

ISSN 1818-4464
April/2017

中 | 華 | 技 | 術 | 114

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2017. 4. 30 出版



國內
郵資已付

台北郵局許可證
台北字第3758號



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



CONTENTS

中華技術 114

目錄

序

林志明董事長
周禮良董事長

專輯前言

王炤烈總經理



發行人 林志明
主任委員 陳茂南
發行所 財團法人中華顧問工程司
地址 台北市辛亥路二段185號28樓
電話 (02) 8732-5567
網址 <http://www.cec.org.tw>

本期定價新台幣480元，全年四期新台幣1,600元

編審工作小組

總召集人 周禮良
副總召集人 王炤烈
114期召集人 林曜滄
114期審查委員 劉國慶、曾榮川、黃炳勳、鄭宏達、
魏雲魯、張欽森、陳幼華、何泰源、
林貴貞、馮道亨、林啟豐、林信忠、
施亮輝、曾淳錚

總編輯 吳淑惠
副總編輯 李志宏
執行編輯 袁雅玲
編輯 詹朝陽、劉彥男、吳小苓
設計 台灣世曦工程顧問股份有限公司
地址 台北市內湖區陽光街323號
電話 (02) 8797-3567
網址 <http://www.cec.com.tw>

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎

1 | 專題報導 先進公路與橋梁建設

10. 永續工程—東部公路建設願景與挑戰.....

..... 劉國慶、楊家正、邱奕堅、翁贊鈞

42. BIM在橋梁工程之應用發展與挑戰—以新北市三鶯大橋改建為例....

..... 曾榮川、陳政雄、李育謙、吳淑珍

54. 複合型災害挑戰下之橋梁建設與延壽思維.....

黃炳勳、陳新之、蔣啟恆、蘇彥彰、戚樹人

72. 三維空間資訊技術之發展與應用

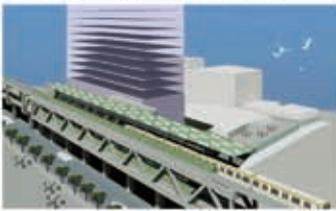
..... 吳錫賢、李明儒、姜興華、鄭宏達

2 | 專題報導 先進海港與空港建設

90. 閱讀國門—來去桃園國際機場第三航廈.....

..... 魏雲魯、林柏鋒、張廷營、林明儀





112. 國際港埠新樞紐—高雄港洲際貨櫃中心建設計畫..... 羅勝方、張欽森、簡德深

128. 跨界整合：海空聯運創新契機
(臺北桃園海空港高快速路網串連優化).....
..... 劉國慶、陳昭堯、吳雅惠、吳心琪

3 | 專題報導 綠色軌道運輸

144. 環狀線DF112標高架車站建築設計理念..... 陳幼華、蘇重威、陳世任、史訓璋

170. 都會區鐵路立體化標竿工程—南港專案及臺中專案經驗傳承.....
..... 歐文爵、何泰源

188. 台灣軌道建設PPP之最後拼圖.....
..... 林貴貞、張正育、涂耀清、吳巧麗

4 | 專題報導 智慧交通與物聯網

200. 智慧運輸之發展趨勢.....
..... 馮道亨、李文騫、黃惠隆、游上民

216. 物聯網於交通領域之應用.....
..... 林啟豐、陳彥均、施坤芳、吳松儒、蔡文彰、劉瑞民

5 | 專題報導 工程與綠能

236. 綠建築與GREEN BIM的對話.....
..... 林信忠、辛銀松、伊釗、郭策維

246. 離岸風電面臨的挑戰與機會.....
..... 王昱凱、林倣寬、張欽森

258. 淺談綠建築節能減碳策略—以先進環控技術為例.....
..... 施亮輝、蔡福順、林啟基、陳昭瀚

6 | 專題報導 永續生態園區

270. 都市多功能韌性永續空間—台北市414號防災公園.....
..... 林信忠、辛銀松、陳傳興、徐晨綾

290. 永續生態綠色低碳園區的實踐—中興新村高等研究園區.....
..... 劉國慶、蕭勝雄、楊元杉

304. 再生水多元運用—產業園區應用實例.....
..... 林志墩、姚重愷、劉偉裕、蘇玫心、曾淳錚

編後語



序

本工程司發行的「中華技術」，內容涵蓋不同的工程世代及多樣的工程領域，完整記錄了國內專業工程技術之研發與建設成果，可謂是國內交通建設相關技術發展的縮影，對國內工程技術的提昇，影響至為深遠。

而「中華技術」隨著本工程司成長的軌跡，其內容範疇也不斷的擴增，由傳統的公路、鐵路、機場、港灣、橋梁、隧道、建築、機電、捷運、社區與工業區開發、水與環境工程等，再逐步擴展至交通控制、民間參與公共建設、資訊網路、高速鐵路、智慧型運輸、工程數位內容、地理與空間資訊、大數據分析等各類工程專業技術，其深度與廣度頗受工程界及學術界各方肯定，允稱是一本兼具工程專業及通俗閱讀的刊物。

自民國96年5月起，中華顧問工程司之工程顧問服務業務已移轉由台灣世曦工程顧問股份有限公司接續辦理，而本工程司則回歸原始公益法人的定位，配合政府及交通部推動的政策，積極參與國內學、協、公會之學術活動，全面致力於各類工程相關技術之研究發展及推廣等業務。由於定位的調整與業務的移轉，「中華技術」乃由本工程司結合台灣世曦工程顧問股份有限公司編輯團隊共同編纂，繼續擔負傳播國內工程業界技術知識的任務，而所有編輯同仁均能秉持熱



忱的服務、優良的品質來服務工程界，不斷創新研發，學習新的技術，並藉由「中華技術」期刊的平台與工程界作溝通與交流，讓最先進的技術與大家分享。

值此114期的出刊，更適逢台灣世曦工程顧問股份有限公司成立10週年之際，特以專刊勉勵參與編輯的同仁精益求精，百尺竿頭，更進一步，也期盼國內工程相關之產、官、學界繼續給予「中華技術」指導與指正，共同推動國內工程技術持續向上提升。



財團法人中華顧問工程司／董事長

林志明



序

回顧96年4月30日「中華技術」第74期出刊的隔日，就是台灣世曦工程顧問股份有限公司成立之日，十年來承繼著中華顧問工程司的優良傳統，創新許多優質的專業技術。如今「中華技術」第114期的出刊，恰逢台灣世曦成立十週年，因應全球公共工程邁向高度整合與全生命週期的新紀元，台灣世曦擘劃未來發展的方向，一為固本的業務，一為脫胎換骨之技術。

台灣世曦運用40餘載累積中華顧問工程司眾多前輩智慧結晶的工程實務技術，繼續為政府機關、公營事業、民營企業提供如期、如質的卓越服務，此為固本的業務。另外脫胎換骨之技術將引領台灣世曦發展新領域與新業務之專業，主要可分為三個部分：

- (1)新技術：首先是3D設計、3D VR，其次為資通訊科技、能源轉型(如太陽能發電、離岸風力發電技術)等，要持續精進技術，就必須廣泛推動並應用這些新科技，期使台灣世曦之技術可以在國內居於領先地位。
- (2)新觀念：3D設計導入工程全生命週期之理念，例如V3DM技術，導入BIM全生命週期在後續管理維護方面的應用，使成為有記憶的建築物。



(3)新應用：BIM、GIS與智慧系統(IS)是台灣世曦之重要資源與技術，應積極思考可應用之新領域，例如3D城市建模、3D地下管線建模，以及因應氣候變遷，GIS在防災技術之應用等。

台灣世曦持續關注政府前瞻性的基礎建設計畫、探詢民間大型企業國內或海外的業務(如風電、太陽能、綠能開發)等，以掌握先機及齊備技術，嘗試高度整合性的公共建設計畫及新領域的創新產業園區開發計畫等技術服務。近期台灣世曦積極參與爭取海外業務，包括馬來西亞捷運、雅加達輕軌等，可向國際證明台灣世曦之技術能力是達到國際一流等級。

有鑑於推動國家經建政策會受一個很大的因素影響，就是颱風、地震及豪大雨日趨頻仍，造成複合型連鎖式天然災害。因此，台灣世曦以『認知風險、嚴陣以待(Know the risk、be prepared)』順應自然的防災思維，整合既有之專精技術與人力資源，在慶賀十週年之際，率先成立民間企業防災組織「防災工程技術整備中心」，投入防災技術開發，回饋社會，善盡社會責任。冀望民間企業投入，帶動防災意識之覺醒，打造安心安全永續發展的生存環境為目標。

台灣世曦工程顧問股份有限公司／董事長

周禮良

專輯前言

「中華技術」發行第114期，欣逢台灣世曦成立十週年，同時亦是台灣世曦的重要里程碑，因此以特刊方式出版，選定本期的主題為「脫胎換骨-台灣世曦10週年特刊」。

台灣世曦自九十六年五月一日從財團法人中華顧問工程司一路蛻變至今，深刻體認到「創造人與土地的和諧與永續」才是工程建設的最高原則。因應環境的變遷與時代的進步，始終堅守工程師的職責，並秉持「正直誠信、謙卑熱忱、服務卓越、研發創新及永續經營」的優良傳統與企業精神，力求與時俱進。

台灣世曦技術服務規模與國內經濟發展、公共建設、民間新興產業等息息相關，大致上分為交通運輸、環境生態、園區開發、發電能源、水利大地及資通訊等。本期主題「脫胎換骨」的三大主軸代表台灣世曦最近十年發展完成的「新技術」- 例如3D設計、資通訊科技等；「新觀念」- 例如3D設計導入工程全生命週期；「新應用」- 例如GIS應用在氣候變遷的防災技術。因此規劃本期內容計有(1)先進公路與橋梁建設(2)先進海港與空港建設(3)綠色軌道運輸(4)智慧交通與物聯網(5)工程與綠能(6)永續生態園區等六大專題，涵蓋道路、橋梁、港灣、機場、軌道、建築、BIM技術、防災、區域整合、綠色能源、再生資源等。

「先進公路與橋梁建設」專題報導方面，有「永續工程—東部公路建設願景與挑戰」，先進交通建設計畫採用對自然環境友善的方式，兼顧環境保護、民生經濟與區域產業發展；「BIM在橋梁工程之應用發展與挑戰—以新北市三鶯大橋改建為例」，藉由3D模型建置，輔助整合界面、衝突處檢查及環境模擬，以優化設計成果；「複合型災害挑戰下之橋梁建設與延壽思維」，因應地震、颱風、洪水及土石流等發生複合型連鎖式天然災害，秉持與環境共存的理念，採取適當的設計、補強、改善對策，以確保橋梁建設的永續發展；「三維空間資訊技術之發展與應用」，建置完善之地理倉儲環境，並導入3D數位城市及發展行動裝置，結合工程資訊建立全生命週期管理平台，創新空間資訊加值服務。

「先進海港與空港建設」專題報導方面，有「閱讀國門 - 來去桃園國際機場第三航廈」，以宏觀與前瞻思維，打造世界一流的旅客航廈，提供更優質的機場服務；「國際港埠新樞紐—高雄港洲際貨櫃中心建設計畫」，強化高雄港發展為洲際大型化貨櫃轉運樞紐港，並兼顧港埠區位功能；「跨界整合：海空聯運創新契機」，有效規劃海運航線，與空運無縫整合，兼顧運輸效率與環保節能的綠色物流路網。

「綠色軌道運輸」專題報導方面，有「環狀線DF112標高架車站建築設計理念」，為首次國內捷運高架段軌道工程採用疊式車站的規劃設計技術，期能減少車站量體，降低對都市景觀衝擊與道路壓迫感；「都會區鐵路立體化標竿工程—南港

專案及臺中專案經驗傳承」，南港專案採地下化，有助於都市發展、改善市容。臺中專案採高架化，兼顧功能與造型的橋梁，與景觀融合，並採用減振降噪設施，減少負面衝擊；「台灣軌道建設PPP之最後拼圖」，針對未來交通以軌道建設為主軸，包括高鐵、台鐵、捷運等網絡佈建，初探各項軌道計畫採行公私合作不同採購模式的適宜性。

「智慧交通與物聯網」專題報導方面，有「智慧運輸之發展趨勢」，綜整車路協同的服務系統、通訊技術、聯網發展等，做趨勢分析及探討；「物聯網於交通領域之應用」，著手於交通運輸系統的優化、城市交通壅塞的疏解等策略，提升業者的營運效率及服務品質。

「工程與綠能」專題報導方面，有「綠建築與GREEN BIM的對話」，透過 BIM 技術模型化、資料庫運算與時間管理機制，結合綠建築評估指標，達成生命週期的生態效益；「離岸風電面臨的挑戰與機會」，涉及技術層面既廣且深，因此有效掌握自主技術能量是成功發展的重要關鍵；「淺談綠建築節能減碳策略-以先進環控技術為例」，經由資料擷取與傳輸設備、管理軟體與平台，進行整體系統規劃，完成智慧分析與雲端環控解決方案。

「永續生態園區」專題報導方面，有「都市多功能韌性永續空間 - 台北市414號防災公園」，建置大型防災救災基地，兼具休憩的城市公園；「永續生態綠色低碳園區的實踐—中興新村高等研究園區」，透過融入生態園區規劃理念，提供優質的生態與國際化研發創新環境，邁向永續發展的科技基地；「再生水多元運用—產業園區應用實例」，發展再生水、多元化供水將為未來新興工業區友善環境邁進一大步。

台灣世曦具有豐富的公共工程規劃設計監造經驗，也見證了在這十年內國際及國內工程產業的蛻變，隨著全球自然環境的變遷及智慧化科技的精進，任何的建設必須奠基在永續發展上。爰此，台灣世曦正進行深化3D設計、推展全生命週期、導入有記憶的建築等技術脫胎換骨，且積極與民間企業合作發展綠能產業、再生水、離岸風電等新興技術，竭盡工程師愛護地球的使命。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

總經理

A handwritten signature in black ink, appearing to be '王如烈' (Wang Rulie), written in a cursive style.

永續工程—— 東部公路建設 願景與挑戰

關鍵詞：蘇花公路、花東公路、全光譜方案思維、永續公共工程

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／協理／劉國慶 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／副理／楊家正 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／計畫經理／邱奕堅 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／正工程師／翁贊鈞 ❹

摘要 ABSTRACT

台灣東部區域由於受天然地形屏障致聯外交通不便，相較於西部工商發展與都市化的繁華，發展相對遲緩與富鄉野原始。因為區域的低度發展，在永續環境觀點成為普世價值的新世紀，花東區域成為國土環境規劃者成為最有想像題材的場域。

政府交通部門近年積極投入區域鐵公路交通建設，惟公路建設推動過程屢因外界對於區域環境保育衝擊的疑慮，致衍生計畫工程規模量體縮減議題，故導入非典型專業評估模式與多元價值觀點之技術對策，實踐永續發展成為計畫執行之核心論述。

本公司辦理東部多項公路指標計畫，包括蘇花公路改善計畫工程規劃與設計、台9線花蓮路段拓寬改善計畫、台9線台東路段拓寬改善工程規劃與台9線南迴公路改善計畫，對花東區域環境公路運輸發展脈絡與計畫實踐具有寬廣掌握。本文擬就相關推動計畫之工程內容與永續工程策略，藉以勾勒東部公路發展願景，並提出區域長期交通建設發展所面臨之挑戰。



壹、花東後山國土發展論述與永續公共工程思維

一、花東後山國土發展論述

臺灣花東後山，由於地形險阻致聯外交通不便，與臺灣早年以經濟取向工業生產主導之西部空間結構，形成完全不同之環境地景。相對於西部工商發展進步，花東是落後的；相較於西部都市化的繁華，花東是鄉野原始的；對應於西部的快速節奏，花東有著一股悠閒慢調的氛圍。

因聯外道路穩定性低，當臺灣整編投入國際分工市場，花東區域人流與物流條件的貧乏，成為臺灣經濟發展中一塊脫隊邊陲化的空間，卻形成臺灣空間都市化、工廠化與水泥化

的意外留白。因為區域低度發展，在永續環境觀點成為普世價值論述的新世紀，成為臺灣最有想像空間的旗艦場域。

空間資源的稀有性及獨特的地景特質是花東區域未來發展的資源，具環境破壞影響之砂石及水泥產業，在業產東移政策下成為區域環境負面影響之主因，破壞綠色山容的水泥工業與衝擊地區交通的砂石重車，促使花東在地人開始凝聚一股對於建設開發環境保育之反省思考。

低度開發的花東後山區域，擁有壯闊的山海景觀、樸實的原民文化與優勢的有機農業發展條件，相較於開發過度的臺灣西部，其低度開發的環境成為新世紀產業重整綠色產業發展的優勢條件。也因其低度開發特質，面對建設開發之影響敏感度相對亦高，公路建設推動應



圖1 東部永續發展綱要計畫願景概念圖

資料來源：東部永續發展綱要計畫(第一期實施計畫草案)，行政院經濟建設委員會，民國97年4月。

思考區域環境衝擊，特別是引發無整體規劃之土地開發問題。

基此，政府成立專案小組研擬東部永續發展綱要計畫，建構花東國土發展面貌。經建會96.3.20擬定「東部永續發展綱要計畫」之願景目標為「善用東部優勢資源，追求經濟、社會及環境之永續發展」。行政院於99.2.22核定「國土空間發展策略綜合開發計畫」，確立國土空間架構與發展定位，以東部之區域環境優勢定位為東部優質生活產業軸(如圖1)。

二、東部運輸規劃政策

依行政院國家永續發展委員會國土計畫構想，未來國土空間架構分為「西部都會成長軸」、「東部觀光發展軸」、「中央山脈保育軸」及「離島軸」。交通部於95.10以「東部永續發展綱要計畫」情境發展訂定「臺北與東部間運輸發展政策評估」，依據東部不同發展情

境，研擬不同強度之運輸規劃政策。

東部區域交通建設計畫社經分析以東部永續發展綱要情境為基礎，並依據上位計畫「國土空間發展策略計畫」、「東部永續發展綱要計畫」及「臺北與東部地區間運輸系統發展政策評估」之運輸策略為原則，以永續環境建設為核心，歸納以改善蘇花公路安全穩定、提升宜花鐵路運輸服務及花東環境保育為政策重點(如表1)。

貳、東部公路建設推動

為建構花東環境永續發展願景，提升及建立優質之東部公共運輸環境，政府積極推動多元多層次之交通建設策略(如表2)，區域大眾運輸與綠色運輸環境正逐步推展落實中。

表1 上位計畫東部運輸政策綱要

上位政策	主軸政策	運輸政策
國土空間發展策略計畫	國土空間架構~國土空間結構:東部優質生活產業軸	提升東部與離島地區對外運輸之機動、安全、與可靠性
東部永續發展綱要計畫	1. 東部永續發展 2. 多元文化、自然景觀、優質環境、國際觀光	1. 綠色運輸、人本交通環境，強化鐵路人、貨運輸功能 2. 建構花東優質景觀廊道 3. 提昇蘇花公路及南迴公路之安全性與可靠度及降低砂石業之負面衝擊
臺北與東部地區間運輸系統發展政策評估	1. 東部自然發展情境~除執行中計畫，不新增計畫，臺9蘇花段僅執行邊坡養護工程+鐵路複合運輸配套措施 2. 東永綱要計畫落實情境~臺9蘇花段改善+公共運輸與管理手段 3. 東部產業大量發展情境~北宜鐵路改善、國道蘇花高段方列入考量	
臺灣城際陸路運輸系統發展策略—東部區域	1. 軌道為主、公路為輔；公共運輸為主、私人運輸為輔 2. 消弭公路運輸瓶頸觀點下，改善蘇花公路、公路優美化、休閒化、人性化、道路建設與拓寬計畫應有配套 3. 建構宜花東優質景觀廊道與網絡 4. 降低砂石運輸衝擊	

表2 東部地區重要交通建設彙整表

類別	計畫名稱	計畫內容	年期	總經費
鐵路	臺鐵整體購置及汰換計畫	鑒於東部幹線週末及連續假日尖峰運輸時段運能不足，購置客車334輛(城際客車180輛、區間車154輛)及維修基地與設備配合改善等。	90~103	167.6億元
	花東線鐵路瓶頸路段雙軌化暨全線電氣化	自花蓮至臺東止全長約162公里，辦理全線電氣化及瓶頸路段路線雙軌化。縮短臺北至臺東行駛時間在3小時以內。 · 東部鐵路快捷化：花東線鐵路電氣化後，列車速度可由現行110km/h提昇為130km/h。 · 動力一元化：解決目前往返花東線間之列車更換動力車或旅客換乘列車耗時之情事，增進臺鐵運輸效率及提昇服務品質。	97~107	254億元
	花東線鐵路整體服務效能提昇計畫	花東線車站站體結構及站場設施等軟硬體整體更新，提升車站整體服務效能，重新詮釋車站文化與地方特色及強化觀光旅遊之鐵路運輸功能。	99~108	61.0億元
	提昇東部鐵路複合旅客運輸服務	整合東部地區旅客複合運輸資源，投入必要之設備改善，研擬相關配套策略。	-	-
	北埔站至花蓮港站間電氣化及號誌站工程	北三角號誌改善，增加花蓮港鐵路支線運能，並增設2股道。	-	8.3億元
	臺鐵貨場及貨車車輛擴增	· 北迴線永樂、東澳、漢本、和平、和仁車站站場改善。 · 分階段改造篷車250輛為敞車，與改造篷車及篷斗車400輛為石斗車，共可提供17,810噸/日，滿足蘇花公路山區路段改善計畫土方疏運及和仁至花蓮港及北部區域之公路礦砂石移轉至臺鐵之需求。	100~102	18.5億元

↓ 接下頁

類別	計畫名稱	計畫內容	年期	總經費
公路	生活圈道路交通系統建設計畫(市區道路)(104年-107年)	生活圈計畫(104年-107年)已核定花蓮、臺東兩縣共8項道路改善計畫，提升地區部分路段通暢性，並改善現況道路服務水準。	103	
	台9線花東公路第三期道路(後續)改善計畫	台9線花東公路全長186公里，第一至三期拓寬計畫已將花蓮市至臺東縣卑南鄉路段分期分段拓寬改善為路寬12-30公尺，其中尚餘65公里未改善至路寬30公尺，列為第三期道路(後續)改善計畫，以增加道路容量，提升道路服務品質，並提振地區觀光旅遊事業。	102~107	39.8億元
	台11線東部濱海公路改善計畫	台11線自花蓮至臺東(不含原台11線166k+000~173k+164路段，該路段已改編為台11乙線)除部分路段外，按計畫用地寬15至20公尺辦理徵收及拓寬改善，石門至長濱段配合觀光地區之交通需要，加設腳踏車專用道。	97~102	110.4億元
	台9線蘇花公路改善計畫	災損頻率高路段包含蘇澳東澳段、南澳和平段及和中大清水段改善工程約38.4公里，其中隧道8座23.3公里、橋梁13座8.3公里。省道三級路設計速率60km/h，採雙向雙車道配置。	98~108	528億元
	台9線南迴公路改善計畫	工程起自臺東縣達仁鄉安朔村，止於屏東縣獅子鄉草埔村，工作範圍為台9線安朔至草埔路段(全長11.006 km)，完成後將可優先改善「安朔-草埔」既有運輸瓶頸，並提供花東及高屏地區便捷聯絡道路。	100~106	190.4億元
	配合節能減碳東部自行車路網示範計畫	結合東部地區豐富天然遊憩資源，優先發展為自行車路網示範地區。	98~101	7.9億元
在地運輸	花蓮無縫公共運輸發展政策	以鐵路運輸為幹線，公車、計程車及需求反應式公車為支線之服務。	99~101	-

參、蘇花公路改善計畫(如圖2) 98.1~108.12

鑒於蘇花高速公路計畫無法完成環評法定程序，而台9線蘇花公路之安全穩定改善遂成為社會共識且愈具急迫性。為回應東部民眾對「安全回家的路」長期之訴求，交通部指示公路總局從「社會正義」觀點切入，並兼顧「環境保護」理念，接續推動台9線蘇花公路改善計畫。

計畫推動以歸零思考出發，考量花東國土願景與環境之敏感性，於區域公共建設及相關配套措施仍需強化之前提，階段性推動安全可靠服務的公路運輸為目標，以路段災損阻斷及交通肇事率高路段進行改善，改善工程採雙向雙車道規劃，先行推動蘇澳至東澳段、南澳至和平段及和中至大清水段，兼具工程減量、環境友善及強化公路抗災性之原則。

計畫於民國99年11月9日經環保署環境影響評估審查委員會第200次會議有條件通過(如圖3)。鑒於計畫為國家重大指標建設並為社會高度關注議題，以永續公共工程核心理念為工程實踐指標，建構涵融科技工程、人文科學與生態保育價值之計畫願景。

改善計畫於民國100年3月21日進入施工階段，其中蘇澳東澳路段將於106年底竣工，南澳和平路段則預計於107年竣工，和中大清水路段於108年完成，全線預計於108年底通車。

傳統公路設計，思考面向侷限於工程技術及運輸效益，然因應環境永續價值，快速與安全運輸已不再是公路建設唯一目標，生活美學與環境友善成為現階段工程師於技術規範外，最重要的設計核心理念。簡述如后：



圖2 蘇花公路改善計畫-觀音隧道



圖3 蘇花改環評重要結論
資料來源：蘇花公路改善計畫

- 一、考量地域自然環境紋理與在地人文，發展與時間座標互動之有機設計概念。
- 二、路線儘量避開環境生態敏感區及地質災害區，並降低對於自然及人文環境紋理之切割影響。
- 三、交通運輸從路網、軸線及節點整體思考，全工程生命週期發展觀點，多元價值服務思考。
- 四、考量區域土地使用特質，構築多元多層次交通服務架構。
- 五、擴大道路線性空間意涵，構築道路軸線空間發展模式，形塑區域風貌，賦予場所性格。
- 六、涵納社會價值，節能減碳、生態保育、環境永續及友善設計概念。

七、導入減量設計思維，降低工程量體，營造新工程美學視界。

八、尊重地區民眾意見，強化民眾參與對話機制。

規劃設計以永續公共工程內涵為核心，參據工程可行性研究階段研析成果及專家溝通會議焦點議題，並縝密掌握環境影響評估重大課題及環評承諾範疇事項，架構巨觀之工程規劃系統及細膩之工程設計細節，以工程全生命週期觀研擬整體專業技術執行策略，以實踐永續公共工程內涵指標(如表3)。

一、計畫推動方案

道路定位採規範三級路省道標準，設計速率採60km/h，基於

路廊地勢險峻，避免工程大挖大填，藉由對環境影響最小化之隧道與橋梁為道路構築主體，提升道路抗災性。本計畫蘇澳東澳段、南澳和平段及中大清水段改善工程約38.6公里，其中隧道8座23.3公里、橋梁13座8.3公里(如圖4~7)。

二、實踐兼具環境友善及工程美學之隧道與橋梁

規劃設計思考上，謹慎評估道路工程尺度量體對環境地景的影響，細

表3 蘇花公路改善計畫永續公共工程執行策略

指標	策略
與環境融合之工程	全光譜改善方案思考，考量區域環境容受，適切改善路段策略。
多元價值友善溝通	多元多階段溝通(專家、學者、住民、環保團體與產業界溝通)。
路廊總體運具策略	非唯一工程改善思維，透過路廊整體鐵路與海運運具評估，研擬多元之交通改善配套策略。
友善施工運輸策略	舊北迴開置隧道利用，減輕地區交通與環境衝擊，有價料資源利用及遠距離鐵路友善運輸。
友善減碳思考	隧道植料近運工程利用及貨運轉移鐵路運輸策略(中鋼鍊鋼石移轉鐵路運輸及工程有價料資源鐵路運輸)。
嚴謹環評承諾事項	生態、噪音、施工湧水停工機制及環評監督小組。
全路廊安全運輸行控管理	台9線與改善計畫完善之行控管理計畫與嚴謹之長隧道營運安全軟硬體及管理組織(交控系統計畫)。
施工監測安全管理	隧道開挖監測及邊坡監測安全管理、施工資訊系統建置及隧道開炸台9線安全監測。
隧道邊坡與橋梁監測系統建置	隧道邊坡與橋梁結構安全熱點，建立結構管養手冊及安全管養指標，評估智慧監測系統與後端管理平台策略。
營運安全與管理	因應長隧道及路廊行控安全管理需求，建立緊急應變組織系統，評估管養組織民間營運。



圖4 蘇花公路改善計畫概要 (公路總局蘇花公路改善工程處提供)



圖5 蘇澳東澳段平縱面配置示意 (公路總局蘇花公路改善工程處及中興工程顧問公司提供)



圖6 南澳和平段平縱面配置示意 (公路總局蘇花公路改善工程處提供)



圖7 和中大清水段平縱面配置示意 (公路總局蘇花公路改善工程處及中興工程顧問公司提供)



圖8 觀音隧道口配置



圖9 觀音隧道景觀透視

膩操作道路從路堤到橋梁到隧道，每一個工程元素的意象美。

隧道洞口之研選除考量地形地質條件，尚需考量整體洞口機房建築、迴車道配置及救災空間需求。考慮長隧道之封閉空間駕駛，除考量進出隧道視覺適應之照明需求，亦將隧道內外空間景觀納入設計重點，洞口以簡捷之造型

設計，使整體洞口景觀融合自然環境，隧道進出段以漸層色彩輔助平衡光線明暗差。以南澳和平段觀音隧道及谷風隧道為例，隧道內壁間隔1公里點綴設置120公尺地景意象意象彩繪，以優化用路人隧道視覺韻律(隧道洞口及隧道段透視示意如圖8~9)。

在公路美學體驗，橋梁段是地景視覺之大



圖10 南澳北溪景觀橋透視



圖11 南澳北溪景觀橋施工現況

場景主角。橋梁順應環境地形，形塑區域地景風貌，於蘇澳及南澳臨聚落段規劃白米溪及南澳北溪景觀橋。

南澳和平段計畫起點為南澳聚落南緣，路段地景為開闊平原、粗獷河川與險峻山區交會點，地景韻律豐富，考量南澳北溪橋緊鄰聚落

區，為營造區域景觀風貌，橋型設計採具視覺張力的脊背橋。

南澳北溪橋採用三跨95+160+105M配置之雙橋塔單索面脊背橋(如圖10~11)。灰白色橋塔及斜拉鋼纜融合秀麗山勢，橋塔造型如雙手



圖12 南澳南溪路堤友善設計

托天，隱喻對上天表達敬意及尊重自然環境之意。在橋梁結構力學上，配合施工條件及結構尺度比例，各跨節塊以不平衡方式設計；在橋梁造型美向度，橋塔高度與跨度比協調性、橋體色彩肌理質感與環境之融合意象美為設計模擬重點。

隧道開挖衍生龐大土方工程，考量跨區運輸衍生環境衝擊，故規劃南澳南溪路堤兼具施工中環境友善運輸及完工後地磅安全管理場站功能，且為落實生態友善策略，設置動物廊道，並於橋下設置蝙蝠及鳥類巢箱，另積極以綠資材及隧道渣料營造多孔隙之棲地環境，增加地形變化營造近自然雨水貯留池，提供多元生態棲地(如圖12)。

三、長隧道防災及安全營運規劃設計

計畫位處偏遠山區，整體區域公共設施資源及警察消防系統單薄有限，檢視區域環境特質，救災系統建置及路廊安全運輸管理為未來路線營運之首要課題，故於土木工程、機電工程及交控系統工程等設計作業皆將此議題納入推演思考。

(一) 土建救災空間設計

改善計畫以橋梁及隧道構造為主，具封閉性，整體防災管理為一綜合土木機電硬體、資訊軟體及維管策略之整體考量課題，為行車營運維管安全考量，隧道主體相關構造說明如下(如圖13~18)：

1. 長度>3公里之隧道有東澳隧道(3.4公里)、觀音隧道(7.9公里)、谷風隧道(4.7公里)及中仁隧道(4.8公里)，長隧道考



圖13 隧道斷面

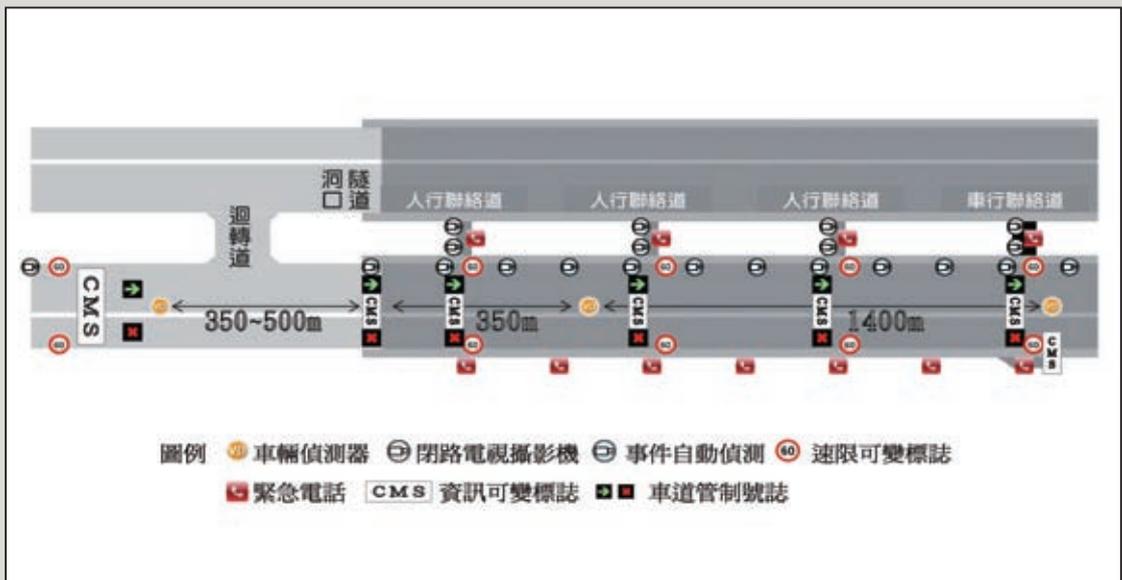


圖14 隧道人行及車行橫坑系統

量營運安全及救災應變，採雙孔單向配置，南下隧道及北上隧道間以車(人)行連絡隧道相通，主隧道發生火災事故時，人可經由防火門及連絡隧道避難至另側隧道逃生，消防單位及消防車亦可利用連絡隧道作為接近火災事故之路線。

2. 依據公路隧道消防安全設備設置規範，

考量長隧道之運輸安全，建置完善橫坑系統，每隔350公尺設置人行橫坑，1400公尺設置車行橫坑。

3. 長隧道洞口設置迴車道或於隧道口前擴大局部道路(橋梁及路堤)断面，提供交警公務執勤及發生事故時，可於隧道洞口前成立指揮(救護)站。

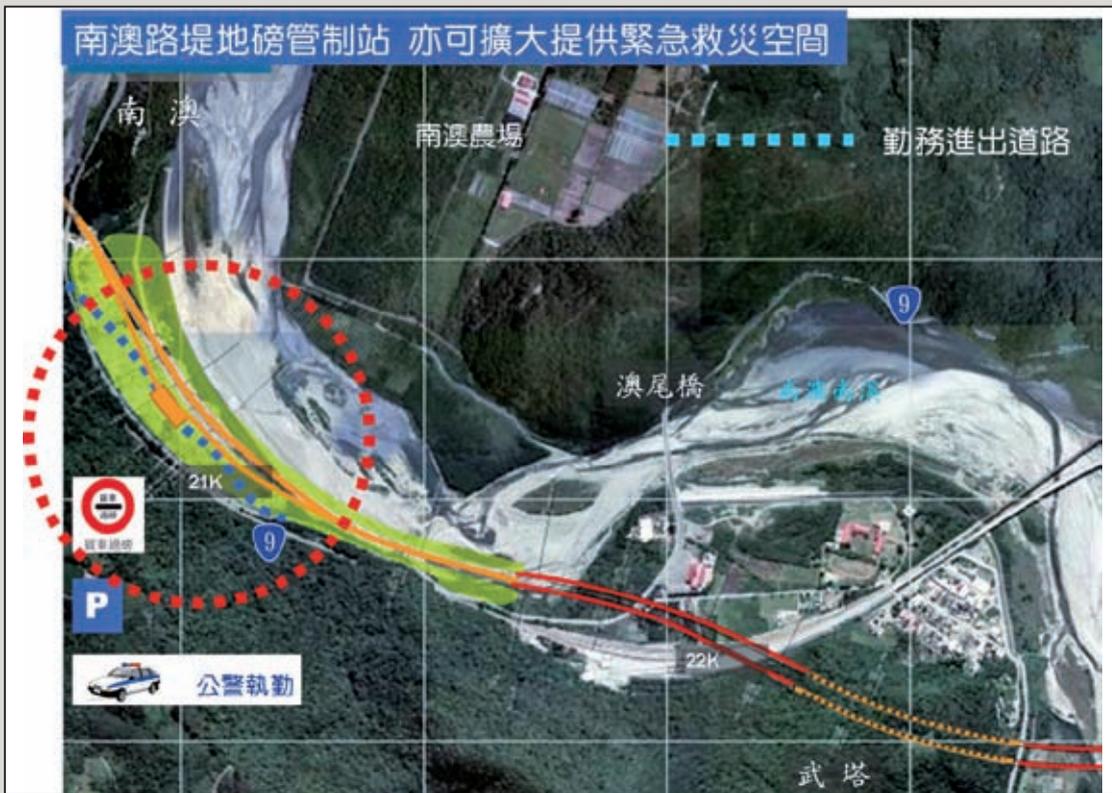


圖15 地磅管制站

隧道外路線設計亦考量整體救災需求配置緊急救災空間，以南澳和平段如圖15~18：

(二) 隧道通風消防系統

1. 依國際多起隧道重大交通傷亡事故經驗，新闢長隧道採用「點排式通風系統」，設有獨立排煙管道，事故時可將煙霧限縮於事故區段，增加逃生機率。具防止火煙侵入連絡隧道之負壓措施，逃生連絡隧道二側出入口設置防火門，防止火煙流入另側主隧道(如圖19)。
2. 長隧道內建置點排式通風系統(POINT EXTRACTION)，緊急排煙系統以操作簡單之風機控制方式，於隧道上方設置管道，每350公尺設排煙口，並與人行聯絡隧道交錯配置，該通風系統於正常

或緊急時均為排氣模式，使隧道內風向變化不大，係考量用路人並不清楚風向突然變化後是否要重新選擇逃生路徑。排煙口採動態定址式，有效將事故區之煙熱迅速排除，進而展開逃生、救援行動。通風機組設於各隧道洞口機房或通風橫坑機房內，每組均有一台備用提供排煙功能，以確保在避難階段(10分鐘之內)完成逃生程序，並配合之監控及交控資訊導引，協助用路人逃生。

3. 依據國際上各型車種火災熱釋放率(每輛)，本計畫考量開放重貨車運輸，長隧道消防通風系統規格採火災熱釋放率(HRR)建議100MW。並依據99年12月頒布之公路隧道消防安全設備設置規範，設置主動式消防設備，此為國內設置先例。

(三) 完善交通控制系統

漢本路堤可提供緊急救災空間



圖16 路堤規劃救災空間

隧道洞口迴車道配置 提供機房勤務進出及緊急使用



圖17 隧道口前緊急迴車道

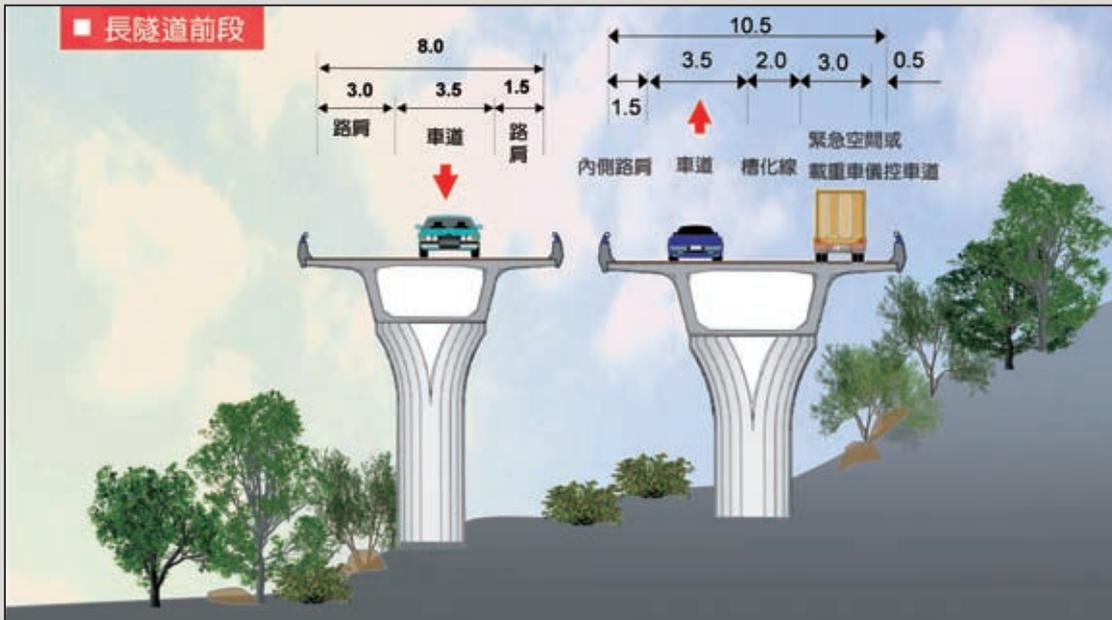


圖18 長隧道入口前規劃緊急空間

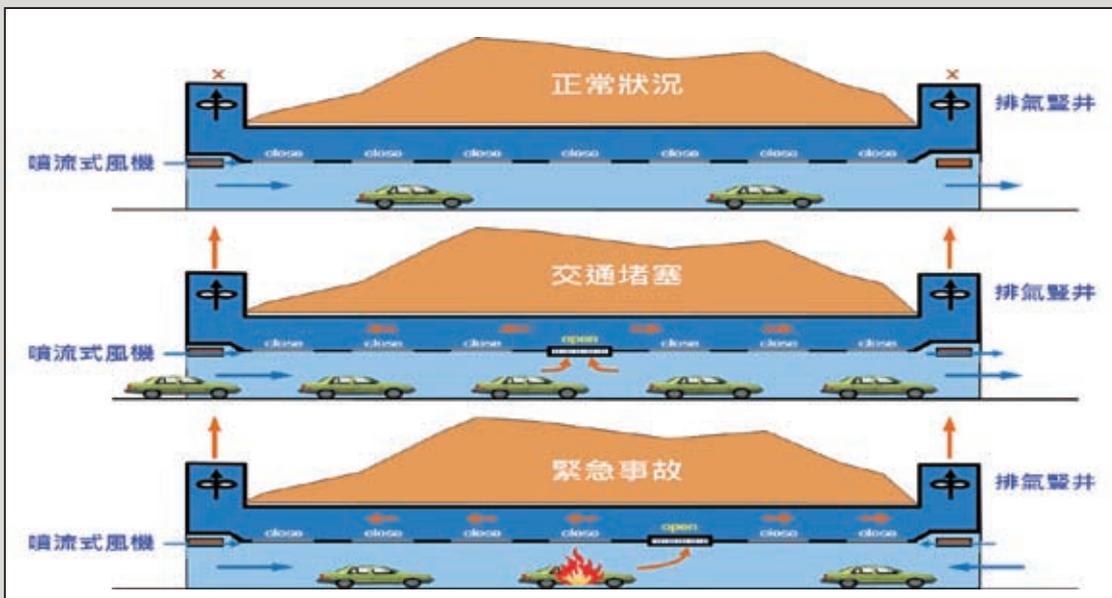


圖19 長隧道內建置點排式通風系統

智慧安全管理-隧道配合交控管理策略
設置適當的交控終端設施，包括車輛偵測器、路邊緊急電話、速限可變標誌、車道管制號誌、閉路電視、資訊可變標誌等。隧道機電交控設施配置如圖20~21：

(四) 救災系統組織建構

路廊運輸空間具封閉性，安全救災為營運之重大課題。參據八卦山隧道及雪山隧道維護管理經驗，設計階段進行緊急應變計畫研擬，建立路段長隧道營運管理

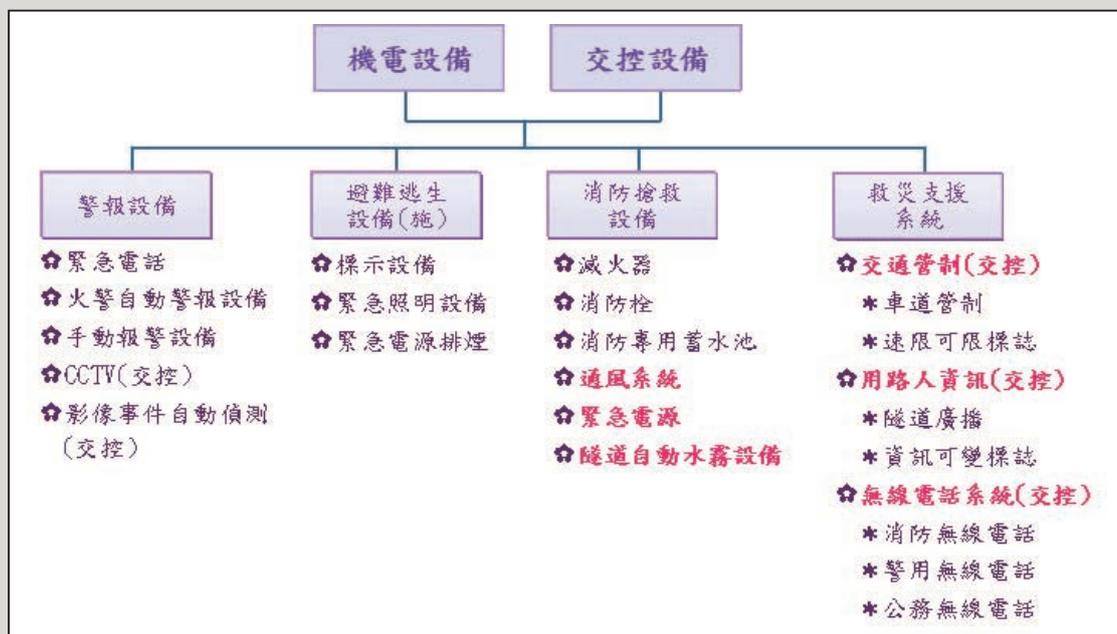


圖20 隧道機電及交控安全防護設備配置

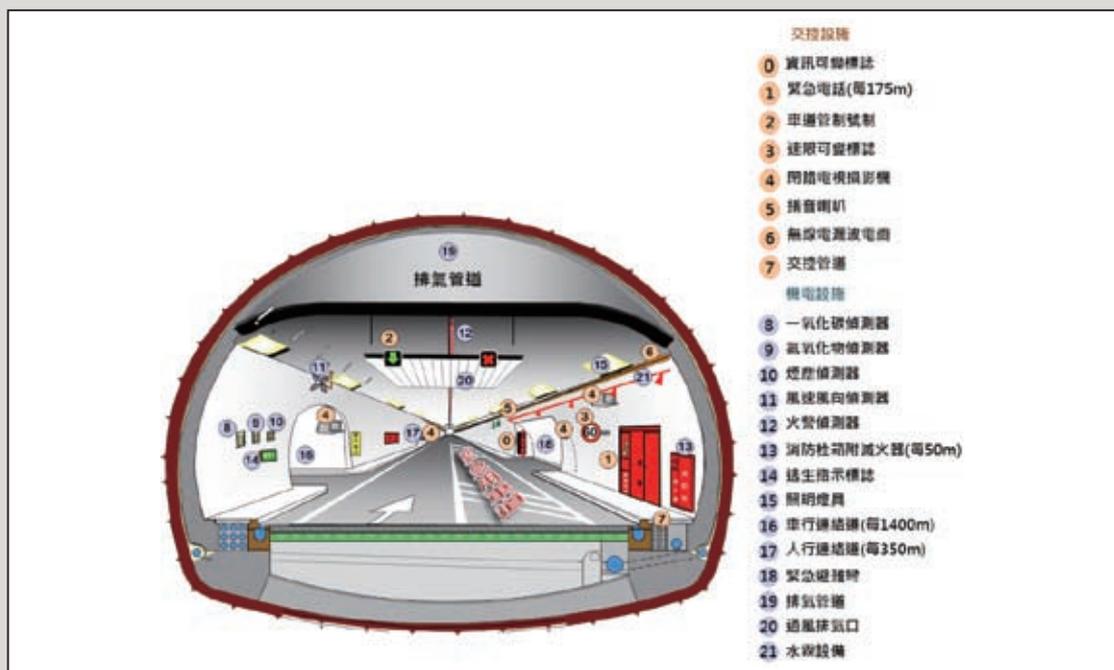


圖21 隧道機電交控設施配置斷面示意

緊急應變指揮體系，包括成立交控中心及現場作業組(交控中心設置於南澳)，包含監控、救援、交管及救護組織。其中救援組除現場執勤人員，尚需納編轄區消防單位，協調地方消防機關編制擴大，並定期進行消防演練。

配合啟動交控系統計畫進行緊急應變計畫及組織建構，為保障行車安全及加速與掌握救援行動，需針對隧道群區段在各類災害發生時，如何整合運用既有之硬體設備(如主隧道、連絡隧道、機電交控設備、消防防災設備、救援車輛、救援人

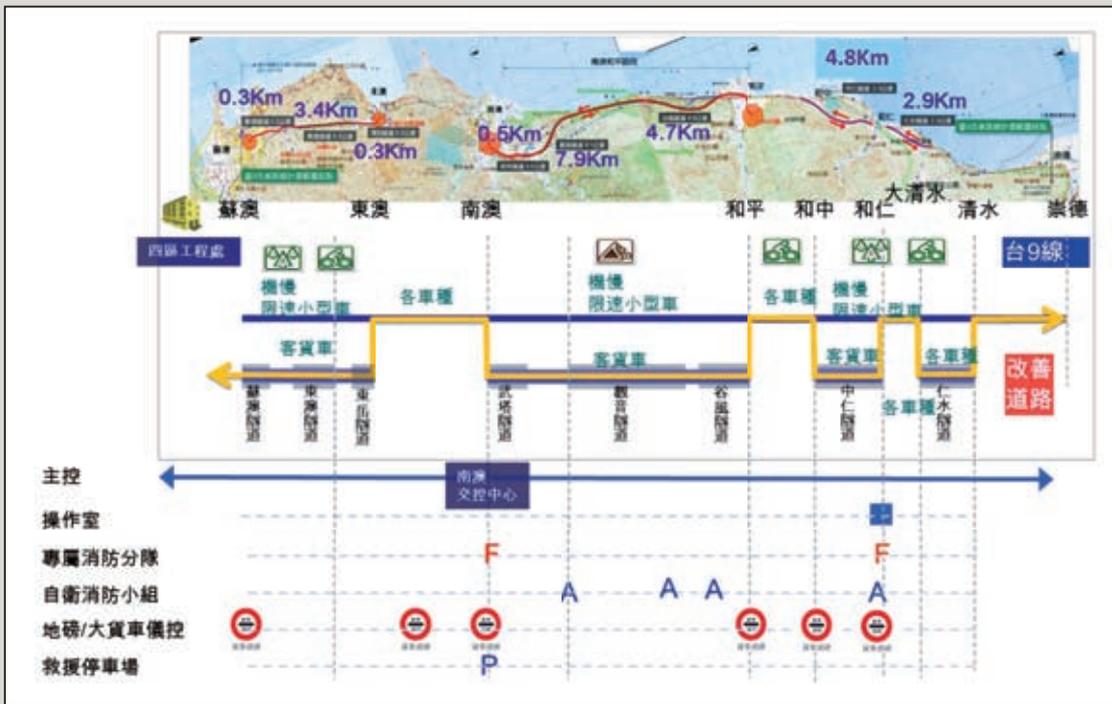


圖22 蘇花路廊安全營運管理組織配置示意

力、警消人員、醫院等)、救災策略(災害緊急應變機制、救援指揮系統、相關單位支援體制)及平時人員演訓計畫等，擬定一套明確之緊急應變計畫及救援標準作業程序，以利災害發生，能迅速採取正確之緊急應變及救災作業(如圖22)。

四、建置全路廊蘇花改及既有蘇花公路之安全運輸策略

(一) 蘇花路廊運輸模式

綜觀蘇花路廊，公路運輸為區域必要維生管道，本計畫新建山線路廊段與既有台9線將成為功能互輔系統。道路功能定位如下(如圖23)：

1. 既有台9線蘇花路段

定位以觀光休閒為主，提供慢車、機車、小汽車及大客車行駛，以活化台9線成

為景觀公路並作為慢活的運輸路線，貨車以行駛改善計畫道路為原則。

2. 蘇花公路改善路段(新關山線路廊)

定位為區域幹道，提供穿越性城際客、貨車行駛，行駛車種包括小汽車、大客車及非管制之貨車行駛。

改善計畫與既有台9線營運安全管理整併於交控系統計畫，針對路廊可能之交通、邊坡及隧道災變等意外，透過自動化監測及行車資訊回饋及時發布交通導引管控等措施，提升整體路廊運輸安全品質，建構全生命週期觀之智慧運輸公路。

(二) 蘇花路廊重車安全管制策略

1. 依據國內外經驗，車間距及重貨車流量管制為隧道營運安全提升之重要對策，長隧道路段入口前設置地磅站，



圖23 蘇花路廊運輸通行模式規劃圖

強化貨車通行管理，於蘇澳、東澳、南澳、和平等四處設置地磅站，大貨車進入隧道前於地磅站受檢，違規車輛由驅離道路駛離。地磅站至長隧道入口前布設大貨車專用道，檢查合格車輛由引道匯入大貨車專用道，主線匯入口設置儀控設施，抑制貨車流量，原則以車間距約50~150公尺管控，保持貨車、客車間距。

2. 考量長隧道交通安全及阻塞課題，地磅

管制站除進行重貨車載重及車間距管制，並透過隧道內設置各項交控監測設備，可即時掌握交通壅塞狀況，俾進行端點交通管制(如圖24~25)。

(三) 蘇花路廊智慧資訊管控系統

建置全路廊蘇花改及既有蘇花公路之安全運輸交通資訊管理系統，提供用路者充分路況資訊，並依據各種情境進行導引及管制作為(如圖26~27)。



圖24 計畫端點重車地磅管制站及儀控管理示意



圖25 地磅管制站透視

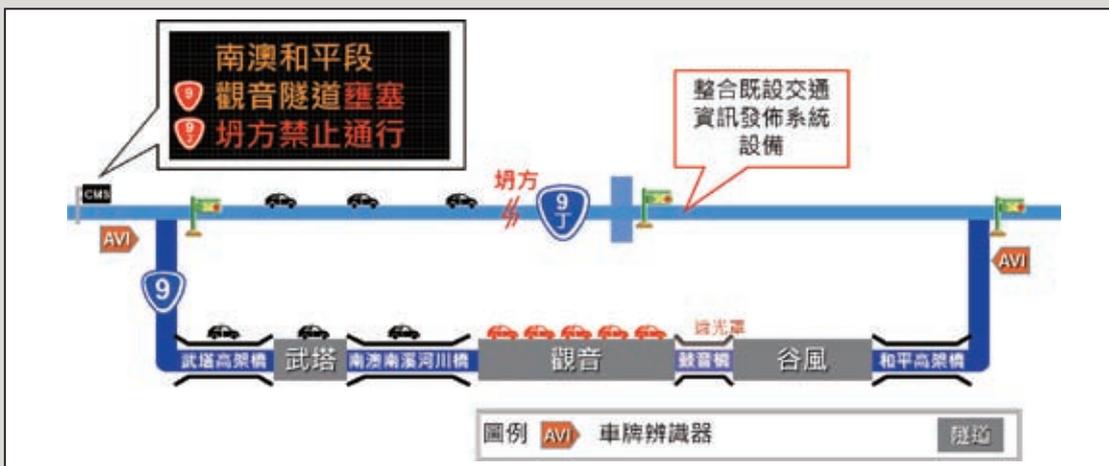


圖26 蘇花路廊安全智慧交控管理示意



圖27 蘇花改與既有台9線路口交控資訊設施示意

1. 以整體路網為考量之智慧化交通管理系統

整合既有台9線與改善路段之區域路網交通，為符合交通管理系統需求，並提供公路總局交通資訊發佈中心所需資訊，滿足智慧化交通管理之目標。本計畫所提供之交通管理策略包括事件管理系統、路網交通管理、交通管制、壅塞管理、大貨車儀控、天候與能見度不良及維持主線順暢等策略。

2. 機電與交控系統的高度整合決策支援平台

利用動態交通路網圖結合顯示即時相關資訊如事件、天候、即時交通狀況、隧道通風、水霧運轉狀態等，以快速掌握空間關係。並藉由事件影響分析系統推估事件的範圍及對車流之衝擊，以作為實施交管措施之依據。

3. 全生命週期思維之交通管理系統

除依完整的交通策略建置本計畫交通管理系統外，本計畫更搭配系統工程全生命週期之思維，於設計階段對於系統維護管理、未來擴充及更新，予以完整考量。

之冠，分析肇事率高主因為雙向僅各一車道配置，因雙黃線跨越超車以及部分車道過彎視線不良等原因造成對撞。



圖28 台9線路線

民國97年交通部公路總局推動「台9線花東公路第三期改善計畫」，路段起自台9線木瓜溪橋南至花蓮臺東縣界，辦理道路拓寬為雙向各2車道、設置中央分隔島以及部分彎道改善。民國97-101年，將台9線約16公里路段拓寬為路寬30公尺，其餘約60公里未改善路段納入「省道改善計畫」中逐年籌列經費辦理(如圖29)。

依據「東部永續發展綱要計畫」，東部將建設為具備多元文化特質、自然生態景觀、優質生活環境之區域永續發展典範，且內政部營建署「全國景觀道路規劃建置計畫」，已將台9花東公路列為國家級景觀道路。依交通部觀光局「花東縱谷景觀路廊整體規劃」，整體規劃景觀路廊之視覺體驗，形塑花東縱谷景緻及完善設施服務，營造「宜遊、宜住」遊憩氛圍及生活美學，建構國際級遊憩環境。基此，東部公路建設模式將不同西部以快速運輸服務為主要目標之思維。

肆、台9線光復玉里段拓寬計畫工程設計102.3~107.12

一、計畫執行必要性與目標

花東地區受地形屏障阻隔，長期聯外交通不便，地區大眾運輸功能亦形匱乏，台9線花東公路全長186公里，為花東縱谷地區唯一交通主幹(如圖28)。第一、二期拓寬計畫分別於民國73至78年及民國81至84年間完成，將花蓮市至台東縣卑南鄉路段拓寬改善為路寬12公尺。因發生多次重大交通事故，頻率高居國內重要道路



圖29 花東三期及後續計畫已完工路段現況

台9線光復玉里段拓寬計畫為依循台9線花東公路第三期改善計畫持續推動之建設工程，計畫範圍分為兩路段。北段(里程250K+760~268K+500)，北起光復鄉中興橋北側，南至瑞穗鄉瑞穗外環道與舊台9線叉路口；南段(里程274K+500~287K+000不含284K+221~285K+250自辦設計路段)，北起瑞穗鄉紅葉溪橋南側茄苳腳地區，南至玉里鎮太平溪橋南側大禹地區，總長度約29.21公里(如圖30)，依據上位計畫擬定道路發展定位(如圖31)。

二、核心課題與對策

設計以交通安全改善、形塑景觀廊道為經緯對策，構想如下：

- (一) 工程策略：斷面合宜/人安車暢合宜設計，因地制宜友善斷面



圖30 台9線光復玉里段拓寬計畫範圍



圖31 道路定位分析圖

依肇事記錄，部分原因屬於用路人之人為因素，可透過宣導、教育、執法手段加強用路人認知；較高強度改善則需藉由道路斷面或交通工程改善。

表4 道路安全改善主要策略

道路工程設計 / 線形.断面.鋪面	<ul style="list-style-type: none"> ■ 線形調整：檢視大興路口、大富橋、舞鶴台地段，增加行車視距 ■ 單向2車道1慢車道：全線設置，避免快慢車同向擦撞 ■ 中央分隔帶：全線設置，避免對撞、提供左轉候車、管制行人穿越 ■ 自行車道：全線設置，快慢分流，提供自行車路權 ■ 人行道：主要設於社區、學校段，人車分流，提供行人路權 ■ 彩色鋪面：評估設於社區、學校、彎道段，增加警示效果
交通工程改善 / 標誌.標線	<ul style="list-style-type: none"> ■ 可視性：提高標誌、標線、導引設施反光效果或採自發光，舞鶴台地易起霧路段評估以自發光(太陽能)設施為主
交控設施加強 / 號誌.監視	<ul style="list-style-type: none"> ■ 交通感應號誌：適用於台9郊區，幹支道流量差異大 ■ 行人觸動號誌：設於社區、學校段，有行人穿越需求但流量較低 ■ 車速顯示系統：設於易超速路段，結合速限、測速照相，先警示後執法 ■ 闖紅燈照相設備：結合路口號誌 ■ 其他交控設施：檢討沿線既設之VD、CCTV、測速照相設備

道路現況大致採標線分隔、雙向2汽車道2機慢車道配置，缺乏人行道與自行車道。經整體考量道路交通環境，蒐研肇事資料，依路段幾何類型及主要事故型態分析歸納，建議採工程及非工程之多元改善策略如表4。

考量路段環境差異性(平原、聚落、山區)，設計速率配合區段環境條件研訂(如表5)。道路断面則依循台9線花東三期計畫原則，採中央分隔雙向4車道及2機車道配置

表5 台9線光復玉里段設計標準

設計標準	三級路		
設計速率	60KM/H	北側光復都市計畫區 北段大社社區 南段三民聚落	市區路段
	50KM/H	舞鶴台地南北段彎道	山區路段
	70KM/H	平原路段	
断面配置	<ul style="list-style-type: none"> • 雙向4快車道+2機車道 • 中央分隔 • 機車道專用 • 人行兼自行車道 		

30公尺路權寬，部分山區路段及聚落區則考量環境衝擊及拆遷研擬断面減量策略(如圖32~34)，道路兩側綠帶導入低衝擊LID設計雨水自然滲流方式(如圖35)。

(二) 景觀策略：景觀道路/塑造路廊景觀風貌，打造四季綠色廊道

台9線花東三期計畫願景，根基於地區產業發展、維護自然生態景觀及發展多元文化特色，本計畫景觀規劃策略將以加強道路自明性促進地方發展、綠資源及生態保育打造四季綠廊及舒適安全的慢活道路等三指標實踐計畫願景(圖36)。

1. 對策一：自行車道樂活接軌，綠色遊憩愜意串連
 - (1) 整合各種功能之自行車道(包括通勤及通學功能)，建立完整而便利的生活自行車道路網(如圖37)。
 - (2) 自行車道結合周邊地區人文、景觀、休閒運動或旅遊景點，建構永續運動休閒生活旅遊網，與在地觀光旅遊產業相輔相成。

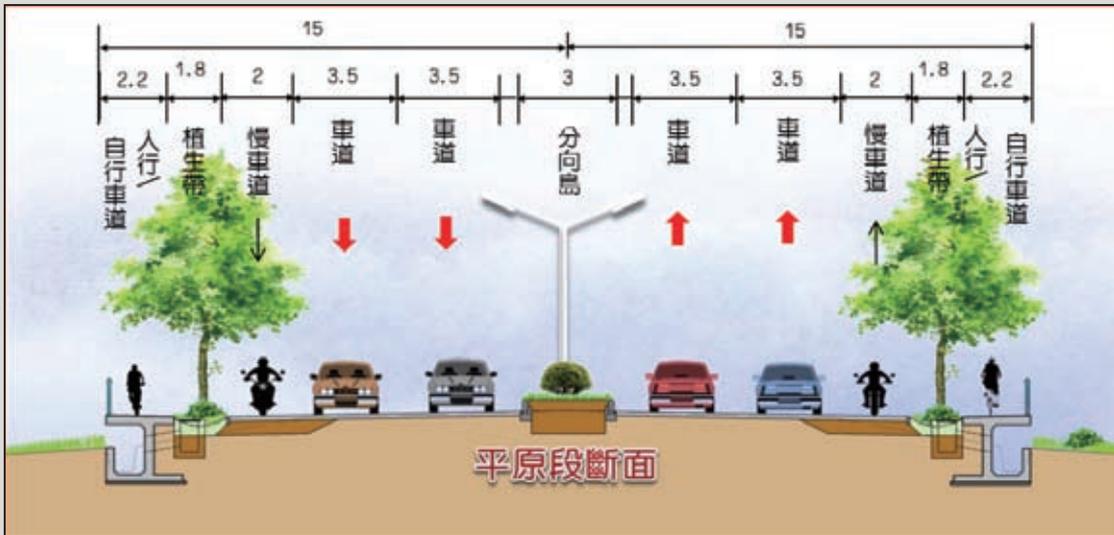


圖32 平原區段道路断面配置



圖33 聚落路段道路断面配置

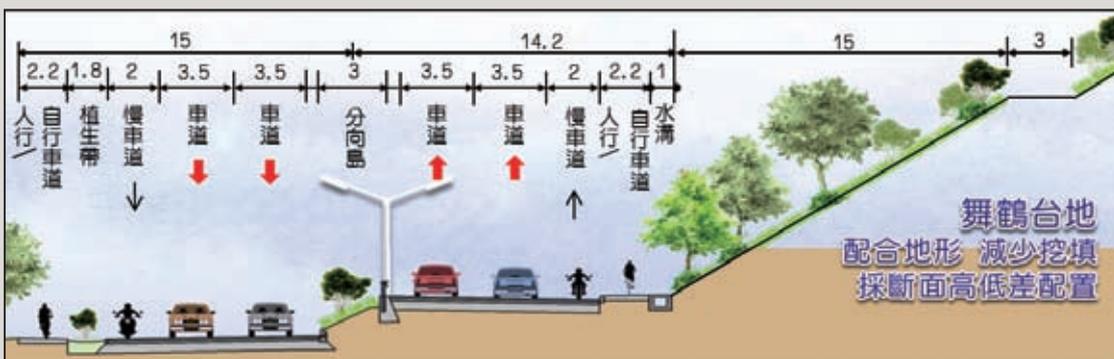


圖34 山區路段(舞鶴台地)道路断面配置



圖35 人行道(自行車道)LID概念之斷面配置



圖36 景觀策略指標



圖37 自行車系統規劃構想

(3) 連續的自行車道、人行道系統布設綠帶、景觀休憩設施等，實施人車分離，在學校與住家之間形成快樂、安全的通學廊道。

2. 對策二：花東縱谷路廊景觀風貌塑造，將生活文化與自然之美融入景觀設計重要聚落或遊憩節點營造景觀特色，突顯地方景觀美質，並提高道路之自明性，助用路者行經本路時辨識區位。路

廊增設賞景平台、指標系統、景觀橋等融合在地原鄉意象，使道路成為花東旅遊線之景觀大道(如圖38)。

3. 對策三：保育生態資源並融合周圍自然環境，打造生態豐富的四季綠色廊道。道路位於綠色生態資源豐富之縱谷廊帶，導入生態植栽及生態友善設施，縫合環境紋理(如圖39)。



圖38 公路景觀規劃設計構想



圖39 路廊生態保育規劃設計構想

伍、台9線台東路段工程規劃 102.4~106.12

一、計畫執行必要性與目標

為提供東部安全穩定運輸服務，台9線改善計畫近年積極進行，其中蘇花公路山區路段改善計畫已於100年進行施工，南迴公路拓寬改善後續計畫亦已於101年進入施工階段。台9線花東公路全長186公里，花蓮縣境刻正辦理「台9線花蓮縣壽豐至富里段第三期道路拓寬改善工程」(即台9線花東公路第三期拓寬計畫)。

基於台9線花東公路改善政策一貫性，行政院於99年核定繼續推動「台9線花東公路台東縣界至台東市路段拓寬計畫」(如圖40)。計畫拓寬自花蓮台東縣界(319k+739)起至台東縣台東市綠色隧道起點(370k+700)止，路線現況為標線分隔，雙向2快2慢車道配置，大部分路段平面線形筆直，但因局部路段縱坡變化及視距不佳導致違規逆向超車之肇事頻傳。

路段，觀光遊憩與當地工商活動之交通旅次干擾程度大，花東公路主要瓶頸已然形成，更突顯路段拓寬改善之迫切性。

路廊區域擁有豐富綠色產業，計畫願景為擘劃島嶼旗艦景觀道，核心策略如圖41所示：

二、核心課題與推動方案

(一) 路線康莊

路線定位為四級路省道系統，平原區設計速率60km/h；山區及都市計畫區聚落路段則採50km/h。除於池上都市計畫區沿既有25公尺寬外環道路忠孝路布設，及於關山、鹿野、龍過脈、賓朗等地區新闢外環線以避開聚落建物密集區及避免彎繞外，其餘路段均沿原線拓寬(如圖42)。路線全長約46公里，其中原線拓寬長度約24.5公里，新闢外環道共約21.5公里。



圖40 計畫範圍圖

根據102年至104年道路交通事故資料，路段每月平均約有10件交通事故，造成約13人傷亡。另局部丘陵區路段地形起伏較大、地質條件不佳，每逢豪雨易有土石崩落災害，行車安全有待提昇，尤其沿線池上、關山、鹿野等市區以及卑南鄉之初鹿及賓朗路聚落高密度發展

依路段特性、拓寬改善方式及地理位置分為池上路段(原路拓寬改善)、關山外環線(新闢)、崁頂永安路段(原路拓寬改善)、鹿野外環線及龍過脈隧道(新闢)、初鹿賓朗路段(原路拓寬改善)、賓朗外環線(新闢)及綠色隧道段(原路拓寬改善)等七段，路寬



圖41 台9線台東路段公路景觀規劃策略



圖42 台9線台東路段公路路線規劃

約22.7~30公尺，全線配置雙向2快2混合車道，考量人本友善服務，兩側設置自行車及人行綠帶。計畫路段約40.4公里(以平面為主)，橋梁段約4.2公里，隧道段1.4公里。

(二) 斷面有容

路段交通課題包括逆向超車肇事、局部路段平縱面線形差異化衍生超速肇事、聚落區交通瓶頸等，經檢視各路段特質及限制條件研擬改善對策如后(如圖43~44)：

(三) 景觀廊道

計畫目標為區域旗艦景觀廊道，具體的構想包括配合綠資源保育，形塑四季綠廊；將地方人文自然融入公路景觀以營造視覺亮點；串聯自行車道系統，建構綠色運輸環境。

1. 對策一：綠資源保育及營造四季綠廊(如圖45)

- (1) 優先迴避台東縣政府林保課調查列管之珍貴老樹，並依台東縣樹木保護自治條例相關規定辦理既有樹木之保護。
- (2) 選用常見自然生長或住民栽植之鄉土植物，以兼顧人文環境特色、交通機能及生態景觀的道路植栽綠帶。
- (3) 選種原則包括原住民族植栽及增加四季行道樹風情樹種。

2. 對策二：生活文化及自然之美融入公路景觀意象(如圖46)

重點區域加強景觀設施，突顯地方景觀美質，兼具生態保育與實用性。設置橋上賞景平臺、指標系統、隧道洞口等融合在地原鄉意象，加值道路成為花東旅遊線之景觀大道。

3. 對策三：自行車道樂活接軌，綠色遊憩愜意串連(如圖47)

花東區域為自行車運動及遊憩活動熱點，台9線兼具生活通勤與遊憩行旅機能，透過整合區域自行車道路網、結合周邊遊憩慢活系統及建構聚落生活通學友善人本環境，形塑花東永續環境價值。

陸、東部公路建設未來挑戰

永續環境思維為全球化趨勢，公共工程推動應涵融科技工程與人文主義之思考，考量花東區域國土願景與環境之敏感性，階段性蘇花公路改善工程推動係以安全可靠服務為基礎目標，台9線花東路段之拓寬改善亦本於安全服務與環境友善之永續觀點。



圖45 台9線台東路段綠資源保育構想示意

對策二

生活文化及自然之美
融入公路景觀意象

跨鹿鳴溪與鹿野溪景觀橋

隔音牆美化設置

舒適學校接送空間



圖46 台9線台東路段景觀規劃構想示意道系統規劃構想示意車系統規劃

對策三

自行車道樂活接軌，綠色遊憩愜意串連

串聯及建立生活自行車道路網

結合周邊遊憩景點

便捷的相關設施



圖47 台9線台東路段自行車系統規劃構想示意

花東區域交通建設於短中期，基於綠色低碳環境願景，鐵路運輸服務提昇仍為後續主要推動政策，然而東部高快速公路建設之主張仍於未來花東公共建設中民意板塊佔有高權重比例(如圖48)，仍為政府部門花東發展政策藍圖需積極思考部分，尤其是當西部高速鐵路建構完成營運多年，臺灣東西公共建設於社會公

平性論戰天天秤上，仍將一波波衝擊政府決策系統。

本公司長年投入東部交通建設，對於區域資源、環境限制及建設課題相關論述深刻了解，藉由前述執行中之公路建設之掌握，提出東部公路建設政策思考及技術建議分析如后：



圖48 蘇花公路改善計畫與蘇花高速公路計畫線示意

- 一、蘇花公路改善建設現階段採分期逐段推動與工程減量思考策略(雙向雙車道，並預留容量提升彈性)，可消彌計畫推動阻力及滿足東永計畫花東發展情境運輸需求，惟基於係採部分路段改善，工程完工營運，蘇花路廊仍面臨風災預防性封閉管制問題，計畫效益目標與政策完善性受質疑。
- 二、蘇花公路局部改善，通行風險仍存在，仍未符合花東民眾安全穩定訴求，蘇花路廊後續改善計畫之推動仍具必要性。未改善路段於計畫完工通車後將形成交通瓶頸(蘇澳、南澳及和平)，節點改善及交通管理措施具迫切性。
- 三、蘇花路廊局部路段重車轉移，地區環境衝擊改善及台9線友善活化效益浮現，建議中央及地方建立合作平台，進行觀光遊憩配套建設。
- 四、蘇花公路長隧道群規模龐大，營運維護及安全管理費龐大，目前為省道定位無收費制度，對於後續公路管養衍生人力及預算排擠負擔，長期營運管理模式與財務籌措機制需有突破開創性策略。
- 五、花東區域具綠色產業資源及發展基礎，惟考量在地住民生活與產業交通服務，快捷運輸系統建構仍具重大意義，尤其是當西部高速鐵路建構完成運轉多年，高速公路

建設主張對區域交通論述將持續產生板塊擠壓。

- 六、台9線花東路段三期計畫推動將改善既有交通安全及地區生活服務需求，惟花東生活圈南北廊帶長達200公里，該計畫無法滿足區域快速運輸需求，且台9線為區域唯一兼具生活、遊憩及產業運輸服務幹道，路廊無其他具替代性之分層公路系統分擔，客觀上對於區域環境永續發展具不利影響。
- 七、道路建設提供交通便利性，為土地發展之觸媒，惟其發展量體規模及產業型式仍受限於土地管制及產業發展策略。花東區域發展以東部永續發展綱要計畫為藍圖，落實計畫內容之土地管制計畫及產業政策為區域國土規劃之鑰。

參考文獻

1. 交通部公路總局，「台9線蘇花公路山區路段改善計畫工程規劃」綜合規劃報告定稿版，民國99年12月。
2. 交通部公路總局，「台9線花東公路台東縣界至台東市路段拓寬計畫綜合規劃及第一階段環境影響評估」綜合規劃期末報告修正版，民國104年8月。

BIM在橋梁工程之應用發展與挑戰——以新北市三鶯大橋改建為例

關鍵詞：橋梁工程、BIM、參數化建模、前處理程式

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／協理／曾榮川 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／正工程師／陳政雄 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／工程師／李育謙 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／副理／吳淑珍 ❹



BIM

摘要 ABSTRACT

研析BIM在橋梁工程應用上與建築物的差異及所面臨困境，並具體提出BIM在橋梁工程應用上應有之作法，本文同時介紹採工程師設計語彙與邏輯之參數化的BIM快速建模前處理程式，並以實際案例成果加以驗證其正確性與效率。結果顯示，以工程師設計語彙參數化作為資料輸入方式，並經由程式進行繁複計算及存成後續BIM模型使用之格式，確實發揮快速BIM建模的目標，大幅降低BIM建模成本及縮短期程，發揮BIM在橋梁工程的應用與效益。對於BIM在橋梁工程之應用推展及效益的發揮將有很大的助益。



壹、前言

建築物導入BIM作為全生命週期之考量，已是國內外工程技術發展之趨勢，不僅已發揮顯著的功能與效益，並有各專業常用之套裝建模軟體，包括傳統之AutoCAD(2D、3D製圖)、SketchUp(景觀、建築)、Autodesk 3ds Max(動畫)及可結合BIM的AutoDesk Civil 3D(鐵、公路、捷運路線設計、測量、整地)、Autodesk Revit(機電、建築)及Tekla(機械、結構)等。國內產官學研界也相當重視並積極推動，公共工程主管機關並擇定各類別公共建設的示範案的資訊模型擴及公共工程。但由於建築物與土木工程在使用機能、維護管理等需求及結構特性有所不同，導致全生命週期各階段之作業要求也有相當幅度的差異，造成BIM在土木工程的推展與應用因直接套用建築物的作法，面臨了一些包括各階段作業成果無法續用及效益未如預期等困境。

有鑒於此，研析建築與土木工程在本質上各方面的差異，是將BIM應用在土木工程上，並能發揮最大效益之要件，也方能據此提出最適的作業方式與流程。為此，本文將以橋梁工程為例來探討此一問題，並詳細解析橋梁工程與建築工程在本質及全生命週期各階段之不同。除此外，亦將探討說明現階段工程技術為何在橋梁工程上，其分析檢核模型與BIM模型間相互轉換使用困難的原因。而BIM參數化的快速建模，以及採用橋梁設計工程師語彙的資料輸入方式，是BIM在橋梁工程應用發展能否順利推展的關鍵，本文亦將以新北市三鶯大橋改建為例，說明即使最複雜的鋼橋亦可利用參數化的工程語彙來快速建模，並可作為施工中各項放樣檢核之用，甚至作為後續鋼板放樣裁切之基本資料(須在加上拱度及其他考量)，以發揮其最大效益之目的。

貳、橋梁工程的特性與本質

經彙整歸納橋梁與建築工程本質上的主要差異，概述如表1所示，詳細說明如下：

表1 橋梁與建築工程之功能與特性差異

項目	橋梁工程	建築工程
配置與機能	<ul style="list-style-type: none"> • 機能係僅利用結構物外部達成 • 內部的配置與構造不是維持機能及設計的重點 	<ul style="list-style-type: none"> • 機能需結合利用結構物內、外部方可達成 • 內部配置與構造是維持機能及設計的重點
設施及其與機能關係	<ul style="list-style-type: none"> • 設施少、單純且非機能構成重要因子 • 設施與結構物衝突機會少 	<ul style="list-style-type: none"> • 設施多、複雜且為機能構成重要因子 • 設施與結構物衝突機會多
維護管理	<ul style="list-style-type: none"> • 結構物及設施大多為外露，易檢視維修 • 劣化損傷具表徵特性且擴大速度慢 • 維修對機能影響不具急迫性 	<ul style="list-style-type: none"> • 結構物及設施大多為隱藏，不易檢視維修 • 部分設施損傷不具表徵特性且快速或瞬間喪失功能 • 維修對機能影響常具急迫性

一、橋梁工程所提供之機能單純，主要是提供活載行為的進行與安全，而建築工程則不然，除需提供活載行為的進行與安全外，並需滿足使用者在生活及感官上的所有需求。

二、橋梁工程之使用機能是利用主要結構體外部進行與完成，因此結構體主要由少數主要構件所構成，構件配置與尺寸及整體結構內部空間一般僅考量結構安全及維護管理等需求與條件，基本上與使用機能並無關聯。而建築工程之使用機能主要在整體結構體內部進行與完成，由很多構件所聯合構成所想要的內部空間，構件配置及整體結構內部空間不僅需考量結構安全及維護管理等所需，滿足使用者在生活及感官上的需求也同等重要。

三、橋梁工程設施少、單純，配置容易，且主體結構構件衝突少，而建築工程設施多、複

雜，不僅與使用機能息息相關，設施與主體結構構件衝突多，且事後調整修正困難。

四、另在維護管理上，橋梁工程的結構物及設

施大多為外露，易檢視維修，其劣化損傷並具表徵特性且擴大速度慢，因此維修對機能影響不具急迫性。而建築工程則不一樣，結構物及設施大多為隱藏，不易檢視維修，部分設施損傷不僅不具表徵特性，且可能快速或瞬間喪失功能，因此，維修對機能影響常具急迫性。

如上面所述，橋梁與建築工程在本質上是有極大的差異，橋梁建設之全生命週期一般會並將其分成規劃、設計、施工、維管及拆除重建等幾個主要階段，但這樣的階段歸類著重於執行上的時間序，惟就包括規劃設計自動化及3D視覺化等工程技術與效率提升之觀點，瞭解各階段的相關性及互通性是為要件，而非表象的時間序。經檢視技術執行各面向及依據實務經驗，就土木建設特性及全態(All States)，本文首先提出「四個層次、八大流程、遞回重塑」的概念，其示意如圖1所示。

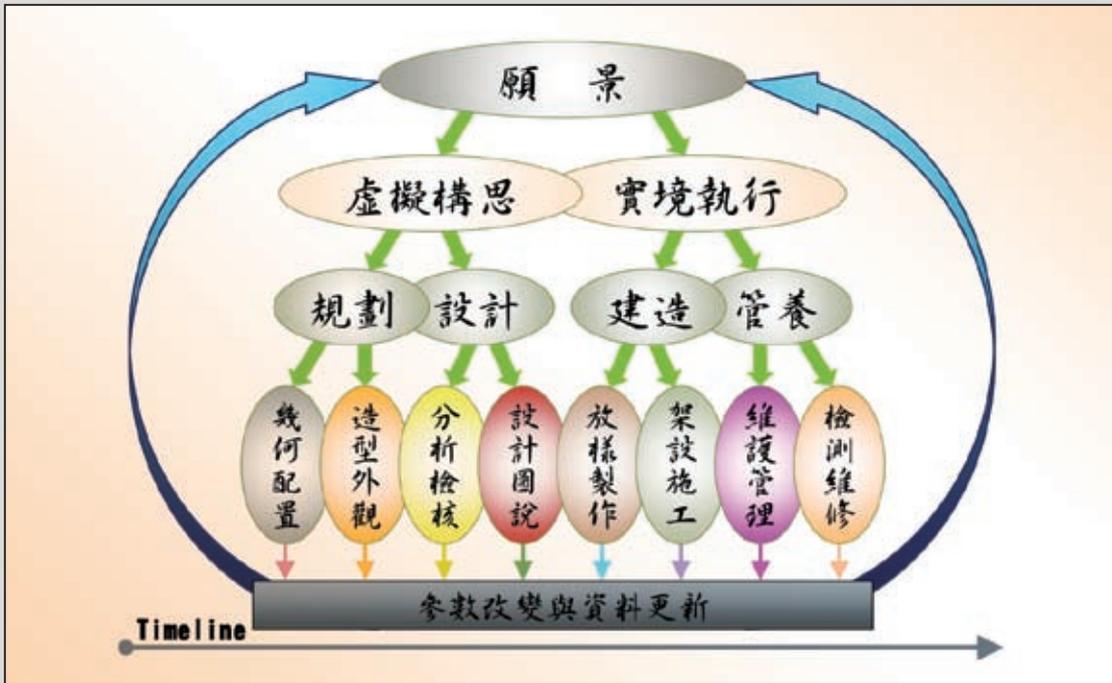


圖1 土木建設之特性與全態

所謂「遞回重塑」即上述八大流程在表象與時間序上，常會被認定一流程完成後再進入下一個流程，但實際執行並非如此。這八大流程息息相關但不相互產生，任一個流程過程中，任何參數或資料的調整或修改，由於涉及判斷與檢核工作，其他流程如要更新，均必須重新完整執行，方能確保更新結果符合需求，其必要性說明如圖2所示：

必須檢視是否與限制條件衝突，以及查對是否有採購困難、品質無保證或無法運輸、施工等問題。因此，任何參數或資料的更新，不論其表象為何，各流程本質上均是重回檢視，並進行判斷與更正，而不是單純依據一個流程的資料變動，直接跳躍至另一流程的某個步驟進行修正。

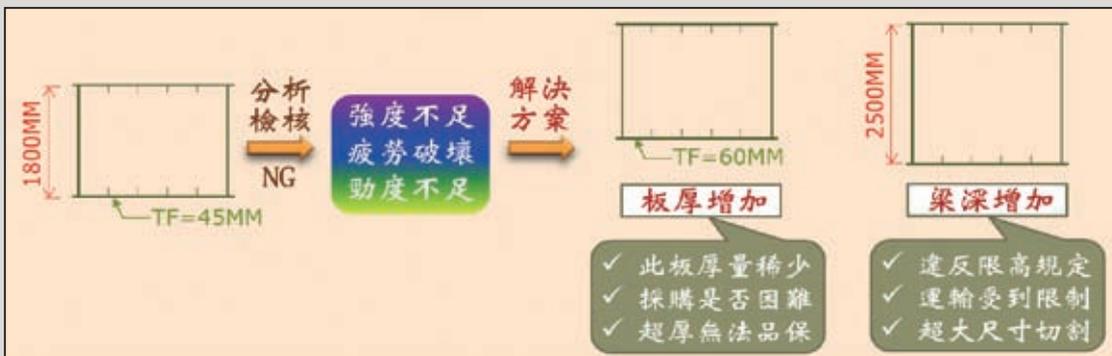


圖2 遞回重塑之必要性示意圖

圖2以鋼橋設計為例顯示，鋼梁分析檢核不符合需求或規定(NG)，有「強度不足應力太大」、「疲勞容許應力不足」及「勁度不足變位太大」等多種可能情形產生，最適解決方案

由上述的研析探討瞭解，橋梁工程共可分成八大流程，由於各流程之功能與成果成熟度截然不同，顯見各流程雖息息相關，但無法相互產生。因此，各流程之工程技術與效率的提

升必須獨立發展，設計自動化如此，BIM建模與使用亦是如此。依據圖1所述八大流程的特性，其中『分析檢核』採用BIM建模再簡退化模擬，就橋梁工程及現階段技術條件是不可行的，而『幾何配置』及『造型外觀』可合併為同一類型；『維護管理』及『檢測維修』可合併為同一類型。因此，就橋梁工程BIM模型而言，大致可分成五大類型，其功能及成熟度概述如后，實際執行瞭解各階段續用困難度高且效率低。

- 一、幾何配置及造型外觀：功能在與周遭環境之衝突檢查，以及橋梁結構尺寸、外型等視覺景觀，供方案比較研選之用。其重點在於快速調整修改及外觀視覺模擬真實。
- 二、設計圖說：包括各類構件形狀與構材尺寸、曲縱面、高程等預計完工後之精確資料，可作為施工中放樣檢核依據及完工驗收標準參考。
- 三、放樣製作：此一階段BIM模型可輸出資料供放樣及裁切製作之用，以鋼橋為例，包括拱度、螺栓孔、大小型開孔及各構材間相對關係等資料均須納入，並可直接輸出鋼板放樣及裁切資料。
- 四、架設施工：廠商依據其施工計畫所建之模型，而各種施工方法及條件的不同，BIM模型會有極大的差異，例如採全場撐供法施工或懸臂供法施工，由於考慮的步驟及拱度等截然不同，將會有完全不一樣BIM模型。
- 五、維護管理及檢測維修：此階段BIM模型的重點在竣工資料的保留、維護管理的重點與規定，以及構件、局部構材及設施等檢測維修的紀錄等。

由上述說明顯見，橋梁工程各階段BIM模型

功能需求及成熟度等差異大，其間的互通性極低，難以依時間序採續用一貫化的方式建模。而目前建築結構BIM的發展與使用方式，就橋梁工程觀點，應僅是一個造型與條件極單純的特例。

參、橋梁工程分析模型與BIM模型的互通性受限

為何一般建築結構的分析模型與BIM模型的互通性容易，而橋梁工程則相當困難，甚至不可行。為了解此一問題癥結所在，本文將以構件複雜度(Complexity)來說明，就一個結構構件(兩節點之間)複雜度，基本上我們可以把它概略區分為C1~C5五種等級：

- C1：直線等斷面構件
- C2：在同一平面的曲線等斷面構件或直線變化斷面
- C3：不在同一平面的空間曲線等斷面構件或同一平面的曲線變化斷面構件
- C4：不在同一平面的空間曲線變化斷面構件
- C5：不在同一平面的空間曲線變化斷面且鋼板有坡度或斜度之構件

上述各等級複雜度示意圖如圖3所示。就建築結構而言，其構件複雜度一般均屬C1級，而鋼橋工程之構件一般均屬C2~C5級，除非是直線且單純的鋼橋工程，其構件複雜度才會屬C1級。

另目前的結構分析模型係採用近似的骨架線，且主要採用梁元素，其資料均採直線等斷面，也就是構件元素之複雜度相當於C1級，這也說明了為何一般建築結構的分析模型(C1級)與BIM模型(C1級)的互通性高，但橋梁工程則幾乎無法互通的原因。因此在分析檢核或設計圖說流程，雖然常因時間序的關係被認為是相鄰

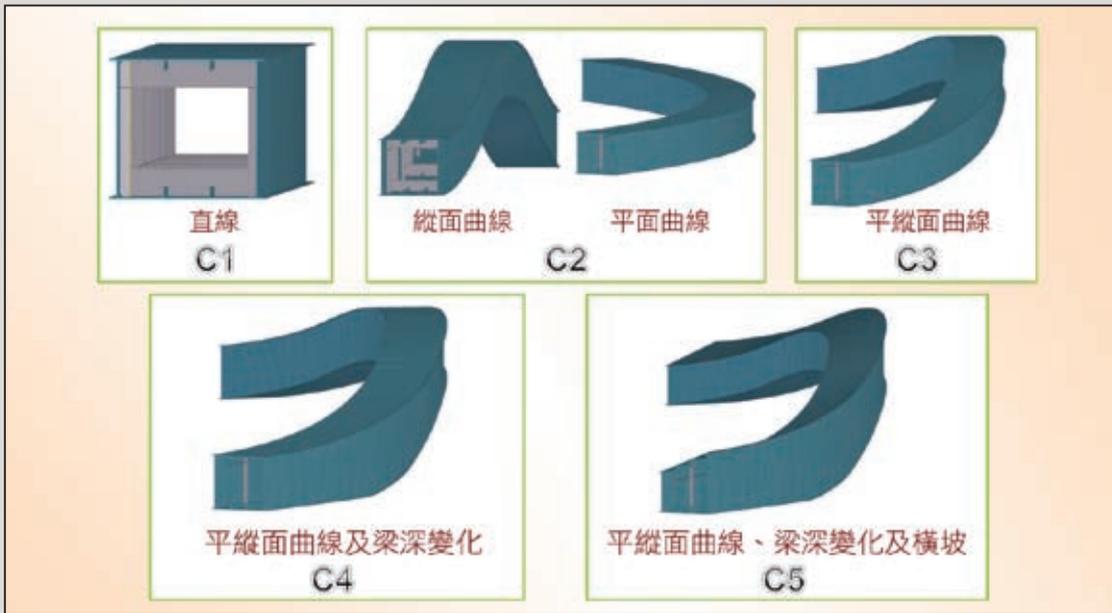


圖3 構件複雜度分級示意圖

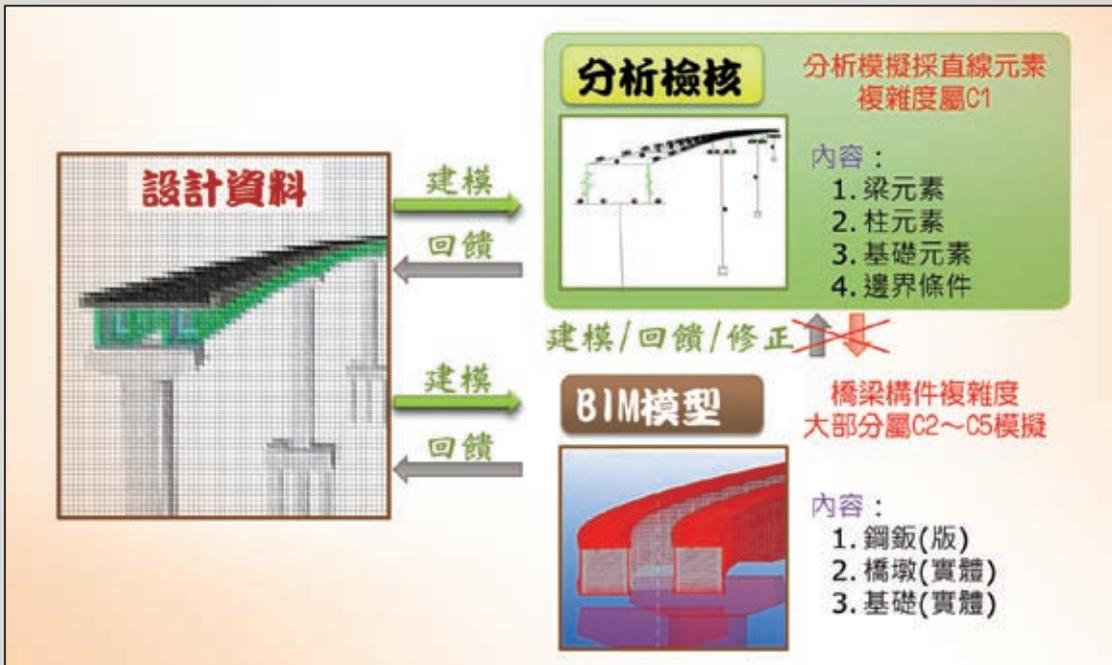


圖4 橋梁分析檢核模型與BIM模型相互關係示意圖

兩流程，相互間可直接調整修正，但實際上此兩流程的任何調整改變，另一流程均須遞回重塑，兩者相互關係如圖4所示。

另由於橋梁工程包括了平面曲線、縱坡、超高(橫坡)等幾何特性，加上構件斷面幾何，採

用斷面加上旋轉近似，除非是特例，否則一般是無法精確到作為施工放樣之參考依據的。也因此要可作為施工放樣參考依據，則必須採用板或殼的方式來加以近似，導致有人認為橋梁工程既已採用板或殼元素建BIM模型，可一舉兩得直接用該等元素進行結構分析檢核，但這樣

的做法一般只使用於局部構造複雜且可能應力集中的情況，並僅為複核之用。因為現有橋梁工程技術與理論均是採用構件強度設計邏輯，而構件極限強度階段的力學行為複雜，不僅包含了材料特性及其非線性行為等因子，甚至構件是由極端不同的材料所組成，例如RC或PC構件，其計算公式或檢核標準一般係以經由實驗或經驗法則所獲得或認可，而不是單純的彈性力學分析。因此，對於橋梁工程直接採用板或殼元素建模及分析，現階段在設計邏輯及規範使用上是無法獲得認可或執行的。

肆、BIM在橋梁工程應用的瓶頸及參數化快速建模與案例說明

由上述幾節研析內容了解，對於建築結構首先建立一個包括造型外觀及詳細構件配置與尺寸的詳細BIM模型，由於各階段的模型需求差異小且續用性高，雖然有些情況會較傳統作法付出的額外成本，但其發揮的效益常遠高於此費用。但橋梁工程則不同，各階段所需的BIM模型差異極大，相互間續用性又極低，依目前經驗，其所到的效益遠低於所付出的額外成本，

這也是BIM在土木工程上之應用無法順利推展之最大癥結所在。

基本上，要解決此一瓶頸，對於BIM在橋梁工程之應用，並無法套用建築物BIM模型的思維與作業方式，而是要有「以終為始」的思考邏輯，確實釐清各階段流程的最終目的及所需的資料與架構。不僅要採各階段流程獨立的方式，亦須有各階段流程自己的參數化快速建模策略，最後再將各階段自動化流程加以串連，最終達到快速設計3D化之目標。而各階段獨立之流程則採模組化，例如鋼橋細部設計圖之BIM建模，它可能包括箱型梁、I型梁及鋼橋面板鋼梁等各種不同的模組，如此就可分組進行，縮短自動化軟體開發期程。

底下將以細部設計階段的流程，針對下部結構及鋼箱梁說明參數化建模之特色及優點，並已使用於新北市三鶯大橋改建工程。首先以工程師的觀點與語彙來瞭解需要哪些參數化資料，而橋梁工程之基本資料概述如下，示意如圖5及圖6所示。

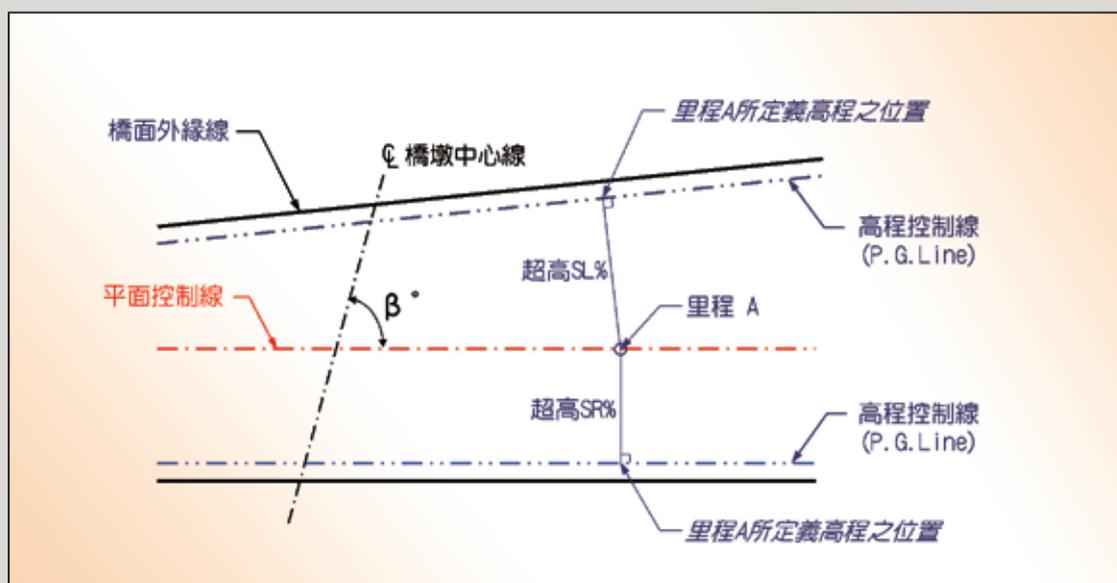


圖5 平面控制線、高程控制線、超高等橋墩中心等關係示意圖

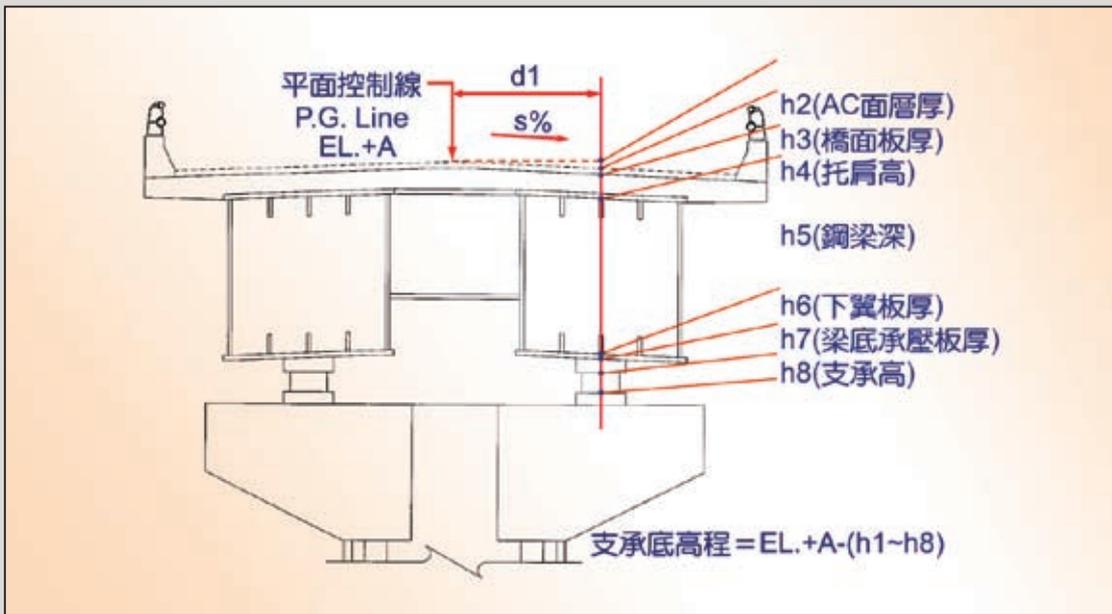


圖6 鋼箱型梁位置及斷面幾何關係示意圖

- 一、平面控制線：平面位置放樣的依據，具有起始座標、方向角、曲率半徑、里程等基本訊息。
- 二、高程控制線(縱坡)：高程放樣的原始依據，對應於平面控制線的里程。
- 三、超高(橫坡)：轉彎安全所需的坡度或洩水坡度。
- 四、鋼梁平面位置：鋼梁與平面控制線及高程控制線之關係，即鋼梁平面配置。
- 五、斷面幾何：構材位置及構材間之幾何關係。

將這些基本資料參數化，任何構材就可利

用這些參數化的語彙，將其空間位置描述出，並直接輸入，再由程式代勞進行計算及轉成後續BIM模型所需要的格式，對於工程師可以使用設計語彙與邏輯，將大幅提升BIM建模效率及其正確性。

接著以新北市三鶯大橋改建工程鋼箱型梁為例，其資料輸入操作流程及成果摘述如后。結果顯示，複雜如克羅梭平面控制線及梁深變化斷面，參數化輸入其容易度與方便性是同樣的。

(一) 輸入PCL(平面控制線)資料

平面控制線				RL=A ² (m)			
STA	N	E	Type	AZ度	A(+)	R(+)	Name
0+000.000	2760060.152	285633.348	TT	177.2		OC	主線
0+010.308	2760049.857	285633.857	TS	177.2	82.61		主線
0+045.308	2760014.876	285634.540	SC	182.3		195	主線
0+086.685	2759974.018	285628.514	CS	194.5	-82.61		主線
0+121.685	2759940.723	285617.763	ST	199.6		OC	主線
0+147.366	2759916.532	285609.144	TS	199.6	-71.41		主線

(二) 輸入橫坡(超高)資料

PG橫坡				
Name	PCL	STA	RS	LS
主線	主線	STA. 0+000.000	-2%	-2%
主線	主線	STA. 0+010.308	-2%	-2%
主線	主線	STA. 0+045.308	-3%	-3%
主線	主線	STA. 0+086.685	-3%	-3%

(三) 輸入縱坡(高程控制線)資料

道路縱坡線				單位: m
STA	EL	Slop	Name	
STA. 0+030.000	44.312	2.000%	主線	
STA. 0+070.000	45.532	4.100%	主線	
STA. 0+170.000	49.632	4.100%	主線	
STA. 0+230.000	50.859	-0.010%	主線	
STA. 0+300.000	50.852	-0.010%	主線	

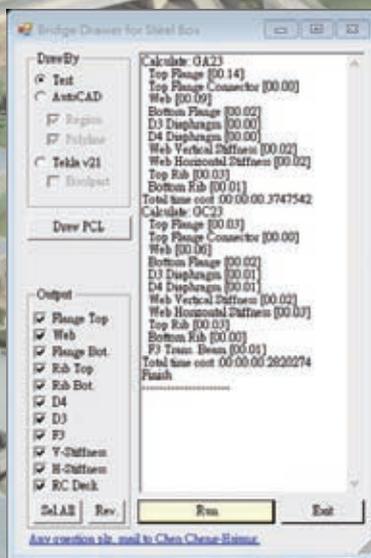
(四) 輸入鋼箱梁設計(鋼梁位置及斷面幾何)資料

名稱	梁曲線	橫坡控制線	梁深曲線	起始里程(M)	結束里程(M)	梁與PCL偏距	腹板長(MM)	腹板厚(MM)	上翼板內淨寬	上翼板Ext.(MM)	上翼板長(MM)	上翼板厚(MM)	上翼板Rib根	上翼板Rib厚(MM)	上翼板Rib寬(MM)
Name	PCL	PG	BG	STA0	STA1	Offset	WebL	TW	TT	TExt	TTL	TTF	TRibN	TRibT	TRibB
GA23	匝道2	匝道2	GDEPTH1	307	487	3600	180000	13	1800	120	180000	13	2	13	130
GA23									1800	120					

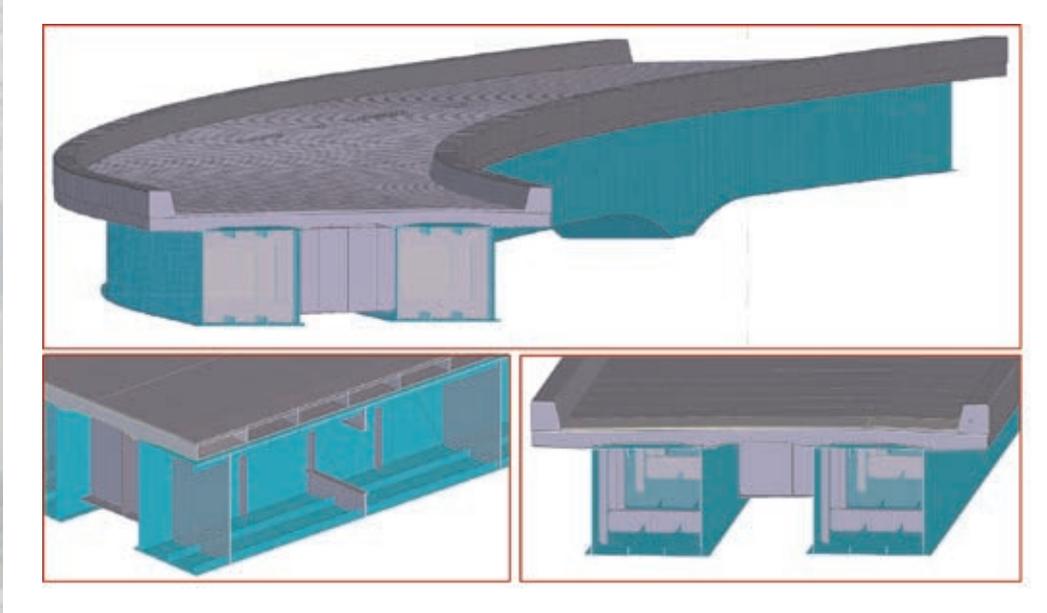
(五) 輸入橋面板設計(斷面幾何)資料

名稱	左側胸牆控制	左側胸牆偏距(CM)	右側胸牆控制線	右側胸牆偏距(CM)	胸牆型式	AC厚度(CM)	最小厚度(CM)	橫坡	分割長度(CM)	起始里程(M)	結束里程(M)	鋼箱梁由左到右
Name	PCLL	OffsetL	PCLR	OffsetR	Type	AC	TT	PG	SecLen	STA0	STA1	Girder
S11	匝道2	-200	匝道2	550	TypeA	5	25	匝道2	100	307	487	GC23,GA23

(六) 執行自動建模程式



(七) 自動三維放樣建構模型



對於下部結構亦可採用同樣的模式，其所需參數化資料有包括平面控制線、基樁與基礎資料及橋墩柱與帽梁資料等，以

新北市三鶯大橋改建工程下部結構為例，其資料輸入操作流程及成果摘述如后。

1. 輸入PCL(平面控制線)資料

平面控制線							RL=A ²	(m)
STA	N	E	Type	AZ度	A(+)	R(+)	Name	
0+000.000	2760060.152	285633.348	TT	177.2		OC	主線	
0+010.308	2760049.857	285633.857	TS	177.2	82.61		主線	
0+045.308	2760014.876	285634.540	SC	182.3		195	主線	
0+086.685	2759974.018	285628.514	CS	194.5	-82.61		主線	
0+121.685	2759940.723	285617.763	ST	199.6		OC	主線	
0+147.366	2759916.532	285609.144	TS	199.6	-71.41		主線	

2. 輸入基礎&基樁資料

Foundation	STA(橋墩)	UNAM	Offset	φ _c	EL	H	NF	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	基礎	L	D	XI	YI
PR2-2	STA. 0+527.000	橋墩2	2.5	-14.36	25	2.6	4	2.975	2.975	-2.975	2.975	-2.975	-2.975	2.975	-2.975	Pile	31.000	1.500	1.875	1.875
PR2-3	STA. 0+487.000	橋墩2	1.75	90.00	25	2.6	4	2.975	2.975	-2.975	2.975	-2.975	-2.975	2.975	-2.975	Pile	32.000	1.500	1.875	1.875
PR2-4	STA. 0+427.000	橋墩2	1.75	90.00	25	2.6	4	5.300	2.975	-4.400	2.975	-4.400	-2.975	5.300	-2.975	Pile	37.000	1.500	4.200	1.875
PR2-5	STA. 0+367.000	橋墩2	1.75	90.00	25	2.6	4	5.300	2.975	-4.400	2.975	-4.400	-2.975	5.300	-2.975	Pile	36.000	1.500	4.200	1.875
PR2-6	STA. 0+307.000	橋墩2	1.75	90.00	40	2.6	4	5.300	2.975	-4.400	2.975	-4.400	-2.975	5.300	-2.975	Pile	24.000	1.500	4.200	1.875
PR2-7	STA. 0+247.000	橋墩2	1.75	90.00	41	2.6	4	5.300	2.975	-4.400	2.975	-4.400	-2.975	5.300	-2.975	Pile	30.000	1.500	4.200	1.875
PR2-8	STA. 0+187.000	橋墩2	1.75	90.00	41	2.6	4	5.300	2.975	-4.400	2.975	-4.400	-2.975	5.300	-2.975	Pile	29.000	1.500	4.200	1.875
PR2-9	STA. 0+127.000	橋墩2	1.75	90.00	41	2.6	4	2.975	2.975	-2.975	2.975	-2.975	-2.975	2.975	-2.975	Pile	20.000	1.500	1.875	1.875
PR2-10	STA. 0+067.000	橋墩2	2.35	90.00	41	1.5	4	3.275	2.975	-2.675	2.975	-2.675	-2.975	3.275	-2.975	Pile	28.000	1.500	2.175	1.875

3. 輸入橋墩柱資料

Pier	STA.(橋墩)	PCLNAME	Offset	ϕ_L	ELT	ELB	D	X	Y
PR2-2	STA. 00+527.000	匝道2	2.5	90	46.6	25	3	0.0	0.0
PR2-3	STA. 00+487.000	匝道2	1.75	90	46.5	25	2.8	0.0	0.0
PR2-4	STA. 00+427.000	匝道2	1.75	90	46.1	25	3	0.0	0.0
PR2-5	STA. 00+367.000	匝道2	1.75	90	46.5	25	3	0.0	0.0
PR2-6	STA. 00+307.000	匝道2	1.75	90	47.3	40	2.8	0.0	0.0
PR2-7	STA. 00+247.000	匝道2	1.75	90	46.6	41	3	0.0	0.0
PR2-8	STA. 00+187.000	匝道2	1.75	90	46.3	41	3	0.0	0.0
PR2-9	STA. 00+127.000	匝道2	1.75	90	46.6	41	2.8	0.0	0.0
PR2-10	STA. 00+067.000	匝道2	2.35	90	46.6	41	3	0.0	0.0

4. 輸入橋墩帽梁設計資料

CapBeam	STA.(墩頂)	PCLNAME	Offset	ϕ_L	EL	B	NC	X1	Z1	X2	Z2	X3	Z3	X4	Z4	X5	Z5	X6	Z6
PR2-2	STA. 0+527.000	匝道2	2.5	90	48.100	3.2	6	2.8	0.0	3.1	-1.0	1.7	-1.5	-1.8	-1.5	-3.2	-1.0	-3.0	0.0
PR2-3	STA. 0+487.000	匝道2	1.75	90	48.600	3	6	3.3	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.4	-1.5	-3.8	-1.0	-3.6	0.0
PR2-4	STA. 0+427.000	匝道2	1.75	90	47.600	3.2	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-5	STA. 0+367.000	匝道2	1.75	90	48.000	3.2	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-6	STA. 0+307.000	匝道2	1.75	90	48.800	3	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-7	STA. 0+247.000	匝道2	1.75	90	48.100	3.2	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-8	STA. 0+187.000	匝道2	1.75	90	47.800	3.2	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-9	STA. 0+127.000	匝道2	1.75	90	48.100	3	6	3.2	0.0	3.5	-1.0	2.1	-1.5	-2.1	-1.5	-3.5	-1.0	-3.2	0.0
PR2-10	STA. 0+067.000	匝道2	2.35	90	48.100	3.2	6	3.0	0.0	3.2	-1.0	1.8	-1.5	-1.8	-1.5	-3.2	-1.0	-3.0	0.0

5. 執行自動建模程式



6. 自動三維放樣建構模型



伍、結語

BIM在橋梁工程上之應用與建築物截然不同，橋梁工程的本質具有「四個層次、八大流程、遞回重塑」之特質，就BIM模型而言，本文將其歸納為五大類別。另八大流程具互不產生但息息相關之特性，因此各階段流程的自動化應獨立完成，並以參數化及模組化的方式進行，而參數化應採用工程師所使用的設計語彙與邏輯，方能為大家所接受與使用，並大幅降低BIM建模成本及縮短期程，以發揮BIM在橋梁工程的應用與效益。

本文以新北市三鶯大橋改建為例，針對鋼箱型梁及下部結構建立細部設計BIM模型，結果顯示，以工程師設計語彙參數化作為資料輸入方式，並經由程式進行繁複計算及存成後續BIM模型使用之格式，確實發揮快速BIM建模的目標，且每個工程師可以不必訓練了解BIM模型程式(如Tekla等)，對於BIM在橋梁工程之應用推展及效益的發揮應該會有很大的助益。

參考文獻

1. BIM帶來的變革與政府的前瞻作為，許俊逸、徐景文、林傑、李文欽，2014。
2. The Sellwood Bridge, C/O Mike Pullen, Spring 2013.
3. Look inside the Cunard Building, Colin Lane, Liverpool, 2016.
4. 公路橋梁設計規範，交通部，台灣，2009。
5. ActiveX Developer's Guide (ActiveX/VBA), help.autodesk.com, 2016.
6. Tekla Open API Reference Manual, Trimble Solutions Corporation, 2017.
7. C# Programming Guide, Visual Studio, 2015.

複合型災害挑戰下 之橋梁建設與 延壽思維

關鍵詞：複合型災害、橋梁建設、延壽

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／資深協理／黃炳勳^①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／技術經理／陳新之^②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／技術經理／蔣啟恆^③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／正工程師／蘇彥彰^④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第二結構部／正工程師／威樹人^⑤

摘要

ABSTRACT

約從1950年開始，世界各地已可觀測到許多極端天氣和氣候事件的變化，包括極端降雨次數的增加等，同時未來極端降雨的強度與頻率增加的機率也將增加。同樣的，就包含道路橋梁系統的社會基礎建設而言，對於氣候變遷放大現有風險並產生新風險的關注度也持續提高；另一方面，基於諸如日本311東日本大地震所帶來複合性災害的經驗與教訓，橋梁建設與延壽方式應考量因應氣候變遷與複合型災害的調適行動與減災作為。本文將說明現階段台灣因應氣候變遷的調適策略，並舉例概要說明橋梁建設與延壽作為於工程技術方面的減災考量方法。



壹、前言^[1,5]

政府間氣候變化專門委員會(IPCC)於2014年的第五次評估報告(AR5)，持續2007年第四次評估報告(AR4)的觀點，根據觀測到的氣候系統變化及極端事件，更加確信二氧化碳排放溫室效應的地球暖化持續進行，且未來氣候變化與極端氣候事件影響的風險持續增加；並提出調適(Adaptation)、減緩(Mitigation)為降低與管理未來氣候變化引致極端事件風險的重要戰略。

依據各國暴露在旱災、水災、颱風(颶風)、地震、火山爆發、坡地災害等各種不同型態天然災害可能風險，世界銀行在2005年提出「天然災害熱區—全球風險分析」報告指出，世界上有19%的陸地與超過一半的人口暴露在至少一種的天然災害威脅中；而在暴露於3種以上天然災害威脅國家的土地及人口比例統計中，台灣各約有73%而高居首位。該報告同時指出，

在歐洲及北美等已開發國家的高度暴露於自然災害威脅的區域，其死亡風險相對來的低，藉此說明自然災害風險管理的重要性。雖然台灣的自然環境為多種自然災害容易侵襲而無法避免，但仍可透過防救災體系的架構與極端氣候的調適策略來降低災損程度。

在氣候變遷影響下，不僅極端事件可能擴大化與集中化，多重災害複合發生的複合型災害風險也越來越高；複合型災害對於人類民生系統的影響程度不是加法關係，而是幾何級數的乘數效果。例如2011年311東日本大地震的地震、海嘯、核災等災害廣域連續發生的複合型災害，或是台灣2009年莫拉克八八風災、2016年日本熊本地震後集中豪雨等不同類型的地震或水土複合型的災害，說明了複合型災害的多樣化；這些災害的災前準備、災中救災與災後重建歷程，也是我們面對複合型災害挑戰時須深思檢討與借鏡的重要歷史經驗。

橋梁不僅具有平時交通運輸的功能，於災害發生時防救災體系的防災路網功能維持方面更扮演重要關鍵的角色。由於橋梁建設成本較高，災損修復較一般道路困難，所需時間也較長，因此在未來複合型災害風險提高的挑戰下，如何建構與整備橋梁建設以發揮運輸與救災功能是一個須持續研究的重要課題；另一方面，現今橋梁建設的使用年限多以100年為目標，相對地也提高橋梁使用期間的自然災害衝擊風險係數，然而在有限財政資源而無法全面改建的條件下，對於既有橋梁如何延壽並提升對於未來自然災害風險提升的耐受度，亦為須持續進行探討並進行技術提升的重要課題。

貳、複合型災害之挑戰

一、極端氣候與極端事件^[1,2,3,4]

政府間氣候變化專門委員會(IPCC)之氣候變遷第五次評估報告(AR5)「氣候變化2014綜合報告」指出，自1950年觀察到地球暖化以來(圖1)，暖化所帶來氣候環境的改變，近年已日趨明顯，即暖化越嚴重，降雨分布不均的趨勢越顯著，很多地區的極端降水的強度和頻率將會增加。自然系統和人類系統對氣候的變化非常敏感而脆弱，由於氣候變遷與地球暖化造成自然環境的改變，放大了現有風險並產生新的風險，包括海平面的上升、颱風的大型化、短時間的集中強降雨等極端事件的風險；災害規模擴大並超過歷史經驗，或災害特性改變與頻率增加，造成全球各地天然災害不斷產生與擴大。

台灣地區自不例外，除觀測到氣候變遷的暖化現象外(圖2)，極端強降雨事件發生機率愈

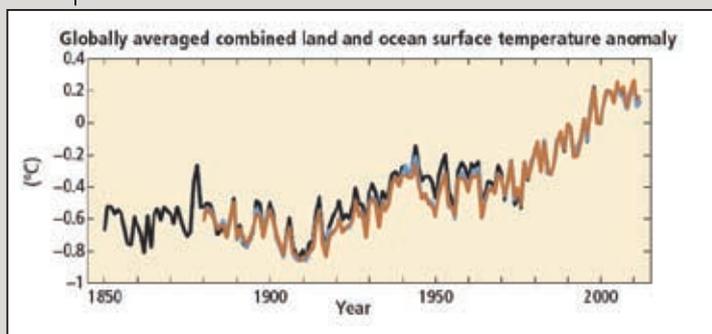


圖1 全球陸地海表溫度距平年際變化

資料來源：IPCC, 「Climate Change 2014: Synthesis Report」

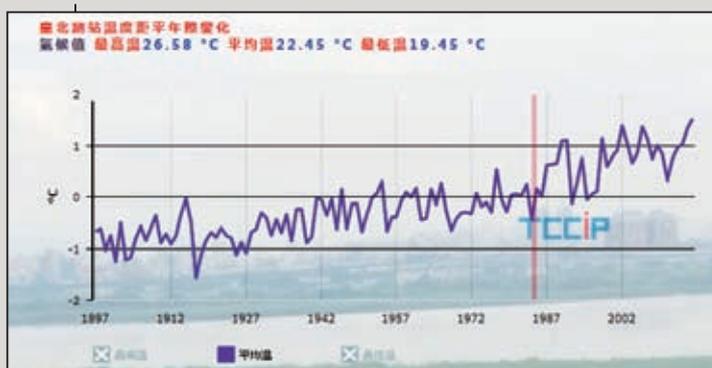


圖2 台北測站溫度距平年際變化

資料來源：科技部台灣氣候變遷推估與資訊平台TCCIP

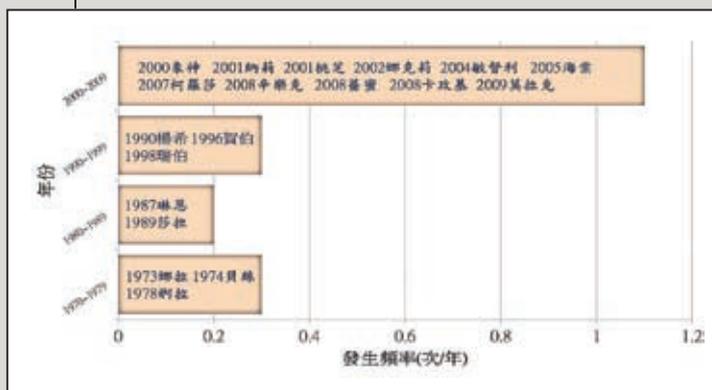


圖3 極端強降雨侵台颱風之頻率分析(1970-2009)

資料來源：國家災害防救科技中心，「臺灣氣候變遷科學報告2011」

趨頻繁，由1970年~2009年極端強降雨侵台颱風的頻率分析可以發現，極端強降雨颱風發生頻率在1970~1999年間，平均約3~4年發生一次，在2000年以後則增加為平均每年發生一次(圖3)，氣候變遷帶來的災害風險是橋梁建設時所須深切面對的課題。

面對未來可能發生的氣候變遷與極端事件，「適應」(Adaptation)和「減緩」(Mitigation)是減輕和管理氣候變化風險相輔相成的戰略；除應透過「減緩」，致力於節能減碳以減輕持續地球暖化帶來的氣候變化風險外；並應透過「適應」促進目前和未來民眾的福祉、財產安全和維持生態系統產品、功能和服務。(註：對於氣候變遷的「Adaptation」戰略，AR5綜合報告中文版採用「適應」乙詞，台灣則採用「調適」的用語。)

UNFCCC於2008年的「Integrating practices, tools and systems for climate risk assessment and management and strategies for disaster risk reduction into national policies and programmes」技術報告中指出，傳統的減災(Disaster Risk Reduction)與因應氣候變遷衝擊的調適行動(Adaptation)，在觀念與作法上有所差異，減災主要係依據歷史受災經驗，從而建構已知存在風險下的防災需求；因應氣候變遷衝擊的調適行動則著重於未來可能發生的天然災害巨型化與集中化的新類型災害或未知氣候風險，隨著氣候變遷的發展情況而有調整調適行

動的必要。因此面對未來氣候變遷帶來極端事件衝擊的風險，橋梁建設除傳統的防救災策略外，更應思索如何調適因應未來自然災害提高的風險。

二、多樣化複合災害風險^[3,5,6]

(一) 自然災害與人為災害風險

依據世界銀行2005年出版的報告「天然災害熱區－全球風險分析」中指出，台灣是世界上最易受到天然災害威脅的地方，屬全球災害高風險的區域，有73.1%的土地及人口同時暴露於3種以上之天然災害風險，有99%的土地及人口同時暴露於2種以上之天然災害風險。

世界銀行2010年出版的報告「Natural Hazards, UnNatural Disaster」同時指出，許多國家同時存在多種天然災害，多種災害複合方式與影響程度各有不同；主要天然災害侵襲區域包括東亞、南亞、中美洲及南美洲西部等地區(圖4)，這些地區有許多

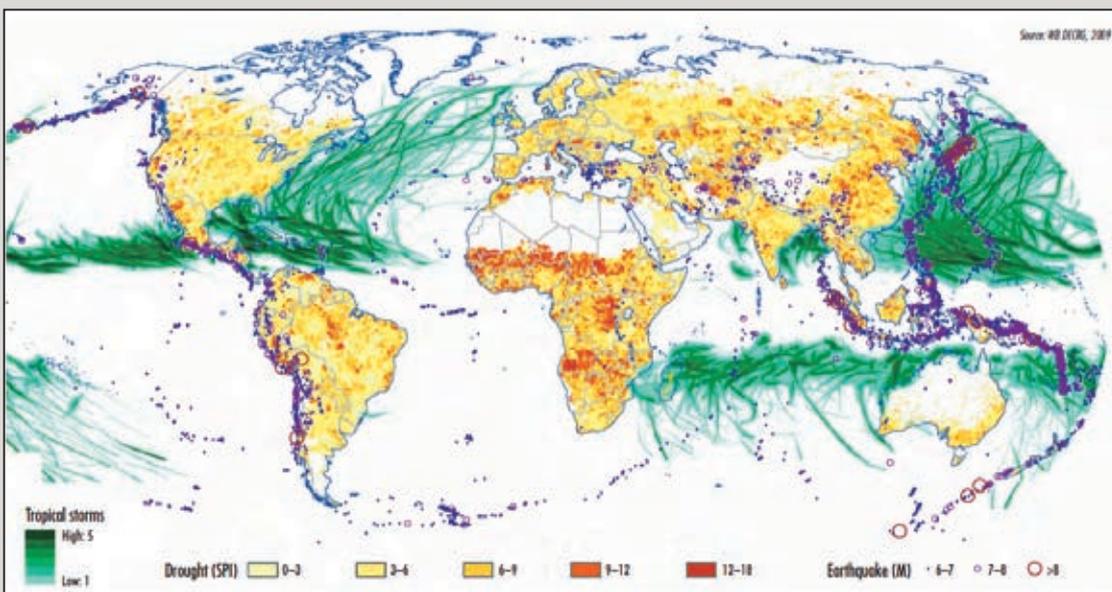


圖4 全球過去地震、颶風軌跡紀錄及旱災潛勢圖

資料來源：The World Bank, 「Natural Hazards, UnNatural Disaster」

為人口密集、經濟發展高於平均的區域，因此導致受災影響程度提高的風險，由尤其是地震災害及颶風洪水災害所帶來的災損特別嚴峻。

在自然因素方面，台灣的地理位置位處環太平洋地震帶，地震頻繁，同時地形陡峭、地質構造複雜，加上位於北半球太平洋颶風最頻繁的路徑上，颶風多、降雨量大，天然災害類型主要包括洪水、颶

風、坡地崩塌、旱災、地震等；除致災規模的地震偶一發生外，近年來的災害型式多為水土複合型災害，而此類型災害又與氣候變遷息息相關。對於台灣的橋梁建設而言，除自然地理因素的地震災害外，在氣候變遷極端降雨相關災害方面，於河川區域有洪水沖刷災害，於山區則有坡地災害及土石流災害等，部分橋梁甚至有洪水災害與土石流災害交替出現的情形(圖5、圖6、圖7)。



石圍橋

烏溪橋

桶頭橋

名竹大橋

圖5 台灣橋梁地震災害



竹東大橋-斷橋
1996年賀伯颱風

里港大橋-斷橋
1996年賀伯颱風

高屏大橋-斷橋
2000年碧利斯颱風

溪州大橋-基礎裸露
2001年桃芝颱風

基隆河鐵路橋-斷橋
2001年納莉颱風

東溪大橋-斷橋
2004年敏督利颱風

后豐大橋-斷橋
2008年辛樂克颱風

雙園大橋-斷橋
2009年莫拉克颱風

圖6 台灣橋梁洪水災害



信義橋
2001年桃芝颱風



阿里山巴沙娜大橋
2009年莫拉克颱風



台20線20K+135塔拉魯芙橋
2009年莫拉克颱風

圖7 台灣橋梁土石流與坡地災害

在人為因素方面，人為不當的開發，更提升自然災害的風險。國家災害防救科技中心出版之「臺灣氣候變遷科學報告2011」，由自然的易致災性、社經發展的影響及氣候變遷的衝擊等三方面分析，說明台灣除自然環境的天然災害風險外，更因人為社經發展的不當開發與土地超限利用，以及地球暖化氣候變遷的衝擊，再再提升了天然災害的風險。

(二) 複合性災害

面對氣候變遷的災害風險，橋梁建設除須面對災害風險提高及新的風險產生外，更需面對災害規模擴大與複雜度提高的複合性災害課題。有別於單一自然災害事件的單純特定性，橋梁的複合性災害可能會以各種樣態複合產生，從而增加了橋梁建設減災調適行動的困難度。

橋梁的複合性災害，因橋址的自然環境與人為環境的差異，可能在空間、時序或災害成因等方面會有各種不同的複合方式，例如：

1. 洪水災害伴隨後續可能發生的土石流災害、坡地災害、堰塞湖潰決災害，進一步擴大了橋梁災害風險；如莫拉克風災中的橋梁災害即為此類型之複合性災害。
2. 地震災害伴隨坡地災害、液化災害、海嘯災害、核災，進一步擴大了橋梁災害風險；如311東日本大地震的橋梁災害即為此類型的複合性災害。
3. 規模較大的前震、本震或致災規模的餘震等連鎖多重發生的地震災害，進一步擴大了橋梁災害風險；如311東日本大地震(圖8)與2016年日本熊本地震(圖9)的橋梁災害即為此類型的複合性災害。
4. 規模較大地震造成土石鬆動，擴大後續的洪水災害與坡地災害規模，並擴大了橋梁災害風險；如台灣1999年集集地震後歷次風災的橋梁災害、日本2016年4月熊本地震後復於6月發生集中豪雨所帶來的坡地災害，提高橋梁災害之風險。

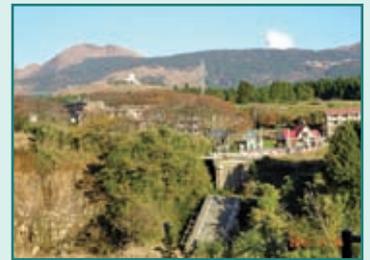


氣仙沼線鐵路橋



歌津大橋

圖8 地震伴隨海嘯之複合性災害(2011年東日本大地震)



阿蘇大橋

圖9 大規模邊坡滑動引致橋梁受災之複合性災害(2016年熊本地震)

參、台灣因應氣候變遷之調適行動

一、台灣現階段之調適行動^[7,8]

因應氣候變遷之調適行動，須考量地區特定地域條件和人文背景；調適策略的訂定，則須考量如何降低對未來氣候變遷的脆弱性和暴露度。於考量台灣特定地理、地質、氣候等環境條件下，現階段政府面對氣候變遷的挑戰，

依管理階級分為政策綱領、行動方案與行動計畫三個層級，由國家發展委員會(前為行政院經濟建設委員會)研擬完成「國家氣候變遷調適政策綱領」，希望據以健全國家調適能力，降低社會脆弱度(vulnerability)。

國家發展委員會整合各部會負責撰擬的災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性

與健康等8個調適領域的行動方案草案，成為「國家氣候變遷調適行動計畫102-106年」。

二、災害領域與維生基礎設施領域調適策略^{9,10]}

面對未來複合型災害之挑戰，橋梁建設應配合政府的調適行動，其中又以災害領域與維生基礎設施領域之關聯性最高，因此摘要介紹此二領域之調適策略。

「災害領域行動方案」總目標為「經由災害風險評估與綜合調適政策推動，降低氣候變遷所導致之災害風險，強化整體防災避災之調適能力」，並提出因應氣候變遷關鍵問題之6項調適策略：

- (一) 推動氣候變遷災害風險評估及高災害風險區與潛在危險地區的劃設
- (二) 加速國土監測資源與災害預警資訊系統之整合，以強化氣候變遷衝擊之因應能力
- (三) 檢視、評估現有重大公共工程設施之脆弱度與防護能力，並強化災害防護計畫
- (四) 重大建設與開發計畫應重視氣候變遷衝擊
- (五) 推動綜合流域治理，降低氣候風險
- (六) 強化極端天氣事件之衝擊因應能力，推動衝擊與危險地區資訊公開、宣導、預警、防災避災教育與演習

維生基礎設施領域的總目標為「提升維生基礎設施在氣候變遷下之調適能力，以維持其應有之運作功能並減少對社會之衝擊」，並提出8項調適策略如下：

- (一) 既有法令與相關規範之落實與檢討修訂以強化設施的調適能力
- (二) 建立設施安全性風險評估機制及生命

損失衝擊分析模式

- (三) 擬定落實維生基礎設施分等級之開發與復建原則
- (四) 落實維生基礎設施維修養護，以提升其於氣候變遷作用下之調適能力
- (五) 加強各管理機關間協調機制與產業、學術界資源之整合，以因應氣候變遷之衝擊
- (六) 提升維生基礎設施營運維護管理人力素質及技術
- (七) 建置維生基礎設施營運管理資料庫及強化監測作業
- (八) 研發基礎設施之氣候變遷調適新技術

三、橋梁建設之調適行動

在未來複合型災害之挑戰威脅下，橋梁建設應能合宜於政府的減災調適策略，據以擬定能提升氣候變遷極端事件調適能力、降低橋梁系統面對複合型災害的脆弱度並能有效降低災害風險的橋梁建設方案。唯氣候變遷的情境模擬研究與掌握仍在進行，氣候變遷的影響層面、嚴重程度及發生速度等常有改變，因應氣候變遷的調適行動為持續進行滾動式檢討的長期工作；因此橋梁建設的規劃設計應配合各領域行動方案未來的進程與成果進行檢討與整合，建構發展複合型災害挑戰下橋梁建設與延壽的新思維。在前節的現階段災害領域與維生基礎設施領域的行動計畫與行動方案的推動進程與執行成果的架構下，橋梁建設提升複合型災害耐受度、降低受災脆弱度與延長橋梁使用壽命的考量與研究重點舉例如下：

- (一) 橋梁建設規劃納入國家防救災體系的防災路網規劃
- (二) 橋梁建設規劃綜合考量各領域的災害潛勢評估成果，例如淹水潛勢圖、脆弱度地圖、風險地圖、地質敏感區
- (三) 橋梁建設方案的耐受度與脆弱度風險

評估方法

- (四) 橋梁建設因應災害風險管理的方案評選方法的建立
- (五) 檢討修訂橋梁設計規範因應氣候變遷、極端事件、使用年限延長的調適能力
- (六) 健全既有橋梁脆弱度的評估方法與監測預警系統
- (七) 既有橋梁耐震補強與強化氣候變遷衝擊耐受度與防護能力的工程技術
- (八) 橋梁建設因應氣候變遷與複合性災害衝擊的維修養護調適能力

肆、台灣橋梁工程防災與延壽

一、橋梁洪水災害防災設計^[11]

因應極端氣候引致之極端降雨產生之橋梁洪水災害，在設計上之考量重點如下：

- (一) 適當的橋梁選址：橋梁選址宜避開河道寬度較窄河段避免河道束縮沖刷，或避開彎曲河道凹岸、分流或匯流處等橫向流發達位置。在蜿蜒河道會因水流流量大小而有不同的衝擊方向改變，導致河岸、堤防潰堤及橋梁攻角，應儘量避免在蜿蜒河道設橋，倘需設置，美國HEC-20建議橋址位置選在蜿蜒半徑大於2.5倍河寬以上的河道。
- (二) 延伸橋梁範圍：為避免因橋梁設於河寬不足或河道束縮的河段時，洪流沖毀護岸，引道形成阻水，可將橋梁範圍適度延伸。
- (三) 橋梁跨徑：加大跨徑，減少河中落墩數，以減少通水面積遮斷率及河川

沖刷。

- (四) 提升橋梁淨高：梁底高程應考慮水路出水高度，主要河川要維持1.5m以上，以利漂流物通過，避免撞擊橋梁。
- (五) 抗沖刷的深基礎：深基礎除因橋梁承載所需，要預考量河川沖刷深度，加長或加深橋梁基礎，此外，橋墩基礎版應置於河床之下，以免成為阻水構造。
- (六) 考量衝擊力：橋墩要考量流水壓力，若預估將有大量漂流物會流經橋墩時，應考量其效應。
- (七) 橋梁防撞措施：洪流中夾帶石、礫、浮木及漂流物等，易造成橋墩之磨損，應設置保護措施。
- (八) 橋墩方向及形狀：橋墩方向以與洪水主流方向平行為原則，橋墩斷面形狀以採圓形及長橢圓形為宜，其長軸向須與主流方向平行；流向複雜者，以採用圓形橋墩為原則。

二、橋梁土石流災害防災設計^[11]

橋梁土石流災害防治之首要對策為路線選址，路線要遠離土石流攻擊區及其洩流口，並適度抬高路線高程，以降低土石流災害之風險。在橋梁設計上之考量雖有部分與洪害橋梁相同，但條件更加嚴峻，在設計上之考量重點如下：

- (一) 橋址選定：橋址宜避免設於惡劣地形、地質敏感地帶，並注重工址鄰近野溪及上游沖蝕之整治情形，以減少

土石流之土石料源，防止土石流沖積扇之產生或擴大，若無法避免時，應考慮採用搶修容易、迅速之橋梁型式。此外，選址時要避開河道彎道處，避免直接受土石流直接攻擊。

(二) 橋梁方向：橋梁之橋軸方向應與水流方向正交，若為斜交時，應將跨度加大，以提供足夠之通水斷面；橋墩之橋軸直角方向則應與流水方向平行，可減少背水高及沖刷。

(三) 橋梁跨度：採用長跨徑橋型為原則，橋梁跨度(L)愈小、橋墩之橋軸方向寬度(B)愈大時，不僅增加阻水面積，且橋墩之局部沖刷將趨激烈，一般而言， $L/B \geq 15$ 為宜。橋梁跨度與計畫洪水量有關，如 $Q \geq 8000\text{m}^3/\text{sec}$ 之河川，跨度宜大於60m。若為斜橋或曲線橋時，則跨度應加大。野溪橋儘可能採大跨距，橋台宜置於溪床外，以加大土石流通水斷面。

(四) 橋梁長度：橋梁長度宜大於河寬，橋台應設置於溪床之外，儘量避免束縮河道，而造成束縮沖刷至局部河床急速下降及橋台暨兩側引道被沖失。

(五) 橋梁高度：梁底應高於計畫堤防之高度，並至少應在溪床高程外加最大粒徑之高度以上，以防止流木、流石、浮流物之撞擊。

(六) 橋墩形狀：流線型的橋墩形狀，可減少阻水更可減輕沖刷。水流方向不定之河川，宜採用圓形橋柱。此外，橋墩基礎版應置於河床之下，以免成為阻水構造，惡化橋墩之局部沖刷。

(七) 橋墩位置：儘量不要在溪床中設立橋墩，若萬不得已須於溪床設立橋墩時，橋墩應避免設立於溪床中央處。

(八) 土石流作用力：橋墩設計應考慮流水壓力及巨石、流木之撞擊力。

(九) 橋墩基礎貫入深度：基礎深度應足夠，以防止河床沖刷與外力撞擊所產生之不利影響。

(十) 減緩河床坡度：對橋梁處河床坡度過大，有形成沖刷危險的橋梁，於橋梁下游近處興建潛壩(或興建連續潛壩)，藉以淤積砂石改善橋梁處河床局部的坡度至較安全之範圍，以維護橋梁之安全。

三、橋梁坡地災害防災設計^[1]

道路橋梁選線應以避開重大滑動、重複致災或高度環境敏感區域為優先考量。如無適當路線可迴避，則應透過資料蒐集、地質水文調查監測等作業，研析原址災害路段之致災原因、邊坡災害模式，在滿足車輛使用道路需求下，儘量減少道路路幅，避免大規模土方挖填作業。而沿邊坡路段設置之橋梁，在設計上之考量重點如下：

(一) 橋梁採用大跨徑以避開邊坡崩坍範圍，必要時橋墩須設置防衝擊設施。

(二) 橋梁高程要考量落石通過空間。

(三) 橋梁維持與邊坡適當的水平距離，避免落石影響。

(四) 橋墩基礎所在位置之邊坡的穩定性需檢核，以維持長期安全，如有疑慮，需採取保護措施。

四、橋梁耐震補強延壽設計^[12]

國內橋梁耐震補強技術，在面對大地震襲擊與考驗後，皆感仍有所不足而持續發展與改進，尤其如何面對橋梁結構系統之特性與國內施工環境之限制，在經費預算限制下，考量

橋梁生命週期成本之理念，研擬最佳的橋梁耐震補強方案，滿足橋梁耐震性能目標，係為補強對策之重點工作。參考國內傳統耐震補強工法，以及歐洲、美國、日本已成功運用之新材料與新工法，可彙整如圖10之補強流程，而各種補強方案可簡述如下：

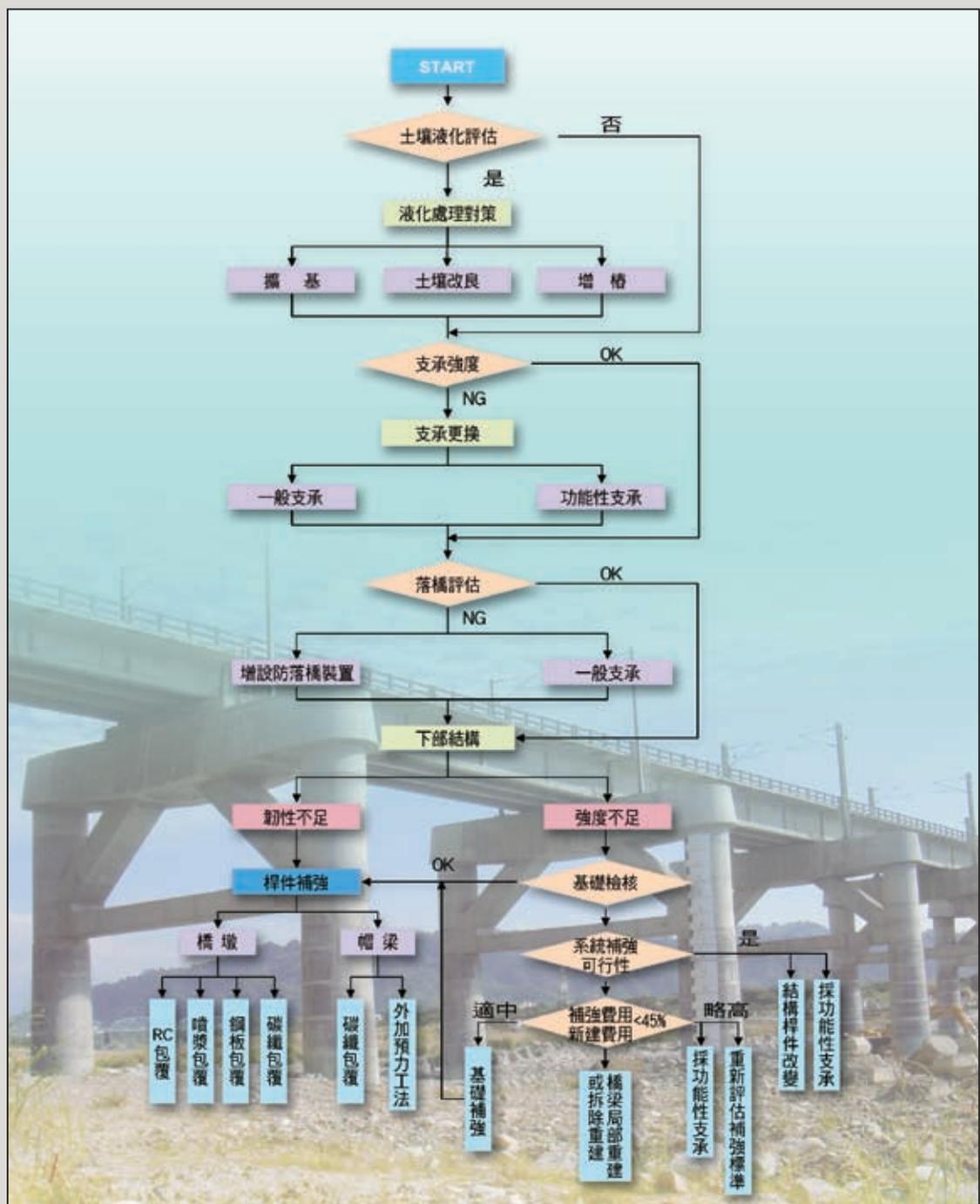


圖10 橋梁耐震補強方案評估之流程



照片1a：溪州大橋於桃芝颱風災後橋基裸露



照片2a：鐵路大甲溪橋原橋沉箱基礎裸露



照片1b：溪州大橋換底完成



照片2b：鐵路大甲溪橋換底完成

圖11 溪州大橋及鐵路大甲溪橋換底工法

- (一) 構件補強方案：橋柱補強、帽梁補強及基礎補強，若河川橋基礎沖刷裸露嚴重可考量基礎換底補強，將橋基耐洪及耐震能力不足問題一併解決(如圖11)。
- (二) 增加構件方案：增設止震設施(RC止震塊、鋼製止震裝置)、增設防震拉條、增加防落長度。
- (三) 系統補強方案：改變橋單元結構系統、隔減震支承補強、地震力分散裝置、位移拘束工法、功能性支承等補強理念。

伍、國外橋梁設計規範因應複合型災害的修訂

橋梁建設於規劃設計時，除應考量台灣環境的特殊性與橋梁災害歷史經驗外，並可參考國外的調適行動，尤其是橋梁設計規範因應複合型災害的修訂與整備；因此本節針對日本與美國因應複合型災害挑戰的橋梁設計規範相關條文作一介紹。

一、道路橋示方書2012年版之防災新觀念^[13]

2011年日本東北地方太平洋外海發生有史以來最大規模($M_w = 9.0$)的地震，並引發巨大海嘯，造成廣域之橋梁震害與海嘯災害。本次地震規模超乎預期，且屬於斷層錯動範圍廣達 $500\text{km} \times 200\text{km}$ 之連動型地震，從而認知到有

別於以往型態之預期外地震是有可能發生的，橋梁設計者於進行橋梁規劃設計時，必須思考並面對超出耐震設計規範所規定假想現象之課題。

同時，本次地震之橋梁海嘯災害多為橋梁結構被沖毀流失，除造成交通中斷與災後救災困難外，災後重建復舊又牽涉到地區重建計畫等複雜問題，因此重新體認到道路路網及橋梁建設於規劃階段，即應與地區防災計畫加以整合之重要性。

另一方面，日本根據阪神大地震之震災經驗，於1996年版之道路橋示方書中全面修訂並強化耐震設計法及其細部規定；同時於2002年版全面修訂為性能規範，增訂確保耐久性之性能條文。於2011年日本東日本大地震中，根據1996年以後之耐震基準進行設計或補修之橋梁，於本次大地震中並未產生致命性之地震災害，從而確認了新修訂耐震規範提升橋梁耐震性之效果。

因此2012年版道路橋示方書之修訂，特別著重於維護管理相關事項以及東日本大震災經驗之因應等規定，摘要說明如下：

(一) 維護管理相關事項

1. 強調維護管理之確實性：(共通編1.3節)

以往的示方書僅規定維護管理之容易性，因此於設計時預先決定檢查之位置，同時考量未來預先設定檢查位置之方便性；但由於未考慮預期外之狀態，無法達成儘量減少維護管理時不可及部位之設計理念。因此本次修訂特別強調於設計階段即應考量維護管理之「確實性」，儘量減少難以進行檢測之部位。

2. 維護管理設施之設置：(共通編1.6.2節)

設置必要之維護管理設施，以供平時之檢查及事故災害時之橋梁狀態評估調查之用。對於供用期間內預期會進行更新之構件，預先考量可確實且容易進行更新之維護管理之方法與計畫。

(二) 東日本大震災經驗之因應

1. 橋址與構造型式之選定：(共通編1.5.1節)

增訂橋梁建設於計畫階段，對於橋址與構造型式等，應與地區之防災計畫及相關連道路之路網計畫加以整合。橋梁為道路的一部分，橋梁位置的選定須配合路線線形；然而為充分發揮計畫道路之防災功能與災害耐受性，於計畫階段即應考量包括橋梁、路堤路塹等道路構造物之安全可靠。

2. 耐震設計未考慮現象之考量：(耐震設計編2.1節)

於耐震設計中已考慮之現象，係根據以往地震震害經驗及相關調查研究為基礎，進行耐震設計之規定；然而即便以過去所觀測到之最強地震來作設計，亦無法否定未來發生超過以往強度地震之可能性。

地震引致而於耐震設計中未考慮之現象，除了超越設計考量地震強度之地震外，其他諸如大規模之海嘯、橋梁周邊之地表斷層變位、邊坡滑動等，亦會造成橋梁之災害。例如2011年日本東日本大地震及2004年印尼蘇門達臘地震後之大海嘯所引致之橋梁沖毀流失，1999年土耳其伊茲米特地震、台灣集集大地震之大規模地表斷層變位所引致之橋梁落橋、2016年熊本地震之大規模邊坡滑動所引致之橋梁崩塌等。由於這些現象之預測技術尚待確立，且在結構上所能因應之範圍與合理性仍有其限度，因此在目前之橋梁耐震設計上仍

無法將其充分地納入考量。

因此於本次修訂中，特別重視規劃橋梁構造時之地區防災計畫考量，除須考量地形、地質、地盤條件、工址條件外，亦增訂對於海嘯之考量。對於防災計畫中，於災後須確保道路路網可通行及須迅速回復機能之橋梁，基於強化減災機能之考量，須於路線之規劃階段，即應對於耐震設計未考慮現象，檢討其發生之風險，並尋求能將風險最小化，使能與區域之防災計畫能一體化。

二、鐵道構造物等設計標準・同解說 耐震設計2012年版之防災新觀念^[13]

日本於阪神大地震後之1999年版鐵道構造物等設計標準・同解說 耐震設計(以下簡稱「鐵道構造物耐震標準」)，全面修訂並導入2階段設計法檢核耐震性能之規定。隨著耐震設計相關研究成果之累積，由2006年開始進行1999年版鐵道構造物耐震標準之檢討與修訂準備，並預定於2011年春天頒布；但受到2011年東日本大地震發生之影響，而重新檢視修訂後，頒布了2012年版之鐵道構造物耐震標準。

本次修訂主要包括性能檢核型設計法之轉移、設計地震力之修訂、地震反應值計算方法之修訂、海嘯等「地震隨件事象」之考量等。以下僅就2011年東日本大地震發生後之橋梁防災新觀念之修訂摘要說明。

(一) 地震隨件事象(2.1節)

2012年版鐵道構造物耐震標準提到之「地震隨件事象」，係指鐵道構造物耐震標準中規定須進行耐震性能檢核之地震力以外，隨伴地震產生而會造成橋梁破損的現象，亦即道路橋示方書中描述之耐震

設計未考慮現象。影響鐵道構造物之地震隨件事象，包括鐵道構造物周邊邊坡之滑落、海嘯、地表斷層變位、餘震等。

由於對於地震隨件事象仍有許多未解明之點，因此鐵道構造物耐震標準與道路橋示方書相同，並未針對地震隨件事象設定為性能目標之檢核對象，而是強調於構造物規劃階段，即應對於這些隨伴地震產生而會造成橋梁破損之現象作適當的考量。亦即，由確保構造物安全性之觀點，對於路線與構造型式作適當之規劃，以減小地震隨件事象之影響。例如路線規劃時即避開海嘯或地表斷層變位之影響區域，無法避開時應選擇能減少其影響之構造型式等。

(二) 危機耐性(附屬資料1-1；3.2節)

2012年版鐵道構造物耐震標準導入之「危機耐性」概念，亦即對於危機之耐受性或耐受能力，係汲取於風險管理領域之觀點；進行橋梁規劃設計時，對於超越耐震標準假想等級之地震力或地震隨件事象(危機)，與其探討其發生之機率，不如以會發生為前提，關注其發生後之影響，避免產生毀滅性之破壞而能儘早回復道路橋梁體系之機能(耐性)。

2012年版之鐵道構造物耐震標準所規定之L2地震力，設定為構造物工址之最大等級地震，目前簡易之最大等級假想地震包括斷層最短距離60km、 $M_w=8.0$ 之海溝型地震，以及 $M_w=7.0$ 之內陸活斷層之直下型地震。但無可否認地，目前對於震源地層之破壞過程、破壞領域等仍存在許多不確定之因素，預測結果根據理論不同仍有相當大的差異，而無法排除超越L2地震力發生之可能性。例如東日本大地震約為

4個震源域連動而產生 $M_w=9.0$ 規模之地震，而此規模等級之地震為超越此區域以往所假想可能發生地震規模之「想定外」地震。

因此於2012年版鐵道構造物耐震標準「附屬資料1-1性能檢核之基本考量方式」之敘述中，導入「危機耐性」之新概念；對於構造物之耐震設計，當然應滿足 L_2 地震所要求之性能，但對於超越假想 L_2 地震之巨大地震，亦應具有避免引致災難性破壞之危機耐受性，使整體構造體系之機能可於災後儘早回復。

危機耐性之概念，可將危機耐性與耐震設計視為互補集合之關係來作說明。耐震設計係針對假設之地震力等，檢核構造物之安全性、使用性、復舊性等是否滿足規範所要求之性能；危機耐性為耐震設計之補集合，為減小耐震設計「想定外」現象所引致災害風險之危機耐受性。在耐震設計聯集危機耐性之母集合中，對於超越設計地震力之巨大地震，強化耐震設計及耐震補強，可以擴大耐震設計能掌握之範圍，但終究無法將耐震設計之補集合化為零，且須付出相當大的成本代價；因此在尋求巨大地震災害最小化時，須同時提升耐震餘裕度及危機耐性，減小耐震設計「想定外」現象所引致之災害風險。提升危機之耐受性以減小危機災害之風險，除包含結構層面之硬體對策外，亦包含構造計畫等軟體層面之因應方式。因此在2012年版鐵道構造物耐震標準中，於2.2節強調了耐震構造計畫之重要性，於橋梁規劃階段，即應對於地震隨件事象加以考量，以提升橋梁構造之危機耐性。

三、新道路橋示方書之修訂方向^[14]

繼2012年日本道路橋示方書修訂後，日本國土交通省於2016年3月23日召開的道路分科會第4次道路技術小委員會中，揭露下一版道路橋示方書的修訂方向，預定修訂的主軸與目標如下：

- (一) 設定橋梁設計耐久目標期間為100年，後續新建或改建的道路橋皆以100年以上的長壽命化為目標。現行設計標準並未訂定明確的設計耐久目標。
- (二) 在耐久目標期間標準化後，可以長期的戰略觀點進行橋梁老朽化的檢測維修、補強與更新的因應對策的提升，期待能達成橋梁全生命周期成本的縮減。
- (三) 以長壽命化為前提，道路橋示方書將全面改採「部分係數設計法」(Partial factor method)，將載重係數、構件係數、材料係數等之安全率細分化，作為因應各種型式橋梁、新材料、路線條件等各種不同設計條件的細膩設計手法。

由於新版道路橋示方書的修訂重點為長壽命化及新設計方法的導入，預期規範條文將有大篇幅的修訂。然因新版規範尚在審議中，審議內容並未公開，修訂內容有待進一步追蹤了解。

四、美國AASHTO LRFD橋梁設計規範之防災設計考量^[15,16,17]

美國現行AASHTO LRFD橋梁設計規範主要係依據可靠度來校驗計算靜載重與活載重之載重組合，然伴隨全球氣候變遷，多重災害及極端狀況組合須要納入考量，而將不同的極端災害組合在一起，須要有一個相稱的基準。單就

回歸期而言，地震力是475年，亦即50年超越機率10%，而風力依ASCE 07-95回歸期是50年，沖刷參照FHWA HEC-18回歸期是100年，活載重則依橋梁設計年限考量75年，各項載重並沒有一相稱的基準。美國相關研究機構MCEER近年來致力於此類議題進行研究，利用或然率分析，研析複合型災害中各極端狀況的可靠指標(Reliability Index, β)，一般可靠指標(β)其值界於2~4之間，而LRFD規範採可靠指標 $\beta=3.5$ ， $\beta=3.5$ 對應其安全性之可靠度機率 $\geq 99.98\%$ 。於MCEER研究複合型災害中各種極端事件對橋梁整體安全性評估之相關成果報告，建議將來新版AASHTO LRFD橋梁設計規範，納入考量下列複合型極端狀況之載重組合：

強度I極限狀況	$1.25DL + 1.75LL$
強度III極限狀況	$1.25DL + 1.40WS$
強度V極限狀況	$1.25DL + 1.00LL + 1.20WS$ $+ 1.20WL$
極端事件I	$1.25DL + 0.25LL + 1.00EQ$
極端事件II	$1.25DL + 0.25LL + 1.00CV$ 或 $1.25DC + 0.30WS + 1.00CV$
極端事件III	$1.25DL + 2.00SC$ 或 $1.25DC + 1.75LL + 1.80SC$
極端事件IV	$1.25DL + 1.40WS + 0.70SC$
極端事件V	$1.25DL + 1.00CV + 0.60SC$
極端事件VI	$1.25DL + 1.00EQ + 0.25SC$

上式中，DL：靜載重；LL：活載重；WS：作用於結構之風載重；WL：作用於活載之風載重；EQ：地震力；CV：船舶撞擊力；SC：河川沖刷深度係考量回歸期100年。

當靜載重與其它載重產生相反之作用力時，其載重係數1.25須調整至0.90。極端事件III~VI載重組合將沖刷納入考量，極端事件II考量活載重或風力與船舶撞擊力之組合，風力的載重係數較高，係因船舶撞擊在暴風雨時較易發生。

陸、結語

台灣位處風災、洪患、山崩、土石流以及地震震災等多重災害發生的高風險環境，面臨未來全球氣候變遷及極端氣候風險提高的挑戰下，橋梁建設如何調適因應、防救滅災與避災離災等，必須以宏觀的新思維，致力於災害風險降低。因此，對於複合型災害挑戰下之橋梁建設與延壽課題，謹歸納列述如下，作為未來研究努力與推動方向的參考。

- (一) 提升防災道路橋梁之等級降低脆弱度：防災路網的橋梁應具有高規格的设计等級與低受災風險，於災害發生時能迅速緊急復舊，以維持運輸救災功能。
- (二) 建立道路橋梁防災機能之評估手法：有別於交通運輸需求的必要性、有效性、效率性的評選方法，建立基於全國廣域防災、跨域救災及區域防災需求的防災道路橋梁的防災路網建設評估手法。
- (三) 建構橋梁脆弱度之評估方法：綜合高災害風險區與潛在危險地區跨領域資訊，例如淹水潛勢圖、脆弱度地圖、風險地圖、地質敏感區圖、土壤液化潛勢圖等，以橋梁全生命周期觀點，建構橋梁面對未來極端氣候與包括震害、洪水災害、坡地災害、土石流災害等多重災害複合之脆弱度評估方法。
- (四) 強化既有橋梁之災害防護能力：根據既有橋梁對於複合型災害的評估結果，擬定改建或防護策略之決策方式。例如，依高規格複合型災害防災標準進行全橋改建，或採耐震補強、

下部結構與基礎的土水型複合災害防護等之減災措施。

(五) 法律與規範之修訂與整備：以橋梁全生命周期長壽命化觀點，考量氣候變遷極端事件與複合型災害風險，檢討修訂橋梁設計、養護、耐震補強等相關準則與規範，以強化橋梁的防災調適能力。例如美日等國未來橋梁設計規範之檢討與研究方向，根據或然率及可靠度理論將載重係數、構件係數、材料係數等進行修訂與細分，以因應橋梁長壽命化、多重災害極端事件以及各種型式橋梁、新材料、路線條件等各種不同設計條件。

(六) 橋梁維修養護與監測預警之落實與強化：藉由維修養護與監測預警的設施充實與落實，降低多重災害受災風險與程度，於有限資源條件下實現橋梁長壽命化與延壽的目標。

(七) 新工法新技術之研究與開發：針對未來極端事件與超越設計規範的極端風險，進行橋梁建設規劃、設計、維修、補強等全生命周期不同階段的新工法新技術之研究與開發。

參考文獻

1. “Climate Change 2014 Synthesis Report,” The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014.
2. 科技部台灣氣候變遷推估與資訊平台網站 TCCIP： <https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/v2/index.aspx>。

3. 國家災害防救科技中心，“臺灣氣候變遷科學報告2011”，2011.11。

4. “Integrating practices, tools and systems for climate risk assessment and management and strategies for disaster risk reduction into national policies and programmes,” UNFCCC, 2008.

5. “Natural Disaster Hotspots A Global Risk Analysis,” The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank and Columbia University, 2005.

6. “Natural Hazards, UnNatural Disaster,” The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2010.

7. 行政院經濟建設委員會，“國家氣候變遷調適政策綱領”，2012.10。

8. 國家發展委員會，“國家氣候變遷調適行動計畫102-106年”，2014.05。

9. 科技部，“災害領域行動方案102-106年”，2014.05。

10. 交通部，“維生基礎設施領域行動方案102-106年”，2014.05。

11. 張荻薇、曾榮川、吳淑珍、王泓文，“極端氣候下台灣橋梁防災之設計與考量”，中華技術，第111期，財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司，2016.07.31。

12. 王炤烈、蔣啟恆、戚樹人、蘇進國，“公路橋梁耐震評估與補強規範之演進”，中華技術，第111期，財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司，2016.07.31。

13. 張荻薇、曾榮川、黃炳勳、蘇彥彰，“橋梁防災之新觀念 - 東日本311大地震之回顧與省思”，中華技術，第111期，財團法人中華顧問工程司/台灣世曦工程顧問股份有限公司，2016.07.31。

14. 日本國土交通省道路分科會第4回道路技術小委員會，“橋、高架の道路等の技術基準について”，2016.03.23。

15. “Design of Highway Bridges for Extreme Events,” Transportation Research Board, 2003

16. “Design of Highway Bridges Against Extreme Hazard Events: Issues, Principles and Approaches,” MCEER/FHWA, 2008.06.

17. “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 7th Edition,” The American Association of State Highway and Transportation Officials, 2014.



三維空間資訊 技術之發展 與應用

關鍵詞：UAV，點雲，真實正射影像，CityGML，WebGL

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／副理／吳錫賢 ❶

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 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／副理／姜興華 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／地理空間資訊部／協理／鄭宏達 ❹

摘要

ABSTRACT

三維空間資訊是建置數位城市不可或缺的重要基礎元素，為了提升都市規劃、設計、建設、及經營管理之效能，推動未來智慧城市之支援決策，有必要於電腦系統中建置三維城市的基礎空間資訊。在重要決策推展之前，可事先進行模擬分析並檢視其成效，再決定如何實做。本文描述二維地形圖到三維空間資訊的發展、現階段最新測繪科技發展，進一步說明三維空間資訊所面臨的挑戰，並介紹三維空間資訊平台技術於公共設施雨水下水道管線之應用實例。



壹、前言—從二維地形圖到三維空間資訊

傳統工程設計需要二維地形圖做為背景，以各式圖示、圖例來表達地形、地貌之特徵。內政部配合國土資訊系統(National Geographic Information System, NGIS)發展，參酌地形圖製圖傳統經驗，並考量基本地形圖應涵蓋之地形資料內容等，訂定「地形資料分類架構」，期能符合地形圖資轉換標準GIS之需求。

過往因需求層面較低，加上軟體與儀器設備之限制，工程設計多半採用1/1000比例尺之二維地形圖，台灣世曦(含中華顧問工程司時期)自78年起引進高精密解析測圖工作站WILD BC1，以航空攝影測量技術於立體模型上測繪地形圖，最終地形圖是以2.5D方式來呈現三維環境測繪之成果。航空攝影測量之優勢在於透

過嚴密空中三角測量平差，可均勻控制測圖範圍內之製圖精度。此外，航空攝影測量可同時產製正射影像與數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)資料，對於廣域環境資料之蒐集最為有效率，並可藉由各式軟體(例如：3D Max)將正射影像貼附於數值地形模型之上以模擬三維場景。

因應工程建設及土地開發業務需求，台灣世曦於92年成立地理空間資訊部，其目的與任務在於整合工程測量、航遙測與地理資訊技術，協助規劃設計部門之圖資建置工作，提供垂直整合性空間資訊，對內並以「GIS支援網」提供多元、多時期圖資介接及下載服務。因應本公司脫胎換骨發展新技術、新觀念、新應用，全面朝向工程全生命週期三維設計之主軸，地理空間資訊部也將廣續提供各式三維空間資訊之運籌服務，詳如後續章節之描述。

貳、測繪技術之發展現況

近二十年來，測繪技術快速演進，過去傳統測量使用大量人力以掃街方式取得地形空間資訊，其曠日廢時且人力成本耗費高，已不符合現今科技數位之發展趨勢。而近年來以多元化遙感探測測繪技術的發展最為積極且快速，包括地面測量全站儀(Total Station)、全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、航測數位像機、衛星影像、光達掃描、合成孔徑雷達干涉技術(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)、無人飛行載具(Unmanned Aircraft Vehicle, UAV)等，不僅使測繪作業效率大幅提升，且測繪成果精度品質亦相對提高；而測繪成果之應用更從傳統二維紙圖的工程建設及土地規劃使用，擴大到三維的空間資訊加值，其應用愈趨廣泛及多元。



圖1 Earthmine街景攝影測量系統



固定式光達掃描儀(RIEGL)

一、地面測量

全站儀三次元數值地形測繪方式，是目前小區域地形測量普遍採用之作業方式之一，此種作業方式雖然易受天候、交通等外在環境因素影響，但其直接量取地表位置解算三次元空間坐標，係為最直接且最明確的方法，對於一般工程使用為最具效益。近年地面測量發展亦有地面光達掃描儀及街景測量車(如圖1)等設備相繼推出，其發展方向均以能完整獲取地面三維空間資訊為目標。地面光達作業模式主要包括定點式固定基站及移動式車載等二種模式(如圖2)，其優點為作業快速(掃描頻率每秒可達百萬個測點)，短時間即可完成作業並獲取大量之3D空間位置點雲(Point Cloud)資訊，且精度可達毫米等級(依掃描模式及儀器等級而不一)。掃描作業亦不受光源之限制，於夜晚或隧道、坑道中均可進行。若於具有光源地區作業時，可同時獲取被測點的色彩值，增加3D點雲模型之實境效果(如圖3)，因此更能提升三維地形之應用效益。

二、航空測量

目前國內航空測量採用之酬載設備主要為航空數位像機及空載光達二種(如圖4)。航空數位像機主要以取得垂直拍攝影像，影像地面解析度可達10cm(航高1000公尺時)，後製產品



車載光達掃描儀(RIEGL)

圖2 地面光達掃描系統

包括：正射影像、數值地形圖、數值地形模型(DTM)等；空載光達主要以掃瞄方式取得地表三維點雲，點雲資料經處理後可產製高精度之數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)及數值地表模型(Digital Surface Model, DSM)。

三、無人機測繪

無人飛行載具(UAV)過去常用於軍事、氣象、防救災、農業植保、環境監控...等，而近年則在測繪業廣泛應用，其搭配穩定且相對低廉的非專業量測型數位像機作為航拍攝影設備，可取得高解析度的航拍影像，已取代部分傳統採用航測飛機搭載量測型像機的航空攝影

作業，成為近年來小區域地形圖測繪作業方式之一(林耀宗、闕文鍵、顏怡和[1])。UAV大致可分為定翼及旋翼二種型式(如圖5)，二者各有不同的特性及優點，定翼型的優點在於航程長、飛行穩定、抗風能力強、酬載能力高等，因此適合用於長距離拍攝；旋翼型則機動性高，無須跑道即可起飛，並可視需要隨時改變高度與拍攝角度，亦可定點拍攝，適用於較小區域之空拍。而二者空拍影像均可應用於後製加值，包括：正射影像、地形圖測繪、DTM製作、3D點雲影像模型(如圖6)等，故對於空間資訊獲取方式提供更大的便利性及多元性，因此，無人機測繪技術未來在三維空間資訊獲取上勢必成為趨勢。

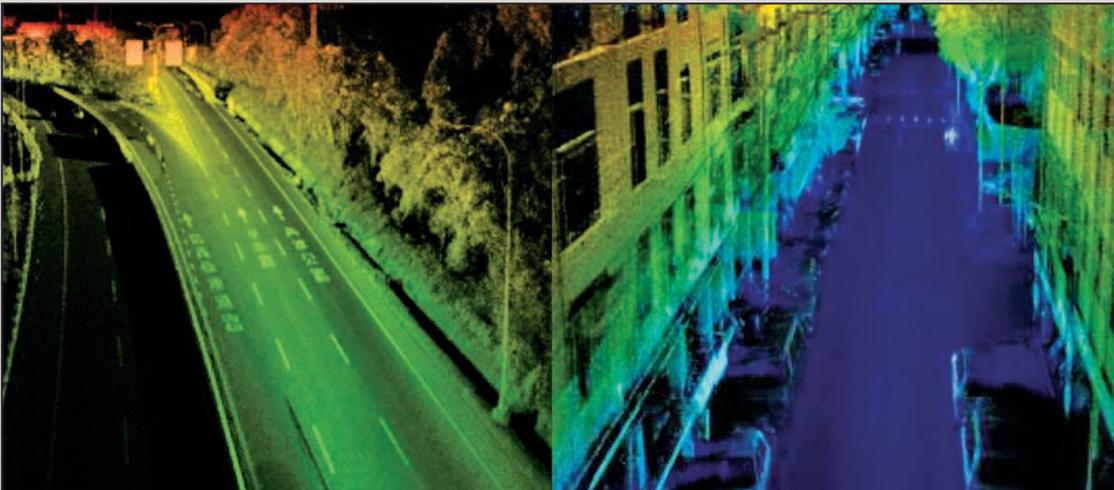


圖3 地面光達掃描3D點雲(臺北市市區道路普查計畫)



空拍數位相機(DMC II 230)



空載光達掃描系統(Optech Pegasus)

圖4 航空測量設備



定翼型 內政部國土測繪中心



旋翼型 RIEGL MD4-1000

圖5 無人飛行載具(UAV)



圖6 UAV空拍影像後製3D點雲影像模型(桃園景福宮)

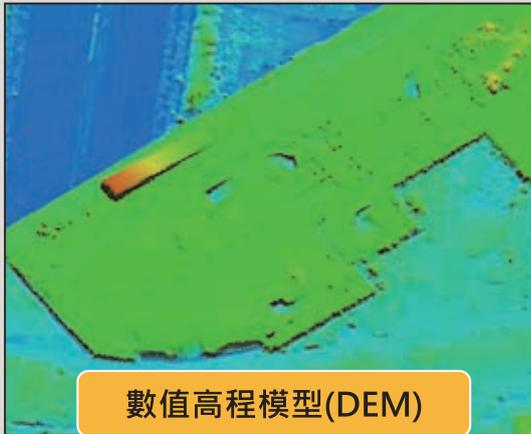
參、三維空間資料之加值

一、從DTM到三維城市建模

數值地形模型(DTM)為空間資訊中基本的資料。獲得數值地形模型資料之後，即可瞭解地形起伏之情況，對於工程之規劃、土石方計算、地形潛在災害潛勢分析等用途都有相當之助益。DTM依據定義基準的不同，又可區分為數值高程模型(DEM)與數值地表模型(DSM)(如圖7)。台灣世曦於94-95年曾參與內政部高精度及高解析度數值地形模型測製工作案，以航測方式建置台灣地區廣域範圍之5公尺網格間距DEM/DSM資料。

近年來台灣由於空載光達設備的導入，經濟部中央地質調查所自99-104年建置台灣地區1公尺網格間距之高精度DEM與DSM資料，以進行地質敏感分析；而由空載光達掃瞄之高密度DSM點雲，成為近似「三維城市建模」之初始資料。

內政部自95年度開始推動三維城市模型發展，以建構符合OGC (Open Geospatial Consortium) CityGML所定義的Level of Detail：LOD1、LOD2及LOD3之房屋模型(如圖8)，並進行模型紋理自動化貼附之相關研究。



數值高程模型(DEM)



數值地表模型(DSM)

圖7 數值地形模型(北投士林科技園區)

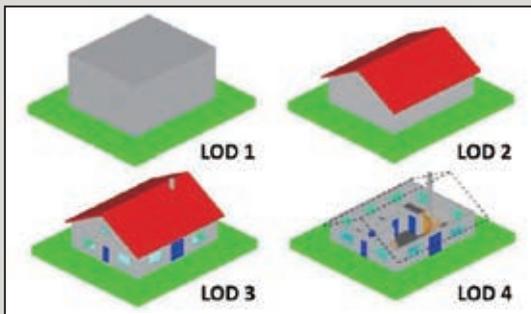


圖8 CityGML 模型細緻度示意圖(參考內政部[2])



圖9 傳統正射影像(上)與真實正射影像(下)

台灣世曦於98-100年度與國立中央大學合作參與科技部「三維航測製圖全方案」產學合作研究計畫，特別以提升三維房屋及道路模型重建之自動化處理程度為目標，並透過房屋模型糾正航空影像之高差位移，產製完成真實正射影像(如圖9)。

台灣世曦另於99-101年度參與臺北市政府都市發展局之「臺北市3D航測數值地形圖重製工作案」，以全市房屋之三維結構線資料，搭配實景及隨機貼圖技術，以LOD 2模型加值產製三維城市建模，藉由Skyline軟體建構數位城市之基礎平台(如圖10)。

近年來使用影像密匹配產生點雲之技術亦日益成熟，垂直攝影結合傾斜攝影之影像，採用ContextCapture (Acute3D)、PhotoMesh等軟體，可快速產製3D點雲影像或網面(mesh)構建之三維城市建模(如圖11)。

二、三維管線建模

103年7月31日高雄市發生地下管線氣爆事件，讓公共設施管線資訊不足的實況受到社會矚目，而中央及地方政府隨即著手積極規劃建置精確、可靠之公共設施管線管理系統。早期受限於電腦技術發展，公共設施管線圖資常



圖10 臺北市城市建模成果圖(內湖科技園區)



圖11 影像密匹配構建三維城市模型(新板特區)

僅留存竣工圖之圖紙資料，而竣工圖又與現況存有差異，致使管理單位無法明確掌握公共設施管線配置情形，遭遇災害時亦無法緊急應變，長期來看也缺乏可供擬定改善策略之決策資訊。

台灣世曦曾參與內政部營建署、臺北市政府、高雄市政府(原高雄縣)、新北市政府、桃園市政府、臺中市政府及彰化縣政府等機關之

公共設施管線相關計畫，於規劃、設計、調查及應用系統開發等具備各項實務經驗，並參與國土資訊系統公共管線資料庫規範制定，同時兼具多項地理資訊系統開發及大型空間資料庫建置經驗。105年度台灣世曦參與桃園市公共設施管線建置工作，著手以二維管線資料庫建置LOD2三維管線模型(如圖12)，並為後續全面導入三維管線系統建立良好的示範。

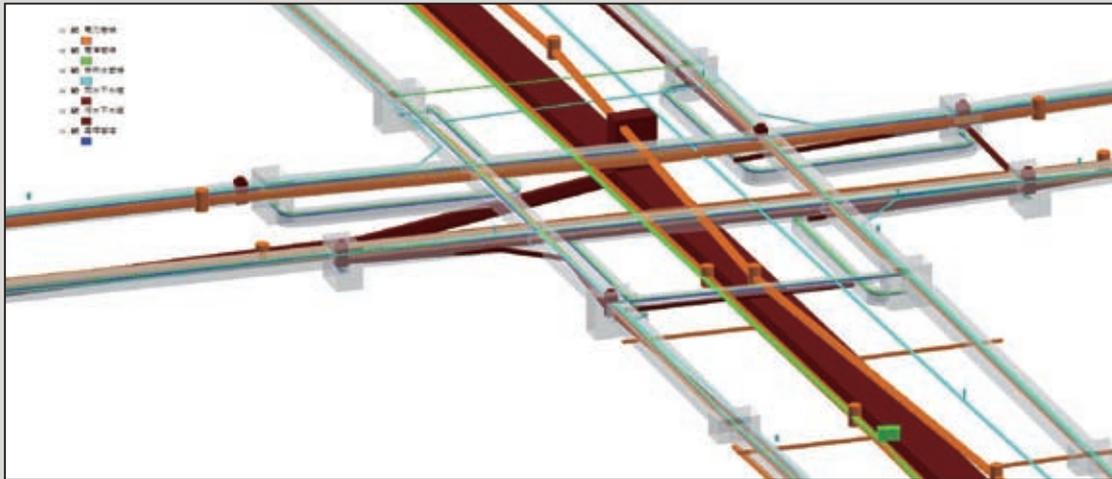


圖12 公共設施管線三維建模(桃園市中路地區)

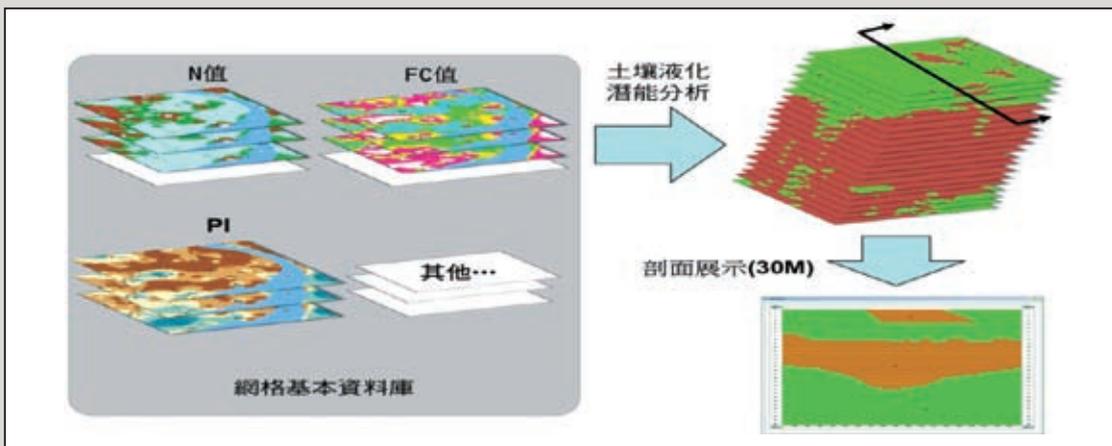


圖13 三維數值網格防災資料庫建置示意圖

三、土壤液化潛勢地圖

105年2月6日美濃發生芮氏規模6.6的地震，造成臺南市多處建築物嚴重倒塌，地震影響區域亦因土壤液化導致民宅沉陷及傾斜等災情。鑒此，經濟部於105年3月14日公開初級土壤液化潛勢圖，該資料屬全國性大範圍的評估結果，惟需要依據更進一步的地質鑽探以建構精確的中級土壤液化潛勢地圖。

台灣世曦具有專業之土壤液化分析技術，採三維網格技術進行土壤液化資料分析之方式，將作業區之井錄資料模擬建構出整體之地下三維立體網格資料庫後，再根據各個網格進

行土壤液化分析，由「點」模式提昇至「面」的網格模式後，如同增加無數個分析點位，可淡化單一工程井資料對整體分析結果之影響。採用三維資料庫技術須透過電腦進行大量工程井資料之分析運算，並進一步規劃建置「立體化」之三維資料庫。分析土壤液化潛勢之基礎，係以前述建置之三維網格資料庫為基礎進行分析，利用研究區域之工程鑽探資料原始數據及分析評估模組，模擬各種分析參數後(如地震規模、地下水深度)，可得到地下各深度之土壤分類、抗液化安全係數FL等分析結果，並轉換為地理圖層後可展示土壤液化潛能指數PL(最大地震、中小地震、設計地震)等不同之分析成果(如圖13)。

肆、三維地理資訊系統的挑戰與創新

三維地理資訊系統經過多年發展，在國內及國外皆已有許多系統案例，應用面向包含城市觀光導覽、管線資料整合查詢、自然環境展示、防救災資訊整合及模擬分析等諸多領域，本公司

開發相關三維管線系統案例如圖14、15所示。

三維地理資訊系統雖經過多年發展，也已有許多實際案例，惟仍可發現目前二維地理資訊系統在數量及應用深化程度仍遙遙領先三維地理資訊系統，顯見三維地理資訊系統在推行上仍面臨許多挑戰，究其原因可歸納為：

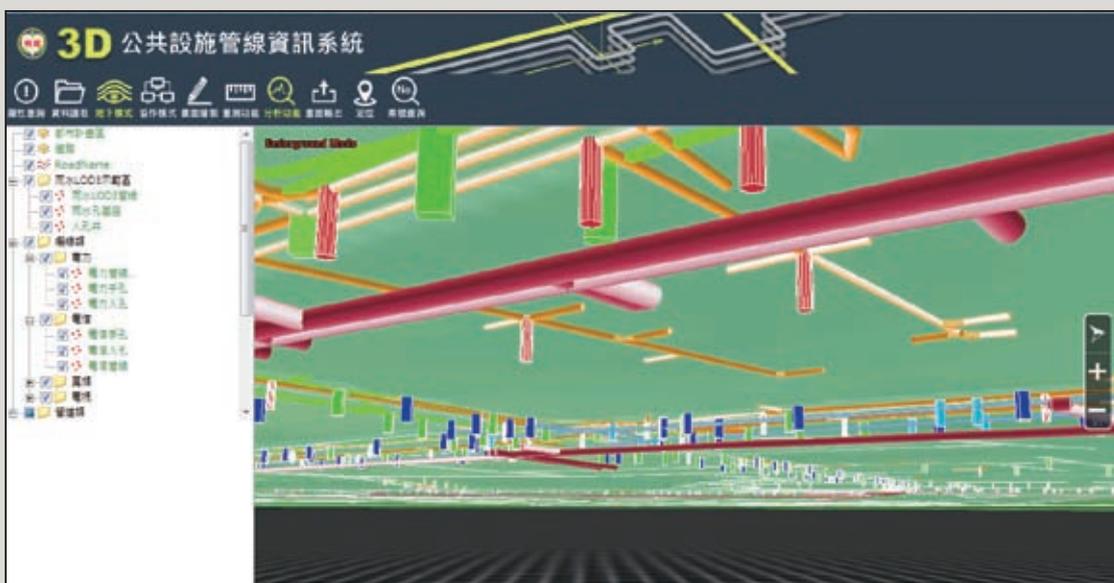


圖14 桃園市3D公共設施管線資訊系統(Skyline圖台)



圖15 高速公路道路及設施3D展示系統圖(Portal for ArcGIS圖台)

一、多數地理空間資訊應用使用二維即可滿足需求

雖然三維地理資訊系統於展示上更為直觀，然許多地理空間應用，諸如查找餐廳位置、不動產交易案件查詢、研究行車路線、展示道路里程、查報道路坑洞或申挖位置等等，以二維空間資訊即可清楚表示。

二、建置成本及維運困難度較高

商用三維地理資訊伺服器授權價格可能高達250~500萬元之譜，為了胃納大量三維資料及運算，於伺服器主機性能、儲存空間及網路頻寬上皆須更多的投資。而三維地理資訊平台本身維運難度較高，如原廠支援無法延續(例如Google Earth Enterprise)，造成使用其平台開發之系統，陷入進退維谷之境。

三、跨域3D資料收集與整合困難

目前既有三維地理資訊系統，其三維模型資訊(例如建物、設施、管線等)須自力建置完成，而其他可配套三維資料往往較少且更新緩慢，原因包含：

- (一) 3D建置成本高，可取用公開資源較少，而為求降低成本產製之模型，往往品質不佳，影響展示效果。
- (二) GIS與CAD、BIM所產製之3D模型，需進行後處理才能匯入，例如簡化或是轉換檔案格式。且不同軟體間在轉檔後，往往會產生諸多相容性問題，以致造成資料產製複雜度、時間及成本皆提高，造成GIS與BIM模型整合之困難。
- (三) 目前國內對於各類型模型LOD規範尚在起步階段，欠缺共通標準加以產製、流通。

四、使用者介面(User Interface,UI)及體驗(User Experience,UX)不夠理想

三維地理資訊圖台目前仍有許多與操作介面相關的議題待克服，例如：

- (一) 部分圖台需安裝外掛元件才可以使用。
- (二) 顯圖速度緩慢、操作介面不直觀：導致使用者於混淆於三維空間中，無法辨識所處位置，或移動至想要抵達之處。
- (三) 部分免費三維地理資訊圖台沒有下地(顯示位於地平面以下資訊)功能，無法顯示地質、管線等地下資訊。

隨近年來技術發展，將可逐步克服上述造成三維地理資訊系統開發及應用面臨課題，未來創新發展及解決方案概述如下：

一、採用開放標準語言，建立跨平台使用圖台

運用諸如Web Graphics Library(以下簡稱WebGL)等開放標準技術，可建立無需加裝外掛程式，並相容任何網頁瀏覽器使用的跨平台三維地理資訊圖台，開放標準使得三維地理資訊更易於建置。

二、成本圖台軟體授權

除本文前述各式UAV無人飛行載具興起，降低資料採集建置成本外，三維地理資訊圖台軟體開放原始碼且免費之開源(Open Source)軟體也同樣有日漸成熟及增多，例如TGOS MAP 3D(如圖16)、CESIUM(如圖17)、NASA所開源的WorldWind等等，也可自行使用3D標準語言開發自有圖台，大幅降低軟體授權費用。

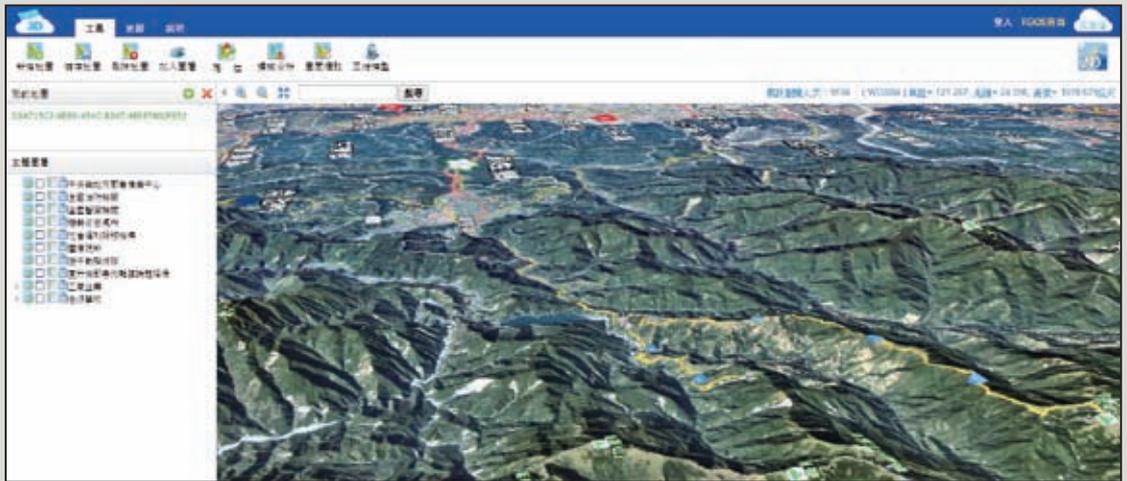


圖16 免費3D地理資訊圖台範例(TGOS MAP 3D)



圖17 免費3D地理資訊圖台範例(CESIUM)

三、GIS與BIM跨域資料整合，儘速建立各領域共通模型資料標準

三維地理資訊平台要能在展示及查詢功能外，進一步提供包含即時可視化編修、分析、互動等功能，建立資料易於收集、編輯及維護之高精度資料模型標準(達到LOD3標準)乃刻不容緩之事，以建物模型為例，已有相關研究(江渾欽、馮怡婕[3])透過地籍建物測量成果圖轉換

為符合CityGML規範之地籍三維建物LOD3模型(如表1、圖18)。

四、開放且共通的3D檔案格式

為因應巨量3D資料的即時串流，同時考量諸如易於發佈、網頁相容性、物件化、降低延遲及資料傳輸量等各個面向，眾多機構及廠商紛紛提出新型3D檔案格式，例如CESIUM所提出

表1 三維地籍建物供應圖徵與CityGML Building Model圖徵對應表

CityGML Building Model Feature	多尺度三維建物資料標準圖徵
_AbstractBuilding	立體建物
_BoundarySurface	屋頂
Building	立體樓層
RoofSurface	樓層平面多邊形
WallSurface、InteriorWallSurface	牆
Door	門
Window	窗
IntBuildingInstallation	樓電梯
IntBuildingInstallation	柱



圖18 運用地籍建物測量成果產生之LOD3建物模型(引用江渾欽、馮怡婕[3])

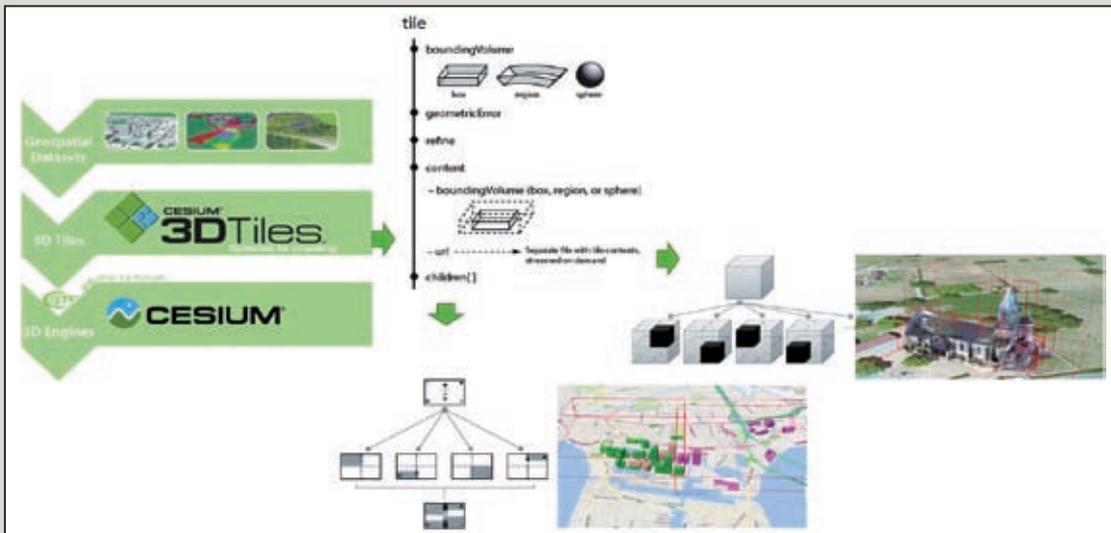


圖19 開源3D資料格式架構圖(CESIUM 3D Tiles)

的3D Tiles或ESRI所提出的i3S，並且完全開源。透過整合上游端影像處理軟體，可直接匯出上述各類型開源三維檔案格式後，發佈3D地圖服

務，提供展示超過1000萬棟3D建築物之能力，為三維地理資訊系統底層資料建立及傳輸奠定良好基礎(如圖19)。

伍、三維地理資訊平台應用—公共設施雨水下水道管線實例

為推動三維地理資訊系統發展，台灣世曦自行創新研發網際網路三維地理資訊平台[4]，強調以開放標準，建立低軟體授權成本、簡化資料建置難度、可即時動態編修等高彈性地理資訊圖台，本公司以雨水下水道管線做為示範案例，其功能特色包含：

一、採用3D開放標準，相容各式瀏覽器及平台

3D開發函式庫採用WebGL技術開發，此為國際公認開放標準，因此不需額外加裝外掛程式，即可於主流瀏覽器(IE、Chrome、Firefox、Safari)與行動裝置瀏覽三維公共設施管線模型，並可同時與二維圖台進行互動操作(如圖20、21)。



圖20 台灣世曦自行研發三維地理資訊圖台(GE3D)成果圖

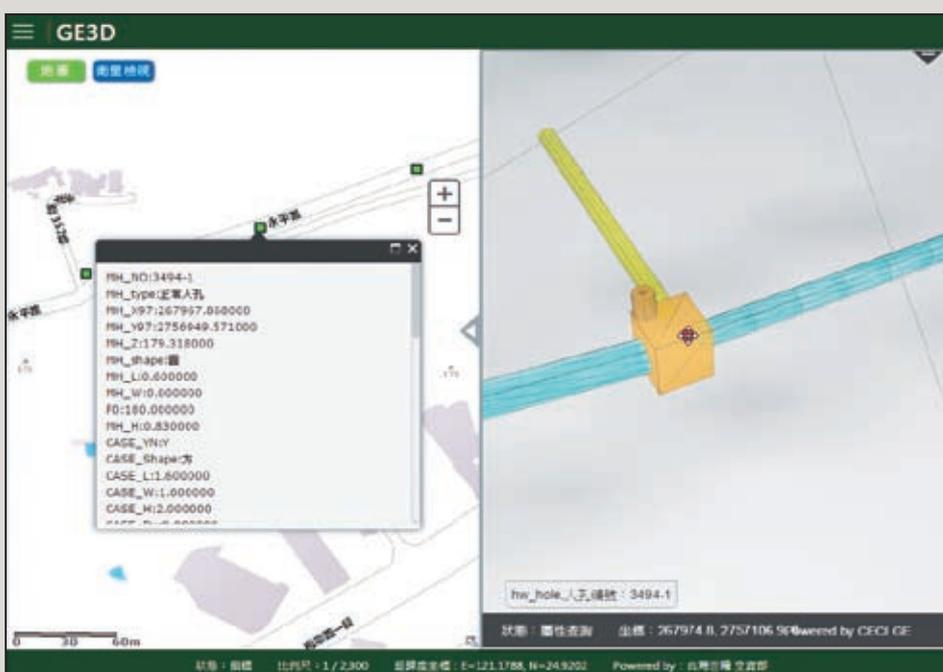


圖21 自行研發三維圖台及二維、三維圖台互動成果圖

各設施皆為物件化模型，所有管線、人孔及附屬設施皆可點選查詢詳細資訊，並且即時繪製管線孔蓋設施精確尺寸圖(如圖22)。

提供即時輸入編輯功能，使用者可於系統上自行輸入管線屬性，即可自動展繪三維管線，並利用空間位向關係，自動進行管線衝突

分析(如圖23)。

系統圖台並具備既有3D物件模型匯入及動態展示之能力，可模擬日照變化，加入路燈燈桿後，可用於夜間照明模擬，評估燈桿合理配置及亮度需求，並輔助設施管理(如圖24、25)。

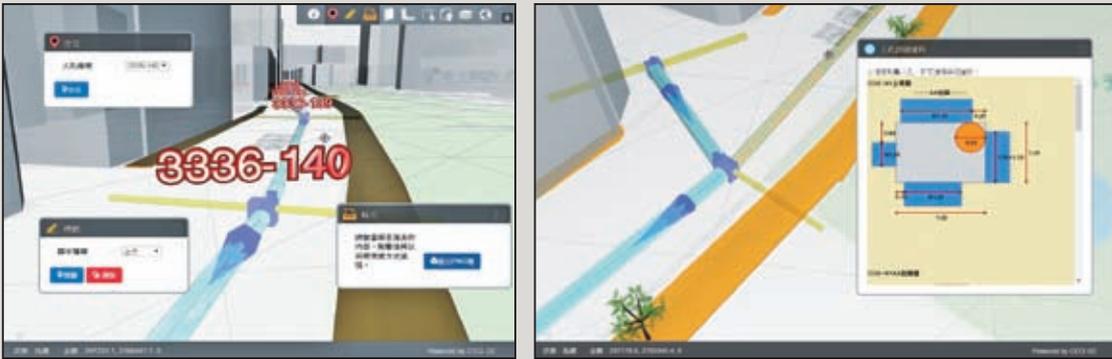


圖22 管線設施物件及即時繪製精確設施尺寸成果圖

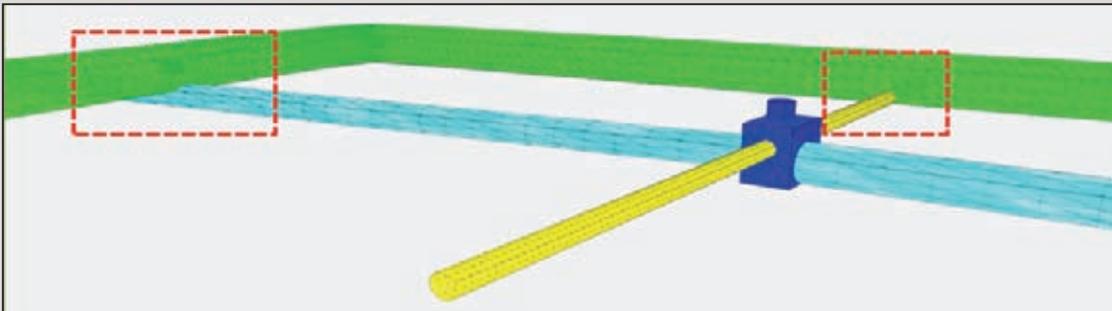


圖23 管線衝突示意圖

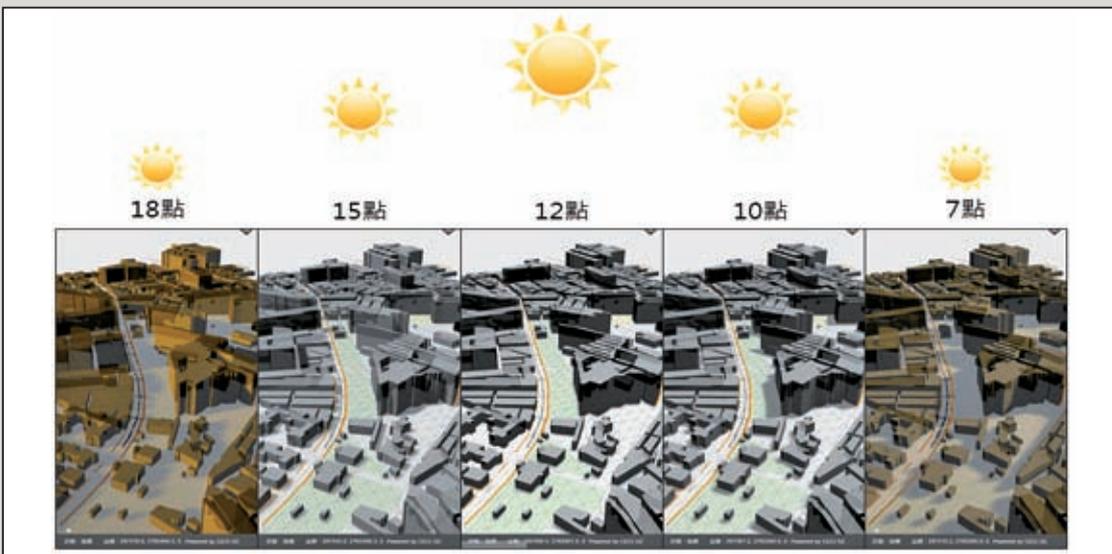


圖24 日照模擬功能成果圖

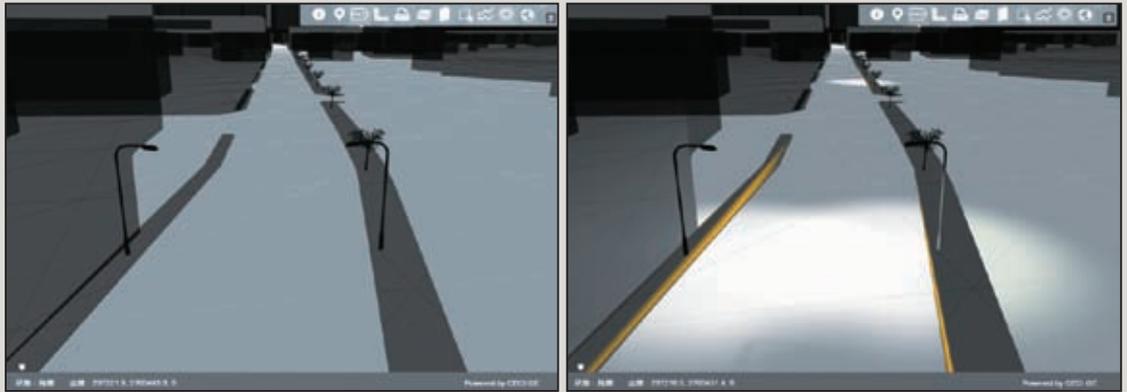


圖25 設施規劃管理(路燈照明配置)成果圖

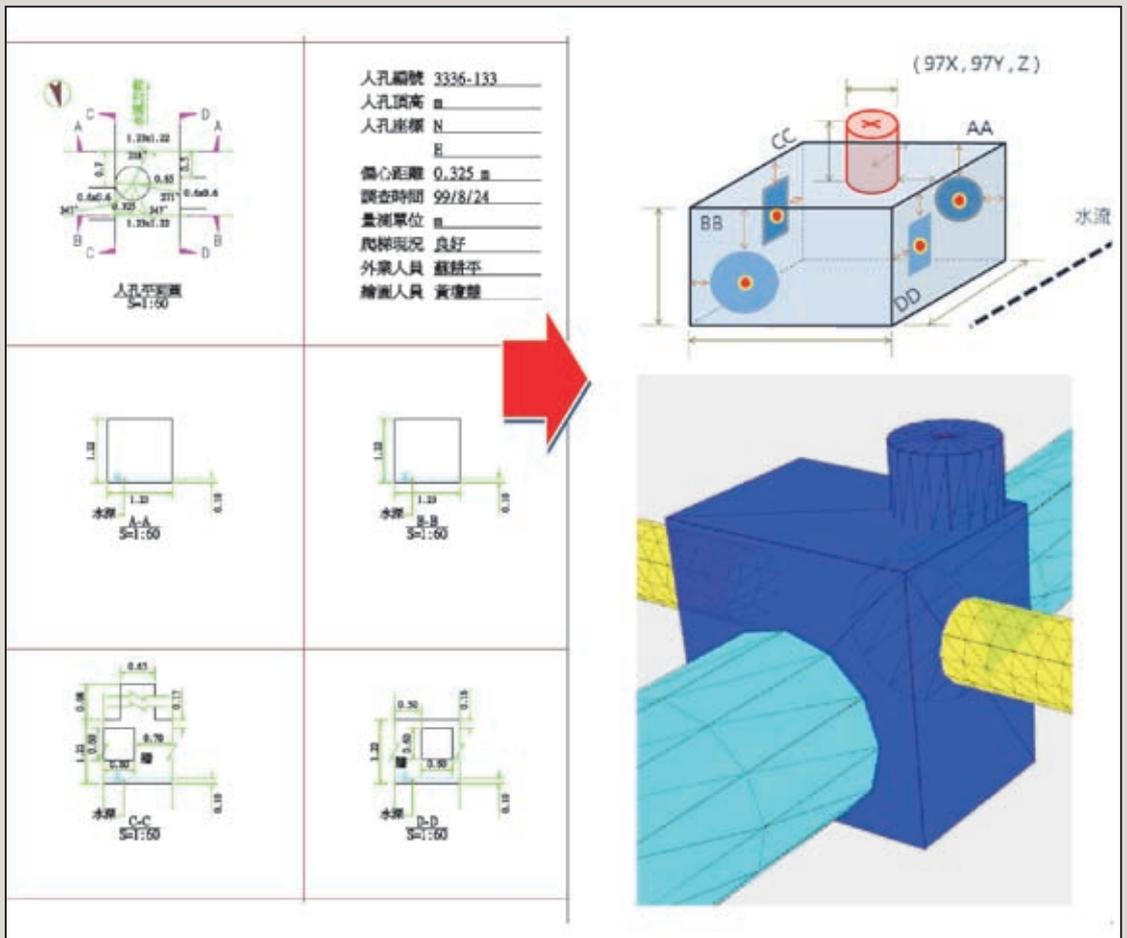


圖26 既有管線調查成果自動轉換三維模型成果圖

二、依據現行竣工調查資料，設計可行之 LOD3模型

為降低資料建置難度，使資料能永續更新，本系統運用既有人孔普查調查屬性資料為

基礎，建立LOD3雨水管線模型資料標準，並開發自動轉檔工具。前端資料建置人員不需變更原本作業流程，即可運用既有資料轉換為高精度三維物件，大幅降低資料產製及編修之成本與困難度(如圖26)。



圖27 三維地理資訊圖台整合簡易BIM模型成果圖

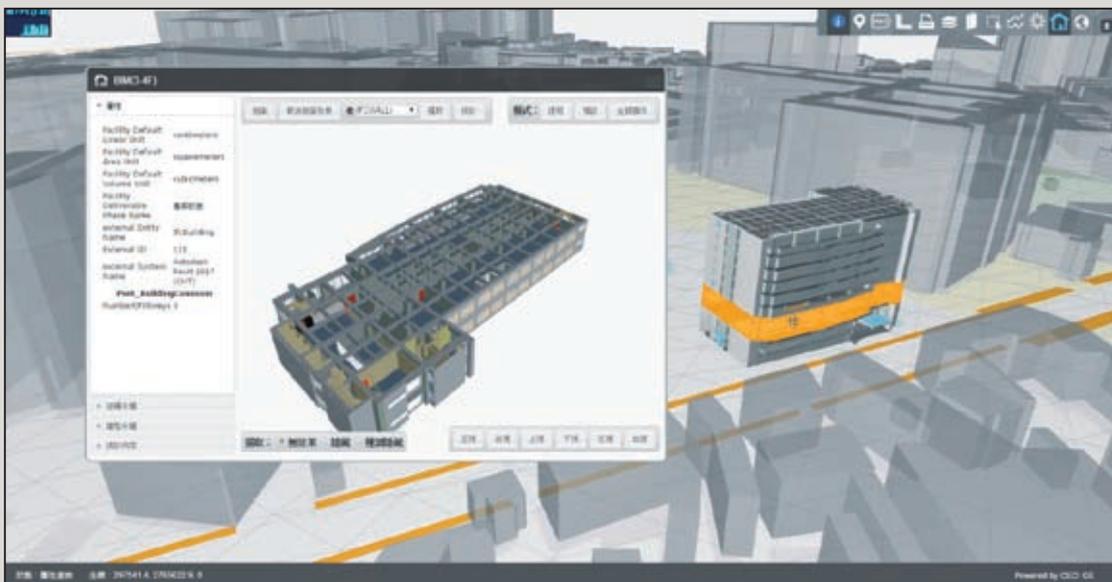


圖28 平台整合BIM模型詳細資訊互動查詢成果圖

三、建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)整合互動

藉由將BIM資訊模型透過多道轉換程序，可將BIM模型加以簡化後，以適合之檔案格式(JSON Geometry format)呈現，並且開發剖面查詢功能，可於三維地理資訊圖台上，查看模型基本資訊及橫、縱剖面圖(如圖27)。

於本三維地理資訊圖台可匯入、套疊及展示簡化之BIM模型後，本公司進一步整合開源BIM系統專案，利用其解析建築資料整合標準IFC (Industry Foundation Classes)的能力，運用其

API開發針對細緻BIM模型進行視角調整、屬性查詢、剖面呈現、透明檢視、簡易材料數量統計等功能，達到三維地理資訊系統與BIM整合互動應用之可能(如圖28~30)。

四、即時可視化編修，輔助內業檢核及外業查報

以HTML5為基礎進行開發，故具備強大跨平台使用能力，可以智慧型手機或平板電腦開啟後，行動化進行屬性資料編輯，並可即時渲染產製三維模型，現已投入本公司管線資料檢核及巡查應用使用。



圖29 BIM模型剖面呈現成果圖

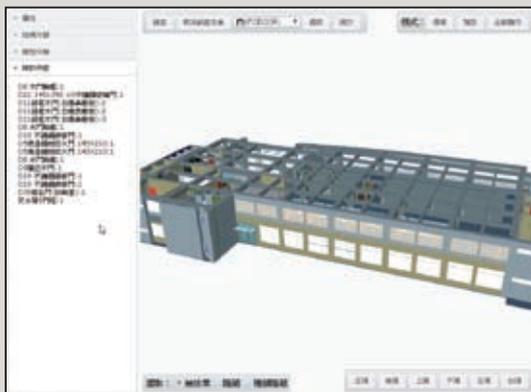


圖30 BIM材料數量統計成果圖

陸、結語

長久以來測繪技術都是因應人類探索環境之需求而不斷發展，透過測繪技術所獲得的空間資訊，隨著科技由二維地形圖朝向三維建模快速進展，現階段搭配三維工程模型設計方法，亦已成為不可抵擋的主流趨勢。綜合歸納結語如下：

- 一、光達掃描與影像密匹配產生點雲將成為獲取三維空間資料之主要來源，尤以後者不需設備之雲端計算服務更具備發展潛力。
- 二、CAD模型、BIM模型朝向GIS資料整合之需求與日俱增，而未來各種三維空間資訊宜及早訂定資料標準以利介接應用。

三、三維工程設計之模型將延續至營運管理之工程全生命週期應用，整合其他感測資訊以擴大增值應用面向；而三維公共設施管線資訊也將成為政府重要的公開資料之一。

四、三維地理資訊平台將朝向開放原始碼與跨平台整合持續進展，透過網際網路連接到個人穿戴之各式行動裝置以增進效用。在智慧城市發展中，個人行動化裝置進行室內外定位、目的地搜尋、路徑規劃等都有賴精確的三維空間資訊進行指引，因此可以預見三維空間資訊相關技術將持續發展，並與日常生活之應用緊密結合。

參考文獻

1. 林耀宗、闕文鏈、顏怡和(2015)應用無人飛行載具(UAV)辦理 1/1000地形圖測繪實例探討，中華技術107期，128頁。
2. 內政部(2015)104年度三維城市模型與建築等級模型之整合機制工作案期末報告書，37頁。
3. 江渾欽、馮怡婕(2012)地籍三維建物資料流通之研究，台灣土地研究，Vol. 15, No.1，127~155頁。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2016) WebGL技術於3D管線之展示及應用研究期末報告書。



1
專題報導

閱讀國門—— 來去桃園國際 機場第三航廈

關鍵詞：桃園國際機場、第三航站區、第三航廈、智慧機場、旅客體驗、轉機

台灣世曦工程顧問股份有限公司／桃園國際機場T3專案／資深協理／魏雲魯 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機工程部／業務經理／林柏鋒 ❷

宗邁建築師事務所／專案經理／中華民國註冊建築師／張廷營 ❸

Rogers Stirk Harbours + Partners／中華民國註冊建築師／林明儀 ❹

摘要 ABSTRACT

桃園國際機場自1979年2月26日落成啟用，是當時東亞最先進的機場，亦帶動臺灣經濟的發展，隨著航空客運量成長，第二航廈於2000年7月29日完工營運。近年來，亞太地區經濟及航空客貨運量發展更為迅速，各國均積極投入機場建設及機隊擴充，桃園機場面臨內部機場設施及航廈容量不足，外部各國機場群競爭激烈的環境。因此，為強化服務能量與品質，提升國家競爭力，積極推動第三航站區的建設，已是國人迫不及待，要努力完成的現階段國家目標。

桃園機場第三航站區建設計畫是國家門戶，攸關機場本身、桃園市及臺灣整體未來的發展，不但能夠有效的為臺灣招商引資，成為桃園航空城起飛的推動引擎，也能為臺灣經濟產業的興盛繁榮注入關鍵性的活水與動能，更可擴大國家整體內需，帶動就業市場，甚至是金融、產業等等投資上的發展，為國家的經濟成長做出重大的貢獻。

桃園機場以成為服務東亞航空市場的大型樞紐機場為目標，以多功能大樓(MFB)串連第三航廈及第二航廈，型構巨型航站(Mega-Terminal)的概念，以智慧(Smart)、Green(綠色)、文化(Culture)為設計主軸，配合高效能的作業方式提供旅客優質服務與交通功能，更進一步發展成為永續經營的機場，集觀光、購物、人文、藝術為一體之綜合性設施，為旅客打造全新的旅行經驗。



壹、桃園機場第三航廈興建的迫切性

一、桃園機場運量成長歷程

桃園機場第三航廈的興建構想，最早始於1971年的桃園國際機場主計畫中被提出。第一航廈於1979年2月26日啟用，第二航廈於2000年7月29日完工營運，隨著亞太地區的經濟與航空客貨運量高速成長，旅客量自1979年的404萬成長至2016年的4,230萬，正式邁入4,000萬旅客樞紐機場的級別。

自2014年起，桃園機場躋身全球前50大繁忙機場(第42名)，至2016年旅客量達4,230萬，更提升為全球第36名，同時也是貨運吞吐量第十高的機場。目前有76家航空公司透過桃園機場飛往全球32個國家的169個城市，旅客以兩岸

(含港、澳)航線(約42%)、東北亞航線(約26%)、東南亞航線(約21%)及北美航線(約7%)為大宗。

二、桃園機場設施及航廈容量不足

由表1，桃園機場於1990年突破1,000萬旅客量，2004年突破2,000萬，2013年到達3,000萬，2016年超逾4,000萬旅客量，每突破1,000萬旅客的年期逐漸縮短。而依據「臺灣桃園國際機場園區綱要計畫」、「臺灣桃園國際機場第三航站區建設計畫」、「臺灣桃園國際機場園區實施計畫第二版」等報告預測，在考量兩岸直航、台日航權開放、觀光客倍增、低成本航空發展等樂觀情境下，至目標年2042年，桃園機場年旅客量將達8,660萬(圖1)。唯，目前第一航廈及第二航廈之設計容量，合計僅3,200萬/年，顯而易見，桃園機場現有之設施及航廈容量不足(圖2)，對於機場產生極大的服務壓力，

表1 桃園機場歷年旅客量

年期	旅客量	年期	旅客量	年期	旅客量	年期	旅客量
1979	4,043,711	1989	8,658,797	1999	17,044,462	2009	21,616,729
1980	4,289,658	1990	10,094,556	2000	18,681,462	2010	25,114,413
1981	4,734,201	1991	10,614,060	2001	18,460,827	2011	24,947,551
1982	4,952,245	1992	12,072,756	2002	19,228,411	2012	27,836,550
1983	5,118,408	1993	12,494,134	2003	15,513,885	2013	30,701,987
1984	5,310,415	1994	13,349,468	2004	20,083,228	2014	34,140,634
1985	5,315,471	1995	14,478,196	2005	21,700,702	2015	38,473,333
1986	5,571,512	1996	15,613,624	2006	22,857,445	2016	42,296,322
1987	6,407,955	1997	15,990,301	2007	23,425,794		
1988	7,592,611	1998	15,725,448	2008	21,936,083		

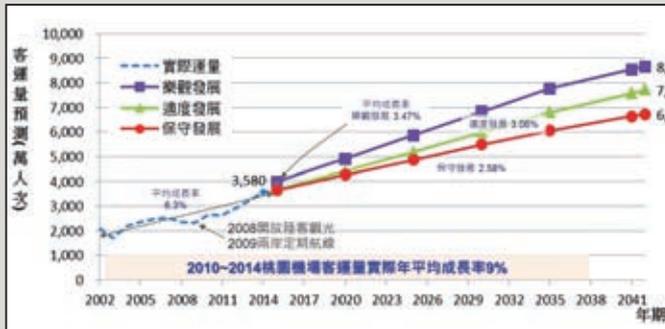


圖1 桃園機場運量成長預測

資料來源：民航統計年報、桃園機場公司網站、實施計畫二版預測分析



圖2 桃園機場航廈容量分析

造成旅客等候時間拉長、機場服務水準降低之狀況，需優化既有航廈安檢線等設施、建置自動化/智慧化旅客服務系統、動態調度既有設備，以彈性擴增容量。

三、亞太地區機場群競爭激烈

桃園機場自2016年旅客量達4,230萬，為

全球第36名繁忙機場，惟國人不能因此自滿，目前亞太區域計有19座機場名列全球前50大繁忙機場(表2)，其中北京首都、東京羽田、香港赤鱗角、上海浦東、廣州白雲、新加坡樟宜、韓國仁川、泰國曼谷、印尼雅加達、馬來西亞吉隆坡、成都雙流等11座機場，其旅客量排名均高於桃園機場。

因應亞太經貿與區域內航空運輸市場蓬勃之勢，過去20年，鄰近各國均積極推動機場建設並設定未來發展目標，以迎戰客、貨需求快速成長之亞洲市場。亞洲有許多特色出眾的大型機場航廈，香港、新加坡的機場為業界立下新的標竿；北京機場第三航廈的規模及中國大陸追求機場航廈設計創新的企圖心，前所未見；而中東地區的機場建設則後來居上，領先世界。此外，許多機場都將在未來10年內推動大型擴建計畫，例如香港機場2030年整體計畫及新加坡樟宜機場第五航廈(2025年)。在激烈的競爭環境中，桃園機場唯有積極改善與強化軟硬體設施，才能與周邊競爭對手匹敵，而將第三航廈打造成為新世紀標竿航廈，則是桃園機場提昇排名的重要契機。

表2 亞太地區全球前50名繁忙機場

機場		2016年運量(萬)	排名
美國哈茨菲爾德—傑克遜亞特蘭大	ATL	10,417	1
北京首都	PEK	9,439	2
東京羽田	HND	7,985	5
香港赤鱗角	HKG	7,050	8
上海浦東	PVG	6,600	9
廣州白雲	CAN	5,973	15
新加坡樟宜	SIN	5,870	17
韓國仁川	ICN	5,777	19
泰國曼谷	BKK	5,547	20
印尼雅加達	CGK	5,415	22
馬來西亞吉隆坡	KUL	5,262	24
成都雙流	CTU	4,604	27
臺灣桃園	TPE	4,230	36
昆明長水	KMG	4,198	38
深圳寶安	SZX	4,198	35
上海虹橋	SHA	4,046	45
菲律賓馬尼拉	MNL	3,952	47
東京成田	NRT	3,905	48
卡達哈馬德	DOH	3,732	50

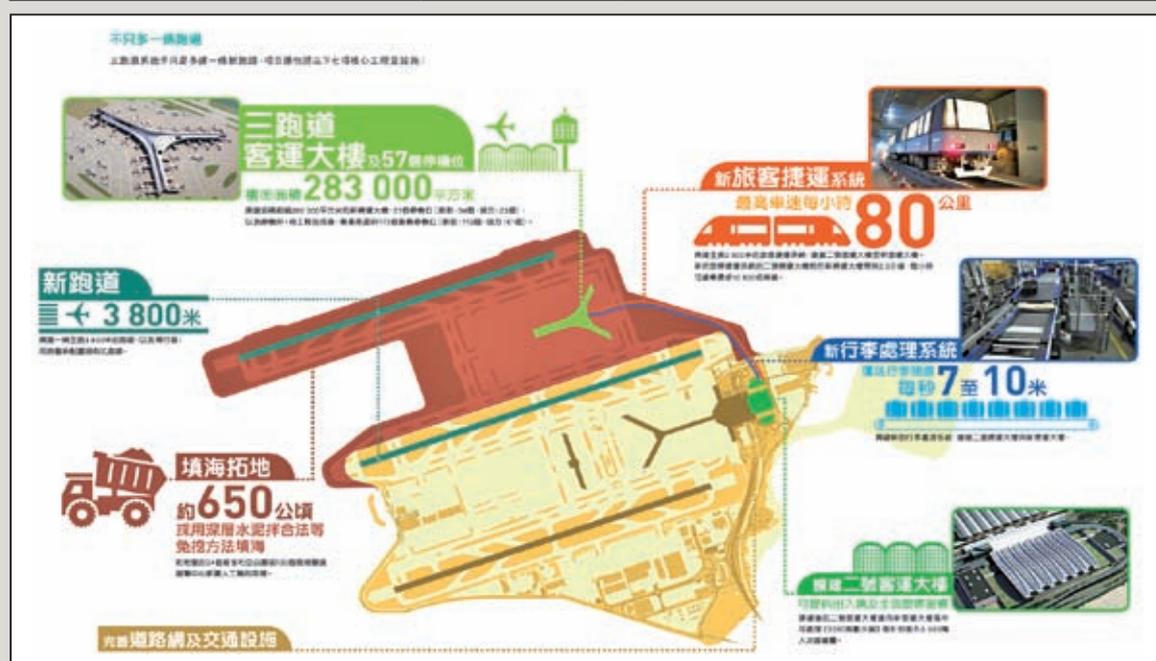


圖3 香港機場2030年發展藍圖

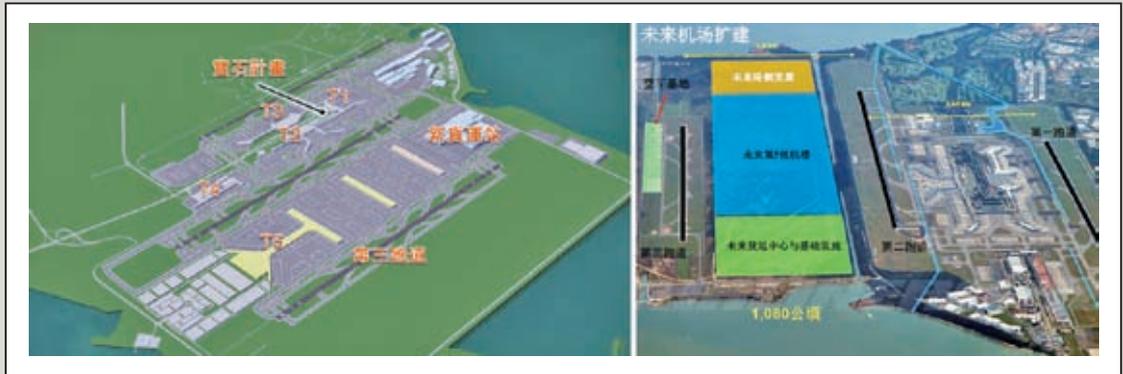


圖4 新加坡樟宜機場發展藍圖

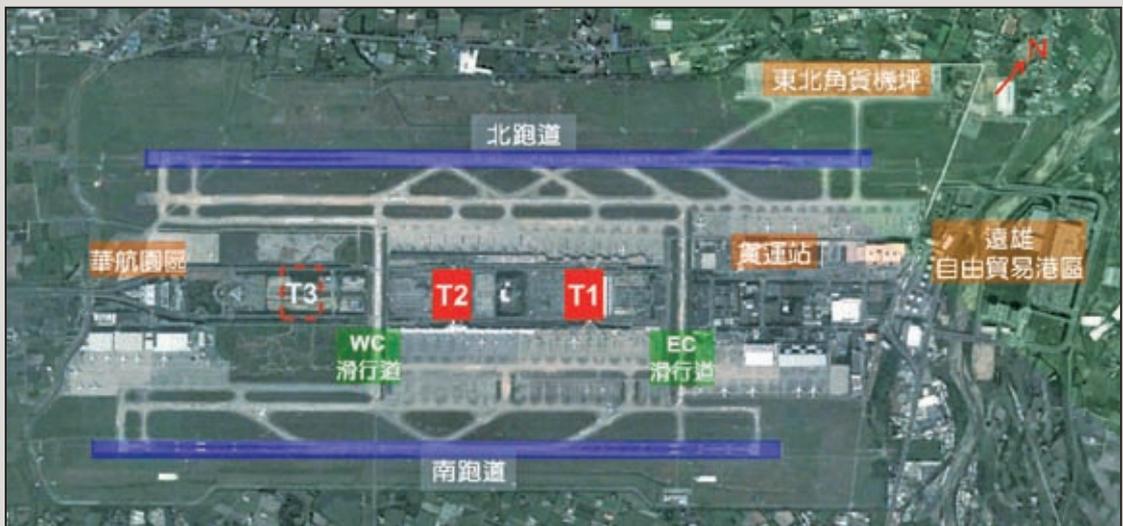


圖5 桃園機場現況平面配置(一)



圖6 桃園機場現況平面配置(二)

貳、第三航站區計畫概述

一、計畫範圍

桃園機場位於桃園市大園區，機場土地面積約1,174公頃，現有兩座航廈及兩條平行跑道等設施，如圖5、圖6。機場目前包含三大區塊，由東向西分別為第一航廈(T1)、第二航廈(T2)及WC滑行道。此外，最東側尚有EC滑行道，於西側入口處附近區域則有長榮航勤公司/長榮航太公司及中華航空公司。航站南、北路以東西雙向方式貫穿機場區域，是本計畫發展

的限制之一。

桃園機場WC滑行道遷建及雙線化工程目前正在施工中，由現在的位置向西側遷移740公尺至原航空科學博物館位址處，所騰空之土地，亦即新建WC滑行道至第二航廈間，將興建第三航廈(T3)及多功能大樓(MFB)。多功能大樓包括所有的陸側設施，如大眾運輸轉運設施、停車場、旅館及綜合商業區，透過多功能大樓可串連第三航廈與第二航廈，型構巨型航站(Mega Terminal)的概念，如圖7、圖8所示。

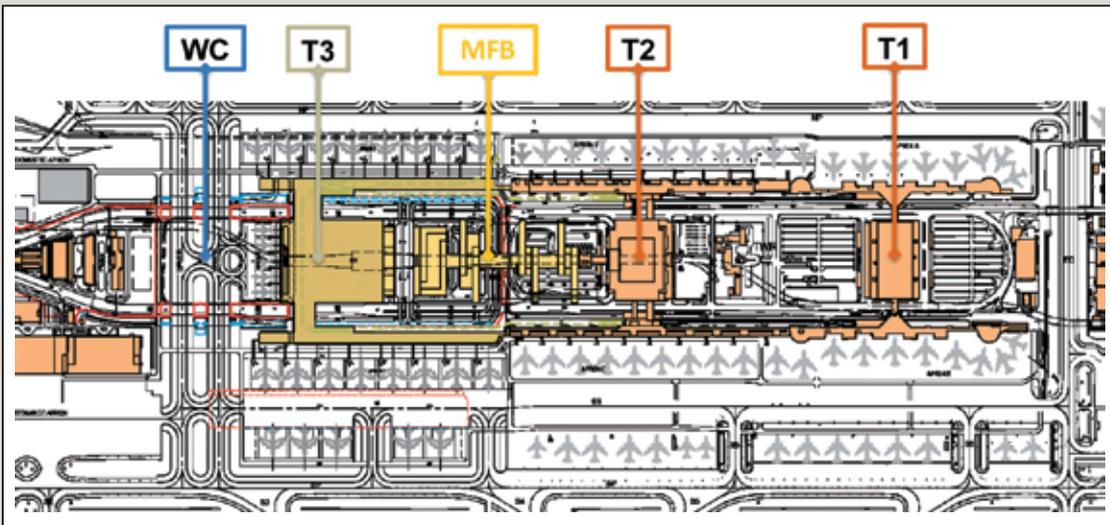


圖7 第三航站區工程範圍(一)



圖8 第三航站區工程範圍(二)

二、工作項目及內容

桃園機場第三航站區的設計工作項目，概要如下(圖9、圖10)：

(一) 建物類(含建築、結構及機電管線)

1. 第三航廈主體
2. 第三航廈登機廊廳
3. 多功能大樓裙樓層
4. 多功能大樓旅館
5. 多功能大樓辦公室
6. 能源中心
7. 自來水處理廠

(二) 基礎設施類

1. 空側
 - (1) 滑行道系統
 - (2) 勤務道路

(3) 停機坪E、F、G

(4) 自動旅客運輸系統(車站結構)通往衛星廊廳(APM)

(5) 連結第二航廈之旅客運輸系統(PMS)

(6) 地下共同管道

2. 陸側

(1) 航站北路及航站南路

(2) 主航廈聯外道路

桃園機場第三航站區設計工作自2015年12月正式展開，基本設計成果於2016年5月提送，10月核定，目前賡續辦理細部設計，依施工時程需求，分標提送細部設計成果，其中第三航廈主體工程及多功能大樓，預定2018年第一季發包施工，整體計畫以2020年完工為目標，並於完成試營運後，2021年啟用。

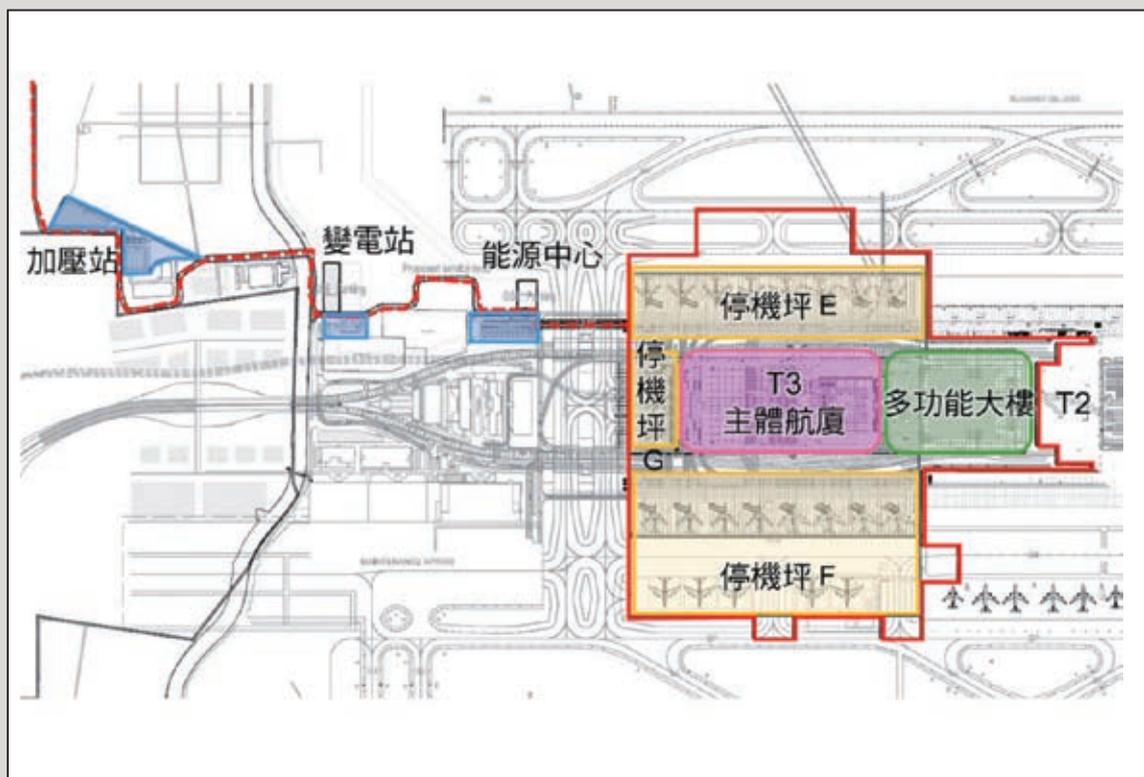


圖9 第三航站區工作項目

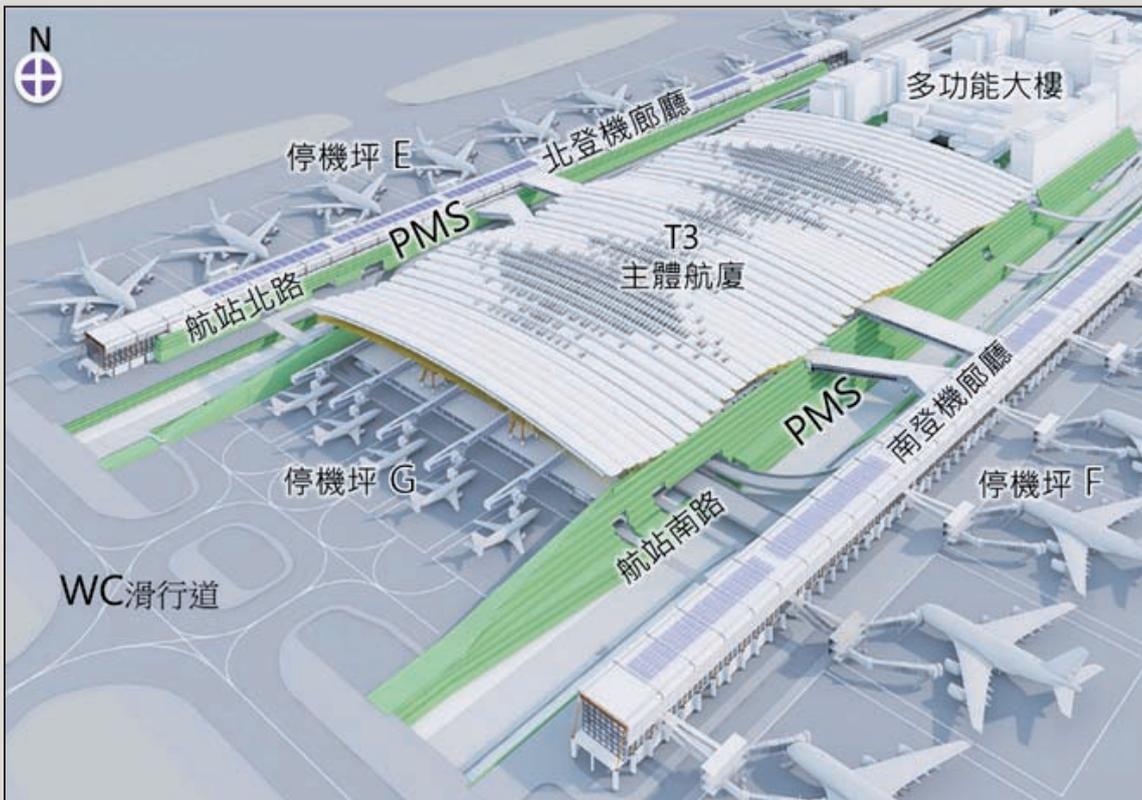


圖10 第三航廈及多功能大樓模擬圖

參、第三航廈建築設計

一、設計需求

第三航廈按照國際航空運輸協會(International Air Transport Association)、國際民航組織(International Civil Aviation Organization)及美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration)最新頒布的機場設計規範及標準進行設計，將提供尖峰小時每位旅客50平方公尺的空間，總樓地板面積約達385,130平方公尺，符合A級之服務水準(Level of Service)，整體設計需求如表3、表4。

表3 T3設計需求表

主要設計參數	
服務水準	A級
旅客設施處理量 (2042年)	4,500萬旅客/年
空側之旅客處理量 (2042年)	2,000萬旅客/年
尖峰小時旅客容量 (2042)	入境：5,900人次/小時、 出境：6,430人次/小時
尖峰小時行李處理量	10,000件行李/小時
靠站停機位數量及規模	4-CodeF/MARS、 12-CodeE/MARS、 5-CodeC
T3總樓地板面積 (含登機廊廳)	385,130m ²
多功能大樓樓地板面積	辦公區150,000m ² 、 旅館區45,000m ²

表4 MFB設計需求表

使用別	第一期	第二期	面積
辦公大樓	公務機關及航空公司使用 27,000m ²	使用者待定 61,000m ²	88,000m ²
旅館	四星級機場旅館(250房) 17,000m ²	五星級旅館(300房) 34,000m ²	51,000m ²
商場	零售、餐飲、娛樂、服務 56,000m ²	NA	56,000m ²
分期面積	100,000m ²	95,000m ²	195,000m ²



圖11 真善美的第三航廈

二、設計目標

桃園機場第三航站區的整體設計工作，由本公司、羅傑斯史達克哈伯建築師事務所 (Rogers Stirk Harbour + Partners)、奧雅納工程顧問香港有限公司(Ove Arup and Partners Hong Kong Limited)及宗邁建築師事務所，共同組成JV技術服務團隊積極辦理中，以兼具使用效能與空間內涵的創新方案，試將第三航廈打造為一座真、善、美的最佳航廈(圖11)。

美，指的是航廈建築的設計核心，藉由建築樣式的優美與空間及地域產生共鳴，使能夠

吸引視覺、展現意象。善，由於機場是充滿機能性的建築，故必須有完善的機能、空間、動線、設備、交通，才能賦予機場生命力。真，則是指航廈在外部上要有堅實的基礎及結構，在內部上需有良好而可落實的計畫管理及工進排程，能如期、如質、如度的完成整體建設。

三、建築設計概念

全球各地越來越多的旅客企望享受新的飛行消費方式及體驗更舒適的飛行旅程，故旅客舒適度的重要性逐步成長，其不僅改變飛機客艙的慣有設計，亦同時對於機場航廈空間理念

有所影響。依此，桃園機場第三航廈的建築設計概念及訴求願景，包括：新世代標竿航廈、臺灣門戶新意象、人本智慧綠建築、高品質彈性空間、滿足多元旅客需求、快捷的轉機動線、頂級的購物體驗。

(一) 新世代標竿航廈

第三航站區的興建，以兼顧軟硬體發展策略，建構「巨型航站(Mega Terminal)」的概念進行設計。航廈的設計需考量不同客群、整合多種運輸系統、規劃不同訪客的動線，以及因應未來可能擴充的彈性空間配置。第三航廈亦是桃園航空城的發展主軸，藉由引進國際商貿、會展、物流、金融、通信、科技、研發、遊憩、休閒、生活等機能，匯集人流、商流、資金流及資訊流，帶動機場及周邊土地與產業繁榮發展，建設現代化、多功能的航空都會城。

(二) 臺灣門戶新意象

第三航廈是臺灣通往世界的門戶，其意象塑造自然成為首要的設計重點，將透過空間形式、建築元素及裝飾材料，表達出地方特性，以及對未來發展的想像，讓世界各地旅客一眼就能認出，並能很清楚的與臺灣文化產生連結。

鑑於任何建築樣式的新願景，必須藉由建築物本身來提升，並與空間及地域產生共鳴，第三航廈的設計靈感來自於海洋環繞的臺灣，藉由美麗的自然景觀與生命的韻律創造一系列獨特的室內空間氛圍，並由優美堅固的屋頂保護著。建築內的空間配置，則如同其座落之環境。柔軟可塑的天花板表面，如同天上流動的雲朵於內部型塑出不同功能的空間，T3的整體建築意念為「堅固外殼，柔軟核心」。

屋頂的波浪起伏，擬態自鳥類飛行的展翅律動(圖12)，屋頂單元紋理讓人聯想起臺灣傳統建築物的屋瓦壘疊(圖13、圖14)；仰望懸吊於大廳之上管點陣列，彷彿

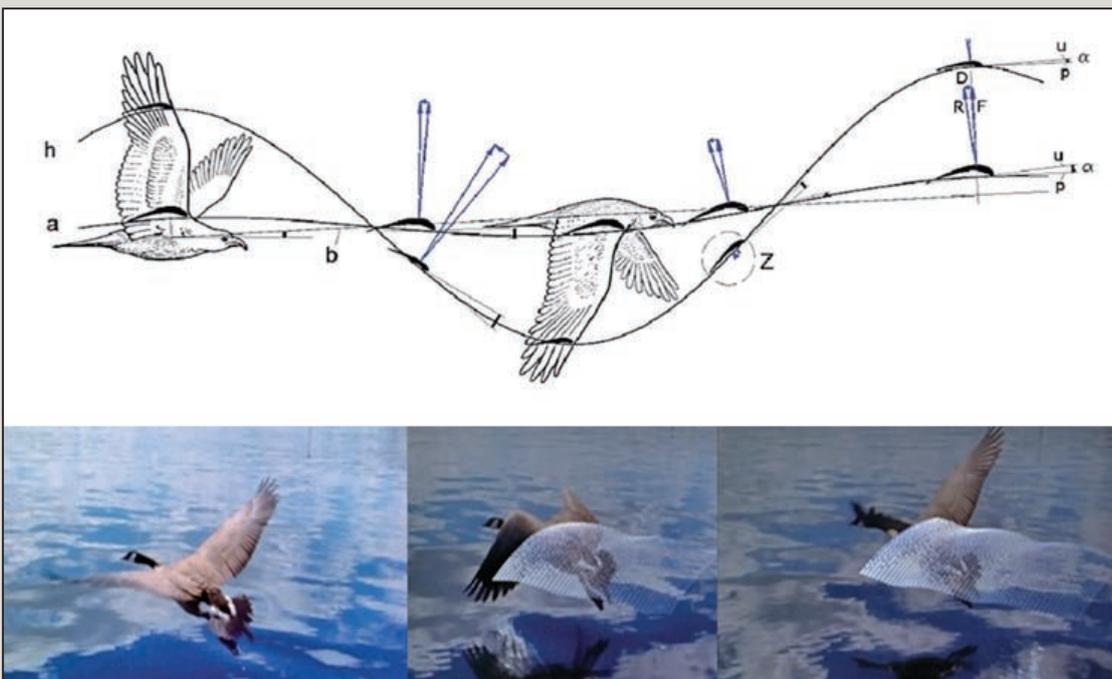


圖12 擬態自鳥類飛行的展翅律動

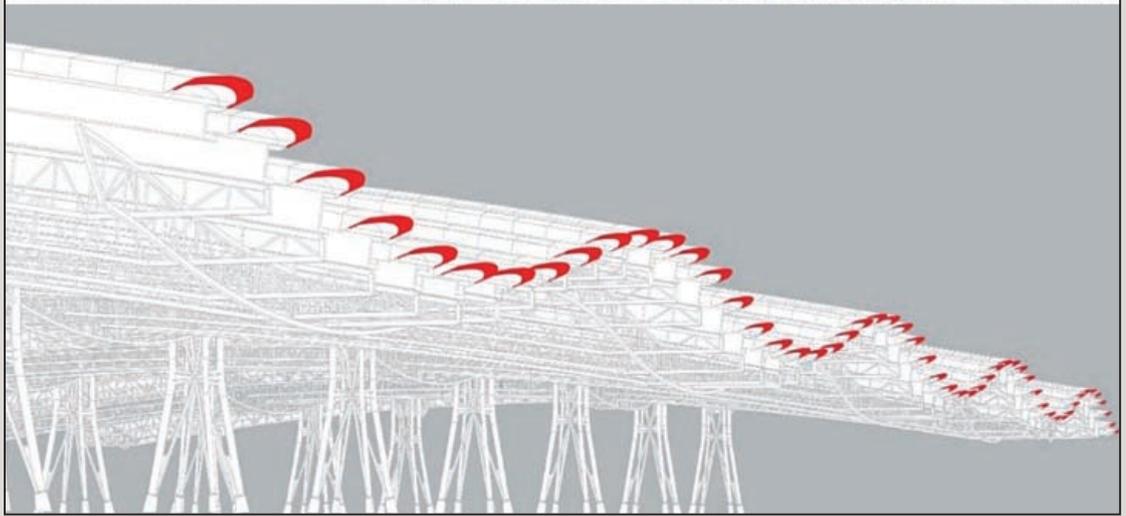


圖13 引入在地建築元素



圖14 屋頂的波浪起伏代表臺灣門戶新意象

一覽雲海飄浮；行駛於夾道綠坡之間，有如置身於山谷悠遊；原生種的植栽為航廈內外抹上生意盎然的綠妝。第三航廈的建築設計中，處處融入臺灣特有人文及自然景觀意象，以期國人或來客到訪時，能欣然領會寶島之美。

(三) 人本智慧綠建築

第三航廈的設計方案以人本的角度出發，將旅客的舒適親和納為優先考量，創造出美觀、有效率、並兼具空間內涵的綠建築航廈。特別將入境廊廳、出境層、入



圖 15 高低起伏的懸吊式天花如雲海飄浮

境層設置於單一量體、同一挑高空間，讓旅客由入境廊廳前往行李提領大廳途中，可從高處俯瞰整個出、入境大廳，感受寬廣而連續的空間律動，可讓旅客耳目一新。

航廈有寬廣的內部空間，明確的空間方向感，旅客可感受高效率、舒適、獨特且優質的入境和出境體驗。高低起伏的懸吊式天花，除能隨著使用活動的性質塑造各區空間的疏密感，其管狀構件能漫射自屋頂天窗的引進自然光線，更具備吸音功能，以調和建築內部聲、光氛圍(圖15)。

未來第三航廈將有大量的使用者，可以預期聲音反響將會是一個需要克服的主要問題，特別是大型挑高的廳室。在音響控制上，著重於抑制環境噪音及聲音殘響，以達到廣播系統的播放內容清楚可辨；在室內裝潢上，盡可能採用適合的吸音材料，避免回音往復傳播。

第三航廈是一座以節能減碳為考慮的綠建築，追求建築與環境的和諧共存，在建築設計中特別考量對降低對環境的衝

擊、節約能源、減少廢棄物，營造健康、安全、有善的航廈空間。除在屋頂上裝置太陽能板外，也設置了高隔熱效能的屋頂及外牆系統、外遮陽系統、隔熱採光天窗、雨水回收系統，並配備有高效的給水、照明、空調系統(圖16)。第三航廈設定將取得臺灣綠建築標章(EEWH)黃金級認證、智慧建築標章黃金級認證、美國綠建築協會(LEED)金質標章。

智慧建築係指在建築科技中整合資通訊技術，擴大用戶的舒適度，提升建築系統的使用效率及效能，以確保建築的永續使用。

第三航廈的智慧設計，包括：機場資通訊整合及交換平台、飛航營運管理系統、旅客服務與安檢系統、開發維運管理系統，總計52項子系統(圖17、圖18、表5)。對外提供以旅客為中心的服務模式；對內提供航廈營運所需的使用、能源及安全管理資、通訊服務。航廈設計採用資通訊技術的裝備，以其較快速的互動能力，強化對旅客的服務，改善旅客的機場經驗(圖19、圖20)。例如，人臉識別技術

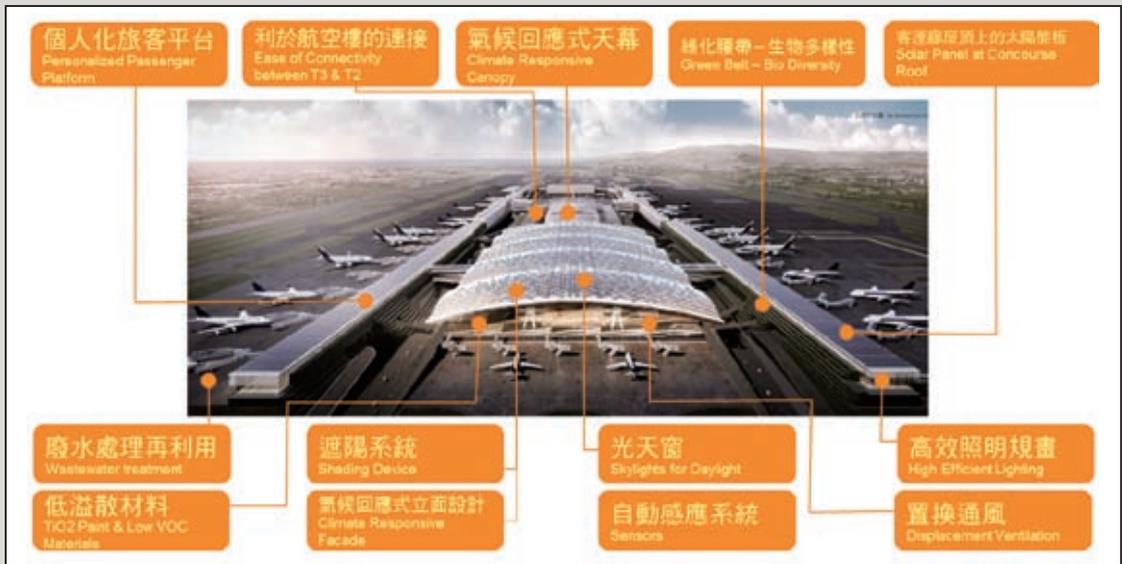


圖16 永續智慧綠航廈



圖17 智慧機場系統架構(一)



圖18 智慧機場系統架構(二)

表5 智慧航廈資訊系統表

資通訊系統 軟硬體平台	機場飛航營運 管理系統	機場旅客服務 與安檢系統	機場開發維運 管理系統
資料中心及 備援資料中心	空域動態資訊系統(ADIS)	行李處理系統 (BHS)	貨運處理/管理系統 (CPS)
外部網路	航空器服務系統(ASS)	行李訊息系統(BMS)	商業智慧系統(BIS)
內部網路(骨幹網路)	機場數值地圖(ADM)	行李追蹤系統(BTS)	專案管理系統(PMIS)
區域網路 (LAN)	機場營運資料庫 (AODB)	共用旅客處理系統 (CUPPS)	機場收入管理 (ARM)
廣域網路 (WAN)	停機坪與空橋管理系統 (AABMS)	自助行李托運 (CUSBD)	圖文管理系統 (DDMS)
虛擬私人網路 (VPN)	資源管理系統 (RMS)	自動登機閘門 (CUSBG)	空間與租賃管理系統 (SLMS)
網路安全管理 (NSM)	氣象追蹤系統 (WTS)	共用自助服務亭 (CUSS Kiosks)	
無線網路	個人化服務系統(PSS)	門禁管制系統(ACS)	
集群無線電系統	指揮與控制中心系統 (CCCS)	隨身行李掃描系統 (CBSS)	
機場專用交換機 電話系統	機動指揮所系統 (MCPS)	海關/移民署	
IP電話	緊急應變系統(ERS)	旅客追蹤系統(PTS)	
公共廣播系統	地理資訊系統(GIS)	自動旅客輸送系統 (APM)	
管線系統	3D視覺系統(TDVS)	建物管理系統(BAS)	
飛航資訊顯示系統 (FIDS)整合廣告、 登機閘門顯示系統， 行李資訊顯示系統	機場協調決策平台 (ACDMP)	自動行人道(MW)	
智慧型指示牌與多用途 資訊顯示系統(ISDS)		旅客運輸系統(PMS)	
閉路電視系統			
機場營運控制系統中心 (AOCC)			



圖 19 出境乘客智慧體驗

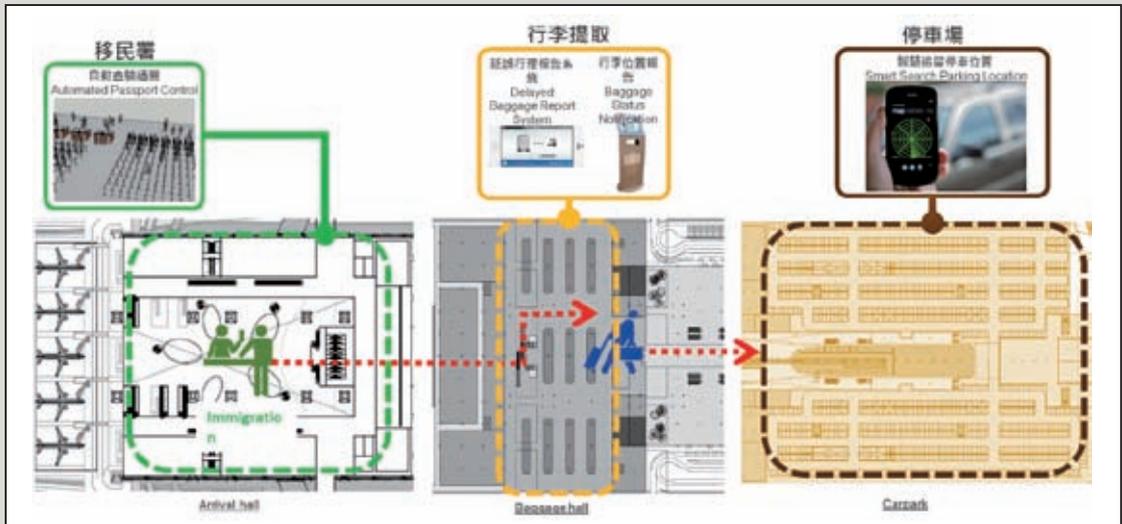


圖20 入境乘客智慧體驗

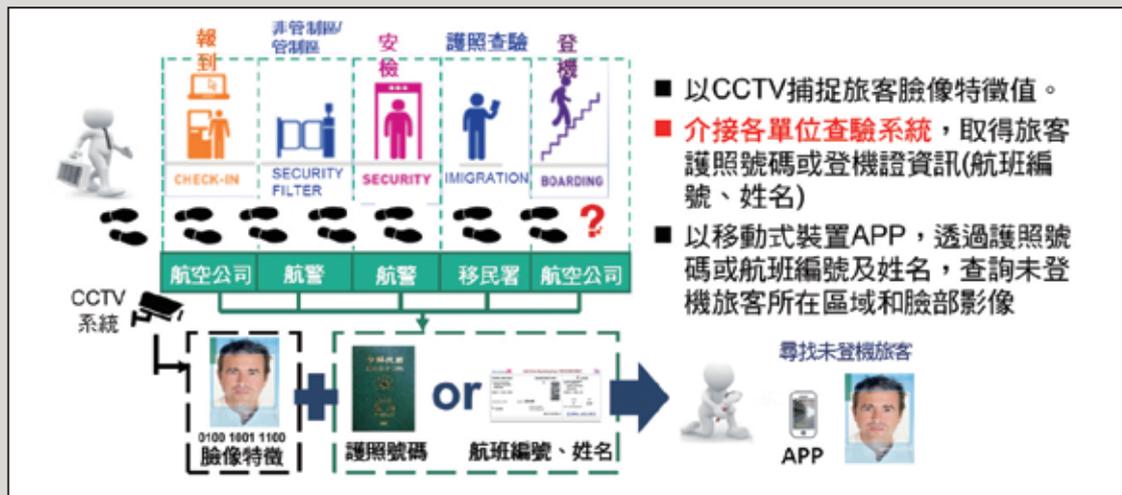


圖21 旅客辨識系統示意

可以大幅減少櫃檯報到及登機安檢的時間(圖21)。資通訊技術亦能連接到機場數位指標系統，自動將訊息翻譯成期望的語言，然後送到使用者的手機裡。航廈內也提供便利的上網服務，旅客可以即時查詢航班資訊、個人化的商業服務及追蹤所在地。

(四) 高品質彈性空間

第三航廈是一個龐大而複雜的空間載體，許多不同系統在其中運作，各別空間及系統不僅要能充分達到其關鍵績效指標，相關設施之間亦需相互配合，方能優

化營運管理效率。第三航廈採用模組化的空間架構及大跨距的結構系統，以開放式平面配置保持營運及擴充的彈性(圖22)。

報到大廳內報到櫃檯島區配置預為考量未來科技發展，提供最大的彈性以因應需求的變化。報到區的配置，往往取決於行李垂直輸送點的位置，由於垂直輸送設備需穿過樓板連接到行李處理層，位置是固定的，因此報到島區的彈性在於島的長度，透過長短變化能夠滿足運量與科技的發展。由於未來的發展將朝向網路線上報到，再於現場託運行李，且無託運行李的

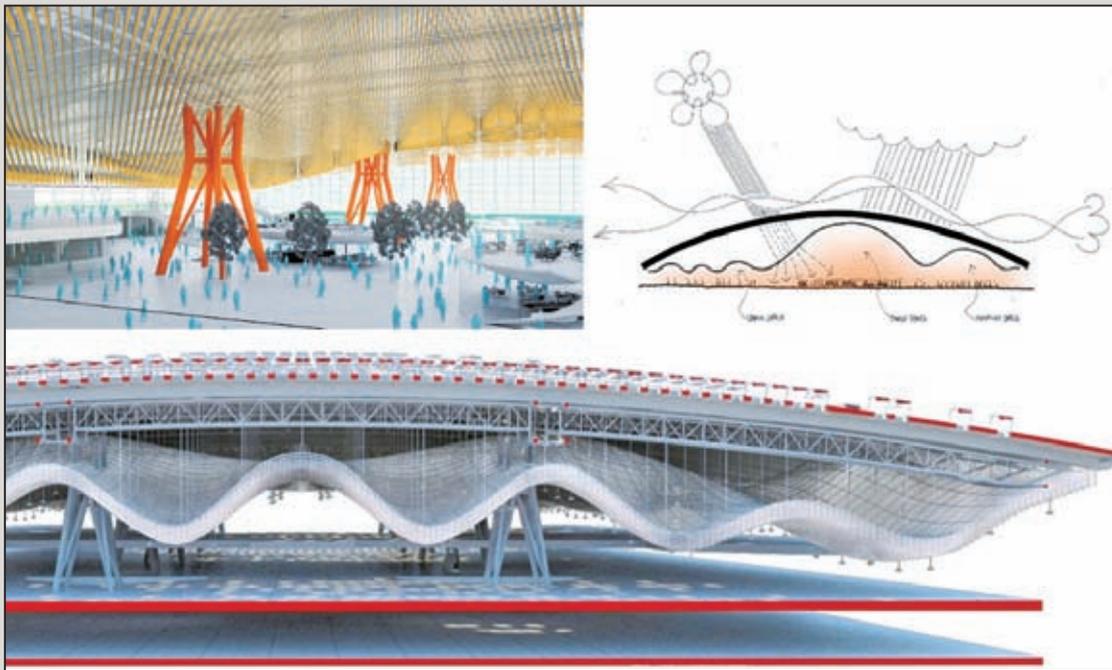


圖22 模矩化空間架構及大跨距結構系統

旅客也預計會越來越多，因此可以縮減報到櫃檯寬度，使報到大廳有更多餘裕的空間(圖23、圖24)。

另針對維持機場營運的各項特殊系統預留擴充容量，保持資訊通訊系統(Information Communication Technology System)、行李處理系統(Baggage Handling

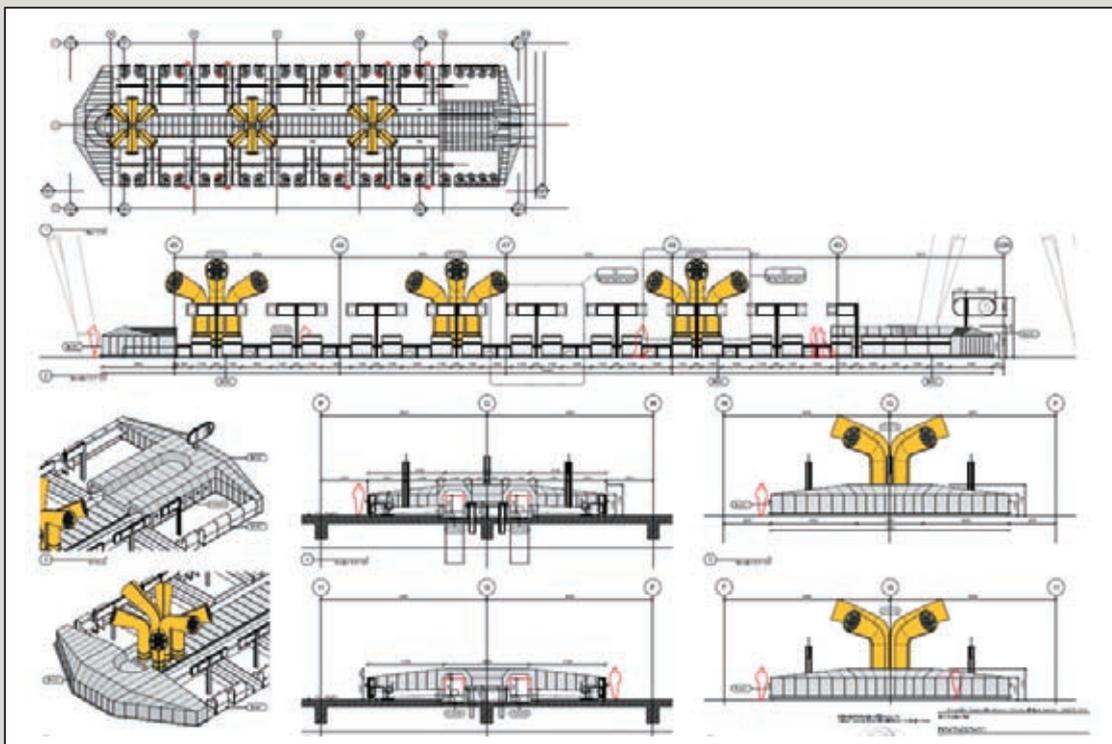


圖23 標竿水準之報到櫃檯



圖24 報到大廳室內透視

System)、彈性停機位(Multi Aircraft Ramping Stands)、空橋系統(Passenger Boarding Bridge System)、銜接第一、二航廈的旅客運輸系統(People Mover System)、銜接衛星廊廳的自動化旅客運輸系統(Automated People Mover)未來增、改建的彈性。

(五) 滿足多元旅客需要

第三航廈的設計針對不同需求的旅客做出合理、易辨識的出、入境規劃。報到大廳設置航空公司、保險業者及行李打包櫃檯提供旅客服務。報到櫃檯分布於6個島區，每個島區具有34個櫃台，總共有204個櫃台。團體旅客可至團體報到櫃檯辦理報到手續；一般旅客能使用自助報到機(Self-service Check-in Kiosk)、行李自助託運櫃檯或傳統報到櫃檯辦理報到手續。旅客及行李的處理流程採用最先進的科技，包括自助登機證、自助行李託運及無線射頻行李辨識(Radio Frequency Identification)。

完成報到手續後，旅客即可進入大廳後方的安檢及護照查驗區。安檢區的設

計重點在於減少旅客潛在的壓力，提供最符合直覺的安檢流程，儘量減少對旅客旅程的干擾。旅客通過護照查驗後即進入空側商業區或航空公司貴賓室(Airline/VIP Lounges)，在登機前享受購物、餐飲及休閒服務(圖25)。航空公司貴賓室位於航廈主體4層，鄰近連接登機廊廳的空橋及空側商業，於南、北側各設置一處。

第三航廈每天都將有相當大量的使用者及員工進出，進出人員可能包括幼童、老人、孕婦、拄拐杖或坐輪椅的病人等行動不便人士，因此提供一個輕鬆、便利並能確保每一個人安全的無障礙設計是非常重要的。第三航廈各處設有無障礙設施，提供行動不便或有需要的旅客親切、體貼的服務，並將通用設計準則擴大到更廣大群眾的設計議題之上，將所有不同人員，包括身體及認知能力納入考量的設計策略，確使無論種族、年齡、性別、身體狀況及認知能力，每一個人都應能夠自在的、有尊嚴的，獨立完成各自的活動。(圖26、圖27)



圖25 明亮大空間的空側商業區

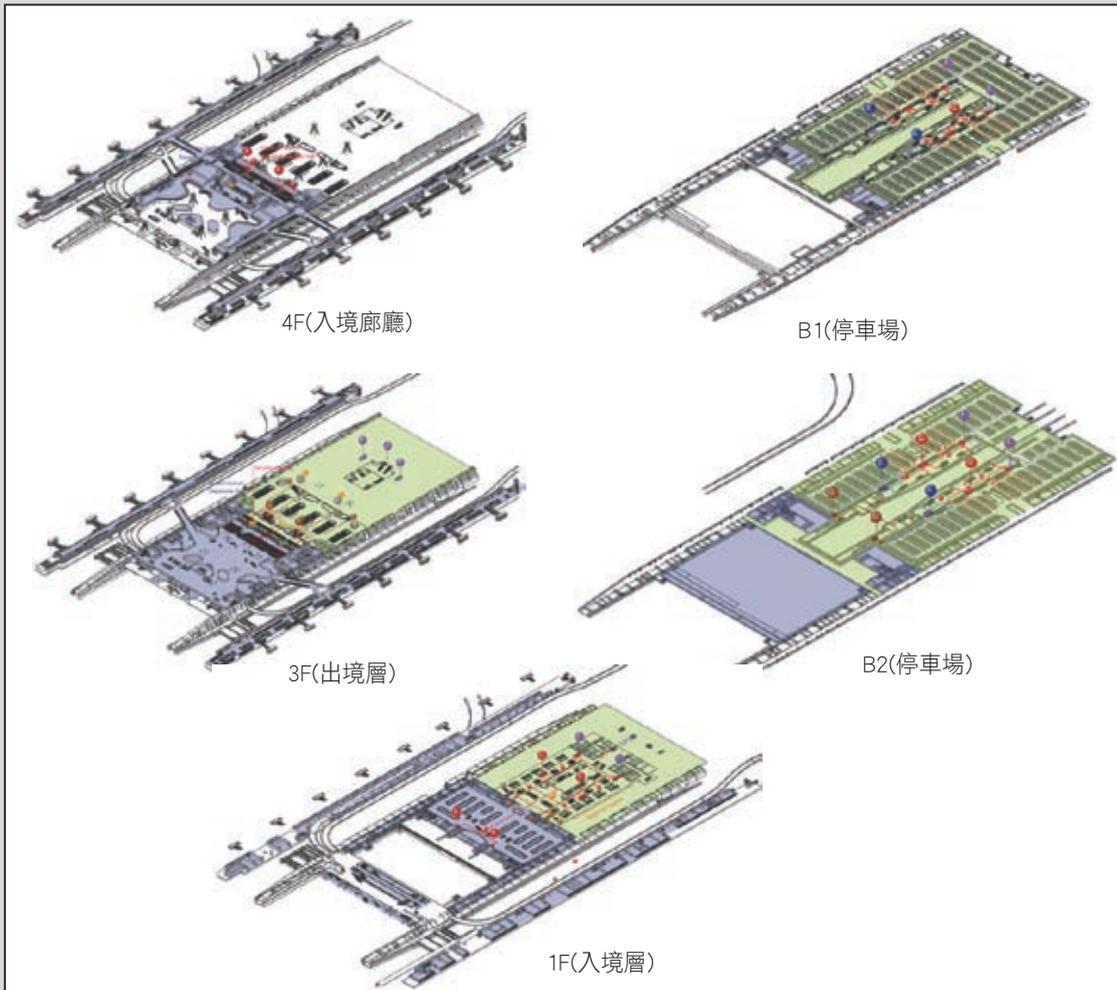


圖26 陸側旅客動線圖

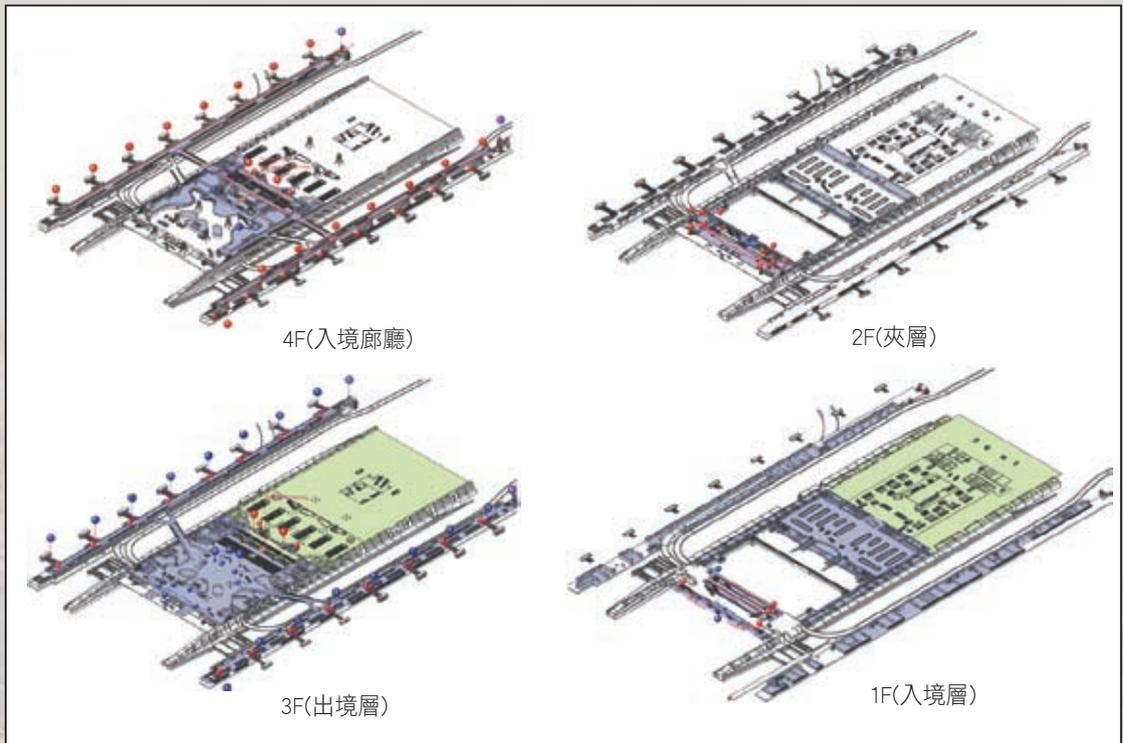


圖27 空側旅客動線圖

(六) 快捷的轉機路線

自出境下車處到至登機門提供明確且直接的旅客路徑。出、入境樓層視野開闊通透，儘量減少抉擇路口，輔以符合直覺的尋路指示，並於適當節點設置視覺地標，提高旅客的方向感。

出境旅客自報到至登機門等候區動線均在3樓，全程無需變換樓層。入境旅客則於下機後由4樓入境廊廳進入，通過位於航廈中央區的證照查驗櫃檯後下至位於1樓行李提領大廳，並由此通關入境；轉機旅客由4樓入境廊廳前往位於於航廈中央區的轉機櫃檯，轉機旅客皆為國際航班間之換乘，不必進行護照查驗，只須經轉機安檢後再下至3樓空側商業區匯入出境旅客(圖28)。配合簡潔的標誌系統及空側設施順暢的連結性，可大幅改善旅客動線，預期轉機時間可減少至40分鐘內。

另有銜接第一、二航廈的旅客運輸系統(People Mover System)、銜接衛星廊廳的自動化旅客運輸系統(Automated People Mover)及遠端機位接駁巴士的站台，集中並列於第三航廈西側1樓，為往返於航廈之間的旅客提供便捷的運輸服務。

(七) 頂級的購物體驗

過往，機場航廈的設計理念單純的只是旅客搭機的場所，僅附設有限的餐廳、便利商店及服務國際航線旅客的免稅商店；現今，商業空間不再只是錦上添花的設施，其提供旅客服務、娛樂及聚會是與日俱增的趨勢。以新加坡樟宜機場的經驗，設有異國風情的花園、電影院、屋頂室外游泳池、運動場、健身房及娛樂場，讓每位旅客都能得其所好，樂於消費其間，創造機場營收，使機場超過半數的收入來自於非航空類的財源。

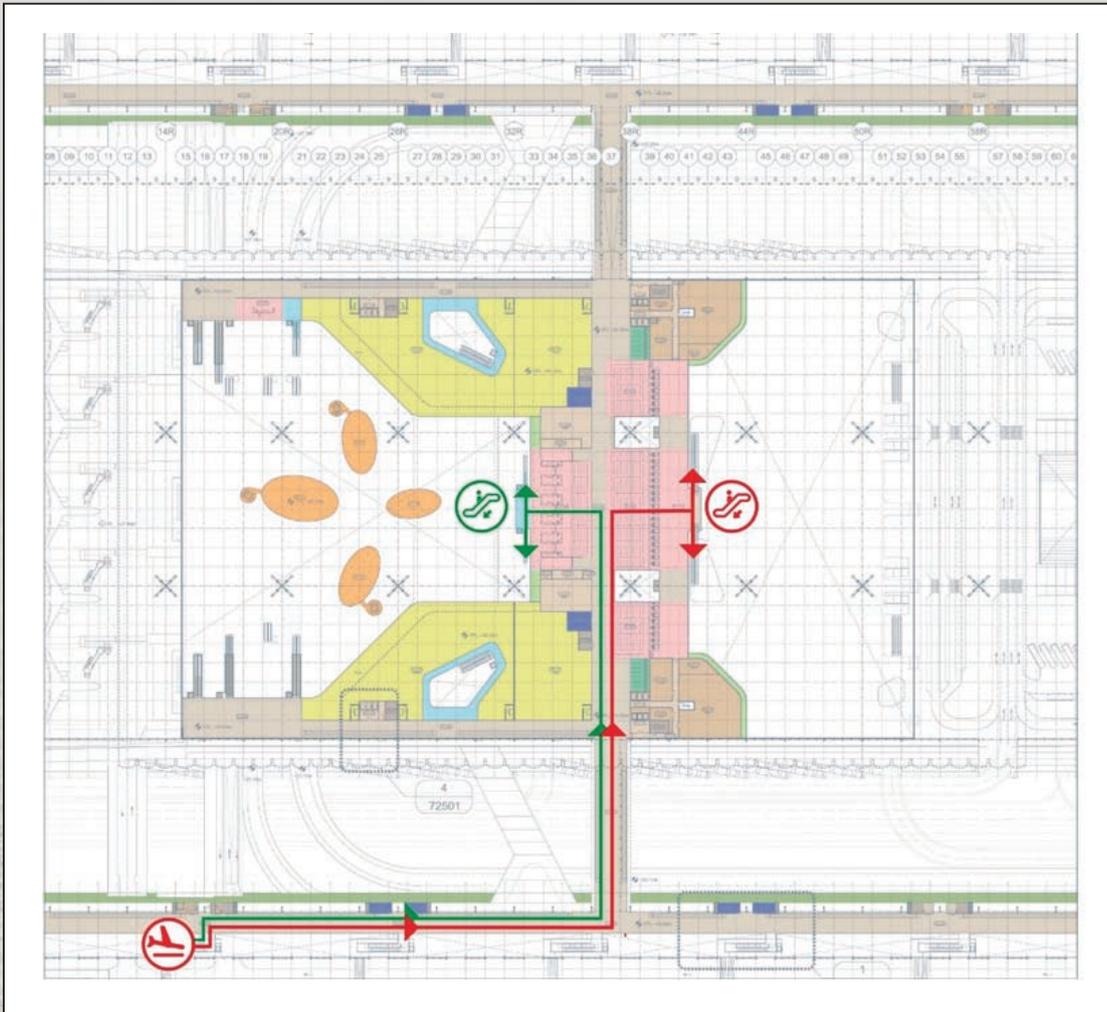


圖28 簡潔明確的轉機動線

桃園機場為增益非航空類收入，第三航廈及多功能大樓均附設商業設施，其配置完全順應旅客搭機流程。陸側出、入境旅客及工作人員會帶來一定的商機，服務出境旅客的商業設施，位於行李託運櫃台與安檢站之間；服務入境旅客的商業設施位於接機等候區，並以接機民眾為主要客源。空側商業設施則集中設置於證照查驗櫃台之後，此時出境旅客已完成所有查驗程序，可以放鬆心情，於登機前享受購物、飲食之趣。

肆、結語

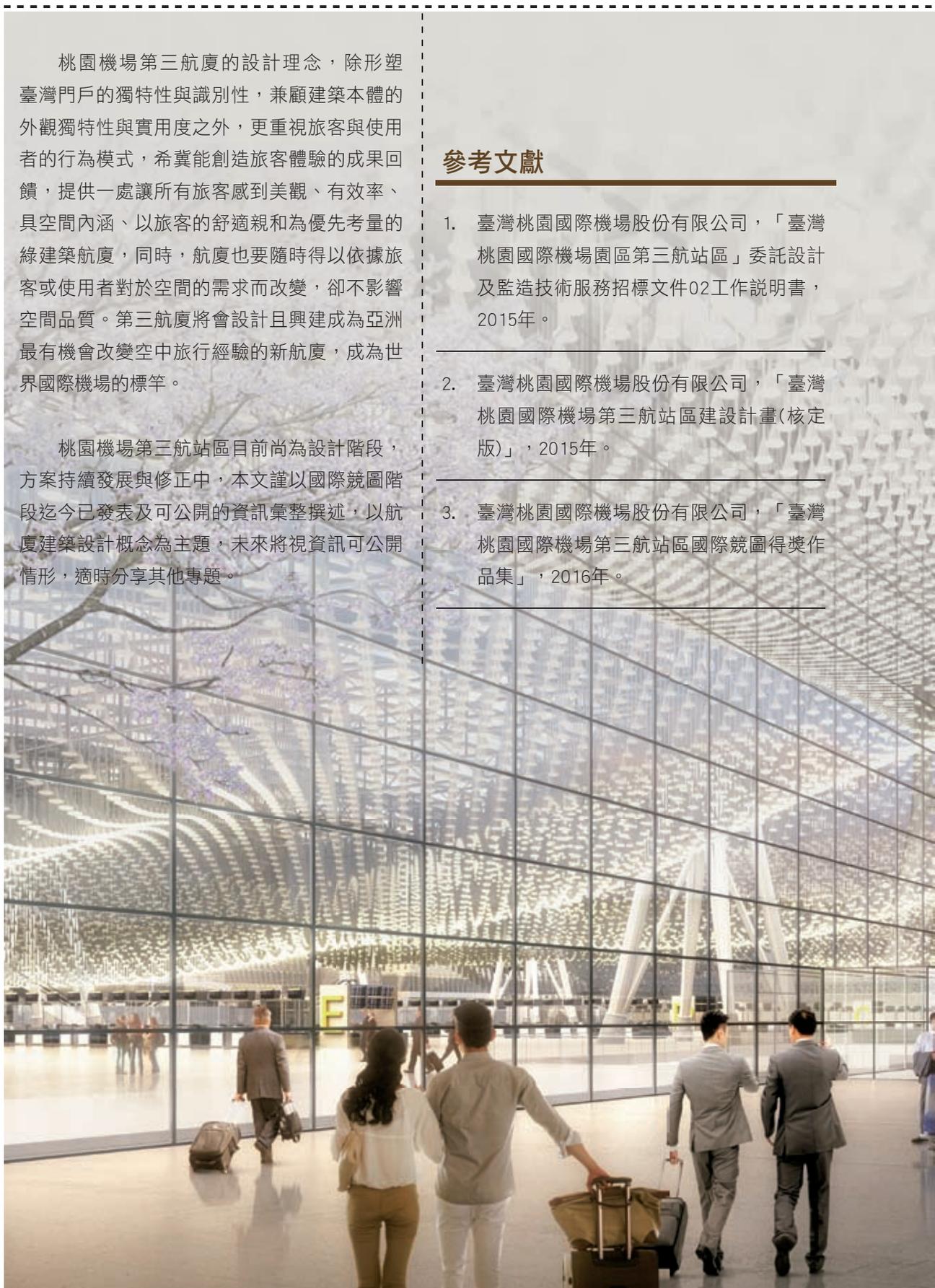
桃園國際機場作為「國家門戶」，扮演臺灣與世界經貿接軌的重要角色，歷經經濟蓬勃發展及近年飛航需求急速成長的年代，既感受成長繁榮的喜悅，也同時體會機場整體服務需求提升的壓力，更面臨亞太地區各國機場的激烈競爭，不進則退。因此，積極完成第三航站區的建設，更或是推動第三跑道及衛星廊廳的建設，應是國人要共同努力的國家目標。

桃園機場第三航廈的設計理念，除形塑臺灣門戶的獨特性與識別性，兼顧建築本體的外觀獨特性與實用度之外，更重視旅客與使用者的行為模式，希冀能創造旅客體驗的成果回饋，提供一處讓所有旅客感到美觀、有效率、具空間內涵、以旅客的舒適親和為優先考量的綠建築航廈，同時，航廈也要隨時得以依據旅客或使用者對於空間的需求而改變，卻不影響空間品質。第三航廈將會設計且興建成為亞洲最有機會改變空中旅行經驗的新航廈，成為世界國際機場的標竿。

桃園機場第三航站區目前尚為設計階段，方案持續發展與修正中，本文謹以國際競圖階段迄今已發表及可公開的資訊彙整撰述，以航廈建築設計概念為主題，未來將視資訊可公開情形，適時分享其他專題。

參考文獻

1. 臺灣桃園國際機場股份有限公司，「臺灣桃園國際機場園區第三航站區」委託設計及監造技術服務招標文件02工作說明書，2015年。
2. 臺灣桃園國際機場股份有限公司，「臺灣桃園國際機場第三航站區建設計畫(核定版)」，2015年。
3. 臺灣桃園國際機場股份有限公司，「臺灣桃園國際機場第三航站區國際競圖得獎作品集」，2016年。



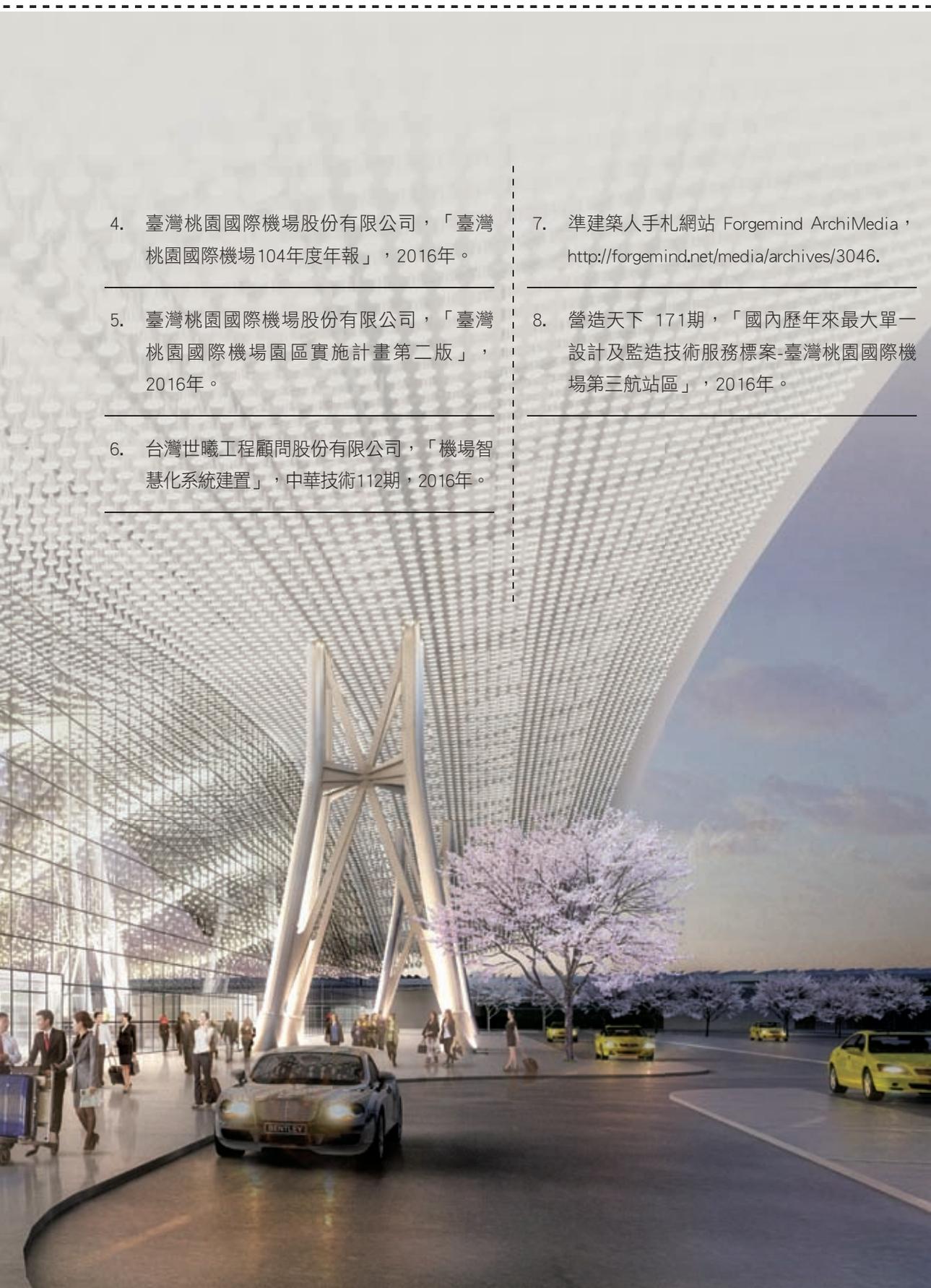
4. 臺灣桃園國際機場股份有限公司，「臺灣桃園國際機場104年度年報」，2016年。

5. 臺灣桃園國際機場股份有限公司，「臺灣桃園國際機場園區實施計畫第二版」，2016年。

6. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「機場智慧化系統建置」，中華技術112期，2016年。

7. 準建築人手札網站 Forgemind ArchiMedia，<http://forgemind.net/media/archives/3046>。

8. 營造天下 171期，「國內歷年來最大單一設計及監造技術服務標案-臺灣桃園國際機場第三航站區」，2016年。



國際港埠新樞紐 —高雄港洲際貨 櫃中心建設計畫

關鍵詞：物流基地、貨櫃中心、倉儲物流區、外廓堤、岸線、新生地填築、
S4-S5碼頭護岸

臺灣港務股份有限公司高雄分公司／開發建設處／處長／羅勝方 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／協理／張欽森 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／計畫副理／簡德深 ❸

摘要 ABSTRACT

「高雄港洲際貨櫃中心計畫」係屬將高雄港打造成為貨櫃轉運樞紐港，同時並啟動高雄港舊港區轉型再造之先期計畫。本計畫完成後可解決高雄港舊港區石化油品儲運業者及中油高雄廠搬遷安置之需求，並建設現代化貨櫃中心吸引航商進駐與大型貨櫃船彎靠，確立亞太地區貨櫃運輸樞紐港地位，促進港市合一，奠立高雄港未來營運根基。

因洲際貨櫃中心計畫為國內近年最大規模之港灣開發案，其基礎工程涵蓋外廓防波堤、岸線(碼頭及護岸)、填海造地、貨櫃碼頭...等超過百億元之大型工程標案，各工程推動除須配合政策以民國108年前完成為目標外，實質工程推動上尚需將大自然天候影響及綠色港口需求納入考量。本文除介紹洲際二期計畫整體工程與目標外，並將主要大型標案工程之創新作為與工程特色提出介紹與說明。



壹、洲際貨櫃中心開發歷程

「高雄港洲際貨櫃中心計畫」為國內近10年來最大型之港灣工程計畫，其目標係為將高雄港打造為貨櫃轉運樞紐港，並啟動高雄港舊港區轉型再造之先期計畫。本計畫屬「高雄海空經貿城整體發展綱要計畫」，並已列為政府「黃金十年」海空樞紐施政主軸之重要發展計畫。

依開發區位與執行期程之不同，本計畫區分為洲際第一期計畫、洲際第二期計畫等二大部分。其第一期工程已全數完工；目前第二期工程(以下簡稱洲際二期計畫)正積極展開中。洲際二期計畫完成後可提供倉儲物流區、貨櫃中心、散雜貨碼頭及物流中心等基礎設施需求。藉由本計畫之推動，可將散落於舊港區內具高危險性之石化儲槽，搬遷至外港區之倉儲物流區，同時協助中油高雄廠搬遷安置之需求，並

建設現代化貨櫃中心吸引航商進駐及大型貨櫃船彎靠，確立亞太地區貨櫃運輸樞紐港地位，各期計畫之範圍如圖1所示。



圖1 高雄港洲際貨櫃中心整體發展計畫構想

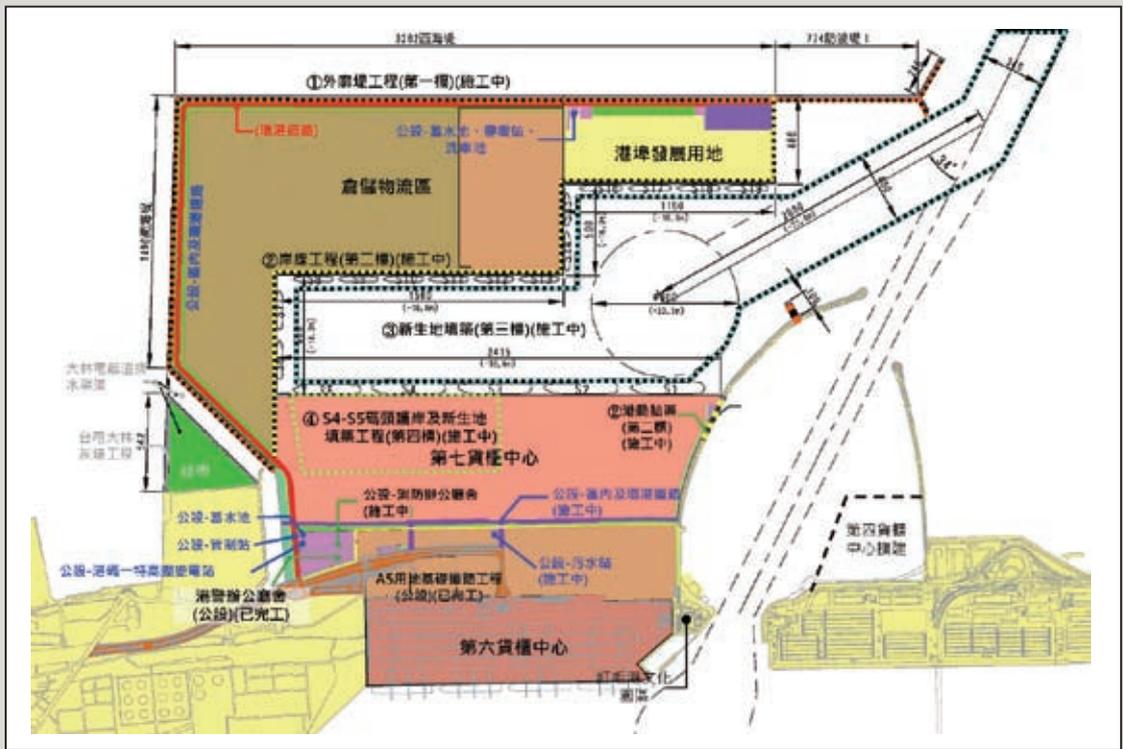


圖2 高雄港洲際貨櫃中心第二期計畫工程開發區位示意圖(政府投資項目)

洲際二期計畫位於高雄港二港口南側，南鄰南星計畫區、北至二港口北防波堤以南，東起洲際一期工程，西臨台灣海峽。洲際二期計畫包括政府與民間投資兩大部分，其中政府辦理事項包括外廓防波堤、岸線、浚挖回填、港勤船渠、區內及外環道路、附屬建築工程，總計政府投資金額約新台幣344.53億元；民間投資項目主要包括倉儲物流區之石化油品儲槽設備(含管線)、第七貨櫃中心棧場興建、機具設備採購等相關項目，總計民間投資約1,161.47億元。本文僅就洲際二期計畫政府投資之各項工程概述說明如下，各工程區位範圍如圖2所示。

貳、開發重點目標

一、協助舊港區石化業者及中油石化儲槽遷建至倉儲物流區，延續石化產業發展

高雄港舊港區內有約300餘座石化油品儲槽

及營運設施散落於中島區及其鄰近區位，緊臨高雄市之核心精華地帶，與高雄市市區發展不相容。因此，遷移與安置高雄港舊港區內石化油品儲槽及營運設施，屬高雄港立即面對之問題。

此外，因中油高雄煉油廠面臨遷廠的時程壓力，急需尋找合適的廠址。在中油公司多次與高雄港務分公司協商後，將由中油公司出資填海造地，並將現有大林煉油廠內油槽遷建至洲際二期計畫內倉儲物流區，可符合中油設置儲槽設施之需求。

在前述需求下，洲際二期計畫預定可提供256.8公頃之土地、10席42,000DWT~100,000DWT以上(S6~S15碼頭)石化油品碼頭供中油及石化業者利用，可解決高雄煉油廠迫切之遷廠問題、提供港區內既有石化業者搬遷所需用地，並有機會進一步整合各家業者，建立南部地區石化原料及油品儲運中心，延續我國石化產業競爭力；且因港埠區位遠離市區，

不會與都市機能相互干擾，有助於改善都市生活環境，並藉由廠區遷建時一併將設備汰舊更新，可達到降低污染、改善環保之效果。

二、建設現代化貨櫃及物流基地，確保樞紐港地位

由於亞太地區經濟持續發展，貨櫃運送需求不斷增加情境下，為提升高雄港之國際競爭力，以滿足未來高雄港貨櫃運輸需求，高雄港務分公司於民國93年間奉行政院核定同意推動洲際貨櫃中心第一期工程計畫，並自民國94年開始辦理紅毛港遷村及第六貨櫃中心興建事宜。惟依據上位計畫之運量預測及碼頭需求分析結果，未來高雄港運量將持續成長，後續仍有再增建碼頭的需求；且隨貨櫃船大型化之發展趨勢，高雄港為維持港埠競爭力，勢須具備因應該等發展趨勢之能力。故本計畫之執行，將提供高雄港建設足夠與新型式之貨櫃碼頭基地之空間，以充份滿足未來高雄港發展之需求。

國際現代化大型貨櫃基地之基本條件，碼頭水深至少須-16.0m，後線縱深應達600m左右；然高雄港除第六貨櫃中心4座碼頭水深可達-16.0m外，其餘貨櫃碼頭皆小於-16.0m，且後線腹地面積較小。洲際二期計畫完成後將可提供5席水深18m、可供22,000TEU超大型貨櫃輪泊靠之現代化貨櫃碼頭，及162公頃之櫃場用地。同時，配合已完成之第六貨櫃中心，本計畫另規劃約51.5公頃之物流園區，可供發展貨櫃運輸、倉儲與物流增值產業，預期可發揮群聚效應，吸引兩岸三通直航後回流之台商投資進駐，提升高雄港競爭力，確保高雄港作為亞太地區貨櫃樞紐港地位。

三、新闢散雜貨碼頭岸線及港埠用地，容納未來運量成長

長期以來高雄港內除中鋼、台電等企業所

使用之專用碼頭外，缺乏可供大宗散雜貨作業之深水碼頭。而現有散雜貨多在中島商港區靠泊裝卸，受限於該區之碼頭水深及腹地條件，無法提供較大型之散雜貨船靠泊；且目前大宗散貨裝卸仍採露天作業方式，亦不符合現行環保法令之規定。故為解決大宗散貨之上述發展困境，除短期繼續改善現有散雜貨碼頭作業環境外，長期而言則需規劃高雄港未來散雜貨碼頭及後線儲運設施所需用地。

因高雄港運量呈現持續成長狀態、加上舊港區石化碼頭遷建所需，後續必需再增建碼頭設施；在港內已無多餘岸線可供開發之條件下，需再新闢碼頭岸線及後線用地，來提供必要之散雜貨碼頭作業環境。

四、整體結構性調整舊港區使用機能，重塑港市共榮生活圈

高雄港歷經多年來的發展，早期配合經濟成長需求不斷的擴建，致使部份港埠分區功能無法整合，同質性業務分散港區各地、難以擴大營運規模，碼頭前後線土地無法連貫，實有必要進行整體結構性的調整；且因港、市之間多年來各自獨立發展，形成目前舊港區內石化油品儲運設施緊鄰市區中心之窘境，不僅業者營運規模受限，連帶影響市區環境品質。透過本計畫外港區之開發，將可提供港區內石化油品儲運業者搬遷所需用地，港埠區位與功能可再重新調整，改善整體港埠環境，並配合市政府都市計畫，進一步帶動舊港區再開發之契機，以營造優質的港都生活空間，重新塑造港市共榮生活圈。

參、港埠基礎設施配置

港埠設施係為船舶運行、交通運輸、土地開發之主要關鍵，本節將介紹洲際二期計畫主

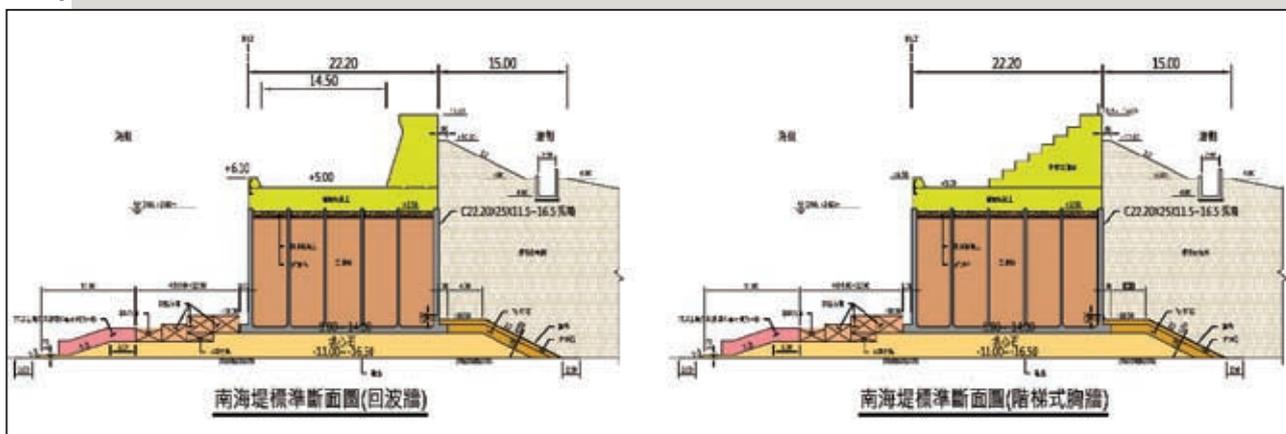


圖3 高雄港洲際貨櫃中心第二期計畫海堤斷面配置圖

要港埠設施供參，各項配置詳圖2所示，其內容分別說明如下：

一、港池配置：航道、迴船池佈設

洲際二期計畫先於海域構築外廓堤，並與二港口舊南防波堤間所圍成水域內，佈設5席水深-18.0m貨櫃碼頭，可供22,000TEU級巨型貨櫃輪靠泊；10席石化碼頭，可供42,000DWT~100,000DWT級以上石化油品輪靠泊；4席散雜貨碼頭，可供70,000DWT散雜貨輪靠泊。

另進港航道採340m寬單向航道規劃，轉折入洲際二期計畫外港區之航道寬度適度拓寬為400m。在由主航道轉入本計畫外港區進港航道後之航道長度為2,000m。而外港區之泊渠寬度採650m規劃、迴船池則採直徑800m規劃。其中外港區之航道、迴船池及港內泊渠之水深-18.0m以上，以滿足22,000TEU貨櫃輪進港泊靠所需。惟考量浚填平衡情況及預留遠期發展彈性，擬將本計畫區內之航道、迴船池及港內泊渠水域適度超挖至-22.0m，除可取得更多港內挖方，減少外海抽砂土方，降低本計畫工程建造成本外，更可降低未來營運期間航道、迴船池及泊渠水域之定期維護浚挖作業；同時，亦能確保未來營運期間之發展彈性。

二、外廓防波堤

外廓堤部分主要由台電溫排水導流渠延伸段末端往外海方向延伸，需構築南海堤2,038m(灰塘南側海堤542m，由台電公司出資及興建)、西海堤3,262m，防波堤1,019m、內堤200m，總計外廓堤長度為6,519m。

外廓堤採沉箱堤設計，依現地水深南、西海堤沉箱高度分別為11.5m~16.5m、-16.5m~17.5m，沉箱寬度則為22.2m。配合堤面維修道路之設置，將胸牆改設置於內側，且每約一段距離設置景觀階梯式胸牆，可收防止波浪越波、降低衝擊波壓、減少沉箱堤斷面尺寸等功效且提升港區景觀效果，其海堤回波牆與階梯式胸牆標準斷面詳圖3所示。

三、岸線配置(碼頭及護岸)

(一) 貨櫃碼頭(S1~S5)

洲際二期計畫港側計有2,415m長碼頭岸線可供開發為5席22,000TEU級巨型貨櫃輪泊靠之貨櫃碼頭，碼頭設計水深採-18.0m規劃，採鋼管樁棧橋式結構，碼頭下方則採拋石護坡，防止浪潮沖刷。為配合「洲際貨櫃中心第一期基礎設施興建

工程」之圍堤(計91座沉箱)原始設計理念，並擷節工程費用支出，本計畫將採用該圍堤工程之沉箱及堤心石料，作為貨櫃碼頭之護岸，長度不足部份則以新建護岸補上，貨櫃碼頭建議標準斷面詳圖4所示。

(二) 石化油品碼頭(S6~S15)

倉儲物流區佈設於洲際二期計畫區南側，並配置10席42,000DWT~100,000DWT級石化油品碼頭，碼頭總長度2,710m，以滿足中油公司及港內石化業者遷移的需求；其中6席由中油公司開發利用，另保留4席供其他舊港區石化業者使用。由於中油公司提出碼頭水深-18.0m之使用需求，故該公司投資碼頭計畫水深將設定為-18.0m，其餘4席石化碼頭水深設定為-16.0m~-18.0m。碼頭結構採沉箱堤設置，可兼作填地護岸使用，碼頭標準斷面詳圖5所示。

(三) 散雜貨碼頭(S16~S19)及護岸

洲際二期計畫另於港埠發展用地之岸線保留了4席散雜貨碼頭，碼頭岸線總長度1,150m，可滿足民國115年散雜貨碼頭不足之需求。碼頭水深設定為-16.0m，採沉箱堤設置，可兼作填地護岸使用，碼頭標準斷面詳圖6；另洲際二期計畫主要規劃護岸為位於港埠發展用地北端486m之西護岸，採沉箱堤護岸結構，如圖7所示。

四、新生地填築工程

洲際二期計畫係接續洲際一期計畫填地工程施作，主要填區包含倉儲物流區、港埠發展用地、第七貨櫃中心(洲際一期計畫海側區域)等區域組成；扣除洲際一期計畫之開發範圍，洲際二期計畫實際填築面積約422.5公頃(不含溫排

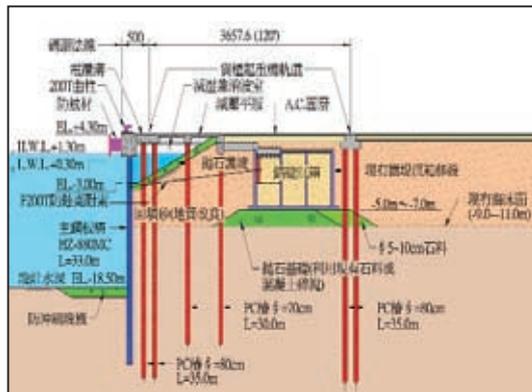


圖4 貨櫃碼頭標準斷面圖(S1~S5)

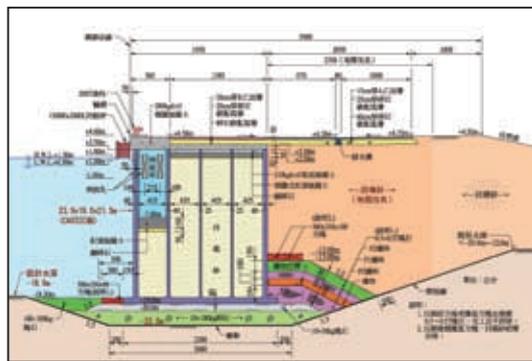


圖5 石化碼頭標準斷面圖(S6~S15)

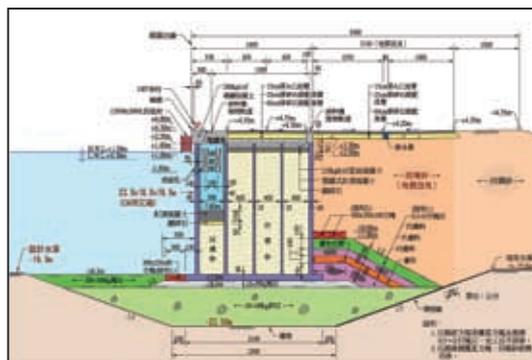


圖6 散雜貨碼頭標準斷面圖(S16~S19)

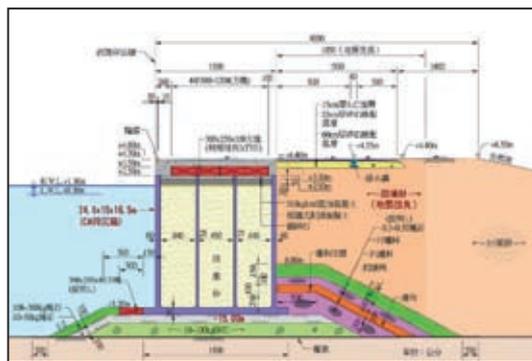


圖7 西護岸標準斷面圖

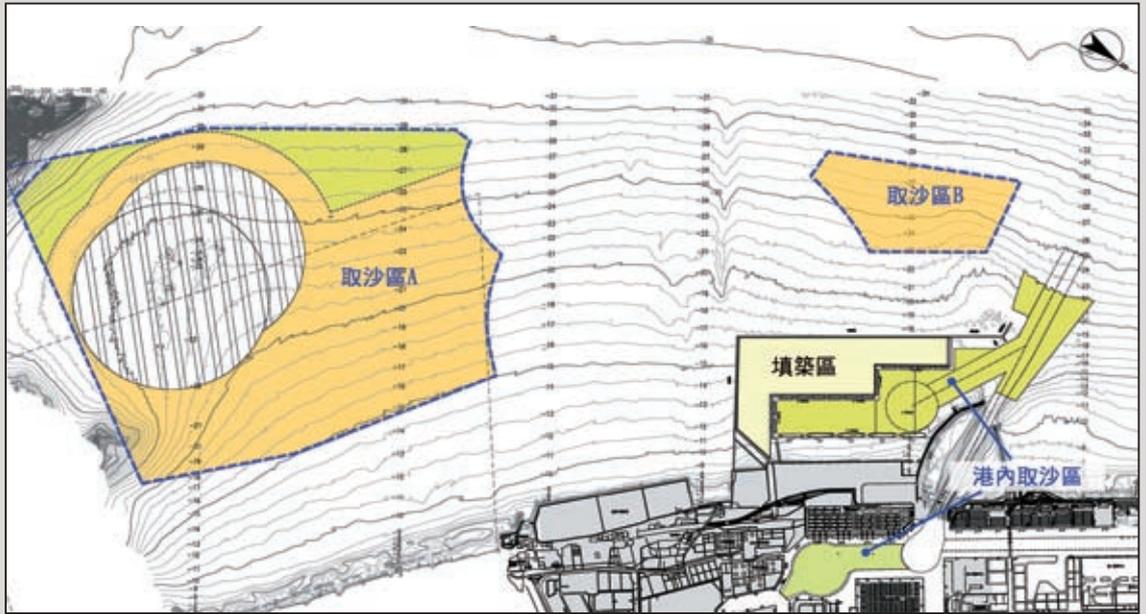


圖8 外海取沙區位置示意圖

水渠道水域面積)，填地高程採+4.5m~+4.7m規劃，可供填地之填築容積約為6,843萬立方公尺。

前述主要填築料源包含外海取砂、港池水域浚挖與其他外來土方等來源。依據環境影響評估報告之規定，外海取砂區係位於計畫區外海及高雄縣林園鄉外海取得(A、B兩區，可取沙面積約3,671.45公頃，可取沙深度為2.3m)，其取得土方主要以回填於倉儲物流區(中油用地)與貨櫃中心為主，其抽砂範圍如圖8所示。另倉儲物流區(業者用地)、港埠發展用地與外廓堤及岸線背填區，則由洲際二期計畫港池浚挖至水深-22.0m回填。

另為降低對外海區域之影響，減少之外海取沙量，本計畫開發期間，鄰近區域之相關開發計畫所產生之土方，如台鐵之高雄市區鐵路地下化工程開挖土方、布袋港或高雄港其他附屬港疏浚土方，以及河川疏浚土方等，如適合做為填土料源，本計畫回填區亦得收容該土方，以達到資源有效利用。

五、區內交通系統

洲際二期計畫規劃30m以上寬環港道路系統，沿外廓防波堤佈設，可銜接倉儲物流區各業者之區內道路及港埠發展用地。所有進出倉儲物流區及港埠發展用地之車流，將與由南端80m南星路北上之車流在大林電廠北導流渠附近匯集。為紓緩龐大之匯集車流，本計畫新設30m以上外環道路在往東進入大林電廠導流渠北側後，即適度加寬至60m。另貨櫃中心及物流發展用地車輛則由南端南星路並經過大林電廠溫排水導流渠續往前行銜接洲際一期計畫查驗登記站，左轉銜接貨櫃中心專用道後進入貨櫃中心，詳圖9。

肆、設計創新構想

洲際二期計畫係屬近年來最大型港灣工程計畫，而整體工程涵蓋外廓、岸線、造地、碼頭等大型工程，如何整合工程標案，降低工程介面與縮短造地期程為規劃設計考量重點。此外，本計畫肩負解決高雄港舊港區石化油品碼



(a)臺中港南填方區圍堤



(b)臺北港貨櫃中心圍堤

圖10 沉箱堤失效之防漏設計

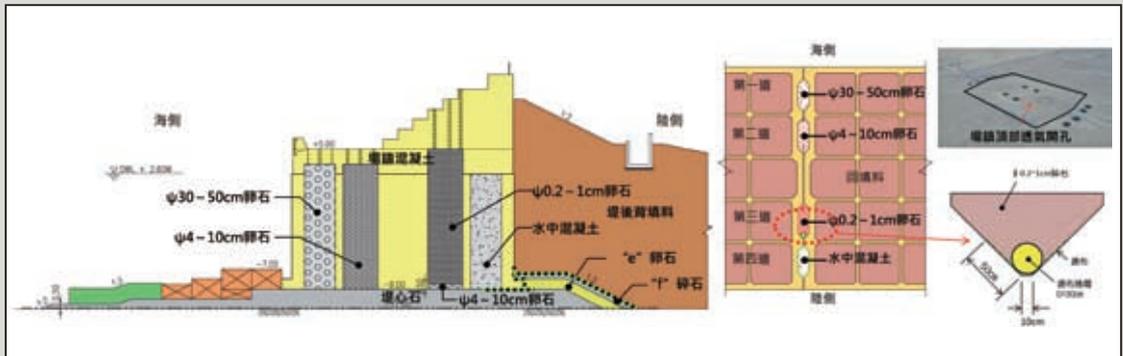


圖11 圍堤防漏創新作為

承上，圍堤工程能否有效防止漏沙現象發生，實賴於濾層施作成功與否，在參考以往防漏失敗案例後，本工程乃將沉箱堤防漏設施改採柔性方式設計，即於施工中及完工後防漏設施可隨外力變動，且仍維持防漏功能。設計理念乃於沉箱之交界處以濾石層方式保護堤後回填土，並保留足夠透氣空間，確保波壓可宣洩，避免對濾石層影響。

此外，設計階段即考量就算防漏濾層設計良善，仍可能因施工之細緻度不如預期，造成異常天候條件下，發生濾層石料流失之情況；基此，設計上係於沉箱堤面上設置可吊移之方塊，可於颱風季過後進行例行性之檢查，確保防漏設施可維持其成效；以此柔性設計方式，除有利於施工外，亦保留後續維護濾層之機能，以有效達到改善填海造地之防漏效果，其施工概況如圖11所示。

三、岸線消波沉箱佈設—減緩波壓與塑造生物活動空間

洲際二期計畫預計於海岸地區以圍堤造地方式產生新生地，此舉必然對海岸生態造成衝擊，基於大自然共生之理念，應就構造物設計上增加生態補償概念，營造生態空間；基此，在本計畫岸線工程中一改傳統式之沉箱設計方式，以於沉箱本體海側設置消波艙之「消波艙沉箱」，除可有效降低船擊波影響外，其消波艙亦可提供魚群遮蔽空間，可達到營造生態之效果，其消波沉箱碼頭詳圖12所示。

四、填地有效利用土方—減少外海取沙衝擊與節能減碳

洲際二期計畫除需辦理外廓堤與岸線工程外，其最重要工程為填海造地；經環評審查同意下，本計畫之填海造地料源以外海、港內

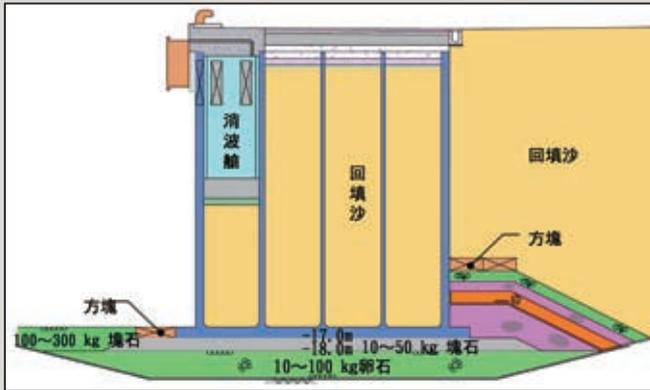


圖12 岸線消波沉箱碼頭

取沙為主；然為減少外海取沙量降低對海域影響，本計畫於設計與施工階段，均盡可能有效利用區內外之土方進行填地，如第一標外廓防波堤工程收納外來土方(台鐵之高雄市區鐵路地下化工程開挖土方、高雄港旅運專區工程土方、高港高架道路工程剩餘土方…)；第二標岸線工程以港內浚挖土方、海床基礎開挖土方全數回填於碼頭後線之造地區域；第三標新生地填築工程則以洲際二期計畫、二港口港內疏浚土方做為造地土方(約計1,350萬填築土方)；第四標S4~S5碼頭與新生地填築工程則將高雄港內土方一併浚深，並回填於S4~S5碼頭護岸後線造地區(約計666萬填築土方)。上述各工程執行方式，除可有效降低外海取沙影響外，同時亦減少高雄港歷年維護浚挖之成本，且可避免浚泥土方海洋棄置作業衝擊海洋生態。

五、外廓特色胸牆設計—越浪防護與親水景觀取得平衡

海堤胸牆設置之主要目的係為保護堤後土地，不致因颱風所形成之大量越浪而造成設施損害之情況；而一般傳統港灣海堤，因屬管制區域，一般民眾不得進入，故胸牆均以直立式設置，採此方式僅能達到越浪防護之單一效果；然港口開發除需將安全納入考量外，景觀概念亦為未來潮流趨勢，基此，本計畫海堤工程乃參考國外案例(如日本雅內港)，其部分區段

之海堤胸牆係採階梯式胸牆設置，並於堤後設置防風林，增加景觀特色。此外，階梯式胸牆於洲際二期計畫完成後，將形成另一個置高點，可綜觀洲際二期計畫港區，欣賞港區特色，未來亦可供相關學術機關或政府單位至港區內參考時之特色景點，其現況斷面詳圖13所示。

伍、工程關鍵特色

一、海上浮沉台船製作工法—國內經驗豐富、縮短動復員期

洲際二期計畫第一標外廓堤工程係屬本計畫成功關鍵之前導工程，本工程若可順利施工，則可提供港域穩靜環境，讓後續之岸線與造地工程順利推動。因外廓堤結構係採沉箱施作，而其沉箱施作成功與否關鍵在於製作工法之選擇，一般國內沉箱製作可在浮沉台船或陸上等方式製作，洲際一期計畫外海圍堤工程經歷兩次發包施工，兩次得標之承包商分別採浮沉台船與陸上之方式製作沉箱，故於國內上述工法均有施工案例。

然考量陸上製作沉箱，其施工穩定性與國內廠商施工經驗相對不足，再加上外廓堤工程若施工進度不如預期時，將導致後續工程無法推動之窘境，則無法如期於民國108年完成洲際

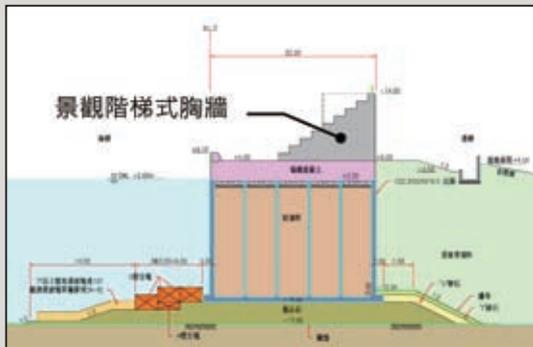


圖13 景觀階梯式胸牆水工試驗與現場實景照片



圖14 外廓堤工程浮沉台船工法實景

二期計畫整體工程。基此，在施工階段承商係採用國內廠商經驗豐富、施工穩定及成功率幾乎100%之浮沉台船工法進行沉箱製作。除可縮短動復原期外，加速沉箱製作，並可儘速提供外廓遮蔽空間，提供後續工程一個穩靜之工作環境。

為因應267座沉箱製作數量，承包商乃引進當時國內最大之浮沉台船隊(中工1號：105m×36m×6.4m，承載力15,000t、中工3號：88m×36m×4.8m，承載力8,800t)，以每循環約16~18天進度，同時製作3~4座沉箱，並於102年1月~105年10月短短46個月時間完成

全部沉箱製作，平均達5.8座/月之製作功率，並可有效確保沉箱存量符合沉箱拖放進度需求，其浮沉台船照片詳圖14所示；此外本工程亦榮獲第10屆公共工程金安獎佳作之肯定，其勞工安全衛生管理之推動方式，值得做為未來國內各港海事工程推動時之參考。

二、陸上軌道台車運移工法—取經國外經驗、克服場地問題

洲際二期計畫第二標岸線工程係接續第一標外廓堤工程之後進行施工，因計畫區範圍尚



圖15 岸線工程陸上軌道台車運移工法實景

有多項標案推動，故施工場地均需保留他標工程使用空間，致使本標案作業場地有限。且本標推動階段高雄港空間碼頭有限，無法採用浮船台工法，加上本工程最大沉箱高度達21.5m，若沉箱採二次加高，又受限於水域需降挖至水深-15.0m以下。在前述諸多限制條件下，施工團隊汲取各國沉箱軌道台車陸工法成功經驗，並特地遠赴中國及越南實地觀摩交流，最後提出國內首次採用於陸上製作沉箱，並以陸上軌道台車運移下水之工法進行沉箱施工作業。

此外，陸上製作沉箱之場地因鄰側將有道路興建工程，導致腹地縱深受限，故施工團隊乃以縱、橫向二組台車移運沉箱，並於場地後側加設托盤暫置區之運移路線設置方式，確保沉箱移運出塢動線可維持順暢。

另因沉箱重量高達5,000餘噸，台車能否穩定運移，不影響沉箱結構是為施工之關鍵點；基此，本工程於沉箱底板下方設置一鋼構托盤，於頂升作業時將台車油壓缸之點狀上頂力，經由台車上方之分配梁轉換成線狀支撐力，再透過分配梁上方之鋼構托盤終成一面狀均勻支撐力，確保沉箱結構完整性。

此外，在陸上移動之沉箱最終需移運至浮沉台船下水儲放，而沉箱在由陸上軌道移至船體甲板過程中，其移轉場地銜接處(碼頭與船體甲板)容易造成船體傾斜、碼頭混凝土結構破壞等風險，故在碼頭與船體甲板銜接處採外放內

縮型(公母接榫)設計一搭岸結構，俾利導引船體對準箱合穩定無虞；搭岸結構下方並打設鋼管樁加強基礎承载力，搭岸縱斷面與船體延伸甲板契合，使沉箱重量轉移過程獲得一穩定支撐，大大提升移運作業安全性。

綜上，洲際二期計畫第二標工程在吸取國外相關經驗後，提出國內首次陸上軌道台車運移沉箱工法，該工法具有於有限施工場地進行大量沉箱製作、克服海上施工天候之限制條件、沉箱製作移運動線交錯施工提升作業效率等優點，此外該工程亦榮獲第16屆公共工程金質獎特優之肯定，未來可做為國內他標工程之參考案例，其陸上沉箱製作品工法相關照片詳圖15所示。

三、自動滑模系統製作沉箱－加速沉箱製作、減少碳排放污染

洲際二期計畫之外廓堤與岸線工程，其結構均屬沉箱型式，而如何有效率且模組化之完成沉箱製作，其模版則屬施工中之重點。一般沉箱製作所用模版可採用普通模版組裝，然方式無法因應大量沉箱製作，故本計畫係以自動化滑模工法施作。滑模工法具有水密性及氣密性好、工期短、混凝土表面修飾工作性佳、節省人力、安全性高、提高精度、效率與國內廠商施工經驗豐富等優點，因洲際二期計畫總沉箱製作數高達450餘座沉箱，目前亦已順利完成9成以上之沉箱數量。



圖16 自動化滑模系統工法施工實景

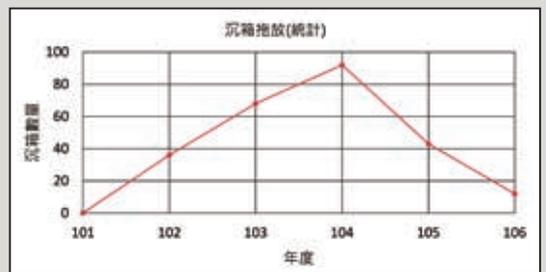


圖17 沉箱拖放機具、拖放數量及施工機具施工實景

因沉箱隔艙尺寸均一，滑模系統內外、模可靈活應用，施工初期須依施工需求妥善規劃滑動模板數量，後續如需變化隔艙數量(15艙→25艙、25艙→30艙)約僅需2天時間，可有效加速沉箱製作進度，同時減少施工過程中所排放之二氧化碳及工程廢棄物之污染，對施工品質及節能減碳具有相當之助益，其沉箱滑模施工過程詳圖16所示。

四、無遮蔽區海域拖放沉箱－克服惡劣天候、提供遮蔽保護

洲際二期計畫外廓堤工程係於開放水域進行沉箱拖放作業，施工期長達六年，且每年需

歷經數次颱風侵襲之風險，加上拖放沉箱時需預測有連續2~3天波高在0.5 m以下才可施作，故實際每年可工作時間僅約一半可拖放沉箱，就以往洲際一期計畫外海圍堤經驗而言，計畫區每年最多僅能拖放35座沉箱(含基礎整平)。

惟洲際二期計畫外廓堤工程為滿足於民國108年底完成洲際二期計畫之目標，採多組船機進行拋石基礎整平與沉箱拖放作業，將每年沉箱拖放數量最高可達92座，平均每年可達60座，有效提升外廓堤施工進度，並提供足夠遮蔽空間，使後續標案可順利推展，其沉箱拖放之現況照片詳圖17所示。

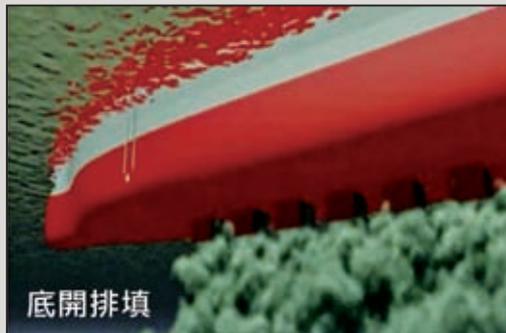


圖18 沉箱拖放施工實景

五、超大型浚挖船取沙填地—加速填地速率、縮短交地期程

洲際二期計畫之填地工程填築量超過5,000萬方，總造地面積超過300公頃，屬近10年來最大之填海造地案。因取沙高程最深需達-30.0m，故需動員國外大型自航自載耙吸式挖泥船方可完成此艱鉅造地任務。基此，洲際二期計畫新生地填築工程中乃分階段動員Vox Maxima(容方32,000m³)、Rotterdam(容方21,000m³)兩艘國際浚挖船機進行造地作業，並利用船吹、接管交互方式填築，克服圍堤、岸線工程沉箱施工界面，並以每日量產約12萬方填築量進行造地。本計畫一改傳統利用國內船機浚挖施工之方式，改以國際超大型浚挖船機進行施工，可精確浚挖方式、高產量填築方式加速造地期程，預估整體造地期程至少可提前3個月(約超前10%施工進度)完成，其浚填施工現況照片詳圖18所示。

六、結語

自民國94年起，高雄港洲際貨櫃中心之整體開發案開始執行規劃、設計、施工作業，至今政府投資部分已陸續完成洲際一期計畫圍堤、道路、附屬建築，民間投資部分亦已完成4席貨櫃碼頭與後線場地；目前洲際二期計畫亦如火如荼之推動中，後續將完成外廓堤、碼頭、造地、道路、建築、公共設施，並協助中油公司與其他石化業者辦理石化中心遷廠作業，以解決高雄港舊港區石化油品碼頭儲運業者搬遷安置需求；同時辦理貨櫃中心招商櫃場建置作業，以建設最新現代化貨櫃中心，吸引航商進駐及大型貨櫃輪彎靠。

洲際貨櫃中心計畫肩負提升港埠競爭力及經濟發展之重要地位，將對高雄地區產業及都市發展產生重大影響。藉此建設計畫之推動，將活化整合緊鄰高雄市區之港灣資源，創造就業機會，同時帶動高雄市整體產業與經濟的繁榮與成長，俾適時迎接經貿未來發展之進出口

需求；期許本計畫之推動，可促成港市再造，塑造具璀璨風貌且多元價值的都會港灣，奠定高雄港未來20年營運發展之根基。

參考文獻

1. 高雄港洲際貨櫃中心計畫綜合規劃，交通部高雄港務局，民國93年7月。
2. 高雄港洲際貨櫃中心第一期基礎設施興建工程-細部規劃報告書，交通部高雄港務局，台灣世曦工程顧問股份有限公司(原中華顧問工程司)，民國95年2月。
3. 參與「交通部高雄港務局徵求民間參與興建及營運高雄港洲際貨櫃中心第一期計畫」投資執行計畫書，高明貨櫃碼頭股份有限公司，民國97年。
4. 高雄港洲際貨櫃中心計畫第一期工程櫃場規劃與設計，高明貨櫃碼頭股份有限公司，台灣世曦工程顧問股份有限公司，民國97年。
5. 高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫-工程計畫書，交通部高雄港務局，民國100年3月。



6. 高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫-細部規劃報告書，臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司(原交通部高雄港務局)，台灣世曦工程顧問股份有限公司(原中華顧問工程司)，民國101年5月。

7. 中華技術104-監造永續工程的守護者，『港灣工程沉箱陸上軌道工法之施工實務』，臺灣世曦工程顧問股份有限公司，民國104年10月。

8. 高雄港洲際貨櫃中心第二期工程計畫-貨櫃碼頭及後線場地新建工程細部規劃報告書，臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司(原交通部高雄港務局)，宇泰工程顧問有限公司，民國105年6月。



跨界整合： 海空聯運創新契機 (臺北桃園海空港高快速 路網串連優化)

關鍵詞：海空聯運、整體規劃、實施計畫、高快速道路

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／協理／劉國慶 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／副理／陳昭堯 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／正工程師／吳雅惠 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／正工程師／吳心琪 ❹



摘要 ABSTRACT

臺灣得天獨厚，立足於兩岸及北美航線之關鍵區位，憑藉著先天條件與後天努力，桃園國際機場正朝向東北亞樞紐機場邁進。機場所在之桃園市係為全臺第一大工業科技城市，其所蘊含的產業能量更是機場發展的堅強後盾。臺北港於2009年開港後，承接了臺灣北部地區之貨源就近運送，除大幅節省島內陸運成本外，因其港區離桃園國際機場僅約18公里，在進行基礎規劃時已考量與桃園國際機場之串接，希望整合既有海空優勢資源，創造聯運環境，期在鄰近海空口岸強敵環伺的激烈競爭中，開創一片新天地。

台灣世曦長期參與臺灣地區主要港埠與機場整體規劃，關注海空運發展議題，本文即彙整本公司參與之相關建設計畫最新資訊，剖析臺北桃園海空港及其骨幹道路所面臨問題與改善對策，俾利大眾瞭解相關單位在交通骨幹建設上的努力，最後在既有基礎上，提出未來聯運模式的推展方向與構想。



壹、前言

臺灣早在1984年開啟海空聯運模式，直至2000年，隨著大陸市場急速成長、華東沿海機場運能不足等因素，造就一波密集的境外航運中心之海空聯運活動，即運用臺灣與廈門、福州兩口岸間之密集船班，銜接桃園國際機場航班續運往歐美國家，皆是以航空貨為主導。上述前段海運、後段空運的海空聯運恰可利用空運時間以及海運成本上的優勢，適時紓解了當時大陸地區貨物出口的困境，搶得商機，雖然經由此種海空聯運之貨量占比並不高，卻展現了在傳統海空運市場以外的另一種營運型態的可能性。長期而言，在既有的海空港發展下，如能啟動整合機制，提供多元便利的海空聯運模式，讓貨主多一種選擇與調配，將有助於提升樞紐口岸的競爭力。

桃園國際機場正朝向東北亞樞紐機場邁進，臺北港2009年開港後，因其港區離桃園國際機場僅約20分鐘車程，在進行基礎規劃時已考量與桃園國際機場之串接，希望整合既有海空優勢資源，創造聯運環境，期在鄰近海空口岸強敵環伺的激烈競爭中，開創一片新天地。

為使臺北港與桃園國際機場(以下簡稱臺北桃園海空港)無縫串聯，實需仰賴良好的運輸、管理及資訊等基礎建設，其中骨幹路網的落實更是整合海空港建設的重要項目。為了讓臺北桃園海空港之間人、車、貨暢其流，相關單位近年來投注相當大的心力，在海空港間規劃充足的聯絡孔道，並進一步提出細緻的瓶頸消弭與客貨分離等改善計畫，希望在能量與品質效率上一步到位，協助臺北桃園海空港奠定發展基礎。

台灣世曦公司長期參與臺灣地區主要港埠與機場整體規劃，關注海空運發展議題，由臺北港至桃園國際機場，乃至於航空城，以及相關聯外道路計畫，分別配合臺灣港務公司、桃園機場公司、桃園市政府、國工局、高公局與公路總局等單位，進行相關規劃或是工程設計監造工作。本文即彙整本公司參與之相關建設計畫最新資訊，剖析臺北桃園海空港及其骨幹路網所面臨問題與改善對策，俾利大眾瞭解相關單位在交通骨幹建設上的努力與貢獻，最後則在既有基礎上，提出未來聯運模式的推展方向與構想。

貳、世界級的海空港計畫

一、臺北港整體規劃

臺北港位於淡水河出海口南岸新北市八里區至林口區瑞樹坑溪口近岸海域，為一新興商港，水域遼闊，未來可供開發空間相當充裕，

遠期規劃持續進行，期望發展成為臺灣北部地區第一大港，與高雄港並列為我國南北兩大海運轉運中心。臺灣港務公司辦理之「臺灣國際商港未來發展及建設計畫」，針對臺北港綜合檢討港區範圍、水域設施、碼頭數量、倉儲設施…等項目，據以提出臺北港整體規劃，彙整如下。

(一) 近程投入與遠期藍圖

臺北港近程發展計畫如表1所示，短期內政府與公民營企業將持續投入162億元，長期而言，將依據臺北港遠期發展藍圖(如圖1所示)，以民國125年達散雜貨1,850萬公噸、貨櫃238~270萬TEU為目標逐步擴增。

(二) 臺北港自貿區設置概況

臺北港自由貿易港區目前主要以東碼頭區及北碼頭區陸域為主要營運範圍，未

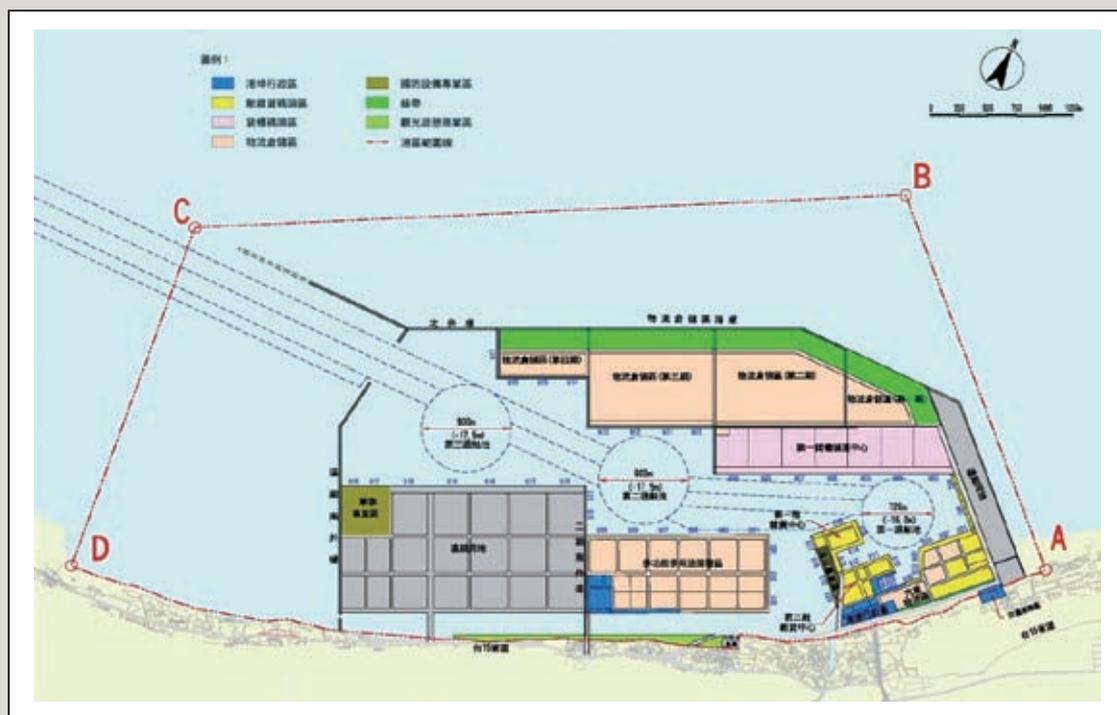


圖1 臺北港遠期發展藍圖

資料來源：「臺灣國際商港未來發展及建設計畫」委託技術服務，民國105年，臺灣港務公司。

表1 臺北港近程發展計畫(~民國110年)

分類	項目	說明	
政府投資項目	前置作業	1. 臺北港海岸漂砂調查及海氣象與地形變遷監測作業	定期編列計畫辦理
		2. 臺北港施工及營運期間環境品質監測作業	定期編列計畫辦理
		3. 臺北港定期實施碼頭結構安全檢測評估工作	定期編列計畫辦理
		4. 臺北港港區範圍暨錨泊區檢討規劃	原公告之錨泊區範圍將會與堤線衝突，為避免錨泊區船隻發生碰撞危險，爰擬先就錨泊區之範圍進行調整。
		5. 臺北港親水遊憩區土地使用整體規劃	為避免與未來市府整體開發之內容發生無法競合問題，爰建議合併辦理土地使用整體規劃。
		6. 臺北港臨時油品儲運中心遷移計畫	在外港油品儲運中心尚未成立之前，先行研擬遷移計畫，以滿足業者之使用需求。
		7. 臺北港聯外交通整合規劃	因應物流倉儲區及南碼頭區之發展，爰有辦理交通整合規劃之必要，以因應未來交通流量之成長。
		8. 臺北港南碼頭區S09碼頭操船模擬試驗	由於預定興建之S09碼頭係位於二期南外堤與南碼頭區之轉角，考量目前北碼頭區物流倉儲第三、第四期及北外堤均尚未興建，南碼頭區新填區目前並無足夠遮蔽，為提昇船舶靠泊安全，爰有需要先行辦理操船模擬試驗。
		9. 臺北港港區細部規劃	辦理既有港區細部規劃，以供港區土地及碼頭使用調整、道路、水、電等公共設施設置之參考。
	實質建設計畫	10. 臺北港公共設施工程計畫	為吸引民間企業進駐及提供建廠用地需求，爰擬投資興建必要之公共設施。
		11. 臺北港淡水河口清淤及排填工程	珍惜國土資源，及符合環評等規定，定期檢視淡水河口清淤之必要，並將疏浚淤泥排填至物流倉儲區封閉水域，供填築新生地之用。
		12. 臺北港南碼頭區B填區圍堤造地工程計畫	興建東側臨時圍堤約360m，做為圍堵填地砂料之用；填築S09碼頭後線土地面積約13公頃，提供興建倉儲設施使用。
		13. 臺北港物流倉儲區第二期造地工程計畫	期能儘速完成造地，以提供做為物流倉儲區使用。
		14. 臺北港物流倉儲區第三、四期圍堤工程計畫	配合臨時油品儲運中心遷移計畫之推動，本計畫爰有配合啟動必要。
		15. 臺北港南碼頭區碼頭興建工程	配合南碼頭區進駐廠商裝卸原料及成品使用需求。
	一般建築與設備	16. 臺北港親水遊憩區廢棄物清除工程(一期後續及二期工程)	臺北港親水遊憩區於99年辦理護岸工程時發現早期之廢棄物，已於101-105年辦理一期清運，惟清運數量較預估為多，故將續辦第一期工程尚未完成之清運量，及一併辦理二期清運工程。
		17. 臺北港後線倉庫興建工程	建置自有倉庫，提高貨物收納容量。
投資項目	1. 臺北港南碼頭區第一期用地租賃及建廠計畫	為吸引民間企業進駐及提供建廠用地需求，爰將配合辦理招商及用地租賃作業。	
	2. 臺北港南碼頭區第二期用地(S09後線)租賃及建廠計畫	為吸引民間企業進駐及提供建廠用地需求，爰將配合辦理招商及用地租賃作業。	
	3. 臺北港物流倉儲區第一期用地租賃及建廠計畫	為吸引民間企業進駐及提供建廠用地需求，爰將配合辦理招商及用地租賃作業。	
	4. 臺北港A2-1區西濱特高壓變電站興建工程(續)	本工程刻正由臺電公司執行中。	

資料來源：「臺灣國際商港未來發展及建設計畫」委託技術服務，民國105年，臺灣港務公司。

來隨港區腹地之持續擴張，分期納入自由貿易港區，營運面積合計93.7公頃。

1. 第一期

營運範圍約79公頃，包括東碼頭區之第一散雜貨中心、第二散雜貨中心、第三散雜貨中心、臨時油品儲運中心及車輛物流中心，已於民國94年9月20日取得營運許可。

2. 第二期

營運範圍為北碼頭區貨櫃儲運場北3至北6碼頭後線約14.7公頃，已於民國101年12月13日獲交通部核准納入自由貿易港區。

3. 遠期

配合臺北港港埠建設之時程，逐一將物流倉儲區、南碼頭區等新增腹地納入自由貿易港區之營運範圍。

(三) 聯外交通規劃

目前臺北港已有省道台61線、省道台64線兩條快速道路提供往南及往東之聯外交通服務，公路系統尚稱便捷。省道台61線臺北端A11道路離港匝道工程已於100年

3月完工，一、二散雜貨中心車輛迅速由二期聯外道路(台61甲線)銜接省道台61線。

現階段規劃與進行之各項工程包括淡江大橋與臨港大道/商港路路口改善工程，透過高架之方式串接台64線、台61甲線與淡江大橋，讓非港區車輛之穿越性車流利用高架匝道彼此聯接，降低與港區車輛於臨港大道或商港路爭道情況，將更健全北碼頭、南碼頭聯外交通系統。另外，港區往淡水金山方向車輛，未來可利用臨港大道北堤匝道銜接淡江大橋，不需繞行關渡大橋。南碼頭區可利用聯外道路連接台15線後接入台61線，往西濱沿海地區。未來港區聯外交通系統如圖2所示。

二、桃園國際機場園區實施計畫

桃園國際機場位於亞太主要都市的中心，近年來亞太地區的經濟發展突飛猛進，成為世界經濟成長之推動器。航空需求成長速度超越世界平均值，加上兩家國籍航空公司分別加入國際航空聯盟，以及桃園機場於公司化後，靈活彈性的機場發展策略，近年的旅客量以每年近10%成長率快速成長。



圖2 臺北港未來聯外交通系統圖

資料來源：「臺灣國際商港未來發展及建設計畫」委託技術服務，民國105年，臺灣港務公司。

因應航空運量持續成長，航空科技日新月異，為提供國民與國際旅客的最佳服務，桃園國際機場依照國際機場發展條例規定，每五年制定桃園機場發展綱要計畫，並依據綱要計畫與特定區計畫制定桃園機場實施計畫，於民國101年6月交通部核定，「桃園國際機場園區及附近地區特定區計畫」(以下簡稱園區特定區計畫)則於民國103年7月29日內政部都市計畫委員會第832次會議審議通過。

桃園機場公司有鑑於桃園航空城新增用地徵收作業已逐步展開，未來機場北側新增擴建用地須及早規劃，並檢討設施規劃與配置，故以園區綱要計畫、園區實施計畫第一版為基礎及各重大建設計畫之規劃成果，同時納入「園區特定區計畫」，檢討機場園區既有用地之開發規劃，並擘劃未來新增機場園區用地之發展策略及藍圖，提出具體之規劃配置，進一步打造桃園國際機場成為東亞航空客、貨運之樞紐地位，於民國103年進行擬定實施計畫第二版工作。

(一) 航空運量成長潛力

桃園國際機場位於亞洲機場樞紐位置，由於亞太地區經濟蓬勃發展，新型態低成本航空投入市場，並在我國兩大航空公司積極拓展航空市場之帶動下，桃園國際機場旅運量之成長快速。由於預期亞太地區經濟仍有成長空間與潛力，預測至目標年(2042年)，在發展桃園國際機場成為東亞樞紐機場之目標與樂觀發展情境下，桃園國際機場每年之總客運量達8,660萬人次，貨運量500萬噸，年起降架次為49.1萬架次，相當於2016年全球機場運量排名第三名機場。

(二) 機場設施規劃與土地使用計畫

實施計畫之機場設施規劃與土地使用

計畫，主要延續綱要計畫「西客東貨」主軸，西側以客運航廈及衛星廊廳為主，東側則發展貨運區及自由港區(FTZ)。土地使用及配置策略包括：

1. 依據園區綱要計畫及第三跑道先期規劃成果建設第三跑道
2. 檢討現有客側及陸側運作瓶頸，提升營運安全與效率
3. 妥善利用土地資源，保留未來發展彈性
4. 發展目標：2042年服務8,600萬人次，500萬噸貨運量

未來機場設施規劃配置如圖3，除了目前進行之第二航廈擴建、第三航廈新建與WC滑行道西移與雙向化外，未來分為短期1~5年(2016-2020年)、中期5年以上(2021-2030年)、遠期(2031-2042年)之分期計畫。重要規劃項目內容整理如表2。

實施計畫第二版之整體建設期程建議係考量用地取得時程、運量成長及設施需求、空陸側運作效率、營運需求、既有土地使用狀況、建設及行政流程、相關配套設施建設期程、規劃作業與環評等因素，以期確保時程安排能滿足機場成長需求，並提供最佳之整體營運環境，並以未來五年(2016~2020年)機場發展建設為主要探討目標，各項建設計畫包括既有航廈區、北跑道以北新增用地、WC滑行道以西用地、EC滑行道以東用地、自由貿易港區及A3新增用地等各區重要建設項目與預計期程，如表3。

(三) 桃園航空自由貿易港區規劃

臺灣處於東亞經濟板塊中的絕佳位置，易於連接亞太區的發展成熟市場(美國、日本與韓國)以及崛起的新興市場(如

表2 桃園國際機場重要規劃項目

分類	項目	年期	說明
空側主要建設項目	第三跑道與相關滑行道	2018-2026	以與北跑道間距不小於1,295公尺作為第三跑道配置基準。
	EC滑行道雙線化	南段2019-2022 北段2025-2028	南北場面航機運作更為順暢並減少延滯，建議分段進行EC滑行道雙線化。
客運區主要建設項目	衛星廊廳與客機坪	2018-2029	考量旅客動線、營運效益、及商業活動機會，建議衛星廊廳採用H型配置。 靠站客運停機位38席；遠端客運停機位34席
	旅客運輸系統(APM)	2022-2026	初步考量各航廈與衛星廊廳設計容量、旅客尋路、車隊規模、旅行時間及行李輸送等層面，建議衛星廊廳應採與第三航廈連接為優先考慮方案。
貨運區主要建設項目	新貨運站機坪工程	2022-2031	規劃將既有貨運站區遷移至東北角集中設置 橫向布設貨運站，縱深達到220公尺以上
	新貨運站區工程	2022-2034	於新貨運站區配置航郵中心、貨運站、APM機廠、行政辦公以及支援輔助等設施，並研提分期發展計畫與門哨位置。
	自由貿易港區	2021-2032	第二種自由貿易港專用區範圍，面積104.20公頃。 引進：精緻農業、生物科技、國際物流、文化創意、半導體及電子產業、航空產業六大產業。 發展為亞太區「高科技產品與設備維修中心」以及「區域低溫物品的供應鏈管理與分撥中心」。
地面運輸整合規劃主要建設項目	新增客貨運站區聯絡道路	2019-2022	建議增設航勤南路穿越EC滑行道地下道，可使航勤北路與航勤南路改為逆時針單循環系統。
	增設貨運站區停車設施	2018-2020	建議新建貨4+貨5及擴建貨2平面停車場，並改建貨1+貨3為簡易立體停車場等工程。
	聯外道路(如圖4)	2017-2027	短期：國2(機場端至大園)主線單向拓寬為3車道。 中長期：配合國1甲興建連接機場連絡道。 配合國1甲機場聯絡道，改善航勤北路及航勤南路。 增設新維修區銜接台15線道路。 增設新貨運站區空側聯絡道與聯外道路。

資料來源：「臺灣桃園國際機場園區實施計畫第二版」，民國106年1月版，桃園國際機場公司。

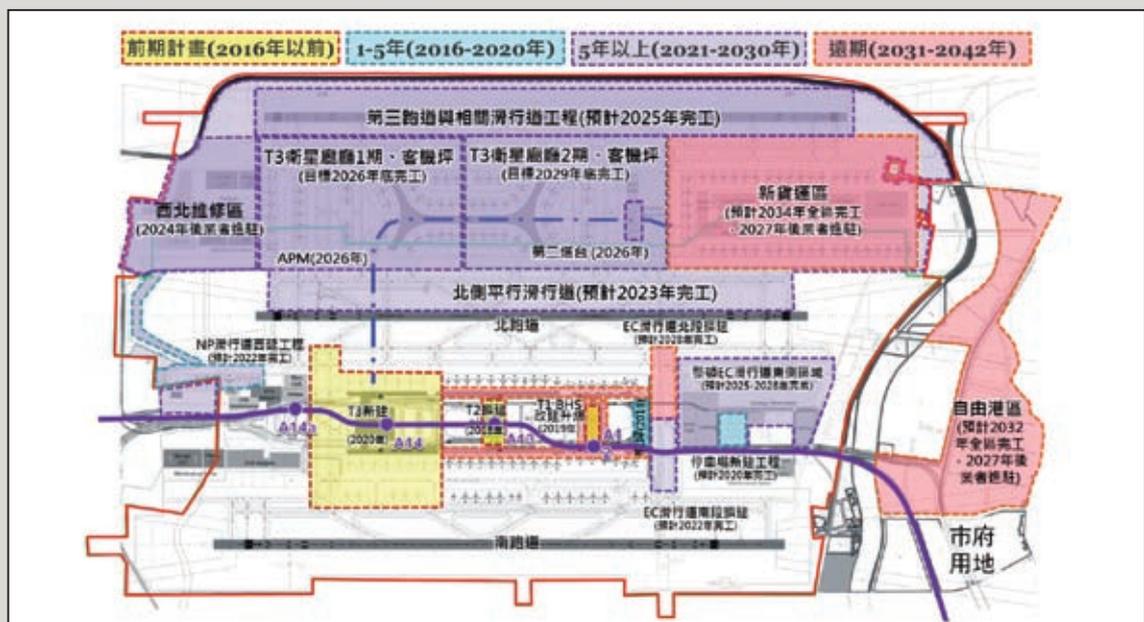


圖3 桃園國際機場園區配置圖

資料來源：「臺灣桃園國際機場園區實施計畫第二版」，民國106年1月版，桃園國際機場公司。

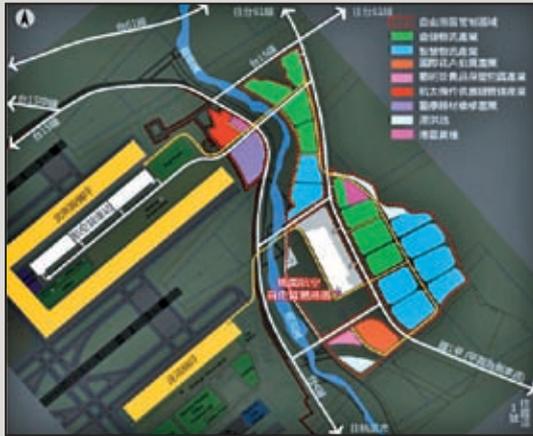


圖5 桃園航空自貿港產業分區發展構想

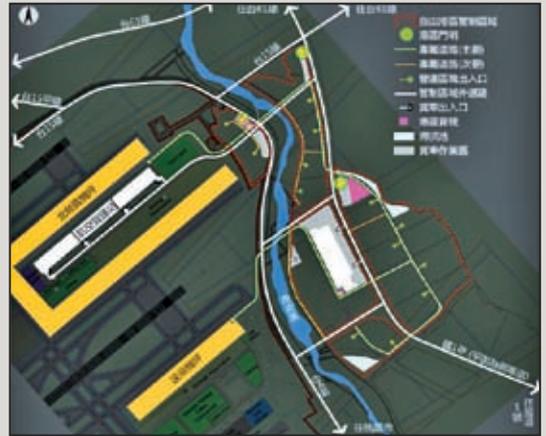


圖6 桃園航空自貿港全區車流動線

資料來源：「臺灣桃園國際機場園區實施計畫第二版」，民國106年1月版，桃園國際機場公司。

中國、東南亞與印度)。自由貿易港區的設立，將會有利於我國推動服務貿易的政策目標，同時透過串聯同屬自由經濟區之其他自由貿易港區與加工出口區的產業活動，有利於多元運籌模式與服務事業的發展。

桃園國際機場於2002年設立臺灣首座航空自由貿易港區，占地45公頃，由遠雄集團取得50年開發營運權，於2006年正式營運。2011年行政院通過「桃園國際機場綱要計畫」，基於市場全球化競爭態勢，與各國紛紛簽署國際貿易協定，降低貿易壁壘，認為有必要擴大桃園航空自由貿易港區。

於桃園國際機場實施計畫第二版中，除檢視既有自由貿易港區發展情形，並結合臺灣總體對外經濟與產業發展趨勢，應充分掌握其區域區位優勢、強化與其他自由經濟區的連結，完善國際物流運籌的功能，積極服務產業的運籌管理需求，認為整體發展應朝向於落實「以物流業主導發展」、「以簡易加工增值」與「帶動衍生服務功能發展」三大策略方向。

提出「亞太創值樞紐 - 臺灣自由經濟引領」為桃園航空自由貿易港區的總體發

展定位，並提出以下三個主軸：「輸出臺灣先進技術服務」、「促進產業發展模式創新」、「串聯新興產業供應鏈」。並以「進出口導向與潛力」、「空港導向」、「周邊是否有產業聚落」及「環境友好性」等4個評估條件，遴選「資訊電子」、「精緻農業」、「生物科技」、「國際物流」、「文化創意」及「航空產業」等6類產業為高度優先引進自由貿易港區的產業。

考量航空作業之緊密性與產業發展特性，進行自貿港區產業發展配置如圖5所示，圖6則為自貿港區車流動線，分為專屬道路(有管制與空側機坪連接)，以及管制區域外道路供一般車輛通行。

參、打通海空聯運任督二脈

一、桃園機場與臺北港聯運路網

桃園航空自由貿易港區位處臺灣最重要的高科技產業聚落，即北起汐止南迄新竹的北臺科技軸帶。高科技產業既是高度依賴航空運輸的產業族群，也是臺灣重要的外貿貢獻者，凸顯桃園航空自由貿易港在發展上的戰略性與獨特性。



圖7 桃園國際機場與臺北港現況聯絡道路系統

桃園國際機場與臺北港相距僅18公里，目前兩港自由貿易港區，皆有初步發展成果，串聯海港與空港發展，整合海、空港特色與效益，創造優質產業供銷環境，發揮地理環境優勢，在競爭激烈國際經貿環境中，不僅可以加強臺灣產業競爭力，也能優化招商環境與立地條件，藉以吸引國際創新產業，提升國家整體競爭力。

桃園國際機場與臺北港目前以台61線快速道路構成串聯主軸(如圖7)，惟在兩端聯絡道路上，目前都缺乏直接之銜接動線。桃園國際機場須經由地面道路銜接，尖峰時段受地區通勤通學交通影響，無法快速與機場或貨運站銜接。臺北港之商港路與臨港大道路口尖峰時段也因車流過多，影響臺北港聯外交通順暢性。北碼頭區為主要貨櫃碼頭，預期未來貨運量成長及港區旅客人數增加，A1道路與臨港大道路

口將成為港區道路另一處瓶頸，亦應即早研擬改善對策。

二、臺北港端銜接改善計畫

臺北港客貨運進出動線主要道路為台64、台61甲、臨港大道等，未來臺北港區動線瓶頸路段為A1道路與臨港大道路口、商港路與臨港大道路口等。

(一) 台64線及台61甲線交會口交通系統改善

1. 計畫緣起

台64線與台61甲線交會路口位於新北市八里區商港路及臨港大道路口，路口西側為臺北港港區、北側為台61甲主線下匝道



圖8 台64線及台61甲線交會口周邊區域現況

資料來源：「台64線及台61甲線交會口交通系統改善可行性評估工作」，民國105年9月版，交通部公路總局。

及臨港大道，往東於商港路可銜接省道台64線，或往南沿省道台61甲可連接省道台61線西濱快速公路高架橋，如圖8。

由於多條重要道路交會於此，現況以號誌管制各向車流，時制多達5時相，增加車輛停等時間，服務水準不佳。考量未來臺北港及特定區之開發，本路口交通量將比現況更為增加，轉向複雜且高轉向比，服務水準勢必更為惡化，並連帶影響上下游道路，因此需就該路口提出具體可行之改善方案，以減輕路口延滯，提升路段行駛速率與提供快速公路路網之銜接動線(或匝道)，以有效提升地區交通運轉績效與公路服務品質。

2. 改善方案

為改善路口交通效率，研擬系統交流道方案，提升台61甲線與台64線兩快速公路之聯繫效率，未來並可與淡江大橋所增設

之2匝道形塑一完整系統交流道，提供台61甲線及台64線完整交通服務功能。

在考量不增加用地的原則下，研議之系統交流道方案如圖9，匝道1、3為淡江大橋聯絡道工程範圍；匝道2、4則屬本計畫範圍內之工程內容，其中匝道1、2為台64線出口匝道，匝道3、4為台64線入口匝道。

(二) A1道路改善計畫

臺北港整體規劃分為東碼頭、北碼頭、南碼頭，其中東碼頭主要為散雜貨中心、汽車物流、港埠行政大樓、客運大樓等，南碼頭主要為散雜貨使用，北碼頭則為貨櫃中心、物流倉儲中心，如圖10。

臺北港A1道路目前可經由臨港大道銜接台61甲線及台64線，係為臺北港聯外主要交通幹道之一，考量北碼頭區未來貨運



圖9 長期改善方案示意圖

資料來源：「台64線及台61甲線交會口交通系統改善可行性評估工作」，民國105年9月版，交通部公路總局。

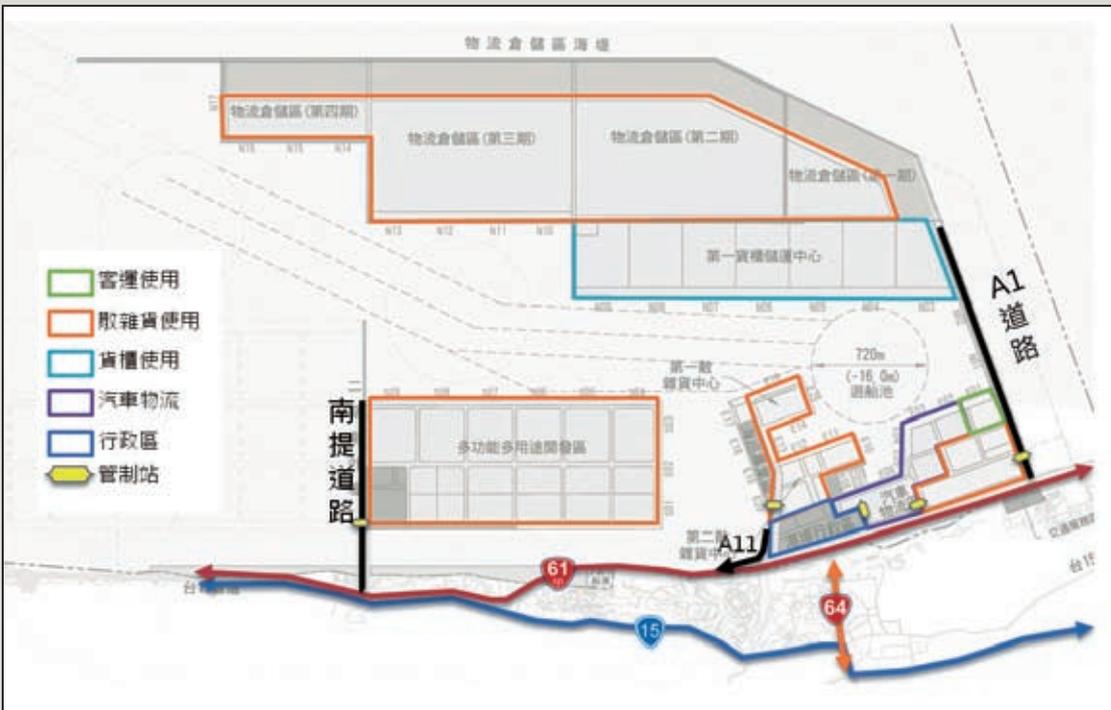


圖10 臺北港整體規劃及未來發展圖

資料來源：「基隆港、臺北港、蘇澳港交通整合規劃案」，民國106年2月，臺灣港務公司。

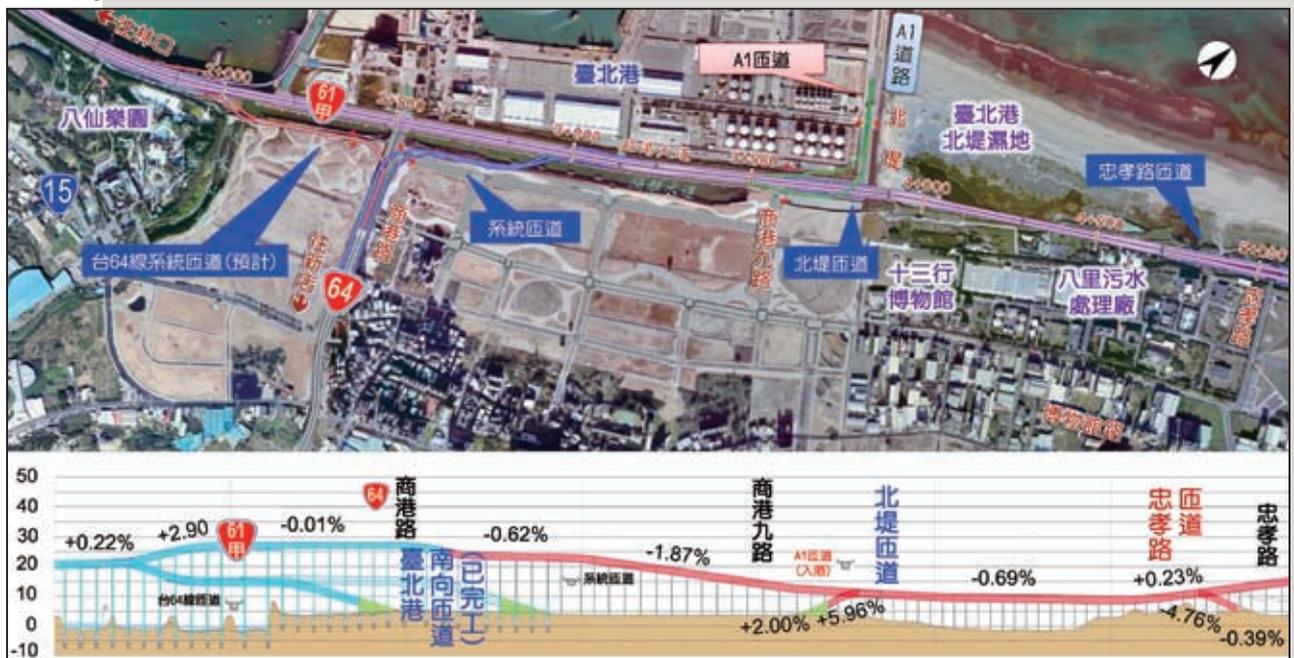


圖11 臺北港周邊道路系統及A1匝道布設示意圖

資料來源：「基隆港、臺北港、蘇澳港交通整合規劃案」，民國106年2月，臺灣港務公司。

量成長及港區旅客人數增加，為提升交通服務水準及增加交通便捷性，研擬增設匝道方式直接由A1道路銜接台61甲線高架橋，詳圖11。

A1匝道(入港)全長約660m，可直接服務臺北港區，有效提升交通服務水準。然現況台61甲線臨港大道段已設有兩組進出匝道，如再增設A1匝道，其匝道鼻端間距離僅符合容許最小值，如考慮淡水大橋通車後車流量之成長，其車流交織長度恐有不足，需輔以交通設施提醒用路人，以維行車安全。

三、桃園國際機場暨航空城端銜接改善計畫

桃園國際機場發展目標為每年服務8,600萬旅客、500萬公噸貨物。周邊航空城開發計畫預計引進20萬居住人口，吸引30萬人就業，預期開發後，將與桃園區、中壢區形成桃園都會區三大發展核心，匯集龐大人流、物流與資訊流。

桃園國際機場目前主要聯外高快速路網南側以國2銜接國1，北側則以省道台4線銜接國1。預期目標年交通量將較目前成長約2~3倍，雖然於機場捷運通車後，可轉移部分道路交通量，但是長期若僅仰賴國2，仍會面臨道路容量不足，以及面臨緊急狀況無替代道路紓解之風險，仍須及早規劃完整路網。於民國101年桃園國際機場綱要計畫規劃將國2延伸至台61(後稱國2甲)，以及航空城北側高快速道路(後稱國1甲)納入機場暨航空城特定區計畫之聯外道路建設計畫，並分別由國道高速公路局與國道新建工程局進行推動，成果說明如下。

(一) 國2甲建設計畫

國2甲線西起台61線，東至國2大園交流道，全長5.2公里，係為配合桃園航空城聯外道路計畫，並建構完整國道路網，如圖12。國2甲計畫可提升國2大園交流道交通運轉及改善大園地區交通壅塞問題，並整合通過性運輸需求，建構桃園國際機場

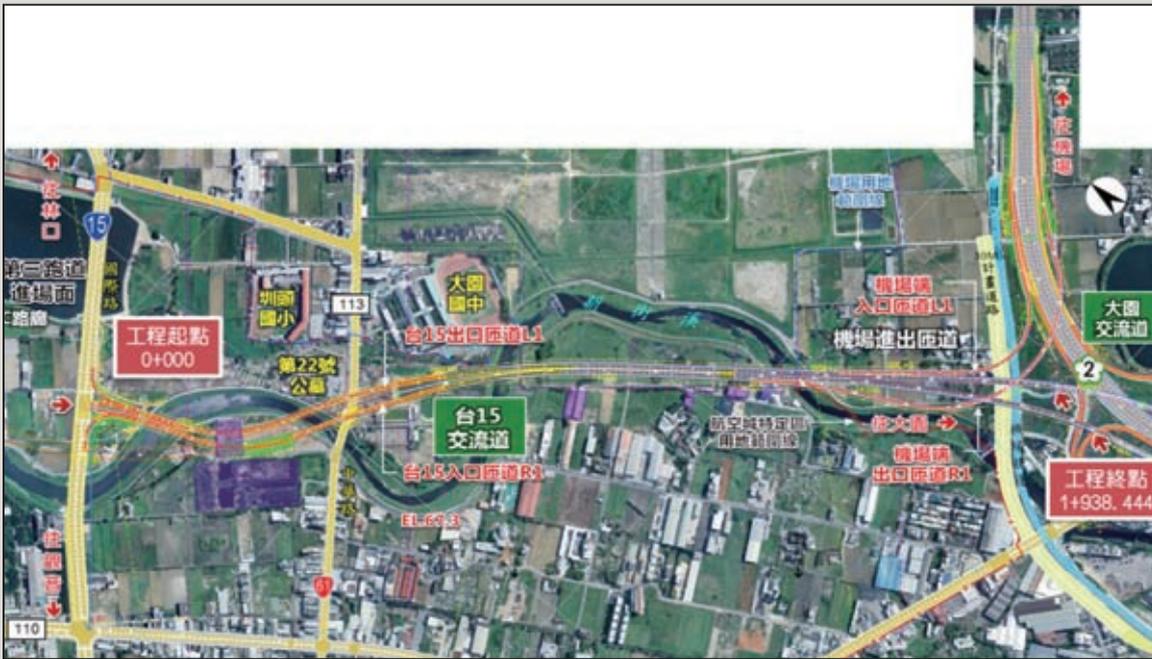


圖12 國2甲路線示意圖

資料來源：國道2號大園交流道至台15線新闢高速公路工程規劃設計，民國104年，國道高速公路局。

完整國道路網。本路線之特性及功能說明如下：

1. 改善國道2號大園交流道及大園地區道路交通服務水準，整合大園地區通過性與地區性之運輸需求。
2. 因應配合桃園國際機場園區綱要計畫、桃園航空城發展計畫、客運園區計畫、西濱快速公路全線完工，建構區域國道服務系統架構。
3. 搭配桃園航空城計畫開發之內環、中環、外環交通系統，順暢進出各大分區。
4. 配合國道1、2、3號，台61線、台66線及航空城北側高(快)速公路，建構大桃園地區高(快)速路網藍圖。

(二) 國1甲建設計畫

國1甲線自桃園市竹圍港附近省道台61線起，通過桃園國際機場北側自由貿易港區，於龜山區大坑附近(國1里程47.6K處)銜接

現有國道1號，續往東穿越中油桃園煉油廠區、桃園市第一公墓，銜接至省道台1甲止，全長約18.5公里，計畫路廊位置詳圖13。

本路線之目標及功能定位說明如下：

1. 建構完整的高快速運輸路網，提供桃園國際機場客、貨運園區、大桃園地區間快速便捷的高快速公路服務、創造桃園航空城貨運及自由貿易港區為具有高發展潛力的地區。
2. 因應桃園機場未來拓建第三跑道及第三航站大廈後衍生之旅運需求，提供新高快速公路路廊，分擔國道2號車流，提高區域高快速公路服務水準，間接提昇桃園機場運輸效益。
3. 連結桃園重要經貿及人口密集區域，提供桃園地區之橫向高快速道路服務，健全北部區域高快速運輸路網，並紓解台4線壅塞情形。

國1甲行經自由貿易港區，興建後可以進一步優化桃園機場與臺北港之串聯。

參考文獻

1. 高1.「臺灣國際商港未來發展及建設計畫」委託技術服務，民國105年，臺灣港務公司。
2. 「臺灣桃園國際機場園區實施計畫第二版」，民國106年1月版，桃園國際機場公司。
3. 「台64線及台61甲線交會口交通系統改善可行性評估工作」，民國105年9月版，交通部公路總局。
4. 「基隆港、臺北港、蘇澳港交通整合規劃案」，民國106年2月，臺灣港務公司。
5. 「國道2號大園交流道至台15線新闢高速公路工程規劃設計」，民國104年，國道高速公路局。



環狀線DF112 標高架車站 建築設計理念

關鍵詞：台北捷運環狀線、第一階段、高架車站、疊式車站

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／資深協理／陳幼華 ❶

潘冀聯合建築師事務所主持人／DF112設計標建築師／蘇重威 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／建築組副理／陳世任 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運部／建築師／史訓璋 ❹

摘要 ABSTRACT

捷運環狀線DF112設計標(後續文簡稱為本計畫)為臺北捷運環狀線第一階段工程(亦即「南環線」)之一部份。環狀線第一階段工程主要分為三個區段，可概略分為Y6至Y7站及機廠即DF111標(新店)，Y8-Y14站即DF112標(中和)，Y15-Y19站即DF113標(板橋、新莊)，DF112標路線範圍位於路線中段，長約6.3公里，包括7個高架車站，並與營運之中和線，以及未來萬大線、南北線連接。本段路線車站部分位於八里新店快速道路上方，部分位於狹窄道路(約20-22米)，如何維持捷運車站正常營運並減低對週遭環境衝擊，為本段車站設計的最大議題。



壹、前言

台北捷運環狀線第一階段路線，以台北盆地西南區的7條捷運路線(含機場捷運)，連結新北市各區域，透過大眾交通建設，創造城市新意象，並希望每一位旅客充份感受到無隙縫轉乘的流動感，縮短原有對於城市的疏離及陌生，而能自在優遊於城市的不同場域。台北捷運環狀線為中運量高架捷運，最大的好處在於提供旅客更多的城市旅行體驗，以過去的經驗為本，確保車站的設計可以通透、精細、多陽光、少炫光等較佳的景觀適宜性(Amenity)。在此前提之下，將車站的站體，視為城市中的大型視覺作品，以全貌性(Holistic Design)的設計手法，從站體的內裝及外觀著手，使之成為流動的藝術作品，並整合土木建設、系統標示、景觀、燈光、公共家具、建築造型及捷運藝術等，讓捷運設施作為城市行銷的最佳利器。關於環狀線全貌主題，以「流水行雲·龍騰千

里」為概念，一方面描述環狀線跨越河川，高架於城市上空的特色；另一方面，彰顯了捷運交通的流動感，使乘客能夠自在逍遙地移動於城市之中，體驗不同場域、文化的氛圍。這般理念將會具體落實在高架捷運車站的減量，以及減少壓迫感的環境意識下，創造旅程的清明意境。

貳、基地環境與車站型態

DF112標路線範圍除板新站位於板橋區外，其餘車站均位於新北市中和區，中和與永和常合稱為中永和或雙和地區。中永和位於台北盆地西南隅，台北市的西南方，東端隔新店溪與台北市景美區相鄰，東南依橫路里鹿寮山地與新店區交界，西與土城區、板橋區交界，北端隔新店溪與台北市萬華區相望，因為此地域關係，而成為台北市的衛星都市，境內居住



表1 各車站型式

車站	站體型式	交會車站	轉乘方式	出入口土地開發	出入口數	區位
Y8秀朗橋站	側式	南北線Y44站	站內轉乘	土開大樓	2	中和區
Y9景平站	側式	無	無	土開大樓	1	中和區
Y10景安站	側式	中和線景安站	站內轉乘	聯開大樓	1	中和區
Y11華中橋站	疊式	萬大線LG06站	站內轉乘	土開大樓	1	中和區
Y12橋和站	疊式	無	無	土開大樓	1	中和區
Y13中原站	疊式	無	無	土開大樓	1	中和區
Y14板新站	側式	無	無	土開大樓	1	板橋區

大量通勤人口，是全國人口最稠密的地區，平均每平方公里高達3萬人左右。

中和地區早期以農、礦業為主，1950年代因大量軍、公、教人員遷入，人口急速增加，逐漸發展成為台北市的住宅區。以國道三號中和交流道附近為主要聚集地，近期開始發展高科技產業與金融業進駐，其餘大部分地區則以商業、服務業為大宗。由於人口稠密，因此區域內的喧囂街市、商店市集、夜市等成為顯而易見的地方特色。近年來更有泰越等其他民族族群的遷入，各自形成具有文化特色的街巷，而更添多元文化氣息。

本計畫路線前半段計畫里程9k+500以前約有1.9公里與八里-新店高架道路共線，必須在現有高架橋上方建構高度高於地面20m以上之「高

架橋梁及Y9、Y10車站」；而本計畫路線後半段路線所在之道路寬度狹窄，如景平路及中山路約24m寬、板南路約20m寬等，且道路上交通繁忙、路面下管線密佈。由於人口密集道路狹窄，捷運車站對現有都市環境與景觀造成非常大的衝擊，車站的設計亦需將外在環境做整體之考量與解決，故將位於狹窄道路處車站改採疊式月台設計，以縮減車站量體，減低都市景觀衝擊。相關車站形式如表1所示。

參、設計概念

本計畫之車站設計概念，隱喻「環狀」線如「回」字形環繞台北都會區，與各地域進行「交流」、「衍生活動」，如圖1所示。旅客利用捷運游移於都市中，高架車站由地面竄出，

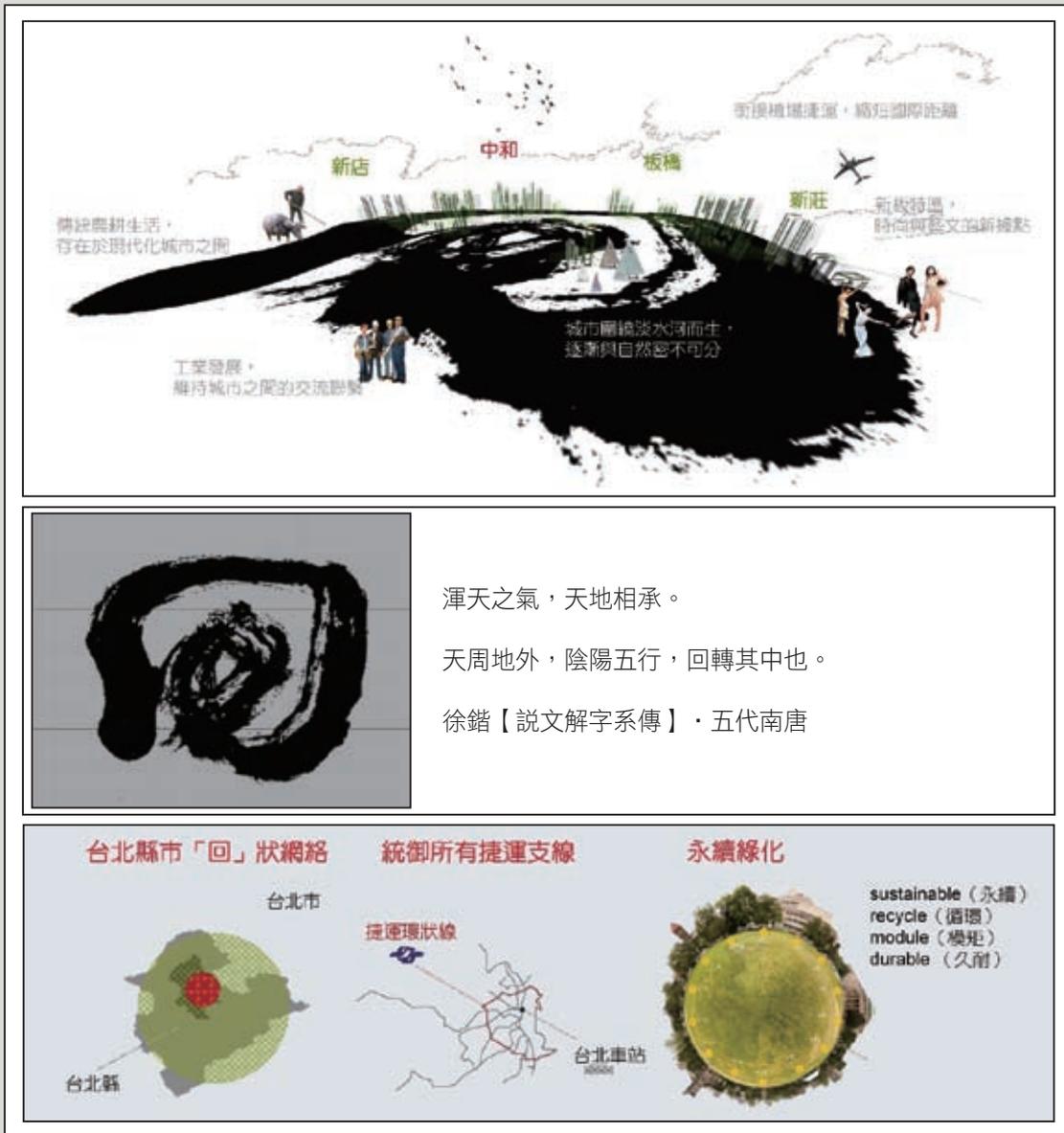


圖1 設計概念說明

光合方程式(作用進行式) Photosynthesis equation (Progressive ,Formula)



矗立於陽光中，旅客在捷運沿線各車站進出，與各地域互換、交流，如同行「光合作用」的分子，都市便成為有機體植物，不斷地成長茁壯，如圖2所示。

吸收二氧化碳的植物，在水份獲得充足滲透到內部的同時，藉陽光的傳訊，透過葉綠素的取納，轉換為養分，而在貯存的過程中創造出氧氣。設計概念轉換如圖3所示，各車站設計

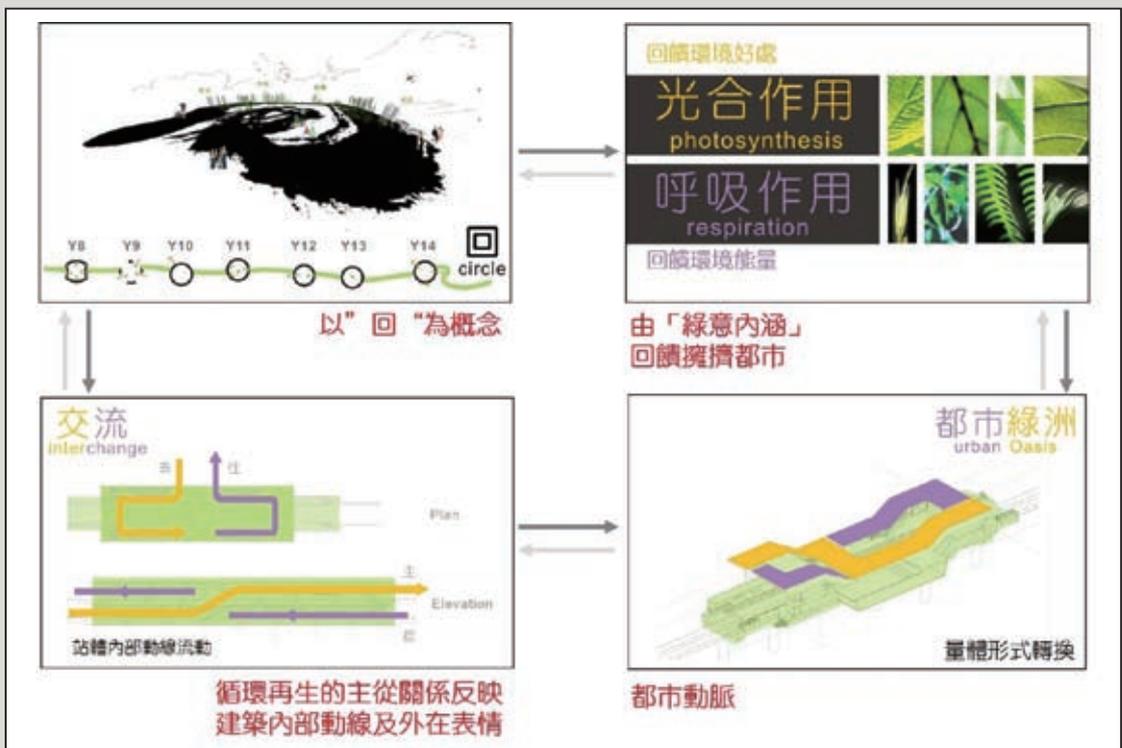


圖2 設計概念說明

光合方程式	概念	車站	地方特色
CO ₂ → I n g e s t	} 吸收 } 滲透 } 傳訊 } 取納 } 轉換 } 貯存 } 創造	Y8	綠意視野
Wa t e r → O s m o s i s		Y9	人車交流
Light → S e m a p h o r e		Y10	交通節點
C h l o r o p h y l l		Y11	生氣蓬勃
→ C a p t u r e		Y12	產業轉換
C h e m i s t r y → C o n v e r t		Y13	渠道開發
S u g a r → S t o r a g e		Y14	都市釋放
O ₂ → G e n e r a t e			

圖3 光合方程式-設計概念與主題之轉換說明

即以植物光合作用的「七個自然反應過程」隱喻環狀線與各地域的交流，再轉換為各車站的設計主題與造形發想，如圖3所示。

展車站型式，並以同中求異、異中求同作為不同車站間的設計原則，內裝部分則是以介面設計的整合及友善空間的融入，貫穿車站的設計。

一、綠建築設計

(一) 最綠的能源，是節省下的能源

「型隨機能」—將車站量體作最合理設計：依空間實際功能需求，形塑車站外

肆、車站建築設計

車站建築設計是以下面四個原則作為主要發展方向，整體部分即是以綠建築概念為出發，發展車站主體的設計對策，依基地環境限制發

觀量體，讓外觀造型、結構量體與工程造價獲得最佳平衡，如圖4所示。

(二) CO₂減量設計—站體結構模矩化、輕量化

7個車站依站體型式分為側式車站及疊式車站，車站結構亦採2種模矩化設計，車站的高度與寬度均相同，結構採立體桁架式鋼結構，可縮小結構尺寸，減少鋼材使用量，降低造價，並達到CO₂減量目的，如圖5所示。

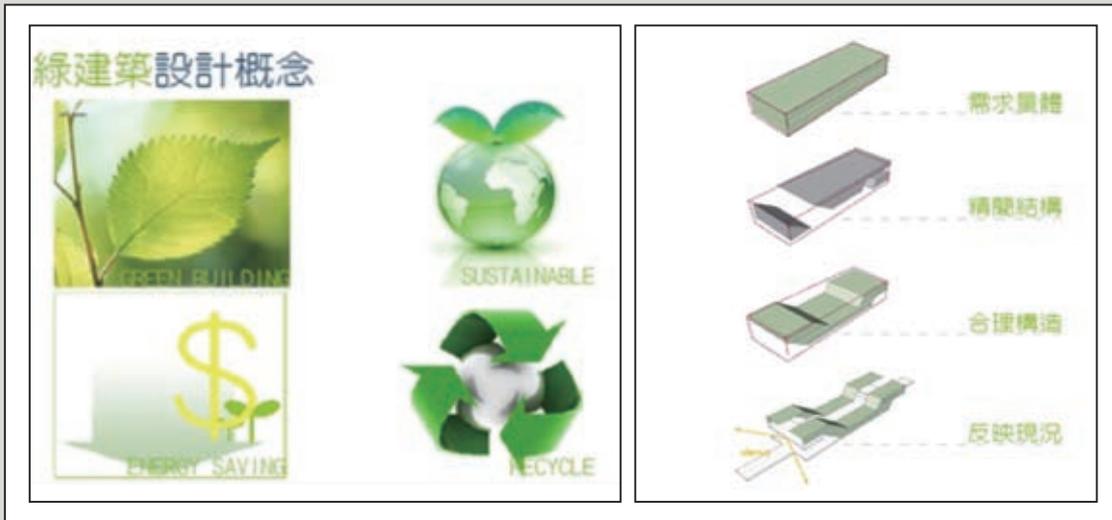


圖4 外觀量體需求概念說明

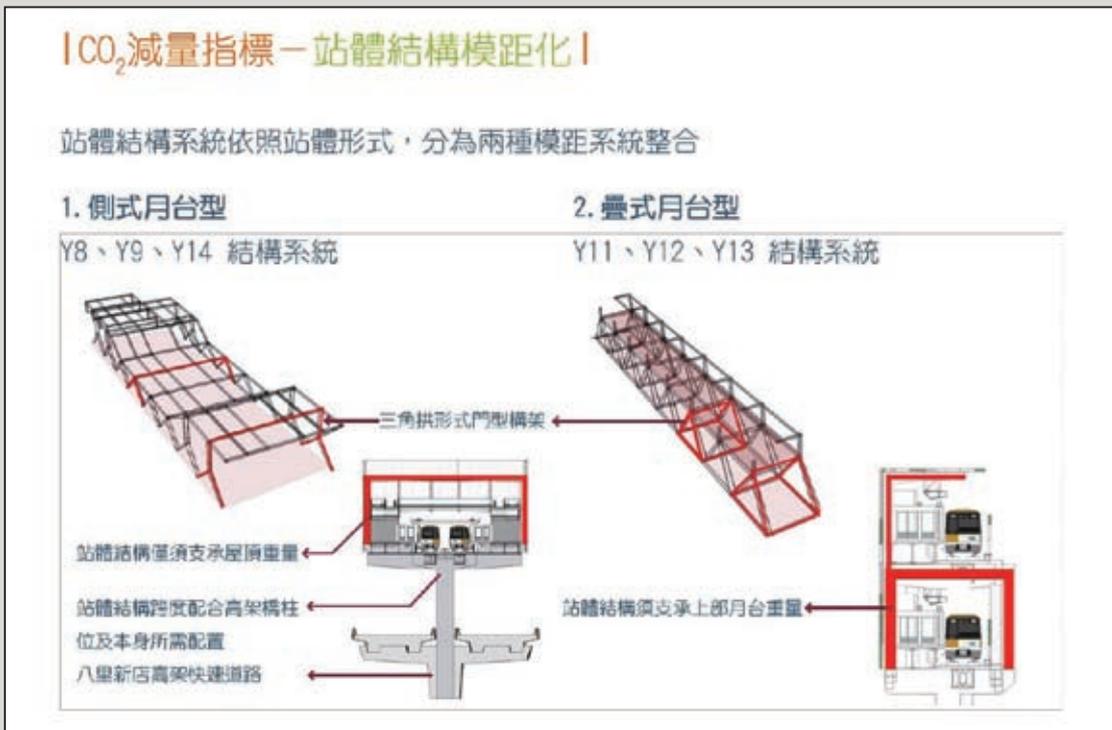


圖5 CO₂減量設計說明(1)

CO₂減量指標－結構輕量化

1. 站體結構採用**鋼結構**材料搭配金屬帷幕外牆應用，比同規模之RC建築約可減少四成以上之自重。
2. 比同規模之RC建築約可減少6成以上之**混凝土**使用量。
3. 比同規模之RC建築約可減少280噸CO₂排放量。

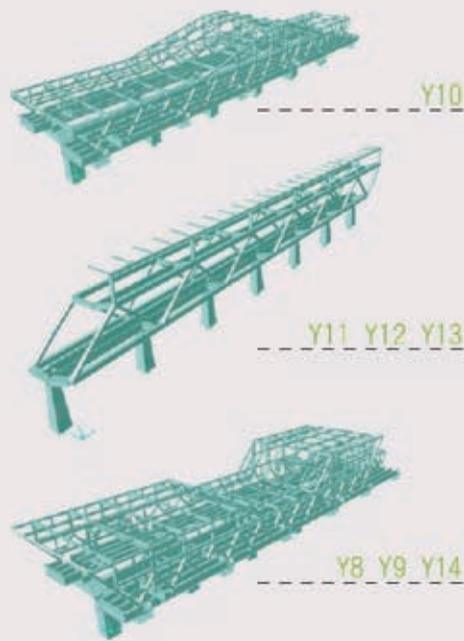
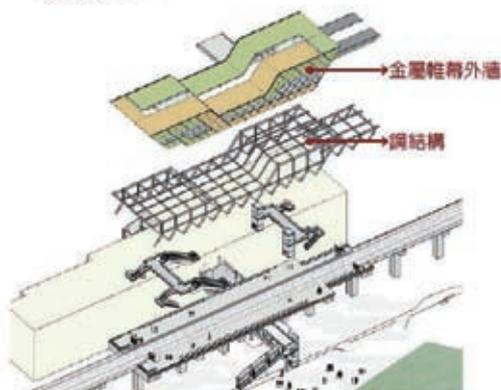


圖5 CO₂減量設計說明(2)

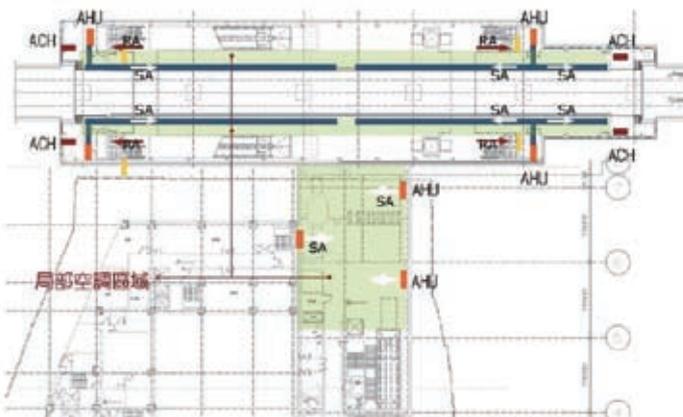
(三) 車站日常節能－月台局部空調、節能燈具與分區照明

高架車站屬開放式車站，月台採局部

空調方式以達節約能源，同時也能照顧到旅客舒適性。車站照明燈具儘量採T5型日光燈為原則，並配合燈具作內外周區開關配置，並引入自然光以達節約能源之效，如圖6所示。

日常節能指標－局部空調

只針對**重點區域**及**特定時段**供應空調，避免全區域全空調，可大幅減少空調耗能。



溫度低於28度時盡量以自然通風為主要通風方式



當月台溫度高於30度或自然通風不足時，採機械通風或供應局部空調

圖6 日常節能設計說明(1)

日常節能指標－照明方式

日照導光應用

利用太陽光能之漫射及折射原理，於開窗面及軌道上方開口處導入陽光，以減少使用人工照明時間為營運目標。

照明燈具配置方式

月台區照明燈具配合捷運系統規劃手冊設置，搭配兩組T5燈光，以間接光照明為主，重點區直接照明為輔。



圖6 日常節能設計說明(2)

(四) 廢棄物減量－車站管線採明管設計

考量建築物生命週期為建築設備週期的4倍，為減少管線更換造成結構體損傷，設備管線均採明管設計。

利用帷幕牆與結構柱之間的空隙設置屋頂雨水排水管，除美觀外亦對車站寬度縮減有助益；月台上的空調管、電線纜架、系統機電纜架等整合為設備帶，方便維修且利於美觀，如圖7所示。

二、基地環境限制與設計對策

(一) 部分車站位於八里新店快速道路上方，車站柱距受限於原有快速道路35米跨距。

側式車站(Y9、Y10)建位於八里新店快速道路上方，考量日後車站裝修維修不便，儘量避免過度設計；車站柱距則以 $35/4=8.75$ 米為模矩，採17.5米柱距設計。

(二) 部分道路寬度過於狹窄，設置捷運車站將影響鄰房救災與民眾開發權益。

側式月台寬度約20米，中山路、板南路寬度均不足25米，設置捷運高架車站對都市救災、都市景觀及民眾權益等，都會造成嚴重影響。為將「車站瘦身」，故改側式車站為疊式車站，車站寬度可縮減為9米，可大大降低上述問題的影響，如圖8所示。

三、同中求異、異中求同的設計原則

(一) 依車站區位不同分為側式、疊式車站，將站體尺寸、結構模矩化，可達成車站造型統一、自明性高、方便施工、方便維修等優點。但為使車站有較佳的辨識性，便仿效自然界植物，僅在外表上做些許差異，以達同中求異、異中求同，如圖9所示。

廢棄物減量指標-明管設計

一般建築物軀體生命週期約為60年，為設備生命週期15年的四倍，為使建築物減少更換管路造成結構受損縮短生命週期行為，明管設備管路的設置更顯必要。

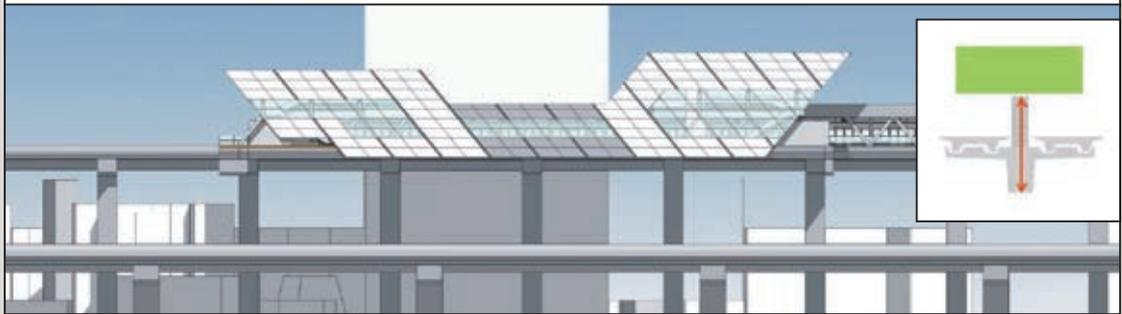
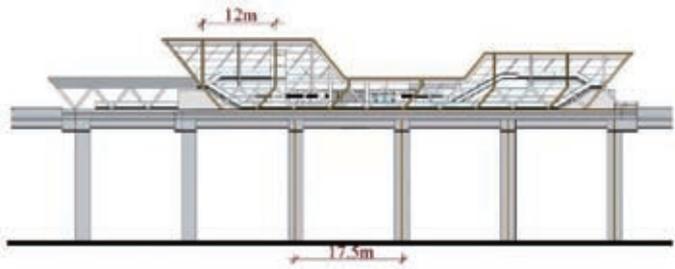
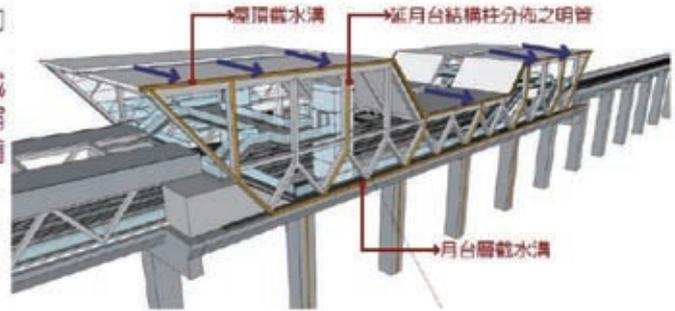


圖7 廢棄物減量設計概念說明

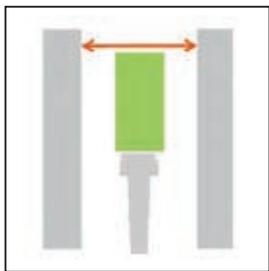


圖8 基地限制概念說明

| 共通性設計原則-站體寬度最小 |

同中求異

配合既有都市環境及道路寬度限制，發展出2種基本量體原型

1. 側式月台型

量體呈現室內動線成為視覺指標

2. 疊式月台型

立面表情豐富多元成為視覺指標

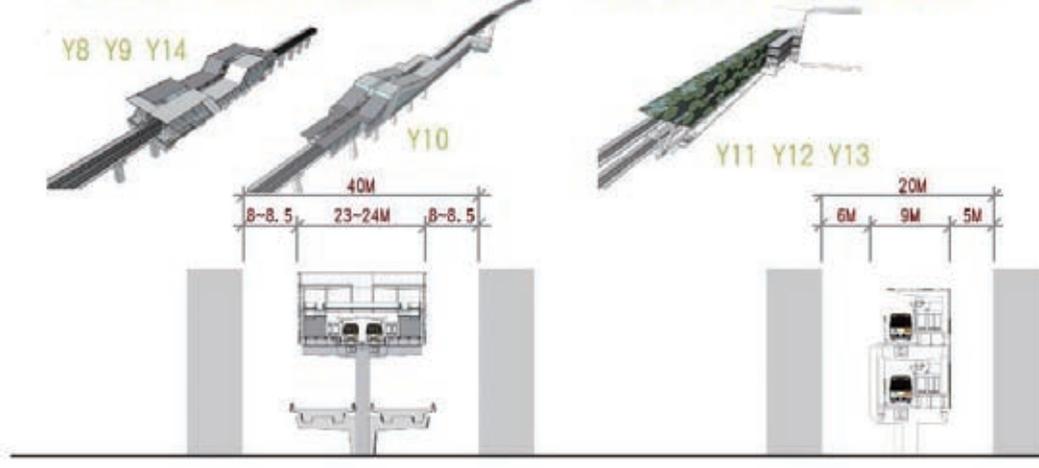


圖9 同中求異、異中求同的設計說明

(二) 側式、疊式車站車站主要結構不變，僅在外表上做些許差異，如顏色方塊配置方向、配置比例等，以達同中求異、異中求同，如圖10所示。

(三) 車站外觀採低明度、低彩度顏色，減少視覺壓迫。以三角形單元組成，增加活潑性，如圖11所示。

TYPE 1. 側式月台型

站體必須做到量體輕巧

外觀立面整合為一種形式，因此主題展現於室內天花之上

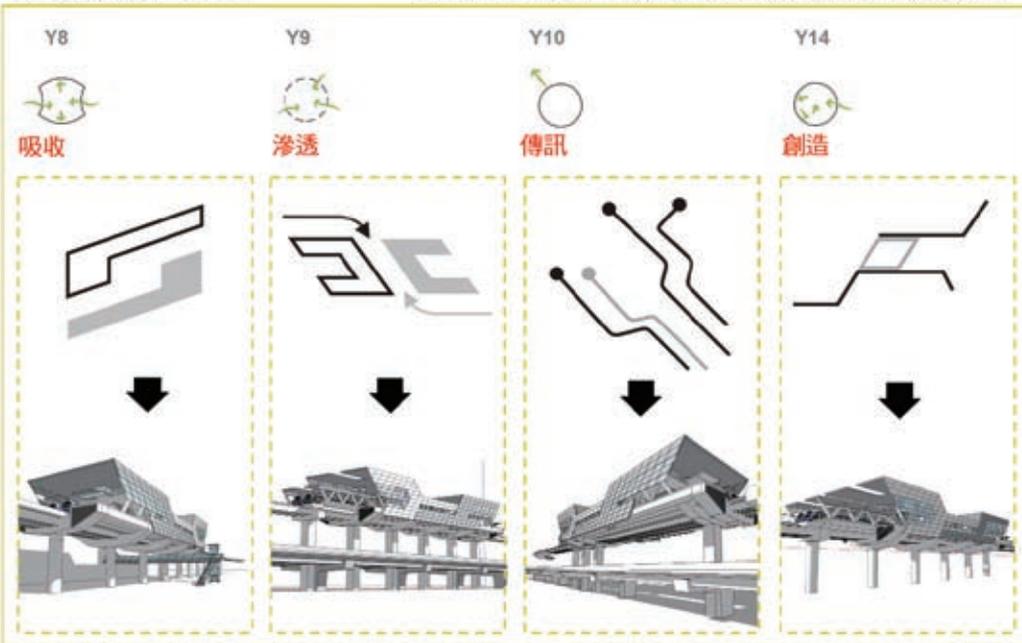


圖10 同中求異、異中求同的設計說明(1)

TYPE 2. 疊式月台型



搭配當地地理條件設定主題於立面呈現

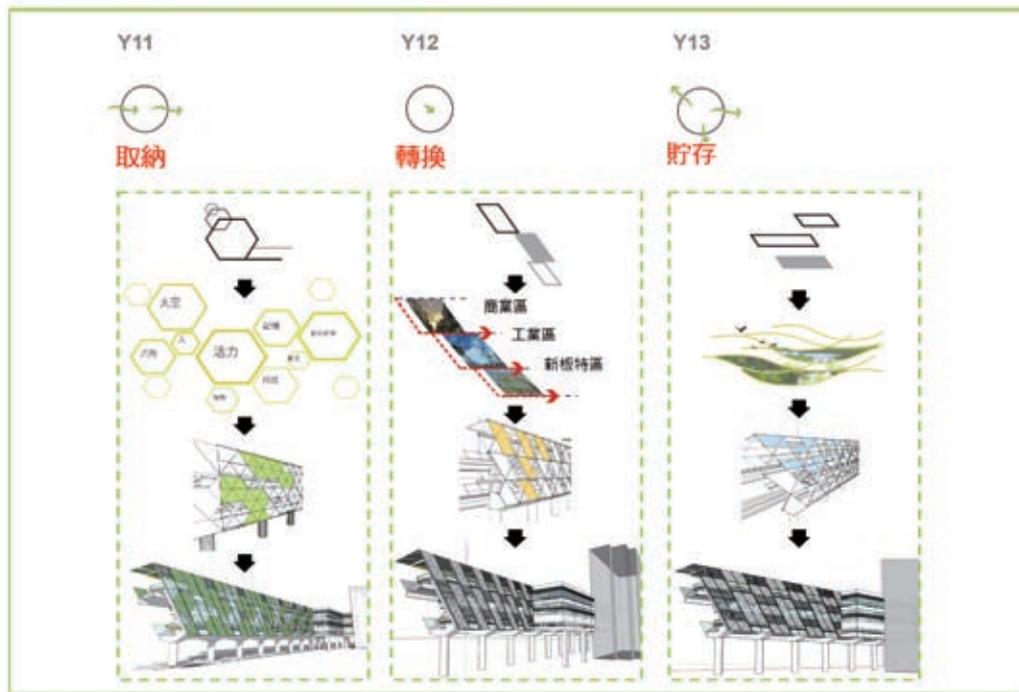
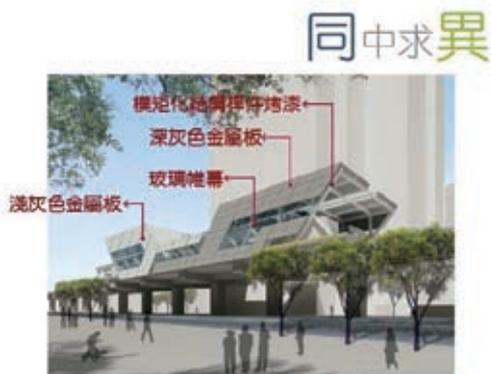


圖10 同中求異、異中求同的設計說明(2)

| 外觀色彩計畫 |

側式月台站外牆材料Y8、Y9、Y10、Y14

1. 位於高建築密度中
2. 以低明度、低彩度之顏色使用(淺灰色-PANTONE-Warm Gray 2U、深灰色-PANTONE-Warm Gray 10U)，減少視覺壓迫



疊式月台站外牆材料Y11、Y12、Y13

1. 基地街廓狹小
2. 三角形構件，金屬板及玻璃帷幕做虛實變換，顏色用高明度之顏色(荷葉色-PANTONE-7490C)，強調立面趣味，降低視覺衝擊



圖11 車站外觀色彩設計原則說明

(四) 車站內裝色彩計畫

由各車站環境特色與設計概念結合之主題，轉換為具像圖形並配合色彩，於車

站驗票口處之天花板展現，如圖12、13所示。

內裝色彩計畫-車站色

用各站特色元素分析轉換為形狀和色彩，於PAO區域為重點呈現。

站名	元素	形狀轉換	色彩 PANTONE (PITTSBURGH)	呈現感
Y8	尖山	三條橫線	7490C (209-6)	
Y9	藍天	三條豎線	542C (150-6)	
Y10	光-傳訊	三條豎線	716C (124-6)	
Y11	植物氣孔-生長	三條豎線	7490C (209-6)	
Y12	原料加工	三條豎線	470C (421-6)	
Y13	水	三條橫線	542C (150-6)	
Y14	都市轉換	三條橫線	716C (124-6)	

圖12 車站內裝色彩計畫說明

內裝色彩計畫-色彩與創意空間

於PAO閘門區域為車站色設置範圍，可使搭乘捷運之乘客到站時有明確之辨識度。



圖13 車站內裝色彩計畫說明

(五) 車站內裝創意設計

的流動感，如圖14、15所示。

在主要動線的電扶梯牆板上，利用平行或垂直等牆板色塊疏密排列，呈現人群

| 創意空間設計-流動空間 |

電扶梯穿越空間牆板及天花照明用縱坡疏密的觀念，將人群之流動感呈現。

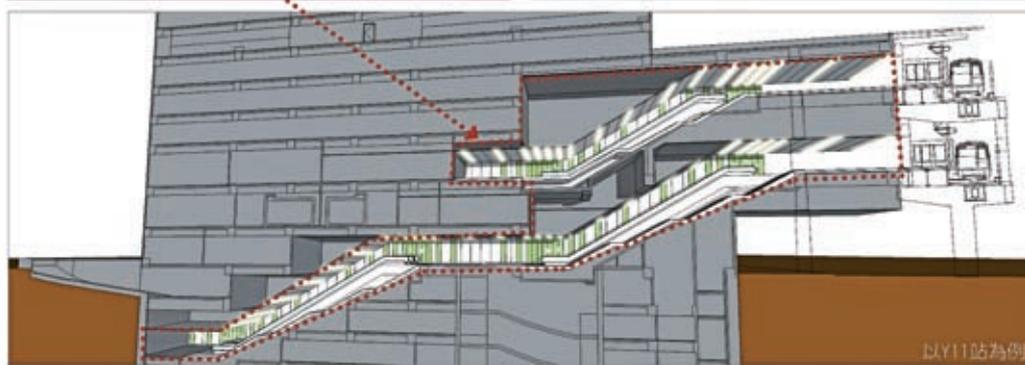
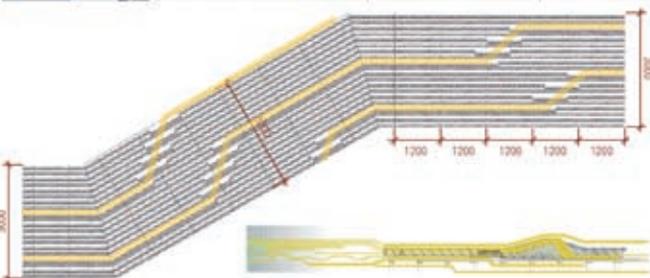
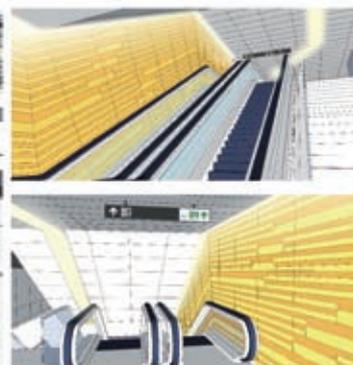
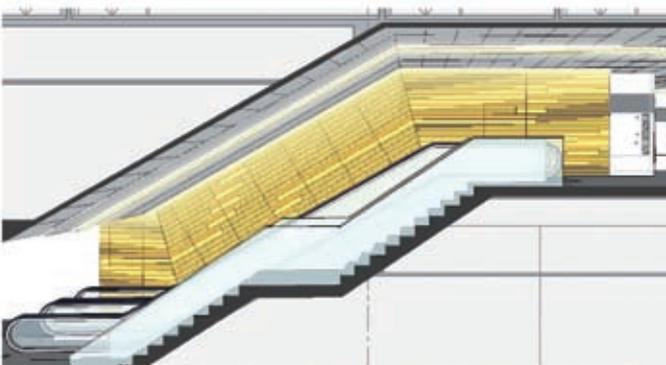


圖14 車站內裝創意說明

| 創意空間設計-流動空間 |



版片說明



圖15 車站內裝創意說明

四、設計介面整合及友善空間

(一) 月台設備帶、月台門、牆板高度整合

整合月台上的空調管、電線纜架、系統機電纜架等而為一連續設備帶，方便維修且利於美觀。月台門支撐結構配合

列車停靠位置設立，月台門分割則配合結構柱調整，設計介面緊密結合。牆板上之營運設施及設備高低不同，視覺上較為零亂，故整體牆面分割在一定高度以格柵式材質統一，使立面更加美觀，如圖16、17所示。

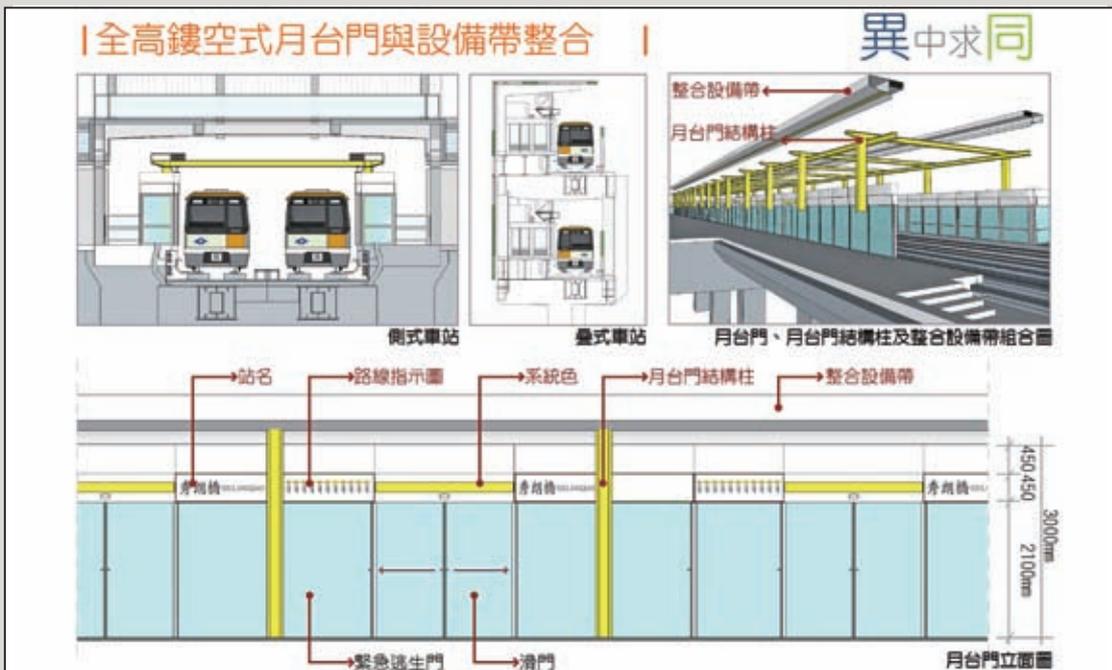


圖16 設計介面整合說明



圖17 設計介面整合說明

通用設計-輔助指標系統

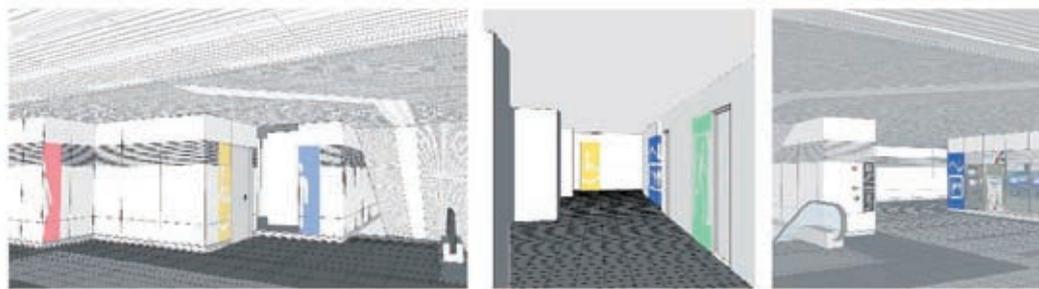


圖18 通用設計說明

在通用設計上，配合之標導引系統及牆面圖案設計，方便旅客辨識及導引，如圖18所示。

各車站之設計成果茲分述如下：

1. Y8秀朗橋站

(1) 基地環境分析

Y8車站位於中和區景平路、成功南路交叉口西北側，目前為國軍雙和福利站，尖山及板橋憲兵隊中和分隊對面，鄰近秀朗橋。現況為國軍雙和福利站、軍用房舍及軍用油庫，周邊則為住商混合使用之集合式建築為主。與規劃中的捷運南北線Y44地下車站採站內轉乘方式交會，景平路南側並設置一座高架人行天橋供對側旅客跨越道路。本站東臨新店溪、東側為秀朗橋中和端，南面96公尺高之尖山及後備司令部，往西為新店八里快速道路，地處寬闊之區，接收日照量充足，基地位置及現況如圖19所示。

(2) 設計主題與概念：吸收-綠呼吸

Y8站鄰近新店溪畔，山水綠意，開闊幽靜，提供民眾視覺上的閒雅情趣；車站造型及外牆顏色象徵葉子表面氣孔開口，讓車站內部可以充份吸收了寬廣的綠意視野。

(3) 車站空間配置說明

Y8車站型式為高架側式月台車站，共有出入口二處，地面層為捷運主要出入口、土開大樓出入口及地下停車場車道；二層為備勤室、現金室與自動收費設備室緊急發電機室、牽引動力變電站及電池室；三層為站務室與捷運員工空間，四層為月台、通風機房、電池室、不斷電系統室、設備變電站、通訊號誌設備室、公共廁所及哺乳室。車站月台層主體結構長92.6公尺，寬21.3公尺，月台長80公尺，如圖20、21所示。



圖19 Y8車站基地位置及現況圖



圖20 Y8車站透視及模擬圖



圖21 Y8車站透視及模擬圖

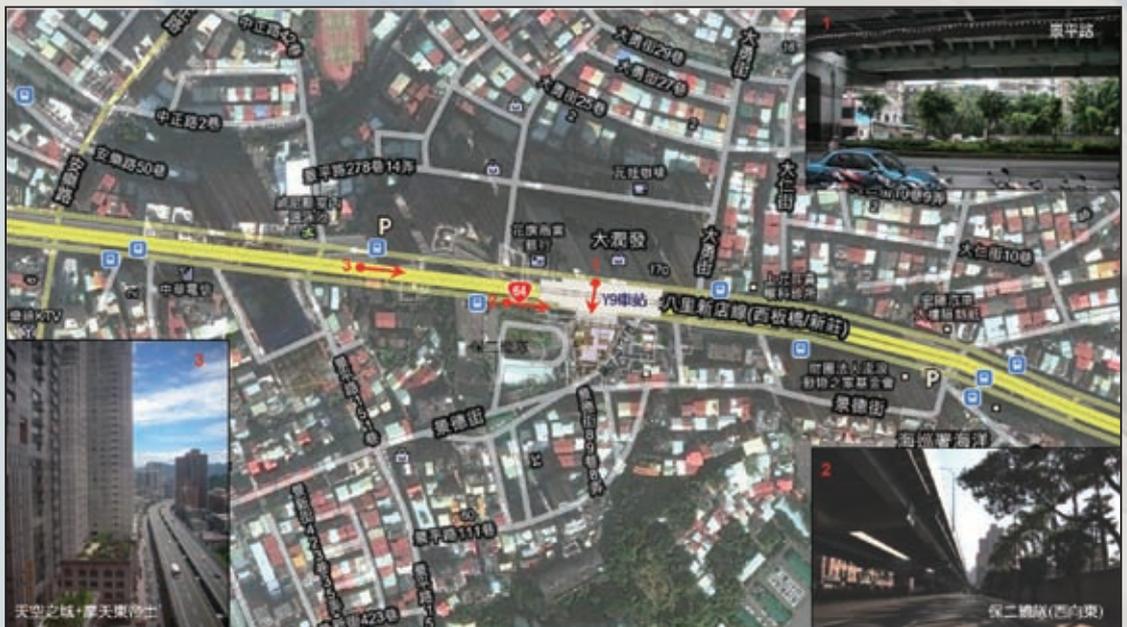


圖22 Y9車站基地位置及現況圖

2. Y9景平站

(1) 基地環境分析

Y9車站位於中和區景平路保二總隊123號內之空地，車站對側為摩天東帝市大樓及天空之城與大潤發流通事業中和景平店(景平路182號B1)，本區域仍以住宅使用居多。車站位於八里新店快速道路上方，如圖22所示。

(2) 設計主題與概念：滲透-生命光流

此站被三所學校包圍，並鄰近興南夜市，大量的行人與車輛在此處交會。車站造型及開口變化，呈現出擁擠的城市意象，而陽光藉由天窗及開口滲入，宛若生命的光流滲透於狹窄城市中。車站造型同時展現此起彼落之人車喧囂作為滲透環境主題，創造出動感之設計語彙。

(3) 車站空間配置說明

Y9車站型式為高架側式月台車站，僅有出入口一處，地面層為捷運主要出



圖23、24 Y9車站透視及模擬圖

入口、土開大樓出入口及地下停車場車道；二層為緊急發電機室、牽引動力變電站；三層為環控控制室、通風機房、電池室及不斷電系統室，四層為捷運辦公室與現金室、自動收費設備室、公共廁所及月台。車站月台層主體結構長92.6公尺，寬21.3公尺，月台長80公尺，月台高度距離地面約14公尺，利用通廊與出入口銜接，如圖23、24所示。

3. Y10景安站設計構想

(1) 基地環境分析

本站貫穿商業複合式住宅區，位於景平路、中正路、景安路交接快速道路之上，並與捷運中和線景安站相交，並共用橘線景安站原有出入口，為捷運高架與地下交會轉運站，如圖25所示。



圖25 值Y10車站基地位置及現況圖

(2) 設計主題與概念：傳訊-節點之光

環狀線在此站與南勢角線交會，作為此地區重要的交通轉換節點。以傳訊為題，創造出交會站車站造型及室內設計主題。車站造型及外牆以連續性線形開口，傳送都市的繁忙動線信息。

(3) 車站空間配置說明

Y10車站位於臺北縣中和市景平路、景安路路口東側，為環狀線與臺北捷運中和線景安站交會站，車站型式為高架側式月台車站，共有出入口一處，地面層為主要出入口層，二、三層為主要機房層，五層以空橋通往月台區。車站月台層主體結構長94.9公尺，寬21.3公尺，月台長80公尺，月台層距離地面約20公尺。景安路地下因有捷運橘線隧道，車站結構除須避開隧道外，尚須避開八里-新店快速道路橋墩，及複雜的地下既有雨水、汙水、電力管線，經評估車站如跨越景安路，車站結構將影響快速道路行車淨空，故將車站東移至景安路口東側，另以通廊銜接聯開大樓預留

之出入口。如圖26、27所示。

4. Y11華中橋站

(1) 基地環境分析

Y11車站位於中和區景平路與中山路二段之交叉口，現況原為一棟4樓冷凍廠。基地東側以住宅及住商混合使用為主，西側至中正路則多為工業及工商購物中心使用(威力廣場大樓：家樂福量販店、HOLA家飾、特力屋及燦坤等)，其周邊多為3-5層RC建物，近年來，基地周邊亦有許多15層以上的高樓層建築相繼完工。現況為一繁榮的住商混合區。因中山路過於狹窄，車站改為9M寬疊式車站，以縮小車站寬度降低都市景觀衝擊。車站座落於中山路二段上之中央綠帶，融入熱鬧的商業區，西臨中和橋通往工業區，站體將貫穿狹長的街道，並與都市步調融為一體，如圖28所示。

(2) 設計主題與概念：取納-聲光集結

此站鄰近中和廟口，地方小吃攤販集

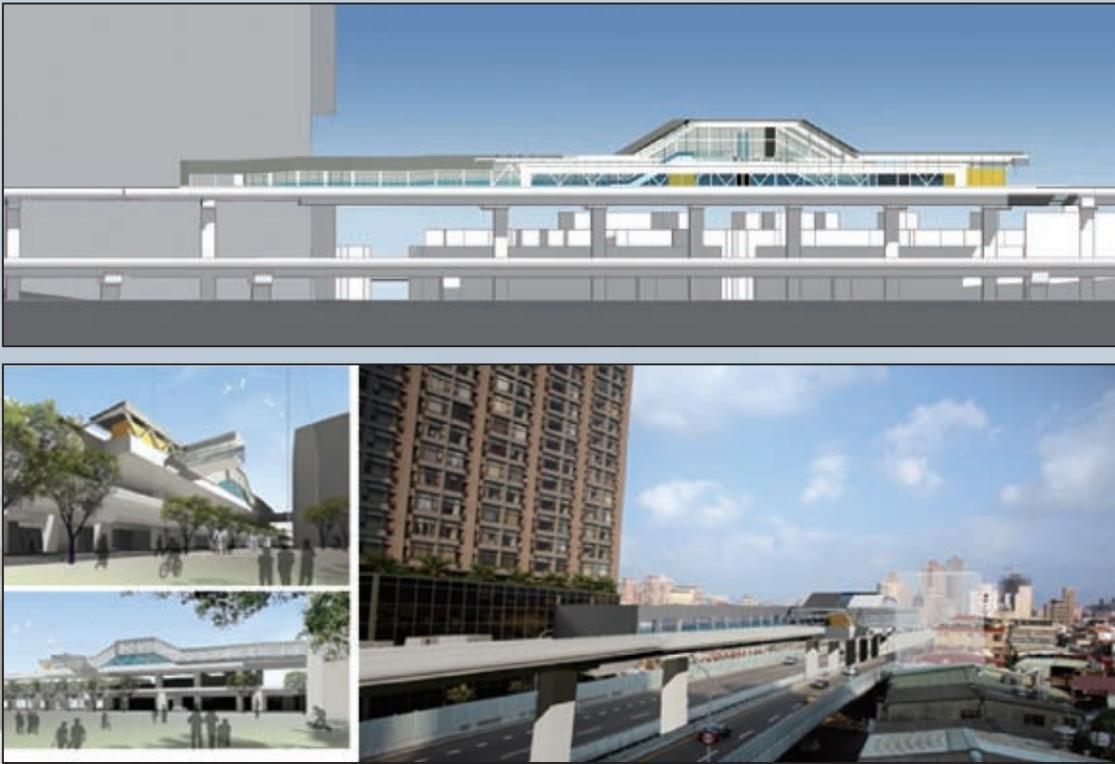


圖26、27 Y10車站透視及模擬圖

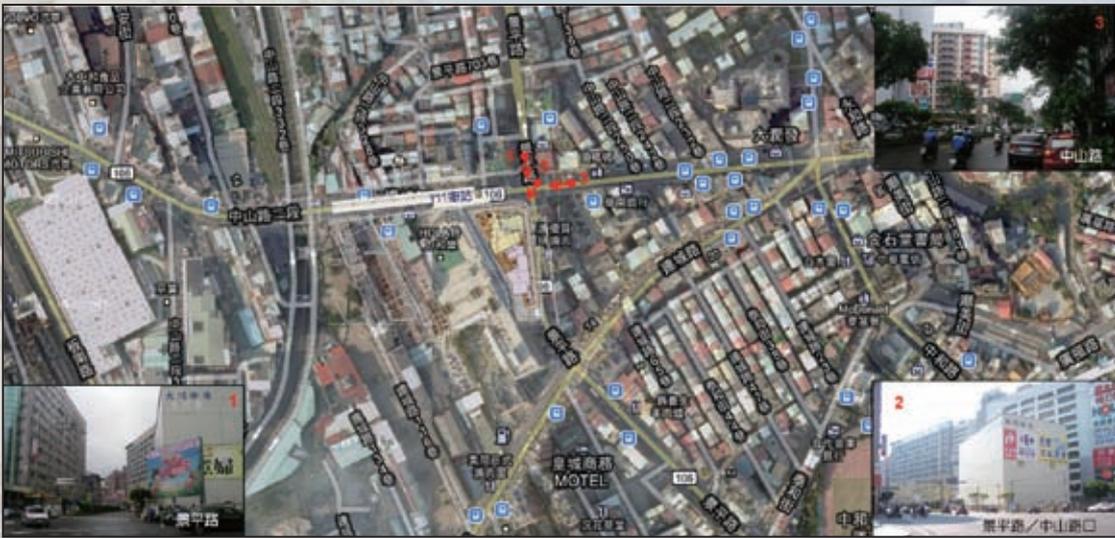


圖28 值Y11車站基地位置及現況圖

結，人聲鼎沸，十分熱鬧。將當地市區十足的活力與活潑氛圍引入。車站外牆造型設計擬捕捉活潑都市景象，同葉子葉綠素於外牆六角分割及開口中，傳達出取納集結週遭聲光能量的意圖。

(3) 車站空間配置說明

Y11車站位於臺北縣中和市景平路、中山路二段路口，為環狀線與萬大中和樹林線LG06車站交會站，車站為高架疊式月台車站，共有出入口一處，地面層

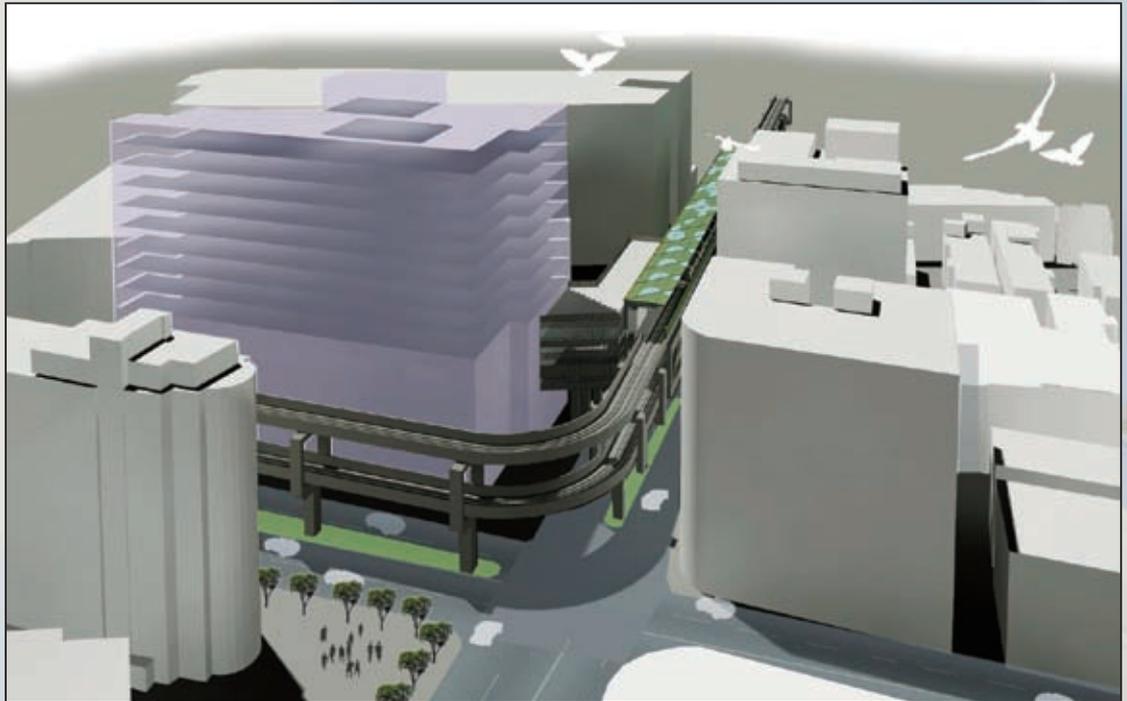


圖29、30 Y11車站透視及模擬圖

為主要出入口層，二、四層為機房層，三層為穿堂層及月台區。車站月台層主體結構長106.8公尺，寬9.06公尺，月台長80公尺，如圖29、30所示。

(1) 基地環境分析

Y12位於中和區板南路東側、中山路二段、橋和路間。鄰近多為工廠及廠辦大樓，並有一些一般服務業，如便利商店、小吃餐飲、汽車買賣等，分佈於道路兩側。車站位於板南路道路上方，板南路原為10M寬，現已拓寬為20M但道

5. Y12橋和站



圖31 值Y12車站基地位置及現況圖

路仍過於狹小，故將此站改為9M寬疊式車站，以縮小車站寬度降低都市景觀衝擊。本站位於街廓狹窄板南路上的工業區中，大部分鄰房皆是4-5層樓高住宅，車站北接橋和路，南接中山路二段，站體將向東連接新建土開大樓，如圖31所示。

(2) 設計主題與概念：轉換-科技之光

此站以東多為住宅區，以商業、服務業為主要產業，向西則在近年來逐漸轉換為高科技產業。車站如同都市催化劑，帶動都市發展，轉換為人潮聚集地。車站外牆菱形斜向帶狀錯位開口，表達出工業區緩慢轉換至多樣開發與科技產業區域的景象。

(3) 車站空間配置說明

Y12車站位於臺北縣中和市中山路、橋和路間之板南路上，車站為高架側疊式月臺，共有出入口一處，地面層為主要出入口層，二、四層為機房層，三層為穿堂層及月台區。車站月台層主體結

構長121.8公尺，寬9.06公尺，月台長80公尺，如圖32、33所示。

6. Y13中原站設計構想

(1) 基地環境分析

Y13車站位於中和區板南路東側、立言街及中正路間。鄰近多為工廠及廠辦大樓，並有一些一般服務業，如便利商店、小吃餐飲、汽車買賣等，分佈於道路兩側，部分工廠已進行都市更新開發為辦公大樓。車站位於板南路到路上方，板南路原為10M寬，現已拓寬為20M但道路仍過於狹小，故將此站修正為9M寬疊式車站，以縮小車站寬度降低都市景觀衝擊。本站座落於板南路上，遺棄的工業區及新開發的住宅中，東臨新店溪渠道，西接中正路，如圖34所示。

(2) 設計主題與概念：貯存-水文能量

渠道歷經整治，近年來大大改善地區颱風水災的問題。車站外牆以帶狀橫向菱形開口，渠道儲存水的能量，傾聽著



圖32、33 Y12車站透視及模擬圖



圖34 值Y13車站現況照片

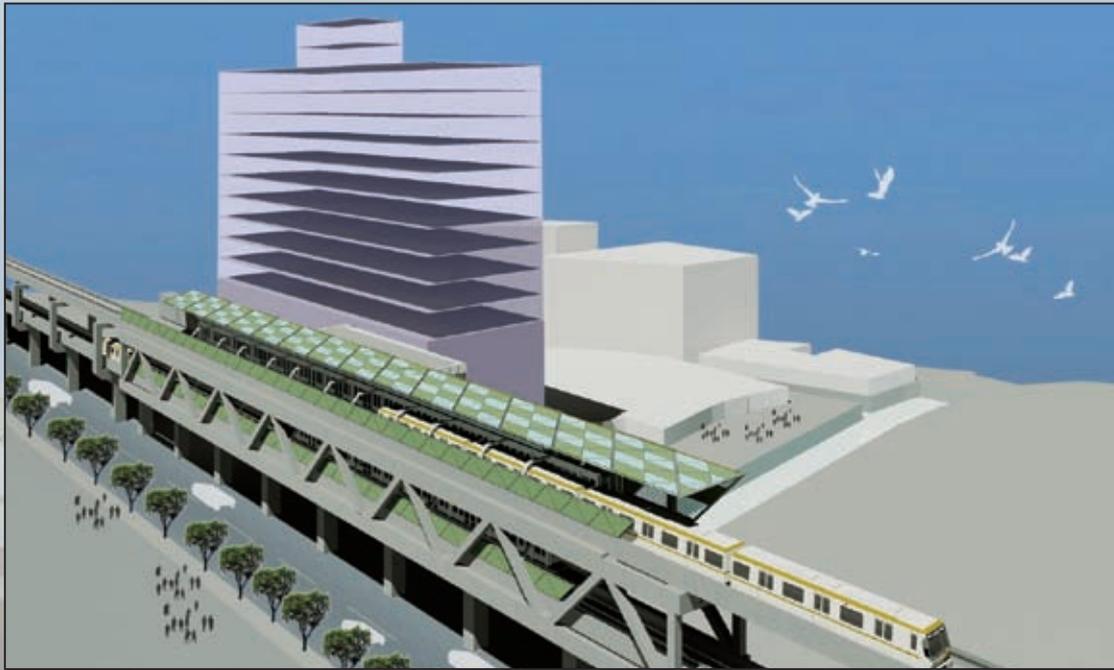


圖35、36 Y13車站透視及模擬圖

鄰近河流生命之歌，象徵貯存未來發展之能量。

(3) 車站空間配置說明

Y13車站位於臺北縣中和市板南路、中正路路口附近，近板南2號橋，車站為高架疊式月台，共有出入口一處，地面層為主要出入口層，三層為穿堂層及月台區，四層為機房層。車站月台層主體結構長121.8公尺，寬9.06公尺，月台長80公尺，如圖35、36所示。

7. Y14板新站設計構想

(1) 基地環境分析

Y14車站位於板橋區板新路、中山路一段交叉口西南側。鄰近多為一般住家居多，並有一些服務業，如診所、汽修業、飲料店，多分佈於一樓店面。車站位於25M板新路上方，為21M寬之側式月台。車站北側跨越中山路屬DF113標工程範圍。本站座落於板新路及中山路一段交接處的複合式住宅區中，鄰近有文教及商業區，如圖37所示。



圖37 值Y14車站現況照片

(2) 設計主題與概念：創造-新城光華

新市區的建設開發與縣政府的建設，此區成為台北縣新都會區域。從擁擠之都市，創造出具有寬闊新格局的板橋新都心。以車站前後開口，向板橋延伸引進開闊街道及鄰近綠帶，創造出一連串承先啟後的景色作為表現想法。

(3) 車站空間配置說明

Y14車站位於臺北縣板橋市板新路、中山路路口西南側，車站為高架側式月臺，共有出入口一處，地面層為主要出入口層，二層為樓、電扶梯轉折層，三層為穿堂層及月台區，四層為機房層，地下一至四層為主變電站及相關設施。車站月台層主體結構長92.6公尺，寬21.3公尺，月台長80公尺，如圖38、39所示。

同「回」字，進而發想捷運在都市中「循環交流」不息，旅客利用各地區的車站進出，如同都市與地區間行「光合作用」，旅客是介質也是養份，讓都市成長為都市綠洲。經由此概念，再引出光合作用的七個主要過程吸收、滲透、傳訊、取納、轉換、儲存、創造，將這些步驟轉化為具像圖樣，並再予以轉化為幾何圖案以應用於車站外觀與室內裝修主題。在設計車站的同時，也將綠建築、節能減碳等概念引入，以符合主流價值，並在狹窄路段設計高架疊式車站，以滿足都市救災需求並避免影響民眾開發權益。

本文為介紹臺北捷運環狀線第一階段工程DF112標的車站設計理念，在複雜而侷促的都市環境中，經由基地環境的了解、工程現況的條件限制，除解決工程技術、都市景觀與都市防災等課題，更揉合建築的思考創意，逐步發展而成設計雛形，最後而臻純熟，期望在捷運工程設計與技術上能再更上一層樓，成為未來捷運工程更完善的基石。

伍、結語

本計劃車站的設計由隱喻環狀線路線如



圖38、39 Y14車站透視及模擬圖

都會區鐵路立體化標竿工程——南港專案及臺中專案經驗傳承

關鍵詞：前瞻基礎建設計畫、東區門戶計畫、三鐵共構、臺鐵南港站之BOT/OT開發、站橋分離結構、無遮簷人行道、磚造遺構

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道工程部／技術經理／歐文爵 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道工程部／協理／何泰源 ❷



摘要 ABSTRACT

隨各都會區人口聚集，橫互臺灣西部走廊之傳統軌道，已形成都市更新發展的阻礙，因此，爭取鐵路立體化常為各地方政府之重點施政方針，惟因其建設經費高，僧多粥少，進度常略有停滯。

作者曾於本季刊第100期(102年10月出刊)撰文，介紹鐵道工程部近年參與之鐵路地下化及高架化之兩標竿工程-南港鐵路地下化工程(以下簡稱南港專案)及臺中鐵路高架捷運化工程(以下簡稱臺中專案)，說明其特色及主要創新技術，並分享辦理經驗供各界參考。

今年恰逢行政院為擴大內需，帶動經濟動能，擬推動八年約九千五百億之前瞻基礎建設計畫，其中以軌道建設為最大宗，因此各地方政府無不積極努力，希望爭取優先執行鐵路立體化之機會。值此契機，筆者擬再針對這三年多來兩計畫之進展及執行其他計畫之經驗，提出補充心得，希能對未來臺灣軌道建設有所助益。



壹、前言

大臺北都會區鐵路地下化工程分四期先後推動，已全部完成，第一期：臺北車站地下化工程72年至78年，第二期：松山專案78年至83年，第三期：萬華板橋專案81年至91年，第四期：南港專案87年至100年。南港專案傳承前期經驗與技術，集精華於一身，除將南港地區鐵路地下化，亦一併辦理汐止地區鐵路高架化、七堵調車場擴建、七堵車站改建、五堵貨場新建及增建百福、汐科兩通勤站等工程，有效縫合都市紋理、促進都市更新發展，其經驗值得其他地區(如桃園)爭取鐵路地下化時之參考。自本季刊第100期迄今，南港及松山車站上方BOT大樓相繼完工啟用，鐵路騰空土地使用(含路廊及場站區)亦有進展，以南港車站為中心之台北市東區門戶計畫亦逐漸啟動。而原南港專案規劃時留設之北宜直鐵岔出機制、捷運南港線延伸汐止機制(於設計階段被取消，原路廊改設臺

鐵第三軌隧道，捷運擬改採民生線延伸汐止)，亦與近來之北宜直鐵路線方案評估及基隆-南港間捷運或快鐵連接方案評估(目前擬採tram-train走臺鐵第三軌至捷運南港經貿南站附近轉乘)有關聯，故可適時做些檢討。

而臺中專案第一階段鐵路高架化，已於105年10月16日通車，施工時考量既有軌道運轉，所有十座高架車站皆須分兩階段施工，目前已第一階段高架通車，可拆除地面軌道，趕辦第二階段工程。因第一階段車站旅客動線略顯侷促，故僅先讓既有車站改建之五座車站通車，其餘五座新增通車站則併第二階段再啟用，故目前民眾僅能先感受取消平交道之效益，暫無法體驗捷運化之方便。第一階段通車後，因站體只做一半，有些問題(如動線、交界面雨棚遮雨效果等)自然可待整體完工後即可改善，但亦有些可供未來高架建設再優化，或另擇更佳方案的考量，將於本文中適當檢討說明。

(一) 綜合規劃時已考量三鐵(臺鐵、高鐵、捷運)共構隧道及車站需求，並已確認工程經費分攤、維管歸屬範圍及產權等原則。後續即使有變更(如高鐵南港整備站變更為營運輔助站、共構大樓量體變更等)，仍秉該原則辦理。南港站前後路段平面圖詳圖2，其中臺鐵及高鐵隧道自基隆路起為各雙軌之平行隧道(斷面H)，過松山車站往東逐漸變化為高鐵在上、臺鐵在下之共構隧道(斷面G)；另捷運自其南港站(BL17站)以東則向北斜交穿越高、臺鐵共構隧

道中間形成三鐵上下共構(斷面D)，穿越後再平行共構(斷面C,B)至研究院路及南港路口設經貿南站(BL18站)。

(二) 利用工程手段減少用地徵收及房屋拆遷，如狹窄路段改為上下共構隧道、辦理多次軌道切換以利分階段施工、部分開挖區設置臨時軌道支承版(圖3)，以及設置地中梁(壁)來減薄連續壁(圖4)等措施。

(三) 考量未來發展，留設多項軌道建設延伸機制，含高鐵延伸汐止基地、北宜直鐵延伸及捷運藍線延伸汐止機制(後路廊改設臺鐵第三軌隧道)(圖5)等。

(四) 採先改善交通(鐵路地下化消除平交道)，並預留BOT及OT開發機制之務實階段性建設做法(圖6、圖7)，除糧倉商場大樓(C1棟)具戰備需求先行建設外，規劃了部分與隧道共構之大樓(如B1, B2, C2棟)及部分於未來素地開發之大樓(A2棟)，共構大樓隧道區初建成本高，本使用者付費原則分攤建設經費。另為配合隧道北側南港輪胎廠、公賣局瓶蓋工廠、僑泰興麵粉廠…等

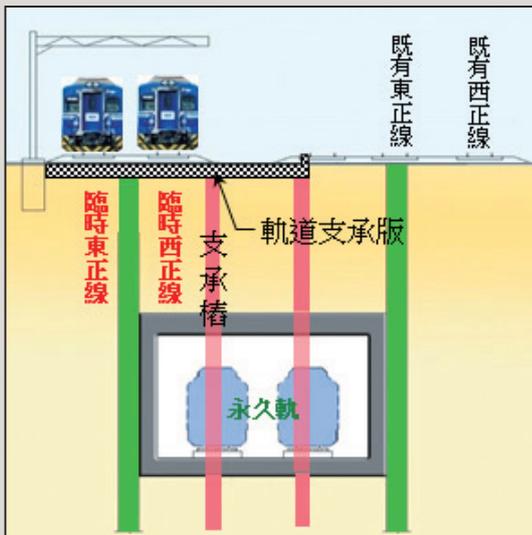


圖3 臨時軌道支承板示意圖

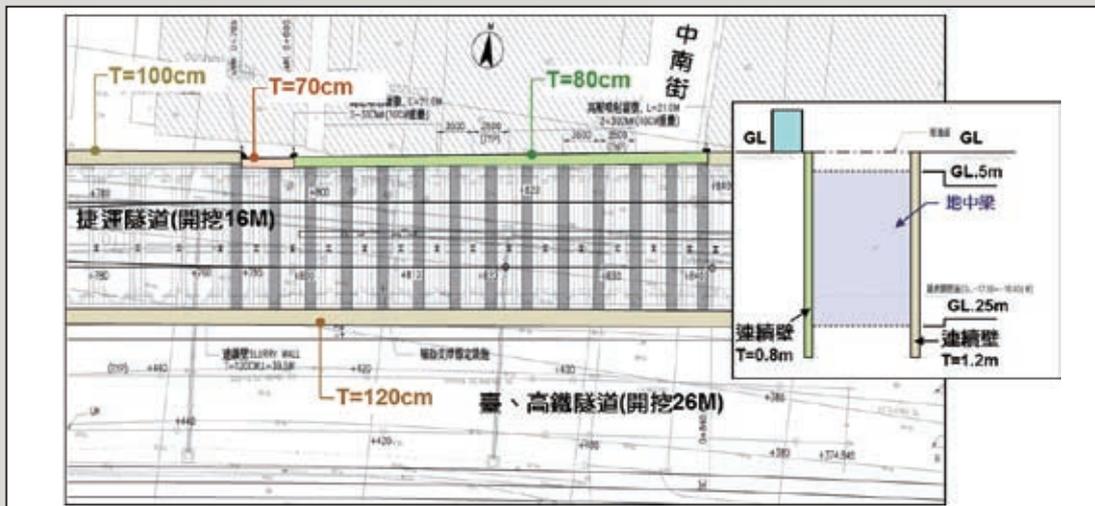


圖4 代辦捷運隧道段採用地中梁輔助支撐設施，減薄連續壁來減少拆遷示意圖

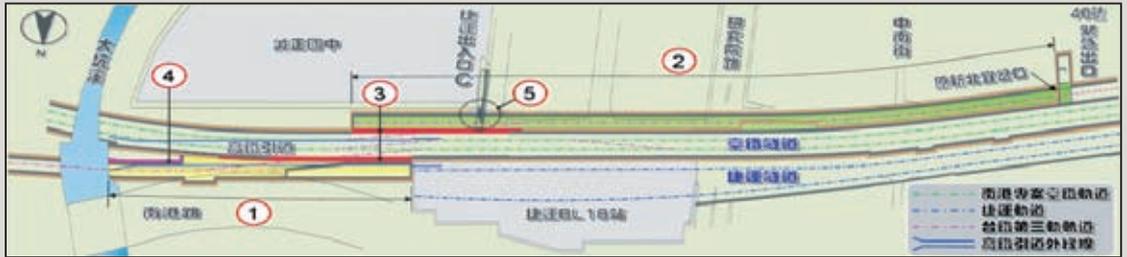


圖5 南港站東端預留高鐵引道、北宜隧道及第三軌隧道機制



圖6 南港車站初期建設透視圖



圖7 南港車站BOT(B1,B2,C2)及OT(C1)原開發規模透視圖

未來土地開發案，進行變更設計，於車站臨南興公園之地下結構預留可敲除牆供未來地下連通，請參考當時南港輪胎公司所提之開發構想圖(圖8，

該圖未繪出南港車站地面建物)，其中計畫地C位於新南港車站西側，為臺鐵南港貨場騰空後之空地，目前正興建北部流行音樂中心。

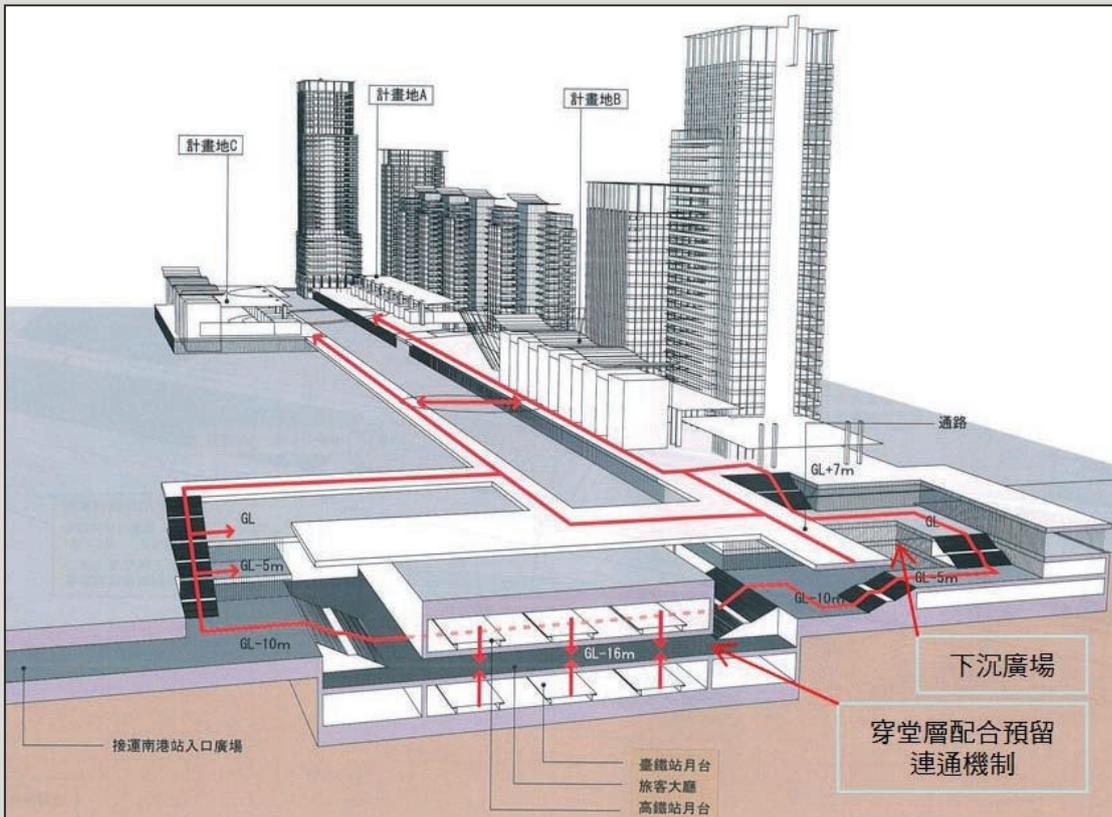


圖8 配合南港車站北側基地開發，預留地下連通機制 (南港輪胎公司提供)

二、檢討與經驗回饋

(一) 目前基隆積極爭取與臺北間之捷運建設，宜蘭亦努力爭取北宜直鐵，檢視南港專案綜合規劃時於南港車站東側之預留機制，原高鐵延伸汐止基地機制及臺鐵南港直線延伸宜蘭機制，都可為北宜直鐵之選項，甚至前者更適合；而捷運藍線延伸汐止機制，因後來變更設置之臺鐵第三軌隧道，使延伸難度與代價增加不少。其實原規劃時留設之三鐵東延機制，若後來能有一具宏觀性、客觀性、跨運具、跨縣市之單位來妥善整合，應能有最佳之配套方案。

(二) 原考量高鐵僅於南港設置備站，並爬升進入汐止橫科基地，故將其配置於

地下一層，工作人員經由地面層進入地下一層。後於施工中方變更為營運輔助站，故相對配置已無法變動，目前出站旅客必須由地下一層之高鐵層下到地下二層之穿堂層，再往上出地面，動線略差。將來配合圖8之開發案，旅客可由穿堂層直通南興公園改設之下沉廣場，可有效改善動線及防災效果。市政府後來已整合周邊開發案，提出更宏觀之「東區門戶計畫」(圖9)，將以南港車站為中心，涵括交通轉運站、生技產業、會展產業、公辦都更案、公共住宅等。檢視圖10之現地照片，原圖8之計畫地A，B，目前部分已騰空，部分施工中，因保留了部分歷史建物，應已變更為圖9之文創產業園區。希望原預定於南興公園處之下沉廣場未來仍能實現；另隨著



圖9 東區門戶計畫構想圖(台北市政府都市發展局)



圖10 南港車站北側文創產業園區基地現況

本區之蓬勃發展，希望近期內A2棟基地(圖11)也能儘速建設，讓南港車站更加完美。

(三) 開發大樓所需停車場，原被理想性的要求必須設於最遠之C2棟(圖7，以鼓勵大眾運輸為由)，後開發大樓執



圖11 位於A1東側出入口旁之A2棟基地現況



圖12 南港車站BOT建設透視圖(由潤泰旭展股份有限公司提供)

行時，已務實的檢討，酌降該棟停車數，將部分停車場移至B2棟南側之B2a棟，以創最佳效益(圖12~13)。

為高架站，增設豐南(後改稱栗林)、頭家厝、松竹、精武、五權等五個高架站，其中松竹、大慶站分別與捷運綠線G4、G13站轉乘，共同形成一個環狀捷運網。

參、鐵路高架化-臺中專案經驗回饋

本計畫範圍如圖14，全長約21.7公里，改建豐原、潭子、太原、臺中及大慶等既有車站

一、主要設計考量

本計畫除為了讓沿線居民享受都市縫合及捷運化的便利，亦可當作其他都會區選擇與執



圖13 南港車站完工站片(自東南向西北方向拍)



圖14 臺中鐵路高架計畫範圍圖

行鐵路高架化之誘因與範本，故設計時，特別站在臺中市民的觀點，首重建設與環境景觀之融合，提升正面效益，前已於本季刊第100期闡述整體計畫主要特色及做法，重點摘述如下：

(一) 善用公有土地減少佈設臨時軌道及臨時站。考量原臺中省轄市範圍鐵路旁已有綠園道，故提出了變更，將該段高架橋改設於綠園道位置，而施工中

則使用既有軌營運，大幅減少臨時軌及臨時站工程，同時減少了三處須跨越臨時軌設置之門架型高架橋，並使高架車站遠離古蹟車站及月台，效益卓著。

(二) 妥善規劃兼顧功能與造型之橋梁建設。研提藝術化、優質化的橋梁造型概念(圖15)，並已順利施工，整體造型平順、曲線優美(圖16)。

(三) 車站節點考量轉乘便利，兼顧都市發展需求，並營造地標建築。營造車站區域優質開放空間與地景品質，創生深具吸引力的都市空間，使其不僅是



圖15 橋梁造型概念圖

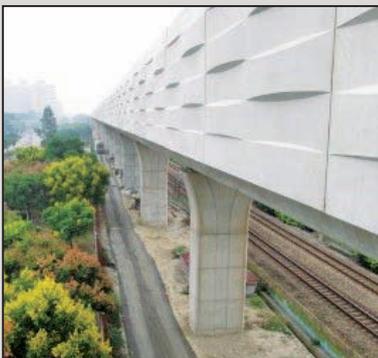


圖16 竹編式預鑄護欄及弧形曲線墩柱帽梁完成照片

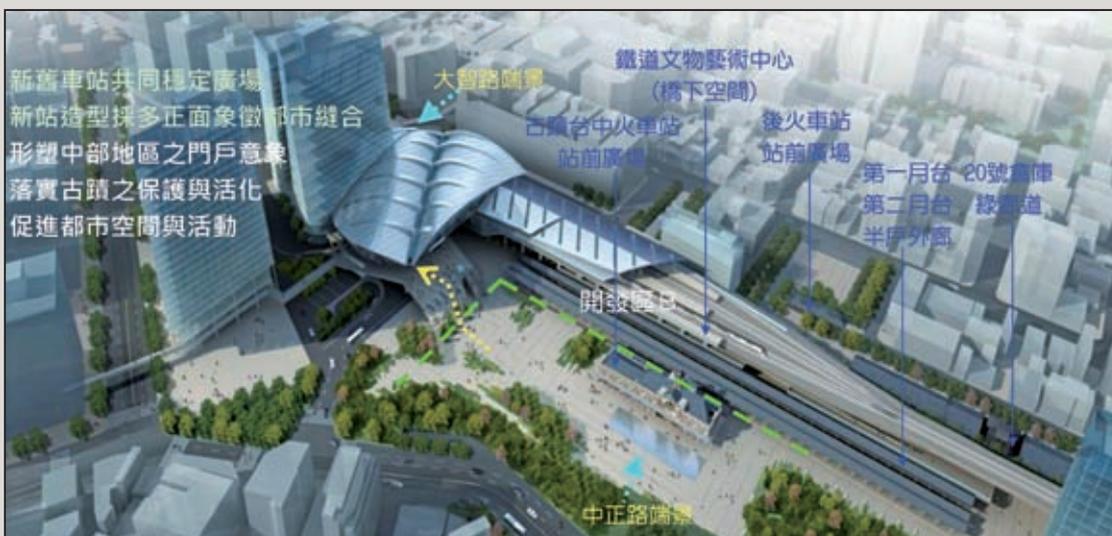


圖17 臺中車站整體設計概念鳥瞰圖



圖18 臺中車站整體設計概念圖(中正路端景透視)

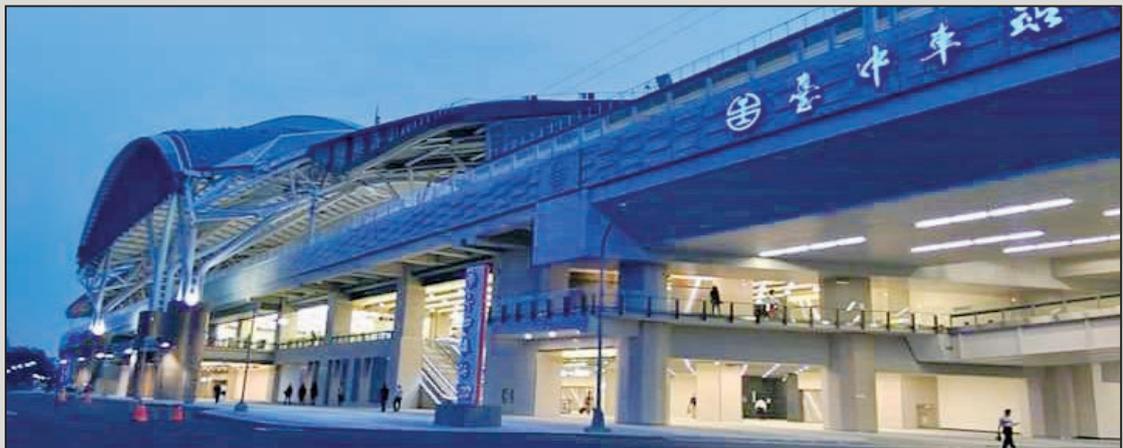


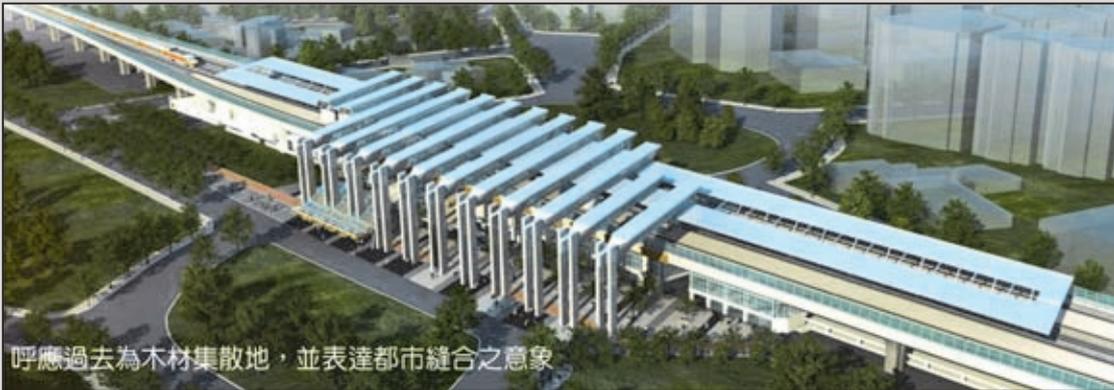
圖19 臺中新站大智路側啟用後照片



圖20 臺中新站大智路端景廣角照片(大智路因拆遷抗爭尚未貫通)

交通據點，更是一個具目的性的都市活動地點。臺中車站將結合客運轉運站、地下停車場、前後站廣場、貫通或拓寬之周邊道路、商業開發大樓、

古蹟、鐵道文化園區等，形成集交通、文化與都市活動為一體之高效率都市中心(圖17~圖20)。



呼應過去為木材集散地，並表達都市縫合之意象

圖21 豐原車站整體設計概念透視圖



圖22 豐原車站第一階段通車後照片



圖23 豐原車站正面照片

而捷運化通勤車站，主要考量簡潔明亮、節能減碳，融入社區，以創造和諧的視覺感受。設計時著重造型、使用經驗、車站構件及設備的一致性，將旅運設施標準化，並考量通

用設計，以方便市民熟悉使用；但又須因地制宜，考量各站都市空間特性、自然條件的差異、各地點特色典故等，同中求異，凸顯其自明性(圖21~25)。



圖24 精武車站整體設計概念透視圖



圖25 精武車站單側完成照片(供列車通行，車站暫不啟用，另側施工中)

二、檢討與經驗回饋

- (一) 強調節能之自然通風設計，須與防潑雨功能，妥善平衡考量。
- (二) 強調護欄上隔音牆於車廂窗戶高度範圍之通透感，以利搭車旅客感知城市記憶，但部分路段隔音牆之折射反光，影響周遭住戶或地面車輛駕駛，以致須改善，為將來可多留意之設計細節。

- (三) 本案執行時呼應政府綠色能源政策，於頂棚上廣設太陽能板(如圖20)，建設經費增加不少，其效益將來可追蹤檢討。
- (四) 站區結構採站橋分離(圖26)，大幅改善了月台層下方旅運空間之振動，且橋下車站不承載列車，結構尺寸小而經濟。因站與橋不同施工標，橋與上方免申請建照之月台及雨棚可先行施作，須申請建照之下方站體後續再進場施工，有利躉趕工期。但若標與標間整

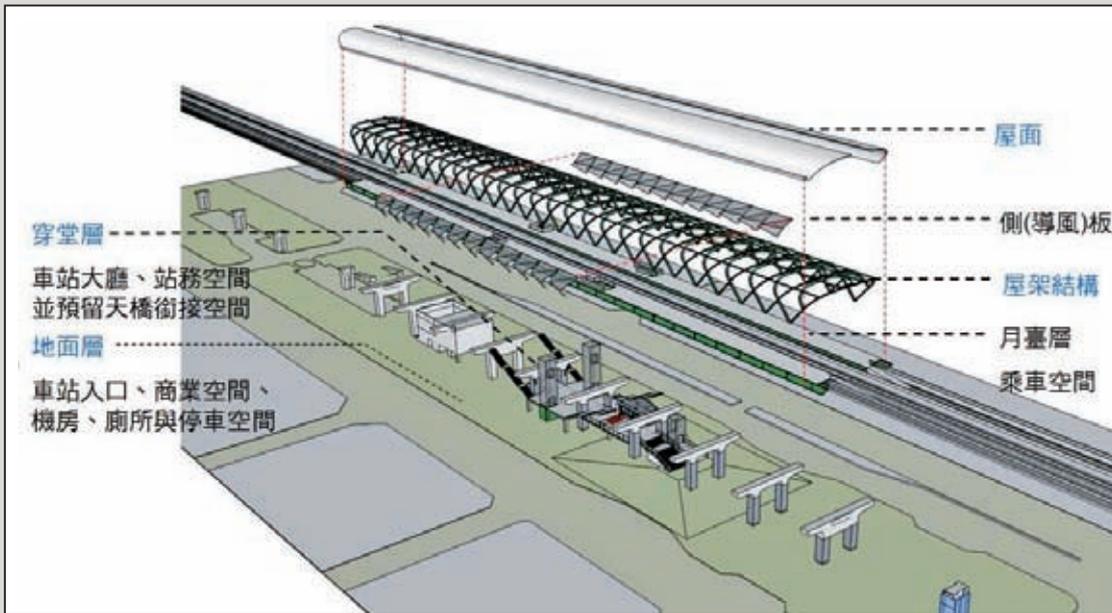


圖26 高架通勤車站標準框架示意圖

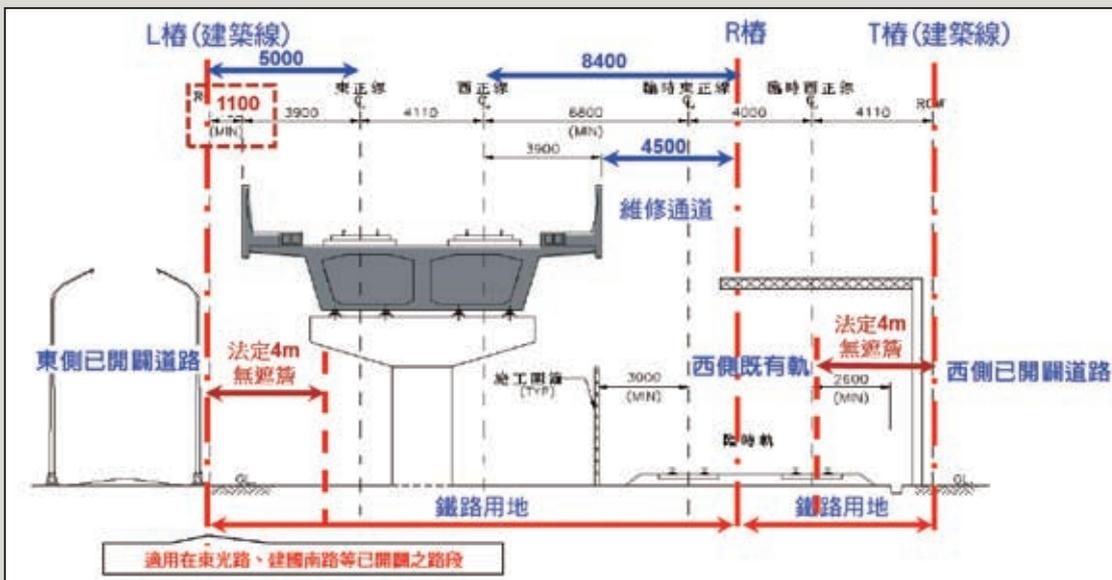


圖27 不適宜本案之無遮簷人行道規定(東側須再往外徵地!)

合不良，或前標工進延遲，或車站設計過程需求變動太多，使先施工的橋梁要變更等，都會造成負面效果。

(五) 鐵路建設確有其特殊性，建議未來於配合鐵路改建之都市計畫變更內容中，能加註如“經……同意者不再此限”之彈性語句，可較利計畫執行。

本案鐵路改建時須維持既有軌營運，已有徵收用地、拆遷民房之困擾，若都計要求臨計畫道路側須再退縮4米設置無遮簷人行道(圖27)，不就意味著須再徵收4米用地來將計畫道路外移以符規定嗎？其實要求橋下須有連續性行人通道即可，但都計常為上位計畫，該規定不易為個案取消，故建議

各地政府務必如前述加註但書。另原考量尊重地方而申請車站一般建照，但因建設之特殊性，反造成審查者之困擾，以致陷入反覆會簽釐清、開會、變更都計、變更都審…等之冗長反覆過程，故建議往後車站建設一律申請特種執照。

(六) 另於配合鐵路立體化之都市計畫變更時，宜就站區建蔽率及容積率之訂定、沿線臺鐵多目標開發構想、臺鐵局回饋土地之區位及多寡、市府擬使用範圍及項目之構想(含使用臺鐵局管有土地之撥用方式)進行協商確定，且確定後於設計階段各方需求之變更應有效控管，以利計畫順利執行，否則後續申請建築執照時會非常辛苦。

(七) 本案在減少徵收拆遷及施工時程平衡考量下，橋梁段可於臨軌側完整施工，但車站區則須採半半施工，可是卻因此被要求車站各施工階段前須進行建照變更申請作業，徒增困擾。建議往後各積極爭取鐵路改建之地區，能採行較適宜之彈性作法，無論一次啟用及須分階段使用之車站皆僅申請完整建物之建築執照，另針對分階段啟用之車站，要求於申請部分使用執照時，檢附施工側對營運側之安全防護計畫送審即可。

肆、近年來執行其他鐵路立體化計畫之綜合經驗分享

本季刊第100期已提出幾項綜合檢討事項，如1.鐵路立體化後，橫交地下道及陸橋是否保留？2.汽車停車場應設在離車站出入口近處或遠方(參見貳、二、(三)論述及圖28)？3.站區開發怎麼做(站體上方做共構大樓或留素地供開發)？誰來做？何時做？4.計畫兩端是否有延伸需求？一併延伸或僅預留機制採階段性建設？財源？5.何時為計畫動工之最佳時機？等議題，茲再補充下述檢討建議供參：

一、大臺北區鐵路地下化務實的採分期建設，逐步更新都市，俟縫合蛋黃區後開發效益顯現，再往蛋白區逐次建設；站區大樓亦常以先蓋運務需求範圍，並預留開發機制之作法(南港、萬華)。但近來其他都會區常要求立體化長度一次完成、站區開發大樓亦要一併建設，雖減少界面處理費用，但常衍生建設經費須一次到位及蛋黃區要等蛋白區範圍鐵路改建完成才能一起取消平交道的窘境，其效益孰優，值得檢討。

二、站區採低密度開發或高密度開發？留廣場或蓋大樓？常於規劃階段即已協商確定，後續也會有都市縫合計畫、都市計畫變更等，原可供後續設計依循。設計時，因車站配置須使用單位同意才能送地方主管機關進行都市設計審議，依前期共識原可順

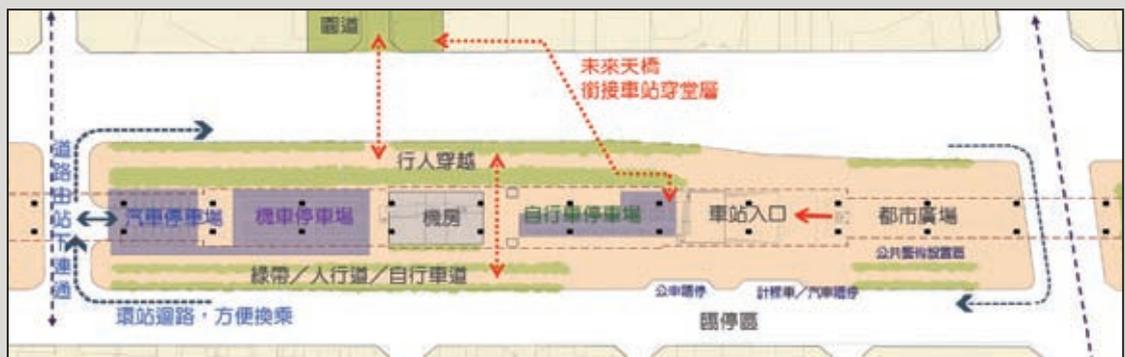


圖28 臺中通勤站人車動線示意圖(離出入口近至遠依序為行人、自行車、機車、汽車)

利辦理，但卻常於設計初期產生使用單位或地方主管機關(或其委員制之都設審會議)變更需求或需求衝突的問題，此部分應該是目前執行最困難的部分！另鐵路立體化建設之本意，主要是為了繁榮地方，故以往常擇於可能路段先行施工，以宣誓施政決心，或先行施作隧道或橋梁部分。惟後續車站區之都市設計審議或請照事宜卡關，或車站施工後，原站區擬開闢之道路或廣場用地遇抗爭無法取得，將陷計畫於兩難。行政院核定規劃案後，已有核定之各方權利義務，後續執行時若有任何一方要變動需求，建議應有較嚴謹之規範機制，確實進行需求管理(如提出額外需求者，須負責籌措財源、都市設計審議機關或委員意見超過行政院核定規劃報告內容時要有收斂或計畫變更機制等)，方能使計畫推展具政策一致性，加速計畫推動，形成多贏局面。

三、臺灣鐵路自清朝即開始建設，歷經日治時期及民國時期之改建與擴建，必有甚多的古蹟與歷史建物，故目前都會區鐵路立體化改建過程一定會面臨建設與古蹟或歷史建物之界面問題，如何保護它或活化使用，常為重要課題。如臺中車站古蹟及歷史建物多，設計新車站時已做妥善考量，

對古蹟車站與第一月台及其他歷史建物(後站、20號倉庫群)皆設法避開，另對與工程衝突且未被定位為古蹟之第二月台，已建議先拆解保存，高架施工後再回組，來盡力維持未來臺中站鐵道文化園區完整性。近期施作第二階段工程基礎開挖時，發現了日治時期機車庫磚造遺構(圖29)，經古蹟專家鑑定，其保存價值頗高，已研擬各因應方案，希望能為臺中新站再增添文化意涵(三代同堂)。

四、依近年來執行車站改建經驗，常有一些衝突待拆除之建物，於施工前臨時被提報歷史建物之狀況，如臺中站轉運站動線處之新民街側倉庫群(幸未成真)，可能衍生改建工程越多，卻要保留越多老建物，變成增建而非改建，衍生後續維管，以及減損原預期開發效益之問題。台灣其實不大，已快達一日生活圈之目標，若到處被要求留下一些類似的倉庫、廠房及辦公室等“近期”歷史建物，或到處都有一些類似的鐵路文化園區，及看到老火車展示，其實反而失去其紀念意義。因此，老舊場站建物與工程衝突時，若能從全國性的立場，適當區隔各地保留的主題，雷同者當拆則拆，較能兼顧歷史文化保存及鐵路改建之效益。

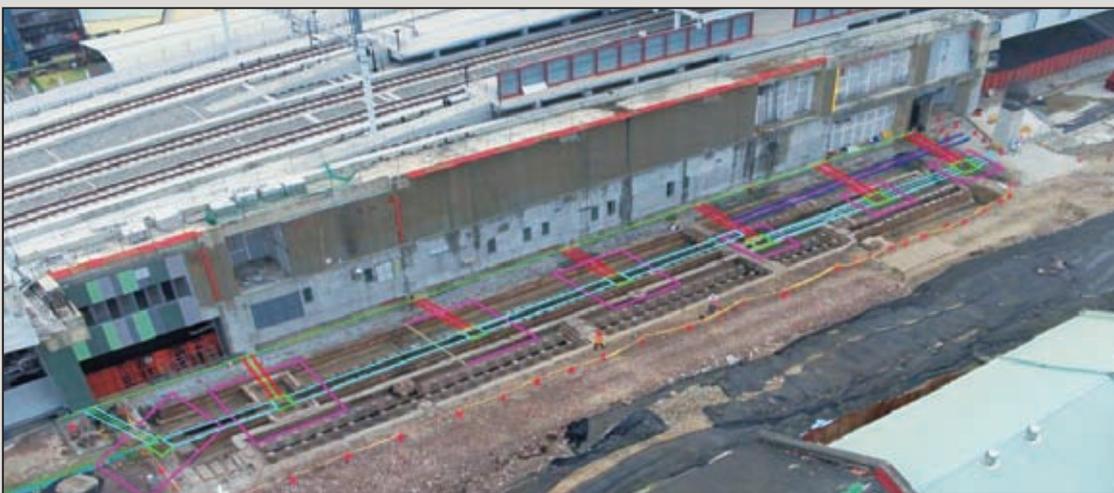


圖29 日治時期機車庫遺構與臺中新站第二階段基礎衝突套繪(鐵工局中工處提供)

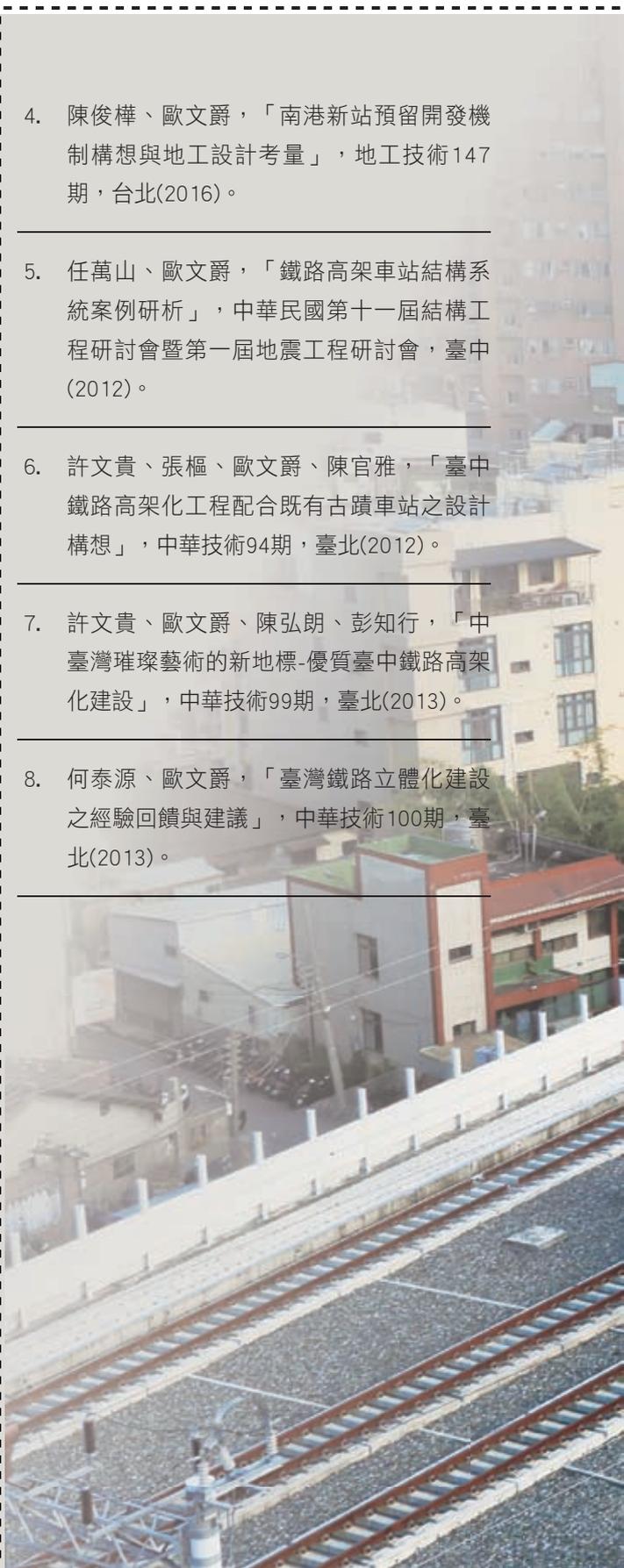
伍、結語

都會區鐵路立體化工程對地方來說，是一個都市改造的大手術，在爭取的同時，如動手術前簽同意書一樣，要有相當的心理準備，徵收用地、拆遷建物、施工中交通衝擊、鐵路遷離地面後，騰空廊帶用途及兩側都市準備如何縫合改造？以及最重要的建設經費來源等問題，都必須慎重負責任的面對。值此中央政府大力推動軌道建設之時機，本文特別針對南港專案與臺中計畫的建設經驗，提出檢討與回饋供後續鐵路立體化執行參考，礙於篇幅，有興趣之讀者可參閱下節之延伸閱讀文獻，以獲取完整論述。

經檢視目前政府提出之前瞻基礎建設計畫之軌道工程部分，項目多、規模大，各地方宜努力準備，提出地方配套方案，後續方易爭取建設執行之優先權。如對規模或長度較大者，採用階段建設、預留機制，效益顯現後再延伸計畫，是務實的建議方向；也可針對本文中所述之執行障礙點，提前修訂窒礙難行規定，研擬較務實之SOP，必能有利未來計畫推動。

參考文獻

1. 楊漢生、楊銓、查拔禧、歐文爵、劉慶豐，「地鐵南港專案綜合規劃成果概述」，中華技術37期，臺北(1998)。
2. 楊漢生、陳弘朗、歐文爵、韓光曙、彭俊杰，「南港三鐵共構車站新建工程」，中華技術72期，臺北(2006)。
3. 邱文峰、歐文爵，「臺北市區臺鐵地下化南港專案研究院路段工程設計與施工」，中華民國第十二屆結構工程研討會暨第二屆地震工程研討會，高雄(2014)。
4. 陳俊樺、歐文爵，「南港新站預留開發機制構想與地工設計考量」，地工技術147期，台北(2016)。
5. 任萬山、歐文爵，「鐵路高架車站結構系統案例研析」，中華民國第十一屆結構工程研討會暨第一屆地震工程研討會，臺中(2012)。
6. 許文貴、張樞、歐文爵、陳官雅，「臺中鐵路高架化工程配合既有古蹟車站之設計構想」，中華技術94期，臺北(2012)。
7. 許文貴、歐文爵、陳弘朗、彭知行，「中臺灣璀璨藝術的新地標-優質臺中鐵路高架化建設」，中華技術99期，臺北(2013)。
8. 何泰源、歐文爵，「臺灣鐵路立體化建設之經驗回饋與建議」，中華技術100期，臺北(2013)。





3

專題報導

台灣軌道建設 PPP之最後拼圖

關鍵詞：PPP、Shadow Bid、專案融資、軌道建設

台灣世曦工程顧問股份有限公司／民間參與公共建設部／協理／林貴貞 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／民間參與公共建設部／技術經理／張正育 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／民間參與公共建設部／計畫經理／涂耀清 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／民間參與公共建設部／財經分析師／吳巧麗 ❹

摘要 ABSTRACT

民間參與公共建設最大的資金提供者為融資機構，然目前國內民參案由民間機構承擔主要風險，致使融資機構融資意願降低，對於民間參與大型公共建設的難度也相對增加。

為提高台灣軌道建設PPP之可行性，本文以台灣高鐵案為例，採用國際上慣用之商業架構，藉由風險再配置，增加民間機構投資誘因。期望日後藉由商業契約的設計，將風險合理配置在最有能力承擔者身上，並搭配合理之付款機制，方能提高融資機構專案融資之意願，達成軌道建設PPP之最後拼圖。



壹、前言

我國自民國83年12月及85年1月分別發布施行「獎勵民間參與交通建設條例」(以下簡稱『獎參條例』)及其施行細則，將民間及融資機構資金有效投入交通建設與觀光遊憩建設方面，開啟政府與民間公私協力的夥伴關係(Public Private Partnership, PPP)。由於第一個民參案例—台灣高速鐵路案例名義上為政府零出資，致使日後國內採促參法之公私協力案件皆認為民間廠商應以自負盈虧之方式經營。

本文將由台灣PPP推動現況談起，說明我國融資機構對專案融資之考量，並分析專案融資與風險配置之重要性，再以台灣高鐵為例，採用國際上慣用之PFI(Private Finance Initiative，又稱Shadow Bid)之商業架構，重新模擬風險再配置，由最有能力承擔該專案風險者來承擔，

如此提高了民間廠商投資的誘因，才是公私協力雙贏之經營架構。

貳、台灣PPP推動現況

一、PPP推動歷程

於民國80年代，政府肩負提供各項公共建設及服務，為提高政府預算效率，故政府積極鼓勵民間參與公共建設之投資，以彌補公共建設預算之缺口，故政府於民國83年12月制定了「獎參條例」，為高鐵民參建設案、高雄捷運紅橘線民參建設案等之法源依據。

因獎參條例僅適用於交通建設類別，後續為了擴大適用之類別，不僅侷限於交通建設，於民國89年2月發布實施「促進民間參與公共建

設法(以下簡稱『促參法』)」，廣開公共建設適用範圍之大門。促參法原主管機關為行政院公共工程委員會，為因應政府組織再造及國際趨勢，於民國102年起改由財政部主管。因促參法採通案立法，主管機關除積極發布相關子法及配套外，亦提供許多辦理促參之作業手冊、招商文件範本、注意事項、促參標準作業流程及檢核表等，使各機關辦理促參時有更明確之參考依據。

後因促參法施行10多年後，部分條文於適用上，各界認為尚有修正之必要，續於民國104年12月由財政部公布促參法之修訂條文，除新增政府廳舍為公共建設之類別外，更刪除由政府投資建設之一部，增訂得按營運績效給予補貼並明訂於契約中。按營運績效給予補貼之立法理由為對於未具自償性之專案，政府應該於營運期予以支持。

二、PPP列管簽約計畫現況

根據財政部促參司截至105年11月30日之統計資料，民間參與公共建設之已簽約案件數為1,356件，簽約總金額約為新台幣1兆1,519億元，平均案件簽約金額為8.49億元。分析自102年度以後均平均維持100件，顯見國內推動促參執行具有一定之成效。

以投資類型趨勢而言，以交通建設最多(36.3%)，文教設施(23.2%)及衛生醫療設施(11.3%)分別居其第2位及第3位。就地方政府推動促參類型而言，交通建設(44.2%)與文教設施(21.8%)仍維持前2名，其次為運動設施，約佔地方簽約案件之9.3%。綜上而言，交通設施與文教設施在中央與地方為促參主要推動之類型。

三、軌道建設PPP計畫推動之侷限

在歷年已簽約的促參案件數中，以交通建

設的案件數量最高，惟在深入瞭解，幾乎以停車場類別為主，而非軌道建設，究其原因主要係受限於投資報酬。從國內推動高鐵及高雄捷運紅橘線民參建設的案例經驗，可以發現軌道建設PPP計畫的特性為：(一)介面複雜的系統性工程；(二)興建經費龐大且回收期長；(三)運量預測不確定性高，財務及營運風險高。故軌道計畫屬高沉沒成本，在建設期須投入大量資金，加上運量預測不確定性高，財務規劃是否合理分配風險，會影響融資機構態度及融資意願，更是決定計畫是否成功的關鍵。

參、我國融資機構對專案融資之考量

融資機構對專案融資主要是考量專案的風險與範圍，以下將就專案融資的特性及國內融資機構對專案融資所考慮之風險探討。

一、專案融資特性

國際上專案融資是一種特殊的融資安排，是以計畫未來產生之現金流量為還款來源，向融資機構取得特定用途之融資。一般均成立特許公司作為融資與投資的權利義務主體，其特性為：

- (一) 可避免投資受原母公司/股東之債務行為而終止計畫。
- (二) 為資產負債表外的融資方式(offbalance-sheet financing)使投資母公司/股東不因投資計畫產生負債/或有負債。
- (三) 屬無或有限追索權(Non-Recourse，或 Limited Recourse Financing)的融資方式，使計畫產生之債務不追溯或有限追溯至母公司/股東。

二、我國融資機構對專案融資所考慮之風險

然反觀我國融資機構因受限銀行法第12條擔保授信的限制，仍以擔保品為主要思考。融資機構在進行授信作業時，通常會對貸款對象之狀況、資金用途、還款來源、債權確保及授信展望等項目審慎評估，其中尤以債權確保一項，更能影響債權能否確實回收。

在一般傳統之融資金融機構放款會要求借款人提出擔保，若無擔保通常要求借款人提出具信用財力之人作為保證人，並以保證人之一般財產作為擔保。然對於專案融資，國內融資機構除了要求以計畫未來產生之現金流量作為還款來源外，並希望以計畫所取得之權利(如：特許權、地上權等)作為擔保，在風險的安排上，國內融資機構也會從法令制度、計畫契約架構、民間機構履約能力、工程難度及未來營收等面向審慎評估，並藉由計畫契約或保險契約等契約將風險重新配置與分攤。

肆、專案融資與風險配置之重要性

在了解專案融資主要考量風險後，如何降低計畫風險，提高專案之成功率，適當的風險配置便是重要的課題。

有關政府與民間廠商就執行PPP專案所可能面臨之風險，皆應適當配置，由最有能力承擔該專案風險者來承擔，以達PPP專案執行真諦。

一、PPP專案風險

於可行性評估或先期規劃階段對於未來軌道建設之工程成本或工期等評估可能發生過分樂觀之情況，致對於專案成本、工期的低估與專案效益的高估等相關之風險，造成專案成本超支，由於該等風險可能會減損專案計畫之財

務可行性，故需於可行性評估及先期規劃時謹慎估計。

二、風險之適當配置

風險配置主要精神在於將風險配置給最具有能力承擔並處理風險之一方。以建立政府與民間合作夥伴關係，合理分攤規劃設計、施工及營運各階段之風險。合理分攤係指將風險依據其特性與衝擊，配置於政府端、民間端、或是政府與民間合理分攤，藉由確認PPP專案之風險，綜合評估風險適宜承擔對象，並與計畫利害關係人適度溝通，以減少阻力並提升計畫之成效。

三、風險評估及風險管控

為建置一個適合國內軌道建設PPP專案之風險評估模組，自過去案例蒐集風險評估相關資訊。風險管控程序流程依序為，風險確認、風險評估、風險預防及減輕對策、風險監控等，詳圖1風險管控程序流程。

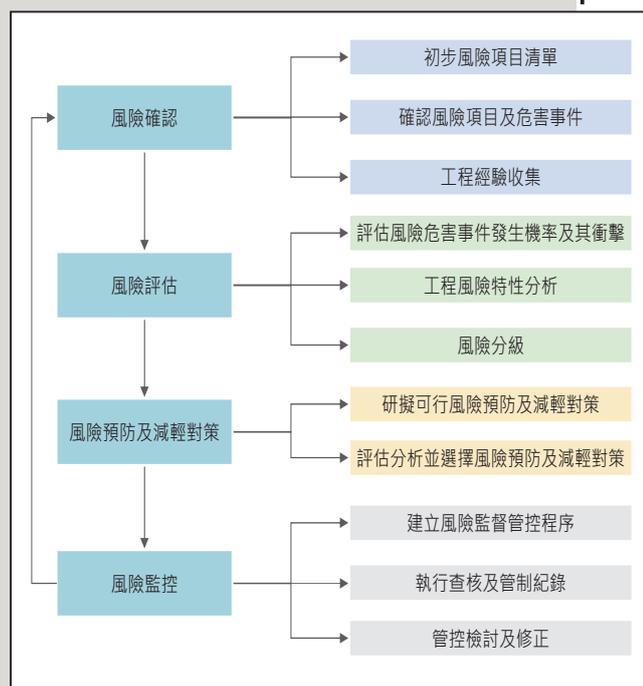


圖1 風險管控程序流程

四、風險種類辨識評估

為有效執行與掌控風險管控，以過去執行軌道運輸專案之風險管控經驗，建置軌道運輸系統之「風險種類辨識」(詳表1)，以了解各類風險對PPP專案執行造成之影響。

風險項目之辨識，以實際執行軌道運輸案例及民間參與經驗，以及各國執行風險分析之要項，羅列各階段可能風險項目，分別分析在「傳統政府採購模式」以及「PPP模式」下，對於「興建營運成本」可能有影響者，羅列可能風險項目如下：

- (一) 興建營運成本整體：與興建營運成本整體相關之風險為「法令變更風險」；因興建營運成本又可分為「期初資本投資」、「期中資產更新投資」及「營運成本」，分述如后。
- (二) 期初資本投資：影響期初資本投資之因素可能為實際成本或工期之花費超過估計，故與期初資本投資相關之風險為「興建成本超支風險」及「興建工期延誤損失風險」。
- (三) 期中資產更新投資：與期中資產更新投資相關之風險為「期中資本更新超支風險」。
- (四) 營運成本：與營運成本相關之風險為「營運成本超支風險」、「第三方收益風險」。

五、風險配置評估與風險因應策略及監控機制

續考量軌道運輸專案特性，形成軌道運輸系統採PPP模式之「風險配置評估」。

(一) 可能風險來源類型

針對「PPP模式」以及「傳統政府採購模式」，分別於兩種模式下相關之風險應如何分配於「政府」及「廠商」承擔的項目。

(二) 風險因應策略及監控機制

因國內軌道運輸系統採用PPP模式與建營運之案例較少，由彙整得出之風險辨識項目，比較於「傳統政府採購模式」與「PPP模式」下，政府已移轉應承擔之風險予民間廠商者(意即該表之灰色底色項目)，列示該等「風險種類、因應策略及監控機制」如表1所示。

故自以上風險配置評估可知，為提高PPP專案的成功率，就執行期間所可能面臨之風險，不應全由民間廠商獨自承擔，而應在政府、民間廠商、融資機構及保險機構等專案參與者間適當配置。以下以軌道系統專案執行之案例作說明。

伍、風險再配置，重設計軌道建設PPP模式-from BOT to Shadow Bid

本節先由台灣高鐵商業契約架構與款項支付方式談起，並介紹現今世界軌道建設PPP計畫常用之Shadow Bid模式，最後以台灣高鐵為例，採用Shadow Bid之商業架構，對其風險進行分析。

一、台灣高鐵商業契約架構

台灣高速鐵路融資案非採國際認定之專案融資，而是台灣實務上專案聯貸。採專案融

表1 風險種類辨識、配置評估及因應策略與監控機制表

軌道系統 專案執行 各階段 風險種類	風險辨識	PPP模式下 之風險配置		傳統政府 採購模式下 之風險配置		因應策略與監控機制
		政府	廠商	政府	廠商	
興建成本 超支風險	稅負(如關稅)增加風險	△	●	—	●	
	計畫或政策變更風險	●	—	●	—	
	利率風險	—	●	—	●	
	匯率風險	—	●	—	●	
	通貨膨脹風險	△	●	●	△	<ol style="list-style-type: none"> 於計畫評估階段，以計畫全生命周期思維考量計畫期間發生通貨膨脹發生之可能性。 研訂招標文件與契約時透過會議，訂定原則上因通貨膨脹致成本增加應由廠商自行吸收，若因通貨膨脹超過一定程度致成本大幅增加，契約應有合理調整機制，避免廠商因條件不佳影響投標廠商意願。 於遴選廠商階段，則應檢視廠商之投資計畫書是否已將通貨膨脹風險時納入估算興建成本之考量。
	計畫範圍既存之汙染與 公害風險	△	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 軌道運輸計畫興建路線與其周遭環境，均可能於廠商施工過程中發生汙染與公害風險影響興建成本變動。 於遴選廠商階段，則應檢視廠商投資計畫書預訂之施工工法及廠商過去其他軌道運輸案例之施工經驗是否符合環保法令之規定。 PPP計畫實行時透過會議，監督廠商及其分包廠商之施工方法及管理方式，是否皆遵守目前相關法令對於汙染與公害之防治方式，若廠商有偏離，要求其提出排除汙染與公害之應變措施。
	環保標準改變(如噪音)及 消防法規變更風險	●	△	●	—	
民眾對於降低噪音要求 增設隔音牆風險	△	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 採用PPP模式辦理軌道運輸系統興建與營運，軌道路線劃定前應經充分的討論及廣納各方意見，必要時先與利害關係人溝通以了解其對於降低噪音之需求以符合實際。並於PPP計畫可行性及先期評估階段時納入評估，以了解是否因為民眾對於降低噪音要求增設隔音牆風險，減損計畫之財務可行性。 研訂招標文件與契約時透過會議，訂定若因民眾對於降低噪音要求增設隔音牆，則廠商應配合辦理。 	
興建工期 延誤損失 風險	用地取得風險	●	—	●	—	
	政府變更設計風險	●	—	●	—	
	政府應辦事項遲延風險	●	—	●	—	
	管線遷移未依預定時程 風險	●	—	●	—	
	地上物拆除未依預訂時 程風險	●	—	●	—	
	地質條件不良造成施工 困難風險	—	●	△	●	

軌道系統專案執行各階段風險種類	風險辨識	PPP模式下之風險配置		傳統政府採購模式下之風險配置		因應策略與監控機制
		政府	廠商	政府	廠商	
興建工期延誤損失風險	施工(分包)廠商配合困難風險	—	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軌道運輸計畫興建過程中，均可能發生施工(分包)廠商配合困難風險影響興建工期與成本變動。 2. 研訂招標文件與契約時透過會議，訂定若因施工(分包)廠商配合困難風險，則廠商應自行提出能如期完成工程之廠商替換之。 3. 於遴選廠商階段，則應檢視廠商投資計畫書之分包廠商及該分包廠商過去其他案例之施工經驗是否良好無配合困難之情況。 4. PPP計畫實行時透過會議，監督廠商及其分包廠商是否有配合困難之情況或跡象，若廠商有配合困難之情況或跡象，要求其提出解決方案，如其他替選廠商名單或其他應變措施。
	民眾抗爭風險	△	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採用PPP模式辦理軌道運輸系統興建與營運，軌道運輸路線劃定前應經充分的討論及廣納各方意見，必要時先與利害關係人溝通以了解其對於軌道運輸系統之特殊需求以符合實際。並於PPP計畫評估階段時納入評估，以了解是否因為民眾對於軌道運輸系統之特殊需求，減損案件之PPP可行性。 2. 研訂招標文件與契約時透過會議，訂定若因民眾對於軌道系統之特殊需求，在一定範圍內由廠商配合辦理，若超出一定範圍，則契約應有合理調整機制，避免廠商因民眾之不合理要求影響廠商興建工期及成本。 3. PPP計畫實行時透過會議管控，若有民眾抗爭之情況發生，應先釐清民眾抗爭之緣由，除此之外機關應盡力協助排除之。
	不可抗力(如地震、天災)、第三者因素風險	●	△	●	△	
	證照審核延誤風險	—	●	—	●	
	文件審查(如設計圖說)延誤風險	—	●	—	●	
	都市計畫變更延誤風險	—	●	—	●	
	聯絡道路無法及時建立風險	●	—	●	—	
營運成本超支風險	營運中斷風險	△	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軌道運輸計畫營運過程中，均可能發生因廠商管理能力不足、因原設計或施作瑕疵、或因乘客之事由致營運成本增加風險。 2. 研訂招標文件與契約時透過會議，訂定若因廠商管理能力不足、因原設計或施作瑕疵、或因乘客之事由致營運成本增加，皆應由廠商自行吸收。 3. 於遴選廠商階段，則應檢視廠商過去其他案例之營運經驗是否良好無該等風險發生造成營運成本嚴重超支之情況。 4. PPP計畫實行時透過會議，監督廠商是否有營運成本超支之情況或跡象，若廠商有此跡象，要求其提出降低營運成本之解決方案。
	管理能力不足風險	—	●	●	—	
	因設計或施作瑕疵致營運成本增加風險	—	●	●	—	
	因乘客之事由致營運成本增加風險	—	●	●	—	

軌道系統專案執行各階段風險種類	風險辨識	PPP模式下之風險配置		傳統政府採購模式下之風險配置		因應策略與監控機制
		政府	廠商	政府	廠商	
期中資本更新超支風險	汙染與公害風險	△	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軌道運輸計畫營運過程中，均可能發生因汙染與公害致期中資本更新超支風險。 2. 於遴選廠商階段，則應檢視廠商投資計畫書之預定施工工法及廠商過去其他軌道案例之施工經驗是否符合環保法令之規定。 3. PPP計畫實行時透過會議，監督廠商及其分包廠商對於期中資本更新之施工方法及管理方式，是否皆遵守目前相關法令對於汙染與公害之防治方式，若廠商有偏離，要求其提出排除汙染與公害之應變措施。
	環保標準改變(如噪音)及消防法規變更風險	●	△	●	—	
	需重增置範圍超出預期風險	—	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軌道運輸計畫營運過程中，均可能發生因人為蓄意破壞致期中資本更新超支風險。
	因人為蓄意破壞致更新頻率增加風險	△	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 2. 研訂招標文件與契約時透過會議，訂定若因人為蓄意破壞致期中資產更新成本增加，皆應由廠商自行吸收。 3. 於遴選廠商階段，則應檢視廠商過去其他案例之營運經驗是否對於該軌道計畫範圍有良好之管控，無因為人為蓄意破壞發生造成期中資本更新成本嚴重超支之情況。 4. PPP計畫實行時透過會議，要求廠商監督是否有人為蓄意破壞之情況，若廠商有此情況，要求其增加管控之人力以管理軌道設施，避免有心人士之蓄意破壞，造成期中資本更新成本增加之解決方案。
	民眾對於降低噪音要求增設隔音牆風險	△	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. 採用PPP模式辦理軌道運輸系統興建與營運，軌道運輸路線劃定前應經充分的討論及廣納各方意見，必要時先與利害關係人溝通以了解其對於降低噪音之需求以符合實際。並於PPP計畫評估階段時納入評估，以了解是否因為民眾對於降低噪音要求增設隔音牆風險，減損案件之PPP可行性。 2. 研訂招標文件與契約時透過會議，訂定若因民眾對於降低噪音要求增設隔音牆，則廠商應配合辦理。
	技術更新或零組件供貨中斷風險	—	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軌道運輸計畫營運過程中，均可能發生因技術更新或零組件供貨中斷致期中資本更新超支風險。 2. 於計畫評估階段，以計畫全生命周期思維考量計畫期間發生技術更新或零組件供貨中斷發生之可能性。 3. 研訂招標文件與契約時透過會議，訂定若因技術更新或零組件供貨中斷風險致期中資產更新成本增加，皆應由廠商自行吸收。 4. 於遴選廠商階段，則應檢視廠商投資計畫書是否將技術更新或零組件供貨中斷致相關成本增加納入考量。
第三方收益風險	附屬設施營收未如預期風險(如營業空間出租之收入)	—	●	●	—	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研訂招標文件與契約時透過會議，訂定若因附屬設施營收未如預期應由廠商自行承擔。 2. 於遴選廠商階段，則應檢視廠商投資計畫書是否已將附屬設施營收未如預期納入估算營運收入之考量。 3. PPP計畫實行時透過會議或閱讀財務報表，監督廠商附屬設施營收狀況，了解廠商是否積極招商或採行有效之行銷措施，避免附屬設施營收未如預期。
法令變更風險	法令修正或廢止風險	●	△	●	—	

●代表主要承擔者，△代表次要承擔者，—代表無需承擔該項目風險。
 註：第三方收益為專案計畫可提供之非核心服務所產生之收益。

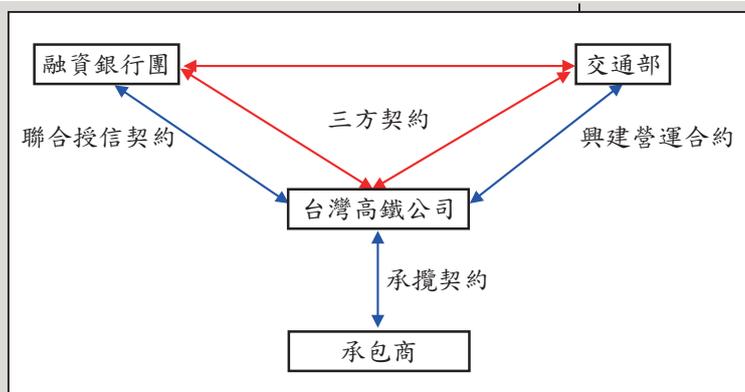


圖2 台灣高鐵商業契約架構圖

資，其償債來源為本計畫的未來收益，融資銀行對股東不具有債務追索權/有限債務追索權(Non-Recourse/Limited Recourse Financing)，而台灣銀行界以往均承做抵押貸款，對於無抵押、完全以未來收入作為還款保證的專案融資，則受限銀行法之規定。因此，為保障融資機構之權益，政府與台灣高鐵公司依據「興建營運合約」之規定與融資機構共同簽訂「三方契約」，以述明債務承擔之時點、承擔債務後之條件及承擔金額之計算及確定等。相關本案之各相關商業契約架構如圖2所示。

二、台灣高鐵款項支付

為控制本案之資金流向，確保資金專款專用，銀行團特要求台灣高鐵公司予銀行團開設並維持各項專戶，包括興建專戶、收入專戶、零用金專戶、營運專戶、備償專戶、資產增置及汰換準備金專戶及保險賠償金專戶等，藉由專戶控管，專款專用的精神，確保融資機構之債權，降低融資機構之風險。

三、Shadow Bid模式

國際上軌道運輸若採公私協力者，會依前述風險配置矩陣，採最適合承擔者來研析商業架構，慣稱PFI模式或Shadow Bid模式，因其風險由不同承擔者負擔，類似國內「車路分離」

之概念，係將軌道管理單位分為「車部門」及「路部門」，其中屬「路部門」者，包括路線、軌道、號誌、基本設施等興建及維修，其中屬「車部門」者，包括軌道運輸本業之經營，及相關附屬事業。「路部門」是依設施設備可用度來付款，所謂可用度(Availability)代表設備可以被使用的情況，故「路部門」以設備可被使用或可提供服務的能力來檢視是否符合要求，據以付款；「車部門」則是依照營運績效來付款，所謂營運績效(Performance)則表示設備提供的服務品質是否達到原機關訂定的標準，故「車部門」以設施可提供的服務品質來檢視是否符合要求，據以付款。

「車路分離」之概念，將軌道建設依照土建、核心機電、以及營運切分為三個主要部分，可由不同廠商來提供服務。本文後續以台灣高鐵案為例，採用Shadow Bid之商業架構，對其風險進行分析。

四、台灣高鐵採Shadow Bid模式規劃之風險分析

進一步探究若台灣高鐵採Shadow Bid模式之商業架構，包含了3個商業個體，基礎設施公司、資產公司、營運公司，各個商業個體的權責如下(詳圖3)：

(一) 基礎設施公司

為政府機關(交通部)預定持有之公司，政府藉由此公司持有台灣高鐵之基礎設施，並提供融資、興建及維護工作。

(二) 資產公司

為政府之特許權受讓人，主要為提供高速鐵路之DBFOM(設計-建造-融資-營運-維護)服務及高速鐵路網絡之營運者，協調系統的容量以符合營運及維護之需求，資產公司將會提供及租賃車輛予營運公司。

(三) 營運公司

由政府指定的營運者，提供所有列車服務，包括運輸及接駁服務。

五、款項支付

在Shadow Bid模式下主要由政府付款，故商業結構設計亦牽涉專案中各種款項之支付(詳圖3)，說明如后。

(一) 可用性付款

可用性付款係由基礎設施公司支付給資產公司，用以涵蓋資產公司的高速鐵路資產成本，但不包含列車成本，資產成本包括期初資本投資、營運成本、維護及更新成本，惟不包括機廠相關設備。

(二) 列車租賃費用

列車租賃費用係由營運公司支付給資產公司，用以涵蓋資產公司列車相關成本，不但有列車成本，也包括營運、維護、機廠相關設備更新成本。

(三) 特許權費用

特許權費用係由營運公司支付給基礎設施公司。特許權費用隱含是涵蓋資本支出及在高速鐵路基礎設施公司發生的基礎設施之更新成本。

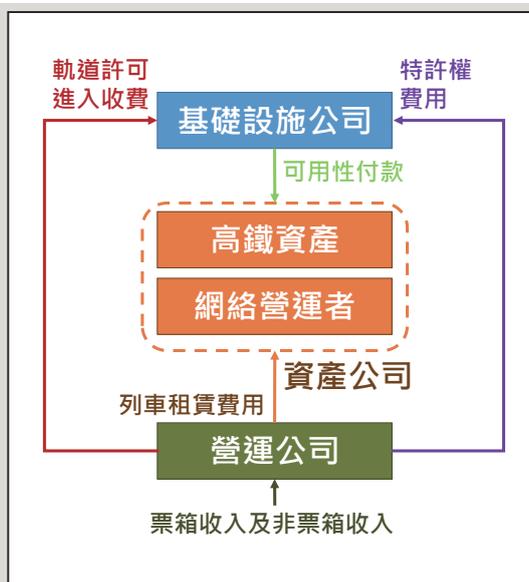


圖3 模擬台灣高鐵採Shadow Bid之商業架構

(四) 軌道許可進入收費

軌道許可進入收費係由營運公司支付給基礎設施公司，軌道許可進入收費隱含是給資產公司的可用性付款。

(五) 票箱收入及非票箱收入

營運公司負責營運，並收取票箱收入及非票箱收入。

(六) 台灣高鐵採Shadow Bid模式設計之主要精神

軌道建設之PPP專案，多受限於對於未來運量預測之準確性及可靠性，台灣高鐵案例亦同，其所遭遇之風險包括運量預估準確性、融資利率調整、折舊費用金額龐大、折舊方法變更等困難，實不宜由民間廠商單方面承擔，若採Shadow Bid模式，將專案風險分攤給最適合承擔者來承擔，或許為另一種思考之公私協力架構。

六、小結

由台灣高鐵的實際案例來看，融資機構藉由與政府的三方契約的保障，以及專戶控管的機制，降低融資機構的融資風險。

再由台灣高鐵採Shadow Bid模式分析，採用風險重新配置，營運公司亦將票箱及非票箱收入扣除其必要成本費用及合理之利潤後才支付列車租賃費用給資產公司，故保障了營運公司的經營利潤，票箱及非票箱收入支付列車租賃費用後，若不足以支付軌道許可進入收費、特許權費用的部分，則另由政府依可用度付款支付可用性付費給資產公司，而使資產公司可獲得足夠之可用性付費及列車租賃費用以營運，也保障了資產公司的經營利潤，由最有能力承擔該專案風險者來承擔。如此提高了廠商承作本案的投資誘因，才是公私協力雙贏之經營架構。

陸、結論與建議

國內推動民間參與公共建設多年，在軌道建設上，以高鐵BOT建設、高雄捷運紅橘線BOT建設及長生機場捷運BOT建設為最主要的案例，三者皆因融資或運量不如預期等原因而結束或需政府資金介入。如何突破目前瓶頸，提高融資機構融資意願及專案的成功，本文先從融資機構對專案融資所考量之風險談起；再從風險的評估提出「法令變更風險」、「興建成本超支風險」、「興建工期延誤損失風險」、「期中資本更新超支風險」、「營運成本超支風險」及「第三方收益風險」等六大風險，並從「風險配置評估表」中區分風險主要承擔者為政府或廠商，並提出因應策略與監控機制。

再以台灣高鐵案為例，採用Shadow Bid之商業架構，藉由風險再配置，即由政府所指定的營運公司依照營運績效付款保障營運公司的經營利潤，由政府以可用度支付可用性付費給資產公司，而使資產公司可獲得足夠之可用性付費及列車租賃費用以營運，也保障了資產公司的經營利潤。如此提高了廠商承作本案的投資誘因，才是公私協力雙贏之經營架構。

期望日後台灣軌道建設PPP計畫在規劃之初，做好風險評估與管控，藉由商業契約的設計將風險合理配置在最有能力承擔者身上，並搭配合理的付款機制，方能提高融資機構專案融資之意願，達成軌道建設PPP之最後拼圖。

參考文獻

1. HM Treasury, Value for Money Assessment Guide, 2006.
2. HM Treasury, The Green Book Appraisal and Evaluation in Central Government, page 82-83.
3. MYHSR Corporation Sdn Bhd and Land Transport Authority, Singapore, Terms of reference, page 9 (2016).
1. 蘇宗寶、張正育，「銀行對工程授信之風險管控」，中華技術，80期，第60-71頁(2008)。
2. 王子安、林偉崇、李菁蓉，「邁向台灣民參3.0」，中華技術，106期，第38-53頁(2015)。
3. 涂耀清，「專案融資銀行債權確保之探討——以台灣高速鐵路案為例」，中華技術，86期，第93-99頁(2010)。



3

專題報導

智慧運輸之 發展趨勢

關鍵詞：智慧運輸、自動駕駛、公共運輸行動服務、智慧城市

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／技術經理／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／游上民 ❹



摘要 ABSTRACT

隨著都市化快速發展導致各項衝突逐一浮現，世界各國開始重視與投入資源打造智慧城市，希望透過資通訊技術解決問題，並滿足民眾的生活需求。綜觀全球智慧城市推動方向，智慧運輸是發展智慧城市之重要突破點，然而各地運輸需求或面臨問題不盡相同，因此智慧運輸之發展須因地制宜而無法一體適用。

本文將由智慧城市之發展切入說明智慧運輸之重要性，並概述歐美與亞洲之智慧運輸發展概況與成功案例，以及藉由技術成熟度曲線之角度，探討目前正在影響智慧運輸之關鍵技術包括：巨量資料、物聯網(車聯網)、機器學習與自動駕駛，接著將說明目前智慧運輸之變革：由系統導向轉型為整合型服務導向，藉此綜整並釐清未來發展趨勢。



壹、前言

自20世紀開始，歐美日等國家大力發展汽車工業與進行道路基礎建設，並且在工業技術日新月異輔助下，人與貨物之移動效率得以大幅提升，其衍生之經濟行為帶動土地的使用與開發，土地價值隨之提高，也因此導向高密度的土地使用，並引發更多交通運輸需求，於是交通運輸、土地使用與社會經濟發展形成緊密的正向循環。

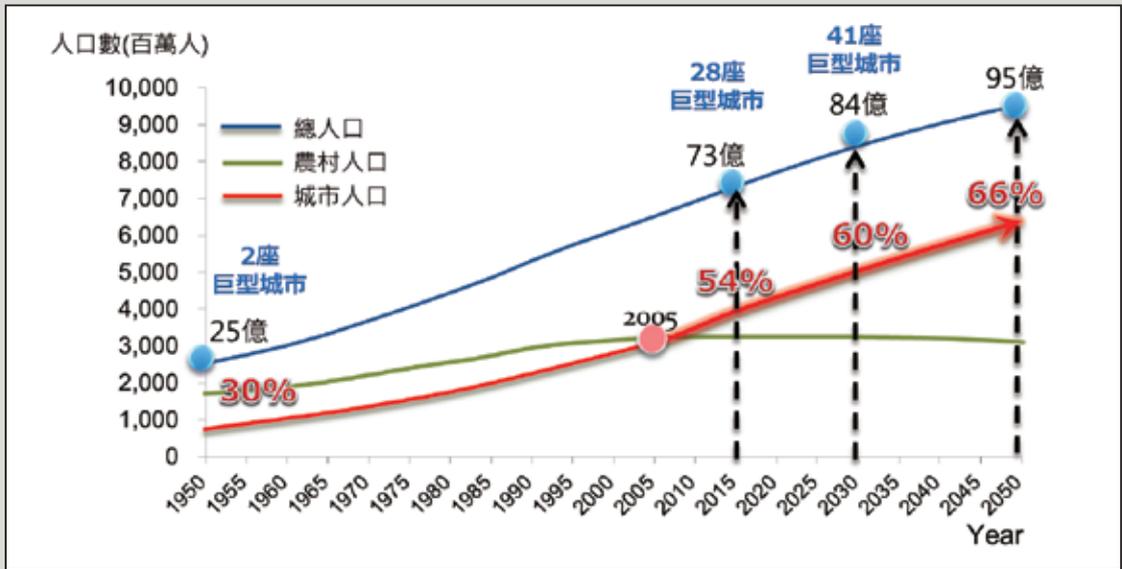
然而在此循環下，當有限的時空資源無法因應日漸膨脹之運輸需求，壅塞、汙染與事故等負面影響伴隨產生。為此，歐美日等國於90年代開始導入資通訊技術，發展智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)嘗試解決問題，至今全球智慧運輸已發展近30年並深入民眾日常生活，以下將簡要說明智慧運輸之

重要性、發展概況與關鍵技術，並嘗試釐清未來之發展趨勢，分別說明如下。

貳、全球都市化面臨問題與解決方案

一、都市化發展導致人口過度集中

運輸之目的，乃為滿足因人們生活而產生之移動需求，而根據聯合國每兩年公布的《世界都市化展望》報告(World Urbanization Prospects Report: 2015 revision)指出，2015年全球約有73億人口(截至2017年3月，全球人口估計已超過75億人)，預估至2030年全球人口數將達到85億，2050年達到97億，隨著人口數持續攀升，勢必將衍生更多運輸需求。



資料來源：World Urbanization Prospects report: 2015 revision, UN(2015)

圖1 全球人口變化趨勢

該報告亦指出，全球都市化的發展過程，逐漸導致人口發展失衡現象。自1950年代開始，聯合國針對全球人口變化進行紀錄，超過半個世紀的時間，全球農村地區人口數皆超過都市人口，如圖1所示，當時都市人口約只占總人口30%。然而隨著都市化發展，都市人口持續增加，到了2005年，都市人口首次超越了農村人口，且成長趨勢一路向上；到了2015年全球約有54%的人口居住於城市地區，因而導致人口數超過千萬之「超級城市」(mega city)數量快速增加。回顧過往環視全球，如此規模之超級城市已從1950年的2座，成長至2015年的28座，大約占全球城市總量741座的3.8%。

不僅如此，該報告由人口變化趨勢推估，全球人口仍然持續往都市集中，預估2030年後，全球居住於都市地區的人口比例將超過60%，屆時巨型城市數量亦可能增加至41座，並且絕大多數都位於亞洲；到了2050年，將有超過60億人生活於都市地區。審視上述各項數字以及都市化發展進程，不難發現全球都市化發展，透過吸納人力與資源，藉此提升經濟生產效率，雖然帶來競爭力以及富裕便利的生

活；但是，人口的過度集中亦產生資源分配不均、環境污染以及提高都市管理難度等衝突。

二、智慧城市解決方案

為了因應都市化發展所衍生之各項問題，IBM公司最早提出「智慧地球」理念，而後並演變為「智慧城市」概念。隨著都市化發展進程導致各項衝突逐一浮現，世界各國開始重視智慧城市發展，希望透過資通訊技術解決問題，並滿足民眾的生活需求。關於智慧城市之定義與內涵仍在持續演變中，尚未有一致共識，參考IBM針對智慧城市之定義：「充分利用新科技與洞察新觀點，藉以改善系統、營運及服務，使其成為更具智慧的城市」，強調透過新科技以及引入新思維，解決城市發展衍生之各項問題。

國際知名市場產業研究機構IHS，針對國際智慧城市之發展進行深入調查與研究，解析都市發展之主要功能至少包括：移動(mobility)、運輸(transport)、能源(energy)、永續(sustainability)、基礎設施(physical infrastructure)、政府治理



資料來源：Smart Cities: Business Models, Technologies and Existing Projects, IHS(2014)

圖2 選擇發展各城市功能之智慧城市數量與變化趨勢

(governance)與安防(safety and security)，並將智慧城市定義為：「利用資通訊技術(Information and Communications Technologies, ICT)解決方案，進行多項(3項以上)都市功能之整合，改善運作效率與管理，提升市民生活品質，導向可持續改善之都市運營」，強調以資通訊技術解決都市管理問題與符合民眾需求。

此外IHS針對符合此定義之智慧城市進行調查，發現選擇交通運輸進行智慧化整合之城市數量最多，如圖2所示，進一步分析發現，所調查之所有智慧城市都著重於智慧運輸之發展，顯示智慧運輸已是智慧城市發展不可或缺的重要基礎。

參、智慧運輸之內涵與國際發展現況概述

世界各先進國家已體認智慧運輸之重要性，並投入大量資源進行發展。參考民國101年交通部運輸政策白皮書，提到智慧型運輸系統為：「藉由先進的資訊、電子、感測、通訊、控制與管理等科技，將運輸系統內人、車、路所蒐集的資料，經由系統平臺處理轉化成合適且有用的資訊，透過通訊系統即時的溝通與連

結，改善或強化人、車、路之間的互動關係，提升用路人的交通服務品質與績效，進而增進運輸系統之安全、效率與舒適，同時減少交通環境衝擊。」

然而各地運輸需求或面臨問題不盡相同，因此智慧運輸之發展各有特色，以下依序針對歐洲、美洲與亞洲三個區域，分別列舉主要推動組織或城市，簡要說明智慧運輸發展現況。

一、歐洲-ERTICO

檢視歐洲智慧運輸之發展，其服務功能多著重於透過ICT技術，強化設備串聯與資訊互通，藉以有效率利用既有資源，並以強化安全與節能減碳為重要目標。此外，功能內涵由過去著重提供機動車輛之ITS服務，逐漸強調行人與自行車之ITS服務，例如Pedestrian SCOOT，代表號誌控制不再僅考量機動車輛通行，也重視行人通行之安全與需求；另一方面，過去ITS強調車輛本身的安全，現在除了車輛安全外，也著重車輛周邊之行人與自行車之安全；而綠色能源的推廣與使用，也是歐洲ITS服務重點。

歐洲大型智慧運輸計畫，主要由成立於1991年之歐洲ITS協會(簡稱ERTICO，即ITS

Europe)負責推動，提供所有成員在歐洲合作、開發、與建置智慧型運輸系統的平台，鼓勵共同參與歐洲的智慧型運輸系統建設，成員們包括公/私部門超過100家以上的各國機構與企業組成，致力於將智慧化融入人及貨物的交通流動，期盼以最具有成本效益的方式，達成挽救生命，保護環境與機動力永續之目的。其發展願景如圖3所示，透過提供更安全、更聰明以及更環保的運輸方式，達成3零願景：零事故、零壅塞以及零排放。



圖3 ERTICO ITS發展願景

為達成此願景，ERTICO鼓勵合作夥伴透過歐盟支持之合作計畫，共同參與尖端ITS研究與建置，ERTICO並提供管理、宣傳與技術層面之適當支援，協助發展專案計畫並持續運營。由於多元化的跨部門合作，各項專案計畫成果具有一定程度之代表性，並作為訂定相關規範之重要參考；ERTICO專案計畫也為合作夥伴提供建立多樣化服務的機會，並有利於拓展商業化應用。

另一方面，為了逐步朝向願景邁進，ERTICO專案計畫皆以目標導向為原則，透過逐步完成各專案目標，逐漸達成ITS願景；因此依照ITS發展願景，所有ERTICO專案計畫源自三項主軸：安全機動力計畫(Safe Mobility)、智慧機動力計畫(Smart Mobility)以及環保機動力計畫(Clean Mobility)，如圖4所示，目前共有21項計畫正在執行，各計畫皆與特定發展主軸息息相關，以做為實現願景之基礎。ERTICO除了強調計畫需務實執行外，並十分重視宣傳與行銷，因此各專案計畫皆有專屬LOGO圖像，此外，經常以生動方式(如網頁或影片)闡述計畫內容與重點，藉以提高計畫曝光率與增加知名度。



資料來源：<http://ertico.com/projects-categories/projects/>

圖4 ERTICO目前執行之專案計畫

目前ERTICO執行之計畫多以透過資通訊、大數據分析處理以及利用行動網路等技術，強化人車路之整合應用，且不再是強調系統或軟體之建置，而改以服務為導向進行軟硬體之設計、開發與整合，透過各方單位與交通資源協調，提供符合使用者交通需求之各類試驗性服務，三項機動力計畫之主軸概述如下。

(一) 環保機動力計畫

專案計畫主題包括環保車輛、提升能源效率、自動駕駛、物流與GIS整合運輸方案等，以達成節能減碳之目的；其中多數計畫由車廠主導，部份計畫結合示範城市進行方案實做。

(二) 智慧機動力計畫

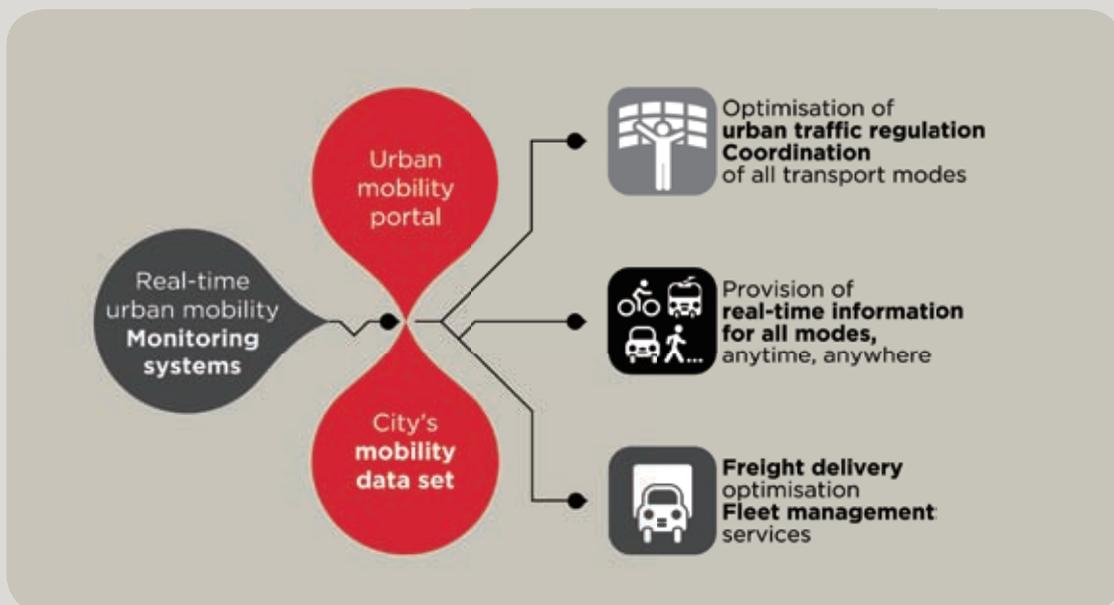
主題包括透過大數據分析與應用、決策軟體平台、衛星導航應用、移動網絡或是數據應用等，藉此改善整體運輸環境，以提升運輸效能，部份計畫結合示範城市

進行方案試驗。

(三) 安全機動力計畫

計畫主題涵括：車輛緊急呼叫、車間通訊、數據共享、駕駛行為與風險，以及車輛與道路自動化以達提升安全之目的，多數由車廠主導方案實做。

目前已經完成之計畫，如OPTICITIES (執行時間：November 2013-October 2016)，為ERTICO代表性計畫之一。該計畫提出創新架構(如圖5)並強調所有運具之協同合作與即時交通資訊提供，以期盡可能為城市居民提供最好的旅行環境，並進行城市物流運送與管理之最佳化，亦選定不同城市發展與交互測試ITS解決方案。沿襲ERTICO計畫之執行方式，該計畫匯集來自歐洲各地合作夥伴，包括6個城市、服務提供商、汽車產業、研究實驗室和歐洲主要網路服務商，並努力拓展城市智慧移動方式。



資料來源：<http://www.opticities.com/project/innovation-breakthroughs/>

圖5 OPTICITIES城市智慧移動創新架構

二、美國

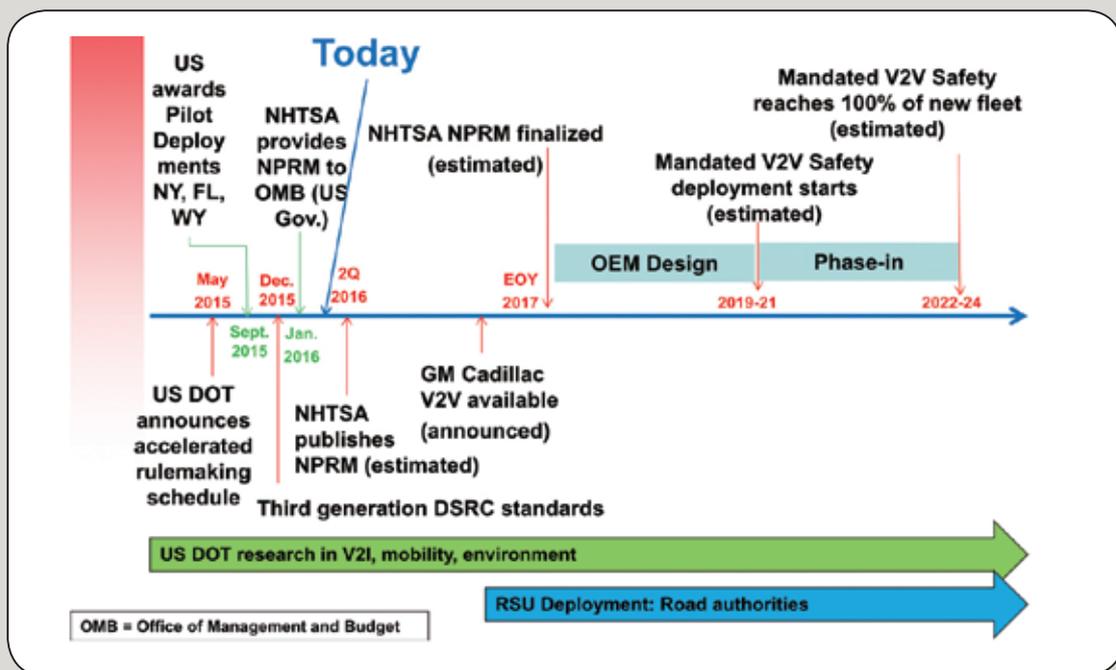
美國強調利用ICT技術改善交通運輸系統，較知名之ITS案例包括511服務、OneBusAway(西雅圖、亞特蘭大、坦帕地區)以及目前美國運輸部(United States Department of Transportation, U.S. DoT)大力推動之VII (Vehicle Infrastructure Integration, VII)車間及車路整合計畫。

由於美國是全球龐大的汽車消費市場(約占全球汽車銷量20%，僅次於中國)，VII計畫自然成為全球矚目的焦點。VII採用基於IEEE 802.11p/車用環境無線存取(Wireless Access in Vehicular Environments, WAVE)標準之DSRC技術為其主要平台，透過車對車(Vehicle-to-Vehicle, V2V)與車對路(Vehicle to Infrastructure, V2I)之資訊交換，達到安全、效率與節能的目標。

為此2014年2月，美國交通部國家公路交通安全管理局(NHTSA)宣布正式啟動立法程序，未來將強制小型車輛安裝V2V通訊設備與系統，其中安全與隱私議題特別受到重視，故美國交

通部同步發展安全憑證管理系統，解決安全與隱私問題。而後於2017年1月發布法規制定通告(Notice of Proposed Rulemaking, NPRM)，建立新的聯邦機動車輛安全標準(Federal Motor Vehicle Safety Standard, FMVSS, No. 150)，預計最快將於2022年強制所有新出廠之小型車輛安裝V2V通訊設備與系統，如圖6透過立法加快推動先進駕駛輔助系統(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)與車聯通訊技術(Vehicle-to-Everything, V2X)應用與服務。

此外，由於美國對於科技創新保持較為積極且開放的態度，因此由民間衍生許多智慧運輸創新應用，透過ICT技術強化不同面向的交通服務，像是：在國際間頗具爭議之網路叫車媒合服務，最具代表性就是2010年於舊金山成立之Uber，然而即使在發源地美國，也僅有部分地區被視為合法商業服務。該應用服務之主要特色，無論時間地點，使用者只要開啟手機App軟體，第一次完成註冊，往後只要點選叫車按鈕與選擇迄點，平台就會自動媒合，車輛會於5~10分鐘之內抵達叫車地點，使用者還可透過手



資料來源：C-ITS in the United States: A Status Update on 5.9 GHz DSRC, 8th ETSI ITS Workshop(2016)

圖6 美國V2V立法時程(2015年-2024年)

機查看行駛路徑、預測抵達時間與費用或進行共乘。雖然其爭議未解，但不可否認其確實切合多數使用者的交通需求，並透過ICT技術改善過去常被詬病的問題，提供更方便且更舒適的叫車服務。

隨著共享經濟之商業模式逐漸為大眾所接受，也開始產生智慧交通共享應用服務，如成立於美國麻州的Zipcar汽車共享服務。該服務使用者在需要用車時，可於網頁或是手機APP預定想要租用的時間，系統會透過地圖搜尋附近有那些車能夠租用，使用者也可根據距離與喜好選擇欲租用車輛(如圖7)。Zipcar宣稱，平均一部Zipcar能夠減少15至20部私有車輛之使用，有效降低都會區內私人運具的數量及使用頻率，進一步減輕交通壅塞壓力。

三、亞洲-日本與韓國

亞洲國家如日本與韓國，具備強大的ICT研發創新能力，因此於ITS發展應用已有相當成果，以下分別列舉日本以及韓國進行簡要說明。

(一) 日本

日本自1970年起推動智慧運輸政策並發展相關車路整合應用技術，並於1996年由日本郵政省、運輸省、警察廳、通商產業省及建設省共同討論提出「高度道路交通系統推動構想」規劃，由政府邀請產、學、研共同研擬技術標準、分工規劃及產業發展配套措施等，並陸續推出包括道路交通資訊系統(Vehicle Information and Communication System, VICS)、Smartway及ITS SPOT Services等系統服務。

於VICS及ETC推廣發展後，日本接著以提升安全為發展目標。為了落實願景，日本制定智慧道路(Smartway)計畫，聯合23家民間企業共同發展，於2007年完成東京大都會快速道路(Tokyo Metropolitan Expressway)實地測試，2009年擴大在東京、大阪及名古屋等三大都會區進行實驗，並於2010年推廣全日本各地建置，各項計畫逐步朝向一般道路與高速公路之整合型智慧交通系統。

2011年起，日本著重發展V2I計畫，主要應用於高速公路的道路資訊服務，2011年12月並正式分配700MHz頻段予ITS安全應

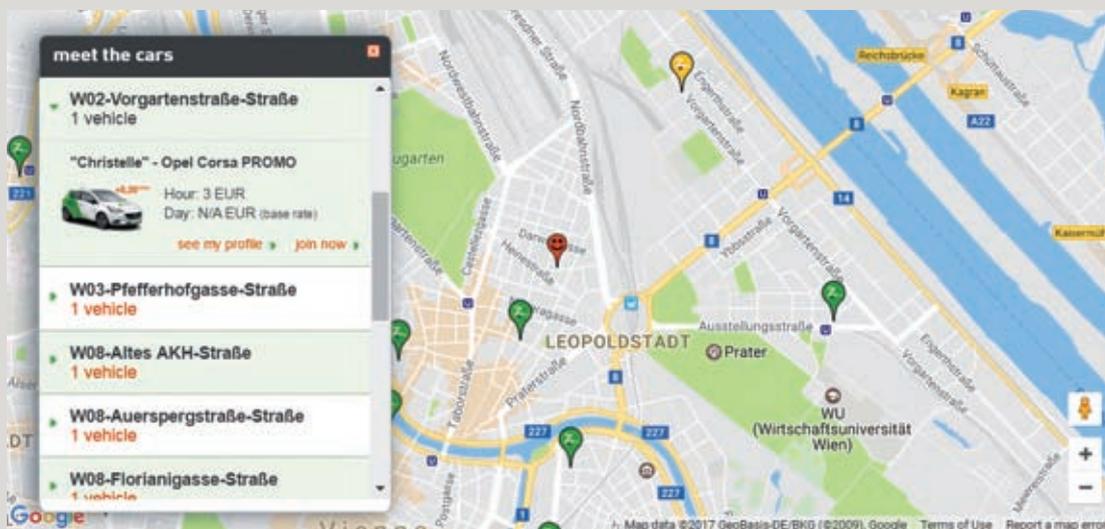


圖7 Zipcar官網共享汽車搜尋頁面

用領域使用，以ITS SPOT Services為例，於2011-2013年間，已設置逾1,600個熱點於高速公路並與資訊中心相互連結，透過車機/智慧型手機傳輸資訊，以提供塞車、危險區域、車輛匯入警示等訊息。另一方面，700MHz頻段除用於車路通訊外，目前正積極發展用於車間通訊與人車通訊使用，如圖8所示，藉由發送周遭人車訊息，針對危險狀況預先警示，提升路口通行安全。

(二) 韓國

首爾TOPICS被視為亞洲智慧運輸系統發展亮點之一，以下簡要介紹其特色功能，詳細說明可參考中華技術第112期之「韓國首爾智慧交通系統-TOPIS之借鏡與省思」。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；到了1990年，小客車持有量成長超過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。



資料來源：http://www.toyota-global.com/innovation/intelligent_transport_systems/infrastructure/

圖8 日本人車路通訊應用發展目標

考量日益嚴重之問題，首爾市政府決定針對公共運輸採取改善措施，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，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。

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，憑藉其強大的ICT技術支援各項管理需求與跨單位協調運作，該整合式交通管理中心已晉身為全球知名成功案例。

肆、智慧運輸發展趨勢

回顧前述智慧城市與智慧運輸內涵以及發展現況可知，「智慧」是指應用適當科技解決問題與滿足需求，因此其發展趨勢與當前尖端技術之研發與應用息息相關，有鑑於此，討論智慧運輸發展趨勢前，先概要檢視相關技術之發展趨勢。

一、技術亮點與趨勢

國際研究暨顧問機構Gartner於1995年提出新興技術評估模型：技術成熟度曲線(Hype Curve)，並於每年出版新興技術發展周期報告(Hype Cycle for Emerging Technologies)，目前已

成為科技產業每年關注的重點報告之一。

該新興技術周期可分為5個部分(如圖9)，包括：萌芽-創新促動期(技術誕生揭開序幕)、過熱-過度期望高峰期(被大肆宣傳與渲染)、衰退-泡沫化的低谷期(具體實踐後期望落空與回歸現實發展)、復甦-穩健爬升的光明期(逐步且務實推動與發展)以及成熟-實質生產的高原期(主流應用開始)。

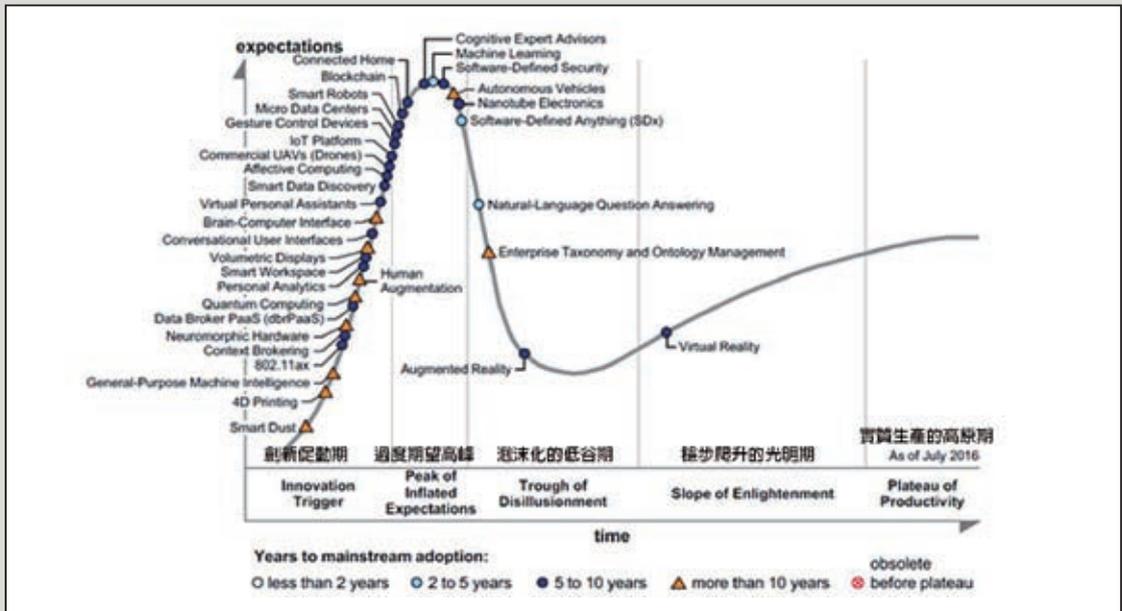
從智慧運輸發展觀點出發，針對目前正影響或未來可能產生影響，甚至顛覆運輸行為與傳統觀念的關鍵技術，以下列舉四項：包括巨量資料分析處理、物聯網、機器學習以及自動駕駛，由Gartner近5年(2012-2016)所公布的新興技術發展周期報告切入，進行分析以找出技術趨勢變化。

(一) 巨量資料分析處理

2011年Gartner首度將巨量資料技術納入技術成熟度曲線，2012年巨量資料技術更從萌芽期迅速移動，當時預估2到5年內將進入過熱期；進一步檢視2011年到2013年的十大策略性技術變化，可發現短短三年內，巨量資料技術從十名之外迅速竄升到第六名。2014年之技術成熟度曲線則顯示巨量資料技術正走向低谷，以及回歸理性之務實發展；而在2015乃至2016年，巨量資料分析已消失於技術成熟度曲線，然而這並非代表巨量資料不再重要，而是意味著相關技術已不再是新興技術，已經被廣泛使用於實際應用與服務中。

(二) 物聯網

1998年美國麻省理工學院Auto-ID中心主任愛斯頓(Kevin Ashton)提出物聯網(Internet of Things, IoT)概念，當時曾被視



資料來源：Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies (2016)

圖9 2016年新興技術成熟度曲線

為天馬行空的幻想；然而在2008年，時代雜誌將IoT列為該年最佳發明之一，之後2011至2013年間物聯網連續出現於技術成熟度曲線之中並爬升至新興技術4名，隨後2014年Gartner更將物聯網視為技術成熟度曲線之最高點，並預測5到10年內會達到高原期，意即屆時技術將成為主流應用。時至今日(2015至2016年)，IoT乃至IoT Platform仍處於成熟度曲線頂峰，是目前長期被看好的新興技術之一。

而物聯網之於交通應用，即為車聯網 (Internet of Vehicles, IoV)。根據Gartner於2016年之預測，無論成熟或新興汽車市場，聯網汽車產量都快速增長中，而隨著歐美日等國積極佈署V2V、V2I乃至於V2X之發展，都將促使交通運具更加智慧化甚至自動化，引發新一波運具轉型革命，進而改變我們日常交通方式與行為。

(三) 機器學習

隨著雲端技術與巨量資料分析處理技術之快速演進與成熟應用，2015年技術成熟度曲線首次出現機器學習(Machine Learning)，並且在2016年達到成熟度曲線最高點。以巨量資料為基礎之機器學習技術，將逐步推動機器科技之智慧化，換言之可協助人工智慧之應用與實踐。

以Google DeepMind的AlphaGo為例，於2016年初擊敗韓國圍棋棋王李世石，即是透過深度學習技術讓機器學習產生突破性發展之最佳案例，不僅如此，各項機器學習應用已逐漸深入我們的生活，如：Google的Gmail(電子信箱)、Maps(地圖)、Translate(翻譯)、Photos(圖片)以及Assistant(助理)等。在交通方面，機器學習已被應用於交通路況預測、路徑導引與行程規劃，甚至目前如火如荼發展中的自動駕駛。

(四) 自動駕駛

有關自動駕駛車輛，目前較為廣泛使

用的定義為「能自動感應周圍環境並且無需人為干預而自動導航的載具。」受惠於感測技術(如LiDar)、巨量資料分析處理、車聯網與機器學習等技術之快速發展，自動駕駛可能由過去的梦想運具，逐漸轉變為未來的理想運具。

該技術自2010年首次出現於Gartner新興技術成熟度曲線，此後位置逐漸向上攀升，到2013年期間都被視為萌芽期技術，直到2014開始進入頂峰區(過熱期)，2015年自動駕駛技術甚至攻至峰頂，各方一致看好自動駕駛之未來發展，目前世界各汽車製造/消費國家，包括：中國大陸、美國、德國、法國與日本等國，都公開宣布投入自動駕駛技術之研發與場域測試，並且開始進行法規與相關配套措施之檢視與討論。另一方面配合各國鼓勵政策，已有許多廠商積極開發與推動自動駕駛技術之商業應用與服務。

有鑑於自動駕駛對於提升未來整體道路安全之巨大潛力，亦被視為將來可能改變人類運輸行為之殺手級應用，美國聯邦政府於2016年9月針對自動駕駛汽車發布：「自動駕駛車輛政策指南(Autonomous Vehicle Policy)」，為自動駕駛技術之大規模應用建立相關法規之準備基礎。該指南除了被視為美國政府為未來自駕車之安全背書，同時也提供車商與科技公司發展依循方向，顯示美國政府推動自動駕駛技術之積極態度。

綜觀全球自動駕駛技術發展，小型巴士被視為自動駕駛應用商業化最可行之切入點，具備重點技術如人工智慧、汽車自動控制、強固型電腦運算以及偵測技術之廠商開始進行跨域合作，共同製造無人駕駛巴士。目前已開始商轉且較為知

名的製造商(如圖10)包括：Navya(法國)、EASYMILE(法國)與Local Motors(美國)等，無人巴士服務實施地點包括：美國(拉斯維加斯)、美國(華盛頓特區)、荷蘭(瓦赫寧恩)、希臘(特里卡拉)、法國(里昂)以及韓國(城南市)等，而2017年於高雄舉辦的生態交通全球盛典，規劃亦將提供無人小巴接駁服務。

另一方面，專注於完全自動駕駛研發之廠商亦不在少數，包括：Waymo(由Alphabet公司旗下的無人駕駛計畫拆分出之獨立公司)、Uber(美國)、nuTonomy(美國)、Oxbotica(英國)以及Robot Taxi(日本)等公司投入自動駕駛技術之實測，其中nuTonomy於2016年8月率先宣布，在新加坡進行全球首例以無人駕駛計程車進行載客營運。到目前為止，雖已有許多國家以試驗場域的方式，應用自動駕駛技術提供交通運輸服務，然而目前自動駕駛之發展仍遠不足以發揮應有的潛在效益，關於這部分將於稍後再做詳細說明。

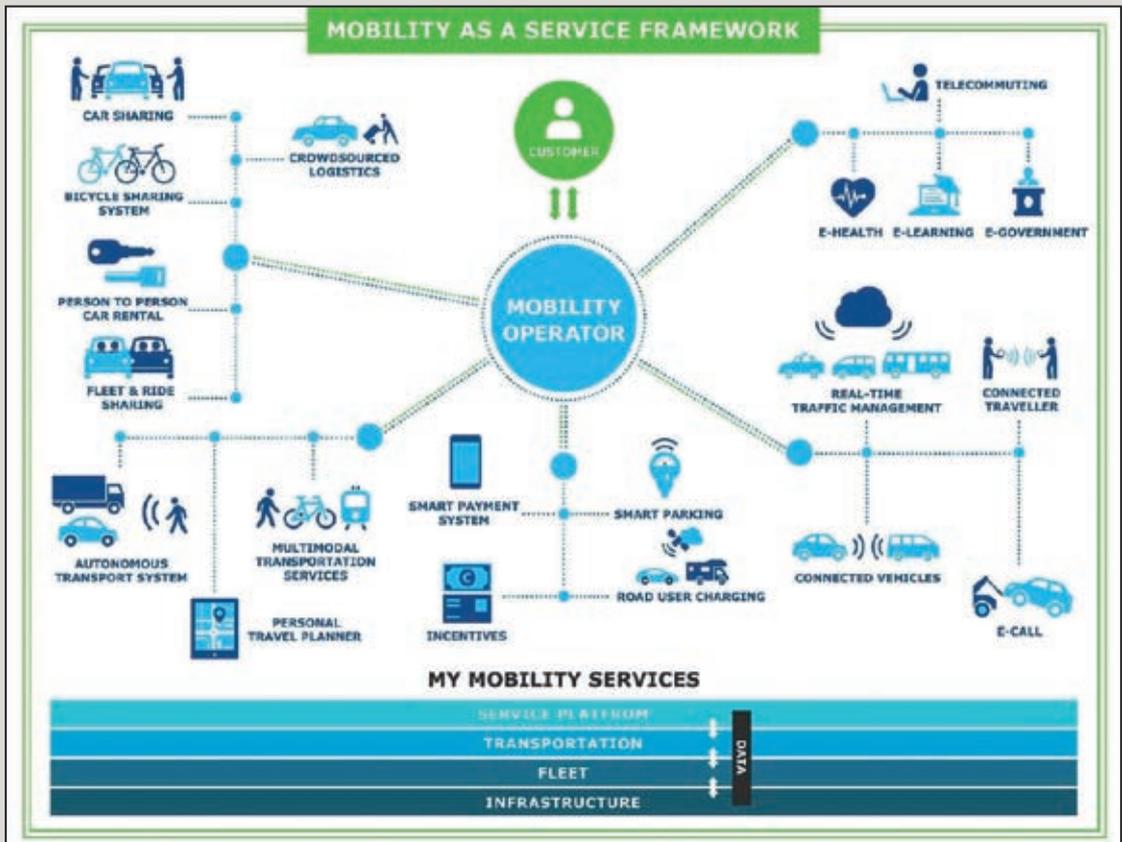
二、系統整合與服務

展望各國智慧運輸發展，可知智慧運輸系統必須架構於「智慧城市」範疇中，著重聯結、協調與跨域整合，因此單一技術已無法滿足運輸使用需求，需藉「巨量資料」應用，達成「多元運具合作」、「車路整合與車聯網」與「自動化與個人化服務」的智慧運輸環境；隨著智慧運輸範圍逐漸擴大，合作式智慧運輸系統Cooperative-ITS近年已成先進國家發展主流，並應用通訊技術強化各單位與子系統的協調(Coordinated)，創造互聯(Connected)環境。

隨著全球都市化浪潮，人口集中導致交通資源利用不均而衍生的壅塞問題日益嚴重；所幸，資通訊技術之成熟與應用快速普及，在



圖10 目前進行商轉之自動駕駛服務商



資料來源：Ministry of Transport and Communication, Finland

圖11 芬蘭MaaS架構願景圖

聯結、協調與跨域整合之發展趨勢下，各國開始嘗試可有效利用既有交通資源之整合性服務，為此MaaS(Mobility as a Service)機動力服務(或稱公共運輸行動服務)因運而生。其概念如圖11所示，發展目的為建構無縫(Seamless)與及門(Door-to-door)的多元運具整合系統，透過有效整合大眾與私人運輸(public and private transit)、公共自行車(bike share)、乘車共享(rideshare)、小汽車共乘(car share)，乃至未來自動運輸系統(Autonomous Transport System)等各式運輸方式，以期更有效率提供符合需求之運輸服務。

自從MaaS解決方案架構與概念提出以來，近年來已成為各國交通運輸部門積極推動的政策，並展開相關試驗性的推動計畫，例如芬蘭、英國、瑞典等國；甚至已有民間部門針對特定地區提供MaaS的商業化服務，例如赫爾辛基的新創公司MaaS Global於2016年推出之Whim APP，將公共運輸以套票式服務加以包裝，用路人可依照使用需求，選擇不同的套裝方案，如圖12若選擇Light方案，使用者只要月付89歐元(約新台幣\$2,900元)即可無限制搭乘公共運輸，並額外獲得可搭乘2次計程車之點數，如有高頻率使用計程車或租車需求，則可選擇更高費率

之服務方案，藉此鼓勵搭乘公共運輸，同時也讓多元運具之使用更有彈性且更加便利。

雖然MaaS被視為可同時「減少私人運具持有，增進公共與大眾運輸使用」的良方，惟其仍面臨制度改變、結構調整與跨組織整合等挑戰；另一方面，MaaS提供之服務能否切合需求，端視掌握與分析移動需求之能力，越了解民眾的移動需求，才有可能客製化打造可讓民眾信任並放心使用之交通服務，從而解決最困難的環節：「改變用路人習慣」；而在巨量資料分析與物聯網技術協助下，MaaS將有機會帶動運輸服務之轉型升級，同時改善運輸環境與提高品質。

三、最終目標-無人駕駛技術整合與實現

據估計約9成道路事故由人為造成，包括：精神不濟、酒駕、分心或藥物作用等因素，光是將人從駕駛座移開，或許就能降低龐大肇事成本，再加上可節省人力駕車之時間價值以及可省去道路停車空間之土地價值等，巨大潛在效益難以估算。因此由前述尖端技術、系統整合到服務提供趨勢，可以看出MaaS整合無人駕駛技術，已然成為未來可能顛覆交通運輸產



資料來源：<https://whimapp.com/fi-en/>

圖12 MaaS套票式服務-以Whim為例

表1 NHTSA與SAE自動駕駛汽車分級標準比較表

自動駕駛分級		自動駕駛水準	概 述
SAE	NHTSA		
0	0	無自動駕駛	完全手動操作(無電子輔助設備，機器可警告或提供預警訊息)
1	1	特定功能自動化	提供單一或多個獨立之輔助功能，如：定速巡航或車道保持等，其他駕駛動作仍由駕駛人親自操作。
2	2	部分自動駕駛	針對多個輔助功能進行整合，進而達到輔助駕駛效果，如：自適應巡航，但仍需由駕駛人頻繁監視和及時介入操作。
3	3	有條件自動駕駛	駕駛人可根據系統請求提供適當回應與動作之前提下，系統可於特定環境中進行自動駕駛。
4	4	高度自動化	駕駛人無須提供回應與動作之前提下，系統可於特定環境中進行自動駕駛。
5		完全自動化	在所有人類駕駛者可以應付的道路和環境條件下，無人駕駛系統都可完成所有駕駛操作，且可由駕駛人接管操作權。

業、改變用路行為與大幅改善運輸環境的殺手級應用。

然而無人駕駛之實現不可能一蹴可及，為了更具體規範自動駕駛之定義，2013年美國交通部國家公路交通安全管理局(NHTSA)，率先發布自動駕駛汽車的分級標準，隨後2014年美國汽車工程師學會(SAE)也制訂一套自動駕駛汽車分級標準，兩者雖相差不遠，但仍有部分差異，整理如表1所示。

一般所稱之無人駕駛目標，是指表4-1最高等級之自動駕駛水準-完全自動化，而前述商業運轉之無人小型巴士接駁服務，僅能算是高度自動化之自動駕駛，相較之下真正具備巨大潛在效益之無人駕駛，因複雜度更高，至今仍未有商轉運行之案例。雖然如此，許多廠商仍然以完全自動化為目標進行研發，其中最知名廠商如Waymo，經過多年測試，自動駕駛里程數至2017年總共累積超過400萬公里，換算約可環台三千多圈，而且正在快速增加中。

美國加州車輛管理局(Department of Motor Vehicles, DMV)於2017年1月發布之報告指出，光是2016年Waymo自駕車在加州上路測試的總里程數就達到635,868英里(1,017,388公里)，較2015年總里程數增加近五成，此外值得注意的

是雖然總里程數增加，但自動駕駛解除次數反而減少，自動駕駛解除率從每千英里0.8次，減少為每千英里0.2次。也就是說，Waymo自駕測試過程中，遇到危急或難以判斷的路況而須由駕駛人員介入之情況減少，顯示相關技術越趨成熟。

伍、結語

綜觀國際趨勢，智慧運輸之發展已由過去重視系統功能，到現在強調透過跨界合作與協調，打破系統間藩籬，提供可符合需求之整合性運輸服務。各項關鍵技術不論是巨量資料、物聯網、機器學習乃至自動駕駛，或是MaaS(公共運輸行動服務)與未來的無人駕駛服務，光靠單一系統都無法自行運作，而是必須橫跨運具、系統以及管理組織，進行緊密協調、持續溝通以及有效連結，方能發揮應有的價值，也因此整合者的角色將更顯重要。

另一方面，智慧運輸為智慧城市發展之重要環節，同時也必須因地制宜無法一體適用，因此歐美日韓等國依照各自交通運輸環境、發展需求以及產業能力等因素，無論是由政府或是產業主導，都依循跨界合作與協調的方式，發展符合各自需求之智慧運輸服務。

反觀我國之智慧運輸發展，現階段除了各地趕搭MaaS與自動駕駛之熱潮外，更重要的應該仔細思考台灣運輸環境到底需要甚麼?(例如：機車的持有與使用非常普遍，然而民國95至104年，十年間機車事故死傷人數增幅卻高達140%)雖然各項尖端技術推動著智慧運輸的發展，但是智慧運輸的本質並非只是使用最先進的技術，而是選用適當技術解決問題；而有時間問題並非智慧運輸手段可以解決，也因此應先深入了解問題所在，考量當地環境條件與限制，才能避免落入技術迷思，真正落實智慧運輸服務並實現智慧城市目標。

一直以來，智慧運輸被視為在既有運輸系統上進行最佳化的工具，若先天體質不良如：道路空間有限而汽車流量過大，智慧運輸手段將無法達到立即與明顯成效。然而分析發展趨勢，可預見的未來智慧運輸將不再只是舊屋拉皮或重新裝潢之工具，而可能成為顛覆整體運輸體系乃至為社會經濟帶來巨大效益之殺手級應用，讓我們共同努力並拭目以待。

參考文獻

1. World Urbanization Prospects report: 2015 revision, UN(2015)
2. IBM Smarter Cities網站(2017)：http://www.ibm.com/smarterplanet/ng/en/smarter_cities/overview/
3. Smart Cities: Business Models, Technologies and Existing Projects, IHS(2014)
4. 101年運輸政策白皮書-智慧型運輸，交通部運輸研究所(2012)
5. ERTICO網站(2017)：<http://ertico.com/>
6. OPTICITIES網站(2017)：<http://www.opticities.com/project/innovation-breakthroughs/>
7. John B. Kenney, C-ITS in the United States: A Status Update on 5.9 GHz DSRC, 8th ETSI ITS Workshop(2016)
8. Zipcar網站(2017)：<http://www.zipcar.com/>
9. 智慧運輸發展策略—以整合型交控管理發展大眾運輸為例總結報告書，臺北市政府(2017)
10. Toyota Cooperative ITS網站(2017)：http://www.toyota-global.com/innovation/intelligent_transport_systems/infrastructure/
11. 馮道亨、李文騫、范景皓、張智華等人，「韓國首爾智慧交通系統-TOPIS之借鏡與省思」，中華技術，第112期(2016)
12. Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage (2016)
13. Mobility as a Service - A Proposal for Action for the Public Administration Case Helsinki (2014)
14. Waymo網站(2017)：<https://waymo.com/>
15. Whim網站(2017)：<https://whimapp.com/>
16. California Autonomous Vehicle Disengagement Reports 2016, Department of Motor Vehicles, CA.(2017)

物聯網 於交通領域 之應用

關鍵詞：物聯網、信號柱、資訊推播、室內定位、無線網路、RFID、Beacon

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／協理／林啟豐 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／技術經理／陳彥均 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／工程師／施坤芳 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／工程師／吳松儒 ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／工程師／蔡文彰 ❺

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／工程師／劉瑞民 ❻

摘要 ABSTRACT

由於網路與個人化行動設備技術快速發展，促使物聯網應用不斷被深化與整合，各式智慧交通、智慧建築、廠區自動化等系統皆採相同的架構，由感測層、網路層及應用層等組成的應用系統。

因應物聯網應用領域朝向行動化與各式設備，因此低功耗網路技術成了發展重點，包括低功耗藍牙、低功耗廣域網路(如LoRa)等，這些技術被廣泛應用，尤其低功耗藍牙，已為智慧手機標準配備，於室內定位、推播等已被廣泛採用。

本文就物聯網技術於交通領域之應用作一概述，包括機場服務，以提高旅客通關與服務體驗；於高速公路定點主動推播交通資訊，提升對用路人之服務；針對盲人特殊需求提供導引服務；提升軌道運輸之監控效率等，以供分享並期共同促進交通領域的智慧化。



壹、說明

「物聯網」這個名詞最早在1995年Bill Gates所著的《未來之路》一書中曾經描述過，其英文名稱是IOT(Internet Of Things)，物聯網的定義是由信息感測設備，以規範的通訊協議，把任何物品經由互聯網相連接，進行信息交換和通信，進而實現對物品的自動識別、定位、跟蹤、監控和管理的一種系統[1]。

雖然「物聯網」這個名詞相當早被提出，但並未被大眾所熟知。「物聯網」一直存在各個領域的監控系統，並於各個不同的專業領域，被不斷推廣深化及整合，如各式智慧交通、智慧建築、工廠自動化、廠區自動化等系統皆擁有相同的架構與理念。

隨著無線通信技術進步與個人化行動設備功能持續提升，大大強化了許多即時應用的

範圍，監控系統不再專屬於特定應用領域中心內，甚而深入個人化服務。因此，「物聯網」這個名詞再度受到重視。

除了傳統監控系統外，現行大家所討論的「物聯網」重點在於「無線網路」+「行動化載具」之快速、便利的反應與服務。

由於物聯網應用領域系統相當廣泛，許多新的技術標準被提出，皆希望於市場佔一席之地。但如何有效的研提應用並被大眾所接受，亦是一個相當大的挑戰。本文先概述物聯網之系統架構，再分別針對「物聯網」於「機場旅客服務」、「公路交通資訊推播」、「盲人導引服務」及「軌道領域運用」等應用，分享其案例與運作方式，期盼藉由這些案例，讓大家更深入了解「物聯網」，亦可延伸出新的應用想法，共同促進交通領域智慧化的進展。

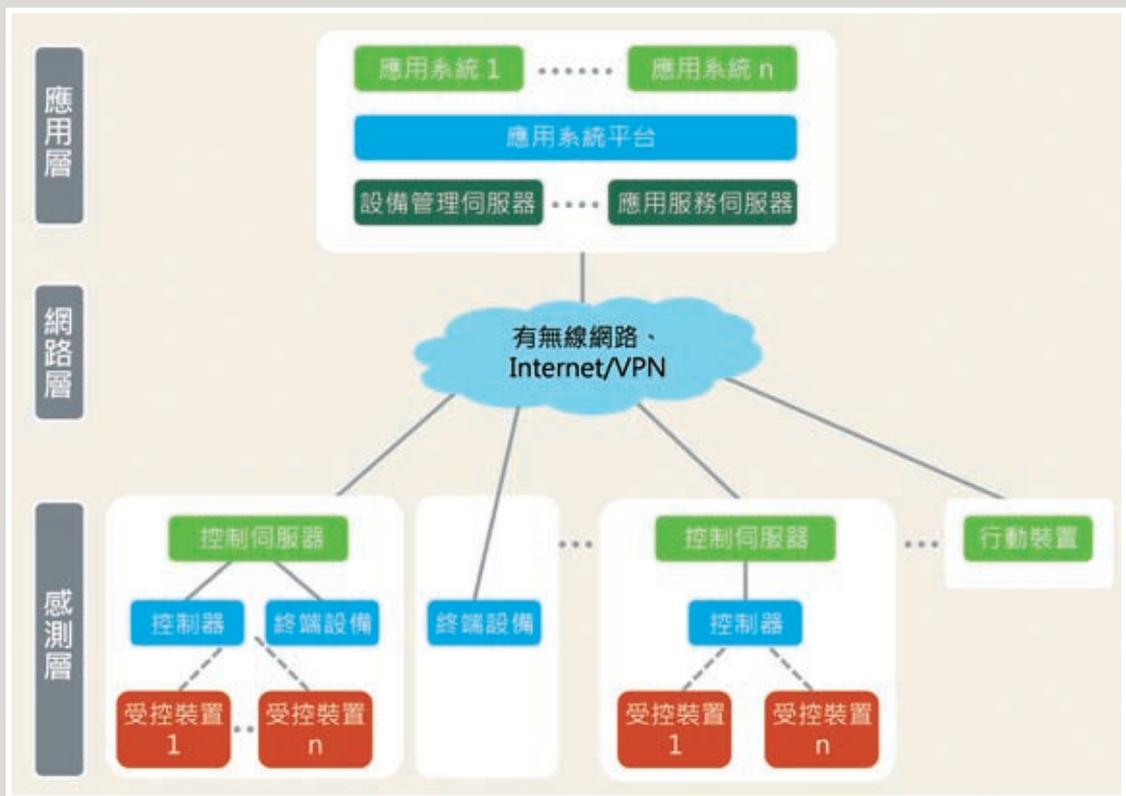


圖1 物聯網分層體系結構示意圖

貳、物聯網系統架構概述

一、系統架構

物聯網的系統架構大致可分為感測層、網路層與應用層等層次，如圖1所示。其運作方式係由最下層之終端設備發送感測資訊，經由有無線傳輸網路匯聚與傳遞，推送至應用系統層，再由應用系統研判與分析資訊的意義，進一步採取應對方式，將所需控制或服務資訊藉由網路層推送至終端設備或各式裝置，各層級說明如下[1]：

(一) 感測層

感測層是物聯網的基礎部份，資訊在此層經過搜集及簡單的處理後再傳送到網路層，感測層的設備廣義上所涵蓋的技術包括感知、辨識、控制與通訊等領域，一

般而言可以將實際使用到的技術歸納成三個部分：

1. 感測器(Sensor)技術：用來蒐集相關數據資訊。例如攝影機之影像處理器、環境感測器(溫濕度、亮度等)、二維條碼或無線射頻辨識技術(RFID)的標籤(Tag)、加速度感測器(智慧手機)等資訊。
2. 辨識與控制技術：由於感測設備針對每樣物品的應用進而設計一個專用的嵌入式系統，而所謂嵌入式系統是綜合了微型電腦(MPU)、感測器(Sensor)等多項技術為一體，可搭載軟體達成指定功能，智慧手機亦是一個完整之系統。
3. 區域通訊整合：依據設備之多寡或複雜程度，有些系統會先建立小型區域網路，再藉由控制伺服器收容多個控制

設備。此類區域網路除常見的TCP/IP/Ethernet網路外，短距離無線通訊技術經常被採用，包括將已感測收集到的資訊透過RFID、Zigbee、NFS、藍牙或紅外線等短距離無線傳輸技術，傳送到感測層之嵌入式系統。

(二) 網路層

當感知層作業完畢，接著透過網路的相互連接有無線通訊技術，進一步將儲存在應用平台上的資訊提供給遠端使用者，供透過網路存取與分析資料。

物聯網的網路層就是架構在我們所熟知的網路系統上，可能包含了內網(區域網路)或外網(Internet)，所以其網路種類也涵蓋了我們平常所接觸的網路系統：

1. 電信公司網路：包括用戶端租用ADSL、光纖網路等，並可依需求選用VPN或Internet服務。
2. 無線數據網路：包括大家熟悉的3G/4G外，亦可自建Wifi網路。此外因應物聯網的設備型式多樣化、數量多，經常須低功率運作，因此低功率長距離無線數據網路亦被推出。

(三) 應用層

應用層是物聯網與需求端(如不同行業)的接合部份，針對各種不同類型的使用需求，將來自於感知層所收集的資料，利用伺服器等進行資料之統一運算及分析處理，並依據結果提供各個不同領域系統的應用，亦可將結果或資訊再下載至感測層執行相對應之應用指令或資訊分享。

二、物聯網技術發展方向

目前物聯網的重要技術發展方向，可概分為無線射頻識別技術、傳感器技術、智慧型嵌入技術及無線數據網路等，簡述如下：

(一) 無線射頻識別技術(RFID)

物體本身要與其他物體相互溝通，本身的識別是最基本的因素，一套簡單易用並有效的物體識別系統是相當重要的。利用無線射頻識別技術可隨時隨地獲取物體的識別，物體本身收到事件經過捕捉與查詢處理，可觸發動作並做本身或相關物體狀態的改變。

(二) 傳感器

透過傳感器的感測(sensor)與觸動執行(actuator)，將偵測到的變化轉為數據訊息，得以透過網路傳送與接收。傳感器在連接物理世界和資訊虛擬世界上有界接的作用。

(三) 智慧型嵌入技術

嵌入式系統可將收集的原始資料，經由前端資訊處理與轉換能力，提供更高的資料處理能力和網路傳輸效能。新的嵌入系統以低功率單晶片運作處理為標的前進。

(四) 無線數據網路

雖然行動通訊已具有強大之數據通訊能力，如3G/4G等，但其速度快、頻寬高且相對傳輸設備及通信費皆相當高昂，許多情境並不適合採用與推廣。故低功耗廣域網路之通信技術被積極發展，用以因應

表1 物聯網網路技術比較表

	區域網路短距離通訊	低功率廣域網路 物聯網	蜂巢式網路 傳統端到端通信
	Local Area Network Short Range Communication	Low Power Wide Area (LPWAN) Internet of Things	Cellular Network Traditional M2M
🏠	40%	45%	15%
😊	Well established standards In building	Low power consumption Low cost Positioning	Exsiting coverage High data rate
😞	Battery Live Provisioning Network cost & dependencies	High data rate Emerging standards	Autonomy Total cost of ownership
	Bluetooth 4.0, WiFi	LoRa	GSMA, 3G+, H+, 4G

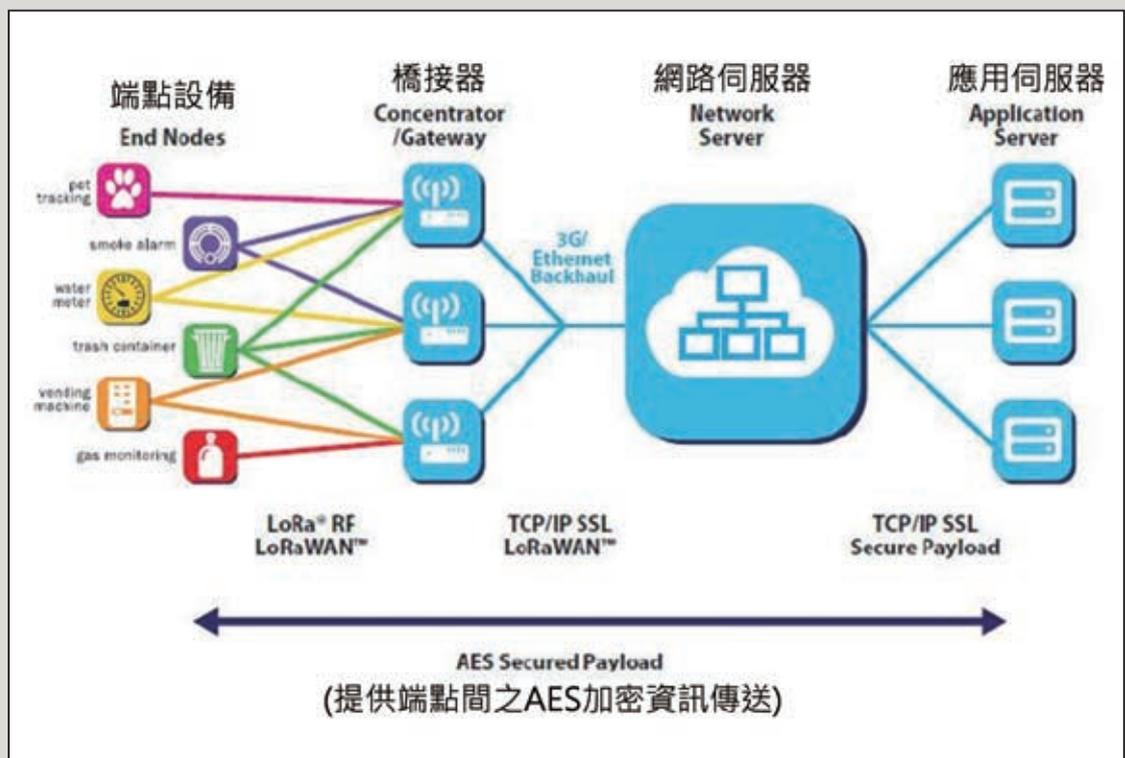


圖2 LoRa網路連系統架構示意圖

物聯網各感測設備低功率且低傳輸量長距離之服務需求，不同網路技術特性比較，詳如表1[2]，LoRa平台是其中一個主要標

準，其系統架構如圖2[2]，台北市配合智慧城市推動亦建立該平台。



圖3 智慧機場乘客體驗流程

參、機場旅客服務應用

一、旅客智慧體驗

SITA (Société Internationale 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[3]，未來旅客使用各項自助服務的需求將大幅增加，以增加個人化、簡易化及舒適的旅程，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3所示。[4]

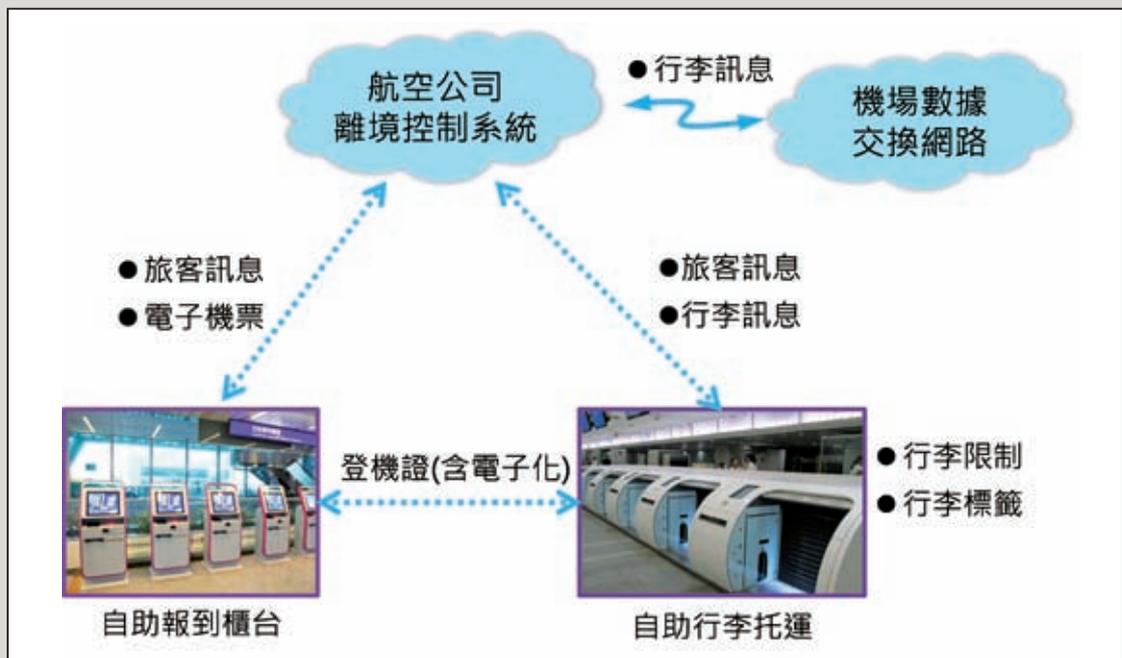


圖4 自助報到及行李託運架構示意圖

如何達成這一目標，關鍵在於堅持消費者體驗之人本服務理念和應用物聯網之智慧設備。現代化機場將通過基於物聯網技術、行動互聯網技術、大數據分析技術，提升機場旅客服務流程效率，帶給機場旅客全新的服務與體驗。以下就物聯網於智慧服務之應用作簡要說明。

二、旅客服務應用

(一) 自助報到及行李託運服務

隨著航空公司電子機票的普及，自助機場資訊指引、自助登機手續、自助行李託運、自助人身安全檢查、自助登機閘門登記等從旅客到達機場至登機皆可以逐步實現ATM式的自助作業。但是由於各環節設備間數據流相互隔離，尚無法實現全流程的自助辦理服務。因此，以物聯網為基礎，打通搭機旅客服務各環節自助設備的數據共用瓶頸，實現機場旅客服務全程自助化是智慧機場的關鍵指標。

首先是自助報到櫃台與自助行李託運系統，系統將自動識別並顯示旅客自助報到介面。旅客可自行根據偏好選擇或系統自動指定座位，產生電子登機證及列印行李標籤。該自助功能將省去旅客在報到櫃檯前排隊等待的時間，其運作架構如圖4。

(二) 旅客導引服務

信號柱(Beacon)是物聯網中相當重要的一環，行動載具可透過Beacon接收定位訊號或設備識別資訊，對於物流運輸業等是優化服務的好幫手。新興的低功耗藍牙技術(BLE)成為信號柱技術中舉足輕重的地位。主要原因包括：BLE本身有低功耗優勢，而且經過數年時間的發展，藍牙技術已成為市場普遍接受的標準；其次是移動作業系統對藍牙的支援，目前藍牙技術已經是可攜式裝置的標準配備。

基於藍牙的Beacon定位技術精度高、成本低，比GPS有更精準的微定位功能，並



圖5 信號柱運作架構示意圖



圖6 機場旅客APP智慧應用服務功能

可於室內無法接收GPS訊號時，仍能明確辨識任何進入信號傳輸範圍內的手機。

無論是機場、火車站還是巴士站，國際上有越來越多採用Beacon，為旅客導航、導覽和提供即時交通資訊的案例，其中又以旅客最容易迷路的機場對Beacon的接受度最高。其基本運作架構如圖5。

國際航空電訊集團公司(SITA)已經和美國航空所在的達拉斯國際機場、舊金山國際機場、維珍航空所在的倫敦希斯洛機場、上海虹橋機場和哥本哈根機場合作，

提供旅客航廈地理資訊、登機門位置和即時航班資訊，幫助旅客快速在機場內移動。於荷蘭史基浦機場，當旅客手持安裝荷蘭皇家航空App的手機經過機場裝設的Beacon時，手機就會告知旅客離目標登機門還有多遠、需要走幾分鐘，而且每經過一顆Beacon，資訊就會更新一次。

(三) 訊息服務

透過Beacon的定位系統建置，未來國內T3航廈將提供旅客更多元的機場定位與資訊推播服務，其功能如圖6。

1. 當旅客完成報到後，可掃描登機證用以識別旅客，APP可根據機場定位系統識別旅客現在的位置並為其指示快捷的登機路線。
2. 如遇到特殊情況，旅客與工作人員可以通過APP及時進行聯絡，工作人員可按照程式為其提供最優解決方案，確保航班不會因旅客遲到而延誤。該功能將取代傳統廣播系統或人為呼喚，在創造優美候機廳聲音環境體驗的同時，也能確保登機資訊可以最有效的管道傳遞到最需要的旅客。
3. 旅客通過安檢進入免稅店，信號柱可以根據旅客前往登機閘門的路徑，推播以途經商店的消費產品促銷資訊，在滿足旅客服務需求的同時也為商店創造銷售機會。

三、機場管理

(一) 行李自動分揀

行李分揀、定位、跟蹤、監控在整個機場行李管理中，有著至關重要的作用，如果不能保證正確的分揀和定位控制及跟蹤，將會直接導致管理費用的增加，服務品質難以得到保證，從而影響企業的競爭力。

傳統行李分揀方式是旅客在登機前辦理行李託運時，行李會被放到輸送帶上分別輸送到所搭乘的班機中。這種模式就是利用行李上的條碼來進行識別。但是，每個行李的提手位置都不一樣，條碼也就不可能方向一致，因此，需要在幾個方向設置多個條碼讀取器，即便如此，也會出現無法正確識別的現象。例如，香港國際機場條形碼的識別準確率為80%，也就是每五件就有一件不能被正確識別，從而導致

行李的誤發、延遲、遺失等發生率為20%左右，處理這些糾紛，需要耗費大量費用，而且帶給航空公司帶來很大的損失。

新的系統應用物聯網識別技術，於標籤中嵌入RFID標籤，特別是可遠距離讀取的RFID標籤將會大幅提升識別率，而且相對於條碼來說，RFID標籤可以張貼在任意位置。香港國際機場使用RFID標籤後，識別率升至97%。與以往的條形碼相比，識別失敗率從20%降到了3%。

(二) 旅客追蹤

機場內經常發生旅客因不了解規定而托運違禁物品、遺失隨身行李或忘記登機等情境，此時機場人員希望快速找到旅客予以及時處理，以避免影響航班起飛，因此藉由物聯網之整合技術，旅客通過任一機場關卡時，將其人臉影像與登機資訊整合，藉此追蹤旅客最後出現位置，如圖7。管理人員可以手持裝置，顯示旅客之影像及姓名、最後出現位置，以利快速尋找旅客。

藉由本系統，亦可推算旅客通過每一項關卡之平均時間，機場管理單位可以了解每一關卡之服務績效是否不足，據以採取應對措施投入資源，以提昇服務效率。

肆、盲人導引服務

一、需求

現今智慧型手機非常普及且體積小，除GPS導航功能外，有許許多多應用程式及多元化的功能。但現今的導航或導引設備都是以一般人為設計的對象，忽略了盲人或視障者族群的

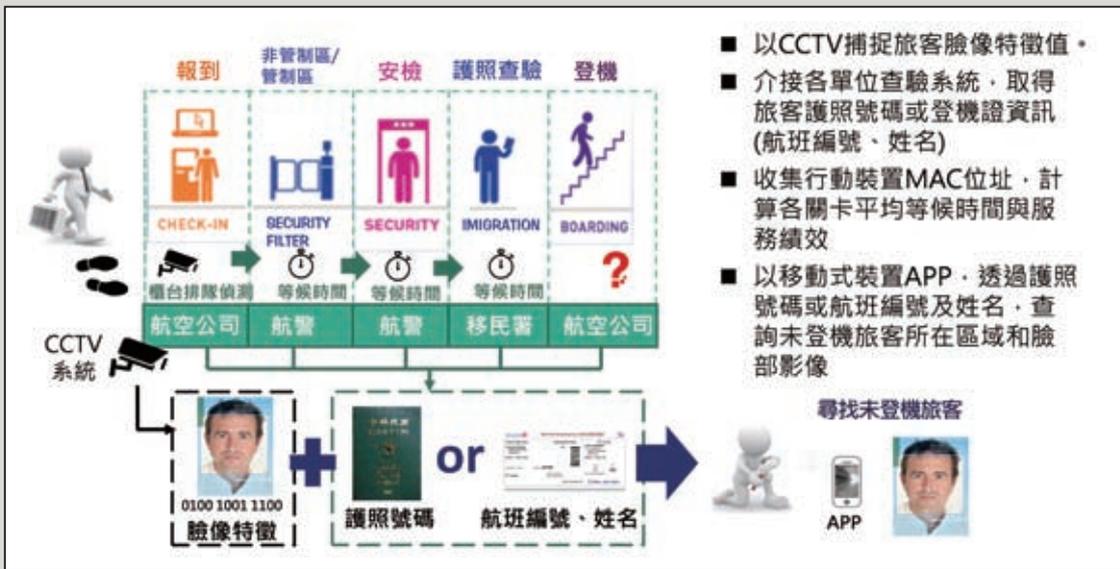


圖7 旅客追蹤系統運作示意圖

需求，欠缺盲人或視障者導引行的應用介面。2014年 Apple大推Beacon應用到生活面上，並在美國舊金山國際機場，利用Beacon、手機和藍牙通信技術系統，幫助盲人或視障者在機場內都可以行動自如。利用裝設一種由藍牙驅動的信號感應器Beacon，並可與手機應用程式連動。盲人或視障人士只要拿著裝有專用應用程式的手機，程式便會以語音的方式提醒各場所的位置，例如出入境關口、餐廳及廁所等，以及到達這些地點所需前進的方向及距離。

國內亦已有利用此最新的科技，並以盲人或視障導引設計的精神做為出發點，期能解決國內盲人或視障者行的導引需求。

二、藍牙技術盲人導引服務國內實際案例

(一) 台北捷運-視障導引Beacon技術應用

台北捷運公司配合經濟部工業局的「4G智慧寬頻應用城計畫」，推申「視障導引」服務，應用當前最新的Beacon導引裝置並開發APP，讓APP帶路進捷運站，運用定位、語音技術建置智慧無障礙系統，



圖8 智慧導引APP操作畫面

視障朋友只要打開手機就可聽取導引，輕鬆走到月台。目前選取規模較大的中山國小站、民權西路站、松江南車站、雙連站、行天宮站、東門站、台北車站、淡水站及竹圍站等9站試辦。預定於2017年初上線。中華電信研究所與淡江大學合作開發「智慧導引-幫忙看見」APP，可於中山國小捷運站與無障礙協會間導航，其APP介面如圖8。

(二) 高速公路局-便利視障者友善國道服務區APP

高速公路局、關西服務區與中華電信

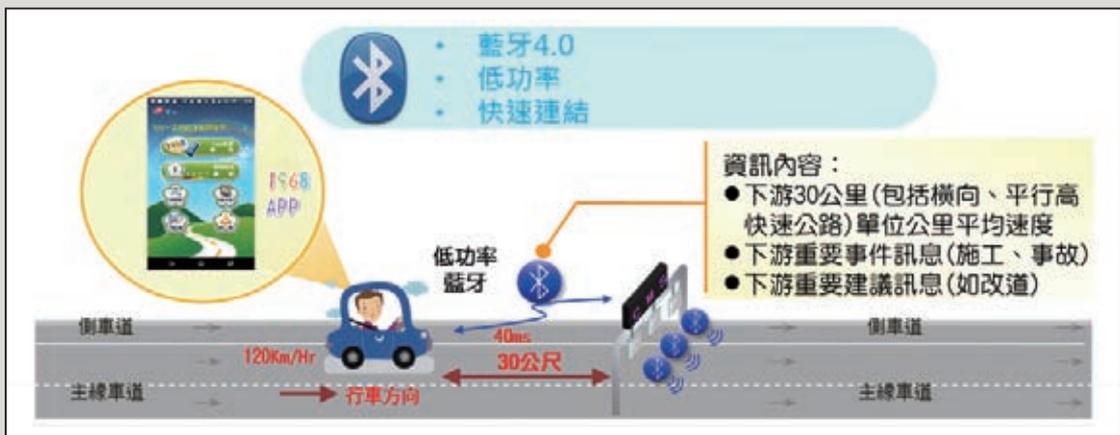


圖9 定點主動式交通資訊推播服務

合作於2016年3月國道關西服務區推出以視障、身障者需求開發的「友善國道服務區APP」，除了現有的無障礙空間設施，讓身障者能夠方便行動外，也運用藍芽智慧感應技術與APP設計，讓視障者透過智慧型手機「語音」導覽服務，清楚自己所在位置，瞭解服務區實況。服務區建築內的天花板上，佈滿許多藍芽發射器，視障朋友只要打開手機APP就能自動感應，透過語音得知附近店家；此外，APP內的「智慧說菜通」服務，更能自己「聽」菜單，不用再請朋友幫忙點餐，是視障者一大福音。

(三) 太和光股份有限公司-微光計畫

「微光計畫」，期望用Beacon技術，提供視障朋友定位、紅綠燈狀況與所在地導覽等，讓視障朋友的世界因為有了它而不再黑暗。目前微光計畫已經和有聲書協會、無障礙科技協會、盲人重建院、市立圖書館、國立中興大學紛紛合作。

國立中興大學建置全台首座盲人報位圖書館，讓視障者可透過手機語音報位，清楚知道自已的所在位置，往目標地點前進，讓視障者可不依賴旁人的協助，獨自在陌生環境中走到定點，提高行動的自主

性。圖書館內佈有32個名片盒大小的發射器，在每個重要的定點，發射器會推播訊息，視障者只要開啟App與藍芽裝置，就能接收到語音報位，發射器也會發出「嗶嗶」的提示聲，幫助視障者辨識方位。同時，視障資源區設有兩台盲用電腦與一台放大機，供查詢使用館藏資源。

伍、公路交通資訊推播服務

一、應用構想

高速公路1968 APP已被用路人廣泛使用，惟仍以個人化查詢資訊為主，對於主動式之交通資訊推播，尚無法針對特定地區或特定目的地之用路人給予不同訊息。若能主動式給予通過約定區域之用路人較為精細之交通訊息，應可大幅提升服務，如圖9。

由於物聯網技術發展，以低功率藍牙(Bluetooth)技術的Beacon應運而生，加上低功耗、低成本、長時間運作特性，已成為無線通訊的主流。Beacon比GPS有更精準的微定位功能，已成為理想的室內資訊推播的解決方案，如機場服務、導盲服務等皆是應用該技術。但藍牙推播應用於一般行走的速度，並未使用於



圖10 交通資訊推播測試設備現場安裝照片

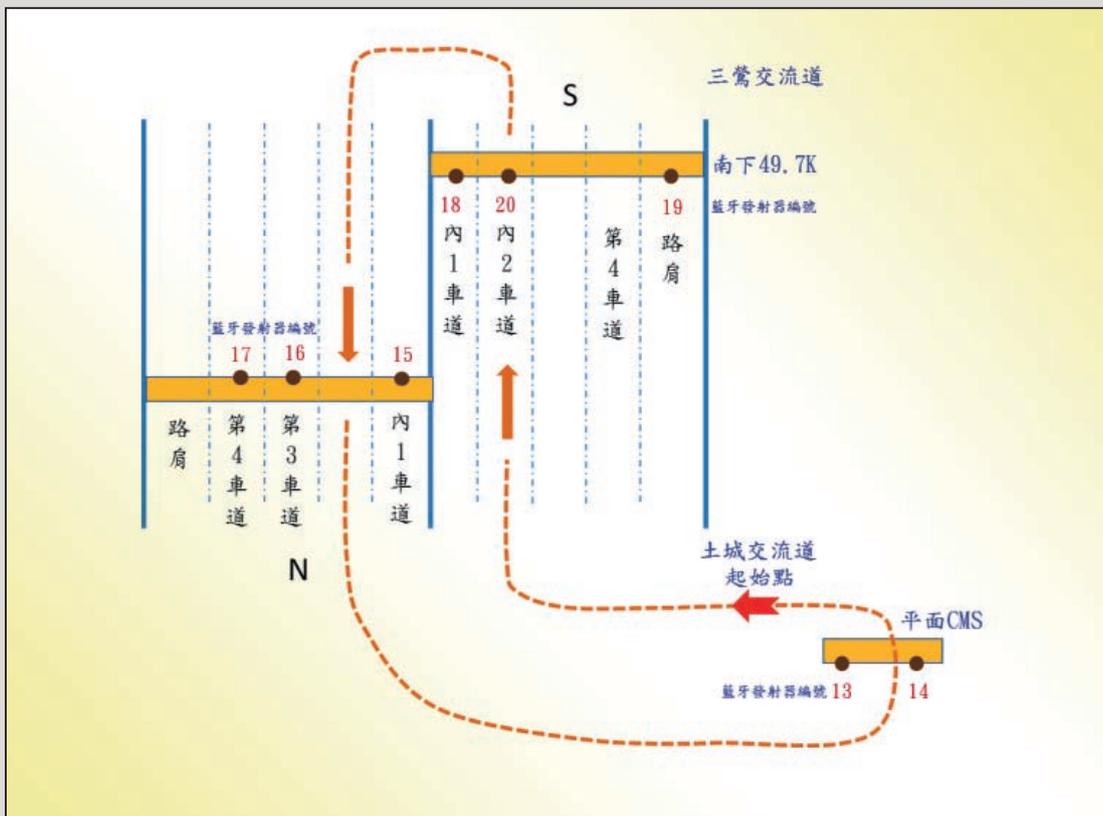


圖11 測試繞行路由圖

行駛於高快速公路或車速較快的應用上，故藍牙廣播技術應用於高快速公路推播交通資訊並無案例，為利確認其技術可行性，高公局特與台灣世曦公司合作辦理可行性測試，並依測試結果研擬試辦推廣計畫。

二、藍牙通訊技術推播交通資訊可行性測試

為利於測試車輛可以繞行，選擇國3土城-

三鶯路段，高速公路主線上並以時速100km及120km進行測試，測試設備安裝照片如圖10。

(一) 測試方法

分兩組車輛進行測試，第一組為一般擋風玻璃、第二組為貼有金屬隔熱紙，於下列不同條件下，就每一條件繞行3趟不同車道(必須包括1、4車道)，據以確認收到訊

息之情形。測試繞行路由詳圖11。

1. 天候：正常、大雨天候。
2. 高速公路速度：時速120km、時速100km。
3. 平面道路車速：依當時實際車流速度。
4. 手機放置位置：駕駛前方、排檔桿位置及後座。

(二) 測試統計結果

1. 統計測試各種條件下收到訊息之內容，每一趟次記錄測試條件、車種、通行車道、行駛車速及訊息內容，共至少72趟(216筆)，使用Android系統測試結果如表2。

表2 交通資訊推播測試結果表

	高速公路接收準確率	平面道路接收準確率	備註
手機	75%~91.67%	95.83%~100%	廠牌：SONY及ASUS
平板電腦	87.5%~100%	79.17%~100%	廠牌：華電及SAMSUNG
整體性	75%~100%	79.17%~100%	

2. iOS可完整接收

由於手機Android之測試未能100%接收訊息，配合測試廠商另開發iOS之測試記錄軟體，並進行24筆之實測。經實測結果，iOS之手機、平板，不論於那一車道皆可100%完整接收訊息。

(三) 測試結果分析

由於利用藍牙廣播技術推播交通資訊並無案例，故本次測試採用普通與放大器兩種版本，並另配置播報時間模組等共3種發射器。未收到訊息之原因分析如下：

1. 普通版本僅為一般室內用，距離上限一百公尺，收信結果較差，實測接收率

在70~100%。顯示以普通版本於高速下並無法保證可收訊。

2. 播報時間模組辦理藍牙通訊技術推播可行性安裝與測試時程較為緊迫，藍牙設備廠商利用既有現成硬體產品進行組合與安裝，並未特別更改韌體，僅使用未加裝放大器版本，因此表現同普通版本。

3. 放大器版本收信距離實測在300~400M之間，接收機率趨近100%，但本次實驗發覺Android有收信不良的問題。廠商後續量測，發覺主因是Android手機信號容忍度普遍較低，藍芽信號過強可能無法接收，晶片原廠建議將強度減低10dB。

4. 本次測試主要使用Android系統，臨時開發一支Hightway App的安裝檔(APK)於手機上，利於車輛繞行測試記錄接收訊息。由於Android為「開放性」系統，本身採用開放原始碼，故不同手機及安裝不同應用程式，無法確認是否尚有背景程式執行或影響測試接收訊息。

(四) 收到對向發射器之訊息

由於藍牙發射器之訊號並不易將其限制於某一特定方向上，所以測試車輛繞行北上或南下仍會接收到部分對向發射器之訊息，依車輛行駛不同車道所收到的訊息也有差別。

(五) 擋風玻璃隔熱網並不影響收訊

車輛為一般擋風玻璃與擋風玻璃貼有金屬玻璃隔熱紙，測試結果似乎差不多，加上目前的車輛擋風玻璃為配合eTag標識及導航系統GPRS天線收訊，現在的車輛擋風玻璃貼的隔熱紙幾乎都無含金屬物質。

三、後續推擴計畫

由於藍牙資訊推播技術，除實測其高速情況下之通訊限制外，尚有APP與中心軟體相互整合之議題。經可行性測試後，並依測試結果評估及規劃推動「高速公路應用藍牙交通資訊推播系統試辦案」，預定於2017年底完成試辦工程，以利提供更即時交通資訊供用路人參考或改道。

(一) 系統架構研擬

為達成定點資訊主動推播，建議系統架構如圖12，說明如下：

1. 路側端建置藍牙發射器及終端控制器，並透過交控傳輸網路與中央電腦連線以取得該推播點之廣播訊息，並將該訊息

載入藍牙廣播封包內發射。經測試，每一定點可以裝設10個發射器。

2. 為利於確認行車方向，於推播點資訊發佈上游增設前導發射器。
3. 手機APP應預先下載訊息規則，以利未來訊息之管理。
4. 手機接收廣播封包後，依公開金鑰檢查數位簽章，確保該資訊之正確性後，再依據預設之訊息規則予以解析訊息意義，並執行相關之顯示或語音播報，顯示對應之訊息。

(二) 藍牙發射器設計構想

由於每一發射器，僅連續傳送一個廣播內容(每秒傳送20~30次)，以避免封包因各種情形而未收到，為使整體系統順利運作，建議每一定點之藍牙發射器配置構想如下：

1. 每一推播點以多個藍牙發射器同時傳送訊息

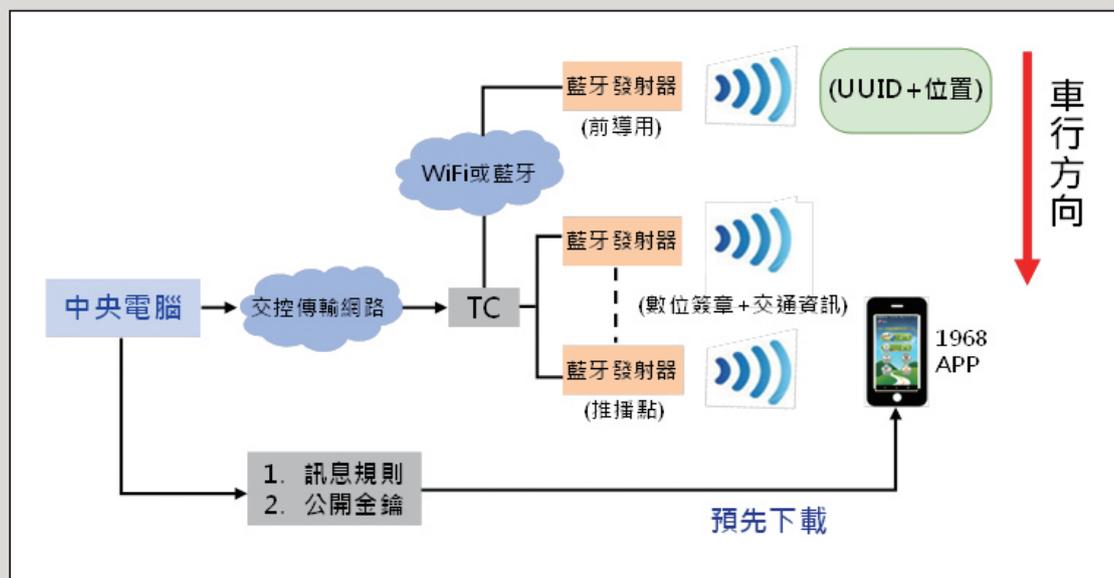


圖12 定點主動式交通資訊推播架構示意圖

2. 第1顆發射器傳送標準廣播封包，包括UUID(APP應用程式對應之代碼)及利用Major及Minor代表單位與地點。

3. 第2~3顆發射器傳送解碼金鑰。

4. 第4~10顆發射器傳送交通資訊。

(三) 建立方向性(設置前導藍牙發射器)

由於藍牙發射器之訊號並不易將其限制於某一特定方向上，為避免反方向之列車接收到不屬於自己下游之有用訊息，故於每一發射地點上游約100~300公尺處設置一個前導發射器。

(四) APP設計

1. APP應具下列功能：

(1) 下載公開金鑰及相關對照表，並自動檢查是否有新版。

(2) 依公開金鑰檢查數位簽章，若正確可將交通資訊予以處理。並檢查定點資訊是否有前導資訊封包。

(3) 當APP被喚醒時，應回傳該藍牙之定位訊息，供藍牙接收器接收用來進行車輛資訊收集。

(4) 接收第一顆藍牙封包訊息，定位目前所位置，方啟動接收下游藍牙發佈之資訊。

(5) 將事件圖例標註於路形簡圖，利用定位資訊來修正車輛位置並顯示系統交流道轉向旅行時間。

2. 作業系統運作方式

基本上應該要做到 iOS手機及Android手機都能使用。

(1) 在iOS運作方式：一般APP進入Background狀態後3~10min會關掉程式。惟可將本新功能以「Bluetooth-peripheral：保持藍牙周邊裝置連接性」向IOS註冊，如此可長時間在背景執行的APP類型，當接收前導藍牙封包時，即可開啟接收定點資訊。

(2) 在Android運作方式：可將APP設定為背景執行服務，運行於後台，無介面。利用Broadcast Receiver接收到前導封包消息後，於Service狀態下進行相關動作。

陸、軌道智慧監控

一、軌道智慧監控需求

軌道現代化需求之中，「安全」為極重要之指標，然而如何提高服務品質，提供乘客更高的「舒適」與「便利」，亦為重要之課題；藉由物聯網技術，使各系統所產生的資料、聲音、影像、控制指令等不同類型重要資訊，皆能透過網路上傳至監控中心，以發揮軌道智慧監控之功能；此外在鐵路車號自動識別系統中，物聯網之使用讓列車車次、車號識別更加精確，對車輛的跟蹤和故障也能夠作出準確地判斷，提高管理者解決問題之效率，相關應用系統如下所述。

二、軌道智慧監控應用

(一) 鐵路自然災害及異物侵入淨空監測系統



圖13 高鐵天然災害偵測與預警系統安裝示意圖

隨著鐵路不斷提速，鐵路的防災安全日趨重要，強風、雨雪、土石流、地震以及其他自然災害等威脅鐵路正常的安全運行。鐵路自然災害及異物侵入淨空監測系統透過物聯網技術手段，對可能發生之自然災害及異物入侵進行監測報警和防護，提供經智慧分析後的預警、限速、停運等提示訊息，為行車進行調整，下達行車管制、搶險救援及提供維修依據，保證列車之安全準點、高效舒適。

1. 台灣高鐵

考量高鐵沿線可能面臨的地震、洪水、邊坡滑動、地層下陷、強風等天然災害以及完工後沉陷等足以對工程與營運安全造成影響之相關可能因素，分成「天然災害偵測與預警系統」、「邊坡安全監測」、「地層下陷監測」、「路堤下陷監測」及「橋墩結構監測」進行安全監測系統，如圖13[5]。

2. 日本新幹線

由綜合調度系統之子系統-訊號監視控制裝置(CMS)實現災害監控功能，監控內容有：風速、雨量、積雪、地震、長隧道火災、工作人員進出門的金屬防護柵及專用鑰匙、ID卡、無縫線路溫度監控。

3. 法國高速鐵路

沿線設置強風、地震、異物侵入淨空和防護開關等安全防災監測設備，藉由法國國家鐵路公司(SNCF)的通信網路將監測點和監控中心相連。在列車控制系統中，除完成速度自動控制外，另增加設備狀態和自然環境檢測報警子系統，對降雨、降雪、強風、橋隧落物進行監測，為列車速度自動控制提供參數。

4. 德國鐵路

MRE接收安裝在沿線的探測報警儀器的訊號(熱軸探測器、隧道氣流報警器、橋樑上風速測量儀、火災報警儀、隧道口坍方報警訊號裝置等)。透過輔助列車監控，可提供安全調度功能[6]。

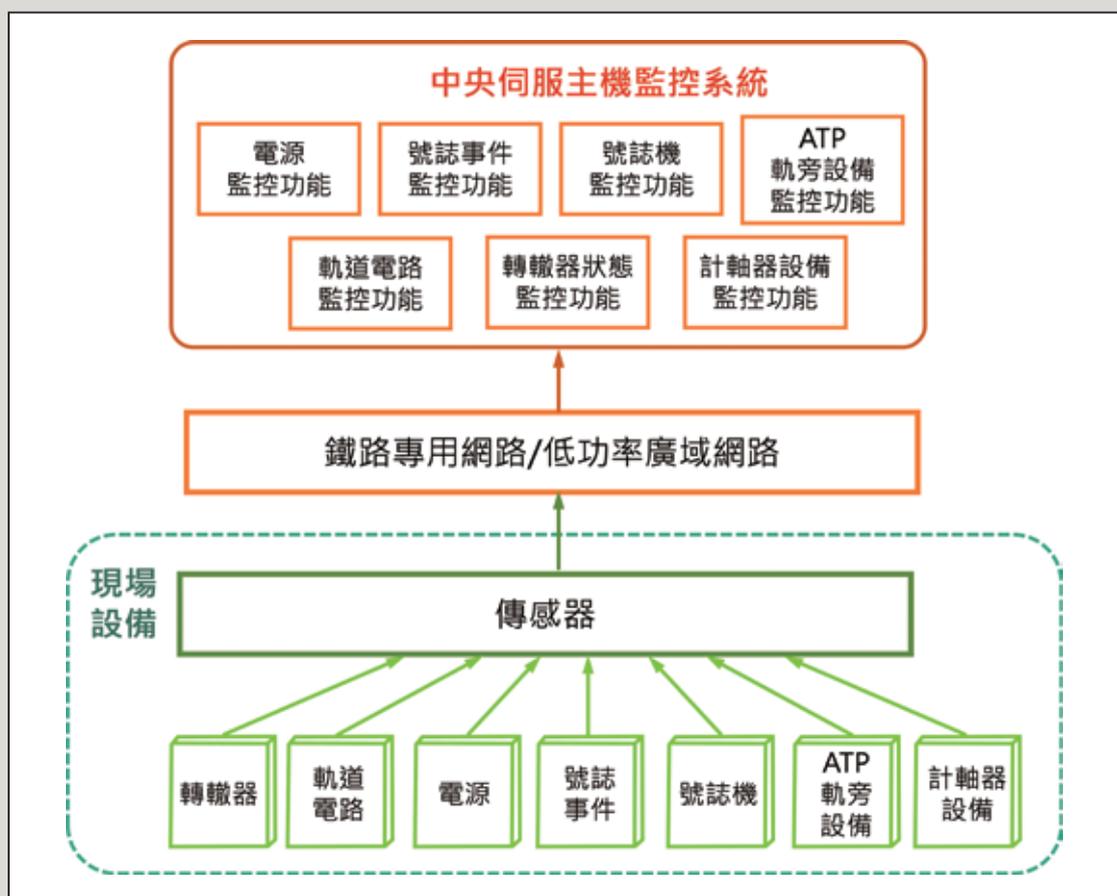


圖14 SRCMS系統架構

(二) 運行安全監控

1. 訊號監測

鐵路訊號狀態監控系統針對鐵路沿線的車站進路和號誌機狀態進行監測，並將訊號於GIS系統上準確的標示出來。透過訊號微機監測系統，監測並記錄訊號設備的主要運行狀態，實現模擬量、開關量在線監測、數據邏輯判斷，根據監測到的各種訊號，進行綜合分析，從而發出預警和報警訊號，使電務部門可以實時的掌握設備的當前運行狀態，並為事故分析提供依據。

目前臺鐵局亦計畫建置之號誌遠端狀態監控系統(Signalling Remote Condition

Monitoring System，簡稱SRCMS)，應用軌旁之資料擷取單元即時監控號誌設備狀態，將資料傳送至中央主機系統之資料庫(Data Base)，配合以網頁為基礎之維護管理系統，方便使用者透過網際網路登入監視號誌設備狀態，並在長期監控之下，以達計畫性維修與預防性保養之目的，如圖14。

2. 列車狀態監控

機車、車輛、電聯車和柴聯車的行車安全非常重要。可以將物聯網技術應用於車輛監測，利用傳感器和射頻技術，對車輛的軸承故障、軸溫、裝載情況、運行狀態、自動剎車系統、供電系統等工作狀態進行監測，並連結至列車上監控

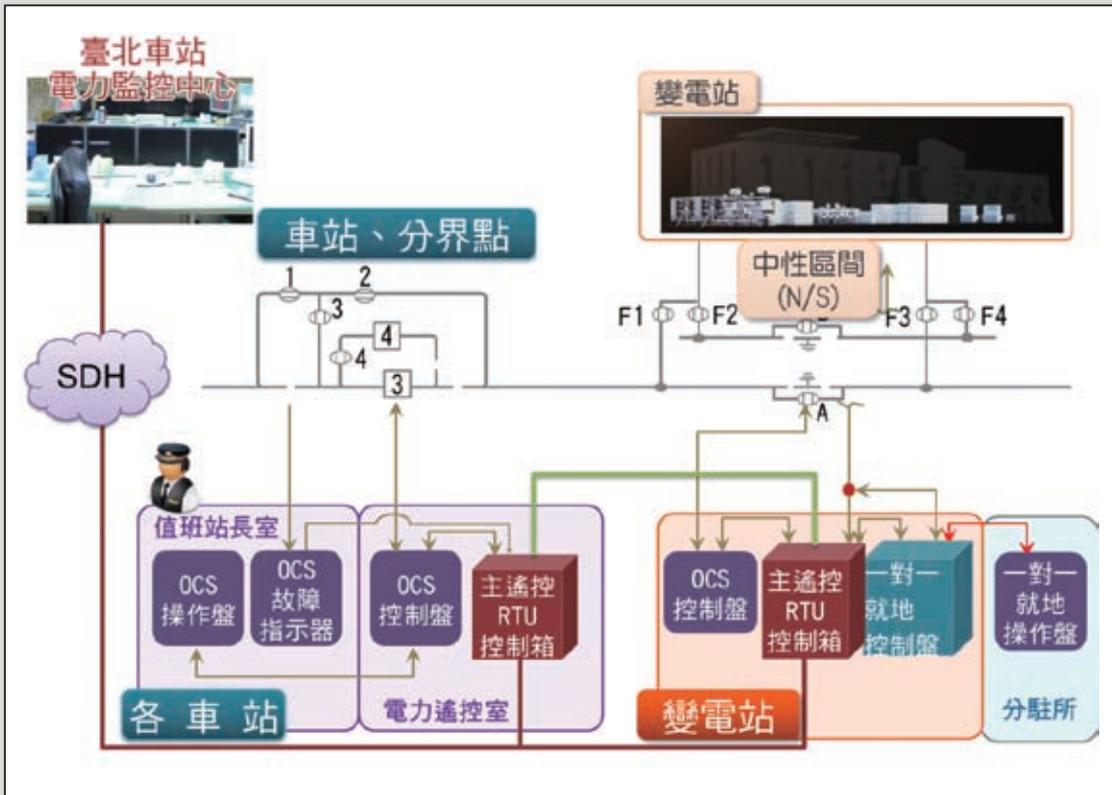


圖 15 台鐵SCADA系統架構示意圖

系統再回傳中心，行車調度中心人員可對故障情況進行預警和準確報警。

3. 電力安全監測

鐵路電力安全的監測主要依靠電力系統遠端對全線的電力系統狀況進行狀態監控、預警和報警。系統可以對電力設備實時監測，包括鐵路沿線各個變電所的設備和關鍵點電壓、電流、開關、電源等狀態。同時，將這些訊息在地理訊息系統中顯示出來，可以進行實時查詢。目前臺鐵局設置之電力遙控系統，將臺鐵全部電氣化線路設備集中於電力調配室監視及控制，包括 161kV、69kV 輸電線路、變電站及電車線 25kV 之開關作業、電力供應等電力調配業務，如圖 15。

4. 巡檢監控

以往巡檢是以人工的方式對鐵路相關設備進行巡視檢查。因此，需要獲取巡檢人員的位置訊息，將巡檢人員的活動軌跡在地理訊息系統上面顯示出來，從而了解巡檢人員的工作任務的完成情況，掌握巡檢人員是否以正確的巡檢路線完成線路巡視，當巡檢線路與規定路線不符時，可以發出預警或報警；同時，當巡檢人員戶外巡檢時，需要準確的獲取相關設備的狀態訊息，採集現場的視頻、圖像、聲音訊息，實時將訊息上傳至監控中心[7]。

(三) 識別管理系統

1. 貨物識別

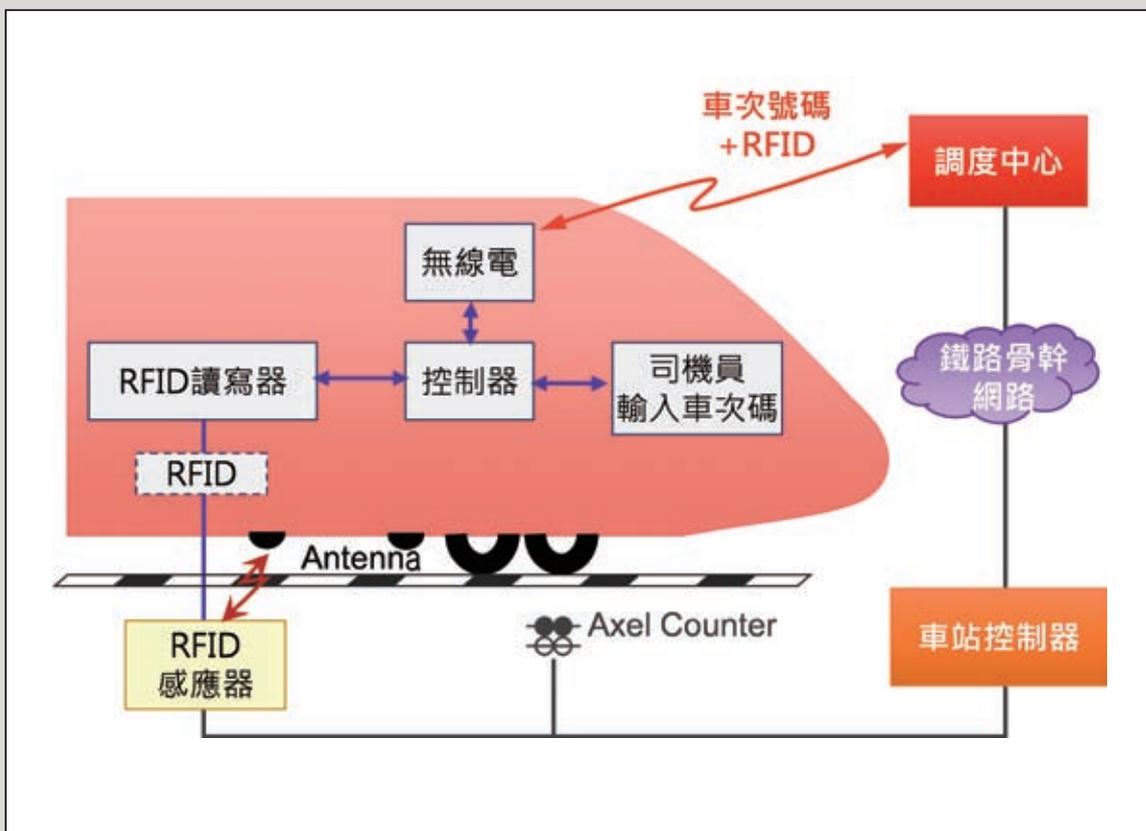


圖16 鐵路車號自動識別系統運作示意圖

鐵路行李托運或貨櫃運輸都是採用人工登記方式進行，效率低、易出錯。若採用RFID 技術於貨物或貨櫃上貼上電子標籤，可在運輸途中隨時監視，防止丟失或損壞，從而提高貨物運輸的安全性和運輸效率。

2. 車次號識別

應用物聯網的RFID或Beacon技術，可實現鐵路車號自動識別系統。ATIS的目標是在所有機車、貨車上安裝自動識別設備，在所有區段站、編組站、大型貨運站和分界站安裝地面識別設備，對運行的列車及車輛訊息進行準確地識別。據以實現對列車、車輛、貨櫃之追蹤管理所需的即時準確且實時的基礎訊息，如圖16；避免傳統藉由CTC調度系統列車

自動追蹤方法容易出錯，或當人工就地操作時無法自動識別等問題[6]。

柒、結語

隨著物聯網時代來臨，新的應用和裝置結合無線網路科技，形成新的應用型態。以服務而言，物聯網應回歸人的生活與需求相關，藉由個人智慧終端取得服務並回饋相關資訊，為系統建置之重點。包括機場內的各式用人智慧服務、高速公路定點資訊推播及盲人導引等皆是相當好的應用案例。

以管理應用面觀之，藉由物聯技術，可於機場內有效追蹤旅客活動及監控服務績效；監控設備、列車狀態，提高鐵路運輸的安全性。

物聯網的建構將會融合各種技術，提供一個可交互溝通、回饋、即時處理分析的服務與應用環境，但有些課題是未來逐步走向物聯網時代所必須面對的：

- 一、標準化對任何技術的大規模部署與投資是必要的，近年來各種標準仍處於相互競爭階段，尚待時間統一。
- 二、當各種資料皆被收集儲存後，可能出現資料過度氾濫問題，如何有效分析、產生「有用的訊息」，亦是未來系統設計者、管理者應面臨的重要課題。
- 三、個人的隱私與資料安全已然是資訊化時代眾所關切的議題，尤其個人資料保護的實施，使得追蹤、收集用戶位置、興趣等應用，都可能產生相關議題，如何去個資化，保障網路資訊安全，將是一項挑戰。

參考文獻

1. iThome, <http://www.ithome.com.tw/news/90461>，物聯網技術大剖析，民國106年。
2. LoRa Alliance, “SA technical overview of LoRa® and LoRaWAN™”, Nov 2015.
3. Brian L., “SITA End-to-end Self-Service: Keeping your passengers moving and empowered.”
4. 廖振志，「機場智慧化系統建置」，中華技術112期，民國105年。
5. 交通部，台灣高速鐵路交通事故整體防災應變計畫，交通部高速鐵路工程局，民國101年。
6. 高峰、朱呈文，鐵路與物聯網(二)，鐵道知識雜誌，民國105年1期。

綠建築與 GREEN BIM 的對話

關鍵詞：綠建築、Green BIM、建築性能分析、基地微氣候、外殼耗能、自然採光

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／協理／林信忠 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／技術經理／辛銀松 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／副理／伊釗 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／工程師／郭策維 ❹

摘要 ABSTRACT

隨著溫室氣體濃度攀高，全球極端氣候發生頻率越趨頻繁。生態環境持續惡化，可能會危害到未來人類生存發展空間。透過「綠建築」設計手法降低建築的環境負荷，以達到「環境永續」與「節能減碳」的目的。隨著BIM技術逐漸成熟，運用在綠建築設計方面的Green BIM隨之而生。Green BIM的技術特色有以下兩點：(1)能夠反應氣候環境對建築的影響(2)利用BIM架構進行建築性能分析(Building Performance Analysis)最後達到最佳效能。

本文分針對：(一)環境參數導入、(二)基地微氣候、(三)熱環境、(四)光環境，此四項綠建築設計較常運用的項目，來淺略介紹Green BIM在實務上的運用，以作為後續Green BIM技術精進之參考。



壹、前言

隨著溫室氣體濃度攀高，全球極端氣候發生頻率越趨頻繁。為避免生態環境持續惡化，對人類性命造成威脅，「環境永續」與「節能減碳」已成為時下最夯的話題。在建築方面，透過「綠建築」設計手法降低建築的環境負荷，以達到「環境永續」與「節能減碳」的目的。台灣EEWH綠建築評估早已行之有年，「綠建築」在近年也蔚為風潮，連時下最夯的BIM(Building Information Modeling)建築資訊模型技術，也要與綠建築搭上邊才算是新潮。在整個建築生命週期(Building Life Cycle)，影響建築日後五十年使用耗能與排碳量，關鍵在於前期規劃階段。因此衍生出Green BIM 技術，讓建築物理環境理論，變成視覺化的三維圖形與量化參數。

貳、Green BIM運用於綠建築規劃設計

BIM建築資訊模型，是指藉由電腦輔助計算能力，將建築可視化與量化成3D模型，此概念雖在1970年代首次被提出，但BIM真正大量運用在實務上，卻是近20年的事。2008年Eddy Krygiel與Bradley Nies首次提出Green BIM綠色建築資訊模型的概念，並說明BIM對於建築設計方法與建築產業所帶來的影響，未來將朝向環境永續的目標發展。所謂Green BIM的技術特色有以下兩點：(1)能夠反應氣候環境對建築的影響(2)利用BIM架構進行建築性能分析(Building Performance Analysis)最後達到最佳效能。

在建築生命週期的前期規劃階段，過去以往全憑建築師的專業涵養來進行建築物理環境規劃，現今Green BIM可導入氣候資訊(包括日

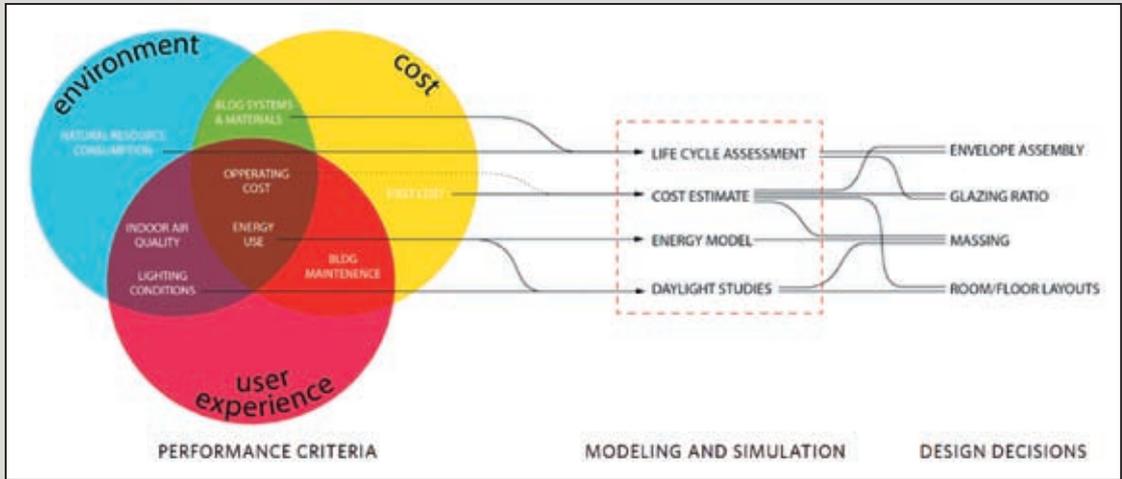


圖1 建築性能標準、3D建模與模擬、建築設計決策相互關係
(圖片來源：Tally Revit Application-AIA 2014 BIM Award)

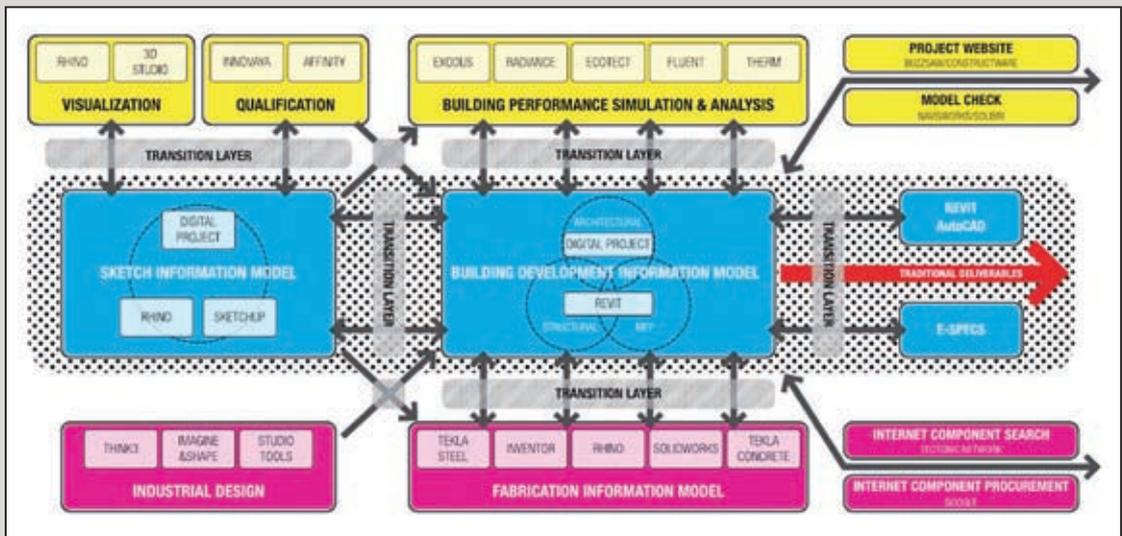


圖2 SOM聯合事務所BIM運作流程
(圖片來源：Paul Seletsky, BIM DESIGN, 2014)

照角度、日射量、風速、風向、濕度等)，來進行建築性能的3D可視化與量化分析。在中期營造階段，透過3D模型的衝突檢討與虛擬實境 (Virtual Reality) 方式，進行施工監造與建築品質管控。在後期營運階段，可透過雲端資料庫與能源智慧管理的技術來降低建築耗能。

一、前期規劃導入Green BIM

現今，在整個建築生命週期已經可以透過

相關BIM軟體及技術全程參與，從原本的2D平面思維作業，到3D結合多方的建築專業領域，進行所謂Green BIM導入設計。雖然BIM在整個建築生命週期可以全程參與，協助改善與最佳化建築的耗能與碳排放量，但最關鍵仍在於前期規劃階段是否採用導入Green BIM技術。Green BIM流程的導入，不但協助專案利害關係人 (Project Stakeholder) 在設計初期決定建築物性能，也影響未來施工的效率與品質。

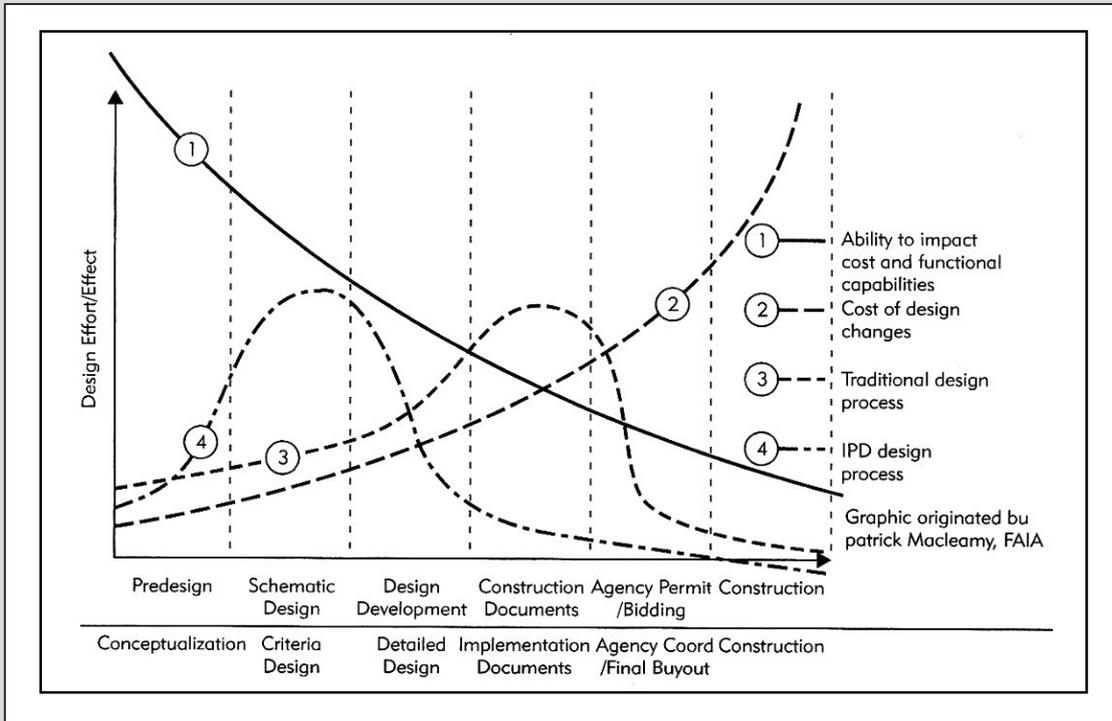


圖3 BIM建築設計程序的效能與價值
（圖片來源：BIM Handbook, 2011）

表1 桃園地區氣候文獻資料（資料來源：中央氣象局）

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	平均
氣溫(°C)	15.24	15.88	17.36	22.04	25.12	27.2	28.74	28.84	27.22	24.26	21.62	17.7	22.60
濕度(%)	80	83	81	82	83	82	81	79	78	73	77	78	79.8
風速(m/s)	6.6	4.6	4.4	3.9	2.9	3.1	2.6	2.4	3.3	4.7	4.5	4.0	3.9
日照時數(hr)	92.5	92.4	99.1	105.0	144.5	138.8	187.6	190.2	178.1	193.9	141.8	128.8	1692.7

二、建築性能分析與案例分享

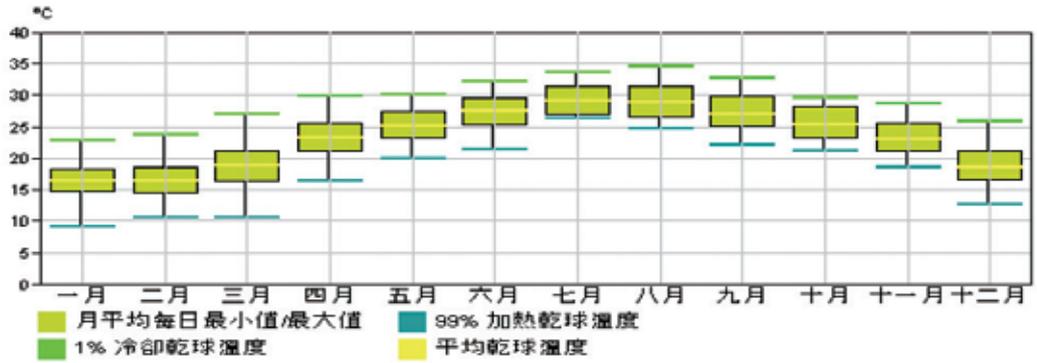
有關BIM在建築生命週期各階段所執行的精細程度LOD (Level of Development)，美國建築師學會AIA已做出明確定義，另外Green BIM軟體技術日新月異，可模擬分析(Simulation Analysis)的功能亦日趨多元化，本文在此就不做探討。我們將著重在Green BIM如何在初期規劃時期，結合自然環境參數(Environment Data)進行建築性

能分析(BPA)。以下將分為(一)環境參數導入、(二)基地微氣候、(三)熱環境、(四)光環境，此四項略作淺介：

(一) 環境參數導入

任何建築專案成立時，第一首要任務就是確認專案基地位置，因為基地的地理位置、地形氣候條件將會影響後續設計發展。

每月設計資料



白天氣溫平均值

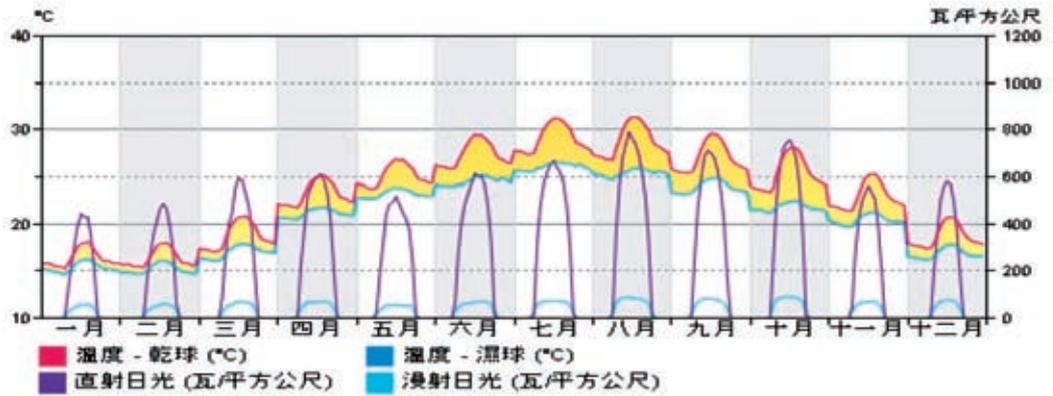


圖4 Autodesk Revit氣候資料分析

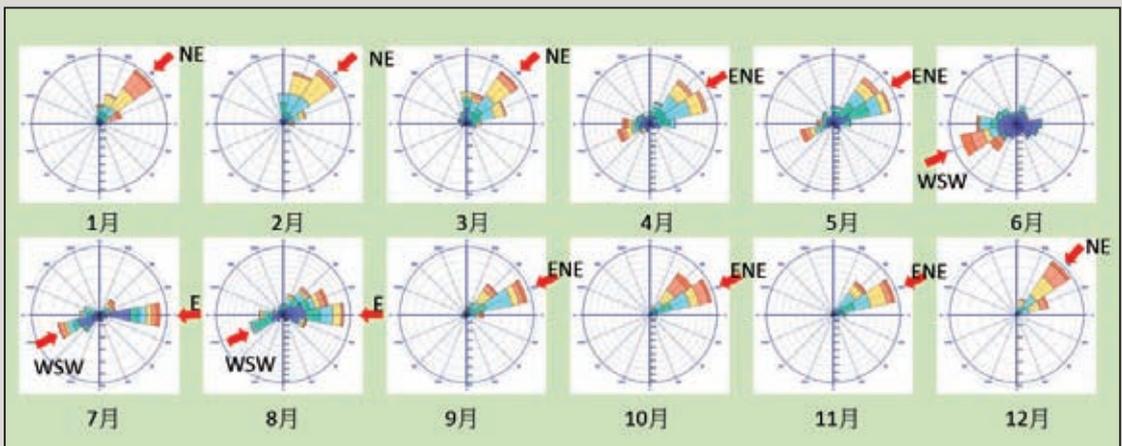


圖5 Autodesk Vasari風花圖(Wind Rose)分析

以往都是靠人工來收集與分析相關文獻資料，現在可藉由Green BIM相關軟體輸入基地座標位置，收集分析基地的氣候資料如日

照量、降雨量、溫濕度、風速與風向等，大大減少人工作業的時間與人力投入。

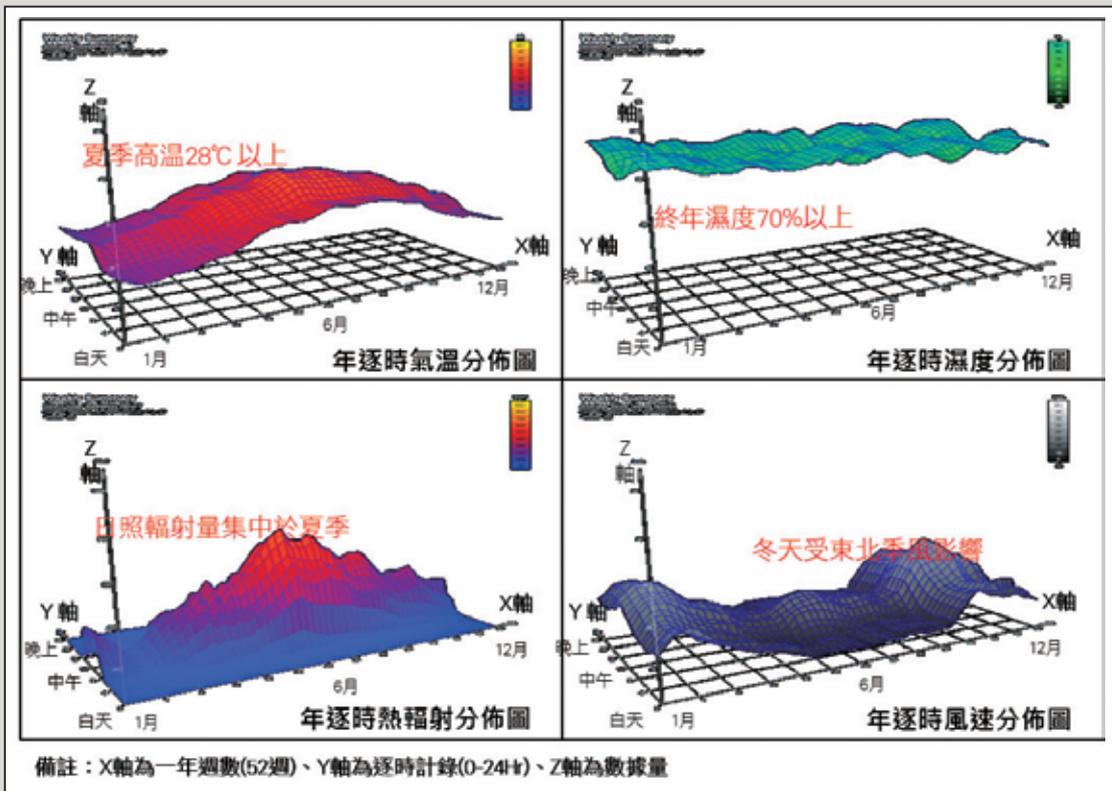


圖6 Autodesk Ecotect氣候資料3D可視化呈現

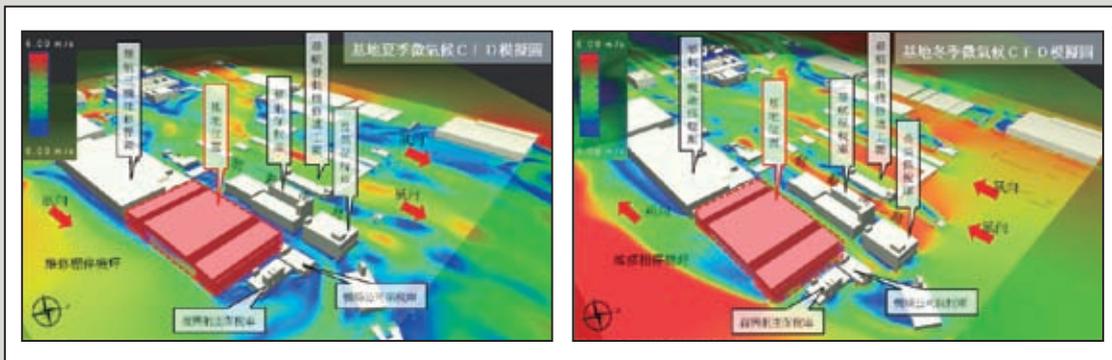


圖7 Autodesk Vasari分析華航新二機棚基地微氣候

(二) 基地微氣候

以往建築設計者是憑藉文獻資料轉化為圖像資料，來進行基地微氣候的分析。Green BIM則可透過簡易的計算流體力學(CFD)模擬基地微氣候，讓設計者能更方便與業主溝通設計理念。圖7為華航新二機棚新建案基地微氣候模擬圖，因桃園地區風向大致可分為九月至翌年五月的東北風(平均風速約為4.3m/s)，六月至八月的西南

西風(平均風速約為2.7m/s)，透過Autodesk Vasari CFD風洞模擬，可以看出夏季南風與冬季東北季風對基地的影響。圖8為Autodesk Flow Design軟體模擬公館配水池多目標大樓新建工程案的基地微氣候，夏季可引進東南風，冬季則可透過鄰近社區建築量體減少東北風侵襲基地，加上基地建築裙樓設計，可提高建築南側戶外環境舒適度。

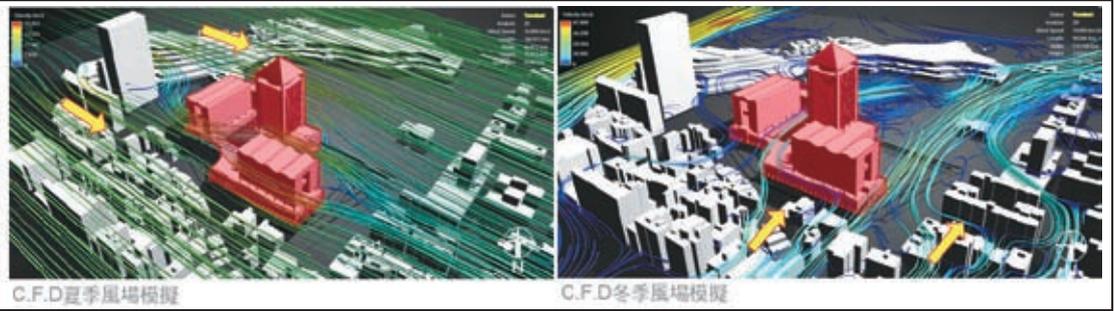


圖8 Autodesk Flow Design分析公館配水池多功能大樓基地微氣候

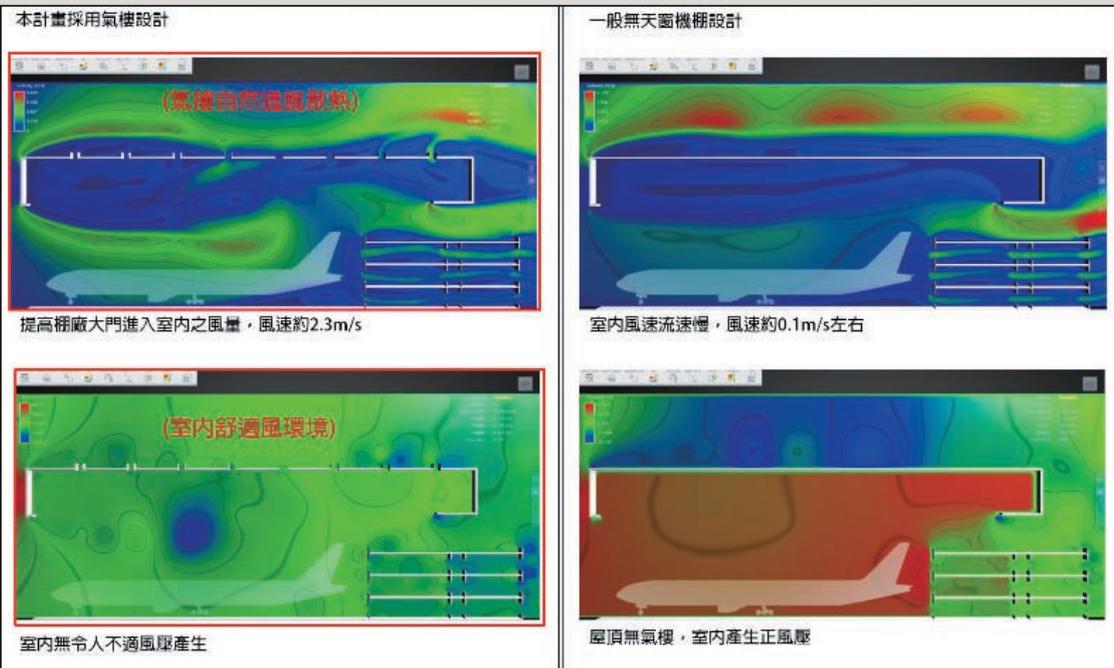


圖9 Autodesk Flow Design華航新二機棚室內通風效能模擬

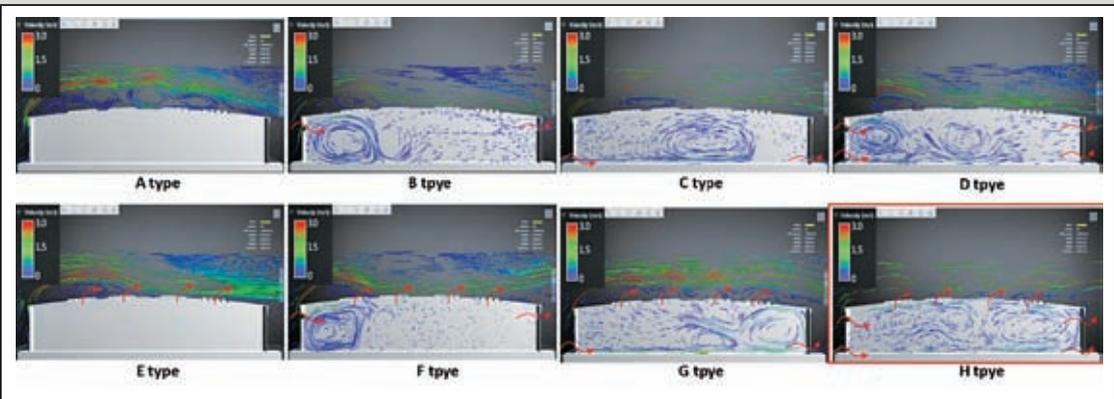


圖10 Autodesk Flow Design華航新二機棚開窗模式效能分析

Green BIM在建築開窗設計方面，可輔助設計者在建築物自然通風設計上達到較佳效果。

以華航新二機棚新建案為例，透過風洞試驗模擬結果發現(圖9)，當機棚設有天窗時比無設

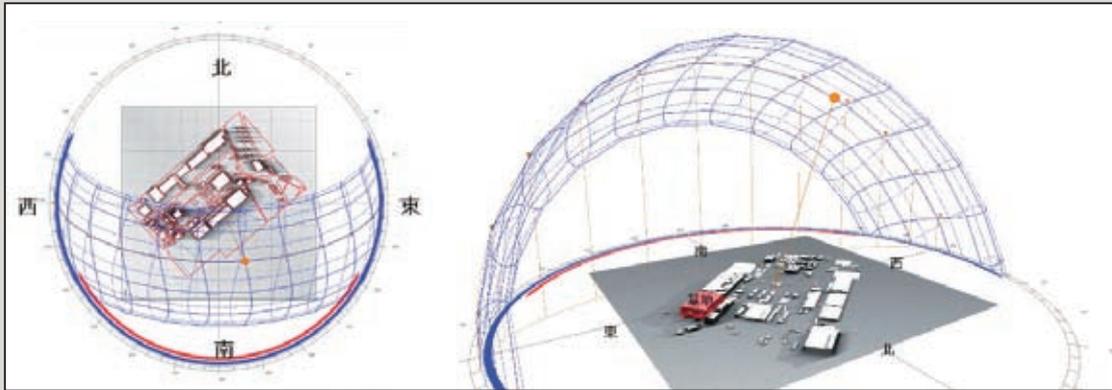


圖11 Autodesk Ecotoect華航新二機棚日照軌跡模擬

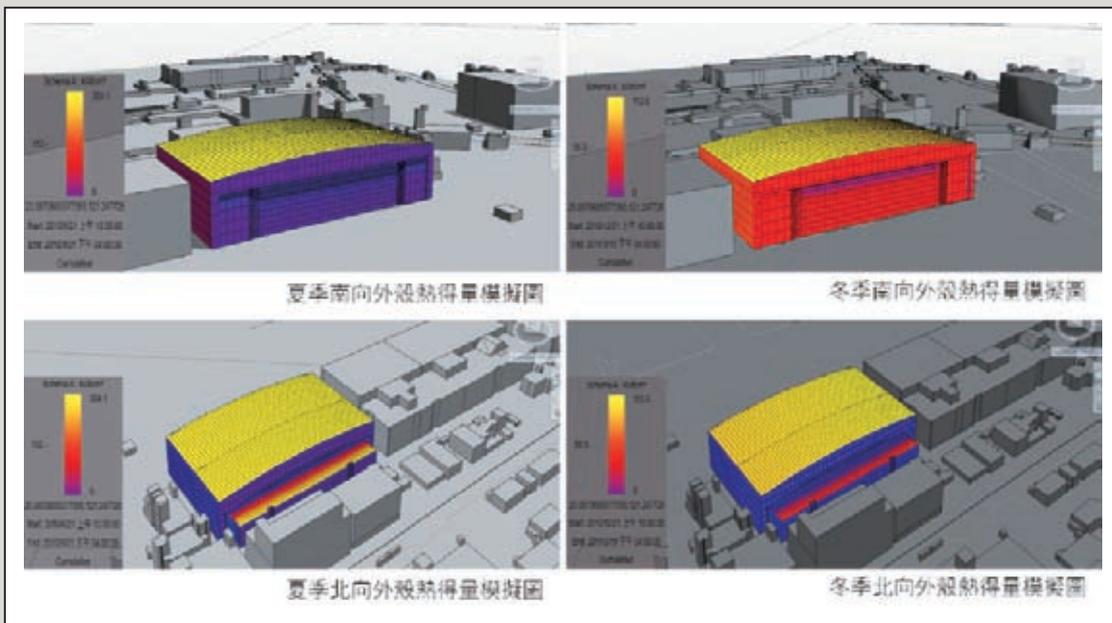


圖12 Autodesk Ecotoect華航新二機棚外殼日射量模擬

置天窗的通風換氣量提高約30~45%左右，且室內幾乎無令人不適之風壓產生。在無設置天窗情況下，室內會比室外多30Pa左右的風壓。
(註：1標準大氣壓=101,325Pa)

(三) 熱環境分析

由於台灣位處亞熱帶地區氣候夏季天氣炎熱，夏季建築外殼耗能是冷房負荷主要因素。為減少室內空調冷房負荷，我們在前期規劃階段導入Green BIM能源模擬系統，來模擬建築外殼耗能情況，藉此改善

建築開口遮陽，以達到最佳建築外殼節能效果。

(四) 光環境分析

一般而言，建築空調耗能與室內人工照明耗能，兩者佔了建築物總耗能量的絕大部分，因此提高自然採光降低人工照明耗能，可有效減少建築耗能量。利用Green BIM軟體可以模擬出室內晝光照度，避免產生暗房，同時可提供人工照明燈具配線參考。

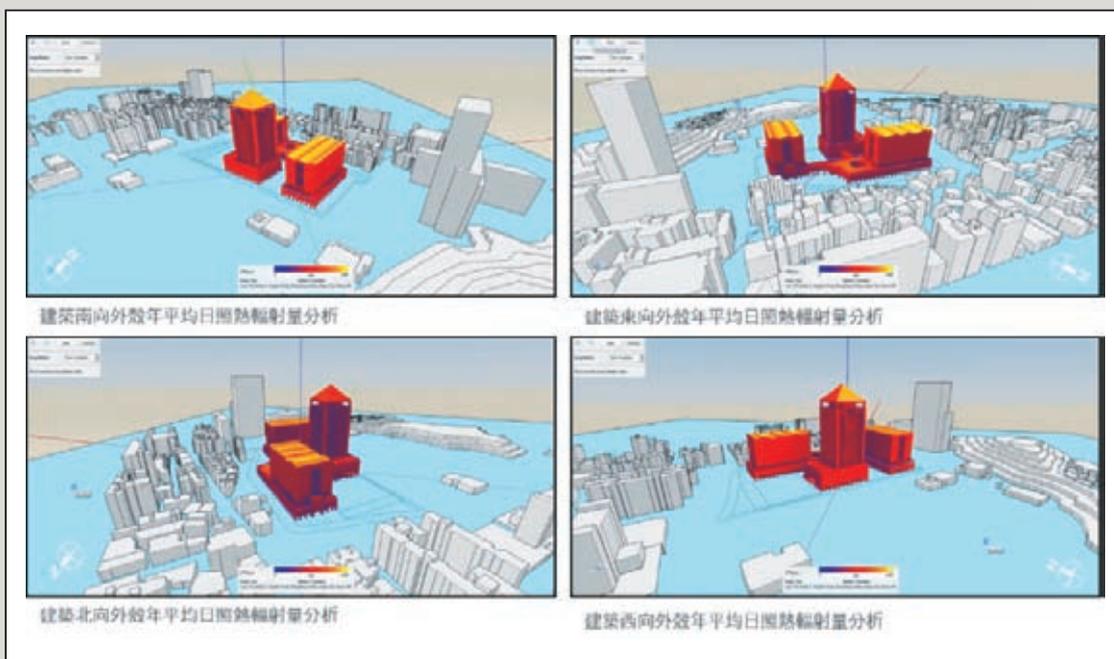


圖13 Autodesk formIt 360公館配水池多功能大樓外殼日射量模擬

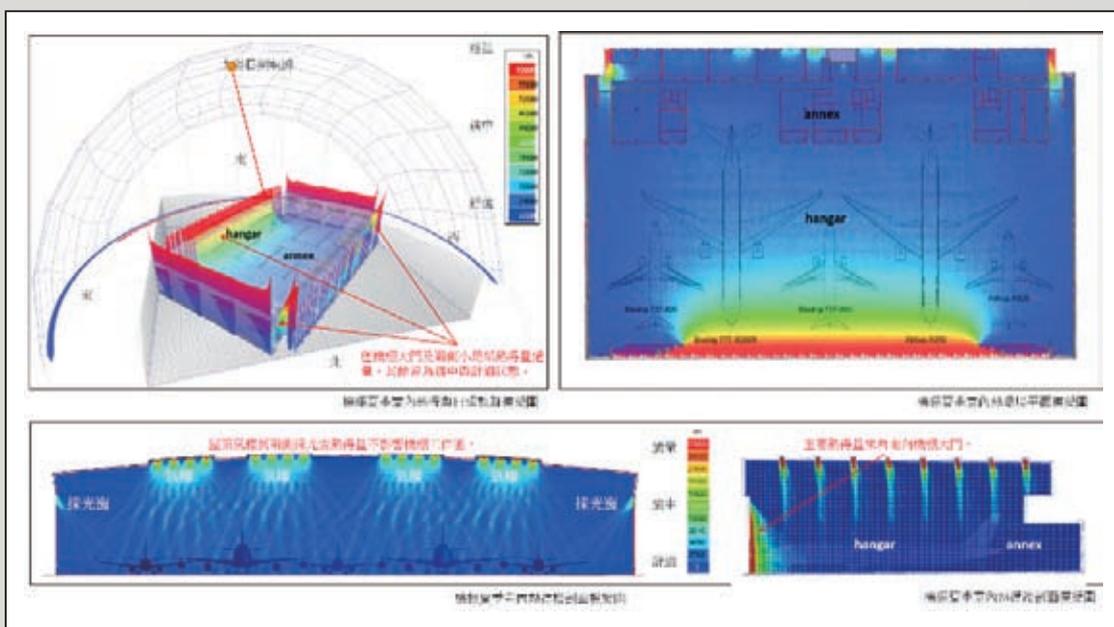


圖14 Autodesk Ecotect華航新二機棚室內開窗熱得量模擬分析

參、結論與建議

Green BIM主要是BIM的軟體技術結合建築物理環境資料，來進行建築設計以達到「環境永續」與「節能減碳」的方法流程。透過更直覺化的3D設計手法，讓設計者能檢討與修正

設計內容。未來建築產業在朝向永續規劃的同時，除了透過學習Green BIM的軟體，來強化設計者的專業能力，另外也要提升建築物理環境的基本涵養，以期能夠真正落實綠建築的專業能力。

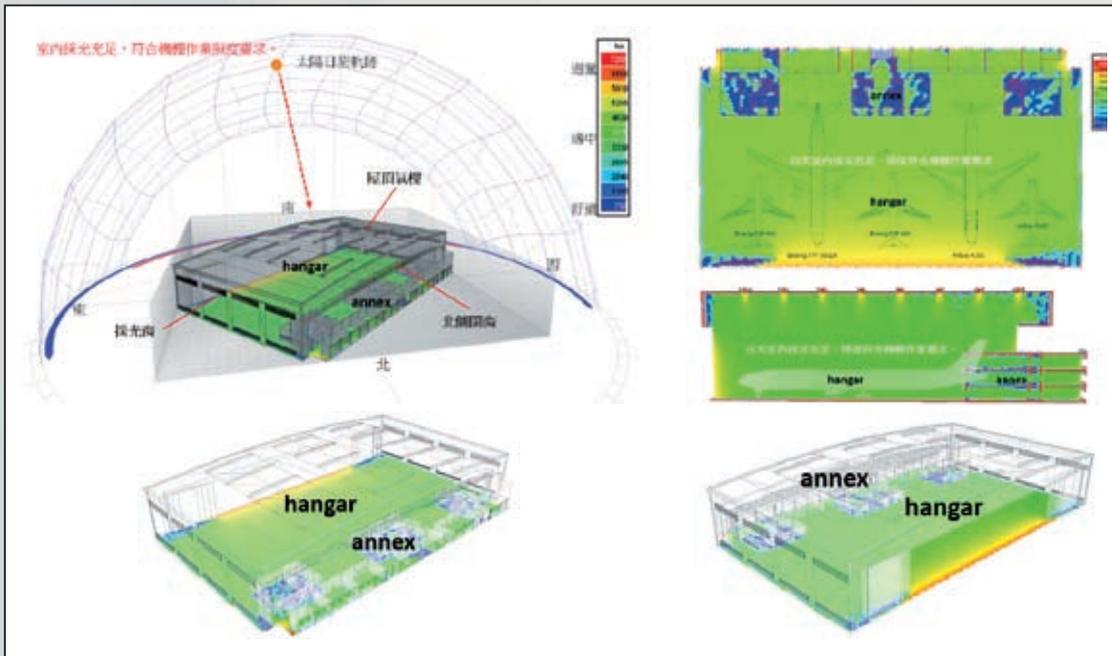


圖 15 Autodesk Ecotect 華航新二機棚室內晝光採光模擬分析

參考文獻

- 謝博全(2011)。BIM在建築生命週期過程應用之研究。中國科技大學建築研究所碩士論文。
- 鄭泰昇(2014)。BIM 導入台灣綠建築設計案例實作研究。內政部建築研究所委託研究成果報告(科技部GRB編號；PG10301-0417)。
- 李萬利(2010)。以裝修工程塑造CECI大樓的BIM新內涵。中華技術(pp.14-23)。
- AIA. (2007). Integrated Project Delivery: A Guide, The American Institute of Architects.
- Green BIM - Sustainability - Skanska. (2014) from <http://www.group.skanska.com/en/sustainability/our-journey-to-deep-green/green-bim/>
- Gelder, J. (2013). The green BIM conference. from <http://www.thenbs.com/topics/bim/articles/greenBIMconference.asp>
- AIA KnowledgeNet-Tally Revit Application. (2014) from <https://network.aia.org/technologyinarchitecturalpractice/viewdocument/tally-revit-application>

離岸風電面臨 的挑戰與機會

關鍵詞：再生能源(Renewable Energy)、離岸風電(Offshore Wind Energy)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／工程師／王昱凱 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／副理／林俶寬 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／港灣部／協理／張欽森 ❸

摘要 ABSTRACT

臺灣政府為達到能源自主與環境永續之目標，積極推動再生能源與其相關產業發展，其中離岸風力發電為關鍵項目之一。本文藉由介紹離岸風場之組成結構與開發流程、說明臺灣離岸風電發展現況，並針對行政與法規、技術門檻及財務與其他需求分析臺灣離岸風電面臨之挑戰與機會，提供給有興趣投入離岸風電人員參考，並做為我國離岸風電發展之借鑑，期能協助政府健全我國離岸風場開發能量，於2025年完成開發離岸風塊3000MW之目標，落實非核家園政策。



壹、前言

臺灣天然資源有限，自產能源匱乏，接近98%能源供給依賴進口，化石能源依存度高，然而在國際能源價量受政經情勢與地緣政治影響波動劇烈，全球溫室氣體減量壓力漸增，臺灣預計在2050年的溫室氣體排放量要降為2005年的50%以下，以及臺灣國內能源需求持續成長等情勢下，臺灣政府為達到節能減碳與穩定電力供應之目標，全力推動再生能源與其相關產業發展，根據國際研究，再生能源的開發對於減碳的貢獻可以達到21%，再生能源之諸多選項中，除了水力以外，風力發電因其技術相對成熟，發電效率較高，且發電成本最為接近傳統能源之發電成本，成為全球成長最快速之再生能源，然臺灣地狹人稠，陸域可供開發之優良風場漸趨飽和，因此，離岸風力發電成為臺灣推動再生能源利用關鍵項目之一。

臺灣的風能天然資源相當豐富，尤其是臺灣海峽及桃園至雲林沿海一帶，除了受到臺灣海峽兩岸山脈縮口而加速，又有強勁的夏季西南氣流與冬季東北季風吹襲，根據4C Offshore 2017年風速資料(如圖1所示)，全球風況最好的15處風場，臺灣海峽內就佔了14處，造就了臺灣西岸良好的風場。工研院2013年之研究顯示，臺灣的離岸風電可安裝面積達5,640平方公里，總裝置容量可達290億瓦，相當於2千萬戶的年用電量。

臺灣政府為達到2025年非核家園之目標，全力推動再生能源，目前規劃為於2025年臺灣再生能源總裝置容量達到27GW，其中離岸風力發電將占3GW，2030年則於臺灣海峽安裝超過800架離岸風機，總裝置容量約達4GW，本文藉由介紹離岸風場之組成結構與開發流程、說明臺灣離岸風電發展現況，分析臺灣離岸風電發展之機會與面臨的挑戰，提供給臺灣各界有興趣投入離岸風力發電人員之參考。

Rank	Project	Sea	Country	Status	Speed (m/s)
1	Fujian Putian City Flat Bay (Zones DE) - 600MW	Taiwan Strait			12.12
2+	Ideol/CSC - Floating Project	Taiwan Strait			12.09*
3	Fujian Putian City Flat Bay (Zone F) - 200 MW	Taiwan Strait			12.07
3	Shicheng Fishing Port	Xinghua Bay			12.07
5	Fujian Putian City Flat Bay Two (Zones BC) - 250MW	Taiwan Strait			12.05
5	Longyuan Putian Nanri Island 400MW Project - Phase 1 - 16 MW Prototype	Taiwan Strait			12.05
5	Fujian Putian City Flat Bay - 50MW	Taiwan Strait			12.05
5	Longyuan Putian Nanri Island 400MW Project - Phase 3 - 280MW	Taiwan Strait			12.05
5	Longyuan Putian Nanri Island 400MW Project - Phase 2 - 104MW	Taiwan Strait			12.05
10	Zone of Potential - 15 - DONG Energy	Taiwan Strait			12.04
10	Zone of Potential - 22	Taiwan Strait			12.04
10	Zone of Potential - 9	Taiwan Strait			12.04
10	Zone of Potential - 10	Taiwan Strait			12.04
10	Zone of Potential - 13 - DONG Energy	Taiwan Strait			12.04

圖1 4C Offshore 2017年風速資料排名

貳、離岸風場之組成結構

離岸風場主要硬體包含離岸風機、海上變電站、海底電纜、陸上變電站以及陸上電纜(如

圖2所示)。離岸風機所產生之電力將會透過海底電纜傳輸至海上或陸上變電站匯集且升壓之後，再經由海底及陸上電纜連接至台電之陸上變電站併聯供電。

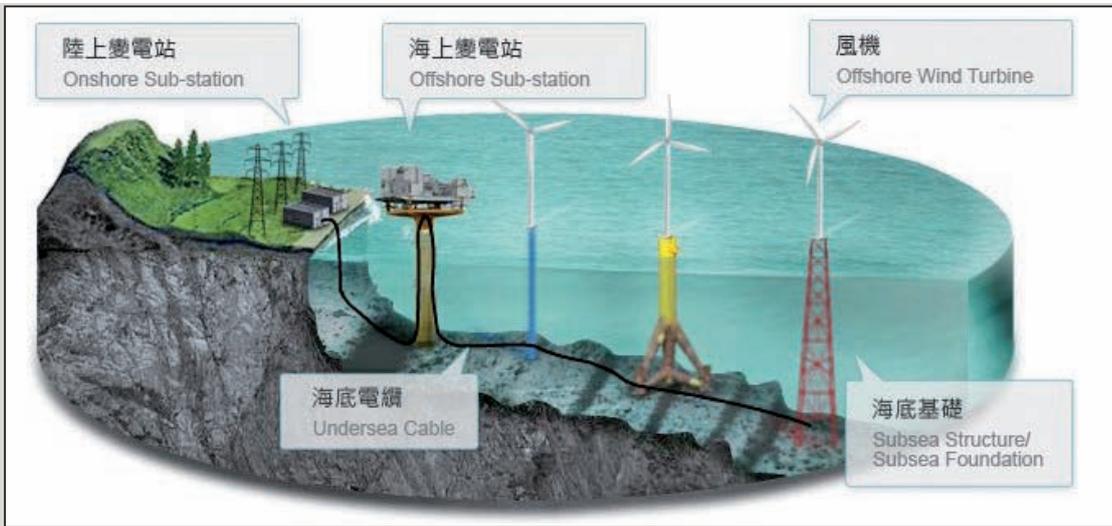


圖2 離岸風場之組成結構 (<http://www.taiwangenerations.com/offshorewind.php>)

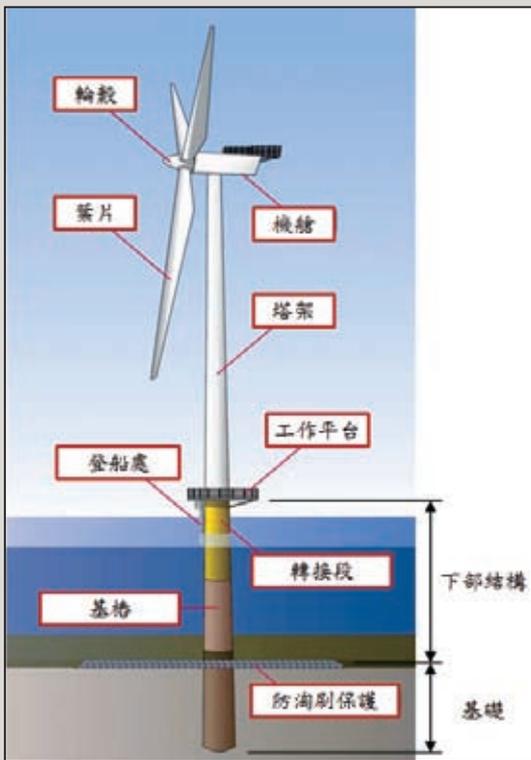


圖3 離岸風機及其單樁支撐結構示意圖

離岸風機除了風力發電機組(風機機艙(Nacelle)、輪殼(Hub))與葉片(Blade)外,其他所有元件均為支撐結構,支撐結構的主要任務為支撐發電機組重量與抵抗環境外力,主要包含塔架(Tower)、下部結構(Substructure)與基礎(Foundation)三個元件。又支撐結構於塔架底部

之工作平台(Platform)處設有電力控制系統或變電設施,以方便電力工程人員由工作平台進入操作與維修。單樁支撐結構之示意圖如圖3所示,其中塔架為風機機艙至轉接段(Transition piece)頂端之部分,轉接段為連接塔架與基樁之過度結構,連接段至海床面之結構總稱為下部結構,負責將離岸風機整體載重傳遞至海床,海床下之部分則為基礎。

參、離岸風場的開發流程

離岸風場的開發流程可以概分為五個階段[1]:(1)開發前置作業、(2)離岸風機上部結構製造、(3)風場其他附屬構件(Balance of plant, BOP)製造、(4)安裝與試運轉及(5)運轉與維護。

開發前置作業包含地點選擇、環境調查、環境及漁業影響評估、風場開發許可申請、風場規劃設計、漁權談判、施工船機規劃以及工程分包等相關工作,此階段對於離岸風場開發成敗具有決定性之影響,一般花費時間大概是1~5年;離岸風機上部結構製造包含風機供應商(例如:Siemens, Vestas, Hitachi等)及其上游廠商所有製造活動,此階段涵蓋風力發電機組、

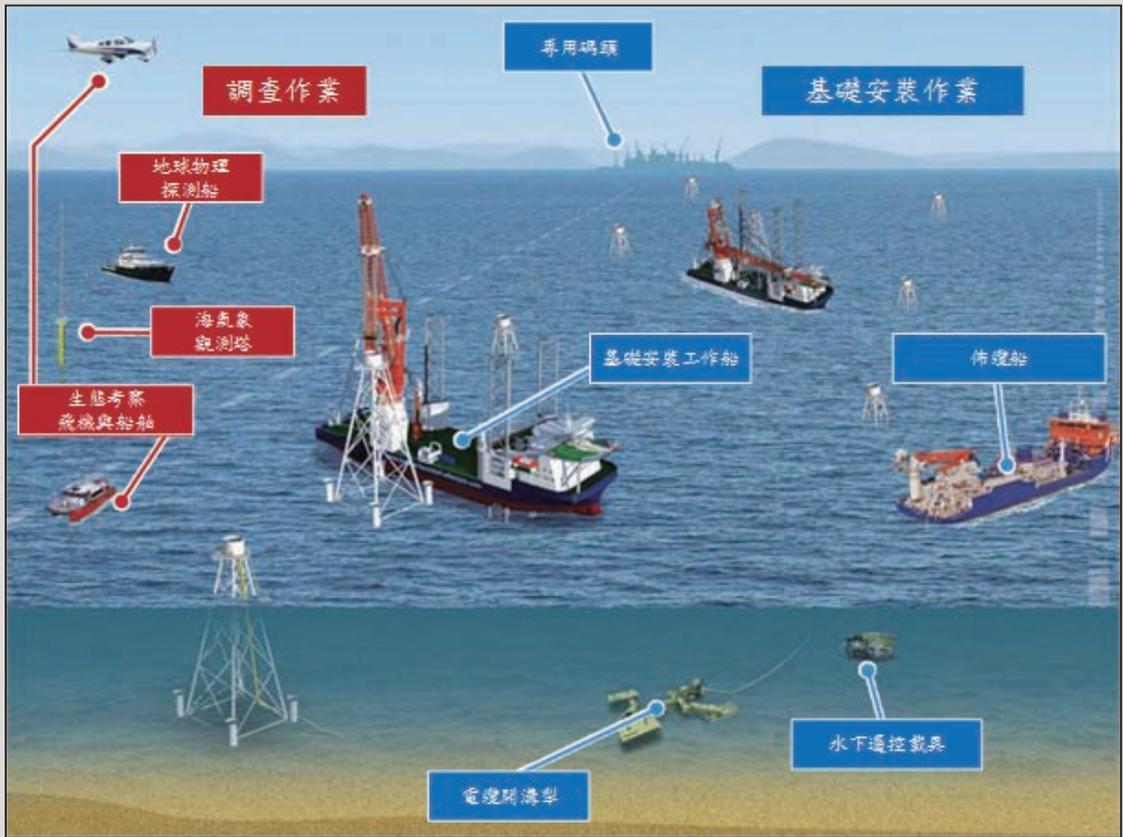


圖4 離岸風場開發機具(調查與基礎安裝作業)[2]

葉片及塔架之製造等工作；風場其他附屬構件製造包含支撐結構、海底電纜、陸上電纜、海上變電站及陸上變電站製造等工作；安裝與試運轉可細分為支撐結構安裝、風力機組陸上預組裝及海上安裝、變電站安裝、海底及陸上電纜鋪設及其他相關土建工程，為了減少海事工程費用，安裝時程會儘量縮短，一般需要1~2年；風場建設完成後，運轉及維護一般來說是20~25年，運轉工作多以SCADA系統透過運維中心進行遠端遙控，維護工作則依性質分為計畫性維護及臨時性維護，此最後階段也包含除役之評估及實施。

離岸風場開發各階段需要使用之海事工程機具如圖4及圖5所示[2]，其中與離岸風機安裝直接相關之船機包含運輸、打樁、基礎安裝及風機安裝等特殊工作船。離岸風場之開發成本結構可參考Musial and Ram 2010年之研究報告

[3]，如圖6所示。

肆、臺灣離岸風電發展現況

為加速開發臺灣優良離岸風能資源，臺灣政府於2011年11月的能源政策會議上提出「千架海陸風力機」計畫，此計畫於2012年核定，規劃於2016年完成2架離岸示範機組，2020年完成離岸風場520MW，與陸域合計共1,720MW，2025年完成開發離岸區塊3,000MW，與陸域合計共4,200MW，並於2030年前安裝約800架4,000MW之離岸風機。離岸風場開發的策略定為「先淺海後深海、先示範次潛力後區塊」，以「風力發電離岸示範獎勵辦法」，協助國內建立關鍵技術及經驗，再於深海區域推動區塊開發機制，帶動大規模離岸風場開發。

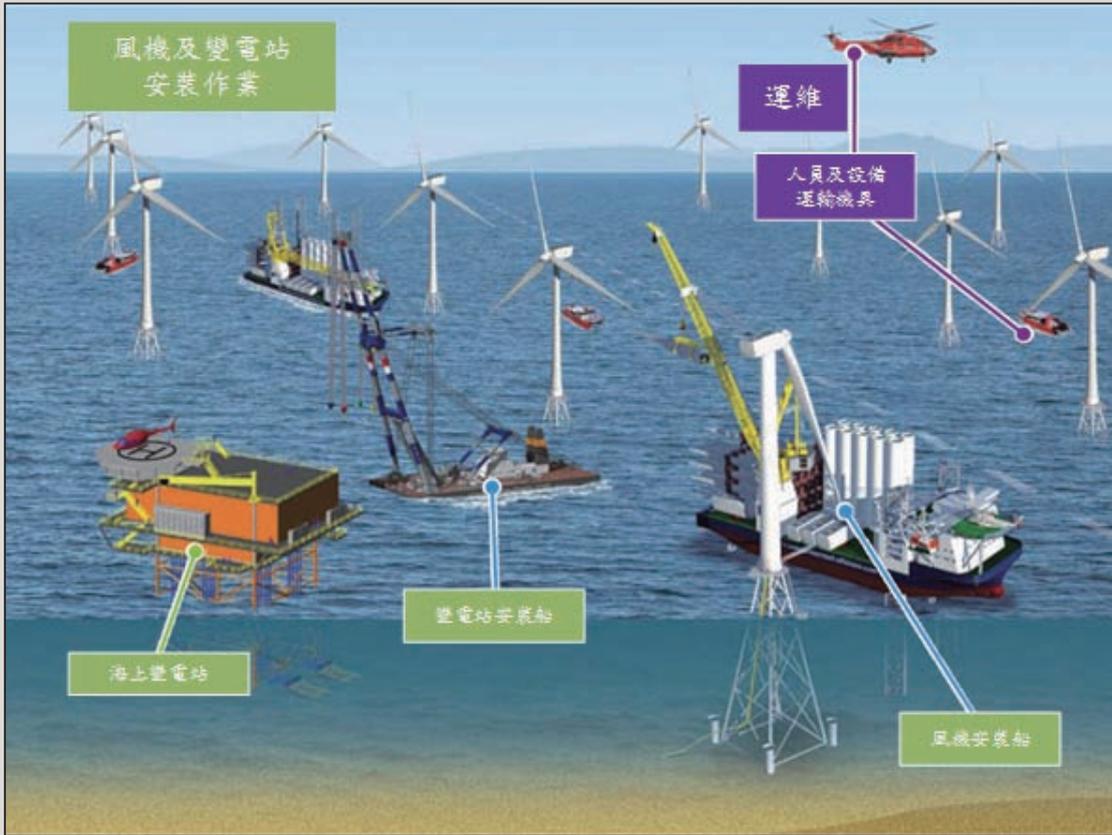


圖5 離岸風場開發機具(風機及變電站安裝與運轉維護作業)[2]

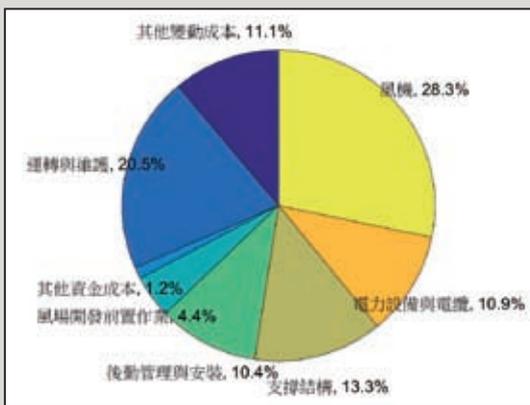


圖6 離岸風場開發成本結構[3]

示範獎勵辦法乃依據「再生能源發展條例」第11條第2項授權，以經費補助方法鼓勵業者設置離岸示範風場，於2012年7月3日公告，並於2013年1月9日公佈3家獲選廠商，分別為福海風力發電股份有限公司籌備處(下稱福海公司)、海洋風力發電股份有限公司籌備處(下稱海洋公司)以及臺電公司，各示範風場之條件如表1所示。

目前福海公司正進行施工許可文件之申請以利於106年底前建置完成2架示範機組，海洋

表1 臺灣示範風場介紹

	福海示範案	海洋示範案	臺電示範案
地點	彰化縣芳苑鄉外海	苗栗縣竹南鎮外海	彰化縣芳苑鄉西側海域
離岸	8~12公里	2~6公里	7~9公里
水深	20~45公尺	15~35公尺	15~26公尺
架數	30架裝置	32架裝置	18~30架裝置
容量	約120MW	約128MW	約108~110MW

公司已於105年10月底完成2架示範機組之建置，預計於106年完工並商轉，台電公司於104年6月17日通過示範風場環評審查；目前正在辦理示範機組電業籌設計可審查。

為推動區塊開發機制，繼示範獎勵辦法之後，經濟部能源局於2015年7月2日公告「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」，公開36處潛力場址基本資料與既有海域資料(如圖7所示)，並於同年10月2日起接受業者申請離岸風場申設，然而潛力場址的劃設，係專業機構排除相關法規禁止、限制、保護與敏感區域之初步研究成果，不代表風場設置一定有技術上之可行性，亦不代表相關法規與行政障礙已全數排除，業者仍須考量個別風場風能、地形、地質及鄰近區域等環境條件，自行評估技術上與財務上之可行性，申設現況如圖8所示，取得備查之業者須於2017年底前通過環境影響評估，並於2019年底前取得籌備創設登記備案。目前政府預計於2017年底正式公告區塊開發機制。

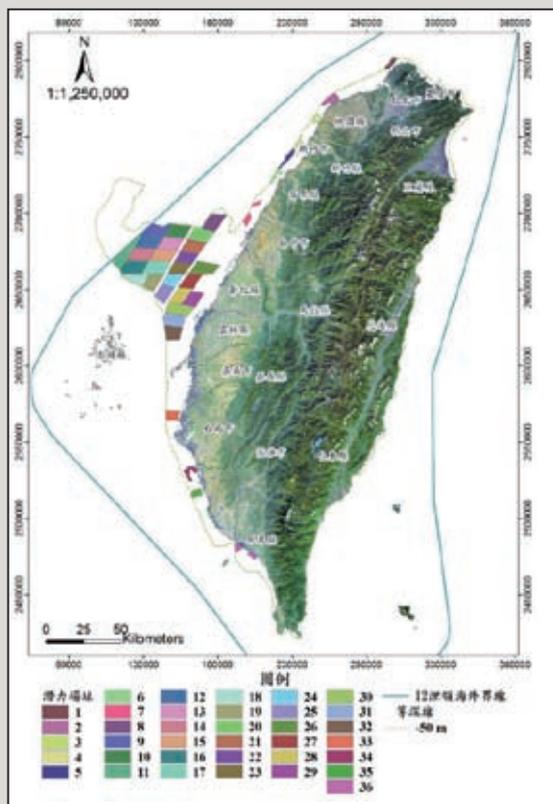


圖7 臺灣潛力場址範圍資料[4]

場址	開發商	規畫量 (MW)	進度
2	龍威	251	已備查
3	華能	151.8-159.3	已備查
4	竹園	410	已備查
5 & 6	海能	555.45-736	已備查
11	海鼎一	648-736	已備查
12	大彰化西北	598	已備查
13	大彰化東北	570	已備查
14	大彰化西南	642.5	已備查
15	大彰化東南	613	已備查
16	海鼎二	666-760	已備查
17	海鼎三	648-760	已備查
18	海龍三號	468-512	已備查
19	海龍二號	612-696	已備查
26	台電	812	已備查
27	彭芳	475	已備查
27	海峽	500	已備查
28	海峽	500	已備查
28	福芳	500	已備查
29	中能	450	已備查
非屬潛力場址	宇鼎	232-239.7	已備查
非屬潛力場址	允能	632-707.8	已備查
非屬潛力場址	百島	305	已備查

圖8 「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」申設現況 (經濟部能源局)

伍、臺灣離岸風電發展之機會與面臨的挑戰

臺灣目前尚未有任何離岸風場建置完畢，目前僅三個示範案進行中，除了風能潛力優勢外，臺灣發展離岸風電之機會還包括(1)與陸域風機相比，離岸風機較不會干擾到民眾的生活，例如風機之噪音、眩光與視覺衝擊、風水影響與民眾自覺身體不適等等；(2)臺灣地狹人稠，土地取得不易，民眾環保抗爭頻傳，發展離岸風電可以減緩陸域的開發；(3)發展離岸風電具環保效益，可以減少對化石能源的依賴以及二氧化碳的排放量；(4)風力資源源源不絕，可降低對其他國家之能源依賴；(5)發展離岸風電可帶動海事工程及運維服務業發展，增加就業機會；(6)離岸風電可能形成地方特色，帶動觀光人潮。

然而離岸風電存在較高的技術門檻及開發成本，現階段離岸風電整體發電成本約為陸域風電2.5~3倍[5]。除此之外，由於離岸風機尺寸巨大，裝設地點又在海上，因此不論是運輸或安裝都需要特殊的工作船，再加上國內尚未有任何離岸風場建置完畢，缺乏相關海事工程經驗，且技術的要求及昂貴的造價對於欲加入的廠商都是負擔。以下將針對行政與法規、技術門檻及財務與其他需求說明臺灣離岸風電發展所面臨的挑戰。

一、行政與法規

臺灣西部海域漁業與生態資源豐富，漁

業、海事活動頻繁，也是全球少數擁有中華白海豚的區域，再加上臺灣才開始實施海域空間規劃，除傳統航道眾多，船舶航跡混亂幾乎佈滿整個沿岸海域；離岸風場區塊劃設時，為了考量國防、交通安全以及其他經濟建設，除了須避開法規應予保護、禁止或限制建築範圍，也要考量海域利用情形，但各項海域利用行為之主管機關、職掌與管制目的均不相同，現有離岸風場申設流程涉及內政部、財政部、國防部、交通部、經濟部、環保署與農委會漁業署以及各縣市政府相關業務，利害關係團體眾多，增加離岸風場開發之風險與不確定性，皆影響離岸風場之開發與營運。表2及表3整理離岸風電申設與設計施工階段相關法規。

表2 離岸風電申設階段相關法規

編號	屬性	主管機關	相關法規
1	飛航	<ul style="list-style-type: none"> 交通部民用航空局 內政部空中勤務總隊 國防部陸軍司令部 國防部海軍司令部 國防部空軍司令部 	<ul style="list-style-type: none"> 國民用航空法-航空站飛行場設備限高 國家安全法第五條及其施行細則-海岸、山地及重要軍事設施管制區與禁建、限建範圍劃定、公告及管制作業規定
2	雷達	<ul style="list-style-type: none"> 國防部(軍用雷達) 行政院海岸巡防署(海巡雷達) 交通部航港局(AIS雷達) 交通部中央氣象局(氣象雷達) 	<ul style="list-style-type: none"> 國家安全法施行細則 海岸巡防法-海岸管制區之管制及安全維護事項；入出港船舶或其他水上運輸工具之安全檢查事項 商港法-港區、錨碇、禁錨區 氣象法-限制建築地區
3	軍事管制	<ul style="list-style-type: none"> 國防部 	<ul style="list-style-type: none"> 要塞堡壘地帶法
4	禁限建	<ul style="list-style-type: none"> 國防部 交通部民用航空局 交通部中央氣象局 	<ul style="list-style-type: none"> 要塞堡壘地帶法 民用航空法-航空站飛行場設備限高 氣象法-限制建築地區
5	船舶安全	<ul style="list-style-type: none"> 交通部航港局 	<ul style="list-style-type: none"> 船舶法及其施行細則 臺灣地區與大陸地區海運直航許可管理辦法
6	水產動物繁殖保育區	<ul style="list-style-type: none"> 行政院農委會漁業署 縣市政府 	<ul style="list-style-type: none"> 漁業法-第45條為保育水產資源，主管機關得指定設置水產動植物繁殖保育區。 海岸法-行政院七十一年四月二十二日第一七七七次院會決議「保護台灣沿海地區天然景觀及生態資源措施」
7	漁業權	<ul style="list-style-type: none"> 行政院農委會漁業署 縣市政府 區漁會 	<ul style="list-style-type: none"> 漁業法-第15條 定置漁業權 區劃漁業權 專用漁業權
8	礦業權	<ul style="list-style-type: none"> 經濟部礦務局中油公司 	<ul style="list-style-type: none"> 經濟部-礦業法
9	濕地	<ul style="list-style-type: none"> 營建署城鄉發展分署 縣市政府 	<ul style="list-style-type: none"> 濕地保護法第25條規定

編號	屬性	主管機關	相關法規
10	定置 漁業區域	· 行政院農委會漁業署 · 縣市政府	· 漁業法-第15條 · 定置漁業權 · 區劃漁業權 · 專用漁業權
11	白海豚重要 棲息區域	· 行政院農委會林務局縣市政府	· 依據行政程序法第154條第一項：農委會林務局預定公告：中華白海豚野生動物重要棲息環境之類別及範圍
12	野生動物 重要棲息 環境	· 縣市政府	· 海岸法-行政院七十一年四月二十二日第一七七七次院會決議「保護台灣沿海地區天然景觀及生態資源措施」 · 無法源依據-依中華民國野鳥協會，國際鳥盟訂定全球通用準則
13	火炮射擊區	· 國防部	· 要塞堡壘地帶法 · 國家安全法第五條及其施行細則-海岸、山地及重要軍事設施管制區與禁建、限建範圍劃定、公告及管制作業規定
14	港區及 錨泊區	· 交通部航港局 · 臺灣港務股份有限公司	· 商港法-港區、錨碇、禁錨區
15	海底管線 (含放流管、 油管及輸水 管線等)	· 中油公司 · 台電公司 · 中華電信公司 · 台水公司	· 內政部-在中華民國大陸礁層鋪設維護變更海底電纜或管道之路線劃定許可辦法
16	廢彈及 禁錨區	· 廢彈：國防部 · 禁錨區：漁業署、航港局、臺灣港務公司	· 國家安全法第五條及其施行細則-海岸、山地及重要軍事設施管制區與禁建、限建範圍劃定、公告及管制作業規定 · 商港法-港區、錨碇、禁錨區
17	台灣沿海 地區自然 環境保護區	· 內政部營建署 · 縣市政府	· 海岸法-行政院七十一年四月二十二日第一七七七次院會決議「保護台灣沿海地區天然景觀及生態資源措施」
18	重要野鳥 棲地	· 行政院農委會林務局 · 縣市政府 · 中華民國野鳥學會	· 無法源依據 · 依中華民國野鳥協會，國際鳥盟訂定全球通用準則
19	保護礁區	· 漁業署	· 依海洋污染防治法第二十五條第二項規定：投設人工魚礁或其他漁業設施許可管理辦法
20	人工魚礁 禁漁區	· 漁業署	· 依海洋污染防治法第二十五條第二項規定：投設人工魚礁或其他漁業設施許可管理辦法
21	離岸示範 獎勵場址	· 經濟部能源局	· 再生能源發展條例
22	電廠航道 及煤灰區	· 台電公司	· 電業法
23	工業區範圍	· 經濟部工業局	· 促進產業升級條例 · 工業區委託申請編定、開發、租售及管理辦法 · 工業專用港及工業專用碼頭經營管理辦法
24	漁港範圍	· 行政院農委會漁業署	· 漁港法
25	土地申請 開發	· 國產署	· 核示海域土地提供離岸式風力發電系統使用之處理方式
26	環境影響 評估	· 環保署	· 環評法
27	水下文物	· 文化部	· 水下文化資產保存法

表3 離岸風電設計及施工階段相關法規

編號	屬性	主管機關	相關法規
1	海陸域設計 條件調查	· 內政部 · 縣市政府	· 內政部-在中華民國大陸礁層鋪設維護變更海底電纜或管道之路線劃定許可辦法 · 市區道路條例 · 建築技術規則
2	電業籌設許可	· 能源局	· 電業法 · 電業登記規則 · 開放民間設立發電廠方案
3	海域區位許可	· 營建署	· 非都市土地使用管制規則
4	土地開發許可	· 國產署	· 核示海域土地提供離岸式風力發電系統使用之處理方式
5	風場施工許可	· 營建署	· 海岸管理法
6	海纜施工許可	· 內政部	· 在中華民國大陸礁層鋪設維護變更海底電纜或管道之路線劃定許可辦法
7	穿越海堤施工 許可	· 經濟部河川局	· 海堤管理辦法
8	陸纜施工許可	· 營建署 · 縣市政府	· 剩餘土石方處理辦法 · 市區道路條例
9	升/減壓站施工 許可	· 營建署 · 縣市政府	· 剩餘土石方處理辦法 · 建築法 · 消防法
10	環境監測及 環評承諾事項	· 環保署	· 環評法
11	再生能源同意 備案	· 能源局	· 再生能源發電設備設置管理辦法

二、技術門檻

離岸風場開發涉及之技術種類可以概分如下：

- (一) 離岸風場開發及申設：風場調查與環境評估、風場規劃與設計評估、施工運維規劃、風險評估與管理等。
- (二) 離岸風場設計及施工：風場細部設計、海事工程施工船機與安裝技術、施工風險評估與管理等。
- (三) 離岸風場營運及維護：風場營運管理、機組與設備監測、檢修與運轉操作等。
- (四) 離岸風場構件製造：風機系統、支撐結構、電纜、變電站相關構件製造等。

以下將說明臺灣離岸風場開發主要技術門檻：

1. 風場調查與環境評估

環境資料為離岸風場規劃設計時之重要影響因素，其包含一般海氣象資料(風、潮汐、波浪、海流)、地形地質資料(漂砂、海床深度、海床地質)及其他資料如颱風、地震、雷擊、水下管線與文物等。現階段臺灣仍缺乏完整及長期之海域環境與生態資料，初步只能保守規劃設計，提高離岸風場開發成本及風險；離岸風場之大地工程調查可分為現場與室內試驗，現場試驗以圓錐貫入試驗(CPT)為主，惟臺灣離岸風場支撐結構多為深基礎，為了取得設計土壤參數，調查深度極深，通常需要有特殊設計的調查船配合；除了現場試驗，調查船必須利用鑽探取得不擾動土樣以進行室內試驗，相對於陸域工程，離岸風場的開發須取得土壤動態性質，以特定之試驗儀器求得，例如動三軸、動直剪及共震柱試

驗，目前臺灣仍缺乏足夠調查及試驗能量。

2. 風場細部設計

離岸風機設計考量與陸域結構物大不相同，相關設計理念由海上鑽油平台發展而來，離岸風機運轉期間，支撐結構除了受到長期之風、波浪、輪殼及葉片轉動等週期性作用力，亦可能受到地震引致之瞬時載重，其設計與驗證流程可參考郭等人[5]與廖等人[6]，惟目前國內並無離岸風機設計相關規範，設計時均參考國際規範，但由於臺灣地域特性與歐美地區截然不同，諸如每年夏、秋兩季之颱風侵襲與發生頻繁之地震，離岸風機設計時須特別考量颱風、地震與地震引致之土壤液化，這些特殊條件於國際規範均無詳細說明，將會提高設計風險。

3. 海事工程施工船機與安裝技術

離岸風場開發除了在陸上製造外，運輸、安裝、運維都在海上進行，重達數百甚至數千噸之水下支撐結構與風力機組均須由安裝工作船運輸與安裝，從港口裝載、海上運輸、水下支撐結構安裝到風力機組組裝均有其技術門檻，國內現有海事工程技術能量以港灣及近岸結構物工程為主，施工水深大多小於20公尺，且未考量風、波、流組合載重及振動產生之船機疲乏，又海上安裝需吊距達海平面上90~100公尺高之吊裝機具及要求安裝船在風、波、流作用下保持安裝精度，臺灣現有船機設備均無法滿足離岸風場開發需求，目前臺灣廠商僅能向國外購買或租用國外船機，成本極高，後續亟須建立自主海事工程施工船機。

4. 離岸風場營運及維護

為提升風力機組與風場其他附屬構件可利用率，使其在風場生命週期內維持最佳狀態，離岸風場營運及維護技術至為關鍵。離岸風場運維與施工安裝階段類似，因其牽涉海事工程，不確定性包含了天候狀況、物流時程、運維船隻調動等等，其所需之人力支援、時間成本遠遠超過陸域風場，一般而言，在離岸風場正式運轉後，由於各部構件會有不同的失效率，而產生預發性與突發性維修，維運策略需配合機組與設備監測及風場狀況進行調整，目前臺灣廠商已初步具有離岸風場營運管理策略規劃與成本分析技術[8]，但後續仍須建立機組與設備監測與檢修相關技術。

三、財務與其他需求

離岸風場開發初期投入金額龐大，單一風場投資動輒新台幣數百億元，財務上非國內單一金融機構所能獨力承攬，需要金融體系的融資支援，然而由於臺灣尚未有離岸風場開發案例及經驗，國內金融機構缺乏離岸風場開發相關風險認知與評估技術，對提供離岸風場專案融資趨於保守，使離岸風場開發業者面臨融資不易之瓶頸，不但影響離岸風場開發進度，連帶使投資風險居高不下，形成惡性循環，臺灣亟須建立離岸風場風險評估機制並由政策工具協助離岸風場開發業者籌措資金。

除了財務上的挑戰，臺灣缺乏離岸風電相關基礎建設；國內目前並無合適之離岸風電施工碼頭，施工碼頭須考量：(1)後現場地符合陸上作業面積需求，(2)施工船機停泊之方便與時效性，(3)海上運輸時間與航道使用權，(4)場地租用時程與成本，最重要的是碼頭結構之承載力必須滿足離岸風機組裝之需求[9]，離岸風電專用碼頭的建置將決定臺灣離岸風場開發時程。

電網建設與改善也是臺灣離岸風場開發須面對之挑戰，隨著離岸風場開發，累積設置容量龐大，將會對原有電網產生衝擊，若沒有計畫擴充及整合電網，可能造成離岸風場建置完成卻無法併網而使風場營運延後。臺灣政府應儘快建立併網法規，改善電網連接，以容納更多離岸風電併網。

陸、結論

面對全球暖化與對核能之疑慮，臺灣為了能源自主及環境永續之目標，積極投入再生能源之設置與技術開發，臺灣擁有優質的風能天然資源，推動離岸風電產業具有先天優勢，經濟部能源局規劃離岸風力發電量於2030年達到4GW，期望透過風力發電示範獎勵辦法及區塊開發機制等政策鼓勵及引導國內企業投入離岸風場開發，然而離岸風電存在較高之技術門檻及開發成本，除了有待技術建立外，開發過程也面臨許多問題與風險，如航道安全、漁業協商、基礎設施、海事工程與融資保險等等。

為了加速臺灣離岸風電發展，臺灣政府應借鏡世界主要離岸風電開發先進國家之發展歷程，掌握離岸風電發展關鍵課題，提供更多的政策與資源協助，包含透過跨部會協商建立離岸風電法規制度與服務平台、輔助國內廠商自主發展或推動國際合作引進離岸風場開發運維相關技術、推動組成國內海事工程船隊及運維團隊、協助金融業者建立離岸風場風險評估能力並促成專案融資支援離岸風場開發、完善離岸風電施工碼頭及相關基礎建設，強化專業人才培育等，以健全我國離岸風場開發能量，創造離岸風電產業良好之發展環境，落實政府建立非核家園之政策目標。

參考文獻

1. Towards Round 3: Progress in building the offshore wind supply chain. 2011, BVG associates.
2. A Guide to an Offshore Wind Farm. 2010, The Crown Estate.
3. Musial, W. and B. Ram, Large-scale offshore wind power in the United States: Assessment of opportunities and barriers. 2010, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO.
4. 離岸風力發電規劃場址申請作業要點。2015，經濟部能源局。
5. 康志堅，2015年全球離岸風電產業發展趨勢。2015，工研院。
6. 郭玉樹、王昱凱、許博凱、曾韋禎，離岸風機基礎設計與驗證考量。2014，地工技術。
7. 廖學瑞、林俶寬、劉育明，離岸風場工程水下支撐結構及基礎設計技術探討。2016，中國工程師學會會刊。
8. 張恆文、馬名軍、顏厥正、徐仕昇、呂威賢，海氣象預測技術於離岸風力發電之應用。2016，中國工程師學會會刊。
9. 陳一成、王平貴、傅景崑、徐文科，國內離岸風力建置能量盤點-以台電示範風場為例。2016，中國工程師學會會刊。

淺談綠建築 節能減碳策略 —以先進環控 技術為例

關鍵詞：綠建築、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／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／副理／林啟基 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／機械部／工程師／陳昭瀚 ❹

摘要 ABSTRACT

綠建築設計概念，強調由地球環保角度出發，以全面化、系統化環保設計作為訴求的永續建築設計理念。綠建築評估系統主要分為四大範疇，包括生態、節能、減廢及健康，依據經濟部能源局歷年統計顯示，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%~44%，因此降低空調及照明用電均為節能首要目標。本文主要闡述各種空調節能技術及節能減碳策略，另外，本文也以桃園國際機場第三航廈設計為例，採用先進節能設計，以取得綠建築黃金級認證等級。



壹、前言

我國綠建築評估系統分為四大範疇九大指標，其中空調節能為日常節能指標，根據台電對住宅及辦公大樓研究，台灣地區夏季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，恐致電力供需失衡，故建築物空調節能政策實為重要一環。

綠建築設計需導入空調節能技術，而空調系統設計容量，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，因此空調設計不應僅以最大負荷來考量，如何提高部份負載效率方為課題。常見部分負載空調節能技術，包括變風量系統、變水量系統、外氣需量控制…等，另外有關整體系統性策略

之應用則有優化冰水溫度、水側間接自然冷卻、外氣冷房及系統最佳化監控系統等。

本文以桃園國際機場第三航廈設計為例，對於綠建築節能減碳策略除應用一般環控技術外，也採用許多系統性節能技術，以期協助取得綠建築黃金級認證等級及確實落實空調節能減碳設計。

貳、綠建築評估指標

一、綠建築發展演進

國內綠建築發展係由民國84年內政部營建署「建築外殼節能設計法」計畫開始，85年行政院成立「行政院國家永續發展委員會」其部會包括經建會、營建署、環保署、教育部與公

表1 綠建築九大指標配分表

四大範疇	九大指標		配分上限	範疇配分
生態	1.生物多樣性指標		9	27
	2.綠化量指標		9	
	3.基地保水指標		9	
節能	4.日常節能指標	建築外殼節能指標EEV	14	32
		空調節能EAC	12	
		照明節能EL	6	
減廢	5.CO ₂ 減量指標		8	16
	6.廢棄物減量指標		8	
健康	7.室內環境指標		12	25
	8.水資源指標		8	
	9.污水垃圾改善指標		5	
創新設計	採優惠升級之認定制度			

共工程委員會，90年3月行政院核定「綠建築推動方案」，並於91年1月1日起內政部正式頒定，中央機關或受其補助達二分之一以上，且其工程總造價在5,000萬元以上之公有新建築物，及九二一震災災區公有建築物未完成規劃設計者比照辦理，必須先取得候選綠建築證書方可申請建造。而公家機關於91年6月起強制申請「綠建築標章」[2]，讓提倡已久的綠建築標章制度在公部門先推動，同時鼓勵民間業界參與，101年5月起，綠建築評估手冊分為一基本型(EEWH-BC)、住宿類(EEWH-RS)、廠房類(EEWH-GF)、舊建築改善類(EEWH-RN)及社區類(EEWH-EC)等5類不同建築分類評估，形成管理機制。

二、綠建築評估架構

我國綠建築評估系統以生態、節能、減廢及健康等四大範疇出發，自92年起擴增採用九大指標系統，分別為生物多樣性指標、綠化量指標、基地保水指標、日常節能指標、CO₂減量指標、廢棄物減量指標、室內環境指標、水資源指標及污水垃圾改善指標。以桃園國際機場第三航廈之建築類型係採基本型(EEWH-BC)評估系統，並以「日常節能指標」與「水資源指

標」為必要「門檻指標」，亦即沒通過「門檻指標」則無法取得綠建築標章認證。其九大指標配分表如表1所示。

三、綠建築分級評估

綠建築分級制度劃分五個概率區間，得分概率95%以上為鑽石級、80%~95%為黃金級、60%~80%為銀級、30%~60%為銅級、30%以下為合格級，九大指標全部納入評估之建築案例，其分級界線圖如圖1所示。由圖1可得知，總得分在20分~37分為合格級、37分~45分為銅級、45分~53分為銀級、53分~64分為黃金級、64分以上為鑽石級。

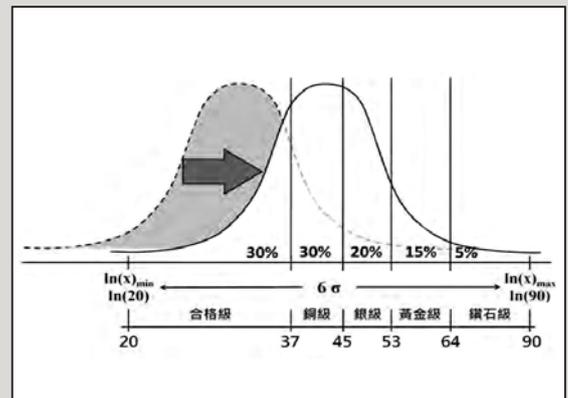


圖1 綠建築分級界線圖

四、空調系統日常節能評估

空調系統「日常節能指標」係為必要「門檻指標」之一，其技術簡易評估表如表2所示，

所謂空調節能技術，係熱源系統、送風系統、送水系統、冷卻水塔、以及自然、再生能源等節能系統設計。

表2 空調節能技術簡易評估表

節能對象	空調節能技術	效率	效率標準值	採用率
熱源系統 節能技術	冰水主機台數控制系統	α_1	手動ON-OFF控制：0.05	$r_1 = 1.0$
			時程自動控制：0.10	
			邏輯策略自動控制：0.15	
	儲冰空調系統	α_2	時程自動控制：0.10	r_2 (分量儲冰率) =
			邏輯策略自動控制：0.20	
	吸收式冷凍機	α_3	瓦斯直燃：0.15	r_3 (熱源容量比) =
			熱回收式：0.30	
	變頻主機或變冷媒量VRV熱源	α_4	0.20	$r_4 =$
	CO ₂ 濃度外氣量控制系統	α_5	0.15	$r_5 =$
	全熱交換器系統	α_6	0.13	$r_6 =$
外氣冷房系統	α_7	0.06	$r_7 =$	
空調風扇並用系統	α_8	0.03	$r_8 =$	
其他熱源節能系統	α_9	(提出計算證明自填)	$r_9 =$	
熱源系統節能效率 $R_s = 1.0 - \sum (\alpha_j \times r_j) =$ =，但 R_s 不能小於0.5				
送風系統 節能技術	變風量系統(VAV)	α_{10}	變頻無段變速：0.50	$r_{10} =$
			自動分段變速：0.40	
			手動分段變速：0.20	
			風車入口導流控制：0.30	
			出風口風門控制：0.20	
送風系統節能效率 $R_f = 1.0 - \alpha_{10} \times r_{10} =$				
送水系統 節能技術	變流量系統(VWV)	α_{11}	一次冰水變頻系統VPF：0.75	$r_{11} =$
			變頻無段變速SP：0.50	
			冰水泵台數控制：0.25	
送水系統節能效率 $R_p = 1.0 - \sum (\alpha_j \times r_j) =$				
冷卻水塔 節能技術	冷卻水塔水節能系統	α_{12}	出水溫度控制：0.20	$r_{12} =$
			濕球接近溫度控制：0.35	
			最佳策略控制：0.50	
冷卻水塔節能效率 $R_t = 1.0 - \sum (\alpha_j \times r_j) =$				
自然能源、 再生能源、 節能管理等 其他總系統 節能技術	再生能源	β_1	20.0×再生能源節能比例Rr	
	建築能源管理系統(必須提出 具全建築各設備能源系統功 能設計圖說)	β_2	具監視、警報、運轉控制、計測等功能者：bx0.03	
			具能源、效率、設施計測與控制管理功能者：bx0.05	
			具最佳化策略控制管理功能者：bx 0.10	
	TAB或Cx	β_3	執行空調系統測試調整平衡(TAB)者：0.04 執行空調系統測試調整平衡(TAB)及性能確認(Cx)者：0.08	
其他	β_4	(提出計算證明自填)		
其他總系統節能效率 $R_m = 1.0 - \sum \beta_k =$				

表3 經濟部能源局空調系統冰水主機能源效率標準[3]

執行階段		第一階段		第二階段		
實施日期		民國九十二年一月一日		民國九十四年一月一日		
型式	冷卻能力等級	能源效率比值(EER) kcal/h-W	性能係數(COP)	能源效率比值(EER) kcal/h-W	性能係數(COP)	
水冷式	容積式壓縮機	<150RT	3.5	4.07	3.83	4.45
		≥150RT	3.6	4.19	4.21	4.9
		≤500RT				
	>500RT	4.0	4.65	4.73	5.5	
	離心式壓縮機	<150RT	4.3	5.0	4.3	5.0
		≥150RT	4.77	5.55	4.77	5.55
<300RT						
≥300RT		4.77	5.55	5.25	6.1	
氣冷式	全機種	2.4	2.79	2.4	2.79	

參、空調系統節能設計手法

依據經濟部能源委員會統計顯示，空調系統用電量佔建物總用電量40%~48%，照明及插座用電量約佔40%~44%，因此建築物節約用電，首重空調與照明。本文針對空調系統日常節能指標，加以重點說明各種節能設計手法。

一、高效率冰水主機

冰水主機如同於人類心臟一樣，為整個空調系統核心元件，也是最耗能設備，其效率高與否關係到整體空調耗電量，依據經濟部能源局所訂定空調系統冰水主機能源效率標準，詳表3所示，≥300RT的離心式冰水主機其性能係數(COP)須達6.1，性能係數越高，越能達到節能減碳功效。

二、採用變風量(VAV)系統

空調送風系統若採用固定送風量方式供應室內空間，當室內負荷變動時送風量亦為固定，無法節省風機耗能，對尖峰離峰負載變化場所，則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，變風量風箱可根

據室內溫度傳感器信號，改變風門開度以調整送風量。當空調分區負荷下降，該區風門會調小開度，並搭配變頻器調整空調箱風機轉速，降低風量以達節能效益。圖2為變風量風箱控制示意圖。

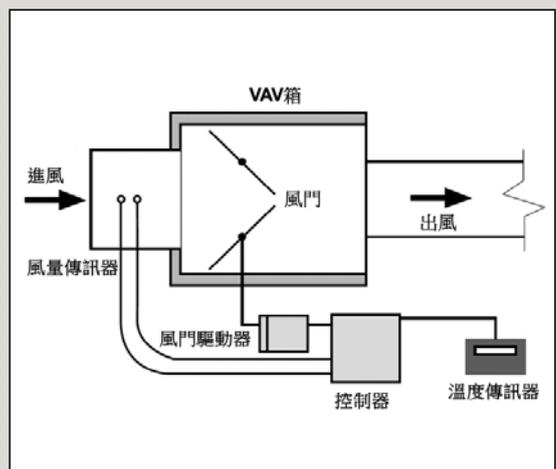


圖2 變風量風箱控制示意圖

三、採用一次側/二次側(P-S)變水量系統

一次側/二次側冰水系統，是利用「流體分離，熱力耦合」概念，將冰水主機與負載區分成獨立循環冰水系統，兩者間藉由共通管連接。一次側迴路(Primary loop)為冰水主機水循環系統，每台冰水主機匹配一台冰水泵，通常

表4 優化冰水溫度方案比較表

系統設計方案	方案1	方案2	方案3
	(傳統溫差)	(提高溫差 1°C)	(提高溫差 2°C)
冰水主機冰水出回溫度	7~12°C	7~13°C	6~13°C
冰水主機容量(2000RT)	7032 kW	7032 kW	7032 kW
冷水泵流量	336 L/s	280 L/s	240 L/s
冷水泵揚程	320 kPa	320 kPa	320 kPa
冷水泵功率(效率70%)	192 kW	160 kW	137 kW
冷水泵節能率	-	20%	40%

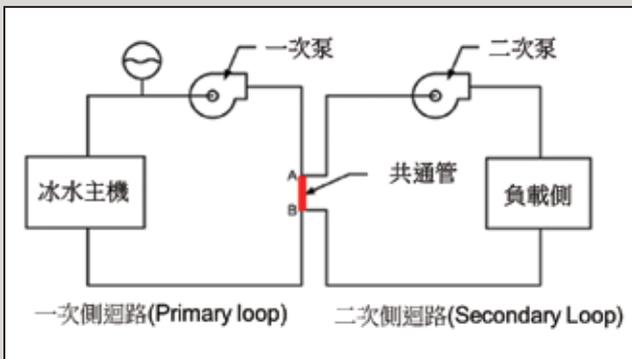


圖3 一次側/二次側冰水系統(P-S)變水量系統

以定流量控制。其總循環量等於開啟之冰水主機水量總和，而主機的運轉台數依負載變化需求啟停。二次側迴路(Secondary Loop)為負載端水路循環系統，由多台並聯二次側冰水泵浦將冰水送至負載端管路，並以變流量做為控制，如圖3所示。泵浦的變速控制以及泵浦的台數控制，主要依據內部負載變化來調整供應之冰水量，根據相似定律，水泵耗電與轉速3次方呈正比關係，尖離峰負載變動較大的空間具有較佳節能效果。

四、優化冰水溫度

冰水主機進出水溫通常7°C出水12°C回水，溫差為5°C，以能量方程式 $Q = m \times C_p \times \Delta T$ 說明， Q 為能量(kW)、 m 為水質量流率(m/s)、 C_p 為比熱(kJ/kg°C)常數、 ΔT 為溫差(°C)，若保持能量 Q 不變，提高溫差 ΔT 既可以降低水的質量流量 m ，相對於水泵的流量可減少並降低能耗。提高溫差

可優化空調系統各設備間的能耗配比，在維持舒適度前提下，減少流量傳送能耗，同時降低初設成本。表3為優化冰水溫度比較表，由表4可得知每提高1°C溫差，水泵能耗可減少約20%。

五、採用全熱交換器系統

為維持室內空氣品質增加人員舒適度，一般空調系統會引入新鮮外氣，提供人員所需新鮮空氣，同時為達平衡需求，將室內較低溫空氣排至戶外，再經由空調回風回收再利用，以降低空調系統之外氣負荷。圖4為全熱交換器氣流示意圖，將高溫高濕新鮮外氣與低溫低濕空調回風經由蜂巢轉輪，其裝置分為兩側，新鮮外氣流經一側，熱量與濕氣被轉輪吸收，達飽和之部份持續轉到另一側。較低溫及低濕之回風流經

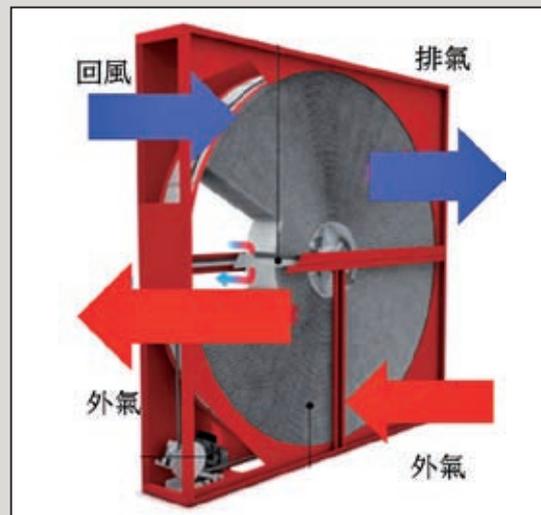


圖4 全熱交換器氣流示意圖

另一側，將熱量與濕氣由轉輪帶走，達到吸熱吸濕能力再生之效果。圖5為全熱交換器節能效率，左側僅為空調箱及混合箱系統的能耗，右側為空調箱及預冷空調箱外加全熱交換器的能耗，有採用全熱交換器的系統約可節省11%能耗。

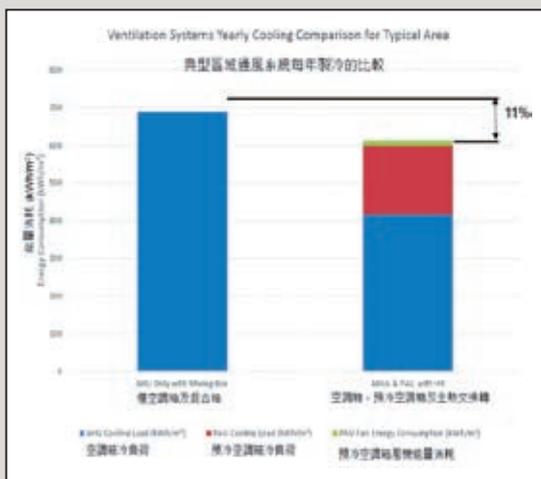


圖5 全熱交換器節能效率

肆、先進環控技術設計案例

本文以桃園國際機場第三航廈(以下簡稱T3)為例，基於本案預期取得綠建築黃金級認證，故需導入先進環控技術於全生命週期階段，預計達到省電20%以上，並創造健康舒適的環境。空調系統主要分為航廈主體及南北登機廊廳空調、多功能大樓空調、停車場通風、行李處理空間冷卻及通風、廚房通風、廁所通風等。

一、空調負荷計算

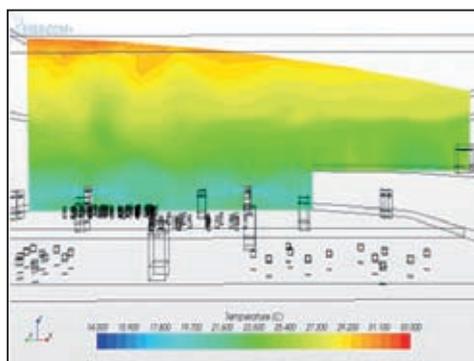
採用IESVE模擬軟體分析，計算動態空調耗能，找出最佳設計方案，如圖6所示。

二、空調水側(Water-side)節能構想

(一) T3空調水側(Water-side)系統採一次側/二次側(P-S)冰水系統，主體航廈一次側冰水迴路設置於能源中心，二次側冰水迴路則設置於各航廈主體及登機廊廳。其系統示意圖如圖7所示。二次冰水泵為變頻式，依T3的空調負荷變化，改變冰水量。二次冰水泵分為四負載區，第三航廈南、北登機廊廳、航廈主體南、北區，分區控制，減低冰水泵揚程及能耗。T3航廈的冰水系統，除節能考量外，對日後的可維修性、設備備用，亦作了詳細考量，包括冰水主機、冰水泵、冷卻水泵及水管環路等。系統設置一台備援冰水機，當其中1台常用冰水機故障或年檢時，備援冰水機將運作以維持100%的供冷量。設置備援水泵，當其中1台常用水泵故障或年檢時，備援水泵將運作以維持供水量。負載側冰水管分區採用環路配管，每一環路與兩組垂直冰水幹管銜接，以應付一路冰水

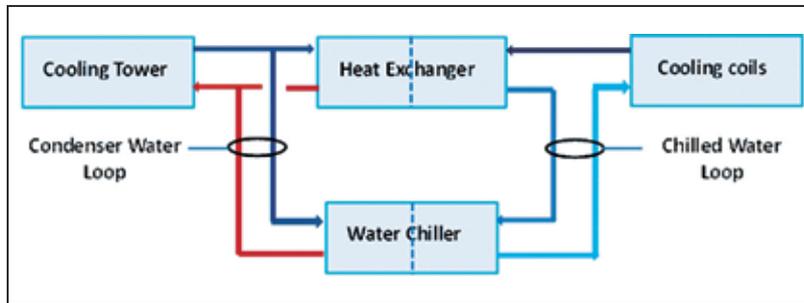


(a)動態空調耗能模擬



(b)大空間計算流體力學模擬

圖6 空調負荷模擬軟體分析



(a)水側間接自然冷卻示意圖

(b)水側配管圖

圖8 整合式水系統節能示意圖

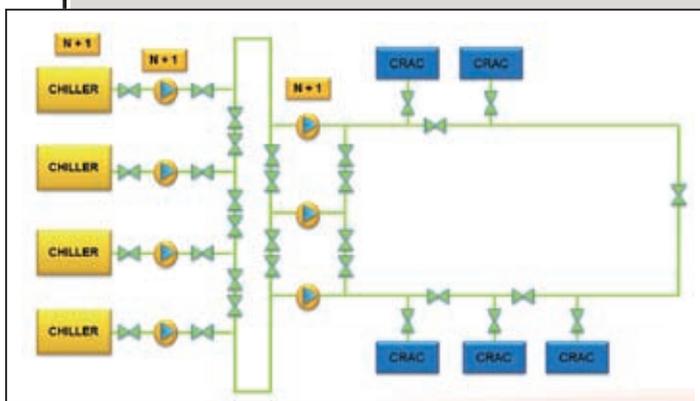


圖9 資訊機房水系統配管示意圖

機的效率會略微降低，能耗和運轉費用增加，但出水溫差增大，循環水量變小，冰水泵用電和水管路成本會大幅降低。

(三) 主冰水機為相同容量，提高操作彈性，優化冰水機配置及簡化水力平衡，一~二部冰水機為變頻式，於部份負載，提供更高效率，減低電費。

(四) 整合式水系統節能系統，採用水側間接自然冷卻，冬天外氣溫度較低時，透過冷卻水塔產生較低溫的水供應給冷卻盤管，不需開啟冰水主機，其配管原則係以板式熱交換器隔離冰水及冷卻水迴路、熱交換器與冰水機制冷側管路串聯、熱交換器與冰水機散熱側管路並聯，如圖8所示。利用經戶外

溫度冷卻的冷水，經板式熱交換器來製造資訊機房所需要冷卻用循環水，此部份主要應用於資訊機房。

(五) T3資訊機房的設施將達到Uptime TIER III Facility設施建置認證，水系統配管示意，如圖9所示，TIER III要求可同時維修性(Concurrent Maintenance)，冰水系統主已考慮N+1的設計，同時系統設置的關斷閥，採用環形迴路空調冰水系統，若系統一端的冰水管發生故障也能夠利用環形迴路繼續輸送，在水路管線某一迴路停止供水的安全情況下，可達到進行例行性維護作業，不會影響資訊機房運作。

三、空調空氣側(Air-side)節能構想

(一) 傳統空調送回風口均設置於空間上部，送風至人員活動範圍；而大空間挑高較高，若仍由空間上部往下送風至人員活動範圍，過程中須冷卻過多挑高閒置區域非人員活動範圍，產生過多能耗。因此大空間空調多採用置換式空調，採用落地式造型出風箱，詳圖10所示，使空調出回風接近人員活動範圍，避免不必要的能耗，並輔以CFD(計算流體力學)模擬檢討溫度及氣流分佈，詳圖11所示。

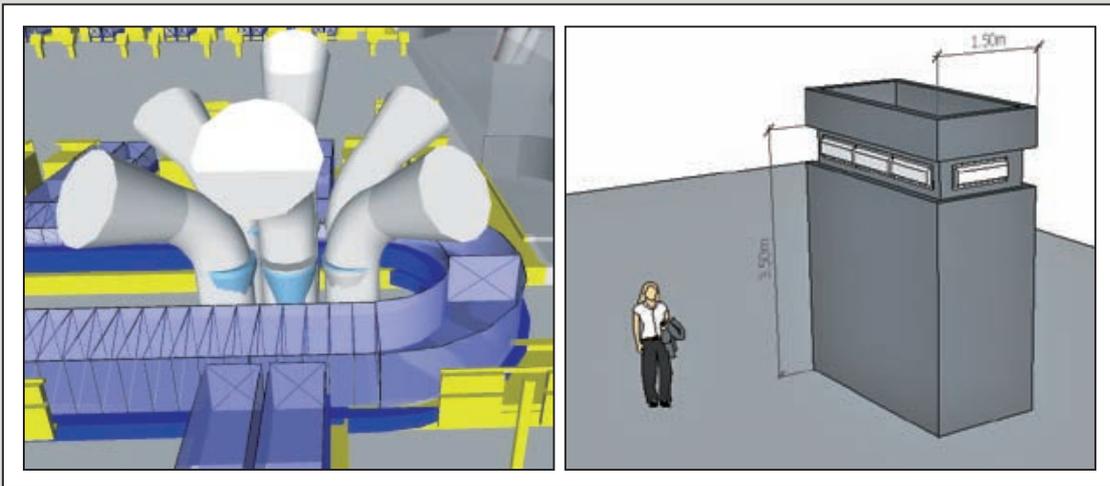


圖10 落地式造型出風箱示意圖

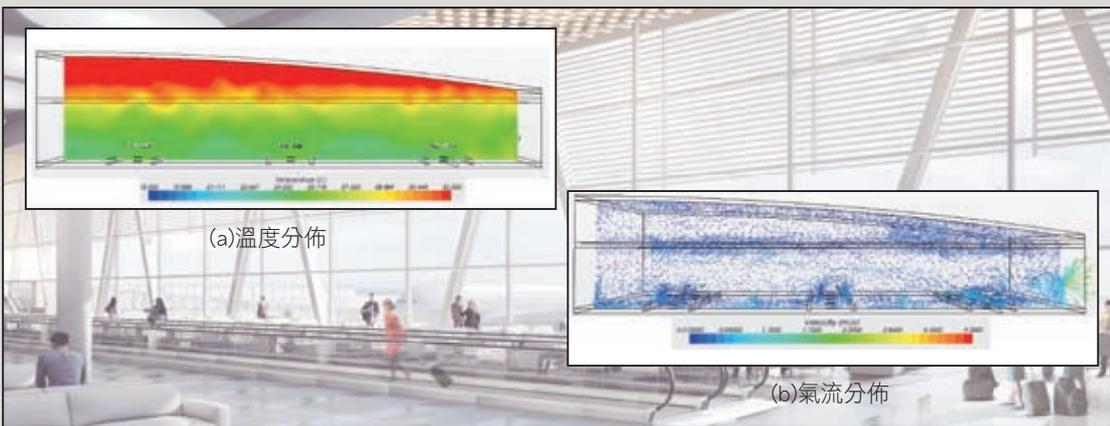


圖11 大空間空調採用計算流體力學模擬示意圖

(二) 供應各大型空間及公共區的空調系統設有多台空調箱(最少2台)，當其中 1 台故障或年檢時，其他空調箱仍可提供一定的冷量維持空間舒適度。搭配變風量系統以滿足尖離峰不同需求，詳圖12所示。並以CO₂偵測器調整外氣引入量，當離峰時段旅客人數減少，室內CO₂濃度也會相對降低，此時可減少外氣引入量降低空調能耗。

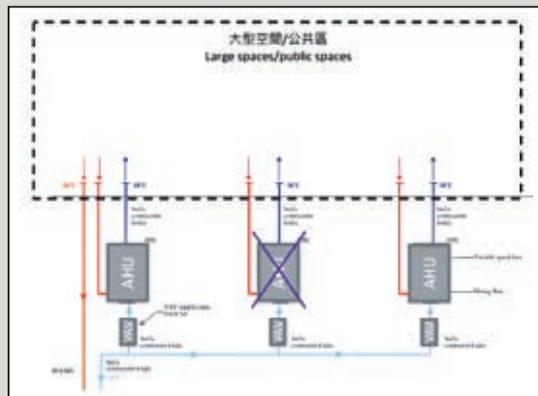
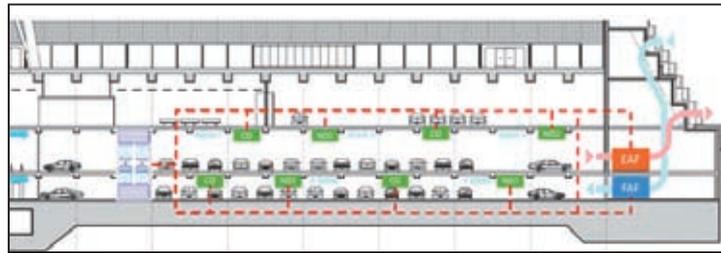


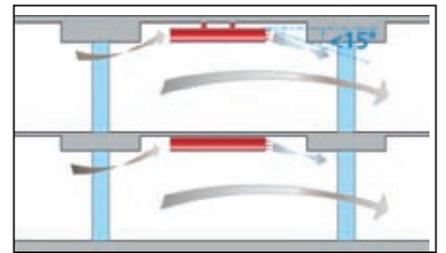
圖12 大型空間及公共區變風量空調系統示意圖

(三) 停車場通風系統採用CO及NO₂偵測器控制風機啟停，當離峰時段車輛減少，停車場CO及NO₂濃度也會相對降低，此時可減少通風量減少能耗，詳圖13所示。另由圖13(b)係以無風

管誘導式風機，除了可降低風機壓降及能耗外，將誘導式風機儘量配置於樑內空間，可節省建築樓高降低初設成本。



(a)採用CO及NO₂偵測器控制風機啟停



(b)誘導式風機裝置示意圖

圖13 停車場通風系統示意圖

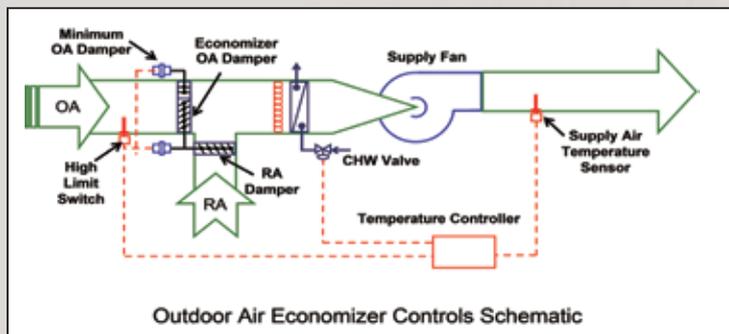


圖14 外氣冷房系統控制示意圖

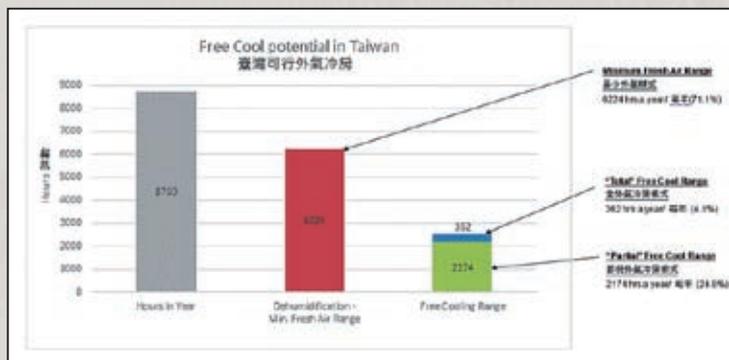


圖15 台灣外氣冷房系統可應用時數示意圖

(四) 冬季引入較低溫外氣，採用外氣冷房系統，其系統示意圖如圖14所示。平時外氣濕熱只引入最小需求量，冰水控制閥需開啟；當外氣較低溫則開啟節能外氣風門，當外氣溫度較低可滿足部分或全部之室內空調負荷時，冰水控制閥關閉，當冰水需求量降低，冰水主機可部分負載運轉，減少冰水主機能耗。另圖15則表示台灣外氣冷房系統可應用的時數，以一年8760小

時而言，全年可採用部份外氣冷房模式的時數為2174小時，約佔全年 24.8%，部分外氣冷房係指外氣溫度僅可滿足部分室內空調負荷；全外氣冷房模式的時數362小時，約佔全年4.1%，全外氣冷房係指外氣溫度可完全滿足室內空調負荷，無需提供冰水冷卻。

伍、結語

綠建築分級評估制度已在國內實行近20年，由公共建設工程開始，逐步落實於各種建築物，是提升綠建築水準的有效策略。日常節能指標之空調節能設計，可有效達到節能減碳的目的。本文以桃園國際機場第三航廈設計為例，空調系統上節能設計手法，整理如表5所示。

本文設計案例，採用各項先進環控系統，設計桃園國際機場第三航廈空調系統，預期取得綠建築黃金級認證，達到省電20%以上，並創造健康舒適的環境，並有以下二項特點：

一、獨立設置能源中心，隔離噪音振動

航廈主體不受冰機噪音振動影響，冰水主

表5 桃園國際機場第三航廈節能設計手法

系統	節能技術
熱源系統節能技術	冰水主機台數控制系統-邏輯策略自動控制
	變頻冰水主機及變冷媒量VRV熱源
	CO ₂ 濃度外氣量控制系統
	全熱交換器系統
	外氣冷房系統
送風系統節能技術	變風量系統(VAV)-變頻無段變速
送水系統節能技術	變流量系統(VWV)-冰水泵台數控制、加大溫差
冷卻水塔節能技術	出水溫度控制

機及系統集中於能源中心管理，有效控制及平衡T3主體航廈、南北通廊之空調冰水用量，提高系統效率，減少運轉費用，選用高效率冰水機組及各項節能設計，節省電源。利用污水處理後之中水，供應冷卻水塔蒸發損失使用，節約用水。

二、營運不中斷，系統考量維護需求及備援設計

考量全生命週期需求，設計冰水主機增加備援機組、冰水環狀管路配置、一般及緊急電源、增設備用管路切換，除可維持營運需求，進行日常維修及處理緊急需要，不會造成系統中斷。

綜上所述，採用先進環控技術，除了達成綠建築節能減碳的目的，在操作維護保養上，不僅隔離擾人之噪音及振動，更易達成營運不中斷，營造人員舒適環境，符合人性化環控設計理念。

參考文獻

1. 楊正光，2001，「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。

2. 內政部建築研究所，2015，綠建築評估手冊2015年版-基本型。

3. 經濟部能源局，空調系統冰水主機能源效率標準，經(九〇)能字第〇九〇〇日六一九一七〇號，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

4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，2015，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。

都市多功能 韌性永續空間—— 台北市414號 防災公園

關鍵詞：防災公園、防災、緊急避難、臨時收容

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／協理／林信忠 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／經理／辛銀松 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／副理／陳傳興 ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／建築部／工程師／徐晨綾 ❹

摘要 ABSTRACT

因應全球暖化效應產生的氣候異常，各類自然災害發生頻率與規模有日益增加與擴大的趨勢，故近年來都市空間使用規劃，亦反應及考量減災、整備、應變及復原等防災策略的完善；又台灣地處環太平洋地震帶上，更易發生災害，故在都市空間的防災避難功能的完備性有其必要性。

信義414號為臺北市第一座示範型防災公園，為都市防災避難空間的一員，主要係提供在地震災害發生時提供緊急避難及臨時收容的空間。臺北市政府有鑑於此，除採取積極防災對策外，並效法日本設置「防災公園」之理念，選定既有具有開放空間及緊急救援道路之大型緊急避難暨臨時收容場所，建立遏制災難延伸具維生功能的全方位防災公園，平時作為民眾休憩運動及防災教育之場所，倘若發生重大災變時，則作為避難收容、救災作業整備、指揮及復建之重要據點，增加及結合都市開放空間系統的使用彈性與空間韌性，期以達到都市空間永續使用的概念。另外在公園下方設置地下二層的停車場也解決了本區域停車空間不足問題。



壹、概述

一、計畫緣起

信義414號公園位於台北市信義區景勤里，東側臨吳興街156巷65弄，西側臨信安街，南側臨吳興街220巷，北側臨吳興街220巷59弄，面積11,790平方公尺，詳見圖1。公園四周為人口密集之老舊住宅區，東南方有台北醫學大學及附屬醫院，詳見圖2。本基地原屬「陸軍保養廠」，經94年6月台北市政府公告修訂台北市信義區『陸軍保養廠』用地細部計畫案，基地使用分區為「公園用地」，容積率60%，建蔽率15%。北市府為提高本地區多功能休憩防災開放空間、增加公共停車空間及調整鄰里道路通行系統，將本基地規劃為公園用地兼防災避難空間使用，並依「都市計畫公共設施多目標使用辦法」規劃地下停車場。



圖1 基地全區現況照片

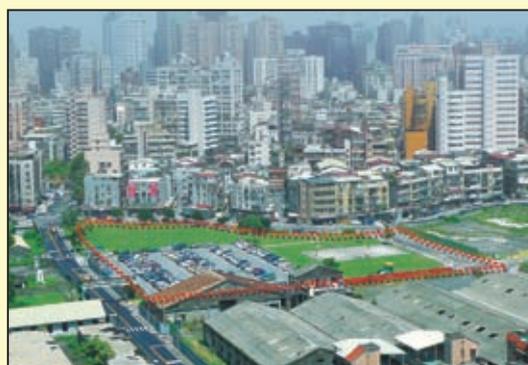


圖2 台北醫學大學向東北照基地現況

414號防災公園兼地下停車場，地下停車場規劃汽車217位，機車104位，除需於平時提供社區居民休憩使用、緊急情況下能供給附近民眾臨時避難外，也疏解臨江街夜市外來遊客停車使用，並減低基隆路、光復南路等周邊巷道停車負荷與車流衝擊，將有助益於本區之社區經濟發展。

二、基地環境現況

(一) 都市環境與開放空間



▲ 由信安街方向往基地視野平坦開闊遠景為101



▲ 基地南北側種植有零星喬木供民眾遮蔭但座椅不足



▲ 基地內目前以草坪活動空間為主並設置有籃球場



▲ 吳興街156巷12m新設道路

圖3 基地位置與周遭開放空間示意圖

基地周遭住宅區環繞，西側為現有住宅，東側與北側鄰近數個開放空間與公園綠地，捷運六張犁站及台北101世貿站分別位於基地南北方向，詳如圖3所示。



圖4 基地活動區塊定位

(二) 交通暨人行動線

基地西側信安街與南側吳興街為主要通行動線，使用者多從此處進出，形成兩處人潮、車潮交會節點；東側與北側未來預計規劃為公用住宅區，屬需減少干擾的寧靜區域，活動區塊詳如圖4所示；東側與北側道路劃有自行車專用道，可連結至信義區自行車道系統。

(三) 視覺環境

基地西、北兩側為4-7樓之中低樓住宅，南側可遠眺六張犁山，東側為象山與南港山，東北側可遠望台北101大樓，視野開闊，詳見圖5。

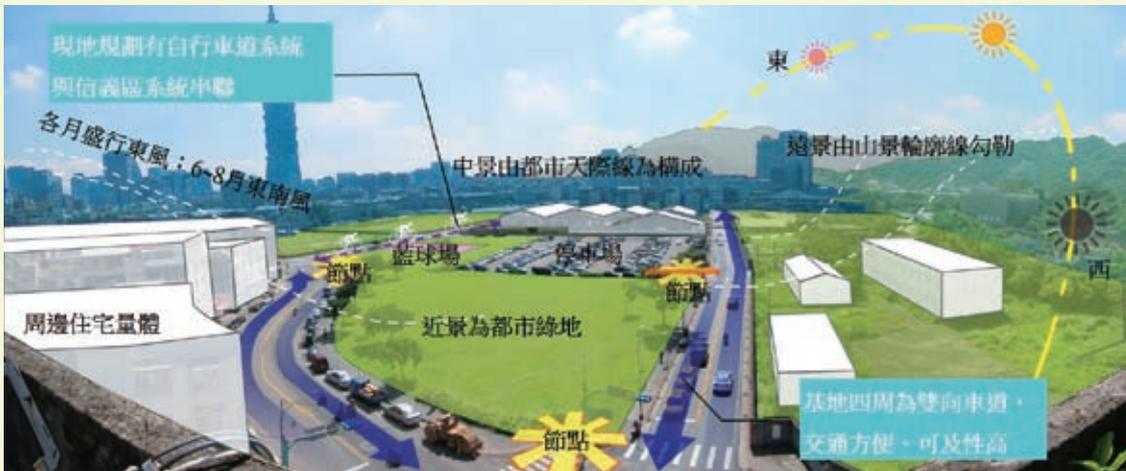


圖5 基地周遭景觀分析

表1 每人應有之避難收容面積推估基準

	A. 陸軍用保養廠用地細部計畫	B. 本基地先期規劃報告	C. 日本東京綠化白皮書(1983)	D. 南加州里弗賽德縣避難收容計畫	本案擬定
避難收容面積/人	5.1m ² /人	4m ² /人	2m ² /人	3.72m ² /人	4m ² /人
收容評估基準	計畫區內法定容積人數(5,160人；需求)與公園面積(2.63公頃；供給)比值	未詳述	法規規定	Coletta et.al. (2011). Riverside County Operational Area Mass Care and Shelter Guidance for Emergency Planners的計畫建議	1. 以陸軍用保養廠用地細部計畫為基準。綜合B、C、D三者文獻評估模式。 2. 運用避難承載量公式推估。

貳、都市韌性永續空間414號公園 — 防災公園的角色定位

一、防災避難收容推估

基地位處於信義區景勤里，已規劃之防災避難空間為三興國小、三興公園與松德防災公園。未來周圍陸軍保養廠計畫區內之人口量滿足之後，將會增加5,160人，原規劃臨時避難空間可能不足，因此增加防災避難功能之空間愈顯重要。

(一) 擬定414公園內每人應有之避難收容面積

依國內外文獻，擬定本案防災公園有效服務水準，如表1所示。

(二) 有效避難收容面積承載量

參考洪敏維(2001)研究表示公園內有效避難面積係指直接供避難之廣場、草坪，且草坪面積須占公園面積30%以上，因此避難承載量(Aa/S)需大於總避難人數(P)的35%，作為防災公園可收容人口數(Aa/S > P × 35%)。以基地條件，為達成最佳服務標準，以4m²為每人有效避難收容面積(S)為宜，且本設計避難承載量除可供應計畫區內外，尚可支援外部其他不足之收容空間。計算模式如下：

1. 基地面積：11,790m²。
2. 預估此區域總避難人口數(P)：約2,312人(11,790/5.1m² 陸軍用保養廠用地細部計畫)。
3. 每人收容面積：4m²/人，直接供避難收容的草坪面積需占30%以上，目前規劃草坪面積約為4,319m²，占公園面積36.6%。
4. $Aa/S > Px35\%$ ， $4,319/4 = 1,079 > 2,312 \times 35\% = 809$ ，公園之避難收容空地面積(1079人) > 總避難人數(809人)

二、都市防災策略—防災公園動態角色定位

(一) 相鄰防災避難空間之互動關係探討

依基地面積與服務半徑500m區域為研討範圍檢討，災時可成為緊急避難收容場所之空間者，相鄰處計有三興公園暨三興國小為主要的避難收容空間、北醫醫療救助收容空間二處，三者可依其特色功能相互支援，詳如圖6所示。

(二) 414號防災公園避難收容構想

當災難時發生時，提供民眾緊急避難空間，如都市生活機能受創短時間內無法恢復時，則公園會成為臨時避難收容基地如表2所述。

三、“平日+災時”型態轉換多功能空間規劃

利用時間軸、不同空間向度的多功能使用模式及設施物利用行為，規劃空間使用彈性。

(一) 不同時段的使用方式

防災公園設置，是預期災難發生期間供居民緊急避難或臨時收容，平時則為居民休憩、運動、演習及示範教育場所，不同需求時規劃發展出不同使用方式，如表3所示。

(二) 空間向度的利用模式

利用疊圖法概念，重疊不同時段使用空間需求，空間設計時即考量平日、假日、災期三者空間需求、使用承載量及使用動線等，以期兼顧休閒、避難收容、教育等功能，發揮公園最大之使用效益，如表4所示。



圖6 相鄰避難收容空間之互動關係圖

表2 414號防災公園避難收容構想

使用時間	功能	基地面積	說明
災難發生時3小時至3天 (緊急安置最長預估為28日，並依維生貯水槽災時供應情況調整)	臨時避難收容(以安置為主並有物資儲存機能-地下停車場)	11,790m ²	臨時避難收容所： 1. 以避難及安置為主，提供健康管理及基本維生機能。 2. 收容1-3天為基準 3. 每人的收容面積4m ² /人

表3 不同時段的使用方式

使用時間	使用型態與需求
平日	鄰里公園－提供居民運動、休閒
假日/節慶 特殊日	示範教育區、活動場域－配合政府單位進行防災演習、教學訓練，居民舉辦活動的場域。
災害期間	避難所－提供安全空間滿足避難生活所需，1-3日暫居據點。

表4 平日和災時空間轉化表

平時公園的空間類別	防災公園的空間類別
停車場人行出入口	物資集散中心
人行道、廣場	緊急避難空間
遊園路徑	緊急運輸通道
陽光草坪	緊急避難居住空間
景觀棚架及其附屬廣場	伙食、飲用水供給處
林蔭綠帶	防火綠帶

(三) 災期湧入與救難服務核概念規劃

1. 以居住密度、商業活動、道路寬度等因素考量災時人潮湧入可能方向，留設不

同大小的服務廣場並串連各區及公園周邊不設置高差，以方便災民緊急避難。

2. 配合主要道路位與周邊道路空間支援概念，考量災時服務動線方向及使用效率，配置災期避難收容服務時主要入口、登記、播音、指揮、醫護位設置(硬鋪面廣場)。
3. 災時臨時收容空間屬自主性較強的靜態空間性質，故公園內配合規劃形狀完整規則之大面積草坪，並配置於非主要道路側，期以達到動靜態分區區隔目的，發揮避難收容之保護功能。
4. 其他災期臨時生活服務設施位置，則配合現有管線位置配置於非主要出入口處(如臨時廁所；汙水管線鄰基地東側)，避難動線與對外服務概念詳如圖7所示。



圖7 避難動線與對外服務示意圖

四、都市火災遏制與延伸之防護帶-防火綠帶

防火綠帶係指藉由防火緩衝樹林帶的設置來防止火勢的延燒，保護防災公園內之避難收容空間不受周圍建物發生火災時的危害。

(一) 防火綠帶的功能結構與寬度

1. 功能：遮蔽火焰、降低輻射熱、防止火星飛散、減緩熱對流、阻擋濃煙散佈等功能。
2. 結構：應注重植栽優良生長勢，保持樹冠濃密避免枯枝。樹冠孔隙度越少，防火機能越好。
3. 寬度：依六張犁AB基地公共都市計畫準則，於基地臨道路側範圍內需退縮8-12m始得建築，本案退縮帶中亦設置



圖8 防火綠帶設置寬度示意圖

表5 建議防火樹種表

類別	樹種(*者為台灣原生種)
大喬木	羅漢松、青剛櫟*、樟科楠屬如虎皮楠*、紅楠*、珊瑚樹*、鐵冬青*、紅淡比*、柿、瓊崖海棠*、欖仁*、欖李*、蘭嶼肉豆蔻*、黃槿*、烏心石*
中喬木	竹柏、冬青、刺楸、莢蒾*、榕、苦楝*、青楓、茶科如大頭茶*、厚皮香*、海桐*、黃楊、杜鵑、紫薇、草海桐*、白水木*、楊梅
小喬木/ 大灌木	楊柳科如水柳*、垂柳、榆樹、薔薇科如梅、梨、桃、馬醉木*、衛矛、海桐*、梔子花*、夾竹桃、茶科如柃木*、山茶、鵝掌藤、女貞、石斑木*

寬度1.5~10m不等之綠帶，加上道路寬度，本案所規劃公園內有效避難廣場、草坪與鄰近建物之防火距離約為20~35m，已遠超過國內外所研究(國內森林區防火綠帶設置為12m寬，如加上3m生土帶，則總寬度為15m；建物與建物最佳防火距離為16m寬)；詳見圖8；又基地鄰近建物構造多為RC為不易延燒構造物；綜上因素分析檢討414號公園避難廣場、草坪已有足夠防火安全距離。

(二) 防火樹種的選擇(防止延燒功能)

防火樹種的生理特性應有樹體木質燃點高、葉片水份含量高、葉片熱阻斷效益強、遭燃燒後不可燃之灰分組織含量高具抑燃性。樹的形體結構應選擇樹冠連續、濃密、樹皮厚且低枝下高；萌芽力較高、病蟲害少、樹性強健的種類。其種類選擇建議如表5所示。

參、公園整體配置構想

一、規劃目標-“一轉即現的多功能防災公園”

“一轉即現”規劃概念，即因應並達成型態轉換多功能空間規劃需求如同翻書瞬間轉換“平日+災時”空間使用，不許有障礙，以達休閒及防災共存的角色，提供並結合遊憩、展演、演習、教育與防災功能等多功能場所，公園每一處空間都有兩種使用模式，依狀況不同即刻改變使用，滿足不同的需求。

二、景觀設計構想-“方舟”·ARK-

本案為休閒遊憩場所兼避難收容場所的多功能公園，就宛如一艘“方舟”，見圖9，在災害發生時提供避難收容空間，同時持續給予生活所需之基本物資，生命得以延續，為周遭居民發揮完善的保護機制。

景觀設計構想

“方舟”--運載了供給居民心靈健康的綠色場域(公園)--植物、空氣、水，提供了生命基體存活的基本能量，設計概念始由原始生命(變形微生物)與水(露珠)存在之最原始的樣貌，在綠色場域中循環流動繁衍為主題概念的抽象設計手法，將空間以曲線虛實面規劃區隔、重疊，使各分區空間產生互相牽引、依存的关系，來表達各種生命體的融合於此綠色場域(公園)中，詳如圖10所示。



圖9 景觀設計構想圖

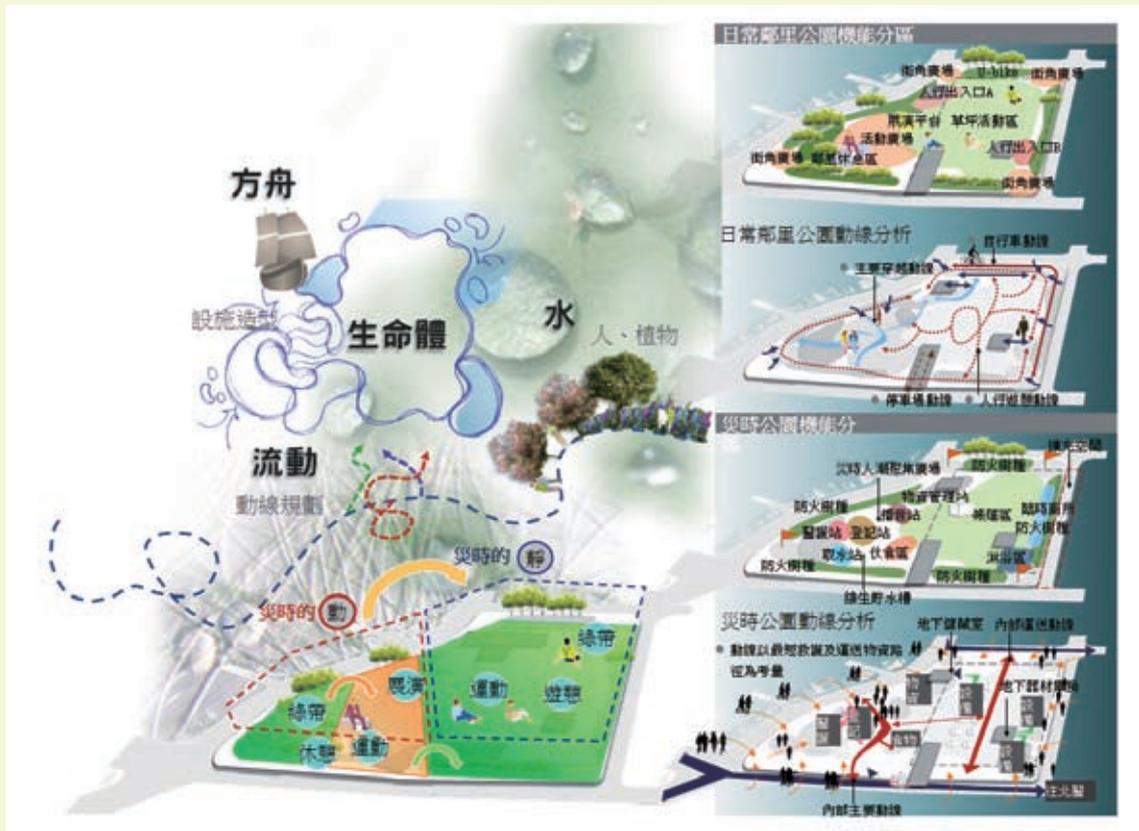


圖10 景觀設計構想及分區動線圖

三、公園設計規劃圖

公園設計依照使用機能分區，見圖11。在公園中心設置活動廣場串聯了信安街及吳興街，綠帶包覆著展演平台災時可轉變為指揮中心及播音站，並設置鄰里休憩區及座椅；公園東側則留設完整的草坪空間供居民活動及災時避難使用，見圖12；植栽設計在人行道以防火樹種欖仁樹、大葉山欖為主，公園內部分別以青楓及苦楝搭配當作纓紛氣氛軸線，搭配紅楠、鐵冬青、檉木、瓊崖海棠…等。

四、防災公園動線計畫

(一) 救援動線規則：

動線系統在防災時，符合動員迅速和高可及性，見圖13，在日常生活中塑造

多樣化人行遊憩動線；開放性的公園路口迎接各區行人，方便民眾穿越公園至各街口，為各區提供完整的服務及易達性佳之開放式社區公園。

1. 車行避難動線：留設兩條動線確保防災救援功能，達成迅速、安全、架構完整的救災作業動線。
2. 人行避難動線：暢行無阻至各避難及救援空間。

(二) 防災空間配置：

各避難救援空間互相支援並且不混合使用，平日亦可藉由災時避難預留動線完成裝卸貨至展演平台或B1樓層。

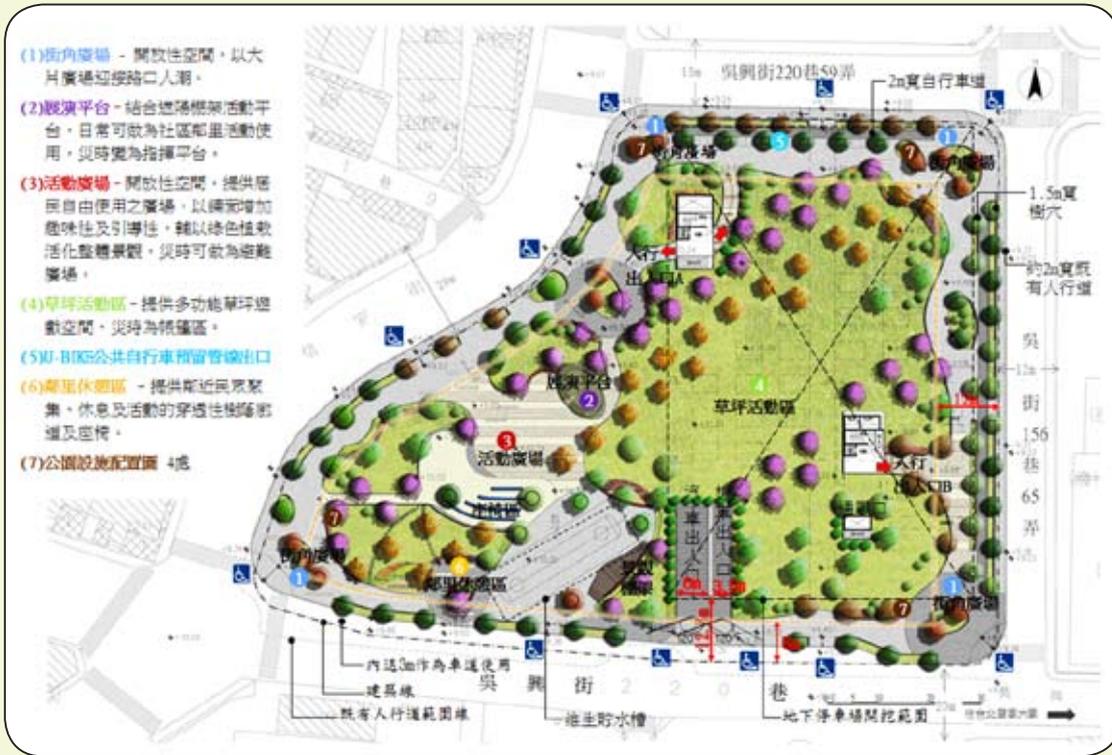


圖11 地面層景觀配置圖



圖12 防災公園計畫圖

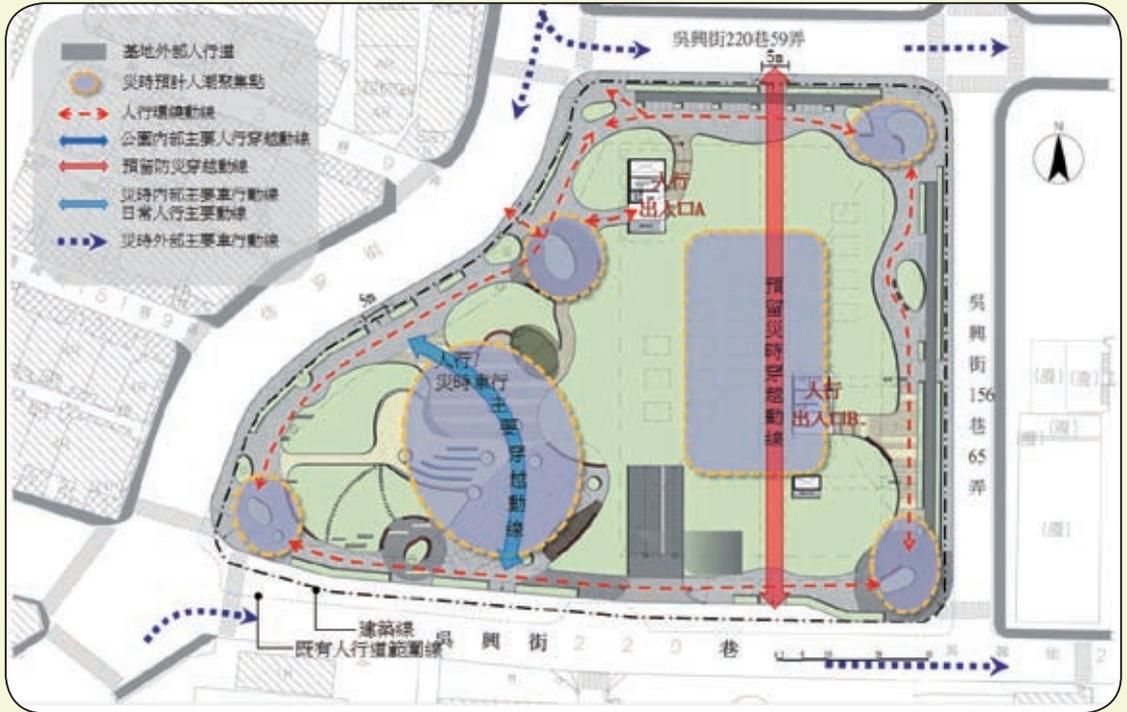


圖13 緊急應變之避難與救援動線規劃圖

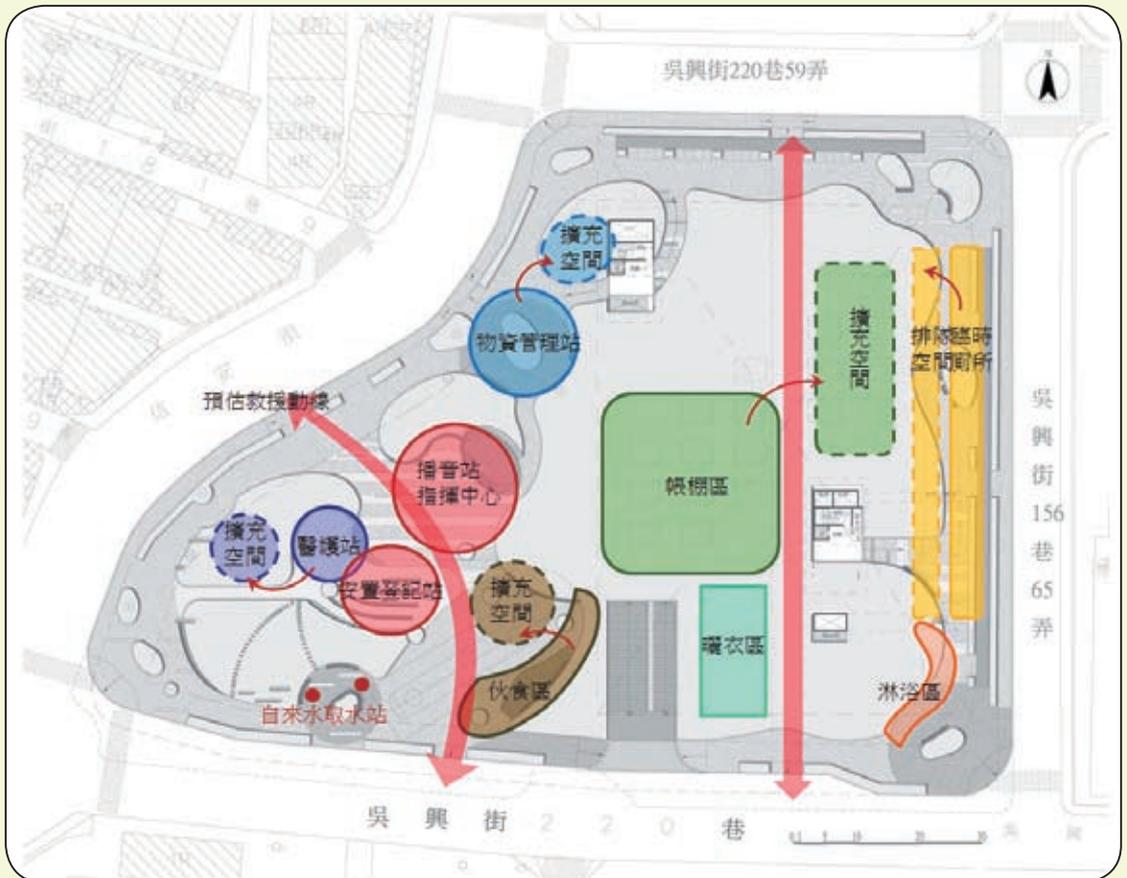


圖14 緊急應變之避難與救援擴充

表6 緊急應變避難救援與公園空間之機能轉換表

主要區域防災設施配置	內容
防火樹帶	設置於公園外圍，選用高耐火力及高遮蔽性且無盤根之喬木，其下種植草坪及草花以不影響逃生方便為主。
避難廣場	公園中央集散方便處設置硬鋪面廣場，相對應一側設置草坪區供帳篷區使用。
防災相關設施配置	為防止使用上之障礙，主要使用機能建議設置於主要避難空間周遭區域。
功能性的動線考量	預設由主要入口、公園內部皆可便利通行的兩條緊急動線，平日也可藉其中一條硬鋪面動線進行公園維護管理。

表7 防災設施之擴充可能與設置構想

主要防災設施	擴充可能	災時使用功能	設置構想	平日使用管理
安置登記處 指揮中心醫護站	較不需	登記、指揮、 健康管理	設置於公園中央廣場，提供硬鋪面且方便全區管理。	展演平台 中央活動廣場
帳篷區	可	收容住宿	設置於草坪區域，整體區塊完整，且以道路隔離災時人潮集散區。	草坪綠化
伙食區	可	發放食物	設置於基地內硬鋪面處，便於發放及清潔，且可連接主要動線。	花架座椅 活動廣場
物資管理站	可	放置物資	提供硬鋪面易於發放，如有擴充需求可暫放於鄰近草地或空地。	停車場人行入口 A前方廣場
自來水取水站	可	維生取水	移動性設施，可依災時實際需求增設水龍頭或運用消防水管加長設施以移動位置。	鄰里休憩區
淋浴區	較不需	洗澡	設置於空地，並加設排水溝在淋浴區後方。	停車場人行入口 B南側之街角廣場
臨時廁所	可	廁所	線性設置，便利使用者藉由腹地排隊，並配合既有污水管線的位置事先預留污水管，並另外留設行動式流動廁所車輛空間。	預設之污水管線需與 人行道鋪面齊平並不 影響行人通行
曬衣場	可	曬衣	如有需求可架設臨時曬衣桿，並使用草坪區空地	草坪綠化

五、緊急應變避難救援與公園空間之機能轉換

如圖14、表6、表7所述。

六、公園保水規劃及維生貯水槽

公園保水規劃考量以低衝擊開發(LID)之構想，利用分布式的貯水滲透設施，增加公園之保水能力，詳見圖15。

(一) 本案開放空間景觀留設綠地可供雨水直接滲入。綠地面積約2176m²，花園土壤面積約4189m²。

(二) 基地內廣場鋪設軟底花崗石、道路地坪多採用透水鋪面，面積共約4161m²。

(三) 避難廣場下方設置集水滲透設施，收集周圍草坪雨水後滯留滲透。

(四) 非開挖區域草坪設置排水帶導入集水滲透設施。

(五) 地下停車場覆土2m以上。

(六) 雨水貯集滯洪設施530.55噸，集水滲透設施42.5噸，雨水回收池30噸供公園植栽澆灌使用。

(七) 自來水處維生貯水槽用地面積需 30m×10m，其上面無設施物且鋪面簡單易於復原，詳見圖16。

七、平日公園與災時公園之對照模擬圖(詳圖 17-A ~17-C)



圖17-A 平日公園與災時公園對照示意圖



圖17-B 平日公園與災時公園對照示意圖



圖17-C 平日公園與災時公園對照示意圖

八、平日公園模擬圖(詳圖18-25)



圖18 人行出入口A旁廣場



圖19 停車場人行出入口示意圖



圖20 展演平台示意圖



圖21 吳興街220巷人行道示意圖



圖22 吳興街156巷街角示意圖



圖23 景觀棚架示意圖



圖24 全區透視圖



圖25 414號防災公園全區模型

肆、結語

防災為對應於都市中廣域性重大災害之災前預防、災害搶救應變及災後復建各階段作業之準備計畫，以達都市空間韌性與永續使用，其最主要的概念為預防與準備，本案信義414號防災公園在都市有限的空間中尋求其不同的功能組合，從防災、生活、運輸、綠化、雨水再利用及保水滯洪等多重面向設計，達到都市多功能韌性永續空間，保障居民生活安全的願景。414號防災公園的開設仰賴著完善的設施及預先的準備、教育及訓練，雖無法準確預知災害來臨，但危機意識及避難設施的設置在都市中確實為不可或缺的安全傘。

參考文獻

1. 臺北市政府災害防救白皮書(101年)
2. 信義區災害防救計畫
3. 國立臺灣大學綜合災害研究中心防災公園相關設施之概要與設置準則
4. 日本財團法人都市綠化技術開發機構-「防災公園技術手冊」
5. 財團法人都市綠化技術開發機構-「防災公園計畫·設計手冊」，日本，大藏省印刷局(1999)
6. 臺北市政府消防局整備應變科-臺北市防災公園規劃簡介(101年11月7日)
7. 高知縣防災關聯產業交流會-高知防災
8. 日本東京綠化白皮書(1983)
9. 洪敏維「從防災觀點探討都市公園之規劃設計-以屏東縣立運動公園為例」，屏東科技大學碩士論文(2011)。





6

專題報導

永續生態 綠色低碳園區的 實踐——中興新村 高等研究園區

關鍵詞：高等研究、生態社區、永續發展、文資保存、實驗場域

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／協理／劉國慶 ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／技術經理／蕭勝雄 ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／主任工程師／楊元杉 ❸

摘要 ABSTRACT

南投縣中興新村原為臺灣省政府所在地，整體都市架構參仿英國霍華德「花園城市」(Garden City)模式創建，民國88年省府組織精簡後，中興新村的行政機能與業務，隨著組織調整與合併而大幅減少，再由於九二一地震引發規模強大的災害，中興新村建築受損嚴重，市鎮機能與活動進一步衰退。民國98年11月19日行政院核定「中興新村高等研究園區籌設計畫」展開推動中興新村成為生態社區、文化創意及高等研究之聚落，期使中興新村風華再現。

本文分別針對中興新村高等研究園區之發展定位及目標，說明園區發展構想為核心研究功能、市場化實驗場域，提供基礎研究與應用研究平台，建立支援區域產業研發營運環境的重要基地，並分析計畫目標與永續發展架構之鏈結關係。其次，整體規劃說明園區主要之規劃項目，包括土地使用、綠色交通及景觀與都市設計等內容。接著，以生態社區指標模擬評估規劃內容，確認本園區在落實永續發展、綠色園區及節能減之規劃成效，經模擬評估結果，本園區規劃大致皆以能符合設定之目標。最後，就園區發展之現況，檢視規劃成果之實踐。



壹、前言

民國45年臺灣省政府從臺北市疏遷到中興新村辦公，中興新村的整體都市架構參仿英國霍華德「花園城市」(Garden City)模式創建，規劃完善的辦公與住宅合一之田園式行政社區，全區於民國46年建設完成。

惟因民國88年省府組織精簡後，臺灣省政府原有在中興新村的行政機能與業務，隨著組織調整與合併而大幅減少，加上車籠埔斷層通過中興新村東側，九二一地震引發規模強大的災害，使得本區之行政機能逐漸消退，喪失既有的市活力，就業人口也快速流失，嚴重影響地方的經濟活動。

為了重現中興新村往日風華，政府宣示中興新村發展為文化創意及高等研究園區之政策方向，國科會研提「中興新村高等研究園區籌

設計畫書」於民國98年11月19日經行政院核定，並由國科會中部科學工業園區管理局展開各項開發作業。

高等研究園區設置於中興新村都市計畫區內，位於南投縣的西北隅，距離草屯鎮約4公里，南投市約6公里，地處南投平原和東側南投丘陵的交界，與商業中心的草屯鎮和具行政機能的南投市形成三角發展地帶，園區總面積約為258.97公頃，詳圖1。

本園區引進之產業有別於其他科學園區，主要引進不製造量產之科技研發、文化創意及行政辦公等，且園區位處文化資產豐富之中興新村，因此於實質計畫階段即納入永續發展、生態社區、綠色交通及智慧綠色園區等概念進行規劃，期使本園區發展為永續生態綠色低碳園區。



圖1 中興新村高等研究園區位置圖

貳、發展定位及目標

一、發展定位

高等研究園區發展構想是以核心研究功能、市場化實驗場域，提供基礎研究與應用研

究平台，建立支援區域產業研發營運環境的重要基地，並以現代化的園區管理方式，配合整體產業發展，建構成臺灣西部科技走廊的研究發展重心，成為「全球最具競爭力的高等研究園區」，園區發展定位如圖2。

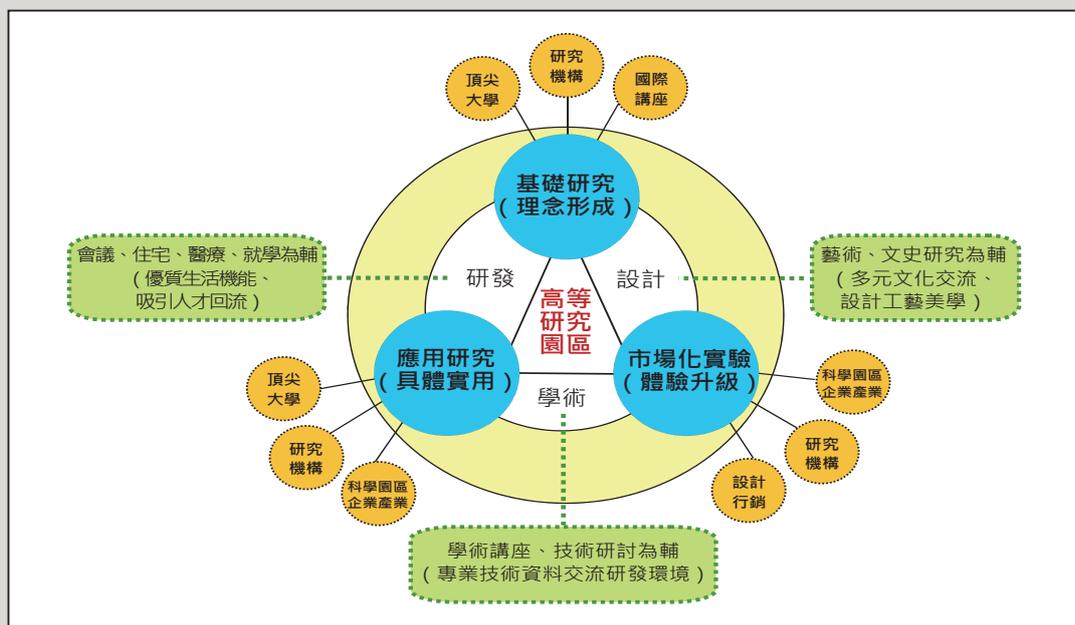


圖2 高等研究園區發展定位

園區以提供優質之研發創新環境、便利之交通、完善及舒適之生活機能、生態與國際化環境，達成以邁向永續發展的科技基地、創造國家頂尖人才的培養皿、未來新生活模式的實驗場域、具備國際化特質之居住環境計畫之目標，並配合「推動建置智慧綠色科學園區示範計畫」，推動節能減碳之綠色研發環境。

高等研究園區的推動係經由綜合及跨領域的詳細規劃，依據園區的政策目標、國內及國際案例的發展方向，以及在地特質與需求等擬定發展目標，園區的推動牽涉議題甚為廣泛，為有效率達成目標並凝聚共識，針對園區重大發展議題，包括：總體規劃、都市設計、景觀、經濟、環境、設施與結構、能源效益、人文與社會、廢棄物、交通方面等，就環境、社會及經濟等層面訂立永續發展目標，以為專業領域規劃發展之依循(詳圖3)。

二、計畫目標

計畫目標		永續發展目標	
生態村 (綠色園區)	生態保育	環境	兼顧經濟發展與環境保護平衡
	節能減廢		節約、減量及再利用自然資源
國際村	健康舒適	社會	提供健康舒適的宜居環境
	社區環境		打造安全智慧示範村
智慧園區	國際化教育設施	經濟	維繫既有土地紋理，活化再利用文化資產
	無國界溝通平台		融合多元族群，建立公平社會
核心研究功能	智慧運輸	吸引知識產業進駐，提升區域及國家競爭力	
	智慧建築	建立科技交流平台、完善基礎設施	
人才培養皿	通訊網路	營造經濟群聚效應，實踐財務永續	
	科技交流平台		
實驗場域	多元研究功能		
	育成機構		
	就業環境		
	智慧網路設施		
	實驗空間及平台		

圖3 整體計畫目標與永續發展架構鏈結關係圖

參、整體規劃

高等研究園區的整體規劃涉及層面廣泛，本文就主要之規劃內容包括土地使用、綠色交通、景觀及都市設計等項目說明。

一、土地使用

(一) 整體空間架構

本園區之規劃以尊重既有空間歷史脈

絡，配合文化資產指認結果(一處古蹟、十一處歷史建築及234公頃文化景觀區)，展現當地一貫注重「環境、綠地、人文」的花園城市特質為主。在整體空間架構分析上，注重下列要素，形塑具地方特色之空間關係，整體空間架構如圖4所示，說明如下：

1. 雙核單軸、二生一研

以二個核心區產業及多個生活社區結合之南北向軸線，營造自給自足的花園城市生活、生態與研發並重的環境永續經營。

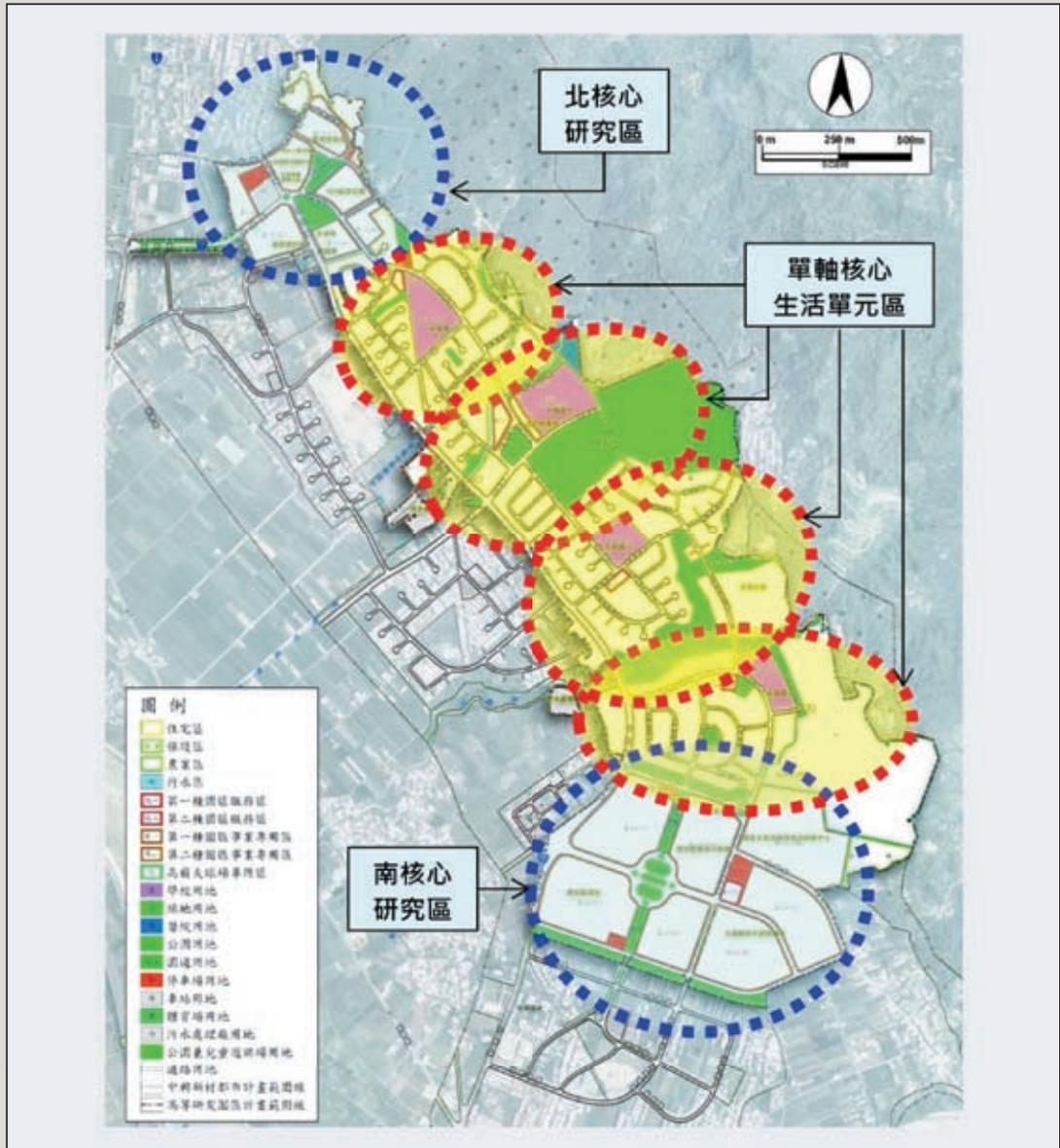


圖4 園區整體空間發展架構

2. 藍綠軸線、鄰里單元

本園區之生活社區與東西向藍綠軸線交錯，溝渠與綠地作為鄰里單元界線，並以小學及市場為鄰里中心，使各鄰里得以發展自我特質。

(二) 分區發展及使用

1. 北核心

北核心行政區原為省府及相關單位員工之主要工作區域，屬於文化景觀區，保留既有建物，維持既有機關行政、辦公機能。

2. 南核心

南核心屬於新開發區，規劃核心研發產業區，提供高等研究產業進駐。

3. 生活單元區

本區亦屬於文化景觀區，改善既有公共設施及整建宿舍，創造結合就業及居住的良好環境，同時引進文化創意產業進駐。

二、綠色交通

(一) 綠色智慧交通發展願景

在高等研究園區永續發展之節約、減量及再利用自然資源、提供健康舒適的宜居環境等目標下，導入綠色交通導向之都市規劃模式。在打造智慧綠色科學園區，建立生態示範村目標下，智慧運輸導向之交通發展，則應仰賴新穎技術與乾淨能源之應用，園區綠色智慧交通發展架構如圖5所示。

綠色智慧交通之規劃理念，係藉由適當策略改善道路交通服務水準、減少旅運需求、減少民眾對機動車輛之依賴、強化步行與自行車之無障礙使用環境、道路空間設施優先服務綠色運具，提供更友善、更便利、更健康之交通運輸環境。透過綠色運輸導向之都市規劃模式，在空間配置上尋求交通運輸系統與土地使用的適當規



圖5 園區綠色智慧交通發展架構

劃，達到旅次需求減量、旅次長度縮減、大眾運具配比提高、非機動運具普及、綠色能源使用比例提高等目標。

(二) 發展策略

建構綠色交通環境與串聯交通運輸網路，減少汽機車使用率，改善空氣品質與交通環境，配置詳圖6，主要發展策略如下：

1. 倡導騎乘自行車(自行車道系統)

2. 大眾運輸轉運站及路線優化(公車及客運系統)
3. 改善步行環境(人行道系統)
4. 智慧交通系統設施

三、景觀與都市設計

(一) 規劃目標

本園區所座落之中興新村向為臺灣省「行政中樞」，如今隨世代更迭，朝「智



圖6 園區綠色智慧交通發展策略

「慧綠色園區」概念為發展方向，除延續原50年代發展的中興新村環境規劃理念，即產業(生產)、生活、綠地(生態)充分平衡的自足社區外，藉由各自的循環代謝形成彼此的交互作用，同時呼應全球氣候變遷、加強環境保護、節約資源和能源的決心，實現人與人和諧共存、人與經濟活動和諧共存、人與環境和諧共存的永續園區規劃概念。

基此概念下之永續園區發展願景，由巨觀到微觀(From Macro to Micro)的水綠環境營造及節能減廢策略將朝：最佳化利用與維護既有自然生態與水資源、串連區域藍綠帶系統網絡、改善及營造生物棲地、綠覆面積最大化、不透水鋪面最小化、短距離到達目的地之活動需求滿足、落實綠

建築之設計理念及推動智慧建築之節能、綠能概念、誘導低碳運具使用之空間規劃等方向，除考慮動植物物種的能量流動外，亦將人類活動及其生活納入永續環境體系內，以提供舒適、低碳和良好空氣品質的生活環境為目標，期能打造兼具景觀、生態、生活之永續健康環境，規劃概念詳圖7所示。

(二) 規劃構想

串連虎山自然山林綠帶，並結合園區內之公園、綠地系統及道路綠廊，創造生態廊道及生態跳島之綠化設施，保存既有綠地並修補綠帶系統，提供生物棲息、活動之空間。重新檢視園區內之河道與坡地規劃，進行生態整治及洪水防護，以綠地



圖7 園區景觀及都市設計規劃概念



圖8 園區整體景觀發展構想

設置滯洪保水、雨水再利用、流動、滲透之場所，形塑舒適「微氣候」，改善親水設施。整體景觀發展構想如圖8所示。

規劃者達成共識，為共同之規劃目標擬定實施策略。

(一) 評估架構

我國的「生態社區評估系統(EEWH-EC)」，乃延續國內既有綠建築EEWH評估系統與既有生態都市之研究成果，結合LEED-ND與CASBEE-UD有關生態社區的評估方式，作為我國永續都市政策的推手。

肆、生態社區規劃評估

為確認本園區規劃在落實永續發展、綠色智慧園區及節能減之成效，需對規劃結果進行效果檢核，尤其評估機制更能引領不同專業之

表1 生態社區評估基準

總得分分級基準					
住宅型社區 (A,B型社區)	250 ≤ EC < 300	300 ≤ EC < 350	350 ≤ EC < 400	400 ≤ EC < 420	425 ≤ EC
住宅型社區 (C型社區)	200 ≤ EC < 240	240 ≤ EC < 280	280 ≤ EC < 320	320 ≤ EC < 340	340 ≤ EC
非住宅型社區	150 ≤ EC < 180	180 ≤ EC < 210	210 ≤ EC < 240	240 ≤ EC < 255	255 ≤ EC
等級	合格	銅	銀	黃金	鑽石

資料來源：生態社區評估手冊，內政部營建署，民國99年。

於推動高等研究園區實質計畫之際，適逢國內「生態社區評估體系EEWH-EC」發展成熟，已由研究階段進入試行並鼓勵申請候選證書及標章階段，其兼顧社區的「環境品質」與「社區機能」之內涵與本計畫推動之目標一致，應用其評估方式對於本園區以永續理念發展更具實質正面的重大意義。

本計畫依據永續發展架構所推衍之發展項目，幾可與EEWH-EC評估體系中環境與社會二大面向、五大評估範疇之指標找到相對應之項目(詳表1)。

(二) 評估模擬結果

分別針對園區第一鄰里單元(光華里)、示範社區及南核心區進行生態社區模擬評估，本模擬評估係基於既有中興新村「花園城市」架構下之自然環境及人文條件，並配合研擬之生

態城市發展架構及策略，基本上影響評估結果之自然環境及人文條件為既有的，而發展策略則屬於假設性的配套及措施，模擬評估範圍如圖9，模擬評估結果各分項得分如表2所示。



圖9 生態社區模擬評估範圍

表2 生態社區模擬評估結果

評估標的 評估範疇	第一鄰里單元		示範社區		南核心區	
	B型社區		B型社區		科學園區	
	原得分	系統得分	原得分	系統得分	原得分	系統得分
生態	205.11	100.00	279.92	100.00	91.30	91.30
節能減廢	121.60	100.00	155.79	100.00	137.00	100.00
健康舒適	87.98	87.98	90.99	90.99	68.40	68.40
社區機能	93.88	93.88	80.93	80.93	---	---
治安維護	-66.00	0.00	58.00	58.00	---	---
得分	442.57	381.86	665.63	429.92	296.70	259.70
等級	銀級		鑽石級		鑽石級	

1. 第一鄰里單元：整體得分381.86，銀級
2. 示範社區：整體得分429.92，鑽石級
3. 南核心區：整體得分259.70，鑽石級。

本園區基地本身提供大量的綠化面積、透水鋪面及豐富的動植物資源，此項資源是高等研究園區最珍貴的資產，未來各區塊無論採取何種開發方式，應掌握住保留既有資源之方向進行，並落實「綠建築」標章及「智慧建築」制度的推動。

伍、發展現況檢視

「中興新村高等研究園區」的推動整合各部會資源與南投縣政府合作，共同打造科技文創、國際化文創及在地產業化文創的多元文創融合園區。

「南核心區」目前已引進34家廠商進駐，進駐廠商包括百佳泰、台灣可速姆、金聖源、信織實業、正瀚公司及工研院、資策會等7家單位。工研院內目前共有18家合作廠商、2所大學、1家應變中心與1家縣府招商辦公室進駐與該院進行合作計畫；資策會則有2家培育廠商進駐該會育成中心。南核心區整體出租率達47%，帶進就業人數達2,378人。

中興新村目前還有36個行政機關在此服務，包含台灣省政府、內政部中部辦公室、衛福部中部辦公室、農委會農糧署、公路總局公路人員訓練所中部訓練中心等，辦公人數逾2,000人。

「北核心區」及「中部生活區」推動「未來優質生活實驗場域計畫」，如「中部生活區」將活化閒置宿舍整修為「藝術一條街」，並與文化部攜手招募藝術家駐村；另將規劃「青創實驗工作室」招募青年創業家，提供青年創業。園區內的「36智慧驛站」，過去為省府時期的招待所，現由中科管理局整建作為智慧居家生活的示範屋，提供智慧節能、智慧偵測、遠距智慧健康照護等示範。此外，交通部運輸研究所「智慧運輸-車聯網示範場域規劃建置計畫」亦積極展開。

中科管理局運用中興新村完整保留的英式花園城市街廓設計，積極與地方鏈結、活化當地發展如南投縣政府每年10月舉辦「南投世界茶業博覽會」，每年吸引逾30萬人潮。此外，民國103年於高等研究園區舉辦的「臺灣燈會」吸引730萬參觀人潮，對當地整體觀光產業發展都有助益。

綜合前述，目前園區已有初步開發成效並



圖10 園區發展現況圖

與原先設定之目標大致相符，相信在政府機關團隊協力下，將使中興新村風華再現。

陸、結論與建議

一、中興新村高等研究園區設立於既有之中興新村都市計畫範圍內，現況已具辦公及生

活機能所必需之基礎設施，園區部分設施被指認為文化資產，在永續發展、智慧綠色園區及節能減碳等園區規劃目標下，需就園區內具有文化保存價值之建築、設施、環境提出整體性的保存及相容性活化利用，讓園區開發與文資保存雙贏。

二、園區規劃智慧綠色科學園區為發展方向，

配合相關生態城市實施策略，朝向兼顧環境、社會及經濟層面永續發展之目標，建議未來園區依循計畫擬定之發展架構，定期檢討相關指標的達成度，確保智慧綠色科學園區的達成。

三、目前中興新村高等研究園區「南核心區」已有多家研發單位進駐，包括經濟部中臺灣創新園區(工業技術研究院)及資策會等共計34家廠商，「南核心區」土地出租率達47%以上。另外，在生活區已進行單身宿舍整建供進駐廠商員工使用，並整理出部分閒置眷舍作為藝術村及創新創業團隊進駐，文化部「科技藝術駐村」及交通部「智慧運輸-車聯網示範場域規劃建置計畫」亦積極展開。綜合前述，目前園區已有初步開發成效並與原先設定之目標相符，相信在政府機關團隊協力下，將使中興新村風華再現。



參考文獻

1. 中興新村發展為高等研究園區先期規劃，行政院經濟建設委員會，民國98年。
2. 中興新村高等研究園區籌設計畫書，行政院國家科學委員會，民國98年。
3. 生態社區評估手冊，內政部營建署，民國99年。
4. 中興新村高等研究園區籌設計畫暨財務計畫(修正本)，行政院國家科學委員會中部科學工業園區管理局，民國100年。
5. 中興新村文化資產評估調查計畫期末報告，行政院文化建設委員會文化資產總管理處籌備處委託，國立雲林科技大學辦理，民國100年。
6. 中興新村高等研究園區文化景觀空間整合活化再利用計畫，行政院國家科學委員會中部科學工業園區管理局委託，朝陽科技大學辦理，民國100年。
7. 中興新村高等研究園區整體規劃報告，行政院國家科學委員會中部科學工業園區管理局委託，台灣世曦工程顧問股份有限公司辦理，民國101年。



6

專題報導

再生水多元運用 — 產業園區 應用實例

關鍵詞：再生水、產業園區、回收再利用、水資源、放流水

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／正工程師／林志墩 ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／工程師／姚重愷 ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／副理／劉偉裕 ③

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／技術經理／蘇玫心 ④

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水及環境工程部／協理／曾淳鏗 ⑤

摘要 ABSTRACT

「再生水資源發展條例」已於民國104年12月通過，使我國正式進入再生水利用新紀元，而政府推動之六大都市污水處理再生利用案均依條例積極推動中(其中鳳山溪案施工中，預定民國107年供水)，透過工業及都市污水處理廠放流水回收再利用，期於民國120年再生水供應量能達到132萬CMD目標，降低對自來水供應之依賴。國內產業園區開發因應水資源供應日趨嚴峻情形下，為達到永續經營的目的，於開發規劃階段即應審慎評估水資源再利用之可行性。

國內一般產業園區大多為傳統產業，水資源回收率介於10~30%不等，而科學工業園區因用水需求量大，故水資源回收更顯重要，科學工業園區整體水資源回收率一般達70%以上，個別產業如半導體或光電等，其用水回收率更要求至85%以上。近年來，產業園區配合中央政策及因應用地需求尚陸續開發中，惟考量臺灣水資源較匱乏，加上避免產業活動對水環境影響等因素，故產業園區多規劃使用多種水源如雨水、再生水，本文將以國內產業園區之再生水實際應用案例進行探討及說明。



壹、我國再生水推動現況與法令

一、我國再生水推動現況

水資源再利用已成為全球關注議題，尤其於缺水國家或地區更是列為重大推行政策之一，我國屬缺水地區，對於水資源再利用之推動更深感迫切。故此，行政院於民國104年5月指示再生水推動兩項目標，一是工業廢水回收率由75%提高至80%；二是民國120年再生水每日供應量從120萬噸提高至132萬噸(包含都市污水處理廠放流水、工業區廢水處理廠放流水、工業用水大戶放流水及生活污水大戶回收水等四大類)，讓循環利用廢/污水的「再生水」成了面對水荒時必須積極思考的選項。

我國都市污水處理廠主要由內政部營建署推動辦理，故水利主管機關經濟部水利署與內政部營建署於民國102年依據產水量、潛在用水

端距離等因素考量評估，經內政部陳報並奉行政院核定之「公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動方案」，將臺中福田與豐原、臺南永康與安平、高雄鳳山溪與臨海水資源回收中心水再生利用等6案列為示範計畫，後續並與地方政府積極合作推動，其中鳳山溪案推動計畫奉行政院103年9月23日核定，該案高雄市政府以BTO方式辦理並於105年6月2日完成甄選，預定民國107年供水。其餘各案則由各主辦機關辦理前置規劃評估作業中，有關6大示範案推動進度參見表1，其中臨海與永康示範案預定依採購法採大統包(DBO)方式辦理。

二、再生水資源發展條例

我國「再生水資源發展條例」已於民國104年底三讀通過，賦予廢污水及放流水回收利用的明確法律框架。再生水資源發展條例之建立主要藉由強化賦權、友善開發、專業管理法源

表1 我國水資源回收中心再生利用示範案推動情形(至105年11月)

水資中心	現況	再生水供應量 (CMD)	供水對象	預定供水時程	經費預估 (百萬元)	辦理現況
鳳山溪	運轉中 (3.1萬 CMD)	4.5萬	臨海工業區	108年 (107年供2.5萬)	2,639.5	本案已由「欣達中鼎企業聯盟」議約，並成立「藍鯨水科技股份有限公司」之再生水經營業特許公司，於105年8月22日完成簽約，特許年限共17年。
福田	運轉中 (6萬 CMD)	13萬	台中港工業專區	109年 (修正至111年)	4,342.4	1.本案已於104年3月30日辦理合作意向書簽訂記者會。 2.本案提供13萬CMD放流量，採「浮動分配」方式並預留彰濱工業區使用彈性，惟原則仍以優先供臺中港工業專區使用。
臨海	建設中	1萬	臨海工業區	109年	805.4	1.刻正進行污水處理廠興建招標作業。 2.調查臨海工業區有3.5~4.5萬CMD意願。
永康	設計中	1.5萬	南科台南園區	109年	1,196.1	1.永康水資源回收中心與再生水廠依採購法採大統包(DBO)方式辦理，目標109年初完工。
安平	運轉中 (12.8萬 CMD)	6萬	南科台南園區	109年	4,392.5	2.永康案已於105年7月27日由經濟部、內政部、科技部、台南市政府共同辦理合作意向書簽訂記者會。
豐原	設計中	2萬	中科台中園區	109年	1,714.8	臺中市政府採以需訂供方式，評估本案應由水湳廠或豐原廠作為供水對象。
總計		28萬			15,172.7	

註：參考公共污水處理廠放流水回收再利用推動說明會資料，營建署，2016.11

來將供水端、需水端及再生水事業連接，落實智慧管理水資源之制度，支持產業區域持續發展，希望透過再生水之供應來提高整體供水可靠度，並帶動再生水關聯產業之發展，立法背景及條例內容概要如下。

(一) 立法背景

1. 再生水之發展涉及介面多，需要法源賦權：
 - (1) 污水水源屬公共下水道系統，負責單位為內政部及地方政府。
 - (2) 廢水水源屬專用下水道系統，負責單位為特定區域下水道機構。
 - (3) 用水整合由產業園區主管機關負責。
 - (4) 水資源情勢、調度與管理，由中央水利主管機關負責。

2. 現況環境不利再生水，發展需仰賴強制及獎勵措施：因用水端需要支付高於自來水價並興建二元供水系統，造成現況缺乏使用再生水之誘因，需要有法源之強制措施，來推動執行。

(二) 條例內容概要

1. 水源供應短缺之虞地區內，開發單位用水計畫強制使用一定比率之再生水(第四條)。
2. 水源供應短缺之虞地區內，地方政府應積極開發或得無償供應放流水(第五條)。
3. 再生水經主管機關同意納入區域水源

表2 再生水資源發展條例與相關子法分類表

類別	再生水資源發展條例	相關子法
行政類別	第六條	中央對直轄市及縣(市)政府再生水開發案建設費用補助辦法
供需類別	第四條	水源供應短缺之虞地區使用再生水辦法
	第五條	公共下水道系統污水或放流水無償供應之一定期限及其計費準則
	第十四條	再生水經營業收取費計算公式準則
技術類別	第七條	再生水質標準及使用遵行辦法
	第十三條	再生水開發案取水構造物與水處理設施及供水設施專業技師簽證規則
申請管理類別	第九條	再生水經營業籌設許可及再生水開發案興辦許可辦法
	第十一條	下水道系統廢污水或放流水供自行使用許可申請辦法
	第十五條	再生水設施檢查及水量申報辦法

者，中央主管機關或中央目的事業主管機關得補助其部分建設費用(第六條)。

4. 再生水之使用用途及其水質標準(第七條)。
5. 直轄市、縣(市)主管機關及特定區域目的事業主管機關應依再生水開發案之水源來源，分別辦理再生水開發案及廢(污)水或放流水使用之審查、許可、廢止、變更；再生水開發案建設及營運之監督、查核事項；再生水經營業之水價核定等事項。另規定特定園區使用直轄市、縣(市)主管機關所辦再生水開發案之再生水者，由該特定園區之目的事業主管機關辦理區內用水需求整合與分配、區內相關設施配置之審核等事項(第八條)。
6. 再生水經營業之組織與籌設程序、再生水開發案之申請與變更程序、再生水經營業於興建及營運階段之管(第九條及第十條)。
7. 供自行使用之再生水取用案申請、變更程序及管理規範(第十一條)。
8. 政府機關興辦再生水開發案之廠站所需

私有土地取得方式及管線穿越私有土地上空或地下之地上權取得方式(第十四條)。

9. 再生水費之計算公式及其調整或爭議處理方式(第十六條)。
10. 違反該條例相關規定之罰責(第十九條至第二十五條)。

另整理再生水資源發展條例及相關子法分類如表2所示。

貳、產業園區開發需求及背景

一、產業園區開發需求

國內產業園區開發係依據經濟部訂定之「產業創新條例」，而因應金融海嘯造成全球性經濟衰退，加上區域經貿整合之趨勢，為協助國內產業轉型與重組及發展優勢關鍵技術以面對當前環境挑戰，經濟部另訂定「產業發展綱領」及「經濟部2020年產業發展策略」，期能達成下述七點目標：

- (一) 厚植產業軟實力，優化產業結構。

表3 園區預計引進產業類別

主要分類 編號	行業名稱
C-製造業	
C08	食品製造業
C12	成衣及服飾品製造業
C13	皮革毛皮及其製品製造業
C22	塑膠製品製造業
C24	基本金屬製造業
C25	金屬製品製造業
C26	電子零組件製造業
C29	機械設備製造業
C30	汽車及其零件製造業
G-批發及零售業	
G45-46	批發業
H-運輸及倉儲業	
H530	倉儲業
J-資訊及通訊傳播業	
J58	出版業
J59	影片服務聲音錄製及音樂出版業
J620	電腦系統設計服務業
J63	資料處理及資訊供應服務業
M-專業、科學及技術服務業	
M70	企業總管理機構及管理顧問業
M71	建築工程服務及技術檢測分析服務業
M72	研究發展服務業
M740	專門設計服務業

- (二) 參與全球區域經濟整合，提升台灣國際競爭優勢。
- (三) 順應節能減碳潮流，促進產業綠色成長。
- (四) 全面強化產業競爭要素，提升附加價值。
- (五) 提升商業創新力，創造服務產業競爭力。
- (六) 擴大經營國際化，開創服務新視野。
- (七) 調整產業人力結構，並兼顧就業。

本文為以國內開發中某產業園區(以下簡稱本園區)實例作為討論背景，該產業園區除依上述政策開發外，亦為配合中央推動「加強

推動台商回台投資方案」，協助台商回台購地設廠，及配合經濟部「輔導未登記工廠合法經營方案」，鼓勵及協助未登記工廠尋求合法土地，並作有效管理，避免影響整體環境。

而經開發單位檢討本園區之開發定位、引進產業內涵及因應地方環保及文化團體期待，園區規劃引進低污染之產業進駐，並考量水資源永續利用目標規劃將污水處理後之放流水回收再利用。依開發目標，本園區開發完成後除可供地方政府安置傳統產業並集中管理外，亦可結合當地既有產業園區，將上、中、下游產業整合集中，以提高產業之整體競爭力。

配合廠商用地需求殷切，本園區採公共工程設計及土地租售同時進行，另公共工程配合進駐廠商建廠同步施工，以符合廠商投資商機，並加速園區開發時程。

二、產業園區背景說明

(一) 開發工程內容

本園區開發工程包含整地、道路、防洪排水、自來水管線、污水管線、污水處理廠、電力、電信、照明、景觀綠化及生態(含保育區)及服務中心等公共設施。

(二) 預定引進產業類別

考量本園區開發定位同時為降低污染總量，將引進低污染性之產業，並要求部分進駐產業不得產生製程廢水，產業類別整理如表3。

三、環評承諾說明

本園區於環評變更程序通過時，即承諾將區內廢水全面回收處理後再利用，故於相關

環差報告中，已訂定放流水回收再利用管理計畫，除從源頭透過產業種類管制及用水量限制，並制訂優於目前放流水標準之三級處理水質標準，藉由完善之污水處理廠及中水道工程，確保中水及再生水可以如期達到再利用目標，茲分別說明如下：

(一) 三級處理水質標準

為達到放流水回收再利用之目標，該園區內事業所產生之廢污水經收集、處理、消毒及再生等程序將水質提升至不同

程度後，作為區內綠地澆灌、清洗及廠商冷卻用水等水源，故園區訂定優於放流水標準之三級處理水質標準，本文另納入行政院環保署預告修正之放流水標準進行比較，詳見表4所示。其中環保署為提升河川氨氮水質符合水體標準及優化水體環境，擬於未來增訂氨氮管制項目，並給予本標準修正後之既設業者二階段緩衝期。而本園區污水處理於開發時即採優於標準規劃，生物處理具除氮功能，放流水除可符合目前標準外，亦可滿足未來加嚴之管制標準。

表4 園區三級處理水質標準

項目	三級處理水質標準	105年放流水標準	106年預告修正標準
水溫	一、放流水排放至非海洋之地面水體者： 1.攝氏38度以下(適用於5月至九月)。 2.攝氏35度以下(適用於10月至翌年4月)。 二、放流水直接排放於海洋者，其放流口水溫不得超過攝氏42度且距排放口500公尺處之表面水溫差不得超過攝氏4度。	一、放流水排放至非海洋之地面水體者： 1.攝氏38度以下(適用於5月至九月)。 2.攝氏35度以下(適用於10月至翌年4月)。 二、放流水直接排放於海洋者，其放流口水溫不得超過攝氏42度且距排放口500公尺處之表面水溫差不得超過攝氏4度。	一、放流水排放至非海洋之地面水體者： 1.攝氏38度以下(適用於5月至九月)。 2.攝氏35度以下(適用於10月至翌年4月)。 二、放流水直接排放於海洋者，其放流口水溫不得超過攝氏42度且距排放口500公尺處之表面水溫差不得超過攝氏4度
氫離子濃度指數	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0
氟鹽	15	15	15
生化需氧量(最大值)	14	25	25
化學需氧量(最大值)	52	80	80
懸浮固體(最大值)	14	25	25
氨氮	12	-	*75
硝酸鹽氮	40	50	50
酚類	1.0	1.0	1.0
陰離子介面活性劑	10	10	10
氰化物	1.0	1.0	1.0
油脂(正己烷抽出物)	10	10	10
溶解性鐵	5	10	10
溶解性錳	5	10	10
鎘	0.0135	0.03	*0.02
鉛	0.45	1.0	*0.5

項目	三級處理水質標準	105年放流水標準	106年預告修正標準
總鉻	0.9	2.0	*1.5
六價鉻	0.225	0.5	*0.35
甲基汞	2×10^{-7}	2×10^{-6}	2×10^{-7}
總汞	0.00225	0.005	0.005
銅	1.35	3.0	*1.5
鋅	2.25	5.0	*3.5
銀	0.25	0.5	0.5
鎳	0.45	1.0	*0.7
硒	0.25	0.5	*0.35
砷	0.225	0.5	*0.35
硼	1.0	1.0	1.0
硫化物	1.0	1.0	1.0
甲醛	3.0	3.0	3.0
多氯聯苯	不得檢出	0.00005	0.00005
總有機磷劑	0.5	0.5	0.5
總氨基甲酸鹽	0.5	0.5	0.5
除草劑	1.0	1.0	1.0
安殺番	0.03	0.03	0.03
安特靈	0.0002	0.0002	0.0002
靈丹	0.004	0.004	0.004
飛佈達及其衍生物	0.001	0.001	0.001
滴滴涕及其衍生物	0.001	0.001	0.001
阿特靈、地特靈	0.003	0.003	0.003
五氯酚及其鹽類	0.005	0.005	0.005
毒殺芬	0.005	0.005	0.005
五氯硝苯	不得檢出	0.00005	0.00005
福爾培	不得檢出	0.00025	0.00025
四氯丹	不得檢出	0.00025	0.00025
蓋普丹	不得檢出	0.00025	0.00025
錫	-	-	*2.0
真色色度	550	550	550
銻	-	-	*0.1
鎘	-	-	*0.1
鉛	-	-	*0.6

註：

1.106年預告修正標準將部分項目分兩階段提高水質標準，第一階段自109年7月1日起，第二階段自112年7月1日起，本表中以*號註明者為第一階段標準。

2.本表各項目限值，除氫離子濃度指數為一範圍外，均為最大限值，其單位如下：

- (1)氫離子濃度指數：無單位。
- (2)真色色度：無單位。
- (3)其餘各項目：毫克/公升。

(二) 中水及再生水用途

為有效利用水資源，園區將依使用用途別，分別制訂中水及再生水兩股水源供應使用標的，分述如下：

1. 中水

本園區廢污水經污水處理廠三級處理後，水質可符合放流水標準及環差報告中訂定之三級處理水質標準，除可作為污水處理廠之消泡及反沖洗用水外，更將提供區內綠地澆灌、空地清洗及洗街之用，足夠完全利用污水處理廠產生之放流水。

2. 再生水

當廠商進駐率提高時，污水處理廠處理後之水量亦將隨之提高，為提供更佳水質供多元利用，將45%放流水經再生處理程序(超過濾(Ultrafiltration UF) + 逆滲透(Reverse Osmosis, RO))後，產生之再生水可提供區內廠商作為冷卻(含空調)、鍋爐或製程用水水源；水質部分將參考新加坡NEWater 新生水水質標準及依廠商需求進行訂定。

(三) 污水處理廠工程

本園區污水處理廠設計平均日污水量約1,030CMD，設計處理水質為COD 350mg/L、BOD₅ 200mg/L、SS 200mg/L。設計處理流程為將區內廢水經專用下水道收集後，經由前處理進入調勻池調勻水質及水量，再依序進入初級處理、二級生物處理具生物除氮功能、三級化學混凝處理後，加上過濾及消毒程序，確保水質能符合標準，並使水中保有餘氯，以利回收再利用。

(四) 中水道工程

管線系統除考量輸送水質及水量因素，另考量供水水質差異性，園區將設置兩套供水(中水及再生水)獨立管線，避免水質混合影響規劃用途，輸送方式如同自來水工程，將採用加壓供水，其中規劃將中水用於區內公設區域澆灌及洗街，再生水則作為區內廠商冷卻(含空調)、鍋爐或製程用水水源。

參、產業園區放流水再利用多元推動說明

為達成放流水再利用之目標，除依環評承諾內容設計相關工程外，亦需考量廠商進駐率、再生水量及需求、本園區開發內容等條件，開發過程中滾動調整才能將中水及再生水有效利用，圖1為本園區中水及再生水運用規劃說明，本節將針對污水處理廠及中水道工程兩部分進行說明。

一、污水處理廠工程設計考量

污水處理廠營運係為確保中水及再生水供水穩定之命脈，故於設計時除需設置符合環差報告內規劃單元外，更須考量用地面積、工程費用、工址條件、施工可行性、操作維護便利性、人行動線等實際條件，以降低污水處理廠操作風險，相關設計構想說明如下：

(一) 污水處理單元流程說明

本工業區污水處理廠平均日處理容量為1,030 CMD，考慮開發初期廠商進駐率低，廢污水水量不高，為增加操作彈性，污水處理廠將分成兩道處理線，而為避免工程介面分割過多及設備閒置，土建部分採一次興建完成，單元設備則分兩期建置。



圖1 園區中水及再生水運用規劃說明

污水處理流程係將區內污水下水道系統收集之污水，於進流水池匯流後通過前處理及初級處理單元(含攔污柵、巴歇爾量水槽、沉砂池、流量調勻池、初沉池)、二級生物處理單元(含pH調整池、缺氧池、好氧池、二沉池)、三級處理單元(含緩衝池、混凝膠凝池、三沉池)及加壓過濾、加氯消毒等處理程序後，將處理後之污水(中水)蓄存於回收水暫存槽，再藉由回收水加壓站及區內佈設之中水管線提供區內綠帶澆灌、道路洗街等次級利用。而再生水處理系統(包含UF及RO單元)則依據環評承諾，於廠商進駐率提高時再行設置。另為確保送至中水道系統之水質符合標準，將於回收水加壓站內設置水質自動連續監測設施，以即時掌握水質。

處理污水過程產生之污泥，則透過污泥處理流程，將初沉池、二沉池及三沉池之污泥及浮渣由管線泵送至污泥暫存槽，透過污泥濃縮、消化及脫水等程序減少體積，貯存後定期委託處理業者外運處理。

整體污水及污泥處理流程詳圖2。

(二) 污水處理廠平面配置說明

污水處理廠用地面積約為1.4公頃，整體廠區配置藉由T型8米廠區道路劃分為三大區，整體平面配置詳見圖3，分別為西北側之污水處理單元及暴雨徑流處理單元、西南側之次級用水暫存槽及再生水處理單元，以及東側之操控中心及廢棄物處理用地。

污水處理單元配置考量污水處理流程及廠區道路規劃，將污水由污水下水道最末端人孔引入至進流匯流井，並經前處理泵送至調勻池後，即藉由重力通過後續處理單元，因本污水處理廠處理容量小，基於經濟性考量，故池體採共構方式設計。主變電站及鼓風機房配合台電配電場位置設置於單元北側，單元西側則設置污泥處理機房及備用之污泥乾燥砂床，為便利後續設備更換維修，單元東側及南側皆與8米

廠用地內設置一座容量為1,700立方公尺之暴雨逕流收集池，以及容量為8,000立方公尺之次級用水暫存槽，另規劃面積為0.1公頃之R類廢棄物處理用地。考量本計畫區之排水溝設於污水處理廠用地北側，為利引入暴雨逕流及將處理後之逕流引導回滯洪池，故規劃此收集池設置於用地最西側，池體北側與排水溝相連，且依環評承諾規劃混凝沉澱程序，將暴雨逕流經混凝沉澱處理後，導回排水系統，而為利操作管理，產生之污泥將以設置於暴雨逕流收集池上方之污泥乾燥砂床處理，再定期委託業者清運污泥並定時進行清淤。而次級用水暫存槽，依據環評之設置概念，將與污水處理廠單元一次興建完成，以利於連續降雨時貯存回收水，惟考量其量體較為龐大且非每日使用，故規劃設置於再生水處理單元用地旁之西南側用地。至於R類廢棄物處理用地，則因與污水處理無直接關連，故規劃於用地東南側，靠近操控中心以利管理。

廠區主要道路為8米寬，次要道路則為3.5米寬，廠區內部各處理單元及各棟建築皆可由道路抵達，以利人員機具進行操作維護；另為管理進出人員及廠區安全，將於北側臨計畫道路位置設置大門，並沿道路設置菱形圍籬網，其餘三側則藉由密植栽及滯洪池作為天然圍籬。

二、中水道工程配置規劃

(一) 中水道管線平面配置及開挖埋設說明

本園區中水道工程包含中水管線及再生水管線工程，因兩者水質不同，故規劃兩套輸送系統，其中中水因用於區內公設區域澆灌及道路清洗，故中水管係由污水處理廠為始，沿區內綠帶、公園及停車

場設置；而再生水管則考量大型廠商需求高，故規劃沿面積較大之坵塊埋設。至於中水道之管徑，經考量基地地勢、坵塊用水量、管中流速等條件，再以軟體進行水力模擬分析，確保接水點水壓至少為 1.5kgf/cm^2 後，將主要管徑訂為100mm，而用戶接水端之支管部分則訂為50mm。

本園區為新開發產業園區，大部分用地並無既有管線，故中水道管線埋設採用明挖覆蓋法，埋設深度如同自來水管，以管頂距地面至少達120公分為原則，避免中水道受車輛重壓而毀損。至於管溝回填材料則依埋設於道路下方及埋設於設施帶(如人行道及綠帶)等分成兩類，原則皆回填CLSM，減少路基沉陷之風險，確保路基路面安全舒適。

(二) 中水道管材選擇

由於經UF/RO程序之再生水水質將偏酸性且導電度低，由於採壓力輸送，故中水道管材之選擇需具備下列條件：

1. 耐拉及抗壓性，以承受管線所受之內外壓力。
2. 具韌性及耐撞擊性，以抵抗振動及撞擊力。
3. 耐腐蝕耐酸且管內光滑阻力小。
4. 水密性佳、安裝容易及具備低溶出性。

本計畫整理高密度聚乙烯塑膠管(HDPE)、玻璃纖維強化塑膠管(GRP)、聚氯乙烯塑膠管(PVC)及耐衝擊硬質塑膠管(HIW-PVC)等管材特性，其特性比較詳表5，考量再生水水質、管材成本、使用年限及埋設環境後，本園區統一選用耐衝擊硬質塑膠管(HIW-PVC)作為中水道管材。

表5 中水道管材特性比較表

管材特性	高密度聚乙烯塑膠管 (HDPE)	玻璃纖維強化塑膠 (GRP)	聚氯乙烯塑膠管 (PVC)	自來水用耐衝擊塑膠管(HIW-PVC)
接頭型式	使用熱熔對接，施工時間較長(φ 300mm加熱、冷卻時間約需30~42分)。	套接式接頭，施工容易，具可撓性。	冷接承插式，施工容易。	冷接接合式，施工容易。
管壁光滑度	內部表面光滑，摩擦係數小。	內部表面光滑，摩擦係數小。	內部表面光滑，摩擦係數小。	內部表面光滑，摩擦係數小。
管徑mm	φ 40~400mm	φ 25mm~2400mm	φ 13mm~600mm	φ 13mm~400mm
管材長度	4m、6m	6m	5m、7m	4m、6m
耐腐蝕	耐酸鹼、耐腐蝕	耐腐蝕	耐腐蝕、不耐酸	耐酸鹼、耐腐蝕
抗外壓	抗外壓强度高、耐衝擊、耐重壓。	分為四級，抗外壓強度較低，需配合其他保護措施。	抗外壓強度較高，惟CNS並無抗外壓強度規定。	耐衝擊、耐強震性佳
施工容易度	容易	容易	容易	容易
價格	中	中	最低	低
市場供應	國產或進口，家數至少4家以上。	需進口，代理商家數2家。	國產，至少5家。	國產，至少5家
適用標準	CNS-2458-K3013 化學工業及一般用高密度聚乙烯塑膠管	CNS-11646-K3080 污水與工業用玻璃纖維塑膠管	CNS-1298-K3004 聚氯乙烯塑膠硬質管	CNS-14345-K3114 耐衝擊硬質聚氯乙烯塑膠管
管材特性	重量輕，水密性優，韌性大，剛性小，抗腐蝕性優、使用年限長、無毒性，接頭施工費時。	重量輕，施工容易，接頭少，水密性佳，抗腐蝕性優，抗外壓強度較差，需配合補強措施。管材單價適中。	重量最輕，施工容易，抗腐蝕性佳，價格最便宜，供貨普遍性高，韌性較差，抗震性較差。	重量輕，施工容易，電氣絕緣性佳，具高可撓性及水密性及耐腐蝕性。

三、放流水回收再利用效益

統整本園區污水經處理後再利用之具體效益，分別說明如下：

(一) 自來水使用量減少

台灣因降雨分布不均、河道坡陡流急，導致水資源無法有效貯存而屬缺水地區，故水資源極其珍貴。過往澆灌及洗街用水多使用自來水，惟其所需水質並不需達到自來水之水質標準，故本園區將經由污水處理廠處理後之中水，運用於澆灌及洗街，可有效減少自來水使用量，進而提高自來水資源分配效益。

(二) 水資源多元運用

傳統社會大眾對於廢污水之認知多如同廢棄物，無回收再利用之可行性，惟極端氣候及水資源開發日益困難，故相關主管機關相繼推行政策及宣導，應將污水視同資源放置在合適之位置，表6為本園區放流水多元運用標的及預估用量表，可看出放流水應用之項目及用量。本園區開發完成後，將可具體成為污水再生利用之案例，達成水資源多元運用之目標。

(三) 降低水環境影響

一般產業園區或科學工業園區之廢

表6 本園區放流水多元運用標的及預估用量表

放流水用途	園區開發初期		園區開發完成	
	中水需求量	再生水需求量	再生水需求量	中水需求量
澆灌用水	716	-	-	716
污水處理廠用水	8	-	-	14
洗街用水	41	-	-	41
沖廁用水	-	-	-	15
冷卻用水(含空調)	-	463	463	-
鍋爐用水	-			-
清洗用水	-			-
回收水需求量	765	1,249		
回收水供給量	631	1,030		

污水，經由污水處理廠處理後，放流水納入承受水體(如河流、海洋等)，藉由水體之自淨能力將污染物再削減，過程中仍局部造成水體污染負荷上升。本園區規劃將廢污水處理後全回收再利用，故未來無放流至承受水體之需求，可大幅降低水環境影響。

告「再生水資源發展條例」及相關子法，讓推動再生水利用具法源依據，包含政府補助、水價訂定及營運管理等均可依循辦理，目前國內已有鳳山溪污水處理廠之再生水利用案進行開發中，未來尚有其他開發案陸續推動，除可達到再生水量利用目標外，因再生水主要供應工業用水需求，將可大幅降低工業用水缺水風險，其效益將大於工業因缺水導致之損失風險。

肆、國內再生水利用推動展望

台灣地區雖降雨量豐沛，但因為地理環境因素，水資源蓄存不易，且近年來由於氣候變遷導致降雨頻率及降雨量之變化加劇，造成旱澇變異情形更趨嚴重，最終導致水資源供應不穩定。政府目前積極透過各種推動政策及方案，目的要將缺水風險降至最低，推動策略不外乎水資源開源及節流兩大面向，在水資源開源部份，除因台灣環境因素導致合宜之蓄水場所不易尋覓外，環保課題往往成為水資源開發推動最大需克服對象；而節流部份，具體推動政策包含：修法強制使用省水標章產品，以及耗水費的徵收等，希望可以將水資源作最佳化利用，將可能的浪費降至最低。

於水資源開發不易情形下，再生水利用就成為目前較具推動潛力的替代水源，我國已公

再生水利用的推動，除要有供給面、需求面及法規面支撐外，穿插其中重要角色為再生水相關產業的形成及發展，故再生水推動整體可視為供需問題、也是市場問題，有再生水需求，即會發展出相關產業鏈(膜技術、管線、組裝及操作營運等)，產業越蓬勃發展相對可降低開發成本，進而提高使用再生水意願。

新加坡與台灣同樣列為缺水國家，水資源問題甚至影響國家存亡，該國政府水資源政策朝「開源節流」推動，除向鄰國馬來西亞購水外，為防止購水合約到期及污染影響向馬來西亞購水之水源供應，其政府積極在國內開闢水庫或蓄水池收集地表逕流水、發展海水淡化技術，更回收都市污水經過薄膜處理後成為新生水(NEWater)作為水源之一。引用經濟部水利署分析新加坡推動經驗顯示，該國為確保水源自主供應，不遺餘力發展再生水與海淡水等公共



圖4 新加坡新生水(NEWater)展示中心

工程，提供國內外各類水務產業廠商之舞台；另據估計，在2010年至2020年十年間，亞洲水利水務基礎設施的市場規模達約4,000億美元，新加坡水務產業除支持其國內再生水發展需求外，部分能量更可輸出至他國，除可提高經濟產能外亦可隨時確保該領域技術之專業地位，足見再生水水務關連產業發展的重要性。

本文所提之產業園區再生水多元運用推動的案例，可視為政府辦理「公共污水處理廠放流水回收再利用推動方案」外進一步於產業用水之直接利用，開發完成後將成為國內再生水推動的重要里程碑。

參考文獻

1. 經濟部水利署，「水再生利用經濟效益評估模式研究(2/2)」，2010年。
2. 經濟部水利署，「我國水資源政策」，2012年。
3. 經濟部水利署，「再生水資源發展條例」，2015年。

4. 高雄市政府，「促進民間參與高雄市鳳山溪污水處理廠放流水回收再利用示範案之興建、移轉、營運(BTO)計畫先期計畫書」，2015年。
5. 台灣水環境再生協會，「水高級處理及再利用」，2016年。
6. 臺中市政府，「臺中市福田水資源回收中心放流水回收再利用推動計畫」，2016年。
7. 經濟部水利署，「啟動再生水產業引擎」公告訊息，2016年。
8. 內政部營建署，「公共污水處理廠放流水回收再利用推動說明會」，2016年。
9. 經濟部工業局，「經濟部2020年產業發展策略」，2016年。

稿約格式

一、文字：稿件應以中文或英文撰寫，中文及英文摘要以400字為限。

二、單位：所有含因次之量須採用SI單位公制。

三、打字：

來稿請使用電子檔（以Word編排）圖、文需以單欄橫向編排方式，共同排列在文稿內(過大的圖或表可以附件方式呈現)，論文之長度(含圖)字數限5-6,000字以內；左、右邊界2.5公分，上、下邊界3公分，內文字體為細明體12點字，行距為1.5倍行高。

四、題目／作者：

論文題目宜簡明，作者姓名、任職機構、部門、職稱、技師科別列於論文題之下方，其服務部門及職稱以1, 2, 3編號註記在首頁末，另附上作者之生活照高畫質之電子檔。

五、關鍵詞：在題目中須選出中文及英文二至四個關鍵詞，並置於作者姓名下方。

六、章節及標題：論文之章節標題須列於稿紙之中央對稱位置，且加編號。小節標題亦應加編號但必須從文稿之左緣開始，例

壹、大標題（齊頭）

一、中標題（齊頭）

(一) 子標題（齊頭）

1. 小標題（齊頭）

(1) 次小標題（齊頭）

七、數學式：所有公式及方程式均須書寫清楚，其後標式號於圓括弧內。為清晰起見，每一式之上下須多空一列。

八、長度：論文之長度(含圖)，內文以不超過6,000字或其相當之長度為準(以A4規格約8頁(含圖)計算)。

九、插圖與圖表：不論在正文中或圖裡本身，所有圖表、照片必須附有編號及標題或簡短說明，其編號請用阿拉伯數字，不加括號表示。如圖1、表2；Table 1、Figure 2，表的標題置於表的上方中間，圖的標題置於圖的下方中間。

十、符號：內文所有符號須於符號第一次出現時加以定義。

十一、參考文獻：

所有參考文獻須按其在文中出現之先後隨文註號碼於方括弧內，並依序完整列於文末；文中引用提及作者時請用全名，未直接引用之文獻不得出現。

參考文獻之寫法須依下列格式：

(1)期刊

林銘崇、王志成，「河口海岸地形變化之預測模式」，中國工程學刊，第六卷，第三期，第141-151頁(1983)。

Bazant, Z. P., and Oh, B. H., "Strain-rate effect in rapid triaxial loading of concrete," Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.108, No.5, pp.764-782(1982).

(2)書籍

張德周，「契約與規範」，文笙書局，台北，第177-184頁(1987)。

Zienkiewicz, O. C., "The Finite Element Method," McGraw-Hill, London, pp.257-295(1977).

(3)論文集

蔡益超、李文友，「鋼筋混凝土T型梁火災後彎矩強度之分析與評估」，中國土木水利工程學會71年年會論文集，臺北，第25-30頁(1982)。

Nasu, M. and Tamura, T., "Vibration test of the underground pipe with a comparatively large cross-section," Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, pp.583-592(1973).

(4)學位論文

陳永松，「鋼筋混凝土錨座鋼筋握裹滑移之預測」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南(1982)。

Lin, C. H., "Rational for limits to reinforcement of tied concrete column," Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, Texas (1984).

(5)研究報告

劉長齡、劉佳明、徐享崑，「高屏溪流域水資源規劃系統分析之研究」，國立成功大學臺南水工試驗所研究報告，No.53，台南(1983)。

Thompson, J. P., "Fire resistance of reinforced concrete floors," PCA Report, Chicago, U.S.A., pp.1-15(1963).



編後語

在慶賀台灣世曦10週年出刊「中華技術」第114期的同時，藉由各技術部門發表「脫胎換骨」的精進創新案例專題報導，闡述台灣世曦自中華顧問工程司轉投資公司化以來，在全方位專業技術開發所做的努力與蛻變，編輯成本期特刊。

這十年來台灣世曦的專業技術成長進步，深受各界矚目與肯定，唯有更加自我砥礪與虛心學習，期以運用新技術與環保的新思維，不斷的創新，精益求精，面對未來氣候變遷、地震天災日益嚴苛的挑戰，共同為提升國家建設的品質及防災功能等工程技術服務而努力，打造防災、永續發展的環境，引領國內工程產業日益卓越並邁向全球化。

由衷感謝各專題論著作者，於公務忙碌之餘，撥冗精心撰寫專文，提供實務經驗以饗工程同業與「中華技術」友好讀者，尚祈各界賢達惠予指教。

附記：

- 本刊於每年一、四、七、十月份以季刊方式發行，來稿請備紙本稿件一式三份及原稿電子檔，以掛號郵寄台北市11491內湖區陽光街323號10樓，台灣世曦工程顧問股份有限公司／企劃部轉『中華技術』編輯小組收。
- 115期中華技術專輯主題／**跨越時空的真實感動—工程的力與美**
出刊日：2017年7月31日

 **財團中華顧問工程司**
CHINA ENGINEERING CONSULTANTS, INC.

台北市10637辛亥路二段185號28樓
28F., No.185, Sec. 2, Sinhai Rd., Taipei 10637, TAIWAN
Tel: (02) 8732-5567, Fax: (02) 8732-8967, <http://www.ceci.org.tw>