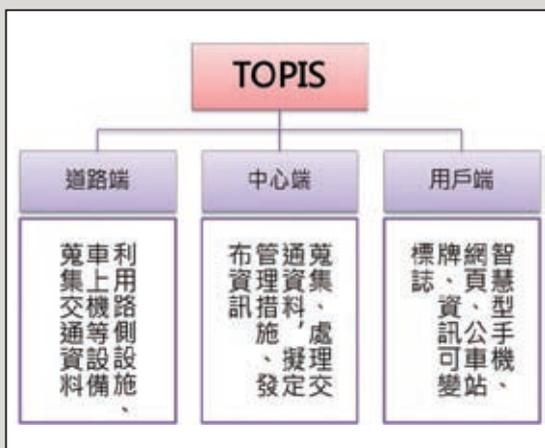


圖2 TOPIS組成架構

而首爾TOPIS之資料來源相當廣泛，種類亦相當豐富，如圖3所示，資料來源如車輛偵測器、公車車上機資料、計程車資料、電子票證資料、Wi-Fi、CCTV影像、停車場資料、無人監視系統、用路人通報等，可供應用之資料種類包括速率、流量、路口/路段影像、突發事件、

旅客OD資料、公車運行資料、公車行車影像、停車場剩餘車位、氣象資料等，皆可藉由中心資料庫進行處理與交叉分析。

TOPIS之系統架構則如圖4所示，內含13個子系統，分別為公車管理系統/公車資訊系統(BMS/BIS)、計程車營運管理、停車場資訊、交通資訊廣播、無人監視管制、施工管理單位、緊急災害應變中心、警察局、氣象局、城際公路資訊、即時交通資訊服務、京畿道交通資訊服務、電子票證系統。除了原本屬於交控中心之系統外，亦與跨區域、跨單位系統進行平台整合，共享交通資源，以協助交控中心蒐集多元資料、制定交管措施、提供更周全之交通資訊。



圖4 TOPIS系統架構



圖3 TOPIS交通資料蒐集模式

伍、結語

本公司於瞭解首爾TOPIS後並與國內目前智慧運輸管理中心現況比較，彙整其具有如下多項可供國內借鏡與省思之處：

一、跨單位整合式智慧運輸管理中心

TOPIS將運輸部門內不同單位整合為一個多功能型的智慧交通管理中心，事實上TOPIS許多子系統功能於國內多已實作，但國內缺少整合式的智慧運輸管理中心，是以各單位大多各自為政，彼此欠缺溝通協調。是以國內將來可朝向以整合式智慧運輸管理中心作為發展方向。

二、緊急應變中心整合運作機制

TOPIS與災害應變中心建立了整合運作機制，此亦為國內目前缺少的部分。由於災害應變與交通管理彼此息息相關，當災害發生時應當第一時間內實施交管措施，方能將交通衝擊減至最低。是以國內未來可建立緊急應變與智慧運輸整合運作之管理機制。

三、先進大眾運輸系統發展

TOPIS成功整頓大眾運輸系統後，確實改善了道路行車環境並提高民眾搭乘大眾運輸之意願。除了韓國首爾之外，發展先進大眾運輸系統亦為世界上先進城市之目標，而國內亦應以發展先進大眾運輸系統為長遠目標，以作為因應日趨成長及多變的交通需求。

四、智慧運輸推動政策與計畫之擬定

TOPIS智慧運輸系統之所以能成功，能為各國爭相參訪借鏡之對象，實有賴於其對於本身之「需求」夠明確，且具有長程及綿密之智慧運輸推動政策與計畫，並且推動政策與計畫之

主導者為首爾市長，故而目標明確、跨單位之分工與能快速整合。反觀國內各縣市於智慧運輸系統領域之推動，不但未擬定具本身所需要之長遠推動計畫，提構想並予以編列預算執行外，且大都皆以臨時抱佛腳之方式、仰賴各顧問公司提計畫申請中央補助之方式辦理，故而各年度之推動計畫無法聯繫、無法連貫，其績效更無法彰顯。

五、系統整合管理顧問機制之實施與落實

近年來之科技技術如物聯網、車聯網、自動駕駛技術、智慧穿戴裝置、智慧手機、雲端技術、影像辨識系統、及大數據分析技術等等，進展非常神速，而智慧運輸系統又是需橫跨人、車、路間資訊之傳遞與整合，故而擬定與建設長遠之智慧運輸推動計畫，實有賴於系統整合管理顧問機制之實施與落實，該單位協助負責擬定推動計畫內容與整體規劃與設計、兼顧中心核心系統軟體之開發與整合、介面整合與設計(含個人智慧裝置等)、擬定各路側設備之分期建置規範、及監督各路側設備建置計畫之實施與諮詢等等，如此才能貫穿與整合整體推動計畫構想予以實現。

六、通訊網路系統之獨立與自主

由於智慧運輸系統是需橫跨人、車、路間資訊之快速傳遞與整合，故而於彼此間即時通訊顯得非常重要，但若通訊無法獨立及自主，其頻寬需求、即時性需求、延展及擴充性需求、通訊網路之整合需求等，將會因不同之中介通訊傳輸，其互通及透通性之整合更加困難，TOPIS智慧運輸系統之所以能成功，其通訊網路系統之獨立建置與自主管理係為主因之一，提供國內智慧運輸系統之主事者參考。

臺鐵電車線系統 配合動力列車 提速可行性研究

關鍵詞：電車線系統、鐵路電氣化、提速

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機工程部／協理／林啟豐 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機工程部／技術經理／陳彥均 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機工程部／副理／劉孝先 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機工程部／計畫工程師／莊佑翔 ❹

摘要

ABSTRACT

民國60年政府推動鐵路電氣化工程，其中動力列車最高速度為130km/hr，隨著臺鐵新一代列車如太魯閣、普悠瑪等車種車已具行駛至設計速度150km/hr性能，爰此，針對臺鐵電車線系統配合動力列車提速之研究有其必要，故參考歐盟電車線設計相關標準規範，並考量臺鐵現行軌道現況及電車線系統現況在無法大幅度修改與相關條件限制下，如何在既有架構底下作最小變動，如提高電車線張力、調整吊掛線、採用輕量化設備等方向辦理，作為電車線提速之研究及優化思考方向為本篇研究重點。



壹、前言

隨著臺灣都會區之蓬勃發展，城際旅運需求快速增長，以長遠考量及兼顧營運安全的策略，提升列車行車速度、維持系統穩定性及可靠性，實有其必要。臺鐵列車行駛係由列車集電弓經接觸電車線而輸送電力供列車機車使用，其間須經機械與電氣等相關變化方能達成，每一環節均影響著列車運行速度與安全。為確保接觸線與集電弓有良好的接觸，本文就電車線配合動力列車提速之設計、標準及設備改善進行初步評估說明。

貳、臺鐵電車線系統架構及列車種類

一、電車線系統架構

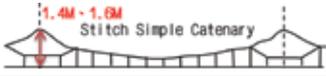
目前世界上較常用的電車線系統可概分為簡單懸垂式(Simple Catenary)、Y型懸垂式(Stitch Simple Catenary)及複合懸垂式(Compound Catenary)三大類，其架構及特點分別說明如表1所示。各系統架構均以滿足列車電源引接功能且兼具安全可靠、少維修及故障率低為目標。

臺鐵電車線系統為簡單懸垂式(Simple Catenary)，目前最高行車速度為130km/h，其接觸線具有預置弛度，並以平衡錘自動調整張力，使主吊線和接觸線，在運轉中之任何溫度下，均能確實維持1,000kgf張力，其主要構造、材質、設備及配置，如圖1所示。經考量若配合列車速度提升而變更電車線系統，須大幅修改現有電車線系統之桿距、系統高度等，對於現

2

專題報導

表1 常見電車線系統型式

型式	簡單懸垂式 (Simple Catenary)	Y型懸垂式 (Stitch Simple Catenary)	複合懸垂式 (Compound Catenary)
			
營運速度	0km/hr~350km/hr		
營運實績	台灣、日本、法國、中國	日本、德國、法國、中國、西班牙	台灣(高鐵)、日本
系統結構	結構簡單	略複雜簡單懸垂式	結構複雜
接觸線上揚	桿距中點與懸掛點之上揚振幅較不均勻，且接觸線振盪衰減較慢	振幅均勻且接觸線振盪衰減較快	振幅均勻且接觸線振盪衰減較快
穩定性	集電弓與接觸線之動態特性較差	穩定性良好	穩定性良好
系統高度	一般為1.2M、1.4M	一般為1.4M、1.6M、1.8M	一般為1.5M
施工分析	施工較易	施工略複雜於簡單懸垂式	施工複雜且繁瑣
維修特點	維護及搶修時間短	維護及搶修時間長	維護及搶修時間長
經濟性	工程造價較低	工程造價中等	工程造價較高

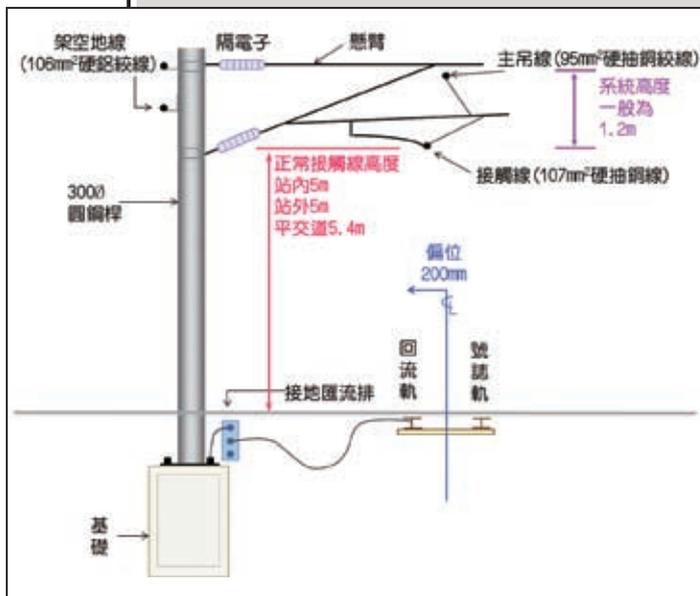


圖1 臺鐵電車線系統主要構造示意圖

有路線、跨越橋梁、隧道淨空等之影響，其涉及影響層面甚大，實不可行，故後續相關評估與構想均架構於現有之簡單懸垂式系統。

二、現況電力列車種類

民國60年政府十大建設之一「鐵路電氣化」，即由臺鐵陸續引進電力機車，計有英國GEC(General Electric Company)公司製造之E100型電力機車及美國GE(General Electric)公司製造之E200型、E300型、E400型電力機車。E100型、E200型、E300型電力機車最高車速可達110km/hr，E400型最高車速可達130km/hr，皆可牽引客運15輛，牽引重量達525噸。

後續由於運輸需求成長快速，陸續引進電聯車計有EMU100型、EMU200型、EMU300型、EMU400型、EMU500型、EMU600型、EMU700型、EMU800型、PP車、TEMU1000型(太魯閣號)及TEMU1000型(普悠瑪號)等車種，其設計皆採用自動速度控制，並依路線坡度、彎度條件自動調節馬達輸出與煞車，大幅提升旅客服務品質。而近年來臺鐵新一代主力列車的普悠瑪號及太魯閣號更搭載傾斜式系統，於彎道時推動



車體傾斜適當角度，減少離心力，以提高行車速度，其最高設計速度可達150km/hr以上[1]。

列車行駛需經由集電弓與電車線有良好接觸。故評估提速對電車線影響時，需考量集電弓配置、靜態力(N)、舉昇率(N-sec²/m²)、集電弓之重量(kg)、彈簧剛性(N/m²)與相關阻尼係數(N-sec/m)等，其簡化模型如圖2所示。

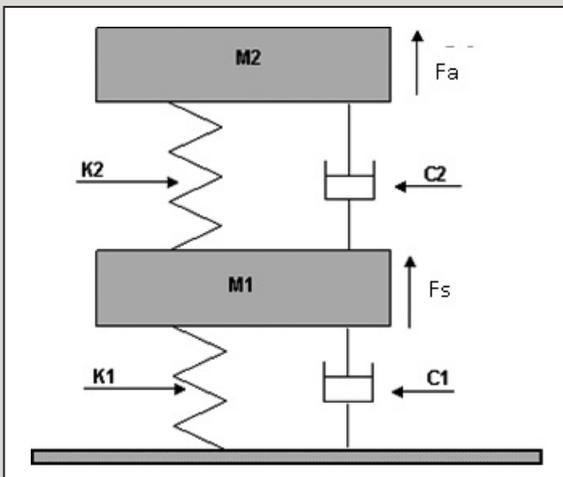


圖2 集電弓模型[7]

參、電車線系統標準規範介紹

電車線系統設計時，應考量列車特性、營運路線、維護成本及生命週期作為設計條件，而目前國際間最常使用之電車線系統設計標準規範，可分為國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)標準、國際鐵路聯盟(International Union of Railways, UIC)標準、歐洲標準(European Norm, EN)及日本工業標準(Japanese Industrial Standard, JIS)等，其訂定目標皆以鐵路行車安全為主要目標。本章考量歐洲地區有著成熟的鐵路技術及完善的鐵路網，以下將介紹歐洲標準之主要標準規範。

一、歐洲電車線系統標準規範架構

歐盟組織為確保接觸線與集電弓有良好的接觸，建置一系列之電車線系統標準規範，並由歐洲電工委員會(European Committee for Electrotechnical Standardization, CENELEC)制定發佈，其成員國包含歐洲共同體12個國家委員會(比利時、丹麥、德國、法國、希臘、英國、愛爾蘭、義大利、盧森堡、荷蘭、葡萄牙、西班牙)及歐洲自由貿易協會(European Free Trade Association, EFTA)7個國家委員會(芬蘭、冰島、挪威、奧地利、瑞典、瑞士、英國)。

規範主要架構可分為一般理論規範、主要系統規範及整體設計規範三大部分，如表2所示。一般理論規範分別定義鐵路電氣化之電磁相容性、固定裝置、絕緣裝置、設備環境條件、導線材質及供電電壓範圍等標準；主要系統規範係為一般理論規範加以歸納與整合而成之規範；整體設計規範則以EN 50367為設計及驗收最終判斷標準。綜整三大部分規範，即為歐盟電車線系統規範標準架構，形成一套完整的電車線設計規範標準體系，如圖3所示。

表2 歐洲電車線系統標準規範

類別	規範	名稱
一般理論規範	EN 50121	Railway applications. Electromagnetic compatibility.
	EN 50122	Railway applications. Fixed installations.
	EN 50123	Railway applications. Fixed installations. D.C. switchgear.
	EN 50124	Railway applications. Insulation coordination.
	EN 50125	Railway applications. Environmental conditions for equipment.
	EN 50149	Railway applications. Fixed installations. Electric traction. Copper and copper alloy grooved contact wires.
	EN 50163	Railway applications. Supply voltages of traction systems
主要系統規範	EN 50119	Railway applications. Fixed installations. Electric traction overhead contact lines.
	EN 50317	Railway applications. Current collection systems. Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line.
	EN 50206-1	Railway applications. Rolling stock. Pantographs. Characteristics and tests. Pantographs for main line vehicles.
	EN 50206-2	Railway applications. Rolling stock. Pantographs. Characteristics and tests. Pantographs for metros and light rail vehicles.
	EN 50318	Railway applications. Current collection systems. Validation of simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line.
整體設計規範	EN 50367	Railway applications. Current collection systems. Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access).

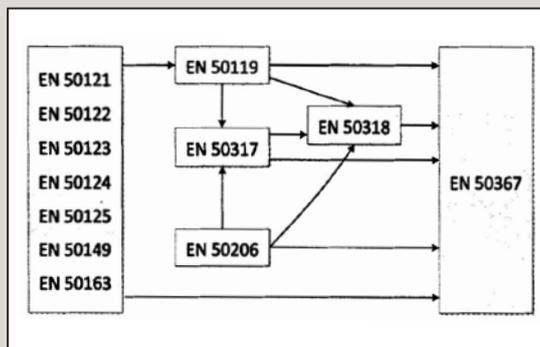


圖3 歐洲電車線系統標準規範架構[2]

二、歐洲主要電車線系統標準規範概述 [3]~[8]

因歐洲電車線系統相關規範眾多，本章就主要系統規範及整體設計規範，分別概述其主要規範內容及範圍。

(一) EN 50119:2009

本規範就架空電車線之設計限制、結

構計算、零組件規定及相關測試等內容，分別訂定規範專章，並適用於電氣化之鐵路及輕軌。

(二) EN 50317:2002

本規範就集電弓與架空電車線系統之間動態相互作用之量測要求、量測方法、量測項目及精確度等內容，分別訂定規範專章，並針對量測設備可能造成電車線系統測量誤差加以規範。

(三) EN 50206-1:2010 ; EN 50206-2:2010

本規範就電力列車之集電弓特性、試驗、絕緣設備、滑板材料、接觸力等內容，分別訂定規範專章，並依據集電弓型式，區分為地下鐵用、輕軌用及一般鐵路用三大類。

(四) EN 50318:2002

本規範就集電弓與架空電車線系統之間動態相互作用之模擬結果、模型建立方法、模擬需求及軟體驗證步驟等內容，分別訂定規範專章，以驗證此模擬軟體成果之準確性。

(五) EN 50367:2012

本規範就集電弓與架空電車線系統相互作用之特性參數、接觸線上揚量、接觸力、集電弓與接觸線之磨耗、列車運行速度、離線率等內容，分別訂定規範專章，並依據供電系統，區分為交流系統(AC)及直流系統(DC)分別訂定規範。

肆、電車線系統提速項目分析

經參考歐洲標準及相關文獻資料[9]，若欲提升行車速度須分析集電弓與電車線系統之相關因素，方可深入了解其間之變化。

一、上揚量(Uplift)

當電力列車行駛時，接觸線受集電弓之接觸力(F)產生上揚，將隨著電力列車集電弓運行而產生波動，如圖4所示。為使上揚量均勻，EN

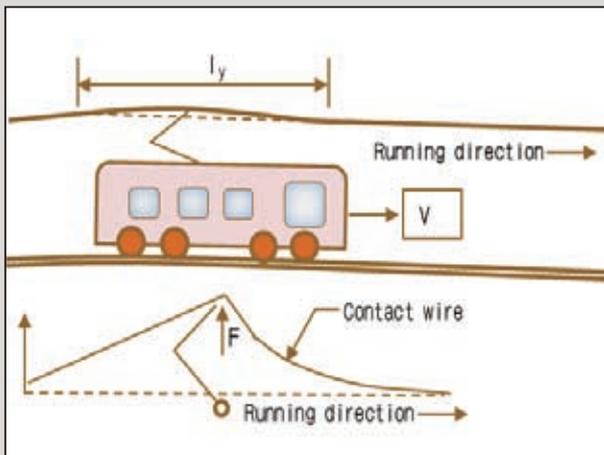


圖4 電力列車行駛之上揚現象

50119訂定接觸線在桿距間之上揚量不得大於計算或模擬的2倍；穩定臂部分，不得大於計算或模擬的1.5倍。

二、彈性均勻度(Uniformity degree of elasticity)

依接觸線上揚特性，會產生相應的接觸力(Contact Force)，其作用產生的上揚量(Uplift)即為彈性(上揚量/接觸力)，經參考相關文獻資料[9]，最大彈性係數(e_{max})通常會發生於跨距中點，如圖5所示。依彈性係數(e)定義公式，式1可知，跨距(l)、接觸線張力(H_{CW})、主吊線張力(H_{CA})等，均影響彈性大小。即跨距(Span)愈高，彈性係數(elasticity)越高；接觸線與主吊線張力越大，彈性係數越小。然彈性係數又影響彈性均勻度(Uniformity degree of elasticity)，係指電車線系統彈性變化率，如式2。彈性均勻度越低表示震動越小，電車線系統越平穩。故若欲使電車線系統越平穩，則需跨距愈小，張力越大。

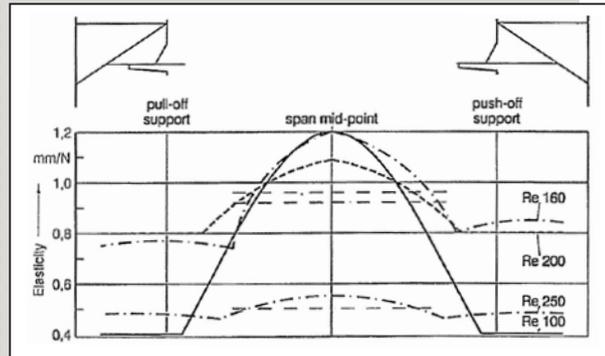


圖5 電車線系統彈性分佈[9]

$$e = \frac{l}{[k \cdot (H_{CW} + H_{CA})]} \quad \text{式1}$$

$$\eta = \frac{e_{max} - e_{min}}{e_{max} + e_{min}} \times 100\% \quad \text{式2}$$

三、平均接觸力(Mean contact force)

電車線與集電弓應保持平滑接觸不可有

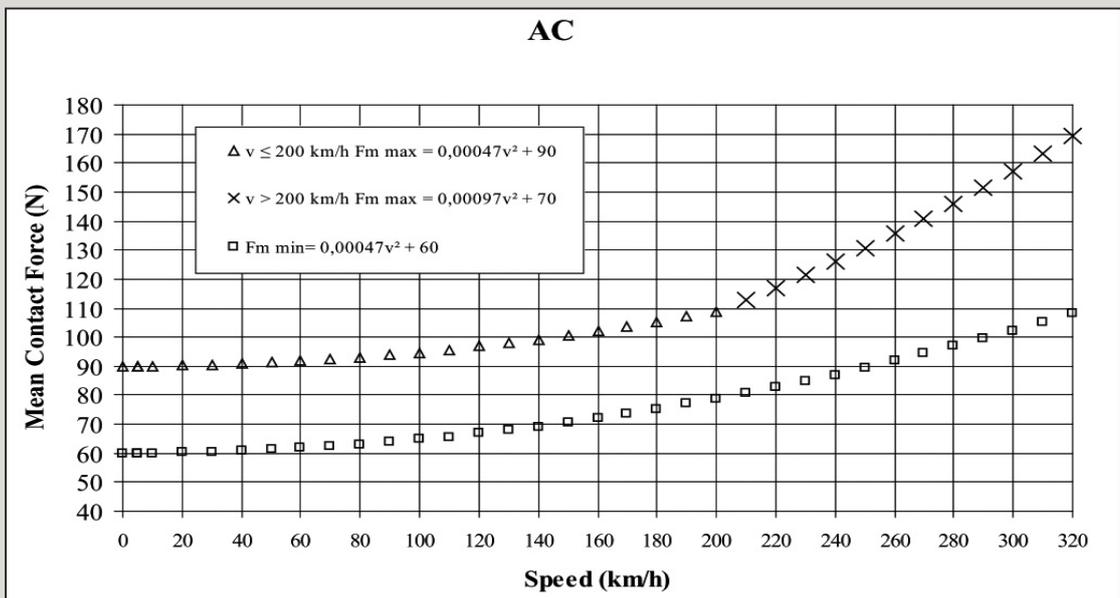


圖6 平均接觸力標準[8]

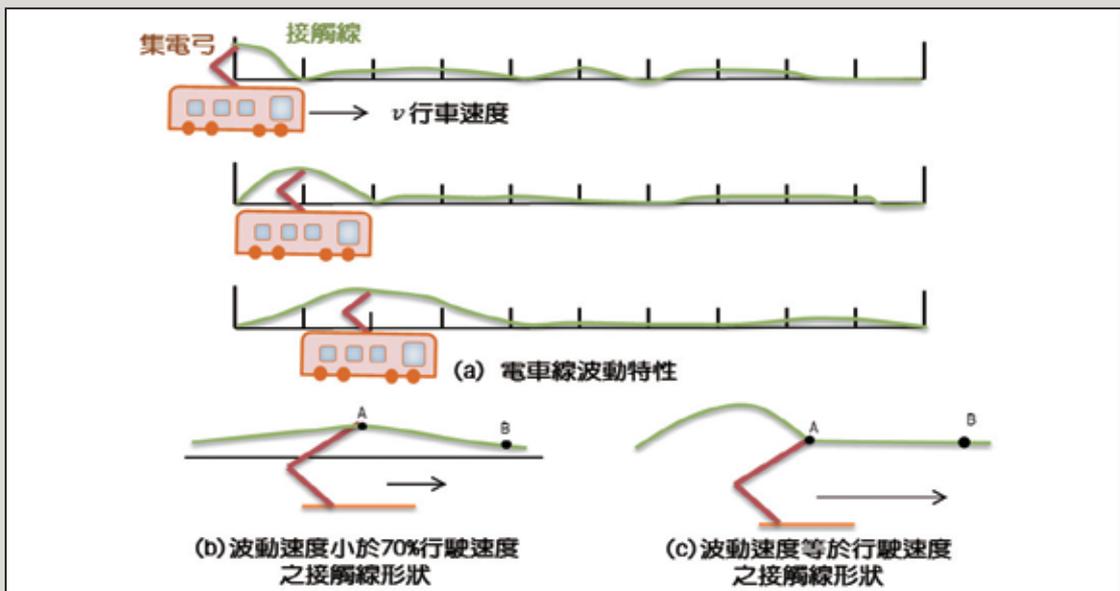


圖7 行駛中波動傳遞特性與接觸線示意圖

中斷的情形，隨著速度提升，接觸力的變動將直接影響供電品質，而接觸力取決於集電弓靜態接觸力、空氣阻力及垂直運動方向之慣性力等相關力矩，其中接觸力越小則接觸電阻將越大，進而產生過熱現象及增加離線之風險，若接觸力越大，則會增加集電弓與接觸線之磨耗量，降低接觸線使用年限。為此EN 50367依據行車速度，分別訂定平均接觸力之限制範圍，如圖6所示。

四、波動傳遞速度(Wave propagation velocity)

列車行駛時集電弓以一定接觸力施予接觸線，使接觸線產生一上揚量，當接觸線受到集電弓通過擾動時，即會產生波動，並傳播能量，即稱為波動特性，如圖7所示。若行車速度大於電車線波動傳遞速度時，恐造成電車線大幅度波動產生離線(Loss of contact)，該現象將使得集電弓之接觸力無法平滑隨著接觸線之波

表3 接觸線坡度標準[3]

Speed up to km/h	Maximum gradient		Maximum change of gradient	
		‰		‰
50	1/40	25	1/40	25
60	1/50	20	1/100	10
100	1/167	6	1/333	3
120	1/250	4	1/500	2
160	1/300	3,3	1/600	1,7
200	1/500	2	1/1 000	1
250	1/1 000	1	1/2 000	0,5
> 250	0	0	0	0

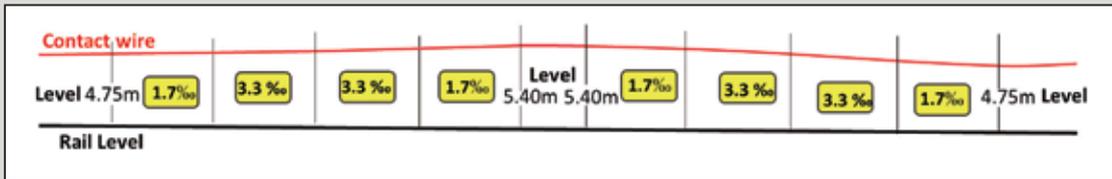


圖8 列車時速160km/h之接觸線坡度設計限制值

動曲線變化而滑動，將使得接觸線與集電弓間之接觸不斷變化而產生火花致無法獲得理想之集電性能而影響電力列車正常運轉。

依EN 50119規定，行車速度(v_{max})需小於0.7倍波動傳遞速度(C)，方使系統有良好的集電性能。其中波動傳遞速度(C)與接觸線之張力強度(H_{CW})與其單位重量(m'_{CW})有關，公式如式3。簡言之，若欲使行車速度提升，波動傳遞速度要快(增加)，即要增加接觸線張力，或接觸線單位重量減少(面積變小)，然通常減少接觸線單位重量較不可行，故多從增加張力強度上考量，以提高波動傳遞速度。

$$C = 3.6 \sqrt{\frac{H_{CW}}{m'_{CW}}} ; v_{max} \leq 0.7C \quad \text{式3}$$

五、接觸線坡度(Contact wire gradient)

提速之接觸線坡度要求亦須較嚴格，坡度變化太大將會影響接觸線的動態特性，為此

EN 50119規定，依據行車速度，分別訂定了接觸線所需之坡度限制，如表3所示。以列車時速160km/hr為例，坡度變化不得超過3.3‰，接觸線高度變化之坡度的起點及終點不得超過1.7‰，如圖8所示。

六、離線(Loss of contact)

車輛行駛中集電弓瞬間離開接觸線之現象稱之為離線，將產生火花等現象，如圖9所示。



圖9 行駛中集電弓離線狀態

表4 離線率之標準[8]

Requirement	$v \leq 160 \text{ km/h}$	$160 \text{ km/h} < v \leq 250 \text{ km/h}$	$v > 250 \text{ km/h}$
Percentage of arcing at maximum line speed, NQ (%) (minimum duration of arc 5 ms)	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$ for AC $\leq 0,2$ for DC	$\leq 0,2$ for AC

引起離線之原因有架線之施工不當、偏位過大、坡度變化、硬點(即接觸線不平整或附著其他異物等)，隨著車輛行駛速度提升而產生的擺動或震動將使離線的情形更容易發生。因離線引起電弧或衝擊，將可能導致接觸線或集電弓損壞及磨耗，進而造成車輛運轉故障，故於設計或安裝時須避免該狀況發生。依EN 50367標準，離線之容許限度通常以離線率NQ(percentage of arcing)表示，亦即離線時間長於5ms之時間總合(tarc)與大於額定電流30%之量測時間(ttotal)的比值，如式4。其標準，如表4所示。

$$NQ = \frac{\sum t_{arc}}{t_{total}} \times 100 \quad \text{式4}$$

伍、現有電車線系統提速改善建議

綜上分析，雖現行臺鐵電車線系統架構條件均可滿足營運的安全和技術，惟若配合列車行駛速度，尚有部分設備與架構須調整，相關建議改善方向分述如下。

一、提高接觸線之張力

由波動傳遞速度理論可知，提高接觸線之張力，可提高波動傳遞速度，進而達到提升行車速度之目標。惟尚須考量相關設備之安全係數。

二、調整吊掛線位置

參考國外資料，電車線系統之吊掛線最大間隔一般取10M至12M(臺鐵現況為11M)；其中間距越小雖對系統較穩定，但不符合經濟原則。故建議後續可利用電腦軟體模擬進行較佳的間隔選擇，以取得了良好效果。

三、減輕穩定臂之重量

當行車速度提升時，很小的阻力都會構成硬點，使得車輛行駛中集電弓瞬間離開接觸線，引起電弧或衝擊現象。建議將原懸臂組穩定臂，更換輕量化穩定臂，以減輕於接觸線上的重量。

四、降低電車線系統硬點發生

隨著列車速度增加，將造成接觸線變化而構成硬點，致使集電弓損壞，故應避免施工時發生硬點造成事故。



陸、結論

臺鐵電車線系統，在臺鐵局相關人員努力與經驗傳承，持續維持著鐵路營運安全。然隨著列車技術提升行車速度增快，電車線設備配合列車行駛速度之提升而有所改變，將為未來所需面對之發展趨勢。

配合提速需求，經研析電車線相關規範與檢視現有電車線系統架構，就現行電車線設備改善，初擬相關建議，如接觸線之張力提高、調整吊掛線位置、設備輕量化、減少硬點發生等。希望能藉由較少之架構改變，降低營運衝擊、節省建設費用之方向，以達成現行臺鐵電車線系統提速之目標。

參考文獻

1. 施景徽、林武鍵，「TEMU2000 設計速度 (150kph) 實車驗證測試」，臺鐵資料季刊，352期，2015年，第53-71 頁。
2. 郭雅婕，歐洲弓網系統標準體系特徵研究，西南交通大學研究生學位論文，2013年。
3. British Standard, “BS EN50119 Railway applications - Fixed installations - Electric traction overhead contact lines”, 2009.
4. British Standard, “BS EN50317 Railway applications - Current collection systems - Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line”, 2002.
5. British Standard, “BS EN50206-1 Railway applications - Rolling stock - Pantographs - Characteristics and tests - Pantographs for main line vehicles”, 2010.
6. British Standard, “BS EN50206-2 Railway applications - Rolling stock - Pantographs - Characteristics and tests - Pantographs for metros and light rail vehicles”, 2010.
7. British Standard, “BS EN50318 Railway applications - Current collection systems - Validation of simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line”, 2002.
8. British Standard, “BS EN50367 Railway applications - Current collection systems - Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access)”, 2012.
9. Kiessling, Puschmann, Schmieder, Schneider “Contact Lines for Electric Railways”, Siemens, 2nd edition, 2009.

捷運地下車站 智慧環控系統及 節能減碳改良探討

關鍵詞：捷運地下車站、環控系統、節能

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／協理／施亮輝 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／副理／林啟基 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／工程師／陳昭瀚 ❸

摘要 ABSTRACT

依據經濟部能源局歷年來統計顯示，空調系統用電量佔建築物總用電量約40%~48%，照明及插座佔建築物總用電量約40%~43.7%，因此建築物節約能源，多以降低及節省空調及照明用電為主要目標，而國內現行營運之捷運地下車站，其站體內主要耗能類別區分為空調、照明、動力、及其他設備用電等四大部分，其中空調與照明用電耗能特別顯著。本文主要係以現有台北捷運地下車站從初期路網之無月台門型式到後期路網之全閉式月台門型式兩案例，探討既有環控系統原設計內容與現行節約能源相關規定比較，進行系統或設備節能分析，探討各種節能技術及效益。



壹、前言

根據台電對住宅及辦公大樓研究，台灣地區夏季時分其空調用電約佔總用電量三分之一，且有逐年急遽增加現象[1]，而新電能開發又極為緩慢，不足以應付尖峰負載成長，導致電力供需失衡，在尖峰時段空調用電量更高達40%，可見建築物節能政策已成為我國最重要一環。

空調系統之冰水主機所需容量，係以空調尖峰負荷為設計依據，然而尖離峰時段、早晚及不同季節時，熱負荷變化均有差異，出現最大負荷機率甚低，因此冰水主機設計不應僅以冰水主機滿載效率來考量，如何提高部份負載效率才是正題。

目前捷運地下車站環控系統均設置兩台以上冰水主機，得依照現場負荷狀況，啟動單台或雙台冰水主機，而冰水泵則以單台全速運轉提供冰水，部分負載時以旁通管與回水混合，此種設計方式容易造成設備能源消耗，如改採變水量方式，則可降低水泵能耗。另外，空氣側(Air-side)冷氣系統也可由目前設計定風量系統改採變風量方式，於部分負載時降低風機轉速，避免空間過冷及節省風機能耗。

本研究採用美國能源部所發展之DOE-2.2之eQUEST® [2]動態建築耗能模擬軟體，建構捷運車站建築物與空調系統模型，分析全年逐時耗電量及找出捷運地下車站最大耗能所在，並以空調節能技術，提出節能改善之建議。

貳、捷運地下車站輸入條件說明

一、研究方法

台北捷運地下車站，依興建階段不同，分為全閉式月台門與無月台門(或為半高式月台門)兩種，其空調系統空氣循環、車站耗能均有明顯差異。本文針對此兩種型式加以探討全年各項設備逐時耗能、照明、與空調節能技術潛力分析如下：

(一) 選取典型全閉式月台門與無月台門捷運地下車站做為模擬案例，輸入氣象條件、建築物相關設計資料、冷暖房空調系統、與能源使用效率等進行電腦模擬分析。

(二) 透過各種節能手法，分析照明、空調設備之各項耗能因子，分析節能潛力，找出最佳化的節能效率設計。

二、捷運地下車站環控系統說明

(一) 全閉式月台門型式

1. 全閉式月台門捷運地下車站之空氣側主要設備流程示意如圖1(a)所示，全閉式月台門將車站公共區冷氣與軌道區完全隔離，軌道側散熱排氣則另行設置排氣系統，包括月台下排氣系統(Under Platform Exhaust, UPE)及軌道上方排氣(Over Track Exhaust, OTE)系統，月台門系統在列車於車站停靠時，將造成車站溫度提高，依據台灣世曦工程顧問公司相關工程案例之地下車站環境模擬(Subway Environment Simulation, SES)程式計算結果，UPE與OTE系統有無運轉，對車站軌道側溫度約有3~4°C溫升。故UPE與OTE應用在月台門系統，可依軌道側溫度高低來決定是

否運轉或減量運轉以節省能源。

2. 列車停靠時，車廂下方產生大量剎車熱，藉由月台下排氣UPE，吸取列車剎車與動力廢熱，軌道上方排氣OTE則排除軌道側上方空間之熱空氣及列車冷氣系統之排熱。
3. 軌道排風機(Track Exhaust Fan, TEF)係提供UPE與OTE系統所需之排氣風量，而回風風機(Return Air Fan, RAF)屬空調循環專用，直接連接空調回風管，未與UPE或OTE風管連通。

(二) 無月台門型式

1. 無月台門捷運地下車站空氣側主要設備流程示意如圖1(b)所示，車站月台區及穿堂區的回風，經由UPE回風管道回風。另UPE提供另一個排熱功能，列車停靠時，車廂下方產生大量剎車熱，以UPE來排除列車廢熱。UPE則經由軌道月台下排氣口，吸取列車剎車與動力廢熱，經由管道連接至回風風機，再經冰水盤管及過濾網，以主送風機(Main Supply Fan, MSF)送風循環，提供車站冷氣。
2. 車站公共區的冷氣送風風管，將部分冷氣送至月台端軌道側，主要用來冷卻隧道區進入車站氣流，避免列車進站時因活塞效應帶來較高氣流溫度，造成溫差變化過大，使乘客產生不舒適感。

三、室內負荷設定

(一) 全閉式月台門型式

車站各空間的室內負荷設定參數，如表1穿堂層及表2月台層所示，列車活塞

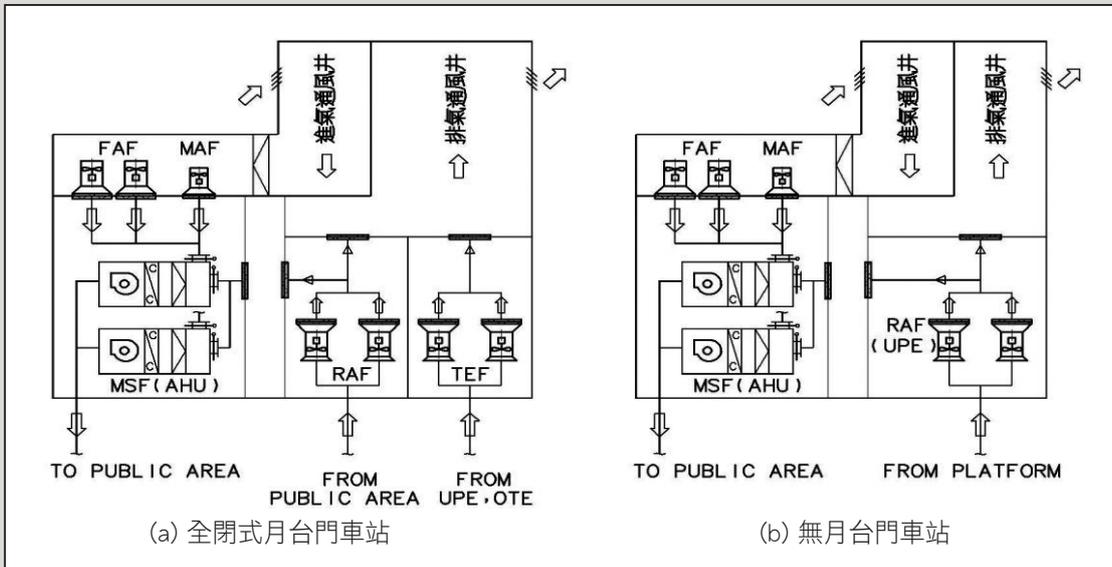


圖1 捷運地下車站空氣側主要設備流程

表1 全閉式月台門捷運地下車站之穿堂層室內負荷設定參數表

	照明負荷(W/m ²)	人數	設備負荷(W/m ²)	滲透負荷(ACH)	面積(m ²)
Spaces on floor: Concourse					
Equipment1	30	0	32	0.1	411
Tunnel Ventilation 1	30	0	0	0.1	230
CER&SER	30	2	158	0.1	76
Sale	30	6	30	0.1	17
Concourse-nonPaid 2	25	51	39	3.2	259
Concourse-Paid	25	153	60	3.2	779
PAO	30	4	260	0.1	19
Corridor1	30	0	0	0.1	26
ECS1	30	2	68	0.1	37
TEL	30	2	39	0.1	52
Maintenance	30	4	85	0.1	35
Concourse-nonPaid 1	25	59	79	3.2	302
Elevator rm	30	2	277	0.1	18
WC1	30	9	20	0.3	41
WC2	30	20	20	0.3	85
ST-office	30	5	85	0.1	24
Locker	30	6	54	0.1	37
Corridor2	30	0	0	0.1	27
ECS2	30	2	60	0.1	42
Equipment2	30	0	40	0.1	417
Tunnel Ventilation2	30	0	0	0.1	230
WC3	30	11	20	0.3	50
Police	30	3	107	0.1	14
AFC	30	2	107	0.1	14
Cash	35	2	79	0.1	32

表2 全閉式月台門捷運地下車站之月台層室內負荷設定參數表

	照明負荷(W/m ²)	人數	設備負荷(W/m ²)	滲透負荷(ACH)	面積(m ²)
Spaces on floor: Platform					
Platform	25	288	35	4.8	1,070
Pump rm1	30	0	0	0.1	7
Pump rm2	30	0	0	0.1	18
Platform-duct2	20	0	0	0.1	84
Pump rm3	30	0	0	0.1	77
FPSS2	30	2	214	0.1	72
UPS2	30	2	488	0.1	16
Battery2	30	0	73	0.1	34
Fire pump	30	0	0	0.1	110
FPSS1	30	2	148	0.1	105
UPS1	30	2	406	0.1	20
Battery1	30	0	85	0.1	29
Cylinder	30	0	20	0.1	12
UPS3	30	2	475	0.1	17

效應所造成滲透負荷，則以換氣次數(Air Changes per Hour, ACH)輸入。

1. 人員

車站人員可分為旅客及站務人員，其旅客人數依照台北捷運路網規劃的旅運量輸入，站務人員則依使用空間設定，車站尖峰時段為早上7時至9時及下午17時至19時。

2. 照明

車站照明採用T8燈具，公共區每平方公尺以25W計算，非公共區則為35W計算，由於地下車站無法引入自然光，照明設備使用率為100%。

3. 設備

設備負荷分為站務人員使用的一般事務機器，以及維持車站運作設備，如通訊號

誌設備室、設備變電站、不斷電設備室、及環控設備機房等。

4. 滲透

滲透負荷又稱為間隙風負荷，主要為未經處理的外氣，透過出入口滲透到車站內成為空調負荷；另一種滲透方式則為列車活塞效應，透過月台門縫隙將外氣引入車站內，且旅客上下車月台門開啟時間也會造成外氣滲透，此部分以換氣次數ACH輸入。

(二) 無月台門型式

車站各空間室內負荷設定參數，如表3穿堂層及表4月台層所示，列車活塞效應所造成滲透負荷，仍以換氣次數ACH輸入，其餘參數設定同全閉式月台門型式。

表3 無月台門捷運地下車站之穿堂層室內負荷設定參數表

	照明負荷(W/m ²)	人數	設備負荷(W/m ²)	滲透負荷(ACH)	面積(m ²)
Concourse Equip 1	30	5	32	0.1	888
ECS1	30	2	101	0.1	40
Police	30	2	20	0.1	17
KIOSK	30	4	20	0.1	15
Concourse-nonPaid	25	240	27	3.8	1,003
Concourse-Paid	25	381	53	3.8	1,592
PAO	30	2	466	0.1	11
Concourse Equip 2	30	7	21	0.1	1,239
Staff rm	30	2	20	0.1	20
Cash rm	35	3	20	0.1	34
ECS2	30	2	143	0.1	28
AFC rm	30	2	46	0.1	22
SMO	30	2	596	0.1	13
Toilet	30	35	20	0.1	49
General Purpose	30	4	36	0.1	28
Locker	30	5	0	0.1	23

表4 無月台門捷運地下車站之月台層室內負荷設定參數表

	照明負荷(W/m ²)	人數	設備負荷(W/m ²)	滲透負荷(ACH)	面積(m ²)
Platform Equip1	30	3	0	0.1	503
Platform Equip2	30	4	0	0.1	751
Signaling Equip	30	3	105	0.1	95
Platform-Paid	25	491	40	5.8	1,596
UPS1	30	2	134	0.1	30
Communication	30	2	302	0.1	33
Battery	30	1	20	0.1	6
UPS2	30	2	264	0.1	15

四、現況空調系統參數

(一) 全閉式月台門型式

全閉式月台門捷運地下車站之空調系統，主要設備由冰水主機、冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔、立式空調箱、小型冷風機、及大型冷卻盤管(公共區域使用)組成。冰水主機採台數控制，其性能係數(Coefficient of Performance, COP)為4.9；水

側採用固定流量系統，冷卻水塔風扇無變頻控制；空氣側採定風量系統，冬天低溫時則採用外氣冷房。

(二) 無月台門地型式

無月台門捷運地下車站空調系統，除主機性能係數COP為4.0外；其餘設計參數同全閉式月台門型式。

參、捷運地下車站數值模型說明及實際案例建置

一、模型建置

本文採用DOE-2.2之eQUEST®[2]動態建築耗能模擬軟體進行分析。

(一) 全閉式月台門型式，其eQUEST®3D模型，如圖2所示。車站面積模擬範圍為B1F穿堂層及B2F月台層，樓地板面積約為5,000m²；軌道層及出入口

均為非空調區，其穿堂層及月台層之eQUEST®平面配置，如圖3所示。空調使用時間為上午6時至晚上24時。

(二) 無月台門之型式，其eQUEST®3D模型，如圖4所示。車站面積模擬範圍為B1F穿堂層及B2F月台層，樓地板面積約為7,500m²；軌道層及出入口均為非空調區，其穿堂層及月台層之eQUEST®平面配置，如圖5所示。空調使用時間為上午6時至晚上24時。

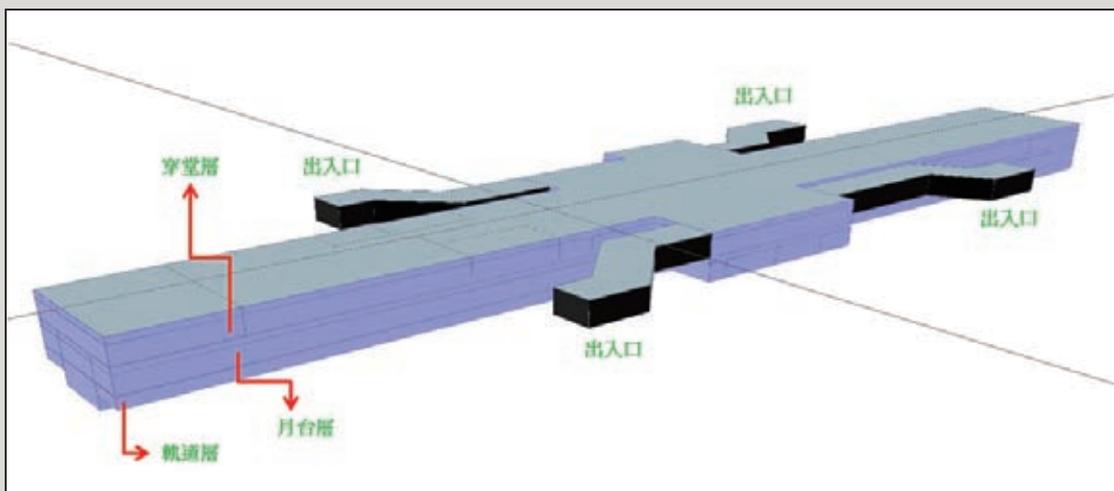


圖2 全閉式月台門之捷運地下車站3D eQUEST®模型

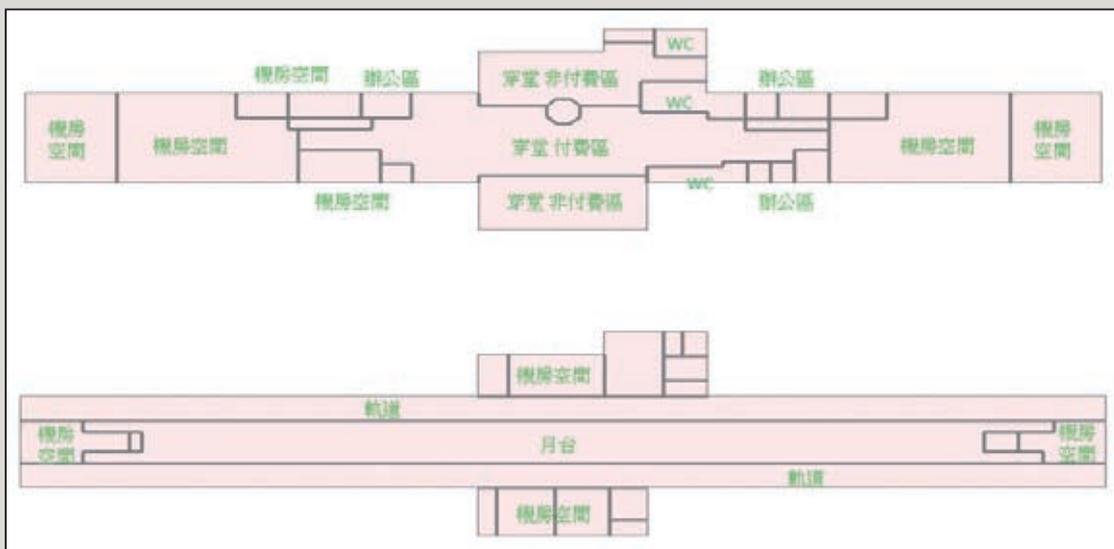


圖3 全閉式月台門捷運地下車站eQUEST®模型平面配置圖

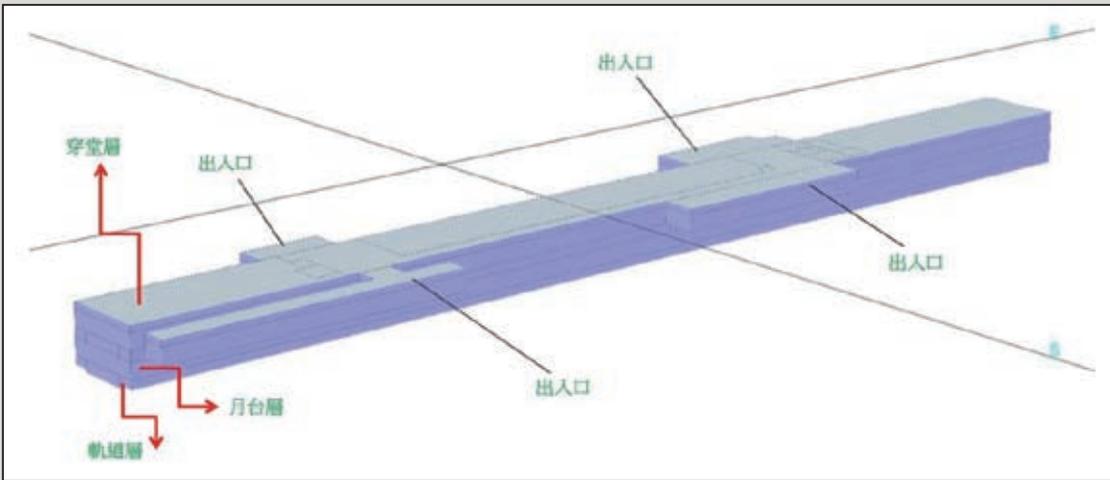


圖4 無月台門捷運地下車站3D eQUEST®模型

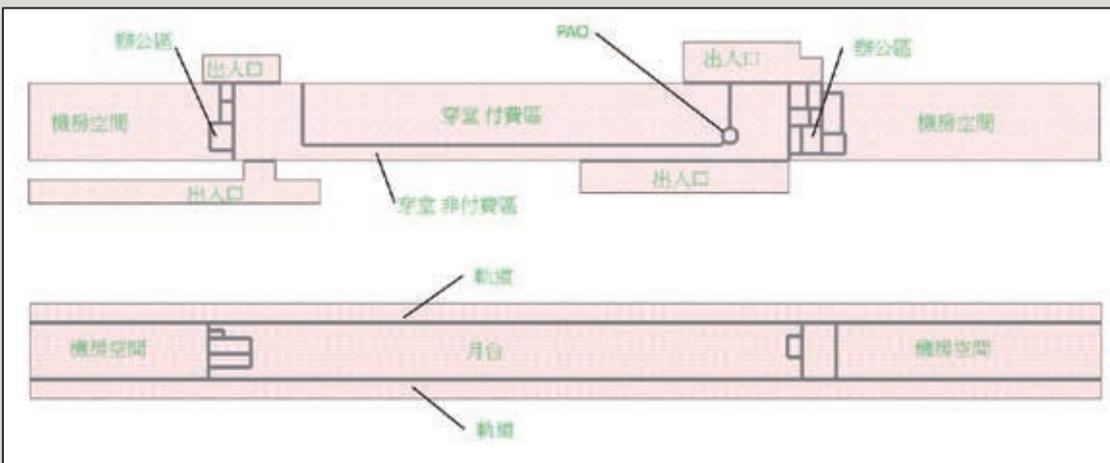


圖5 無月台門捷運地下車站eQUEST®模型平面配置圖

二、各月份能耗分析

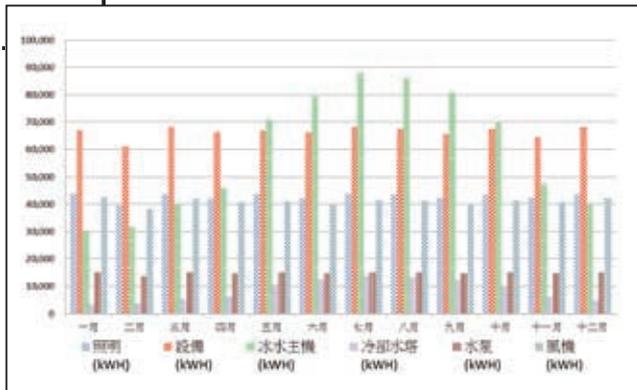
eQUEST®為快速能量類比工具(The Quick Energy Simulation Tool)，使用者可輸入氣象條件、建築物相關設計資料、冷暖房空調系統、與能源使用費率等，其分析結果係依據輸入參數獲得逐時能耗模擬之預測結果[3]。

(一) 全閉式月台門型式模擬結果，如圖6(a)所示，全年總耗電量約2,793,088 kWh，其中5~10月的空調耗電量最顯著，空調用電(冰水主機+冷卻水塔+水泵+風機)佔53.1%。

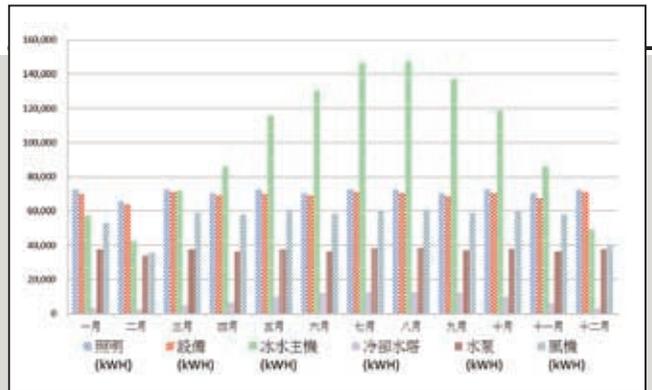
(二) 無月台門型式模擬結果，如圖6(b)所示，全年總耗電量約4,080,719 kWh，其中5~10月的空調耗電量最顯著，空調用電(冰水主機+冷卻水塔+水泵+風機)佔58.6%。

肆、節能潛力分析

本文將捷運地下車站依實際空調系統及負荷參數分別建置全閉式月台門及無月台門型式之eQUEST®模型，並針對可行的節能改善措施，分析其節能潛力對空調能耗的影響[3]，主要節能技術分析項目如下：

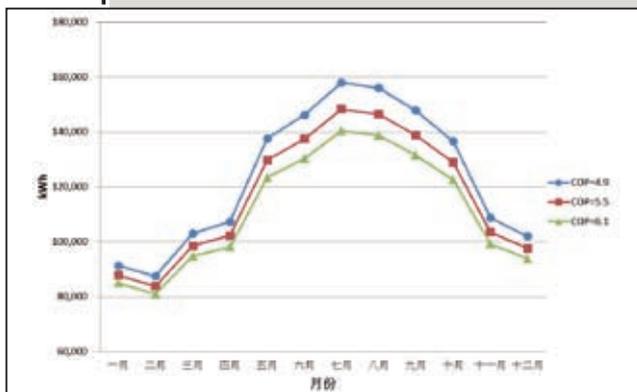


(a) 全閉式月台門

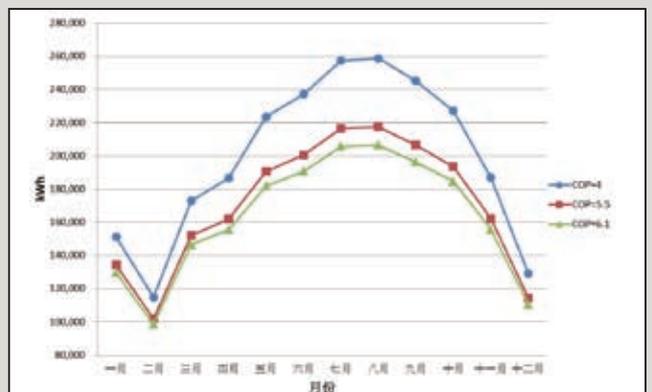


(b) 月台門

圖6 捷運地下車站之各月份能耗模擬分析圖



(a) 全閉式月台門



(b) 無月台門

圖7 冰水主機效率COP提升對各月份空調耗電之影響

- ◎採用高效率冰水主機
- ◎空氣側冷氣系統採用變風量系統(Variable Air Volume, VAV)
- ◎冰水系統採用變水量系統(Variable Water Volume, VVV)
- ◎冷卻水塔風扇變頻控制
- ◎外氣需量控制
- ◎採用T5燈具

一、採用高效率冰水主機

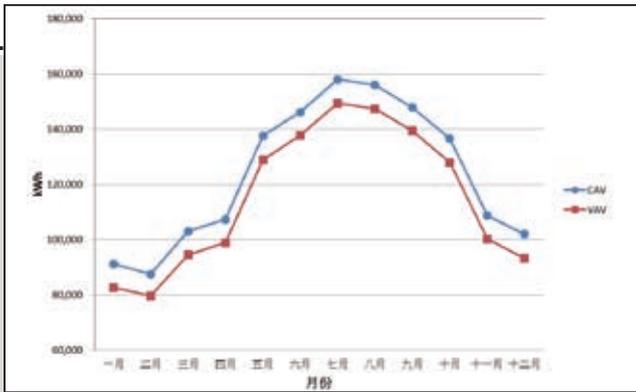
冰水主機佔整體空調耗能比例最高，依模擬結果得知全閉式月台門佔47.9%，無月台門則為49.7%。冰水主機現採用螺旋式壓縮機，效率COP值分別為全閉式月台門4.9、無月台門4.0。

依據經濟部能源局空調系統冰水主機能源

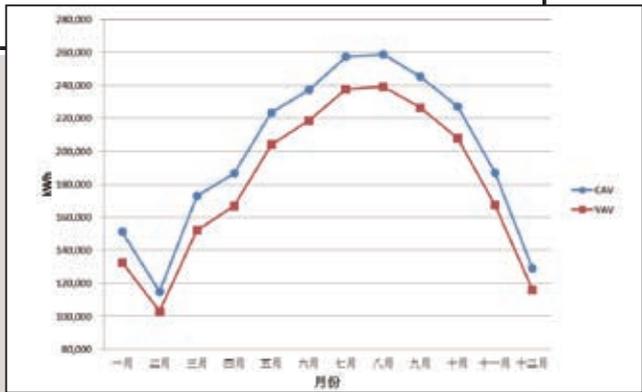
效率標準[4]，現階段COP分別提升至5.5及6.1以探討空調耗能情形，由模擬結果可知冰水主機COP值對夏季月份有顯著影響，COP值越高則夏季空調尖峰耗電量低，節能潛力大。空調冰水主機COP值由現況提升至6.1，則如圖7(a)全閉式月台門其空調全年耗能節省9.7%，冰水主機全年耗電量節省19.2%(COP4.9提升至6.1)；圖7(b)無月台門其空調全年耗能節省17.9%，冰水主機全年耗電量節省33.8%(COP4.0提升至6.1)。

二、空氣側冷氣系統採用變風量系統(VAV)

供應公共區空氣側冷氣系統採用定風量型式，其他機房空間或辦公室採用小型冷風機或立式空調箱，基於公共區旅客尖離峰負荷變化較大，適合採用變風量系統。變風量系統可依據室內負荷變化調整風量，部分負載時搭配變

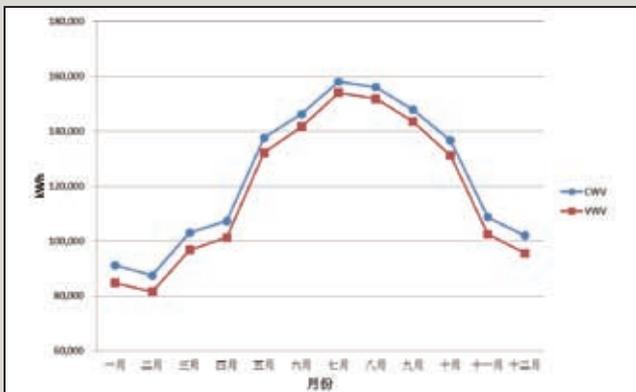


(a) 全閉式月台門

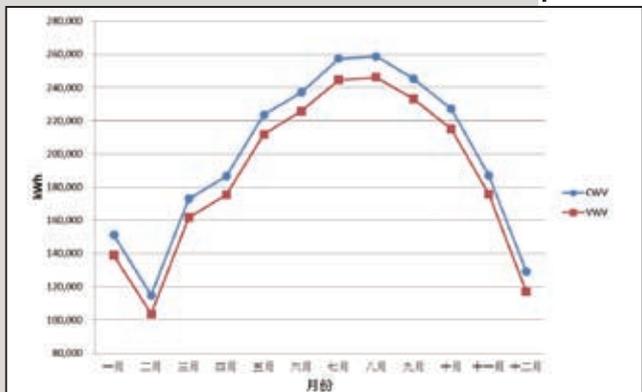


(b) 無月台門

圖8 變風量系統對各月份空調耗電之影響



(a) 全閉式月台門



(b) 無月台門

圖9 變水量系統對各月份空調耗電之影響

頻器調整風機轉速，以節約能源。

圖8為模擬公共區冷氣系統採用變風量方式，風機耗電量與轉速3次方呈正比例關係，依據模擬結果顯示，冬季負荷較低時節能效果較佳，夏季期間因其負荷變動較小，故夏季節能效果相對於非夏季為小。圖8(a)為全閉式月台門，公共區採用變風量系統之空調全年耗能節省6.9%，風機全年耗電量節省17.3%；圖8(b)為無月台門，公共區採用變風量系統其空調全年耗能節省9.2%，風機全年耗電量節省28.8%。

三、冰水系統採用變水量系統(VWV)

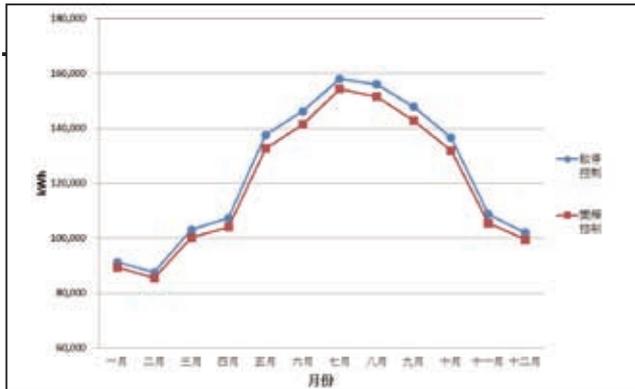
變水量系統主要依據負荷變化來調整冰水量，當車站尖離峰負荷變動較大時，具有較佳節能效果。

冰水系統採用變水量方式，依據模擬結果顯示，圖9(a)為全閉式月台門，冰水系統採用變水量其空調全年耗能節省4.4%，水泵全年耗電量節省30.3%；圖9(b)為無月台門，冰水系統採用變水量之空調全年耗能節省為5.9%，水泵全年耗電量節省26.4%。

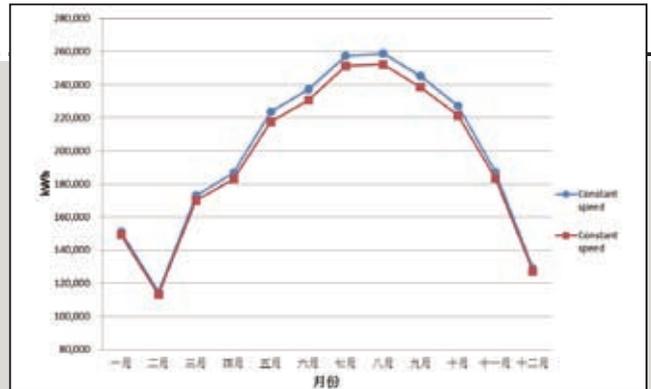
四、冷卻水塔風扇變頻控制

冷卻水塔風扇現況採用啟停控制(ON/OFF)，進入冷卻水塔水溫低於設定值時風扇停止，高於設定值風扇起動。若改採變頻控制，依據水溫高低調整風扇轉速，可避免經常啟停風扇且減少啟動瞬間電流，達成節能效益。

圖10為模擬冷卻水塔風扇採用變頻控制之節能潛力，由於捷運地下車站營運時間至晚間

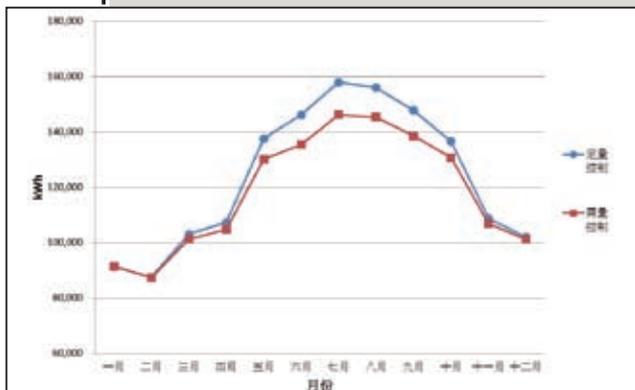


(a) 全閉式月台門

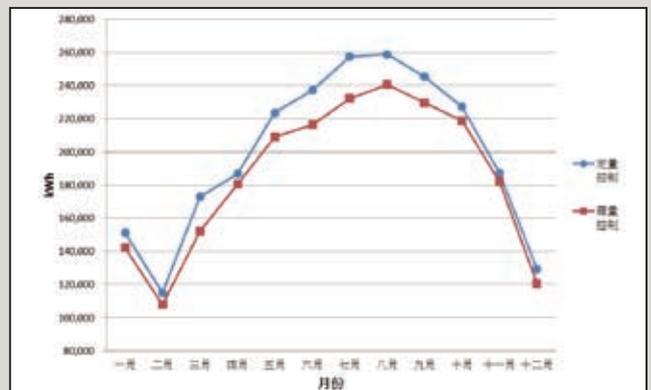


(b) 無月台門

圖10 冷卻水塔風扇變頻控制對各月份空調耗電之影響



(a) 全閉式月台門



(b) 無月台門

圖11 外氣需量控制對各月份空調耗電之影響

12點，夏天夜間採用變頻控制節能效益相對於非夏季高。圖10(a)為全閉式月台門，冷卻水塔風扇採用變頻控制其空調全年耗能節省2.9%，冷卻水塔風扇全年耗電量節省42.5%；圖10(b)為無月台門，冷卻水塔風扇採用變頻控制其空調全年耗能節省2.2%，冷卻水塔風扇全年耗電量節省55.9%。

五、外氣需量控制

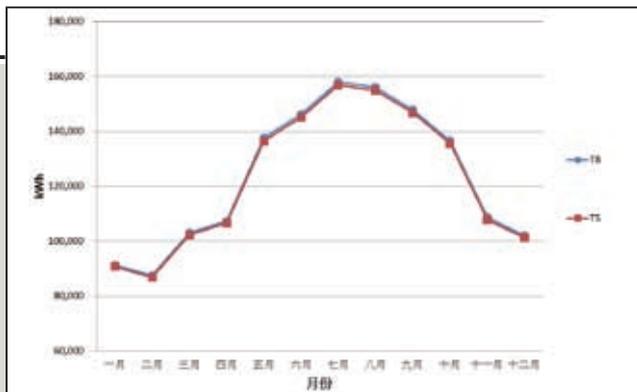
外氣需量現況採用定量控制，夏季由小台外氣送風機(MAF)供應最少旅客所需之新鮮外氣量，冬季則改由大型外氣送風機(FAF)提供外氣冷氣。由於車站旅客人數隨時間變動，故可藉由偵測室內二氧化碳濃度，控制外氣引入量來降低空調負荷。

圖11為依據旅客數模擬控制外氣量節能潛力，夏季節能效益相對於非夏季為高，圖11(a)為全閉式月台門，外氣需量控制之空調全年耗能節省4.2%；圖11(b)為無月台門，外氣需量控制之空調全年耗能節省6.7%。

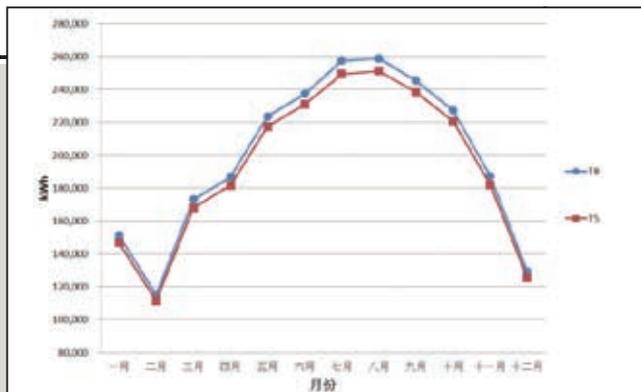
六、採用T5燈具

公共區照明設備現況是採用T8燈具，若採用T5燈具發熱量降低可節能。圖12為模擬採用T5燈具節能潛力，圖12(a)為全閉式月台門，照明系統全年耗電量節省17.6%；圖12(b)為無月台門，照明系統全年耗電量節省19.7%。

伍、結語



(a) 全閉式月台門



(b) 無月台門

圖12 照明燈具改善對各月份空調耗電之影響

一、捷運地下車站環控系統冰水主機佔整體空調耗能比例最高，依據模擬結果，全閉式月台門型式佔47.9%，無月台門型式則為49.7%，故提升冰水主機COP值可得最大節能效益。全閉式月台門型式冰水主機COP值由現況4.9提升至6.1可節省19.2%；無月台門型式冰水主機COP值由現況4.0提升至6.1可節省33.8%，爰此，建議優先汰換設備年限已屆或效率不佳之既有冰水主機設備。

二、經由模擬結果顯示，全密閉式月台門型式空調系統用電佔整體用電比例約53.1%，較無月台門型式所佔比例約58.6%為低，主要原因是無月台門型式直接受列車活塞效應影響，增加隧道與車站公共區域熱對流負荷。

三、綜合模擬分析六種節能改善項目，全閉式月台門型式空調系統全年耗電量可節省28.1%、照明系統全年耗電量可節省17.6%；無月台門型式空調系統全年耗電量可節省40.7%、照明系統全年耗電量可節省19.7%。

四、目前國內已營運及建置完成之捷運地下車站環控系統為數眾多，依據前述節能改善分析結果，每座車站尚有節能改善空間，

期望經由本文所提出之節能效益，有助於後續捷運相關單位節能改善參考。

參考文獻

1. 楊正光，「電力系統需量控制之發展趨勢」，能源節約技術報導，第42期，第17-25頁，2001
2. DOE-2.2 Building Energy Use and Cost Analysis Program, Volume 1: Basics, Lawrence Berkeley National Laboratory, James J. Hirsch & Associates, 2004
3. 台北捷運初期路網車站環控系統節能減碳改良之研究，台灣世曦工程顧問股份有限公司104年研發計畫成果報告，2015
4. 經濟部能源局，空調系統冰水主機能源效率標準，經(九0)能字第0九00日六一九一七0號，中華民國九十年九月十二日。網址 http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=1037
5. ASHRAE Standard 62.1-2010, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality

機場智慧化 系統建置

關鍵詞：智慧型機場、ACDMP、AOCC、AODB、Skytrax、stakeholder

桃園國際機場股份有限公司／T3專案小組／設施召集人／廖振志 ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／協理／林啟豐 ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／業務經理／林柏鋒 ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／工程師／張鈞凱 ④

目標

機場利益
最大化

智慧服務系統

旅客智慧
體驗

機場效能
提升

資源共享
平台

摘要 ABSTRACT

英國非營利獨立調查機構Skytrax每年會公布全球機場評比結果，該機構並未接受外界贊助或受外部因素影響，成為全球航空領域中最受尊崇的調查機構之一。

Skytrax每年調查涵蓋全球550個國際機場，以不同機場服務和產品性能作為調查項目，以乘客旅行體驗過程作為評估指標，包含：辦理登機手續、到達、接送、購物、安全、移民通關至登機門口等項目[1]，藉此評選各年度全球最佳機場。根據歷年來Skytrax評選結果與績效指標選定，智慧機場建置已成為近年來世界各國推動交通建設重要目標之一，除機場建築硬體設施可以給予旅客順暢的動線及舒適的環境外，本文謹就如何運用先進資訊及通訊技術打造智慧機場、提供完善服務及創新管理效益進行說明，以供業界參考。



壹、前言

全球國際機場均致力於投資機場資訊及通訊解決方案，Airport技術演進詳表1所示[2]，並以Airport 2.0、3.0及4.0代表智慧機場演進歷程。另依據全球智慧機場市場預測，在2015至2025年期間，智慧機場將涵蓋北美、歐洲、亞太、南美、中東及非洲地區，而在機場營運方案上，智慧機場應包含：機場營運管理、機場管制點及出入關管制、機場協調決策平台(Airport Collaborative Decision Making Platform, ACDMP)及機場旅客流程處理[3]。

本文彙整目前國際知名機場營運模式以及未來發展趨勢，針對智慧機場提出概念性說明，如圖1所示。

表1 Airport技術演進彙程表

Airport 1.0	· 手動及類比系統處理 · 長時間機場資源安排及反應
Airport 2.0	· 關鍵流程處理導入自助服務(如自助行李托運、護照檢查)
Airport 3.0	· 導入數位化提升流程監控及處理最佳化
Airport 4.0	· 所有利益關係人(Stakeholder)充分連接 · 對於機場的即時需求(如操作需求、旅客需求等)，以積極方式處理



圖1 智慧機場架構



圖2 共享資通訊平台服務項目

首先，智慧機場必須建立資通訊平台，以作為各項智慧服務系統運算與通訊聯絡服務。其次，依據應用對象的不同建置各項智慧服務系統。在機場旅客方面，建置自助服務設施，減少旅客等待時間並增加機場智慧體驗；在機場營運單位方面，建立機場營運資料庫(Airport Operation Database, AODB)和航廈設施自動化管理等系統，以提昇機場飛航營運和維護管理效能；在相關利益關係人方面，則是建立機場協調決策平台，整合分析各項資源使用情形，使機場利益關係人可分享各項航班與資源使用資訊，並供管理者作資源最佳化安排之用。

為提高事件溝通處理效率，則以機場營運控制中心(Airport Operation Control Center, AOC)為核心，建立資通訊平台，整合分享航班訊息、資源管理與緊急應變處理，滿足所有機場利益關係人(Stakeholder)營運需求，包含：民航局、機場營運單位、航空公司、地勤公司、免稅商店及餐飲業者等營運服務需求。

最後，透過大數據(Big Data)分析解析機場歷史資料，以視覺化互式工具製作統計報表，協助機場營運單位高層在制訂決策或改善營運策略時作為參考指標，藉此持續增進機場利益

最大化之目標。

貳、資通訊平台

隨著機場智慧化程度更高，其資通訊系統之建置則越趨複雜。因此，資通訊平台之建置除滿足運作功能之基本需求外，如何達到利益關係人之共享，降低系統複雜度，且易於維護更新，避免各單位重複投資，以作為機場協調決策平台發展基礎，成為另一重要之目標，詳圖2所示。因此，智慧化之資通訊平台應具下列特性：

一、以雲端化技術建立資訊平台

由於雲端技術可以建立一個運算資源池，供動態配置電腦之運算資源，並透過網路整合技術將不同單位、系統之運算資源予以獨立區隔，加上防火牆、防禦系統等資安設備，即可完成一個共享的資訊平台，各機場利益關係人經申請後可以快速佈署各項應用軟體及服務。

二、共享通訊平台

機場內應建立有線網路、有線電話、無線電話、無線網路等基礎通訊系統，若不同單位系統各自建置，將使得系統管線複雜或頻道相互干擾，因此系統以可同時服務不同單位且可避免相互干擾影響，具有虛擬私有網路之服務，各利益關係人經申請後即可動態分配其通訊資源。

參、智慧服務系統

智慧化服務共可分為三大面向，以服務旅客為主的「旅客智慧體驗」系統、服務機場營運單位為主的「機場效能提升」系統和服務機場利益關係人為主的「資源共享平台」系統，

以下將依序說明。

一、旅客智慧體驗

SITA(SociétéInternationale de Télécommunications Aéronautiques)國際航空電訊集團，是第一家以提供跨機場交換網路服務之跨國資訊技術公司(目前提供機場數據交換網路包含：AMADEUS、ARINC、ULTRA及RESA等公司)，該公司預測在2020年，80%的旅客將體驗到快捷的機場服務，其目標為出境報到後10分鐘到達管制區免費商店區，下飛機入境查驗後30分鐘到達乘車地點，旅客快速通關目標詳圖3所示[4]。



圖3 旅客快速通關目標圖

未來旅客使用各項自助服務的需求將大幅增加，為了旅客的體驗，智慧化機場應以增加個人化、簡易化及舒適的旅程為目標，並藉由系統自動化提高效率，包含在家列印行李條碼、自助報到、自助行李托運、自助通關、智慧安檢、自助登機流程，並提供個人化服務及相關資訊，如登機時間、登機門變更、購物資訊、餐飲資訊及路程指示等資訊，智慧機場乘客體驗流程，詳圖4所示。



圖4 智慧機場乘客體驗流程

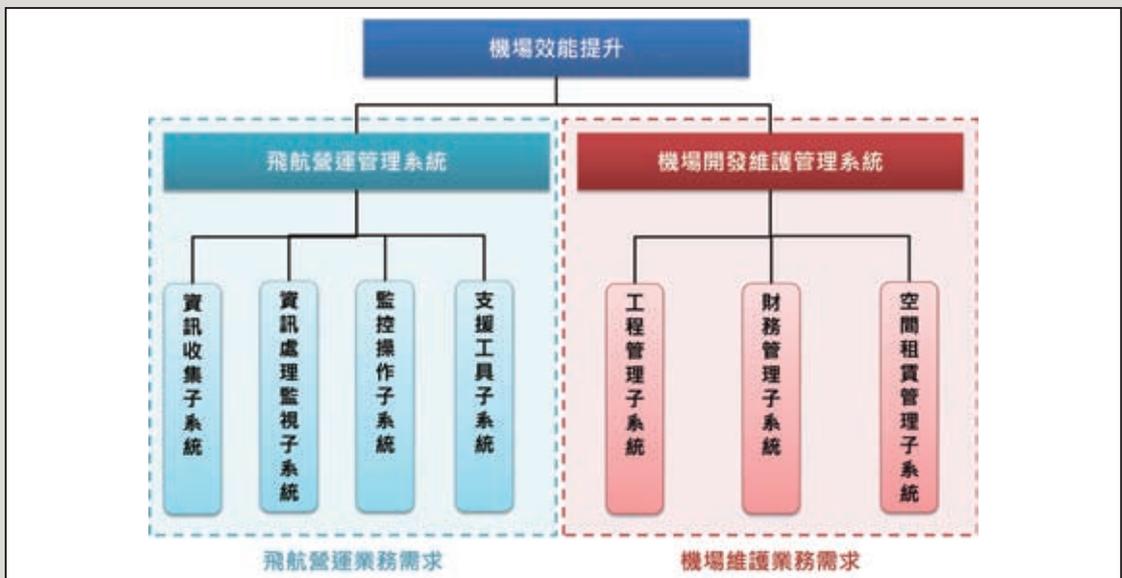


圖5 機場效能提升相關系統架構圖

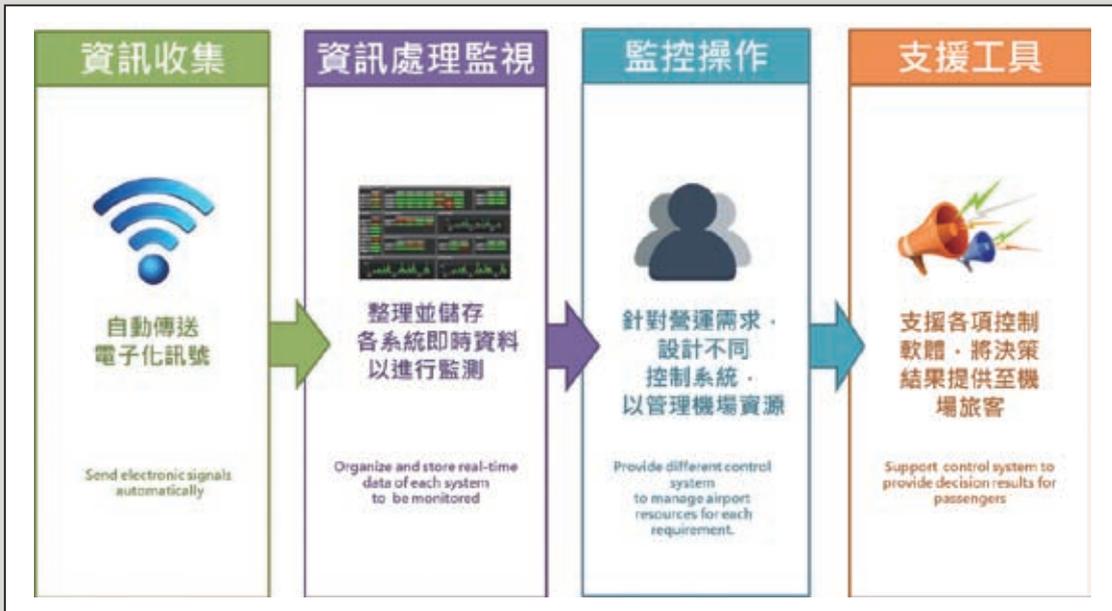


圖6 飛航營運管理系統流程說明

二、機場效能提升

依據營運特性的不同，大致上可將機場營運單位業務區分為「飛航營運管理」和「機場維護管理」兩大類，在「機場效能提升」系統中應針對不同業務需求開發對應系統，如圖5所示，以下將依序說明。

(一) 飛航營運管理系統

「飛航營運管理系統」主要目的是使機場營運操作人員掌握機場運作流程中，各項資源運作狀態和即時航班訊息。當發生緊急事件時，機場營運單位可透過「飛航營運管理系統」監控整起事件，藉此協調各單位應變策略，以降低事件處理時間和提升機場應變處理能力。

為達到上述目的，一般來說「飛航營運管理系統」應包含多項子系統，分別為：資訊收集子系統、資訊處理監視子系統、監控操作子系統、支援工具子系統，如圖6所示，以下將個別針對不同子系統進

行說明。

1. 資訊收集子系統

「資訊收集子系統」主要是以電子化訊號方式，將機場各項資源使用狀態和航班即時動態傳送至「資訊處理監視子系統」對應軟體或資料庫中，以達到資訊整合與分享之目的。

在航班即時動態訊息方面，歐洲航空安全組織(European Organization for the Safety of Air Navigation, EUROCONTROL)與國際航空運輸協會(International Air Transport Association, IATA)於2012年聯合發佈一份「機場CDM實施手冊(Airport CDM Implementation Manual)」文件，該文件詳細說明歐洲機場實行機場協調決策(Airport Collaborative Decision Making, ACDM)的作業流程及規範，提供歐洲各機場運作指南及框架。

ACDM運作上有一套整體的運作系統

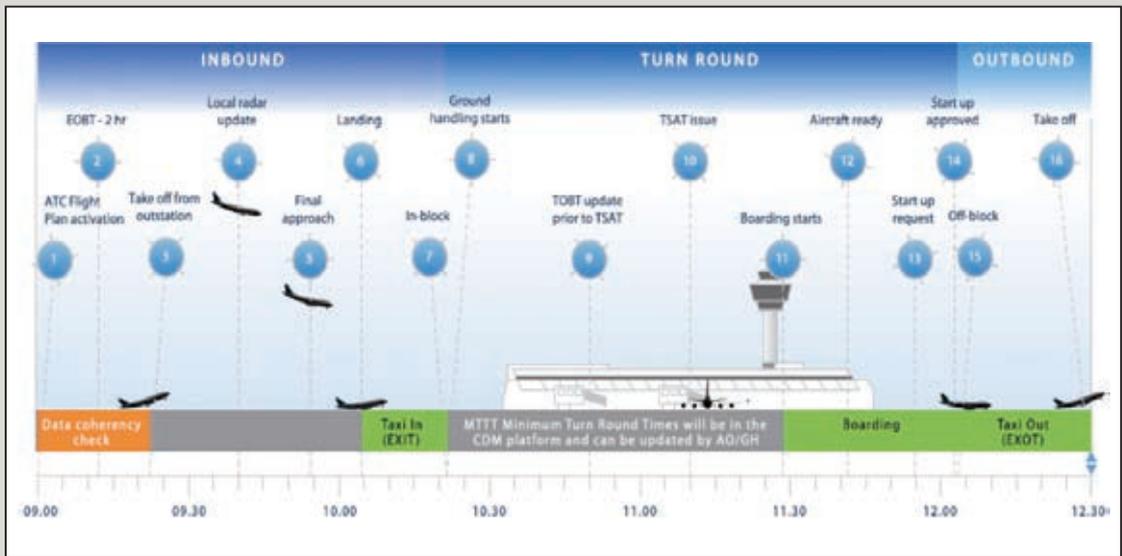


圖7 歐洲航空安全組織(EUROCONTROL)定義之航班16個重要里程碑(資料來源：SITA公司)



圖8 機場營運資料庫監視畫面示意圖(資料來源：SITA公司)

與流程，分為六個實行要素，包含：資訊共享(Information Sharing)、里程碑方法(Milestone Approach)、可變的滑行時間(Variable Taxi Time)、離場前之排序(Pre-departure Sequencing)、不利條件因素(Adverse Conditions)和協同管理航班更新

訊息(Collaborative Management of Flight Updates)。

其中，「里程碑方法」為掌握航班動態的方法，作法為追蹤航班在飛行過程中被視為最重要的16個航班里程碑，如圖7

所示，經由收集此16個里程碑發生的時間點，機場營運單位可確認航班是否依據既定行程運行，並在發生延誤時第一時間掌握消息，降低應變處理時間。

2. 資訊處理監視子系統

「資訊處理監視子系統」主要是將「資料收集子系統」獲得之重要訊息，經過資料處理、轉換等步驟後，儲存至機場營運資料庫中，供機場工作人員掌握各項即時資訊。

機場營運資料庫(Airport Operation AODB)是機場安排航班營運相關業務數據之中央資料庫，其功能應該包括：資料儲存、資源使用率分析、航班時程計畫、航空器起降追蹤等，操作人員可以追蹤監視機場所有資源之使用情形，並預知資源不足之可能。其資源監視畫面，如圖8所示。

3. 監控操作子系統

當機場營運資料庫的分析結果顯示航班延遲或資源不足時，將傳送告警訊息至「監控操作子系統」的緊急應變系統(Emergency Response System, ERS)提醒機場營運者，以進行相關事件的反應。

接收告警訊息後，緊急應變系統可提供自動化的通報和管理流程，減少事件處理時間、維持航空器正常運作。而在事件發生時，機場可透過緊急應變系統指揮、通聯、協調各配合單位，使各配合單位瞭解可能發生之狀況及應扮演之角色，如圖9所示。

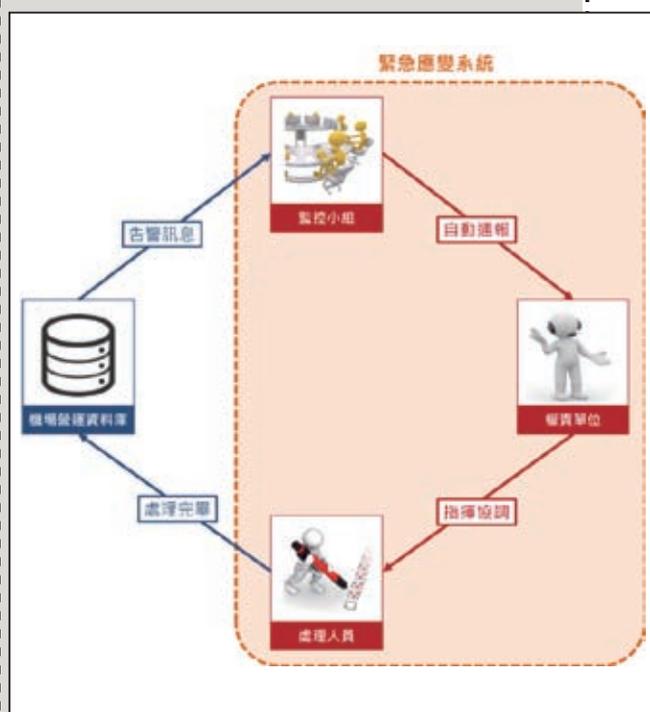


圖9 緊急應變系統(ERS)架構示意圖

4. 支援工具子系統

「支援工具子系統」主要功能是将最新航班訊息與資源使用情形傳送至機場旅客，使機場旅客可在第一時間掌握航班延遲、登機門變動等訊息，並可主動提示登機時間及到達登機口所需時間等訊息，避免旅客延誤登機的情形發生。

此外，亦將最新訊息提供予機場資源操控人員，包括：地勤、行李處理、加油、空橋、空廚等即時處置，提高其運作效率。

一般來說「支援工具子系統」大致上是由飛航資訊顯示系統(Flight Information Display System, FIDS)以及廣播系統(Public Broadcast System, PBS)所組成，然而，近年來由於智慧手機興起，大多數人係透過手機接受訊息，因此，個人化手機APP系統也逐漸納入支援工具當中，如圖10所示。



圖10 個人化手機APP系統服務



圖11 「機場開發維運管理系統」架構

(二) 機場開發維護管理

「機場開發維運管理」服務系統主要目的係期望簡化機場營運單位作業流程與掌控收入，藉此提升機場服務績效，因此，「機場開發維運管理」系統依機場主要開發與維護需求，可分為工程管理、財務管理和空間租賃管理等子系統，如圖11所示。

1. 工程管理子系統

機場自完工啟用後，經常因需求之改變或者系統設施壽命屆期，而有許多改善工程進行，而如何有效管控相關工程並保管最新圖資，為維護機場之一項重要課題，因此建議建置「工程管理子系統」，可定義和管理一個專案或多個專案的整個生命週期，包括工作架構分解，資源規劃、管

理、工作範圍、預算和其他財務。另外，將工程專案之成果滙入圖資資料庫及BIM模型，以維護機場最新之圖資，避免因年久致設施維護困難。其系統架構如圖12所示。

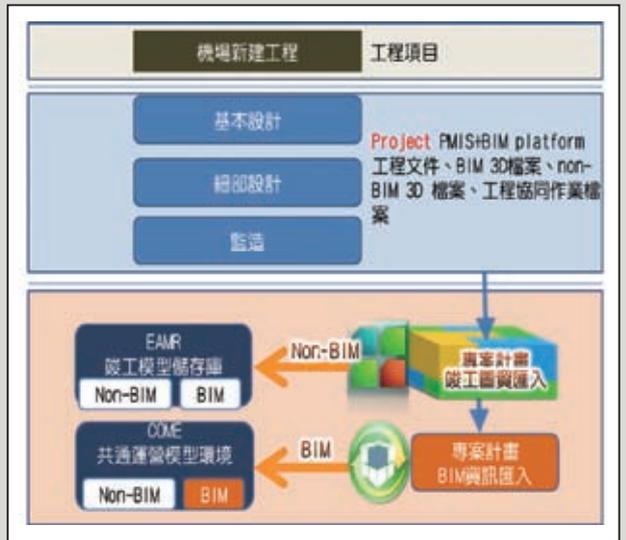


圖12 工程管理子系統架構架構圖



圖13 財務管理子系統功能說明圖

2. 財務管理子系統

共享資源為智慧機場重點之一，而資源共享須基於各單位共同分擔使用量。因此建議建置一套「財務管理子系統」，具有標準化介面，可收集財務營收相關系統傳送之使用單位、使用數量、單價等，藉此自動計算各類資源使用費用並開立發票，同時建立收費管理追蹤功能，大幅減化作業，如圖13所示。

3. 空間租賃管理子系統

空間租賃亦是機場一項重要服務，建置「空間租賃管理子系統」以提供機場內各可租用空間之規劃及出租登記，出租者資訊紀錄、收費資訊等查詢管理，另外，租賃費用的相關資訊可傳送至「財務管理子系統」以進行後續的費用收取。

在使用者介面上，「空間租賃管理子系統」可結合機場航廈BIM模型，使操作人員更容易瞭解各空間的相對位置與當前使用情形，如圖14所示。

肆、機場營運控制中心

機場營運控制中心為智慧機場中最主要

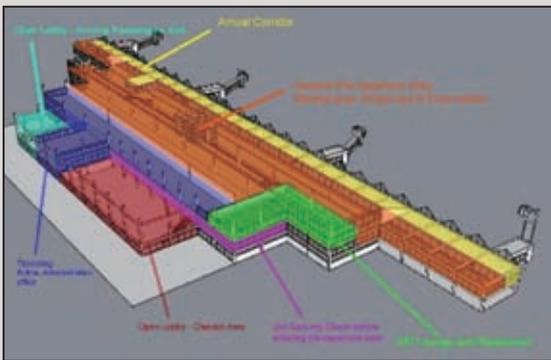


圖14 空間租賃管理子系統操作介面示意圖

的核心，而其建置目的在於整合機場營運相關之利益關係人至統一的營運控制場所，提供一個自動化和數位化的資源管理環境，在各單位資訊透明的情況下，管理者更可有效率的依據各自訂定的關鍵績效指標(Key Performance Indicators, KPI)，管理、分配、調整各項操作流程和可用資源，藉此提升整體機場營運效能。

一、機場利益關係人進駐需求

(一) 為達到整合協調運作之目標，機場營運控制中心進駐單位包括：航空公司、消防隊、保全和機場營運公司各單位等，如圖15所示。另為求其共同協商，通常會配置大螢幕投影系統，並提供各單位操作所需之控制席位等。

(二) 當機場發生緊急事件時，例如：颱風緊報、火災、地震、恐怖攻擊、飛航事故…等，機場營運控制中心可立即轉變為機場緊急應變中心(Airport Emergency Respond Center)，供上級機關、機場營運單位高層和相關權責單位進駐。在應變中心內，決策小組可透過投影顯示牆觀看機場內閉路電視和現場工作人員手機回傳畫面以掌握事件最新消息，並藉由緊急應變系統和第一

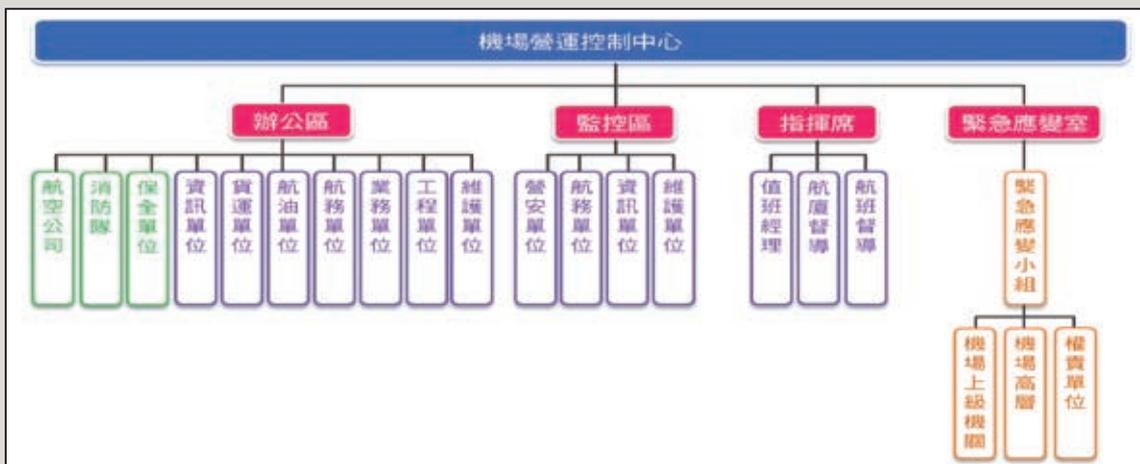


圖15 機場營運控制中心進駐人員

線工作人員聯繫溝通，進行指揮調派等工作。此外，外單位相關人員亦可經由有無線系統平台與緊急應變中心互相連線，以確認事件處理進度。

二、機場協調決策平台(ACDMP)

機場協調決策平台是一個智慧化的操作平台，透過成熟的即時營運顯示板，以視覺化方式監控機場各項資源，並提供航班進離場排序以及各項與飛行有關的資源分配、調度與管理，其中，包含固定資源的規劃分配以及機動人員調派作業，除以手動調整資源外，亦可依據機場商業行為自訂規則，藉此建立演算法自動分配各項資源，如圖16所示。

本平台主要以掌控16個重要里程碑之作業，16個重要里程碑之監控詳細說明，如下所述[5]：

(一) 航管飛行計畫處理(ATC Flight Plan Activated)

飛行計畫是航班進行運作的開端，正常情況下由航空公司負責於預計撤輪檔時間(Estimated Off-Block Time, EOBT)前3小時

向航管單位提交，同時其他相關單位包括起飛和目的地機場亦會收到飛行計畫，並檢查與機場時間帶之配置、航班資訊是否一致。

(二) 預計撤輪檔時間前兩小時(Flight Plan Estimated Off-Block Time)

在EOBT前兩小時，可從ACDM資訊共享平台(Airport CDM Information Sharing Platform, ACISP)上獲得大多數航班相關資訊，此時路網運作單位會進行時間帶分配，計算並發佈計算起飛時間(Calculated Take Off Time, CTOT)至ACISP供相關單位及起飛地機場使用。而從國外飛回之到場航班，透過路網運作單位傳送給 CDM 機場之航班更新電報(Flight Update Message, FUM)所提供的資訊，並考慮航班當下運作狀況，可更新到場航班預計著陸時間(Estimated Landing Time, ELDT)。

(三) 從外站起飛(Take off from Outstation)

由起飛地機場(Aerodrome of Departure, ADEP)提供航空器從外站實際起飛時間

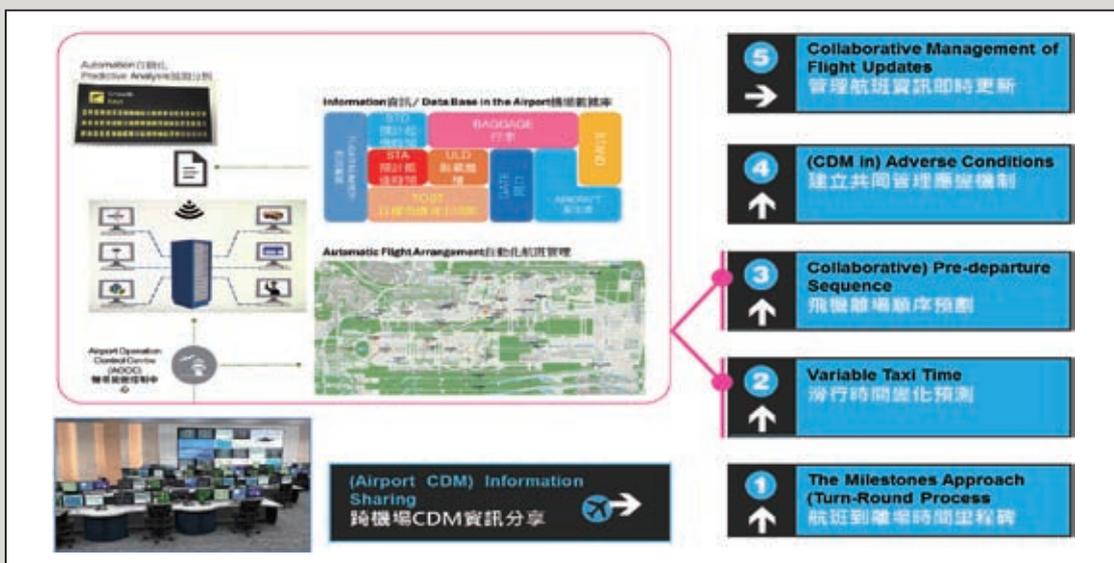


圖16 機場協調決策平台(ACDMP)營運流程圖

(Actual Take Off Time, ATOT)至路網運作單位及航空公司。

(四) 進入目的地機場FIR資訊更新(Local Radar Update)

當航班進到目的地機場(Aerodrome of Destination, ADES)之空域或飛航情報區時，便可更新ELDT同時產生新的目標撤輪檔時間(Target Off-Block Time, TOBT)。

ELDT的準確性會影響到後續更換停機位與登機門決策、進場航空器排序與地勤作業上的安排。

(五) 終端進場(Final Approach)

航空器進到ADES終端進場階段時，距離實際著陸時間約為2至5分鐘，此時與航班相關的參與者會開始進行資源分配、調派至相關位置進行作業待命。

(六) 著陸(Actual Landing Time)

當航空器降落跑道後產生實際著陸時間(Actual Landing Time, ALDT)，並根據每個航班所給定的週轉時間，系統會自動更新TOBT與目標起飛時間(Target Take Off Time, TTOT)，此時間亦可由航空公司或地勤業者手動輸入系統。

該里程碑完成後，所產生的ALDT加上預計滑入時間(Estimated Taxi-In Time, EXIT)便可更新預計上輪檔時間(Estimated In-Block Time, EIBT)。而ALDT相當於航管單位的實際抵達著陸時間(Actual Time of Arrival Landing, ATA)。

(七) 輪檔(Actual In-Block Time)

航空器著陸滑行至停機位後放上輪檔，產生實際上輪檔時間(Actual In-Block Time, AIBT)，該時間相當於地勤人員實際抵達時間(Actual Time of Arrival, ATA)並開始進行地勤服務作業。

(八) 開始地勤作業(Actual Ground Handling Time)

地勤人員開始對航空器進行相關作業整備項目。

(九) 最後確認撤輪檔時間(Final Confirmation of the Target Off-Block Time)

航空公司或地勤單位在考量實際作業情況下提供準確的TOBT。

(十) 發佈目標同意開車時間(Target Start-Up Approval Time)

目標同意開車時間(Target Start Up Approval Time, TSAT)的用意在於讓航管單位可安排航空器離場前的順序。

(十一) 旅客開始登機(Boarding Starts)

指登機門開放旅客實際登機之時間，此事件完成後便可得知TOBT與TSAT能否達成。

(十二) 航空器準備就緒(Aircraft Ready Time)

指航空器關閉所有艙門、撤離空橋並與後推車連接，當收到塔台指示時可立即滑行之時間。

(十三) 申請開車許可(Actual Start Up Requested Time)

航空器在機場管制操作區內活動皆須得到航管單位同意指示才可行動，當航空器準備就緒時便可向航管單位申請開車許可。

此里程碑目的在於航管單位向航空器駕駛員確認TSAT，以維持航空器在離場前的排序。

(十四) 同意開車(Actual Start Up Approved Time)

航空器提出開車申請，得到航管單位實際同意開車時間(Actual Start Up Approval Time, ASAT)後，將可開車、後推和開始滑行。

我國是由塔台的地面管制席給予航空器開車及後推許可，作業時間約為5至6分鐘不等，通常為節省時間兩者會同時進行。

(十五) 撤輪檔(Actual Off-Block Time)

航空器後推出停機位之時間為實際撤輪檔時間(Actual Off-Block Time, AOBT)，與前項里程碑為同一時間點，亦等同於航空公司或地勤單位實際離場時間(Actual Time of Departure, ATD)。而AOBT加上預計的滑行時間會再次更新TTOT。

(十六) 起飛(Actual Take Off Time)

航空器獲得起飛許可，從跑道實際起飛之時間，該時間相當於航管單位實際離場時間(Actual Time of Departure, ATD)。

完成最後一個里程碑後，航班實際起飛資訊由各參與者所共享。

伍、大數據分析應用

大數據分析(Big data Analysis)是指所涉及的資料量規模巨大到無法透過人工或者計算機，在合理的時間內達到擷取、管理、處理，並整理成為能解讀的資訊形式[6]。換句話說，透過大數據分析可將大量看似無意義的資料群組解析為多個小型資料群(Data Set)，藉此找出彼此關聯性，以作為查覺商業趨勢、改善營運流程、判定研究品質等用途[7]。

當機場各項決策流程與資源運用方式轉換為數位化後，可獲得大量機場營運資料，包含：各項資源平均服務時間、各項服務收入款項、旅客消費商品與金額…等，並儲存至機場歷史資料庫系統當中。機場營運者可透過大數據分析方式，解析各項資料彼此關聯，藉此改善機場營運流程和各項服務訂價，以達最大化機場營收之最終目標。

此外，大數據分析可提供視化工具協助機場營運者分析相關資料，因此，機場高層在會議中可更快速的瞭解簡報內容，進而制訂各項決策，從而減少對資訊部門的依賴來滿足各種分析和報表需求，如圖17所示。

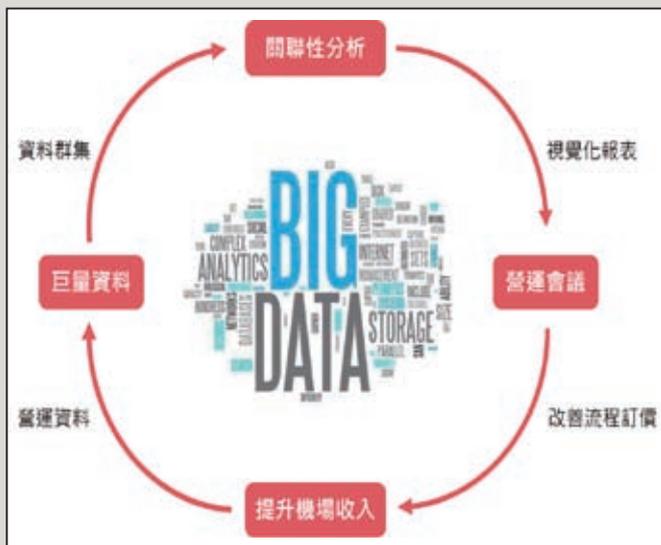


圖17 大數據分析應用

陸、結語

機場不再只是提供旅客搭機、轉機的運輸場所，也不再只是提供營業空間給利益關係人承租，面對旅客消費行為的改變及滿足利益關係人營運需求，透過智慧機場基礎平台的建置，可以創新經營管理效益以增加非航空營運收入，讓機場發揮最大收益。

為達到機場智慧化目標，整體系統建置應具下列特色：

一、共享資通訊平台

以雲端化架構整合機場公司各單位資訊系統，簡化機場資訊系統複雜度，降低資訊人員維護成本。並透過統一基礎通訊系統與平台建置，提供機場利益關係人租用，避免因各單位自建導致機場系統管線複雜或頻道互相干擾等問題，藉此提升機場營運收入，以達資源共享之概念。

二、機場智慧化服務

透過各項自助化服務，降低旅客在出入境過程中所花費時間，並以簡易和舒適為目標，不斷改善相關流程，提升旅客於機場的搭機體驗。

此外，針對航班管理與工程維護等兩項主要機場工作項目，建立不同的營運管理系統，使機場工作人員可透過資訊系統，自動獲得相關訊息，簡化機場營運單位作業流程，提升機場工作人員服務績效。

三、機場營運控制中心

建置機場營運控制中心，並以機場協調決策平台提供機場營運管理人員進行各項資源調

配與協商，掌握16個航班重要里程碑。

機場協調決策平台在實施過程中可能改變各個組織的企業文化與作業流程，其溝通、協商與配合為實施後所需面臨的重大挑戰[8]。

參考文獻

1. SKYTRAX網站，“The World Airport Awards: Methodology”，http://www.worldairportawards.com/Awards/awards_methodology.html
2. Arthur D. L., “Airports 4.0: Impact of Digital Transformation on Airport Economics”, May 2015.
3. Visiongain, “Smart Airport Technologies Market 2015-2025”, PRNewswire, October 2015.
4. Brian L., “SITA End-to-end Self-Service” : Keeping your passengers moving and empowered.”
5. 李宜臻，「我國實行CDM作業程序可行性初探-以桃園國際機場為例」，國立成功大學交通管理科學系碩士論文，民國103年。
6. Dan K., “What is Big Dat?,” ZDNet, February 2010.
7. The Economist, “Data, data everywhere,” Special report: Managing information, February 2010.
8. EUROCONTROL and IATA, “Airport CDM Implementation”, 2012.

手提行李與旅客 智慧安檢系統

關鍵詞：手提行李、智慧安檢、危險物品、爆裂物、通關、掃描機

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／協理／施亮輝 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／技術經理／周振發 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／正工程師／王德民 ❸

摘要

ABSTRACT

隨著全球民用航空服務的發展，民用航空已經在全球經濟鏈中承擔著重要的角色，每天有大量的旅客及貨物在全球的各大機場流動，而自美國911事件後，機場安檢已成為最被關注的環節，如何迅速、準確有效的檢查藏匿於貨櫃、隨身行李和旅客身體上的危險品，是機場安全部門的重要課題。本文以邏輯性的敘述，介紹用於民用機場旅客手提行李及人身安檢設備的功能與分類，及說明最新機場安檢流程與設備的趨勢，以為機場旅客安全管制規劃設計之參考。



壹、前言

安檢設備一般設置於機場、港口、車站或司法機構的出入口(境)前，目的在於檢查進出旅客或人員是否攜帶危險(禁)品或爆裂物，以防止爆炸、槍擊、行兇及攜帶違禁品出入境等情事之發生。

由於近年恐怖份子攻擊事件屢屢發生，為因應防止類似事件(尤其是爆炸)於機場或飛機上發生，各先進國家、團體、安檢設備供應商，也紛紛制定更嚴謹的機場安全檢查機制及發展更先進、精密、快速的安檢設備。

台灣世曦工程顧問公司辦理桃園國際機場第三航廈新建工程的設計工作，其中旅客手提行李及旅客人身安全檢查為設計的一環，本文擬藉與安檢設備供應商接觸之了解及機場的

規劃需求，介紹機場旅客手提行李及旅客人身安全檢查先進安檢設備的功能與分類、安檢流程、配置的設計考量，以饗讀者及為設計作業之參考。

貳、安檢設備功能與分類

一、危險物品

機場設置安檢設備的主要目的，在於防止旅客攜帶危險物品入、出境，依據我國民航局「危險物品空運管理辦法」，危險物品計分為九大類，詳細規定如下：

2

專題報導

酒類	噴霧型乳液	尖銳類物品
		
鐵器類物品	棍棒類物品	刀、剪類物品
		

- (一) 第一類：爆炸物品。
- (二) 第二類：氣體。
- (三) 第三類：易燃液體。
- (四) 第四類：易燃固體、自燃物質、遇水釋放易燃氣體之物質。
- (五) 第五類：氧化物、有機過氧化物。
- (六) 第六類：毒性物質、傳染性物質。
- (七) 第七類：放射性物質。
- (八) 第八類：腐蝕性物質。
- (九) 第九類：其他危險物品。

上述九大類危險物品中，禁止旅客手提行李及人身攜帶的危險物品則如下：

二、安檢設備的分類

安檢設備依被檢查物的體積、用途、安檢標準，可做如下分類，詳述如下：

(一) 依被檢查物體積和應用領域分類

安檢設備可概分為大、中、小型設備，大型安檢設備主要用於貨物檢查，如貨櫃等；中型設備用於旅客行李和人身的檢查，小型設備則為可移動和攜帶的掌上型設備。

(二) 依設備用途分類

主要包括安全檢查、防爆處置、防恐等三類，其中安全檢查設備包括安檢機、安檢門(通過式金屬探測門)、手持式金屬探測儀、液體檢查儀、爆炸物探測器等，防爆處置設備包括防爆罐、防爆毯、機械手臂、爆炸物現場勘查設備、危險物品儲物罐等，防恐設備包括可攜式頻率干擾儀、毒氣探測儀等。

(三) 依安全檢查標準分類

民用航空服務對於安全檢查設備已訂有一套分類標準，依照歐洲民航會議(European Civil Aviation Conference, ECAC)的規定，手提行李爆裂物安檢設備標準分為4級(Explosive Detection System Cabin Baggage Standards C, EDS CB C)，分別為：

1. 安全標準1(EDS CB C1)：行李進入安檢設備前，液體、手提電腦、大型電子器具須自手提行李中取出，此類設備目前廣泛用於國際及國內各機場。
2. 安全標準2(EDS CB C2)：行李進入安檢

設備前，液體須自手提行李中取出，手提電腦與大型電子器具可置於手提行李中，目前已使用於國際先進機場及美國部份機場。

3. 安全標準3(EDS CB C3)：行李進入安檢設備前，液體、手提電腦、大型電子器具皆無須自手提行李中取出，此類標準之設備目前尚在試用階段。
4. 安全標準4(EDS CB C4)：與安全標準3類似，但具有較佳的準確率。

參、安全檢查流程與配置

機場旅客在證照查驗通關前，須完成手提行李與旅客人身安全檢查，其安全管制檢查之配置設計，說明如下：



一、安檢設備配置設計原則

安全檢查設備之配置設計，應能滿足下列功能，包括：

- (一) 安檢設備的配置數量，應滿足旅客流量、營運目標、服務水準。
- (二) 檢查功能應儘量完整，可偵測各種不同的危險品。

(三) 檢查結果應力求準確，減少失誤發生的機率，以節省人力與時間。

(四) 排隊等待區、安檢區(包括置放、取回行李所需空間)、護照查驗區之空間應充足，且注意旅客檢查動線之順暢如：規劃彈性便捷的排隊動線，設置旅客排隊等待的監視系統、提供旅客資訊(標示應注意事項或前進方向等)。

(五) 必要時，設置隨身衣物穿戴區(桌椅等)，便利旅客收拾整理，以避免發生瓶頸點。

(六) 檢查方法與過程，應顧及旅客隱私，避免造成旅客的困擾與不便。

(七) 安檢設備與安檢區室內空間的搭配，可考量整體建築美感，給予旅客溫馨親切的感受，去除以往冰冷嚴肅的印象。

二、安檢設備之發展趨勢

基於前述的需求及隨著科學技術的發展，安檢設備朝智慧與人性化的方向創新研發，改進旅客檢查措施和掃描設備，如多功能、非接觸、高靈敏度、自動化、遠距離監控等功能，以減少旅客開啟行李與摘除衣物飾品，以及特別檢查等作業，提高旅客的檢查效率與檢查速率。

三、手提行李安檢流程與設備

手提行李安檢流程與設備，可分為傳統型及先進智慧型，其檢查流程與設備說明如下：

(一) 傳統型手提行李安檢流程與配置

傳統型手提行李安檢流程與配置，如圖1，此類型設備配置較簡單、佔地面積較

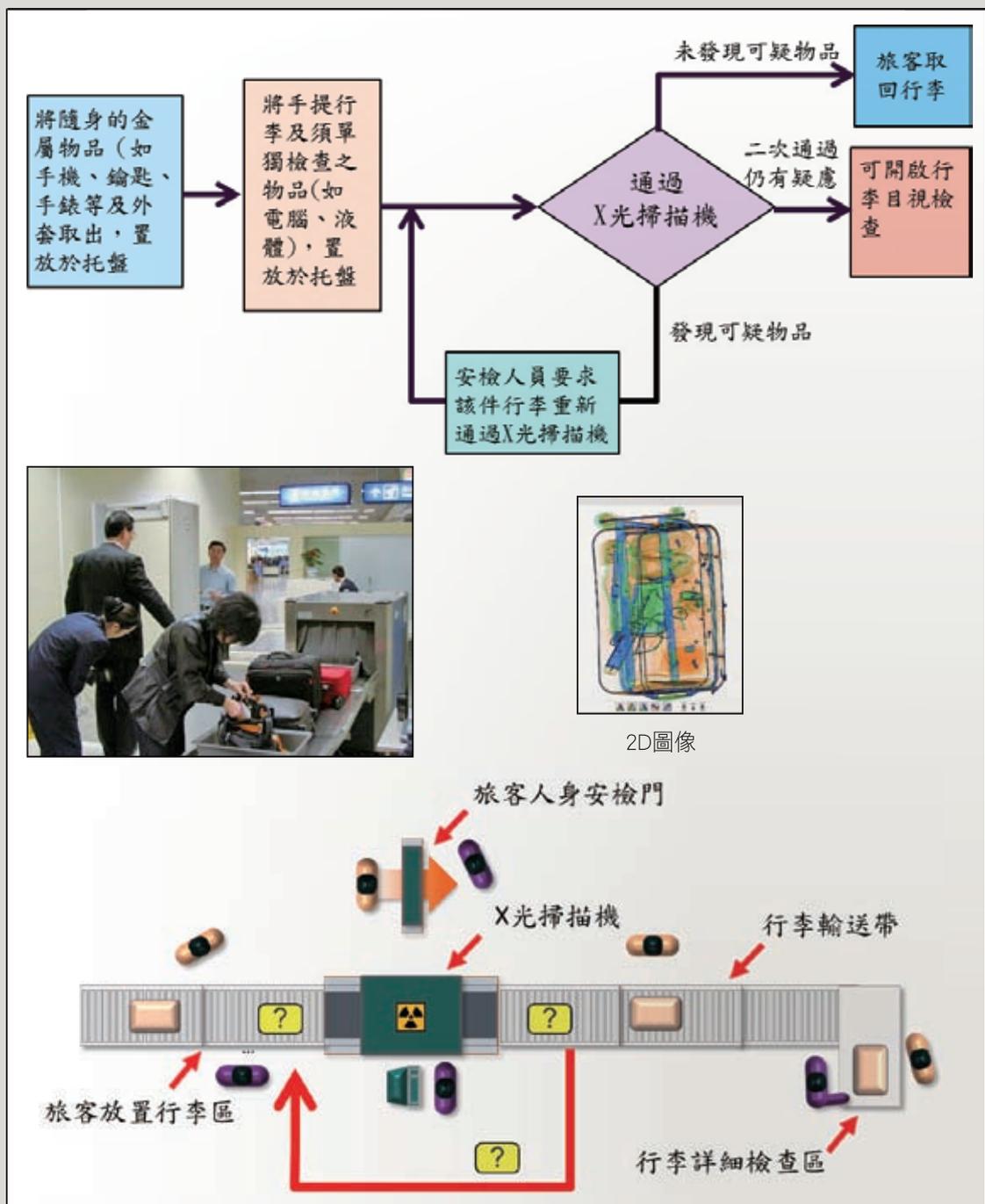


圖1 傳統型手提行李安檢流程與配置

小，但因為同時間僅有一位旅客在置放手提行李及隨身物品，檢查速率較低、在尖峰時間需開啟較多的安全檢查線，安檢人力需求相對較高。

(二) 先進智慧型手提行李安檢流程與配置

先進智慧型手提行李安檢流程與配置，如圖2，其安檢流程、設備特性如表2，此類型設備配置較複雜、所需配置面積較大，因為同時間可允許多位旅客置放手提行李(含隨身物品)、合格與不合格行李分流設計，手提行李檢查速率較傳統型高，

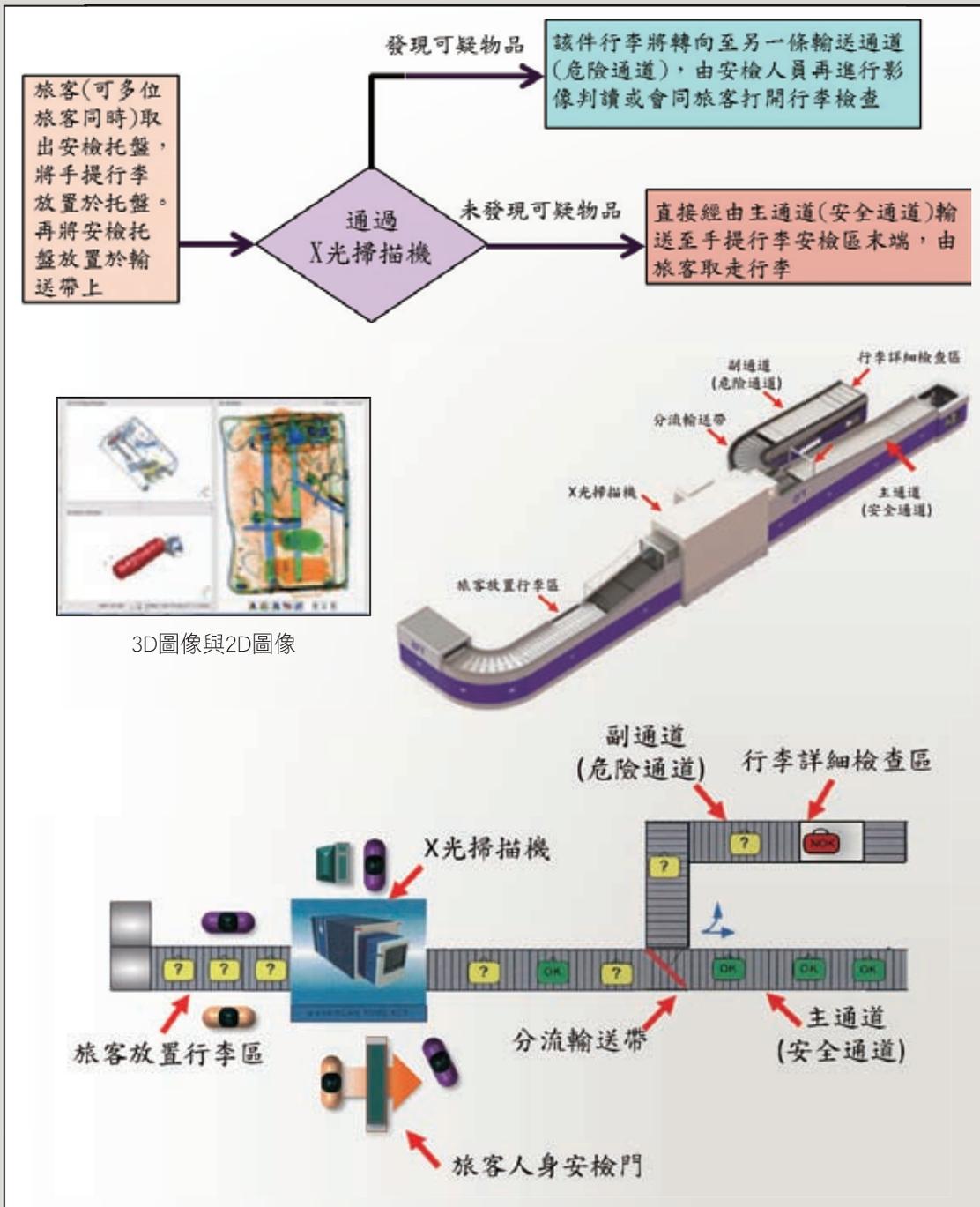


圖2 先進智慧型手提行李安檢流程與配置

在尖峰時間需開啟的安全檢查線較少，且旅客取走行李後的空托盤可自動回收，安檢人力需求相對較低。

傳統型手提行李安檢設備與先進智慧型手提行李安檢設備的特性比較，彙整如表1。

(三) 傳統與先進智慧型手提行李安檢設備比較

表1 傳統與先進智慧型手提行李安檢設備比較

傳統型手提行李安檢設備	先進智慧型手提行李安檢設備
<ol style="list-style-type: none"> 1. 採用C1或C2等級之X光掃描機，雖可透視行李的內容物，產生2D圖像，尚無法自動偵測確認，而必須倚賴安檢人員的判讀。 2. 需將單獨檢查的物品如筆記型電腦、平板電腦等電子設備先行取出。 3. 取出/重新放回須單獨檢查之物品重複檢查將會間接影響正常行李的安檢作業。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採用CT掃描機。 2. 利用3D斷層掃描技術，繪製出特定掃描物的細節圖譜，產生3D與2D圖像，可顯示爆裂物及位置，並可調整檢視角度，能夠提升檢出率，降低誤報率，並可自動示警。 3. 無需取出電子設備單獨檢查。 4. 盛放行李的安檢托盤可自動返回安檢區起點，以供後續旅客使用，安檢人員無需來回走動，將托盤送回起點。 5. 行李安檢影像可後傳至遠端安檢室，安檢人員可在安靜的環境中，集中注意力進行正確判讀，以提高處理效率。

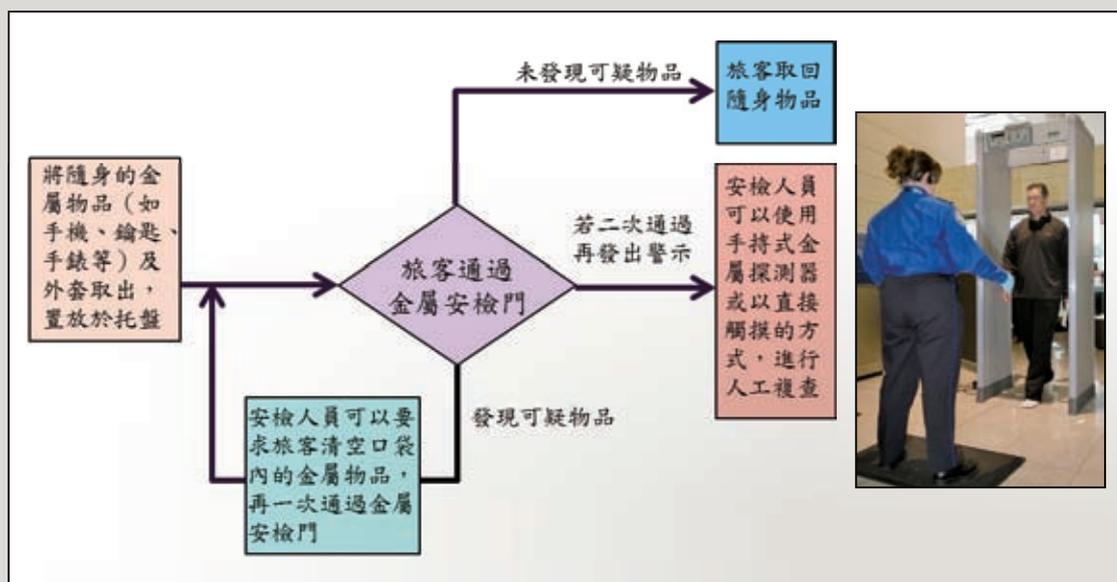


圖3 傳統型旅客人身安檢流程及配置

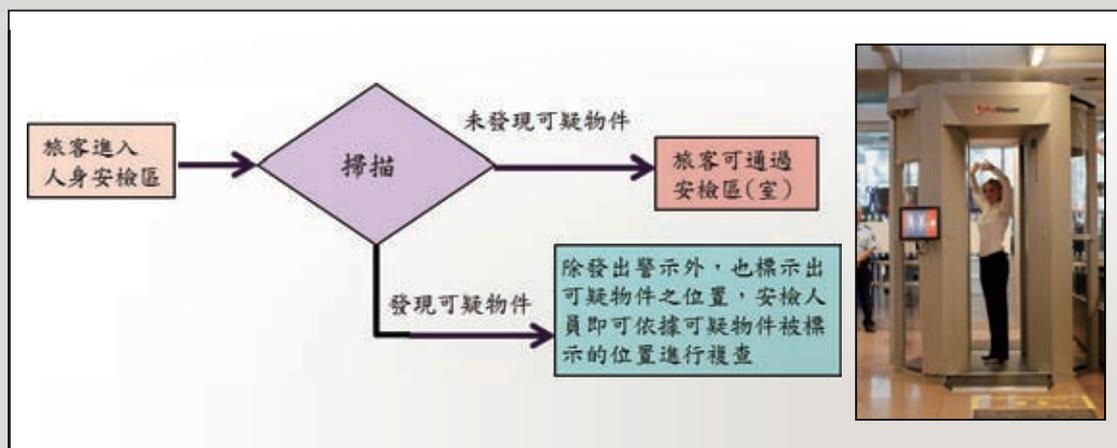


圖4 先進人性化旅客人身安檢流程及配置

表2 傳統與先進人性化旅客人身安檢流程與設備比較

傳統型旅客人身安檢設備	先進人性化旅客人身安檢設備
<ol style="list-style-type: none"> 1. 金屬安檢門僅能偵測金屬品，無法偵測非金屬物品。 2. 金屬安檢門雖能偵測金屬品，惟無法判斷金屬物件的形式與位置。 3. 旅客重複通過安檢門或脫鞋檢查，增加安檢時間，形成後續旅客的等待。 4. 直接觸摸的檢查方式，易造成旅客與安檢人員的困擾。 5. 對於有安裝類似人工關節的旅客，容易發生誤報，造成旅客的不便。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 身體掃描機利用低階能量X光之成像技術，對乘客進行掃描，穿透旅客身上的衣服，可發現其身體表面是否藏有爆裂物等危險品。 2. 可偵測可疑物件的型式，並標示位置，有利安檢人員複查。 3. 可以檢查非金屬的危險品。 4. 旅客檢查時，不必脫除外套。 5. 檢查時間只需數秒鐘，提升檢查作業能量。 6. 檢查人員可以減少或避免接觸旅客身體。

四、旅客人身安檢流程與設備

除了手提行李安全檢查流程與設備的改善與技術提升外，旅客人身安檢流程與設備也發展得更人性、更友善。

- (一) 圖3傳統型旅客人身安檢流程與配置
- (二) 圖4先進人性化旅客人身安檢流程與配置
- (三) 傳統與先進人性化手提行李安檢設備比較

傳統型手提行李安檢設備與先進人性化手提行李安檢設備的特性比較，彙整如表2。

肆、結語

旅客手提行李及人身安全檢查除注重功能，使用先進安檢設備外，新近之國際機場如新加坡樟宜國際機場、荷蘭阿姆斯特丹史基浦國際機場，也著重於安檢區域的整體設計，目的除滿足安檢功能外，也希望提供旅客舒適、人性化的安檢空間，讓旅客在無壓力情況下完成安全檢查，未來的桃園國際場第三航廈旅客安全檢查管制，將朝此方向設計，以提高機場整體服務水準。



參考文獻

1. 交通部民用航空局，「危險物品空運管理辦法」，2008年。
2. 徐皓庭，「出席航空保安(AVSEC WORLD)年會出國報告」，交通部民用航空局，2011年。
3. 洪文玲，「國際反恐法制之研究」，恐怖主義與國家安全學術研討暨實務座談會論文集，2005年
4. 黃子維，「機場系統規劃訓練課程報告」，交通部民用航空局出國報告，2011年。
5. 許義寶，「論人民出國檢查之法規範與航空保安」，國土安全與國境管理學報，2012年。
6. 歐洲民航會議(European Civil Aviation Conference, ECAC)，法規標準。
7. 美國運輸安全管理局(Transportation Security Administration, TSA)，法規標準。

智慧尋車與 智慧商圈系統 之整合應用與 未來發展趨勢

關鍵詞：Beacon、APP、智慧交通、車道口車牌辨識系統、停車位車牌辨識系統、自動繳費機、智慧商圈、行動支付、微導購

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／協理／馮道亨 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／副理／劉佳任 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／正工程師／吳旻憲 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／工程師／涂祐翔 ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／智慧系統部／工程師／楊惠茹 ❺

摘要 ABSTRACT

隨著科技的進步，停車場也變得智慧起來了！結合新科技，建置符合人性化需求的「智慧尋車」及「智慧商圈」服務，讓停車場管理有了新的創新思維，提供各項智能服務。台灣世曦在「府前廣場及松壽地下停車場增設場內資訊導引系統案」及「信義區智慧商圈停車場微導購實證案」等實作智慧尋車與智慧商圈系統之整合應用，兩案例改善停車場在場內資訊導引系統的服務，及商圈購物活動的資訊提供與導引服務，便利民眾找尋停車位與購物休閒活動。



壹、前言

智慧尋車與智慧商圈系統的概念是什麼？智慧停車場對使用者來說有那些不同呢？

以往，駕駛人在尋找停車場之停車空位時，通常只會在停車場入口看到停車場目前的總剩餘停車位數，若是有多樓層的停車場，並不一定在入場前有分層顯示空車位數。現在，智慧停車場將各個樓層的剩餘車位數，除完整呈現外(如圖1)，到達該樓層後如何知道那裡有停車空位？智慧停車場讓駕駛人可利用停車場分區顯示空車位(如圖2)，並依循車道天花板上的燈色，直覺的找尋空車位，綠燈顯示就表示該區有空位可以停車，停好車之後，燈號將透過上方的智慧型感應器，將燈色變為紅色，表示該區已無空車位，如圖3與圖4所示。這種直覺式的智慧找尋車位系統就是車位在席偵測系

統。對於停車場之營運方面來說，除可促進停車場資源有效運用外，亦提供民眾便利且優質之停車資訊服務。



圖1 停車場入口車位資訊顯示圖



圖2 停車場內車位資訊顯示圖



圖3 車位在席偵測系統顯示示意圖

	空車位狀態	滿車位狀態
一般車位		
身障車位		
親子車位		

圖4 車位資訊顯示示意圖



圖5 APP智慧尋車

除了智慧停車，亦要智慧尋車，利用場內建置車牌辨識與車位在席系統，整合記錄車輛影像與停放位置等資訊，充分展現「智慧交通」、「行車順暢」的理念。開車進停車場後不必再耗費時間繞行尋找停車位，取車時，亦

不用擔心忘了車子所停的所在位置，只要在繳費機、智慧尋車機或APP上輸入車號，即得以文字、2D或3D圖示顯示車輛停放位置，提升停車及尋車的便利性(如圖5所示)。

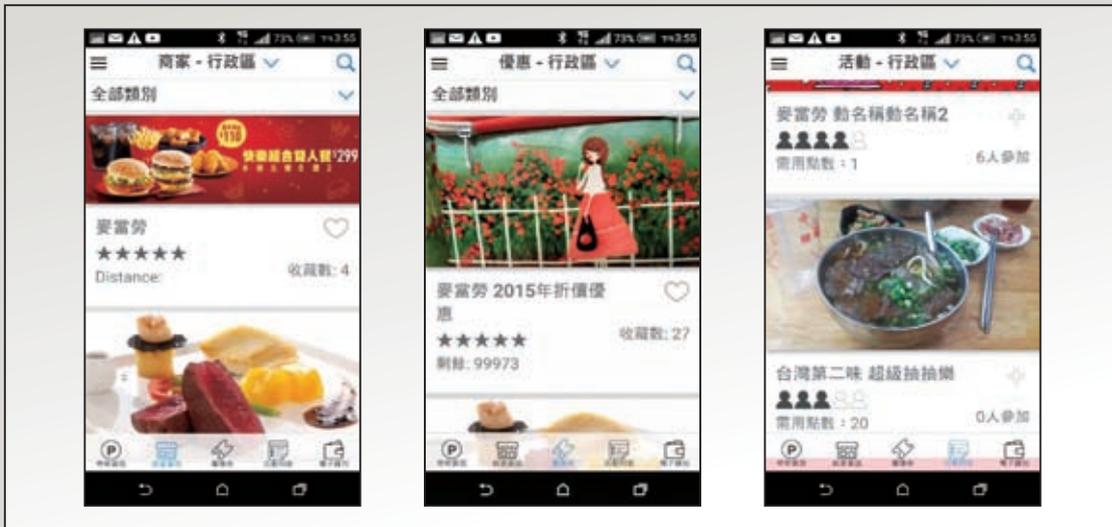


圖6 APP商場優惠訊息



圖7 車位在席偵測與尋車系統之系統架構圖

在停車及尋車都變容易了之後，出停車場後的消費或休閒活動，亦結合及提供APP幫助消費者！利用跟商圈合作，導入Beacon低功耗藍牙定位技術，消費者只要在手機安裝App，進入商圈後就能透過擴增實境瀏覽商家優惠訊息，可訂位、前往消費，如圖6所示。智慧尋車與智慧商圈系統之整合應用讓停車、尋車及消費都變得更便利、更智慧、及更富有創意！

貳、系統架構說明

一、車位在席偵測與尋車系統架構

車位在席偵測與尋車系統之系統架構圖如圖7所示，主要包含車道口車牌辨識與停車位車牌辨識。利用在席偵測攝影單元及車牌辨識功能，以執行車輛停放位置搜尋功能、車位使

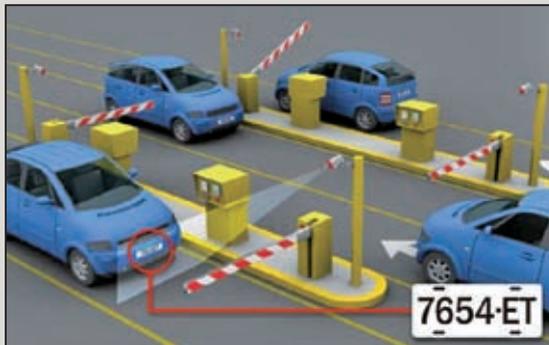


圖8 車道口車牌辨識系統圖



9 停車位車牌辨識系統

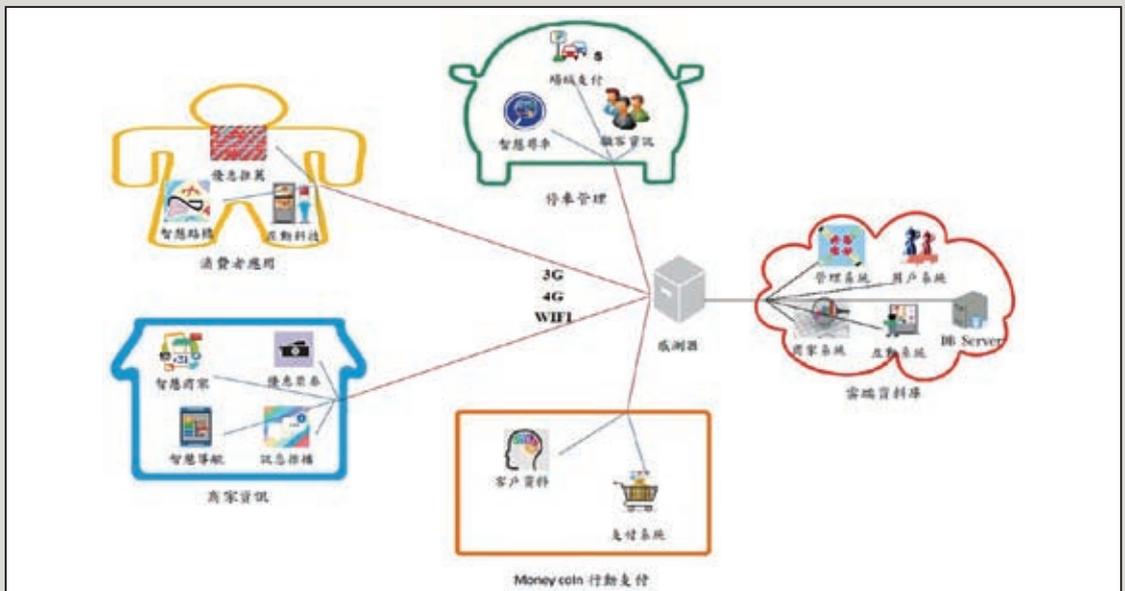


圖10 智慧商圈微導購系統架構圖

用監看、移動偵測、保全拍照及錄影等系統特性。以下分別就兩項功能說明：

(一) 車道口車牌辨識

車道口車牌辨識功能如圖8所示，使用影像辨識方式將攝影機架設於停車場的出入口，當車輛進入停車場時，系統自動取像辨識車牌，即時回報並儲存車牌辨識結果。

(二) 停車位車牌辨識系統

停車位車牌辨識系統功能如圖9所示，使用影像辨識方式偵測車位上有無停放車輛，再回報到相關的控制單元後連動。利用指示燈及統計空車位數執行導引解決方案。

二、智慧商圈微導購系統架構

智慧商圈微導購系統之系統架構圖如圖10所示，主要包含APP程式與Beacon低功耗藍牙定位技術。消費者只要在手機安裝App，進入商圈後就能透過Beacon低功耗藍牙定位與擴增實境瀏覽商家優惠訊息，可利用App訂位、前往消費。

參、系統項目及說明

建置車位在席偵測及智慧尋車系統之主要設備項目如表1所示，並說明如下：

伍、案例說明

本公司參與並實作臺北市停車管理工程處委託大日開發有限公司經營之「府前廣場與松

表1 車位在席偵測及智慧尋車系統主要設備表

項次	項目	說明
1	在席偵測攝影單元	裝設前應注意設置點前方是否有障礙物影響拍攝範圍及照明燈具燈光或日照因素造成攝影機過曝之影響，必要時應採行補償機制或選擇適當點安裝，並應依車格位調整適當角度。
2	現場影像微處理器	為在席偵測攝影單元影像處理裝置，以停車場樓層為單位計，可選擇分散於在席偵測攝影單元內，以網路線串接至樓層控制箱；或以區域方式設置HUB或POE SWITCH集結在席偵測攝影單元線路，再以網路線連結至樓層控制箱內配置超高速乙太網路交換器。
3	樓層控制箱	內附系統控制裝置，銜接現場在席偵測攝影單元影像微處理器及LED導引指示燈，並與管理室超高速乙太網路交換器相連結。
4	LED導引指示燈	指示燈將顯示設定區域內能停放車輛之停車位數量，並協助導引駕駛人至下一個可使用之停車格。
5	超高速乙太網路交換器	可設置於停車場管理室與樓層控制箱內，提供所有影像及數據等IP交換服務。
6	Beacon信號柱	提供室內定位與尋車導引所需訊號，大約10公尺安裝一組。
7	智慧尋車系統軟體	(1) 其應用程式可讓停車顧客以車號、時間、悠遊卡、停車票卡等四種不同方式查詢。 (2) 搜尋後相符/類似之車牌車輛以圖像清單方式列於搜尋結果頁面內。 (3) 系統於使用者確認車輛後，車輛所在位置定位地圖便會顯示在畫面內，以顯示車輛於場地內之所在位置。
8	中文圖控操作軟體及中央伺服器	(1) 中文圖控操作軟體可經由AP或WEB網頁介面進入系統，並提供統計資料及報表，以協助業主衡量停車場性能及收集停車行為分析。 (2) 中央伺服器，提供一完整控管、組態配置及管理系統之設定工具。具有模組，以控管單一停車格導引、區域在席偵測攝影單元、LED導引指示燈、車牌辨識及停車進階功能，可持續追蹤場內可使用停車格數，並且將前端回傳資料儲存及連線報表系統。中央伺服器硬碟容量需保留相當硬碟容量，提供位移偵測影像或照片自動存檔功能專用。
9	電力系統	系統設備電源均由專用分電箱引接，所需電力由UPS集中供應，並接至緊急發電機電源迴路。
10	車牌辨識軟體	(1) 具備辨識自用小客車、營業用小客車、小貨車之能力。 (2) 可辨識新、舊車牌。 (3) 可辨識特殊車牌：軍、使、外等特殊車牌。 (4) 可辨識250C.C.以上大型重型機車車牌。

肆、智慧商圈APP軟體設計

智慧商圈系統建置在開放網路環境之中，並以APP為操作介面，使用者可透過手機及平板電腦或是任何可使用APP的載體操作系統所有功能，APP軟體功能如表2所示。

壽地下停車場增設場內資訊導引系統案」及資策會創研所與大日開發有限公司所合作的「智慧商圈停車場微導購實證案」，以下將針對該案例之辦理情形做說明。

表2 智慧商圈APP軟體功能表

服務項目	場域特色與現況簡述	主要消費族群
智慧尋車	導入智慧尋車可解決場域過大所造成的取車困難。	18~65歲開車之民眾
即時上架推播	提供商家利用APP服務，快速給予最新優惠訊息。	簽約之商家
建立活動(優惠券)	為使商家能發展特色及服務升級，提供商家APP系統製作優惠券，吸引消費者。	簽約之商家
智慧導引	提供消費者導引服務，能更快速到達欲前往之商家，避免看路牌尋路又擔心迷路之窘境。	全年齡、全職業
互動科技	於場域內，使用優惠券小遊戲與硬體機台進行與消費者的互動連結。	全年齡、全職業
行動支付	提供金流平台，使消費者夠走到哪買到哪，不受時間及空間限制。	全年齡、全職業
資料分析	將鬆散的各项資料利用整合型的雲端資料庫做大數據分析，化為有用之資訊。	商家、業主
效益評估	將分析數據加以評估，給予停車場及商家作為改善營運、提升服務品質之依據。	商家、業主



圖11 府前廣場地下停車場進出口圖

一、府前廣場停車場增設場內資訊導引系統

府前廣場停車場位於松壽路一號，介於基隆路、松壽路、市府路、松高路、仁愛路等路段間，分為主停車場與副停車場2部分，各地下2層樓，主副停車場間跨過基隆路連接，有松壽路2進2處、仁愛路2進1出、松高路1進1出、基隆路車行地下道1出等車輛出入口，共計2027個小型車停位，24小時全自動電腦計時收費。

臺北市停車管理工程處基於臺北市府前廣場停車場場地遼闊、車位數眾多、動線不夠明確等因素，為提供民眾對於該停車場停車位資訊的迫切需求，藉由「府前廣場停車場增設場內資訊導引系統委託設計及監造技術服務」之細部設計與建置，以改善該停車場在場內資訊導引系統的服務，系統建置完成後可提供一全場完整的停車場內資訊導引，便利民眾找尋停車位。如圖11、圖12及圖13所示。

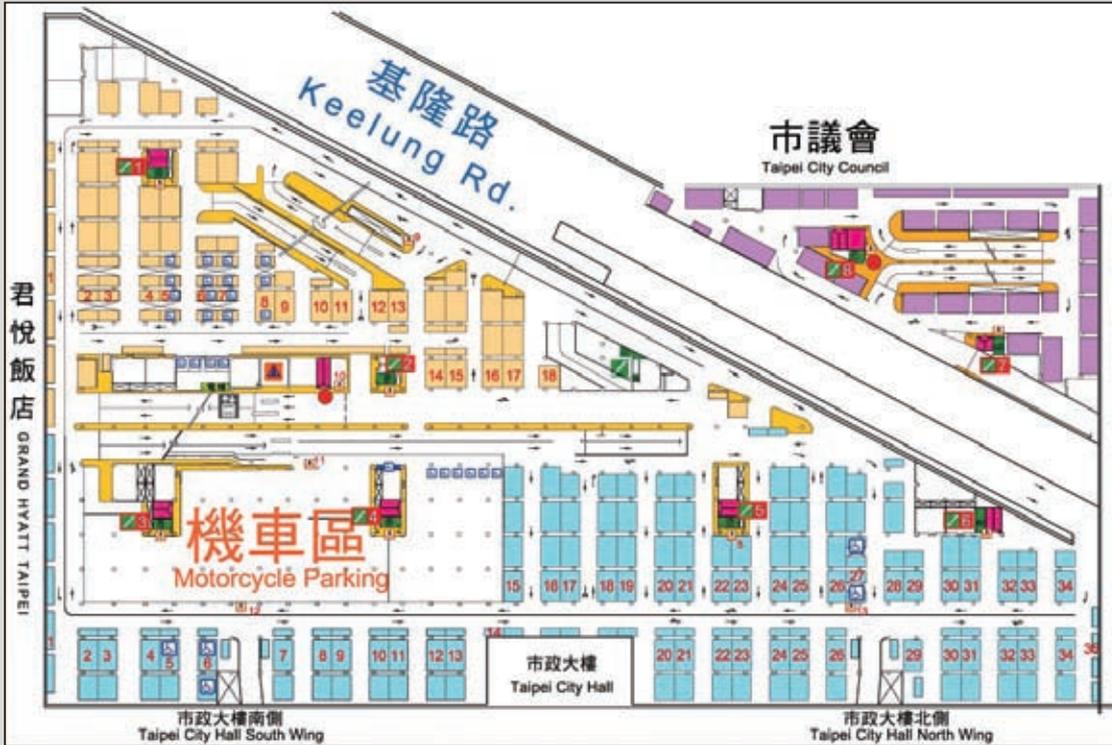


圖12 府前廣場地下停車場B1平面圖



圖13 府前廣場地下停車場B2平面圖

二、松壽地下停車場增設場內資訊導引系統

松壽地下停車場位於松智路，共地下3層樓，有松智路2進2出車輛出入口，共計440個車位，24小時全自動電腦計時收費。

大日開發有限公司為提供眾多駕駛人員便利之停車場停車位資訊服務，故於委外經營案中承諾，松壽地下停車場將增設場內資訊導引系統，以提升該停車場在場內資訊導引系統的服務，系統建置完成後可提供一全場完整的停車場內資訊導引，便利民眾找尋停車位。如圖14~圖17所示。



圖14 松壽地下停車場進出口圖

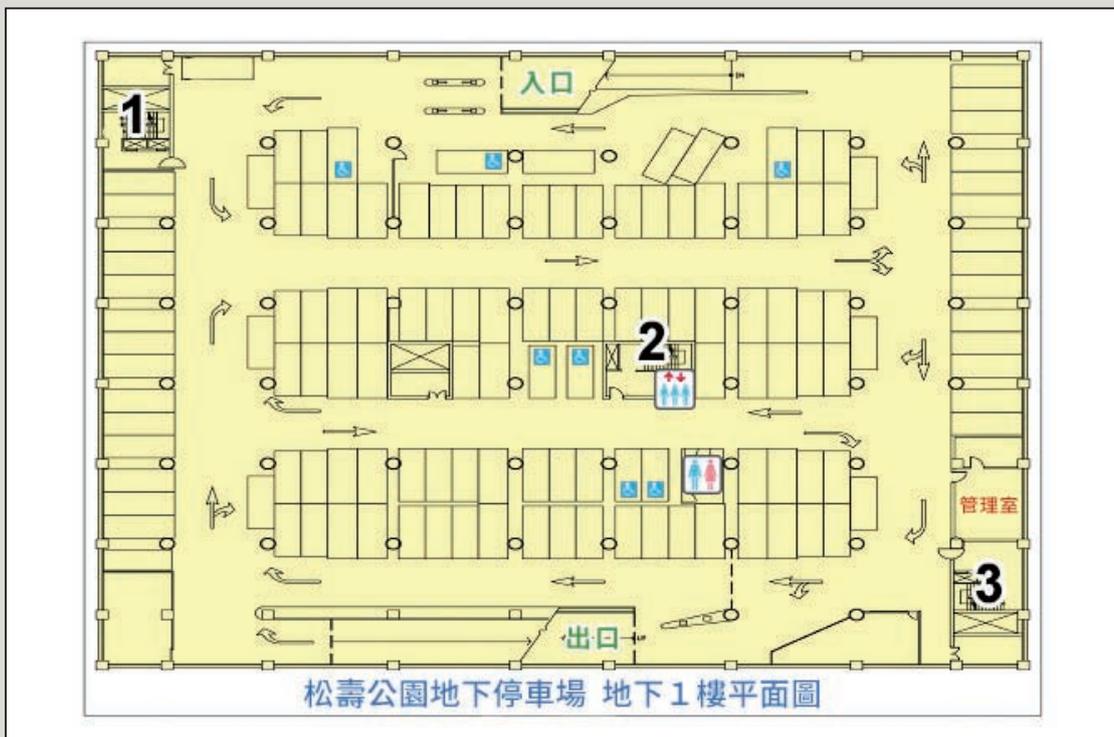


圖15 松壽地下停車場B1平面圖

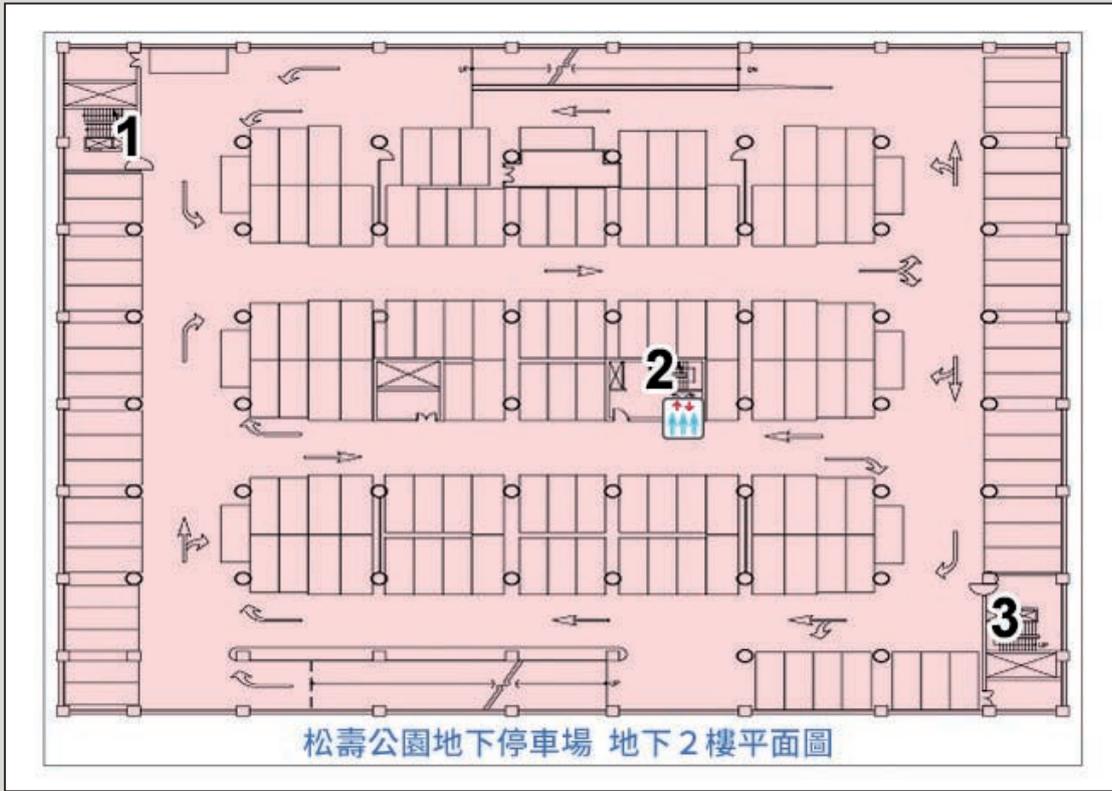


圖16 松壽地下停車場B2平面圖

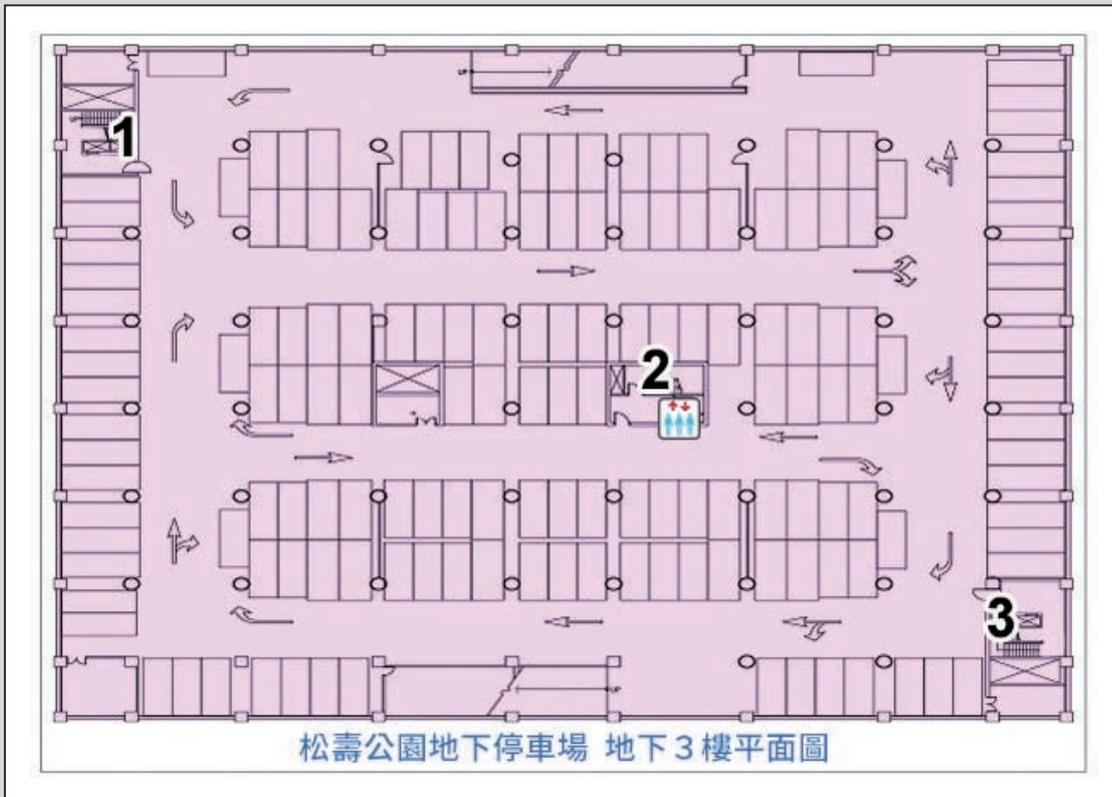


圖17 松壽地下停車場B3平面圖

本計畫規劃設計府前廣場停車場及松壽地下停車場內的資訊導引系統以「完整與準確的停車資訊提供」為整個計畫之最高目標，為達成此一目標，整個計畫在設計與建置過程中，掌握下列準則。相關完成後之成果如圖18～圖26所示。

(一) 有效的停車資訊導引

資訊導引標誌與停車位顯示燈是駕駛人尋找停車位最直接有效導引工具，系統除了提供正確的資訊外，更應配合車道現



圖20 智慧尋車安裝示意圖(二)



圖21 智慧尋車安裝示意圖(三)



圖18 智慧尋車查詢機示意圖(一)



圖22 智慧尋車畫面示意圖(一)



圖19 智慧尋車安裝示意圖(一)



圖23 智慧尋車畫面示意圖(二)



圖24 智慧尋車畫面示意圖(三)

況，於駕駛人的決策點佈設適當的資訊導引標誌，有效將駕駛人導引至停車位，以發揮最高效益。

(二) 高穩定度的系統運作

選用各項高品質的系統設備、有效的備援保護及防駭功能設計、保養維修制度



圖25 智慧尋車畫面示意圖(四)



圖26 智慧尋車畫面示意圖(五)

建立等方面加強，達到整體系統高穩定度運作。

二、智慧商圈微導購實證案

本案服務出發點為停車場場域，當車主開車進入商圈場域或社區時，最先接觸到的就是停車場，希望由停車場域延伸至周邊信義商圈之消費者，將傳統停車場建設為智慧化停車場，並運用人潮流量，將其轉化為對周邊商圈有效益之人流，藉由科技及載體，串聯信義區資訊網絡，讓智慧化停車場能夠提供智慧服務，進而形成智慧生活商圈，創造新的商業模式。

場域分為3大區域：(一)信義商圈 (二)府前停車場 (三)松壽停車場。

主要係將信義商圈與停車場、利用APP完成車位在席、尋車、場內導引(BEACON)、場外

導航至商家(GPS)、商家訊息、優惠券訊息、行動支付(MONEYCOIN)、分析結果(雲端系統)，使得商家資料與消費者行為與停車場資訊，不須透過多種程式只單一APP介接所有資訊與使用。在服務方面，服務系統分為智慧導航、即時上架推播、建立活動(優惠券)、智慧導引、互動科技、行動支付、資料分析、效益評估，以建立一個大型的系統雲，進而提供該場與未來相關事業體之參考。

微導購APP系統所設計之系統主要功能如圖27所示，包含停車管理系統、商家資訊系統、行動支付系統、消費應用系統及資料分析系統。相關建置完成後畫面示意如圖28~圖33所示。

陸、未來發展趨勢

本公司在停車場眾多服務案例中，一直缺

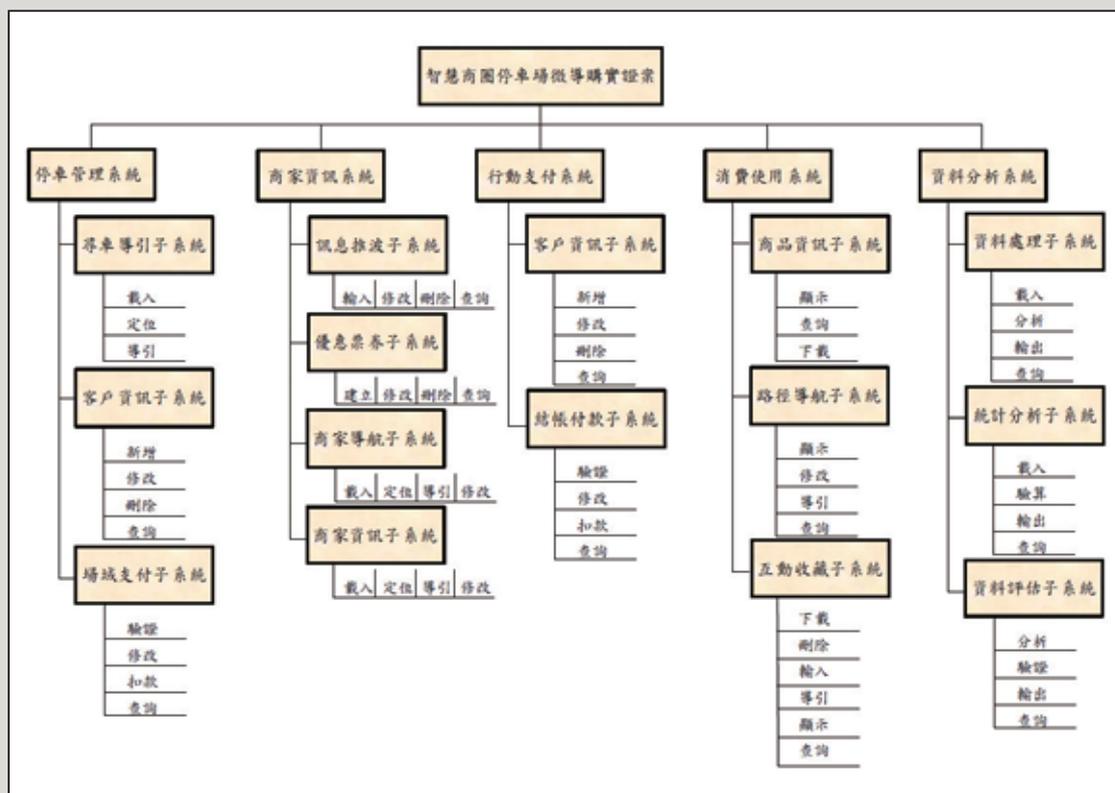


圖27 微導購APP系統主要功能圖



圖28 智慧商圈微導購畫面示意圖(一)



圖31 智慧商圈微導購畫面示意圖(四)



圖29 智慧商圈微導購畫面示意圖(二)



圖32 智慧商圈微導購畫面示意圖(五)



圖30 智慧商圈微導購畫面示意圖(三)



圖33 智慧商圈微導購畫面示意圖(六)

乏在席偵測與導引服務實績，為增加此業務機會，故本部積極爭取府前及松壽廣場停車場智慧尋車及車位在席系統工程案；且府前與松壽停車場隸屬台北市信義區市政府周邊兩座最大的停車場，尤其松壽停車場之既有停管設備及車牌辨識系統皆由本公司在民國99年建置，如今若再增設車位在席系統，及周邊商家整合APP及行動支付一併導入停車場，將讓本公司在服務應用與業務範圍更加擴大。

目前此開發之系統已有接洽台北市、新北市、桃園市、台中市與高雄市等地方業者，亦將推廣使用，及與大陸與馬來西亞等地方業者接洽安排中，對於公司未來可提升案件爭取的機會，並可獲得的實質利益。

柒、結語

本報告的完成，首應感謝各位長官這些日子來對於本計畫的愷切指導與鼓勵，謹此致上最誠摯的感恩與謝意。也要感謝智慧系統部長官對報告的斧正與指導，使得本報告得以更加完善，在此衷心誌謝。

本智慧尋車與智慧商圈系統能如期如質的完成，並獲得業主的讚賞，除有業主的指導，更感謝本公司長官給予特別的支持與協助，及智慧系統部張智強、程思翰、林富泰、呂金和等同仁，每天不辭辛勞的加班趕出來的成果，在此由衷的感謝。

參考文獻

1. 經濟部資訊工業策進會與大日開發停車場合作之「商區智慧聯網應用的商務模式實證類」之智慧商圈停車場微導購實證案，大日開發停車場，2014。
2. 台北市停車管理工程處委託大日開發停車場之「府前及松壽廣場地下停車場智慧尋車及車位在席系統工程」案，大日開發停車場，2014。
3. 臺北市停車管理工程處林森公園等3處停車場在席偵測及智慧尋車系統增設工程施工規範暨施工補充說明書，臺北市停車管理工程處，2014。



2

專題報導

離岸風力發電 系統規劃

關鍵詞：離岸風場(Offshore Wind Farm)、系統規劃(System Planning)、併網審查(Connection Review)、海纜(Submarine Cable)、風機附屬機電設備(Wind Turbine Subsidiary Electromechanical Equipment)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／經理部／資深協理／黃郁文 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／技術經理／黃渡根 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／技術經理／陳彥均 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／計畫經理／林俊傑 ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／工程師／陳育杰 ❺

摘要 ABSTRACT

台灣四面環海、天然資源蘊藏量有限，許多發電運轉所需原料皆來自於國外，為了進一步達到發電自主性與節能減碳目標，並因應全球氣候變遷加劇與永續能源開發利用，已致力於綠色再生能源開發，尤其以風力與太陽光電發電系統更顯茁壯。行政院即於101年2月核定「千架海陸風力機」計畫[1]，以「先陸域，後離岸」逐步推動風電產業由陸域轉向離岸發展，計畫將於114年前完成3GW離岸風場的發電量，更進一步於104年7月訂定「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」[2]，並公布36處潛力場址，以「先淺海，後深海；先示範，後區塊」作為風能發展走向。本文主要針對離岸風力發電系統規劃作業；包括風機系統建置規劃、系統併聯模擬、設備需求分析等重要課題，提出闡述與建議，以供參與離岸風力發電系統建置者參考。



壹、前言

迄今許多國內陸域風機場址已達開發飽和狀態，故紛紛轉向開發離岸風場，且在政府的積極推動下，陸續有數家開發商進行離岸風場建置。在建置離岸風場系統時，需考量許多領域、介面與系統之規劃。當決定開發前須先熟稔台灣再生能源開發條例，並依相關作業要點申請風場場址開發權利，並依照開發者與潛力風場現址的特性選擇適用的風機，研定開發風場設備容量，依照上述風場系統特性進行發輸電系統規劃、變電站與開關場方案研擬、海底與陸域電纜選用、以及相關附屬機電設施擬定，再進一步探討離岸風力發電系統與台電電力系統併聯之可行性、相關申請作業程序與配套措施。

貳、離岸風力發電系統作業法規及程序

開發離岸風場前，必須先行瞭解台灣再生能源設置的相關規定，本文列舉數個須遵循的法規，並說明法規與開發期程的應對性。目前國內與再生能源發電相關之規範如表1所示。

依據98年7月經濟部能源局頒布之「再生能源發展條例」[3]，「離岸風力發電系統」是為不超過領海範圍及設置於低潮位以外海域之離岸海域風力發電系統，其低潮線由中央主管機關公告為主。

100年7月台電公司頒布之「再生能源電能收購作業要點」[4]，依照不同型式之再生能源訂定不同收購作業要點，其中包含辦理併聯審查、初步與細部協商、簽訂購售電契約、辦理

併聯試運轉等作業項目，並附有再生能源電能收購作業參考流程。

102年4月台電公司再頒布「再生能源發電系統調度操作準則」[5]，明定發電業者發電機、開關操作之指令與執行方法、新設備加入或停止系統所需辦理事項，以及事故處理原則。

依據104年7月經濟部能源局頒布之「再生能源發電設備設置管理辦法」[6]，再生能源發電設備分成三型，如表2所示。依此管理辦法申請再生能源發電設備登記，經審查通過同意備

案後可獲得年度裝設容量分配，並依法取得電業執照，最後再依法申請施工許可，完成發電設備建置，其再生能源發電設備認定作業概要流程如圖1所示。

105年10月台電公司頒布「再生能源發電系統併聯技術要點」[7]，按發電設備總容量併接至適當的電壓等級作明確分類，並明定再生能源業者與台電公司之責任分界點，且提出風力機系統影響規範，包含故障電流、電壓變動率、暫態穩定度、功率因數、諧波管制、低電壓忍受能力、發電機組運轉規定以及通訊調度。

表1 國內有關再生能源發電之相關規範

規範種類	規範名稱
一般電力規範	電業法 自用發電設備登記規則 屋內線路裝置規則 屋外供電線路裝置規則 電氣承裝業管理規則 電業設備及用戶用電設備工程設計及監造範圍認定標準
再生能源規範	再生能源發展條例 再生能源發電設備設置管理辦法
台電規範	台灣電力公司再生能源發電系統併聯技術要點 台灣電力公司輸電系統規劃準則 台灣電力公司電力系統諧波管制暫行標準 台灣電力股份有限公司電壓閃爍管制要點 台灣電力股份有限公司再生能源電能收購作業要點 台灣電力股份有限公司再生能源發電系統調度操作準則

表2 再生能源發電設備類型表

類型	說明
第一型	指電業依電業法規定，設置利用再生能源發電之發電設備。
第二型	指依電業法規定，設置容量在五百瓩以上並利用再生能源發電之自用發電設備。
第三型	指太陽光電發電設備，裝置容量不及五百瓩並利用再生能源發電之自用發電設備。

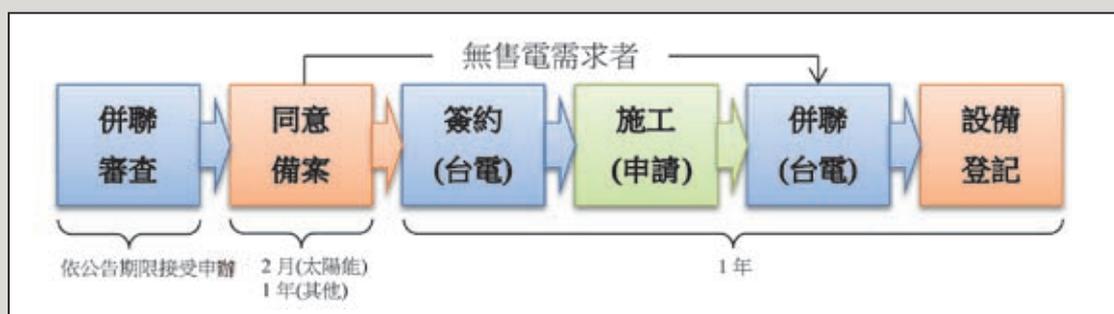


圖1 再生能源發電設備認定作業概要流程

參、風力發電機組及系統架構評估選定

一、雙饋式感應發電機組

開發離岸風力發電系統最重要的是風力機種選用，現今大多採用雙饋式感應發電機組(double fed induction generator, DFIG)，如圖2[8]。主要組件為感應發電機組(induction generator, IG)、齒輪箱(gearbox, GB)、背靠背式轉換器(back-to-back converter)、升壓變壓器等，其感應發電機作為主要電能輸出，齒輪箱是將風力機軸承轉速提升至發電機額定轉速，背靠背式轉換器中電源側轉換器(grid-side converter, GSC)負責維持直流匯流排電壓；轉子側轉換器(rotor-side converter, RSC)負責調整轉子端激磁，並利用直交軸轉換原理控制定子端的功率輸出，升壓變壓器負責將風力機電壓由690伏特提升至33千伏特，再與電網併聯。

未來離岸風場的單機設備容量、設置水深及離岸距離都逐漸增加，且近年全球離岸風電市場逐漸採用單機設備容量5 MW之風力機為主流，更有持續增大趨勢，以經濟部能源局公告的台灣離岸風場潛力場址而言，評估台灣西海

岸氣象條件、構造設計、施工條件、價格以及維護難易等因素後，選取單機設備容量2MW至6MW之風力機組較為適合，彙整現行常見風力發電機組如表3[9]所示，風力發電機組之國內外相關設備標準如表4所示，現有離岸風力發電機組佈設實景，如圖3[10]所示。

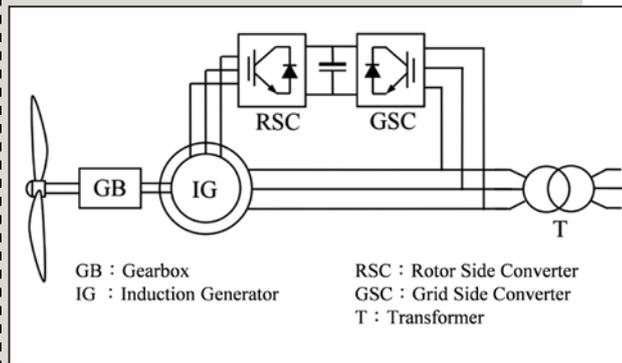


圖2 雙饋式感應發電機組構造示意圖[8]



圖3 離岸風力發電機組佈設實景[10]

表3 離岸風場常見之風力發電機組[9]

廠商	型號	額定容量 (MW)	IEC Class	風速範圍 (m/s)	葉片長度 (m)	葉片覆蓋直徑 (m)
Siemens	SWT-3.6-120	3.6	1A	4-25	58.5	120
	SWT-4-130	4	1B	4-25	63.45	130
	SWT-6-154	6	1A	3-25	75	154
Vestas	V136-3.45 MW	3.45	1B	3-25	54.65	112
	V164-7.0 MW	7	1B	5-25	80.4	164
GE	Haliade150-6MW	6	1B	3-25	73.5	151
	GE 4.1-113	4.1	1B	3.5-25	54	113
Enercon	E112/4500	4.5	-	2.5-28	52	114
AMSC	Wt5500df	5.5	-	3.5-30	-	140
AREVA	M5000-116	5	1B	4-25	56	116
Hitachi Ltd.	HTW 5.0-126	5	S	4-25	-	126

表4 風力發電機組之國內外相關設備標準

IEC		UL	JIS	GB		CNS
61400-1	61400-25-1	2277	C 1400-0	2658	25386.1	15177
61400-2	61400-25-2	2353	C 1400-11	19960.1	25386.2	15176-1
61400-3	61400-25-3	2390	C 1400-11	19960.2	25387.1	15176-2
61400-11	61400-25-4	2736	C 1400-21	20319	25387.2	15176-11
61400-12	61400-25-5	6140		20320	25388.1	15177
61400-13	61400-25-6	6141		21150	25388.2	
61400-14	61400-26-1			21407	25427	
61400-21				22516	25426	
61400-22				25383	25458	
61400-23				25384	10760.1	
61400-24				25385		

二、離岸風場系統架構

現行大型離岸風場有數種連接架構，在相互風力發電機間或離岸風場與電力系統間有不同的連接架構，此連接架構的選用取決於開發業者對供電可靠度、工程施工難易度、現地氣候環境及投資效益之評估結果。

(一) 風力發電機間連接種類

單一風力發電機組於本身塔內之升壓變壓器，將電壓提升至33kV後，再利用中高壓海纜系統相互連接，其海纜路徑集電與布局方式可分為單迴路、雙迴路及環形

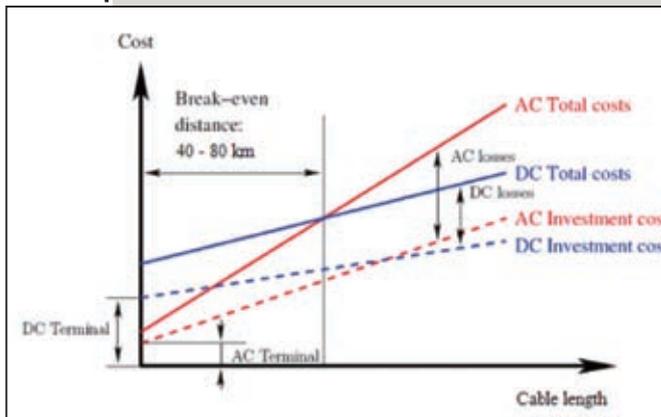


圖4 HVAC與HVDC建置成本差異圖[12]

迴路等方式，其佈設方式、投資成本、可靠性比較如表5[11]所示。

(二) 離岸風場至電力系統連接種類

離岸風場將電能傳輸至電力系統有幾種方式可供選擇，全球離岸風力發電場案例可分為三種方案：

1. 方案一：以海底電纜採串聯形式連接各風力發電機組，並直接銜接至陸上變電站。
2. 方案二：於海上自設高壓變電站，並集中該風場各迴路所有風力發電機組，再透過升壓變壓器提升電壓等級，最後採HVAC方式以較少數量之海底電纜連接至陸上電力系統。
3. 方案三：與方案二相同，惟改採HVDC方式傳輸。

其三種不同方案之比較，如表6所示，其HVAC與HVDC建置成本差異[12]，如圖4所示。

表5 風力發電機間集電線路比較表[11]

連接方式	佈設方式示意圖	初期投資成本	供電可靠度
單迴路		低	低
雙迴路		高	高
環狀迴路		中	中

表6 離岸風場不同傳輸電能方式比較表

傳輸方式	傳輸方式示意圖	初期投資成本	維修成本
方案一		中	高
方案二		高	中
方案三		最高	高

肆、變電及輸電系統研析確定

一、變電系統架構

離岸風力發電變電站型式可分為海上與陸上變電站二種方式，若風場距離自設變電站位置過遠(約15km以上)，長距離輸電線傳輸將產生電容效應而造成損失並降低送電容量，需設置離岸變電站。離岸變電站依系統可以分為HVAC與HVDC，其面積最大分別為30,000m³與180,000m³，由該面積差異可知，因DC有整流器等設備，故其所需面積增加，相對建設成本亦增加許多，海上變電站平台配置示意如圖5所示，實景如圖6[13]所示。

海上變電站平台面積依風場尺寸、離岸距離、電網形式、及人員使用與否有所差異，惟設計需考量設備搬運與人員等需求。相關設備包含氣體絕緣開關(gas insulated switchgear, GIS)、變壓器(transformer)、高壓開關(HV switchgear)、高壓併聯電抗器(HV shunt reactors)、中壓開關(MV switchgear)、中壓併聯電抗器(MV shunt reactor)、接地/輔助變壓器(earthing/auxiliary load transformers)、中性點接地電阻器(neutral earthing resistor)、柴油發電機(diesel generator)、低壓系統設施(LV-systems)、不斷電設備(UPS)、二次側設備(secondary equipment)。另因部分海上平台可供人員居住，故相關消防、空調等，仍不可或缺。相關離岸

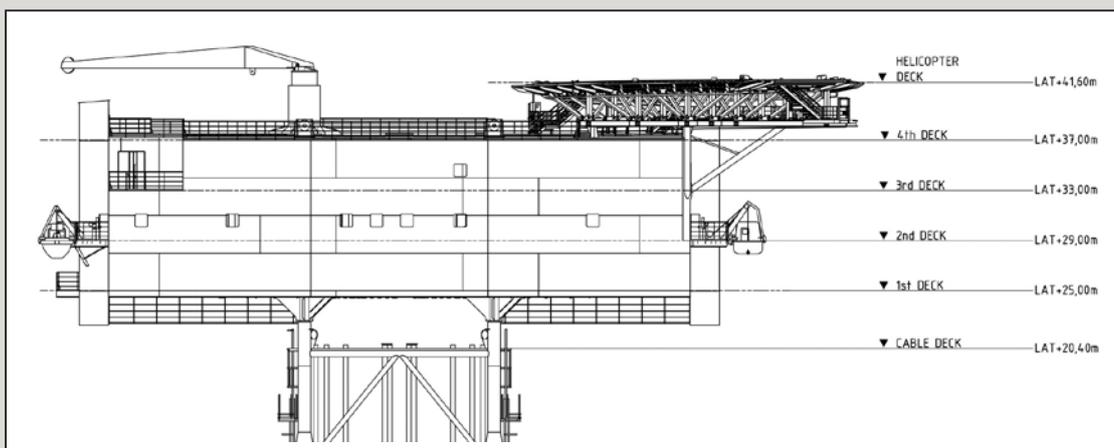


圖5 海上變電站平台示意圖



圖6 海上變電站平台實景[13]

變電站電力系統架構，可分為雙繞組變壓器與三繞組等，GIS部分則可分為Block connection、H-connection(single busbar with coupler without CB)等，變壓器吊裝與GIS配置實景如圖7所示，電力系統架構如圖8所示。

二、輸電系統

(一) 海底電纜構造及佈設

風機間連接或與自設變電站連接，需採用海底電纜構成輸電系統，考慮施工效



圖7 GIS配置與變壓器吊裝圖

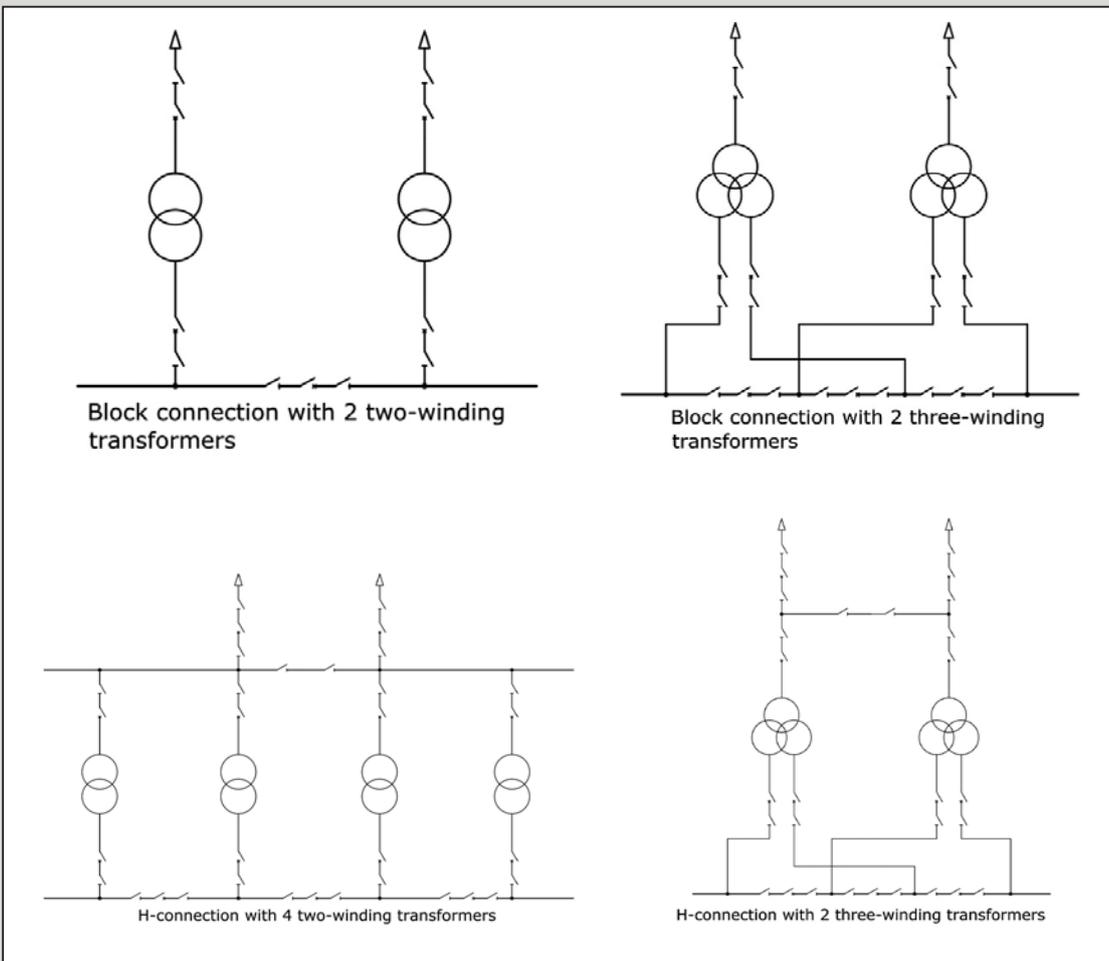


圖8 變壓器與GIS電力系統架構示意圖

率及成本，海纜採三芯交連聚乙烯(cross-linked polyethylene, XLPE)絕緣並附光纖，其導體材質以銅或鋁為主，海纜構造如圖9所示。離岸變電站之甲板可提供額外空間供短暫支援、電纜佈纜、置物空間、檢視電纜、維護及通訊等。

電網系統中需利用海纜將風力發電機及電網作連結，海纜檢視需特別注意要點如絕緣劣化、水樹現象、部分放電及周溫過熱等特性，如圖10所示。以海纜系統而言，可區分為Inter



圖9 高壓海纜構造

Array Cables及Export Cables，海纜系統示意圖如圖11所示。海纜導體有銅或鋁型式，銅材質具有優良的導電率，絕緣材質有XLPE及EPR等型式，XLPE具有優良耐電壓性能，海纜斷面圖如圖12所示。海纜之金屬遮蔽及鎧裝因考慮長距離感應電壓，一般均採雙端接地，如圖13所示。在海纜引入風機部分，一般而言會透過J-Tube裝置，考慮海纜彎曲特性，J-Tube管口內徑需大於2倍海纜外徑，相關角度及距離海床高度如圖14所示。

風力發電機組海纜佈放位置大致介於海平面下5至20m範圍，佈放前應做海床底質調查，以確定土壤與岩石分佈、強度特性與組成；另海底電纜路廊亦應有精確之聲納量測，以調查路廊沿線地形變化情形；另同時要確認潮汐之漲退潮流向及流速。海底電纜安裝於海床，必須承受多變之海象條件、張力變化與水氣入侵，造成電纜壽命降低等問題，所以於設計上必須考慮因素如下：

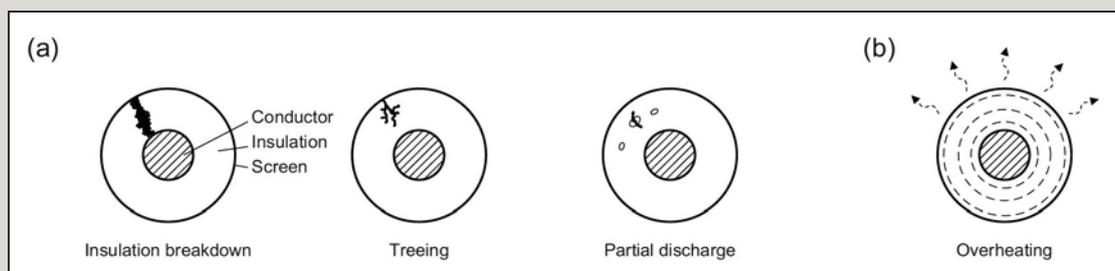


圖10 海纜檢視要點[10]

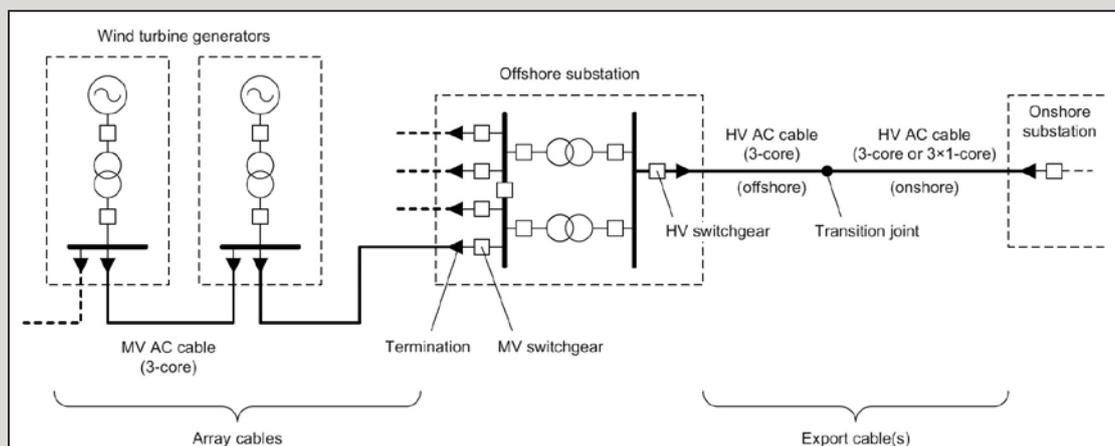


圖11 海纜系統示意圖[10]

1. 海底洋流所造成之張力。
2. 地形因素所產生之重力和張力。
3. 接頭必須考慮水氣與張力問題。

4. 海床起伏多變，海纜須依據特殊地形之衝擊設計海纜結構。

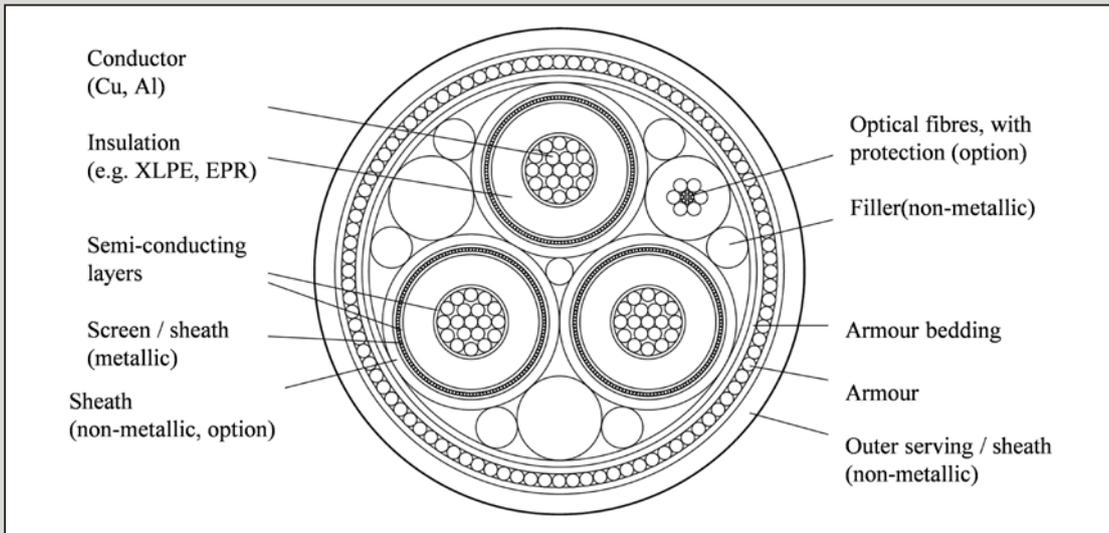


圖12 海纜構造斷面圖[10]

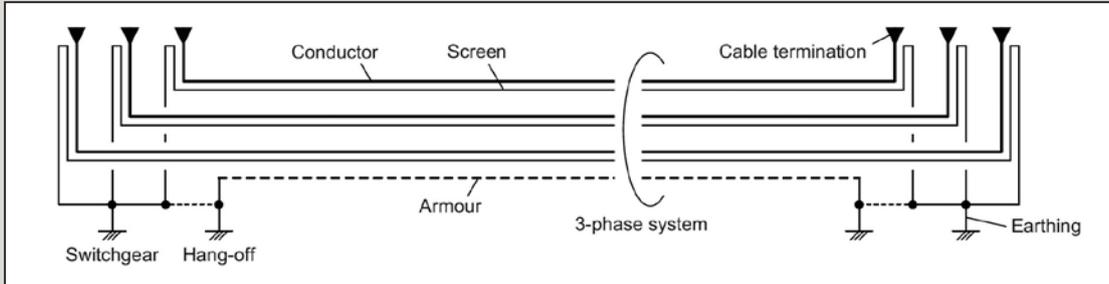


圖13 海纜系統接地圖[10]

▪ Design phase - Cable Interface at fixed offshore units

– Offshore unit - Interface design

– components:

- J-tube / I-tube (Fig.: Designs)
- Typical J-tube angle and distance values for array cables
- Seabed angle Height above seabed / Notes

45°	2.5 m ± 0.5 m	suitable angle for cable protection in a wide range of scour development cases
30°	2.0 m ± 0.3 m	compromise between 15° and 45° scenarios
15°	1.2 m ± 0.2 m	suitable angle for cable pull-in with no scour development or subsidence

(a)

圖14 海纜引入J-Tube管配置圖[10]

(二) 海底電纜試驗

1. 工廠試驗

海纜製造及檢驗相關項目，除一般例行性試驗(routine test)及抽樣試驗(sample test)外，為求謹慎，亦可委請國際獨立試驗室代表及第三者公正代表共同從事廠內測試見證，其見證試驗項目包含定型試驗

(type test)及長期老化(prequalification test, PQ test)二大部分，定型試驗部分依國際電網組織(International Council on Large Electric System, CIGRE) CIGRE189規範進行相關試驗。以33kV海纜為例，試驗項目如表7所示，長期老化試驗部分係依國際電工委員會標準(International Electrotechnical Commission, IEC)IEC 60840規範行相關試驗，試驗項目如表8所示。

表7 定型試驗(type test)試驗項目及內容

試驗項目及標準	試驗安裝示意
彎曲試驗(bending test)：雙向彎曲3次不變形(測試彎曲半徑： $\leq 20(d+D)+5\%$ ；其中D為電纜外徑，d為導體外徑)	
部分放電試驗(partial discharge test)： $\leq 10\text{pC}$ (at 33kV on the conductor)	
tan測量(tan measurement)： $\leq 0.1\%$ (at 33kV on the conductor)	
循環老化試驗(heating cycle voltage test)：受測電纜以8小時加熱，16小時自然冷卻週期循環試驗，試驗次數至少20次(at 33kV on the conductor)	
衝擊波耐壓試驗(impulse voltage test)：分別以正負極性電壓連續測試6次(at 170kV and at 130°C~135°C on the conductor)	
電纜系統外觀檢查(examination of the cable system)：電纜及電纜附屬器材外觀、尺寸、組合檢查	

表8 長期老化試驗(PQ test) 試驗項目及內容

試驗項目	試驗內容
循環老化試驗 (heating cycles voltage test)	1. 連續試驗8760小時(at 33kV and at 95°C~100°C on the conductor) 2. 受測電纜以8小時加熱，16小時自然冷卻之週期循環試驗。 3. 約使用100公尺之電纜作測試，須含各種電纜安裝單元，包括接續匣、終端匣等。
衝擊波耐壓試驗 (lightning impulse voltage test)	使用30公尺電纜樣本，分別以正負極性750kV電壓連續測試10次(at 750kV and at 95°C~100°C on the conductor)

表9 台電之再生能源發電系統併網容量與併接對象規範

併網容量	併接對象
未滿100kW	低壓單相三線110V/220V或三相三線220V或三相四線220/380V配電系統
100 kW以上且未滿500kW	三相四線220/380V配電系統
100 kW以上且未滿10MW	11.4kV配電系統
10 MW以上且未滿20MW	22.8kV配電系統
超過20MW	特高壓系統

2. 現場試驗

當海纜佈設後於安裝接續前，為驗證出廠後及施工過程品質，可參考CIGRE 171及189規範進行現場測試，如下列項次之(1)~(6)及(8)，其中第(5)項直流耐壓應以1kV維持1分鐘後量測金屬遮蔽被覆與鎧裝層間之絕緣電阻，經上述試驗無異狀後再進行海纜固定及接續匣安裝作業，並於完成安裝作業後辦理(6)~(8)試驗。其中第(7)項交流耐壓應以1.7倍 U_0 (系統對地電壓)持續1小時或1倍 U_0 持續24小時條件測試。

- (1) 導體電阻測量(conductor resistance measurement)
- (2) 絕緣電阻測量(insulation resistance measurement)
- (3) 電容測量(capacitance measurement)
- (4) 阻抗測量(impedance measurement)
- (5) 直流耐壓量測(DC test)
- (6) 相位識別測試(phase identifying test)
- (7) 交流耐電壓測試(AC test)
- (8) OTDR測量(OTDR measurement)

伍、系統併聯及模擬分析

一、系統併聯規定

台電「再生能源發電系統併聯技術要點」，對於包括風力發電系統在內的再生能源發電系統併網容量的規定十分詳細，如表9所示，其中規定發電設備容量未滿100kW者得併接在低壓單相三線110V/220V或三相三線220V或三相四線220/380V配電系統上；發電設備容量在100kW以上且未滿500kW者得併接在三相四線220/380V配電系統上；發電設備容量在100kW以上且未滿10MW者得併接在11.4kV配電系統上；發電設備容量在10MW以上且未滿20MW者得併接在22.8kV配電系統上；發電設備容量超過20MW者得併接在特高壓系統上，其併聯之電壓依個案檢討決定[7]。當民眾或企業有意承裝再生能源發電設備，並使該設備與台電電網併聯時，即需依相關規定向台電申請併聯審查作業，並向政府主管機關申請再生能源發電設備同意備案與設備登記作業，申請流程如圖15所示。

理論上，再生能源發電設備之併聯運轉必

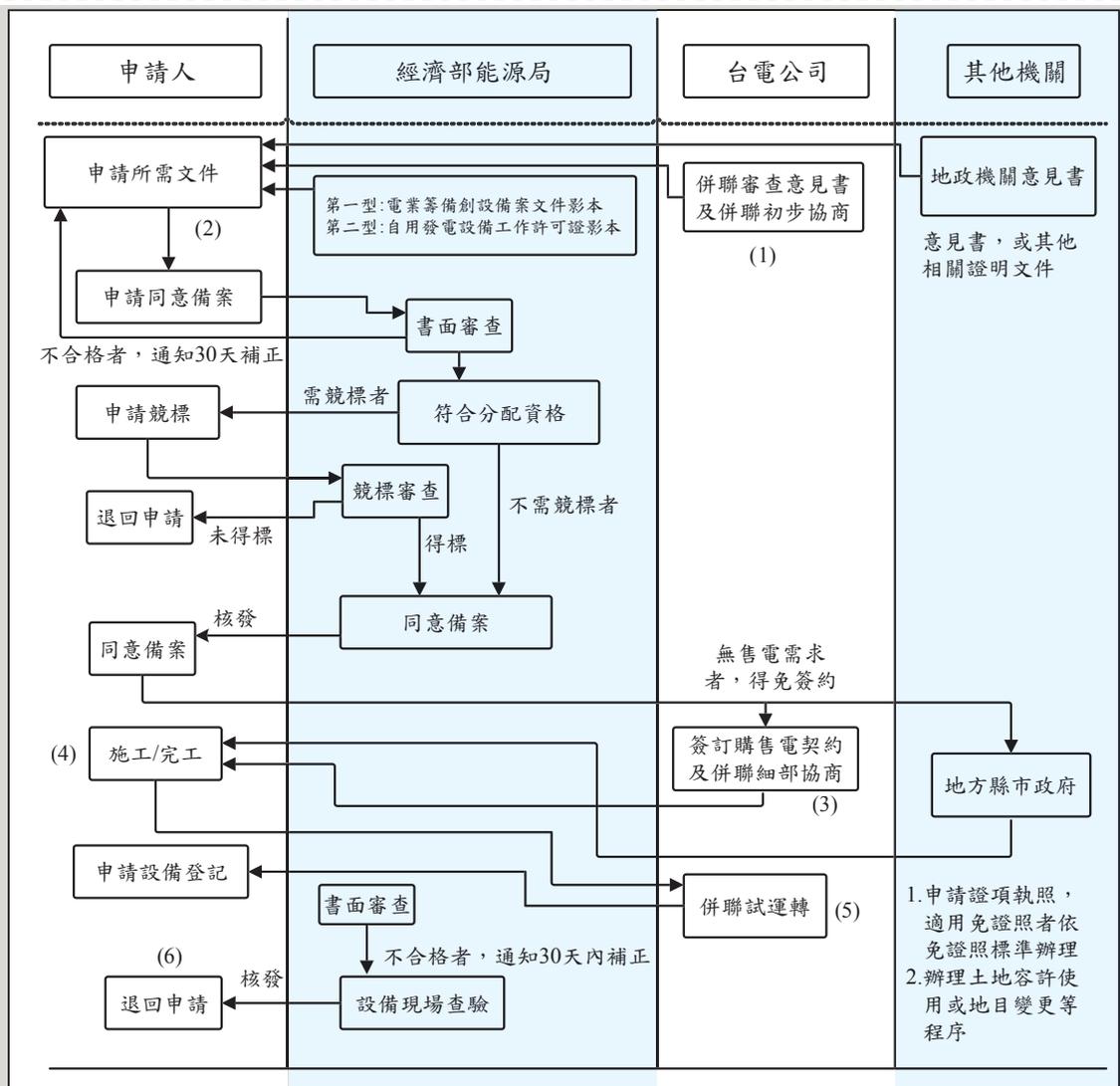


圖15 再生能源發電設備同意備案與設備登記作業之申請流程

然會對所併接之輸配電系統狀態造成改變，此一改變可能影響該輸配電系統之安全與效益，因此，必須藉由系統衝擊分析來瞭解系統所遭受之衝擊情況。但在某些情況下再生能源發電設備對輸配電系統之衝擊並不大，可予以忽略不見，以簡化前述之審查工作，加速再生能源發電之發展。國內有關可免除系統衝擊分析審查之規定與依據如下所述。

(一) 經濟部「再生能源發電設備設置管理辦法」[6]第六條第四項規定：第三型再生能源發電設備同意備案之申請人如無需與經營電力網之電業簽約躉購

電能，得免檢附併聯審查意見書。

(二) 台電「第三型(裝置容量不及500瓩)再生能源自用發電設備併聯作業須知」規定：申請併聯之再生能源發電設備，若採靜止型轉換器併接於高壓線路，裝置容量與併聯饋線既設再生能源發電設備合計總容量(含已准未併)在250瓩以下，且併聯點至變電所之線路長度(主幹線加分歧線)不超過20公里者，原則可免作系統衝擊分析(併接低壓系統，區處應另考量變壓器容量、導線線徑及電壓變動率)。惟併聯線路

基於系統運轉穩定、安全與可靠度考量(如饋線負載偏低或發電設備故障電流可能影響系統者)，仍須視狀況進行必要之系統衝擊檢討時，則應補送後再審。

除上述兩點之外，其餘者皆須依台電之相關規定進行系統衝擊分析工作並提出併聯審查申請。台電「第一型及第二型再生能源發電設備併聯作業須知」與「第三型(裝置容量不及500瓩)再生能源自用發電設備併聯作業須知」對於再生能源發電設備併網容量與併接對象規範彙整

表10 再生能源發電系統併網容量與併接對象規範

併網對象	第一二型再生能源設備 (500kW以上)
審查單位	併接於台電特高壓系統(輸電系統)者：系統規劃處 併接於台電高壓系統(配電系統)者：各區營業處
審查文件	再生能源發電系統併聯計畫 新增設用電及躉售電力計畫書 再生能源發電系統併聯系統衝擊檢討

如表10，系統衝擊報告書內容如表11所示。

二、系統衝擊分析

離岸風力發電系統衝擊分析前，需先取得風場併接點及風力發電機組基本資料，如表12及表13所示。其系統衝擊分析項目與方法需依台電「第一型及第二型再生能源發電設備併聯作業須知」[7]辦理，其電力系統衝擊分析檢討項目如表14所示，各項目規定需求如表15所示。

表11 系統衝擊報告書內容

項目	內容
概述	計畫緣起 廠址(含示意圖) 商轉年度 機組或發電設備型式 與台電併聯方式 電源引接方式 電源線導體種類 電源線回線數
系統衝擊檢討基本資料	台電系統資料 發電廠設備資料 發電廠系統單線圖 系統衝擊檢討項目
附錄	再生能源發電系統測試報告資料或商轉實績 風力發電電力品質測試報告，依IEC 61400-21附錄A格式辦理

表12 風場併接點資料

項目	風場併接點資料	項目	風場併接點資料
1	額定電壓	6	電網阻抗角 ψ_k
2	額定視在功率	7	最小三相故障電流
3	最大三相故障電流	8	最小三相短路容量
4	最大三相短路容量	9	斷路器額定電流
5	電網電抗/電阻比值X/R	10	斷路器額定啟斷電流

表13 風力發電機組基本資料

項目	風機基本資料
1	廠牌型號
2	發電機種類
3	數量n
4	額定功率 P_{nG}
5	一分鐘平均視在功率係數 P_{1min}
6	十分鐘平均視在功率係數 P_{10min}
7	功率因數(於最大功率) λ
8	功率角
9	額定電壓
10	風場於風機機艙高度之平均風速 v_a
11	連續運轉於 $\psi_k=85$ 度及 $v_a=8.5$ m/s之電壓閃爍係數 $C_i(\psi_k, v_a)$
12	起動於額定風速及 $\psi_k=85$ 度之電壓變動因數 $k_u(\psi_k)$

表14 系統衝擊檢討項目表

項目	電力潮流	故障電流	電壓變動及閃爍	暫態穩定度	功率因數	諧波管制	低電壓持續運轉(LVRT)
特高壓系統 (69kV以上)	✓	✓	✓	(適用於併接161kV且其責任分界點所歸屬之變電站匯流排合計發電設備之容量在100MW以上者)	✓	✓	✓(註)
配電系統 (22.8kV以下)	(適用於離島及獨立地區之高壓系統)	✓	✓	離島及獨立地區之高壓系統，應符合該地區之要求個案檢討	✓	✓	—

註：低電壓持續運轉(low voltage ride through, LVRT)目前僅檢討併接於特高壓系統之風力發電設備。

表15 系統衝擊檢討項目規格標準

項目	內容
電力潮流	允許逆送至特高壓系統之總計最大電力容量，以不超過併接於主變壓器額定容量之30%電源引接方式。
故障電流	故障電流不得造成台電公司及其他用戶斷路器之啟斷容量不足，否則應裝置限流電抗器，或負擔因此而更換之斷路器費用。 與高壓系統併聯者，其發電機組加入後，系統三相短路電流應小於10kA。
電壓變動及閃爍	1. 電壓變動:加計同一變電站或同一變壓器已核准併網電源之影響，不含系統背景值應維持高低各2.5%以內。 2. 電壓閃爍：負載變動次數每秒鐘1~3次，電壓閃爍須在0.83%以下。
暫態穩定度	1. 161kV以上系統，發電設備容量在100MW以上者，暫態穩定度不得降至規定值以下： (1) 345kV系統三相故障臨界清除時間以4.5週波為標準。 (2) 161kV系統三相故障臨界清除時間以12週波為標準，若8至12週波應採用兩套全線段快速主保護電驛 2. 併接於離島獨立高壓系統：系統穩定度應符合該地區之要求個案檢討。
功率因數	1. 功率因數具有96%滯後至98%超前運轉能力，並配合台電公司季節性負載特性調整設定。 2. 若併接於高壓以下得維持在100%。
諧波管制	符合台電「電力系統諧波管制暫行標準」之規定，如表16。
低電壓持續運轉	1. 低電壓開始時間(0.0秒)降低至額定電壓百分之15時，應持續運轉至少0.5秒以上。 2. 電壓恢復至額定電壓百分之90以上時，應持續運轉。 3. 電壓高於圖16之實線，風力發電設備應持續運轉。 4. 69kV特高壓系統以下不需檢討低電壓持續運轉。

表 16 台電諧波電流失真率標準

I_{sc} / I_L	各奇數級諧波之限制值					THD (%)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
20以下	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20~50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50~100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100~1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
1000以上	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

註：1. 本標準適用於3.3-22.8kV系統。
 2. 偶次諧波為上述限制值之25%。
 3. 對於34.5V-161kV系統為上述限制值之50%。
 4. 自備發電設備之用戶一律採用 I_{sc} / I_L 小於20之限制值。
 5. 表中 I_{sc} 為用戶責任點之短路電流值。 I_L 為對既設用戶取12個月最大負載電流平均值；新設或增設用戶則取主變額定電流值。

三、模擬分析軟體

系統衝擊分析可藉由專業電腦軟體的模擬分析，方得以完整且深入探討再生能源種種特性及其對輸配電網之衝擊情形，目前市面上常見之電力模擬軟體如表 17 所示，每個模擬軟體各有優劣，使用何者協助其工作端視其需求而定。

一般而言，WASP被選用來分析風場風能之分佈情形與風力發電系統之發電特性。在系統衝擊分析部分，常用軟體係ETAP PowerStation、PSS/E、DigSILENT，可分析風場對輸配電系統之衝擊情形，經了解德國境內再生能源業者係以DigSILENT軟體為主，美國係以PSS/E軟體為

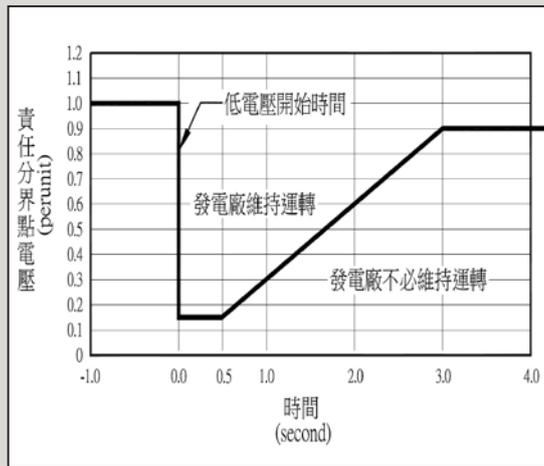


圖 16 風力發電設備低電壓持續運轉規定

主，國內台電公司亦以PSS/E軟體作為分析及審查工具。

表 17 目前市面上常見之電力模擬軟體

名稱	開發商	用途
WASP	丹麥 Riso national laboratory	風場氣象分析 風場發電量估算
ETAP PowerStation	美國 Operation Technology, Inc.	電力系統模擬
DigSILENT PowerFactory	德國 Digsilent Buyisa, Inc.	電力系統模擬
PSS/E	德國 Siemens Power Transmission & Distribution, Inc.,	電力系統模擬
PSCAD/EMTDC	加拿大 Manitoba HVDC Research Centre	電力系統動態模擬
CYME	美國 Cooper US, Inc.	電力系統模擬
OpenDSS	美國 The Electric Power Research Institute (EPRI), Inc.	電力系統模擬

陸、風機維修及附屬機電設備擬定

與陸上風場相比海上環境條件更加嚴峻，離岸風場設備容易遭受鹽霧、颱風與海浪等自然環境影響，風力發電機組、機械組件及電氣設施的故障與失效頻率會更加頻繁，所以需擬定維修計畫含維修人員編制、維修工具及船舶安排等項目，維修流程及執行方式如表18所示。

於維修時須仰賴相關附屬機電設備，以提升維修效率及便利性，不管風力機基礎樁為何種型態，皆具備基礎平台層，供相關附屬機電設施安裝與放置，意指單一離岸風力發電機組之機電設施大多設置於風機主體與基礎平台層兩處，其基礎平台層之附屬機電設備，須考量

表18 維修流程及執行方式

流程	執行方式
策劃	故障發生，監控中心接收警報信號，值班人員擬定維修策略、安排設備、維修人員及維修船舶
等待	設備、人員及設備就緒
航行	風浪情況穩定時
維修	維修班至現場維修
返航	維修完成返航

風力機安裝期與運轉期之需求，在施工階段有許多施工人員使用電動機具、氣動機具等，且工作環境可能會有易燃氣體產生，為風力發電機組維修運作所須具備之附屬機電設施須具備設備，如圖17所示。



圖17 風力機附屬機電設施

一、塔內照明及通風系統

風力發電機組為鋼構結構無開孔設計，僅人員進出孔作為對外出入通道，為了維持作業人員安全需具備塔內照明及通風系統，且照明系統需具有防水防塵能力，一般係參考CNS 12112供電站/輔助間之工作場所照明需求，照度採200lux，並採環形環繞方式擺設，依照工作場所面積與裝設高度計算後約需裝設三盞燈具，且燈具開關裝設於上層直梯旁為原則；因離岸風力發電機組座落於海上且內部為密閉空間，有沼氣生成疑慮，故通風系統需具有防火花及防爆功能，建議設置移動式鼓風機，其工作電壓應配合風力發電機供應電壓，且運轉功率至少為1/3馬力，方能使整個機電設施層符合通風需求。

二、工業插座及光纖通訊系統

插座系統主要作為塔內作業人員手持電動工具之電力來源，因作業空間為高鹽高濕環境，故此插座系統應具有快速銜接與防水防塵能力，建議可參考IEC 60309規範，如圖18所示，依據工作電壓、電流需求、所需針腳數目、IP67之等級進行設置，並設置於塔桶內壁上，每層設置二至三組，設置地點如圖19中左

側平面圖之11點及8點鐘方位；另光纖通訊系統主要橋接風力發電機組與岸上控制室之通訊系統，以利機組運轉條件回傳至岸上控制室作電力系統調度等。照明、插座與配電盤配置位置如圖19所示。

三、避雷接地系統

風力機塔柱之鋼質底部基礎層可視為接地棒，打入海床下約30公尺深作為接地極，再於底部基礎層壁上施作接地上引線銜接至塔桶層或供風機設施使用，最後於風機塔內各層設置接地箱供施工或設備接地，接地電阻值應小於10Ω，以利落雷順利藉由塔體經底部基礎層進行洩放。

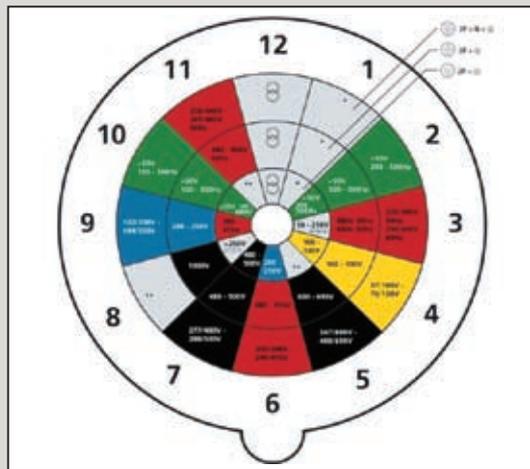


圖18 IEC 60309插座系統選型依據

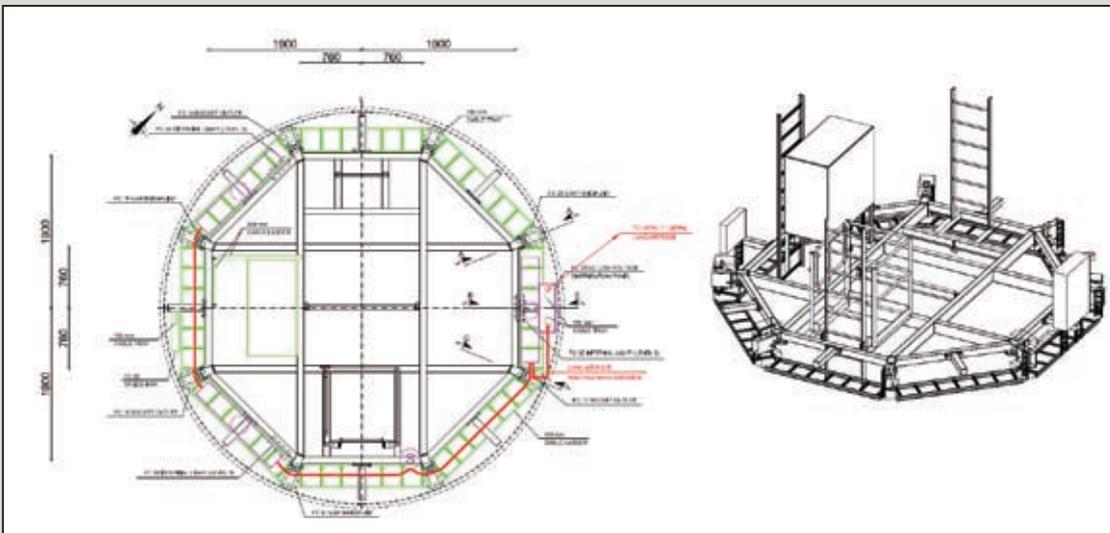


圖19 照明、插座與配電盤配置位置示意圖

四、平台吊具系統

此吊具主要作為風機內部相關構件、設備之吊搬用，並負責吊搬施工時期之設備、緊急發電機組、油料運補、以及運轉時期之維運設備，其吊車荷重約需1.5公噸，一般電源規格為3相690 V，運作功率約為6.8 kW。

五、航空警示系統

機艙頂應依「航空障礙物標誌與障礙燈設置標準」[14]設置必要之航空警示燈，風力發電機組之整體高度達特定高度時，須裝設可供360度環視之相同亮度障礙燈，其亮度等級應依所在地表或水面高度之規定進行裝設，且應同時閃爍或穩定發光，如圖20所示。

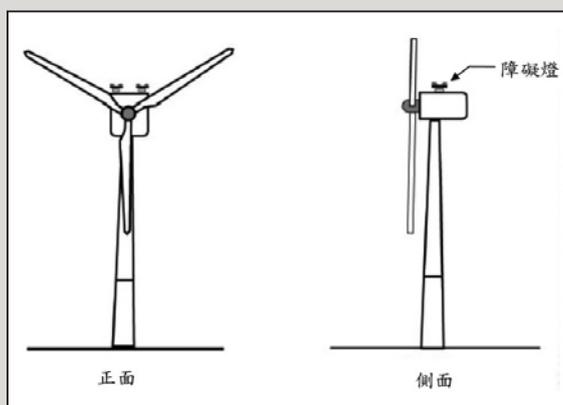


圖20 風力發電機組艙頂航空障礙燈[14]

六、航海警示系統

依據國際燈塔管理機構協會(International Association of Lighthouse Authorities, IALA)之相關規範設置航海警示系統，並於塔身圍籬部分設置標誌系統(ID marking)與航海霧笛系統(foghorn)作為航海警示，當裝設於風力發電機組之能見度儀(visibility meter)偵測雲霧程度達設定值時，隨即自動開啟霧笛，藉此告知周遭船隻注意設有風力發電機組，以確保海域公共通行安全。

七、移動式發電機組

在風力發電機組正常工作時，可透過風力發電供應其附屬設備使用，但於風力發電機組停止運轉、施工或維護期間，即需要一組移動式發電機組負責供應電力來源，一般採輸出功率100 kW、輸出電壓690 V設置，此發電機組將放置於風力發電機組之外平台，故需具有抗強風之進排氣百葉系統。此外，因後續發電機油料運補可能受限於維運港口之潮汐時間，當該港口於低潮恐運補船隻無法出航，故建議此發電機之油箱設置容量為100公升以上，以此發電機每小時耗油量24.5 L/hr為例，即可連續運轉4小時，且需視工期預先規劃油料運補計畫及發電機組吊卸作業程序。

柒、結語

離岸風場電力系統設計於國際上並無相關共通制式標準規範，僅DNV發行之相關離岸風場電力系統相關規範，包含變電站、電力設備及海底電纜等，於電力系統設計時可以引用且助益甚大。併網規設須瞭解台電之併網審查方式、依據與原則，然後針對風力發電對輸配電網之衝擊影響進行分析與探討。台電所訂立新的系統衝擊審查辦法，第一與第二類型之再生能源發電設備適用500 kW以上之系統衝擊審查辦法，審查項目包括電力潮流、故障電流、電壓變動及閃爍、暫態穩定度、功率因數、諧波管制與低電壓持續運轉等數項。各項系統衝擊分析結果不得逾越台電「再生能源發電系統併聯技術要點」以及其他相關辦法之規定，否則無法獲得併聯同意許可。

離岸風場電力系統，可分為風機配置、電網連結、海上平台與變電站、海底電纜、交流輸電系統損失補償、保護電驛、接地與雷擊、離岸風場監管系統等各子系統，為考量施工與

運維期間之便利性及作業效率，設置附屬機電設施有其必要性。

本公司有幸榮獲部分離岸風力發電開發業者青睞，擔任其開發案之技術服務顧問，開創國內離岸風力發電工程技術，作業期間承蒙風力發電開發業者及許多專業先進指導協助，與相關施工專業承包商協助配合，建置工程得予順利執行，謹誌謝忱。

參考文獻

1. 中華民國行政院，「千架海陸風力機」計畫，2012年2月，網址：<http://www.ey.gov.tw/>。
2. 經濟部能源局，「離岸風力發電規畫場址申請作業要點」，2015年7月，網址：<http://www.moeaboe.gov.tw>。
3. 經濟部能源局，「再生能源發展條例」，2009年7月，網址：<http://www.ly.gov.tw>。
4. 台灣電力股份有限公司，「再生能源電能收購作業要點」，2011年7月，網址：<http://www.taipower.com.tw/>。
5. 台灣電力股份有限公司，「再生能源發電系統調度操作準則」，2013年4月，網址：<http://www.taipower.com.tw/>。
6. 經濟部能源局，「再生能源發電設備設置管理辦法」，2015年7月，網址：<http://www.moeaboe.gov.tw>。

7. 台灣電力股份有限公司，再生能源發電系統併聯技術要點，2016年10月，網址：<http://www.taipower.com.tw/>
8. Fletcher, J., and Yang, J., “Intriduction to Double Fed Induction Generator for Wind Power Application,” University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom, 2010.
9. 4C Offshore, <http://www.4coffshore.com/>
10. DNV-GL, “Design of Electrical Systems for Offshore Wind Farms,” Training Course.
11. G. Quinonez-Varela, G.W. Ault, O. Anaya-Lara and J.R. McDonald, “Electrical collector system options for large offshore wind farms,” IET Renewable Power Generation, 1,(2), pp. 107-114, 8 February 2, 2007
12. Bram Van Eeckhout, “The economic value of VSC HVDC compared to HVAC for offshore wind farms,” Master thesis, Elektrotechniek Dept., Katholieke Universiteit Leuven, Heverlee, Belgium, 2008.
13. 中華技術103期，「離岸風力發電系統建置及併網系統衝擊分析研討」，2014年7月。
14. 交通部民用航空局，「航空障礙物標誌與障礙燈設置規範」，2002年8月。

導入建築資訊模型 (BIM)至三維空間基礎 建設(3D SDI)之研究

關鍵詞：BIM、3D SDI、IFC、CityGML

國立交通大學／土木工程學系／副教授／張智安 ❶

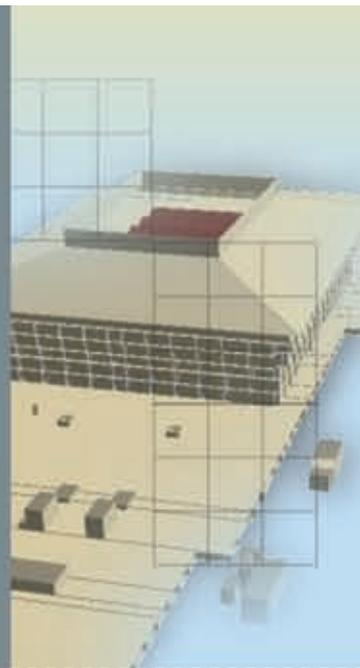
國立交通大學／土木工程學系／研究生／游斯丞 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／技術經理／林耀宗 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／工程師／李新卉 ❹

摘要 ABSTRACT

建築資訊模型(Building Information Model, BIM)具有高細緻度及富含語意資訊的特性；三維空間基礎建設(3D Spatial Data Infrastructure, 3D SDI)趨向儲存及管理地理空間資訊。兩者對於語意資訊及三維數位模型有著相似同的看法，藉由整合兩者，可改善各自的缺點並促進資料間的交互操作。因此，導入BIM至三維空間基礎建設為一重要研究。本研究提出了BIM/IFC(Industry Foundation Classes)模型與OGC CityGML模型間的直接轉換的策略。CityGML的轉換中包括：(1)建置BIM模型並匯出IFC資料格式、(2)轉換坐標至世界坐標系統、(3)幾何與屬性資料的轉換、(4)產製CityGML LOD4(Level of Detail, LOD)細緻模型。實驗結果顯示，CityGML三維細緻模型能自動化的從BIM/IFC模型進行轉換，結果顯示BIM模型的幾何、屬性及物件皆能正確並完整的導入成為3D SDI空間資料。



壹、前言

建築資訊模型之概念由Prof. C.M. Eastman於1970年代所提出(Eastman et al., 2011)，其概念為數位化建築資訊模型，從建案初期概念階段到最終拆除重建階段均可導入BIM，使建物模型的幾何與屬性成為建築物生命週期之數位資訊。由於BIM其具備數位化、物件化及參數化之特性，使工程專案易於協同作業，參與專案人員可清楚了解整體建築專案內容，並獲取BIM模型中各建物元件之數量等資訊，利用資訊傳遞與共享做為決策支援的重要依據。建築物導入BIM之優點主要包含：(1)協同作業促進資訊交流及共享，確保資料的一致性；(2)以數位建築物模型進行模擬及分析，降低工程作業可能發生的問題及衝突，避免人為計算造成之錯誤；(3)BIM可應用於建築物全生命週期，有效的利用數位資訊，提供後續設施維護管理完整之相關數位資訊。

BIM為國際間重要的發展趨勢，建物資訊模型具有高細緻度的特性，並包含建築物的三維幾何及屬性資訊。通過BIM可紀錄詳細的數位建築物模型，從空間資訊獲取的角度出發，以BIM產製的建築物模型可做為空間分析之重要三維空間資料。導入BIM至三維空間基礎建設(3D SDI)優勢為兼顧大量以大比例地形圖之基礎的都市等級建物及地標等級的精細BIM建築模型，整合不同來源、格式、以及性質的物件與屬性是3D SDI重要的研究課題(Basanow et al., 2008; El-Mekawy et al., 2014)。

從製圖的角度出發，以BIM產製的三維城市模型可提升模型建置的效能，並可提升細緻度。其優勢為兼顧大量以三維外型為主之都市等級的量體建物模型及地標等級的精細建築模型，並可串聯現有三维空間資料及細緻模型提供更多元的空間資訊服務，對國家空間資訊技術升級及產業發展可帶來顯著的貢獻及影響。

IFC及CityGML分別為BIM及SDI領域之開放標準，同樣作為開放標準，IFC與CityGML同樣具備對於建築物之表述。由於BIM/IFC與SDI/CityGML同樣以全三維、物件方式描述，並同為幾何與屬性的載體，將IFC之幾何與屬性轉換至CityGML，為BIM進入SDI提供良好的切入點。

依據OGC CityGML的規範，模型細緻度(LOD)可依資料富含程度與不同應用需求分為5種層級(Gröger et al., 2008)，數字越大代表模型之細緻度越高。LOD 0即為2.5D的數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)；LOD 1是由稜角建物與平面屋頂所組成的積木模型；LOD 2為具屋頂結構模型，不包含內部建築物件，僅是由外觀屋頂邊界沿屋頂滴水線向下所構成；LOD 3為外部建築模型，加入了開口物件的概念如門窗等，並更加強調建築細節；LOD 4為內部建築模型，通過增加內部結構的三維物體如房間、傢俱等完成建物內部模型的展現。CityGML使用不同LOD描述不同細緻度之建物模型，因此CityGML各LOD包含各類別的建物實體，參考國際研討會(Cheng et al., 2013)整理CityGML各細緻度模型所需實體如表1，此表格可做為後續IFC轉換至不同CityGML LOD之參考依據。

表1 CityGML LODs物件類別定義

建物實體	LOD 1	LOD 2	LOD 3	LOD 4
開口、窗戶、門	x	x	v	v
建築內部裝置(不可移動)	x	x	x	v
建築外部裝置(不可移動)	x	v	v	v
建物家具	x	x	x	v
內牆	x	x	x	v
天花板	x	x	x	v
地板	x	x	x	v
牆面	x	v	v	v
屋頂	x	v	v	v
基底面	x	v	v	v
閉合面	x	v	v	v
外天花板	x	v	v	v
外樓板	x	v	v	v
多重表面	v	v	v	v
縫合(GML)	x	v	v	v
實體(GML)	v	v	v	v
內部空間	x	x	x	v
屋頂	簡化為平頂	未簡化	未簡化	未簡化

美國建築師協會(American Institute of Architects, AIA)針對不同生命週期的使用需求，以完整度描述不同發展程度之BIM模型，BIM因應工程需求使用「完整度」(Level of Development)而非「細緻度」(Level of Detail)，BIM模型依發展程度可分為100、200、300、400及500等五個等級(AIA, 2008)，數字越大代表模型之完整度越高。各模型發展程度說明如下：LOD 100為概念可行性與規劃階段模型，具整體建築之面積、高度、體積、位置等資訊，以量體表示建物。LOD 200為初步設計階段模型，具近似數量、尺寸、形狀、位置、方向等資訊之模型元件。LOD 300為細部設計階段(Detailed Design)模型，具精確數量、尺寸、形狀、位置、方向等資訊之模型元件。LOD 400為施工階段(Construction)模型，具精確數量、尺寸、形狀、位置、方向等資訊之模型元件。模型中亦包含完整製造、組裝、細部施作所需之特殊設備。LOD 500為竣工及營運維護階段模型，具實際數量、尺寸、形狀、位置、方向等精確資訊之模型元件，與實體一致。

CityGML模型目前建置時，LOD 1模型主要利用大尺度地形圖萃取建物輪廓資料建置；LOD

2模型會再利用到航測立體對或光達資料建置屋頂面與提升高程精度；LOD 3模型的細部牆面結構則會使用近景攝影測量或地面光達技術建置；LOD 4模型的內部結構則需使用近景攝影測量、地面光達技術及平面圖進行室內建模。直接建置CityGML模型程序，隨著LOD等級越高，會花費越多的觀測資料、模型『建置』時間及人力成本；若轉換現有BIM模型則僅需要模型『轉換』的時間及人力成本。由BIM轉換至CityGML的概念是利用既有的BIM模型，

生產3D SDI所需的空間資料。此概念與大比例尺地形圖CAD檔轉換至GIS Shapefile檔的作業模式一致，可有效節省資料重新建置的成本。

近年來，空間資訊領域日益重視GIS與BIM之整合應用(de Laat and Van Berlo, 2011)。在BIM的不同階段，GIS可提供基地週邊的空間資料，GIS也可支援空間分析之功能及展示。GeoBIM(Geospatial Technology in Building Information Modelling)研討會分別於2014、2015、及2016年舉辦，會議議程亦討論BIM與GIS之整合及空間資訊的應用。本研究目的為發展導入BIM模型資料為3D SDI空間資料，探討自BIM的IFC格式，轉換至現今通用性較高的CityGML，提出直接轉換策略，主要包括：(1) BIM模型匯出IFC資料格式、(2)轉換坐標至世界坐標系統、(3)幾何與屬性資料的轉換、(4)產製CityGML LOD4細緻模型。

貳、BIM/IFC與CityGML關係建立

一、建立BIM/IFC與CityGML坐標系統對應關係

BIM/IFC及CityGML坐標系統分別為區域坐標系統(Local Coordinate System)及世界坐標系統(World Coordinate System)，因此兩者必須建立坐標系統轉換關係。由於BIM/IFC模型為工程營造所需模型，尺度參數為必要參數，故僅需求取3個平移量(dE, dN, dH)與1個旋轉角(κ)即可進行區域坐標至世界坐標的轉換，主要程序包含套合點量測及轉換，其中，套合點是指BIM模型轉換至世界坐標系統的轉換依據，是空間中同一個點在兩個不同系統的坐標。

(一) 套合點量測程序：BIM模型可能的來源有兩者，設計階段之BIM或完成階段之BIM(現實存在)。由於BIM為相對坐標

系統，若為設計階段之BIM，可直接給定建物專案點(Project Point)之投影坐標(E, N)、高程(H)及方位角(真北與專案北之夾角)，導出之IFC格式即將此資訊記錄於IfcSite物件之屬性中；若為完成階段之BIM，為求與實際建物相符，可於航測影像、數值地形圖或現地測量量取建物角點。

(二) 套合點轉換程序：使用套合點進行轉換參數解算，於BIM模型中給定該點3個平移量與1個方位角，據以建立三維正形轉換關係，將IFC轉換到世界坐標系統。坐標轉換如式1，(X, Y, Z)為BIM角點對應坐標，(E, N, H)為該點的世界坐標，可使用現地測量或其他測量方式取得世界坐標；未知數則為兩者間之轉換參數3個平移量(dE, dN, dH)、1個旋轉角(κ)及1個尺度量(S)。

$$\begin{matrix} E \\ [N] \\ H \end{matrix} = S * R(\kappa) * \begin{matrix} X \\ [Y] \\ Z \end{matrix} + \begin{matrix} dE \\ [dN] \\ dH \end{matrix} \quad \text{式(1)}$$

二、建立BIM/IFC與CityGML欄位對應關係

IFC轉換至CityGML需要兩個步驟：語意資料及幾何結構轉換，由於兩者具有不同的類別及物件定義(Isikdag and Zlatanova, 2009)，因此轉換可利用建築元件之欄位對應關係作為出發點。

在CityGML中，建築元定義分為四種細緻度層級，包含邊表面、可開關建築元件及建築裝置類別等(詳見表2)(陳雅信, 2010)。在IFC中，建築元件被定義於資訊交換層的IfcSharedBldgServicesElements與IfcSharedBuildingElements，其中IfcSharedBldgServicesElements提供31個實

體資訊，較偏向於建築物內部設施；而 IfcSharedBuildingElements 提供 47 個實體資訊，與建築物外觀成型較為相關(詳見表 3)(陳雅信，2010)。兩者之建築元件轉換關係整理於表 4。

表 2 CityGML 建築元件資訊 (陳雅信，2010)

CityGML 類別名稱	中文名稱	細微度層級
邊界表面類別		
RoofSurface	屋頂面	LOD2-LOD4
WallSurface	牆面	LOD2-LOD4
GroundSurface	建築物基底面	LOD2-LOD4
ClosureSurface	閉合面	LOD4
FloorSurface	地板	LOD4
InteriorWallSurface	內牆	LOD4
CeilingSurface	天花板	LOD4
可開關建築元件類別		
Door	門	LOD3-LOD4
Window	窗	LOD3-LOD4
建築裝置類別		
Room	內部空間	LOD4
BuildingInstallation	建築外部裝置(不可移動)	LOD3
BuildingFurniture	家具(可移動)	LOD4
IntBuildingInstallation	建築內部裝置(不可移動)	LOD4

表 3 IfcSharedBuildingElements 實體資訊 (陳雅信，2010)

IFC 類別名稱	中文名稱	IFC 類別名稱	中文名稱
IfcBeam IfcBeamStandardCase IfcBeamType	梁	IfcRailing IfcRailingType	欄杆
IfcChimney IfcChimneyType	煙囪	IfcRelConnectsPathElements	連接屬性
IfcColumn IfcColumnStandardCase IfcColumnType	柱	IfcRoof IfcRoofType	屋頂
IfcCurtainWall IfcCurtainWallType	帷幕牆	IfcSlab IfcSlabElementedCase IfcSlabStandardCase IfcSlabType	平板
IfcDoor IfcDoorLiningProperties IfcDoorPanelProperties IfcDoorStandardCase IfcDoorType	門	IfcStair IfcStairFlight IfcStairFlightType IfcStairType	階梯
IfcMember IfcMemberStandardCase IfcMemberType	支撐板	IfcWall IfcWallElementedCase IfcWallStandardCase IfcWallType	牆
IfcPlate IfcPlateStandardCase IfcPlateType	板	IfcWindow IfcWindowLiningProperties IfcWindowPanelProperties IfcWindowStandardCase IfcWindowType	窗
IfcRamp IfcRampFlight IfcRampFlightType IfcRampType	斜坡		

表 4 常用建築元件轉換關係

IFC	CityGML LOD4
IfcBeam	BuildingInstallation IntBuildingInstallation
IfcChimney	BuildingInstallation
IfcColumn	BuildingInstallation IntBuildingInstallation
IfcCurtainWall	WallSurface
IfcDoor	Door
IfcFurnishingElement	BuildingFurniture
IfcMember	BuildingInstallation IntBuildingInstallation
IfcPlate	BuildingInstallation IntBuildingInstallation
IfcRailing	BuildingInstallation IntBuildingInstallation GenericCityObject
IfcRamp IfcRampFlight	BuildingInstallation IntBuildingInstallation
IfcRoof	RoofSurface
IfcSlab	CeilingSurface FloorSurface GroundSurface OuterCeilingSurface OuterFloorSurface RoofSurface
IfcSpace	Room
IfcStair IfcStairFlight	BuildingInstallation IntBuildingInstallation
IfcWall IfcWallStandardCase	WallSurface InteriorWallSurface
IfcWindow	Window
IfcFlowTerminal	BuildingInstallation IntBuildingInstallation
IfcAnnotation	<StringAttribute>

在進行轉換前，可先藉由將 IFC 檔案匯入至瀏覽軟體(如 FZK Viewer、IFC Java Toolbox 或 xBIM 等)查詢模型擁有的實體資訊，再利用上表對照 CityGML 所對應的類別。

三、建立 BIM/IFC 與 CityGML 幾何轉換關係

CityGML 模型為邊界表示(Boundary Representation, B-rep)的模型，其概念為一個實體可由面的集合構成；而一個面可由邊構成；邊可由點構成；點則可透過坐標值定義。邊界

表示法強調物體外在的細節，詳細記錄構成物體的所有幾何及拓樸資訊，並將面、邊及點的訊息分層記錄，建立層與層之間的關係。

IFC模型多數以掃掠成形(Swept Solid)記錄之，複雜物件則以邊界表示法(B-rep)表達。掃掠成形是一幾何成型方式，為定義一斷面沿其軌跡(直線或曲線)形成具有三維體積的固體模型(Solid Model)。在Solid Model表達類型的定義中，結構實體幾何(Constructive Solid Geometry, CSG)僅包含布林運算(Boolean Operations)的結果，未包含原始CSG圖元(Primitive)，因此CSG僅限於對其他實體模型(指已成型之建築元件對其它建築元件之間的布林運算)間的布林運算。

幾何上IFC轉換至CityGML即為Solid Model轉換為B-rep的過程。IFC中各個實體(例如IfcColumn、IfcBeam)的Representation屬性參照IfcProductRepresentation實體，其定義建築元件的幾何形狀；而建築元件的方向與絕對位置可從ObjectPlacement屬性所參照的IfcObjectPlacement實體獲取，幾何轉換的詳細步驟(Wu and Hsieh, 2007)說明如下：

(一) 萃取建築幾何參數：從IFC物件所萃取的建築幾何資料，包括物件的區域坐標系統定義(x, y, z)、掃掠面積的幾何(xDim, yDim)、掃掠距離(D)、掃掠方向向量(Vx, Vy, Vz)，表面上的頂點(Vertexes)坐標定義為在SweptArea的(x, y, z)，相對側之坐標定義為(x', y', z')，式2可用於計算表面的頂點，模型轉換示意圖如圖1所示。由於前述2.1節已將BIM模型轉換至世界坐標系統，因此利用IFC物件之間的坐標轉換關係(式1)，便可得世界坐標。

(二) 產生GML物件幾何模型：一旦所有頂點轉換至世界坐標系統，物體的邊

界表面(即B-rep)可由以下步驟建立：假設 V_i 為掃掠面積的第 i^{th} 個頂點； A_{sa} 為掃掠面積，可表示為頂點序列 $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ 。頂點 V_i 之相對側 V_i' 便能以式2求之。則頂點序列 $\{V_n', V_n', \dots, V_n'\}$ 便為 A_{sa} 之相對側 A_{sa}' ，連結 A_{sa} 與 A_{sa}' 用以得到固體的側面 A_i 。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = D \cdot \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad \text{式(2)}$$

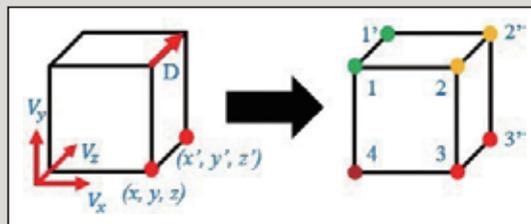


圖1 模型轉換示意圖

(三) 產生物件幾何資料表：此步驟將所需IFC物件資訊輸出為資料庫之資料表形態，以B-rep頂點(vertex)組成，並分為點(vertex)、線(edge)、面(face)、體(body)等四種幾何圖元表。點的資料表記錄欄位包含Vertex ID、X、Y、Z；線的資料表記錄欄位包含Edge ID、Start Vertex、End Vertex；面的資料表記錄欄位包含Face ID、Edges；體的資料表記錄欄位包含Body ID、Faces。

四、建立BIM/IFC與CityGML屬性轉換關係

IFC定義了各種類別(Classes)，因此可萃取類別所帶有的屬性。屬性資訊的對應(Mapping)表示為IFC類別IfcAnnotation對應至CityGML類別<StringAttribute>，實作中亦需萃取資訊交換層的IfcSharedBldgServicesElements與IfcSharedBuildingElements中所定義之物件包含的屬性。在IFC定義中，物件屬性分為顯

式屬性(Explicit Attributes)、反式屬性(Inverse Attributes)與衍生屬性(Derived Attributes)，IFC STEP 物理文件中記錄顯式屬性，以IfcDoor物件為例，其顯式屬性定義如表5：

由表5中可得知，一個IfcDoor實作元件透過繼承關係，包含了10個顯式屬性，資料型態可能有STRING、REAL或是另一個實體(ENTITY)等，萃取時依CityGML模型之目標所需屬性而定。此步驟產生物件屬性資料表，物件屬性分為兩類，一類為物件所帶有之一般屬性；一類

表5 IfcDoor類別顯式屬性範例

屬性	類別	來源
GlobalId	IfcGloballyUniqueId(STRING)	IfcRoot
OwnerHistory	IfcOwnerHistory(ENTITY)	IfcRoot
Name	IfcLabel(STRING)	IfcRoot
Description	IfcText(STRING)	IfcRoot
ObjectType	IfcLabel(STRING)	IfcObject
ObjectPlacement	IfcObjectPlacement(ENTITY)	IfcProduct
Representation	IfcProductRepresentation(ENTITY)	IfcProduct
Tag	IfcIdentifier(STRING)	IfcElement
OverallHeight	IfcPositiveLengthMeasure(REAL)	IfcDoor
OverallWidth	IfcPositiveLengthMeasure(REAL)	IfcDoor

表6 IFC中預定義拓樸關係

IFC 拓樸資訊類別	描述
IfcRelConnectsElements	物理和虛擬連接元件之間的一對一連接關係
IfcRelConnectsPathElements	提供具有路徑資訊兩個元件之間的一對一連接關係
IfcRelContainedInSpatialStructure	指定一個元素的空間結構包含在一定層次中：Building、Storey 和 Space。每個元素都只能分配到一層，例如 site 是歸屬於 IfcSite；building 歸屬於 IfcBuilding 等。
IfcRelFillsElement	提供一個開口元件和填充開口元件的建築元件之間的一對一關係，例如門窗與牆上開口間的關係，牆上開口為開口元件，門窗為填充物件。
IfcRelReferencedInSpatialStructure	除了空間結構中的層次，還有非主要包含的分配單元。例如牆壁正常的分配只在某層樓，但基礎牆可能被分配到特定樓層與建物層次
IfcRelSpaceBoundary	定義物理或虛擬空間的關係其周圍的元件，例如一個正立方體的空間是由四面牆所圍成，其就是連結空間與牆之間的拓樸關係。
IfcRelVoidsElement	開口元件與開口所在元件之間的一對一關係，例如牆與牆上開口間的關係，牆上開口為開口元件，牆為開口元件所在。

為物件之間的拓樸關係，分述如下：

- (一) 屬性：顯式屬性包含IFC物件之材料(Material)、尺寸(Size)、擁有人(Owner)、及名稱(Name)資訊，並儲存為Attribute Table中。
- (二) 拓樸關係：Khalili and Chua(2013)針對AEC(Architecture, Engineering, Construction)建築活動之間的衝突檢測，以自定義之deduction演算法從IFC資料額外判斷建築物之間的三種拓樸資訊(Containment, Separation與Intersection)；此外，IFC中既有預定義之拓樸關係(Connectivity與Assignment)整理如表6。

參、實作案例

為驗證由BIM導入3D SDI之可行性，本研究選擇臺北車站進行案例分析。因臺北車站不具有BIM模型，故先重建為臺北車站之BIM模型，BIM塑模範圍包含建築物本體(地上七層)、臺鐵地下街及月台層(地下二層)之建築部分，不含管線(MEP)與結構部分。建模使用之圖資為臺北車站建物成果圖，含地上七層、地下三層之部分區域平面圖，共51份圖檔資料(蔡富安等，2014)。

建模軟體選用Autodesk Revit，其建模方法是藉由數化建築元件，例如建置一個房間需數化相關之梁、柱、牆、樓板、天花板和門等物件。儲存格式方面主要為rvt檔，同時也可輸出成DWG、DXF、DGN、gbXML和IFC格式。此外，彩現(rendering)也是Revit的特色之一，

可將模型繪製成擬真視圖，並藉由控制照明、曝光、解析度、背景和影像品質調整所需。

建模首要步驟是將圖資依樓層匯入Revit中，再依圖資建置相應尺寸之建築元件，其中包含樓板、梁、柱、牆、門、樓梯、屋頂、空間(IfcSpace)及自定義物件等建築元件，其中，空間是指由建築元件包圍之部分，如「郵局」是一個空間，其是由周邊的建築元件(如牆、門)

所圍成的一個房間。依照不同樓層，由下而上進行各樓層建築元件數化及屬性設定，並給定高程，再整合所有樓層修正不合理之處，以完成建模。建模過程中，數化方面是使用平面圖進行，並參考現地照片辨識建築物件；設定屬性方面包括元件名稱、類型、尺寸規格等，皆是依據現有圖資做定義。建模成果包含地上七層、地下二層之臺北車站BIM模型，專案及彩現成果分別如圖2至4所示。

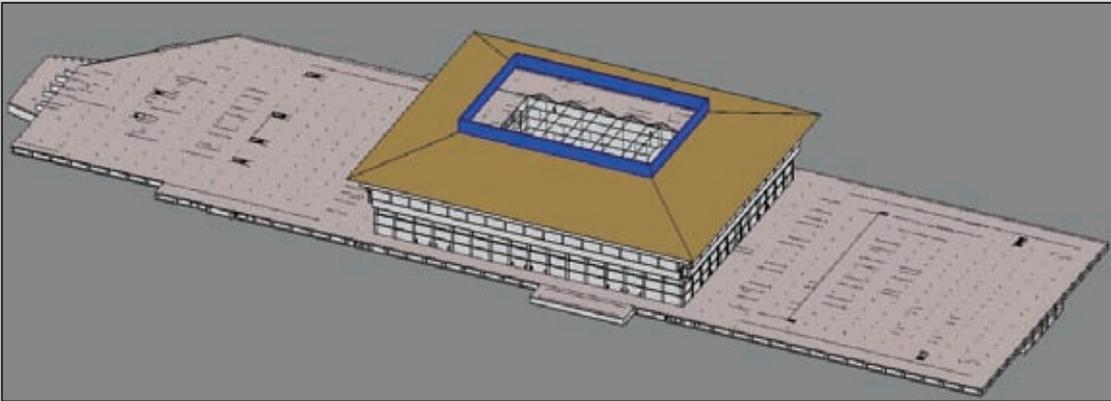


圖2 臺北車站建築資訊模型專案展示

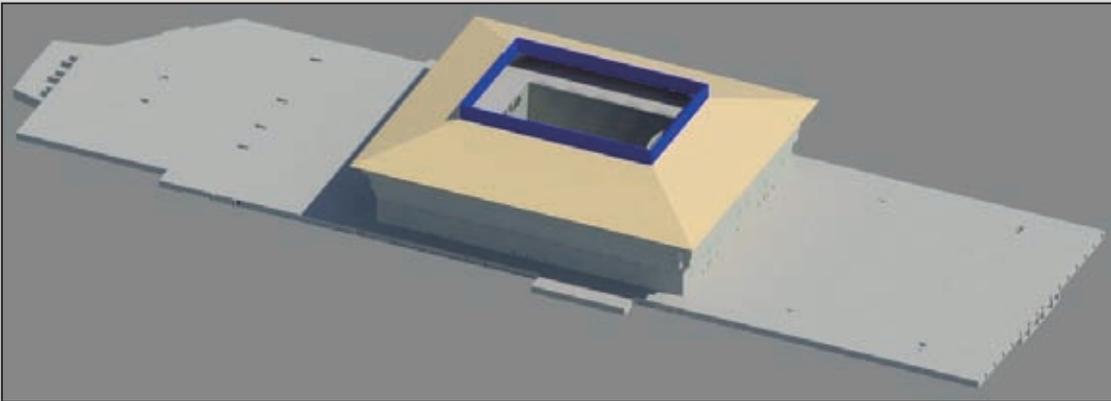


圖3 臺北車站外觀彩現展示

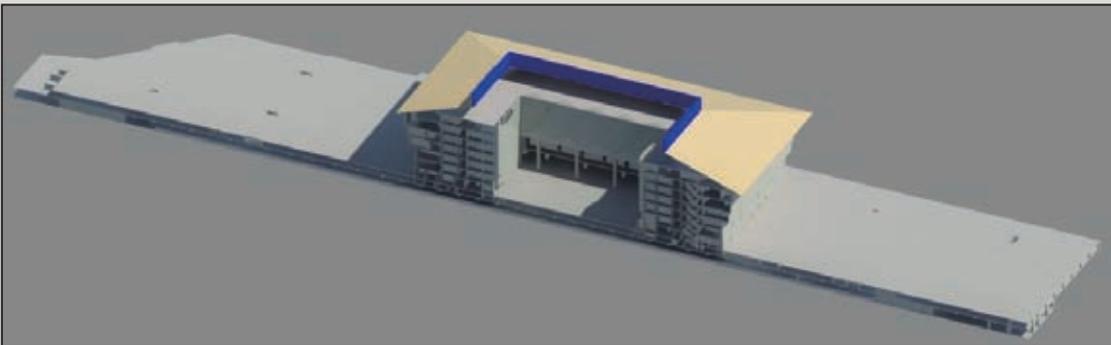


圖4 臺北車站剖視圖彩現展示

Entity	Amount
Entities	17554
IFCBEAM	3709
IFCBUILDING	1
IFCBUILDINGELEMENTPROXY	4
IFCBUILDINGSTOREY	10
IFCCOLUMN	2438
IFCDOOR	1532
IFCOPENINGELEMENT_OPENING	1643
IFCPROJECT	1
IFCRAILING	246
IFCROOF	31
IFCSITE	1
IFCSLAB_FLOOR	1746
IFCSLAB_LANDING	30
IFCSLAB_ROOF	29
IFCSPACE	1140
IFCSTAIR	123
IFCSTAIRFLIGHT	93
IFCWALLSTANDARDCASE	4768
Relations	133035
IfcRelAggregates	161
IfcRelAssociatesMaterial	8112
IfcRelContainedInSpatialStructure	10
IfcRelConnectsPathElements	4398
IfcRelDefinesByProperties	102829
IfcRelDefinesByType	2707
IfcRelFillsElement	1532
IfcRelVOIDsElement	1643
IfcRelSpaceBoundary	11643

圖5 IFC資料類別統計

表7 IFC與CityGML模型類別轉換

IFC 類別	CityGML 類別	中文名稱
IfcBeam	BuildingInstallation	梁
IfcBeamStandardCase	IntBuildingInstallation	
IfcColumn	BuildingInstallation	柱
IfcColumnStandardCase	IntBuildingInstallation	
IfcDoor	Door	門
IfcDoorStandardCase		
IfcRailing	IntBuildingInstallation GenericCityObject	欄杆
IfcRoof	RoofSurface	屋頂
IfcSlab	RoofSurface	平板
IfcSlabElementedCase	GroundSurface	
IfcSlabStandardCase	FloorSurface CeilingSurface	
IfcStair	IntBuildingInstallation	階梯
IfcStairFlight	GenericCityObject	
IfcWall	WallSurface	牆
IfcWallElementedCase		
IfcWallStandardCase		
IfcAnnotation	<StringAttribute>	屬性資訊

及數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)量測轉換套合點作為轉換依據，人工量測四個明顯之建物角點。依點位坐標建立區域專案坐標系統與世界坐標系統之轉換關係。坐標轉換參數包含1個尺度、3個平移及1個方位角，利用4個套合點以最小二乘法進行參數求解，解算成果尺度量為1.0010、3個平移量分別為(302176.33m,2771158.51m,6.21m)、方位角為100.4811度如表7所示。統計套合點在三軸方向上的殘差，E/N/H三軸之均方根誤差分別為0.12m/0.07m/0.60m，轉換成果顯示平面及高程精度皆小於1m。

一、BIM/IFC與CityGML坐標系統間之對應及轉換關係

為建立BIM使用者定義坐標系統及世界坐標系統之關聯，本研究使用千分之一數值地形圖

二、BIM/IFC與CityGML欄位對應關係

將AutoCAD Revit之BIM模型輸出成IFC檔後，進行IFC格式及CityGML格式的欄位對應關係。IFC欄位包含兩種類別：實體類別(Entities)及關係(Relations)，Entities是用於描述建築物元件實

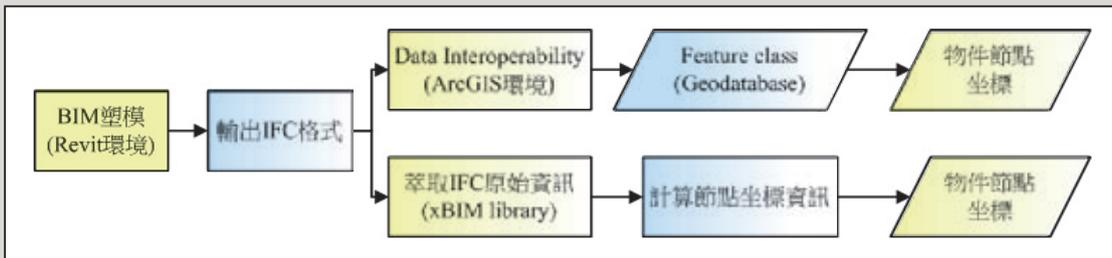


圖6 IFC物件節點坐標求取流程

體，如樓、梁、柱、板等；Relations則是用於描述虛擬的連結關係，如門與牆、窗與牆之連結。圖5為IFC模型Entities及Relations的數量統計。

IFC與CityGML之建築元件轉換關係如表7所示，兩種格式的欄位存在轉換關係，但由於兩種模型間的語意並不協調，加上定義的細緻度不同，在進行轉換時可能會產生資訊損失的問題。例如：在IFC中，IfcOpeningElement儲存的資訊是為未架設門或窗(IfcDoor/IfcWindow)的牆的空缺部分，然而在CityGML中並無儲存此一資訊的類別，對於可開啟元件(_Opening)，僅包含Door與Window兩類別來存取門和窗的資訊；另外在CityGML中，地板及天花板是分別儲存於FloorSurface與CeilingSurface中，然而對IFC而言，地板及天花板均屬於樓板，因此將其統一儲存於IfcSlab中，此部分在進行轉換時，可藉由自動搜尋IfcBuildingStorey之法向量判斷slab面向天花板及地面之方向及樓層，進而將之儲存於相對應之類別中。

由於IFC對建物元件的定義較CityGML詳細，即多個IFC元件可能對應用一個CityGML元件，如IFC的ifcBeam及ifcColumn都對應到CityGML的BuildingInstallation。為避免資訊的損失，在CityGML中以文字的方式注記來源資料的IFC類別，以完整提供IFC具有的欄位資訊。

三、BIM/IFC與CityGML幾何轉換關係

求取物件節點坐標，可循兩方式，其一為

利用商用軟體FME(Feature Manipulation Engine) Desktop之DataInteroperability技術將IFC檔案轉換至Geodatabase圖徵類別(Feature Class)，並計算其坐標；其二為利用xBIM函式庫配合自行撰寫之程式求取，如圖6所示。比較這兩種方式，IFC實體類別(Entities)的轉換沒有差異；但是IFC關係(Relations)在自行開發的工具中，可以保留更完整的資訊，其是因為商業軟體僅針對具有幾何之物件轉換，尚無萃取並記錄物件間之空間關係之功能，如房間與相應之門之間的關係，商業軟體只能記錄房間和門的幾何節點，但之間的連結關係則無法得知。

現以臺北車站一樓之門開口元件為例，其原始資訊與模型示意如表8與圖7所示。分別以商用軟體計算與自行撰寫之程式兩種方式求取該門物件之四角節點坐標，如表9所列。其中，由Revit軟體中建模後，所輸出之各層次相對坐標資訊記錄於IFC檔案會產生微小有效位數差異，因此經計算後之絕對坐標將有捨位誤差。圖8中，(a)為商用軟體解算之物件節點(綠點)；(b)為自行撰寫程式解算之物件節點(紅點)；(c)為該開口元件與所屬門板共同展示。藉由此實驗及比較，本研究可正確存取IFC建築元件之幾何資訊。因此，模型轉換之幾何精度沒有造成精度損失。

幾何轉換後可得到建築元件每一個節點的三維坐標，節點數最多的元件是樓梯扶手及門，因為樓梯扶手及門是細緻的建築元件模型。比較樓板及門，樓板僅需使用8個節點描述

表8 建築物模型開口元件IFC資訊

位置	
樓層	1F
頂面高程	2.03m
底面高程	0mm
整體頂面高程	2.03m
整體底面高程	0mm
整體 X	302,233.07m
整體 Y	2,771,164.35m
尺寸外觀	
高度	2.03m
寬度	1.04m
建物框高度	2.03m
建物框長度	1.04m
建物框厚度	150mm

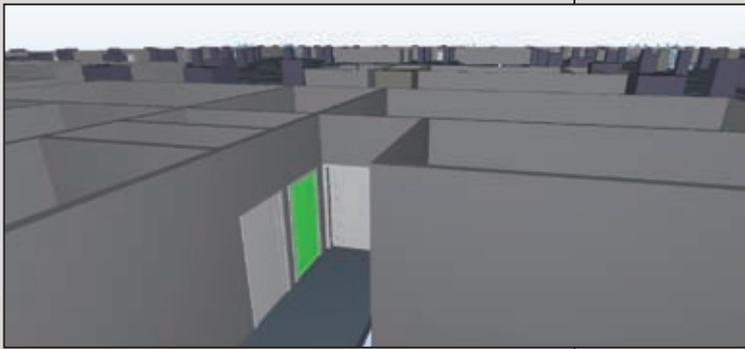


圖7 建築物模型開口元件示意

表9 建築物模型門物件節點坐標資訊

商用軟體解算坐標值			自行撰寫程式解算坐標值		
X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
302233.10	2771164.69	0	302233.09	2771164.69	0
302234.12	2771164.50	0	302234.13	2771164.49	0
302234.12	2771164.50	2.03	302234.13	2771164.49	2.03
302233.10	2771164.69	2.03	302233.09	2771164.69	2.03

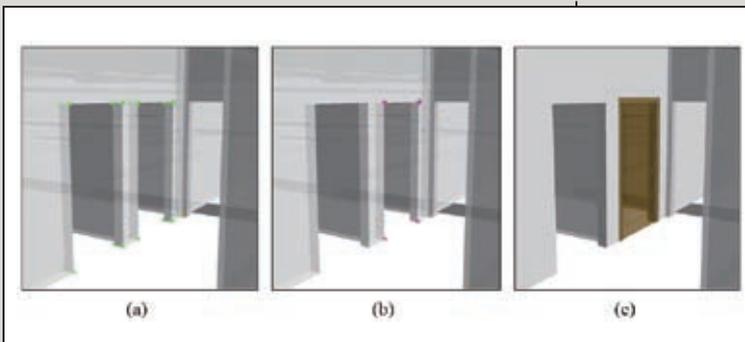


圖8 建築物模型開口元件節點

矩形元件，而門需要使用300個節點描述門的各樣細節。以三維節點構成三維平面，再由多個三維平面構成三維立體建物元件，每一個三維立體依CityGML定義設定不同建物元件類別(如：WallSurface及GroundSurface等)，即可完成幾何轉換。幾何模型分別使用AutoCAD LandExplorer及KIT FZK Viewer展示如圖9、10所示，圖中可見CityGML模型與BIM/IFC模型有一致的幾何外觀。

四、BIM/IFC與CityGML幾何及屬性整合

將IFC的幾何及屬性資料轉換為CityGML後，幾何及屬性即整合在同一個gml檔中，因此可點選CityGML中的建築物件，直接進行屬性查詢(圖11)，屬性查詢可得物件的三個種屬性，(1) CityGML基礎屬性，如id, name, description；(2)由IFC取得的屬性，如ObjectType；(3)由物件節點計算而得的面積或體積，如SurfaceArea。

將BIM模型導入為三維空間資料後，可整合該模型與其他不同細緻度之空間資料，本研究亦整合測試區之高細緻度CityGML LOD4模型(來自BIM)及稜柱體CityGML LOD2模型(來自航空攝影測量)，成果如圖12。因此，案例分析展示，由BIM轉換後的CityGML資料，可成功與其他三維空間資

料整合。代表使用BIM模型導入空間資料，可重複使用BIM模型，並擴展BIM模型之應用領域。

表10對臺北車站室內模型的不同檔案格式進行簡化前後的檔案大小比較，其中CityGML檔案最大，約為IFC的兩倍，主要原因是CityGML以XML為基礎，每一個物件都需要標記欄位名稱，如<Tag></Tag>，優點是定義明確且直觀，不需要對應檔案說明即可知道欄位類別，缺點是檔案大小較大。可仿效KML的解決方式，即對KML進行檔案壓縮(Zip)，產生壓縮後的KMZ檔。

肆、結論與建議

以臺北車站BIM模型為例，原始檔案為AutoCAD Revit格式，將Revit轉換為BIM/IFC開放格式，以進一步完成IFC與CityGML之轉換，成功將BIM模型與其他空間資料整合。本研究利用現有大比例尺地形圖及航照立體對影像，量測專案坐標系統與投影坐標系統之轉換，因BIM模型來自二維平面圖，平面及高程均方根誤差約15公分及60公分。由於IFC對建物元件的定義較CityGML詳細，即多個IFC元件可能對應一個CityGML元件，如

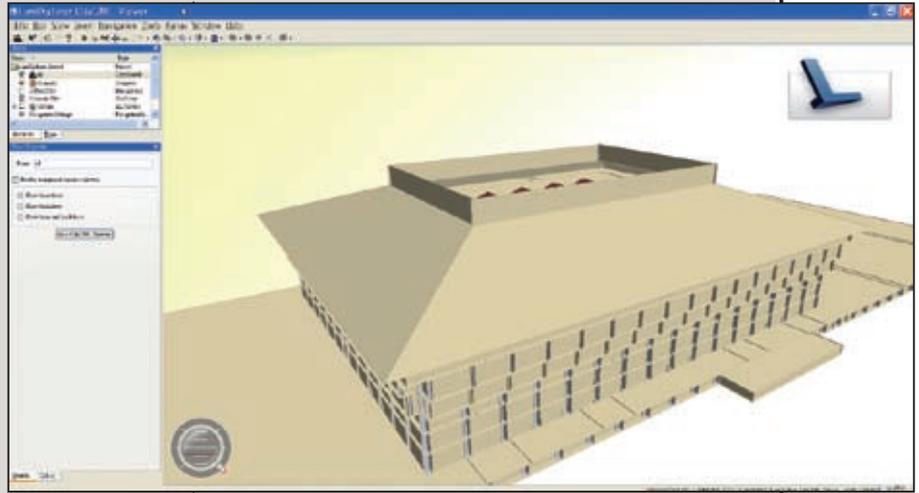


圖9 幾何轉換之GML模型(使用CityGML Viewer軟體)

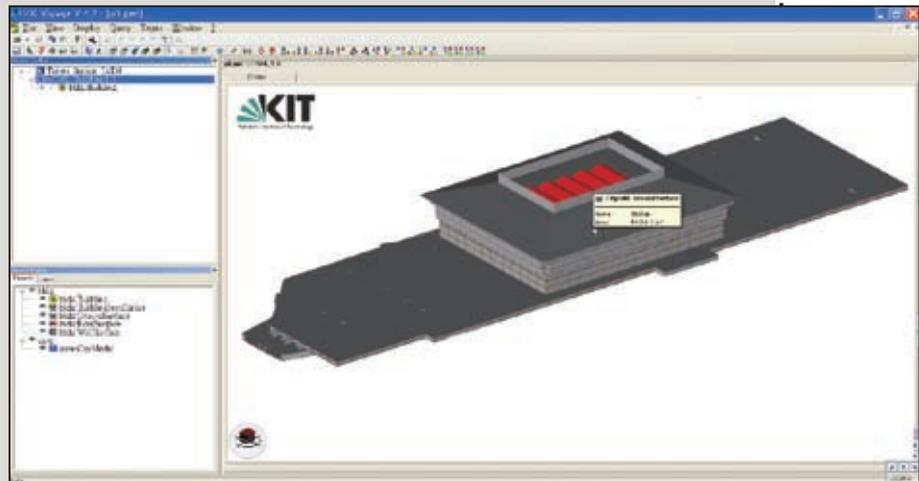
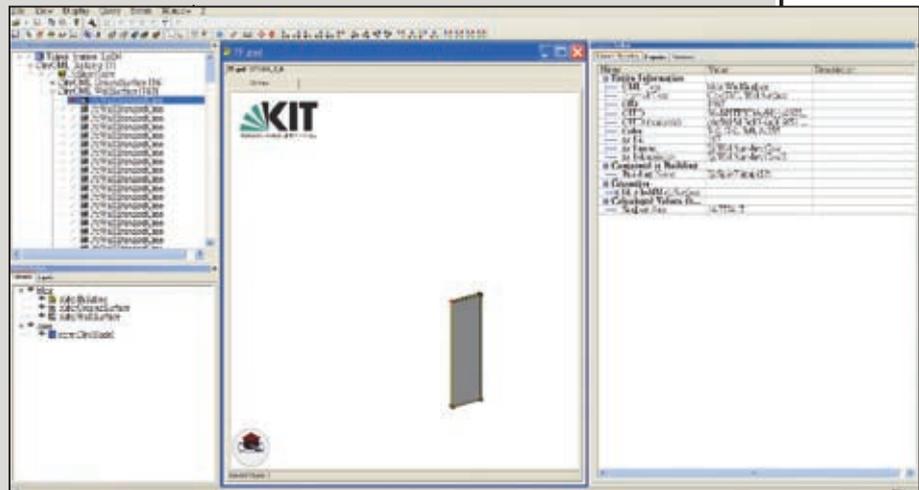


圖10 幾何轉換之GML模型(使用FZKViewer軟體)



(a) GML屬性查詢示意圖

圖11 點選建物元件展示對應屬性



(b) KML屬性查詢示意圖

圖11 點選建物元件展示對應屬性

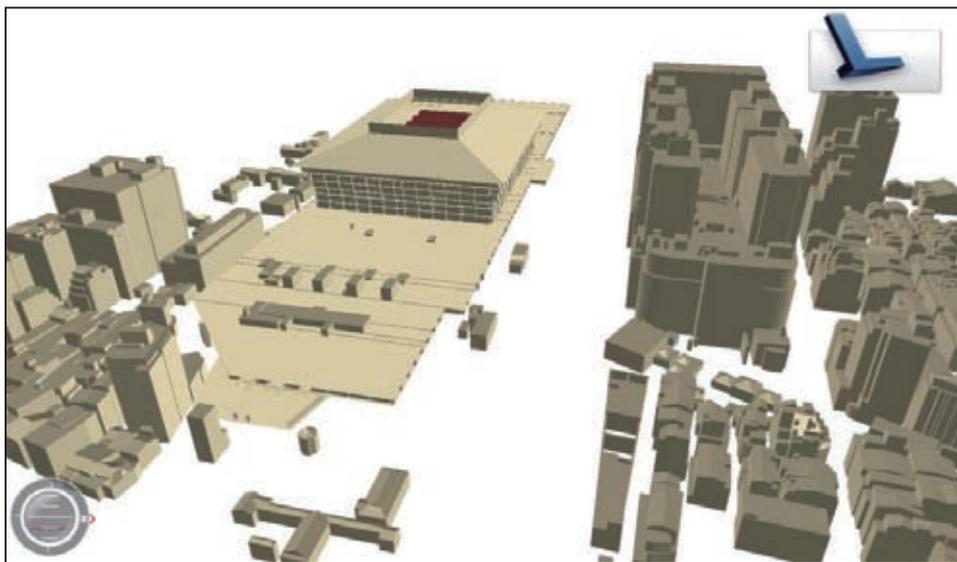


圖12 整合CityGML LOD4及LOD2

表10 各類型檔案格式簡化前後檔案大小比較

	AutoCAD rvt 檔案	BuildingSmartIFC 檔案	OGC CityGML 檔案
模型簡化前	78.7MB	81.3MB	173.0MB
模型簡化後	56.0MB	30.5MB	88.8MB
補充說明	未公開格式	以 STEP 為基礎的 ASCII 格式，每一筆資料使用 #GlobalID 定義，檔案較精簡。	以 XML 為基礎的 ASCII 格式，XML 的每一筆資料均需使用 <Tag></Tag> 定義，故檔案最大。

IFC的ifcBeam及ifcColumn都對應到CityGML的BuildingInstallation。另一方面，CityGML在位相的定義較IFC完整，亦會造成多對一的情況，如CityGML的GroundSurface及FloorSurface同時對應到IFC的ifcSlab。

因此在前述多重對應的情況下，可能造成資訊不完整，故建議未來在IFC與CityGML之轉換過程中應標記資料原始來源，以降低資訊的損失，並利用StringAttribute記錄每一個建築物之屬性資料，使每一個建築物元件具有屬性資料，達成三維空間資料完整性。

參考文獻

1. 陳雅信, 2010. IFC 建築空間資料轉換至 CityGML 之研究. 交通大學土木工程系所學位論文, 1-69.
2. 蔡富安, 張智安, 陳良健, 2014. 103年度三維城市模型與建築等級模型之整合機制工作案, 內政部地政司期末報告, 279頁.
3. AIA, 2008. E202 - 2008, Building Information Modeling Protocol Exhibit, URL: <http://www.aia.org/contractdocs/AIAB095933>
4. Basanow, J., Neis, P., Neubauer, S., Schilling, A., and Zipf, A. 2008. Towards 3D spatial data infrastructures(3D-SDI)based on open standards—experiences, results and future issues. In *Advances in 3D geoinformation systems*. Springer Berlin Heidelberg,65-86.
5. Cheng, J., Deng, Y., and Du, Q. 2013. Mapping between BIM models and 3D GIS city models of different levels of detail. In 13th international conference on construction applications of virtual reality, London, 30-31.
6. de Laat, R., and Van Berlo, L. 2011. Integration of BIM and GIS: The development of the CityGML GeoBIM extension. In *Advances in 3D geo-information sciences*. Springer Berlin Heidelberg, 211-225.
7. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K. 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, 2nd Edition, John & Willey and Sons, Inc. 648 pages.
8. El-Mekawy, M., Paasch, J., and Paulsson, J. 2014. Integration of 3D cadastre, 3D property formation and BIM in Sweden. In 4th International Workshop on 3D Cadastres 9-11 November 2014, Dubai, United Arab Emirates, 17-34.
9. Gröger, G., Kolbe, T.H., Czerwinski, A., and Nagel, C. 2008. OpenGIS® City Geography Markup Language(CityGML)Encoding Standard, Version 1.0.0. Open Geospatial Consortium Inc., Doc. No. 08-007r1.
10. Isikdag, U., and Zlatanova, S. 2009. Towards defining a framework for automatic generation of buildings in CityGML using building Information Models. In *3D Geo-Information Sciences*, 79-96.
11. Wu, I.C., and S.H. Hsieh. 2007. Transformation from IFC Data Model to GML Data Model: Methodology and Tool Development. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 30(6): 1085-1090.

地理資料空間 視覺化呈現與 分析應用

關鍵詞：地理資訊系統、BIG DATA、Spatial Data Visualization、空間分析

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／正工程師／李明儒 ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／正工程師／王世復 ②

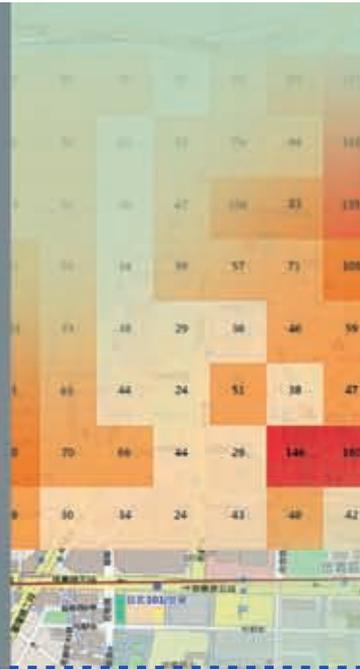
台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／副理／劉新達 ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／經理／鄭宏達 ④

摘要 ABSTRACT

隨著資訊科技進步，資料採集、儲存及運算成本大幅下降，公私部門擁有大數據(Big Data)但缺乏資料解讀，加上智慧型終端裝置(個人電腦、平板及智慧型手機)普及，更不斷推升空間資料的供給及空間特性分析的需求。傳統地理資訊系統雖可呈現資料位置及內容，但在大數據時代追求資料量(Volume)、速(Velocity)與多變(Variety)環境中，地理資訊系統也應當伴隨大量空間資訊之挑戰，重新檢視資料的預處理及資料空間視覺化。

大量空間資訊如直接展繪於網際網路地理資訊系統(WebGIS)中，往往無法有效判讀，並導致操作效能低落、佔用大量網路頻寬等問題，且不利於在WebGIS系統中即時進行空間分析。如何概化大量空間資料呈現，兼顧細度、系統效能、隱私、易於計算、分析，實為應用系統開發時，需詳細考量之課題。本文分別以不同實務應用案例，說明如何將大量空間資料，透過運用叢集計算、資料聚合等方式，有效達成大量空間資訊以有意義之方式顯示，同時兼顧系統效能及提供即時性分析計算之可行作法。



壹、前言

隨著資訊科技之進步，於資料採集、儲存及運算之成本大幅下降，以及公私部門對於空間資料之產製及分析日益重視下，現今已有大量與空間相關之資料可供運用(如門牌點位、交易案件、各式地標點位、資產位置等)。加上智慧型終端裝置如個人電腦、平板及智慧型手機迅速普及，各機器設備所產生之數據資料多數皆可同步紀錄、標定使用者位置，及使用者因所在位置而衍生之空間資料需求，例如定位餐廳及導航等，更不斷推動空間資料之需求與供給，各式資料綜合交錯，形成龐大的大數據(Big Data)。傳統地理資訊系統雖可呈現資料位置及內容，但在大數據時代追求資料量(Volume)、速(Velocity)與多變(Variety)環境中，所收集之空間資料如直接逐筆於地圖上展示，則往往會面臨以下問題：

一、資訊判讀不易

大量空間資料，例如一年內個別顧客銷售額之點位資料，直接套疊於地圖上，過多的數據將造成圖面遍布密密麻麻之點位，並不斷重複覆蓋，造成判讀困難，喪失於地圖呈現之意義。圖1顯示美國境內超過10萬筆商業銷售資料



圖1 大量空間點位套疊於圖面無法有效判讀範例圖
(資料來源：ESRI, <https://goo.gl/t6BWPp>)

點位，展點於地圖後之結果，雖可約略看出其聚集樣態，但過多的點位重疊覆蓋也加深圖面判讀分析之難度。

二、顯示效能低落

現今空間資訊之展示，多半透過以網路為基礎之地理資訊圖台加以顯示，除靜態底圖可使用預先產製之影像顯示外，各類型空間資料(例如交易案件位置、設施點位)多半於使用者端瀏覽器以動態方式繪製產生，使用者端瀏覽器如同時間繪製大量空間圖元，將佔用大量記憶體及CPU運算資源，導致呈現速度緩慢甚至無法回應之情況。

三、分析困難或精度不足

各類型空間資料，分別以不同空間尺度加以收集並呈現，例如村里人口數，以村里範圍作為統計單元，如欲將相關收集資料(例如傳染病發生位置)以村里範圍或其他行政區、地理自然疆界為基礎進行分析時，則往往面臨面積不一、形狀不一及單元面積過大之問題，難以進行高效率、高精度分析計算。

四、資料隱私問題

透過實際點位進行點資料分析，是研討與偵測空間分布與群聚現象常用之方法，但與社會、經濟相關之點資料，例如實價登錄案件位置、犯罪行為發生位置、低收入戶位置等，因牽涉事件之真實位置，如直接展示實際點位，則會洩漏個人資訊，引發隱私保護議題。

由上述說明可知，如何拿捏大量空間資料乃至於大數據資料呈現之詳細度、同時兼顧系統效能及隱私考量，並且易於計算、分析，實為網際網路地理資訊應用系統(WebGIS)開發時，需詳細考量之課題。

貳、空間資料合理化呈現作法探討

一、空間資料合理化呈現作法

當大量空間資料直接呈現於網際網路地理資訊系統中，往往無法有效判讀及良好呈現。為避免過量資料問題(too-much-data issues)，可考量透過以下方式，將資料以合適方式加以呈現：

(一) 限制最大顯示數量

為現今最常見之作法，透過限制後端最大輸出資料筆數，以控制前端顯示資料量。此一方式最為簡便，但對應大數據動輒千萬乃至上億筆資料，僅靠限制最大輸出數量，非根本解決空間資料視覺化分析之道。

(二) 叢集化(clustering)

將空間點資料透過計算空間統計量(多半依據空間自相關指標)，將一定距離內相近之空間點位，整併為單一點位，並以數字及圖形顯示聚集數量，呈現效果如圖2所示。

透過實做叢集化，巨量資料可於中小比例尺下，先行聚合成概略分布點位，引導使用者對資料空間分布形成初步概念。

(三) 資料聚合(aggregation)

將原始資料依據空間範圍或資料屬性，適度整合為新的單元，可選擇轉換空間資料結構，將向量格式之空間資料檔案，轉換為網格資料(Raster Data)或面資料，資料聚合應用於強化空間資料視覺化將於下一節詳述。



原始點位



經叢集化點位

圖2 點資料叢集化顯示範例圖(資料來源：ESRI, <https://goo.gl/t6BWP5>)

(四) 資料預先篩選

將欲呈現之資料預先進行篩選，例如預設顯示近三個月交易案件，將前端顯示資料量降低。

(五) 強化地理資訊圖台運算能力

如透過以上各種方式後，仍有需於圖台顯示大量空間資料之需求時，則須考慮加強地理資訊圖台伺服器之處理運算能力，以提升來自使用者端要求大量資料之回應速度。

上述各項作法可視個別系統應用情境，應用其中一項或結合多種方式，藉以提升空間資料於應用系統中判讀能力及操作流暢度。

二、運用資料聚合強化空間資料視覺化

(一) 空間資料聚合

透過把空間切分為多個單元面(polygon)，將個別空間資料(通常是點資料)加總彙整至各個單元面後，於前端介面以空間面為單元之方式呈現。

考慮現今前端瀏覽器繪製效能及連帶

產生屬性資料量，為避免操作遲滯，建議系統中應以不同時繪製超過3000個面圖元為限。

(二) 高效能聚合單元設計

一旦空間資料及系統功能經綜合評估，適宜以聚合方式加以呈現時，為使國際網路地理資訊系統具備精簡、流暢的反應速度及兼顧後續即時運算之可能，聚合單元設計可透過以下方式強化顯示速度：

1. 控制單元大小及設計階層性

應用系統操作之流暢度與同時間圖元輸出數量息息相關，空間資料經聚合後，單元數量仍過多時，同樣會造成地理資訊圖台顯示效能低落，故設計時應考量各比例尺下可最大呈現數目，加以推算使用合適的單元大小，或搭配階層式網格，於不同比例尺下，顯示不同大小之聚合單元，控制整體輸出圖元數量，圖3顯示台灣地區1/5,000至1/50,000比例尺之地形圖圖框規格，即具備了網格階層之架構。

2. 運用地理編碼定義聚合單元網格

國際間為便於儲存、比對巨量空間資料，已發展出許多將X、Y空間坐標進行

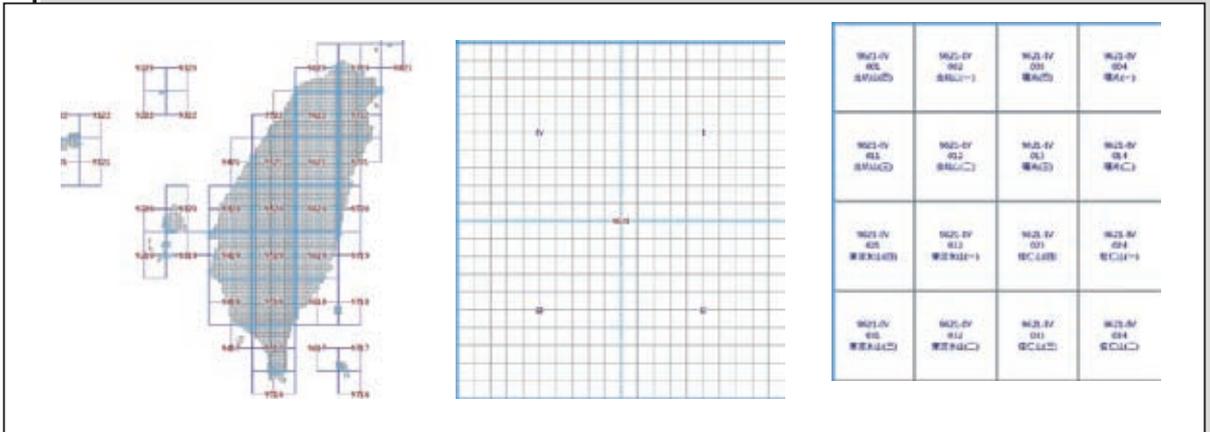


圖3 網格階層(台灣地區 1/5,000~1/50,000比例尺地形圖圖框)示意圖

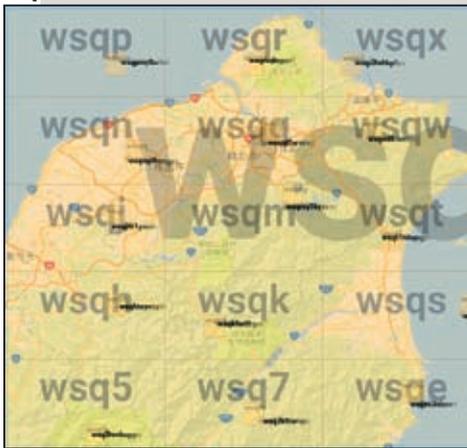


圖4 以GeoHash(Base32)編碼產生全球固定階層網格範例圖



圖5 以Open Location Code(Google)產生網格範例圖

編碼，並依編碼建立描述全球範圍之網格架構，例如GeoHash、Google定義的Open Location Code等。各式地理編碼產生全球網格範例如圖4及圖5所示：

運用地理編碼網格做為地理資訊系統空間顯示單元之優點為：

- (1) 可產生國際通用編碼網格，網格涵蓋全球各地，且具備階層性。
- (2) 將原始空間資料同步加以編碼，於巨量資料空間定位、分析計算可顯著提升計算效能。

(三) 資料輸出前再聚合

由網格單元之設計探討可知，網際網路地理資訊系統之顯示速度，與同時顯示之圖元數目息息相關，降低圖元顯示數目即可有效降低前端顯示繪製負荷。故如於前端系統呈現，個別網格不需單獨呈現動態變化時，技術上可於資料輸出前，依數值區間，將多個網格再聚合成一個面圖元，即可大幅將圖元輸出量降低至數十個面圖元。網格資料再聚合流程如圖6所示：

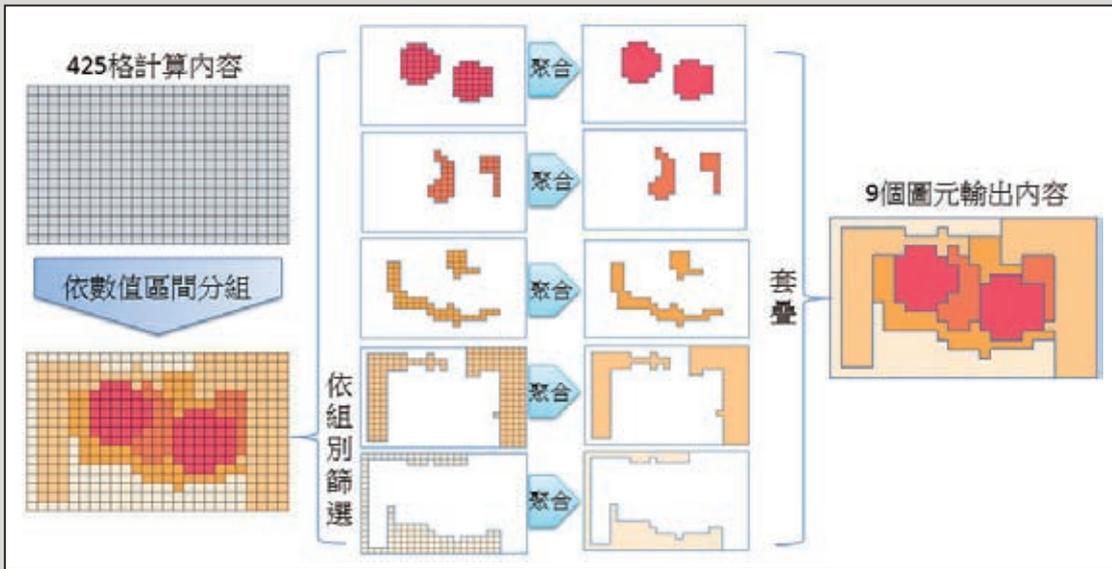


圖6 網絡資料再聚合輸出示意圖

參、空間資料視覺化呈現應用案例

一、叢集化顯示應用案例

資料叢集化可就資料類型與使用族群評估其呈現方式，叢集的數值可以是點位的個數或屬性值的計算結果，以下就本公司執行的實際案例進行說明：

(一) 叢集以加總數量呈現—臺北市托嬰地圖呈現保母數量

本系統整合臺北市登記立案之托嬰中心及合格保母資料，開發托嬰地圖，為了兼顧保護保母居住地點隱私及使用者查詢住家周邊托嬰資源之需求，故利用叢集化方式顯示各區位保母人數加總數值，使用者可快速瞭解保母分布，並透過系統操作獲得更詳細的相關資訊，實際作法如下：

1. 取得台北市各行政區及各村里行政範圍，並結合建物分布圖，排除大型公園、河流、機場、山區後，建立各行政區及村里人口聚集區之代表點位。

2. 將合格保母依據所在行政區及村里分派至各點位，並加總計算後，得出各代表點位合格保母人數。

3. 在托嬰地圖地理資訊圖台中，依據顯示比例尺，動態依行政區或依村里顯示合格保母數量叢集圖，叢集圖示並依數量分為三種顏色，提供使用者快速分辨各區之保母數量，系統畫面如圖7、圖8所示。

(二) 叢集以屬性值計算結果呈現—花蓮縣住宅及不動產資訊系統呈現平均成交單價



圖7 小比例尺下以行政區為單元進行保母數量叢集顯示



圖8 較大比例尺下以村里為單元進行保姆叢集數量顯示



圖9 花蓮市實價登錄交易案件點位圖

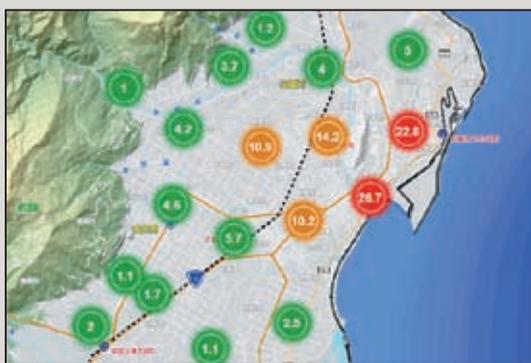


圖10 交易案件叢集化顯示(比例尺1:10,000)

本系統透過介接地政資料庫，取得每日實價登錄資料，該資料隨時間迅速增加，若以實際點位呈現(如圖9)將讓使用者陷入資料不易判讀的情況，故在中小比例尺利用叢集化方式呈現交易案件。在比例尺1:1,000,000至1:5,000範圍內，系統依據實際案件位置，自動將鄰近案件聚集成一



圖11 交易案件叢集化顯示(比例尺1:5,000)



圖12 交易案件真實點位顯示(比例尺1:2,500)



圖13 依篩選條件(公寓)動態計算叢集呈現圖



圖14 依篩選條件(透天厝)動態計算叢集呈現圖

叢集點，並計算各叢集點所包含案件平均成交單價，顯示於叢集點中心，而在放大進入 1:2500 比例尺以上後，顯示個別案件位置與價格。如此使用者進入系統後，即可快速瞭解區域成交行情，如圖 10 至圖 12 分別呈現各比例尺下顯示結果。

本系統叢集點動態依據輸出資料加以計算，故可與篩選條件即時連動，例如使用者於系統中篩選「公寓」或「透天厝」，叢集點位及平均單價依篩選條件，於圖面顯示不同聚集點位置及平均單價，如圖 13 及 14 所示。

二、資料聚合顯示應用案例

資料聚合的過程，必須依照資料型態與需要呈現的解析度與空間尺度來決定聚合單元的尺寸，以下分別就全球尺度與地方尺度說明本公司的實際應用案例：

(一) 全球尺度-行動通訊資訊為例

本案例將行動通訊用戶使用網路及電

信通訊時產生的時空巨量資訊加以收集、紀錄並且分析，因行動通訊客戶遍及全世界，資料呈現的空間尺度需考量全球架構，故使用 GeoHash(Base32) 網格定義，將各類型原始資料分派至 Level 7 網格(網格大小 152.9 公尺*152.4 公尺)，並逐步提升網格大小，加總計算出 Level 6~Level 3 (Level 2 網格已大過台灣，不予使用) 各網格數據，建立多階層網格數據資料庫。

以即時行動網路使用人數為例，將全台數百萬用戶每分鐘所產生的巨量數據，分派至對應網格內，使用者可透過任意框選地圖圖面方式，系統可依據所框選之空間範圍，自動依據前端介面適合之圖元繪製承載量，回應 Level 7 (最精細)~Level 3 (最粗略) 之網格，即可兼顧資訊呈現細節及系統效能，同時降低網路傳輸之負荷。以某週末即時用戶人數分布為例，若框選信義區範圍觀察即時用戶，輸出 Level 7 最小網格單元進行呈現(如圖 15 所示)，若框選臺北市範圍觀察，計算網格輸出數量後，改以 level 6 較大網格單元進行呈現。(如圖 16 所示)，兼顧圖面顯示判讀性及圖台操作流暢度。



圖 15 週末信義區即時用戶人數分布(GeoHash, Level 7 網格顯示)

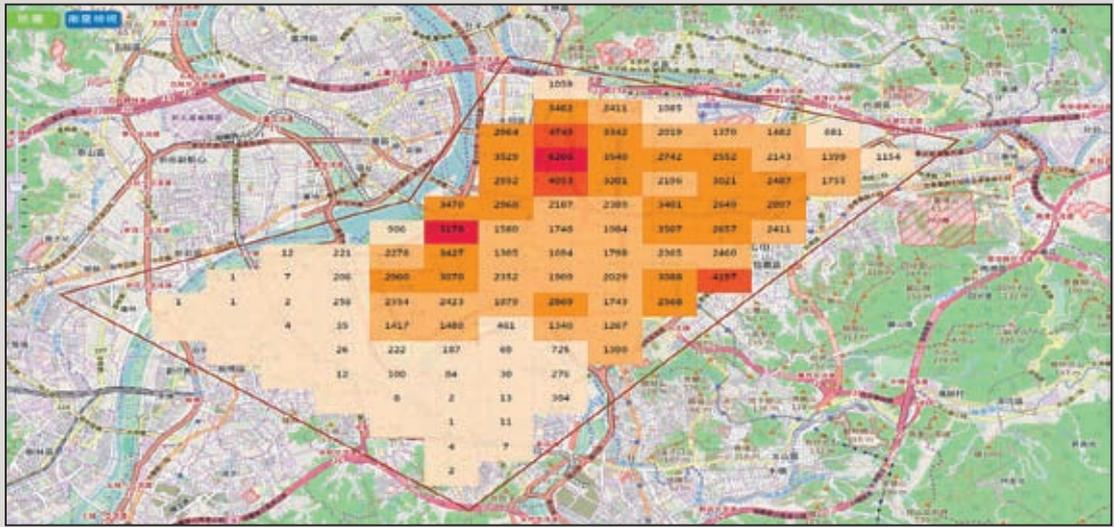


圖16 週末台北都會區即時用戶人數分布(GeoHash, Level6網格顯示)

(二) 地方尺度-社會福利資訊為例

地方尺度規模的網格呈現，考量分析精度與呈現細緻度，多採用自行設定網格大小方式，本公司於「臺北市社會福利數據分析平台」考量原始資料分析要求，設定網格大小為100公尺*100公尺，將台北市劃分為27,651個網格。

因網格數量共計27,651格，如顯示全市範圍，則會超過圖面動態繪製負荷，故本系統於各式分析圖輸出前，皆進行資料分級後再聚合，將數萬網格依照人數或密度動態區分為5~10級，並將各分級包含之所有網格進行空間聚合(Union Aggregate)後分級輸出至前端介面，即可大幅降低前端圖元繪製數量，同時兼顧後端分析精度要求。

系統後端聚合輸出架構建立完成後，即可進行需求強度與機構服務量推估，說明如下：

1. 需求強度推估：將台北市104年各里分齡人口統計資料為基礎，考慮育齡生育

率、單齡死亡率、遷出率與遷入率等資訊，以世代生存法進行後續20年人口推估，並將各里推估結果分配至對應網格中，依據各網格人口密度大小區分為5級，最後疊加呈現，可動態計算並呈現不同年齡需求強度的空間分布，成果如圖17至20所示。該方式摒除一般以行政區(如區、次分區、里或最小統計區)的呈現方式，改以網格計算疊加後之成

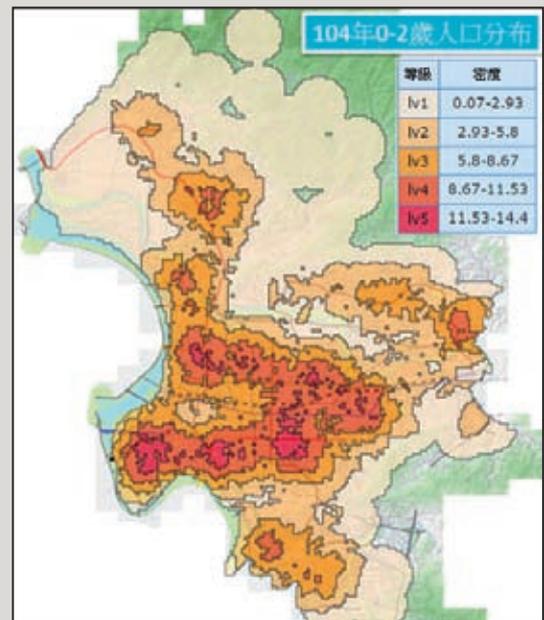


圖17 104年0至2歲需求強度圖

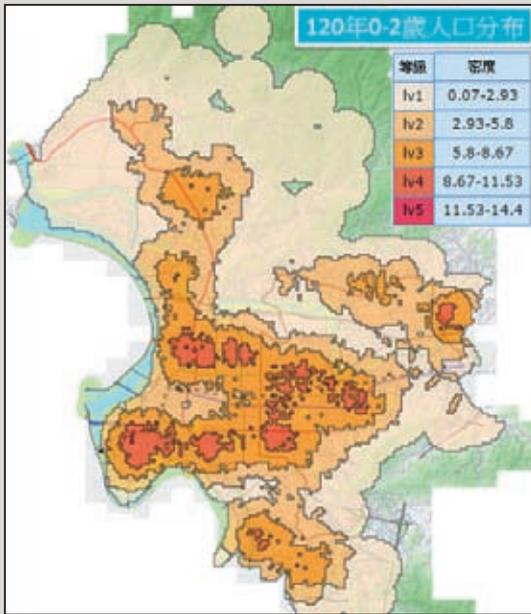


圖18 推估未來0至2歲需求強度圖(以120年為例)

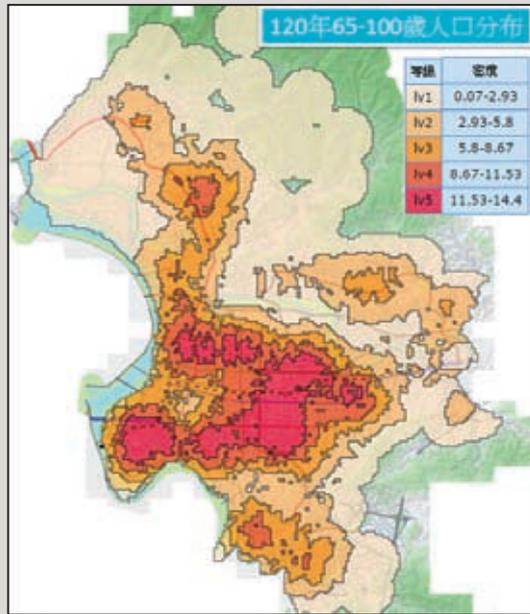


圖20 推估未來65至100歲需求強度圖(以120年為例)

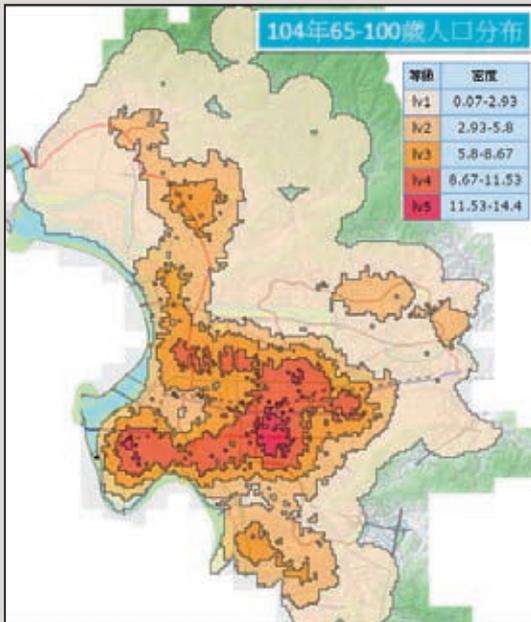


圖19 104年65至100歲需求強度圖



圖21 托嬰中心分布圖

果，將讓決策人員更容易於視覺上進行判斷，提升分析結果的可用性。

2. 供給服務量推估：除空間位置外，一併考量各種機構可提供的服務量(如托嬰中心的收托人數，或老人安養機構的床位數等)，再結合服務範圍，將服務量平

均分配至範圍網格內，最後將其結果套疊計算，獲得機構服務量分布圖。以臺北市公私立托嬰中心點位為例(分布如圖21)，計算在服務範圍1500公尺的服務量供給圖如圖22所示。

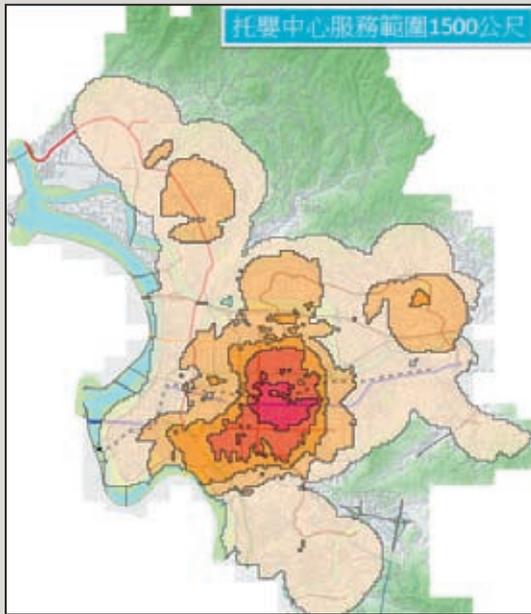


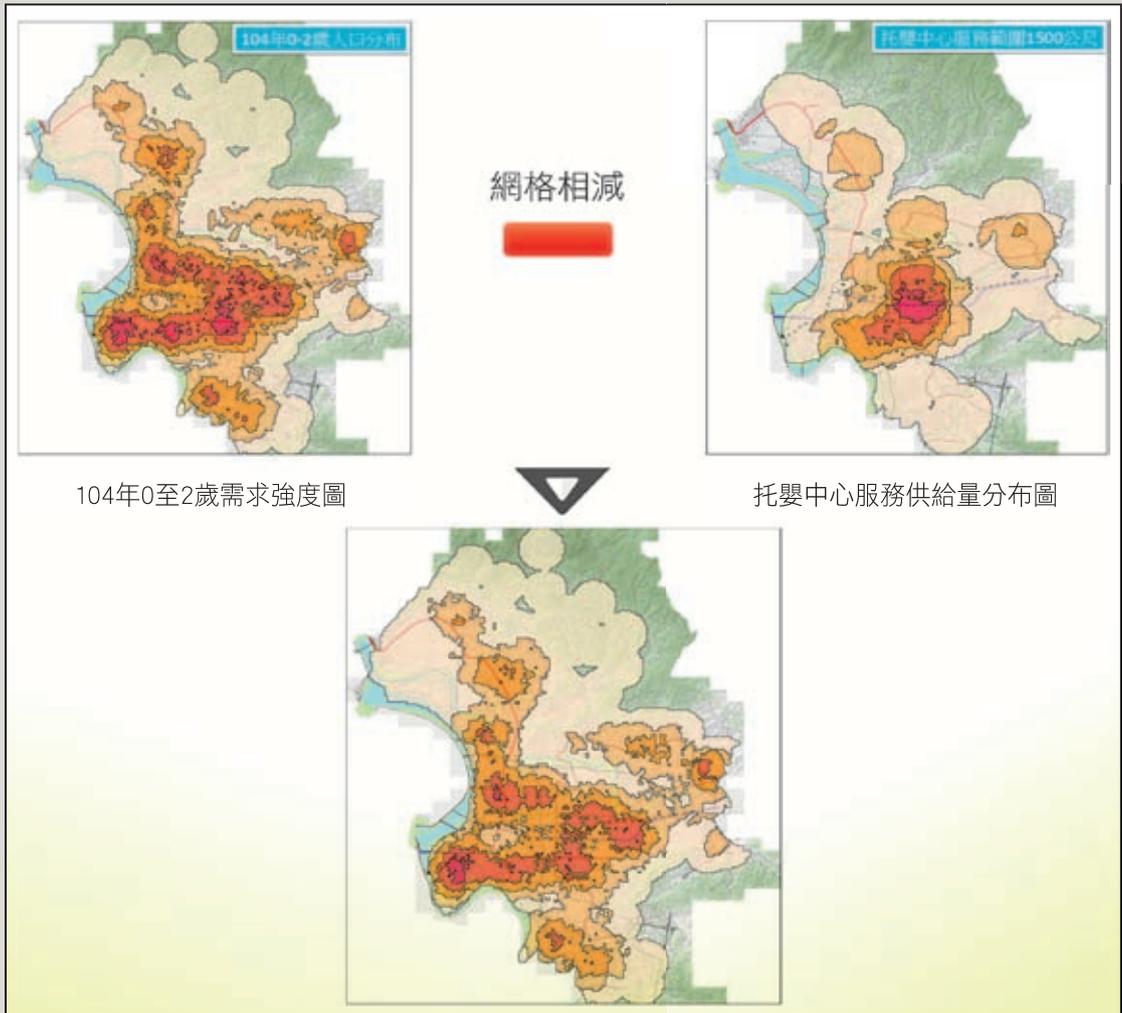
圖22 托嬰中心服務範圍1500公尺供給量分布圖

肆、空間資料視覺化分析應用

資料聚合為規則空間單元(網格)後，除了上節所述的視覺化呈現優勢外，更重要的是加速巨量資料即時分析與呈現，強化於尚未進行任何實質投資前，透過地理資訊系統，快速針對許多政策或投資情境加以評估，期望在花費最少資源的情況下，產生最大效益，降低浪費，避免不必要損失。以下延續「臺北市社會福利數據分析平台」案例，說明實際分析應用方式。

一、供需差異分析

使用者透過前述各式需求與供給預測所產



104年0至2歲需求強度圖

托嬰中心服務供給量分布圖

圖23 托嬰中心供需差異分析結果圖

生結果，以需求網格減去供給網格的方式，建立供需差異圖，尋找可能供給不足的區位，進而將資源投入真正需要的地方。以臺北市托嬰中心為例，以「104年0至2歲需求強度」作為需求，「托嬰中心服務範圍1500公尺的供給量分布」作為供給，網格對網格相減後，獲得臺北市托嬰中心供需差異結果，可藉此即時分析托嬰資源最匱乏的區域，其示意如圖23所示。

二、較佳設立區位分析

接續上述成果，可發現全市托嬰需求無法

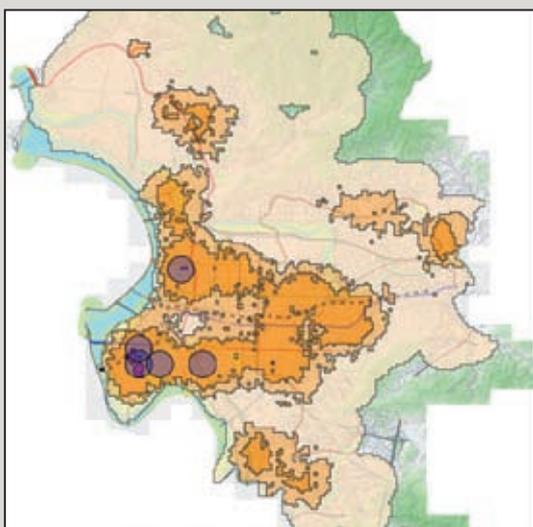


圖24 數值差距前五名位置圖

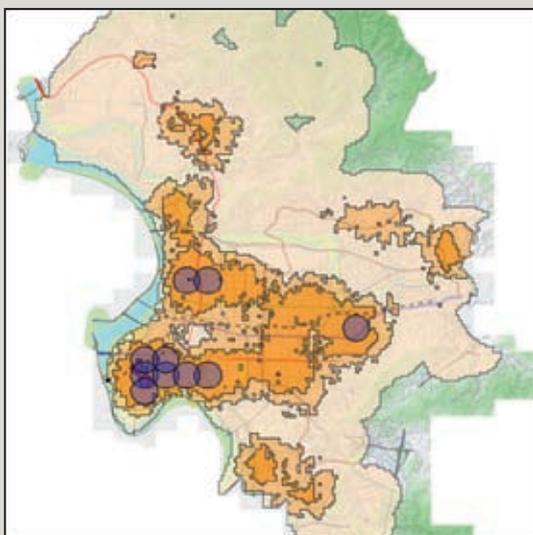


圖25 數值差距前十名位置圖

滿足之區域甚多，若無法以人工判讀較需關注的區域，系統可自動尋找較佳區位，以分群方式加總計算範圍內的網格數值，將其數值進行排序，按照數值高低依序繪製其空間位置，結果如圖24與25所示。

觀察數值差距前五名位置圖，可看出萬華與中正交界以及大同區較為缺乏，但觀察至差距前十名位置圖時，即可發現信義與南港區交界也是需關注的區域，決策者將可利用本項分析結果，作為政策資源調配的參考。

三、新建機構模擬分析

依較佳設立區位分析結果，瞭解全市托嬰需求強度分布後，決策單位可能需進一步結合市內可供設立托嬰中心之公有設施位置，模擬機構設立後供需變化情形。此刻即可將可供新建的位置與收托人數，結合既有機構資訊，動態模擬出新機構建立完成後的供給量分布圖。

延續前述托嬰中心的範例，模擬於台北市三行政區新建三個托嬰機構，參數如表1所示，模擬的供給量成果如圖26所示。

表1 新建機構模擬數值列表

編號	位置	標記	模擬供給量(人數)
1	萬華與中正區交界	●	120
2	信義與南港區交界	●	40
3	大同區	●	60

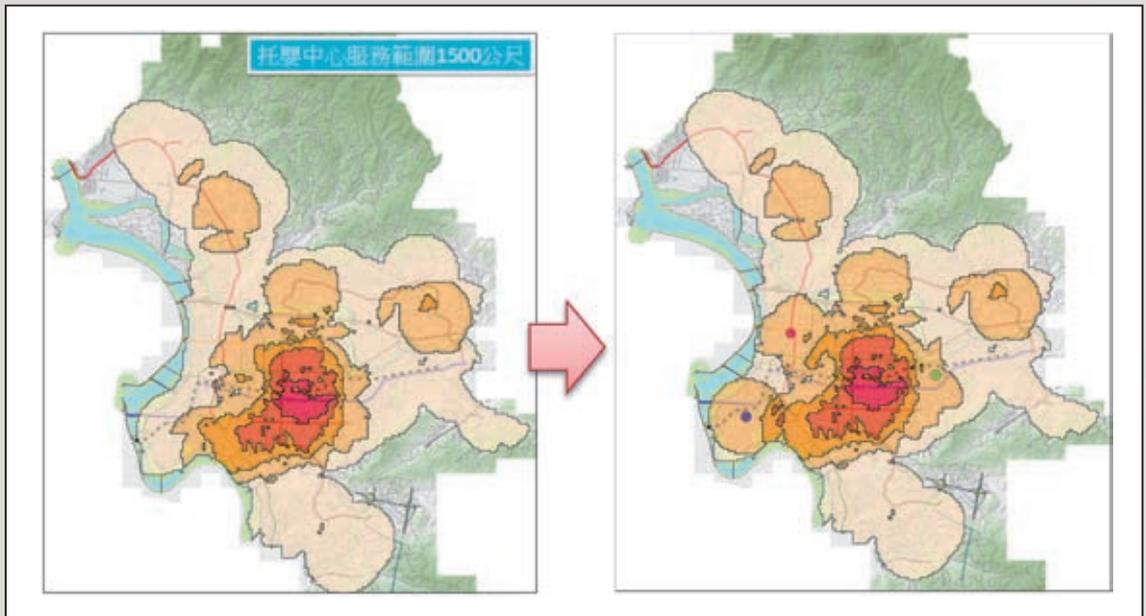


圖26 模擬新增3機構供給圖

伍、結語

本文彙整本公司處理巨量空間資料於前端地理資訊系統呈現案例，將空間大數據資料結合叢集化、資料聚合及預處理後，透過地理資訊系統呈現優點及效益如下：

- 一、優化巨量資料視覺化呈現方式，並使其流暢呈現，提升使用者滿意度。
- 二、可即時動態分析，有助於快速模擬大量可能情境，促進討論，提升決策品質。
- 三、可延伸應用於資料去識別化兼顧隱私，避免因資料公開而造成民眾隱私及權益受損。
- 四、建立全球資料展示架構，空間資料收集後，可依循統一框架快速處理，加速業務拓展。

未來結合物聯網大量感測器設置趨勢，空間數據資料更將以數十倍至數千倍高速成長，

藉由大數據空間視覺化技術，在各應用領域，例如追蹤空間商業趨勢、犯罪預防、災害數據彙整、即時交通路況等等，皆可更有效進行空間資料處理、展示及分析，充分發揮資料價值，使其更易於理解及提供支援決策，解決人類生活中各式各樣的問題。

參考文獻

1. 詹大千，金傳春。2013。地理資訊系統在傳染流行病學上的應用。國土資訊系統通訊88，2013。
2. 李曉暉。2016。WebGIS中GeoHash編碼的研究和擴展，Available at: <http://www.cnblogs.com/naaoveGIS/p/5164187.html>
3. 花蓮縣政府。2015。花蓮縣住宅及不動產資訊系統建置第二期暨都市計畫應用系統擴充案 期末報告書。

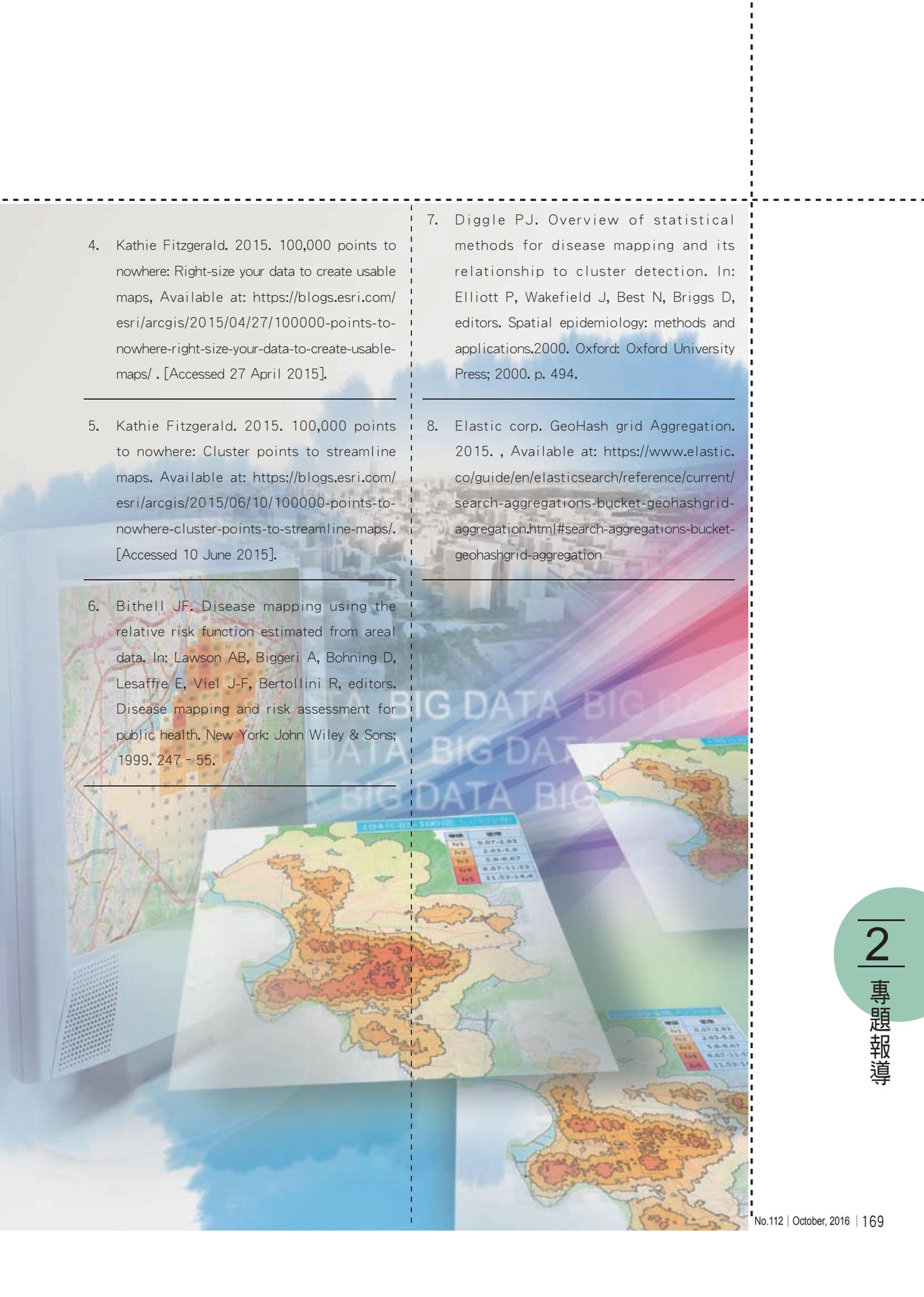
4. Kathie Fitzgerald. 2015. 100,000 points to nowhere: Right-size your data to create usable maps, Available at: <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2015/04/27/100000-points-to-nowhere-right-size-your-data-to-create-usable-maps/> . [Accessed 27 April 2015].

5. Kathie Fitzgerald. 2015. 100,000 points to nowhere: Cluster points to streamline maps. Available at: <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2015/06/10/100000-points-to-nowhere-cluster-points-to-streamline-maps/>. [Accessed 10 June 2015].

6. Bithell JF. Disease mapping using the relative risk function estimated from areal data. In: Lawson AB, Biggeri A, Bohning D, Lesaffre E, Viel J-F, Bertollini R, editors. Disease mapping and risk assessment for public health. New York: John Wiley & Sons; 1999. 247 - 55.

7. Diggle PJ. Overview of statistical methods for disease mapping and its relationship to cluster detection. In: Elliott P, Wakefield J, Best N, Briggs D, editors. Spatial epidemiology: methods and applications. 2000. Oxford: Oxford University Press; 2000. p. 494.

8. Elastic corp. GeoHash grid Aggregation. 2015. , Available at: <https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/current/search-aggregations-bucket-geohashgrid-aggregation.html#search-aggregations-bucket-geohashgrid-aggregation>



三維地下管線 建模及3D-GIS 整合應用

關鍵詞：地理資訊系統，地下管線，三維城市，3D GIS

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／正工程師／許家成 ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／正工程師／王世復 ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／副理／李信志 ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／協理／鍾萊 ④

摘要 ABSTRACT

公共設施管線是都市的重要基礎設施，舉凡都市的自來水、電力、瓦斯及電信系統均仰賴管線進行傳輸，因此，管線在都市中扮演著重要角色。由於管線的增設日益龐大、複雜且多元，管線地下化促使管線系統在空間的配置上需進行全面性的整合，為能有效進行管線的統整及管理，管線的三維空間資料建置變得更加重要，而地下管線中常見的管線主要包含雨水及污水管線。傳統上，管線的地理資訊系統多使用二維方式呈現，但以二維的方式進行管線的查詢及展示，不易完整地描述地下管線的空間關係，應朝向三維地下管線建模研究，因此如何建立三維地下管線模型是一項重要技術發展工作。

因應三維智慧城市推動，三維地理資訊系統的發展、建置及動態瀏覽為重要的工作，現行的三維數位城市系統著重於房屋和道路等物件模型建置，然公共設施管線亦是城市不可或缺元件，由於地下管線種類複雜及類型多元，為能有效管理及維護，必須發展地下管線三維模型資料庫及展示平台。本文即針對此一需求，進行三維公共設施管線空間資訊建置的分析探討、建模實作及3D-GIS整合應用，彙整作業成果經驗分享，亦可作為後續其它單位發展三維管線空間資訊的參考。



壹、前言

103年7月31日高雄地下管線氣爆事件，造成重大傷亡及財產損失，引發中央單位及各縣市政府工務單位對地下管線維運的重視，並積極推動地下管線的管理作業，而地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)可整合各類空間資料進行處理、分析與展示，很適合做為地下管線管理工具，但目前常見的管線GIS查詢及展示系統皆以平面圖的方式呈現，經由圖層套疊管線及數值地形圖等空間資料，利用管線圖層進行屬性查詢。

在現實生活中地下管線是地下物且具深度資訊，但受限於現行系統的限制，管線地理資訊的資料被迫以二維的方式呈現，捨棄了重要的深度資訊，因此不易完整地描

述地下管線的空間關係。二維管線系統的優點雖能以低資料量的圖資，提供較為快速的查詢服務，但是相對的缺點是不夠直觀，使用者不易瞭解多層管線的空間分布情況，堆疊繪製的圖層在判讀上不易，且十分容易造成誤判或漏失資訊，對管線空間關係的掌握僅限於二維俯視圖(如下圖1)。



圖1 二維地下管線示意圖

國內應用GIS在管線管理與資料建置有兩大方向，第一類是為道路管理所做之公共設施管線調查，各都市計畫區已陸續完成資料建置；第二類是工程及事業單位專用管線建置，包含雨水及汙水、自來水、瓦斯、寬頻管道及電信管線等。由於管線的增設日益龐大、複雜且多元，為能有效的進行管線的統整及管理，管線的空間資料建置變得更为重要，地理資訊系統可整合各類空間資料進行處理、分析與展示，但在三維地下管線建置過程中衍生出許多新問題，例如三維資料格式定義、3D-GIS效能、三維管線管理與分析應用方向，仍需在方法及效益間不斷研究及開發，為支援決策及空間分析，三維管線建模及動態瀏覽是未來重要發展工作。

台灣世曦工程顧問股份有限公司(以下簡稱CECI)，針對未來3D管線空間分析及網路平台應用需求，於103-104年度進行工程設計三維建模研究，104年度辦理桃園市公共設施管線資料庫建置進行3D管線建模，及105年度執行WebGL技術於3D管線之展示及應用研究，經由上述研究計畫及實務專案探討3D管線作業規範、模型建置及結合3D-GIS展示平台，及支援跨平台展示應用，本文將彙整上述計畫成果經驗分享，作為未來推動3D管線實作參考。

貳、三維地下管線作業規範

多數的GIS軟體都有單機或Web化的三維平台，可以將二維的管線資料利用高程屬性或三維向量資料轉換為GIS三維模型，圖2為ArcGIS Server及ArcScene製作的管線，其優點是二、三維資料可以同步展示及維護，轉換的成果較便宜；但缺點是細緻度提高時資料量會倍數成長，且Web展示平台仍有資料量的上限，無法即時展示大量且細緻模型資料。

為將三維公共設施管線以更精緻的方式呈現，將針對三維建模的技術規格，包括介紹BIM模型、三維建物模型細緻度、三維管線模型定義及空間資訊蒐集方法進行綜合性討論，各項內容說明如下：

一、BIM模型技術規格定義

規劃設計或施工廠商須利用BIM(Building Information Model, BIM)工具建置BIM模型提交甲方及監造廠商進行整合應用。BIM模型之定義係指用於土木、建築工程中的三維參數化模型，透過三維的空間模型紀錄項目中的構造物幾何資訊，提供工程生命週期中各階段，包含：規劃、設計、施工、營運管理等參與者如業主、建築師、專業技師、營造商、專業分包商、供應商等進行資訊分享與工程協調。

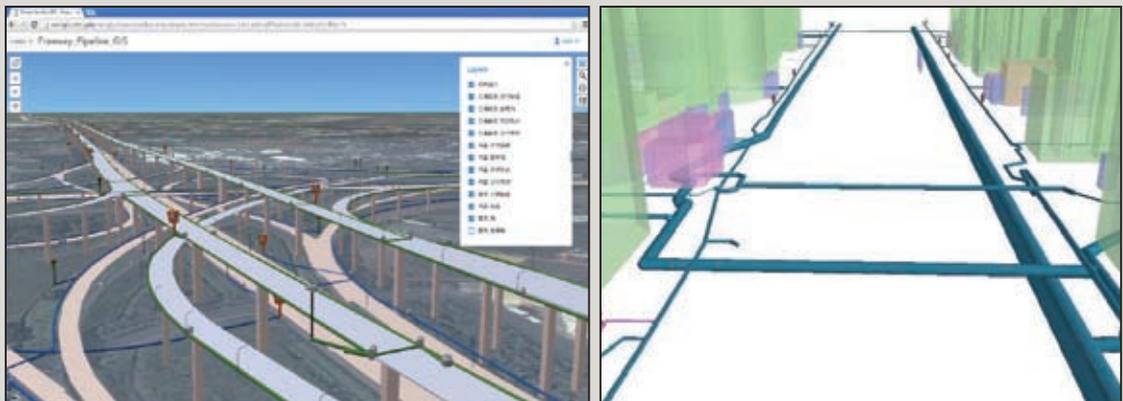


圖2 傳統GIS三維管線模型示意圖

表1 BIM模型LOD說明表

LOD分級	說明	應用階段
LOD 100	模型元件(Model Element)可以用一種符號或其他一般性的圖形表示方式表達在模型中，但不須達到LOD 200的要求。模型元件相關的資訊是可以來自於其他模型元件	規劃
LOD 200	模型元件被以圖形方式表達成模型中的一個通用的系統、物件或組件(generic system, object, or assembly)，並具有約略(approximate)的數量、大小、形狀、位置和方向。	初設
LOD 300	模型元件被以圖形方式，依據數量、大小、形狀、位置和方向，表達成模型中的一個具體的系統、物件或組件(specific system, object, or assembly)。	細設
LOD 350	模型元件被以圖形方式，依據數量、大小、形狀、位置和方向，及與其他建築物系統的介面，表達成模型中的一個具體的系統、物件或組件。	細設
LOD 400	模型元件被以圖形方式，依據大小、形狀、位置、數量、方向，還有詳細圖、製造、組合和安裝的資訊，表達成模型中的一個具體的系統、物件或組件。	施工
LOD 500	模型元件為具實際數量、尺寸、形狀、位置、方向等精確資訊之完工集合體(Constructed Assemblies)。非幾何屬性資訊也可建置於模型元件中。	竣工

各級廠商所提交之各BIM模型詳細程度，參考臺大土木工程資訊模擬與管理研究中心「業主BIM實施方針之擬定指引(2015版)」之LOD(Level of Development, LOD)定義，其等級分類如表1所示。

二、三維建物模型細緻度

CityGML是專門為三維城市與景觀模型物件之展示與存取所設計的資料交換格式，以XML(eXtensible Markup Language)語法為基礎的資料編碼標準，並遵循OGC(Open Geospatial Consortium, OGC)所規範的GML(Geography Markup Language)所發展之應用綱要模型。CityGML及內政部三維建物模型資料標準格式對房屋模型細緻度等級(Level of Detail, LOD)之定義，分為LOD1、LOD2、LOD3、LOD4四個等級，如圖3：

(一) LOD1：塊狀模型(Block Model)

(二) LOD2：具屋頂結構模型
(Roof Structure Model)

(三) LOD3：外部建築模型
(Outside Architectural Model)

(四) LOD4：內部建築模型
(Interior Architectural Model)

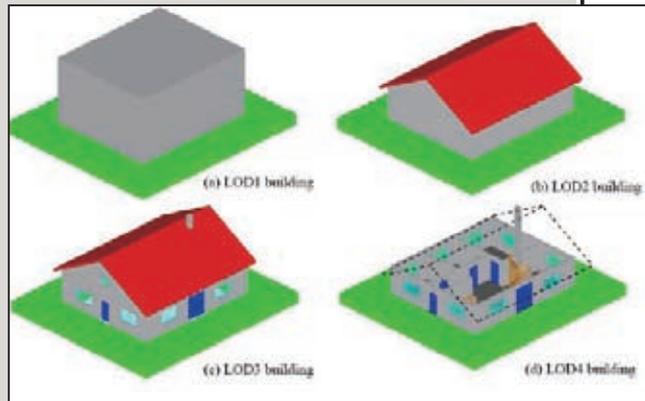


圖3 LOD1、LOD2、LOD3、LOD4四個房屋模型細緻度等級

三、三維管線模型定義

三維模型的細緻度則依據使用需求建置不同等級訂定，圖4為地下管線模型所訂定之細緻度分級表，每種分級其空間資訊之豐富度有所不同，細緻度愈高，擬真度、建置成本、應用領域、軟硬體效能要求也愈高。

四、三維管線模型空間資訊蒐集方法分析

由以上的分析可知，欲建置細緻度較高之模型，需要有豐富的三維資訊方可達成，而目

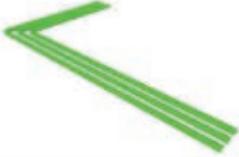
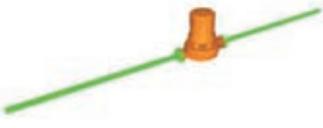
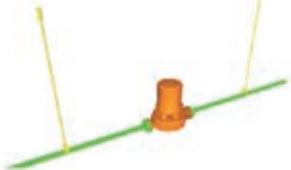
細緻度分級	人孔模型 (自來水設施)	說明	管線模型 (自來水管線)	說明
LOD1		設備物件 圖示說明		設備物件 圖示說明
LOD2		說明設備的相 近大小、形狀 和位置		說明管線的相 近大小、形狀和 位置
LOD3		說明設備特定 尺寸、形狀、 間隔和位置模 型		管線特定的尺寸、 形狀、間距和管 的位置、閥栓、 管件、以及絕緣 立管、幹線和分 支模型
LOD4		設備實際施工 結構元件包括 尺寸、形狀、 間隔和位置 和其它設施的連 接模型		實際施工模型： 包括實際的尺寸、 形狀、間隔和位 置、其它水管的 連接、閥栓

圖4 三維管線模型細緻程度分級圖

(參考資料：<http://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/05/DRAFT-LOD-Spec.pdf>)

表2 取得三維管線空間資訊方式分析比較表

作業方式	作業所需時間	資料現況	資料可靠度	作業成本
人孔測量	快	進行中	中(僅只於地面資訊)	中
設計竣工圖	快	不完整	視資料年份	低
開孔調查	中	無	中(人孔間有不規則變化)	中
透地雷達	慢	無	高(視探測密度)	高
現地開挖	極慢	無	高(視開挖點密度)	極高
道路申挖時同步測量	慢	隨時進行	高(視申挖點密度)	低

前三維空間資訊的蒐集方式主要有以下方式，如表2，說明如下：

(一) 人孔測量：為目前公共設施管線作業方式，可取得人孔種類、人孔中心坐標(X, Y, Z)等資訊。

(二) 設計竣工圖：在新開發之重劃區、園區，其設計圖、竣工圖保留完整，可直接據以建置三維管線，如圖5。

(三) 開孔調查：此作業成本較高，一般在用於雨水下水道人孔調查中，可取得人孔內部尺寸、管線口徑、管線埋深、管線相對於人孔之連接位置。

(四) 管線探測：針對無法開孔調查之管線類別，如自來水、油管，可以透地雷達等方式進行管線位置探測，但作業成本極高，較適用於小範圍區域執行

(五) 現地開挖：而現地開挖取得現地三維

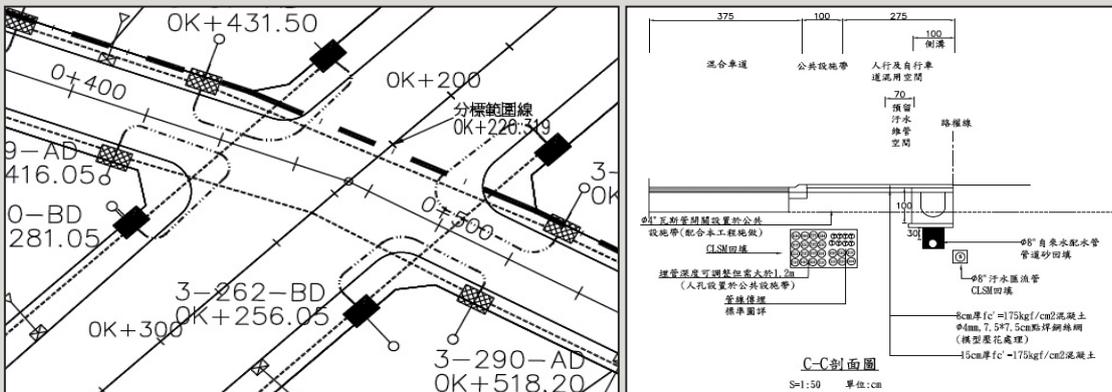


圖5 工程竣工範例圖

表3 公共設施管線資料庫一覽表

項次	檔案名稱	檔案性質	圖元特徵	示意圖
1	道路街廓圖	圖檔	線	
2	道路中心線	圖檔+屬性	線	
3	重要地標圖	圖檔+屬性	點	
4	門牌位置圖	圖檔+屬性	點	
5	建物線	圖檔	多邊形	
6	行政區域圖	圖檔+屬性	多邊形	
7	電信管線圖	圖檔+屬性	線、點	
8	電力管線圖	圖檔+屬性	線、點	
9	自來水管線圖	圖檔+屬性	線、點	
10	污水管線圖	圖檔+屬性	線、點	
11	雨水管線圖	圖檔+屬性	線、點	
12	瓦斯管線圖	圖檔+屬性	線、點	
13	輸油管線圖	圖檔+屬性	線、點	
14	有線電視管線圖	圖檔+屬性	線、點	
15	寬頻管線圖	圖檔+屬性	線、點	
16	警訊管線圖	圖檔+屬性	線、點	

資訊，則為最精確的測量方式，但需破壞地面，且費用成本極高，可建議於道路申挖時進行測量工作，透過局部補正方式，可取得目前最缺乏之管線深度及管線位置等資訊。

依據營建署99年所頒定的「公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」，提到公共設施管線的內容應包括：道路街廓圖、道路中心線、重要地標圖、門牌位置圖、建物線，行政區域圖、電信管線圖、電力管線圖、自來水管線圖、下水道管線圖、水利管線圖、瓦斯管線圖等16項具有空間屬性的圖層資料(如表3)，坐標系統採用TWD97二度分帶投影坐標(簡稱TWD97)。

參、三維管線模型建置

一、公共設施管線資料庫架構

二、公共設施管線資料標準概述

公共設施管線建置作業目前皆依循營建署「公共設施管線資料庫標準制度」，內容包括「公共設施管線資料標準共同規範」、「公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」、「公共設施管線交換資料(GML格式)」、「公共設施管線交換資料標準」。其中也規範了人孔管線之三維空間資訊，以下為其中相關內容。

- (一) 人孔：人孔坐標、地盤高、孔蓋種類、尺寸單位、蓋部寬度、蓋部長度、孔深。
- (二) 管線：尺寸單位、管徑寬度、管徑高度、涵管條數、起點埋設深度、終點埋設深度、管線長度。
- (三) 開關閥：閥坐標、口徑、地盤高、埋設深度。
- (四) 消防栓：栓坐標、埋設深度、管身口徑、出水口口徑。
- (五) 電桿：桿坐標、長度。

三、建置前資料蒐集

以執行桃園市公共設施管線資料庫建置案之試辦3D管線建模為例，三維管線資料建置將分成二種型式進行資料建置，一類為新設管線資料，本文取得桃園市中路地區設計圖冊資料(圖冊為PDF格式、成果檔為DWG格式)及中路地區基礎工程設計圖，土木工程共可分為A至F六區，每區2個工區，合計12工區，如圖6。另一類則以桃園市現有之公共設施管線資料成果為基礎，進行資料的建置作業，選定中壢平鎮都市擴大修訂計畫範圍為本次建置作業範圍，請參閱圖7。

四、資料建置方法

- (一) 取得工程竣工資料建置三維管線模型方法

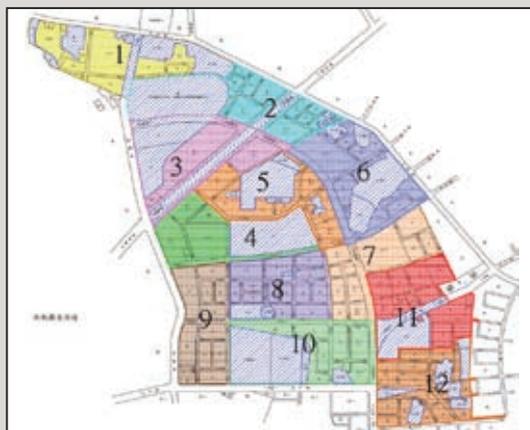


圖6 中路地區作業範圍圖

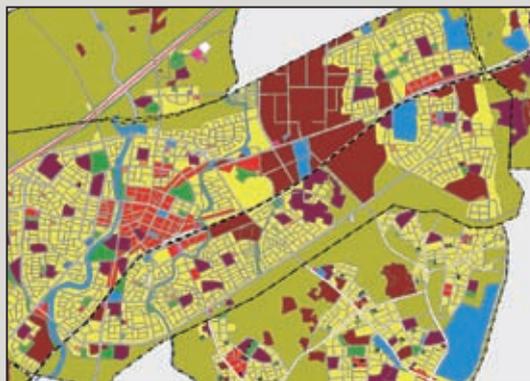


圖7 中壢平鎮都市擴大修訂計畫範圍圖



圖8 中路地區道路中心線及坐標成果資料圖

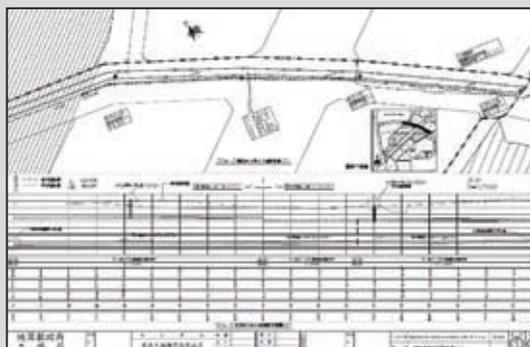


圖9 中路地區建模物件縱斷面成果圖

1. 建立平面控制基準：取得計畫道路中心樁坐標資料，如圖8。
2. 建立高程控制基準：取得建模物件的平面及高程資訊，如圖9。
3. 套合計畫道路中心及建模物件，求取結構物與中心線支距，如圖10。

4. 建立模型產製資料，建模物件之平面、縱斷面、物件尺寸資料與道路中心線關係，如圖11。
5. 計算建模物件絕對坐標及高程之基礎資料，如圖12。

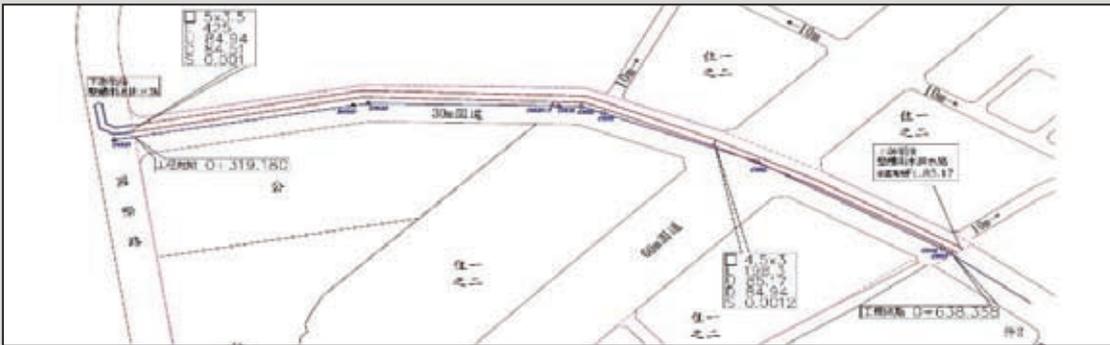


圖10 中路地區建模物件與道路中心線關係圖

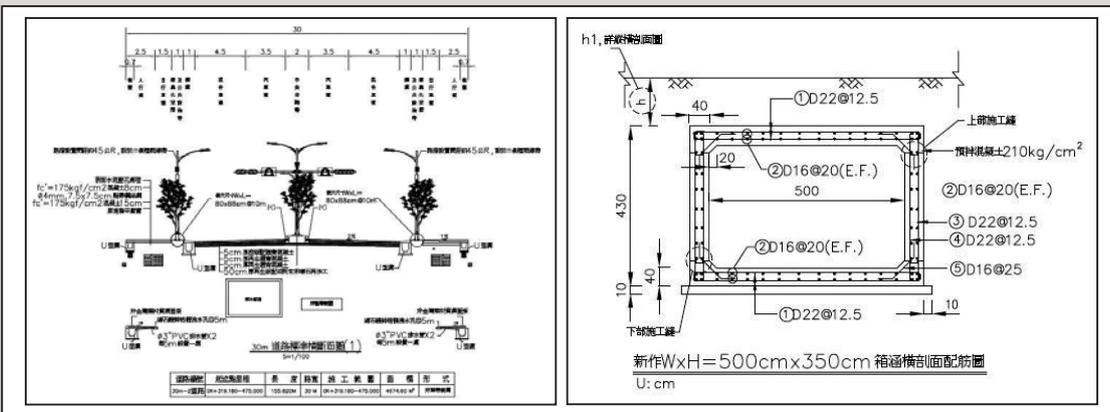


圖11 中路地區建模物件與道路中心線關係圖

STA	PO	結構物件坐標				結構物件坐標				結構物件坐標				結構物件坐標						
		東	北	高	東	北	高	東	北	高	東	北	高	東	北	高	東	北	高	
0+011.011	84.111	-2.800	-0.800	2788412.731	278851.833	84.111	-2.800	3.800	2788412.731	278851.833	84.111	2.900	3.800	2788412.907	278851.908	84.111	-0.400	2788412.907	278851.908	84.111
0+174.911	84.911	-2.800	-0.800	2788479.981	278859.284	84.911	-2.800	3.800	2788479.981	278859.284	84.911	2.900	3.800	2788479.981	278859.284	84.911	-0.400	2788479.981	278859.284	84.911
0+214.811	84.811	-2.800	-0.800	2788442.332	278853.535	84.811	-2.800	3.800	2788442.332	278853.535	84.811	2.900	3.800	2788442.332	278853.535	84.811	-0.400	2788442.332	278853.535	84.811
0+184.911	84.911	-2.800	-0.800	2788481.344	278853.348	84.911	-2.800	3.800	2788481.344	278853.348	84.911	2.900	3.800	2788481.344	278853.348	84.911	-0.400	2788481.344	278853.348	84.911
0+139.011	84.011	-2.800	-0.800	2788477.817	278853.721	84.011	-2.800	3.800	2788477.817	278853.721	84.011	2.900	3.800	2788477.817	278853.721	84.011	-0.400	2788477.817	278853.721	84.011
0+101.811	84.811	-2.800	-0.800	2788477.817	278853.721	84.811	-2.800	3.800	2788477.817	278853.721	84.811	2.900	3.800	2788477.817	278853.721	84.811	-0.400	2788477.817	278853.721	84.811
0+100.111	84.111	-2.800	-0.800	2788477.817	278853.721	84.111	-2.800	3.800	2788477.817	278853.721	84.111	2.900	3.800	2788477.817	278853.721	84.111	-0.400	2788477.817	278853.721	84.111
0+100.011	84.011	-2.800	-0.800	2788441.342	278853.446	84.011	-2.800	3.800	2788441.342	278853.446	84.011	2.900	3.800	2788441.342	278853.446	84.011	-0.400	2788441.342	278853.446	84.011
0+481.111	84.111	-2.800	-0.800	2788448.119	278853.423	84.111	-2.800	3.800	2788448.119	278853.423	84.111	2.900	3.800	2788448.119	278853.423	84.111	-0.400	2788448.119	278853.423	84.111
0+474.211	84.211	-2.800	-0.800	2788428.087	278853.290	84.211	-2.800	3.800	2788428.087	278853.290	84.211	2.900	3.800	2788428.087	278853.290	84.211	-0.400	2788428.087	278853.290	84.211
0+481.111	84.111	-2.800	-0.800	2788417.181	278853.185	84.111	-2.800	3.800	2788417.181	278853.185	84.111	2.900	3.800	2788417.181	278853.185	84.111	-0.400	2788417.181	278853.185	84.111
0+411.211	84.211	-2.800	-0.800	2788411.284	278853.478	84.211	-2.800	3.800	2788411.284	278853.478	84.211	2.900	3.800	2788411.284	278853.478	84.211	-0.400	2788411.284	278853.478	84.211
0+438.111	84.111	-2.800	-0.800	2788411.284	278853.478	84.111	-2.800	3.800	2788411.284	278853.478	84.111	2.900	3.800	2788411.284	278853.478	84.111	-0.400	2788411.284	278853.478	84.111

圖12 產製建模物件之基礎資料圖

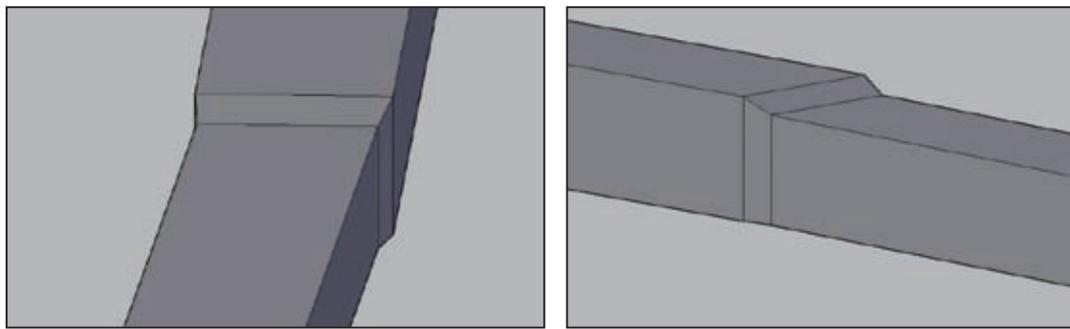


圖13 三維建模成果圖

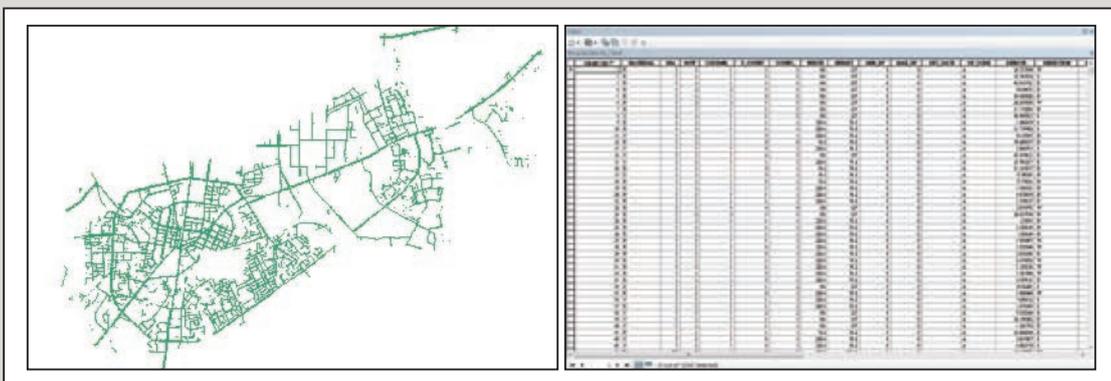


圖14 桃園市公共設施管線成果平面及屬性表範例圖

AD_TEMP_3D											
FID	Shape *	Yaw	Pitch	Roll	Texture	Radius	Length	ID	HEIGHT	ZV	
0	Point ZM	296.683635	-2.627645	0	connector	0.77	0.385		0	119.638	
1	Point ZM	414.853988	0.706513	0	connector	0.77	0.385		0	119.638	
2	Point ZM	296.683635	-2.627645	0	sphere	0.7	0.7		0	119.638	
3	Point ZM	237.576998	0.972295	0	pipeDeepBlue	0.7	40.584902	4	0	119.107	
4	Point ZM	237.576998	0.972295	0	connector	0.77	0.385		0	119.107	
5	Point ZM	416.683635	2.627645	0	connector	0.77	0.385		0	119.107	
6	Point ZM	237.576998	0.972295	0	sphere	0.7	0.7		0	119.107	
7	Point ZM	237.575995	-0.321598	0	pipeDeepBlue	0.7	0.689144	4	0	119.796	
8	Point ZM	215.249584	-0.448513	0	pipeDeepBlue	0.7	0.714408	5	0	122.028	
9	Point ZM	214.953872	-0.421271	0	pipeDeepBlue	0.7	8.059504	5	0	122.023	
10	Point ZM	214.953872	-0.421271	0	connector	0.77	0.385		0	122.023	
11	Point ZM	395.249584	0.448513	0	connector	0.77	0.385		0	122.023	

圖15 三維物件空間資訊屬性表範例圖



圖16 SKYLINE三維管線建模成果範例圖

6. 撰寫程式繪製產出建模物件之三維模型，如圖13。

(二) 以公共設施管線資料庫進行轉置方式

1. 取得桃園市公共設施管線資料成果範例，如圖14。
2. 透過SKYLINE API程式，撰寫單機程式將2D管線轉成SKYLINE 3D物件及3D空間資訊屬性表，如圖15。
3. 在SKYLINE平台載入3D物件，並設定各管線模型類別，成果如圖16。

五、資料建置方法比較

經由上述作業流程及初步結果，本文針對三維管線建模作業程序、成本及細緻度進行初步的比較，以竣工資料轉置在成果品質、平面精確度、埋深精確度有較佳的表現，採既有公共設施管線資料庫轉置方式，則於人力成本較低、資料取得較容易，成果彙整如表4。

表4 公共設施管線三維管線建模作業方法比較

比較項目	竣工資料轉置	既有公共設施管線資料庫轉置
成果品質	細緻	簡略
平面精確度	高	低
埋深精確度	高	低
人力成本	略高	較低
資料取得	困難	容易

肆、三維地下管線建模結合3D-GIS應用

一、展示應用

(一) Skyline平台

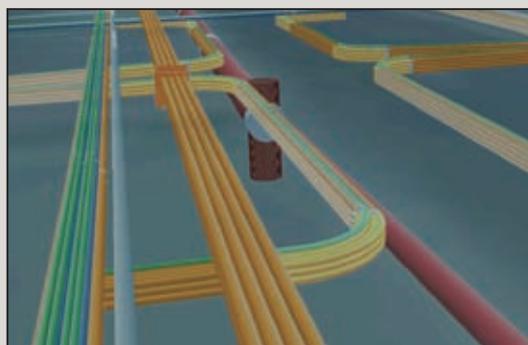


圖17 三維地下管線成果範例圖

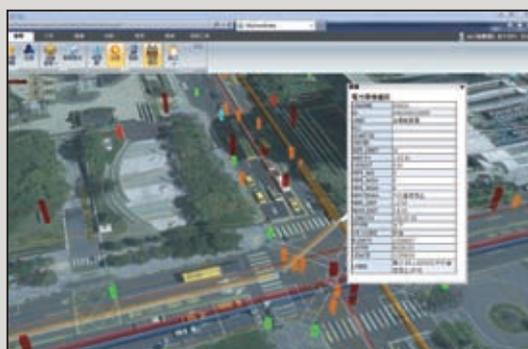


圖18 三維管線屬性查詢範例圖

本公司於Skyline平台上進行開發，可於三維場景內，展示三維地下管線，如圖17所示，並可點選管線資訊，查看管線的屬性內容資料，如圖18所示。可於三維場景內，採用圓形或多邊形的方式挖除地形資料，查看局部管線資料，如圖19-20所示。



圖19 三維地下管線圓形挖除範例圖



圖20 三維地下管線多邊形挖除範例圖

(二) CEI自行研發3D展示平臺

本公司為發展3D GIS，於內部的研發計畫，亦開發了跨行動裝置的3D展示平台，以Three.js函式庫建立三維環境，其中最重要的項目包含場景、燈光、攝影機與渲染器，其建立架構如圖21所示，燈光與

攝影機建立後將放入場景中，並利用重複渲染的方式，由渲染器將圖形送至HTML上呈現，而使用者可藉由多種瀏覽器(如IE、Chrome、Safari、Firefox等)觀看結果。

為了增加程式的再利用性，規劃開發架構，分為四個部分，包含資料串接模組(DataLink)、模型建置模組(Ge3DMapObject)、材質定義模組(DefineMaterial)與地圖呈現模組(Ge3DMap)，架構如圖22所示。

經程式產製之三維管線模型成果，以藍色透明色塊展示人孔頸與人孔座，淺藍色管形表示雨水管線，淺黃色管形表示連接管。因LOD3可由AA剖面方向得出水流方向，故套疊水流方向增加資料可讀性，研發案開發成果如圖23~28所示。

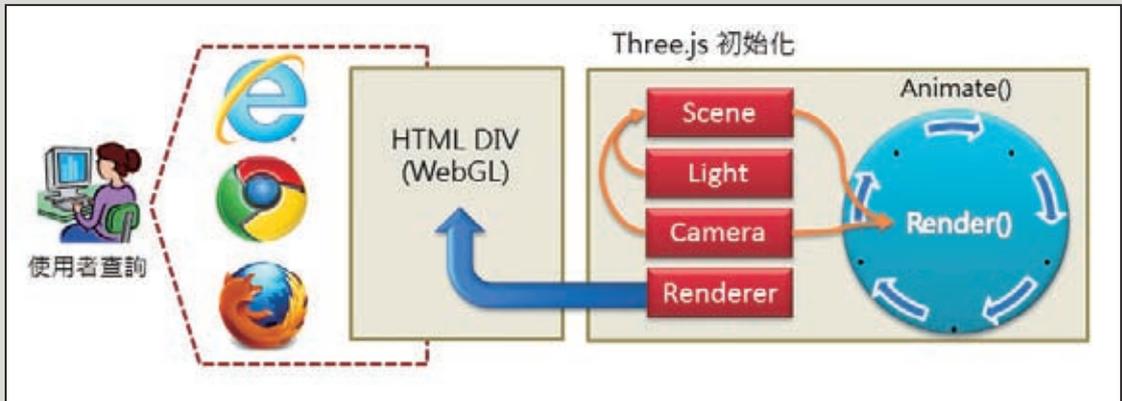


圖21 三維環境建立架構圖

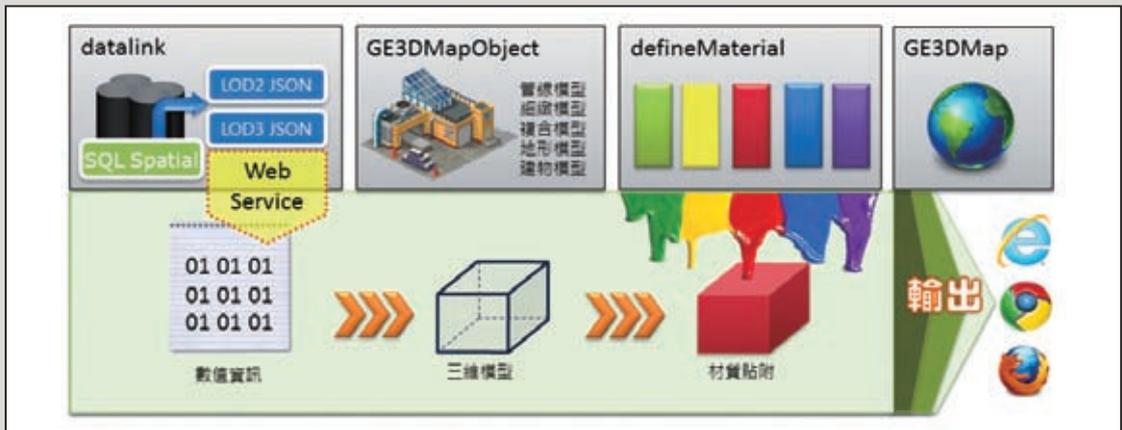


圖22 三維建物模型生成流程圖

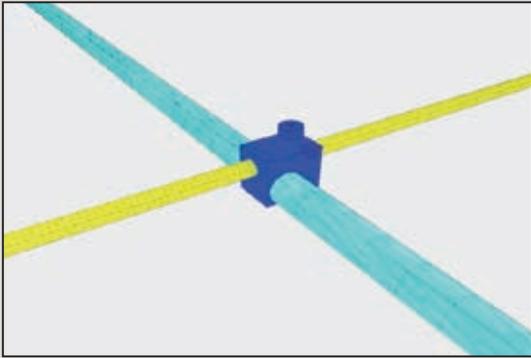


圖23 LOD3人孔與管線繪製成果圖

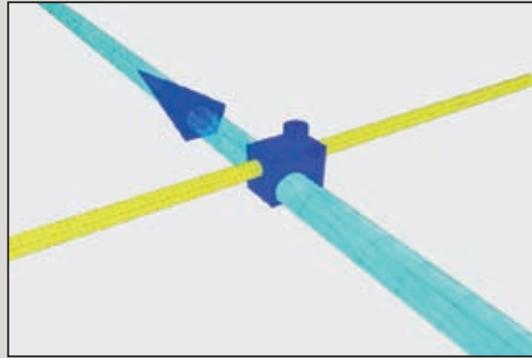


圖24 繪製成果套疊水流方向成果圖

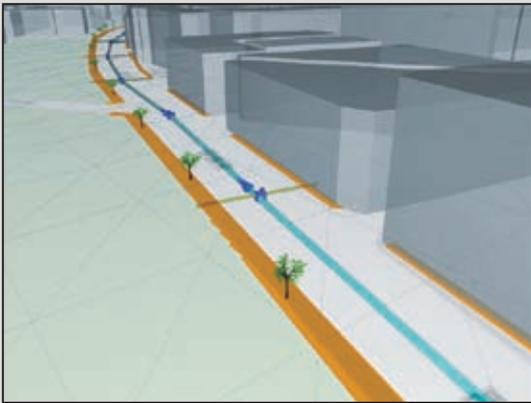


圖25 LOD3繪製成果套疊輔助資訊圖(遠俯視)

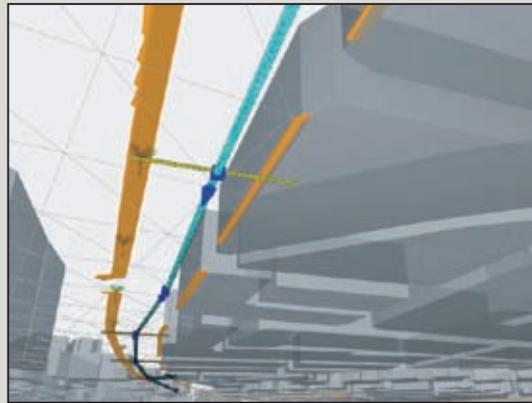


圖26 LOD3繪製成果套疊輔助資訊成果圖(下視)

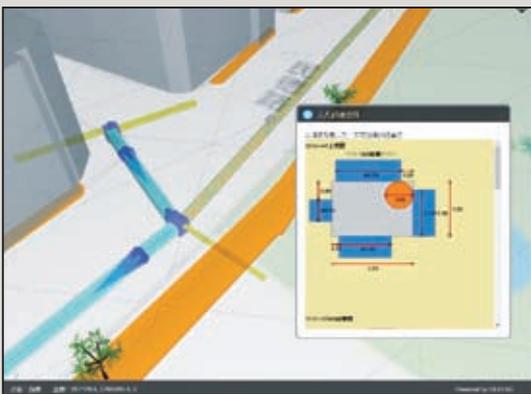


圖27 雨水人孔上視圖繪製成果圖(俯視)

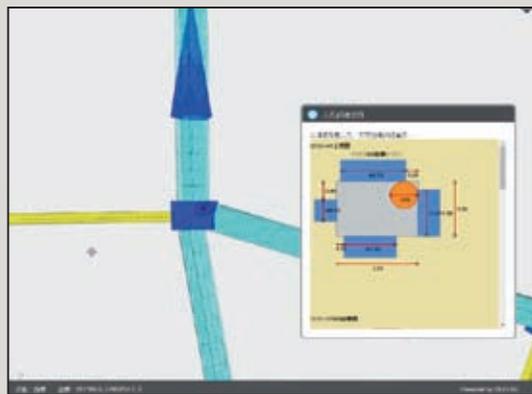


圖28 雨水人孔上視圖繪製成果圖

二、管線衝突檢查

將原始資訊以三維方式呈現後，即可很輕易的找出資料不合理處，分述如下：

(一) 管徑記載衝突

各管線之起點與終點是以端點的資料格式，利用上述作業流程進行推估，若兩相鄰人孔記載之管徑不同，則在呈現時會與圖29相同，出現管中管的狀況。

(二) 資料缺漏問題

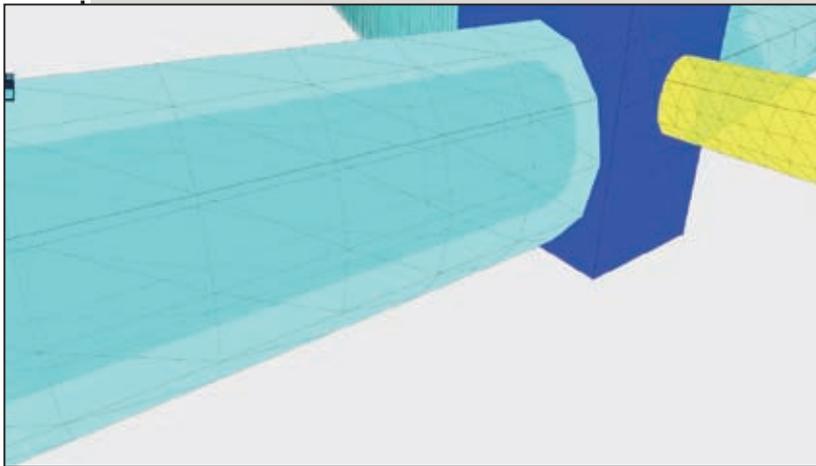


圖29 管徑記載衝突發生管中管問題範例圖

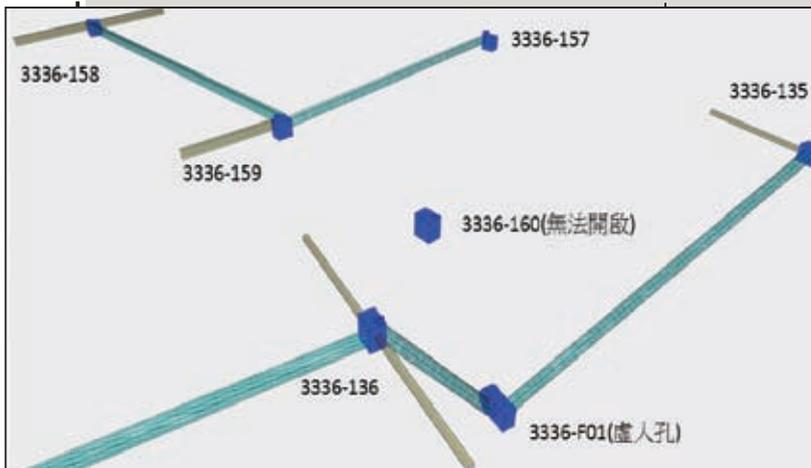


圖30 資料缺漏問題範例圖

因資料推算方式需要兩個相鄰人孔均記載正確才可正確推出三維數值，故可很容易的找出資料缺漏的點位，除了人工作業疏失會導致資料缺漏外，也可能因為無法開啟人孔蓋導致，或是缺乏完整數據的虛人孔，也可藉由該介面檢視與討論，以補上相關數據。資料缺漏所呈現之圖形如圖30所示。

伍、結語與建議

透過3D GIS可提升地下管線管理之深度與廣度，將原始2D圖面資料以3D直覺化、立體化

的方式呈現後，可帶動後續發展更多元化加值應用，達成效益如下：

一、結合現地巡查系統

整合全球定位系統(Global Position System, GPS)及慣性測量單元(Inertial Measurement Unit, IMU)之行動裝置，可讓使用者在現場以手持式設備，即時觀看地下管線類別及分布情況，並與現有之巡檢系統作業相互整合，讓現場人員即時掌控地下管線排列資訊，做日常業務巡查紀錄。

二、最適化決策方案

藉由跨平臺的整合設計，未來的管線系統，不僅僅是單一的WEB-GIS系統，更是一個行動化的3D-GIS系統，作業範圍不侷限。各項管線資訊皆可於網路上輕鬆查詢，並提出適當的空間資訊，亦可於災害發生時提供即時資訊，提供首長最佳支援決策。

參考文獻

1. 臺大土木工程資訊模擬與管理研究中心 (2015)業主BIM實施方針之擬定指引(2015版)
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2012)三維管線之空間資訊建置及應用
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2015)橋梁工程設計建模結合3D GIS應用之研究

4. 桃園市政府地政局(2014)數位航空城系統委託規劃服務案總結報告書

5. 桃園市政府養護工程處(2016)桃園市公共設施管線位置調查(監驗)暨系統建置第五期計畫委託建置服務工作正式報告書

6. BIMforum, 2013. Level of Development Specification Version: 2013, <http://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/05/DRAFT-LOD-Spec.pdf>

7. Casazza, K., 2010. Building interior space data model: The link from BIMto GIS and the foundation for an existing-structure BIM, *Journal of Building Information Modeling*, Fall, 26-27.

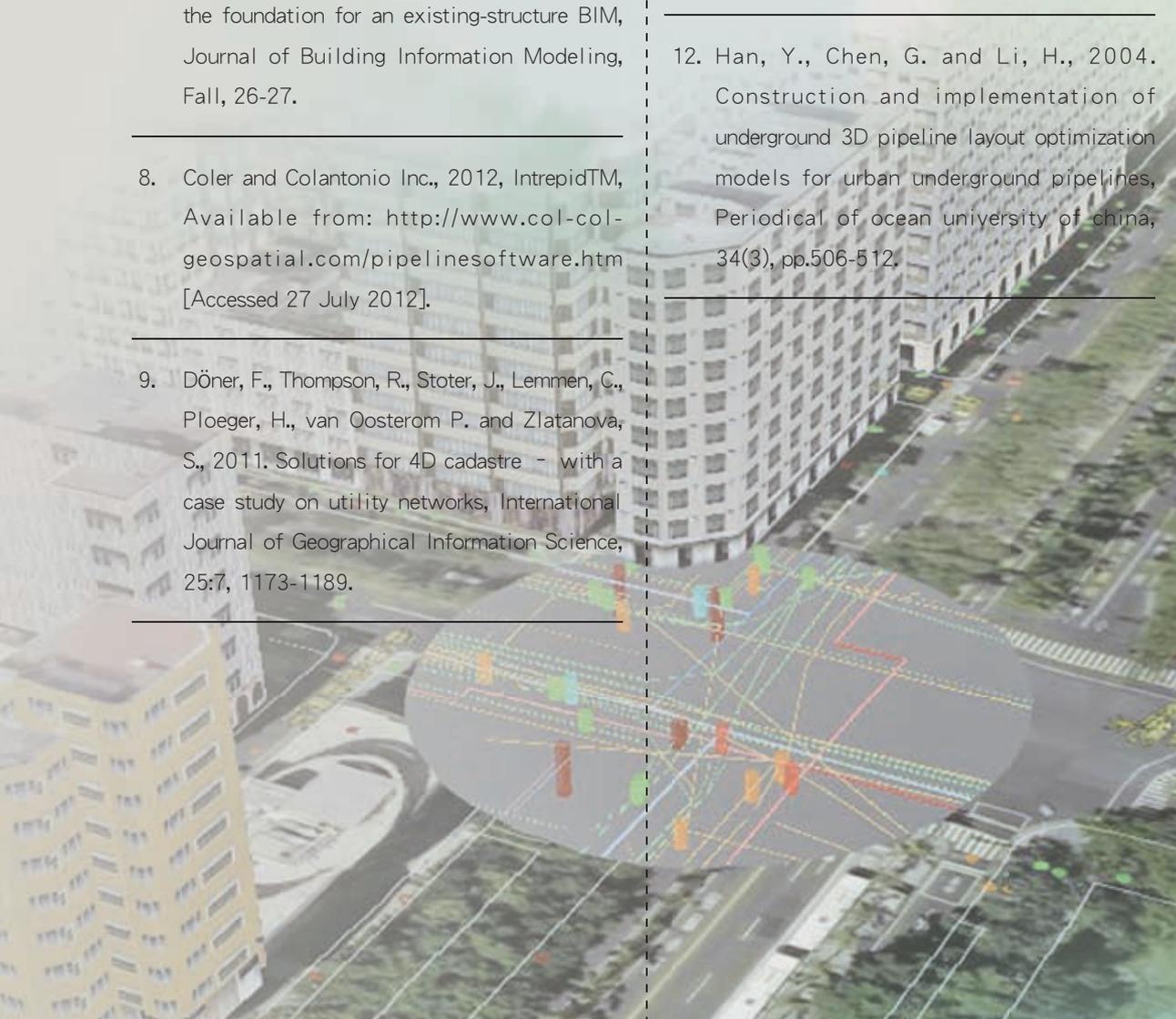
8. Coler and Colantonio Inc., 2012, IntrepidTM, Available from: <http://www.col-col-geospatial.com/pipelinesoftware.htm> [Accessed 27 July 2012].

9. Döner, F., Thompson, R., Stoter, J., Lemmen, C., Ploeger, H., van Oosterom P. and Zlatanova, S., 2011. Solutions for 4D cadastre - with a case study on utility networks, *International Journal of Geographical Information Science*, 25:7, 1173-1189.

10. Döner, F. and Bıyık, C., 2011. Modelling and mapping third dimension in a spatial database, *International Journal of Digital Earth*, 4:6, 505-520

11. Du, Y., Zlatanova, S., and Liu, X., 2006. Management and 3D visualisation of pipeline networks using DBMS and AEC software. In: S. Nayak, S.K. Pathan, and J.K. Garg, eds. *Proceedings of the ISPRS Commission IV Symposium on 'Geospatial Databases for Sustainable Development'*, 27-30 September, 2006, Goa, India; *Archives of ISPRS Vol. 36, Part 4A*, 395-400.

12. Han, Y., Chen, G. and Li, H., 2004. Construction and implementation of underground 3D pipeline layout optimization models for urban underground pipelines, *Periodical of ocean university of china*, 34(3), pp.506-512.



獨立電網風、光、 氫能源互補發電 實驗與示範

關鍵詞：太陽能、風力發電、氫能源、燃料電池、風光互補、綠能發電、獨立電網

財團法人中華顧問工程司／研發組／主任／馬俊強 ❶

財團法人中華顧問工程司／軌道技術中心／代理主任／劉崑玉 ❷

財團法人中華顧問工程司／研發組／正工程師／林伯勳 ❸

5kW太陽能板

5kW太陽能板

摘要 ABSTRACT

為推廣綠能發電，並探討微型電網獨立運作之可行性，中華顧問工程司於苗栗後龍龍港工業區設置綠能示範屋，與外界公共電網獨立隔絕。利用小型風力發電機、太陽能板及氫燃料電池，自行發電供給示範屋內電器設備使用，並且回收雨水及冷氣排水，經過濾後提供電解製氫用水及日常生活所需。綠能屋示範場址夏季日照充足，冬季風力強勁，將太陽能與風力發電技術整合併聯，恰可在不同季節達到互補發電之目的。多餘電力則利用水電解(Electrolysis of water)技術轉換為氫氣儲存。太陽能與風力發電為無污染的綠能發電，其電能優先供應生活所需之電器設備，作為「基載電源」。當「基載電源」因風場及日照條件不足而停止供電時，系統自動啟動氫燃料發電機作為「備援電源」，利用預先儲存的氫氣持續發電，以維持穩定的供電環境。

綠能屋自設置以來，系統持續穩定供應至少3kW之電力，未曾發生供電不足或斷電事件。此架構已證明可供離島、高山或偏鄉等無公共電網到達區域設置使用，以提供潔淨無汙染且穩定可靠的供電能量。



壹、前言

我國缺乏天然能源，包含天然氣、燃煤、石油等常用之石化能源超過98%須仰賴國外進口。且使用石化燃料將排放二氧化碳，引發溫室氣體效應，導致地球平均溫度上升，已造成整個生態環境(包括地球、海洋與人類的經濟、社會等)不可逆之負面影響。面對全球氣候變遷及能源日益短缺，能源環保情勢越趨嚴峻，發展綠能源技術在我國更形迫切。穩定可靠的電力供應為提供國家的政濟發展的基本條件，推廣再生能源技術以調配能源結構為當今世界各國努力的目標。聯合國於2015年底於法國巴黎召開全球氣候大會(COP21)並通過巴黎協定[1]，各國皆提出減碳規劃，我國亦設定2030年總溫室氣體排放減量50%。全國各界須上下一心全力投入，才能達成此一目標。

中華顧問工程司基於提昇科技發展及推廣綠能、減少碳排之理念，提出「風光互補與氫燃料電池發電與示範計畫」，整合風力發電系統、太陽光電發電系統與製氫設備，利用水電解製氫，以供氫燃料電池發電。本計畫初期先行製作一座獨立微型電網雛型模型[2]，進行探討評估，以小風機及太陽能板發電為主力，氫燃料電池發電為輔助，成功驅動照明、風扇、充電器及小火車。多餘電力以水電解製氫並予以儲存；一旦風力及太陽能發電不足，先前儲存之氫氣立即供應氫燃料電池接續發電，達到對負載供電不中斷之目的。完成之模型如圖1所示。模型模擬成功後，即選定合適場地實際建置綠能示範屋，架設風力發電機(3kW×2)、太陽能發電板(5kW×2)、氫燃料電池、製氫與儲

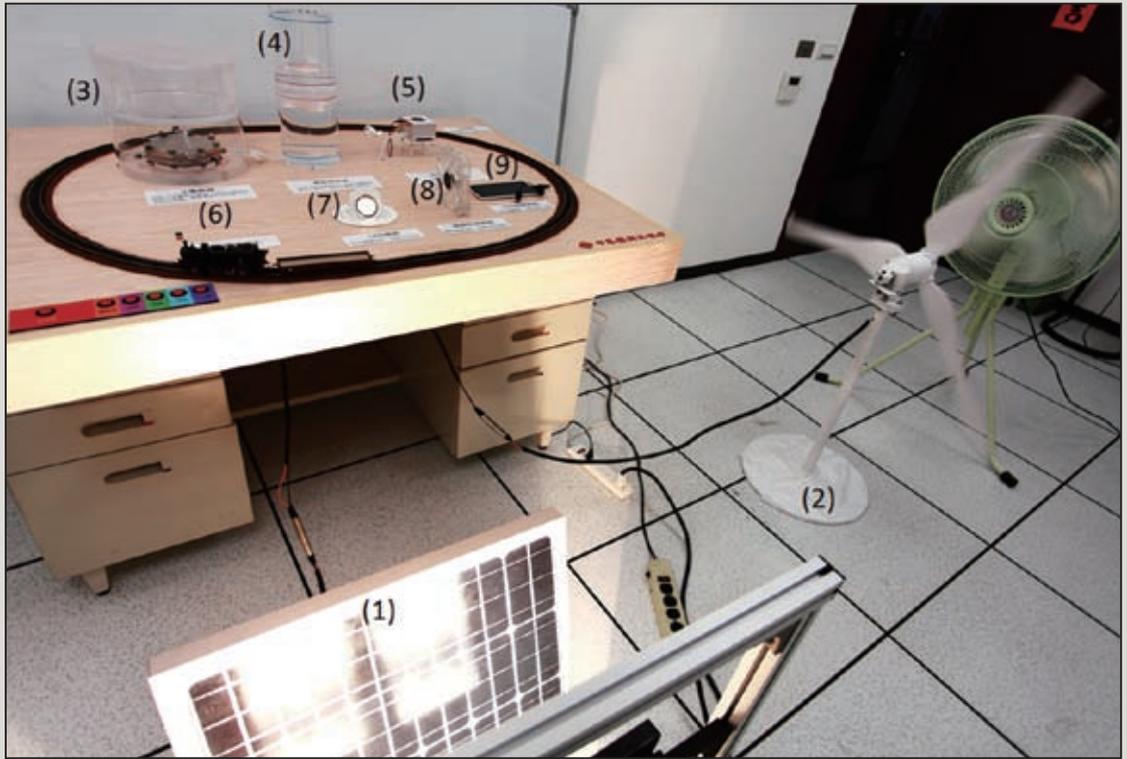


圖1 風光互補及氫燃料電池發電系統模型

- (1) 太陽能板 (2) 風力發電機 (3) 純水槽+電解器 (4) 儲氫槽 (5) 燃料電池
(6) 小火車 (7) LED杯燈 (8) 電動馬達 (9) USB負載

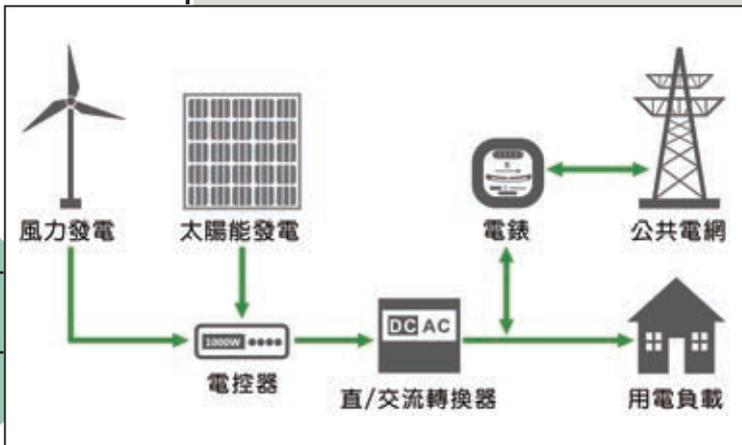


圖2 併網型發電系統架構圖

氫設備，建構獨立運作之微型電網，以供應負載電器設備用電，藉以瞭解相關運轉問題並尋求最佳發電模式，盼能有效落實政府綠能減碳之政策。

貳、系統設置構想

一、併網型與獨立電網系統

近來受到綠能減碳與環保節能觀念的推廣，及政府對再生能源利用獎勵補助等因素，太陽能與風力發電系統逐漸普及至一般居住環境。此類的發電系統通常與公共電網相接，稱之為併網型系統(on-grid或grid-tied system)。併網型系統在風場及日照條件不足，綠能發電設備無法穩定供電時，負載設備仍可使用一般市電；當風光發電所產生電力大於負載需求時，併網型系統能將多餘的電力饋入公共電網中回售給電力公司。併網系統架構如圖2所示。

偏遠山區或離島無公共電網可及之處，在成本的考量下，中小型風力發電機與太陽能

發電系統便成為這些地區的電力來源之一。此類風光發電系統獨立運作，不與公共電網相接，因此稱為獨立網系統(off-grid system)。為避免無風無日照時發生斷電的情形，獨立網系統皆設置蓄電模組，可將平時的多餘電力加以儲存，無風無日照時則轉為放電供應，讓負載設備持續運作。而蓄電模組亦兼具穩流之功能，可扮演保護發電設備之角色。獨立網系統架構如圖3所示。

二、獨立電網綠能示範屋

為模擬偏遠山區或離島無法由公共電網接電之環境，特選定苗栗後龍龍港工業區設置獨立電網綠能示範屋。利用再生能源組成發電系統，併聯太陽能及風力機進行發電，所產生電力優先供應綠能屋內之生活及辦公用電器設備，多餘電力則透過水電解製氫設備產生氫氣，並加以儲存於鋼瓶。另設置雨水回收系

統，經過濾淨化為純水後，可供水電解設備產製氫氣及日常生活使用。

然而風光發電實屬靠天吃飯，當風場及日照條件不足時，風光發電無法供應綠能屋電器設備穩定運作時，則氫燃料發電機立即啟動，利用先前所儲存之氫氣接續發電，以供應電器設備用電。系統運作構想如圖4。

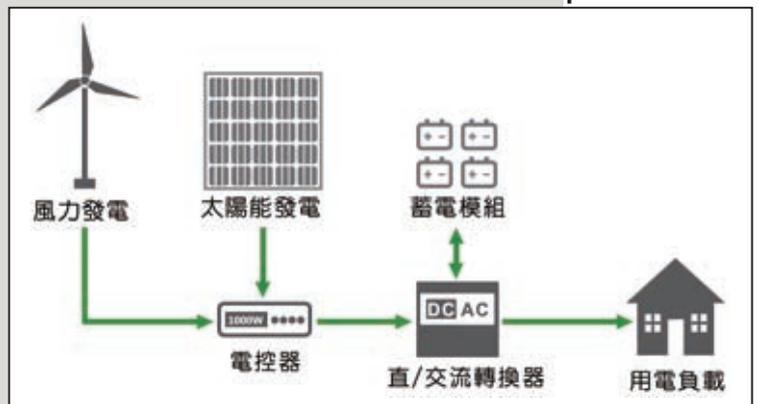


圖3 獨立電網系統架構圖



圖4 綠能屋發電/儲能運作架構圖

表1 後龍示範場每月平均風速

Monthly Averaged Wind Speed At 50 m Above The Surface Of The Earth (m/s)													
Lat 24.055 Lon 120.719	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
10-year Average	8.57	7.97	6.76	5.80	5.03	5.39	4.88	5.01	6.30	8.14	8.88	8.52	6.76

表2 後龍示範場每月太陽輻射平均照射量

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (W/m ²)													
Lat 24.055 Lon 120.719	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	109.6	125.4	147.1	177.5	203.3	237.5	278.8	254.6	212.9	171.7	129.7	111.25	180

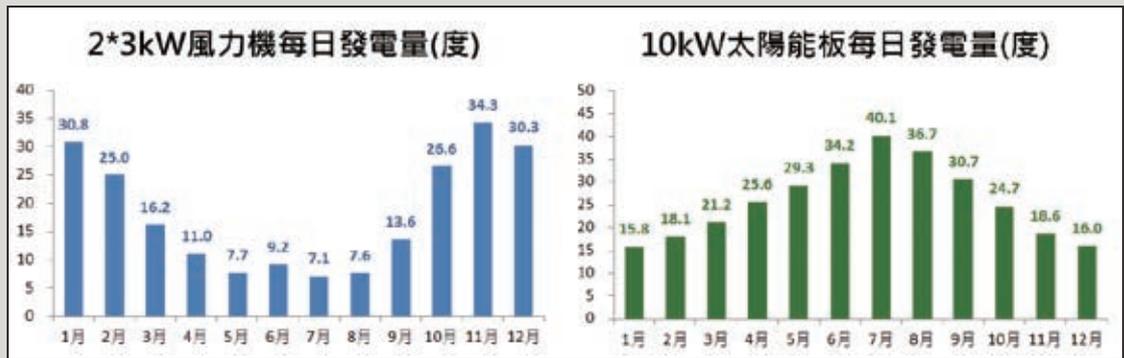


圖5 風力發電(左)與太陽能板(右)各月份之每日發電量

三、風、光互補發電

再生能源的種類包括：風力、水力、太陽能、地熱、生質能及海洋能等，其中以風力與太陽能最容易取得，發電設備設置門檻相對較低，規模與成本亦較易於控制，符合小容量發電之需求。台灣地區氣候特色為冬季日照較弱，但盛行的東北季風風勢強勁，有利於風力發電機的運作；夏季則吹西南季風，風勢相對微弱，但日照強勁且時數較長，有利於太陽能發電設備運作。結合風力與太陽能併聯發電，恰可有效克服再生能源受季節限制，達到互補的目的。

美國太空總署(NASA)長期觀測紀錄全球氣候資訊，透過其大氣科學資料中心網站[3]，輸

入後龍示範場地坐標值(緯度：24.055°，經度：120.719°)可獲得該處每月平均風速(表1)與每月太陽輻射平均照射量(表2)。其中每月平均風速為累計觀測10年所得每月平均風力強度，單位為m/sec；太陽照射量則為累計22年觀測週期所得之每月太陽輻射照射地表水平面之平均值，單位為W/m²。

將以上各月之日照量與風力強度等數據分別帶入10kW太陽能板與3kW風力發電機之發電曲線計算後，可估算出後龍示範場各月份之每日發電量。如圖5所示，可看出風力發電於冬季可獲的較大發電量，夏季則不盡理想，最大與最小發電量相差超過3倍；太陽能發電則恰好相反，夏季可達發電高峰，冬季日照少，太陽能發電表現不佳。最佳與最差發電量差異亦超過2倍。

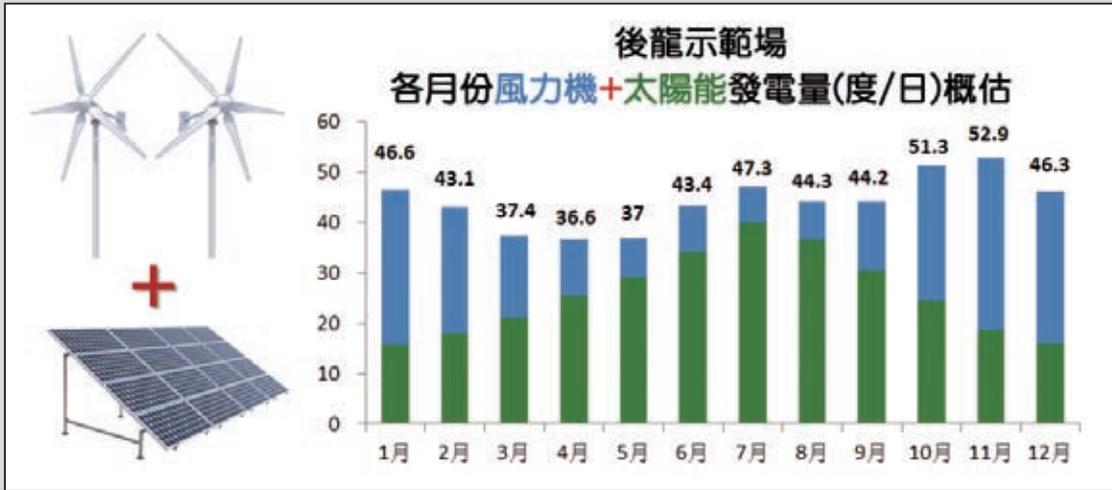


圖6 後龍示範場各月份風光互補發電量(度/日)概估

若單獨採用風力或太陽能發電設備，則必須考量發電淡季之用电需求，須增加2~3倍之發電設備額定容量，例如採用更大功率之風機，或增設太陽能板。但在發電旺季時，又會因過度發電而形成浪費。

整合兩種設備併聯發電，在冬季時利用風力強勁之特性，以風力機做為發電主力；夏季之強烈日照則可供太陽能板發揮最佳效率。兩者併聯發電後，總發電量如圖6所示，可看出各月份之發電量不再有明顯之差異。有效整合兩種發電設備，達到截長補短、發電互補之目的。設備之額定發電容量即可適度降低，避免過度設計而造成浪費。

四、餘電製氫儲存

尖峰發電時段會產生大於負載設備所需之多餘電力，若不加以儲存則形成浪費。一般獨立電網大多採用電池作為蓄電模組，現今科技所能製作的電池，須極大的體積始能儲存供負載設備長時間運作的電力。電池蓄電模組多用作為暫時緊急供應電源的功能，而非長時間電力供應來源。

以多餘的電力驅動製氫機，將純水電解成為氫氣並加以儲存。風光發電不足時，利用預先儲存之氫氣供應氫燃料電池備援發電，持續供應負載設備用電。而氫燃料電池經過長時間發電，僅排放少許水量，具備潔淨無污染的特性。將多餘電能轉為氫氣加以儲存，並以氫燃料電池作為備援發電的主要考量包含：

- (一) 氫氣儲存不隨時間增長而發生散逸流失現象。
- (二) 水電解製氫之原料用水取得容易，可自行蒐集過濾而得。利用電能使水分解製得氫氣的效率一般可達到75%-85%。
- (三) 以儲氣鋼瓶儲存氫氣技術成熟，成本低廉，且充放氣速度快，常溫環境即可運作。且可對儲氣鋼瓶加壓，以增加氫氣儲存容量。
- (四) 氫燃料電池以氫氣發電，具有零污染、高電能轉換效率、低噪音及可再生性等特點[4]。



圖7 綠能示範屋設置位置圖

參、示範系統規劃

一、示範場選址

本計畫於苗栗後龍鎮設置綠能屋，進行獨立「電網風、光、氫能源互補發電實驗與示範」。示範基地位於龍港工業區內(如圖7)，可由台61西濱快速道路南下109公里【中和里/赤土崎】交流道接苗33線西行即可抵達；距苗栗市約20公里，東北距後龍市區約7公里，南距台通宵火力發電廠約15公里。地處空曠，近西濱海岸，夏季日照充足，冬季東北季風強近，提供極佳環境條件供綠能屋實驗運作。

二、設備需求規劃

(一) 家電負載設備

為模擬可供生活之環境，綠能內部裝

設家電設備，包含液晶電視機、電腦、照明燈、電冰箱、冷氣機及熱水瓶等可供日常生活使用之電器設備。不同電氣設備依使用時機估算每日使用時數，可得各項家電設備的耗電量估算如表3。

(二) 製氫負載設備

除家電設備須耗用電力外，製造氫氣所需之純水過濾器及水電解製氫機亦須供應電力始能運作。製氫設備的耗電量估算如表4。

(三) 發電設備

負載設備耗電功率估算完畢後，即可進行發電設備配置。家電設備每日最大耗電量為4,162W，考量太陽能板發電效率約為30%~40%，可配置總發電功率10,000W

表3 家電負載設備耗能估算表

項目	設備	額定功率(W)	使用時數(hr)	耗電量(kWh)
1	49"液晶電視機	100	6	0.6
2	電腦+螢幕	350	8	2.8
3	照明燈	150	8	1.2
4	電冰箱	65	24	1.6
5	抽/排風機	100	24	2.4
6	循環扇	300	8	2.4
7	網路	30	24	0.7
8	7-9坪變頻窗型冷氣機	1,051	4	4.2
9	熱水瓶	600	1	0.6
10	咖啡機	1,400	0.5	0.7
11	網路攝影機	16	24	0.4
合計	總設備容量(W)	4,162		17.6

表4 製氫負載設備耗能估算表

項目	設備	額定功率(W)	使用時數(hr)	耗電量(kWh)
1	過濾製純水器	500	1	0.25
2	水電解製氫機	2,500	2	5
合計	總設備容量(W)	3,000		5.25

之太陽能板。風力發電機之發電量受設置場地之風力影響甚鉅，考量示範場地近海邊，東北季風風力強勁，設置3,000W小型風機兩組，最大發電功率為6,000W。

另設置發電功率3,000W氫燃料發電機乙組作為「備援電源」，當風場及日照條件不足導致「基載電源」停止供電時，系統自動啟動氫燃料發電機持續供電。當「備援電源」設備啟動發電時，將關閉冷氣機、咖啡機、熱水瓶等耗電量較大之電器設備，以節約能源，降低備援發電系統負擔，可避免氫能快速消耗殆盡。

(四) 儲能設備

1. 儲氫槽：共計設置80L鋼瓶12支，並加壓至30倍大氣壓力(30 bar)，可儲存氫氣

表5 發電設備發電功率表

項目	設備	發電功率(W)	備註
1	太陽能板	10,000	基載發電
2	風力發電機	6,000	基載發電
3	氫燃料發電機	3,000	備援發電

28,800L。3,000W氫燃料發電機發1度電需耗752L氫氣，28,800L氫氣共可發出約38度電，可供家電設備使用2~3日。

2. 蓄電模組：以16組DC12V/200Ah之深循環鉛酸蓄電池，採四串四並之連接方式，電壓/電量為DC48V/800Ah，相當於38.4度電。蓄電模組主要扮演穩定供電的重要角色，為免電池過度放電而造成永久損壞，當蓄電池電壓低於DC46V時，控制系統即啟動氫燃料發電機接續供電。



圖8 綠能示範屋外部配置透視圖

三、綠能示範屋配置規劃

因應離島與偏遠地區不便施工搭建結構物之環境之特性，綠能示範屋選用貨櫃屋裝載發電設備與家電用品，併規劃為可供人員生活起居之環境。貨櫃屋的優點在於可預先完成內部裝潢，再運至設置地點快速架設，而往後遷移吊掛亦極為方便，可降低建築與搬遷成本。惟其外部材質屬於板金鋼鐵，若設置於濱海潮濕地區，需加強防鏽蝕措施。

綠能示範屋規畫設置兩只貨櫃屋，如圖8所示貨櫃屋上方各設置5kW太陽能板，並朝南傾斜13.5度設置，以提高太陽輻射直射的機率，達到吸收最大太陽能以產出最多電量。兩組3kW風力發電機則設置於太陽能板的北方，避免日照時產生陰影遮蔽太陽能板，而降低太陽能發電效率。太陽能板、風力發電機與主貨櫃建物之基礎結構，須可承受當地歷年最高風速之要求。

綠能屋內部配置如圖9所示，其中20呎貨櫃屋專供放置發電、儲能、濾水及控制設備。40呎貨櫃屋內部則安裝日常生活所需之電氣設施及盥洗設備，可供人員與內部工作與居住，以模擬日常生活環境之用電需求。

肆、綠能示範屋設置與運作

一、硬體設置

綠能屋於104年12月開始整地動工，歷經整地、貨櫃屋與風力機基礎施作、貨櫃屋內外裝修、結構體安裝、雨水回收、排水、空調等附屬工程及外部景觀等工作，於105年3月完成施作。設置地點近海邊，氣候較為潮濕，特加強貨櫃屋外牆之防鏽處理。基於防潮及避免昆蟲入侵之考量，貨櫃屋底部予以架高，保持離地15公分之間距。屋頂則設置太陽能板，除吸收日照進行發電外，亦兼具降低貨櫃屋室溫之效果。太陽能板、風力發電機與主貨櫃建物之基礎結構，須可承受15級風(風速46.2m/s ~ 50.9m/s)吹襲仍保持完好之要求。同時於貨櫃屋周圍架設廣角網路攝影機(IP Camera)，可透過網路遠端監看綠能屋外部設備運作狀況。綠能屋外觀如圖10。

20呎貨櫃屋內部供擺放氫燃料發電機、製氫設備、儲氫設備、逆滲透純水濾水器、蓄電池模組、控制與監控模組及抽排風機，各項設備如圖11。40呎貨櫃屋內部則安裝日常生活所需之設施，包含電燈、循環扇、冷氣機、電冰箱、電視機、開飲機、咖啡壺、電腦及盥洗設

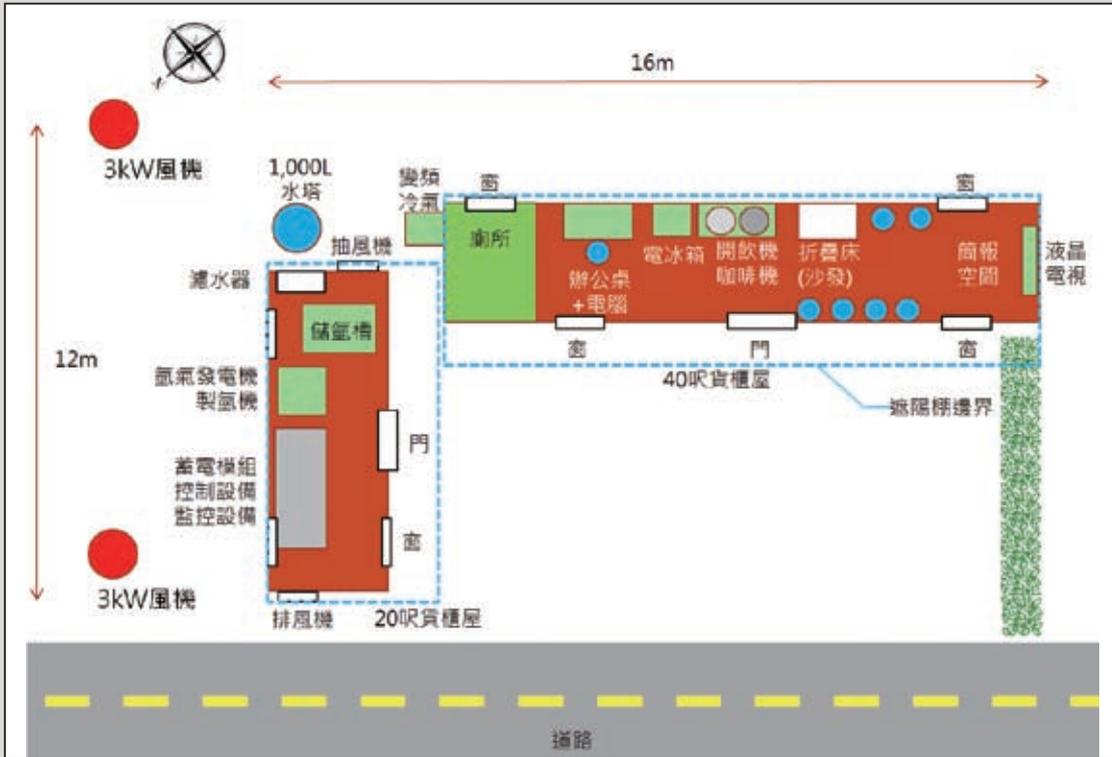


圖9 綠能示範屋內部配置平面圖



圖10 綠能屋外觀設置成果



圖11 20呎貨櫃屋內部各項設備



圖12 40呎貨櫃屋內部各項設備

備，可供人員與內部工作與居住，以模擬日常生活環境之用电需求。40呎貨櫃屋內部設施如圖11所示。

貨櫃屋上方特別設置集水天溝，可於降雨時匯集雨水並導入1,000L之蓄水塔儲存。冷氣機之排水亦透過集水器排放至集水天溝予以回收。透過逆滲透去離子濾水器可將雨水過濾為



圖13 集水天溝與蓄水塔(左)及冷氣排水回收(右)設施

純水，以提供製氫設備進行水電解反應產生氫氣。蒐集儲存之雨水還可供應盥洗設備，亦可加以過濾提供飲用，達到自給自足目的。圖13為綠能屋之雨水與冷氣排水回收設施。

二、系統運作監控

綠能屋於105年3月完工後，即開始獨立運作，持續發電供給各項電器設備之用電。為有效監控系統狀態，掌握設備運作情形，各項發電、製氫、蓄電、儲氫設備及負載設備耗能狀態之運作數據皆透過RS-485介面傳送至40呎貨櫃屋內之監控電腦。並且利用LabView軟體，以圖形化的介面即時呈現各項數據，包含風力發電機、太陽能板之發電功率、蓄電池之充放電狀態與端點電壓、氫燃料電池發電電壓、儲氫槽壓力與製氫機輸出流量及負載電氣設備的耗電功率。另亦於綠能屋外部安裝小型氣象站與日照儀，並將即時風速與日照量傳送至監控電腦，一併以LabView軟體呈現於監控畫面中。

如圖14所示，透過網路遠端操作監控電腦，可即時監看綠能屋各項設備運作數據，並觀察不同氣候條件(風速、日照)對於風力發電機與太陽能板發電量之影響。各項運作數據亦加以儲存紀錄，可供未來研究分析使用。綠能屋外部亦架設四路廣角網路攝影機，可透過網路連線監看外部設備運作狀況，網路攝影機監看畫面如圖15。

三、實際發電耗電統計

統計每日系統運作數據，並針對氣候條件與發電、耗能結果進行比對，可獲得綠能屋系統之發電與儲能設備運作容量是否恰當。統計105年3月份之數據(圖16)可得知該季節多雨且日照不足，太陽能發電效率不盡理想。但是較大的風速讓強風力發電機可扮演重要的供電角色。統計105年5月之數據(圖17)則呈現相反現象，該季節日照天數增加且強度較強，太陽能板充分發揮，扮演主要發電角色；風力機則

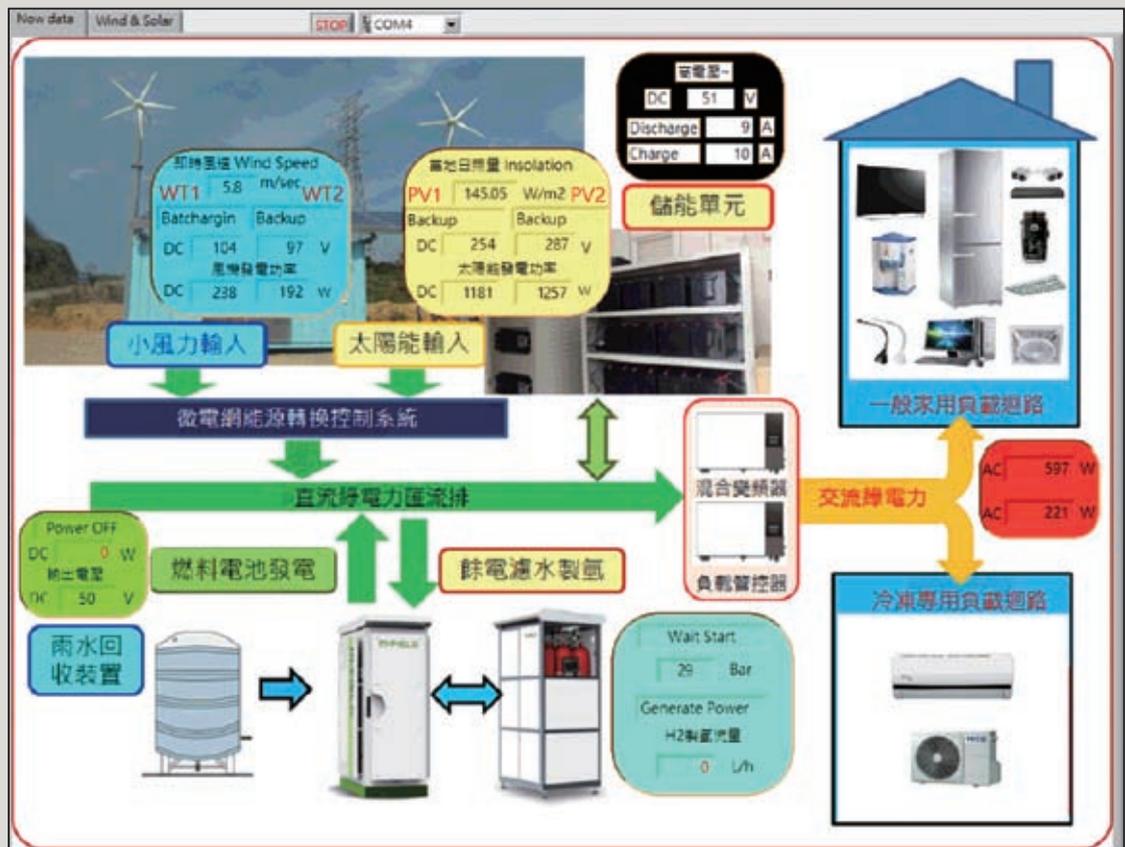


圖14 綠能屋設備運作數據即時監控畫面



圖15 綠能屋網路攝影機監看畫面



圖16 綠能屋實際發、耗電統計(105年3月)



圖17 綠能屋實際發、耗電統計(105年5月)

因風力微弱，發電效率不彰。偶遇負載設備耗電量超過太陽能與風力機之基載發電電量時，蓄電池模組及氫燃料電池便啟動供電，達到穩

定、持續供電的目的。實際運作數據證明結合風、光及氫能源可達互補發電之目的。

伍、系統運作檢討

綠能屋自105年3月開始持續穩定運作，互補發電功能奏效，未曾發生斷電情形。且自105年7月起，陸續經歷尼伯特、莫蘭蒂及馬勒卡颱風的考驗，綠能屋之風力機、太陽能板、蓄水塔及貨櫃屋等外部設備均安然度過風災，未受損毀壞。持續觀察系統各項設備運作狀況則發現以下現象：

一、小型風力機發電效率未如預期

小型風力機額定功率有限，若風速過強必須煞停以保護機組。且獨立電網之終端負載有限，常因強陣風造成風力機轉速瞬間拉高而失控，必須透過控制器加以限制。遇轉速過快時，須予以煞停保護，經過一定時間後，再予以釋放。然後龍示範場地受地形影響，風向較為紊亂，導致風力機無法長時間穩定發電；且常有突發性強陣風出現，風力機即須煞停保護，造成風力發電效率打折扣。風力機之控制程序須再調整，以獲得最佳的發電效率。併網型之風力機則因與公共電網相接，負載值極大，不致因稍強之風速即導致轉速過快而失控。

二、餘電過多時無法消耗

綠能屋之儲能設備包含蓄電池模組與儲氫槽，其中蓄電池模組為800Ah，約可儲存38.4度電；儲氫槽加壓至30 bar，共儲存288,00L氫氣，可發38度電。然於夏季日照強勁時，太陽能發電過剩，且蓄電池模組與儲氫槽皆已充飽的狀態下，多餘的電力無法消耗，形成浪費。主要原因在於綠能屋並無人員長期派駐現場辦公使用電器設備。

三、監控程式整合數據眾多，偶有發生干擾或斷訊現象

監控程式整合氣象站、日照儀、風力機、太陽能板、製氫機、儲氫槽及負載設備之運作數據，來源種類繁多，與通訊互異，偶有發生數據不同步或護項干擾，導致無法呈現及時運作數據。且受到現場無線網路通訊的限制，亦曾發生無法從遠端進行監控之困擾。

四、設置微處理控制器，讓備援發電所產之電能優先供應負載電器使用

氫燃料電池與蓄電池模組間應再設置微處理控制器，當氫燃料電池發電時避免電流回充電池組；當風光互補基載發電不足時，先由蓄電池模組供電，此階段應避免啟動製氫機電解製氫，讓備援發電所產之電能優先供應負載電器使用。

陸、結語

綠能屋自105年3月起至本文完稿階段持續穩定運作，各模組依設定之角色發揮各別功能。另設置監控系統每日記錄氣候及各項設備運作數據，現已累積巨量數據可供分析研判。其中風速、日照度可作為風力機與太陽能板發電效率的分析應用；製氫量、氫燃料電池發電量與氫氣儲存量可用以分析氫燃料電池之發電效率；蓄電池模組與氫燃料電池之電壓改變狀況及啟動時間可做為「基載發電」與「備援發電」最佳切換時機之研究，藉以延長儲能模組之使用壽命。另可再進行系統配置最佳化參數研究，例如減少蓄電模組之電池數量，風力及日照強度與負載條件與對應之設計參數等研究。

本實驗驗證風、光發電為基載電源及氫燃料電池發電為備援電源所建構之獨立電網確實可穩定運作，所蒐集之數據可供各項設備整合最佳化之研究，持續推廣潔淨無汙染的綠能發電，期望有朝一日得以普及運用。

參考文獻

1. <http://www.cop21paris.org/>

2. 馬俊強，劉崑玉，「燃料電池發電系統雛形研究」，中華技術，第108期，第250-263頁(2015)

3. <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=pkristo@yahoo.com>

4. 許寧逸，顏溪成，「燃料電池:由碳能朝向氫能的燃料電池」，科學發展，第367期，第250-263頁(2003) <https://scitechvista.nat.gov.tw/zh-tw/articles/c/0/1/10/1/309.htm>



莫拉克風災重建 工程立體實景 紀錄影片製作 與推廣

關鍵詞：莫拉克風災、立體影像拍攝、紀錄片、國際橋梁會議

財團法人中華顧問工程司／研發組／主任／馬俊強 ❶

財團法人中華顧問工程司／研發組／工程師／高捷中 ❷

摘要 ABSTRACT

本紀錄片以「莫拉克風災重建」為主題，首創結合《立體影像攝錄技術》及《工程建設之紀錄》，製作成工程立體實景紀錄片，結合攝影美學與三維空間的立體視角，以凸顯由美麗的家園突遭災害破壞之恐怖與不可抗力、災後重建施工之艱鉅與巧藝、重建完成造型之宏偉美麗並融合環境，再呈現重建後之重生與喜悅。這也是國內第一部純3D立體實景攝錄製作的工程紀錄影片。本紀錄片共收錄10處橋梁、4處建設及1項慶典活動，使用多種立體影像拍攝手法，並從立體攝錄設備組裝、拍攝、製作、剪輯到立體紀錄片展示播放，進行設計整合，展現工程師創新踏實的精神。

在推廣展示方面，本工程立體實景紀錄片榮膺2015年6月美國匹茲堡國際橋梁會議之臺灣主題國開幕及閉幕展示影片，驚艷全場，獲得很多肯定與回響。之後於高雄國立科學工藝博物館及桃園機場第二航廈常態性展示，利用立體實景攝錄技術，真實表現工程的偉大與艱鉅，讓觀眾有身歷其境的立體空間感官感受，瞭解重建的艱辛歷程並分享重建家園的喜悅，將感動帶給國人及工程界，發揮財團法人之公益精神。



壹、前言

2009年8月莫拉克颱風侵襲臺灣，在3日內下了2,777毫米的超大豪雨，超過整年80%的降雨量，造成699人失蹤罹難、1,776棟房子及114座橋梁毀損…災損為歷年風災最為慘重。

回首這一路的重建工作，在政府與民間合作下，秉持「以人為本，以生活為核心，尊重多元文化及居民參與」的原則，並以安全、尊重、效率、創新的特色來進行重建。在短短五年之內，新建了超過120座更具安全與在地文化的橋梁，並以「離災不離村、離村不離鄉」的原則安置受災的民眾，充分尊重每一位居民自主意願及不同族群的文化，興建43處3,561間永久屋，政府更全方位關照遷居民眾居住、生活、就學、就業、產業及文化傳承等各面向的

需求，朝永續發展社區的目標邁進，另也如期完成1,145間校園重建。莫拉克風災曾讓我們臺灣受到重創，但也因為莫拉克風災，讓大家的愛心凝聚在一起，創造許多感人故事，也成就了重建奇蹟，看見重生的希望[1]。

財團法人中華顧問工程司(以下簡稱 中華顧問)於風災當月立即進行勘災，並於同年11月出版「2009莫拉克颱風八八水災-橋梁勘災紀實」一書，將莫拉克颱風對橋梁系統造成之衝擊損害作了詳實之記錄[2]。另，各界對本次災害重建也多所記錄報導，如國家地理頻道製播的「莫拉克風災-重建家園」及「莫拉克風災-希望重生」等影片。



圖1 新建達西霸樂吊橋及歷年河床變化圖[4]

2011年中華顧問即啟動《工程立體攝錄影技術》的研究，期望利用立體實景攝錄技術，真實表現工程的偉大與艱鉅，讓觀眾有身歷其境的立體空間感官感受。有鑒於各界對莫拉克風災重建記述與紀錄多為平面展現，故中華顧問選定以莫拉克風災重建工程為主題，於2014年嘗試以3D立體顯像技術(Stereo photography techniques)來表現[3]，以凸顯由美麗的家園突遭災害破壞之恐怖與不可抗力、災後重建施工之艱鉅與巧藝、重建完成造型之宏偉美麗並融合環

境，再呈現重建後之重生與喜悅。這也是國內第一部純3D立體實景攝錄製作的工程紀錄影片。

貳、拍攝內容及劇本研擬

本紀錄片依循莫拉克颱風災後重建相關記述，進行紀錄資料及實景影像蒐集，規劃拍攝重建及新建之工程立體實景紀錄片，先設定在國際展示為目標，故以英語字幕，之後再加註中



圖2 民族村災前及災後航照對比圖



圖3 排灣族、魯凱族為主的頭目貴族婚禮慶典立體紀錄

文，記述工程師參與重建之貢獻，並讓全世界知道臺灣人在面對災害時「人應順天」的新思維。

雖然是由工程師執行編劇拍攝製作，但是本工程紀錄片仍強調應有的故事性，並多以背景音樂、場景音效、立體影像、重建轉場代替口述，由影片本身去說故事。而好的故事不需要太長，本紀錄片以不超過10分鐘長度來規劃製作。

一、拍攝主軸

首先擬定拍攝劇本以《美好家園》、《風災破壞》、《家園重建》再到《安居樂業》這四大面向來呈現，並以《橋梁》為故事主軸，進行「莫拉克風災重建」工程立體實景紀錄片之製作。

在第一段《美好家園》的部分，以青山綠水的靜態立體相片，以及蟲鳴鳥叫之意象，形塑出風災來臨前的平和與寧靜；第二段《風災破壞》之呈現，先以風雨聲配合字幕描述出災情之慘烈，再以車行立體錄影紀錄災區搶修的畫面，以及民族村與小林村之航照圖立體相對，忠實呈現災前及災後地貌劇變的強烈對比。

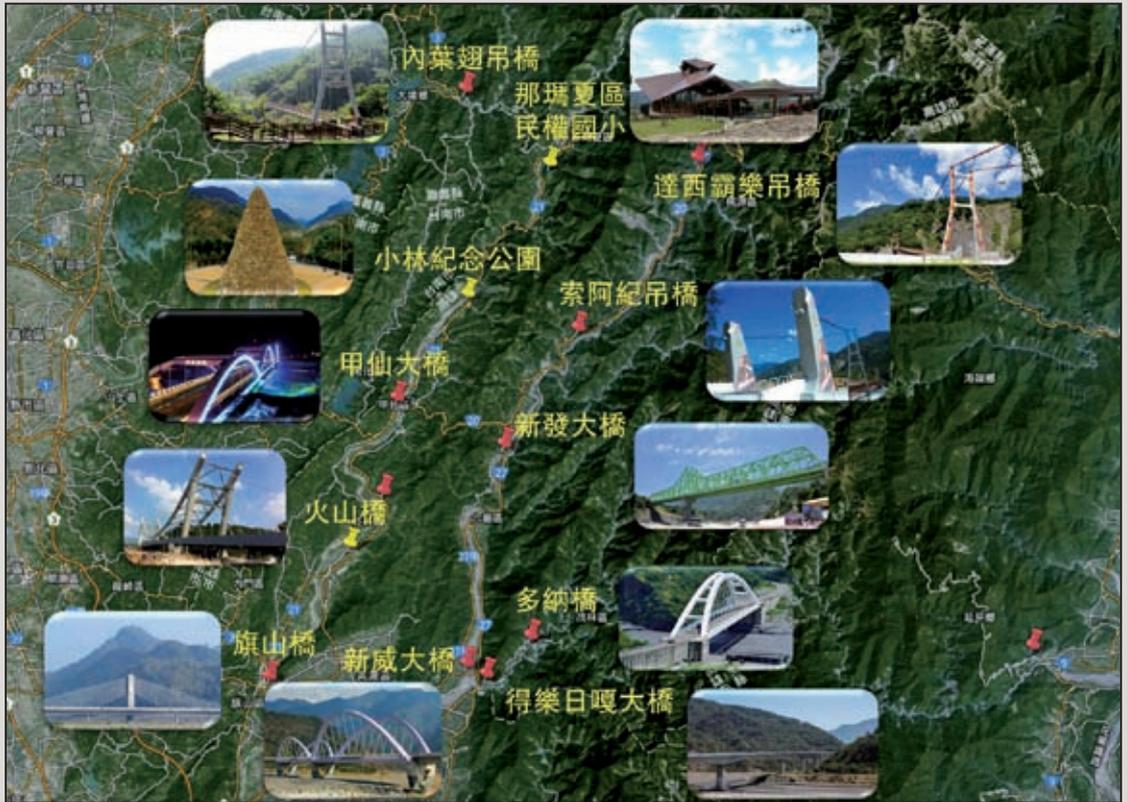


圖4 衛星座標及預設拍攝地點示意圖

第三段《家園重建》部分，先以吊橋施工的立體縮時攝影起頭，展現政府及民間組織展開災後重建之努力，並以陸續完工通車之重建及新建橋梁立體實景紀錄，呈現家園重建之希望；最後第四段《安居樂業》的意象，紀錄永久屋、校園等建設落成啟用，在婚禮慶典中歡欣鼓舞的活動，帶回人民重拾生活，重建美好家園作為結尾。

因拍攝計畫始於災後，部分原始資料蒐集取得不易，有關《美好家園》及《風災破壞》紀錄之表現，設定部分畫面以補拍、借景及平面影像後製成立體影像之方式呈現。

二、資料蒐集及分鏡設計

資料蒐集的第一步以拍攝主軸－橋梁著手，從中華顧問出版「2009莫拉克颱風八八水

災-橋梁勘災紀實」之橋梁資料，以及向行政院莫拉克颱風災後重建委員會(以下簡稱重建會)洽詢，蒐集橋梁相關災前、災後之靜態與動態影像紀錄，再從「重建會3週年成果報告書」進行綜合整理與篩選，依照各縣市位置，初擬以下22項拍攝內容：

(一) 南投縣：東埔日月雙橋。

(二) 嘉義縣：芙谷峽橋、內葉翅吊橋、達娜伊谷吊橋、山美橋。

(三) 高雄市：甲仙大橋、達西霸樂吊橋、旗山橋、新威大橋、多納橋、火山橋、新發大橋、索阿紀吊橋、雙園大橋、得樂日嘎大橋、小林村紀念公園、杉林大愛園區、禮納里部落、那瑪夏民權國小。

表1 故事劇情及分鏡大綱示意表

The Recovery from Typhoon Morakot-Story board			
畫面安排	轉場表現	文字說明	音效配樂
Google Earth 	由整個臺灣，轉場至南臺灣	Southern Taiwan 南臺灣	進場音樂由小變大
黑 	文字分段出現	The Recovery from Typhoon Morakot 莫拉克風災重建 CECI Logo	主題出現，銜接進場音樂到最大；Logo出現，進場音樂漸小至無。
青山綠水 祥和影像 	出現fade-out	無	蟲鳴鳥叫
黑 	出現fade-out	August 8, 2009 2009年8月	無
狂風暴雨 	文字分段出現，退場動畫。	Typhoon Morakot-Flood of the Century 莫拉克風災—世紀水災	狂風暴雨聲
施工畫面 	色調灰暗，車行攝影	無	主要背影音樂進場，配合現場工程施作敲打聲。
黑 	出現fade-out	A reconstruction task was begun right after the disaster, by the joint forces of government and NGO. 政府及民間組織隨即展開災後重建	背景音樂
建設新氣象 	(依大致完工時序排列)	Bridge Fkuo completed in Jan, 2013 芙谷峨橋2013年1月通車	背影音樂由哀傷轉為輕快

(四) 屏東縣：霧台谷川大橋、山川琉璃吊橋、2014年霧台鄉排灣族、魯凱族為主的頭目貴族婚禮活動。

本紀錄片之分鏡設計以《畫面安排》、《轉場表現》、《文字說明》及《音效配樂》等四項內容呈現，在起初規劃階段以不設定影片長度的方式，將所有想要的畫面都預設出來，作為拍攝架構的依據，之後再隨拍攝進度及內容效果作更精確的調整與剪輯。

在《畫面安排》的部分，向重建會取得相關橋梁的衛星座標位置及工程資料，作為拍攝位置之參考，並以網路搜尋相關照片，試圖規劃出較佳的勘景及拍攝方位；《轉場表現》則是規劃影像間轉場之效果，嘗試呈現恰當之氛圍；《文字說明》部分有如旁白的效果，以重點式文字說明，讓觀眾快速融入劇情之中，並適度了解橋梁及相關建設之資訊，展現畫龍點睛之用；最後《音效配樂》可謂本紀錄片之靈魂，以配樂與音效之情緒帶領觀眾進入影片

表2 拍攝橋梁及相關資料(依完工時程排列)

橋梁(完工時間)	設計樣式	設計及監造
新威大橋(2009)*	外傾式鋼拱橋	亞新工程顧問股份有限公司
甲仙大橋(2010)	3跨鋼拱橋	台灣世曦工程顧問股份有限公司
旗山大橋(2010)	脊背橋	台灣世曦工程顧問股份有限公司
內葉翅吊橋(2011)	雙塔對稱式吊橋	金豐營造有限公司
日月雙橋(2011)	雙跨鋼拱橋	協盛工程顧問公司
新發大橋(2011)	鋼桁架橋	中興工程顧問股份有限公司
芙谷峩橋(2013)	單跨半穿越式鋼拱橋	台灣世曦工程顧問股份有限公司
霧台谷川大橋(2013)	預力混凝土箱型梁橋	林同棧工程顧問股份有限公司
達西霸樂吊橋(2013)	車行吊橋	中興工程顧問股份有限公司
琉璃珠吊橋(2016)	吊床式吊橋	冠達工程顧問有限公司

*新威大橋非莫拉克風災重建或新建橋梁

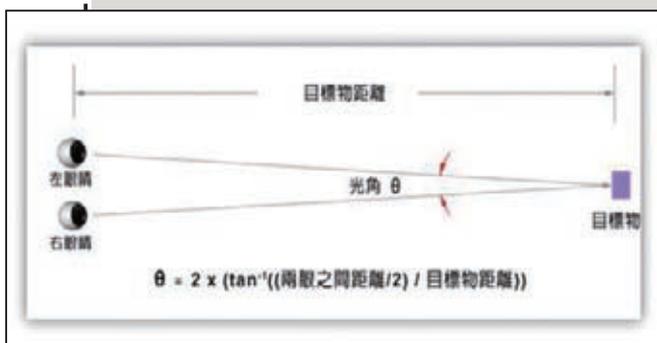


圖5 立體光角示意圖



圖6 立體影像攝錄示意圖

故事，加強情感投射的效果。本片為使當地文化融入劇情，亦規劃使用原住民音樂作為配樂表現。

在蒐集完畢全部預擬拍攝項目，以及分鏡設計表之後，依照橋梁特殊性及拍攝難易度來做取捨；並考量房舍、橋梁等較大場景，在立體拍攝之景深設計更為複雜，最後入鏡摘用10座較具特色且適合立體顯像的橋梁(如表2)。

參、立體影片攝錄執行

立體攝錄技術是一百多年前就有的老把戲，但是近年來卻玩出很多新玩意。人類利用兩眼球與物體所形成的「光角」，來判斷物體的深度與遠近。掌握光角亦是「立體攝影」的最根本技術，也是掌控立體場景深度與層次感的關鍵因素。

為模擬雙眼觀看物體的特性，須建置立體攝錄設備，以設備控制拍攝物件與兩攝影機所形成的角度，拍攝物件距離愈近則角度愈大，拍攝物件愈遠則角度愈小[5]。

本紀錄片不同於一般紀錄片，除了注重劇情編排之巧思，更著重於融合《立體影像》及《工程建設》之獨特性，如何兼顧觀眾觀看影像之立體舒適度[6]，以及呈現工程紀錄之力與美，成為拍攝規劃重點。



圖7 中華顧問立體攝錄設備

一、立體攝錄設備建置

中華顧問設計組裝Side by Side組合式主座、立體雲台、立體即時顯示導播螢幕、測距儀、立體測距計算程式、同步快門器、鋰鐵高效能充放電池、腳架及兩組攝影機等設備，建構立體攝錄設備。

本立體影像攝錄技術利用立體雲台及Side by Side組合式主座，先將左右攝影機架設於穩定之立體基礎，再將欲拍攝物體之最遠及最近距離、攝影鏡頭之焦段等資訊，以立體測距計算程式設定出最佳立體成像距離(stereo base)，最後將左右攝影機設定為相同攝影條件(光圈、快門和IOS)，調整水平及T型修正位置，以同步快門器進行拍攝作業，方能進行立體影像攝錄，讓左右影像檔案符合立體影像後製之需求。

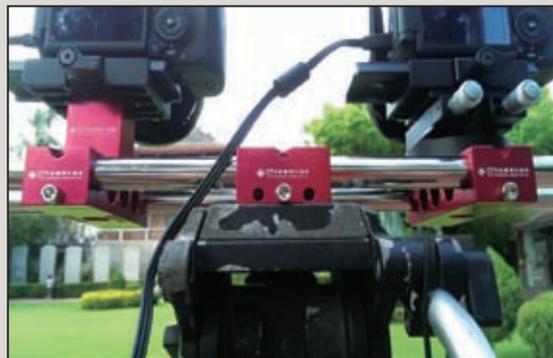


圖8 左右攝影機stereo base分離度示意圖

二、立體實景攝錄技術

本案攝錄製作發展出定點拍攝、車行拍攝、手持拍攝、航照圖立體像對疊圖製作等立體影像拍攝手法，呈現出多元立體視角；並以靜態立體圖像、動態立體影片、立體縮時攝影等表現方式，將立體影像組合呈現。



圖9 立體影像拍攝手法示意圖



圖10 立體車行拍攝器材架設示意圖



圖11 新發大橋立體車行拍攝視角示意圖



圖12 甲仙大橋立體縮時夜間攝影

其中以《立體車行拍攝》手法及《立體縮時攝影》，為本紀錄片立體拍攝兩大特色。本片紀錄項目著重於橋梁建設，除了定點紀錄橋梁外觀，車行拍攝更能呈現出動態移動之立體效果及突顯橋梁種類之特色，惟車行拍攝時應注意交通安全，且車行速度亦是影響觀看立體舒適度之關鍵。

立體縮時攝影為本紀錄片一大亮點，除了縮時攝影呈現拍攝物體與周遭環境之關係、光影之變化及時間流逝感，其高解析度與立體感更加相輔相成，形成流暢的視覺感受。其立體拍攝之要點在於左右攝影機拍攝的《同步性》，左右相機同步捕捉畫面的穩定性，將決定最終立體影像呈現的品質好壞。

三、拍攝執行與問題

俗稱萬事俱備(設備與技術)，只欠東風(天氣與現場協調)。拍攝迷人之處，在於現場狀況永遠變化莫測，除了培養穩定的立體攝錄設備操作技術，場勘的狀況及天氣的掌握，亦是在外拍攝的一大變數。

10處橋梁、4處建設及1項活動之拍攝，多半需要事前場勘，以尋找最佳拍攝位置，在車子無法行駛之處，常需揹著設備進行移動，扛著10多公斤的設備跋山涉水場勘，已成為基本工作，所以拍攝基本上至少需要兩名工程師出

動作業，除了因應車行拍攝需一人開車、一人拍攝，亦常需要互相支援重裝上陣。

而天氣之掌握更是需要一點運氣，除了拍攝物件之方位可以事前調查，以確認順光拍攝、測逆光拍攝的時程，亦要把握日出及黃昏兩大拍攝黃金時間，以記錄到天藍雲白及色溫較佳的影像畫面，運氣好時，拍攝可以一次到位；天氣不穩定時，可要多跑幾趟才能完成紀錄，可說是好事多磨。

除了上述不可控制之因素，提前掌握拍攝災區、工程建設及活動流程等進度，事前申請及溝通拍攝限制，亦是拍攝工程紀錄片的重要環節，對記錄時程有事半功倍之效。

肆、立體影片後製及剪輯

好的立體影片要具備三項要素：1.兩眼視差要正確、2.兩軌影像要同步、3.兩軌影像顏色及字幕要一致。

前兩項要素如在立體拍攝時處理得當，則能省去許多後製與剪輯時的心力，以節省影片作業時間。

本紀錄片使用EDIUS Pro 7軟體進行立體影片之後製及剪輯。先將左影像及右影像匯入軟體合併，並依分鏡設計及劇情編排影片，配合剪接、轉場特效、字幕、音效配樂、顏色調整…等同步後製，初剪輸出MP4格式之Side by Side 影片，使用nVidia 3D Vision 立體眼鏡及3D顯示器，進行初步立體效果檢視，以利針對立體字幕效果及觀看舒適度等問題，進行確認與修改。



圖13 新威大橋立體實景縮時日出攝影



圖14 軟體EDIUS Pro 7立體剪輯操作畫面



圖 15 3D 投影機觀賞示意圖

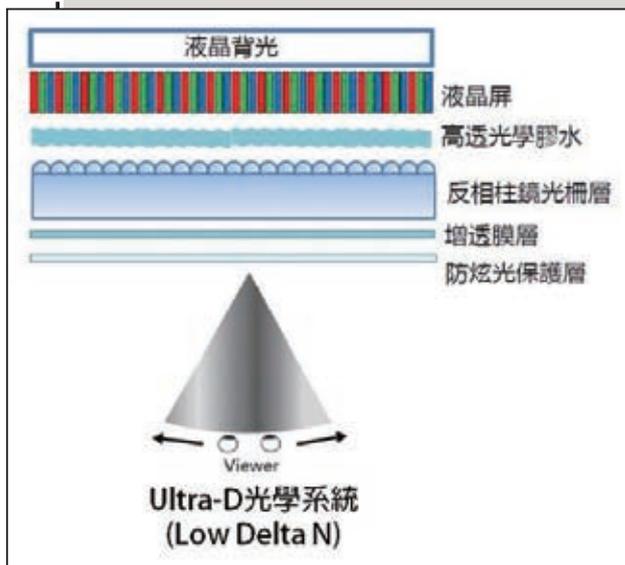


圖 16 Ultra-D 裸視 3D 技術示意圖



圖 17 Ultra-D 裸視 3D 顯示器展示圖

當確認後製效果及完成剪輯後，分別將左影像及右影像輸出高畫質之MP4影片，再從程式內將左、右影像合併，輸出為一部Side by Side影片，即完成立體影片之製作。

伍、播放設備評估及建置

為展示立體影像成果，即在拍攝及剪輯過程中，廣泛評估市面中各種立體播放設備及方式，目前立體影像顯示技術可分為《戴眼鏡式》及《裸眼式》之技術。

在戴眼鏡式立體播放設備方面，中華顧問參考EPSON及Optoma投影機公司技術及產品，建置3D投影機及搭配主動式3D眼鏡，得以高畫質呈現本紀錄片內容及體驗立體影像效果。

在裸眼式立體播放設備方面，美國StreamTV公司研發出利用透鏡矩陣朝向LCD面板內側貼合之技術，產生複雜的光學層疊，增加整體模組的穩定性和可靠性，分別提供觀賞者左右眼各一個視角影像，利用大腦將兩眼看到不同的影像融合在一起，產生立體影像的感覺，唯裸眼式3D設備需要在某個角度及距離內觀賞，才有立體觀賞之效果，雖有不用戴3D眼鏡的便利

性，乃需持續觀察該技術之發展。為測試其特殊展示效果，本案以租借Ultra-D裸視3D顯示器之方式，進行本紀錄片展示推廣使用[7]。

陸、推廣與展示

本案「莫拉克風災重建The Recovery from Typhoon Morakot」工程立體紀錄影片初版於2014年6月美國匹茲堡國際橋梁會議(The International Bridge Conference, 簡稱IBC)試播首映，驚艷全場，獲得好評，吸引國際工程師對臺灣風災重建過程之興趣，達到以工程立體實景紀錄片宣傳的目的與效果。

2015年6月，我國以「臺灣」之名榮膺美國匹茲堡國際橋梁會議之參展主題國，當次我國由交通部次長帶領國內產官學界菁英出席62人，整個臺灣隊也展示很多國內橋梁技術。而「莫拉克風災重建The Recovery from Typhoon Morakot」工程立體紀錄影片再版，擔任臺灣主題國開幕及閉幕展示影片，搭配著65吋Ultra-D



圖18 2015年美國匹茲堡IBC會議臺灣主題國-中華顧問參展代表



圖19 屏東山川琉璃吊橋立體紀錄



圖20 本紀錄片於科工館大螢幕劇院參觀資訊

3
特
稿



圖21 本紀錄片於科工館進行環境教育展示



圖22 本紀錄片於桃機二航廈D9登機門原住民專區展示



圖23 本紀錄片展示解說海報



圖24 作者工程立體紀錄工作照

裸視3D顯示器，進行展示播放，為臺灣及中華顧問進行成功的文化推廣與工程展示，獲得很多肯定與回響[8]。

2016年5月，再以莫拉克風災重建最後一處特色橋梁完工落成-屏東山川琉璃吊橋之立體實景紀錄，本紀錄片再將其納入改版，並轉製成立體劇院版(DCP格式)及裸視3D電視版(Ultra-D格式)之立體影片，開始於國內推廣。

2016年6月，中華顧問與高雄國立科學工藝博物館合作展出本紀錄片，於科工館B3F大螢幕劇院售票展出立體劇院版；並於6F常設展廳展出裸視3D電視版，提供民眾全新的生活教育體驗及學習工程知識的機會。

2016年8月，中華顧問與采盟公司合作，於桃園機場第二航廈D9登機門，配合原住民文化主題，展示中華顧問莫拉克風災重建工程立體實景紀錄片，為國門風光增添知性之旅。

期望藉由本莫拉克風災重建工程立體實景紀錄片，讓國人更重視風災的預防、瞭解重建的艱辛歷程並分享重建家園的喜悅，一起見證重建奇蹟，看見重生希望。

柒、結語

實景3D立體攝錄技術，能真實表現工程的偉大與艱鉅，讓觀眾有身歷其境的立體空間感官感受。中華顧問在「莫拉克風災重建工程立體紀錄影片」的製作經驗中，確實發現利用3D立體實

景攝錄技術可彰顯工程施工之巧藝與造型之宏偉美學，再加以故事性導引，更能感動人心，讓工程師的貢獻被看見。

中華顧問已有一套完整的3D立體實景攝錄技術與設備，將持續關注國內重大公共工程建設，加強橋梁、軌道等工程立體拍攝規劃與執行，並增加人文風情、地方文化等多面向拍攝議題，以工程師獨特的視角，將其立體影像規劃製成紀錄影片，用引人入勝的影像故事，讓民眾認識國內工程技術及其建設成果。

捌、誌謝

工程立體實景紀錄片攝錄製作工程浩大，其勘景編劇、拍攝錄影、剪輯後製等，通常均需分組多人作業。中華顧問以最精簡的人力設備，攝錄製作完成專業的立體工程紀錄片，要特別感謝各界的幫忙與協助。

首先感謝中華顧問張育彰工程師及詹淵全攝影師協助攝影，他們不辭辛勞夙夜匪懈，共同守候最佳的攝錄色溫與構圖視角。

另外，特別感謝莫拉克颱風災後重建推動委員會提供寶貴資料，感謝陳振川執行長、洪世益及鍾岳龍工程師協助；特別感謝自強工程顧問公司支援提供航拍資料，感謝賴澄漂董事長、黃俊華及廖敏男工程師協助；特別感謝甲仙第一芋冰城協助拍攝作業；特別感謝禮納里部落好茶村陳再輝夫婦協助拍攝作業；特別感謝潘惠貞女士協助立體相片後製。

最後僅以本紀錄片獻給所有莫拉克受難同胞。

參考文獻

1. 行政院莫拉克颱風災後重建推動委員會，「愛與希望耀動生命力：莫拉克颱風災後重建3周年成果彙編」，第1-5頁(2012)。
2. 財團法人中華顧問工程司，「2009莫拉克颱風八八水災-橋梁勘災紀實」，科技圖書，第1-28頁(2009)。
3. The History of Stereo Photography 網站：http://www.arts.rpi.edu/~ruiiz/stereo_history/text/historystereog.html
4. 卡艾瑋、陳思穎、林彥廷，「荖濃溪河床變動及監測」，莫拉克電子資料庫，第19頁(2013)。
5. 再談「3D立體攝影」網站：<http://jgwang.pixnet.net/blog/post/242653739-%E5%86%8D%E8%AB%87%E3%80%8C3d%E7%AB%8B%E9%AB%94%E6%94%9D%E5%BD%B1%E3%80%8D>
6. 鍾文輝、吳永昌，「3D影片輕鬆拍：從拍攝、剪輯到上傳YouTube圖解教學」，亞玄文化，第12-19頁(2011)。
7. streamtv networks網站：<http://www.streamtvnetworks.com/>
8. 財團法人中華顧問工程司，「2015國際橋梁會議暨第十屆台美公路與橋梁工程研討會出國報告」，交通部臺灣區國道高速公路局，第1-5頁(2015)。

台灣高鐵系統 獨立驗證與認證 機制回顧

關鍵詞：獨立驗證與認證、IV&V、RAMS

財團法人中華顧問工程司／軌道技術中心／顧問／林宜信 ❶

財團法人中華顧問工程司／軌道技術中心／代理主任／劉崑玉 ❷

財團法人中華顧問工程司／軌道技術中心／工程師／許家豪 ❸

摘要

ABSTRACT

台灣高鐵乃我國應用獨立驗證與認證機制於軌道系統興建之首例。本文自IV&V(獨立驗證與認證)概念的導入起，以國內軌道業主及相關從業人員為對象，匯集台灣高鐵系統中IV&V之各樣資料與作業沿革，並爬梳系統興建期間國際專業機構秉持之作業精神與方法，將IV&V流程於我國公共運輸產生之效益作一完整的討論。透過LRPT(Lloyd's Register Project Team)團隊之組織、介面、工作範圍、方法、作業、文件產出過程之描述，於國內方興未艾之軌道系統發展中，可做為達成需求安全目標之最有利借鏡。



壹、緣起

一個現代化的軌道系統除便捷、高速與舒適外，最重要的還是安全，尤其在一個工商業蓬勃發展的國家或社會中，人民對各種運輸系統安全的需求愈來愈明顯，也愈來愈具體，不再像過去只要求能達到目的地就能滿足，而是要更快，要更方便、要更舒適，可靠與安全的保障更是不可或缺。

我國早期稍具規模之軌道運輸系統僅限於創始於民國前27年的傳統鐵路系統，沿革至目前環島路網與正在進行的全面電氣化之臺灣鐵路管理局。台北捷運系統中運量之木柵線與高運量之淡水線分別通車於民國85年與86年的3月份，這也是以便捷、快速且密集班次的捷運系統逐步取代傳統鐵路與公路運輸的開始。乃至

民國96年元月份通車之南北高速鐵路系統，105年8月單月份4,762,766人次之運量以及99.76%之準點率的安全營運，更是將國內之軌道大眾運輸系統往前推進了一大步。

經濟與工商業的發展永遠是伴隨著交通事業的便捷與安全而來，國家與社會期望符合此特性的軌道運輸交通之需求也就更形殷切；然而負責大眾運輸之軌道運輸系統，除了便捷之外，應如何確保軌道系統由規劃、設計、施工、建造、組裝、試運轉、營運，乃至於系統生命週期中最終的除役與報廢都能符合安全上的嚴苛要求，此於我國軌道系統目前尚感欠缺完整的軌道工程系統相關規範與標準，以及攸關安全之獨立驗證與認證(IV&V, Independent



圖1 Lloyd's Register於八卦山隧道工作情況

Verification & Validation)機制來加以驗證與認證更安全可靠之軌道運輸系統。

至於驗證與認證在字義的解釋上經常會令人感到混淆，其實「驗證」是在過程之中確認產品是符合下個階段所需，亦即「Build the product right」，而「認證」則是確認最後的產品是符合既定需求的，亦即「Build the right product」。

參考歐洲軌道先進國家英、法、德等國在軌道安全方面的經驗，以及目前世界各國絕大多數均應用歐洲規範EN 50126等標準之作法，必須要有一獨立且具公信力之專業機構來執行軌道系統安全的驗證與認證，協助業主評估軌道系統在生命週期中是符合既定的安全目標與需求。

有鑑於此，行政院早在約三十年前即著眼於驗證與認證機制之重要性，乃於89年元月頒布「軌道車輛工業發展推動方案」中明定：「發展策略」須建立軌道車輛系統及其零組件之驗證制度，協助業者提昇品質；並於「品保與驗證」項目中，責成交通部建立軌道工程系統安全之「獨立驗證與認證體系」。在我國現今正全力發展各項軌道運輸系統之際，藉由獨

立驗證與認證體系之建立，以法規明訂驗證與認證之作法與程序，以及相關單位之權責，以確保系統之安全性、品質與功能，進而推展軌道車輛工業，實屬刻不容緩之課題。

交通部科技顧問室委託中山科學研究院第一研究所夥同淡江大學交通管理學系之協辦，參考歐洲各軌道工業先進國家在軌道安全以及驗證與認證之觀念與做法，於85年完成二十餘冊涵蓋台鐵、捷運與高鐵之安全需求，以及歐洲各國與日本之軌道驗證與認證制度之研究與比較等，其中還規劃我國軌道工業獨立驗證與認證機構之設置與相關作業，此為國內軌道IV&V概念與規劃之先驅。

貳、目的

蒐集國內首宗軌道運輸獨立驗證與認證機制在台灣高鐵系統中之各方面驗證資料與最終認證報告等，並鑽研台灣高鐵系統興建期IV&V專業機構秉持之作業精神與方法，望能將最有利於業主之作業方式介紹給國內軌道業主及軌道工業從業人員，釐清眾說紛紜之IV&V角色扮演及作業方式等，使國內各項軌道系統之IV&V能獲致實至名歸之最佳效益。

參、專業機構之選定與簽約

一、當年行政院為了加速高速鐵路興建計畫儘快完成及減少公共支出，於民國85年以BOT方式公告徵求民間機構參與興建與營運。「台灣高鐵聯盟」於86年9月獲選為得標團隊，並於87年5月成立「台灣高速鐵路股份有限公司」，當年7月與交通部簽訂「興建營運合約」，其中條款7.10.1首度將IV&V機制正式納入國內軌道系統中，規定「為保

證乙方所規劃、設計、興建之高速鐵路系統(包括土建工程、軌道工程及機電系統等)能達到功能、品質及安全要求，乙方應自費委託獨立、公正且經甲方事先同意之專業機構，執行查核、驗證及認證工作並提出報告及結果證明文件。」

二、台灣高鐵公司之安全部除了制定內部之安全政策、目標與相關程序等文件，尚由總經理授命負責IV&V所有規畫、遴選、陳報交通部與簽約等事宜，於88年下半年寄發七份(含德國、法國、英國、挪威、比利時與瑞士等國)歐洲IV&V專業機構之邀商文件，針對各團隊之組織經驗、管理與規畫書內容等詳加審查與討論，經與負責監理業務之交通部高速鐵路工程局多次說明與協商，最終以英國LR(Lloyd's Register)+ AEAT(AEA Technology Rail)+ TGP(Tony Gee and Partners)組成之LRPT(Lloyd's Register Project Team)獲得交通部同意並於89年7月在英國倫敦LR總部簽訂 X-122(IV&V Services Agreement)，自此開啟國內軌道系統IV&V之實作首例。

肆、LRPT之組成與組織

一、LRPT之組成

(一) LR與台灣高鐵公司簽訂X-122合約，並與Sub-consultant AEAT及TGP聯合組成駐台工作團隊LRPT。

(二) LR集團內部擁有鐵路相關專業機構(包括LRMHA Ltd.與LR Asia Rail Systems)，在LRPT團隊中負責安全與品質之評估，以及LRPT之管理與人事及行政業務。



圖2 Lloyd's Register於新竹車站施工工作情況



圖3 LR倫敦總部簽約儀式



圖4 在倫敦總部簽約參與人員

(三) AEAT負責軌道/核心機電/營運/維修等項目。

(四) TGP負責地質/橋梁/高架路段/車站與基地、建築等土建工程。

二、LRPT駐台工作團隊之組織與成員

(一) LR於簽約之前即已初步完成部屬LRPT之各專業人員，簽約後之次月即陸續進駐LRPT台北信義路環球大樓之辦公室。

(二) 初期到任人員如下：Project Director / Quality Director(acting Deputy Project Director)/ Risk/Safety Director / Core System Director / Civil Engineering Director / Deputy Civil Engineering Director / Software Integrity Specialist等七位，並於本地聘任會計與行政人員共三名。

(三) LRPT先後派駐國內之專業人員包括Project Director / Deputy Project Director / Safety Director / Quality Director / O&M Director / Core System Director / Deputy Core System Director / Deputy Railway Director / Depot Director / Civil Engineering Director / Deputy Civil Director / Geotechnical Specialist / Station Director / Track Director / Integration Director / Software Integrity Specialist / RAMS Specialist / Deputy Integration Director / Civil & Structures Support Engineer / Project Support Manager等專業人士。

(四) LRPT之英國龐大技術專家支援團隊由LR / AEAT / TGP 當地專業人員所組成，AEAT與 TGP 尚各指派一名高階技術主管負責台灣高鐵專案，並多次短期派駐台灣。英國支援團隊除協助審視各項送往英國之文件、設計或施工圖說等，IV&V作業期間曾配合派遣四十餘人次短期赴台支援。

伍、LRPT之介面

一、台灣高鐵公司為能確實支援LRPT順利執行IV&V作業，特由總經理具名以正式命令告示全公司同仁，強調危害辨識(HAZID, Hazard Identification)及風險管理之IV&V的重要性，宣告其工作方式、工作範圍並嚴格要求全體員工(含承包商)必須全力配合與支持。於告示中宣布成立「查驗認證統籌室，IV&V Liaison Office, IVV」，處理有關IV&V所有相關事宜與合約管理，並直接向總經理報告。

二、「查驗認證統籌室」之主要任務如下：為高鐵公司與IV&V專業機構之聯絡窗口，提供有關IV&V之監察服務，並負責管理與執行高鐵公司與IV&V專業機構之契約。提供總經理諮詢，包括公司、IV&V專業機構及交通部/高鐵局間之意見處理。審查IV&V專業機構工作計畫書及聯絡整合相關之評估報告。聯絡整合ICE/ISE(Independent Check Engineer / Independent Site Engineer)審查工作報告並提送 IV&V查核。

三、台灣高鐵公司機電與車輛等聯合承攬廠商(JV)經由本身自主品保作業，對所進行之工程以及協力廠商進行內部與外部稽核作業；台灣高鐵公司土建駐地辦公室(RE)

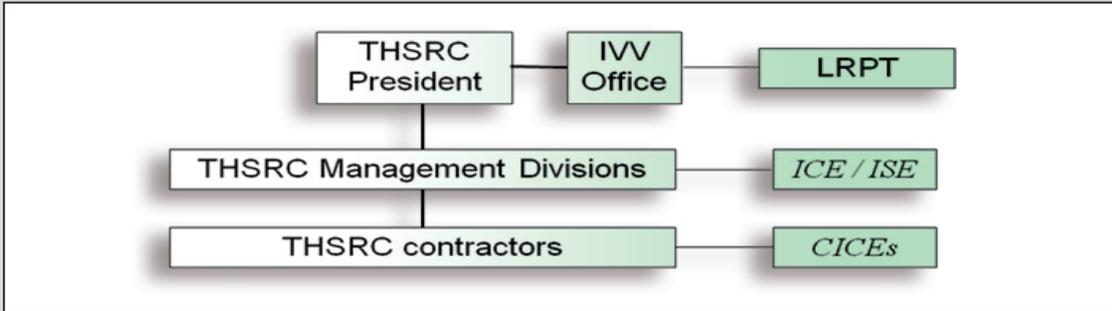


圖5 LRPT與台灣高鐵之關係

資料來源：台灣高鐵公司

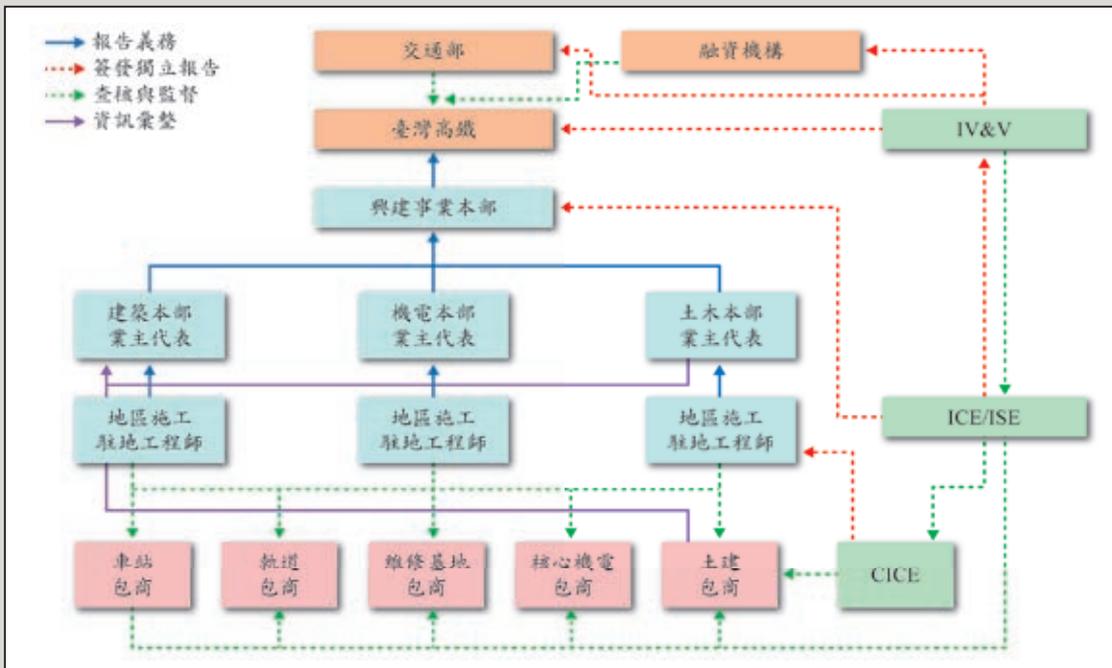


圖6 LRPT與交通部、融資單位及高鐵公司之品保系統架構關係

資料來源：台灣高鐵公司

則定期與不定期對聯合承攬廠商與獨立查核工程師(CICE, Civil Independent Check Engineer)進行外部稽核作業；而IV&V與ICE/ISE經由外部稽核對聯合承攬廠商、駐地辦公室與台灣高鐵公司相關單位進行稽核。LRPT與台灣高鐵公司之關係如圖5所示。

四、LRPT透過高鐵公司直屬總經理室之查驗認證統籌室，圖6表示LRPT與交通部、融資單位及高鐵公司之品保系統架構關係。

陸、LRPT之工作範圍

- 一、對台灣高鐵計畫執行IV&V工作，以最後產出之最終認證文件，確認台灣高鐵系統符合需求中應遵守之義務的功能、品質及安全之需求。
- 二、IV&V作業不包含商業、合約、經濟以及財務之項目。



圖7 Lloyd's Register於燕巢總機廠工作情況

- 三、查核過程中之若干部分由台灣高鐵公司所遴聘之ICE/ISE以及土建承包商聘請之CICE執行，LRPT由其詳盡的工作範圍中訂定查核範圍及方法，除了出具初步報告外，尚於過程中定期出具評估報告(Assessment Report)。
- 四、LRPT之驗證工作範圍包括高速鐵路系統中之所有項目，依獲得的資料與數據為查核取樣之基礎，取樣之範圍則由各項目之IV&V專家依據安全風險、可靠度、以往使用率及其他相關技術性為基準。
- 五、查核所有項目之設計準則(Design Criteria and Specifications)是否符合需求與應盡義務。
- 六、查核台灣高鐵公司及其承包商之品質計畫、安全準則是否適切，各項功能性與技術性之需求是否符合，專案管理、型態管理、品質保證、安全管理以及營運、維修、品保與安全之訓練規劃等是否有效執行，定期查核所有驗證程序並出具評估報告。

柒、LRPT之工作重點

- 一、危害判定及風險控制之技術(採用EN 50126之最基本概念)。
- 二、系統介面之設計與管理及系統介面整合程序。
- 三、台灣高鐵公司已核准之各項工程程序的制定與適切性。
- 四、意外事故與降級運轉在安全方面之考量。
- 五、新開發重要安全軟體及整合。
- 六、營運與維修之環境需求。
- 七、營運與維修之事故及緊急處理程序。

捌、LRPT之工作方法

- 一、LRPT之工作方法係依據歐規EN 50126及IEC 61508等相關標準之原則，其中較為特殊的兩項需求是在系統生命週期中各個階段管理RAMS之產出，以及營運期能有效的產出相關的功能性、可靠度、妥善率、維修度及營運安全度等數據。
- 二、IV&V工作之取樣類別及範圍係基於安全風險、可靠度及專業技術之考量，再加以IV&V之軌道專業經驗與專業人士之配合，始能促使高鐵全系統確切符合其需求，全系統在過程中的每一步驟均能符合需求，才達到驗證之目的。最後的認證則是在全系統完成時，確認全系統符合原先功能、品質及安全的需求。

三、LRPT利用EN 50126之程序與方法，建立評估高鐵公司內部驗證與認證程序的方法及標準，IV&V最終之工作為頒發一張證明文件，證明高速鐵路系統之設計、施工、檢驗及驗收等，經查核、驗證及認證後符合功能、品質及安全之需求且適於營運。

四、將EN 50126應用於高速鐵路系統上之需求要件如下：

- (一) 確認高速鐵路系統生命週期各個階段。
- (二) 確認每一階段之產品將成為下一階段必須符合之需求，包括驗證任一階段之產出係符合前一階段之需求。
- (三) 確認高速鐵路系統生命週期所產出之產品係經過驗證且符合高速鐵路特定之需求，例如各種軌道系統、土建系統及軟性系統(如軟體、程序等)之個別產出。
- (四) 確認應用此架構來確保有一個可量測的，且此高速鐵路全系統之可靠度、妥善率、維修度及營運安全均在可接受程度內。

(五) LRPT利用所有專案文件(例如藍圖、計算數據、規格、測試報告等)中之數據來執行評估工作，或由代表台灣高鐵公司之合約商及顧問等所提供之報告所得之數據，經IV&V以專業領域審查，以確保品質、安全及功能需求。換言之，當系統之操作性能所要求提供之資料尚未產出時，LRPT可要求台灣高鐵公司安排製作或補送資料，以供驗證。

(六) 為了發展一種以應用上述針對高速鐵路計畫需求之模式，LRPT策劃如何將執行於台灣高鐵公司及其承包商之驗證工作，能符合於歐規EN 50126生命週期之各個階段。各階段應採取之措施確認之後，依據EN 50126各個階段之作業予以鑑別，專案管理、系統整合及營運整備等均以一般專案方式予以補充，IV&V工作必須檢視及稽核相關程序，各階段之需求均予以查核以符合需求。

(七) 高速鐵路之生命週期，以V字母來表示，如圖8：

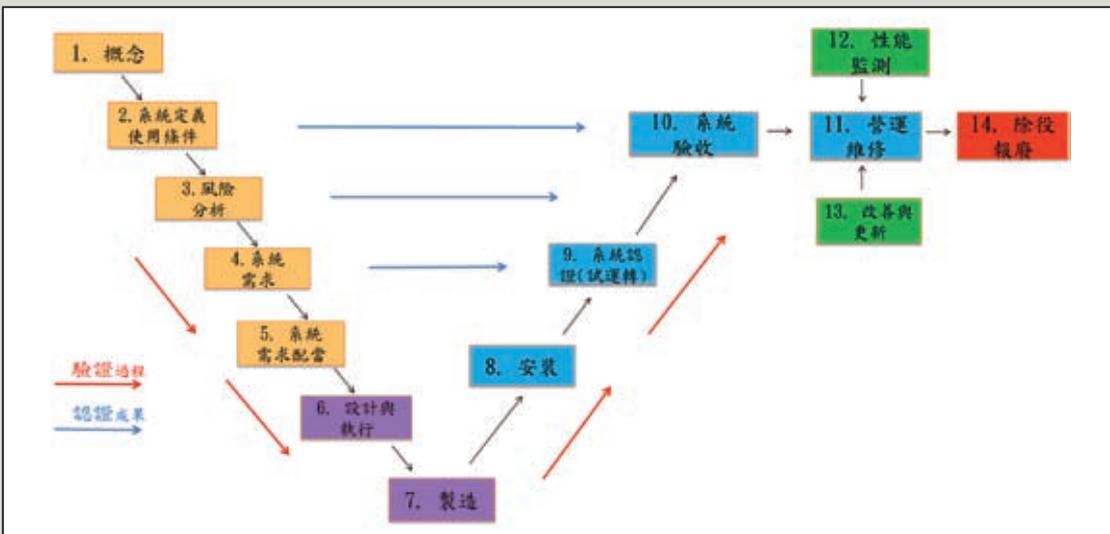


圖8 高速鐵路之系統生命週期

玖、風險考量

一、一系列正式的危害辨識作業有助於IV&V工作之進行，其主要目的是確認及量化高速鐵路系統中相關之潛在風險，以及在其設計與工程進行中的主要危害辨識範圍。所得的危害辨識的結果將是IV&V工作的主要依據，各個類別具有不同的存在風險，IV&V將依其進入高鐵專案之後所發覺之風險程度來訂定不同的評估查核程度(包括配置人力與花費時間與次數之安排等)，在各個類別之中的個別項目中也存在不同程度的風險，各個工程項目經過適切的查核及驗證過程，最後綜整出全系統之認證結果。

二、在執行危害辨識討論時，需辨識潛在風險區域及以下之過程，包括：

- 介面整合
- 環境管理

- 整體安全程序
- 車站細部設計安全程序
- 專案及型態管理
- 營運整備及試運轉
- 所有設計及查核程序
- 土建系統之製造、建造、檢驗及測試
- 非土建系統之製造、安裝、檢驗及測試
- 軟體發展及管理

三、對於各類別中的各個項目，危害辨識之結果所產生之項目，在後續作業中，維護風險模式之技術考量依據既有風險之頻率增加或減少、既有風險之嚴重性增加或減少、新增加的危害以及危害之減輕或轉移等因素修正，隨時更新使之更形完備。

四、下列類別與項目為台灣高鐵全系統，依據危害辨識原則，以其功能、特性等分門別類列入驗證參考之範圍。

類別Type	項目Item
1. 號誌 Signalling	中央行車控制 (CTC) Centralized Traffic Control
	車站 / 本地控制 Station / Local Control
	聯鎖系統 Interlocking - Main Line
	主線管制物件—號誌、開關、員工橫越、月台警告燈號等 Control Objects (Main Line) - Signals, switches, staff crossings, output to platform warning lights, etc.
	警告系統 Warning system
	維修基地管制 Depot Control
	維修基地管制物件(號誌、開關、拖曳物件偵測等) Control Objects (Depot - Signals, switches, dragging object detection, etc.)
	列車偵測 Train Detection
	斷軌偵測 Broken rail detection
	架空線 Overhead catenary switching track circuit
	自動列車控制 (ATC)
	軌道與列車通訊 Track-train communication
	駕駛艙號誌及自動列車保護 (ATP)
	全系統號誌及降級模式 Signalling (whole system) & degraded modes
維修基地聯鎖系統 Interlocking - Depot	

↓ 接下一頁

1. 號誌 Signalling	桃園車站營運控制中心 (OCC) Taoyuan Station
	號誌及通訊室 Signalling and communications combined equipment room
	號誌及通訊電力室 Signalling and communications combined power room
	軌道 Track
	隧道警告系統 Tunnel warning system
	車體 Body
2. 車輛系統 Rolling stock	轉向架 Bogie / Running gear
	剎車 Braking
	高電壓系統 High voltage system
	牽引系統 Traction system
	輔助系統 Auxiliary system
	控制系統 Control system
	車廂內部 / 車門 Interiors / doors
	列車組 Train-overall
3. 道旁機電系統(含電力) Wayside E&M	配電站及電力饋入 Sub-stations & power feed
	OCS 牽引電力分配 Traction power distribution
	牽引電力回送 Traction power return
	營運管制室道旁機電系統之電力控制功能 Electrification control function of the operations control centre
	數據傳輸 / 主載體系統 Data transmission / main bearer system
4. 通訊 Communications	號誌控制 Signalling control
	電力控制 Electrification control
	遙控及監視 (含警告系統) Remote control and monitoring (incl. warning systems)
	聲音及區域數據次系統 Voice and local data subsystem
	無線電系統 Radio system
	廣播及旅客資訊 Public address / passenger information
	閉路電視系統 CCTV
	報時系統 Time distribution
主體結構 Substructure	
5. 車站結構 Station structure	上層結構 Superstructure
	外部施工 External works
	免付費區 Public free area
6. 車站建築之服務 與計畫 Station building Services and planning	公共付費區 Public paid area
	車站營運空間 Station operating space-occupied
	車站外部 External
	台北車站 Taipei main station
	板橋車站 Panchiao station
	熱食供應及清潔 Hot meal catering and light cleaning
	斜坡保護 Slope protection

↓ 接下一頁

7. 土建 Civil 7.1.路塹 Cutting	其他保護 Other protection
	排水系統 Drainage system
	偵測系統 Monitoring devices
	土建結構 Earthwork structure
7.2.土堤 Embankment / grade	洪水高度 Flood elevation / diversion
	其他保護系統 Other protection
	排水系統 Drainage system
	Sub-base
7.3.斜坡 Earthworks to grade	結構基礎 All structure foundations
	地面排水 Surface water drainage
	洪水保護 Flood protection
	污水排放及處理 Foul water drainage and treatment works
	大管線及明渠 Large pipes and culverts
8. 維修基地結構 Depot structure	儲水槽 Holding reservoirs
	出水口 Out-falls
	列車組一二級維修 Train-set maintenance level 1 & 2
	機車一二級維修 On track plant and locomotives level 1 & 2
9. 維修基地設施 Depot facilities	機廠之三四級維修 Level 3 & 4 maintenance at workshop
	列車組內外部清潔 Train-set cleaning-internal and external
	列車組調車 Train-set stabling
	基本設施保養 Infrastructure maintenance
	供餐服務 Catering
	基本設施保養裝備儲存 Infrastructure maintenance equipment storage
	維修管制中心 (MCC)
	維修基地設備及基本設施保養 Maintenance of depot facilities and infrastructure
	鋼軌 Rail
	扣件 / 墊片 / 軌枕 Fastening / pad / sleeper
10. 軌道系統 Track systems	道碴 Ballast
	道碴軌道系統 Ballasted track system
	版枕軌道系統 Slab track system
	道岔 Turnouts
	軌道不連續性 Rail discontinuity
	隧道(橫越活動斷層)Tunnel across active fault
	內襯砌 Permanent lining
	防水層 Waterproofing system
11. 隧道 11.1.隧挖隧道	排水系統 Drainage system
	隧道口 Portals
	緊急安全步道及安全區 Emergency walkways and safety areas
	緊急出入設施 Emergency egress and access facilities
	永久結構 Permanent structures
	防水系統 Waterproofing system

11.2.隧道-明挖覆蓋 Tunnels- cut & cover and 'U' shaped	排水系統 Drainage system
	緊急步道及安全區 Emergency walkways and safety areas
	緊急出入設施 Emergency egress and access facilities
	樁 Piles
	樁帽 / 基角 Pile caps / Footings
12. 高架橋 Viaducts	柱 / 帽樑 Columns and cross-heads
	橋台結構 Abutment structures
	支承 Bearings
	混凝土上層結構 Concrete deck structure
	鋼上層結構(特殊橋樑) Steel deck structure (for special bridges)
	車站進出導路的混凝土上層結構 Concrete deck structure for station approach and through guide-way
	伸縮接頭 Expansion joints
	女兒牆和扶手 Parapets and handrails
	預置合板釘 Embedded dowels
	防水系統 Waterproofing system
	排水系統 Drainage system
	電纜槽 Cable troughs
	OCS號誌桿基礎 OCS pole foundations
	安全步道 Safety walkway
	脫軌保護牆 Derailment protection wall
	地下道電纜槽 Under-crossing cable trays
	緊急逃生樓梯間 Emergency exit staircase

拾、驗證作業

一、LRPT參與高鐵專案之第一步工作，是審查台灣高鐵公司之各項需求是否符合興建營運合約中的規定(如評估報告Requirements & Obligations placed on THSRC 及 Capture of the Requirements of the C&OA in THSRC Specifications)，在EN 50126生命週期中之初期，最重要的是台灣高鐵公司在進行設計工作時將所有功能、品質及安全之需求融入，且須完全符合興建營運合約之相關規定。在此階段中，LRPT專注於初步設計、政策、計畫、管理程序以及營運維修之準備工作等的適切性(如THSRC Project Management Systems, Assessment of the THSRC Quality Management System,

Safety Management System for Pre-revenue Phases, RAM Management System for Pre-revenue Phases, Validation of Basis of the Chosen Design, Review of the IREG Quality Policy and Quality Management System, Apportionment of HSR Safety Requirements to Systems等共兩百餘份評估報告)。

二、一旦初步設計開始，LRPT便進行審查並檢視各類別中的各個項目之CICE與ICE的設計審查工作，並將定期報告提送高鐵局及台灣高鐵公司。各項目具有不同的危害辨識等級，LRPT以不同的作業方式與不同程度的查核與驗證作業對應之。

三、在生命週期中各個階段不同作業的詳細說明不在此贅述，乃因細部的評估作業均依據各階段所發現的問題加以調整，以符合實際所需，其他附加查核與驗證工作均隨時調整。

拾壹、產出文件報告

一、評估報告(Assessment Reports)

評估作業完成後兩週內完成評估報告經由IVV送高鐵公司總經理(總計兩百餘份)，初步評估報告之後若有附加的評估項目，則追加一份再評估報告，整體的評估報告(約一千份)包含初步評估報告、重要事件信函及警告通知等，使完成評估效果。

二、警告通知(Warning Statements)

於高鐵計畫之資料或實作中，發現不符合相關需求或施工不良時，專業機構即於評估報告中告知台灣高鐵公司要求更多資訊以澄清狀況，或缺失有礙於安全、品質與功能，專業機構即以警告通知提送台灣高鐵公司以為立即改善之通知。

三、月報告(Monthly Progress and Status Reports)

月報告(共計78份)包含該月份內之進展、進行的驗證與認證作業、下個月之工作計畫時程、往後三個月之工作計畫時程、本月份獲得的人力資源與人員調度、下一月份之人力資源與人員調度、重要問題之意見、討論或台灣高鐵公司立即改正，以及建議之提送。

四、季報告(Quarterly Summary Status Reports)

季報告(共計26份)包含本季完成驗證與認證作業之總成報告、解決之問題、未解決之問題與因應對策、驗證項目之評述、下一季之預定計畫、整體的意見與建議。

五、IV&V重要時程報告(Milestone Reports)

此報告於高速鐵路生命週期中陸續產出(共計14份)，報告中之驗證與認證作業均依重要時程列出。

六、最終報告(Final Reports)

在出具最終報告之前，LRPT針對Whole Track System、Maintenance Management System、Whole Depot System、Whole Station System、Whole Organisation System、Whole Core System、Overall Train Operating Arrangements、Emergency Management System、Security of Right of Way、Derailment Management、Operating Phase Safety Management、Integrated HSR等十二項進行各項目之最終認證，並各出具一份該項目認證之評估報告。

依據X-122合約之規定，最終報告包括Final Safety Report、Final Quality Report、Final Functionality Report以及Final RAM Report共四份，將IV&V約七年之中以潛在風險之管理為出發點之驗證與認證作業綜整詳實記載列入相關最終報告，以輔助最終認證報告所述內容。

七、最終認證書(Final Certificates)

各個不同階段的各類別與項目之驗證與認證作業由LRPT綜整後分別納入安全、品質、功能與RAM之最終報告中，最後綜整為一最後證

明文件，於民國95年11月6日由Mr. Mike Cooper, LRPT Project Director簽署分送台灣高鐵公司與交通部，以為營運前申請履勘之用，如圖9所示。

拾貳、總結

一、高速鐵路履勘作業主要程序為台灣高鐵公司備齊相關文件向交通部提出履勘申請後，由交通部執行形式審查，以確認台灣高鐵公司是否備齊應提送之文件，再由交通部邀請並由路政司召集具有營運、土建、機電相關專長之專家、學者計16員組成履勘委員會，就履勘項目及標準執行履勘作業，其實施方式包括文件檢視、實地勘查及綜合演練三部分。履勘作業結束後由履勘委員會召開履勘總結會議，最後由交通部函覆履勘結果。履勘之初，各履勘委員首先檢核LRPT出具之IV&V Final Certificates，並詳閱四份IV&V最終報告之內容才開始進行例行履勘作業。

二、獨立驗證與認證機制在國際上的軌道運輸中，早已是不可或缺之預防性安全管理之必要措施。有別於依據施工圖說作業之監造顧問合約以及擔任工程顧問之總顧問，由台灣高鐵之IV&V機制中不難看出，IV&V完全是獨立第三者身分，以專案執行之所有項目的風險管理為出發點，制定驗證與認證工作計畫書送業主核可後據以實施，倘若由業主製作一份制式工作內容與提送報告細項，則已頓失IV&V以危害及風險角度作業之真諦。再者，IV&V絕非屬工程顧問類，所提缺失報告中之改善事項一律應由業主負責責成總顧問、監造顧問、興建承商或設計顧問負責解決。



圖9 LRPT提出之高鐵最終認證書

三、台灣高鐵自96年1月5日開始通車服務(板橋站至左營站)，每日雙向運行38班次。至今約九年半已將班次提升至每日雙向最高達156班，連續假期單日雙向最大運能更曾達195班次。而且軌道運輸最重要的乃屬營運安全，通車至今無造成傷亡之事故。全年平均準點率(誤點<5分鐘)為99.66%，高於目標值之98.90%；全年平均發車率扣除天災之影響後達100%，高於目標值之99.60%。這九年半之優異表現不難看出當年交通部要求高鐵全系統執行IV&V之成效。