

中 | 華 | 技 | 術 | 127

CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

2020. 7. 31 出版

軌道建設的 環境改善與融合



台北郵局許可證
台北字第3758號

專訪人物／

桃園市政府捷運工程局局長陳文德

臺中市政府交通局局長葉昭甫

前高雄市政府捷運工程局局長范揚材

臺鐵潮州新機廠—兼顧環境永續並發展觀光

融合城市生活、交通與休閒的跨站大平台車站規劃

研析捷運三鶯線高架車站防風雨規劃、設計與驗證

鐵路高架橋減振降噪防制設計與成效評估

臺中捷運綠線卵礫石層擋土與開挖工程設計及施工經驗回饋

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

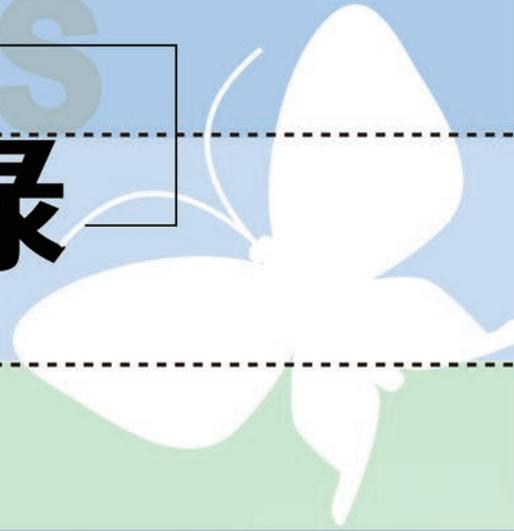
An aerial photograph of a modern transit station. A blue and white train is stopped at the platform. The station features a large, glass-enclosed walkway with a blue-tinted roof. In the background, there are several tall, modern buildings with glass facades, surrounded by greenery and a clear sky. The overall scene is bright and futuristic.

軌道建設的 環境改善與融合

CONTENTS

中華技術 127

目錄



專輯前言

1 | 人物專訪

- 6. 訪桃園市政府捷運工程局局長陳文德談「桃園捷運的推動及發展」...整理：倪睿謙·攝影：詹朝陽
- 18. 訪臺中市政府交通局局長葉昭甫談「臺中捷運的推動及發展」
.....整理：陳威仁·攝影：詹朝陽
- 34. 訪前高雄市政府捷運工程局局長范揚材談「高雄捷運的推動及發展」...整理：許朝榮·攝影：詹朝陽

2 | 工程論著

- 50. 新北捷運推動方式與階段成果回顧—兼談捷運與環境融合.....李政安



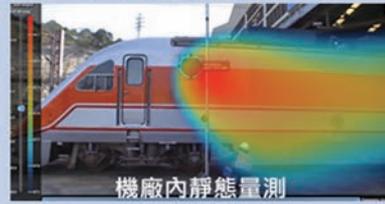
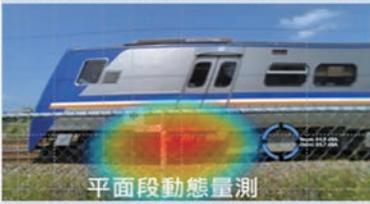
發行人 林陵三
主任委員 陳茂南
發行所 財團法人中華顧問工程司
地址 台北市辛亥路二段185號28樓
電話 (02)8732-5567
網址 <http://www.ceci.org.tw>

編審工作小組
總召集人 施義芳
副總召集人 李順敏
127期召集人 陳幼華
127期審查委員 林建華、何泰源、劉國慶、曾榮川

總編輯 張鈺輝
副總編輯 李志宏
執行編輯 袁雅玲
編輯 詹朝陽、吳妍瑱、李綺馨
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.ceci.com.tw>

◎ 經刊登之文章，文責由作者自負 ◎





3 | 專題報導

76. 鐵道技術研究及驗證中心—推動人本、綠色、安全、智慧及國產化的軌道產業.....劉開成、郭健仁

90. 臺鐵潮州新機廠—兼顧環境永續並發展觀光.....何泰源、耿則中、梁太隆、邱學章、簡聰吉

108. 融合城市生活、交通與休閒的跨站大平台車站規劃.....劉國慶、蕭勝雄、范聖堂、張格維

120. 研析捷運三鶯線高架車站防風雨規劃、設計與驗證.....李政安、林逸羣、洪熙佳



148. 鐵路高架橋減振降噪防制設計與成效評估.....彭知行、王聰貴、林彥君

162. 捷運軌道系統之減振降噪措施暨浮動式道床之分析與設計.....洪振發、林建華、詹宏義、段隆翔



174. 臺中捷運綠線卵礫石層擋土與開挖工程設計及施工經驗回饋.....蔡淵堯、林中勇、顏君行、許琍婷

4 | 特稿

190. 影像式智慧橋梁檢測作業系統之開發.....饒見有、詹鈞評、蔡欣局、周姿良、王瑞麟

編後語



專輯前言

近年來政府積極推動前瞻軌道建設計畫，軌道運輸儼然已成為國內整體大眾運輸系統的骨幹，為落實綠色運輸、以人為本的交通政策，其規劃設計除須滿足民眾對生活的便捷性與安全性之基本要求外，同時也要由人本及永續的觀點，加入符合環境保護與生活優質的元素，以營造一個低碳運輸永續經營的環境。

此環境就內部而言，涵蓋了各個不同的專業領域：路線線形、軌道及其支撐結構、機電系統、水電環控、廠站配置、動線規劃、建築景觀、公共藝術、環境大地等等，各專業的設計無不以綠色建築、節能減碳的議題為導向，從軌道建設的全生命週期來思考，如何優化內部環境，以提升服務品質、型塑美好生活、增進營運效率、減少維修成本。

就外在環境而言，則泛指軌道建設的週圍居住環境，是民眾生活起居最關注的議題，雖然軌道建設給區域環境帶來了繁榮與便利，但也可能引來負面的衝擊，其相關議題包括：施工中的交通維持、噪音振動、空氣品質、地層下陷，地下水流失、邊坡滑動、建物保護、古蹟留存等。無論在施工或營運期間，如何使軌道建設對其週遭環境的影響降到最低，避免民眾抗爭，是位居第一線的軌道從業者常常遭遇的棘手課題。

因此，「精進軌道技術，提升環境品質」一直是我們致力於軌道研發的圭臬，研究成果也不吝對外發表。本期中華技術即以「軌道建設的環境改善與融合」為專輯，探討各項軌道建設計畫的執行，如何兼顧環境的融合與永續，以達成共生共榮的目標。

新北市的捷運屬大台北都會區捷運系統的一部分，亦是繼北高兩市路網越趨完整之都市，本專輯特邀請新北市捷運局李局長正安執筆撰寫「新北市捷運系統推動方式與階段成果回顧」，以了解新北市再推動捷運建設，完善交通運具的同時，如何還能兼顧「環境永續與融合」。另亦以新北市三鶯線高架車站為例，呈現捷運高架車站月台如何在設計上既要考慮通風，又要避免飄雨淋濕候車旅客，此頗令設計者面臨魚與熊掌兼得之困境，是如何透過實際體驗研析而達成。

臺鐵潮州新機廠被定位為一個兼顧環境永續並發展觀光的現代化機廠。廠區整體建設採用公共藝術為概念，以景觀設計為手法，讓機廠成為田園景觀的一部

份，再將意象延伸至廊帶，共同表現具觀光特色與地景藝術之鐵道設施。除依需求適當的配置廠房，以達到簡單、順暢、有效率的功能外，基地的規劃還設有徒步生活區、生態保育地及綠帶緩衝區等，營造出一個綠意盎然充滿生機的機廠環境。

新竹火車站透過城市發展紋理，引進跨站大平台的規劃構想，仿效信義區、新板特區興建高架天橋，串聯車站及周邊重要商業設施、客運轉運站及輕軌站(計畫中)，使新竹站成為區域重要的交通樞紐節點。旅客能在大平台上，一覽百年古蹟新竹車站的鐘塔和舊月台，完工後將成為一個結合觀光，生活、交通與休閒的景點，以吸引更多的旅客到訪，也避免因鐵路地下化或高架化所產生的土地徵收和民眾抗爭問題。

有關軌道的噪音振動問題，一直以來常常是民眾抗爭的主要訴求，尤其是來自毗鄰高架段的住家。台灣世曦結合產學界致力於減振降噪的研究不遺餘力，本專輯特別收錄了兩篇此方面的文章，針對噪音振動的防制議題，展現研發設計的成果，與讀者分享。

台中地區大樓的地下室深開挖，因應卵礫石的地質環境，曾經發展出各種不同的擋土工法，最後只剩人工擋土柱獨領風騷。然而，對於臺中捷運綠線各車站土開大樓，地下室開挖深度達25m以上，人工擋土柱已然無法應付，我們提出半圓形全套管擋土柱工法，克服施工困難，達成臨近建物保護，又兼顧土地開發最大面積之效益，為台中地區深開挖擋土開創新猷。

誠如以上所述，軌道已融入民眾的生活環境，期待本專輯的出版，能夠引起讀者朋友們的共鳴，共同來關注軌道建設，您的意見與指教，將促使世曦更向前邁進，為改善我們的居住環境盡上一份心力。



台灣世曦工程顧問股份有限公司

副總經理



訪桃園市政府捷運工程局局長

陳文德



桃園捷運的推動及發展

整理：倪睿謙 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

陳文德局長畢業於國立中央大學土木工程學系研究所，於桃園縣政府時代，曾任工務局技正、桃園縣政府水務局主任秘書、桃園縣政府工務局副局長。桃園市升格直轄市後，曾任桃園市政府交通局副局长、桃園市政府經濟發展局副局长，至目前擔任桃園市政府捷運工程局局长。

陳局長上任以來，深自期許以建設大桃園捷運路網為其理想志業。初期目標為辦理已核定之捷運綠線建設計畫招標及施工，使其如期如質完工通車。中期目標為依據三心六線捷運路網規劃，逐步推動捷運棕線、三鶯線延伸八德、捷運綠線延伸中壢及桃園鐵路地下化等。長期目標將持續檢討桃園市第二期之捷運路網規劃，並配合其他大眾運輸工具之接駁路線，來建構完整之運輸網路。

桃園市政府捷運工程局成立迄今雖僅3年，但在局長卓越領導之下，桃園綠線4個巨額統包案順利發包執行中，棕線、綠線延伸中壢及三鶯線延伸八德計畫之可行性報告陸續獲中央核定。並獲得2019國家卓越建設獎，包含：①臺鐵林口線路廊活化優先段工程榮獲最佳環境文化類-公共工程與都市空間類優質獎；②桃園市歷史建築「桃園車站舊倉庫」修復及再利用工程贏得最佳環境文化類-文化資產修復保存再利用類金質獎。局長不僅孜孜於推動軌道建設，以期早日完工通車；更致力使軌道建設與環境文化融合，為桃園打造一個綠色運輸永續經營的世外桃源。

貳、訪談紀要

問：「軌道建設者對環境的改善與融合」，是本次訪談的主題，環境的改善包括對既有建設設計內部改善及外部改善。如高架車站防潑雨設施檢討，噪音檢討，以浮動式道床降低振動，改善了捷運設施成效，也對環境做些改善。但對環境的真正改善是「融合」，針對「軌道建設者對環境

的改善與融合」，桃園都會區捷運是否有其特別的規劃或執行想法。

答：「軌道建設者對環境的改善與融合」這個議題，對台北市而言，捷運建設已經營運多年，漸漸成為台北市都市生活之一部分，但對新北、桃園、高雄、台中、台南等剛擁有或未



來將擁有捷運建設的都會，就相對重要。其實一個都會區要轉型，從外觀、周邊環境，軌道建設給城市甚麼樣的素材，未來便會形成甚麼樣永久的功能、機能，帶來相對應的變動，產生非常大的一個差異性，我們也常常到國外去看所有的捷運建設案例，有的規劃的很好，有的規劃的比較不完善，或許於建設之初，也是為了因應當地的環境而產生的成果。

對於「環境的改善與融合」，桃園捷運綠線採統包模式興建，從興建開始，就納入思考，以現桃園綠線G04站做的聯合開發大樓為例，便以將其塑造成微型城市為概念，進一步就是一個供跟需的議題，供應的部分除了考量現有的需求外，必須先跳脫思考，考量未來這個區域想要有甚麼樣的願景，所以在規劃設計的時候須先將這些考量的元素放進來，既然是為了吸引更多台北跟新北的人來桃園工作或定居，必須先創造這個區域的機能，由聯合開發中政府部門可以分一些樓地板面積回來，就可利用公共部分來建設公共服務設施，因為希望來這邊住的人，上班的時候到捷運站托幼托老都可以，接著直接到台北市上班，下班的時候接到小孩，旁邊超級市場東西買一買，然後坐短距離的轉乘，就可以到家，甚至思考在這個區域裡面，除了供托之外，是否可能也會在加一些小型的醫院、診所，對於聯開大樓上面有住宅，但下面有健檢或診所，不舒服找醫師看



(左)陳文德局長

診，或作轉診大型醫療機構之判斷，導入類長照的觀念。其實就是想要把整個生活機能都帶到捷運場站，並與環境融合。以車站區為微型城市的概念，帶動整個區域的發展，利用捷運站地下連通，也可以不用再走到外面的大馬路，整個就都可以把它結合起來，包含一些社福的機構也全部都在，也把城市立體化。

從這個概念出發，請我們的同仁去思考，每一個車站的定位都要不一樣，而一個捷運



(中左3)陳幼華副總經理 (中)林建華資深協理 (中右1)蔡榮禎經理 (右2)倪睿謙副理 (右1)徐東隆科長

站的距離也就800至1000公尺遠，捷運的定位就要變得非常清楚，要不然機能會一直重複，每一站我們會去思考這站區周邊環境的需求來納入規劃議題討論，車站提昇機能也間接增加運量，每一站都有其不同需求及相對的建設特色，用捷運去串聯拓展一個活動區域。所以就目前桃園綠線設計施工執行上，我們要求所有顧問公司，須把每一個站體的聯合開發案所有的產品都要先定位出來，因為產品定位出來之後，未來發展下去才不會走偏。

此外，在場站建築設計理念上，除了與環境互動外，建築融合的首先是著力於色調融合，因為捷運是百年建設，捷運蓋好了，要跟周邊環境色調融合，不能說蓋好的捷運設施以一個很不和諧顏色矗立在那邊。另外，用顏色跟環境調和，當環境本來就很無趣時，可利用個顏色讓空間產生一個特色，所以與環境融合，在論述上會有不同的思維，不能只以建築師或建商的角度來看。



捷運興建，其實是一個城市再造的機會，如果說結合都市計畫可以做得更好，不是只有「點」的串聯，而是整個「面」出去，可以活絡整個桃園市。

至於在捷運的主管機關之立場範圍，應該給這些捷運開發站更高的容積。不應該只局限於最小開發面積，局限場站的開發性。開發必須思考在地的各種環境因素，每一站為都會不一樣，考量整體的需求性、市場性，才是對「環境的改善與融合」，以至永續經營，這個才是未來最主要的主軸。

問：整個軌道運輸有兩種方式，一種是都市開發產生軌道運輸建設需求，另一種軌道運輸先建設來開發帶動城市發展，就現況桃園捷運中有機場聯外捷運線，興建中有機場聯外捷運線延伸中壢及桃園綠線，規劃中有桃園綠線延伸中壢，以桃園都會區及航空城的發展，軌道運輸與經濟發展之互動為何。

答：桃園市由於產業發展快速，又為國際機場所在地，所以人口逐年明顯增加，平均一年人口增加約4萬人，依據內政部統計處資料，桃園市是全國人口增加最快之縣市，截至民國109年3月底，人口數已達225萬人，增長率亦

為全台第1；另至民國109年3月底，桃園市人口平均年齡約為39.02歲，為六都最年輕；由於人口及產業群聚發展與繁榮，桃園的年工業產值將近3兆元，佔全國營收17.4%，但隨著經濟快速發展，機動車輛持續成長，道路交通負荷日益沉重，長此以往，勢必影響都會區未來都市及產業之發展，降低競爭力，借由軌道運輸與經濟發展之互動是必要的。而桃園的軌道建設將分為二大階段推展：

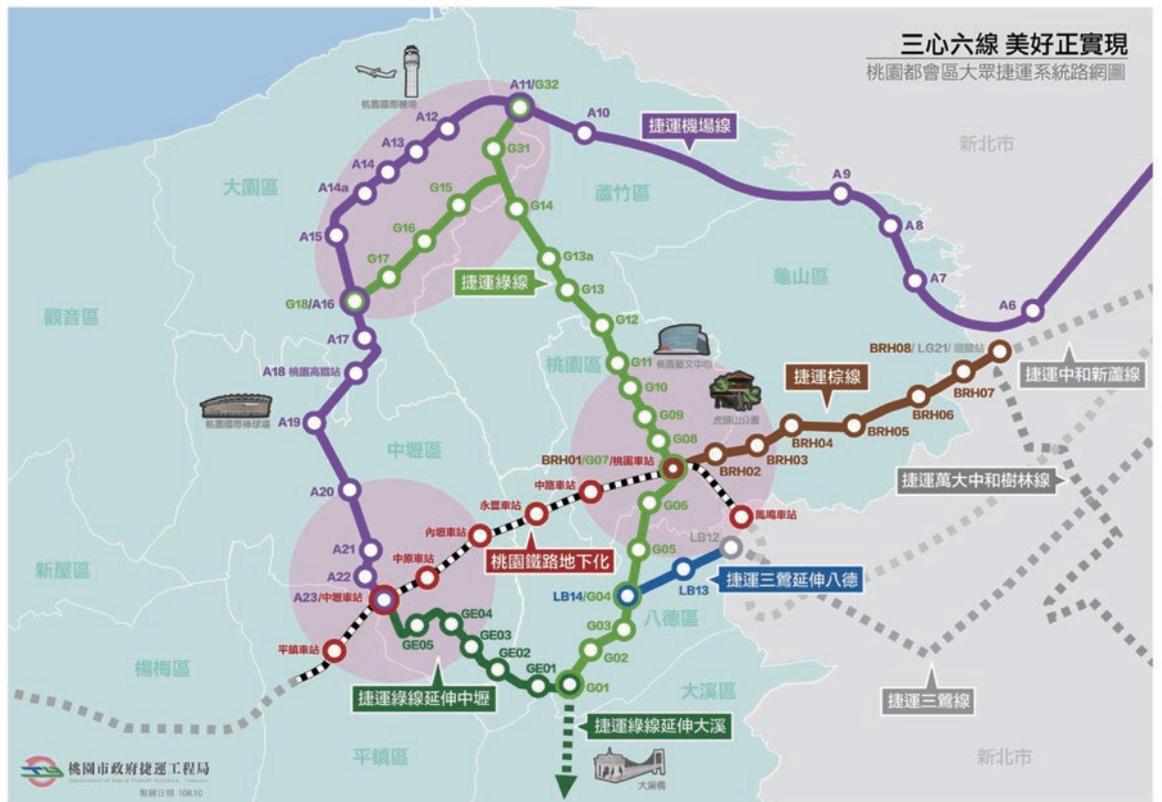
第一階段「三心六線」捷運路網：航空城都市計畫已在107年3月27日經內政部審查通過，因此桃園市未來發展將有三大都心，分別為桃園、中壢及航空城。在此都會急遽發展之際，整體交通運輸必須及早規劃建設，以因應未來運輸成長需求，方能提升整體大眾運輸效能與使用率。因此104年桃園市政府規劃由捷運機場線、綠線、棕線、綠線延伸中壢、三鶯線延伸八德及臺鐵地下化等「六線」所串連的軌道系統，連結航空城、桃園及中壢「三都心」，並藉由捷運機場線、捷運棕線及三鶯線，與大台北都會區捷運系統形成便捷的北北桃捷運系統，使臺北都會區30分鐘可達的便捷捷運路網生活圈得以向外擴張，成為50 km半徑、1小時可及的北北桃軌道生活圈。

1

人物專訪



陳文德局長說明第一階段「三心六線」捷運路網



桃園第一階段「三心六線」捷運路網圖

第二階段延伸至「三心」周邊次核心區域：考量三心六線所形成的捷運路網，在主核心與次核心間的連接仍不直捷且耗時不便，周邊都市發展亦受到限制，為提升「三心」與周邊次核心間之交通便利性、營造都市與鄉村共同生活圈、促進周邊都市發展和土地利用及提升大眾運輸使用率，故本局於107年辦理「桃園都會區捷運系統路網評估暨分期發展計畫」，在第一階段「三心六線」捷運路網架構下，並配合桃園市國土計畫，人口成長、旅運需求、產業規劃及都市發展，以民國140年為規劃目標年，推估未來運量，規劃原則採輕軌系統，

並以「三角蛛型路網」串連次核心，增加路徑選擇及轉乘站點，將軌道運輸服務延伸至「三心」周邊次核心區域。

以桃園捷運綠線為例來看，基本定調是航空城聯外捷運系統，又稱作航空城線，路線經過航空城、桃園、八德、蘆竹，主要的考量在於：第一考量桃園的人口密度已經太高，所以希望把這一部分人口帶到外面去，第二考量未來的產業會有發展，本身定位很清楚，有產業鏈、服務業，所以未來透過機場捷運線、捷運綠線會吸引相關的產業或人口，捷運綠線會



桃園第二階段捷運路網圖

帶動那邊的發展，所以尚未發包的桃園綠線GC04標(屬航空城區域路段)啟動的時機就很重要，必須配合航空城的發展期程才有建設意義。

現在直轄市政府都要做國土規劃，若於國土規劃的時候能把捷運建設期程、工序甚至用地需求納入整體思考架構，後續軌道建設執行上將減少很多風險產生，如捷運機廠用地難尋獲，路線行經路寬不足，興建與經濟發展期程落差等等。

問：桃園正在執行三心六線路網興建，無障礙議題是重要的，目前捷運系統常是系統內無障礙，系統外處處都是障礙，出了捷運站，不管是到家、到上班辦公室或到活動的點，那最後一哩路是非常重要的，提供市民安心的讓小孩老人都可以很輕鬆的使用捷運站，所以台北才有所謂的「路平計畫」、「騎樓整平」，是否有列入考慮。目前桃園正執行這樣大面積的規劃，面對城市發展的情況下，規劃執行構想為何。



答：最後那一哩路的無障礙設施的平順，執行上不僅需要捷運局、都發局、交通局的合作，各機關部門之間均要相互整合及分工，最後那一哩路的無障礙設施才能完成，在規劃面上需通盤考量，例如法規的規範限制坡道有規定1/12，建築線退的不夠多，坡道根本就做不出來，所以從市府來看是一個介面的整合，就算建築線退的足夠，但相連基地的高程沒有控制，還是沒有辦法完成，這就會是一個問題，以前縣府時期尚未對基地的高程作控制，所以可以發現桃園的騎樓高高低低；在執行面上，例如，騎樓的部分可能是工務局要去執行，至於捷運站內部包含我們所退縮的站體，捷運局都可執行。

其實環境無障礙是一個重要議題，尤其輕軌規劃，因為輕軌的重點就是環境界面融合，利用道路現有的空間去做站體，所以就環境無障礙就執行面上來看，是很值得嘗試的，但真的要達到完全環境無障礙，其困難度相當的高，牽涉範圍及層面相當多，執行上可先以一個站體週邊500公尺為一個範圍規劃，循序漸進，否則牽涉影響範圍過大，反倒造成執行的阻力。

另一個要討論的議題，這最後一哩路所使用的載具到底是摩托車、公車、腳踏車還是人，例如，我們台灣現在交通最大的致命傷是

機車，因為東南亞氣候好，騎機車反而是舒適的，機車的使用性就變很高，在台灣剛好介於使用性高、使用的人口也多，交通局協助規劃出來這個區域內所產生機車停放區域，便可解決機車停靠議題。都市計劃應該將這些訴求納入，納入後間接也會提升整體捷運運量，現在摩托車普遍用電，未來的趨勢都是電動車，租用也成為一個趨勢，如iRent、WeMo、Goshare，未來的站體中，都要去考量規劃提供業者設置充電站的方向，甚至在用地的許可下設置租用區。

此外，現在的ICT(資訊與通訊科技)產業非常的發達，對我們現在捷運站的規畫，應該多利用這一方面的技術，可以提供更智慧化的服務，包含偵測、人流的疏散，轉乘需求，停等車需求，都可以利用。導入ICT這一方面台灣的技術未來不僅是主流趨勢，其使用涵蓋範圍將會越來越大且越來越多樣化，相關興建時各系統需求亦需納入作較前瞻式的思考，如介面整合預留或可供給之電量需求。

問：機場捷運A21到A23後續路段延伸機電系統建設執行很困難，整體路網規劃的時候，甚至於綜規階段便需要討論到下次路網的擴增、更新及配套措施，這部分桃園是否有一些想法，以避免後續延伸產生的問題。



桃園軌道願景館



答：以綜合規劃去產生一條新的路線，應該是從整體都會路網營運計畫出發，先有一個上位的策略，再思考新的路線或路廊會對營運產生的變化，行控中心設置位置，營運成本的需求，都該整體性考量與規劃。至於採購順序及數量，也需整體考量，以目前採購模式，需要在前階段契約還沒有到期前增購。

未來桃園的路網的初期路網是三心六線，主要概念先以桃園市形成一個網狀，由此路網的整體營運計畫作為上位計畫，往下分析規劃未來整個路網需求及車輛數。機場捷運線、桃園線到中壢就會變成一個環線，此外，與大台北捷運連繫的路線有機場捷運線、棕線及三鶯線。

考慮桃園市的未來，後續可能推的就是輕軌，如棕線目前便是先定調成輕軌，因其運量位於輕軌的上限跟中運量的下限，既然中運量跟輕軌都取決於人口密度，用人口密度去轉換成運量，再配合整體國土計畫更新，人口如何移動，帶動到哪個地方，捷運線是一個帶狀，能把一邊已經發展且人口密度較高的地區慢慢的去帶動到新的開發區域。

接著便需思考輕軌的行控中心位置規劃，三級、五級機廠位置規劃及是否共用，都先行整合定調整體的營運需求，再行進行規劃採

購策略，避免未來在各別路線進行綜合規劃工作，又重覆面臨相同的問題。這樣對整個軌道建設的推動，會比較有助益。



桃園機場捷運A13車站

問：目前北中南各都會區捷運所採捷運機電系統多不相同，所以在機電系統維修上造成人員及設備成本相當可觀，過去曾有建議推動捷運車輛維修中心，使維修集中區域化的，關於此議題看法如何。

答：關於維修集中化、區域化，是一個好的構想，其實以台灣而言，南、北各一處五級維



(左1)倪睿謙副理 (左2)林建華資深協理 (左3)徐東隆科長 (中)陳文德局長 (右2)陳幼華副總經理 (右1)蔡榮禎經理

修中心即可，亦有利於政府國車國造的政策推動，先從維修維護區域化，組件盡量標準化。以維修資源、人力及技術來看，北捷具備自己作業能力，但新北捷運公司、桃園捷運公司、高雄捷運公司、台中捷運公司，他們是可以省下很多的人力成本。

以就技術經驗觀點，可以傳承下來，由維修不同系統的設備，可以增長累積經驗，人才也可以一直保留下來，有了技術經驗，就能慢慢地開發本土的維修軟硬體，甚至零件，甚至開發出市場，至於推動維修區域化同時，最理想狀況，則在路線規劃要思考各個捷運系統間維修過軌。

後記

感謝陳文德局長於百忙之中撥冗接受本刊專訪，讓我們得以由一位深自期許軌道建設推動者的訪談中，勾勒出一個蓬勃發展中城市的綠色軌道建設藍圖，現在不僅看見「三心六線」中的第一條機場捷運線已通車營運，而機場捷運線延伸中壢及桃園綠線也正施工中，相信不久的將來，軌道建設藍圖將會一一付諸實現。對於身為工程顧問業的我們，除有幸參與其中，亦應不斷自我精進提供心力與無限創意。



訪臺中市政府交通局局長

葉昭甫 博士

談

臺中捷運的推動及發展

整理：陳威仁 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

葉昭甫局長為東巴黎大學經濟、管理與區域研究學院博士、法國國立橋梁道路學院與巴黎第12大學運輸工程學系碩士及國立臺灣科技大學營建工程所(結構組)碩士，歷經逢甲大學運輸與物流學系副教授、助理教授、臺中市政府交通局專門委員、交通部公路總局公共運輸發展辦公室專案經理、臺灣大學政治系博士後研究、法國國家運輸研究院運輸經濟與社會部門研究工程師及助理研究員等職務，學識豐富經歷完整。於民國107年12月25日奉臺中市盧市長指派，擔任臺中市交通局局長。

葉局長兼具交通及營建專業，有極強的協調整合能力，以其完整交通工程實務歷練與淵博學識，帶領臺中市交通局推動大臺中軌道運輸骨幹、幹線公車電動化及發展智慧運輸系統(ITS)等交通政策，以「安全、人本、綠色」作為核心理念，建構大臺中複合式交通運輸系統，讓臺中成為宜居生活的首選都市。自局長上任迄今，臺中市的交通建設成果已卓然有成。本刊特別訪談臺中市交通局葉局長，分享這方面經驗供大家參考。

貳、訪談紀要

問：臺中第一條捷運綠線今年即將通車，除了捷運綠線外，未來大臺中地區(縣市合併)捷運路網藍圖為何？後續是否會有優先推動的路線？市府所勾勒出的都市願景為何？

答：綠線通車一直是台中市民眾的期待，目前臺中捷運路網之願景以二十年來預測，包括：捷運綠線(預計109年年底通車)、臺鐵高架化(已完成之臺中區域)、捷運藍線(綜合規劃中)以及機場捷運(可行性研究中)等為短期可期望之捷運藍圖。

目前臺中優先推動的捷運路線，為正在進行綜合規劃的捷運藍線；此外，尚有可行性研究中的機場捷運線，它是除藍線之外很有訴求力的一條捷運線。行政院所核定之「臺中國際機場2035年整體發展計畫」屬於一個中長程的發展計畫，預計2035年清泉崗機場的服務人數達到1,000萬人次，所以我去年拜訪民航局的林國顯局長，討論有關臺中清泉崗機場的未來發展，及臺中機場捷運如何搭配相關之發展計畫時程。

近年台灣受少子化的影響，導致人口成長緩慢，但臺中市的人口每年還是有一到兩萬的人口在增加，然而臺中在軌道建設的發展比起



其他城市還是偏慢一點，造成多數民眾仍然大量使用汽機車運具。過去這十年來，臺中市政府投入很多資源在做大眾運輸相關的服務，可是目前搭乘公車的民眾，卻大多仍以學生、銀髮族及無其他替代運具的人為主。

中部地區以類似臺北都會蛋黃區的邏輯，作為都市發展的結構，隨著近年臺中市的基礎建設慢慢地完善，台74線快速道路的完整化，吸引外圍城市如：彰化、南投及苗栗的民眾，慢慢地往臺中集中。

問：臺中第二條捷運捷運藍線正進行綜規，未來透過捷運藍線之串連後，是否有相關的開發構想？以進一步活絡臺中港周邊之臨港產業，將臺中港生活圈提升為海線副都心。另一方面，其周邊的沙鹿車站是否有如臺中車站大平臺的整體規劃，以發展成兼具交通、商業、休閒等機能之大型轉運中心？

答：臺中市在第二條捷運尚未出現之前，臺中市將利用鐵路高架化、捷運綠線，以及搭配五條幹線公車計畫等，構成臺中市未來短期的大眾運輸服務路網。

臺中市的幅員與新北市差不多，新北市



(前左2)林建華資深協理 (前左1)劉國慶協理

的公車路線約有320條路線，平均一條公車路線約17公里；臺中市約有230多條路線，平均一條公車路線長度約21.9公里；臺北市約有近300條路線，平均一條公車路線約14.4公里，由此可知臺北市的公車路線密集度較高，而臺中市的公車路線長度較長，其主要原因為臺中縣市合併後，臺中市成為核心結構，所以大部分的公車路線，都會經過臺中火車站周邊，為了服務舊縣區的民眾，將既有的公車路線往外延伸，因此造成公車路線越變越長，越往舊縣



（後右3）陳威仁正工程師（後右2）蔡榮禎經理（後右1）陳幼華副總經理（右）葉昭甫局長

區的人就較少人搭乘公車，令公車的效率變差。

臺中市政府近年來也很努力在提升民眾搭乘公車的意願，辦理公共運輸補助計畫，刺激民眾搭乘公車的運量，預計未來會對公車再做一些適度性的調整，增加誘因以吸引機動車輛使用者。大眾運輸要提供的就是穩定及高效率，這是未來要推動的5條幹線公車計畫所要達成的目標。

過去臺中於胡市長及林市長時代，曾提出各種轉運中心，例如：水湳、烏日、臺中、豐原、沙鹿、霧峰、大甲、朝馬轉運中心等的相关規劃。但轉運中心是有層次分別，也必須要因地制宜，如何有效透過轉運節點提升運輸效率，並創造人流匯集，導向商業經營，使得財務可以永續。我們首先先從務實面來探討四個短期較重要的轉運中心：豐原、臺中火車站、水湳及烏日，這四大轉運中心就等於在臺中市的四個角，屬於台74線生活圈的範疇，未來皆



須與軌道運輸串接，才能使它們的轉運功能達到最大化。

一、豐原轉運中心

豐原轉運中心去年開始動工，未來將與臺鐵串接。它的區域營運對象就是針對臺中市的山城，如：石岡、東勢及和平等地區。未來民眾要去這些地區，可直接到豐原轉運中心再轉車抵達。

二、臺中轉運中心

臺中大車站計畫與臺鐵串接，且連接未來的捷運藍線及機場捷運等軌道系統。臺中轉運中心的區域營運邏輯為：①往南服務太平、大里、霧峰等地區；②往西可服務西區、中區、北區、西屯區等市區的民眾。經統計經過臺中火車站的公車路線約有100條，未來公車路線還會搭配捷運路線進行調整與檢討。

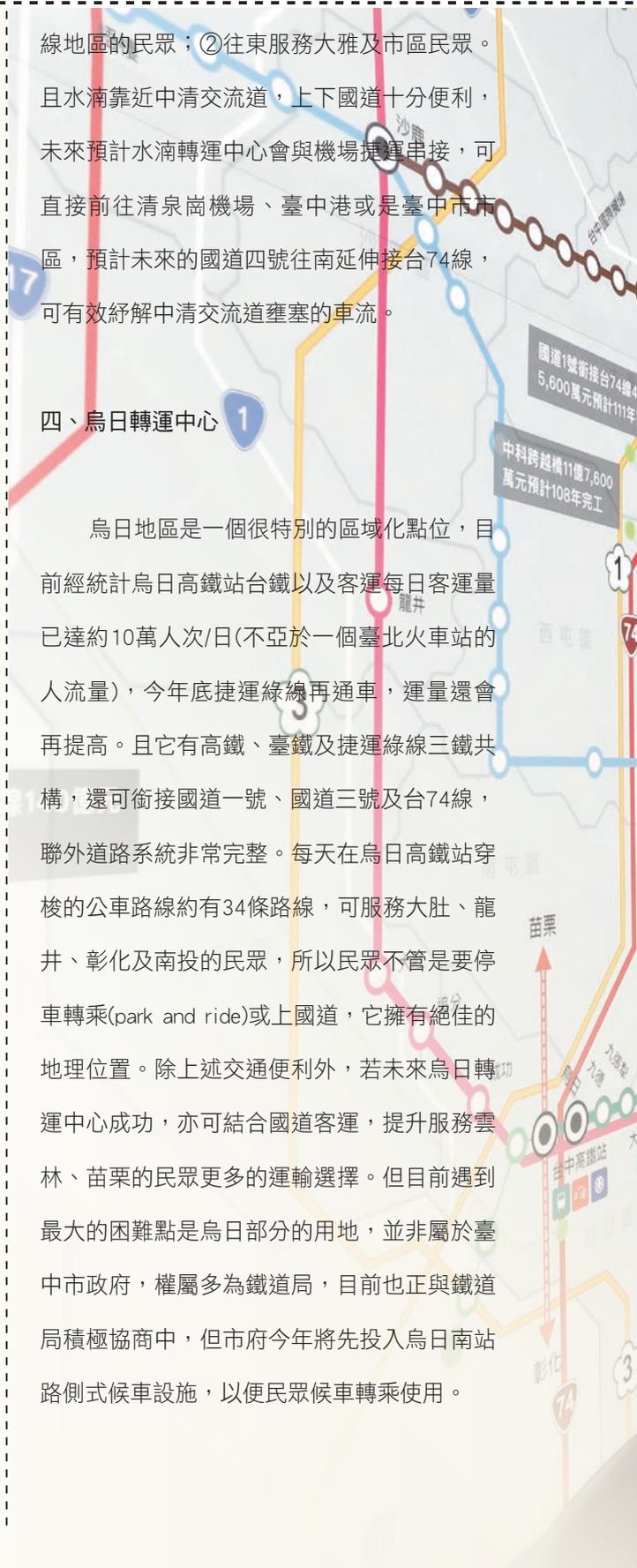
三、水湳轉運中心

水湳經貿園區為整體開發，有部分水湳地區之土地屬於臺中市政府，目前正在興建中的基礎建設，包括：國際會展中心、綠美圖、博物館等設施。水湳轉運中心目前正進行細部設計，其區域營運邏輯為：①往西服務臺中港海

線地區的民眾；②往東服務大雅及市區民眾。且水湳靠近中清交流道，上下國道十分便利，未來預計水湳轉運中心會與機場捷運串接，可直接前往清泉崗機場、臺中港或是臺中市市區，預計未來的國道四號往南延伸接台74線，可有效紓解中清交流道壅塞的車流。

四、烏日轉運中心

烏日地區是一個很特別的區域化點位，目前經統計烏日高鐵站台鐵以及客運每日客運量已達約10萬人次/日(不亞於一個臺北火車站的人流量)，今年底捷運綠線再通車，運量還會再提高。且它有高鐵、臺鐵及捷運綠線三鐵共構，還可銜接國道一號、國道三號及台74線，聯外道路系統非常完整。每天在烏日高鐵站穿梭的公車路線約有34條路線，可服務大肚、龍井、彰化及南投的民眾，所以民眾不管是要停車轉乘(park and ride)或上國道，它擁有絕佳的地理位置。除上述交通便利外，若未來烏日轉運中心成功，亦可結合國道客運，提升服務雲林、苗栗的民眾更多的運輸選擇。但目前遇到最大的困難點是烏日部分的用地，並非屬於臺中市政府，權屬多為鐵道局，目前也正與鐵道局積極協商中，但市府今年將先投入烏日南路側式候車設施，以便民眾候車轉乘使用。





2019 DRIVE+

臺中市政府

1
人物

臺中市

葉昭甫局長說明臺中捷運規劃



問：以捷運運輸為骨幹之大眾運輸路網，是否在市區公車運輸或綠色運具(接駁系統中的所謂最後一哩路)方面，市府有甚麼發展理念和願景？

答：臺灣的公路規劃源自美式思維，但城市卻是歐式的結構，所以我們的城市非常小而美，道路不是很大，人口卻非常密集。過去我們在學習交通規劃或是工程設計時，主要是引用AASHTO(美國國家公路與運輸官員協會)相關的規範及法規，它主要的邏輯是流量(Volume)與容量(Capacity)，就是所謂的V/C(服務流量/容量比)問題，車輛愈多道路容量就要越高，即路變寬變多，可是這件事成立的唯一條件，就是需要有足夠的土地。

臺灣近年來步入老年化社會，因應銀髮族的需求，設計上政府責無旁貸，如何讓民眾無障礙且有效率的進出捷運站，是很重要的課題。妥善規劃最後一哩路，以大幅吸引民眾去搭乘捷運設施，有以下構想：

一、路權道路分配

臺灣多數縣市的舊都市計畫，其實沒有預留足夠的退縮地。它們的人行道寬可能僅有兩米，還要容納變電箱及候車月台等設施，民眾能使用的人行空間變得更加擁擠。歐洲道路像

臺灣一樣小而美，可是它們願意把道路路權重新分配，我曾經想過使用路權道路分配的方式處理臺中的問題，但實施起來非常困難，因若以車流的邏輯來思考，在既有道路不夠用的情況下，還要分配到其他不同的屬性上，民眾反彈將會很大，因此人行空間難以被保障，所以在舊城區，處理最後一哩路的規劃是更加有難度。

但在新的都市計畫區內，有保留足夠的退縮地做人行空間，而在舊城區及新舊混和的都市區域上，目前尚無比較好的解套方法。曾經也有專家學者建議，臺中市區要限制機動車輛進入，但因在地店家仍有不同意見，最後就無疾而終。

二、捷運興建與城市再造更新

未來在興建捷運的同時，有機會完成都市再造更新，重新整理道路、停車場、候車月台及人行空間等設施，藉由交通局與都發局的攜手合作，完成最後一哩路的規劃。

過去在做捷運綠線時，太快將圍籬拆掉還路予民眾。應該利用此機會，重新整理捷運周遭的設施，如：人行空間、停車場、候車月台、指引標誌及公共自行車(ibike)等設施。



臺中捷運綠線G9站

除此之外，目前第一個目標就是調整三民路，三民路兩側有很多民眾搭乘大眾運輸，可是道路系統卻很混亂，如何讓民眾安全且便捷的使用大眾運輸，是很重要的課題。

三、法規或法條較無強制力

依都市計畫劃設之市區道路，中央主管機關為內政部。目前內政部有相關的都市人本交通道路規劃設計手冊，但它僅是個建議，不像法條及法規有足夠的強制性。因此如何從法律上去賦予強制性，讓各單位能夠依循辦理，可使地方政府在實務上操作順利，才是重要的課

題。

四、智慧型運輸系統 (ITS)

今年市府爭取中央能於ITS五年計畫(110-114年)補貼區域交通相關計畫，因為會在臺中市移動的人，已經不僅是在臺中市境內移動，像臺中市往南投、彰化區塊的節點，在特定時段都會塞車，因此這些邊界節點還是要被掌握，這也使區域交控變得極為重要。又因南投跟彰化未組成自己的交通單位，所以也同意由臺中市政府來協助，未來也將會配合相關事項，我們共同的目標是：



(一) 達到大眾運輸搭乘率20%

在臺中市的都市發展範圍中，如果旅次量沒有被分配到其他運具上，那道路容量依舊有很大的壓力，而隨著方才所述之大眾運輸路網結構的調整，可令大眾運輸運量稍微提昇一點。

我心中的理想短期目標是讓臺中市有20%的民眾搭乘大眾運輸，由於臺中市的人口結構問題，原臺中市區的人口量才100多萬，其他大量則是屬原縣區的人口，可是原縣區的範圍很廣，且無塞車與停車的問題，這與國外發展大眾運輸一樣，在沒有塞車與停車問題的地方，主要要做好道路與停車位的規劃，讓民眾開車更便利。因此我們需要規範的是，當民眾進到另一個區塊，而該地方有很大的塞車問題時，就必須限制民眾進出的使用方式，或提供民眾其他的替代運具。

(二) 打通主要道路計畫

臺中市在盧市長到任後，市府已制定出幾條重要道路是需要被打通的，如市政路、大智路外等，另有其他重要道路也將陸續併進處理。透過打通臺中市的幾條主要幹道，規劃匝道口的進出等，進而提升道路的流暢，這是目前可以做到的。

(三) 公共運輸運輸資訊管理平台

以往臺中市在討論公共運輸資訊平臺議題時，最大的困難是在面對資訊、數據、格式化與一致性的問題時，必須把進來的每項資料的格式，做確認後才能進行整合；或依據各自的需求，去整合所需要的資料，如公車、停車及交控等。



陳幼華副總經理(左)與葉昭甫局長(右)討論臺中捷運未來可行性

臺中市也有在做自駕車等相關的前瞻性計畫，我認為交通未來資訊化是一個必然的發展，因為這跟民生議題環環相扣。若將數據化的結果，反應到每天上、下班的通行上，民眾就會很有感覺，這是短期內可以達成的。

問：臺中擁有兩大海空港，先天上之經貿條件良好，將如何透過軌道運輸整合兩大海空樞紐？

答：臺中市的海空門戶台中港及清泉崗機場的問題，並非是單一地方政府可以處理的課題。目前規劃有兩條捷運路線：

一、機場捷運線（可行性研究中）



清泉崗機場為國際門戶，需要由中央相關的權管單位將它明確定位。過去民航局也有做過相關的研究報告，但它相對於松山、清泉崗及小港機場的定位並未十分明確，僅載明其未來發展的方向，如此便造成難以分配廉價航空

及貨運航空的航權。

松山機場每年的服務旅客約600多萬人次、小港機場有400多萬人次，清泉崗機場有200多萬人次，因此就旅運量而言，清泉崗機場還是比松山機場及小港機場矮一級，這航權分配屬中央權責，有航權才能增加誘因吸引航空公司加入。行政院所核定「臺中國際機場2035年整體發展計畫」，屬於一個中長程發展計畫，預計至2035年清泉崗機場的旅運量將達到1,000萬人次，所以我去年拜訪民航局的林國顯局長，討論有關臺中清泉崗機場的未來發展，及臺中機場捷運如何搭配相關之發展時程。

臺中機場捷運是除臺灣大道（捷運藍線）之外最具吸引力的路線，因為它連接清泉崗機場、水湳經貿園區（會展中心、中央公園、美術館或及轉運中心等等設施）、臺中科學園區、精密機械園區、中清商圈、一中商圈等，一路延伸到臺中火車站，並連接到整條路線串接了臺中市不同屬性的區域，如商業、休閒、工作及旅遊等，但其未來發展須與清泉崗機場的開發期程相互搭配。

二、捷運藍線（綜合規劃中）

未來捷運藍線將連結臺市中心區及西部



海線港區，除滿足沿線交通需求與活絡車站周邊地區外，並著重在大眾運輸導向(TOD)之土地規劃及都市發展理念。臺中港區為海線副都心之發展核心，並為國家中部之重要門戶，對於臺中港區這極具潛力之新興核心區，市府將勾勒出遠期的都市發展願景。未來透過捷運藍線之串連後，相關開發構想可進一步活絡臺中港周邊之臨港產業，將臺中港生活圈提升為海線副都心。另一方面，捷運藍線與臺鐵於沙鹿車站附近交會，臺鐵也正逐步推動都會區鐵路高架捷運化，期待未來沙鹿車站也有如臺中車站的整體規劃，做為兼具交通、商業、休閒等生活機能之轉運設施，其整體效益如下：

- 軌道系統不單純只在於解決交通壅塞問題，更在於藉由軌道建設帶動都市發展之契機。
- 臺中港配合豐富之景觀資源，以港區為腹地，未來可望發展成為中部都會之觀光明珠與海港型運轉中心。
- 為服務偏遠地區民眾，雙十公車政策維持10公里免費，里程超過10公里只收10元，可望提升偏遠地區民眾之公車搭乘意願及大眾運輸使用率。

問：臺中鐵路高架化後，周邊重大工程建設與招商計畫亦隨之陸續啟動，且捷運藍線、機場捷運等路線，皆規劃於臺中車站交會。未來各項建設完成後，勢必將衍生龐大人流與周邊交通行為改變等問題，屆時將如何因應？

答：臺中市屬於一個標準的同心圓發展結構(蛋黃區邏輯)，所有的公路客運及市區客運都會經過臺中火車站的周邊，且由於臺中縣市合併後，原有的公車路線服務範圍延伸至原縣區部分，使得原有的路線變得更長，未來臺中轉運中心將建構為複合式的交通運輸系統，串接各種交通運具，它的區域營運邏輯為：①往南服務太平、大里、霧峰等地區；②往西服務西區、中區、北區、西屯區等區的民眾。經統計經過臺中火車站的公車路線約有100條，未來公車路網會搭配5條幹線公車計畫及捷運路線去做調整與檢討。目前臺中市交通局正委託顧問公司辦理「臺中大車站先期規劃委託服務」一案，透過此案將完成車站專用區之各項交通設施，包括：人行通廊、轉運中心及停車場之整合規劃，並研擬臺中車站周邊交通改善策略，以因應短期臺中車站新站啟用及大智路打通後之交通環境變化，同時預先規劃未來捷運藍線及機場捷運通車後，各運輸系統間之界面整合。

問：局長對捷運聯合開發帶動都市發展有何建議及看法？

答：我認為應先瞭解產業端需求，再看聯合開發的角度在哪裡？然後才知道如何在政府端事先做好障礙排除。因為捷運綠線是一個既定事實，下方結構也已經完成，所以過去對地主的條件已不能變，在這種條件下，要如何做才能夠成功招商？這才是現在更須要關注的事。除此之外，須借捷運綠線的經驗，回饋到捷運藍線上，以避免後續發生類似的問題。我的看法及建議如下：

一、民間地主不瞭解聯合開發的意義

土地聯合開發與民間的合建模式類似，透過變更都市計畫程序，由劃定為「捷運開發區」範圍內之土地所有人提供土地，並由主管機關（地方政府）依程序徵求投資人（建商）出資興建聯合開發建物，且利用土地所有人部分土地興建捷運設施，但捷運設施所使用之空間，則不計入容積。另為鼓勵民眾參與土地聯合開發，對其提供土地興建捷運設施，得以提高允建容積方式辦理（含捷運土地開發獎勵與都市計畫獎勵）。如此一來，土地所有人除享有原有可建樓地板面積（即不影響其原有權益）外，還可與政府共同分享獎勵樓地板面

積。亦即土地開發為政府興建捷運系統，除一般徵收外的另一種土地取得方式，可有效利用土地資源、促進都市發展、改善地區環境與景觀。土地所有人參與聯合開發，其土地不必被徵收，且可分享土地有效開發及生活環境改善之效益；至於投資人，則經由此投資開發案而獲取合理利潤，此實為三贏之作法。

臺中市地主對聯合開發比較沒有想像，也不知道該怎麼做，對地主來說市府蓋捷運，他的土地在捷運旁邊會很有價值，直接賣給建商馬上就可獲益，所以資訊不對稱的情況下，對地主吸引力不大。

二、參考捷運綠線的經驗

目前捷運綠線招商不容易，因為102年的臺中地價水準已經偏高；而投資人也會自行評估需要投入多少成本，可分得多少利潤，再決定是否值得投資？所以如何找到投資人參與建設，就必須要有足夠的誘因。

希望捷運綠線這方面的經驗可以回饋到捷運藍線上，後續在捷運藍線執行時才會比較順利。不過前提是捷運綠線一定要陸續成功招商，才能誘使地主有意願參與未來藍線的聯合開發。



三、聯合開發的產品型態也會跟著時代在改變

綠線當年徵求投資人的過程並不順遂，而政府又有捷運通車的壓力，所以臺中市府先行施作下方設施，讓未來的投資人可以往上興建自己的產品。但有投資人反映，底部的設計跟自行設計的產品不相符，會造成這樣的原因是因為房屋市場是有波動的，以前適合做的產品現在不見得合適。因此政府必須要主動招商，沒有不二法門，事先瞭解有無政府端可以先做的障礙排除，才能順利招商並且主動提供協助。

例如：日本在軌道宅的相關開發值得我們效法，它的規劃是從我們的生活邏輯去做整合，如：爸爸、媽媽每天要上班時，沿著軌道路網送孩子去托育中心，然後趕著去上班等等的概念去做規劃，所以我覺得軌道宅的型態可以朝這方面去思考，如興建月子中心、老人安養中心、托嬰中心及托幼中心等設施。

四、各局處相互合作落實大眾運輸導向發展(TOD)及租稅增額融資(TIF)效益

過去地方政府為誘使地主加入聯合開發，政府提供誘因如價值保障等方式，但因為政府是透過如大眾運輸系統土地開發辦法(第29條)、都市更新建築容積獎勵辦法等，去創造

增額容積，然後再將潛在的效益互相抵銷。

其實捷運建設不應該只是交通局的事，它應該是城市的事，所有人都在關注建設走到哪裡？發展就到哪裡？所以很重要的是，我們要結合其他的局處，讓TOD變成事實，而不是僅有紙上談兵。

我曾與都發局討論過TOD，因為TOD要劃設範圍，而都發局有區域總量容積管制的壓力，要如何調控？這就是都發局要備案處理的。基本上，我們可以透過很多的方式，比如增額容積等相關的回饋，這些回饋不管是到軌道基金或都發局，都是回到市府身上，然後再挹注到相關的建設；亦可透過TOD將部分的人行空間，在都市更新時一併處理。當然我也覺得臺灣大道，大概是所有路線裡面最有條件做聯合開發，或是做周邊公共設施的調控，因為它的土地單價相對高很多。另外就是捷運藍線，也感謝世曦大量盤點出適合做聯開的土地。

問：局長對於顧問公司於臺中軌道建設的參與有何建議及期許？

答：顧問公司在長久以來已經累積了許多的



臺中捷運綠線G4站

1
人物專訪



相關經驗，其對計畫成本的控管有一套標準，如：人力投入、工時及工項等項目逐一管控，那就會遇到一些問題。譬如長官會詢問在做規劃設計（可行性研究、綜合規劃、基本設計及細部設計等階段）的時候，有沒有思考過各種的可能性？如果其他可能性都沒有想過，為什麼會覺得這個可能性是最好的？但做這些可能性的分析與評估都需要成本。

另外，以前最常被詬病就是設計跟施工脫節。過去的公部門同仁，可以自行做初步設計，若有做簡單設計，就有能力估算各種人工、工料數量、成本及總價。在此前提下，同仁不管是做採購還是發包，都可以跟顧問公司相互討論。但現在的公部門，因為政府的行政程序太繁瑣，光是辦採購程序就已經無心力了，以致對於設計施工的時程及經費估算，就遇到很大的困難。可以說公部門同仁在行政程序上的歷練很完整，但在專業技術的知識就比較沒有再加強，所以到後期，專業技術都需要顧問公司大量的協助。因此，我對顧問公司有以下的建議與期許：

一、以豐富的經驗與基礎資料做客製化服務

公司基礎資料很多，但基礎資料面對到各個案子，如台中捷運藍線說不定也是第一次，故建議顧問公司可以依不同的案子，提供軌道

運輸客製化的服務。

二、提供各方案的研究與分析，並進行綜合評估。

顧問公司可以多加協助機關，將各種可能的方案都進行評估，且依照優劣順序給予建議。如此，未來要去面對各級長官，或召開民眾說明會時，即可將已分析評估過的各個方案逐一說明，讓長官或民眾充份了解，有利計畫的推動。

三、適度性的提供專業的建議

我認為同仁應該以一個市民的角度提出相關的問題，思考各種可能性，將所有方案都盤點並評估過，我也請業務單位必須思考這件事。因為同仁比較年輕，在專業技術上恐無法判斷，就只能請顧問公司幫忙，希望顧問公司在彼此互動的過程中，適度性的提供專業的建議。

四、以多元化的角度，設想各種可能方案，並即時回饋

我要求同仁們必須從公部門的角度來思考，未來面對民眾及議會可能會被質詢那些問題？這些問題對顧問公司來說，都是以專業觀



(左1)陳威仁正工程師 (左2)劉國慶協理 (左3)陳幼華副總經理 (中)葉昭甫局長
(右3)林建華資深協理 (右2)蔡榮禎經理 (右1)郭宗其

點提出的建議，可是這部分須要藉由彼此之間互拋資料與資訊來加以充實，由同仁提問，顧問公司針對問題給同仁做分析，結果無論是好是差，讓同仁準備好可以去面對民眾或民意代表。顧問公司因累積了很多案子的經驗，應可預測到地方民眾最常問的問題，如果顧問公司能提早把這些問題回饋於設計之中，即可以讓案子的執行更為順利。

後記

感謝葉局長在百忙之中接受本次的訪談，從訪談中，可以了解葉局長在推動臺中市捷運

綠線、捷運藍線、機場捷運線等業務上殫精竭慮，以期捷運設計畫能早日通過且完成的苦心。同時對於局長提出豐原、臺中火車站、水湳及烏日四大轉運中心及5條幹線公車的規劃概念，勾勒出大臺中的交通建設藍圖，更令人欽佩。最後在都市永續發展的最後一哩路規劃方面，推動TOD搭配TIF，讓捷運建設與都市發展同時並行，提供安全、便捷、舒適的完整道路系統及捷運路網，以實現「幸福、便利-臺中，我們的家」之美好生活願景，對臺中市民而言，真可謂深慶得人。



訪前高雄市政府捷運工程局局長

范揚材 博士

談

高雄捷運的推動及發展

整理：許朝榮 · 攝影：詹朝陽

壹、前言

范揚材局長為台灣大學工程博士，范局長任事積極負責，勇於創新，曾任臺北市政府捷運工程局主任、課長，從參與捷運淡水線建設開始，以迄松山、信義線等無役不與，俟台北捷運路網建構形成後，轉任交通部高鐵局組長。主要任務為興建機場捷運、臺鐵與高鐵的營運，任內協助臺鐵不同車款建立SOP維修制度與統一表單規格，軌道領域學經歷豐富。范局長舉例，他在北捷服務時，淡海線等軌道由中鋼得標承作，要求投標廠商進行技術移轉予國內廠商生產，或以一定比率優先採購國內合格產品，作為其系統之零組件，以促進國造軌道建設，更培植不少軌道焊接技術人員。

范局長在高鐵局服務時，適逢高鐵局自國外引進高鐵車廂外殼，當時經濟部工業局司掌車廂內設備招標，他極力把案子爭取到交通部，並委由國內廠商主導建造，不僅嘉惠國內廠商，同時也提升國內軌道建設領域技術水準。

貳、訪談紀要

問：因應高雄縣市合併後之整體發展，都會區因產業發展與人口遷移之改變，市府考量社經發展更異，檢討縣市合併後之運輸需求，重新研擬高雄都會區大眾捷運系統之整體發展路網，建構完善的高雄市大眾運輸系統環境，請局長簡略說明大高雄地區捷運長期延伸初步路網規劃。

答：目前高雄地區大眾運輸軌道系統包括高

鐵、臺鐵、都會捷運，加上高雄環狀輕軌捷運建設，在日趨減少的城市空間，亟需提升通行空間的使用效率。高雄捷運紅、橘線自民國97年開始通車營運後，環狀輕軌第一階段（C1-C14站）亦於106年9月26日完工通車營運，而輕軌第二階段目前正配合鐵路地下化進度動工興建中。俟輕軌全線完成後，將串聯捷運紅橘線、臺鐵及高鐵，其中與捷運及臺鐵交會共有10處轉運點，未來黃線完成之後，轉運點更



可擴增至19處，高雄市軌道路網至此已儼然成形。市民及觀光客可以利用軌道運輸，輕鬆抵達臺鐵火車站、高鐵車站、高雄港埠旅運中心、高雄國際機場等陸、海、空重要的交通節點。市中心轉運點增加，便利旅客轉乘，可縮減旅行時間，大大提高利用大眾運輸的誘因，並可落實節能減碳與減少空污。

市府近年來大力推廣使用大眾運輸交通工具，已有顯著成效，運量逐年穩定成長。然而由於目前大高雄捷運路網密度仍屬不足，與先進都市相較，高雄都會區大眾運輸使用率仍有成長空間。為促進大高雄都會區大眾捷運系統長遠發展，打造30分鐘生活圈的優質大眾運輸環境，持續推動大高雄地區捷運長期延伸路網建設，有其合理性及必要性。

未來大高雄將配合行政院推動之「前瞻基礎建設計畫」，朝向多元化的大眾運具發展，結合目前營運中的紅、橘兩線以及輕軌第一階段路網，興建中以及即將興建的輕軌第二階段、岡山路竹延伸線第一階段及第二階段工程，以捷運系統帶動高雄都會的發展，建構屬於高雄特有的「雙軸」、「雙環」、「四連結」、「北環圈」、「南環圈」、「西環圈」、「東環圈」及「跨域延伸」之高雄都會區捷運系統整體路網(詳圖1)，加速推動捷運建設及擴大路網服務範圍，讓全體市民早日享有



(左1)林建華經理 (左2)陳幼華副總經理

安全、可靠、便捷的大眾捷運系統。高雄將由原來的重工業都市，蛻變轉型為科技、綠能環保、樂活宜居的新城市。

■「雙軸」：紅線（營運中，岡山路竹延伸線—規劃及興建中）、橘線（營運中）。

■「雙環」：水岸都會環線（環狀輕軌—第一階段營運中，第二階段興建中）、捷運都



(中)范揚材局長 (右)鍾義民計畫工程師

會線（黃線規劃中）。

■「四連結」：鳳山本館線（藍線）、民族高鐵線（青線）、蓮潭本館線（銀線）、中華雙鐵線（粉紅線）。

■「北環圈」：燕巢線（紫線）、右昌高鐵線、燕巢高鐵線。

■「南環圈」：小港林園線、大寮林園線、楠梓五甲線。

■「西環圈」：旗津線。

■「東環圈」：佛光山線。

■「跨域延伸」：奇美延伸線、大寮屏東線、林園東港線

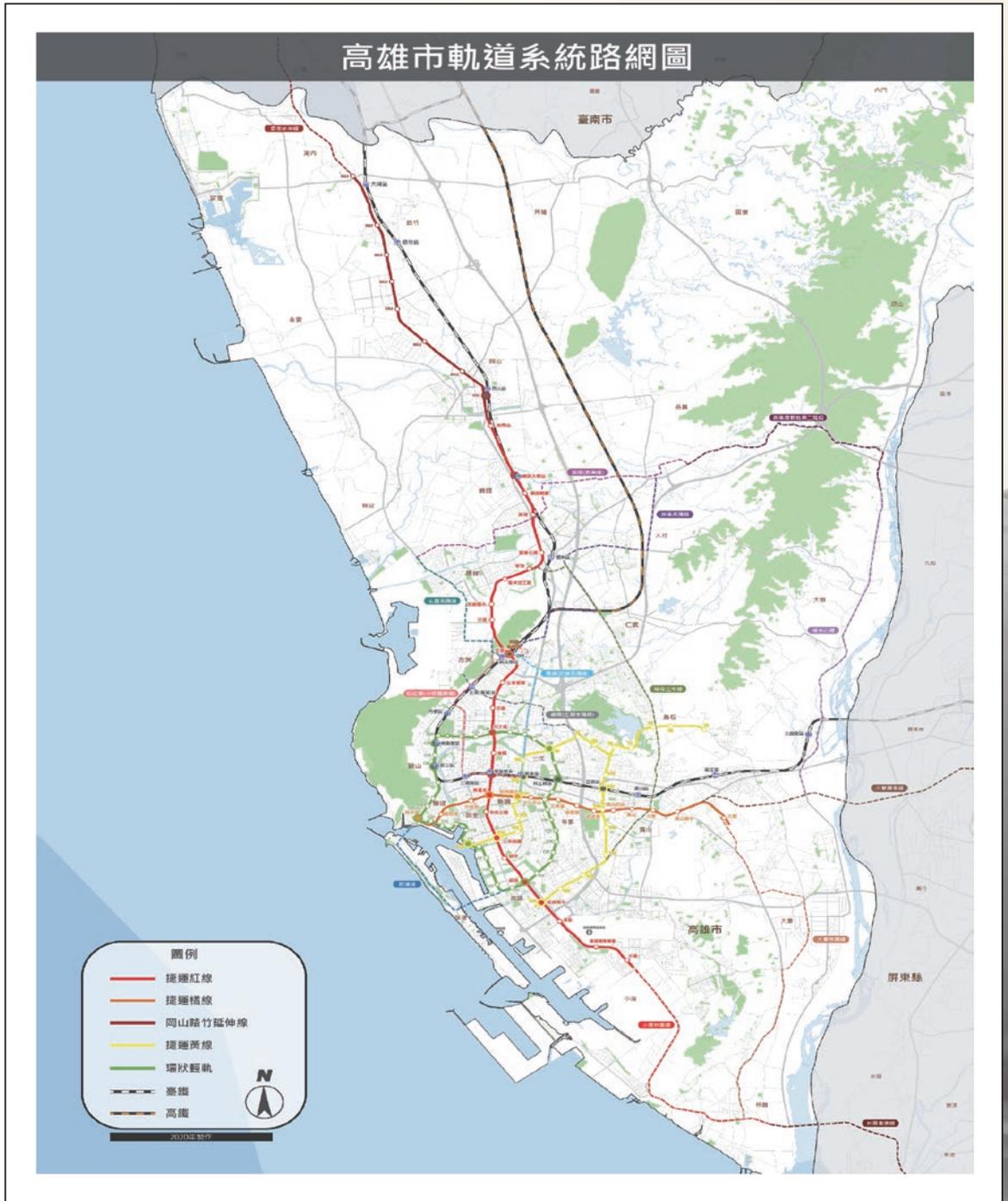


圖1 高雄都會區捷運系統整體路網規劃

問：有關高雄輕軌捷運沿線及車站周邊交通及環境改造規劃，請局長簡略說明未來願景？

答：高雄環狀輕軌總長22.1公里，沿途經過舊有鐵道路線、鐵路地下化廊帶、市區重要道路、捷運紅橘線及本市重要都市活動據點，



范揚材局長



對沿線周邊地區之交通行為及環境景觀產生影響。

為重新思考車站周邊街廓之空間規劃及乘車環境，並藉由地區交通計畫與人車動線之規劃及整頓，營造能與輕軌運輸服務相結合的「友善人本轉乘環境」，提升輕軌使用者之乘車環境感受，目前針對輕軌沿線及車站周邊之交通及都市環境進行調查、檢討、分析與規劃，提出包括人行、車行、自行車等之交通、景觀環境改善計畫及具體之規劃方案，全案已於106年完成期初報告。

107年完成C1-C14路段週邊交通及環境改善規劃報告，已提送各權責機關參考執行，共計26案，其中18案已獲配合辦理；108年8月、109年2月分別完成C14-C20及C32-C37路段之交通環境改善規劃報告審查作業，送請相關權責機關辦理後續參考。

另108年針對美術館路及大順路段週邊交通及環境改善規劃初步構想(詳圖2及圖3)，已請相關單位進行作業。

美術館路及大順路造街原則，是透過都市設計、工程與產業發展等面向重新規劃，以回應民眾訴求。依內政部營建署所發行之都市人本交通道路規劃設計手冊，改善9項人本造街的

空間構想：①車道空間；②人行空間；③騎樓空間；④停車空間；⑤植栽空間；⑥交叉路口空間；⑦街角與節點空間；⑧建築界面空間；⑨巷道及停車場出入口空間。

市府捷運工程局於108年邀集9位外聘學者，成立專家學者委員會共同評估研商，並提出建議之執行策略，後續召開本路段輕軌及造街計畫說明會，透過居民參與機制凝聚居民共識。提出以下四項初步概念，正內部討論中，以期建構一個大高雄友善人本轉乘環境。

一、建構人本環境造街

包括：通過性車流導引、車道重新配置、降低交通衝擊、路外停車空間、友善步行環境等措施。

二、凝聚居民共識

辦理輕軌及造街計畫說明會。

三、大南環調整先行完成

東、西臨港線持續施工及系統整合。

四、美術館路及大順路特色與造街構想

- 輕軌具親民、慢活的特性
- 配合沿線造街計畫帶來都市新景觀
- 儘早啟動景觀改善及造街計畫
- 兩旁舊建築物立面美化
- 開設簡餐、咖啡廳或特色店鋪
- 利用沿線較寬處加以改善為小型廣場或小型特色市集地



圖2 美術館路及大順路特色與造街構想

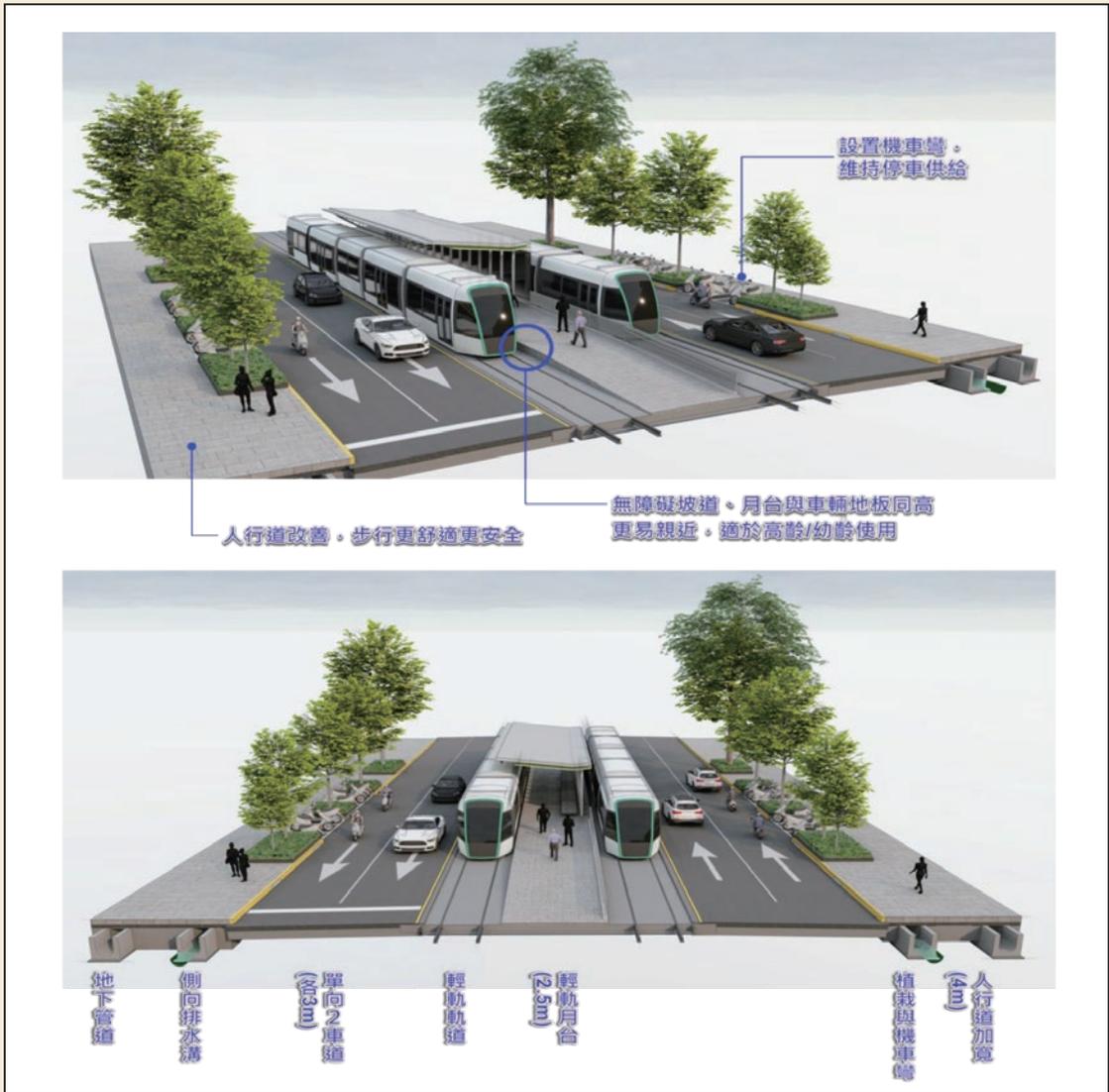


圖3 大順一／二路優化方案



問：市府提出幸福大南方建設計畫，請問局長如何配合加速推動高雄都會區大眾捷運系統？

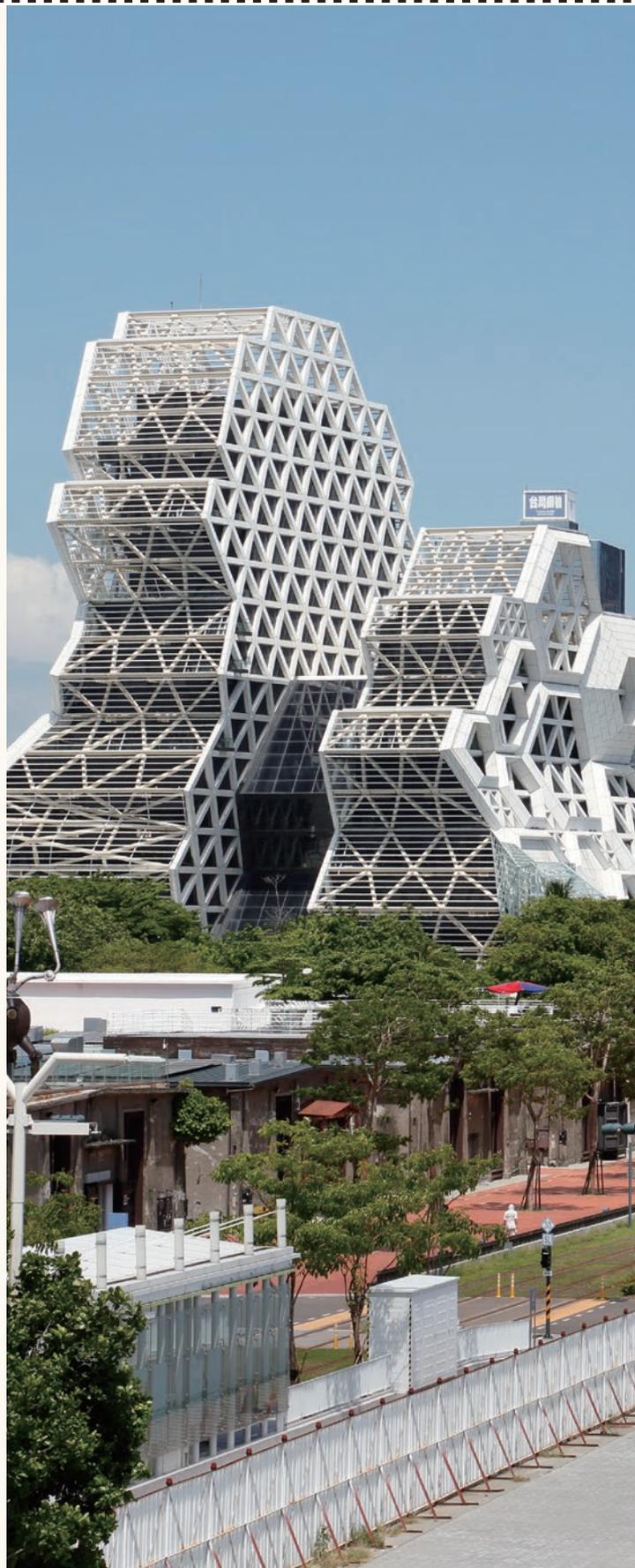
答：高雄都會區大眾運輸系統目前主要以捷運紅、橘線為主軸，配合台鐵鐵路地下化及輕軌建設陸續完工，都會區捷運路網已漸成形。為建構南高屏(大南方)捷運系統，勾勒幸福大南方建設地圖如圖4，本市正展開後續延伸計畫，路線包括：



圖4 幸福大南方建設地圖

一、岡山路竹延伸線

捷運紅線向北高雄延伸至湖內，並配合台南市政府規劃延伸至台南市區，全線（RK2 岡山農工站～RK8大湖站）建設經費272.69億元。請國發會儘速完成2A路段（RK2岡山農工站～RK6南路竹站）審查同意，並建請行政院核定；至於2B路段（RK6南路竹站～RK8大湖站），則協請公路總局儘速完成台一線拓寬作業，俾利全線計畫持續推動。





1
人物專訪



二、捷運黃線

連接亞洲新灣區、都會核心區、澄清湖地區，三民、鳳山、鳥松等行政區，並串連捷運紅、橘線、輕軌及鐵路地下化車站，使都會核心區路網更趨完整，預估建設經費1445.58億元。

三、小港林園線

將捷運紅線向南延伸至林園區，並配合屏東縣政府規劃延伸至屏東縣東港鎮，預估建設經費約472億元，請中央同意全額專案補助建設經費。

問：針對韓國瑜前市長於政策白皮書中所揭示之「優化路網，大眾好行」之理念，結合南高屏生活圈共存共榮之概念，局長如何擘劃未來願景，提昇大眾捷運系統可靠度、舒適性及服務性、進而增加大眾運輸系統之使用率。

答：長期路網的規畫與持續興建，以形成完整便捷的捷運路網，正是扭轉民眾交通運具使用習慣的重要關鍵。因此，依據韓前市長所提出之政策白皮書，並配合行政院推動「前瞻基礎

建設計畫」，持續辦理「岡山路竹延伸線（第一階段）計畫」、「岡山路竹延伸線（第二階段）計畫」、「都會線（黃線）計畫」以及「小港林園線」等四案。

一、秉持「優化路網，大眾好行」之理念

韓前市長上任後，捷運工程局呼應市長理念，提出建構完整的高雄捷運路網。考量高雄市本身的運輸環境，借鏡臺北捷運經驗，持續規劃興建後續路網，提高全市大眾運輸使用率，成為首重之目標。

以捷運系統而言，目前僅臺北及高雄具有營運之經驗。由臺北捷運過往經驗來看，臺北捷運在僅有木柵線通車時，其通車路線長度為10.5公里，平均日運量約為4萬人次/日；在淡水線完全通車後，路線長度增加為33公里，平均日運量大幅增加為16萬人次/日。而隨著89年板南線通車營運後，平均日運量更高達73萬人次/日。因此，藉由臺北經驗可知，路網持續拓展對於運量具有關鍵性的影響。以高雄捷運而言，目前營運路段僅紅橘兩線十字路網42.7公里加上輕軌第一階段(C1-C14)路段8.7公里，受限於路線長度，運量無法大幅提升，因此路網的持續拓展是未來工作的重點。

此外，秉持大眾運輸發展導向(TOD)之理



圖5 高雄捷運都會線（黃線）路網示意圖

念，加強捷運沿線周邊之開發效益，提昇捷運外部效益進而挹注捷運建設，讓軌道建設得以永續經營發展，提昇捷運計畫之財務指標，亦為目前軌道發展重點項目。

二、建構完整路網、加密路網分布

(一) 積極推動黃線計畫

黃線行經鳳山、鳥松、新興、三民、苓雅及前鎮區等6個行政區(人口共約116萬人)，居住、就業與就學人口眾多，對搭乘捷運需求有

迫切性。沿線服務人口達48.3萬人，扣除現有車站服務範圍之人口後，新增量達33.7萬人。本局所規劃之高雄捷運都會線（黃線）（詳圖5），可與既有捷運紅橘線、環狀輕軌，構成高雄都會核心區之「雙軸雙環」路網，合計軌道運輸轉乘點共達19處，高雄市將進入以公共運輸為導向之無縫運輸新階段，大幅提升高雄都會區公共運輸整體運量。若再搭配臺鐵捷運化後新左營站至鳳山站間各車站，則都會核心區交通機能更便捷，將可滿足沿線快速成長的運輸需求。



黃線目前可行性研究報告已於108年5月24日獲得行政院核定在案，現正積極辦理綜合規劃作業及環境影響評估作業中。同時為獲得更多民意資訊，本局於108年9月分別召開3場說明會(鳥松區、鳳山區、三民區)及1場公聽會，向市民說明目前規劃成果，並聽取民眾建議。

(二) 加速高捷紅線南岡山站到路竹的動工

岡山路竹延伸線計畫(詳圖6)為行政院積極推動的「高雄海空經貿城整體發展綱要計畫」中重要之大眾運輸建設，行經大高雄北端主要廊帶，為打造大高雄地區30分鐘生活圈政策目標的重要指標建設。

岡山路竹延伸線沿線是運用既有捷運紅橘線資源，深入岡山路竹核心地區，串連岡山、路竹產業重鎮，服務範圍涵蓋：南科高雄園區、電信技術中心、岡山本洲產業園區、永安工業區、南區環保科技園區等，可吸引廠商進駐，加速產業發展，並服務各產業園區7.5萬就業人口和岡山、路竹、湖內地區35萬民眾，為高雄都會區重要產業廊帶。

高雄市東西向區域(包括茄萣、永安、湖內、阿蓮、田寮、旗山、美濃等)之互通，皆需通過岡山及路竹，故岡山路竹延伸線除可作為往北延伸之主要大眾運輸路廊外，更可作為



圖6 高雄捷運岡山路竹延伸線示意圖

東西向各區域轉乘據點，提昇大高雄大眾運輸「面」向的服務空間。

(三) 爭取捷運紅線由小港延伸到林園

高雄市小港、林園地區之「臨海工業區」及「林園工業區」，為經濟部所屬之工業區，產業別包含鋼鐵與造船製造業、化學與石油製造業等，區內工業密集，生產用地使用率皆高於



高雄捷運岡山路竹段施工

1
人物專訪



九成，廠商家數共計500多家，就業人口合計約四萬人。兩工業區年產值合計突破上兆元新台幣。

小港及林園地區肩負著國家工業與製造業發展，長年受噪音、空氣污染及工安事故之影響，生活環境品質不佳，且都市發展遭受限制，亟需進行都市更新。因此本市特別動用市府第二預備金800萬元，啟動捷運可行性研究，期望未來能透過捷運建設，將活動人口引入小港林園地區，帶動地方繁榮，同時解決居民長久以來僅能藉由台17往返市區的塞車與危險問題。

問：最後想請局長說明高雄整體路網願景，以作為此次訪談的結語。

答：為秉持「優化路網，大眾好行」理念，打造南高屏大幸福生活圈，為高雄整體路網規劃之願景。開拓通勤與兼顧休憩的路網，啟動人與城市間的對話，營造高齡社會的無障礙環境，進而改變城市道路空間的定義，開創城市更新的新契機，促使民眾移居港都，達到宜居高雄的目標，讓輕軌與捷運成為城市旅人漫遊高雄的首選。

目前高雄市的捷運系統加上鐵路的軌道建設，已突破百餘公里。未來更將串連高雄特有的「雙軸」、「雙環」、「四連結」、「北

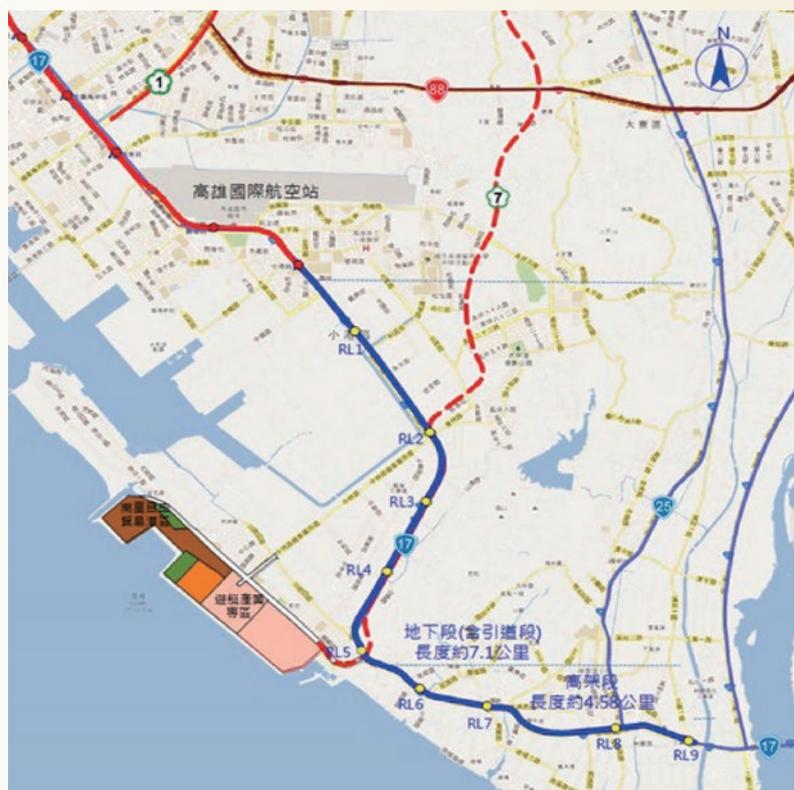


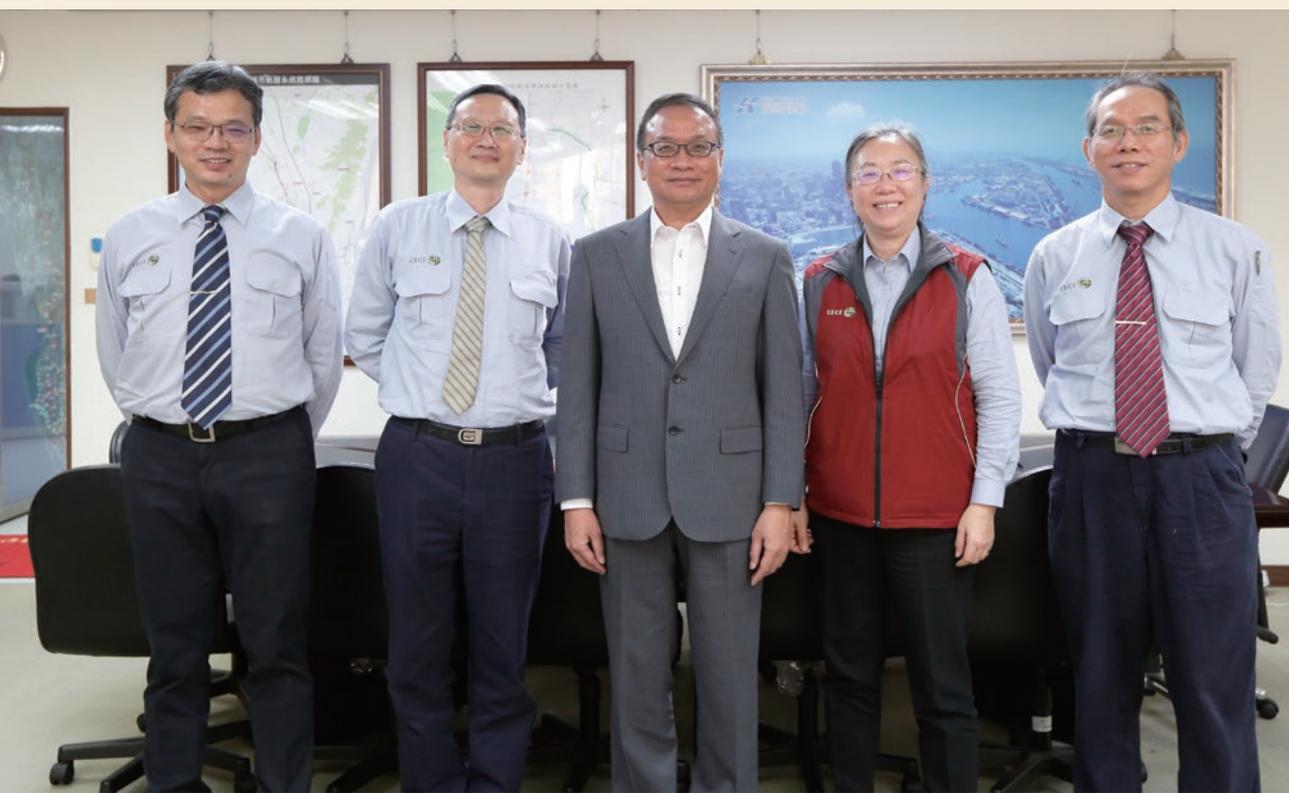
圖7 高雄捷運都會線（黃線）路網示意圖

環圈」、「南環圈」、「西環圈」、「東環圈」及「跨域延伸」之整體路網，縮短民眾搭乘大眾運輸系統旅行時間，提昇高雄市大眾運輸使用率與營運效率，建構人本永續的交通環境，營造安全可靠與綠色環保的軌道運輸系統。

未來高雄將是全國第一個在都會區同時擁有空港、海港、高鐵、捷運與輕軌的城市，為

使大高雄成為世界首屈一指的大都市，必須朝向便捷多元的大眾運具發展，利用高雄港與高雄國際機場的雙港優勢，以既有雄厚的工業產

訪，在此表示由衷的感謝。訪談過程中，局長也侃侃敘述他在任職臺北市政府捷運工程局主任、課長及交通部高鐵局組長期間，投入軌道



(左1)許朝榮計畫經理 (左2)林建華資深協理 (中)范揚材局長 (右2)陳幼華副總經理 (右1)鍾義民計畫工程師

業實力及特有的山海豐富觀光資源，配合全球化經濟、自由貿易港與後續重大交通建設的推動，引領大高雄成為「路網優化、大眾好行」的樂活城市，進一步躍升為台灣宜居城市之冠。

後記

承蒙范局長於百忙之中，撥冗接受本次專

建設發展之甘苦與經驗，讓在場的聽眾受益良多；尤其在推動國車國造及導入關鍵技術的苦心孤詣與積極奉獻的精神，更令人深感敬佩。可以想見有此堅毅與睿智的軌道建設舵手，將帶領高雄市捷運，建設一個「優化路網，大眾好行」的人本交通系統，型塑美好城市生活環境，讓高雄成為吸引旅人駐足、民眾宜居樂活的城市。

新北捷運推動方式與階段成果回顧——兼談捷運與環境融合

Review and Promotion of the Turnkey Solution for New Taipei City MRT Projects - Concerning the Integration of MRT and Environment

關鍵字(Key Words)：三環六線(Three Rings and Six Lines)、輕軌(Light Rail Transit、LRT)、大眾運輸導向型發展(Transit Oriented Development、TOD)、建築資訊模型(Building Information Modeling、BIM)、獨立驗證與認證(Independent Verification & Validation、IV&V)

新北市政府捷運工程局／局長／李政安 (Lee, Cheng-An) ①

摘要 ABSTRACT

捷運三環六線係以新北市為核心，串連北北桃形成1千萬人口之捷運生活圈，日運量可達180萬人次。整體計畫建設完成後，將提升區域交通運輸效能，服務民眾使用便捷安全的綠色交通路網，快速改善日常生活型態，並帶動地區發展與繁榮地方經濟。

本文首先說明新北市捷運三環六線路網及建設願景，其次介紹捷運重要推手新北市政府捷運工程局之沿革、組織架構及負責捷運建設的潛能。再探討推動捷運三環六線的方式與未來趨勢，包括招標策略、整合監督管理機制、導入建築資訊模型BIM技術應用於設計與施工、傾聽民意結合地方需求、場站開發策略效益導向與建立品質及職安衛管理制度等。最後回顧新北市捷運局承辦捷運業務十五年來，所造就安全、便捷、創新與經濟之成果，並提出反思回饋精進優化措施，以作為提升捷運服務品質之參考。



Abstract

The three rings and six lines of the MRT takes New Taipei City as the core, connecting Taipei, New Taipei City and Taoyuan to form the MRT life circle with a population of 10 million, and the daily traffic volume can reach 1.8 million people. After the construction of the overall plan is completed, it will enhance the efficiency of regional transportation, serve the people to use the convenient and safe green transportation road network, quickly improve the pattern of daily life, and promote regional development and prosperity of the local economy.

This article first explains the New Taipei City MRT three rings and six lines network and construction vision, and secondly introduces the history, organizational structure, and potential of the MRT important promoter of the New Taipei City Government Department of Rapid Transit Systems. Then discuss the ways and future trends of promoting the three rings and six lines of the MRT, including bidding strategies, integrated supervision and management mechanisms, the introduction of building information modeling BIM technology for design and construction, listening to public opinion, combining local needs, and the development and efficiency of the station, and to build quality and occupational safety and health management system, etc. Finally, reviewing the achievements in safety, convenience, innovation, and economics that the New Taipei City Department of Rapid Transit Systems has undertaken in the MRT business in the past 15 years, and proposes reflection, feedback, and optimization measures to improve the quality of MRT services.

壹、前言

國內各都會區隨著經濟發展日益成長，帶動周邊地區民眾就業通勤、休閒遊樂及商業活動等往返都會區之交通運輸量快速增加，亦造成區域聯絡道路及市區街道常壅塞難行，大眾運輸工具乃成為取代私人運具、紓緩交通流量的最佳解方，其中尤以軌道運輸具備載客量大、經濟、便捷、舒適、安全等諸多優點，而廣受中央及地方政府青睞。

新北市經長期發展，已成功蛻變為一個多核心的大範圍城市，而能四通八達的快速串連新北市境內各都會核心區，更擴及台北、桃園生活圈之交通運輸工具，則非捷運系統路網莫屬。新北市(含台北縣)歷任縣市長均有此共識，莫不於任內積極發展捷運系統，建設更完善、更便捷之綠色交通路網，俾能提升交通運輸效能，服務民眾使用便利又安全的捷運交通，快速改善日常生活型態，並帶動地區發展與繁榮地方經濟。

貳、捷運三環六線願景

台灣已進入軌道運輸時代，除高鐵縱貫西部走廊、台鐵環繞全島外，六直轄市泰半擁有捷運交通服務。以往北部地區之捷運發展係以台北市為中心，向四周擴展捷運路網，此類路網型態無助於新北市的多核心區相互串連，前市長朱立倫爰於民國99年提出捷運「三環三線」計畫，整合大台北及桃園地區捷運，形成三個環及三條線路網。進階版的「三環六線」則為現任新北市長侯友宜於民國107年所提出的捷運路網加碼建設計畫。

一、探索三環六線

「三環六線」是以新北市為核心，串連北北桃形成1千萬人口之捷運生活圈，日運量可達180萬人次。整體計畫建設完成後，總長235公里、共設206座車站，其中新北市境內總長169公里、設154站。

「三環」之第一環是文湖線加新北環狀線，第二環由萬大-中和-樹林線與中和新蘆線連接，第三環則為機場線、板南線、土城線、土城延伸頂埔段與三鶯線、三鶯延伸八德段、桃園綠線構成。

「六線」中淡海輕軌、安坑輕軌、汐止民生線為原先三線，另新增三線：五泰輕軌、八里輕軌、深坑輕軌。







圖1 三環六線願景圖

二、三環六線逐步實現

目前「三環六線」設計、興建中路線有淡海、安坑、三鶯、環狀線及萬大-中和-樹林線等五線，另三鶯延伸八德段、汐止民生線及五泰、八里、深坑輕軌刻正規劃中。

除已完工通車之淡海輕軌一期綠山線及新北環狀線外，預定民國111年目標年將有淡海輕

軌一期藍海線及安坑輕軌通車，路線長93.1公里，內含78座車站。至民國115年目標年增加三鶯線、淡海輕軌二期及萬大中和線三線通車，路長增為117.6公里、車站101座。到119年目標年，新北樹林線及環狀線第二階段兩線將完工通車，路線總長增至139.3公里、車站121座，計畫推動達成率為82%，屆時平均每十萬人享有3座車站，足以媲美新加坡及南韓首爾。



圖2 三環六線推動目標

參、新北市政府捷運工程局組織架構

為辦理新北市捷運建設計畫系列之可行性研究、綜合規劃、設計、發包施工、督核等作業，必須成立專責機構，以推動及執行相關業務。

一、組織沿革

自民國94年1月於台北縣政府內，成立二級機關「台北縣捷運工程隊」，配合辦理台北縣境內捷運相關業務後，隨捷運業務量逐年大幅增長，歷經11年演進，至民國105年1月升格為「新北市政府捷運工程局」。



圖3 新北市捷運局沿革

二、組織架構

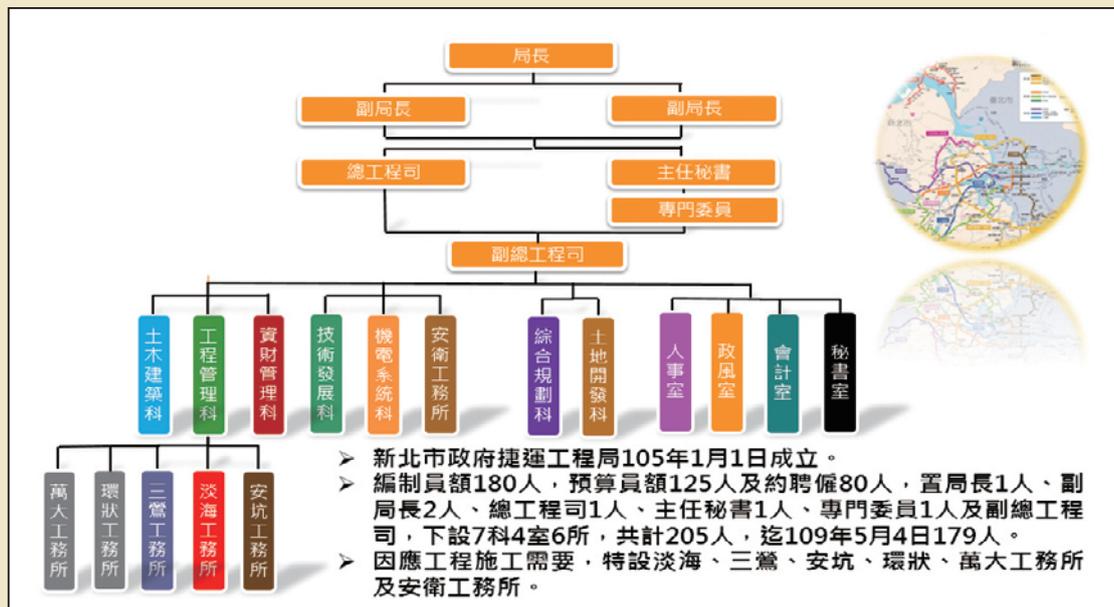


圖4 新北捷運局組織架構圖

三、人力潛能

新北市政府捷運工程局員工學歷以碩士52%、大學44%占絕大多數，而年齡層在49歲以下者高達87%，係屬專業素質高又朝氣蓬勃的機關，雖然單位人力所需負責之工程業務量較台北及高雄大，惟賴同仁的專業知能足、打拼活力夠，必能以最精簡人力、最快速度完成挑戰，落實新北市民期待。

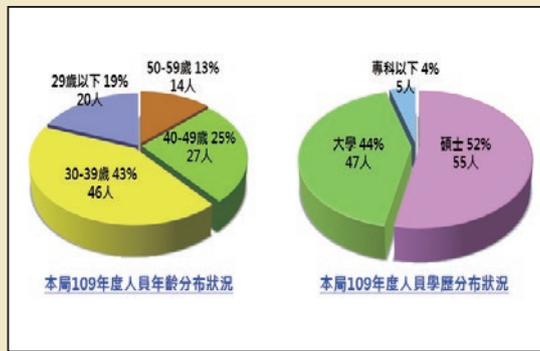


圖5 人力潛能分析圖

肆、捷運建設推動方式與未來趨勢

三環六線設計畫興建費用龐大、作業艱鉅、工程繁複且後續營運維修面對各類挑戰

高，如何順利推動並有效達成願景目標，須妥善規劃招標策略、整合監督管理機制、導入建築資訊模型BIM技術應用於設計與施工、傾聽民意結合地方需求、場站開發策略效益導向、建立品質及職安衛管理制度，俾能如期如質如量完成任務。分別敘述如下：

一、全生命週期招標策略

捷運建設全生命週期包括：設計、採購製造、施工、試車、營運、操作/維修各階段，經考量單位人力、採購效率、整體時程、土機界面等因素，目前興建的淡海輕軌、三鶯線中運量捷運系統，均採土木及機電大統包施工策略，進行

公開招標，並以最有利標決標。安坑輕軌則因機電系統及代維修操作已納入淡海輕軌統包契約內之後續擴充，故以全線土建、水環及軌道工程採統包方式公開招標及最有利標決標。

採用統包策略可增進採購效率與品質、易於管控預算、降低界面爭議、發揮設計與施工併行效益、縮短整體計畫推動時程、結合興建與營運需求，有利提早準備通車。

另以淡海輕軌招標策略為例，捷運局特將「產業本土化/施工在地化」納入統包契約內，引進國外專業廠商，推動技術移轉與生根，以達成國車國造及本國企業永續服務之目標。



圖6 捷運建設計畫全生命週期



圖7 淡海輕軌招標策略

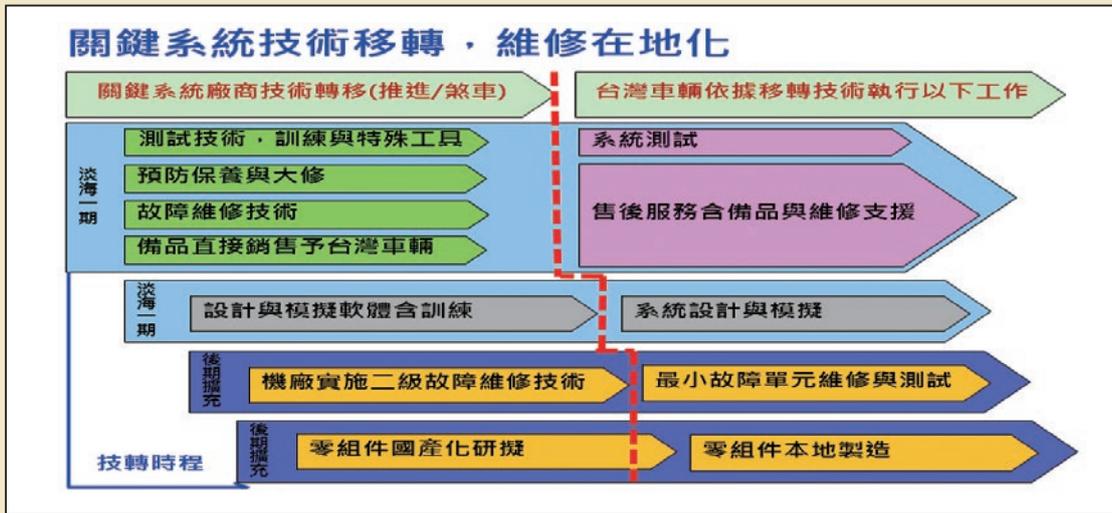


圖8 淡海輕軌技術移轉項目

二、整合式監督管理

為利充分掌控系統完整生命週期之作業過程與成果，國內首次導入獨立驗證與認證(IV&V)自概念發展階段即進場作業，於統包工程招標時，同時辦理IV&V招標，以使其先行瞭解計畫背景及業主需求，亦即自風險分析階段開始切入，驗證統包廠商對系統需求的掌握，並接續執行後續各階段之驗證與確認，最後再據以進行認證。

捷運局整合專案管理顧問、獨立驗證與

認證顧問及監造顧問，形成完整之監督管理體系，並採聯合辦公室合署辦公，以全方位監督計畫執行。

三、導入建築資訊模型BIM技術

建築資訊模型(BIM)是一個應用於工程設計、建造與管理的資訊化工具，其模型之建立係以工程各類相關資料庫為基礎，透過數位資訊模擬，建立具有實際資訊的視覺化3D模型，已成為先進國家爭相發展的營建技術，引進國內亦有數年之久，是營建業未來的趨勢。

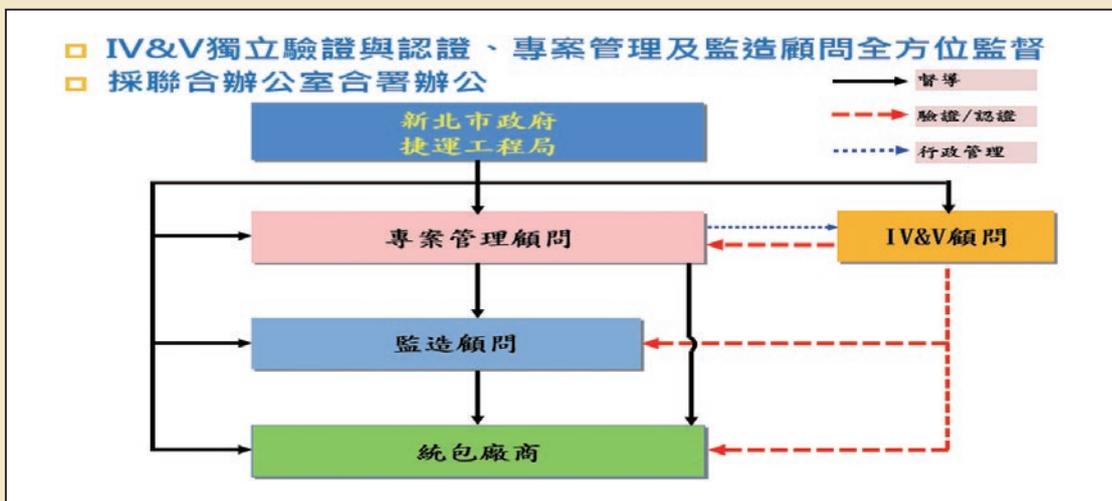


圖9 全方位監督管理系統



圖10 三鶯線LB08鶯歌車站造形設計

為推動三環六線建設計畫，捷運局於綜合規劃、設計與施工階段，導入建築資訊模型以3D視覺化呈現，有利於：

- 協助工程整合、提供最佳方案、減少施工衝突。
- 輔助產出設計文件及圖說。
- 輔助施工可行性分析及工序安排。
- 輔助工程數量產出與查核。
- 重要工程議題提報與協調。
- 輔助變更設計之方案評估。

經由建築資訊模型的廣為應用，除於綜合規劃階段都市計畫審議時，加速都計委員對計畫瞭解與通過外，更成功達成提升工程技術及工作效率、縮短施工時程與降低作業成本等效用。



圖11 淡海輕軌BIM加VR開創全新應用視野

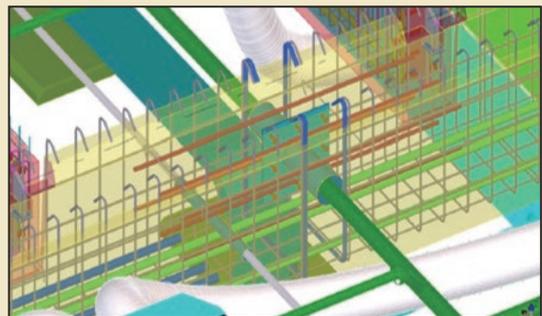


圖12 施工衝突檢討整合

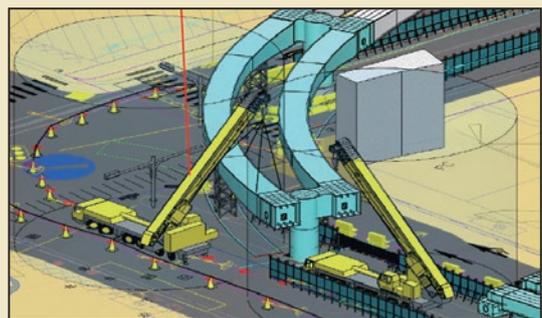


圖13 三鶯線曲線段鋼梁吊裝前模擬

四、傾聽民意結合地方需求

三環六線捷運路網遍布新北市境內區域，無論施工或營運，均與居民生活息息相關，如何爭取民眾對捷運建設產生共識及共鳴，進而獲得民眾之認同與支持，減少工作阻力，是推動捷運的重要課題。



圖14 專業網站即時資訊



圖15 三鶯線CCTV即時監控系統

捷運局運用各種公共資訊之傳播技術，架設計畫專業網站，透過網路新聞、Line群組、社群網路、智慧里長、廣播等提供即時資訊，諸如：假日及夜間施工訊息、道路交維宣導、CCTV監控道路車流與易淹水地區狀況等，以利居民及早因應，降低民怨。

另於捷運建設期間多方傾聽民意、廣泛蒐集地方意見，除快速回應社群外，並結合在地需求，納入設計及施工考量因應。同時，為提高民眾參與感，增進政府與人民間之聯繫與互動，捷運局亦積極辦理各項階段性活動，增加捷運推動之助力。

聯鋼營造工程股份有限公司

工程協調會議記錄

工程名稱：淡海輕軌運輸系統計畫第一期統包工程

記錄：余亞靜

主旨：濱海路一段 G0405P04 墩柱位置會勘事宜

時間：104年02月12日 時分 地點：會議室 工地現場

參加人員	亞新工程公司 聯鋼公司 濱海路一段 淡海輕軌公司	陳國清 余亞靜 王雅雅 廖志強
議題	依104.1.23會勘紀錄決議 G0405P04 墩柱位置往 G0405P05 調整，G0405P04 墩柱外緣，以不超出綠山樓社區大樓門廳前，左側花園邊地磚邊緣（面向工區）之延伸線為原則。	
決議	以下空白	

「淡海輕軌運輸系統計畫第一期統包工程」G03 站至 G04 站間高架

橋墩位置會勘紀錄

- 一、召集人：張壯賢科長 記錄：林書弘
二、時間：104年03月13日(星期五)上午10時00分
三、會勘地點：淡水區濱海路一段於中山北路二段交叉路口
四、出席(列席)席單位及人員：(詳會勘出席名單)
五、會勘結論：
(一)、G03 站- G04 站編號 G033AP06 墩柱正對伊東市中棟出入口大門，請統包廠商配合調整。
(二)、G03 站- G04 站編號 G033AP07 墩柱正對伊東市北棟一樓店面大門，請統包廠商配合調整。
(三)、G03 至 G04 站除上述之處須調整外，其餘墩柱現場與會單位確認不需調整，請統包廠商進行後續相關作業。
(四)、淡海輕軌後續施工時，民眾對於墩柱位置如有其他意見，請統包廠商會同專管顧問及監造顧問切切說明。
(五)、後續其他路段辦理會勘時，請統包廠商務必於預定墩柱位置放樣明顯標示，俾利會勘作業進行。
~以下空白~

圖16 邀集鄰近住戶協調高架橋墩位置



- 「光耀金」、「祥紅金」、「高雅紫」及「青翠綠」4色塗裝提供選擇
- 市民參與：景文科大協辦，開放民眾網路及現場票選，現場票選設置於景文科大、3處市民活動中心、3處里辦公室，並請安坑輕軌沿線10里里長一同參與協助發放宣傳單。
- 網路/現場投票數：38,900票(33,340/5,560)；「光耀金」獲選(13,724票)

圖17 安坑輕軌I-Voting全民票選車輛外觀

五、捷運場站開發策略效益導向

歐洲許多大都市係以大眾運輸系統作為都市發展之主軸，其中捷運與輕軌占有重要的地位。反觀國內由於起步較晚，都市已發展成形

後，始進行大眾運輸系統規劃，常遭遇土地取得困難、民眾反對抗爭及資金籌措不易等問題。

捷運局推動捷運建設計畫時，鑑於前述問題迭有發生，為順利取得場站設施用地，有

新北捷運場站開發先期導入概念設計

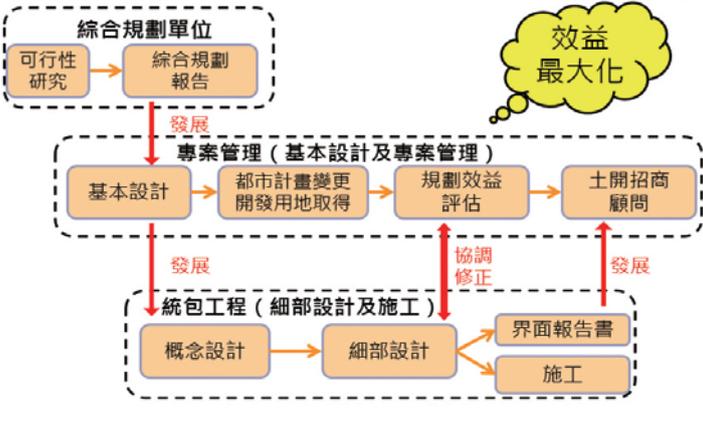


圖18 場站開發先期導入概念設計

效運用土地資源及保障整體範圍內之地主權益，特規劃「捷運場站開發先期導入概念設計」，採共構開發，將經費及量體納入後續擴充方式，以先行取得用地，並提供地主作為徵收方案之另種選擇，地主可選擇：①不領取協議價購土地款，參與土地開發，用開發後之不動產抵付協議價購土地款，以保留原居住之權利；②領取協議價購土地款，並得優先申請承購、承租開發後之不動產。

另場站共構開發大樓規劃為住宅、日用品量販與零售商業設施，完成後不僅提供居民周邊生活機能，活化地區發展，開發收益尚可挹注捷運建設經費，減輕政府財政負擔；共構開發規劃亦符合行政院所倡議的大眾運輸導向之城市發展策略(TOD)。

六、品質及職安衛管理

(一) 品質管理

捷運建設為國家百年大計，施工品質良窳更攸關搭乘民眾生命安全。捷運局於推動捷運建設之際，特依據行政院公共工程委員會頒訂之公共工程施工品質管理制度及作業要點，建立健全之品質督導查核制度，透過品質管理及進度管控等作業之密切配合運作，將品質規範與標準落實於施工程序中，達成整體工程品質之提升。

此外為確保委託廠商技術服務之品質，捷運局藉由評鑑程序，評估廠商每年執行契約工作績效，並配合相關獎懲措施，以提升廠商服務品質；評鑑績效獎懲成果亦可作為廠商未來投標時，評選委員評分之參考。

捷運TOD策略效益 強化場站服務機能 帶動產業新生機

第一箭 捷運蓋到哪 都更就到哪
已納入56車站 持續增加中

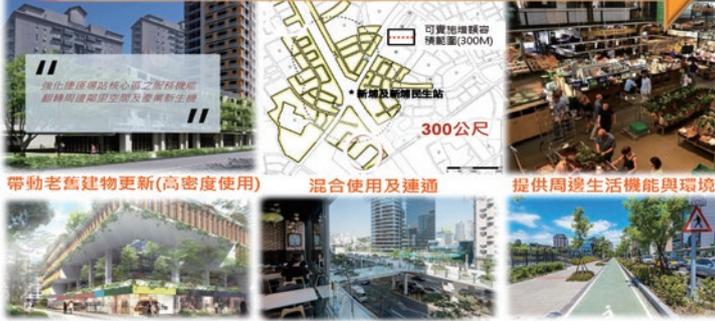


圖19 捷運TOD策略效益(一)

捷運TOD策略效益 帶動周邊大型開發區發展



圖20 捷運TOD策略效益(二)



圖21 捷運局品質管理體系

(二) 職業安全衛生管理

作為新北市捷運系統計畫推動機關，捷運局秉持尊重生命之精神，依據「職業安全衛生法」等相關法規，制訂機關安衛政策及年度安衛目標、實施三級安衛管理制度、強化高風險管理機制、建立即時緊急事故處理機制、積極

辦理職安宣導、增進工地人員職能及訓練，並落實施工中職安衛管理巡查，以確保捷運施工零職災，人員安全、工程順利完成。

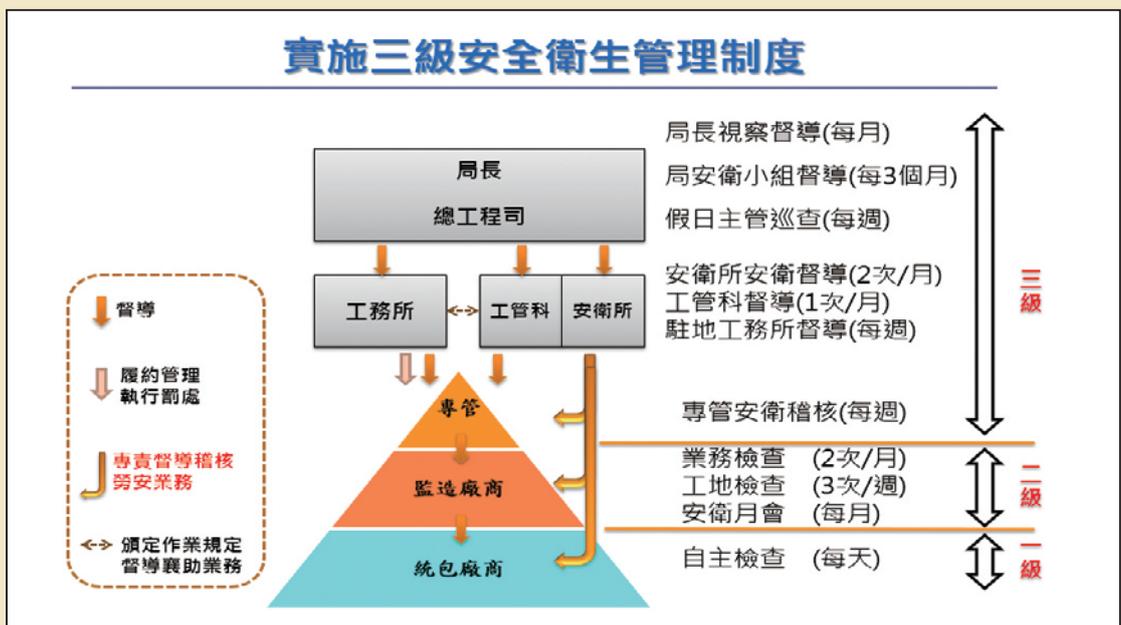


圖22 三級安全衛生管理制度



圖23 高風險管理機制

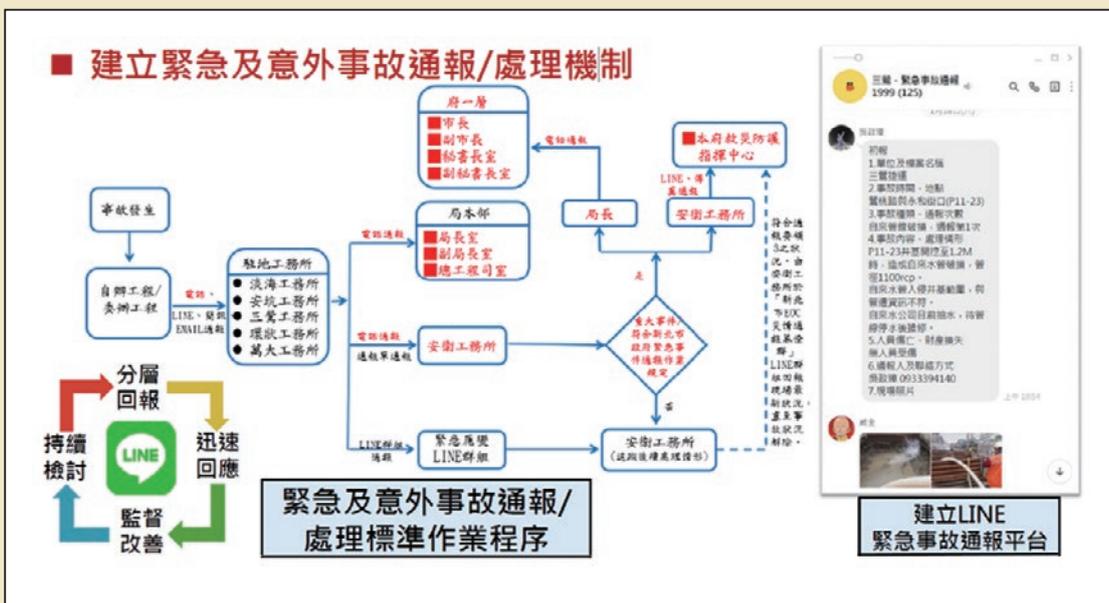


圖24 即時緊急事故處理機制

七、目標與展望

新北三環六線近三年內已完成淡海輕軌一期綠山線及新北環狀線，預計今年淡海輕軌一期藍海線將完工通車，後續於111年安坑輕軌、112年三鶯線、113年淡海輕軌二期、114年萬大中和線、117年新北樹林線及118年環狀線第

二階段(南環段、北環段)均將陸續完工，目標在民國119年成功串接三環六線路網，屆時新北市境內將達121座捷運車站，成為北北桃發展核心，躋身國際級大城市。

展望未來，透過三環六線捷運與輕軌等便捷完善之運輸服務，將擴大都會區繁榮發展，進

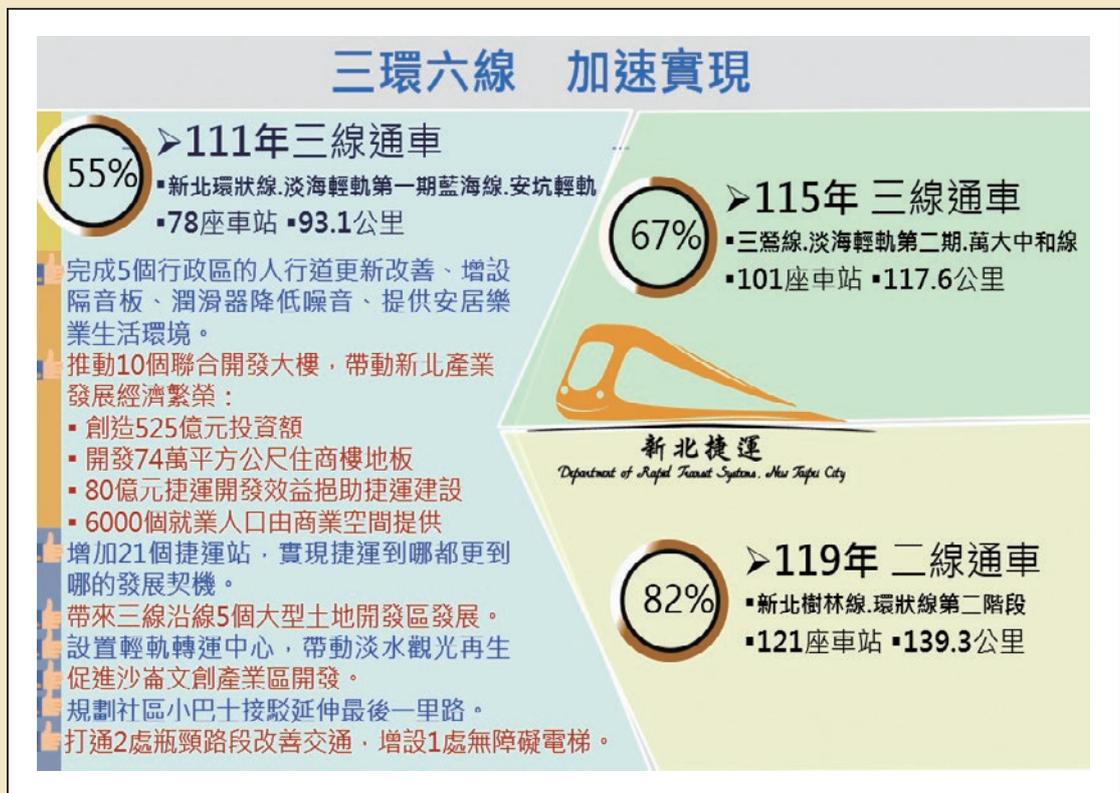


圖25 三環六線目標與展望

而逐步延伸推動周邊衛星城市開發；亦期許捷運路線完成後，將帶動車站出入口聯合開發及周邊發展，「捷運蓋到哪，都更就到哪」，再搭配妥善規劃的轉乘接駁系統，構建無縫運輸路網，提供民眾更完整便利之公共運輸環境，以活絡地區發展、促進就業機會，更實現大眾運輸導向之城市發展(TOD)，為新北市捷運沿線的都市發展及經濟，帶來重大深遠的改變。

伍、成果回顧

新北市捷運局自民國94年1月草創，負責辦理捷運可行性研究、綜合規劃、設計、興建及督核等相關業務迄今已十五載，一路走來開天闢地、上山下海、披荊斬棘又案牘勞形備極辛勞，始換得今日遍地開花之豐碩成果。回顧過

往，捷運局同仁秉持一貫之品質政策，帶領工作團隊為捷運建設計畫任勞任怨、無怨無悔的付出，造就安全、便捷、創新與經濟的成果有目共睹。

茲就安全、便捷、創新與經濟各方面之成果，略舉一、二回顧說明如下：

一、安全

(一) 施工安全

為維護工作人員安全，除依職安衛規定設置妥安防護設施及檢查機制、進入工區戴安全帽及防護具、加強職安衛教育訓練外，更研擬精進施工作為，提升(創新)施工技術、降低事故並縮短工期。

新北捷運局品質政策

安全

- 重視安衛環保，為施工人員提供安全工作環境。
- 為民眾提供安全、綠色及友善交通環境。



便捷

- 整合交通選擇，提高所有交通方式的可及性，改善民眾生活品質。
- 創造交通走廊，提供可靠及便利的移動性。

創新

- 鼓勵創新和創造力，以績效為導向，持續提高捷運工程效率及品質。

經濟

- 持續整合提升運輸服務效益。
- 技術產業化、在地化。
- 營運維修單純化，以降低成本。

圖26 新北市捷運局品質政策



船型施工架

有別於一般場鑄U型梁採大面積就地支撐方式施作，除能降低對都市交通影響外，亦透過精進後之系統性模組的組折方式，減少高空作業，達降低事故及成本，縮短工期。
惟因精進工法之施工技術人員較不熟練，故初期施作需較長時間熟悉。
另僅適用直線段固定之跨距梁，轉彎段或長跨距不適用。



竹削工法

三鶯線橋墩座落於國道三號邊坡上，為求慎重，於坡面開挖前先設立監測儀器，定期監測施作前後差異，另竹削型結構進行壁體打設、鋼筋補強、環梁組立及岩栓打設等作業皆要審慎審查確實。

圖27 施工安全成果(一)

(二) 營運安全

捷運通車後之營運安全主要在降低事故、減少衝突與縮短救援時程。為達成任務，於試營運階段即成立緊急應變小組，模擬演練各種

突發狀況，且於試營運日起，每日透過Line群組、網路媒體與平台等，廣泛蒐集缺失與意見，協調權責單位改善，並召開檢討會議確認案件結案情形，以確保正式營運後安全無虞。

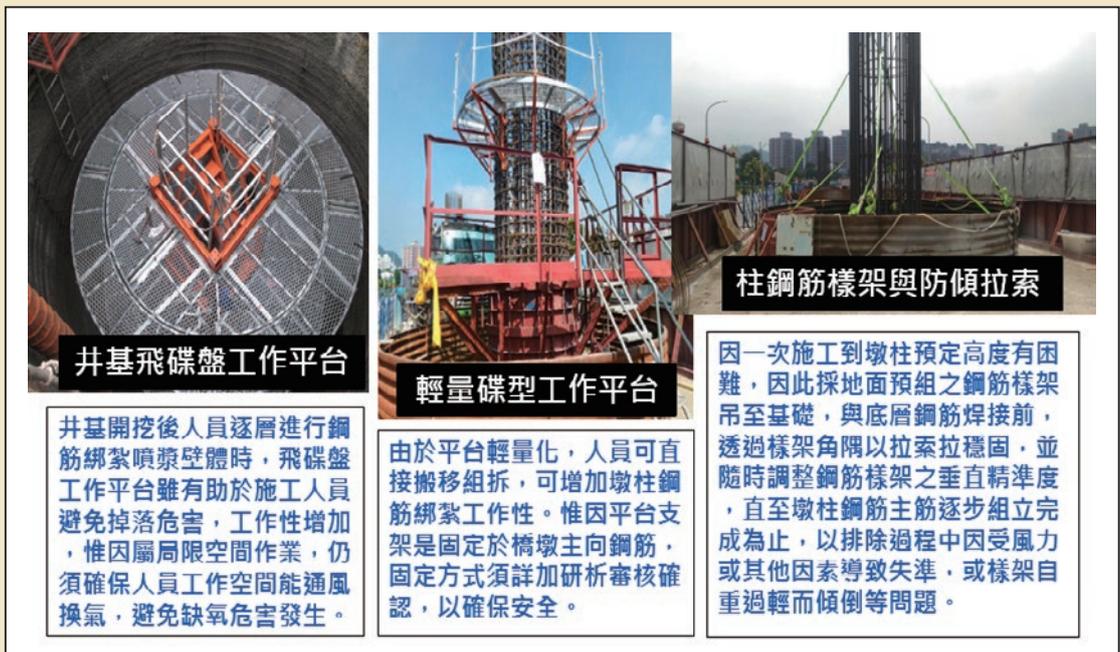


圖28 施工安全成果(二)

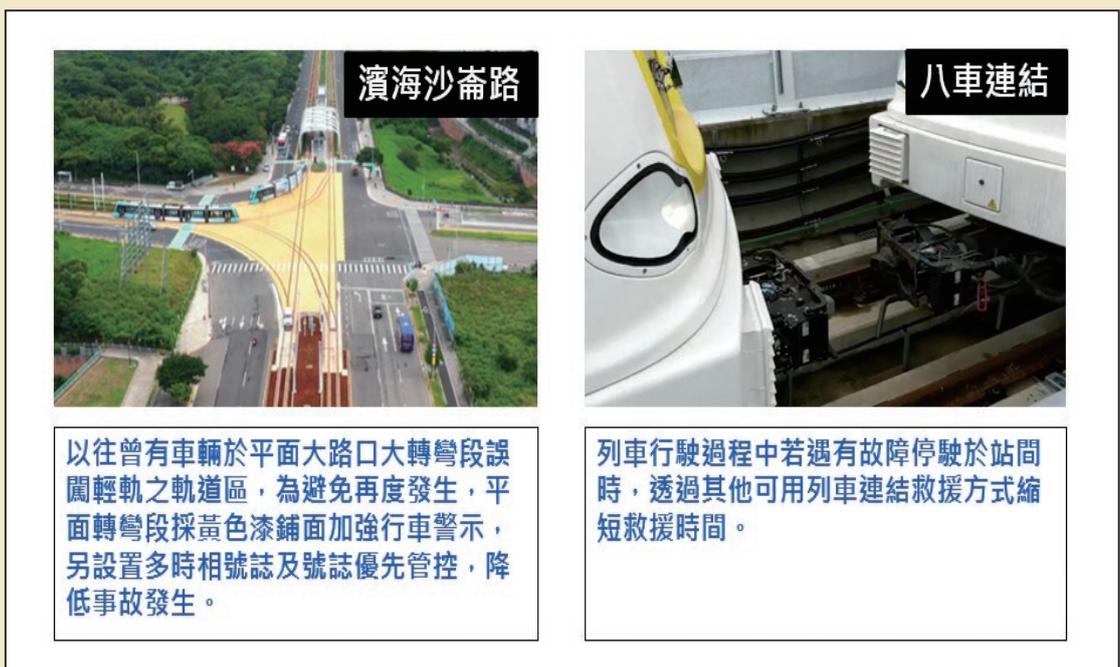
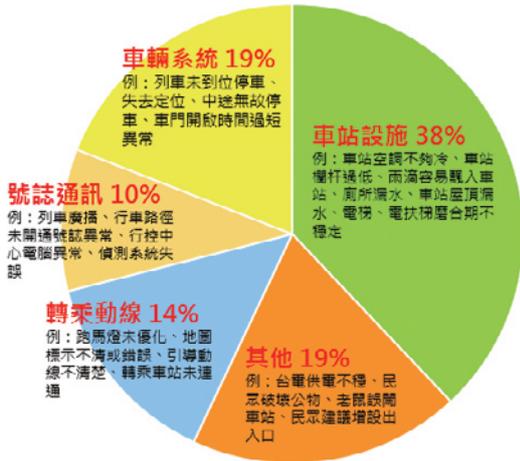


圖29 營運安全成果

* 新北環狀線試營運自109年1月19日起至109年2月29日期間，缺失事項經統計共238件，除屬長期改善或優化事項(尚有各子系統定期召開維修會議控管)外，其餘皆已結案。



執行經驗：

1. 新北環狀線試營運緊急應變小組成立前，須花較長時間與台北市府捷運工程局、台北捷運公司及新北市府各相關單位充分溝通未來開始試營運後緊急應變執行方式(例：LINE群組建立訊息傳遞與溝通之管道、人員排班、場地設備租借、事件缺失列管...等)與事件發生時(包括輿情)之權責分工，並透過實際模擬演練，更加深各單位對於事件發生後之因應對策經驗。
2. 事件發生時之權責分工，透過列表表及召開檢討會得以持續追蹤辦理情形，惟屬須長期改善或優化案件部分，長期列於控管表中檢討恐造成權責單位壓力，因此後續改採另案召開定期會議方式管控。

圖30 新北環狀線試營運緊急應變小組運作成效

二、便捷

配合捷運路線開通，重新整合規劃沿線及車站周邊設施，使市容煥然一新、交通井然有序；設置站間連通道、提供便捷又舒適之轉乘

方式；更新改善人行步道、增加通勤、景觀及遊憩空間；並檢視地方民意需求增設車站、服務民眾更便捷之捷運搭乘環境。



圖31 周邊交通重新整合規劃



中原溝新設人行步道

- 步道平台採棧道型式保留既有樹木，提供通勤、景觀、遊憩空間。
- 至捷運中原站縮短一半路程，提高搭乘意願。

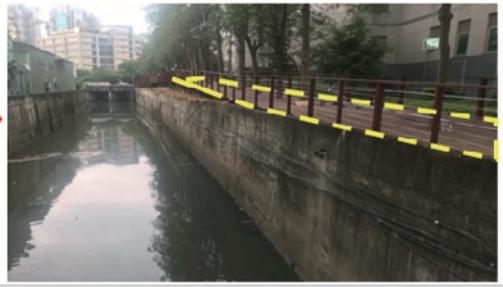


圖32 新北環狀線中和中原溝新設人行木棧道成效



未來捷運路網規劃狀態		里程(公里)	重要事項
本局	規劃中	機場線增設 A2a與A5a站	可行性研究暨綜合規劃研究報告於交通部審議中
	前置階段	泰山板橋輕軌	規劃中 已於108年6月決標委託顧問公司辦理可行性研究中

圖33 增設車站與輕軌路線之辦理狀況

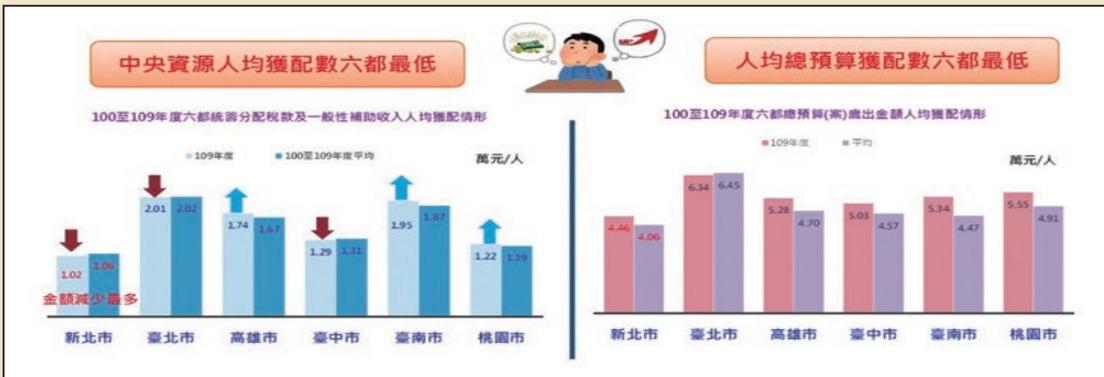


圖34 有效預算發揮最大效益

三、經濟

自民國100年迄109年度中央資源人均獲配數平均值及人均總預算獲配數平均值，新北市皆為六直轄市最低，而新北市捷運局單位人力需負責之工程業務量卻約台北市5.6倍，亦為高雄市2.2倍，處此艱困環境下，新北捷運建設除力行撙節預算支出外，並持續謀求突破，以發揮最大效益；例如輕軌車站設計均採相同鋼結

構方式，以「模組化、輕巧化」的設計，不僅經濟且易於維護，減少營運費用。

四、創新

三環六線捷運歷經淡海輕軌一期綠山線、新北環狀線、安坑輕軌與三鶯線等路線興建，工作團隊群策群力、求新求變，創新事項眾多，茲列舉部分如下：

項次	創新事項	成果
1	列車外觀及內裝視覺藝術設計	淡海輕軌列車以時尚輕盈設計為主題，一改傳統鐵路車輛厚重、刻板印象。列車內外裝造型色彩，係德國設計師實地參訪淡海後製作之獨特發想。
2	列車端高抗壓縮力	淡海輕軌列車為國內首度具備500KN車端抗壓縮力之輕軌車輛，可最小化碰撞時損害與維修工序，且超越歐規EN15227標準。
3	採輕量化鋁合金/發泡複材板	淡海輕軌為國內首度採用非金屬複材於車體結構，可大幅減輕重量，達節能減碳之效。膠合工法較焊接有更平均的應力傳輸特性。
4	列車駕駛操控界面安全設計	淡海輕軌列車駕駛操控界面主動安全設計概念，包括列車自動防護系統ATP及備援電子式後視鏡皆為創舉。
5	淡海輕軌結合公共藝術，展現在地風情	有別於以往捷運單一車站的公共藝術作法，淡海輕軌綠山線邀請國際知名繪本作家幾米，耗時兩年多時間，以淡水在地多元文化特色為主題，為全線11座候車站進行整體規劃，量身打造了作品《閉上眼睛一下下》，並以主角小女孩的視角，帶領遊客認識在地風光。
6	新北環狀線全線色彩計畫之公共藝術	新北環狀線多為高架結構，為降低對都市景觀之衝擊，由法籍建築師艾曼紐·莫侯以路線色為主，輔以不同的各站色彩，指定全線色彩計畫，建構「流水行雲·龍遊千里」公共藝術意境。

項次	創新事項	成果
7	新北環狀線音樂通廊	新北環狀線串聯數條路線，轉乘站多達8個，特委託周岳澄老師創作，在數個轉乘站設置音樂通廊，讓旅客穿梭搭車時亦能作一次音樂之旅。
8	新北環狀線音樂視覺化-隔音牆音樂意象	將到站音樂以數位化概念呈現，利用色塊深淺、長短、高低位置，分別對應音樂的強弱、節奏、高低，在隔音牆金屬板上以色塊呈現音樂意象。
9	新北環狀線多管齊下降低列車行駛噪音	列車行駛之唧唧聲，利用車輪整圓、軌道拋光、隔音牆延伸及軌道自動潤滑設備等措施，降低此等擾人之噪音。
10	新北捷運局設立網路媒體平台	捷運局自106年設立「OPEN！3環6線」進度公開專頁，開通以來已是每年200萬人之瀏覽網頁。 自108年5月開通「新北捷運局」粉絲團，已達1.4萬人次之追蹤專頁，貼文總觸及數達12.3萬人，收到按讚總數2.6萬人次。

淡海輕軌公共藝術

★各場站皆有幾米最新創作的銅雕作品。

★沿線以同一個主題延伸的通車候車亭。

★車站的指示標誌系統融入公共藝術元素。



圖35 淡海輕軌公共藝術創新

新北環狀線公共藝術

「流水行雲·龍遊千里」(全線色彩計畫)

新北環狀線多為高架結構，為降低對都市景觀之衝擊，我們利用輕巧設計外加上公共藝術表現，

由法籍旅日建築師Emmanuelle Moureaux, EMMA (艾曼紐·莫侯) 以路線色為主，輔以不同的各站色彩，指定全線色彩計畫，將全線高架車站、梁柱、排水管、隔音牆與電聯車外觀及車廂內裝之色彩變化主題納入公共藝術範圍，跳脫以往單一設置藝術品之傳統模式。

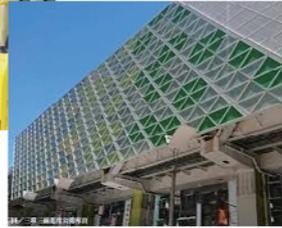


圖36 新北環狀線公共藝術創新

新北環狀線音樂通廊

新北環狀線串聯多條路線，轉乘站數多達8個，為了減少旅客在行進過程的枯燥，於新北產業園區站、頭前庄站、景安站、大坪林站設置音樂通廊，讓旅客們穿梭忙碌中也能來一場音樂之旅，委託周岳澄顧問創作。

周顧問為台北捷運松山線列車到站音樂作曲者、台北捷運驗票閘門進站提示音、轉乘端點提示音作曲者，對於捷運系統與空間熟悉，經驗豐富。周老師不僅是捷運綠線進站音樂及閘門音效的創作者，也是第24、25屆金曲獎得主(改編蕭邦為爵士的捷運綠線進站音樂、閘門的音效即是出自周老師之手)。



圖37 新北環狀線音樂通廊

新北環狀線音樂視覺化-隔音牆音樂意象



圖38 新北環狀線音樂視覺化-隔音牆音樂意象

多管齊下降低列車行駛「唧~唧~」聲-新北環狀線

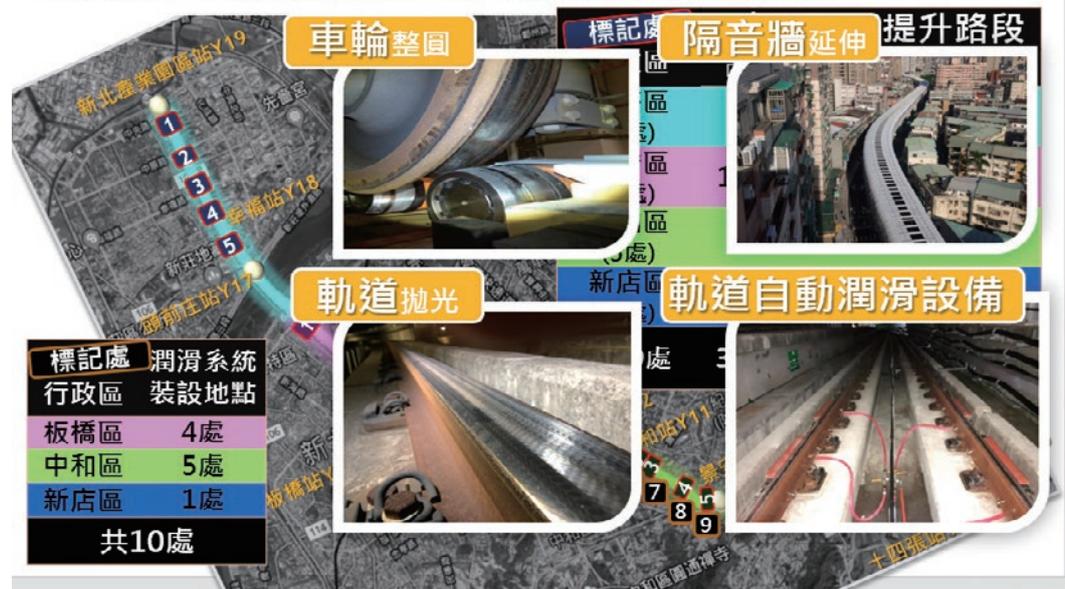


圖39 新北環狀線降低列車行駛噪音措施

捷運局網路媒體平台

本局自106年經營「OPEN! 3環6線」進度公開專頁，開通以來已是每年200萬人之瀏覽網頁，新北捷運局YouTube觀看已達16.8萬人次，觀看總時數5,884小時，4,740人次訂閱。



圖40 新北捷運局經營「OPEN! 3環6線」進度公開專頁

陸、反思回饋精進優化

新北市捷運路線中，淡海輕軌綠山線係於107年12月通車，新北環狀線則於109年1月通車；通車營運後兩路線陸續發現部分缺失，除

已針對缺失項目速予調整改善外，並積極研求精進方案，提供正施工中之安坑輕軌及三鶯線預作因應，所謂「他山之石可以攻錯」，希藉由實際營運經驗所得，回饋興建中的捷運路線改進，俾能更優化服務品質。

淡海營運中缺失於安坑中改善

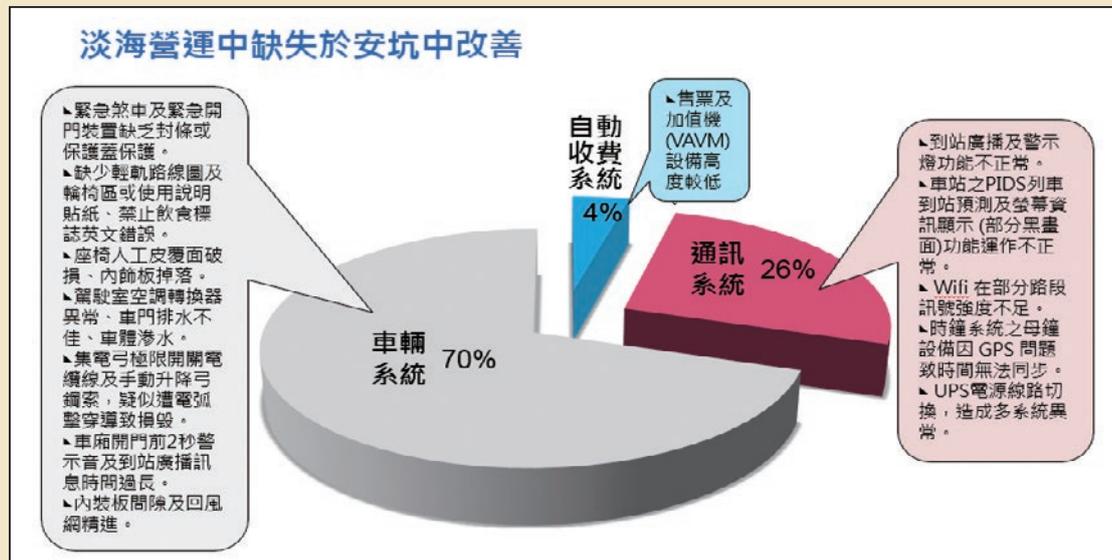


圖41 淡海輕軌營運缺失種類所占比例

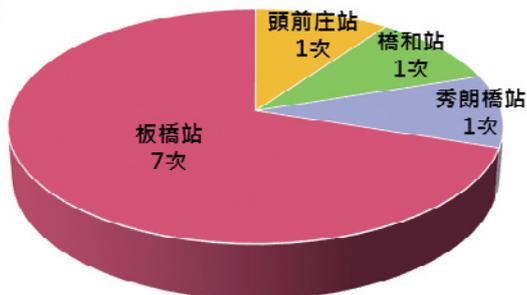
淡海輕軌列車於安坑升級



圖42 輕軌列車升級

新北環狀線營運中噪音及列車越位問題於三鶯中改善

- 108年8月份實質完工前尚無列車越位現象
- 108年10月份裝設軌道潤滑器後始發生列車越位現象
- 發生越位打滑地點幾乎都是同一的月台，且皆裝設有軌道潤滑裝置
- 應為軌道潤滑裝置所引起
- 列車發生打滑log紀錄



- 若車輛於車輪之制動力超過輪、軌間之允許黏著力，則車輪與鋼軌間即產生打滑。
- 經清潔軌道後，確認係鋼軌踏面潤滑油脂塗附量不均造成。

圖43 降噪設備設置調整優化(一)

新北環狀線營運中噪音及列車越位問題於三驚中改善

- 調整軌道潤滑器噴嘴角度及軌道踏面開孔位置，使輪緣處能有效潤滑，並避免潤滑油堆疊於軌頂面造成打滑。
- 因慣性因素將潤滑器噴嘴遠離彎道處，以確保軌頂面潤滑油均勻塗附。

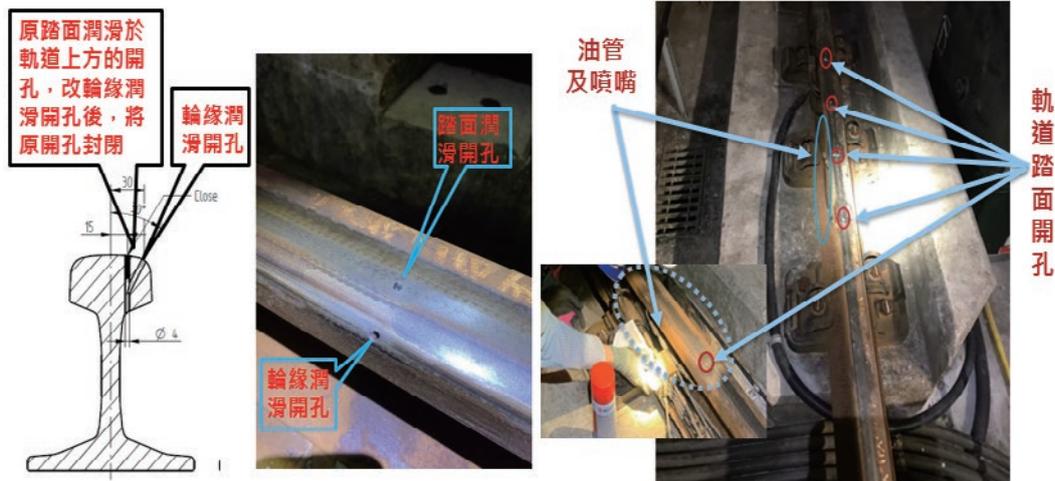


圖44 降噪設備設置調整優化(二)

柒、結語

新北市政府捷運工程局為使每項捷運設計計畫順利推動，經考量整體組織規模、分工架構及專業技術完整度等條件，期望於有限資源下，能達成效益最大化，因此委託工程顧問公司協助辦理專案管理及監造等業務，藉由工程顧問公司之專業建議、技術及創新思維與實務

經驗回饋，擴充捷運局人力及專業知識，俾於計畫全生命週期中，提升執行效能及工程品質再進化，並做為捷運局最堅強之後盾，共同朝向「三環六線、逐步實現」之使命奮力邁進。

鐵道技術研究及 驗證中心——推動人 本、綠色、安全、 智慧及國產化的軌 道產業

關鍵詞(Key Words)：鐵道技術研究及驗證中心(Railway Technology Research and Verification Center)、驗證(Certification)、軌道運輸系統(Railway Transport System)、綠建築(Green Building)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／電機部／計畫工程師／劉開成 (Liu, Kai-Chen) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／計畫工程師／郭健仁 (Kuo,Chien Jen) ❷

摘要

交通部2020年八大施政目標，其中在「促進運輸產業發展」施政目標中，成立「鐵道技術研究及驗證中心」為重點行動方案，為達成推動人本、綠色、安全、智慧及國產化的軌道產業，台灣世曦工程顧問公司於計畫開始，即朝生態綠環 Green circle的概念規劃設計，鐵道中心基地不同於過去以工業機能為主的廠區，鑲嵌在綠意環境當中，以圍繞基地既有的帶狀樹林為基本架構，融入平原上的生態族群。計畫結合工業技術研究院檢定、檢測儀器設備採購評估，配合研發設備廠房之配置，擴展其共用性與通用性之零組件檢測需求，將建構國人自主性研發軌道設計產品檢測平台，提供國內具有公信力之軌道產品驗證，強化營運單位及供應商完整軌道產業鏈，成為提供新樣式軌道產品開發及具有公信力機構之產品驗證機構。



Railway Technology Research and Verification Center - The promotion of humanism, green, safety, wisdom and localization Transportation Industry

Abstract

The eight major governance goals of the Ministry of Transportation and Communications in 2020, of which the establishment of the "Railway Technology Research and Verification Center" is the key action plan in the "Promoting the Development of the Transportation Industry", in order to achieve the promotion of humanism, green, safety, wisdom and localization for the rail industry, CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan started its plan, that is, the concept planning and design towards the green circle of the ecological green ring, which is embedded in the natural green factory area. Railway Technology Research and Verification Center is different from the factory with industrial functions in the past. In the green environment, the banded forest surrounding the base is used as the basic structure, and it is integrated into the ecological community on the plain. Combined with Railway Technology Research and Verification Center, procurement and evaluation of testing instruments and equipment, and the deployment of R & D equipment plants, expanding its common and versatile component testing needs, we will build a national independent research and development track design product testing platform to provide domestic credibility. Rail product verification strengthens the complete rail industry chain of operating units and suppliers, and becomes a product verification agency that provides new style rail product development and has a credible organization.

3

專題報導

壹、前言

政府提出前瞻基礎建設計畫如圖1，其中38項軌道建設預算合計4,241.33億元，預估可帶動國內產值約7,000億元，前瞻計畫提前並擴大辦理重要軌道建設，其中將鐵道技術研究及驗證中心納入並編列特別預算予以執行，除可將其技術研發結果提供興建單位應用外，並藉由國家軌道工業標準之訂定，進行廠商產品之檢測驗證，確保其穩定與安全，俾建立軌道產業檢測及驗證技術平台，並協助國內零組件及系統整合廠商取得技術驗證或產品實績，跨足國內門檻進而朝國際市場邁進。

具產業機會、安全可靠、智慧易行、永續營運、及具有觀光魅力的運輸服務。

鐵道技術研究及驗證中心設於高雄燕巢台灣高鐵總機廠旁之預留用地，開發面積約9.8公頃，位置如圖2所示，規劃作為軌道運輸系統行車人員(包括駕駛及行控人員)法定安全訓練、複訓及證照檢定、營運機構人員訓練課程認證等之專門機構，並供發展車輛、電力、通信、號誌、軌道、土建等相關技術及產品測試所需之實驗室、測試工場及測試軌。初期研究發展以軌道運輸系統零組件為出發，並俟未來研發需求擴充時，部分大型實驗可透過與國內學界或

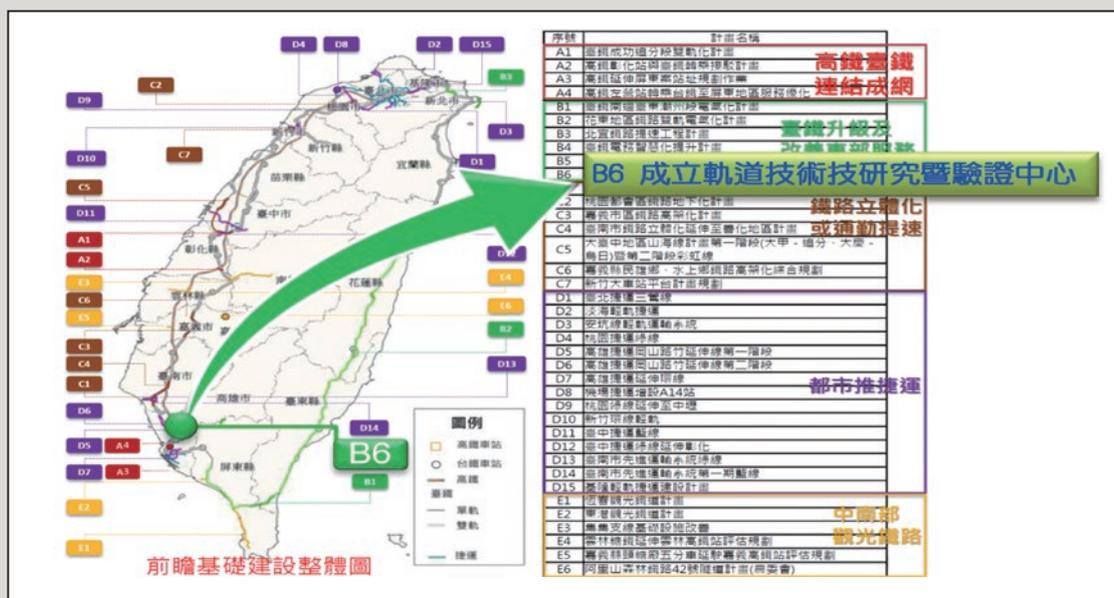


圖1 前瞻基礎軌道建設計畫

「前瞻基礎建設計畫」目標，在於著手打造下一個世代國家發展需要的基礎建設，其中「軌道建設」即是政府因應綠色交通運輸趨勢，考量國內迄今仍面臨偏鄉交通不便、私人運具持有比例高、公共運輸量提升已達瓶頸等課題，並著眼於高鐵自財務改善後已具國有型態，自104年增設站後，高鐵服務將擴大整合其他交通系統，有必要針對未來30年發展需求，就全國鐵路網之建置，包括骨幹、城際、都會內鐵道建設做全面性規劃，打造台灣軌道系統成為友善無縫、



圖2 基地範圍示意圖

產業界合作方式，或另擇適合場地擴大中心研究規模。

鐵研中心功能定位與營運業務規劃如下：

一、功能定位

誠如交通部鐵道局楊正君副局長於中華技術第118期中撰述，略以：「仿倣軌道先進國家作法，期企藉由成立國家級軌道技術專責機構，擔任扮演下列角色……，進而促成我國軌道產業及軌道運輸長遠發展。」。

鐵道技術研究及驗證中心的主要功能定位如圖3所示，是在執行：

- (一) 第三方公正機構
- (二) 與國內檢驗研究機構合作協助軌道產業發展
- (三) 支援軌道營運安全及維修技術
- (四) 與國際接軌

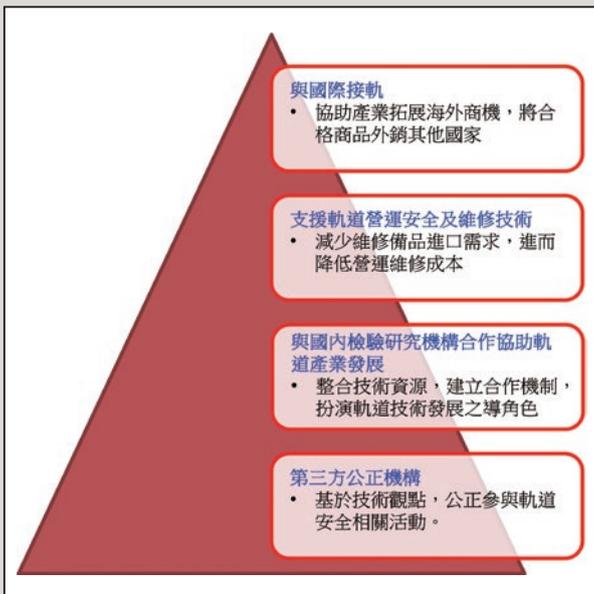


圖3 鐵道技術研究及驗證中心功能定位

二、營運業務規劃

依據108年11月13日公布施行之「財團法

人鐵道技術研究及驗證中心設置條例」，本中心之業務範圍如下：

- (一) 研究鐵道系統技術規範、標準與安全檢驗基準，並提供諮詢及建議

就前瞻基礎建設計畫之目標項目及後續確定檢測及驗證設備，進行相關技術規範、標準與安全檢驗基準，並依實際需求提供諮詢及建議。

- (二) 提供鐵道系統技術研發、產品測試、檢驗及驗證服務

透過檢測及認證單位、營運機構及學術單位等相關單位之盤點，以不重複投資之基礎，提供符合現況之鐵道系統技術研發、產品測試、檢驗及驗證服務。

- (三) 提供鐵道設備與零組件分析改善及維護技術解決方案

就營運機構於營運期間發生之異常事件或事故，或以Q&A方式，協助提供鐵道設備與零組件分析改善及維護技術解決方案。

- (四) 提供鐵道事故調查、安全檢查所需相關技術支援與辦理人員訓練及檢定

協助營運機構提供營運期間發生之異常事件或事故之事故原因調查，並協助營運機構執行與安全相關人、事、物等之安全檢查相關技術支援，亦可協助營運機構辦理人員訓練及檢定。

- (五) 國內外鐵道技術之資訊蒐集及交流合作

蒐集國內外鐵道技術文獻及資訊，必要時與相關單位召開交流合作之研討會議。

(六) 接受政府機關或其他公私機構、團體委託辦理前五款規定業務

接受相關機關或機構之委託，辦理上述(一)至(五)項之業務。

(七) 辦理其他與本中心設立目的相關之事項

辦理其他與鐵道研究及驗證之相關業務。

質也宣告新一代廠區強調人為活動與環境共生的和諧關係。

■ 平原上的生態族群

基地周邊為農田及帶狀樹林交織的地景，以圍繞基地既有的帶狀樹林為基本架構，將基地開發作為強化及延續生態的行為，在生態系統上供應更多樣生物棲息環境，提升區域生態的環境多元性，落實生態園區，達到環境和產業共榮共存的未來發展趨勢。

貳、鐵研中心工程規劃設計

生態綠環 Green circle

■ 鑲嵌於自然的綠色廠區

鐵研中心基地不同於過去以工業機能為主的廠區，鑲嵌在綠意環境當中，獨特的空間特

一、場區配置

本中心基地周圍環繞樹林及溪流，利用這樣的環境架構作為基礎，使其成為環境永續的鐵道研究廠房，基地概況如圖4、5所示，場區依使用目的配置成三大部分：『生態保育區』、『行政辦公區』、『測試研發區』。



圖4 鐵道技術研究及驗證中心基地概況

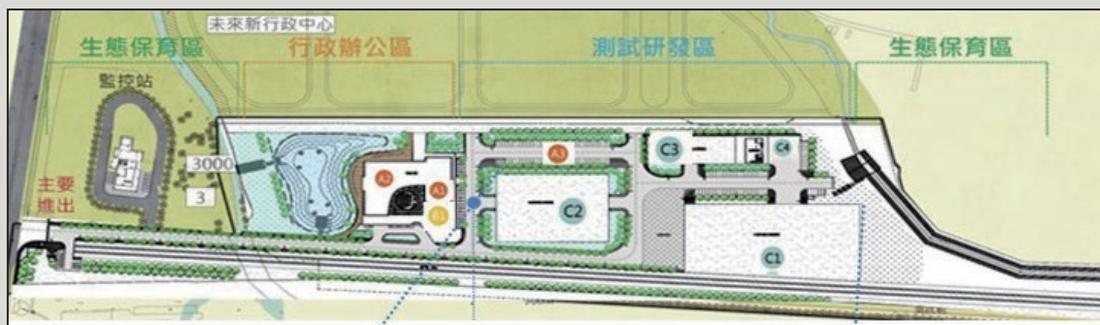


圖5 鐵道技術研究及驗證中心基地概況

最接近場區主出入口是生態保育區，原基地自然環境良好，利用中央林蔭大道串連南北向的生態棲地、滯洪池、休憩中庭、中央活動廣場等空間，創造與自然地景相呼應的生態意象，維持良好研究、學習、辦公環境。

行政辦公區位於廠區中央，包含行政中心、會議室、圖書中心、餐廳、接待區及訓練中心等，將各生活空間及辦公、訓練空間整合，有效率的區分動線系統，並在西側保留未來擴充之彈性。

測試研發區與測試軌道配置於基地北側，因應測試軌的使用配置相對位置，包含三棟測試研發工廠(C1, C2, C3)及一棟變電站(C4)；透過裝卸區整合，使作業動線清晰便捷，提高工作效率及安全。

二、行政大樓建築設計

行政大樓原計畫為三棟分設的行政相關建築整併為一棟，提高來回效率，並活絡辦公人員之間互動。中央以弧線創造中庭空間，使生

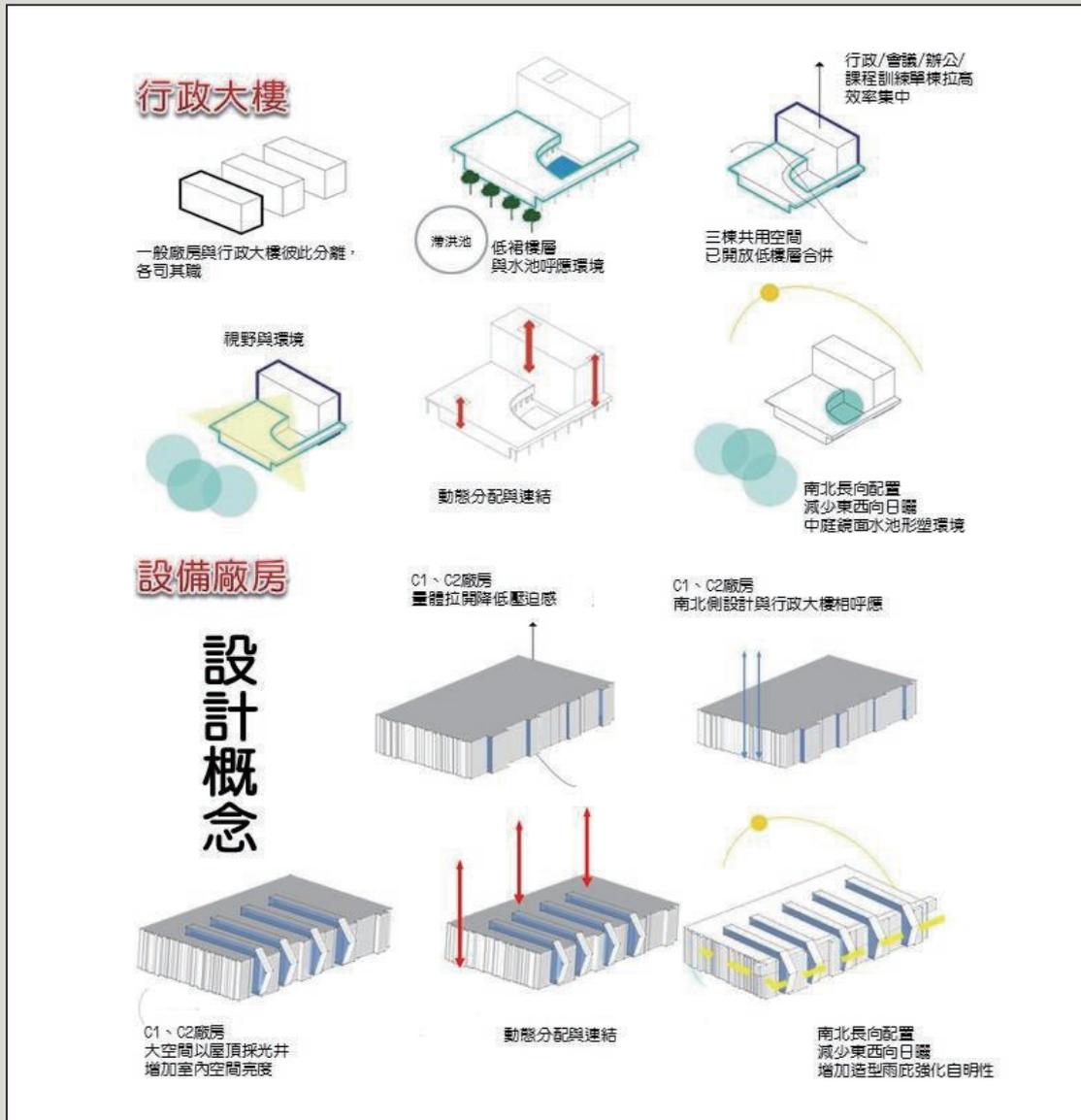


圖6 設備廠房設計概念



圖7 行政大樓透視圖

態氣息更能融入環境。開放公共空間集中距離滯洪池較近的一側，使人們休憩時更能接近自然，而一般辦公、上課則集中北側，提高使用效率。

三、檢定、檢測儀器設備廠房建築設計

廠房造型顏色廠區搭配行政大樓外觀隔柵造型及色系為灰色系以強化廠區融合之意象，

各廠房依需求分為上下二層，其量體巨大，通風採光不易。本案以「綠外套」為概念，積極的將建築外殼作為調節室內物理環境的手段，一、二層以不同的開窗面積兼顧必要的通風採光。因應南部高溫環境，屋頂側向天窗將北向的光線帶入中心空間，立面以淺色系色調作為主體減少吸熱，各廠房以不同色系之遮陽板點綴，增加識別性。



C1棟透視圖

圖8 C1廠房透視圖



圖9 C2廠房透視圖

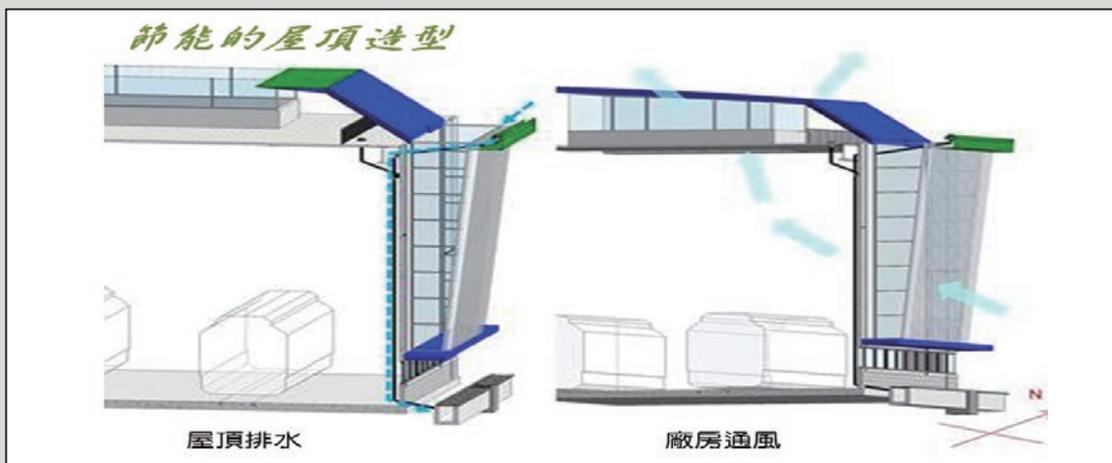


圖10 屋頂採光與排水示意圖

廠區依機能分區分棟，結構模矩化設計，節省結構造價，創造最大使用彈性。

四、綠建築標章取得

針對廠房建築綠建築標章需求，節能設計

屋頂綠化依『高雄市綠建築自治條例』相關規定，行政大樓及C1、C2廠房屋頂均配合設置薄層綠化設施以降低屋頂的熱傳導率，廠房外殼節能減碳作法如表1所示：

表1 廠房節能減碳作法

對策	構想	目標
節能	(一)採用節能空調設備。 (二)設置雨水回收系統。 (三)採用節能照明設備。	廠房環保生活及永續經營
減廢	(一)廢料回收：廢油、廢鐵回收。 (二)廠區污水處理。 (三)員工生活及車廂廢棄物處理、資源回收。	
低污染	(一)空污防治。 (二)噪音防治。	

目前行政大樓已取得銀級候選綠建築證書，C1、C2廠房正在申請候選綠建築證書中。

建物屋頂綠化已與四周景觀融合為一體，詳如圖12所示

為掌握國內軌道產業供需現況，交通部鐵道局邀請國內各大學、法人、軌道營運單位及設備製造商等單位，共召開3場國內檢測驗證能量盤點座談會，就轉向架、集電弓、車門、軌道基鈔、輕軌號誌、自動列車防撞、轉轍器、



圖11 行政大樓候選綠建築證書



圖12 鐵研中心全區配置圖

參、檢測驗證設備需求

一、檢定、檢測儀器設備評估與建議

牽引馬達、車輛自主電力與超級電容等10項優先發展項目進行調查，並蒐集各單位回饋之意見、配合實驗室現地訪查，除了瞭解國內軌道產業的檢測能量外，也可以規劃未來鐵道技術研究及驗證中心與國內各單位的檢測能量，以

期做到單位分工又不重複投資的原則。

鐵研中心建置之檢測能量以系統出發，配合研發設備廠房之配置，依設備特性搭配組合擴展其共用性與通用性之零組件檢測需求。以油壓機械測試設備為例，除系統性之規格外，亦可依需求進行車體結構零組件與次系統（座椅、玻璃、車廂地板、輪軸系統等）受力組件結構組件之強度、受力變形、結構老化疲勞、可靠度評估等測試需求。另於環境測試設備可進行軌道產業號誌零組件、車載機電、車輛儲能電力及超級電容系統之環境耐受性與可靠度測試能量測檢驗證。

本案檢測設備規劃可做為日後軌道建設藍圖，建構國人自主性研發軌道設計產品檢測平台，提供國內具有公信力之軌道產品驗證，強化營運單位及供應商完整軌道產業鏈。成為提供新樣式軌道產品開發及具有公信力機構之產品驗證機構。鐵研中心初期採購3類之20項檢測設備，如表2所示。

二、檢定、檢測儀器設備配置規劃

(一) C1 廠房配置

本中心建物及設施初步需求將C1 廠房規劃為車體、軔機及轉向架測試及研發工廠，並將伺服油壓測試系統相關測試設備一併規劃於C1 廠房，其樓層共3 層，設備配置樓層為1F，目前規劃之檢測設備其配置規劃圖如圖19 所示。

(二) C2 廠房配置

C2 廠房規劃為電子及控制設備以及集電裝置與供電系統測試及研發工廠，並將馬達動力計設備、環境測試設備等相關測試設備一併規劃於C2 廠房，其樓層共2 層，設備配置樓層為1F 以及2F，目前1F規劃之檢測設備其配置規劃圖如圖20所示。

表2 鐵研中心採購3類之20項檢測設備

類別	項次	檢測設備
油壓動力裝備	1	轉向架負載測試設備
	2	車門結構負載測試設備
	3	車門門型框架與轉接介面模組
	4	車門電磁式振動與衝擊測試設備
	5	轉轆器靜力負載測試設備
	6	轉轆器百萬次疲勞測試設備
	7	集電弓靜力與負載測試設備
	8	集電弓振動與衝擊測試設備
	9	軌道複合基鈹負載與疲勞測試設備
	10	軌道複合基鈹落下與撞擊測試設備
	11	油壓動力供應設備
環境測試設備	12	溫溼度測試設備
	13	防水防護等級1-6測試設備
	14	防水防護等級7-8測試設備
	15	防塵防護等級1-6測試設備
	16	陽光模擬測試設備
	17	鹽霧腐蝕測試設備
	18	冷熱衝擊測試設備
	19	列車偵測相容性測試設備
牽引動力設備	20	牽引馬達動力計測試設備



圖13 轉向架負載測試設備



圖16 軌道複合基鈑負載與疲勞測試設備

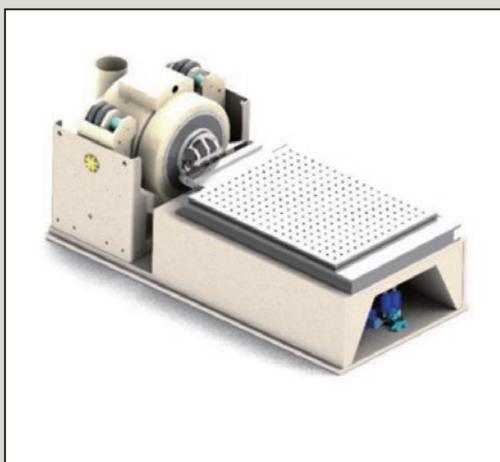


圖14 車門電磁式振動與衝擊測試設備



圖17 冷熱衝擊測試設備



圖15 集電弓靜力與負載測試設備



圖18 防塵防護等級1-6測試設備

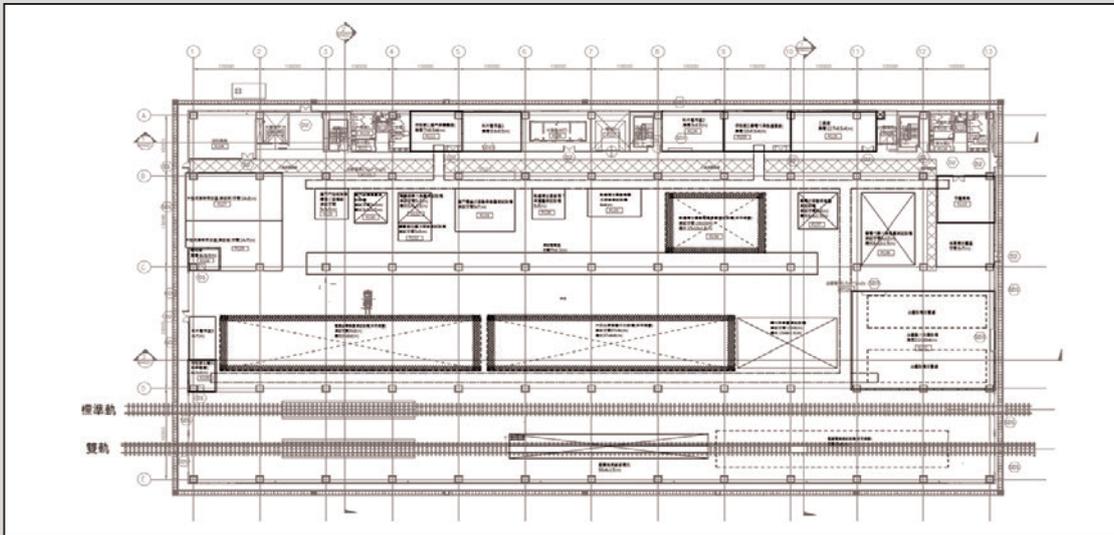


圖19 C1 廠房1F檢測設備配置圖

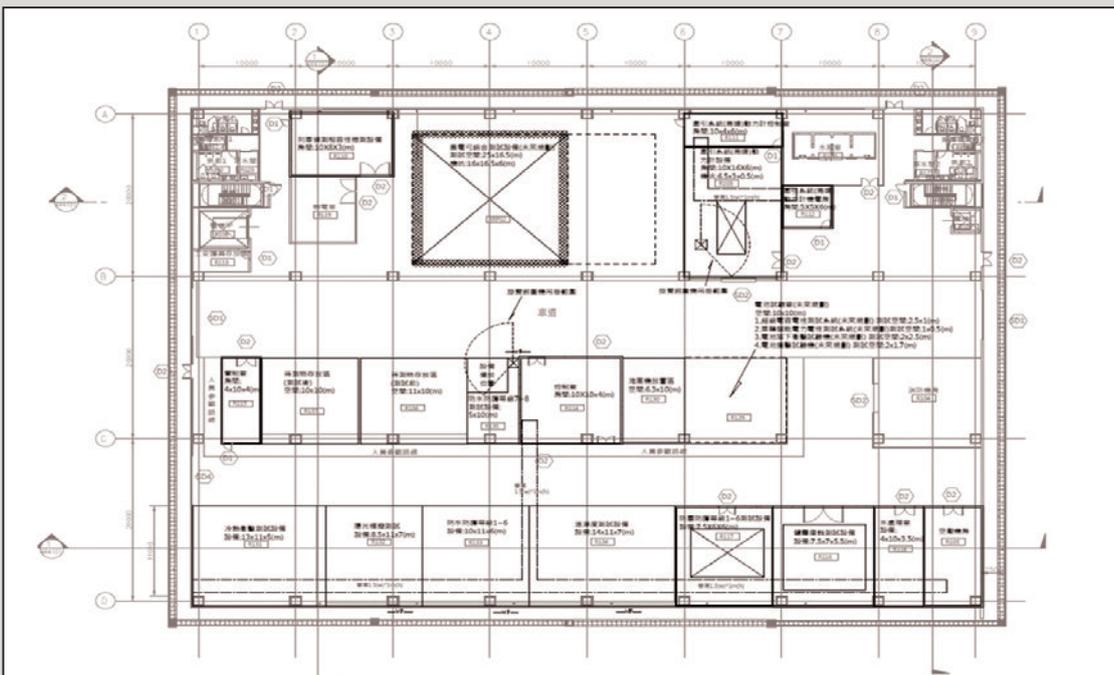


圖20 C2 廠房1F檢測設備配置圖

肆、結語

交通部在 2020 年版運輸政策白皮書係以行政院揭櫫的「做實事、接地氣、讓民眾有感」為最高施政目標，並以「人本交通」為願景，並確立「安全」、「效率」、「品質」及「綠色」為四大施政主軸，並歸納成「強固運輸安全體系」、「健全調適防災作為」、「強

化運輸系統效能」、「促進運輸產業發展」、「落實人本交通理念」、「支援觀光旅遊開展」、「推動智慧運輸應用」、「順應國際綠色潮流」等可以達成的八大施政目標。



在「促進運輸產業發展」施政目標一項中：

重要議題 一 為支持鐵道運輸永續發展，需鼓勵創造鐵道多元價值，我國鐵道相關技術自主設計能力與系統整合較弱，部分關鍵技術仰賴與外商合作，成本風險高，且技術認證與驗證機制有待建立，鐵道車輛國產化的供應鏈體系仍待擴大及深化。另國內鐵道技術人才不足，人才培育機制與環境營造亦有待建立。

相關策略 二 為厚植國內鐵道關聯產業發展機會與競爭力，重點為建置「鐵道技術研究及驗證中心」，透過檢測、驗證與實驗，增加軌道設備零組件安全性外，並建立技術研發能力及協助政府制定鐵道國家標準，透過產官學研合作架構，整合資源並活化人才培育。此外亦提升軌道系統維修備品國產化的項目比例。經由盤點維修備品在地生產需求，整合產製技術以發展次系統，並結合各軌道營運機構定期釋放維修商機，及辦理由商源說明會，促成軌道產業供需媒合，逐步達成維修自主化目標。

2020 年版運輸政策白皮書的願景及施政主軸



重點行動方案 三 成立「鐵道技術研究及驗證中心」

政府努力推動臺灣軌道產業發展，為綠色、安全、智慧及國產化運輸計畫扎根，匯聚能量的聚落成型，行動力一日千里，更將永續演進。

臺鐵潮州新機廠 ——兼顧環境永續 並發展觀光

關鍵詞(Key Words)：多準則評估法(TOPSIS)、生態多樣性(Ecological Diversity)、出流管制(Runoff Control)、智慧型電錶(Smart Meter)、熱板效應(Hot Plate Effect)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／資深協理／何泰源 (Ho,Tai-Yuan) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／副理／耿則中 (Keng,Tse-Chung) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／計畫經理／梁太隆 (Liang,Tai-Long) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／計畫工程師／邱學章 (Chiu,Hsueh-Chang) ❹

台灣世曦工程顧問股份有限公司／鐵道部／計畫工程師／簡聰吉 (Chien,Tsung-Chi) ❺

摘要

臺鐵現有客、貨車之三、四級檢修原利用臨港線進出高雄機廠，惟目前高雄市區鐵路地下化，臨港線斷軌，列車無法進廠檢修，故須遷建。

為建構臺鐵長遠適所之鐵路車輛檢修基地，高雄機廠遷廠之廠址評選，依環境敏感等條件，選擇對環境影響較小最適之基地，經評選以潮州廠址最佳，其可使鐵路檢修基地廠段合一，減少用地面積及避免進廠支線切割農地。

經環境生態調查發現基地外東側有二級保育類領角鴞及三級保育類燕鴿，故新機廠基地將依環評承諾營造棲地環境。

另為使觀光、文化與鐵道經濟串連，提升鐵道觀光旅遊產值，交通部提出「2022 年鐵道觀光旅遊年」，臺鐵場站配合進行美學升級，潮州新機廠亦將朝觀光機廠發展，形塑鐵道教育園區及鐵道車輛文物保存基地。



The TRA Chaozhou New Railway Workshop- Environmental sustainability & Development of tourism

Abstract

Taiwan's existing passenger and freight trains of the third and fourth levels were originally used to enter and exit the Kaohsiung Railway Workshop on the Lingang Line. However, the current Kaohsiung urban railway is underground and the Lingang Line is broken. The train cannot enter the Railway Workshop for maintenance, so it must be relocated and rebuilt.

In order to build a railway vehicle maintenance base for the suitable long-term station of the Taiwan Railway, the site selection of the Kaohsiung Railway Workshop's relocation plant is based on environmental sensitivity and other conditions and chose the most suitable base which causes the least environmental impact. The best site in Chaozhou was selected after evaluation, which can enable all levels of railway maintenance. The base and factory are united to reduce the land area and avoid cutting the agricultural land when entering the Railway Workshop.

The environmental and ecological survey found that there are second-level conservation horned owls and third-level conservation Eastern Collared Pratincoles on the east side of the depot, so the new Railway Workshop will establish a habitat environment in accordance with the commitments of environmental assessment.

In addition, in order to connect tourism, culture and the railway economy and improve the output value of both railway tourism and general tourism, the Ministry of Communications proposed the "Year of Railway Tourism in 2022". Taiwan Railway Station will carry out aesthetic upgrading, Furthermore, the Chaozhou New Railway Workshop will also be oriented to develop a tourism depot, shape the railway educational park and the railway vehicle cultural relics preservation base.

3

專題報導

壹、緒論

一、緣起

臺灣鐵路管理局高雄機廠現址位於高雄市鳳山區武慶二路221號，面積約30.89公頃，員工約5百人。主要辦理客、貨車車廂之三級~四級檢修業務（三級：全盤檢修 四級：更新檢修）。

另位於高雄機廠東南隅之南區供應廠，為臺鐵南部主要辦理財物驗收、倉儲、採購及廢料等業務之材料廠(圖1)。

臺鐵客、貨車之三、四級檢修原利用臨港線進出高雄機廠，惟目前高雄市區鐵路地下化，臨港線斷軌，造成列車無法檢修，故臨港線沿線檢修基地（高雄機廠、南區供應廠及高雄港檢車分段）須遷建(圖2)。



圖1 高雄機廠現況

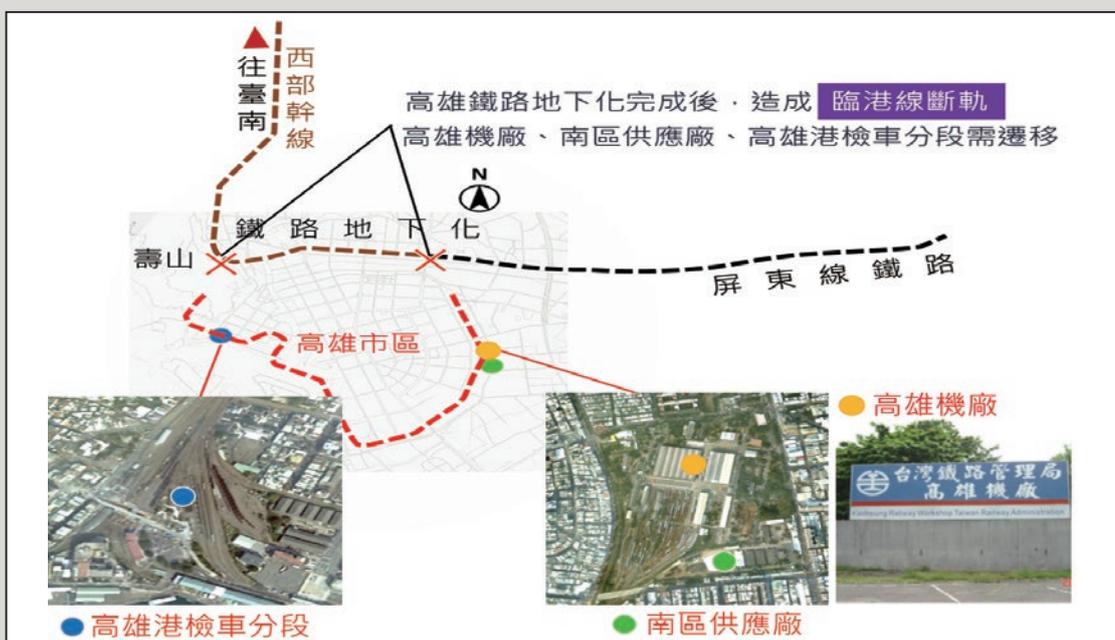


圖2 臨港線沿線臺鐵檢修廠段平面位置

二、廠址評選

可行性階段辦理廠址評選，廠址評選採用多準則評估法評選(TOPSIS)，其評選層級架構如圖3，依環境敏感、水文及地質等條件，選擇對

環境影響較小最適之基地，經七處廠址評選結果以位於潮州車輛基地(辦理一、二級檢修)東側之潮州廠址最佳(圖4)，其可使鐵路車輛檢修基地廠段合一，減少用地面積及避免進廠支線切割屏東農地，縣政府亦同意遷建至潮州廠址。

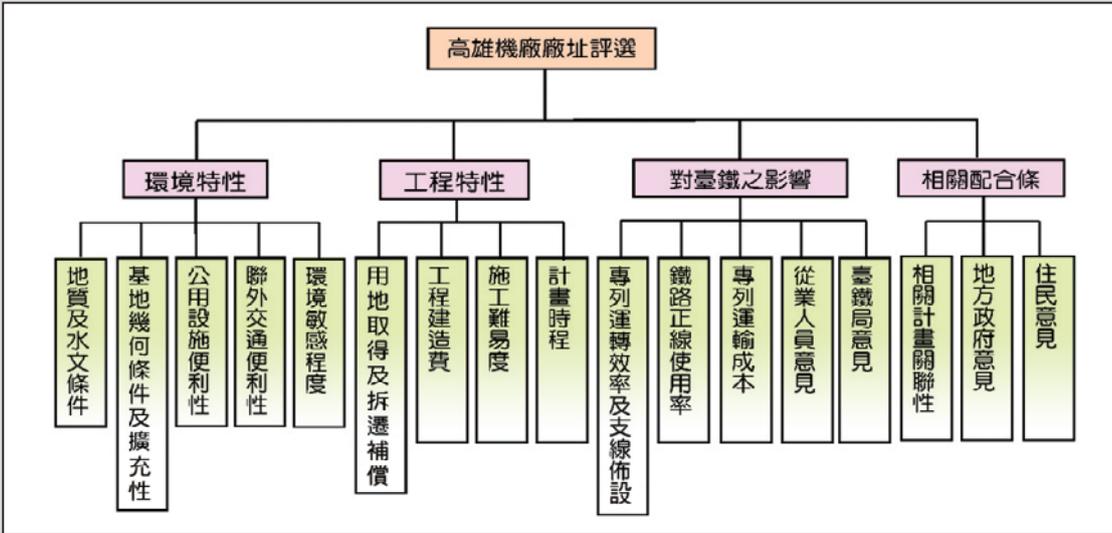


圖3 廠址評選層級架構圖



圖4 七處評選廠址平面位置

三、目標-成為臺鐵局南部車輛檢修中心

依據「鐵路機車車輛檢修規則」規定，車輛之定期檢修分為四級，一級-二級檢修由段擔任，三級-四級檢修由機廠擔任，配合臺鐵捷運化的轉型，檢修基地布局合理化，潮州新機廠(三-四級檢修)毗鄰104年啟用之潮州車輛基地(一級-二級檢修基地)，除可節省車輛進廠檢修回送距離成本，亦整合一-四級檢修成為臺鐵南

部車輛檢修中心(圖5)。

四、潮州新機廠基地配置

機廠用地，位於屏東潮州西臨台一線與潮州車輛基地相鄰；面積51.67公頃，基地分為：高雄機廠、南區供應廠、鐵道文化園區等(圖6)。



圖5 臺鐵南部車輛檢修中心

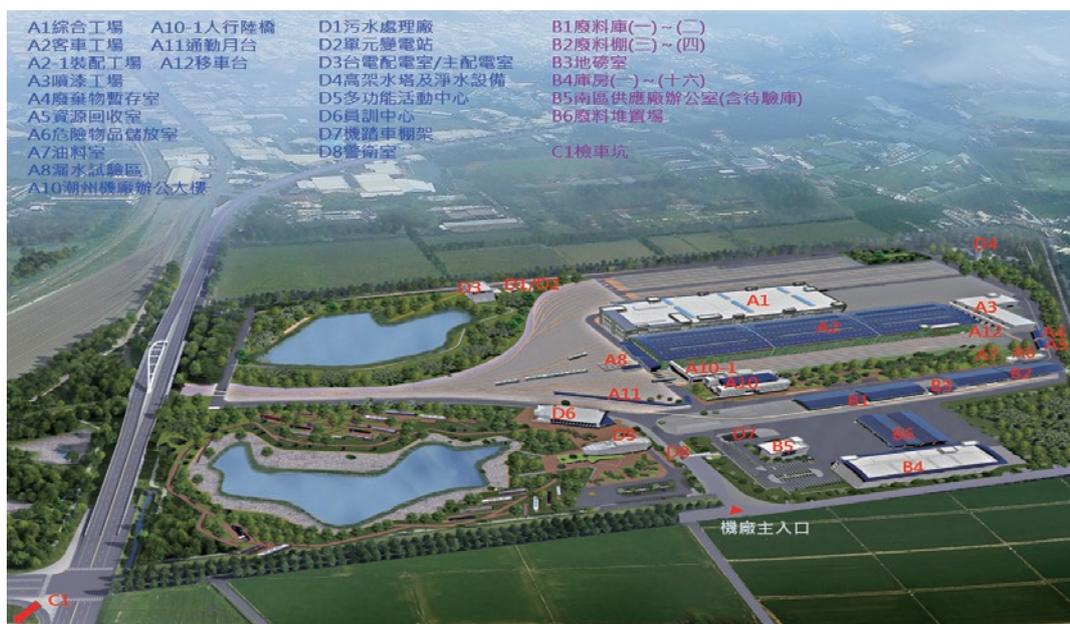


圖6 潮州新機廠基地配置圖

貳、廠房建築

機廠位於南臺灣陽光充足中央山脈大武山下的綠色平原，故將自然環境列為首要的設計考量，建物如何融入環境其與周邊地景肌理、風向、光等，都是研析重點。

建築主要分為廠房及辦公室，造型配合在地環境、生態、人性化，設計概念如下：

一、形塑農業紋理

- (一) 基地周邊為農地，建築外觀色彩應接續周邊農業景觀使其協調。
- (二) 建築廠房盡可能採用弧線，以符合有機農業景觀線條融入自然。
- (三) 建物與建物間的配置虛空間，如園林般使人可以遊園遊廠。

二、節能減碳

- (一) 屏東炎熱的氣候條件，設計利用3D環境模擬分析軟體進行物理環境分析(日照、風、熱輻射等)，經檢討合宜造型

及方位，建物以東西向為主之最佳化配置。

- (二) 利用風向，廠房屋頂開口與西北-東南風向平行，提高換氣率，輔以高約24公尺廠房，可自然降溫無需設置空調。

三、蔭的建構

因應炎熱環境，各棟建物連通動線均考量「蔭」，從南側聯外道路進入機廠前設有綠廊林蔭迎賓，進入廠區停車後步行至各廠房前，設有半戶外棚架及連廊提供了遮蔭，各廠房之間皆有成排的林蔭步道/自行車道串連，營造出廠區裡舒適的步行環境及空間。

在廠房造型方面主要為屋頂通風加百葉、雨庇。屋頂開口部分為深開窗，確保雨水不會潑灑入滲。玻璃部分作為室內大空間採光之用。

四、建物造型

辦公室等建物造型說明如下(圖7)：

- 平行列車：量體如兩列平行的列車，東西向



圖7 行政大樓(A10)外觀造型意象說明

配置能避免東西曬、引入南北日照。

■ **工廠屋頂**：兩量體間之半戶外中庭上方如工廠大屋頂使中庭能有舒適的自然通風及採光。

■ **現代空間**：南向大片玻璃做為現代化語彙，水平、垂直的分割使立面整體更沉穩，並呼應到鐵軌縱橫交錯的意象，另輔以台鐵標誌點綴。

員工訓練中心以Y造型柱創造出上下清楚的獨立量體，上部造型狹長對稱的空間呼應列車的機械感。下部平滑曲線造型空間連續地表

景觀，作為地景的延伸，使量體與土地更為融合。

在機能上也清楚地分別為公共開放空間與私密的員工訓練宿舍，造型個性清楚明瞭(圖8)。

■ **機械**：東西向兩側立面對稱幾何韻律構件呼應鐵路載具之機械性。

■ **地景**：摺板打碎量體感削弱量體對地景環境的視覺衝擊(圖9)。

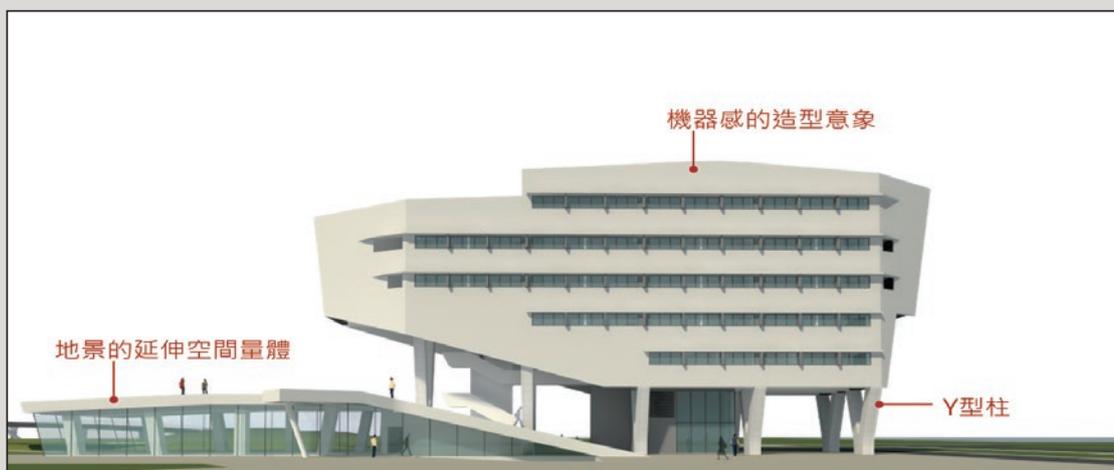


圖8 員工訓練中心(D6)外觀造型意象說明



圖9 活動中心(D5)外觀造型意象說明



圖10 高架水塔(D4)外觀造型意象說明

240噸水量設置於20公尺高的水塔量體，利用曲線型與地面連結，試圖將其融合於地表，整體感是一個漸層漸變的效果，避免突兀於環境之中(圖10)。

參、開發低衝擊

基地高程由西南向東北漸次升高。為避免大規模挖填而造成環境衝擊，基地採平均高程進行整地，挖填平衡為原則。

整地排水遵循低衝擊開發（Low Impact Development）原則，以生態系統為根基，透過滯洪、入滲及雨水貯留利用回收等方式，減少暴雨逕流量和改善水質。

一、滯洪

未開發前地表具有良好之覆蓋，地表滲透性佳。然而開發後，建物等造成地表面不透水，逕流量增加，降雨集流時間縮短，使原有下游排水路無法承受增加之逕流量。因此，經由滯洪池的設置來控制開發後逕流洪峰量與洪峰到達時間，避免造成下游地區排水負荷。

現行(108年2月施行)之出流管制，係以開發逕流零增量，即基地開發後排水出流2、5及10年重現期距之洪峰流量應分別不大於開發前2、5及10年重現期距之洪峰流量，如圖11。

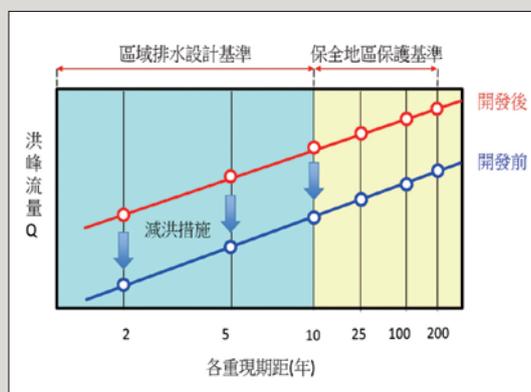


圖11 現行出流管制計畫各重現期距出流管制量

潮州機廠於104年設計，依中央管區域排水「排水計畫書格式及內容」辦理，減洪設施以開發後100年重現期距24小時暴雨之標準計算，出流量則考量下游崁頂支線排水之承容能力，開發前2年頻率作為出流量。

相較於現行規定開發後10年重現期消減至開發前10年重現期距流量，本基地設計採開發後100年重現期消減至開發前2年重現期距流量，更可保全下游地區不受洪災之侵襲(圖12)。

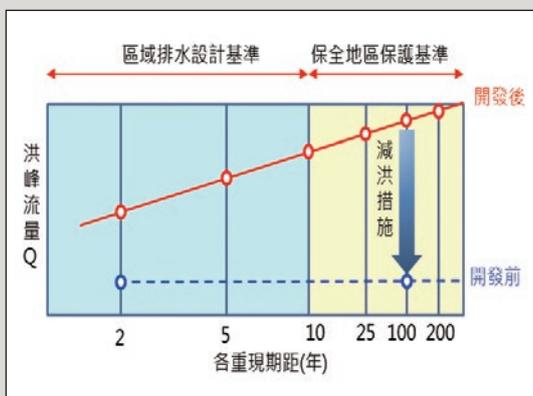


圖12 本計畫出流管制量

二、入滲

透水區域37公頃包括綠地、軌道區、採透水鋪面之停車場、人行道及廣場等，其佔總面積約71%，可使土地如海綿，降雨即可入滲，降低地面逕流。

三、貯留利用

基地設置五處雨水再利用區，於雨水再利用區設置排水管收集導流至雨水貯集池，將雨水回收用於植栽澆灌(圖13)。

排水工程除遵循內政部營建署推行之低衝擊開發原則，亦參考環保署降雨逕流非點源污染最佳管理技術(BMPs)規定，為減輕初期降雨沖刷地表所產生之非點源污染對水體之影響，基地所設置6座滯洪池之量體已符合初期沖刷水質控制體積(WQV)。

肆、低耗能智慧廠房

新世代檢修機廠為提高檢修效率、降低成本、提升品質為主，採智慧化機電系統為設計思考主軸，並輔以節能技術，營造員工一個安全、健康、舒適的工作環境，實現員工及臺鐵雙贏價值。

一、建構智慧配電網路

基地建物多，用電設備容量高達6000kVA，而電力成本成為維護管理重要支出。電力節約採兩種方式：一、運用先進讀錶系統。二、建置能源管理系統，分述如下：

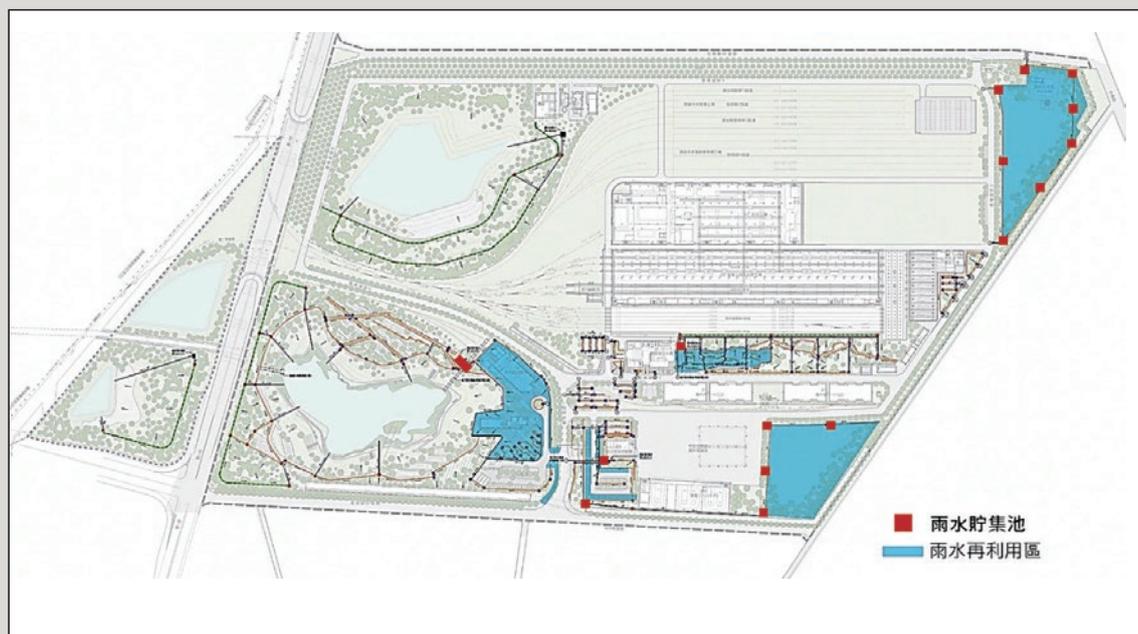


圖13 雨水回收利用

(一) 運用先進讀錶系統

於各建物、主要幹線迴路及大耗電或重要設備裝設智慧型電錶(圖14)，除可計量用電度數外，更可以即時監視停電事故發生之時間、日期與持續時間等資訊，並記錄不正常的電壓、電流與電力品質變化，透過分析判斷可能故障位置並加速搶修復電，以提升用電可靠度與改善供電品質。

智慧型電錶主要功能包含能耗狀況、成本控制、監測控制、報表分析及優化改善等，以便掌控設備進行運行操作狀況，提高整體管理水準。良好的管理也將是延長設備使用壽命之方法，且及時的各類報警信號，也將使損失降至最低。

(二) 建置能源管理系統

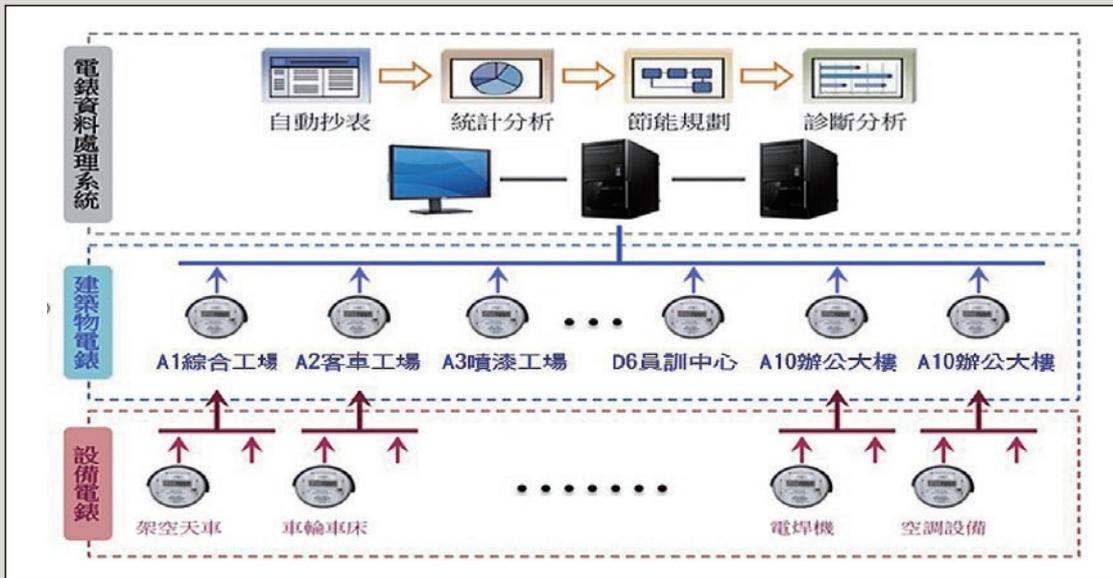


圖14 智慧型電錶系統示意圖

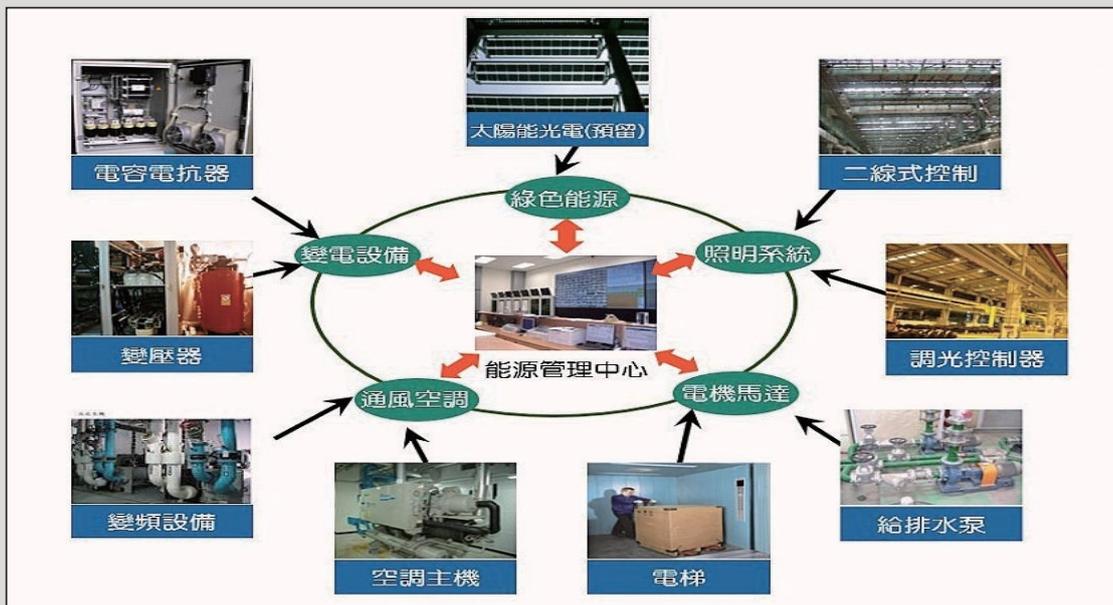


圖15 能源管理系統示意圖

機廠使用通訊技術來整合全區變配電、照明、電梯、空調、供熱、給排水等能源使用狀況及節能管理，俾實行集中監視、管理和分散控制，以通過一個持續有效的能源優化過程，使建物之耗能減至最低(圖15)。

二、綠能化排煙系統

檢修廠屋頂以金屬材料為建材，夏天時溫度常超過38 °C以上，易形成熱板效應(Hot plate effect)。依據NFPA92B，火災所產生的熱煙層在上升中會與周圍冷空氣交互作用而逐漸降溫，當室外溫度超過38 °C時，煙層因而無法有效浮升至18公尺以上天花板，所以輔以機械排煙才能有效達到排煙效果。

新機廠排煙採用自然通風與排煙風機之混合排氣設計，平時廠房通風使用通風百葉，火災發生時排煙除通風百葉外同時啟動風機排煙，設計採CFD熱流電腦模擬分析(圖16)來調整百葉與風機配置，設計儘量減少排煙設備數量，以達到節能減碳及減少維管，並使排煙效能最佳化。

伍、永續景觀

一、目標

(一) 促進生態多樣性

基地舉目均為平原農業景觀，數百年來先民努力開墾，早期農業用水塘逐漸消失後，錯落在農田間的防風林及果樹是唯一起伏的地景。

基地原為台糖武邊農田，土地從毛豆田回歸為可使用的地，重新檢視區域生態關係，自然地景中存在濕地、草地、農墾地至低海拔森林之樣貌，將擷取地景元素挹注於基地，讓基地能回到孕育生態多樣性的環境。

在原先農墾地上整體營造地形變化、營造防災滯洪池與綠地，導入大武山低海拔森林以及濕地等屏東在地空間特質，可豐富原本平坦農墾地，亦在東西兩側大生態軸間成為橫向串連的重要綠塊(圖17)。

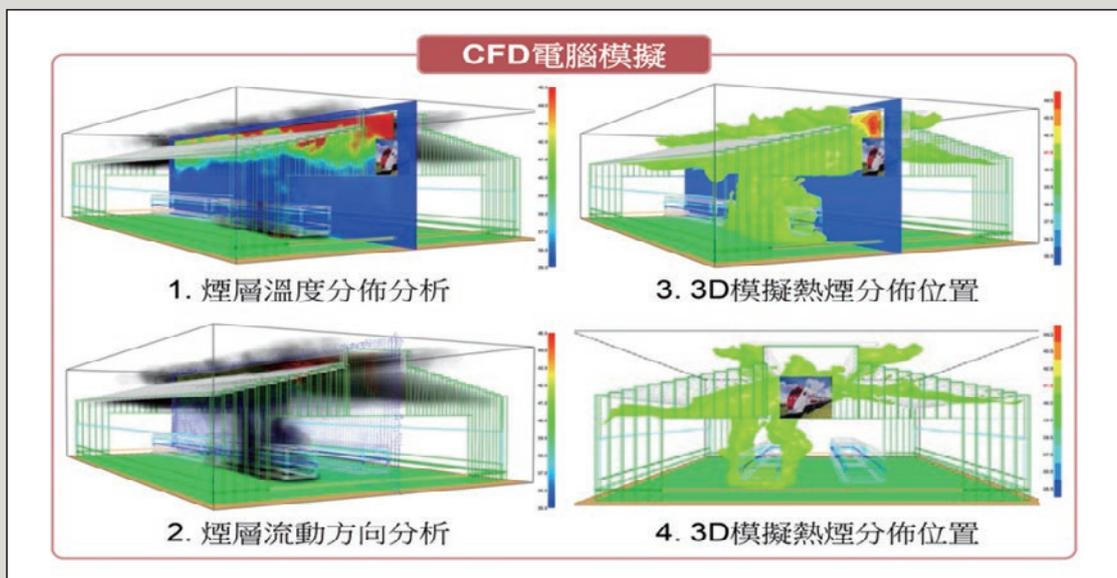


圖16 CFD電腦模擬排煙效能示意圖

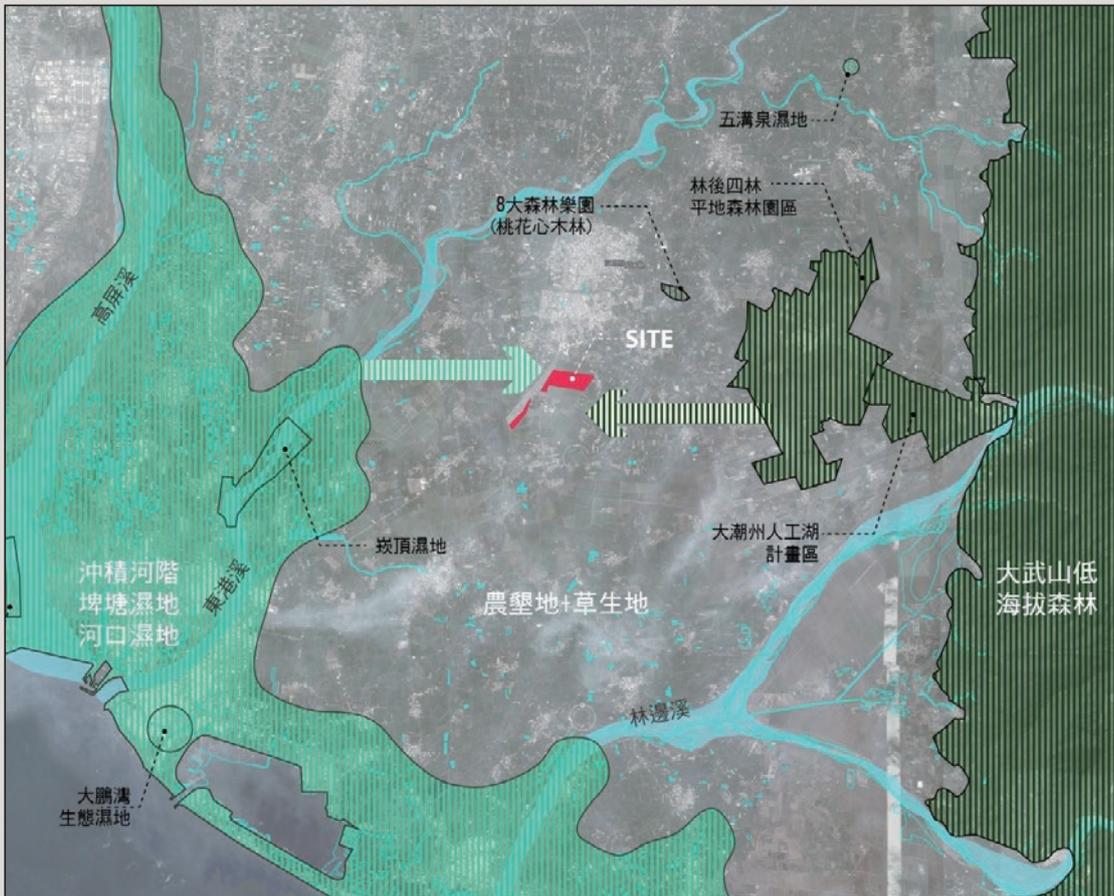


圖17 機廠位置環境說明圖

(二) 創造生活場地

基地位於潮州鎮南側約1公里，周邊遊憩點如8大森林樂園、林後四林平地森林園區，逐漸在市鎮外（潮州、萬巒）構成以環境復育為內涵之生態遊憩圈。

由於基地具備活動中心、餐廳等服務空間，相對周邊遊憩點多了日常停留、聚集活動發生之潛力，因比其他綠地更能貼近城鎮生活，故可定位為支持潮州鎮亦能兼顧假日遊憩、活動需求的大公園。

基地周邊自行車道推廣，可提升基地之遊憩可及性，再經「單車國道」（屏東縣政府自行車道路網）之延伸，期與屏東大鵬

灣國家風景區及墾丁整合，成為南臺灣一條新的遊憩路線（圖18）。

二、景觀配置

新潮州機廠，強調人為活動與環境共生的和諧關係，藉由地形起伏、水與綠之包覆，使工作、休憩、生態活動都能發生在貼近自然的環境。

景觀包含A展示文化園區、B機廠工作區、C生態保育區（領角鴉）、D生態保育區（燕鴿）、E綠帶緩衝區之五區，依循此分區，景觀配置建構生態與活動共享的開放空間，並依環評，針對生態保育區及周邊設置綠帶緩衝區域（圖19）。

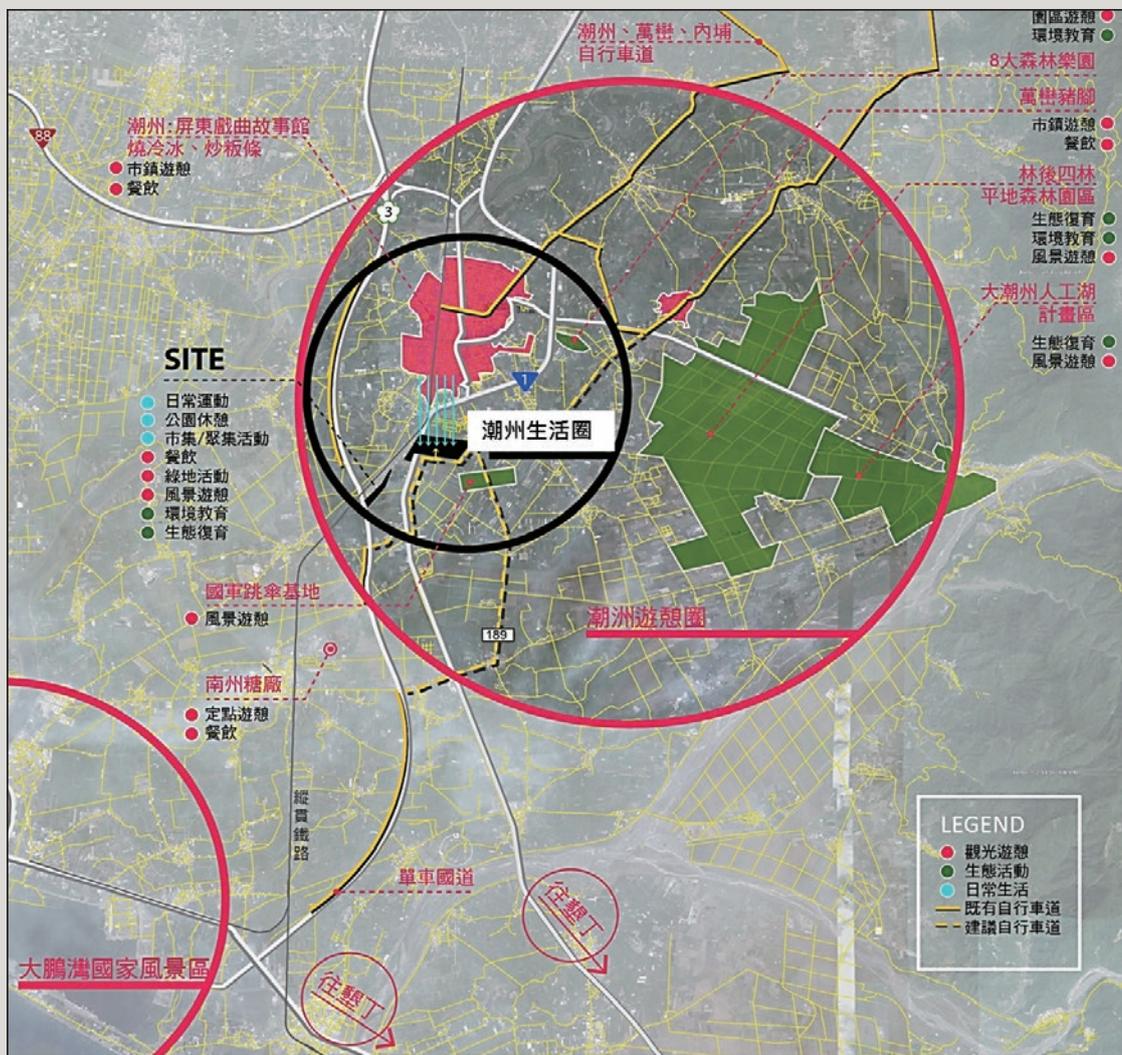


圖18 機廠位置附近旅遊動線圖

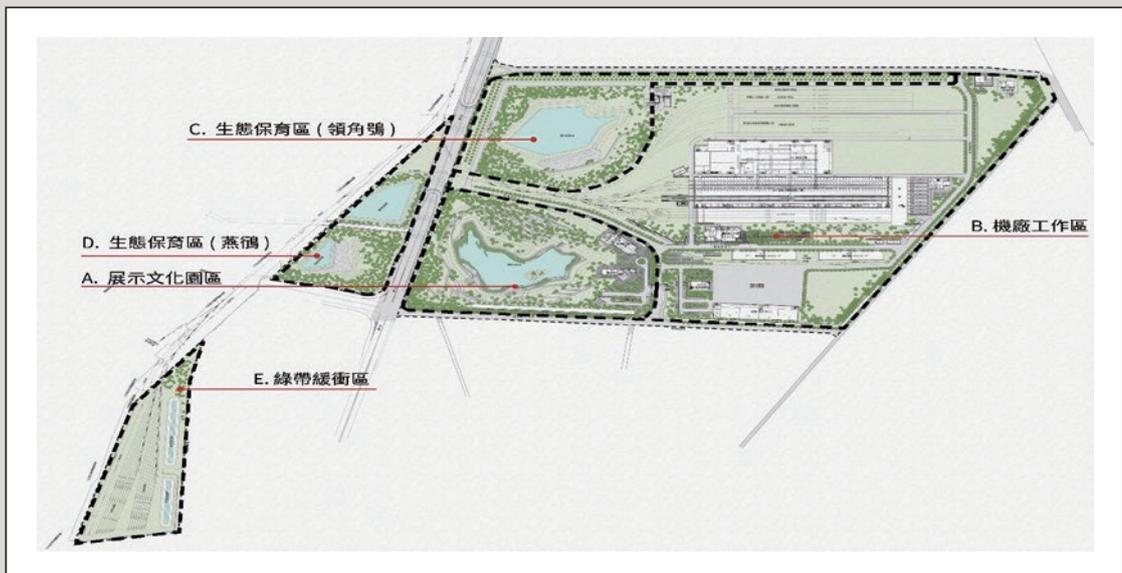


圖19 基地景觀分區圖

(一) 展示文化園區

展示區未來將透過火車與鐵道橋再利用，開放外來民眾觀光，享受自然環境與鐵道文物展示，使有趣的活動發生於池畔、森林、車廂之間。

鐵道文物車展示區分成：(1)客車展示區、(2) 工程車展示區、(3) 貨車展示區、(4)窄軌車展示區及(5) 軌道演進展示區，共五種類型，火車文物分別分布在池畔與林間。

本案亦保存鐵道北勢溪舊橋與鐵道牛埔舊橋，並再利用於文化展示園區，塑造鐵道地景。長跨距北勢溪橋，配置將其橫跨於滯洪池小島與環湖步道串接，供人漫步，亦塑造湖中觀景點；另一座牛埔橋跨距較短，因而與鐵道文物陳列於林間展示區，做為休憩及欣賞軌道演進展示區的空間(圖20)。

(二) 機廠工作區

機廠工作區考量南部地區夏季日照強烈，透過樹林的配置增加戶外廣場樹蔭面積，提供舒適的林蔭交誼場所，並設置散步道，鼓勵員工休息時間放鬆，如(圖21)。

(三) 生態棲地

本案於環境影響階段已辦理生態調查，於基地東側鄰近地區，記錄二級保育類領角鴞及三級保育類燕鴿，其餘均為一般常見物種。

領角鴞係棲息在1,200公尺以下低海拔的闊葉林中，是臺灣海拔分布最低，且生活環境最接近人類的鴞鴞科鳥類，是典型的鄉土鳥種，相當能適應人類的環境，在果園、檳榔園都有出現記錄。燕鴿則棲息較寬闊之農旱地。



圖20 鐵道文物車展示區景觀配置圖

本計畫為兼顧環境永續，基地內應營造領角鴉、燕鴿等保育類動物之棲地環境；故基地四周緩衝綠帶喬木將作為領角

鴉棲息，另燕鴿棲息地配置於第一及第四滯洪池畔之卵石地(圖22)。



圖21 機廠工作區景觀配置圖

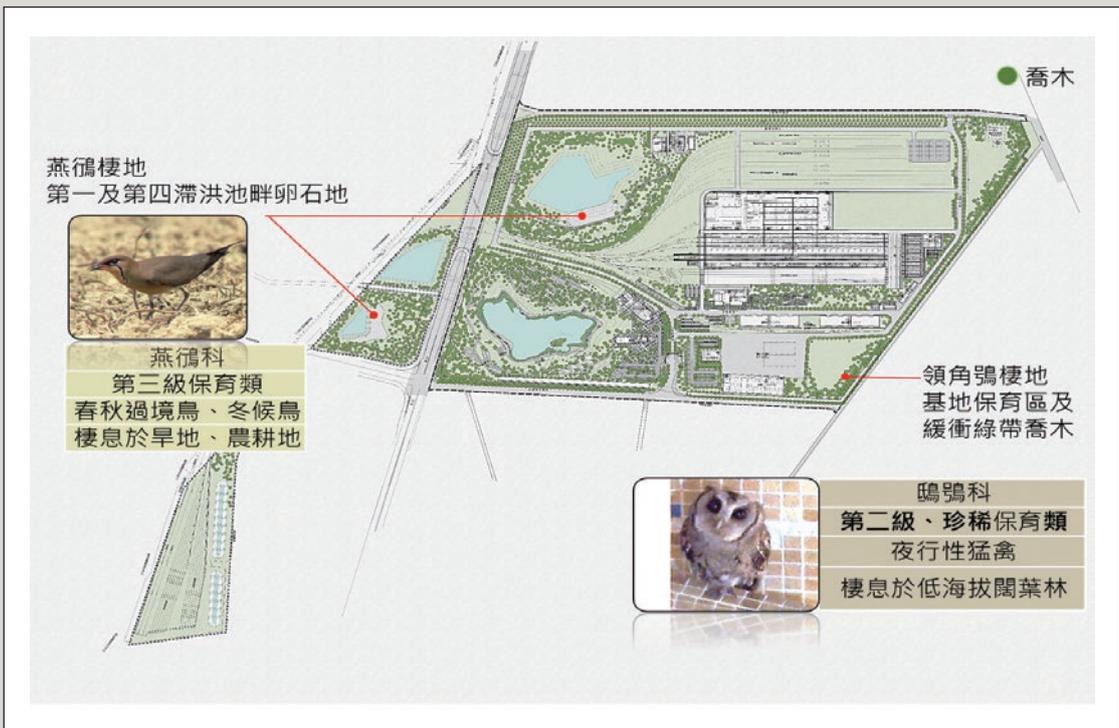


圖22 領角鴉、燕鴿之棲地配置圖

三、植栽計畫

植栽配置依空間屬性，分為緩衝綠地、廠區門面、迎賓入口、核心活動、公共設施、廠區道路共六類植栽區(圖23)。

■ **緩衝綠地**：考量新機廠基地與周邊農田使用較不相容，基地周界均設置綠帶作為緩衝。植栽選擇樹型高大、枝葉細密的喬木叢生配置，達到緩衝隔離效果，降低對區外之影響。

■ **廠區門面**：使用原生樹種作為廠區門面的主景，強調與自然共生特色。

■ **迎賓入口**：在入口區之花園配置適宜南部生長之植物，透過樹型優美之喬木與清香宜人的低矮植被作為入口印象，創造豐富的迎賓空間。

■ **核心活動**：從生態環境、景觀休憩、生態滯洪池三面進行植栽考量。以開花結果、誘蝶幼鳥植物為主，利用季節開花喬木襯以常綠喬木，營造季節變化及友善的遮蔭環境。沿滯洪

池岸種植多樣、具觀賞性的水生植物，提供舒適宜人的親水漫步享受。

■ **公共設施**：南部日照強烈，配置開展型常綠喬木以提供足夠的遮蔭效果。

■ **廠區道路**：配置常綠開展的喬木，強化遮蔭功能，型塑通行的視覺序列性。

陸、觀光旅遊

為了推廣鐵道觀光，交通部定2022年為鐵道觀光旅遊年，使觀光、文化與鐵道經濟串連，提升鐵道觀光旅遊產值。

鐵道觀光旅遊除了觀光列車，也將打造主題風格觀光車站、盤點臺鐵各場站，新機廠將朝觀光機廠發展，除了鐵道車輛及歷史文物靜態展示，檢修廠設有專用廊道可參觀車輛檢修導入鐵道教育。後續為發展觀光之設計將創新思維，使臺鐵百年品牌價值再造新風貌(圖24)。

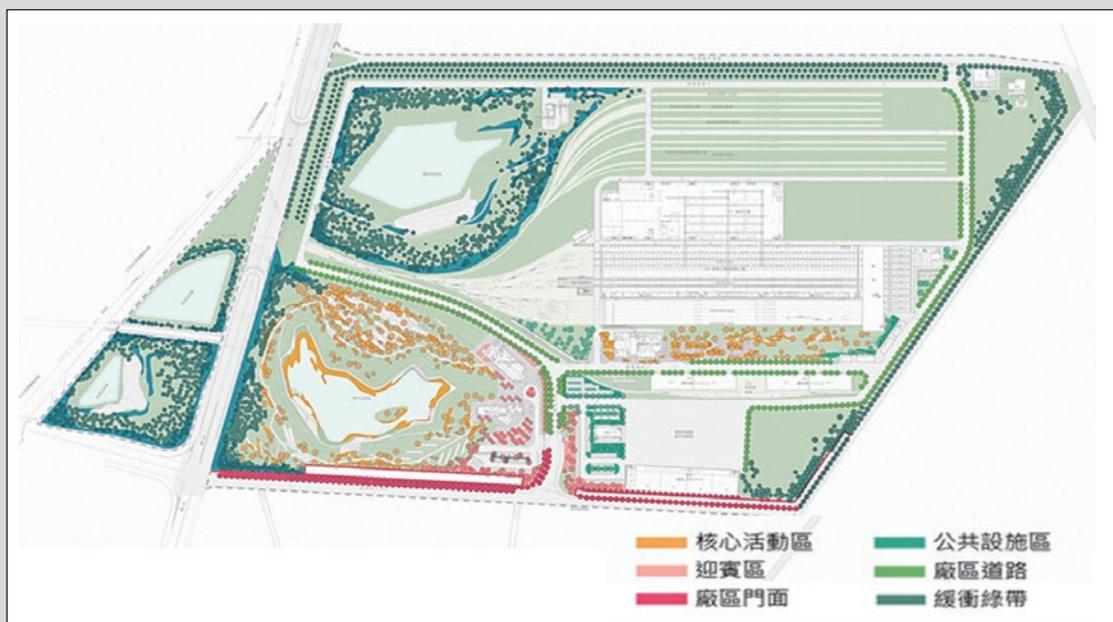


圖23 機廠景觀植栽分區圖



圖24 鐵道文物展示構想

柒、結語

為建構未來長遠適所之鐵路車輛檢修基地，機廠廠址評選原則依環境敏感等條件，評選對環境影響較小最適之基地，經評選，結果以位於潮州車輛基地(一級-二級檢修)東側之潮州廠址最佳，遷建至潮州新廠址除可避免進廠支線造成屏東農地切割，有利屏東農業發展，亦可整合一-四級檢修成為臺鐵南部車輛檢修中心。

本計畫環境影響評估階段，在基地範圍外東側，記錄有二級保育類領角鴞及三級保育類燕鴿，其保護對策，主要營造保育類動物之棲地環境；目前領角鴞棲息區配置於基地四周緩衝綠帶喬木，另燕鴿棲息地配置於第一滯洪池南側及第四滯洪池東側之卵石地。

機廠於入口左側規劃南部鐵道文物車輛展示區，檢修廠設有專用廊道可參觀車輛檢修情形，未來發展方向除與公共藝術設置整體規劃

朝觀光機廠發展，另與鄰近之竹田車站及南州糖廠結合串聯景點吸引遊客，使基地與地區融合，永續在地化經營及發展。

參考文獻

1. 「高雄機廠遷建廠址評選報告」，臺鐵局，2000。
2. 陳賜賢，「低衝擊開發與雨水利用之設計探討」，水利技師公會水利會訊第十八期，2015。
3. 「出流管制技術手冊」，經濟部水利署水利規劃試驗所，2020。
4. 「Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces」 NFA 92B，2009。



3

專題報導

融合城市生活、交通 與休閒的跨站大平台 車站規劃

關鍵詞(Key Words)：鐵路立體化計畫(Railway Grade Separation Project)、鐵路高架/地下化計畫(Railway Elevation/Underground Projects)、工程成本效益(Cost-Effectiveness)、跨站式平台(Cross-Track Elevated Pedestrian Deck)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／協理／劉國慶 (Liu, Kuo-Ching) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／經理／蕭勝雄 (Hsiao, Sheng-Hsiung) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／副理／范聖堂 (Fan, Sheng-Tang) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／運輸土木部／正工程師／張格維 (Chang, Ke-Wei) ❹

摘要

臺鐵縱貫線帶動沿線城市發展，但隨之而來的鐵路兩側都市發展及土地阻隔導致鐵路難以與都市共存共榮，近年來已有多個縣市路段逐步推動鐵路立體化工程，雖可改善平交道問題及提升都市土地利用價值外，用地取得困難、施工期長、高投資成本與營運效益有限下，應尋找除鐵路高架化或地下化外之其他替代方案。本文將就我國鐵路立體化發展現況、效益與課題，國外主要車站案例研析國內外鐵路與城市發展趨勢，並以新竹大車站計畫為例，提出我國鐵路可融合城市生活、交通與休閒的跨站大平台車站案例，作為我國其他城市車站鐵路立體化之參考。



The Hsinchu Cross-Track Elevated Pedestrian Deck Project that successfully integrates urban commerce, transit and leisure

Abstract

The Western Trunk line of the Taiwan Railways Administration has played a crucial role in the development of cities along its route. At the same time, it has become the cause of an imbalance in terms of the urban growth and land use on the two sides of the railway line.

In this context, in recent years a number of cities through which the line passes have initiated railway elevation/underground relocation projects, hoping to address the issues in the coexistence of the railway with the city and reduce the numbers of level-crossing accidents. These projects, however, have met with various challenges with regard to land expropriation, long construction periods, high investment costs and limited operating benefits, forcing the competent authority to start looking for alternative solutions besides railway elevation or its relocation underground.

In this article, we examine Taiwan's railway elevation/underground relocation projects implementation status, its benefits and challenges, case study of elevation/underground railway projects in major cities around the world, and take the Hsinchu Cross-Track Elevated Pedestrian Deck Project as an example of a low cost railway grade separation effort that allows the railway to more efficiently coexist with the city.

壹、前言

臺鐵縱貫線帶動沿線城市發展，但隨之而來的鐵路兩側都市發展及土地阻隔導致鐵路難以與都市共存共榮。近年來已有多個縣市路段逐步推動鐵路立體化工程，包括已完成或進行之臺北市、新北市、高雄市、臺中市、臺南市及桃園市等六都，彰化縣、嘉義市、宜蘭縣、嘉義縣等鐵路立體化建設亦在陸續規劃或設計中。但由於鐵路立體化工程經費龐大，且車站周邊多為發展精華區域土地成本高，採用高架化或地下化等立體化建設方式需耗費更多土地成本及協商成本，造成政府財政壓力及民眾抗爭。鐵路立體化除經費龐大、土地變更及徵收協商期程長外，施工期間亦須忍受長時間的交通不便、城市活力衰頹與車站周邊居民搬遷問題。此外，對鐵路營運主管機關而言，立體化建設可減少平交道事故，但也增加後續營運管理費用，且票價及運量無法因立體化建設而有效提升，也可能因施工期間長而影響已培養的通勤人口運量，致影響鐵路營運單位對於鐵路立體化建設的辦理意願。

鐵路立體化花費太多成本與時間於沿線立體化工程及用地徵收上，對車站主體所花費的投資相對較少，對一個現代化車站是否能整合人流、物流、金流及融合城市生活、生產與休憩功能的規劃投資上仍屬有限，立體化後的車站仍僅止於旅運及旅客商業服務等「人員通過型車站」，與國際上以車站為舞台，創造車站附加價值及提升車站魅力的「人員集中型車站」差距仍遠，花費大量成本及時間卻仍無法達到人員集中、運量提升及與都市共榮發展，因此過去鐵路立體化建設投資模式有檢討的必要。

貳、我國鐵路立體化發展現況、效益與課題

參考本公司參與交通部運輸研究所之分析報告〔2〕，我國鐵路立體化建設自民國68年行政院核定臺北市區之鐵路地下化政策以降，數年來已陸續推動高雄市區鐵路地下化、員林段鐵路高架化、臺中段鐵路高架化、臺南段鐵路地下化與桃園段鐵路地下化等鐵路立體化建設，改建南港、松山、臺北、板橋、萬華、豐原、臺中、員林、臺南、左營、高雄、鳳山、屏東等車站及新增數個通勤車站，採用高架化或地下化等形式，總立體化路線長度約133公里，各大都會區同步興建總施工年期約42年。主要效益包含消除沿線所有平交道，打通市區幹道，改變沿線都市發展型態。主要大型車站如臺北車站、板橋車站、南港車站等均轉型為多目標使用大樓及商業區，更帶動周邊都市開發及發展轉型。立體化主要效益如下：

- 一、改善平交道所造成之交通問題及車流瓶頸，增進行車安全。
- 二、提供都會區域快鐵之便捷交通。
- 三、消除鐵路沿線兩側地區發展之阻礙，均衡都市發展。
- 四、改善市容景觀，提升都會區環境生活品質。
- 五、提昇都市土地利用價值，促進經濟發展。

在前揭主要車站陸續推動立體化建設之際，相關鐵路立體化規劃設計案亦陸續推出，包含桃園鐵路地下化、新竹竹北高架化、苗栗市區高架化、大台中山海線雙軌高架化、彰化市高架化、嘉義縣市高架化、宜蘭高架化等立體化評估計畫，在規劃及審議階段、建設及施工階段及完工與營運階段相關課題亦陸續浮現，綜整如下〔1〕〔2〕：

- 一、地方欠缺整體都市規劃藍圖，為立體化而立體化。
- 二、鐵路營運主管機關意見未被充分尊重及傾聽。
- 三、鐵路立體化推動必要性論述無合理客觀審查標準。
- 四、用地取得及拆遷困難，民眾抗爭頻繁延長施工工期。
- 五、施工期間鐵路營運及周邊交通維持困難致運量下滑(如圖1)。
- 六、鐵路立體化限縮股道、遷移機廠及儲車設施，影響營運調度彈性。
- 七、普設通勤站票收有限，影響排班、路線容量率及新增車站維護成本。
- 八、立體化後人口成長趨勢不明顯，車站附近發展活絡，路線段發展相對偏緩。

綜上，我國鐵路立體化工程主要效益在於消除平交道減少事故，但新增車站及路線的營運維修成本、限縮營運調度彈性，且對改善周邊都市及人口發展有限〔2〕。促進都市發展不

能僅透過鐵路立體化，必須落實TOD原則以車站為核心針對周邊都市計畫及交通系統通盤檢討，積極由政府主導開發及招商引資〔1〕，才有機會如臺北、板橋及南港車站等車站形成都市成長核心、提升車站運量(如圖1所示)、吸引人口集中於車站周邊，進而帶動都市整體發展。

參、國外主要車站案例研析

經查世界主要7大工業國(G7)之首都車站及經濟重鎮車站運量及形式(如表1所示)，除美國紐約中央總站(地下化車站)、德國柏林火車總站(高架化車站)及日本新宿車站(跨站式車站)屬立體化之車站形式外，其餘車站均屬平面車站，如表1所示。顯示車站立體化發展並非世界各國主流，且除高架化及地下化發展外，另有跨站式車站之立體化案例。其中新宿車站日運量達353萬人次，為金氏世界紀錄認證全世界使用人次最多車站，考量日本地狹人稠特性與我國類似，跨站式車站或可作為我國後續鐵路立體化建設推廣之借鏡。

跨站式車站除日本外，英國、荷蘭等國亦有案例，如表2所示。跨站式車站主要形式以車站設施設於軌道上方跨站式人工平台、平台除付費區外可供人車自由通行、平台結合商業設施或公共廣場空間、周邊建築開發且與平台串

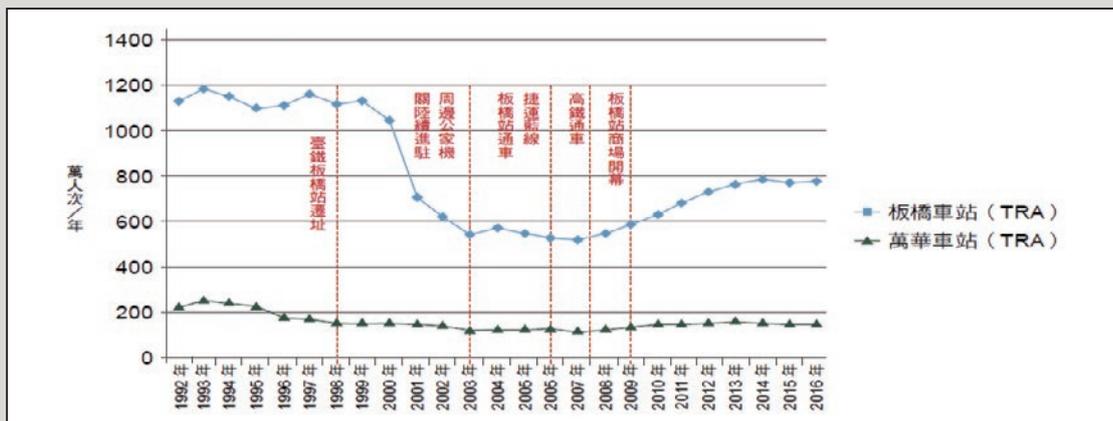
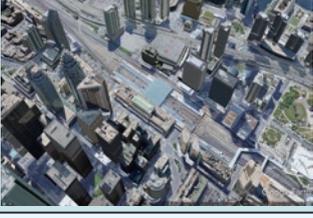
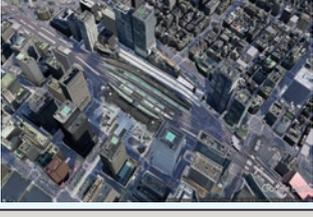


圖1 板橋站歷年客運量與周邊相關建設趨勢圖〔1〕

表1 主要工業國家(G7)及我國主要車站運量及車站形式案例一覽表〔3〕〔4〕

國家	主要車站	運量 (人次/日)	形式	站體及路線示意圖	
美國	華盛頓聯合車站	3.3萬	平面車站		
	紐約大中央總站	12.5萬	地下車站		
德國	柏林火車總站	30萬	高架車站		
	法蘭克福火車總站	45萬	平面車站		
加拿大	渥太華車站	0.2萬	平面車站		
	多倫多聯合車站	20萬	平面車站		
日本	東京車站	120萬	平面車站		

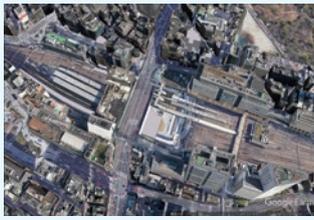
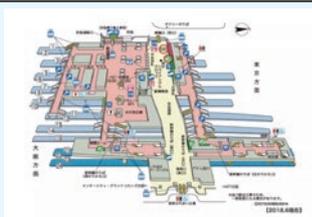
國家	主要車站	運量 (人次/日)	形式	站體及路線示意圖	
日本	新宿車站	353萬	跨站式車站		
義大利	羅馬 特米尼車站	41萬	平面車站		
	米蘭 中央車站	32萬	平面車站		
英國	倫敦 維多利亞車站	19萬	平面車站		
	倫敦 國王十字車站	13萬	平面車站		
法國	巴黎 北站	49萬	平面車站		
我國	臺北 車站	52萬	地下車站		

表2 跨站式車站案例形式一覽表〔3〕〔4〕

國家	車站	跨站式車站形式	站體及路線示意圖	
日本	新宿車站	車站設於軌道上方跨站式平台 平台供車行、人行及設置帶狀商店街 周邊TOD高強度發展且與車站串聯		
	上野車站	車站設於軌道上方跨站式平台 平台供人行及設置帶狀商店街 主要車行道路高架穿越軌道上方		
	品川車站	車站設於軌道上方跨站式平台 平台供人行及設置帶狀商店街 車站周邊商業開發且與車站串聯		
	岡山車站	車站設於軌道上方跨站式平台 平台供人行及設置帶狀商店街 車站周邊商業開發且與車站串聯		
英國	伯明罕新街車站	車站設於軌道上方跨站式平台 平台供人行及設置帶狀商店街 主要車行道路高架穿越軌道上方 車站周邊商業開發且與車站串聯		
荷蘭	阿納姆中央車站	車站設於軌道上方跨站式平台 平台供人行 車站周邊商業開發		

接。跨站式車站大多會結合搭配周邊道路立體交叉工程，以消除平交道滿足車行跨越需求，如新宿車站、上野車站、伯明罕新街車站案例。

綜上，借鏡上述國外案例之經驗，世界各國軌道鮮少立體化，且均重點投資車站及改善人車行與軌道間之關係，並結合周邊發展整體開發。我國除直轄市高運量之主要車站採高架或地下立體化發展外，其他車站或可重點投資

車站及改善人車行關係，採跨站式車站發展，透過跨鐵路平台立體連通系統串接前後站，並結合轉運、商業、休閒等功能，除活化軌道上方及周邊公有土地外，亦可以TOD原則整體發展規劃。

肆、新竹大車站計畫-融合城市生活、交通與休閒的跨站大平台車站

本公司參與新竹大車站規劃，新竹市鐵路立體化議題歷經近20年討論未果，且尚停留在可行性評估研究階段。過去規劃立體化方案多東起於公道五以東約1~1.25公里處，地下化方案西至客雅溪前與原路線接軌，而高架化方案則再西約1公里才與原路線接軌(約迄於牛埔東路48巷)。然而立體化方案與私有土地界面較長，涉及土地所有權人眾多，將使協商過程及工期均充滿不確定性，而且新竹車站因為腹地有限，立體化方案尚須徵收土地做為臨時軌道的施工腹地。

就新竹市現況44萬的人口規模及城市尺度下，採鐵路立體化方案因不易創造效益，而導致行政院報核、都市計畫變更等審議程序艱鉅。參考相關案例，大多透過跨鐵道平台，完成前後站融合的任務，更收時程短、權利關係人最少化、投資成本低等優點，且參考成功案例，鐵路車站轉型後應具備五大功能(如圖2所示)，包含作為地區生活集會重心、振興繁榮社區使命、都市意象與社區形象、社區教育及公益服務、異業結合多角化經營等機能，藉以達到以鐵路帶動周邊都市發展，以都市發展培育鐵路客運市場等，建構出鐵路與都市共存共榮的發展模式。

臺鐵縱貫線平面橫穿新竹市區，近年已投入多項公共建設，包含於沿線興建8處與鐵路橫交的公路陸橋或地下道來解決公路與鐵路橫穿問題，亦積極投資20多項建設改善城市步行環境，但鐵路兩側的慢行系統無法友善穿越仍是一大問題，鐵路沿線亦有多處私有土地受限於鐵路設施及鄰路條件而缺乏發展動能，市府將透過跨站平台，在軌道上方設置車站、轉乘、開放空間、公益設施、商場及人行連通設施(如圖3所示)，融合鐵路兩側步行城市系統、

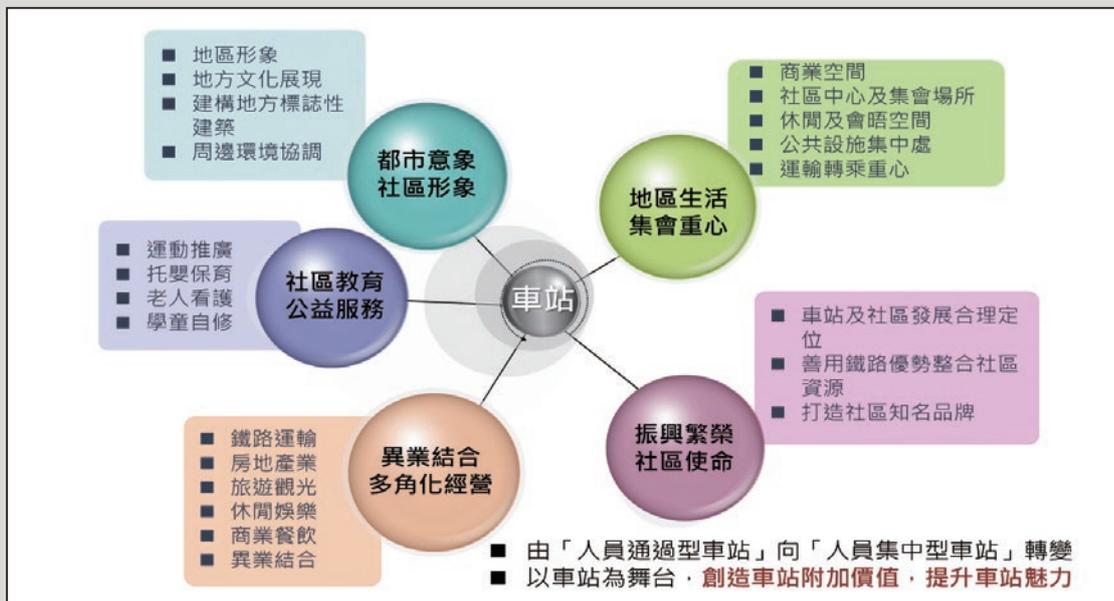


圖2 新竹大車站計畫跨站式平台功能示意圖〔5〕

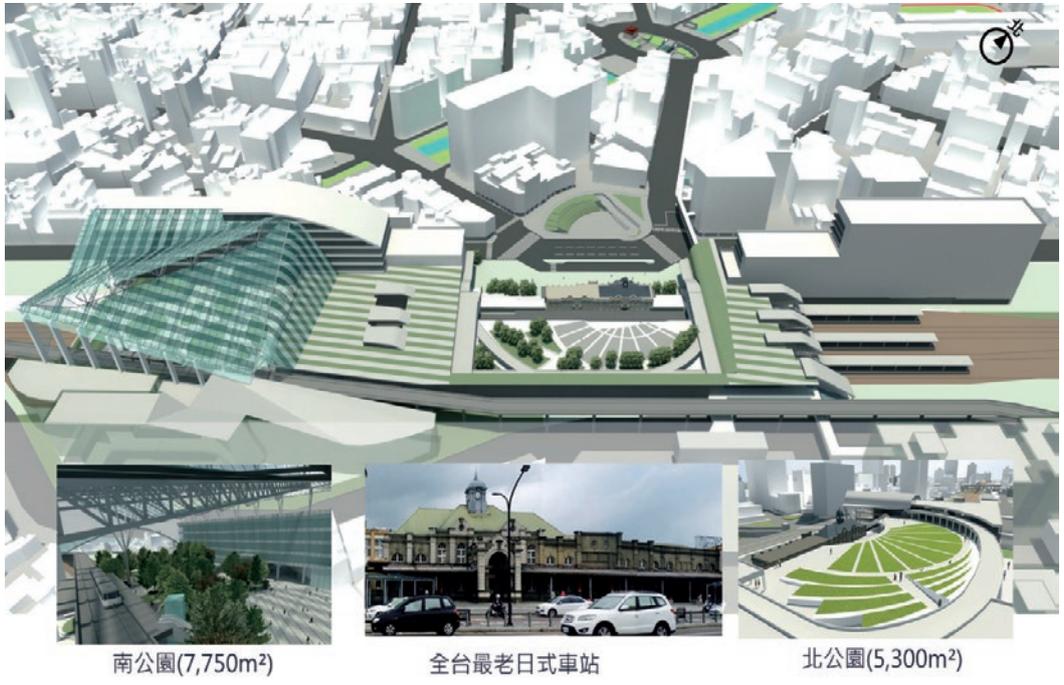


圖3 新竹大車站計畫跨站式平台概念示意圖(5)

整合大眾運輸轉乘及都市活動發展，並積極辦理於市區鐵路沿線有新竹貨運站與新竹機務段等公有土地活化利用(如圖4所示)，有機會評估在不影響現有車站與鐵路營運的前提下，提供

市民及鐵路營運單位新選擇，並同樣發揮現代化車站集客能力、梳理站區交通，建立友善步行城市、發揮無縫轉乘及與周邊共榮發展，相關效益說明如下：

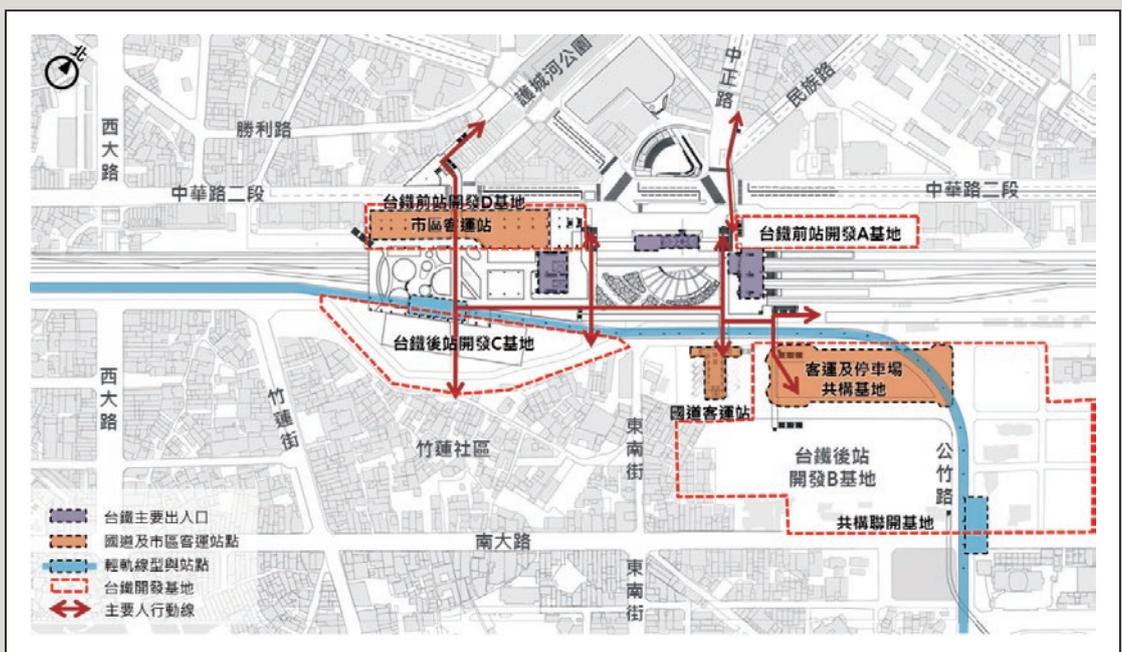


圖4 新竹大車站計畫跨站式平台與周邊整合規劃示意圖(5)

- 一、解決鐵路兩側因阻隔而缺乏無障礙的人行空間系統。
- 二、解決鐵路阻隔客運轉乘侷限於軌道一側，並藉以提升周邊道路服務水準。
- 三、車站平台預留與新竹輕軌共構空間，整合共乘無縫轉運。
- 四、建立現代化車站，整合人流、物流、金流、城市生活生產與休憩的功能。
- 五、藉由平台式車站TOD整體開發，提升前後站國有土地使用效率及帶動區域都市發展。

另在跨站式平台施工部分，如何在不影響列車營運與調度下，於軌道上方施作平台為是一大工程挑戰。經研析日本東京都御茶之水車站跨站平台工程、東京都新宿車站(南口)跨站平台工程、花蓮車站新建跨站式站體施工案例(如

表3所示)，相較於我國傳統設置臨時軌方式施工外，日本御茶之水車站與花蓮車站均採用夜間施工傳統鋼梁吊裝工法，東京都新宿車站(南口)則採用Rapittsu-0臨時施工構台工法。各工法主要差異為臨時軌或夜間施工均採傳統鋼梁吊裝工法，須於地面層施作相關工程，且為避免影響鐵路調度營運需徵收土地設置臨時軌，或採夜間施工，工期較長；Rapittsu-0工法則於平台層施工，不影響地面層鐵路營運調度而可全天候施工，該工法係於車站區上方構築一個可延伸、移動的臨時施工構台，所有施工作業均在構台上進行，包括基樁、墩柱、梁、版等結構之鋼筋、模版與混凝土澆置作業(如圖5所示)，均不需於地面上作業，因不影響構台下方列車營運與調度，故可全天候施工。然新宿車站工法於國內尚無案例，故後續工法仍須考量國內營造能量整體評估。

表3 跨站式平台施工方法比較表〔5〕

車站案例	東京都御茶之水車站跨站平台(第一階段)	花蓮車站新建跨站式站體	東京都新宿車站(南口)跨站平台
車站進出運量	16.5萬人次/日	2.89萬人次/日	77.86萬人次/日(南口部分)
工程簡介	軌道上方約0.3公頃跨站平台工程	軌道上方新建跨站式站體工程	軌道上方約1.47公頃跨站平台工程
施工工期	約6年	4年4個月	4年3個月(人工平台完工)
工程內容	<p>傳統鋼梁吊裝工法</p> <ul style="list-style-type: none"> • 車站腹地狹小僅能採傳統工法 • 避免影響營運，夜間斷電封鎖施工2.5小時/日 	<p>傳統鋼梁吊裝工法</p> <ul style="list-style-type: none"> • 避免影響營運，夜間斷電封鎖施工2.5小時/日 	<p>Rapittsu-0臨時施工構台工法</p> <ul style="list-style-type: none"> • 車站上方構築可延伸、移動的臨時施工構台，所有施工作業均在構台上進行。 • 除施工臨時構台利用夜間斷電封鎖施工外，其餘均可於白天作業。 • 於構台上方施作月台上墩柱之鑽掘、出土、吊放鋼筋籠、澆置混凝土等，均不需於地面作業 • 不影響構台下方列車營運調度，可全天候施工。
建議	參照東京都新宿車站案例，若採臨時施工構台工法，可全天候施工不影響列車營運調度，或可視腹地大小採臨時軌或夜間施工方式辦理		

施工方法 東京都新宿車站(南口) Rapitsu-0 臨時施工構台工法



圖5 跨站式平台施工案例示意圖(5)

伍、結語

鐵路高架化、地下化及跨站式平台均著重於解決人口密集地區站區及鐵路沿線交通阻隔、消除平交道及沿線環境改善議題，主要差異在於公共建設資源重點投資項目。我國過去鐵路立體化資源重點投資於鐵路路廊沿線土建工程，以鐵路路廊立體化方式消除平交道及周邊環境改善，然而對於車站投資金額較少，立體化後仍須針對車站與周邊連通、交通轉乘及周邊土地開發持續投資。

以臺北鐵路地下化專案為例，自民國72年重點投資鐵路沿線路廊地下化後，仍持續針對站區轉乘、跨越忠孝東路及市民大道之人行穿越動線改善、車站內部開放空間整合與商場規劃、站區周邊公有土地整理及後續的京站及C1/D1周邊土地開發計畫的持續投資，直至今日才具備整合人流、物流、金流及城市生活生產與休憩功能的現代化車站。

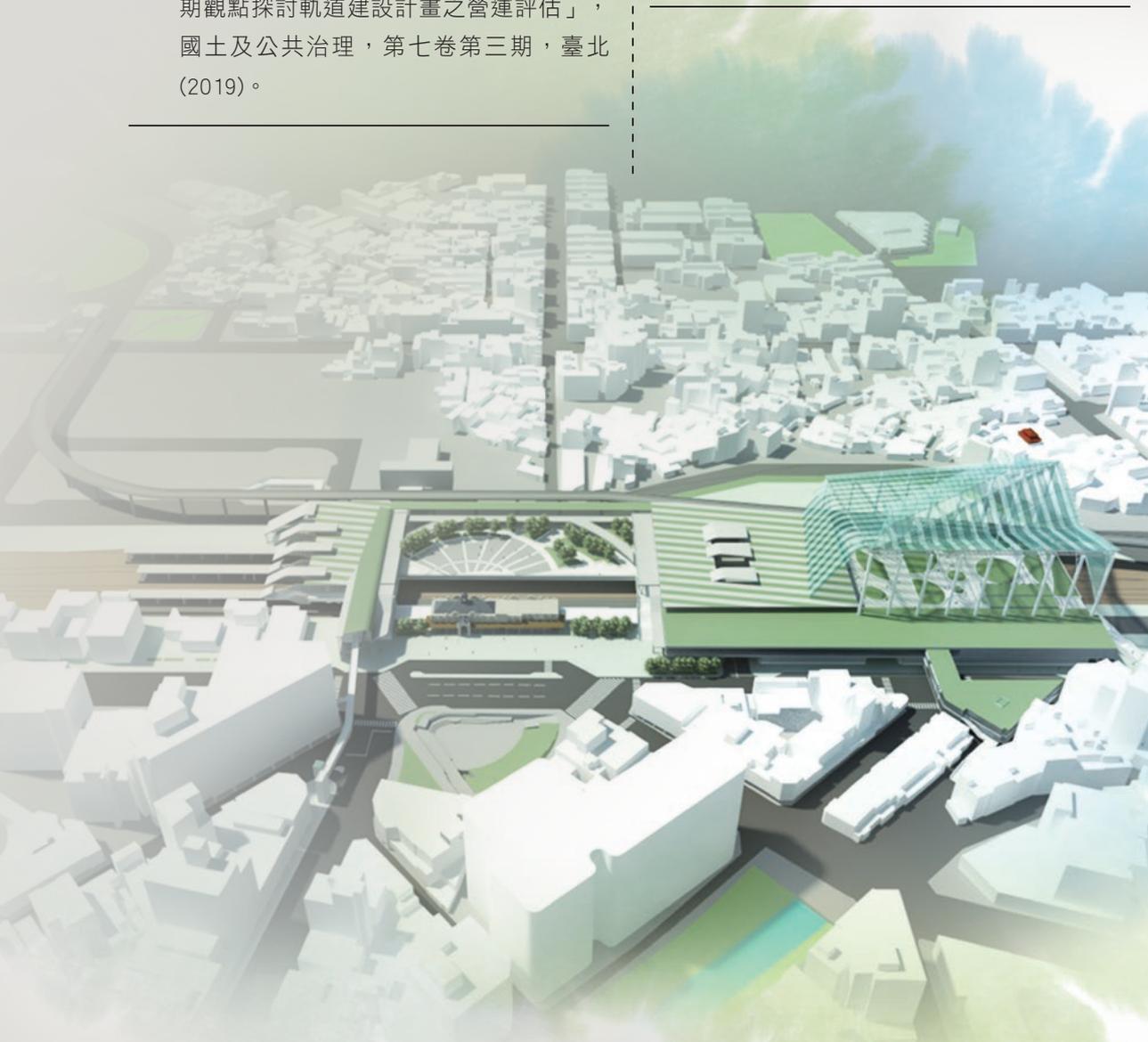
參考國外案例，車站立體化發展並非世界各國主流，且除高架化及地下化發展外，另有跨站式車站之立體化案例可做為借鏡。跨站式平台主要形式以車站設施設於軌道上方跨站式人工平台、平台除付費區外可供人車自由通行、平台結合商業設施或公共廣場空間、周邊建築開發且與平台串接等功能，將公共建設資源重點投資於站區土建工程，優先改善站區轉乘、人行穿越動線改善、車站內部開放空間整合與商場規劃、站區周邊公有土地整理及配合辦理周邊土地開發，重點投資打造結合人流、物流、金流、城市生活生產與休憩功能的現代化車站，並配合周邊道路立體化方式消除沿線平交道及路廊沿線綠帶環境改善工程。

以新竹大車站計畫為例，大平台計畫雖重點投資於站區，亦針對鐵路沿線人口密集區之平交道消除及環境改善投入建設投資，所衍生之效益亦包含減少平交道交通事故、縮短行車時間延遲效益、車站及周邊都市環境品質提升、都市中心開放空間增加、前後站安全無障

礙環境之提供、車站服務能量與品質提升、鐵路及附屬事業營運收益提升、鐵路資產開發收益提升、提升工程經費投資效率、減少協商溝通與社會衝突、減少對既有都市與鐵路機能影響等效益，且建設投資成本相較於鐵路立體化而言更為便宜、快速且施工期對周邊環境影響較小、維護成本較低，可作為我國後續鐵路立體化建設之參考。

參考文獻

1. 楊正君、黃心怡、張韶容，「從全生命週期觀點探討軌道建設計畫之營運評估」，國土及公共治理，第七卷第三期，臺北(2019)。
2. 張舜淵等人，「鐵路立體化建設對交通及都市發展之影響分析」，交通部運輸研究所，臺北(2019)
3. 維基百科，各國主要車站資料，109年6月24日瀏覽下載。
4. Google Earth，各國主要車站航拍圖，109年6月24日瀏覽下載。
5. 新竹市政府都市發展處，「新竹大車站計畫可行性研究報告」行政院核定版，新竹市政府，新竹(2020)。



研析捷運三鶯線 高架車站防風雨規 劃、設計與驗證

關鍵詞(Key Words)：捷運 (MRT)、高架 (Elevated)、防風雨 (Weatherproof)、規劃設計 (Planning and Design)、驗證 (Verification)

新北市政府捷運工程局／局長／李政安 (Li, Zheng An) ①

新北市政府捷運工程局／副總工程司／林逸羣 (Lin, Yi-chun) ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／計畫工程師／洪熙佳 (Hung, Hsi-Chia) ③

摘要

本文以捷運高架車站之防風雨規劃、設計與驗證作探討，並提出高架車站防風雨應有的設計考量以及量化的檢核方式建議。目前國內各捷運系統設計規範，因為大多僅以規定頂蓋的遮蔽長度以及地坪洩水或截水溝、排水設施等作為要求重點，而較少針對各別站區之不同氣候影響作深入探討，所以往往導致實際防護效果不彰。另外各單位規劃設計時，對於如何審查防風雨設計及驗證其效果，也無可量化的標準與共識。此在興建中之捷運三鶯線統包工程，即產生許多執行上的疑義與爭議，故為利後續執行，三鶯線專管顧問特針對此議題進行相關研析，並提出建議。本文即是此些研析經驗的彙整，希望可供未來各捷運系統規劃時作為參考。



Study and analysis of weatherproof planning, design and verification of elevated stations on MRT Sanying Line

Abstract

This article discusses the planning, design, and verification of weather protection for MRT elevated stations, and puts forward design considerations and quantitative inspection methods for elevated stations. Because most of the current domestic MRT system design specifications only focus on specifying the length of the roof cover and the floor drainage or interception ditch, drainage facilities, etc., and less in-depth discussion of the different climate effects of each station area, so it often results in poor actual protection. In addition, there is no consistent and quantifiable standards and consensus on how to verify or review the weatherproof effect of the design during the planning and design of the units. The construction of the MRT San-ying Line turnkey project under construction has caused many doubts in implementation and controversy. Therefore, in order to facilitate the follow-up implementation, the PCM of the San-ying Line analyzed and made recommendations on these issues. This article summarizes the experience of this research and analysis, and hopes it can also be used as a reference for future MRT system planning.

3

專題報導

壹、前言

捷運三鶯線計畫(後續簡稱為本計畫)路線全長約14.29公里，共設置12座高架式車站(土城2站、三峽5站、鶯歌5站)及1座機廠。規劃路線自土城線頂埔站(LB01站)起，經三峽，續行西跨高速公路及大漢溪進入鶯歌，並沿鶯歌溪跨文化路及縱貫鐵路，經三號公園後，續沿鶯歌溪側向北，轉中山路北側跨中山高架橋及縱貫鐵路後經鶯桃路，再於鳳鳴國中轉福德一路設置端點站(LB12站)(如附圖1)。

本計畫12座高架車站中，島式月台車站(如附圖2)，共計有LB04站、LB08、LB09及LB10站等4座車站，其餘則皆為側式月台車站(如附圖3)。

高架車站之特性不同於空間隱蔽於地下之車站，其旅客進出車站時可與外界接觸，對於空間環境的自然舒適與視野要求，自不同於地下車站。在這樣的環境特性下，通常設計者或建築師，基於通風、採光、自然排煙等綠建築以及配合都市景觀等因素考量，車站造型設計大都是以輕、簡、通、透為主要設計理念。

但由於三鶯線各車站之站體大都位於都市郊區，類似目前已完工通車之機場捷運高架車站，其周邊通常較為空曠且無阻擋之建築物，導致這樣的設計理念，常無法兼顧車站區微氣候變化時產生的瞬時風雨侵入，而造成旅客進出及候車時的不便，甚至常常因為站區瞬間大量的雨水入侵或伴隨強風、陣風吹襲，導致地板濕滑或物件飛落，而產生安全虞慮。



圖1 三鶯線整體路網路線示意圖

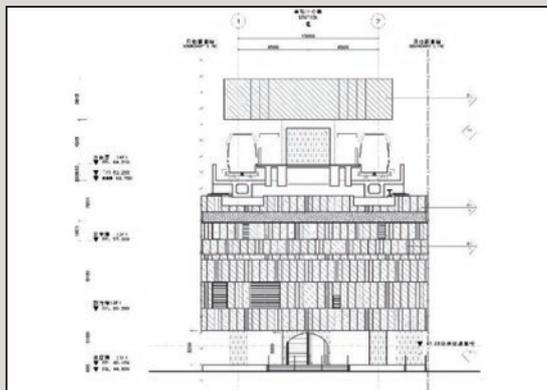


圖2 島式月台高架車站示意圖

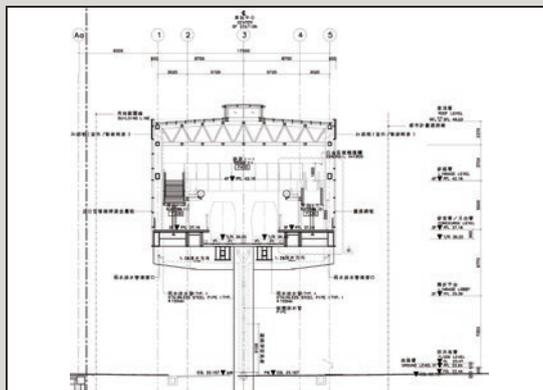


圖3 側式月台高架車站示意圖

此外，台灣夏季常有暴雨或颱風來襲，如果高架車站在設計時未能考量此等極端氣候的防範，常會導致車站構造、設備及機房功能等的損壞，甚至造成車站停用及系統停駛狀況。例如機場捷運車站於104年蘇迪勒颱風侵襲時，曾造成多數車站屋頂砸落並嚴重積水事件，並且於106年2月試營運期間，亦復相繼發生多起車站漏水事件而無法開放使用之狀況，在當時也大大影響了民眾安全與政府的形象。

上述事件，後續依監察院106年12月對其之調查報告，其中有述及到其主要原因，例如：“…雖高架開放式車站採綠建築設計之立意尚佳，惟不應因此忽略基本的風雨防護及導排水設施，而導致滲漏水、積水，影響旅客安全，甚至造成設備損壞，…捷運車站相關設計規範確有不周，未來應引以為鑑。…”。

此調查報告中亦有進一步闡述，如談到：“…高鐵局表示車站為綠建築設計，考量通風及採光，減少燈具、空調等用電消耗，故有部分飄雨屬正常現象，但車站綠建築設計似乎並未考量配合車站選址之周邊環境(部分車站位屬尚待開發區域，周邊空曠建物較少)，使車站遭受側風影響甚鉅，故高鐵局於後續辦理工程檢查時，增加全線車站防飄雨改善工程，重新檢視各車站受飄雨影響區域，並加設防飄雨設施、排(導)水溝、落水頭、封閉部分帷幕開口、補強填縫材料、設置隔板牆、增設雨庇及門檻，以減少積水情形發生。…”。

另外，調查報告中也談到：『經查，高鐵局「高架車站風雨防護設施」設計規範雖規定「高架車站應設置風雨防護設施」，惟僅簡要說明「沿月台全長之上方均應有屋面之遮蓋，屋面應自月台兩側出挑至道床上方，出挑之距離應超越軌道中心線以外500mm處」，對於站體挑高高度與屋面出挑距離之比率(飄雨阻擋率)、基地環境分析(空曠、風力、降雨)等等

均未有規範，致站體挑高後之屋面出挑距離不足，無法有效防止飄雨；又，設計規範對於「坡度與排水」亦僅說明「島式月台沿月台中央、側式月台沿側牆每隔約15m設置落水頭1處及排水系統，以利排水」，欠缺「洩水坡度」等導水規範；且對於「車站雨水排水」僅規定「應於上、下行月台末端下地面層各設置一集水坑收集車站內雨排水」，並未規範車站其他空間(如月台層、穿堂層、連通層)之排水設施、機電機房之阻水、排水設施。導致飄雨因「排水管路」不足及「洩水坡度」不良等因素造成積水，並從月台層、穿堂層、連通層等，沿樓梯、電扶梯、電梯等開口部往下流竄，不僅影響旅客安全，甚至漫流進入機房，損壞設備。…」。

而該調查報告最後亦提出總結：「綜上，高架開放式車站本就易發生「飄雨」情形，輕微飄雨現象尚不致影響車站使用，其採綠建築設計立意雖佳，惟不應因此而忽略基本的風雨防護及導排水設施，而導致滲漏水、積水，影響旅客安全，甚至造成設備損壞，機場捷運車站相關設計規範確有不周，高鐵局自應引為殷鑑，避免類此情形再次發生。」。

由上可知，目前各捷運系統設計規範對於高架車站防風雨設計之考量並不周延，而規範訂定亦十分籠統，尤其許多防風雨設計與綠建築或自然通風、排煙等設計，在設計概念上彼此方向是抵觸不一致的，導致常為了這些綠建築設計，而犧牲或忽略了這些基本的風雨防護措施。另外，規範通常僅有概念性之要求，但卻無更進一步在實務上如何驗證之準則，導致產生許多疑義及爭議，也成為後續執行及設計時無所依循、難以落實之共通性困境。

而興建中之捷運三鶯線計畫統包工程，在細部設計階段初期，也同樣面臨了上述問題。為此，捷運三鶯線在業主新北市政府捷運工程

局的指示下，要求專管顧問針對此等防風雨規劃、設計與驗證等相關議題，先行未雨綢繆進行研析，提出其驗證與執行原則建議，以期望能使本工程順利執行，並避免後續車站完工後，避免因為設計不周導致面臨風雨入侵時造成危害狀況。

在此目標下，專管顧問陸續多次與業主、統包商等單位召開會議討論研析後，達成了相當多共識，並據以制定相關審查執行原則後，核頒各單位執行。而本文目的即是分享上述研析之經驗與成果，希望可作為未來各高架捷運規劃時的參考。

貳、捷運高架車站防風雨之合約相關設計規範簡介

捷運三鶯線計畫統包工程之車站防風雨相關設計規範，乃綜合該線之特性，並參考交通部「捷運系統建設技術標準規範」以及目前國內各高架捷運系統，如台北捷運、機場捷運、台中捷運等捷運系統之防風雨規範條文與精神，據以訂定。

有關防風雨的設計，通常為考量兼具視野開放、穿透及自然通風、採光等建築造型與節能要求，同時達成免於風雨吹襲、遮陽等旅客安全與舒適度目標，一般都優先針對如月台、通廊及出入口等旅客通行或聚集處，規定需採立面實體阻隔或加長挑簷遮蔽等方式設計，以防止雨水入侵。另外，次要空間處所雖無要求完全阻隔雨水進入，但通常仍然會規範需再搭配落水樓、截水溝、地坪排水等設施並搭配相關防滑設計，以進一步確保旅客安全。

以下，列舉捷運三鶯線規範相關條文，說明上述理念，例如5.1.3.3”車站結構型式”該節有述明：「個別的高架車站之造型設計應配合當

地周遭環境特色，提供包含外牆、吸/隔音牆、雨遮、鋪面和植栽在內的獨特景觀特質。高架車站應盡可能採取開放式與具穿透性之設計，特別是位於擁擠的市區。這種作法將可減輕車站之量體感，且便於乘客於所在環境中，能迅速地判斷方向。月臺雨遮之型式應盡可能提供最大的頂蓋、遮蔭。雨遮應涵蓋月臺之全長，且於旅客聚集處適當地點設置防風雨設施，以保護乘客免於風雨吹襲，但不得過度減少自然通風」。

另外，又如”5.3.2.3節高架車站設計概念4.月臺頂棚／風雨遮蔽設施”該節亦有規定：「(1)所有高架車站均應設置頂棚，以遮蔽日晒及風雨。(2)頂棚應儘可能採用斜面或特殊造型，以提供最大之遮蔽風雨、遮陽、自然採光及自然通風效果。頂棚之覆蓋範圍應涵蓋月臺之全長，並考慮於適當位置裝設隔屏以阻擋風雨，惟不得過度減少自然通風。」，而「5.2.6.11高架車站風雨防護設施”該節則規定：”高架車站應設置風雨防護設施。沿月臺全長之上方均應有屋面之遮蓋，且屋面應自月臺兩側出挑至道床上方；出挑之距離應達軌道中心線以外200mm處。並應有飄雨線30度以上之考量或檢核，以避免月臺飄雨。」。

上述規範與國內其它系統之規範其實大同小異，比較不同處在於三鶯線多了一條「飄雨線30度以上之考量或檢核」規定，這是三鶯線於原規範訂定時，考量到雨水入射角度與風速、雨量間存在著相互影響關係，通常風速越大狀況下，受重力垂直落下之雨水通常會被吹襲成越大角度，而基於經驗所建議之數值則為30度。

在下方，另綜整捷運三鶯線與其他國內主要捷運系統相關防風雨設計規範作成比較表說明，如表1：

表1 國內各主要捷運系統防風雨設計規範之綜整比較表

<p>捷運三鶯線業 主需求書(四) 土木工程及其他 機電設施設計 規範</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 高架車站應盡可能採取開放式與具穿透性之設計，特別是位於擁擠的市區。這種作法將可減輕車站之量體感，且便於乘客於所在環境中，能迅速地判斷方向。 ● 月臺雨遮之型式應盡可能提供最大的頂蓋、遮蔭。雨遮應涵蓋月臺之全長，且於旅客聚集處適當地點設置防風雨設施，以保護乘客免於風雨吹襲，但不得過度減少自然通風。 ● 所有高架車站均應設置頂棚，以遮蔽日晒及風雨。 ● 頂棚應儘可能採用斜面或特殊造型，以提供最大之遮蔽風雨、遮陽、自然採光及自然通風效果。頂棚之覆蓋範圍應涵蓋月臺之全長，並考慮於適當位置裝設隔屏以阻擋風雨，惟不得過度減少自然通風。 ● 高架車站應設置風雨防護設施。沿月臺全長之上方均應有屋面之遮蓋，且屋面應自月臺兩側出挑至道床上方；出挑之距離應達軌道中心線以外200mm處。並應有飄雨線30度以上之考量或檢核，以避免月臺飄雨。 ● 穿堂層之公共區內原則上不須設置洩水坡度；若出入口之風雨遮蔽設施無法完全避免飄雨進入車站內，則應於穿堂層設置洩水坡度及地板排水口。環控系統機房內亦應設置洩水坡度及地板排水口。且消防栓箱前需設置落水口。 ● 島式月臺中央沿月臺中央區平台處，側式月臺沿側牆平台處，每隔15m應設置不銹鋼落水頭一處及排水系統，以利排水。並自軌道側方向往外，須有1%之洩水坡度，向月臺中央區傾斜，該範圍須確保月臺門之緊急門往月臺側方向開啟不會卡住。
<p>機場捷運-土 建、車站及其 它機電設備設 計規範</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 高架車站應設置風雨防護設施。沿月台全長之上方均應有屋面之遮蓋，且屋面應自月台兩側出挑至道床上方，出挑之距離應超越軌道中心線500mm處。 ● 高架車站應盡可能採用透空之建築設計及結構造型，降低站體之龐大量體感，並使旅客能迅速辨認方位。 ● 所有高架車站均應設置頂棚，以遮蔽日晒及風雨。 ● 頂棚應儘可能採用斜面或特殊造型，以提供最大之遮蔽風雨、遮陽、自然採光及自然通風效果。頂棚之覆蓋範圍應涵蓋月臺之全長，並考慮於適當位置裝設隔屏以阻擋風雨，惟不得過度減少自然通風。
<p>臺北都會區大 眾捷運系統中 運量系統土建 水環固定設施 規劃手冊</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 高架車站造型及量體之設計原則，除有特殊需求外，應予以輕量化並具視覺穿透性，以採自然通風換氣為原則。 ● 月台雨遮之設置在型式上盡可能提供最大的頂蓋、遮蔭、自然光線與通風。雨遮需涵蓋月台全長，且於乘客候車區適當地點設置隔屏，以保護乘客免於風雨吹襲，但又不致過度減少自然通風。 ● 月台須設橫向坡度，以策安全並利於排水。 ● 高架站及地面站須提供遮風避雨設施。頂蓋架構長度須包括全部月台，且頂蓋架構須挑出月台邊緣、側邊端點至少1,700mm。 ● 車站出入口之設計應包含防風雨之設施，以減少雨水侵入，並適度考量維持自然通風。出入口應附設遮棚區域以供乘客避雨之用。
<p>捷運系統建設 技術標準規範</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 高架及地面車站應設置風雨防護設施。沿月台全長之上方均應有屋簷之遮蓋，且屋簷應自月台延伸至道床上方，以避免列車停靠時雨水回流。 ● 月台須設1%之橫向洩水坡度，以策安全並利於排水。

參、國內捷運高架車站防風雨設計案例探討

台北捷運為國內最早期興建之捷運系統，國內目前各捷運系統設計規範主要也是參考台北捷運之規範而來。台北捷運系統除早期木柵線與文湖線外，目前剛完工通車之環狀線，車站大部份位於台北市之外圍城郊，類似於三鶯線。而本公司捷運工程，有幸參與捷運環狀線DF112標及文湖線部分標段之細部設計工作，故以下特別以台北捷運環狀線DF112標以及文湖線DB145標相關車站防風雨的設計案例，在實際興建時所發現的問題作綜合探討，期望能作為後續規劃時之借鏡。

本公司捷運工程參與之台北捷運環狀線DF112設計標，為中和段Y8站～板橋段Y14站，共計有7個站。其車站站體形式依據環境區位條件則衍生為側式月台和疊式月台兩種型式(如附圖4)。

其中側式月台車站主要防風雨設計理念，包括：1. 除了電梯及月台穿越天橋部分量體必需拉高外，其餘皆壓低，以達減量通透、滿足機能需求之極小化設計。(如附圖5)。2. 側立面視需求採用透空或是上掀窗處理，以達通風換氣之功用(如附圖6~8)。此外，依規範於月台屋頂設計超出月台邊緣1700mm以預防雨水灑入，避免濕滑影響旅客。

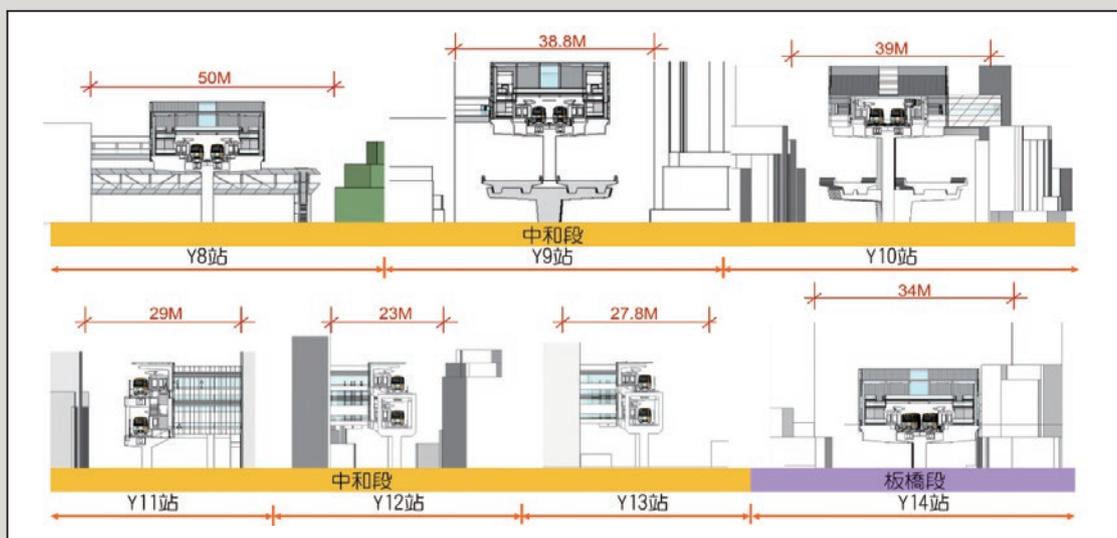


圖4 捷運環狀線DF112設計標車站型式示意圖

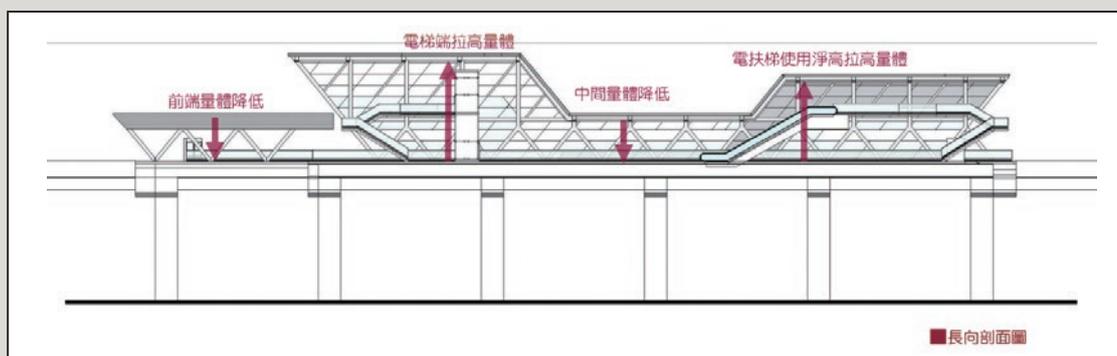


圖5 捷運環狀線DF112標側式車站剖面示意圖

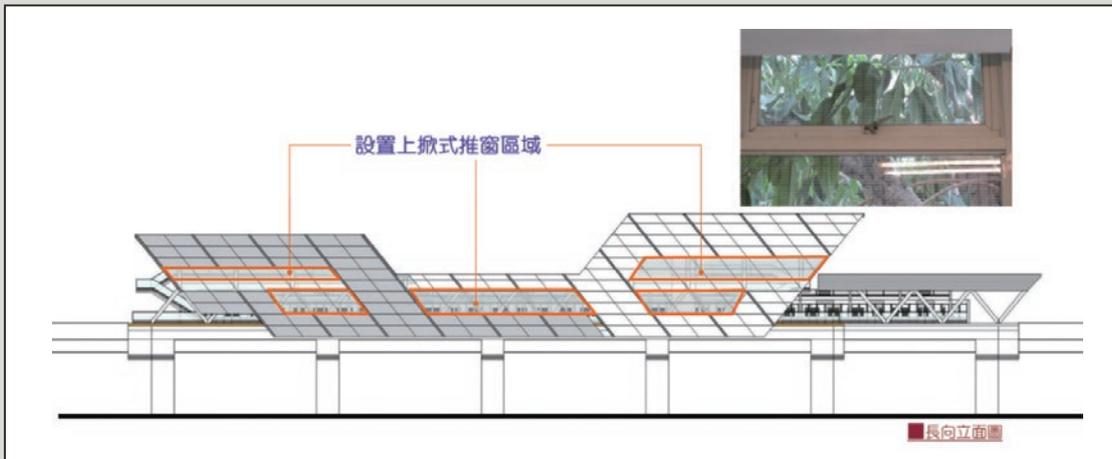


圖6 捷運環狀線DF112標側式車站立面示意圖

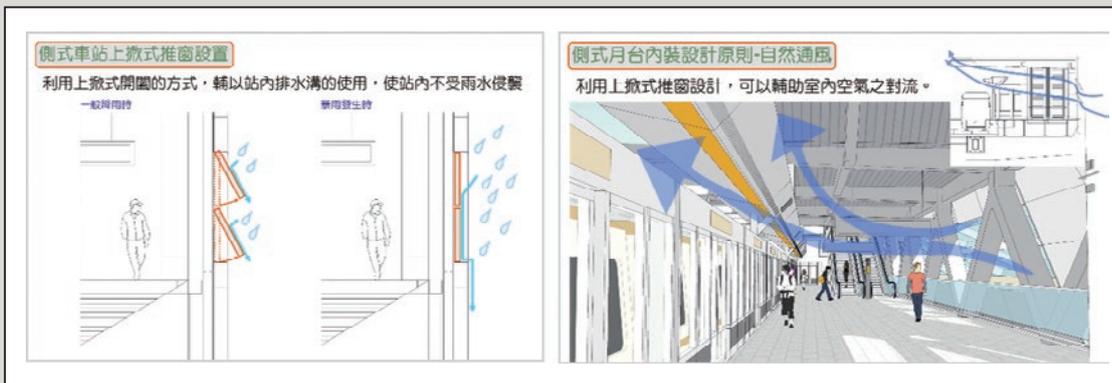


圖7 捷運環狀線DF112標上掀式窗防潑雨及自然通風設計概念示意圖

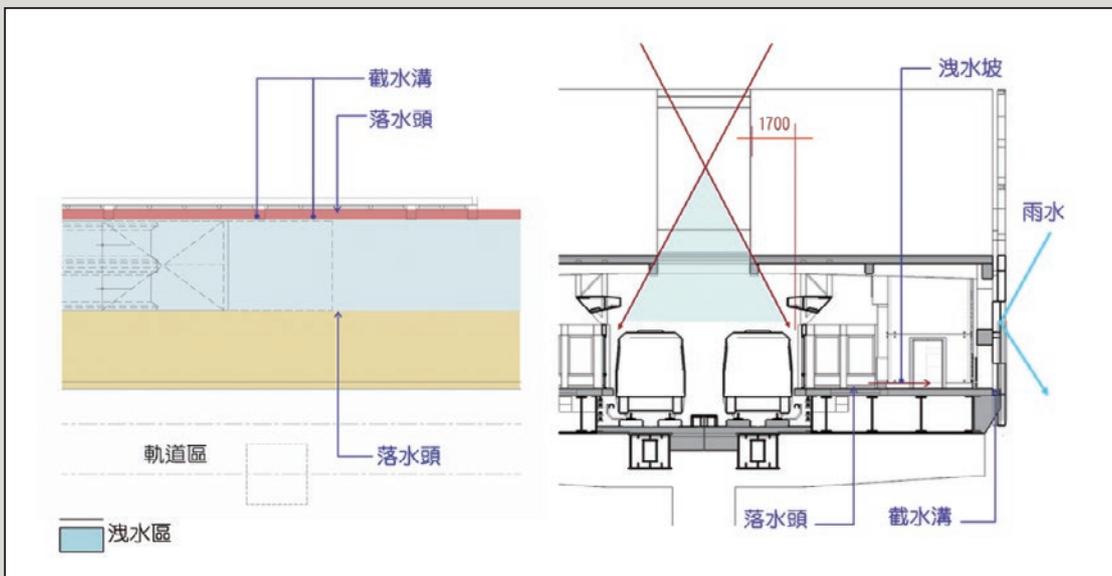


圖8 捷運環狀線側式月台車站屋頂及側立面設計概念示意圖

至於疊式月台車站，因電扶梯及電梯置於站體之外，僅需考量月台上下層連結樓梯及其他等候空間之遮雨，因此採用大量的通風玻璃百葉做處理。(如附圖9)。並以屋頂過半以預防雨水灑入，避免濕滑危安因素。側立面則採玻璃百葉設計，以兼顧自然通風及遮雨功能(如附圖10)。總結來說，DF112標原構想設置于道路上方之高架疊式車站，主站體僅為候車功能之月台，故其透過屋頂過半等設計手法應已能

提供良好風雨遮蔽功能。而側式車站為服務旅客，月台須提供穿越到達對側月台之通道，且為了有良好的通風環境、降低空調耗能，需考量通透性，故立面造型設計，是以將兩側之屋頂提高為主要手法。另外考量車站通風設計時亦須達遮雨效果，故挑高部分之屋頂皆採大挑簷設計，以便於常態性降雨時能遮蔽雨水飄入，並使跨月台行人能有舒適之通行動線(如附圖11)。

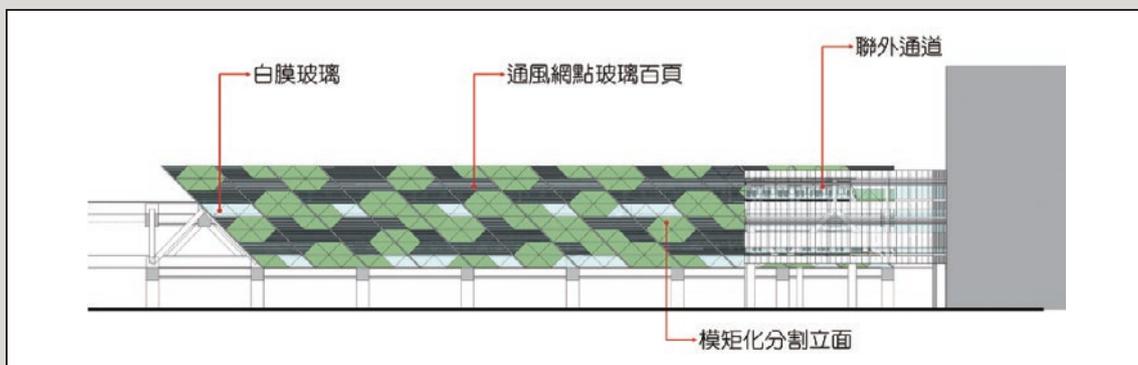


圖9 疊式月台車站立面型式示意圖

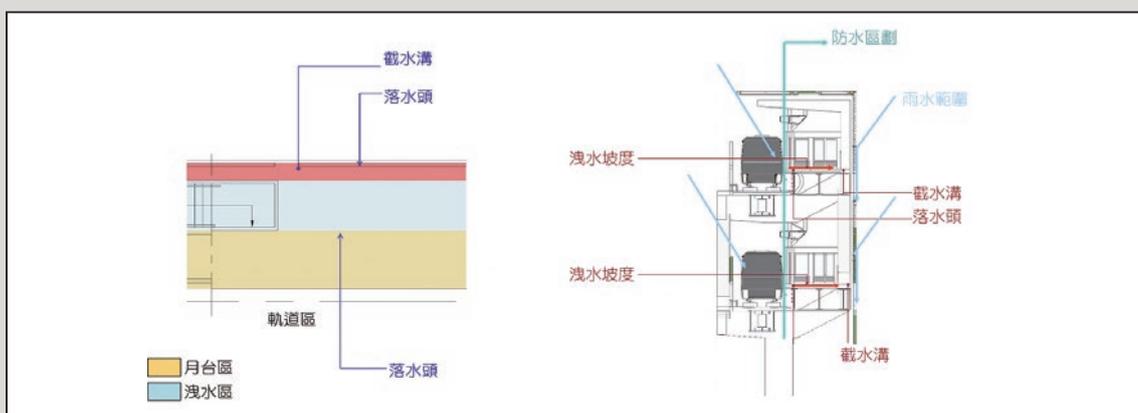


圖10 疊式月台車站防潑雨設計理念示意圖

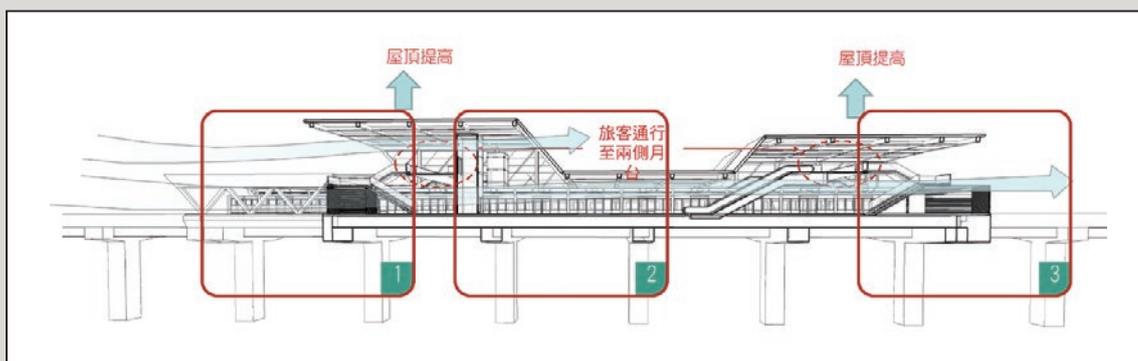


圖11 疊式月台車站防潑雨設計理念示意圖

但在後期實際發包施工時，卻發現上面設計理念，面臨許多以前細設階段所未能考量的狀況，包括 1.施工現場反映出都市環境瞬時微氣候及由於部分站體屋簷高度過高，以及立面高處封閉性不足或挑簷過短等問題，造成雨水飄入2.在鄰近月台門候車區及連通兩側月台之樓電扶梯及穿越層跨月台空橋及尾端平台等旅客聚集處，造成雨淋及地面濕滑，間接影響人行舒適度及安全 (如附圖12)……等等狀況。

為此，後續捷運環狀線在施工期間，捷運局亦辦理了多次設計變更，以圖改善此等狀況。其主要因應改善對策，綜整起來不外乎是以增加立面垂直向遮蔽，或是水平向之頂棚延伸、加大挑簷深度……等來補強其遮蔽效果。例如，以增加樓梯平台遮蔽、增加屋頂採光天窗之方式或是以延長頂棚增加月台候車區遮蔽、或在跨月台天橋等透空區域增設玻璃頂棚……等等手法，以降低風雨發生時對於人行安全之影響 (如附圖13)。

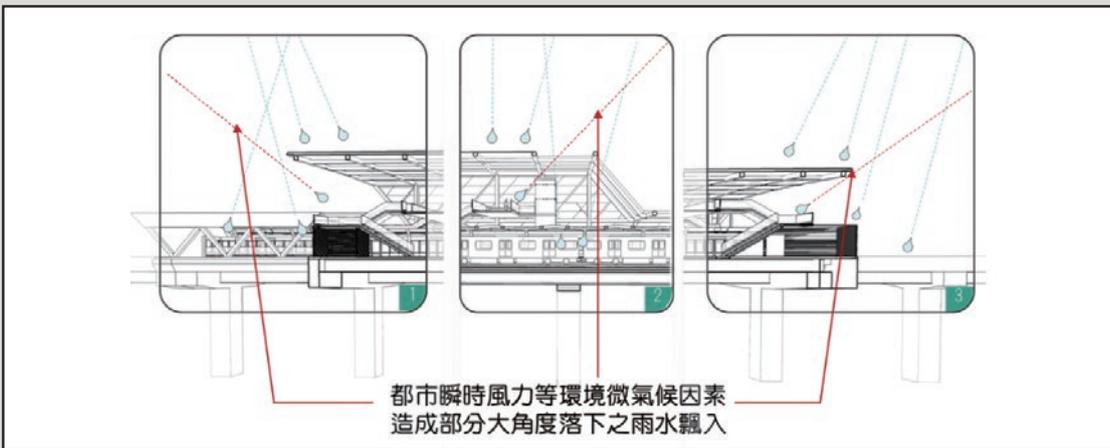


圖12 捷運環狀線於施工期間發現之相關防與水入侵等設計問題示意圖

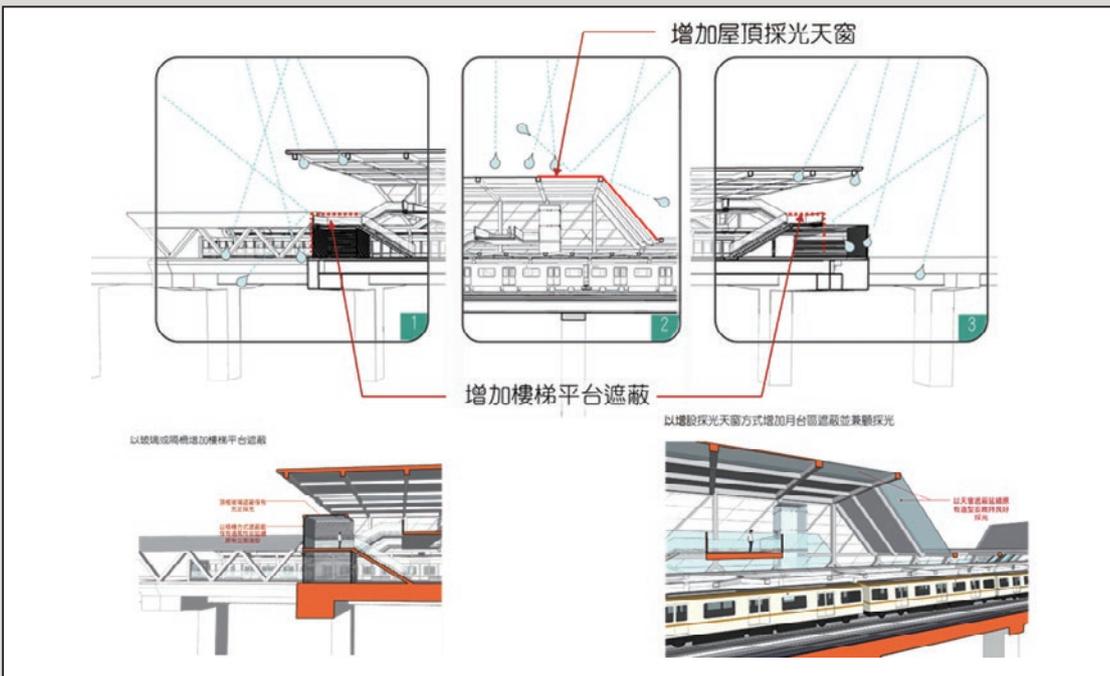


圖13 側式車站施工中變更設計之防潑雨對策示意圖

此等改善方式，在另外的台北捷運文湖線亦多處可見。以下列舉幾處為案例，例如文湖線劍南路站，由於原設計外牆立面高處之透空面積過大，造成常有雨水飄入影響人行，故後來決定以立面高處增補遮蔽高度作為改善對策

(如附圖14 & 15。而文湖線大湖公園站，則是外牆面屋簷出挑距離不足，造成雨水飄入影響人行，故以增加外牆面屋簷出挑距離之方法為改善對策(如附圖16)。

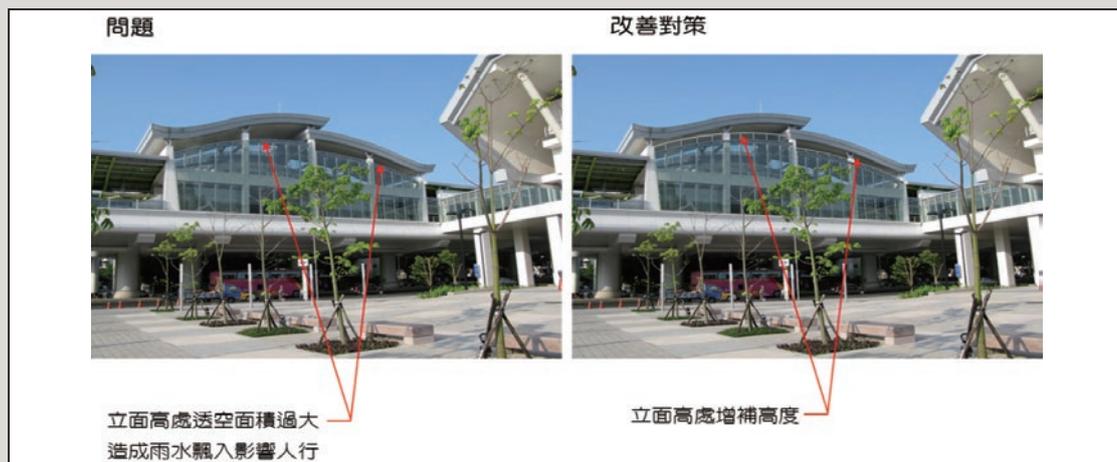


圖14 文湖線劍南路站防潑雨改善對策示意圖(一)



圖15 文湖線劍南路站防潑雨改善對策示意圖(二)



圖16 文湖線大湖公園站防潑雨改善對策示意圖

肆、捷運三鶯線高架車站防風雨 規劃之設計考量與對策研析

一、捷運三鶯線全線車站風貌初期規畫構想

三鶯線於進行部設計之初期階段，統包商建築師提出其全線造型理念，主要是以極簡交通機能的盒子，並以站體輕量化、降低高架車站在城市上空的量體感等，作為設計理念之主軸。其中側式月台車站配合沿線不同都市區域之風貌特性，皆有不同表層之外觀變化設計。此等方盒子量體型式車站，包括LB01站~LB03站、LB05站~LB07站及LB12站...等車站。於此，特舉土城段LB01車站為例，該站為與台北捷運“頂埔站”交會之轉乘站，並為三鶯的起始站，故建築師規劃以簡潔的BOX呼應全線整體風貌；並以土城區域科技主題，結合綠建築意象成為科技溫室的概念(如附圖17 & 18)。

LB01車站外觀立面大量使用擴張網作為表層型式，建築師構想透過擴張網半通透特性與不同透光率之應用，達到兼顧車站通風、採光之功能。希望能讓車站量體在都市中成為一個輕量流動的存在，讓人的活動、車的流動與綠化植栽能與外界環境對話(如附圖19)。

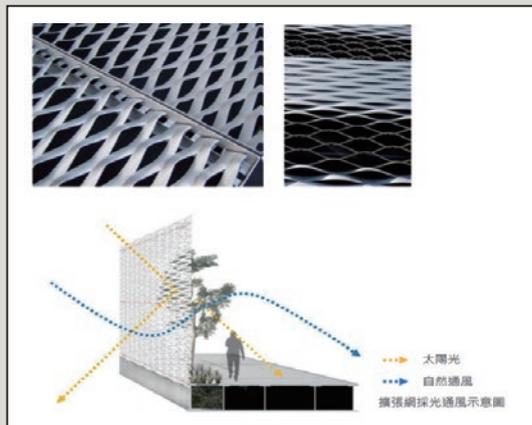


圖19 擴張網及其通風採光功能示意圖

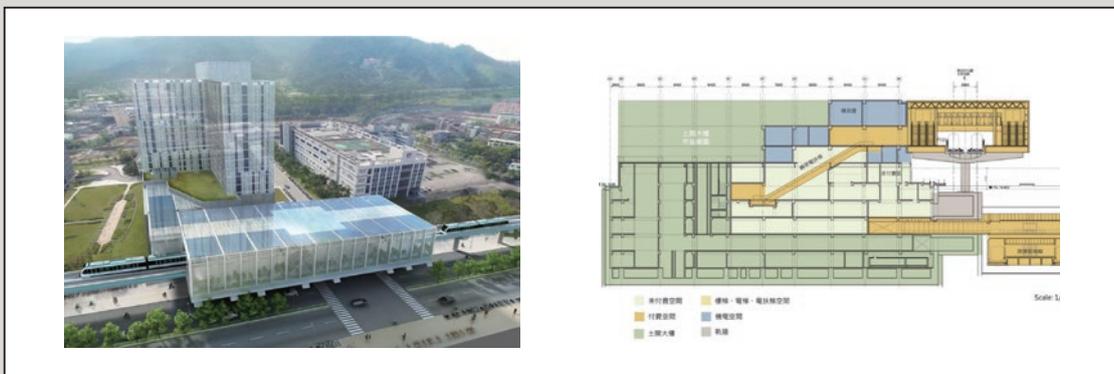


圖17 LB01車站外觀透視及剖面示意圖

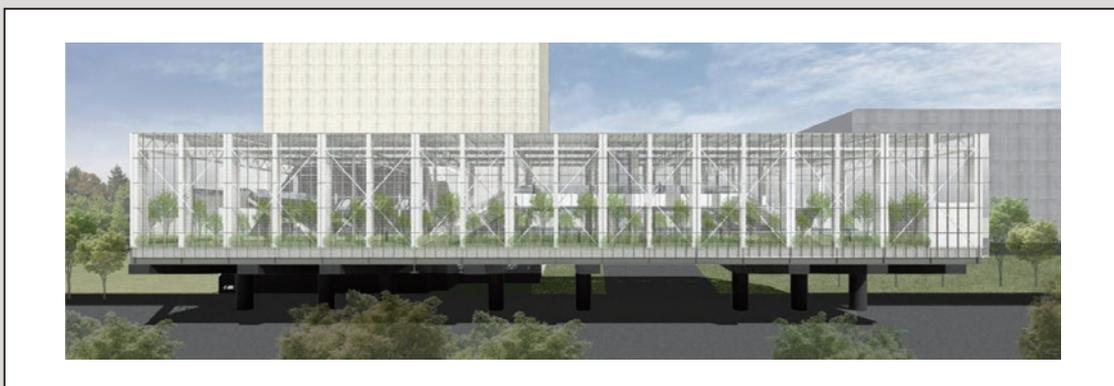


圖18 LB01車站立面示意圖

類似上述LB01外觀主要為擴張網型式之車站，尚包括LB06車站。而建築師設計的另外一種外觀表層主要型式則為烤漆鋁板，例如LB05車站，配合其板面的開孔或加上透空隔柵，營造同於擴張網之半通透視覺感受與通風、採光

功能。此外，有部份車站，則是以金屬屋頂板或帷幕牆板加上局部擴張網為外觀表現型式，例如LB02、LB03、LB07、LB12等車站(以上如附圖20~21)。

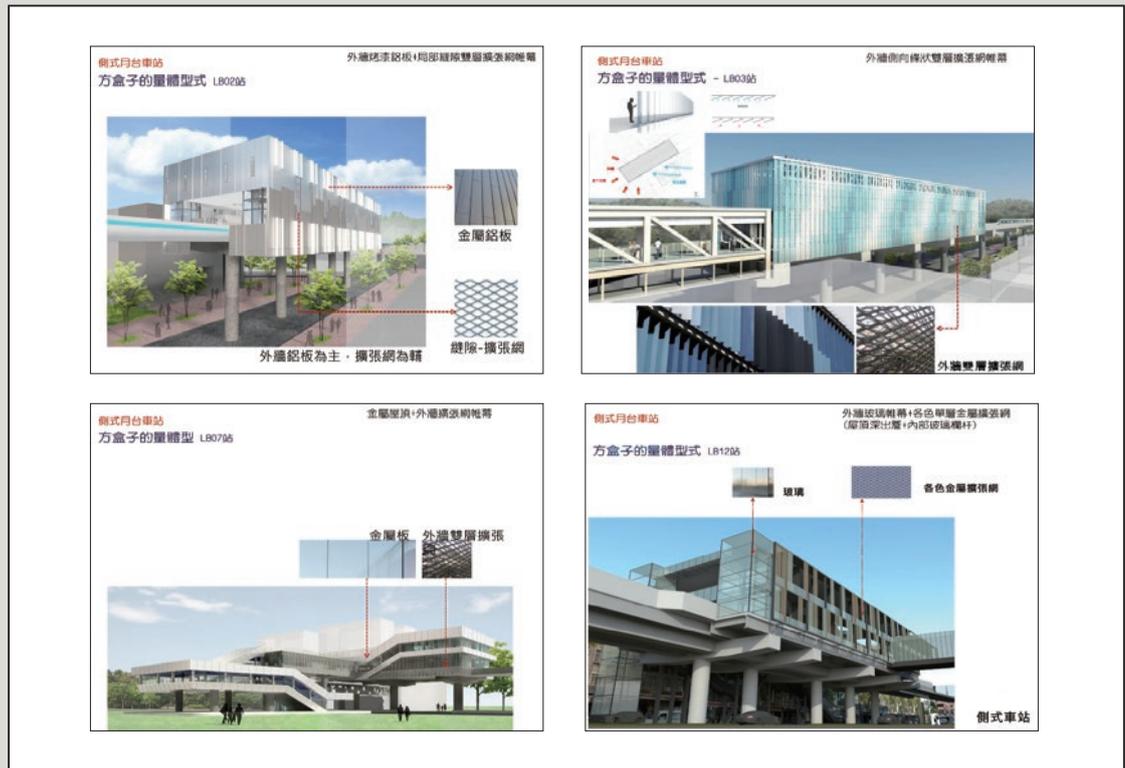
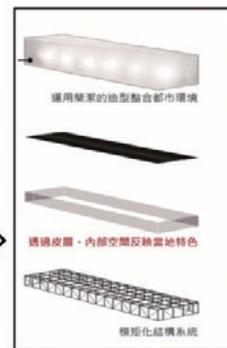


圖20 LB02、LB03、LB07、LB12車站外觀透視示意圖

側式月台車站

造型型式(1)-方盒子的量體型式

- 外牆雙層擴張網全帷幕 - LB01站 (亮點站)
- 外牆烤漆鋁板+局部縫隙雙層擴張網帷幕- LB02站
- 外牆側向條狀雙層擴張網帷幕 - LB03站
- 外牆烤漆沖孔鋁板+透空縫隙花格柵- LB05站 典型之近半透空外牆站
- 外牆雙層擴張網全帷幕 - LB06站
- 金屬屋頂+外牆擴張網帷幕 - LB07站 (亮點站)
- 外牆玻璃帷幕+各色單層金屬擴張網開口- LB12站



造型型式(2)-特殊型式

- 屋頂頂棚+金屬玻璃帷幕 - LB11站 (路外基地車站)



圖21 三鶯線側式車站主要造型型式綜整示意圖

另外，本三鶯線除上述高架側式月台車站外，尚包含LB04、LB08、LB09、LB10等4座高架島式月台車站(如附圖22)。三鶯線4座高架島式月台車站之特性除了站體下方皆為出入口之路外車站基地以外，其配置上穿堂層及機房層通常位於月台層下方(如附圖23)。

這樣的配置型式，導致其月台候車區位於站體上方中央部，而兩側邊則為透空之軌道區，故其優點是月台頂棚出簷通常挑出深度較大遮蔽性較佳，且自然通風效果也佳。但站體高度則相對側式車站較高且基地周邊空曠，故需注意微氣候環境產生瞬時穿堂風之吹襲。



圖22 三鶯線島式車站主要造型型式示意圖

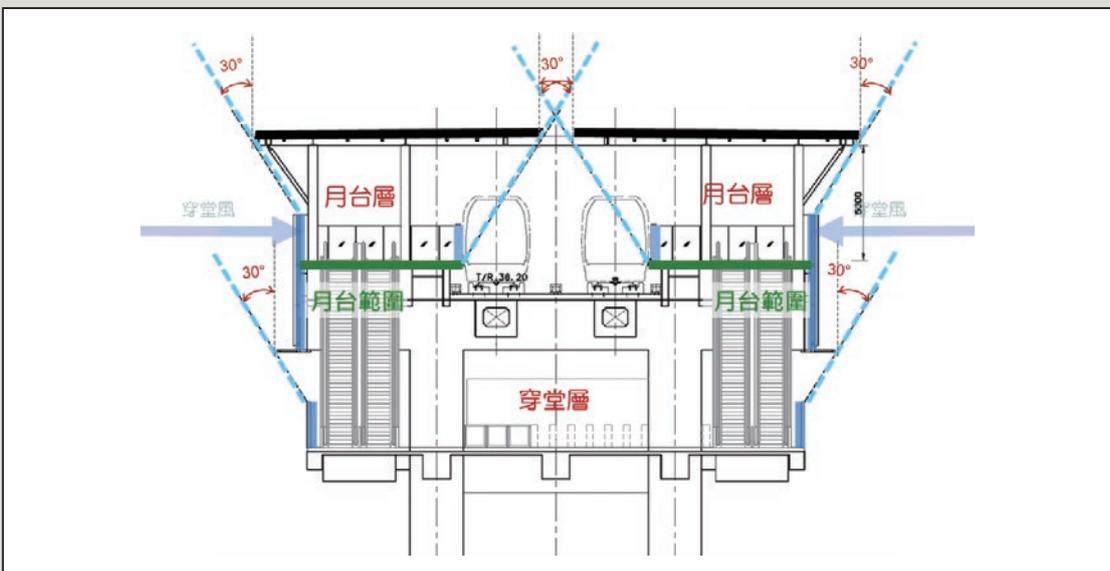


圖23 三鶯線島式車站(LB10車站)剖面示意圖

二、捷運三鶯線高架車站防雨水入侵設計相關審查執行面之爭議與議題探討

目前三鶯線捷運高架車站，大都以盡可能開放、具穿透性之設計理念為方向，朝減輕車站之量體感，並方便乘客能迅速判別所在環境為原則。此等設計之優點，不僅能顧及旅客之視覺感受，並兼顧自然通風、排煙等之綠建築省能目標。但缺點則是過多的開放、穿透性設計，將造成雨水入侵，尤其車站區遇極端氣候狀況時，如無適當封閉之外牆設計，更將造成車站設備損失。而上述兩者之設計方向，則是存在結構性之矛盾，該如何取得兩者間之平衡，實為設計實務上之難題。

首先，三鶯線規範中僅概略以30度檢討線作為審查時可量化檢討之依據，但前提是僅假設為實牆有阻擋與透空無阻擋兩種狀況，但如三鶯線統包商建築師提出之極簡盒子造型其立面大多採用全面之擴張金屬網或沖孔烤漆鋁版包覆，這

些材料雖具一定程度穿透性、通風性能佳，但相對而言，擴張金屬網或沖孔烤漆鋁版並無法達到實牆之完全阻絕雨水效果，不過理論上又一定是比完全透空之阻絕效果為佳，所以如果以該等材料作30度防風雨線檢討時，該如何認定其穿透後之折減角度？這些必需要有公正之驗證數據，才能據以作量化檢核與判斷。

另外，此等方盒子車站造型與擴張金屬網立面，防風雨設計上亦有一些結構性的弱點，例如因造型考量為方盒子，站體中央處形成大尺度挑空空間，然而中央處外牆立面高處遮蔽性不足，且無挑簷遮蔽，導致雨水穿透飄入的距離將大增，甚至可能將直至月台中央深處，且鄰外牆穿越兩側月台動線處之遮蔽性也不足，雨水很容易穿透飄入造成濕滑，恐將對旅客的舒適性及安全性造成威脅(如附圖24)。

而三鶯線設計規範中對於車站防雨水入侵之設計考量，總括來說，包含兩處重點位置：

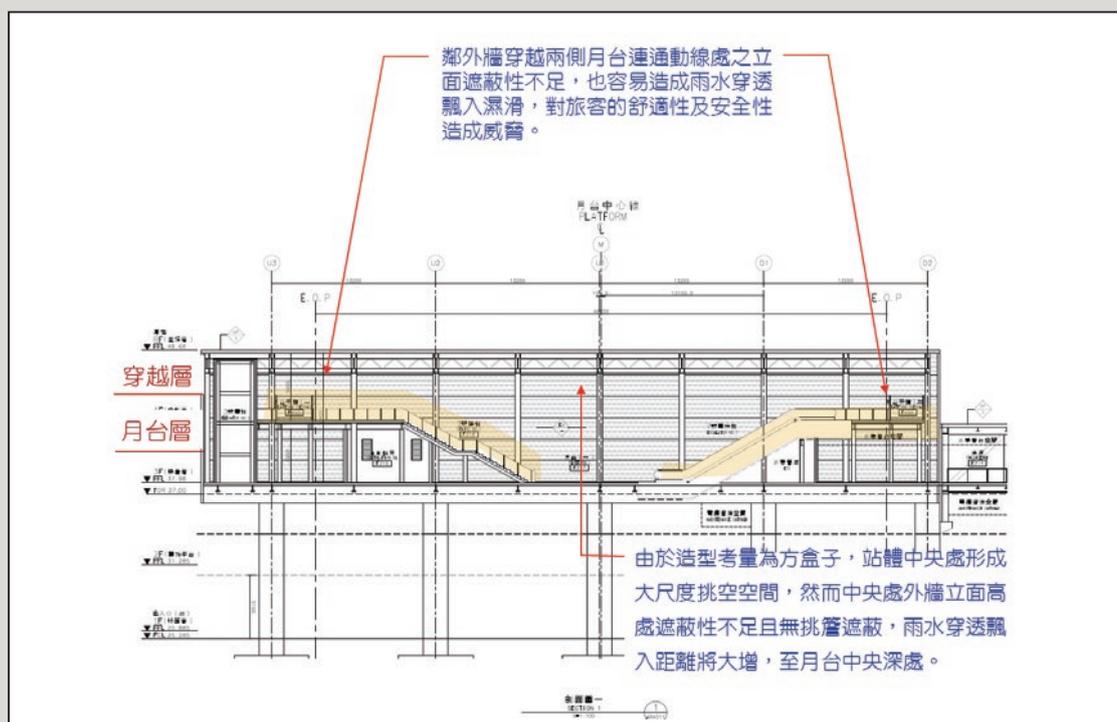


圖24 三鶯線側式車站長向剖面示意圖

1、旅客聚集處適當地點2、月台全長/臨軌道側(候車區)。然而上述規範，在審查執行面上，卻存在著兩項疑義。第一，是旅客聚集處適當地點與臨軌道側(候車區)之範圍定義未能明確。第二，則是因雨水入射角度變化與風速實際上有關，尤其台灣地區位處颱風帶，有各種極端氣候，故應在何種氣候條件標準下執行才為合理？以及防雨水入侵重點區域之遮蔽率如何訂定？上述這些疑問，後來也成為實際統包設計工作執行上有困難及爭議之處。

另外規範中，對於防風雨議題的主要設計對策有二，例如“設置頂棚，頂棚儘可能採用斜面或特殊造型，頂棚之覆蓋範圍涵蓋月臺之全長。屋面自月臺兩側出挑至道床上方；出挑之距離應達軌道中心線外200mm處及飄雨線30度以上之檢核”以及“適當地點/適當位置裝設隔屏”。

但在審查執行上，由於上述條文僅針對月台頂棚規範屋面出挑之距離需達軌道中心線外200mm處以及用飄雨線30度以上來檢核，但30度防風雨線該訂定之角度是否合理？且是否符合實際需求？以上這些疑點，亦有作進一步探討之必要。

總之，以上種種規範條文檢核重點如30度飄雨線，實際上是否可確保達到保護乘客免於風雨吹襲並達到遮陽、視野通透及適度自然採光通風效果，仍然缺乏論理分析，且建築師擬採用的擴張網或沖孔版等材料，是否具隔屏之遮蔽效果仍具爭議，若該等材料具半遮蔽效果，其可折減雨水入射角度或比例為多少？有無實測之數據？以上這些，都是在審查執行面上可再作精進並進一步具體化落實之處。

而以下也整理了上述規範之議題及審查執行面上需精進處，如表2：

表2 三鶯線防風雨設計規範審查執行面可精進處之綜整建議表

<p>● 規範防雨水入侵之重點考量位置:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 旅客聚集處適當地點 2. 月台全長/臨軌道側(候車區) 	<p>● 審查執行面上需再精進處:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 旅客聚集處適當地點與臨軌道側(候車區)之範圍定義未明? 2. 雨水入射角度變化與風速實際上有關，尤其台灣地區位處颱風帶有各種極端氣候狀況，故應在何種氣候條件標準下執行才為合理及防雨水入侵之重點區域之遮蔽率如何訂定，為實際執行面上應考量之處
<p>● 規範主要設計對策:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 設置頂棚，頂棚儘可能採用斜面或特殊造型，頂棚之覆蓋範圍涵蓋月臺之全長。屋面自月臺兩側出挑至道床上方；出挑之距離應達軌道中心線外200mm處及飄雨線30度以上之檢核 2. 適當地點/適當位置裝設隔屏 	<p>● 審查執行面上需再精進處:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 上述僅針對月台頂棚規範，屋面出挑之距離達軌道中心線外200mm處及飄雨線30度以上之檢核，實際上是否可確保達到保護乘客免於風雨吹襲並達到遮陽、視野通透及適度自然採光通風效果? 2. 擴張網或沖孔版等材料是否具隔屏之遮蔽效果?若具半遮蔽效果，其可折減雨水入射角度或比例為多少?無實際驗證或實測之數據或論理說明

三、捷運三鶯線三鶯線高架車站相關審查執行原則之建議

由上節可知，由於規範對於某些條文定義及檢核驗證的方式並未具體明確，導致在實際審查執行上產生諸多疑義與爭議。故為解決上述條文窒礙難行之困境，後續我們也逐一針對了上述規範不明確處，訂定出了審查執行原則之建議。

(一) 旅客聚集處適當地點與臨軌道側(候車區)之範圍之定義建議：

旅客聚集處適當地點依捷運站使用功能特性，主要分為排隊等候空間及樓/電扶梯以及主要動線(定義為2M寬)；另外除了規範要求之臨軌道側(候車區)處外，重要車站設備/設施，亦建議為防風雨設計防護之重點區域。上述等區域之位置及範圍示意範例，請詳如附圖25~27。

(二) 30度飄雨線及風速與降雨角度之影響探討：

三鶯線規範不同於其他系統之規範，有所謂30度飄雨線之檢討，但此30度飄雨線檢討之訂定，似未依地區氣候條件作完整分析，尤其雨水入射角依論理應是與風速有絕對關係，但如僅以30度角作為唯一檢核依據，則又似乎未能完全反映實際之站區風雨狀況。故後來經討論，決議仍應以實際本三鶯線區域之氣象風雨資料作深入分析，以訂出合理檢核方式與角度。在這樣共識下，經後續再蒐集中央氣象局相關氣候資料，以作為研判各級防護標準與風速、雨量與角度測量間關係之依據。例如以臺北地區105年氣候資料年報，作為研判各狀況下之防護標準，故以當年最大陣風及單日降水量發生於9月27日，當時

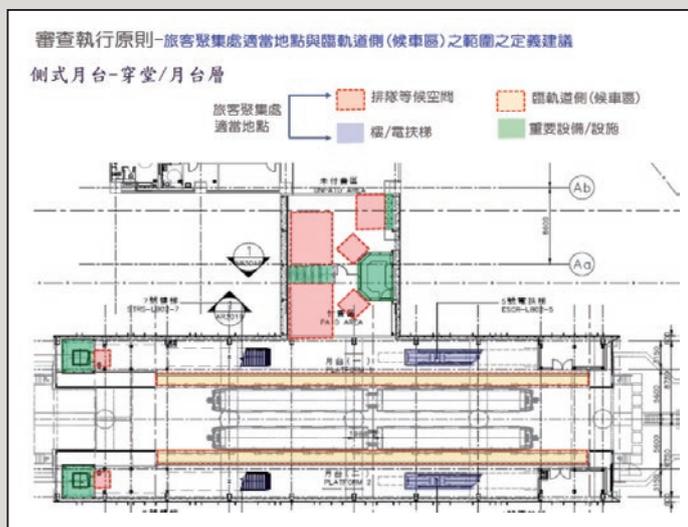


圖25 示意範例圖 (一)

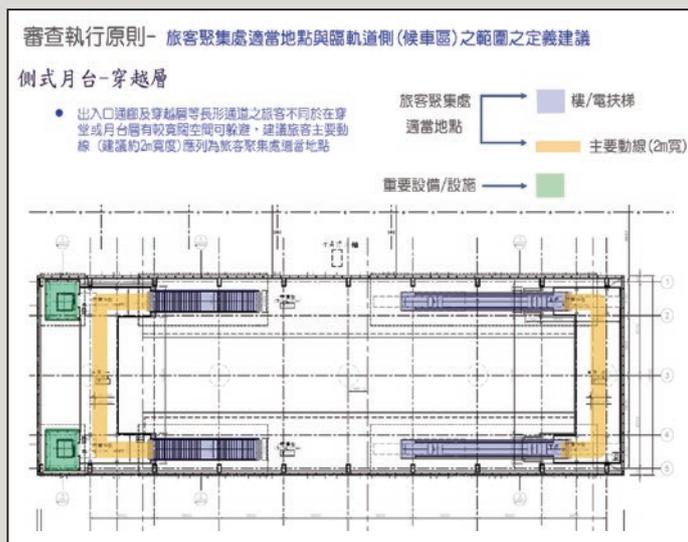


圖26 示意範例圖 (二)

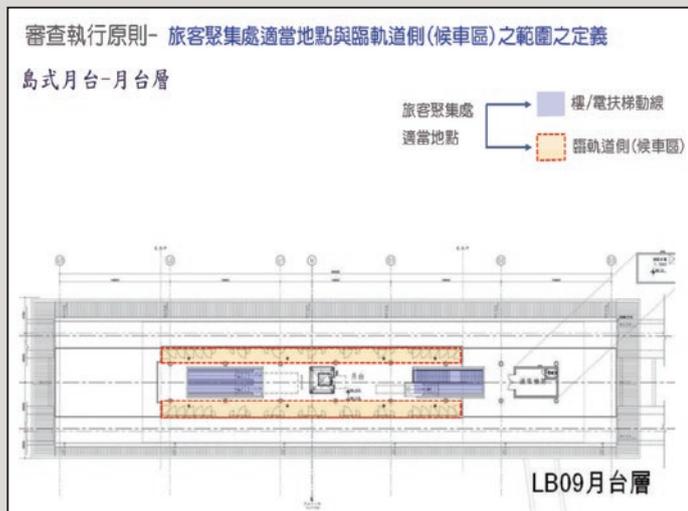


圖27 示意範例圖 (三)

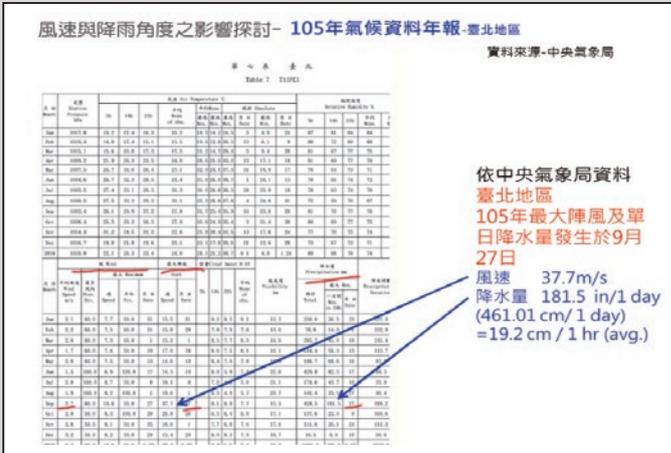


圖28 風速與降雨角度之影響探討示意圖(一)



圖29 風速與降雨角度之影響探討示意圖(二)

風速達37.7m/s，降水量則為181.5 in/1 day (461.01 cm/1 day)=19.2 cm / 1 hr (avg.) (如附圖28)，作為一般檢核之標準。此外也考量到，如遇強烈颱風等極端氣候至一定等級時，列車將停駛車站也將封閉停止營運(註：例如依天然災害停止上班及上課作業辦法為颱風暴風半徑於4小時內預期經過之地區平均風力達七級以上或陣風達十級以上時，即可停班停課。另外依106年7月28日北捷公司發佈之新聞稿：北捷公司表示，颱風期間淡水信義線、松山新店線、中和新蘆線及板南線等各路線，當高架及平面段實際瞬間風速達11級風以上，或10分鐘內平均風速為10級風以上，將依照標準作業

程序暫停營運；至於地下段將繼續運轉，並依人潮狀況彈性調整營運班距。文湖線則是瞬間風力達10級風(24.5-28.4m/sec)，或10分鐘平均風力達6級風(10.8~13.8m/sec暫停營運)如附圖29。故此種狀況時，因車站已停止營運，防護重點不在是提供旅客遮蔽或防護雨水入侵，而是應考量在難以避免的雨水入侵狀況下，對於車站重要設備、設施之損壞如何降低作對策制定。

基於上述的觀念，並參考相關風速與降雨角度論文等文獻(註1)我們也訂出了在各種級距風速下之降雨，其雨水可能入射角度關係(如附圖30)。

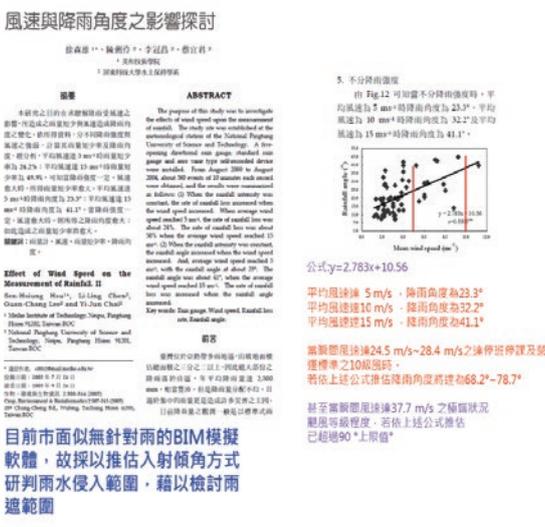


圖30 風速與降雨角度之影響探討示意圖(三)

綜合以上(一)、(二)兩點研析結果，並依實際合理營運有乘客使用之狀況評估後，建議如出入口旅客聚集處適當地點(樓/電扶梯、通道主動線區域(2M淨寬))及設備機房/重要設施(PAO、ATIM、收費閘門...等)之範圍，應以對應至達停班停課標準之平均風速七級風(10M/S)下之飄雨線(約30度)作檢核模擬，並且該等地點模擬後應保持100%遮蔽率。而在平均風速達15M/S(飄雨線約41度)以上之颱風等級時，此時防護重點應為電扶梯/電梯、機房及重要設備/設施，我們建

議此時此等重要設備/設施檢核模擬結果，仍應保持100%遮蔽率。其餘區域則仍應保持50%以上之遮蔽率。而上述遮蔽率定義則建議為：(區域面積-雨水侵入範圍面積)/區域面積。

綜整以上這些需檢討防護區域定義以及驗證方法後，我們後續亦提出了三鶯線高架車站審查時之執行原則主要建議重點，歸納如表3。

根據以上這些審查執行原則建議重點，專管顧問後續也提出了有關三鶯線高架車站防風雨設計之自主檢查表，頒佈予統包商於設計時作自主檢查，以免疏漏。其中包括一般性以及車站各層(包含出入口)之檢核重點，如附表4~5。

表3 三鶯線高架車站相關防風雨審查執行原則之綜整建議表

三鶯線高架車站相關防風雨審查執行原則之建議	
1	有關擴張網或沖孔版等材料是否具隔屏之遮蔽效果或其遮擋率、雨水入射折減角度等，需經公正單位實際驗證(如風雨試驗)，並以測得之數據模擬驗證各站之設計成果。
2	除依規範30度飄雨線檢討，另外請統包商採風速15m/s之狀況41度飄雨線進行模擬檢討。模擬風速逼近相當於七級風時之瞬間最大陣風狀況。
3	旅客聚集處適當地點與臨軌道側(候車區)範圍，建議在30度飄雨線檢討下，應保持100%遮蔽率。
4	在風速15m/s 飄雨線41度下模擬檢討，電扶梯/電梯、機房及重要設備/設施則應仍可保持100%遮蔽率。其餘區域則仍應保持50%以上之遮蔽率。(備註:遮蔽率定義 > 區域面積-雨水侵入範圍面積/區域面積)。
5	參考監察院106年桃園機場捷運車站調查報告之實例所見缺失，建議在超過前述中央氣象局105年台北地區氣象資料所測最大風速37.7m/s 降水量 181.5 in/1 day 狀況條件下，檢討車站相關導水、排水及屋頂外牆等固定結構細部設計，以確保機房及重要設備區於營運時無阻水、積水、漏水及溢流滴水…等現象。

表4 車站通風及防雨水入侵設計審查查核表(穿堂層+機房層+出入口)

項次	說明	符合		附註
		是	否	
	一般			
1	有關擴張網或沖孔版等半透空材料之雨水遮擋率、雨水入射折減角度等，統包商是否已提出經公正單位實際驗證(如風雨試驗)測得之數據或理論說明，並提出各站模擬結果?			
	穿堂層			
1	穿堂層旅客聚集處適當地點(排隊等候空間、樓/電扶梯、通道主動線區域(2M淨寬))與臨軌道側(候車區)及設備機房/重要設施(PAO、ATIM、收費閘門…)之範圍在規範飄雨線30度條件下，其模擬後是否可保持100%遮蔽率?			
2	上述設備機房/重要設施(PAO、ATIM、收費閘門…)之範圍，在飄雨線41度條件下，其模擬後是否仍可保持100%遮蔽率?而上述地區以外之該樓層其餘地區遮蔽率是否有達50%以上?			
3	上述遮蔽設施是否影響自然通風及排煙?			
4	上述遮蔽設施若影響自然排煙是否增設機械排煙系統?			
5	上述遮蔽設施若形成封閉狀況時，是否增設機械通風?			
6	上述遮蔽設施若採百葉型式，是否已考量其維護性?			
7	位於空曠地區站體之透空處是否已考量避免瞬時強風吹襲造成雨水飄入之影響?			
8	若出入口或上述遮蔽設施尚無法完全避免飄雨進入車站內，是否已考量穿堂層設置洩水坡度及地板排水口?			設計規範 5.2.7.5
9	公共區各排水設施，廠商依歷史氣象資料最大降水量181.5 mm/1 day之假設條件，並經其遮蔽設施折減後之降水量做模擬計算，其排水容量、速度…等設計是否足夠而不導致漫流或積水等現象?			
10	各排水管路接頭，廠商之設計是否確依相關規範或無鬆脫虞慮?			

項次	說明	符合		附註
		是	否	
11	易遭受雨水侵入之裝修填縫處，廠商是否確依相關規範設計？			
12	廠商是否已針對穿堂層鄰外牆側之機房百葉其型式及構造阻擋雨水侵入之性能提出相關驗證或說明？			
13	上述，若無法阻擋雨水侵入則該百葉上方是否有加設或加長雨遮？			
14	廠商是否已針對穿堂層鄰走道側之機房阻擋雨水漫流侵入之可能性提出相關說明？			
15	上述，若無法阻擋則該機房門縫下方是否有加設阻水設施或設置擋水板、門檻…等設施？			
	機房層			
1	機房層外牆側是否有考量以減少開口部面積或加長出簷深度防止雨水入侵？或內部以實牆或百葉等設計封閉？			
2	上述設計以飄雨線41度檢討後其雨水侵入範圍是否仍影響內部之機房設施？			
3	上述遮蔽設施若採百葉型式，是否已考量其維護性？			
4	各排水管路接頭，廠商之設計是否確依相關規範或無鬆脫虞慮？			
5	易遭受雨水侵入之裝修填縫處，廠商是否確依相關規範設計？			
6	廠商是否已針對機房層鄰外牆側之機房百葉其型式及構造阻擋雨水侵入之性能提出相關驗證或說明？			
7	上述，若無法阻擋雨水侵入則該百葉上方是否有加設或加長雨遮？			
8	廠商是否已針對機房層鄰走道側之機房阻擋雨水漫流侵入之可能性提出相關說明？			
9	上述，若無法阻擋則該機房門縫下方是否有加設阻水設施或設置擋水板、門檻…等設施？			
	出入口			
1	出入口旅客聚集處適當地點(樓/電扶梯、通道主動線區域(2M淨寬))及設備機房/重要設施(PAO、ATIM、收費閘門…等)之範圍在規範飄雨線30度條件下，其模擬後是否可保持100%遮蔽率？			
2	上述設備機房/重要設施(PAO、ATIM、收費閘門…等)之範圍，在飄雨線41度條件下，其模擬後是否仍可保持100%遮蔽率？而上述地區以外之該樓層其餘地區遮蔽率是否有達50%以上？			

表5 車站通風及防雨水入侵設計審查查核表(月台層+穿越層)

項次	說明	符合		附註
		是	否	
	月台層&穿越層			
1	月臺雨遮之型式是否已儘可能提供最大的頂蓋、遮蔭？			設計規範 5.1.3.3 1(1) 車站
2	是否已設置頂棚，以遮蔽日晒及風雨？月臺頂棚之覆蓋範圍是否已涵蓋月臺全長，並考慮於適當位置裝設隔屏以阻擋風雨，惟不得過度減少自然通風？			設計規範 5.1.3.3 1(1) & 5.3.2.3 (2)
3	沿月臺全長之上方是否已均有屋面之遮蓋，且屋面應自月臺兩側出挑至道床上方，且出挑之距離是否有達軌道中心線以外200mm處，並有飄雨線30度以上？			設計規範 5.2.6.11
4	月台層軌道上方中央之屋頂或頂棚除滿足上述檢討外，是否有考量不得影響自然排煙及通風之效果？			
5	月台層&穿越層外牆側相關設計，是否有考量以加深屋頂厚度或加長頂棚之出簷深度防止雨水入侵？			
6	月台層&穿越層外牆側高處之裝修或開窗是否考量維護及清潔性？			
7	月台層&穿越層旅客聚集處適當地點(排隊等候空間、樓/電扶梯、通道主動線區域(2M淨寬))與臨軌道側(候車區)及設備機房/重要設施(PAO、ATIM、收費閘門…等)之範圍在規範飄雨線30度條件下，其模擬後是否可保持100%遮蔽率？			

項次	說明	符合		附註
		是	否	
8	上述設備機房/重要設施 (PAO、ATIM、收費閘門…等)之範圍，在飄雨線41度條件下，其模擬後是否仍可保持100%遮蔽率?而上述地區以外之該樓層其餘地區遮蔽率是否有達50%以上?			
10	上述遮蔽設施是否影響自然通風及採光等性能?			
11	位於空曠地區站體之透空處是否已考量避免瞬時強風吹襲造成雨水飄入之影響?			
12	側式月臺沿側牆平台處、島式沿月臺中央區平台處，是否每隔15m內設置不銹鋼落水頭一處及排水系統?			設計規範 5.2.6.10
13	月臺自軌道側方向往外，是否有1%之洩水坡度，向月臺中央區傾斜?			設計規範 5.2.6.10
14	上述範圍是否已確保月臺門之緊急門往月臺側方向開啟不會卡住?			設計規範 5.2.6.10
15	軌道道床之排水以包覆於主要支撐柱邊之落水管排放至雨水排水系統之出水口處；落水管間之中心距應為25m左右。頂棚、月臺及車站屋面等部位之雨水亦應排放至雨水排水系統?			設計規範 5.3.2.3 (3)
16	月台層&穿越層之電扶梯及電梯前是否加設載水溝?			
17	前述各排水設施，廠商依歷史氣象資料最大降水量181.5 mm/1 day之假設條件，並經其遮蔽設施折減後之降水量做模擬計算，其排水容量、速度…等設計是否足夠而不導致漫流或積水等現象?			
18	各排水管路接頭，廠商之設計是否確依相關規範或無鬆脫虞慮?			
19	易遭受雨水侵入之裝修填縫處，廠商是否確依相關規範設計?			
20	廠商是否已針對鄰外牆側之機房百葉其型式及構造阻擋雨水侵入之性能提出相關驗證或說明?			
21	上述，若無法阻擋雨水侵入則該百葉上方是否有加設或加長雨遮?			
22	廠商是否已針對鄰走道側之機房阻擋雨水漫流侵入之可能性提出相關說明?			
23	上述，若無法阻擋則該機房門縫下方是否有加設阻水設施或設置擋水板、門檻…等設施?			
24	廠商依最大瞬間風速達強烈颱風51m/s及符合合約規範或相關建技法規規定之條件下，外牆及屋頂等等構造之固定之防颱設計經結構計算後是否符合要求?			

伍、捷運三鶯線高架車站防風雨設計後續審查與驗證執行之應用

一、多孔隙牆板風雨試驗：

目前參照上述表4-2之建議及依據查核表一般性之要求，三鶯線統包商已提送類似門窗測試之多孔隙牆板風雨試驗，並由國內知名之漢宗實驗室進行公正之測試取得數據資料，並據以推算外牆設計之防風雨效果。

所謂多孔隙牆板設計並非完全封閉的構造斷面，比較類似百葉窗或隔柵構造，例如三

鶯線統包商建築師採用之金屬擴張網或沖孔鋁板…等材料。因車站外牆採用上述材料時，雖可通過靜態圖面檢討的「風雨防護要求之30度角飄雨線」，但考量自然環境之風壓、雨滴傾斜角度等因素，此等材料並非完全封閉的牆板構造，實際上仍有穿透機會，造成風雨侵入之狀況。

然而，目前因為國內CNS等標準規範並未規範「多孔隙牆板、百葉窗」之阻雨、通風率測試，導致如欲使用此等材料時，並無法判斷及得知在特定風速與雨量條件下，雨水之穿透程度多寡。故經各方討論後，決定參考國內、外相關研究，研擬此風雨試驗計劃，以利取得公

正驗證數據，供後續審查作為執行依據。

而多孔隙牆板規格，三鶯線統包商提出以下三種數值做為實驗控制條件1. A-孔隙尺寸 LW*SW*W*T或B-孔隙尺寸 + 沖孔率2.防護角度3.透空率。依其構想，多孔隙牆板試體，採用框架尺寸2000mm × 2000mm。另外，假設之降雨強度與雨滴平均直徑則參考「美國空氣流動協會 AMCA-Standard 500-L Tests」，雨量模擬

器則依「降雨強度」、「雨滴平均直徑」數值做為設定。依此設定，使用造風設備產生風速10m/s、15m/s及相當120mm/h噴水之作用，於試體前製造模擬之動態風雨，並觀察一定時間後試體背面潑水之情形，取得距離數據並作成紀錄。以上，相關多孔隙牆板風雨試驗之概念示意圖，如附圖31、32。

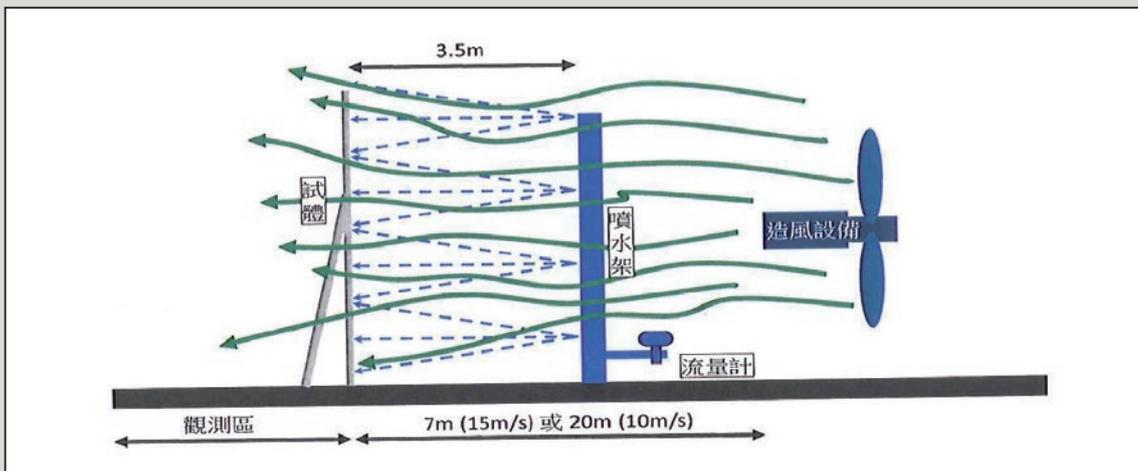


圖31 多孔隙牆板風雨試驗之概念示意圖



圖32 多孔隙牆板風雨試驗之現場場景照片

二、多孔隙牆板風雨試驗後續之檢核應用

在取得各立面使用材料之多孔隙牆板風雨試驗數據後，統包商建築師目前檢核其設計之方法則是採用反推法。其主要概念乃是採用車站各處依檢核原則所訂之允許雨水潑入範圍之距離，代入各種透空率材料經試驗得知之各材料在各風速與雨量下之侵入角度數據（內側潑雨最遠距離與入射高度比值），如附圖33。

初步得知此等角度數據後，再來依平面之配置佈設檢討出各雨水允許侵入範圍(或不允許侵入範圍)。此處舉LB01站為例，北側外牆界面處之相同潑雨允許範圍為2.65M，如附圖34，建築師以此相同潑雨允許範圍為2.65M，反推出在該等允許距離下於立面上該材料可設置之最大高度分佈範圍，並作為其外牆立面材料使用計畫之依據，如附圖35。

試驗結果整合表：

多孔隙牆板(單層/雙層)	試體尺寸	降雨強度	測試時間	透空率	紗網孔目
詳下表	7000 mm*6000 mm	120 mm/hr	10 分鐘	詳下表	24 目以上

實驗設定值(組)			實驗結果	
試體	組別	設定風速 m/s	透空率%	內側潑雨最遠距離 m
雙層擴張網 (32目紗網)	組別 1	10	7.4	0.3
			14.7	1.5
			11.8	1.5
	組別 2	15	7.4	2
			14.7	3
			11.8	3
單層擴張網 (32目紗網)	組別 4	10	20.33	2
			39.68	3.5
			31.26	3.5
	組別 3	15	20.33	4
			39.68	5
			31.26	4
沖孔鋁板 (32目紗網)	組別 5	10	13	1
	組別 6	15	13	1.5

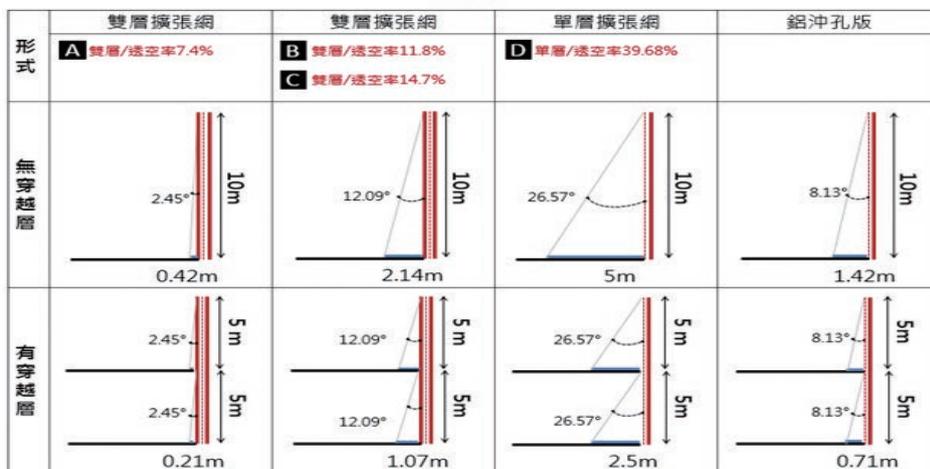


圖33 多孔隙牆板之初步檢核概念示意圖

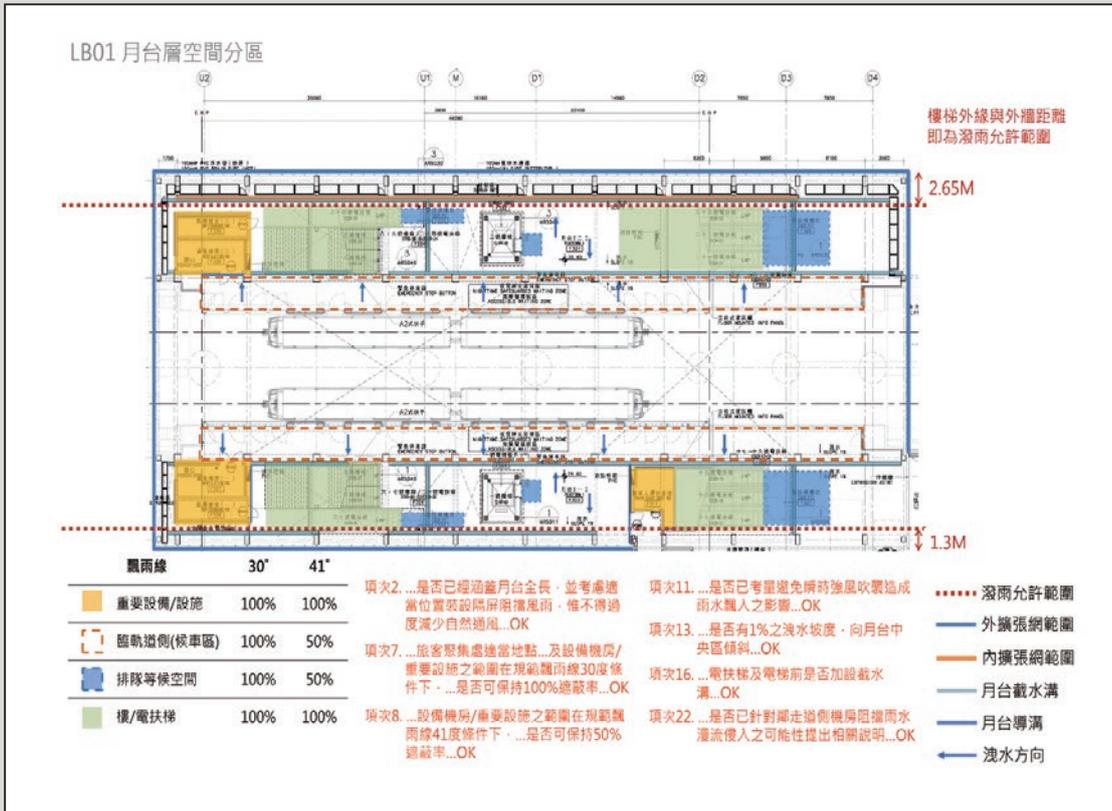


圖34 LB01站之平面檢核應用概念示意圖

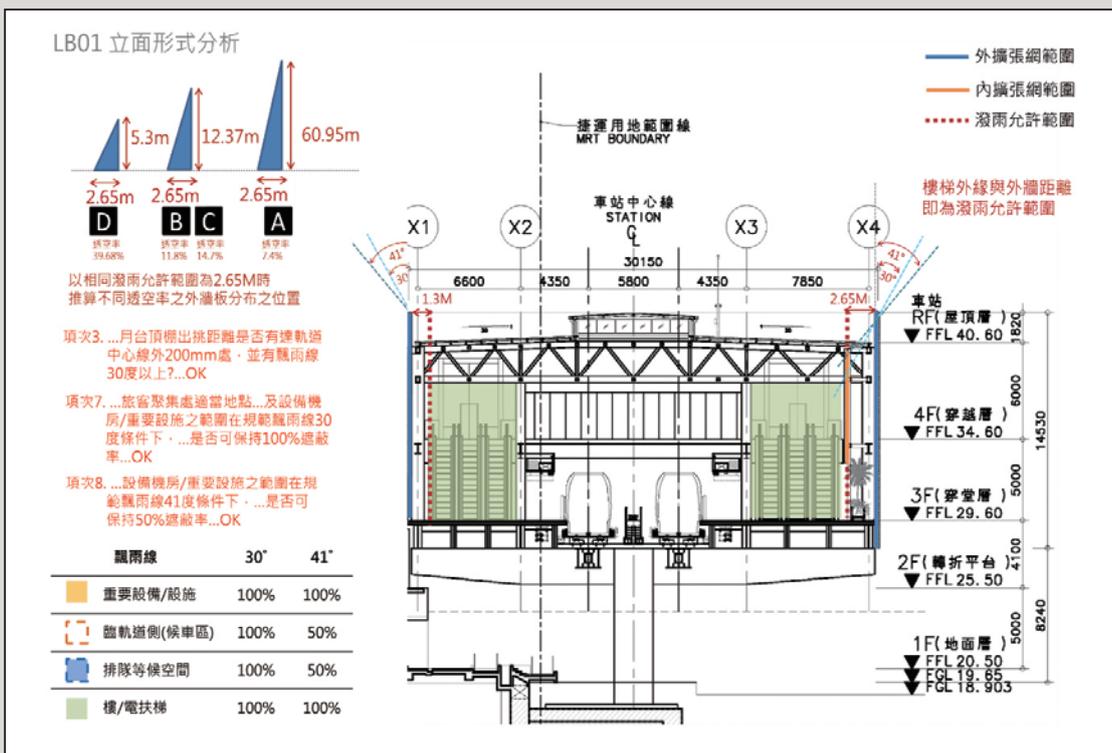


圖35 LB01站之剖面檢核應用概念示意圖

立面形式分析

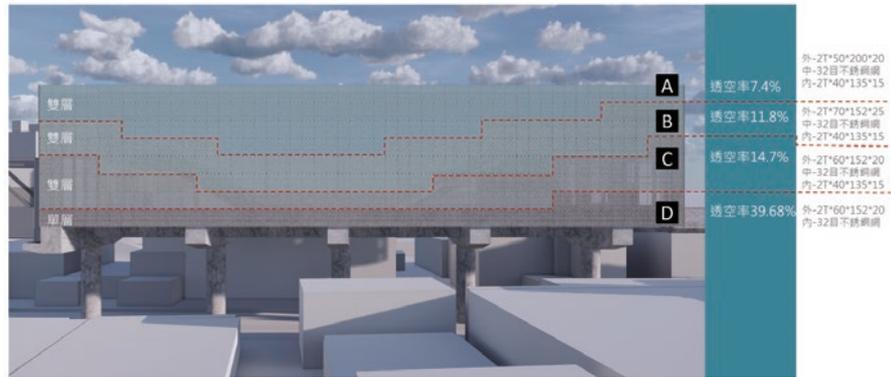


圖36 立面檢核應用概念示意圖

而透過這樣的推算，我們也可得知在立面越高處，其所使用材料之透空率則需要越小，意即在立面越高處，越需要封閉性較佳之材料。例如附圖36，整個方盒子造型車站之外牆立面，經由平面各允許潑雨範圍之反推結果，可訂出分別由A、B、C、D從高至低四種不同透空率材料組成的立面計畫，並反映於實際之設計圖面，完成實質之立面細部設計。

三、高架車站其它飄雨滴水問題之檢核重點與對策

於一般狀況下，三鶯線透過以上車站防風雨設計之自主檢查表以及試驗成果數據之應用，對於高架車站防雨水入侵功能應考量重點之檢核，在實務執行面上已能有十分完整且精進可行的作法。然而，在後續統包商設計送審階段，由於其它在建中的捷運工程，例如安坑輕軌的設計經驗回饋，發現車站在遭受風雨侵襲時，除了上述在風力作用下動態入射飄進的雨水防範，需要列為重點以外，另外他們也建議需再考量到目前一般車站站體之構造皆為鋼構等金屬表面外露材料構造，在許多狀況下如站體之屋簷等構造雖已延伸長度或外牆上方開口加大遮蔽後，理論上已可擋住雨水入射。但由於如水滴之流體有離開本來的流動方向改為

隨著凸出的物體表面流動的傾向之康達效應 (Coanda Effect) 此等特殊的物理性質，以及本來就具有的受重力往下流的特性，導致車站挑簷或外牆界面處，雖在一般狀況下已經具有防止風雨直接入射的效果，但許多時候飄下的雨水卻常會附著在外露的結構或簷口處，順著這些地方的材料表面，漫流而進入車站站體內部。

此時若車站沒有完善考量到這些構造細部的設計（如滴水線等設計），恐將使得外部的雨滴，沿著這些構造侵入車站，並在風力吹襲下散落內部，形成防護的破口，並使車站防風雨設計的效果大打折扣。故針對上述的幾種常見問題，列舉以下的檢核重點與對策範例，也希望能提供其它捷運系統未來參考。

(一) 月台門上方雨遮內凹之問題與對策探討：

如部份三鶯線高架側式月台車站，由於其月台層之中央軌道區上方，是以大片外挑屋頂棚方式形成風雨遮蔽之功能。但在統包商原始設計中，該屋頂棚並非水平，而是有點斜度並向月台內部向下傾斜之型式(如附圖37)。而此種方式由於水流重力方向是往月台區內部，恐將產生該頂棚

區雨水滯留、積水現象以及導致月台區滴水等虞慮。

故後續，經請統包商再行考量這些設計虞慮後，統包商已提出相關對策，並將

車站該雨遮改為全平面單斜方式構造，目前並將斜度改為設置2%洩水坡度，往軌道中間方向洩水，以期避免產生上述虞慮狀況（如附圖38）。

(二) 天窗開口處會不會沿結構滴水之問題與對策探討：

另有部分三鶯線高架式月台車站(例如LB12站)，其月台層之中央軌道區上方(含延伸至穿越層)之屋頂是以如天窗構造之太子樓型式為設計。而此種太子樓構造位於站體最上方處，可兼顧自然浮力通風與自然排煙之效果，但此種型式之構造，卻存在著側面開口處對於雨水如何防止滲入以及雨水會不會沿結構滴水進入車站的設計隱憂(如附圖39)。

對於這些設計隱憂，後續我們也提出請統包商設計單位再行考量及研析。目前統包商亦已提出相關對策，並說明車站太子樓外側將設置防

颱型百葉，且該百葉有2段式截水機制，另於屋頂及百葉窗框上緣亦均有設計結構滴水線，下方設止水墩，應不會產生雨水滯留積水或沿結構進入車站等之問題（如附圖40）。

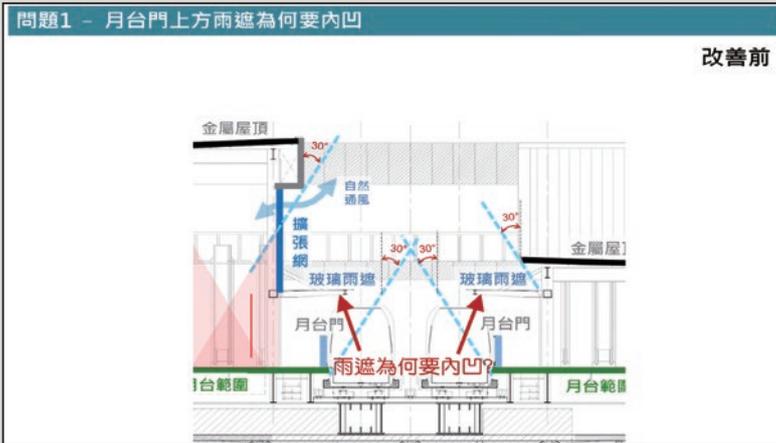


圖37 問題1改善前示意圖

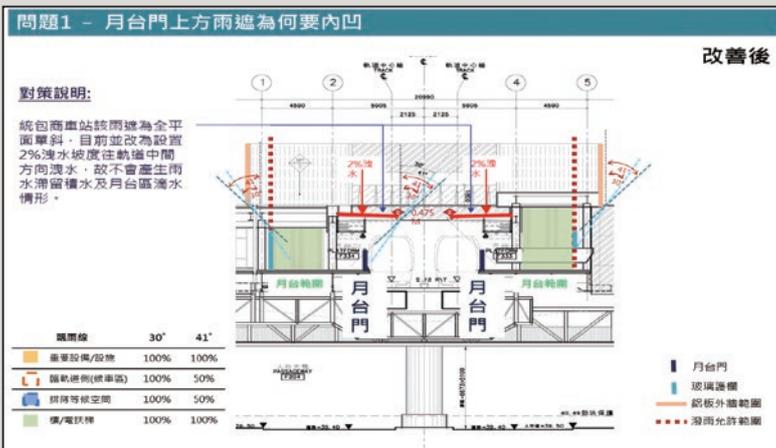


圖38 問題1改善後示意圖

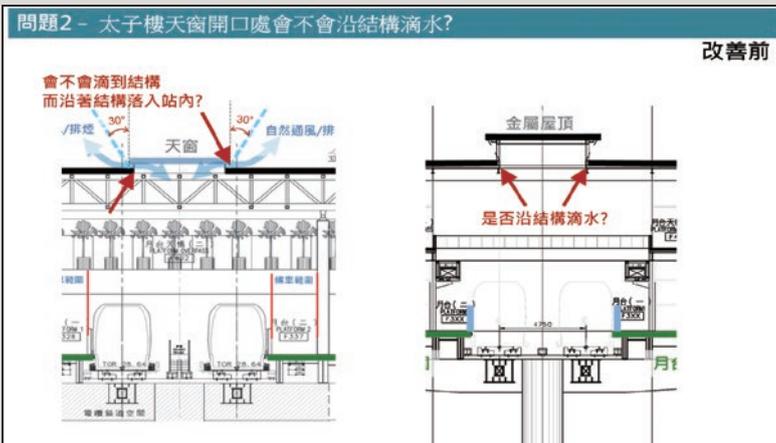


圖39 問題2改善前示意圖

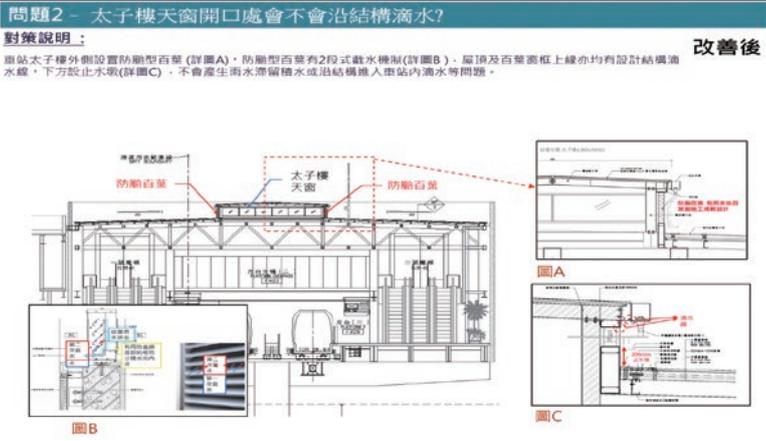


圖40 問題2改善後示意圖

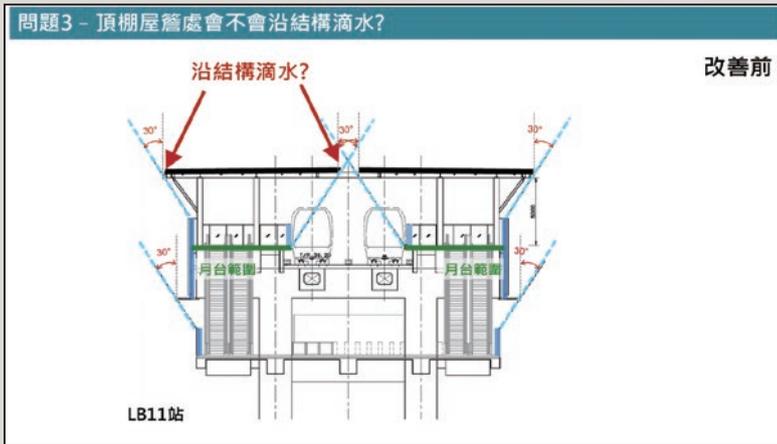


圖41 問題3改善前示意圖

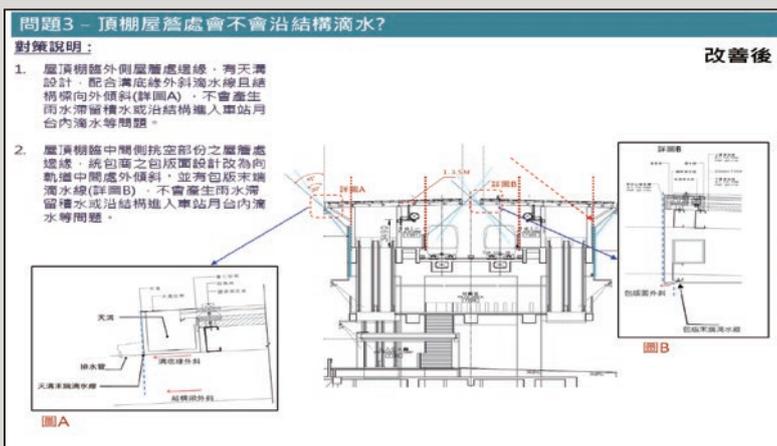


圖42 問題3改善後示意圖

(三) 透空頂棚屋簷處雨水會不會沿結構滴水之問題與對策探討:

三鶯線高架側式月台車站,另有一

些路外基地車站(例如LB11站),站體直下方為出入口及穿堂層,其月台層則位於站體最上方,中央軌道區上方則是以中央部部分透空之大屋頂頂棚為屋頂設計。此種大頂棚構造型式防飄雨線雖可符合檢核,但若其頂棚簷口處之滴水收頭細部設計不夠確實及理想的話,仍將有雨水水滴會沿其結構進入車站的設計疑慮(如附圖41)。

同樣的,後續此等設計疑慮,也是敦請統包商設計單位再行考量及研析。而以下如附圖42所示,則是統包商目前提出之相關對策與說明。

陸、結論與建議

在目前綠建築設計日益受重視的情況下,設計者對於車站造型與立面大都以輕、簡、通、透為主要理念,但卻也因為欲達成此目標之故,設計者往往相對的在防風雨設計上較為忽略或無法兼顧。尤其,在設計規範條文內容制訂考量不足或定義不明確下,業主、專管顧問與統包商三者之間的認知與期望,往往並不相同,

並缺乏量化的檢核過程。故如何整合並制定出一套較嚴謹、周延之執行原則,並兼顧合情、合理與其它各種設計目標,對後續車站的設計與工程品質影響巨大。

而透過以上針對各捷運系統防風雨設計規範探討以及參考目前各實際完工營運系統高架車站的缺失與經驗，三鶯線後續在業主新北市政府捷運局的要求下，已先行針對本三鶯線規範中未盡周延或規則定義不甚明確之處，作出相關合理之審查執行原則。並且，在後續與統包商討論時，也因為有先行的雙向溝通，導致在建築師於綠建築及造型風貌設計的理念堅持下，仍能達成與防風雨設計，兩者間之平衡。

同時透過上面的研析與探討，我們也歸納了以下一些重點結論與建議：1. 規範之檢核條件制定，應基於實際區域氣候環境狀況，並對於檢核條件之訂定，應有更嚴謹論理或實測數據支持。2. 對於車站各區域空間之遮蔽率，應基於營運之合理使用狀況，對於最重要防護區域及次要區域，作出嚴謹定義及量化可量測之標準。3. 對於高架車站而言，在如颱風侵襲等極端氣候下要求完全遮蔽使強風及雨水無法入侵是不切實際的想法，但此時應將重點放在各種排水、落水配合措施之完善度提高，而透過各種事先可預想之設計檢核重點查核表，例如洩水坡度、防滑措施、截水、漏水頭…等之檢核，將可使各種疏漏狀況減少到最小狀況。

以上，也希望這些結論與建議的經驗分享，能使後續各捷運系統高架車站設計者或審查者當面臨這些議題時，有一個定性及定量的參考。

參考文獻

1. 監察院(中華民國106年12月) 機場捷運高架車站漏水事件調查報告。
2. 臺北市政府捷運工程局(中華民國103年12月18日) 臺北都會區大眾捷運系統土建水環固定設施需求規劃設計手冊(中文版第01版)。
3. 臺北市政府捷運工程局(中華民國107年6月14日) 臺北都會區大眾捷運系統中運量系統土建水環固定設施規劃手冊。
4. 交通部高速鐵路工程局(中華民國99年3月11日)「桃園國際機場聯外捷運系統建設計畫第三期總顧問服務」土建、車站及其它機電設備設計準則(0B版)。
5. 徐森雄、陳俐伶、李冠昌、蔡宜君(2005年) 風速對雨量量測之影響(二)。
6. 新北市政府捷運工程局(中華民國109年2月19日)安坑輕軌運輸系統計畫土建統包工程-高架候車站及機廠漏水疑義研討設計說明簡報。
7. 新北市政府捷運工程局(中華民國107年4月9日)三鶯線高架車站通風及防雨水入侵設計審查原則簡報
8. 亞新工程顧問股份有限公司/九典聯合建築師事務所/美國AYD建築設計事務所/陳昆豐建築師事務所/張樞建築師事務所(中華民國109年1月16日)三鶯線捷運系統計畫統包工程車站通風及防雨水入侵設計原則簡報&都市設計審議報告書(土城區車站中華民國106年5月12日送件版)
9. 榮工工程股份有限公司(中華民國107年11月20日)「三鶯線捷運系統計畫統包工程」多孔隙板牆風雨試驗報告書

鐵路高架橋減振降噪防制設計與成效評估

關鍵詞(Key Words)：噪音改善措施(Noise Improvement Measures)、結構音(Structural Sound)、隔音牆(Soundwall)、設備音(Equipment Sound)、輪軌音(Wheel/Rail Noise)、結構體反射音(Structural Sound Reflection)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／副理／彭知行 (Peng, Chih-Hsing) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／水環部／主任工程師／王聰貴 (Wang, Tsung-Kuei) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／第一結構部／正工程師／林彥君 (Lin, Yen-Jiun) ❸

摘要

隨著國內環境噪音管制標準及民眾對生活品質要求的提高，鐵路高架橋噪音改善方式必須採多元噪音防制對策，方能符合規定，減少民眾陳情。鐵路高架橋從過去於兩側護欄上架設隔音牆，降低噪音外溢的影響，甚至於兩股道間設置中央隔音牆，使傳音路徑變長增加減音量，或改變結構型式降低結構噪音，期能提升減振降噪效果。惟隨著臺鐵列車車種增加、車速提高、部分列車設備逐漸老化等，降噪措施與問題越加複雜困難。因此，本公司於106年起，著手研析國內外軌道工程相關減振降噪防制之文獻及案例，並邀請產、官、學等專業人士共同研討，尋找鐵路高架橋最佳減振降噪防制對策與解決方案。

臺中鐵路高架橋於105年10月16日通車，其後陸續接到沿線民眾陳情，反映鐵路噪音問題，藉由各陳情路段噪音振動量測及音源鑑別技術，研判鐵路營運之輪軌音、設備音及結構音等主、次要噪音源，並以德國Schall03軌道交通噪音預測模式及其他聲學軟體進行鐵路噪音模擬分析，預估超出標準路段附近之鐵路噪音影響情形，作為研擬噪音改善對策及防制措施之依據。本文將藉上述噪音改善研析過程之減振降噪防制設計與成效評估成果，供後續相關工程參考。



Railway Viaducts' Vibration and Noise Reduction Design and Effectiveness Evaluation

Abstract

The noise control standards have been raised, the method to improvement the noise of railway viaducts will adopt multiple noise prevention measures, and will be able to comply with the regulations. In the past, soundwall were erected on the guardrails on both sides of the viaduct to prevent noise from overflowing, and even a central soundwall was installed between the two rails to block the noise path, or the structural type was changed to reduce the structural noise and improve the effect of vibration and noise reduction, so that noise prevention measures and problems are more complicated and difficult. Therefore, CECI invite industry, government, academics to looking for the best noise control facility for elevated railway.

Taichung elevated railway was opened to traffic on 2016.10.16, Afterwards, they received the sentiments of the people along the route to reflect the railway noise problem. Through the noise vibration measurement and sound source identification technology of each sentiment road section, the primary and secondary noise sources such as wheel/rail noise, equipment sound and structural sound, CECI Using the German Schall03 rail traffic noise prediction model and other acoustic software for railway noise simulation analysis, the railway noise impact situation beyond the standard road section is estimated, which is used as the basis for the development of noise improvement measures and prevention measures. This article will take advantage of the noise reduction, noise reduction and control design and effectiveness evaluation results of the above noise improvement research and analysis process for future related engineering reference.

3

專題報導

壹、前言

國內鐵路高架往往穿越市中心，於車站地區更是位於人口密集的商业區或住宅區，鐵路營運的噪音對沿線居民影響甚鉅，尤其近年來民眾對生活環境的品質要求不斷提升。因此，於設計階段即應詳實評估鐵路高架減振降噪之具體做法，並詳細估列所需工程經費，以利計畫順利推動。

鐵路交通噪音之組成，由上而下主要包括設備運轉噪音、車輛動力噪音、列車鋼輪與鋼軌互制所產生之輪軌噪音，以及列車通過橋梁結構振動所產生之結構噪音等四大噪音源(如圖1)。其中列車通過引致之結構噪音頻率較低，於空氣中不易阻絕，其中道岔處尤其明顯。此外，列車車輪的不真圓、鋼軌表面的波狀磨耗

等，加劇了車輪通過道岔時之衝擊能量，易激發箱梁及版片結構共振情形，使橋梁箱室內結構噪音放大。鐵路高架降低噪音振動的方式大致有橋梁結構減振、設置隔(吸)音設施、設置軌道區吸音材及減振材防制等方式(如圖2)，本文將分別說明臺中鐵路高架採用多元噪音防制措施之減振降噪設計與成效評估。

貳、噪音影響評估

由於鐵路噪音防制設計，在國內尚屬發展階段，且迄今對於鐵路噪音防制設計，仍無相關設計規範可供依循，行政院環保署僅訂定前節所述噪音管制標準及環評噪音影響評估作業規定。因此，鐵路高架橋之噪音防制設計，採用與環評階段相同之德國Schal103(1990年版)軌

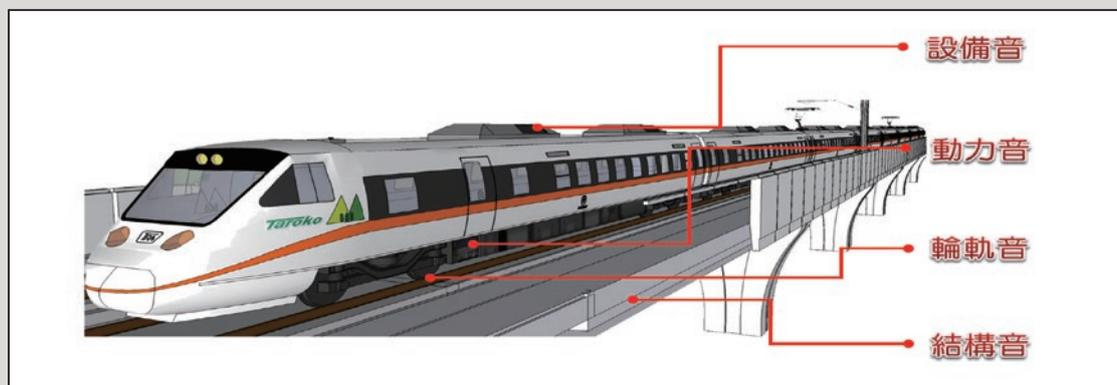


圖1 高雄機廠現況

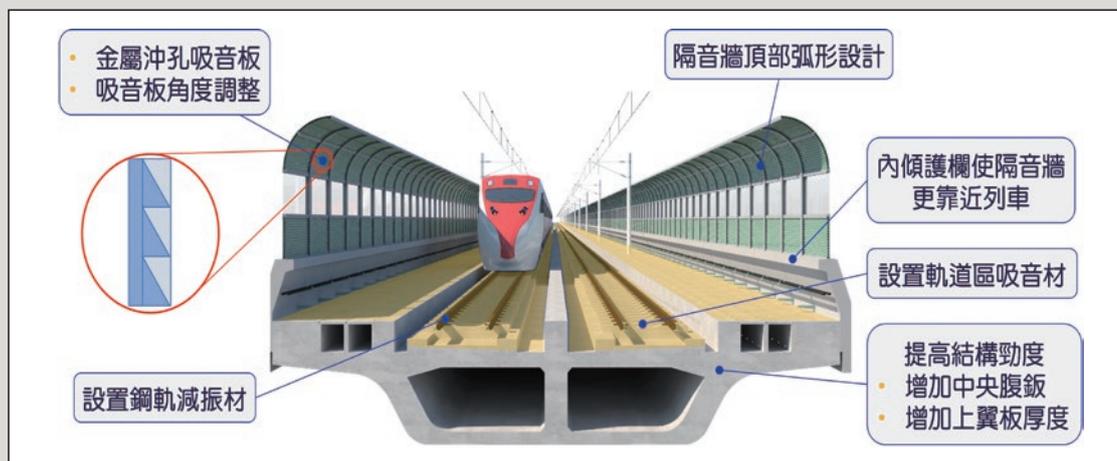


圖2 鐵路高架減振降噪策略

道交通噪音預測模式，並根據鐵路沿線地形圖測繪資料、土建及軌道設計資料，建立三維聲場模型，進行沿線鐵路交通噪音影響評估。

一、噪音預測模式建置

為計算沿線目標年鐵路交通噪音量，噪音預測模型須依據測繪之地形數值圖（含沿線建築物分布及高度）、軌道平縱面線形、高架橋

結構型式，以及其他土建設計圖說等資料，建置分析模型，參見圖3。

二、列車噪音排放強度量測及預測模式校估

為確保模式預測值能與現況儘量一致，進行臺鐵營運路段各車種主次噪音源動態噪音及靜態噪音量測(參見圖4)，據以建立適當之列車噪音排放係數，提高模式校估精確度。

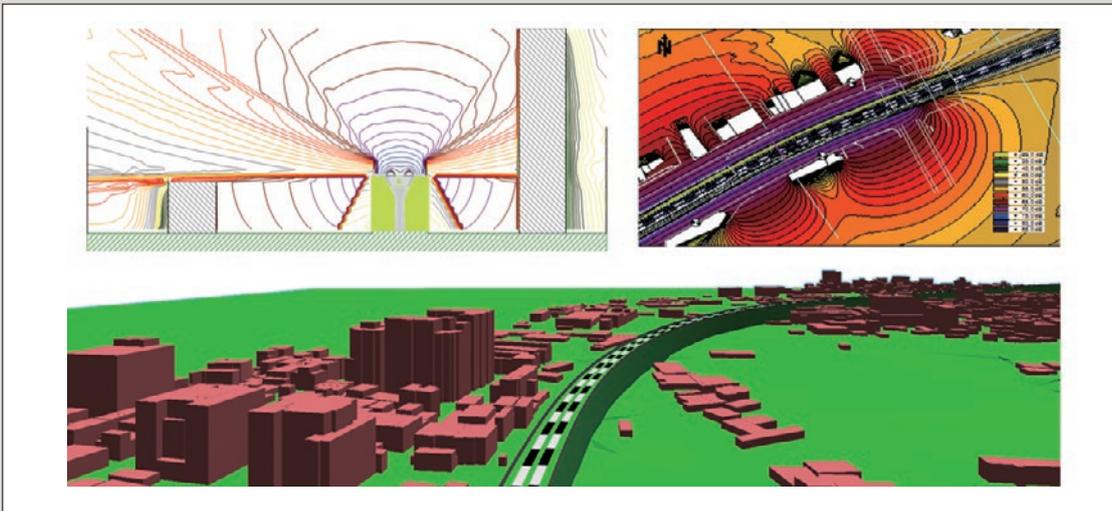


圖3噪音預測模型

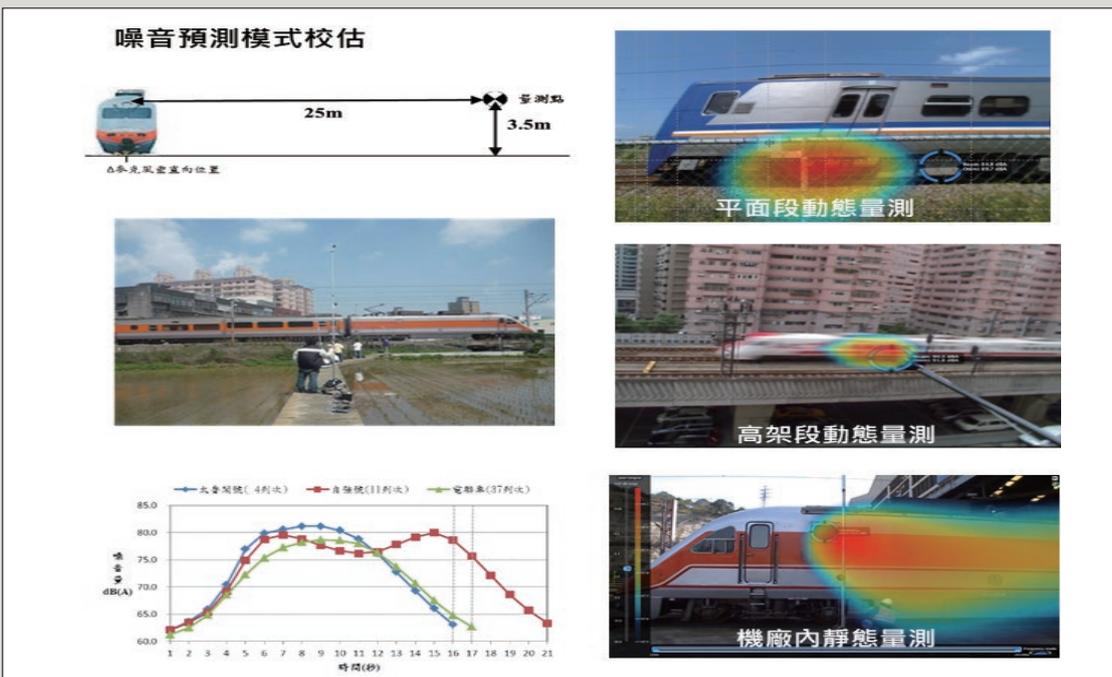


圖4 列車噪音排放強度量測及預測模式校估

叁、減振降噪防制設計

鐵路之交通噪音因列車通過引致之結構噪音頻率較低，於空氣中不易阻絕，車輪的不圓度、鋼軌表面粗糙與軌道不平順，加劇車輪通過時之衝擊力，激發箱梁板局部振動，使橋梁箱室內結構噪音放大。以下將分別說明土建噪音防制設施之作法〔1〕。

一、預力箱梁結構配置

同樣結構外型的橋梁，因局部構造配置差異，導致振動特性不同，自然振動頻率亦隨之改變。因此，可透過改變局部構造降低結構噪音，提高減振降噪效果。根據相關文獻顯示，造成預力箱型梁橋結構音的主要頻率約為30~100Hz，主因為板的局部振動，引起的高階自然振動頻率，而非橋梁整體振動行為，故增加箱梁斷面勁度及尺寸，可提高高階自然振動頻率，改善板的局部振動行為，達到較好的降噪效果，參見圖5。

(一) 增加箱梁斷面尺寸及配置：

本評估先以有限元素(FEM)分析軟體Ansys進行橋梁結構受列車激振力作用後產生之振動量，再由邊界元素軟體Virtual Lab計算橋梁之底版、橋腹及胸牆等結構產生振動後所輻射出之聲功率及頻率，最

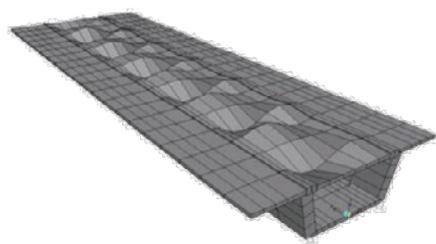
後使用射線分析軟體CadnaA模式，依ISO-9613-2戶外聲音傳播衰減第2部分：一般計算方法，在模式中橋梁各結構以面音源設定，輸入相對應之聲功率及頻譜，據以推估衰減至沿線敏感受體之結構噪音量，檢視是否符合目前環保法規，並評估該噪音對附近住戶之影響。

結構音振動模型分析結果，大多數結構音來源為構件局部振動，為改善此振動現象，對各類構材進行加勁或者加厚，包含新增中間腹版、護欄加勁、上翼板加勁、側腹版加勁等減振降噪作為，透過建立之結構音振動分析、振動模態及聲場分析如圖6所示。依此結果調整箱梁斷面尺寸及配置如圖7所示。

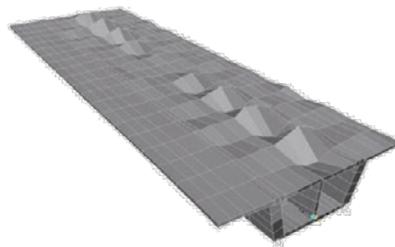
1. 增加中間腹板

採用單箱雙室之預力箱型梁橋設計，利用增加中央腹板，以利於抵抗垂直向振動，可大幅改善局部振動行為，亦可做為施拉預力空間，減少梁深、增加橋梁跨度，使橋體外觀輕量化、美化。

研提兩種標準橋梁斷面進行有限元素分析如圖8，由分析研究發現，橋梁底板振動總量比較，斷面增設中間腹板後，橋梁底板及橋底側邊之振動量可分別降低8.1dB及6.3dB。



單室箱型梁：自然振動頻率 48Hz



單箱雙室箱型梁：自然振動頻率 63Hz

圖5 梁版局部振動之自然振動頻率

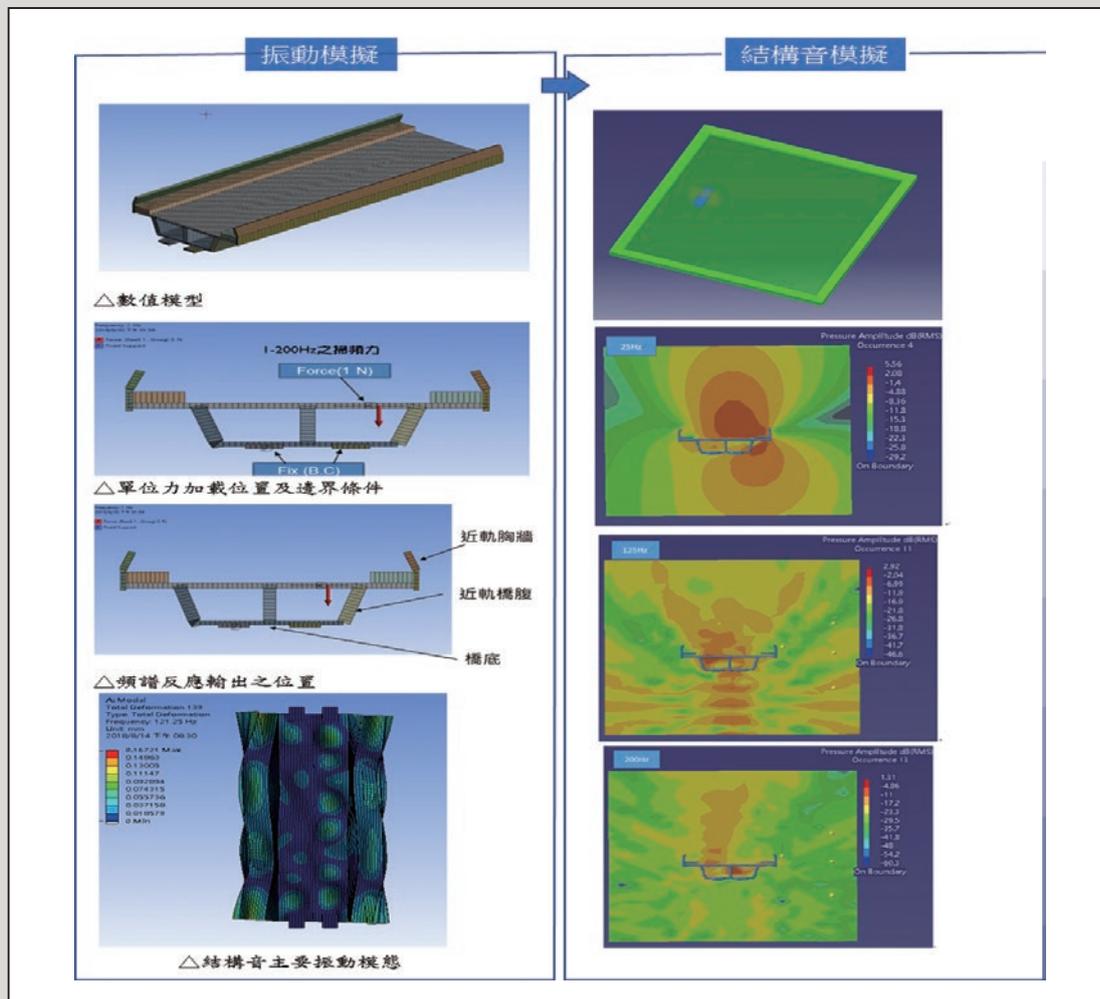


圖6 結構振動與噪音模擬

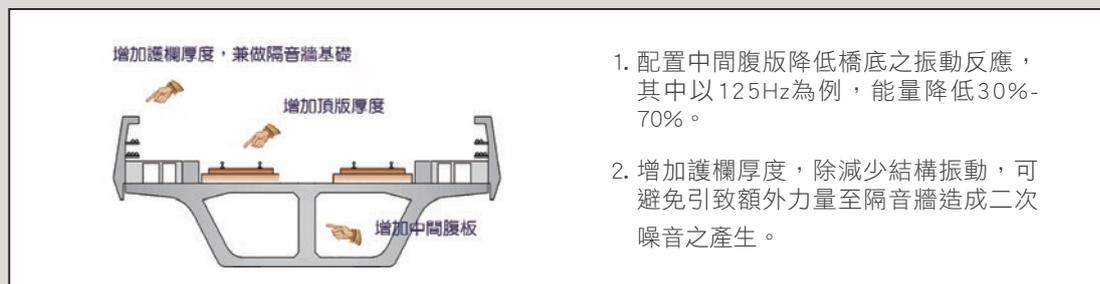


圖7 調整箱梁斷面尺寸及配置

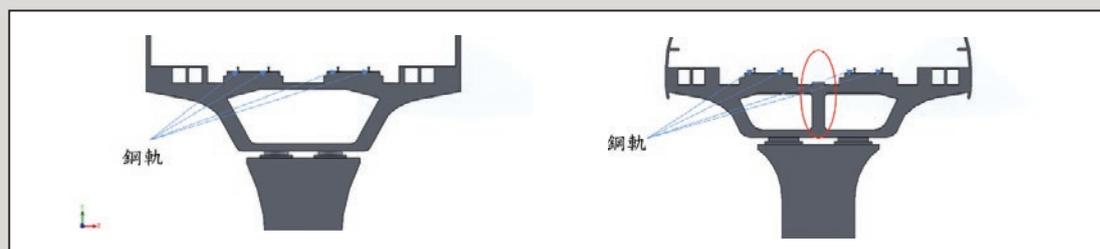


圖8 橋梁有限元素模型圖

2. 頂版厚度加勁

由於箱梁頂板直接承受來自列車及軌道之衝擊力，因此提高頂版厚度，可有效抵抗衝擊力，並改善局部斷面振動行為，此外提高斷面勁度，亦助於橋梁設計美化、輕量化。

3. 增加護欄厚度

依照過去案例，隔音牆通常設計在護欄內側或者外側。汲取過去辦理多次鐵路高架化之經驗，增加護欄厚度改善局部振動行為，加厚護欄亦可做為隔音牆基礎，減小隔音牆設置高度，亦節省材料費用。

(二) 制振混凝土設計：

以有限元素模型的建立分為兩部分，一為尚未鋪設制振混凝土，另一為鋪設制振混凝土，其中混凝土鋪設於箱型梁內部。模式輸入之混凝土材料參數、列車激振力頻譜。本評估模擬施1牛頓之力於道岔區(如圖9)，據以計算橋腹之頻率響應函數(為Narrow Band，分析範圍為1-200Hz，取值點如圖10)，隨後將該處的Narrow Band頻率響應函數轉換為1/3 Octave Band形式並乘上列車激振力頻譜，即可得到橋底板之振動頻譜。

比較改善前後之模式預估值，可發現鋪設制振混凝土有一定之減振效果，約4 dB(參見圖11)。

二、隔音牆措施

(一) 隔音牆幾何外型優化設計：

隔音牆主要利用聲波繞射增加傳送路徑而使音量衰減的原理，因此利用隔音牆幾何型式變化及傾斜角度來增加減音量至為關鍵。本公司辦理之臺中鐵路高架所採用之斷面為單室箱型梁，初期設置直立式隔音牆，後續增設加高且前端突出型式隔音牆，反射次數增加，主要音源路徑增

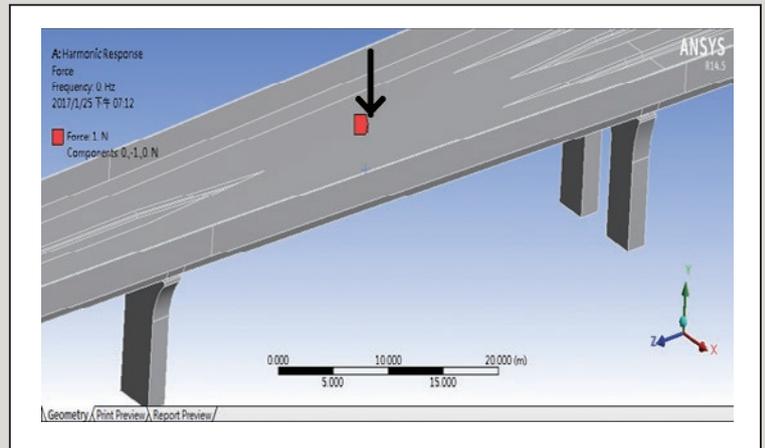


圖9 施力方向及位置(隔梁處)

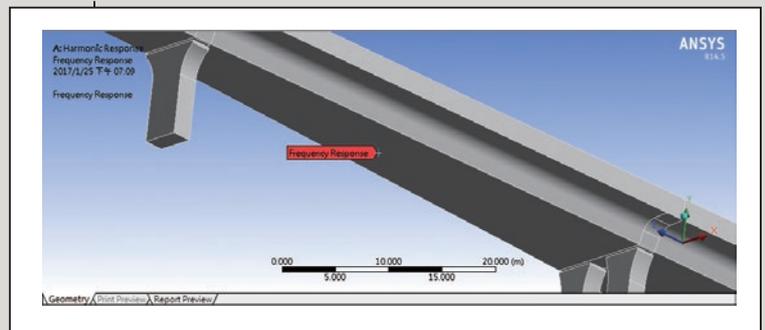


圖 10 橋底板振動頻譜取值位置

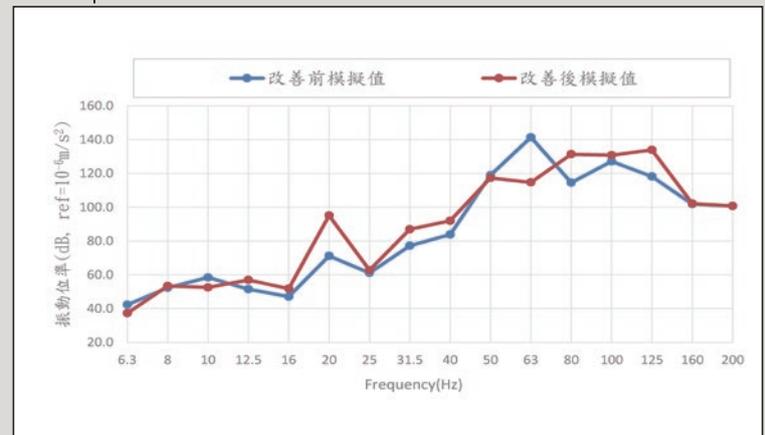


圖11 改善前後之模擬結果比對

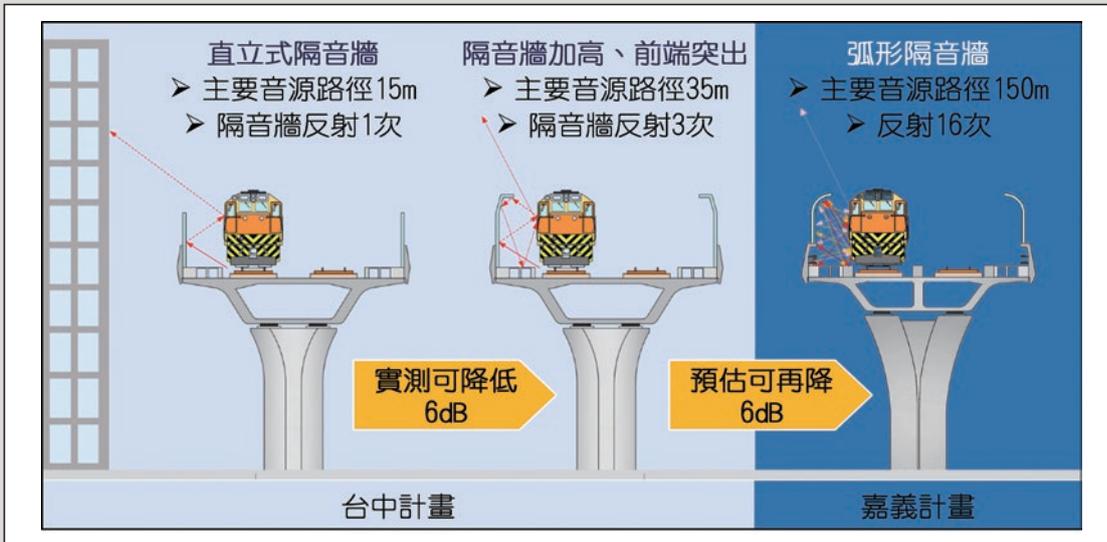


圖12 上方弧形設計之隔音牆

長，經模擬比較後約可減少6dB。因此，本計畫汲取過去經驗，將隔音牆及護欄型式更加優化，以向內傾斜之護欄及上方弧形設計之隔音牆(如圖12)，使隔音牆位置較接近音源發生位置，充分利用隔音牆對於進軌處之音源頻帶吸音率較佳之優點。此外，弧形設計將增加噪音傳遞路徑之反射次數，同時增長主要音源傳遞路徑，將噪音能量大幅衰減。

(二) 隔音牆面板形狀優化設計

根據日本相關文獻指出，在相同材質情況下，不同形狀的吸音面板會影響吸音率變化。因此本公司實驗比較市售之平板型、W型兩種吸音板及自行研發之倒N型吸音板(參見圖12)的斜入射吸音率，結果顯示平板型、W型兩種吸音率檢測數值與日本文獻相近，在倒N型吸音板平均斜入射吸音率315Hz以上均達到0.9以上，三種吸音裝置中以倒N型吸音板之平均吸音效能及低頻吸音效果最好(參見圖13及圖14)，其構造主要為聲音多數能量經二次吸收，並改變聲波傳遞路徑，使敏感受體端所接收到的音量最小化(參見圖15及圖16)。



圖13倒 N型吸音板提高隔音牆吸音率

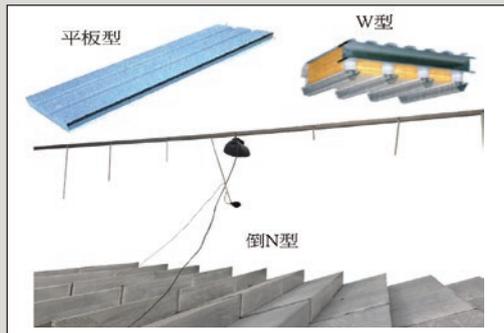


圖14斜入射吸音率試驗

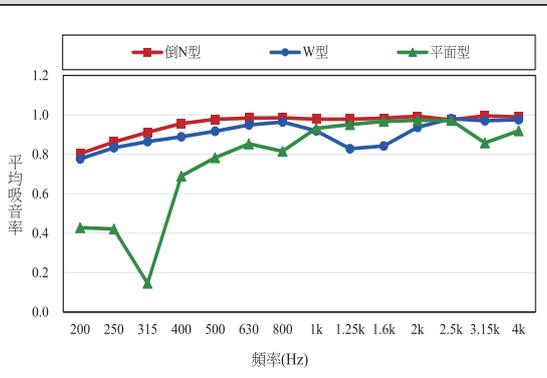


圖 15 斜入射吸音率試驗結果

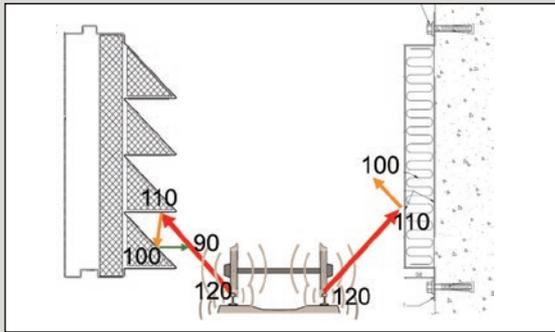


圖 16 倒N型及平板型之吸音特性示意

三、其他降噪措施〔2〕

(一) 軌腹減振材：

列車鋼輪與軌道所產生的滾動噪音為臺鐵營運噪音源之一，主要影響頻率範圍約介於500Hz~2.5kHz(圖 17)，參考國外改善經驗，可於鋼軌軌腹兩側貼覆高阻尼材料可有效阻止軌腹振動，降低車輪對鋼軌之衝擊音與摩擦音，研究顯示300Hz~2500Hz範圍鋼軌減振量10dB以上，

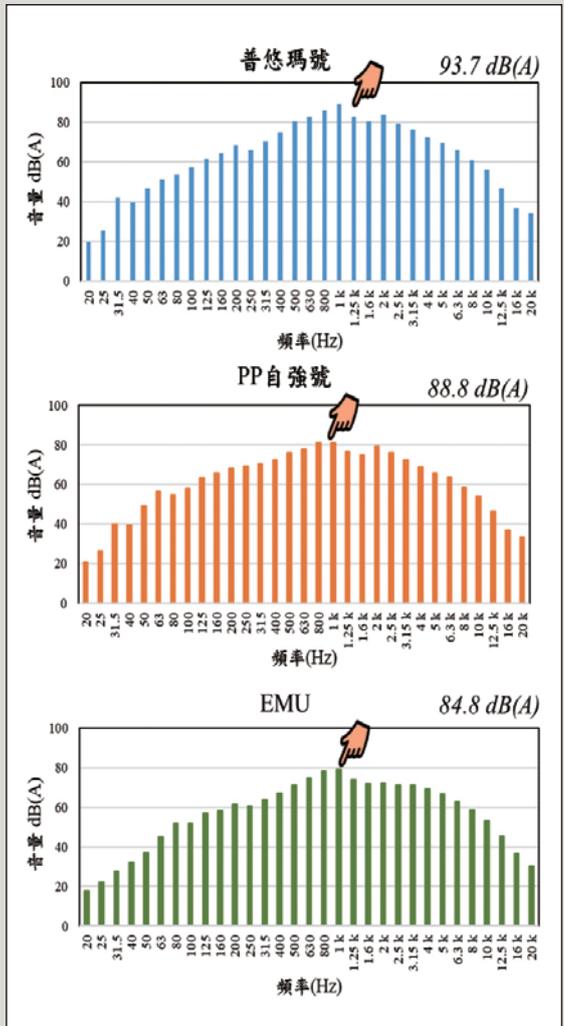


圖 17 臺鐵營運車種噪音事件最大音量及頻譜

減音量可達約2~4dB。據此評估於超標路段軌道區範圍內之鋼軌裝設減振材(圖 18)，降低音源端輪軌音後，預估於陳情戶總音量可下降約3dB左右。



資料來源：Madalina Dumitriu



圖 18 軌道區鋪設減振材

(二)軌道區吸音材：

鐵路高架化採用版式軌道，噪音在傳至敏感受體前，聲音在不具吸音特性之道床與胸牆、隔音牆等結構形成多重反射效應（參見圖19），間接增加整體噪音量，為降低此反射音量，於軌道區鋪設道床吸音板為可行的減噪方法（參見圖20），參考以往使用經驗，預估可減少陳情戶總音量約2dB。

針對上述設置「軌腹減振材」及「側牆及道床吸音材」後，某鄰近鐵路之陳情樓，各樓層預測值及減音量如圖21。

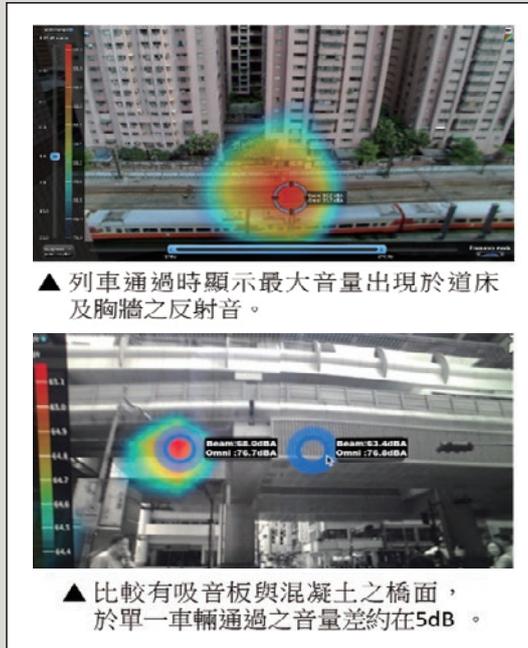


圖19軌道區多重反射效應

肆、成效評估與實測分析

為進行既有隔音牆增高後，台中鐵路高架化噪音改善成效追蹤監測，配合進行相關噪音數據測量，據以分析隔音牆增高後，列車行經陳情點附近之噪音量，相關調分析結果說明如下。

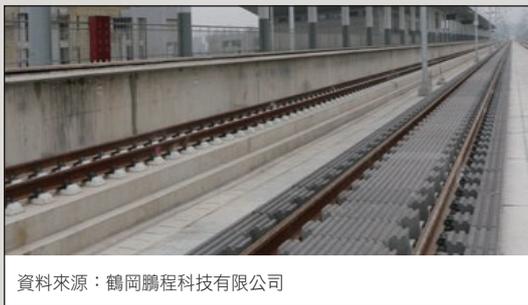


圖20 軌道區裝設吸音材

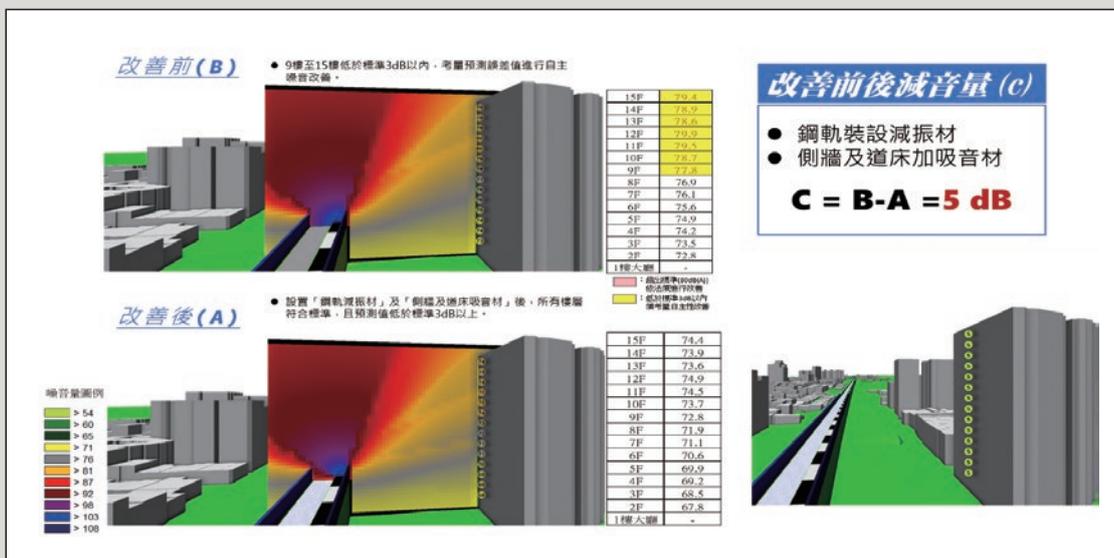


圖21 設置軌腹減振材及軌道區吸音材前後鄰近大樓各樓層預測值及減音量

一、噪音分析結果說明

依CadnaA預測結果〔3〕，測點A經土建各項改善方式，後續仍應由營運管理措施持續改善，使沿線住戶之噪音量，能符合所屬鐵路交通之平均最大音量標準(詳見圖22)，測點B已符合標準(詳見圖23)。

二、噪音量測結果說明

經量測本次改善計畫前、後之小時均能音量與平均最大音量，比較分析結果如下：

(一) 測點A

改善計畫前，於測點A量測各時段之小時均能音量介於57.0~64.0dB(A)，改善計畫後各時段之小時均能音量介於48.5~61.4dB(A)，改善前後各小時均能音量之減音量約介於0.1~10.7 dB，減音成效甚佳，均已符合所屬管制標準(詳見圖24)。另於測點A量測各時段之平均最大音量介於73.2~80.8 dB(A)，改善計畫後各時段之平均最大音量介於69.4~76.3 dB(A)，改善前後各小時平均最大音量之減音量約介於1.0~9.8 dB，減音成效甚佳，均已符合所屬管制標準(詳見圖25)。

(二) 測點B

改善計畫前，於測點B量測各時段之小時均能音量介於69.4~76.8dB(A)，改善計畫後各時段之小時均能音量介於61.2~70.7dB(A)，改善前後各小時均能音量之減音量約介於1.5~9.6dB，減音成效甚佳，均已符合所屬管制標準(詳見圖26)。另於測點B量測各時段之平均最大音量介於89.3~93.7 dB(A)，改善計畫後各時段之平均最大音量介於81.7~89.2 dB(A)(詳見圖27)。雖改善前後各小時平均最

列車種類	上下行軌	樓層數	改善前輪軸音	改善後							標準	是否符合標準		
				1. 土建措施		2. 營運管理措施								
				4公尺高隔音牆	減音量(A)	降低營運車速			降速10 km/hr+鋼軌裝設減振材	鋪設道床吸音板			減音量(B)	
10 (km/hr)	20 (km/hr)	30 (km/hr)	64.2	62.2	62.2	62.2								
EMU800	上行	5樓	82.9	75.0	7.9	74.2	73.4	72.5	64.2	62.2	-12.8	80	是	
		6樓	78.6	84.7	-6.1	83.9	83.1	82.2	73.9	71.9	-12.8	80	是	
	下行	5樓	83.3	75.9	7.4	75.1	74.3	73.4	65.1	63.1	-12.8	80	是	
		6樓	86.5	81.7	4.8	80.9	80.1	79.2	70.9	68.9	-12.8	80	是	
	推拉式自強號	上行	5樓	85.0	77.2	7.8	76.5	75.8	75.1	66.5	64.5	-12.7	80	是
			6樓	80.9	86.7	-5.8	86.0	85.3	84.6	76.0	74.0	-12.7	80	是
下行		2樓	81.6	79.2	2.4	78.5	77.8	77.1	68.5	66.5	-12.7	80	是	
		3樓	83.7	81.0	2.7	80.3	79.6	78.9	70.3	68.3	-12.7	80	是	
		4樓	87.9	84.2	3.7	83.5	82.8	82.1	73.5	71.5	-12.7	80	是	
		5樓	94.7	87.5	7.2	86.8	86.1	85.4	76.8	74.8	-12.7	80	是	
下行	6樓	98.2	92.9	5.3	92.2	91.5	90.8	82.2	80.2	-12.7	80	否		
	4樓	83.8	80.1	3.7	79.4	78.7	78.0	69.4	67.4	-12.7	80	是		
普悠瑪	上行	5樓	92.7	84.8	7.9	84.1	83.4	82.7	74.1	72.1	-12.7	80	是	
		6樓	88.4	94.5	-6.1	93.8	93.1	92.4	83.8	81.8	-12.7	80	否	
		1樓	85.2	83.2	2.0	82.5	81.8	81.1	72.5	70.5	-12.7	80	是	
	下行	2樓	86.8	84.5	2.3	83.8	83.1	82.4	73.8	71.8	-12.7	80	是	
		3樓	88.9	86.2	2.7	85.5	84.8	84.1	75.5	73.5	-12.7	80	是	
		4樓	93.3	89.5	3.8	88.8	88.1	87.4	78.8	76.8	-12.7	80	是	
		5樓	100.4	92.9	7.5	92.2	91.5	90.8	82.2	80.2	-12.7	80	否	
		6樓	103.4	98.7	4.7	98.0	97.3	96.6	88.0	86.0	-12.7	80	否	

註1. " " 超過出所屬一般鐵路交通噪音管制標準之平均最大音量。
 2. 減音量(A)係指設置土建措施後與改善前輪軸音差值。
 3. 減音量(B)係指設置土建措施及營運管理措施後與改善前輪軸音差值。

圖22 測點A預測結果

列車種類	上下行軌	樓層數	改善前輪軸音	改善後		標準	是否符合標準
				1. 土建措施	減音量(A)		
				4公尺高隔音牆	減音量(A)		
推拉式自強號	上行	4樓	83.3	64.1	19.2	80	是
		5樓	83.6	64.8	18.8	80	是
		6樓	83.4	65.4	18.0	80	是
		7樓	83.3	66.1	17.2	80	是
		8樓	83.3	66.7	16.6	80	是
普悠瑪	下行	8樓	82.6	67.3	15.3	80	是
		5樓	80.3	72.9	7.4	80	是
		6樓	82.8	73.8	9.0	80	是
		7樓	84.5	75.0	9.5	80	是

註1. " " 超過出所屬一般鐵路交通噪音管制標準之平均最大音量。
 2. 減音量(A)係指設置土建措施(4公尺高隔音牆)後與改善前輪軸音差值。

圖23 測點B預測結果

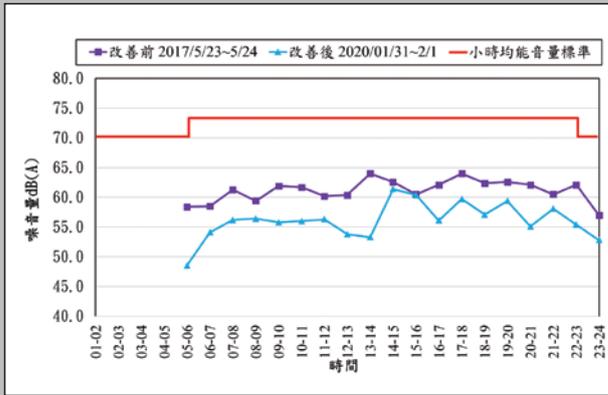


圖24 測點A附近隔音牆增高前後
逐時均能音量量測結果比較

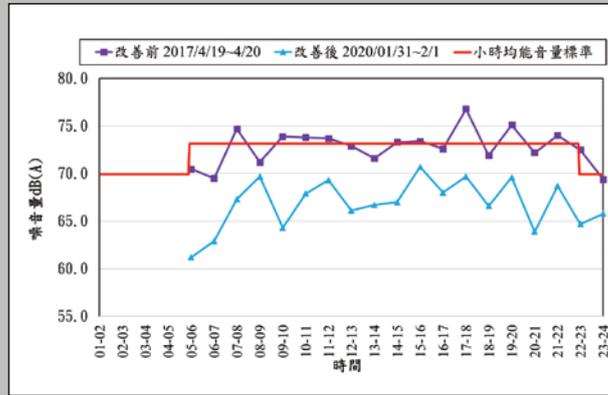


圖26 測點B附近隔音牆增高前後
逐時均能音量量測結果比較

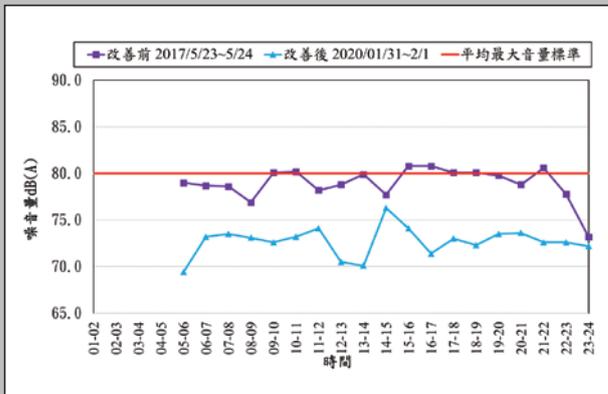


圖25 測點A附近隔音牆增高前後
逐時平均最大音量量測結果比較

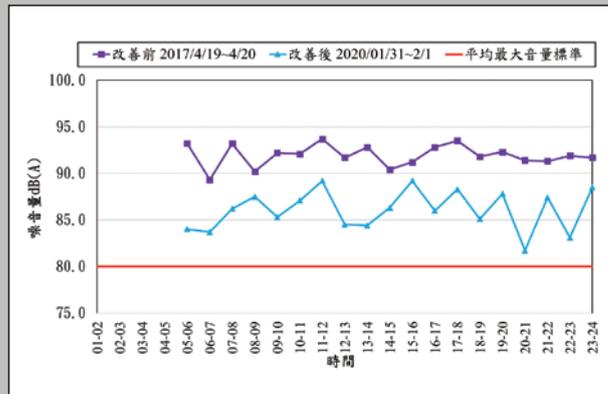


圖27 測點B附近隔音牆增高前後
逐時平均最大音量量測結果比較

大音量之減音成效亦甚良好，最大減音量達9.7dB，惟仍超出標準，須再設置其他降噪設施。

伍、結論與建議

依本文噪音音源鑑別及成因分析檢討，建議未來國內鐵路交通噪音評估模式之技術規範，宜配合更新。此外，鐵路列車及軌道岔應妥適限制音源量，鐵路沿線兩側土地亦應適當訂定噪音管制標準，方能使鐵路沿線區域符合噪音管制標準，相關結論與建議說明如下：

- 一、現行鐵路噪音評估模式採用德國Schall 03(1990年版)，該版本發展當時之環境條件，鐵路沿線多為低矮建物之情形，與國內鐵路高架經過市中心高樓之情形不同。建議現行「鐵路交通噪音評估模式技術規範」應更新為Schall 03(2014年版)或Schall 03(1990年版)+ISO9613-2，進行噪音模擬分析，較能詳細模擬分析國內鐵路實際音源特性，並妥適評估設置有效噪音防制措施。德國Schall 03(2014年版)將軌道噪音之主次噪音組成，分為輪軌音、設備運轉音、牽引動力音、空氣動力音等四大音源，再依0m、4m及5m三種不同音源高度劃分為11種次音源。其噪音模擬分析方式及參數輸入值，較能涵蓋國內列車音源分類

與特性、土建與軌道型式，以及減音設施性質等。

二、國內目前鐵路噪音振動設計，尚無可供依循之設計規範。另環保署頒布「鐵路交通噪音評估模式技術規範」認可之鐵路噪音評估模式Schall 03(1990年版)，未能充分考量現況條件之噪音增量，如道岔、設備老化，以及外牆反射、隔音牆多重反射、軌道區反射、衰減誤差值等傳播路徑的變化等影響噪音模擬分析重要因素，易致噪音防制分析結果產生顯著差異。因此，建議未來應依據國內軌道噪音特性及環境現況，妥適訂定軌道噪音及振動防制設計規範，提供未來軌道工程減振降噪設計參考。

三、結構型式以有限元素(FEM)進行橋梁結構受列車激振力作用後產生之振動量，再由邊界元素法計算橋梁之底版、橋腹及胸牆等結構產生振動所輻射出之聲功率及頻率，最後以戶外聲音預測模式，依據ISO-9613-2戶外聲音傳播衰減第2部分：一般計算方法，在模式中橋梁各結構以面音源設定，輸入相對應之聲功率及頻譜，據以推估衰減至沿線敏感受體之結構噪音量，檢視是否符合目前環保法規，並評估該噪音對附近住戶之影響。

四、國內鐵路工程之噪音防制設計，無法如捷運工程之噪音防制設計，對於列車及軌道系統要求音源上限。國內鐵路列車之車種較多，且部分車輛老化，更有鋼輪不真圓造成輪軌音、引擎動力音及空調設備音增大之情形，建議臺鐵局未來新購車輛及列車進廠維修時，均應有外部音量檢測要求，以適當控制鐵路營運之音源。

五、臺鐵目前道岔型式均採固定式岔心，致車輪與軌道撞擊力大，為主要噪音源，考量減振降噪效果，建議採可動式岔心、軌道區吸音材、設置中央隔音牆或近軌隔音牆、軌腹吸音材或噴油系統等措施，配合降速、磨軌和鋼輪真圓等管理措施，達到降噪的目的。建議採用之減振降噪方式，採增設中央腹板、加厚翼板及護欄箱型梁，改變結構自然振動頻率，減振降噪效果可達10dB；採用軌道區各類降噪措施約可降低15~20dB；另設置弧形隔音牆亦可降低約15~20dB。



參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，軌道高架橋隔音牆效能檢討及結構音評估方法建立，民國108年
2. 交通部臺灣區國道高速公路局北區工程處，內湖段轄區高架橋梁下噪音改善設施規劃設計服務工作規劃設計報告，民國105年
3. 許榮均,王聰貴，軌道交通噪音預測模式與防制對策之研究，民國103年



3

專題報導

捷運軌道系統之減振降噪措施暨浮動式道床之分析與設計

關鍵詞(Key Words)：捷運(MRT)、軌道(Track)、浮動式道床軌道(Floating Slab Track)、噪音與振動(Noise and Vibration)

國立台灣大學／教授／洪振發 (Hung, Chen-Far) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／資深協理／林建華 (Lin, Chien-Hua) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／副理／詹宏義 (Chan, Hung-I) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／工程師／段隆翔 (Tuan, Lung-Hsiang) ❹

摘要

本文首先針對捷運系統之振動與噪音的成因，清楚分項歸納其對環境之影響與相關防制對策，說明軌道減振在整體捷運系統之減振降噪之角色與功能。其次，考量結構的振動與噪音特性以及周遭環境影響之評估，依照沿線評估需求提出適用之軌道減振等級、軌道系統及其他可搭配之方法。再次，進一步敘明減振軌道之種類，包含高隔振無道碴道床軌道、離散式隔離道床軌道及軌腹阻尼器等，並說明浮動式道床軌道(Floating Slab Track)對於降低地傳振動與地傳噪音的防制功能，針對不同程度問題減振設施及選擇浮動式道床軌道的考量。最後說明浮動道床軌道選用與設計條件、設計程序及軌道結構動態分析程序以及道版之細設強度分析等工作。



Attenuations of noise and vibration for MRT track system and design of Floating Slab Track

Abstract

In this article the causes of noise and vibration of MRT system were clearly summarized in itemization for their environment impact and the related control measures first of all. And the role and functions of attenuation of noise and vibration for the track on the total MRT system was clarified. From the consideration of the characteristics of vibration and noise of track structures and their environment impact, the vibration control levels, and suitable track system and other matchable methods were proposed. Further, the types of vibration attenuated track, including NBHI, FST and rail web damper were described. The function of FST to reduce the ground borne vibration and ground noise were explained and the selection of FST type for different vibration control level was considered. Finally, the selection, design conditions and design process for FST were explained, the process of dynamic analysis of “Train-rail-track-structure” coupling system was also discussed.

3

專題報導

壹、緒論

近十幾年來國內軌道建設蓬勃發展，路網持續擴張、客運量顯著增長，已然成為不可或缺之公共運輸系統。至今，台灣軌道路網已有相當之規模，扮演國內交通運輸動脈要角，除活絡都市機能並帶動國家經濟之發展外，軌道運輸更與民眾日常生活緊密相連、肩負都會大眾交通重責。

隨著軌道運輸系統的成长與規模的擴張，以及近年政府大力推動「前瞻基礎建設計畫」，其項目中含有多達30項以上之「軌道建設」計畫，其重要性，不言而喻，躍然成為促進都市縫合、改善環境、擴大觀光發展，提升國人生活品質，同時帶動相關產業的發展，促進經濟成長之先驅工程。

其中，捷運工程目前在全國各縣市都會區中積極規劃與建設，惟捷運路線常行經既有道路，且常鄰近民宅、醫院及學校等，因而沿線在施工營運及維護時產生之振動與噪音，常造成民眾生活圈之干擾。近年來民眾環境保護意識之抬頭與居住品質需求之提升，使得捷運沿線常遭受居民之陳情與抗爭。

一般針對行駛列車所產生的振動與噪音，最直接且有效之防治措施，為機電系統與軌道系統等音源的改善，如降低車輛噪音量與輪軌噪音等；其次為隔離噪音與振動的傳播，如土建之噪音防制設計，於高架段設置隔音牆與吸音材；隔離列車衝擊振動，降低結構振動、地傳振動與地傳噪音，高架段降低高架結構振動也可降低結構噪音。軌道運輸系統有效的減振降噪措施常需車輛、軌道與土建隔音牆之相互搭配，才能滿足沿線居民生活的寧靜條件。實務上機電系統之振動與噪音在規範中已有規定，廠商以符合採購規範為主，因此在機電系統方面依循合約之標準下，軌道系統的振動噪

音需在既定的機電系統噪音條件與土建隔音能量下來進行減振降噪措施。

一般認定軌道隔振可降低軌道與結構振動位準，可同時降低噪音位準，而期待軌道減振優先於土建結構之噪音防制措施。目前軌道隔振最有效者，為浮動式道床軌道（Floating Slab Track, 簡稱FST）。對於鄰近軌道結構之建物有振動噪音疑慮時，隨即想到浮動式道床軌道，期待可同時解決振動與噪音問題。實際上軌道減振有兩個不同目地，一般以隔離列車衝擊傳入軌道結構之振動量為主要目的，可降低經由大地傳播之地傳振動與地傳噪音，在高架段軌道結構振動降低也可降低部分結構噪音。另一目的為降低鋼軌基版以上的鋼軌振動量，旨在降低鋼軌振動量與對車輪的反力，可降低輪軌噪音、鋼軌的波狀磨耗與輪緣的磨損。

浮動式道床軌道造價相對較高，主要功能為隔離車輛衝擊傳到軌道結構之振動與地傳振動及地傳噪音，對於輪軌噪音與列車噪音無法提供有效的防制功能。故在軌道工程設計時，對於浮動式道床軌道的隔振功能、動態特性、整體成效、建造之複雜程度與成本及其可替代範圍等課題，需有清楚的瞭解，才能做出合理的軌道減振設計。

貳、捷運軌道系統之振動與噪音

捷運系統於列車行駛時所產生之振動與噪音，簡述如下：

一、行駛列車造成軌道系統之振動

（一）輪軌不整之衝擊

包括車輪不圓、鋼軌粗糙、線形不整、軌道基礎勁度分布不均勻等，造成輪

軌衝擊形成輪軌局部振動，輻射強烈的輪軌噪音。

(二) 捷運系統既有之週期性衝擊

列車行駛於軌道上形成車-軌-結構互制之動態反應，在列車與軌道系統存在著週期性衝擊參數，包括基鈹間距、車輛轉向架間距、列車速度、結構型式（如高架橋之橋跨）、軌床與結構的自然振頻、輪軸組自然振頻等。

要降低上述因列車行駛造成軌道系統之振動影響，需從振源本體的振動特性、結構體的動態反應、大地傳遞路徑及振動受體可接受程度等三方面著手。

二、行駛列車造成軌道系統之噪音

(一) 車輛噪音

包括有動力機械噪音、空調系統噪音、輪軌摩擦與衝擊音及空氣動力音等。

(二) 結構噪音

包括結構振動輻射噪音及地傳噪音等。

(三) 其他噪音

包括反射音及聲場空腔共鳴等。

前述車輛噪音與輪軌噪音在浮動式道床軌道的隔振功能無法提供有效的防制效果，需藉由土建之噪音防制與輪軌噪音防制才能解決。

此外，依據現有營運中之捷運的振動噪音量測結果顯示：小轉彎半徑在列車行駛過程中常發生噪音過大之情形，其噪音主要為鋼軌與

鋼輪之間的摩擦音及車輪滾動黏滑運動產生之噪音，可能加上周圍結構的反射音之加成，這種現象在設置FST的路段仍會發生。

軌道之減振降噪需同時考慮結構的振動與噪音特性才能有效解決。

參、捷運軌道系統之減振降噪措施

軌道系統的減振降噪措施分兩類，第一類為一般選用之隔振軌道，目的在降低列車衝擊傳到軌道結構的振動力，以降低地傳振動與地傳噪音為主，第二類為阻尼減振鋼軌，旨在降低鋼軌基鈹以上的鋼軌振動，降輪軌噪音與輪軌磨耗。軌道系統之減振降噪措施之選擇需考慮減振目的與減振措施的振動與噪音特性，依照欲減振需求選擇合適之措施。

一、減振軌道之減振等級

可依減低振動與降低結構噪音之要求分成三個等級：

(一) 輕度到中度減振

減振目標2dB到10dB（依頻帶而定），主要振動頻率大於30Hz，可採高隔振軌道。

(二) 中度減振

減振目標6dB到14dB（依頻帶而定），主要振動頻率大於20Hz，可採隔離式道版（如連續彈性層）。

(三) 高度減振

減振目標10dB到25dB（依頻帶而定），主要振動頻率小於18Hz，可採浮動

式道床軌道，依減振需求的不同，可選擇不同自然頻率等級的FST。

減振目標在8Hz以下者，採用隔振方式的減振措施（包括浮動式道床軌道），實務上困難度很高，宜配合土建結構改變，取得較佳的搭配。

二、軌道系統

配合減振軌道特性與軌道設置經驗可考慮如下：

（一）選擇彈性扣件系統

彈性扣件系統除合理處理鋼軌之縱橫方向移動，將鋼軌固定在基座上之功用外，兼具減緩列車振動與衝擊之功能。

（二）採用高隔振軌道

經振動與噪音評估為輕度到中度的振動噪音敏感點路段，可採用高隔振基鈹系統，以利於減緩軌道之振動。

（三）選用浮動式道床軌道

經振動與噪音評估需高度減振的振動敏感路段，採用浮動式道床軌道。

（四）採用可動式岔心

道岔於振動噪音敏感區使用可動式岔心，可避免車輪經過固定岔心間隙造成衝擊與噪音。

三、降低輪軌噪音的措施

（一）鋼軌研磨

鋼軌研磨可保持鋼軌的平滑程度，降低輪軌摩擦噪音，一般可減少噪音約10分貝，增加鋼軌研磨的頻率可持續保持鋼軌的平滑程度，有助於降低噪音。

（二）鋼輪旋削

車削削正車輪，保持輪圓程度，避免車輪對於鋼軌的不均勻衝擊，使輪緣與鋼軌有較好的接觸面以降低噪音。

（三）採用彈性車輪

（四）裝設輪緣潤滑器

肆、減振軌道種類

減振軌道結構種類可依結構型態與減振降噪需求分成三類：

一、高隔振無道碴道床軌道

高隔振無道碴道床軌道(Non-ballast Track with High Isolation, 簡稱NBHI)泛指動態載重下自然頻率不高於25Hz之無道碴軌道，其得為雙枕塊橡膠靴軌道(Twin Blocks Track with Rubber Boots)、低彈性常數無道碴道床軌道(DF Track with Low Spring constant)、低振動省力化軌道或各種型式之質量-彈簧系統(Mass-Spring System)等。

高隔振無道碴道床軌道基鈹之勁度比一般標準基鈹低，安裝後軌道系統之自然頻率降低（如25Hz以下）以提高減振效果。

高隔振基鈹，如Delkor Rail 公司之Delkor Egg高隔振基鈹，如圖1，其靜態勁度為6kN/mm到15kN/mm，側向可調範圍±15mm，垂直可

調範圍達25mm；配合道岔區之基鈹，如圖2，靜態勁度為8kN/mm到16kN/mm，側向可調範圍±18mm，垂直可調範圍達30mm

另外Pandrol Vanguard提供相當低勁度的鋼軌扣緊系統，如圖3。靜態勁度可為5kN/mm，動態勁度8kN/mm，其扣夾為彈性楔(elastomer wedge)夾住軌腹可提高鋼軌之阻尼特性，除了



圖1 Delkor Egg高隔振基鈹
(來源Delkor Rail型錄)



圖2 道岔區Egg高隔振基鈹

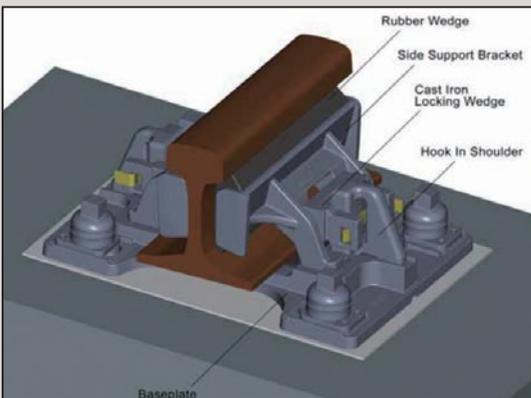


圖3 Pandral Vangua 鋼軌扣緊系統示意圖
(來源Pandral Vanguard in Japan 型錄)

可降低傳到基鈹以下之結構振動外，也可降低基鈹以上之鋼軌振動，降低輪軌噪音。其側向可調範圍±20mm，垂直可調範圍達36mm。

高隔振無道渣道床軌道結構範例，如圖4；彈性基鈹組件樣式，如圖5。



圖4 高隔振無道渣道床軌道



圖5 彈性基鈹組件樣式

二、隔離式道床軌道

隔離式道床可分為連續彈性層隔離道床軌道與離散式隔離道床軌道兩種：

(一) 連續彈性層隔離道床軌道

連續彈性層軌道如圖6，初始應用於道渣軌道之減振降噪而鋪設連續性彈性墊。1995至2010年已應用於歐洲及亞洲等數十件案例，原則上設置後不再抽換，Getzner有使用20年後檢測性能改變微小之報告，預估可用30年以上。惟如有維修檢視及抽換考量，該型式軌道是否採用須審慎評估。

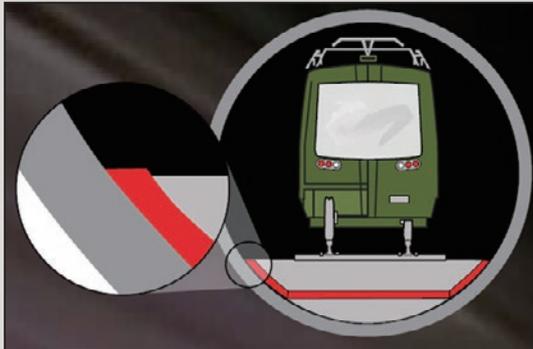


圖6 連續彈性層隔離軌道示意圖
(來源Ref. Tiflex TRACKELAST型錄)

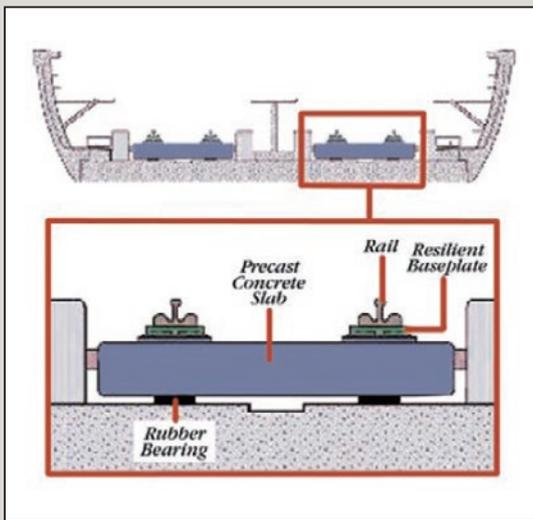


圖7 橡膠支撐墊之浮動式道床軌道示意圖

(二) 離散式隔離道床軌道

離散式隔離道床軌道一般稱為浮動式

道床軌道，以離散式彈性支撐，其自然頻率依設計可在6Hz ~ 20Hz範圍，可降8Hz以上頻率之振動量。

離散式彈性支撐又有橡膠支撐與線圈彈簧支撐兩類：

1. 橡膠支撐墊之浮動式道床軌道，如圖7。

安裝或維修抽換支撐墊時，需以油壓機頂昇道床版，騰出空間供安裝支撐墊。如考慮未來有維修抽換可能性，軌道設計時需考慮抽換支撐墊的空間。橡膠支撐墊構造簡單，在德國有對使用15年20年後取樣測試報告，結果顯示性能改變很小，且預期可使用30年以上。

2. 彈簧支撐之浮動式道床軌道，如圖8。

支撐單元包含鋼製彈簧圈或彈簧組，在道床版安置完成後，再安裝彈簧系統。安裝過程以油壓機壓縮彈簧並將道床版頂舉至營運高程。在該圖之右圖為GERB GSI型彈簧支撐筒，外筒埋入道床版，中間彈簧易於組裝與抽換。

浮動式道床軌道結構範例，如圖9。

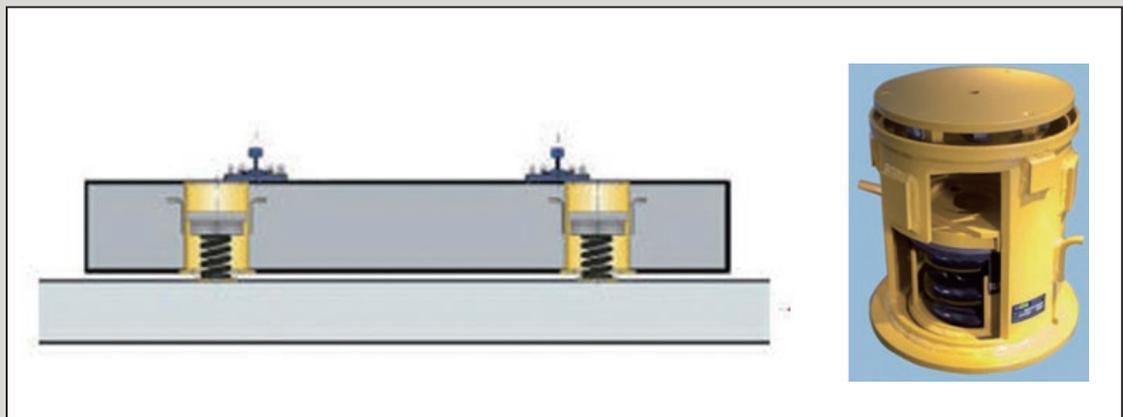


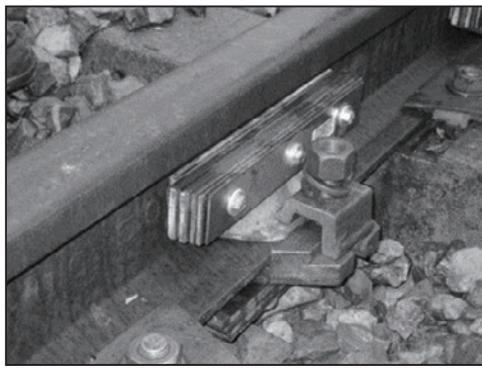
圖8 彈簧支撐之浮動式道床軌道示意圖



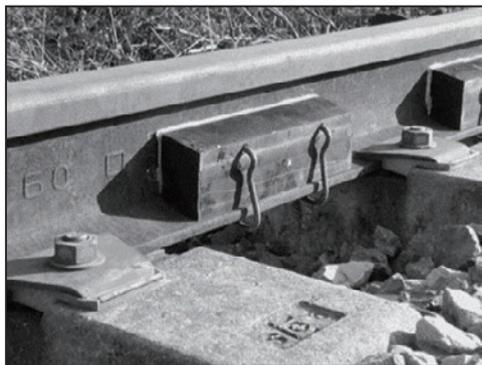
圖9 浮動式道床軌道

三、軌腹阻尼器

軌腹阻尼器為降低鋼軌振動的軌道系統減振的輔助設施，主要是利用阻尼器之消能特性來減振，可降低中高頻輪軌噪音與輪軌磨耗。軌腹阻尼器有「質量-阻尼系統」與「束制阻尼系統」可為圖10兩種「質量阻尼」軌腹阻尼器之設計。可降低2dB-6dB的輪軌音。



(a) Socitec(Shrev & Veit Design)軌腹阻尼器



(b) Course Rial軌腹阻尼器

圖10 軌腹阻尼器

伍、浮動式道床軌道之分析與設計

浮動式道床軌道之分析與設計程序需包含下列資料準備及設計工作：

一、資料準備

(一) 基本調查

基本調查資料包含沿線地質調查資料、建物調查（包含特殊敏感點）與落錘地表振動傳遞特性資料。

地質特性影響地表振動傳播特性，由沿線地質調查資料可對沿線就地質狀況分區，每區選擇代表性或特殊性位置作為落錘地表振動量測之位置。

落錘地表振動量測主要在量測入力點到量測點的傳遞動性，也可呈現不同量測位置之間地表振動衰減特性。理論上大地球振動傳遞動性或兩點間振動衰減特性也可由FEM或BEM大地振動傳遞分析求得。局部的土質調查資料無法充分支援大地數值分析模型，因此理論分析與數值分析有很大的未確定性。儘管落錘地表振動量測結果受局部地質狀況影響，但仍為一個有效的處理方式。

進行沿線地傳振動與地傳噪音分析，需有沿線建物調查資料（包含特殊敏感點），才能選擇合理的評估點位置。

(二) 設計資料

進行浮動式道床軌道設計之前需先評估行駛列車振動對於環境的影響，評估是否需設置減振軌道，與設置浮動式道床軌道的位置。

評估行駛列車振動對於環境的影響基本資料，包含路線行車速度與路線狀況。不同路線狀況如高架、平面或地下段大地傳遞的考量不同，彎曲狀況影響車速與相對於直線之振動增量，道岔是否採用可動岔心，振動增量考量也不同。在軌道系統基本設計階段，車輛資料、沿線車速、結構資料與列車線入力密位準FDL尚未清楚，可用相似路況與相似車種及其線入力頻譜。基本資料完整才能合理地進行路線地傳振動與地傳噪音評估與軌道型態之選擇。

二、設計工作

浮動式道床軌道設計作業包含下列5個工作項目：

(一) 沿線列車振動對於地傳振動與地傳噪音的影響分析與減振措施之選擇。

分析方法與步驟如下：

1. 依據沿線地質調查資料、建物調查（包含特殊敏感點）與合約規範，選擇落錘地表振動傳遞特性量測位置與評估地傳振動與地傳噪音影響之受體。
2. 依據列車線入力密位準FDL、車輛資料、沿線車彎曲狀況與車速分布，以及軌道到地面的動態傳遞函數（dynamic transfer function）預估由行駛列車傳到地面的振動量或列車對於大地之等效入力。
3. 由行駛列車傳到地面的振動量或列車對於大地之等效入力為振源，利用地表振動傳遞動性資料推估行駛列車對於受體（建物）外之地傳振動。

4. 由受體（建物）外之地傳振動與建物型態推估建物之地傳振動與地傳噪音。

5. 由預估建物之地傳振動與地傳噪音結果選擇減振措施。需考量不同頻帶要求之高隔振無道碴道床軌道或不同型態之浮動式道床軌道。

軌道到地面的動態傳遞函數可由相近捷運系統之結構型態量測或FEM分析（需有結構圖說）獲得，也可引用相近捷運系統已有之傳遞函數。

在軌道系統初步規劃設計階段，可能設計資料不完整，步驟(1)與步驟(2)不完整，可由相似捷運系統量測行駛列車傳到地面的振動量或列車對於大地之等效入力。再進行步驟(3)到步驟(5)。

(二) 浮動式道床軌道道版結構基本設計

浮動式道床提供大質量塊支撐鋼軌，與勁度較小支撐墊，列車通過時之振動能量因浮動式道床有很大質量阻抗（抑制加速度）與較低頻率支撐，可隔離較大頻率範圍的振動，一般而言浮動式道床軌道隔振可達12dB-25dB。

浮動式道床軌道基本設計需先考慮減振需求，比較減振需求與減振措施之插入損失估算選擇的減振軌道是否合乎要求。確定採用浮動式道床軌道後，需先確定浮動式道床軌道在動態負載下自然頻率是否合乎契約規範。

分析選擇FST（含鋼軌支撐墊與道版支撐墊）軌道結構相對於鋼軌鋼性支撐之插入損失（或鋼軌到FST道版支撐墊下方之傳遞函數）是否合乎減振要求。

檢討路線需設置FST道版之配置，歸納最佳之標準道版長度。標準道版長度確定後進行最佳的道版下方彈性支承墊的配置。

浮動式道床軌道道版的彈性支撐可選用套筒式彈簧支承或道版底下彈性支撐墊，在設計上需比較維修、施工、與配筋等問題取最有利的方式。臺灣處地震環境，FST的支撐系統需考慮縱向與側向支承，或設置止動塊。

(三) 車輛與結構互制動態分析

分析列車通過引起車輛、鋼軌、道版、結構等之動態反應與相對位移。

高架段為「車-軌-道版-橋-基礎」之結構互制動態分析；平面段與地下段為「車-軌-道版-道床-基礎」之結構互制動態分析。

分析方法與步驟如下：

1. 檢討車輛（含轉向架）、鋼軌（含扣件與彈性支撐墊）、道版、軌床與結構資料，確定分析模型幾何形狀及模型參數。
2. 建立FEM模型並進行模態分析與頻率反應分析。
3. 將列車視為線振源，由營運中路線量測車輛對鋼軌入力資料建立列車線振源之力密度位準頻譜（Force Density Level, FDL）。
4. 將列車線振源頻譜施加於鋼軌，由動態分析計算預定檢核點的動態反應。

應。動態分析可採用頻譜諧和反應分析（harmonic response analysis），也可採用模擬列車運動進行FEM模型之暫態分析，計算檢核點的動態反應。如檢核重點包含不同位置之相對位移（如伸縮縫間相鄰道版或鋼軌相對位移，鋼軌與結構相對位移等）採用暫態分析較容易處理。

5. 由檢核點的分析結果檢討鋼軌、道版及結構之動態反應是否設計要求。
6. 前述FDL也可由模擬列車運動之暫態分析，計算鋼軌與道版間作用力，換算車輪經由鋼軌對道床入力，換算列車對於軌床入力之線振源力密度位準頻譜（Force Density Level, FDL）

高架段車-軌-橋結構互制有限元素分析模型，如圖11；鋼軌與道床之相對位移，如圖12，作為換算列車對道床入力的計算依據（鋼軌與道床相對位移乘上鋼軌支撐墊勁度即為列車對道床入力）。

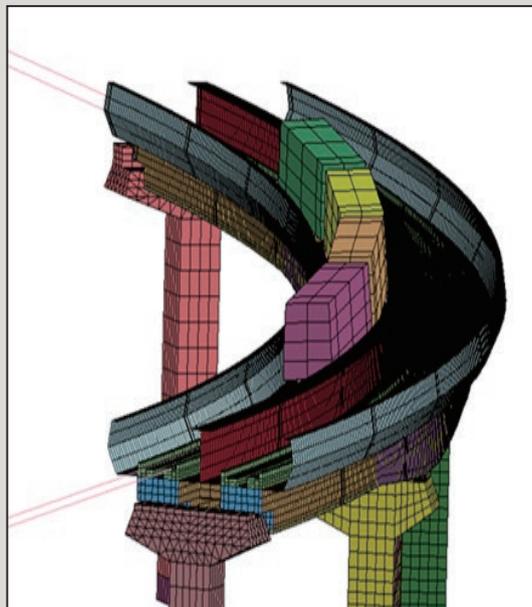


圖11 有限元素分析模型

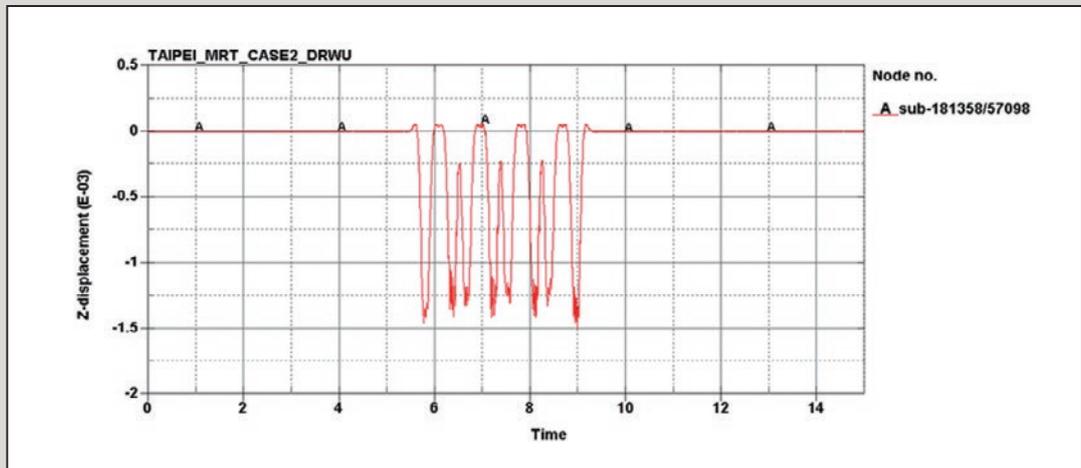


圖 12 鋼軌與道床之相對位移

(四) 軌道受力與浮動式道床軌道道版受力分析

1. 檢討並確立列車與路線參數。
2. 輪荷重估算(靜載重、活載重、離心力、風力或地震力…等)與鋼軌受力檢核。
3. 浮動式道床軌道之負載及變位分析，彈性支撐墊（或彈性支撐筒）的受力分析，作為道版細部設計與選擇彈性支撐墊（或彈性支撐筒）之依據。

(五) 道版結構細部設計與強度分析（包含配筋與附屬結構設計）

1. 依選用之浮動式道床軌道建立分析模型
2. 將各別設計載重施加於結構上
3. 利用各別設計載重計算結果，進行載重組合以求得最大彎矩值與最大剪力值。
4. 根據混凝土設計規範求得其需求鋼筋量，並予以配筋。

5. 檢核選用材料（包含彈性支撐墊）之強度是否合乎設計規範。

6. 檢核道版結構之強度，如止動塊的強度、螺栓之固鎖強度，及頂昇設計之局部強度等。

陸、結語

在環境保護意識日漸抬頭與居住品質需求日漸提升下，軌道運輸系統除了發展具有足夠之便利性外，如何兼備環境之舒適性，已成為現今軌道建設焦點議題之一。捷運軌道運輸系統之振動與噪音研究工作，在國內已有多起實際案例資料。隨著捷運系統的成長與規模的擴增，相關問題之應對措施日益重要。因此需有一套完善的評估、分析及設計流程，針對捷運軌道運輸系統之振動與噪音問題有進一步深入了解並考量環境因素配置符合規範且適合現地情況之對應措施。

本文經由參考本公司配合中華民國振動與噪音工程學會推動之「浮動式道床軌道動態分析與設計優化以及結構聲場分析等技術研發與訓練計畫」兩年期之成果，就相關浮動式道

床軌道問題依實際案例，認識並掌握要點，且整理出一套具體可行的方法。本文首先針對捷運軌道系統之振動與噪音的成因，清楚分項歸納；其次，考量結構的振動與噪音特性以及周遭環境影響之評估，依照沿線需求提出適用於減振軌道結構、軌道系統及其他可搭配之方法；再次，進一步敘明減振軌道之種類，包含高隔振無道碴道床軌道、離散式隔離道床版軌道及軌腹阻尼器；最後，簡介浮動式道床軌道之分析與設計程序。

關於浮動式道床軌道之設置，雖其為目前軌道隔振最有效者，但並非於鄰近軌道結構之建物一有振動與噪音疑慮時，即欲直接採納浮動式道床軌道之配置，而是必須進一步全面性的了解成因、探討特性及評估環境等，方能於設計時選用最符合效益及成本且能有效解決振動與噪音問題之軌道系統。

參考文獻

1. Hanson C. H.; Tower D. A.; Meister L. D., 2006, Transit Noise and Vibration Impact Assessment, Feral Transit Administration, FTA-VA-90-1003-06.
2. Nelson, J. T., Wheel/Rail Noise Control Manual, TCRP Report 23, 1997, Transportation Research Board National Research Board,
3. Metro Rail Transit System, Guidelines for Noise and Vibrations, Track Design Directorate Research Designs and Standards Organisation Ministry of Railways, India, CT-38, September, 2015
4. 佐藤吉彥著，徐涌譯，新軌道力學，中國鐵道出版社，2001年。
5. Bernhard Lichtberg, Handbuch Gleis (Handbook of Track), Tetzlaff Verlag, 2004。
6. 新北市政府捷運工程局，三鶯線捷運系統計畫統包工程-業主需求書(四)土木工程及其他機電設施設計規範，105年3月28日。
7. 交通技術標準規範鐵路類工務部，「鐵路橋梁耐震設計規範」，2006，12月。
8. Esveld, Coenraad, Modern Railway Track, MRT-productions, Duisburg, Germany, 1989.
9. 陳輝雄、吳岱庭、曹政忠、龔昶榮，浮動式道床型式選用之評析，捷運技術半年刊第39期 97年8月，pp. 53-66.
10. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，浮動式道床軌道動態分析與設計優化以及結構聲場分析等技術研發與訓練計畫(第一期)成果報告書，107年度
11. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，浮動式道床軌道動態分析與設計優化以及結構聲場分析等技術研發與訓練計畫(第二期)成果報告書，108年度

臺中捷運綠線卵礫石層擋土與開挖工程設計及施工經驗回饋

關鍵詞(Key Words)：臺中捷運綠線(Taichung MRT Green Line)、卵礫石(Gravel)、深開挖(Deep Excavation)、半圓形擋土樁(Semi-Circle Retaining Pile)、人工擋土柱(Man-Cut Retaining Pile)

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／蔡淵堯 (Tsai, Yuan-Yao) ❶

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區辦事處／工務所主任／林中勇 (Lin, Chung-Yung) ❷

台灣世曦工程顧問股份有限公司／中區辦事處／正工程師／顏君行 (Yen, Chun-Hsing) ❸

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／正工程師／許琍婷 (Hsu, Li-Ting) ❹

摘要

臺中捷運綠線於G5、G6、G8、G8a、G9及G11等6站共規劃7棟土地開發大樓（簡稱土開大樓），其規模為地下5至7層及預估未來為地上18層以上之鋼筋混凝土或鋼骨鋼筋混凝土構造，開挖深度為23~37m。本文討論臺中卵礫石深開挖人工擋土柱工法之特性及勞安災害因素，納入捷運土開大樓擋土工法規劃及設計考量之中，並加強開挖時之相關安全措施，藉以降低風險。最後將針對實際施工狀況進行回饋提出相關建議。



The Design of Retaining Method and Deep Excavation in Gravel Layer of Taichung MRT Green Line Accompanied with the Summary of Corresponding Construction Experience

Abstract

Based on the Transit-Oriented Development (TOD) strategy of Taiwan, 7 Joint Development (JD) buildings are constructed along the Taichung Mass Rapid Transit (MRT) Wenxin-Wuri-Beitun Line (hereafter referred to as “Taichung MRT Green Line”) at Stations G5, G6, G8, G8a, G9, and G11. Among these JD buildings, the excavation depth for building “G9-1” reached a depth of 36.75m, which is a new record for the Taichung area. Due to the geological characteristics of the Taichung area, the “man-cut pile” method was adopted as the main method for building retaining wall. However, with the potential risk of jeopardizing the safety of laborers using the man-cut pile method for the deep excavation work considered to be too high, several excavation safety measures were firstly introduced during the planning and design stage in order to reduce the construction risk. Finally, a construction situation will be described and suggested for reference.

3

專題報導

壹、計畫簡介及設計參數選擇

一、計畫簡介

臺中捷運烏日文心北屯線（以下簡稱臺中捷運綠線）路線起自北屯機廠，沿松竹路至北屯路口前跨越臺鐵後，轉至北屯路、沿文心路至文心南路，續沿建國北路、建國路與臺鐵平行進入高鐵臺中站為終點，共設置G0站至G17等18座車站(16座高架站、2座地面站)，並於捷G5、捷G6、捷G8、捷G8a、捷G9及捷G11等6站共規劃7棟土地開發大樓。各站土開大樓為地下5至地下7層及預估未來為地上20~23層之鋼筋混凝土或地上36層鋼骨鋼筋混凝土構造物，開挖深度為24~37m，其中委由北捷局代辦發包施工之土開大樓共有：G5、G6、G8a、G9(G9-1、G9-2)及G11等5站共6棟。

本公司承接之臺中捷運土開大樓設計案（以下簡稱本工程），此段位於臺中捷運綠線G3-G11站，共橫跨北屯區、西屯區及南屯區等三區，其地理位置在臺中盆地北部之大甲溪沖積扇。區域地質繪捷運開發場站位置詳圖1。

二、區域地質

臺中盆地北起大甲溪南岸，與后里台地相望，南至濁水溪北岸，與竹山丘陵（亦稱斗六丘陵）遙望；盆地中央有烏溪流經為界，以北則東西夾於霧峰山地（三汀山丘陵）、大肚台地，以南則東西介於南投丘陵、八卦台地。臺中盆地係由主要溪流攜帶之卵礫石沖積物堆積而成，包括古大甲溪沖積扇、太平合成沖積扇、烏溪沖積扇與貓羅溪沖積扇，為臺灣西部晚新生代沉積盆地的一部分。

本工程沿線之地表高程由北向南遞減，約介於EL.+62~+118m之間。沿線地層除回填層外概分成二個層次，上方覆土層為黃棕色或灰色砂質粉土或粉土質細砂，下方為堅硬之卵礫石層。依文獻鄰近本工程區域之試坑資料（張吉佐等人^[8]、蔡明欣等人^[11]、吳文隆等人^[12]），卵礫石主要為堅硬之石英質礫石，其單壓強度常可以達到2000 kg/cm²以上，礫石含量約在80%以上，統一土壤分類為GP或GP-GM，其標準貫入試驗N值均在100以上，為良好承載層。

三、地下水

地下水位為深開挖設計與施工之重要考量因素，綜觀台中地區歷史地下水位可發現，民國6,70年代台中市中心之地下水位約莫位於地表下1m~3m，經過第一次大規模的都市發展後，下降至約地表下5m，而後根據區域開發而漲升。本工程依據2007年臺中捷運設計階段及2015年土開大樓設計階段之鑽探調查結果^[3]，整理各土開大樓基地之地下水位變化如圖2所示。捷G5、捷G6於地質調查孔深度25m內均未測得水位，捷G8a至捷G11地下水位約在地表下7~15m，地下水位高程由東向西受地勢影響逐漸下降。結

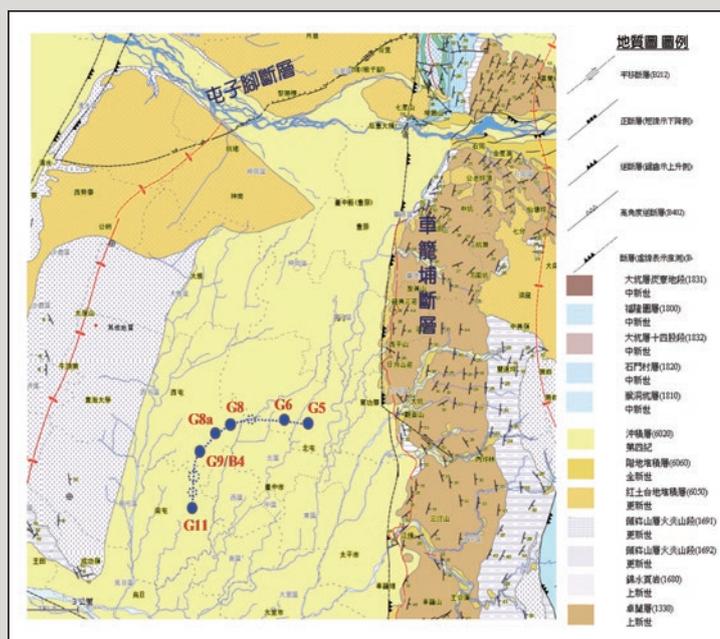


圖1 本工程區域地質圖

果也顯示，因卵礫石層滲透性高，地下水位易受鄰近區域開發影響而有變化，其中捷G8a與捷G11之地下水位變化較大，前後期之鑽探顯示水位分別上升8.5m與下降4.1m。

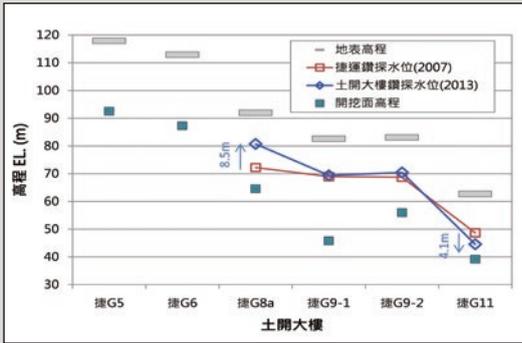


圖2 土開大樓地下水位

貳、設計階段之擋土形式及施工步驟構想

一、臺中卵礫石層開挖擋土工法

表1 卵礫石層深開挖擋土工法比較

工法	優點	缺點	案例
連續壁 100cm厚	<ul style="list-style-type: none"> 止水性好、勁度高，適用較深之開挖 區域外不必降水 可兼作外牆，地下室空間可達最大 	<ul style="list-style-type: none"> 遇到大卵石須引孔或衝擊等方式排除 施工費用最高 進度差，需24hr施工，振動噪音擾民安寧 	<ul style="list-style-type: none"> 龍邦世貿大樓(1988)，開挖深度22m，連續壁總面積5500m²
全套管樁 § 120cm@2.4m 或 § 150cm@3m	<ul style="list-style-type: none"> 品質佳，勁度高 施工速度快 中部公共工程高架橋基礎案例多 	<ul style="list-style-type: none"> 搖管機無法緊貼地界施工，減少地下室使用空間 施工費高，區外須抽水 遇大卵礫石須採抓斗或重錘衝擊產生噪音振動 	<ul style="list-style-type: none"> 機場捷運於臺灣桃園國際機場內及中壢市之地下段順利完工
鋼劈礫 H350@1m	<ul style="list-style-type: none"> 施工速度快，費用低 	<ul style="list-style-type: none"> 振動噪音問題嚴重，僅適用於20m以下之開挖 遇大卵石處理費時，嚴重影響進度 區域外降水 	<ul style="list-style-type: none"> 長榮桂冠酒店。
人工擋土柱 120cm×60cm@2m	<ul style="list-style-type: none"> 屬於低噪音、低振動工法 採人工進入狹小柱坑內挖掘，基地內可同時展開多組工作面 臺中地區民間建築基地案例多 	<ul style="list-style-type: none"> 人工挖掘擋土柱曾發生柱坑坍塌方掩埋工班意外 區域外降水 	<ul style="list-style-type: none"> 遠百購物中心(2009)，開挖深度27m 富宇建設38層集合住宅(2010)，開挖深度21.3m 國際金融中心(2008)，開挖深度21.3m
機械擋土柱 120cm×60cm@2m	<ul style="list-style-type: none"> 屬於低噪音、低振動工法 基地土方開挖與擋土柱可併行施工 費用低廉，工率佳 	<ul style="list-style-type: none"> 先行開挖再施作擋土柱，土體側位移較大，緊鄰民房的工地須先進行建物保護措施。 區域外降水 若工地面積小、動線差，工進將受影響 	<ul style="list-style-type: none"> 臺中生活圈大里聯絡道工程第C704標(2010)開挖19.5m，為公共工程採用此工法之首例

臺中卵礫石層排列緊密且質地堅硬，卵石粒徑平均約60cm，甚至可達到1公尺以上。自民國75年以後，都會區之開挖擋土工法曾應用包括連續壁、全套管樁、鋼劈礫、開口沉箱、衝擊樁、人工擋土柱及機械擋土柱等工法，各工法比較如表1所示。因其地質特殊性，經過市場二十餘年之考驗，人工擋土柱工法及機械擋土柱已蔚為主流，其他工法則因工率差或價格高而退出市場。人工擋土柱工法簡單來說就是利用人力向下挖掘，再用吊桶運離孔洞內土石至地面運棄，通常以二人為一組施工單位，其中一人在孔洞下方負責挖掘，一人在上方負責操作機具運棄土石，在施工過程中若上方稍有不慎造成土石掉落，或者開挖過程中孔壁崩落，可能導致工安事故發生。所以這二人施工默契必須非常好，並且互相信任，因此大部分都是由夫妻搭檔施作，故人工樁在臺中又經常稱為「夫妻樁」。人工樁具有造價低、施工機具少、無噪音、無空氣污染、可多柱同時挖掘及

適用於卵礫石強度高之地區等諸多特點。

針對臺中卵礫石層之工程性質及擋土柱於深開挖工程中之行為，可參考林商裕^[5]、鄭富書等人^[9]、Khoiri et al.^[1]等學者專家之研究成果，本文謹就人工擋土柱、機械擋土柱工法進行簡介，並檢討人工擋土柱勞安災害之原因，最後討論臺中捷運土開大樓工程擋土工法設計之考量。

二、人工擋土柱與機械擋土柱工法簡介

擋土柱工法依挖掘方式不同可分為人工擋土柱與機械擋土柱，施工方式如圖3所示。人工擋土柱採人工方式於柱坑底挖掘，並以人工拍漿方式保護挖掘壁面，其擋土柱尺寸寬度為40cm~80cm，長度80~120cm不等，並於基地內方向多挖一個半圓供日後封模、調整鋼筋籠使用。本工法較不受基地形態限制，遇大粒徑卵石由有經驗之工班決定處理方式，施工彈性度較高，可減少施工對週邊地盤之擾動並貼近地界線施工。惟曾發生多起柱坑坍塌方掩埋工班意外，屬高風險危害之侷限空間作業工法，公共工程極少採用(圖4)。機械擋土柱工法和人工擋土柱不同處為採用機械進行跳島式挖掘，擋土柱柱體為逆築方式，依開挖深度決定是否分階作業，且需要較大的作業空間(圖5)。人工擋土柱及機械擋土柱之工序及比較可參考鄧建華^[2]等人討論，本文不再贅述。

三、人工擋土柱工法之省思

台灣中部地區過去曾發生過數次因擋土柱或抽水井施工過程發生坍塌，導致挖掘人員傷亡的勞安事件。表2為本文整理近期新聞及文獻^{[6]-[13]}登載之歷年人工擋土柱勞安災害結果，其中最新之案例甫發生於2017年3月，所幸無人死亡。由表2可以發現災害模式主要為坑口崩塌，佔案例數之60%，其次為坑內崩塌與墜落。經

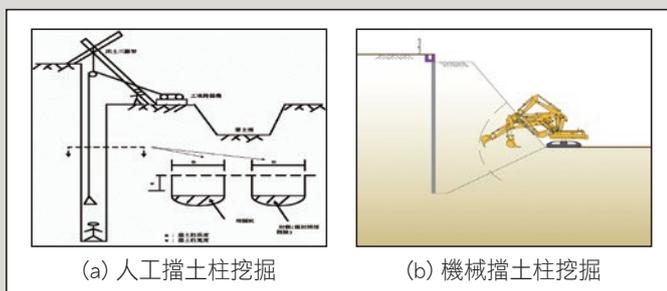


圖3 臺中卵礫石層擋土柱施工示意圖

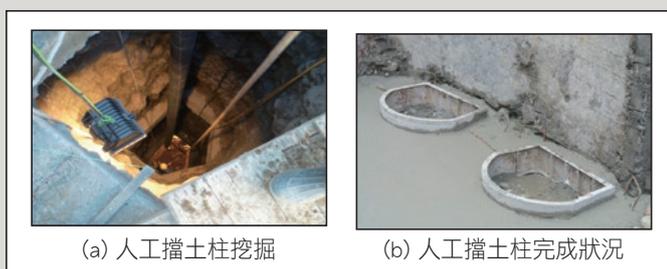


圖4 人工擋土柱施工

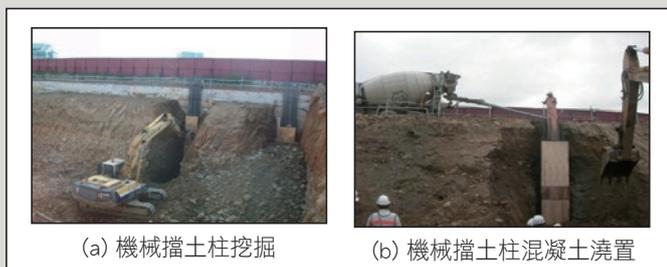


圖5 機械擋土柱施工

進一步探討過往人工擋土柱勞安災害之原因(表2)，可知雨水(地下水)入滲及坑壁(口)保護措施不足為致災之主因，坑口、坑壁不穩定常發生於大雨過後，研判其機制應為棄土坑集水後向下入滲，滲流水淘刷細料後導致坑壁局部不穩定，如圖6所示。

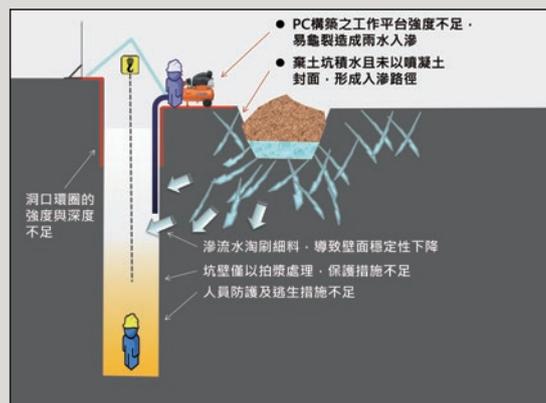


圖6 人工擋土柱災害機制示意圖

表2 人工擋土柱勞工安全案例統計

案例	發生日期 西元年/月	災害情形	死亡 人數	災害模式			災害原因			
				坑口崩塌	坑內崩塌	墜落	雨水滲入	防護不足	機具震動	機具損壞
1	1990/7	地表機具開挖產生震動，造成擋土柱坑口落石	1	✓					✓	
2	1991/8	雨水滲入造成坑口落石	1	✓			✓	✓		
3	1992/2	大雨至現場巡查，滑入坑內	1	✓			✓			
4	1992/2	土石吊運過程，坑口崩塌人員滑入坑內	1	✓			✓			
5	1993/12	擋土柱坑口上方土丘崩塌	1	✓				✓		
6	1994/9	擋土柱坑內修整造成崩塌	1		✓			✓		
7	2004/8	大雨後土石鬆軟，導致土丘崩塌	0			✓	✓			✓
8	2008/11	大雨後坑壁崩塌，落石掩埋作業人員； 搶救時亦造成一名消防人員殉職	2		✓		✓			
9	2011/7	出土時滑輪組軸心斷裂，人員墜落坑底	1			✓				✓
10	2017/3	擋土柱坑口旁邊土丘崩塌	0	✓				✓		

為改善人工擋土柱之勞工作業安全，自1990年代起，政府及學術單位投入研究，開發防護裝置及擬定相關設計與施工規範^{[4][7][10]}。臺中市政府於2010年正式頒布之「手掘式基樁施工規範」，為地方政府正視人工擋土柱施工勞安問題之具體成果，該規範要求人工挖掘應每50公分以「開挖、組護圈」之循環漸進施工，護圈由厚2mm鋼板或3mm補強式鋼板圈（鋼襯板）隨開挖進度往下組裝（圖7）。此工法以鋼板圈保護坑壁，使坑壁卵礫石不易掉落，雖減少了崩塌的直接傷害，但未根除坑口、坑壁不穩定因素，鋼板護圈在吊放過程也形成坑底作業人員另一項曝險因子。此外，鋼板護圈於柱體灌漿後無法回收，亦墊高此工法之成本。在眾多因素影響下，鋼板護圈工法終究未廣泛為業界所接受。就本文收集之資料，採鋼板圈保護之人工擋土柱僅少量用於「臺中生活圈2號線東段、臺中生活圈4號線北段與平面延伸段及大里聯絡道工程第C704標潭興松竹段工程」穿越慈濟綜合醫院臺中院區附近之路段^[2]。



(a) 鋼襯板保護人工挖掘



(b) 半徑60cm高度50cm鋼襯板

圖7 安裝鋼襯板之人工擋土柱^[2]

四、臺中捷運土開大樓開挖擋土工法設計考量

本工程開挖深度均在25m以上，原始建築

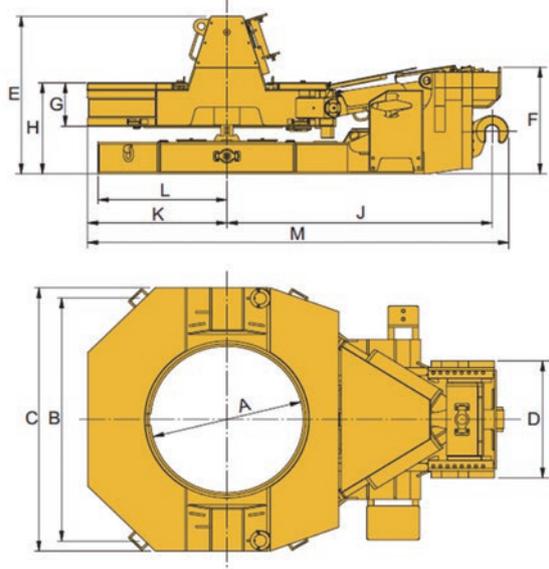


圖8 全套管基樁施工機具

配置極靠近地界線，使人工擋土柱幾乎成為擋土工法之唯一選擇，部分基地人工擋土柱深達30m，為業界首見，將成為工安隱憂。此外，經訪查業界，目前人工擋土柱工班約90組，若本計畫多處基地同時展開工作，人力動員恐有疑慮。考量公共工程之指標意義及人工擋土柱之潛在風險後，本計畫決定重新調整建築配置，盡可能以全套管樁施工方式取代人工擋土柱，將人工挖掘需求減至最低。然而，全套管基樁搖管機設備無法緊貼建築線施工（圖8），基樁外緣與地界線至少需有1.6m空間，又因擋土壁體較厚，勢必減少地下室使用空間。為不影響開發效益，本計畫創先採用半圓形全套管擋土樁，以減少擋土壁體厚度，其配置概念如圖9所示。部

分士開大樓基地面積狹小且緊臨鄰房，被迫仍需採用人工擋土柱以貼近地界線。對於這些不得不採用的人工擋土柱，本計畫之設計單位與業主有高度共識必須提升其施工安全性。

現有人工擋土柱主要安全措施為：坑壁拍漿、逃生繩、混凝土護圈等，著重於坑內保護而疏於外在致災因素之預防，且坑底作業人員完全無避讓待援空間。研究改善防護措施的同時應注意控制施工過程之曝險時間，若防護措施或工序造成坑內挖掘時間延長(工率下降)，或引致新的曝險因子(如吊放鋼襯板等重物)，反而不利於整體安全性。因此，必須儘可能讓工班依循已熟悉之工作步驟、不增加於坑內施工時間，在不大幅變更工序的前提下將傳統之安全措施進行「微整型」。依前述討論之人工擋土柱勞安災害模式、因素及機制，提昇人工擋土柱施工安全性之具體措施為：祛水、降挖、加強型工作平台、洞口補強、孔壁掛網保護及落石緩衝（避讓待援空間）等，說明如表3。

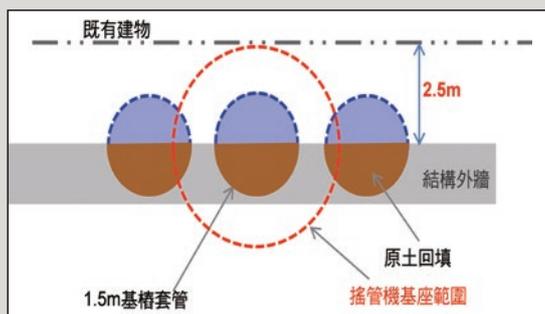


圖9 半圓形全套管擋土樁配置示意圖

此外，為使施工廠商熟悉各項防護措施及

表3 本計畫人工擋土柱施工安全措施

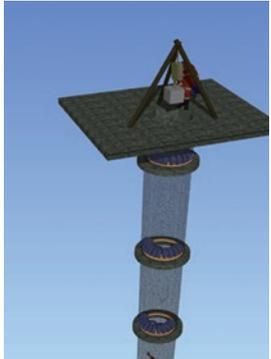
編號	安全措施	目的	示意圖
1	祛水、降挖	提高坑壁穩定性。	
2	開挖斷面為圓形	避免角隅應力集中。	
3	加強型工作平台	以RC構築工作平台，面積擴大涵蓋棄土坑，以提高強度、防止龜裂，避免雨水入滲。	
4	加深坑口環梁至1.5m	提高坑口穩定性。	
5	坑壁掛網	避免坑壁局部不穩定，卵石衝擊作業人員。	
6	木質蓋板或輪胎串等消能措施	落石緩衝材、避讓待援空間。	
7	土桶加蓋	避免石塊自土桶內滑落。	

表4 臺中捷運土開大樓開挖摘要表

土開大樓	設計開挖深度(m)	設計擋土壁型式1
捷G5	25.4	A+B (長度28.4m)
捷G6	25.65	A+B (長度28.65m)
捷G8a	27.35	A+B (長度30.35m)
捷G9-1	36.75	C (長度40.75m)
捷G9-2	27.1	A (長度30.1m)
捷G11	23.5	A+B (長度26.5m)

1A：半圓形全套管樁；B：半圓形人工擋土柱；C：圓形全套管樁

2施工中局部變更為半圓形人工擋土柱

確認防護效果，本工程要求施工廠商必須辦理人工擋土柱原型測試；除演練工序外，另再進行單顆落石試驗及代表性渣料之傾卸試驗，以量測防護措施之消能效果，並依據測試結果調整施工步驟。相關內容如後詳述。本計畫人工擋土樁樁體配合開挖斷面形狀亦創新設計為半圓形，柱體鋼筋籠如圖10所示，土開大樓之擋土壁型式最終設計結果一併列於表4供讀者參考。



圖10 半圓形人工擋土樁鋼筋籠

參、施工階段之人工擋土柱驗證試驗

一、傳統人工擋土柱改良

人工擋土柱雖有其優勢，但對於施工人員的保護性不足仍是最大的隱憂，傳統設計人工柱僅有以140kg/cm²混凝土簡易鋪設工作平台於擋土樁口，另於開挖期間每1.5m深以水泥砂漿塗抹開挖面，防護措施相當簡陋。本次改良透過創新設計與優化方案來減少缺失並增加優勢，其精進保護措施於坑口保護改成RC地坪、挖掘面除拍漿、定距設置混凝土護圈、增掛消能設施、以增加待閉空間與吊土桶加蓋等保護措施，改良方案示意如圖11所示。

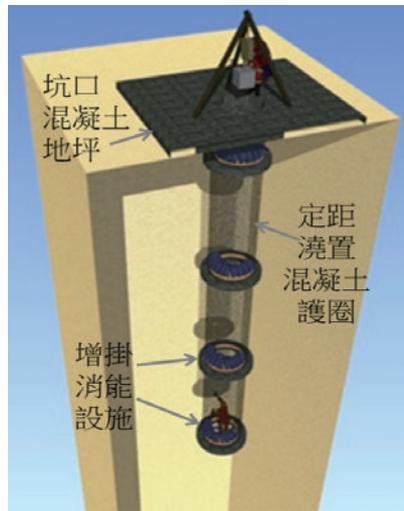


圖11 人工樁精進改良方案 (左：設計概念圖；右：實際施工現況)

二、人工擋土樁原型測試

人工樁工法雖適用於臺中卵礫石層，但是施工人員在地底下深達約30m之狹小坑洞內施工，施工危險性仍相當高，因此本次改良型人工樁於正式施工前，特別先透過原型測試來選擇最佳施工防護方式，測試內容與階段說明如下：

階段1：於工地先施作2支試樁，並進行以鉛球模擬落石進行落球測試，樁底以砂鋪平，

並設置直徑1m之圓形分層瓦楞紙緩衝墊，透過量測瓦楞紙沉陷量與體積瞭解各種保護措施及消能設施之固定方式對抵抗落石意外之緩衝能力。

階段2：以土桶取開挖最後1m範圍內之代表性礫料，將滿桶礫料於坑口傾卸入坑內後(簡稱傾卸測試)以攝影方式觀察坑內保護措施及消能內胎之損壞、脫落與凹陷狀況並確實記錄，各式試驗結果與照片如表5與圖12所示。

表5 施工原型測試項目分析表

樁號	#1試樁		
防護類別	無(未保護及消能胎)	雙層防護網	消能胎一串
沉陷量	111.31mm	73.12mm	18.82mm
沉陷體積	574,236.72mm ³	173,890.38mm ³	31,586.86mm ³
動作描述	鉛球碰觸瓦楞紙	鉛球穿透防護設施	鉛球碰觸消能胎
樁號	#2試樁		
防護類別	無(未保護及消能胎)	防護胎+木板	消能胎三串
沉陷量	109.16 mm	43.00 mm	26.83 mm
沉陷體積	559,674.89mm ³	166,906.84mm ³	96,727.75mm ³
動作描述	鉛球碰觸瓦楞紙	鉛球穿透防護設施	鉛球碰觸消能胎



圖12 落球測試(上)與傾卸測試(下)

三、人工擋土樁施工

本次人工樁施工在加入改良型措施，施工主要流程說明如下：

- (一) 抽水井施工與安裝：因人工樁前施作須將地下水位降低至開挖面下，避免浸水施工，故須由抽水井降水後再行施工。
- (二) 臨時擋土牆、土墩及護圈施作：因臺中地區表面有一層厚約2-3公尺的表土沖積層，或是回填土層，屬於鬆軟土層，其工程性質差，故施工時候須挖除表層土壤，故須做臨時擋土牆保護工區周邊鄰房。

(三) 工作平台及棄土坑設置：工作平台用來架設三角架及滑輪組，並以捲揚機、吊索及戽斗來吊運土石，並運至棄土溝堆置。

(四) 挖掘及設置護圈：人工樁每日正常挖掘深度約為3m，挖掘完畢後，每日須設置護圈，以確保孔壁穩固，向下繼續挖掘不會有土石崩落。

(五) 吊放鋼筋籠及灌漿：挖掘完成後，確認樁底深度，並吊放鋼筋籠後以特密管澆置灌漿，其施工步驟與照片如下圖13。



挖除表土層，施作臨時擋土



人工擋土柱頂部地坪與護圈



人開挖護圈與消能胎架設



擋土樁深度查驗



半圓鋼筋籠吊放搭接



半圓鋼筋籠完成



人工擋土柱混凝土澆置



開挖側採原土回填

圖13 改良型人工樁施工步驟與照片

肆、實際施工之修正及回饋

一、全套管半圓型擋土樁施工回饋

(一) 半圓形全套管擋土樁是採機械式鑽掘，故初始精度及地面平整度對擋土樁垂直度有一定影響，建議在開挖前

將原地面確實整平，為施工精度之重要因素。另卵礫石大小粒徑不一，在鑽掘時產生不同的阻力會有可能造成開挖後垂直度偏差，在G9-2站地下施工曾發現巨大卵石，鑽掘過程雖可滿足最大容許偏斜度1/200的規定，惟仍有擋土樁入侵狀況需於開挖期間敲

除，衍生工期與費用增加及擋土安全疑慮，若施工空間許可，建議於擋土樁與結構體預留緩衝空間。

(二) 全套管搖管機以扭動將套管壓入土層，套管前方加鉸齒狀鋼材，在扭動的過程將前方土壤粉碎破除，在壓入的過程中，若有粉碎顆粒泥漿被擠出套管外，造成混凝土澆置過程可能有泥漿滲入樁體，而造成樁體局部不連續，開挖後須另外清洗並以無收縮水泥砂漿修復樁體，若有更高施工精度要求與經費許可之前提下，建議可考量使用CLSM取代土石回填，提升施工品質。

(三) 由於鋼筋籠配置並非對稱，鋼筋籠吊放完成後，以搖管機先抽出1m長的套管以澆置混凝土，再依序回填土石、澆置混凝土及拔出套管，但開挖後發現部分樁面仍有旋轉，須打除突出面為其缺點。

(四) 由於半圓形鋼筋籠須使用工作筋增加勁度，在開挖後需切除，增加切除工作時間及材料成本，建議可加強阻隔端板勁度，吊放時並配合採用自動脫鉤器吊放。

(五) 人工樁因施工擾動較小，而全套管擋土樁對周圍的土壤擾動較大，本工程設計為開挖後以掛網噴漿保護樁與樁間裸露壁體，全套管雖安全性較人工樁佳，但開挖後裸露壁體坍塌較為嚴重，壁面保護噴漿混凝土損耗較高。

半圓形擋土樁為國內工程首例，施工人員初期不熟悉作業訣竅，造成混凝土澆置及礫石回填施工時程不易掌控，經多次嘗試皆已克

服，並達成規劃每支2.5日內完成之工率，且半圓樁具相當之經濟效益，可達到節能減碳、增加建物可使用空間與減少公帑支出等目的，以G9-2站為例，即可減少約462ton碳排放量，增加使用面積約228平方公尺，並減少新台幣730萬之混凝土工程經費支出。

二、人工擋土柱施工回饋

半圓形全套管基樁與人工擋土柱於混凝土澆置完成後，需於開挖側回填粒料，採用機械套管施工因需要拔除套管，所以於開挖側土石回填過程中，僅能回填已過篩的礫石，不能直接回填一般土方，避免回填料土方增加材料凝聚力造成卡管，導致拔管困難，施工過程需配合輪流進行分層混凝土澆置與拔管作業，進度較慢且回填礫石噪音大；而人工擋土柱不需拔除套管，可直接回填土方，不須過篩，回填速度快，且因無外套鋼套管與回填土石撞擊，施工噪音小。本次臺中捷運聯開案合計共施作83支人工樁，開挖深度介於23~27m之間，在謹慎與完整防護的施工過程中無任何工安事故發生，且皆已如期完工。

另本次人工擋土柱鋼筋籠分為上下兩節，並於吊放過程中進行搭接作業，惟中部地區人工擋土柱工班僅進行開挖與澆置作業，鋼筋籠製作與吊放定位須由其他工班負責。因聯開案站體工地腹地狹小，通常鋼筋籠製作於工區外加工，以利現場其他項目施工。而人工樁開挖完成後與等待鋼筋籠吊放與搭接作業工班進場，若溝通聯繫狀況不佳增加等待浮時，將有工時增加之疑慮，於施工期間務必特別注意。

本次人工樁開挖深度最深為G8a站，其開挖深度為30.5m，且人工樁直徑只有1.2m，其施工空間相當小，故施工中遭遇不少挑戰，其主要因應對策說明如下表6。

表6 G8a站人工樁施工困難與對策

項目	施工遭遇困難	因應對策
高地下水	所在位置為臺中捷運沿線地勢較低處，其地下水位相當高，約在地下5.9m，開挖降水困難，且外排抽水量非常大	1.依據抽水計算，較相同面積基地需配置更多抽水馬達 2.抽水量大，聯外排水必須先行確認可容納其排水量體
局部不透水層	基地位處於舊河道上，其卵礫石填充粒是透水性差且具黏性之粉質砂土，雖透水係數不如黏土低，但仍妨礙降水。曾出現緊鄰2支人工樁(間距2.4m)出現地下水位分別為30m與18m之情況	採樁體內多加小型抽水井(其馬力約為7.5-10 HP)，邊抽水邊用紅(黏)土攪拌水泥塗抹孔壁進行止水作業
高強度大粒徑卵石	局部有挖掘到粒徑超過1m巨石，範圍超過人工樁範圍，無法挖掘	將樁範圍內巨石加熱再冷卻，反覆作用後讓石頭碎裂，或先鑽孔再擊破後分散運出，切勿大力敲除全部取出，以免產生孔洞，喪失地層既有之自立性
半圓形擋土樁	半圓形擋土樁鋼筋籠吊放時易旋轉，會侵入日後結構體施作空間	鋼筋籠吊至定位後，頂部須加工作筋固定，在灌漿前需調整至定位
半圓形擋土樁	半圓形樁兩側為混凝土與回填礫石，澆置期間兩側高差太大，偏壓會使鐵板變形	混凝土澆置與礫石回填須謹慎控制高差，高差不宜超過3-5m，且施工不宜過快，避免鐵板變形漏漿

其餘各站人工擋土柱施工注意事項說明如下：

- (一) 頂部開挖週邊土壤崩塌之防止：基地降挖時需挖除表土層至穩固之原卵礫石層，因回填層容易崩塌，故必須降挖到未擾動土層施作擋土牆及施工平台，才能避免向下開挖時因上方土層不穩定而發生崩塌。
- (二) 開挖間距須注意調整或採取跳挖施工法：區隔開挖擋土樁，施築完畢後，再進行其他擋土樁之挖掘，施工時對鄰近建築物、圍牆及地面，須加強注意是否因開挖而造成地面裂縫或建物傾斜等可能導致災害之徵兆，方能早期預防及解決。
- (三) 工作平台坑口補強：工作平台坑口須承受各項開挖設備荷重，早期僅澆置PC常因無法承受設備重量而崩塌，建議採用鋼筋混凝土施作平台方能穩固，操作時注意捲揚機受力狀況及對

洞口週邊土層影響，勿造成土石鬆動崩塌；另棄土坑邊緣與人工樁應距離2公尺以上，並對地面上排水予以規劃其流向，並設置截排水溝降低水對土層強度影響。

- (四) 開挖側壁崩塌之防止：施工時應保持側壁垂直度，不可超出開挖設計容許範圍或產生偏心情形，以免側壁不穩定而崩塌，在吊運物料及人員上下坑時，應緩慢吊放以免速度過快不易控制而碰觸側壁，造成土石掉落。

人工擋土柱施工安全經改良方案實作後，在進度控制、工程成本與安全性提升等方面仍具高度競爭力，希望藉由本次案例經驗回饋降低外界對人工樁施工風險的疑慮。但人工樁施工安全仍仰賴第一線施工人員安全意識與施工經驗，增設之安全設施只能降低風險發生的影響程度，因此讓施工人員適應改良型作業方式與危機意識才是人工樁零工安的關鍵要素。

三、卵礫石層深開挖施工回饋

(一) 在無降水的狀況下，卵礫石層地質材料強度甚佳，理論上深開挖工程可行性應相當高，但應審慎防止其他地表水或是基地周邊之地下管線漏水，避免滲漏導致細粒料流失而衍生其他災害，若於施工中發現有大量且持續性的不明滲水情形，在排除非自身因素後，應暫時停止冒進之開挖作業，立即通知相關管線主管機關進行會勘釐清滲水權責，並盡速進行修復。

(二) 卵礫石層深開挖期間擋土樁變形量較小，若由監測儀器發現變形量有成長趨勢，即使尚未超越警戒值，仍須預先處理與加強觀察。另柱間噴凝土壁體屬柔性結構，因壁面鋼線網具延展性，除非大規模破壞，否則應不易有立即破壞現象，於開挖期間壁面仍應每日加強目視巡檢，觀察是否有壁面凸出變形或滲水，以確保施工安全。

經上述各項討論，深開挖風險隨著開挖深度增加使得風險影響程度持續加劇，絕不允許當開挖深度已達筏基深度之最高風險時期於排水系統或擋土支撐系統有任何狀況產生。若能在開挖初期將所有風險因子詳列並予以檢討排除，對後續開挖安全性與效率則可大幅提升。

四、未來設計調整及精進

(一) 根據前述之施工經驗，卵礫石層之特性讓抽水有極大之挑戰，若能於設計階段取得較大空地及經費許可下，建議可進行現地抽水試驗，以利施工經費之估算。

(二) 台中卵礫石堅硬且粒徑巨大，在設計階段必須提前思考施工機具之施工空間，避免用地與既有結構物衝突之情形。

(三) 因應台中卵礫石地質之特性，設計參數可酌予提高，較能反映出現場實際狀況，讓整體設計更為精進。

伍、結論

臺中盆地之地質特性使人工擋土柱幾乎成為深開挖擋土工法之主流工法，然因此工法特性，歷年已有多起致死傷之勞安災害，雖有相關作業安全規定及防護設施，常因工率或成本因素無法落實於現場作業中。本文目的在於拋磚引玉，藉由公共工程對於行之有年的人工擋土柱工法進行微整型，期待有更多業主、設計單位及業者持續腦力激盪與現場驗證，在不影響工率及不大幅增加成本狀況下，改善此工法之安全性。



圖14 G9-1站開挖出露之卵礫石層中夾細砂層

參考文獻

1. Khoiri, M., Ou, C.-Y., and Teng, F.-C. (2014). "A comprehensive evaluation of strength and modulus parameters of a gravelly cobble deposit for deep excavation analysis", *Engineering Geology*, Vol. 174, pp. 61-72.
2. 鄧建華、洪增隆、曾彥人、張志銘，(2014)，「慈濟車行地下道開挖採機械式擋土柱施工實務」，*中華技術*，第104期，第122-133頁。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，(2013)，*捷運烏日文心北屯線土地開發場站共構設計委託技術服務案地質鑽探報告*。
4. 臺中市政府，(2010)，*手掘式基樁施工規範*。
5. 林商裕，(2002)，*臺中都會區卵礫石層動態特性之研究*，博士論文，中興大學。
6. 行政院勞工委員會，(1997)，*卵礫石地區開挖安全問題之探討*。
7. 行政院勞工委員會，(1999)，*擋土柱施工崩塌防護裝置研究*。
8. 張吉佐、陳逸駿、嚴世傑、蔡宜璋，(1996)，「台灣地區中北部卵礫石層工程性質及施工探討」，*地工技術*，第55期，第26 - 35頁。
9. 鄭富書、褚炳麟、林政翰、黃泰霖，(2000)，「擋土柱支撐礫石土之行為分析」，*中國土木水利工程學刊*，第十二卷第一期，第63-72頁。
10. 中興大學，(2011)，*臺中市政府手掘式基樁設計規範委託研究案基末研究報告書*。
11. 蔡明欣、陳錦清、王銘德，(1995)，「台灣西部地區卵礫石層現地抗剪強度研究」，*國際卵礫石層地下工程研討會*，第1-21~1-30頁，1995年3月23-24日，臺北。
12. 吳文隆、何泰源、林俊良，(1995)，「台灣地區卵礫石層之工程特性」，*國際卵礫石層地下工程研討會*，第1-61~1-72頁，1995年3月23-24日，臺北。
13. 王宗裕，(2009)，*臺中都會地區人工擋土柱工法作業價值之研究*，碩士論文，逢甲大學。
14. 「JJG091臺中捷運烏日文心北屯線出入口與土地開發場站共構第一區段標工程」G9-1、G9-2土開大樓補充地質調查計畫。
15. 「JJG091臺中捷運烏日文心北屯線出入口與土地開發場站共構第一區段標工程」G9站-1&G9站-2全套管擋土樁施工計畫。

16. 「JJG051 臺中捷運烏日文心北屯線出入口與土地開發場站共構第二區段標工程」半圓全套管擋土樁施工計畫。

17. 「JJG051臺中捷運烏日文心北屯線出入口與土地開發場站共構第二區段標工程委託監造服務」監造計畫。

18. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，2013，捷運烏日文心北屯線土地開發場站共構設計委託技術服務案地質鑽探報告。

19. 褚炳麟等，台灣西部卵礫石層現地之大地工程性質大地工程性質，地工技術，第55期(民國85年6月)，P.47-58。



影像式智慧橋梁檢測作業系統之開發



關鍵詞(Key Words)：攝影測量(Photogrammetry)、機器學習(Machine Learning)、橋梁檢測(Bridge Inspection)、劣化區(Deteriorated Area)、無人機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)

國立成功大學／測量及空間資訊學系／教授／饒見有 (Rau, Jiann-yeou) ❶

國立成功大學／測量及空間資訊學系／博士後研究員／詹鈞評 (Jhan, Jyun-Ping) ❷

財團法人中華顧問工程司／設施管理研發中心／正工程師／蔡欣局 (Tsai, Hsin-Chu) ❸

財團法人中華顧問工程司／設施管理研發中心／工程師／周姿良 (Chou, Tzu-Liang) ❹

財團法人中華顧問工程司／設施管理研發中心／主任／王瑞麟 (Wang, Jui-Lin) ❺



摘要

橋梁檢測最基本檢測方式為目視檢測，由檢測人員以目力巡視橋梁構件外觀，就其損壞狀況逐一拍照與記錄，並依其所受之專業訓練、經驗進行評等分級。然而上述程序所拍攝之照片沒有量測與定位能力，且難以達到事後檢核與變異偵測的目的。此外，若遇到人員不易到達或無法以近距離觀測的橋梁，例如跨河橋或跨山谷橋，則需採用人員吊掛或橋檢車近距離檢測，容易造成人員安全與經費工時增加的問題。目前世界各國公路維護單位已逐步採用無人機或機器人協助拍攝影像，以達到間接目視檢測的目的。由於大量的影像，透過人眼逐一檢視，將是繁重費時的工作。因此，本研究提出影像式智慧橋梁檢測作業程序，讓操作人員透過視窗操作軟體在室內進行橋梁檢測，包括使用人工智慧機器學習技術從大量影像中自動判識劣化區，並透過攝影測量技術協助三維定位，以達到多時期劣化區變異偵測與量化的目的。本研究所建議之標準作業程序經過五座2-3跨混凝土橋梁的實際測試，驗證本研究所提出之作業程序，對視覺式橋梁檢測已可達到相當高的實用性。



Development of an image-based smart bridge inspection system

Abstract

The fundamental method of bridge inspection is the human visual inspection, i.e. the inspector has to exam the bridge surface visually. If any deterioration has observed, then take photo for recording and judging its damage level according to the professional training and experience. However, the photos taken by the above procedure are not suitable for measurement and positioning, particularly not capable of posterior quality check and change analysis. In the meantime, for bridges that were constructed above river or valley are difficult to reach its bottom for close-range inspection, then the inspector may need to be hanging by a rope or carrying by a bridge inspection vehicle. It will introduce higher risk to human life and increase the cost and work time. Therefore, most of the road maintenance agency in the world are trying to utilize unmanned aerial vehicle (UAV) or robot to take images and indirectly assist the bridge inspection. However, it is tedious and time consuming to inspect the acquired massive images one-by-one by human eyes. Thus, in this study we suggest an image-based smart bridge inspection procedure that allow the inspector to check the bridge surface within the office through a windows-based software. It includes the use of artificial intelligent method through machine learning to recognize the deteriorated area from the acquired images automatically, determining the position of the deteriorated area through photogrammetric techniques, and achieve the purposes of multi-temporal change analysis and quantization. The proposed operational procedure has been verified by 5 concrete bridges with 2-3 sections long. It proves that the proposed procedure can reach high feasibility to vision-based bridge inspection.

壹、前言

根據交通部運輸研究所統計，全台灣橋梁數量有兩萬八千多座，包含交通部及各縣市政府所轄橋梁。近年來，UAV技術及運用範圍快速發展擴大，使用UAV可以幫助減少橋梁檢測的成本，同時降低現有橋梁檢測方法的風險。因此，如何運用UAV有效的協助進行橋梁檢測，乃是深具發展潛力的新興課題。此外，根據交通部公路橋梁檢測及補強規範之規定(交通部,2018;交通部,2020)，橋梁檢測以目視為主，儀器為輔，於特定週期和特別時期，對橋梁構件進行合宜之檢測，以期提早發現問題，掌握損傷劣化情況，採取必要之對策，使橋梁保持於良好狀態。檢測除以繪圖或照片記錄劣化或損傷部位外，宜以量化方式評估各構件之劣化情形，建立橋梁現況之基本評估資料，再依各構件權重計算該座橋梁現況之綜合評估分數，及該座橋梁之狀況指標，以作為維修補強優選排序之依據。檢測時需判定劣化程度(Degree)(D值)、劣化範圍(Extent)(E值)、劣化情況對橋梁結構使用性及用路人安全性之影響(Relevancy)(R值)，以及劣化構件處置急迫性(Urgency)(U值)(交通部,2018;交通部,2020)。其中，定期檢測是以目視搭配便於攜帶之工具進行檢測，目視可分為直接目視與間接目視。直接目視係指檢測人員以肉眼直接檢視橋梁構件；間接目視係指檢測人員使用望遠鏡、高解析度相機、無人遙控載具、工業內視鏡等拍攝影像，或以重錘、水準尺、測距儀等易於攜帶之設備測得數據，再由檢測人員進行判斷(交通部,2018;交通部,2020)。

有鑒於上述規範之橋檢程序所拍攝之照片並沒有量測與定位的能力，且難以達到事後檢核與變異偵測的目的。此外，若遇到人員不易到達或無法以近距離觀測的橋梁，例如跨河橋或跨山

谷橋，則需採用人員吊掛或貴重的橋檢車進行近距離檢測，將會造成人員安全與經費工時增加的問題。因此，如何透過快速、可靠、準確的人工智慧技術，自動檢測無人機所拍攝之大量影像，偵測得到各式劣化區域，例如混凝土裂縫等，同時達到三維定位的目的，以便後續觀察是否持續惡化的問題。因此，本研究乃提出影像式智慧橋梁檢測作業程序，讓操作人員透過視窗操作軟體在室內進行橋梁檢測，包括使用人工智慧機器學習技術從大量影像中自動判識劣化區，並透過攝影測量技術協助三維定位，以達到多時期劣化區變異偵測與量化的目的。

貳、影像式智慧型橋梁檢測作業程序

圖1為本研究提出之影像式智慧橋梁檢測作業流程圖，為了達到自動化檢測之目的，必須先建立橋梁三維模型，故在進行無人機航拍後先建置密集點雲，再以人工數化橋梁表面矩

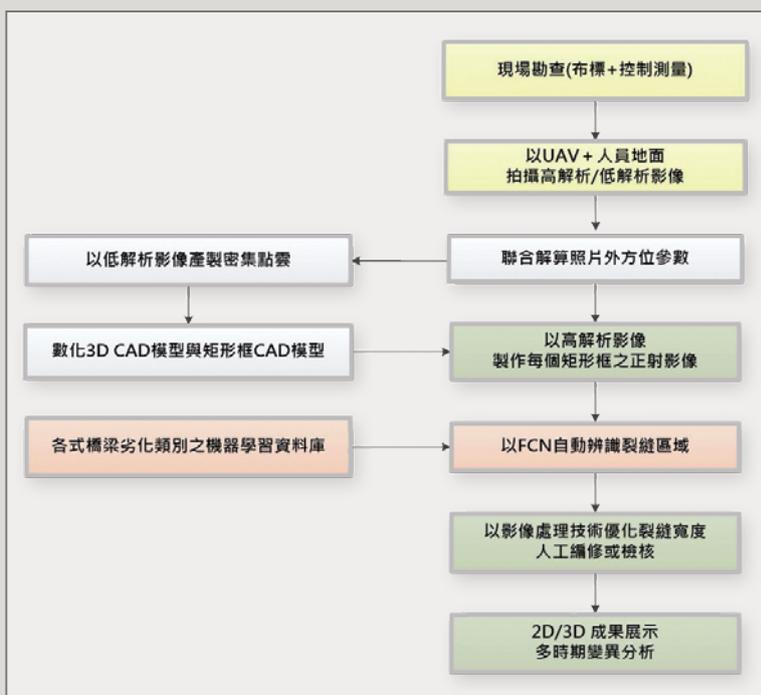


圖1 影像式智慧橋梁檢測作業流程圖

形框，再針對每個矩形框製作正射影像，並在正射影像上進行裂縫偵測。本研究採用機器學習(Machine Learning)的全卷積網路(Fully Convolution Network, FCN)[Long et al., 2015]技術自動偵測裂縫，接著以影像處理優化裂縫寬度，同時進行向量化、計算裂縫寬度與長度等，並轉換成3D模型，以便於套疊在橋梁構件3D模型上協助橋梁檢測。為了橋檢人員作業需求，本研究同時開發一使用者視窗介面，稱為LOC6D，可以讓橋檢人員在電腦前根據每個橋梁構件，設定DERU與相關劣化參數，而若有同一座橋多時期劣化區，亦可比對判識是否有持續惡化的情形，以評估該橋梁結構是否安全？以下詳細說明每個步驟。

一、現場勘查與地面控制測量

為確保無人機航拍作業安全，作業前應先了解橋梁附近之環境，是否有竹林、樹木、管線橋等物體太靠近橋梁，而影響無人機飛行。此外，為了後續管理大量橋梁檢測資料，本研究建議將所有橋梁三維模型都建立在相同的地圖座標系統，例如TWD97。故在進行無人機航拍前，先使用國土測繪中心之VBS RTK技術(eGNSS)測量地面控制點絕對地理坐標，並轉換到TWD97與正高系統。方便起見，建議地面控制點可以選用測區內的既有控制點或橋面上道路邊界線之角落。

二、無人機航拍影像與橋梁三維模型數化

為了製作完整的橋梁三維模型，可以採用具有廣角、中低解析度、可上下180度轉動相機的空拍機，例如Parrot Anafi，進行高重疊且有規則的拍攝橋梁各處表面。此中低解析度影像將來亦可協助混凝土剝落、鋼筋外露或鏽蝕、滲水白華等劣化區之人工智慧自動判識。但若為了偵測裂縫如此細小的劣化區，則需另外利用類似Sony A7r2之類的高解析數位相機，搭配

50mm鏡頭，在離橋梁約2-3公尺處正對橋梁拍攝，可達到0.2-0.3mm之空間解析度。由於大梁與橋面板間之空間較狹小，則只能採用傾斜方式拍攝大梁之側面。此外，拍攝時若因為周遭環境與空間之限制，考量無人機安全問題，亦可以長桿架設數位相機方式進行近距離拍照。

接著，將兩種影像同時以Metashape軟體，透過SFM(Structure from Motion)技術[Furukawa, et al., 2009; Nurutdinova & Fitzgibbon, 2015; Carrivick et al., 2016]進行空三平差與相機率定，以獲取照片之內、外方位參數。並且在確定地面控制點與檢核點之定位精度符合需求後，再使用密集影像匹配技術[Hirschmüller, 2008; Furukawa, et al., 2010]產製密集三維點雲。接著，即可使用類似SketchUp或Revit等商用軟體，數化橋梁3D CAD模型，同時將橋梁表面切割或數化成許多矩形框多邊形。此時，若為了後續能夠以構件為單位進行橋梁檢測，則需進一步將屬於同一構件之矩形框，合併歸類為同一群組，並按照構件編號命名。

三、正射影像製作

圖2為影像正射化示意圖，圖中左邊橋梁表面矩形框，其四個角落之地理座標可從前述橋梁表面矩形框數化過程得知，其大小約50cm X 50cm。首先，在上面以0.2mm之距離進行切割，可以得到2500 x 2500個小矩形框，每個小矩形框之地理座標 (X_a, Y_a, Z_a) 亦可推算得知。接著，利用攝影測量的共線條件式(式1)，反投影到影像平面得到影像座標 (x_a, y_a) ，進而內插得到灰度值，並儲存在右下角的正射影像對應的行列中。式1中的 (X_0, Y_0, Z_0) 與 (ω, φ, k) 為相機之外方位參數，也就是位置與旋轉角，其中旋轉角可用以計算得到 $m_{11} \sim m_{33}$ 。另外， (x_p, y_p, c) 為內方位參數之像主點座標與鏡頭焦距， $(\Delta x, \Delta y)$ 為相機附加參數(含透鏡畸變差)，可歸納在內方位參數中。

$$x_a = x_p - c \frac{m_{11}(X_A - X_O) + m_{12}(Y_A - Y_O) + m_{13}(Z_A - Z_O)}{m_{31}(X_A - X_O) + m_{32}(Y_A - Y_O) + m_{33}(Z_A - Z_O)} + \Delta x$$

$$y_a = y_p - c \frac{m_{21}(X_A - X_O) + m_{22}(Y_A - Y_O) + m_{23}(Z_A - Z_O)}{m_{31}(X_A - X_O) + m_{32}(Y_A - Y_O) + m_{33}(Z_A - Z_O)} + \Delta y$$

.....(1)

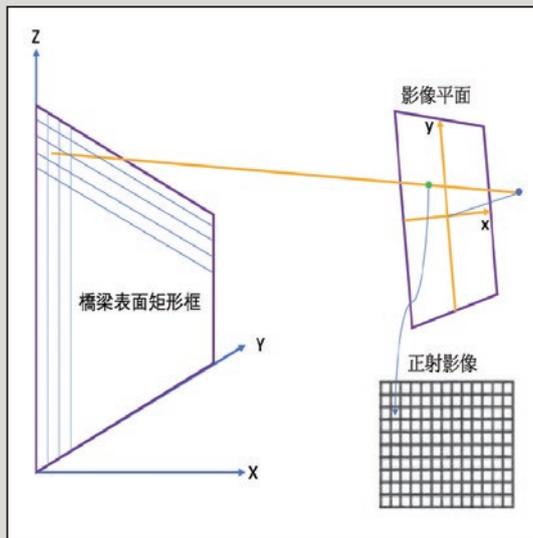


圖2 影像正射化示意圖

在本研究開發之橋梁檢測視窗操作系統(LOC6D)中，可將高解析影像、內外方位參數與矩形框CAD模型匯入，並批次產製每個矩形框之正射影像。接著，針對每張正射影像應用人工智慧機器學習技術自動偵測裂縫區域，再利用影像處理技術將裂縫區域中非裂縫部分刪除，以便優化裂縫寬度。接著，進行向量化，以便計算裂縫寬度、長度與面積等，並轉換成裂縫3D模型。最後，可透過3D視窗展現整座橋梁或某構件之3D模型，同時套疊裂縫3D模型，以協助橋梁檢測設定DERU值與其他橋檢項目，例如構件編號、損壞位置、劣化類型、損壞原因、建議維修工法、數量、單位、單價、備註、3D模型與2D影像截圖等等。這些橋檢成果可以CSV檔案格式儲存，協助製作橋檢報告。

四、建立各式橋梁劣化類別人工智慧機器學習資料庫

本研究基於TensorFlow開發偵測各式劣化類別之演算法，TensorFlow為Google所開源的機

器學習函式庫，具有優異的性能表現及活躍的開發者社群，是目前深度學習的主流框架，透過TensorFlow提供的API，開發者可以輕鬆地建立所需的模型架構，還可在訓練或測試過程中使用TensorBoard可視化套件進行成果的展示，令參數的調整更加簡單。除此之外，TensorFlow靈活的框架也是它的優勢所在，使用TensorFlow開發的套件可輕鬆地在CPU、多GPU或TPU上進行訓練，訓練出的模型也可移植到移動設備或部署在伺服器及網站上供他人使用。最重要的是，TensorFlow由Google開發與維護，除了可以保障支援及更新的持續性，其龐大的社群亦分享了許多開放資源及經驗供他人瀏覽，使得套件功能的擴充或維護更加容易。

近年來，卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)為影像分類的趨勢，其先透過逐層的卷積層來提取出影像中的特徵，最後再使用全連接層輸出各個分類類別的機率預測值。雖然CNN的分類準確度明顯高於傳統的機器學習方法，但由於全連接層的緣故，輸入的影像必須是固定的大小，且網路的輸出值為整張影像的類別，而非逐像元的預測，因此後來衍伸出了稱為全卷積網路(Fully Convolutional Network, FCN)的技術。

FCN與一般CNN最大的不同在於FCN以卷積層取代了全連接層，也因此FCN可輸入任意大小的影像並進行像素級的預測，從而解決了計算機視覺領域中被稱為語義分割(Semantic Segmentation)的問題，因此本研究也是採用FCN技術裂縫偵測。

FCN為了預測每個像元所屬的類別，網路最後一層的輸出維度為 $H \times W \times C$ ，其中H及W為影像的高與寬，C則為類別數量，而在C的維度方向上會使用Softmax函數進行處理，該函數可以對數值進行正規化，使得每一個數值的範圍都被壓縮在0與1之間，且所有數值的總和為1，

因此可用以表達該像元在各個類別的機率值。

一般來說，多數的模型皆直接採用機率值最高的類別作為該像元的輸出類別，但也可自行設定機率門檻值以獲得符合需求的成果。從應用面來說機率門檻大都設定為0.9，相當於具有90%的信心水準，但本研究為了減少漏授誤差(Omission Error)，故設定為0.5，以便將機率圖轉換為二值化影像。問題是因為調降了門檻，故會增加誤判(誤授誤差Commission Error)，所以偵測得到的裂縫會比較寬，也就是會偵測旁邊的非裂縫區域。故後續本研究再利用影像處理技術，偵測及刪除非裂縫部分，以提升裂縫寬度之準確度。由於正射影像已經過幾何改正，包括幾何變形、透鏡畸變與尺度修正等，因此正射影像上每個像元都具有0.2 mm的絕對尺寸。因此透過裂縫的畫素數量，即可推算得到裂縫之長度與寬度。接下來，將二值化裂縫影像轉換成向量資料，並計算裂縫長度、面積與寬度，再轉換成3D模型，以便與橋梁3D模型套疊，同時根據裂縫寬度給予不同顏色，以提升橋梁檢測之方便性。

在自動辨識裂縫的精度分析部分，本研究利用實體橋梁所拍攝的橋梁表面裂縫影像進行訓練、驗證與測試，共127張影像經人工編碼後依照70%、20%及10%的比例分為訓練資料集、驗證資料集及測試資料集，各個資料集間無重複資料以確保精度分析的客觀性。

在完成模型訓練後，本研究另以13張影像進行測試，透過混淆矩陣(confusion matrix)來分析裂縫辨識的精度。表1為模型在測試資料集上的混淆矩陣精度分析成果，從混淆矩陣中可以發現背景與裂縫的像元數差異相當大，其比例約為278：1，但得益於訓練策略，類別像素數量不平衡的問題得以解決，最終在裂縫類別達到了93.66%的高生產者精度，符合本研究的需求。但上述成果使用者精度仍很低，主要是

誤授誤差較大，這是為了避免增加漏授誤差所導致的結果。由於任何自動辨識都會有誤授與漏授，而漏授部分若要以人工編修去增加，會比較花時間。但誤授誤差大，後續可以透過使用者介面，半自動刪除錯誤偵測的部分。待未來獲取更多的橋梁裂縫影像並擴展訓練資料庫後，可望再進一步擴展模型的通用性，提升裂縫類別的使用者精度及Kappa值以減少後續的人工編修處理。圖3為模型於測試資料集的預測成果範例，其中紅色標記為True Positive，藍色標記為False Positive，黃色標記為False Negative。

混淆矩陣是遙測領域和機器學習領域普遍使用的精度分析方法，其原理是應用已知類別之參考資料，或稱地真資料(Ground Truth)來評估分類的正確率，常用的指標包括整體精度、生產者精度、使用者精度及Kappa值，以下分項說明。

(一) 整體精度

整體精度為正確分類的像元數(混淆矩陣中的對角元素)佔總像元數的比率，雖然概念上相當直觀，但在本研究的測試影像中，由於屬於背景類別的像元佔大多數，因此整體精度高不能直接代表裂縫偵測成果佳。

(二) 生產者精度

生產者精度為分類正確的像元數除以地真資料中屬於此類別的像元數總和。當裂縫類別的生產者精度高時，表示偵測的成果幾乎涵蓋了真實屬於裂縫的像元，由於本研究後續還會以人工編修的方式細化裂縫偵測成果，因此需要較高的生產者精度來確保影像中的裂縫像元幾乎都被偵測出來。

(三) 使用者精度

使用者精度為任一類別中分類正確的像元數除以分類後被歸為此類別的像元數總和。同樣以本研究的類別為例，當裂縫類別的使用者精度高時，表示偵測出來為裂縫的像元中很大部分真的為裂縫，但無法保證影像中的裂縫像元都被偵測出來。

(四) Kappa值

Kappa值是用來衡量分類結果比隨機分類好多少的量化指標，其值介於0到1之間。一般而言，Kappa值越大越好，但基本上高於0.8就表示分類模型的表現已經足夠應用需求。

參、橋梁檢測專用視窗操作管理系統

圖4為本研究針對影像式橋梁檢測所開發之LOC6D橋梁檢測系統，具有之功能包括建置單或多時期專案(如圖4a所示包括橋梁3D模型、照片之內外方位參數、影像儲存目錄等)、開啟專案、編修專案內容、搜尋矩形框對應之原始影像、製作正射影像、展示原始影像/正射影像、AI裂縫偵測、裂縫寬度優化、向量化與簡單化、於正射影像上展示裂縫、展示橋梁/構件3D模型、套疊展示劣化區3D模型、同步連動多時期3D模型、製作各式劣化區3D模型、DERU設定與檢核等。

表1 模型於測試資料集之混淆矩陣成果

單位：像元		地真資料			使用者精度(%)
		背景	裂縫	總計	
分類結果	背景	12,903,252	2,954	12,906,206	99.98
	裂縫	50,139	43,655	93,794	46.54
總計		12,953,391	46,609	13,000,000	
生產者精度(%)		99.61	93.66		
整體精度：99.59%，Kappa值：0.62					

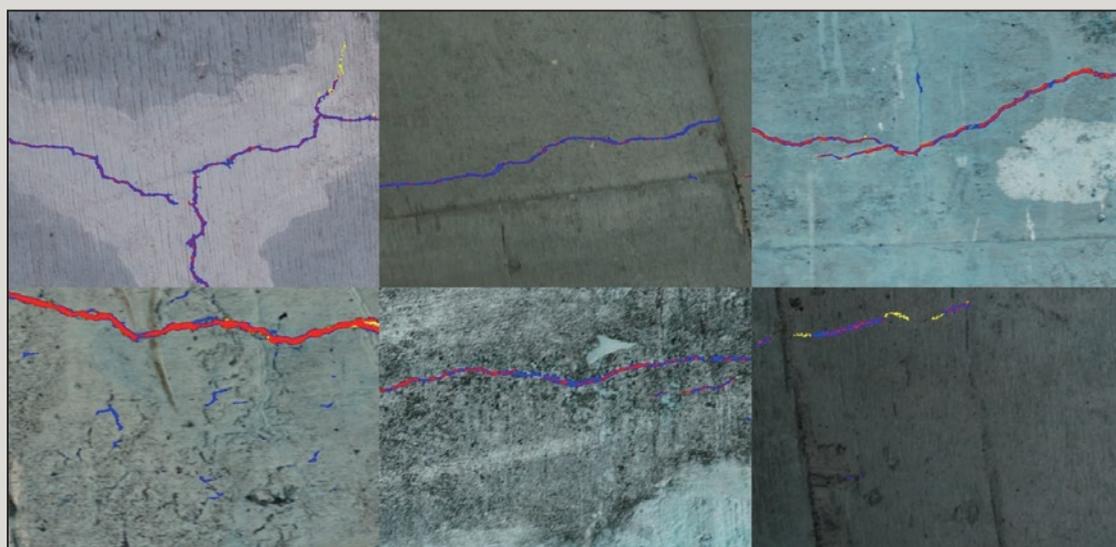


圖3 裂縫偵測成果範例，其中紅色標記為True Positive，藍色標記為False Positive，黃色標記為False Negative。

當檢測人員於3D視窗(圖4b)中瀏覽整座橋模型時，可以縮放、平移與旋轉3D模型，若點選某個構件，亦會在整座橋3D模型中，以紅色呈現該構件在整座橋之相對位置。而在3D模型上可敷貼AI裂縫偵測後之黑白裂縫影像(圖4d)，也可以敷貼正射影像(圖4e)，同時可以套疊裂縫3D模型，此時本系統會以不同顏色顯示不同寬度(w)之裂縫。如圖4e右下角該圖中的綠色表示 $w \leq 0.3\text{mm}$;黃色w在0.3-0.6mm之間;洋紅色(Magenta) w 在0.6-1mm之間;紅色 $w \geq 1.0\text{mm}$ 。而由此圖觀察到裂縫之顏色主要是黃色與洋紅色，表示其寬度大都小於1mm。

此外，若想仔細觀看裂縫與正射影像之套疊情況，可在3D模型上任意位置雙擊，即可透過二維視窗(圖4c)觀看滑鼠雙擊位置之高解析正射影像與套疊裂縫偵測成果。最後可以針對個別構件進行橋梁檢測，並根據TBMS之標準設定相關橋檢項目，如圖4f所示，例如構件編號、損壞位置、劣化類型、損壞原因、建議維修工法、數量、單位、單價、備註、3D模型與2D影像截圖等等。這些橋檢成果以CSV檔案格式儲存，可協助製作橋檢報告。而完整橋梁模型上亦會以不同顏色顯示該構件之位置，以了解該

構件於整座橋梁之相對位置。最後，若同一座橋梁在不同年度有拍攝高解析影像，即可透過相同程序進行裂縫之檢視，同時進行多時期變異分析，了解裂縫是否有變寬或變長等惡化情形。

圖5為某座高架橋下的橋墩，其高度10.3米、寬度10.9米、厚度2.6米。在建置3D模型時以無人機環繞此橋墩拍攝了186張影像，而為了偵測裂縫使用了Sony A7r3搭配55釐米定焦鏡頭，拍攝了1044張照片，但從圖5a之3D模型正射影像貼圖上可以看到部分白色區域，表示拍攝時照片之間的重疊率不足，導致無法製作出完整的正射影像。而從圖5可以看出此橋墩上到處都有裂縫，主要顏色為黃色與洋紅色，表示裂縫寬度也大都小於1mm。

圖6為某座橋的四個橋墩，首先從3D模型可以看出此座橋的墩體構造有三種形式與大小，而左二圖(P1-1 & P1-2)的外表另以鋼板保護，因此有些鏽蝕現象。而帽梁部分除了大都有髒污情形外，僅右下圖之P2-2有較嚴重的裂縫，但其裂縫寬度也大都是在1mm以內。



圖4 LOC6D橋梁檢測系統

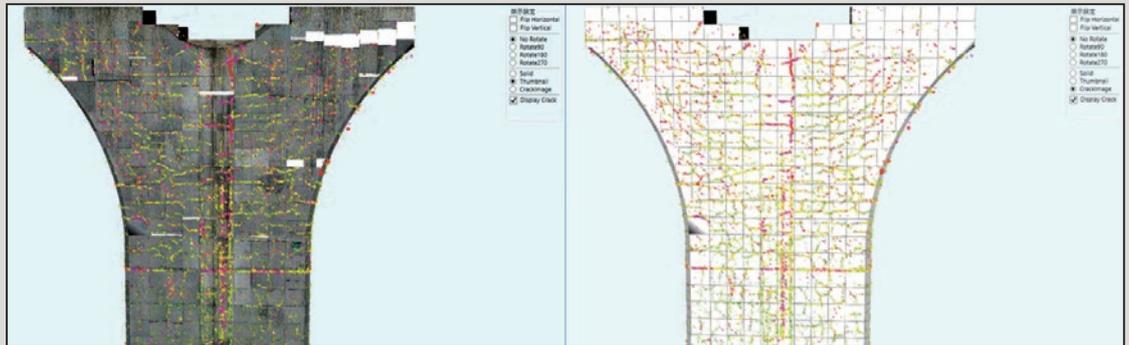


圖5 某橋墩3D模型上套疊裂縫之成果

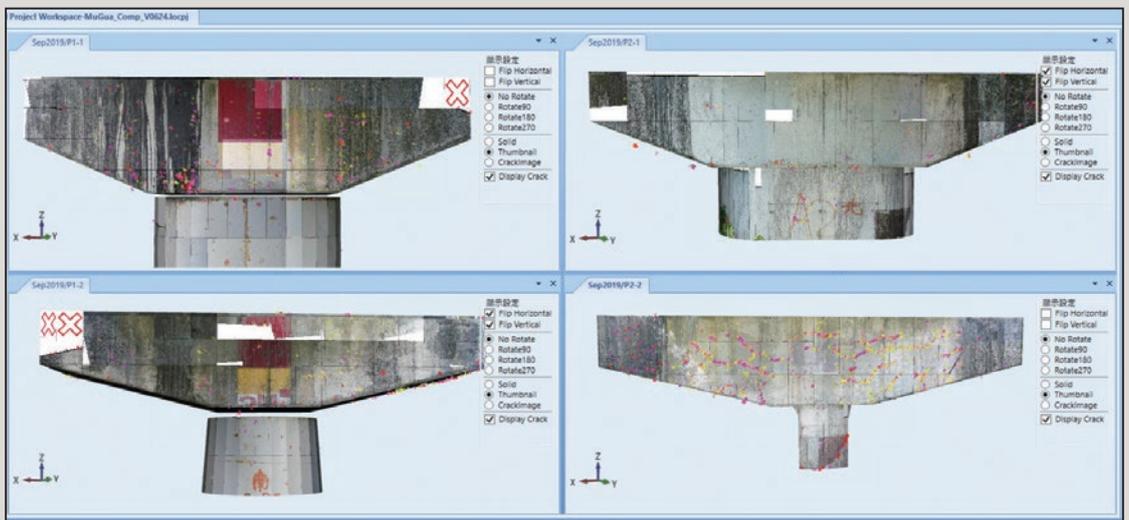


圖6 某橋梁四座橋墩3D模型上套疊裂縫之成果

肆、結論與建議

本研究所建立之橋梁檢測標準作業程序與所開發之LOC6D橋梁檢測作業系統，已透過四座2-3跨混凝土橋梁與一座大型橋墩的實際案例測試，證明其落地實用性相當高。而此標準作業程序與檢測系統亦可應用在水壩、隧道、邊坡、堤防、道路鋪面與所有混凝土建築物之劣化檢測。此外，經過本研究完整測試整個橋梁檢測標準作業程序後，仍發現一些問題，仍待未來繼續改善。例如：

- 由於橋梁下較為陰暗，若相機沒有補光設備，很難獲得足夠亮度，因此曝光時間需要增長，加上拍照時無人機或手持

長桿會移動與震動，很容易造成影像模糊。影像若有模糊或過暗現象，會影響到後續空三平差解算之精度，造成密集點雲誤差較大，以及有些正射影像無法透過AI偵測得到裂縫，結果造成裂縫中斷不完整。

- 目前拍攝方式沒有辦法設定航線，也無法有規則的飛行與拍照，因此照片間的重疊率有時太多造成浪費，有時太少造成空隙，導致正射影像拼接後仍不完整，使得後續裂縫偵測成果也會不完整。此問題仍有待無人機公司，提升其無人機在橋梁下無GNSS訊號時之定位導航技術。

- 目前採用之FCN裂縫偵測成果會導致裂縫過寬，還需進行影像後處理進行優化。若影像品質不佳有雜訊或橋梁表面有髒污，也會導致裂縫優化成果有雜訊。因此，未來仍需進一步探討其他機器學習技術，是否可能直接偵測到一個像元寬度的裂縫？此外，目前AI自動偵測的劣化類別僅有裂縫一項，而使用之訓練資料數量與多元性仍不足，造成準確度與劣化類別有不足現象，尚無法完全滿足影像式橋檢作業的所有需求。故未來仍需要增加更多訓練資料，除了混凝土裂縫外再增加其他類別的判釋，包括混凝土剝落、鋼筋外露或銹蝕、滲水白華等。
- 目前開發之LOC6D作業系統，在3D展示介面上仍不夠平順，一開始開啟3D模型時需花許多時間、耗費大量記憶體、一般電腦在瀏覽時會有斷斷續續現象、3D瀏覽與操作模式仍不夠友善等。故未來仍有需要透過多重解析度資料格式與3D渲染技巧來提升其效能。
- 多時期變異分析部分，目前僅能以人眼判斷其差異。未來應該進一步提升到自動辨識、計算與統計的程度，並可透過查詢進一步以人工進行視覺化檢視，以協助橋梁檢測。

參考文獻

1. Carrivick, J., Smith, M., Quincey, D., 2016. Structure from Motion in the Geosciences.
2. Hirschm Iler, H., 2008. Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 30(2), 328-341.
3. Long, J., Shelhamer, E., Darrell, T., 2015. Fully convolutional networks for semantic segmentation, Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 3431-3440.
4. Nurutdinova, Andrew; Fitzgibbon, Andrew (2015). "Towards Pointless Structure from Motion: 3D reconstruction and camera parameters from general 3D curves", Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2015).
5. Yasutaka Furukawa and Jean Ponce. Accurate camera calibration from multi-view stereo and bundle adjustment. International Journal of Computer Vision, 84(3):257 - 268, September 2009.
6. Yasutaka Furukawa, Brian Curless, Steven M. Seitz, and Richard Szeliski. Towards Internet-scale multiview stereo. In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2010.
7. 交通部，「交通技術標準規範公路類公路工程-公路橋梁檢測及補強規範」，交通部頒布規範，臺北，臺灣 (2018)。
8. 交通部，「交通技術標準規範公路類公路工程-公路橋梁檢測及補強規範」，交通部頒布規範，臺北，臺灣 (2020)。

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（居中）

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).



前瞻軌道建設計畫中有關都市興建捷運系統，已在北中南各大都會積極展開。為了讓讀者瞭解捷運建設在桃園、台中及高雄都會區的進展及願景，本期人物專訪很榮幸的邀請到桃園市捷運局陳局長文德、臺中市交通局葉局長昭甫及前高雄市捷運局范局長揚材，來暢談他們推動捷運建設的理念與未來發展願景。

桃園捷運以「三心六線」為第一階段的捷運路網，其中機場捷運已營運，目前正在進行機場延伸中壢及桃園綠線的施工，未來藉由捷運機場線、捷運棕線及三鶯線，與大台北都會區捷運系統形成便捷的北北桃捷運系統，打造1小時可及的北北桃軌道生活圈。

臺中捷運綠線目前正在進行試運轉，可望於今年底順利通車。臺中捷運路網短期內可期待完成的願景，包括：捷運綠線、臺鐵高架化(已完成之臺中區域)、捷運藍線(綜合規劃中)以及機場捷運(可行性研究中)等，串連四大轉運中心及五條幹線公車，建構大臺中複合式交通運輸系統。並推動TOD搭配TIF，讓捷運建設與都市發展同時並行。

高雄的捷運工程建設是延續中央擘劃的「幸福大南方計畫」的捷運藍圖，目前正在進行岡山路竹延伸線第一階段及輕軌的施工，而岡山路竹延伸線第二階段已進入基本設計階段，是短期內可以實現的目標，完工後將串聯高雄科學園區及岡山本洲等工業園區形成產業廊帶，提供大量的就業機會及快捷便利的大眾運輸服務。未來則加速建構屬於高雄特有的「雙軸」、「雙環」、「四連結」、「北環圈」、「南環圈」、「西環圈」、「東環圈」及「跨域延伸」之整體路網。

在三位局長的訪談中，提出了一個很有創意的發想，未來軌道建設將融入於我們的生活環境中。車站除了提供旅客上下車的機能外，可能結合土開附設超市、餐廳、運動中心、補習班、小型醫院或診所、美容店、幼稚園、托兒所或老人安養中心等等設施，把整個生活機能都帶到捷運站或火車站，來滿足民眾的需求。民眾從上班到下班回家，所有要辦的事情，都可藉由搭乘軌道運具一路完成，類似日本在軌道宅的相關開發構想，頗值得我們參考學習。

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。

 **財團中華顧問工程司**
法人 **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>



金門大橋大鵬展雙翅，第一對預鑄節塊吊裝揭開序幕



Creativity · **E**xcellence · **C**onservation · **I**ntegrity

台北市11491內湖區陽光街323號
No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN
Tel:(02)8797-3567 Fax:(02)8797-3568
E-mail:pr@ceci.com.tw

用心
做好每一件事情

匠心，才得以淬煉「專業」品質
誠心，才足以貫徹「人本」信念
悉心，才可以恢宏「關懷」情操
台灣世曦永遠以「心」為出發
持續履行對土地、對人民不變的承諾
一個環境永續的生態樂園
一個幸福溫馨的生活家園