



淡海輕軌 BIM 技術應用 與設計施工整合特色

李政安／新北市政府捷運工程局 副局長

凌建勳／新北市政府捷運工程局 總工程司

涂貫迪／新北市政府捷運工程局 淡海工務所主任

「三環三線」是由文湖線、環狀線（以上為第一環）、新莊線、萬大—中和—樹林線（以上為第二環）、板南線、三鶯線、機場線（以上為第三環）等三環以及淡海輕軌、安坑輕軌、汐止民生線等三線之捷運路線所構成，完整路網詳圖 1。

三環三線中，淡海輕軌為新北市政府主辦的第一條捷運，也是首創採土建與機電以大統包模式發包並採最有利標評選之捷運系統，另外其採用全生命週期招標策略及引進核心技術轉移達成國車國造等特色，亦皆為國內首創。

淡海輕軌整體路線介紹

淡海輕軌包含綠山線（第 1 期）與藍海線（第 1、2 期）兩部份，路線全長約 13.99 公里，共設置 20 座車站，1 座機廠，路線及車站位置如圖 2。

第一期工程包含綠山線 11 站（G01 紅樹林站～G08 崁頂站）與藍海線 3 站（B06 漁人碼頭站～B08 台北海洋學院站）共 7 座高架車站與 7 座平面車站及 1 座機廠，第二期為藍海線（B01 淡水站～B06 漁人碼頭站）共 6 座平面車站。

淡海輕軌（第一期）契約執行特色

全生命週期招標策略

淡海輕軌第一期統包工程契約項目（含後續擴充部分）包括土建、軌道、機電設施（水電、環控、電梯電扶梯）工程、土建細部設計、機電系統（車輛、供電、號誌、通訊、交控及行控中心、自動收費）、機廠設備、系統整合測試、建築資訊模型 BIM、出入口工程、土地開發結構工程、與捷運淡水線紅樹林站界面工程、



圖 1 新北市捷運建設願景圖

安全衛生管理、環保清潔、試驗、工程品管、保險、工程管理及代操作維修服務等，涵蓋設計、採購製造、施工、試車、營運、操作維修之全生命週期範疇（詳圖 3），除了由單一廠商負責所有土建工程及機電系統作業



圖 2 淡海輕軌整體路線圖

項目之大統包模式外，完工後為使全系統維護及營運得以無縫接軌，特將代操作維修等項目納入，配合此全生命週期招標策略，總建置成本拆分為統包工程費及代操作維修費等兩大部分，並考量自商業運轉日 (Revenue Service Date) 起 8 年 15 列輕軌車輛運轉電力成本及車輛零件與耗材更換費用，故本計畫之整體壽年成本即包括建造成本、維修成本及營運成本。

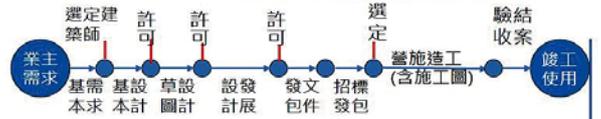


圖 3 全生命週期履約範疇

統包工程優勢

傳統工程為線性作業，計畫推動時程冗長，採用統包策略可縮短計畫時程、落實設計施工併行管理、擬定分段里程碑管制工程進度及建立預警機制提升管理成效，並在結合興建與營運需求下，有利提早準備通車，兩者執行流程及推動時程之比較詳圖 4。

傳統工程執行流程：線性作業方式



統包工程執行流程：重疊作業方式

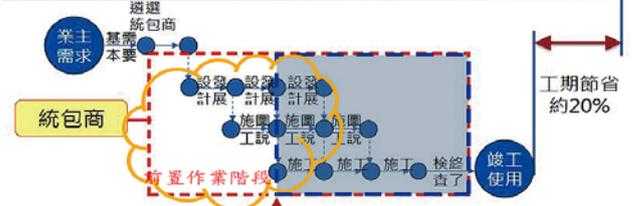


圖 4 傳統工程與統包工程之比較

全系統之獨立驗證與認證

淡海輕軌是國內捷運系統辦理全系統獨立驗證與認證 (IV&V) 公開招標之首例，工作範圍涵蓋機電系統、土木工程及水電環控系統，以加強營運安全及整體系統品質要求。

本計畫獨立驗證與認證之經費來自公部門，可以保障最大限度的獨立性，並在系統需求階段 (基本設計、細部設計) 即已導入，可即早提出觀察意見或階段性評估報告，避免所提問題無法收斂，影響工程進度，更透過辦理各項文件檢核與評估、工作稽核及測試見證後，依問題程度即時反應告知業主以爭取時效。

本計畫之獨立驗證與認證各階段工作及其範疇詳圖 5，獨立驗證與認證顧問對於其他各單位之關係詳圖 6。



圖 5 獨立驗證與認證工作範疇

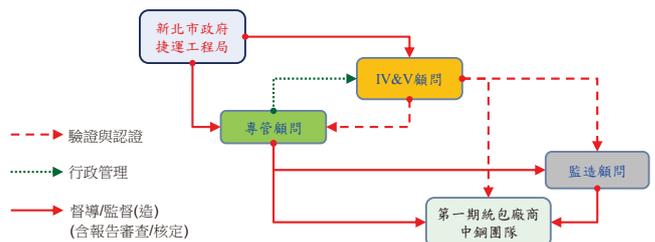


圖 6 IV&V 顧問對於其他單位之關係

整體性公共藝術

國內其他捷運建設或軌道運輸工程辦理公共藝術之案例，多是以獨立個案設置，少有以某特定路線作為整體創作主體之概念。設置藝術家的單一作品，較無一致性與整體性，作品也難以融入周邊環境，兩者之間無法與環境產生互動，僅能提供藝術欣賞的功能。

淡海輕軌運輸系統作為新北市發展城市意象的重要元素，為使公共藝術與交通設施扮演共同串連人與城市的角色，並使之成為淡水遊玩時必經之藝術巡禮，與知名插畫家幾米合作，針對綠山線全線以淡水地區在地多元文化之特色為主題，創作全新繪本—「閉上眼睛一下下」(詳圖 7、圖 8)，將觀音山、梯田與暮色等淡水在地地方情繪入圖本，並將故事中繪圖，使用大型鑄銅雕塑與彩繪玻璃裝點各於車站(銅鑄雕塑模型詳圖 9)，讓各車站皆有其故事性並相輔相成，觸發讀者與觀賞者的多元體驗，如此一來，公共藝術不再只是裝飾性的擺設，淡海輕軌也不再只是毫無生氣的交通工具，而是融合便利生活與藝術體驗的平台，同時具備更有意義的公共設施、更有價值的公共藝術兩種條件，最重要的，是成為台灣在國際觀光上的全新亮點。



圖 7 綠山線公共藝術創作



圖 8 綠山線公共藝術創作



圖 9 幾米繪本銅鑄模型

產業本土化／施工在地化

國車國造

淡海輕軌列車為全國第一列國車國造的輕軌車輛，由台灣車輛公司與德國福伊特公司(Voith Engineering Service)共同設計、製造、測試並取得德國第三公證單位南德公司的驗證，完整導入 3D 設計、分析模擬、圖文管理系統(詳圖 10、圖 11、圖 12)，自主產出各車輛系統模組 3D 繪圖、機械與電氣施工圖、結構應力模擬分析、結構疲勞強度模擬分析、結構撞擊模擬分析，藉由上述軟體與系統投資，大幅強化設計與驗證能力，使得全車從設計、製造到測試都在台灣進行，相關照片詳圖 13 及圖 14。

本計畫藉由引進國外專業廠商推動技術轉移，讓台灣的軌道運輸產業，從軌道建設到車輛製造，都由台灣團隊自己完成，不僅提升台灣軌道運輸及輕軌工業的競爭力，降低採購、操作、維修等成本，為經濟發展及創造就業帶來正面幫助。

| 軟體 | 功能 |
|---------|--------------------|
| CATIA | 3D 繪圖設計 |
| SIMPACT | 動態模擬分析 |
| ANSYS | 車體結構、轉向架框設計驗證、強度評估 |
| ENOVIA | 產品生命週期管理 |

圖 10 車輛使用之軟體介紹

CATIA 3D繪圖設計

| 模組名稱 | 數量(套) |
|--------|-------|
| 1 基本模組 | 24 |
| 2 钣金模組 | 12 |
| 3 曲面模組 | 14 |
| 4 管路模組 | 7 |
| 5 電氣模組 | 8 |
| 6 檢測模組 | 4 |

圖 11 車輛使用之軟體介紹

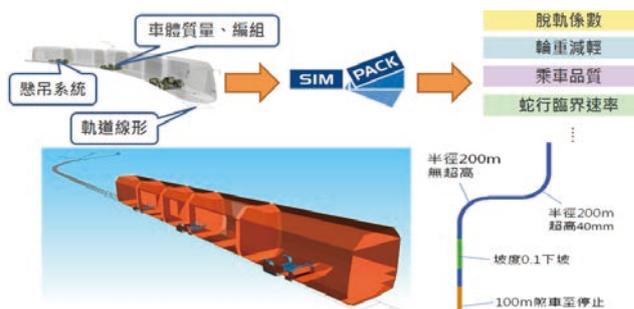


圖 12 車輛使用之軟體介紹



圖 13 車體焊接廠區照片

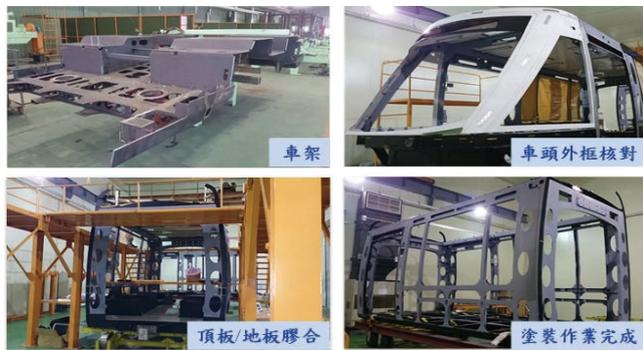


圖 14 列車組裝作業照片

車輛零組件國產化、維修在地化

IRIS (國際軌道工業標準) 是 UNIFE (歐洲軌道工業協會) 所制定之品質管理認證制度, 淡海輕軌車輛系統大部份採用 IRIS 認證之供應商 (詳圖 15), 以確保淡海輕軌列車各系統之高品質, 並進行合作及技術轉移, 協助國內建立自主的軌道車輛工業與零組件供應鏈, 透過結合在地供應鏈, 逐步推動零組件國產化, 目標在民國 114 年將輕軌零組件國產化推展至 50% 以上, 並藉由關鍵系統廠商之技術轉移 (如推進系統及煞車系統等, 詳圖 16), 以達成維修在地化。



圖 15 IRIS 認證之車輛子系統供應商

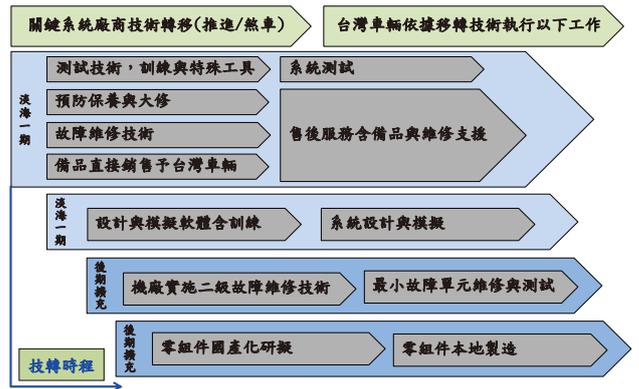


圖 16 關鍵技術及轉移時程

建置車輛測試環境、推動國內認證制度

台灣車輛公司於技術轉移、軟體環境、驗證認證、海外受訓、生產線建置及測試廠房與設備方面投資超過 6 億元 (詳圖 17 及圖 18), 從設計、製造、測試至驗證為國內建立完整之體系, 為軌道車輛掌握關鍵技術 (Know How), 為「國車國造」之重要里程碑。

「國車國造」計畫及新北市政府在淡海、安坑、五股、三芝、八里、深坑等計畫導向的策略, 透過降低全生命週期成本、車輛設計模組化、系統優質化、單純化、本土化、確保後續系統擴充相容、預防保養、即時搶修、備品一致性以及提升後續大修與系統更新之效能, 逐步實踐新北市輕軌願景。



圖 17 車輛測試廠房照片 (一)



圖 18 車輛測試廠房照片 (二)

BIM 技術應用

目前國內應用建築資訊模型 (Building Information Modeling, BIM) 技術，大都為建築物或車站，為「點」的概念，未能完全符合輕軌及捷運系統「線」之特性及需求。淡海輕軌將 BIM 技術由候車站的「點」推展至輕軌路線的「線」及周遭建物的「面」主要作為茲說明如后：

BIM 模型與地理資訊系統 (三維 GIS) 整合

BIM 模型整合至 GIS 為國內先例，BIM 模型中豐富的資訊可與 GIS 結合形成完整的數位化三維城市模型，結合 GIS 與 BIM 內所包含之豐富資訊，未來還可以應用於城市規劃、城市景觀規劃、城市環境分析、城市建設管理、城市公共資產管理等議題。

本計畫於設計階段及完工後共兩次建置全線空拍攝影測量三維模型，涵蓋路線外 250 公尺範圍內之地表及鄰近建物。施工階段 BIM 與 GIS 之結合可協助執行專案管理掌控進度與品質，其成果展示詳圖 19、圖 20 及圖 21，並可透過此新技術與民眾作有效溝通。



圖 19 BIM + GIS 視覺化成果展示



圖 20 BIM + GIS 進度管理與展示



圖 21 BIM 機場用地展示模擬圖

BIM 模型整合橋梁、系統機電及管線

淡海輕軌將 BIM 技術應用於房屋建築類 (候車站、機廠建築物、變電站)、土木及基礎設施類 (橋梁、平面段、地下管線、定線)、軌道與系統機電類 (軌道系統、系統機電)、其他結構物 (如捷運紅樹林站、國泰橋、金龍橋等鄰近建物或結構量體)，以高架候車站整合機電系統 (詳圖 22) 及橋梁基礎整合地下管線 (詳圖 23) 之設計及施工為例，可透過執行衝突檢查，並以視覺化展現，充分發揮溝通功能，亦為未來營運階段預做準備。

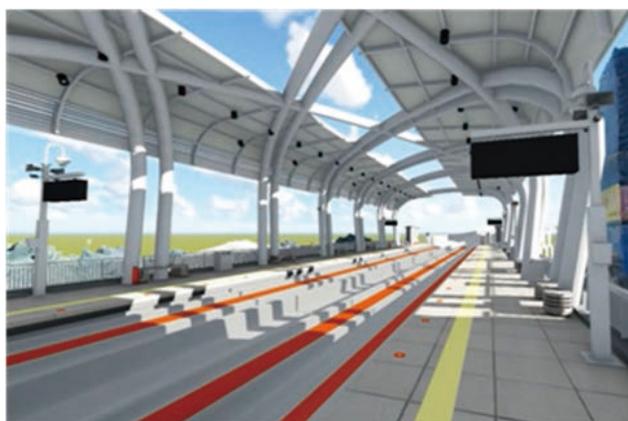


圖 22 BIM 整合模型 (高架站) 展示

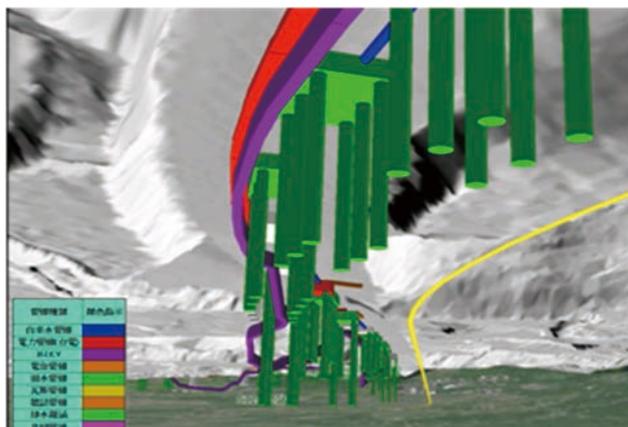


圖 23 BIM 模型橋梁與管線整合展示

利用 4D 技術，透過模擬推動工進

BIM 模型整合施工時程，透過 4D 技術可視化工具，以視覺化展示施工組裝順序，淡海輕軌在淡金路、濱海路口大轉彎段即是以 BIM 4D 技術模擬鋼梁吊裝作業 (詳圖 24)，可作為施工可行性、安全性、工序合理性、危險性工作場所施工安全評估及對周遭影響之加強事項及安全措施檢討。

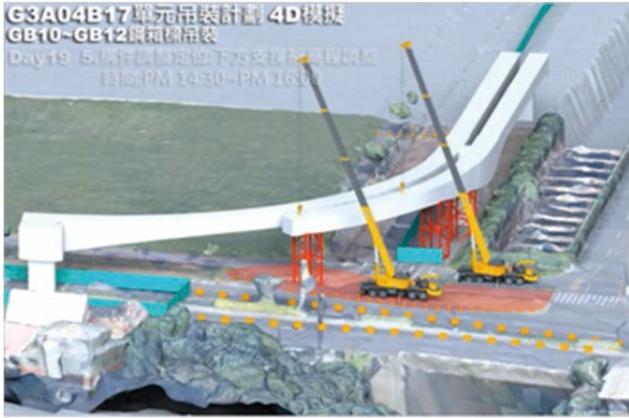


圖 24 模擬鋼橋吊裝施工

BIM + VR 開創全新應用視野

虛擬實境 VR (Virtual Reality) 是目前科技界熱門話題，也是未來科技的趨勢，VR 可以提供沉浸式的體驗，能讓一般民眾不需具備專業知識，就能藉由 VR 技術和虛擬物件進行互動。淡海輕軌創新應用將 BIM 模型結合 VR 技術，建立淡海輕軌列車及候車站之 VR 場景，協助體驗者身歷其境，以人因工程之角度探討設計議題，展示設計成果 (詳圖 25、圖 26)。



圖 25 以 VR 技術討論設計成果



圖 26 模擬候車站列車進站 VR 圖照

設計與施工總體整合

淡海輕軌為統包工程，除了設計與施工併行作業可縮短工期的優點外，統包廠商之施工人員可充分瞭解設計理念，設計人員可補充統包廠商之專門施工技術而降低工程造價，茲將本工程在設計與施工總體整合方面之努力說明如后：

提升工程技術，縮短施工時程

淡海輕軌在高架段採用墩柱鋼筋樣架施工 (詳圖 27)，上部結構 RC 箱型梁以預鑄吊裝取代場撐工法 (詳圖 28)，可掌握施工精度、縮短工期、減少交通衝擊及大幅降低施工風險；平面段槽型軌以 CDM 彈性包覆取代傳統扣件 (詳圖 29)，可減少工序及縮短施工時程。

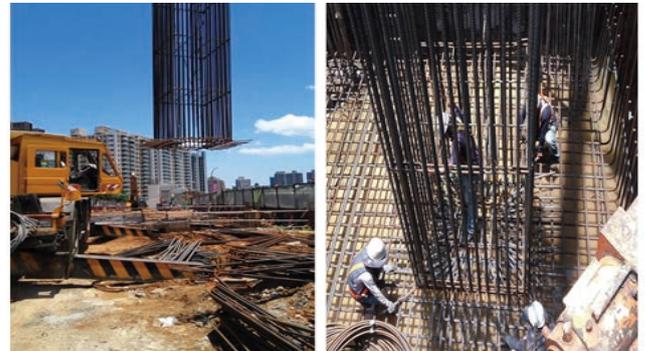


圖 27 墩柱鋼筋樣架施工



圖 28 高架橋預鑄吊裝施工

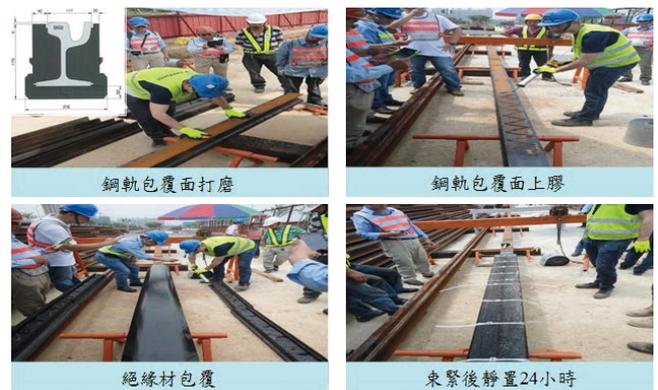


圖 29 槽型軌施工

整合工程需要，提供最佳方案

一般的軌道系統工程分為土建標、軌道標、系統標（詳圖 30），在界面協調及整合上往往需花費很多時間，而上述三個獨立標在統包工程屬於內部界面，利於協調及整合，對工程整體時程規劃有極大助益。



圖 30 平面段土建與軌道界面

鄧公路行經淡金路上方之國泰橋，輕軌高架墩座原預定跨越國泰橋，橋面距離地面約 19 米高，透過 BIM 輔助分析（詳圖 31），綜合評估後將既有國泰橋架高，輕軌捷運改由國泰橋下方經過，使橋面離地面降至 9.2 米，大幅減少施工成本，及降低後續營運及社會成本（詳圖 32）。



圖 31 國泰橋 BIM 輔助分析

■ 國泰橋方案檢討

| | 綜規方案 | 基設方案 |
|-------|--------------------------------|---|
| 橋高/景觀 | 橋墩高度達 20~30m (國泰橋處約 19m) | 橋墩高度大幅降低，國泰橋處降至 9.2m |
| 造價 | - | 輕軌高度較低，橋梁摺節約 3000 萬，G02A 旁電塔不需遷移，摺節約 1600 萬 |
| 時程 | - | 輕軌橋梁分段施作，不增加工期 |
| 旅客動線 | 車站與國泰橋面高差約 11 公尺，國泰橋兩側居民進出車站不易 | 車站距地面高度降低，改善旅客動線，降低民眾抱怨 |
| 節能減碳 | 車站距地面較高，民眾多以電梯代步，增加能源消耗 | 車站距地面較低，增加民眾步行意願，減少能源消耗。預計每年可省 90 萬。且日後車站維修成本亦會降低 |
| 社會成本 | 步行高度增加，增加社會成本 | 步行高度減少，100 年營運期可省 3 億 |

圖 32 國泰橋施工綜合評估

淡金路是進出淡海新市鎮的主要幹道，沿線道路下方有台電 161 kV 特高壓電力管道及各種管徑自來水管等重大管線，雖然高架橋基礎以避開為設計原則，

但仍有部分與之衝突，且外部界面協調順遂與否攸關工程推展，淡海輕軌以 BIM 輔助設計，並積極研擬代辦、吊掛保護等方式與管線單位溝通協調（詳圖 33），以減少對工程進度之影響。

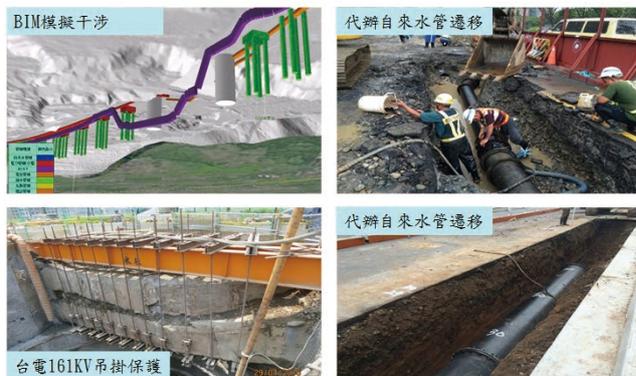


圖 33 管線衝突與因應方案

配合交通監測，提供即時訊息

淡海輕軌綠山線高架段主要沿淡金路佈設，為瞭解施工階段對淡金路交通衝擊影響，在大淡水區域往返關渡、五股、八里、竹圍、關渡大橋、中山北路等重要區域或節點設置 9 處 eTag 偵測點位（詳圖 34），以探討其旅次比例及旅行時間變化，並可依據即時旅行時間資料提供動態路徑引導，提供更有效的區域交通管理。根據 eTag 蒐集的資料推估旅行時間，發現交通維持計畫效果較預期為佳，淡金路及中正東路施工對車流衝擊有限。

• 偵測點位-共設置 9 處

- 淡水淡金公路行忠路口 (E1)
- 淡水北新路一段 9 號 (淡金公路行北新路口) (E2)
- 淡水坪頂路往台北 38 巷前 (E3)
- 淡水中山路、中山北路一段 (E4)
- 淡水民權路、民族路口 (竹圍捷運站前) (E5)
- 八里關渡大橋 (龍米路上方門架) (E6)
- 五股成泰路 4 段 22 巷 (E7)
- 淡水民權路自強路口 (E8)
- 淡水淡金路、新市一路三段 (E9)

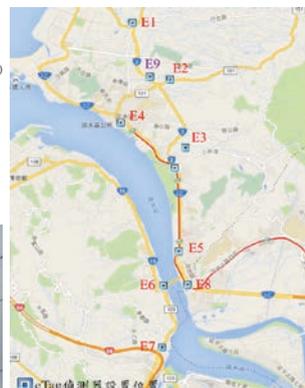


圖 34 設置 eTag 偵測點位

傾聽地方意見，結合在地需求

工程推動要順利，除了業主及計畫各團隊的努力之外，地方上的聲音要充分瞭解及溝通，才能化阻力

為助力。淡海輕軌在這方面做了很多，包括架設計畫專業網站提供即時資訊（詳圖 35、圖 36、圖 37）、結合地方專業廠商、採用 I-Voting 票選車輛造型、邀集全線鄰近住戶協調高架橋墩位置，並在路線通過之水碓尾遺址範圍結合考古專業團隊以搶救遺址（詳圖 38）及保留清法戰爭滬尾古戰場城岸遺蹟（詳圖 39），原平面段路段改高架輕軌拱橋型式，並配合金色水岸自行車道路線設置夜間裝飾照明（詳圖 40），成為地方特色，藉由這些方式增加住民參與的機會，大家目標一致，齊心合力為地方發展來打拼。



圖 35 淡海輕軌計畫專業網站 (<http://pm.csc.com.tw/ntpc/>)

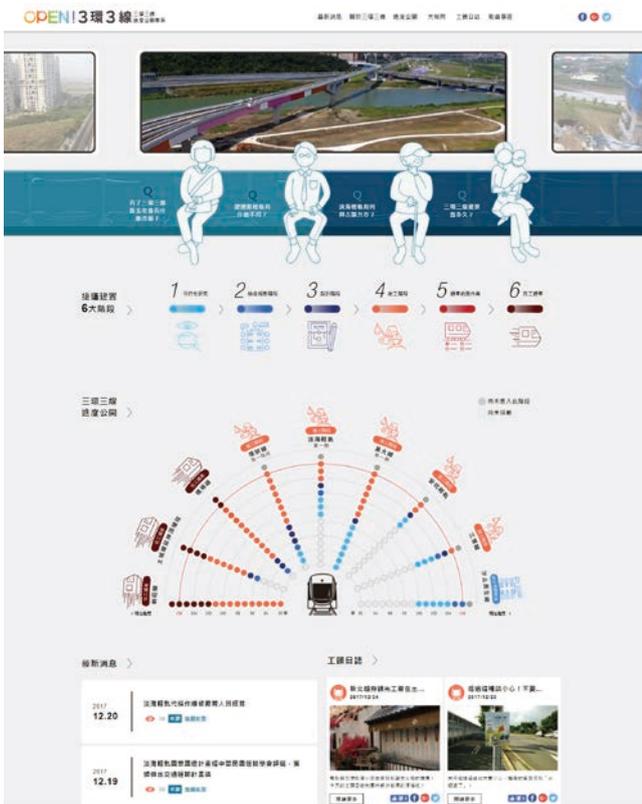


圖 36 OPEN33! 三環三線進度公開專頁 (<http://open33.ntpc.gov.tw/>)

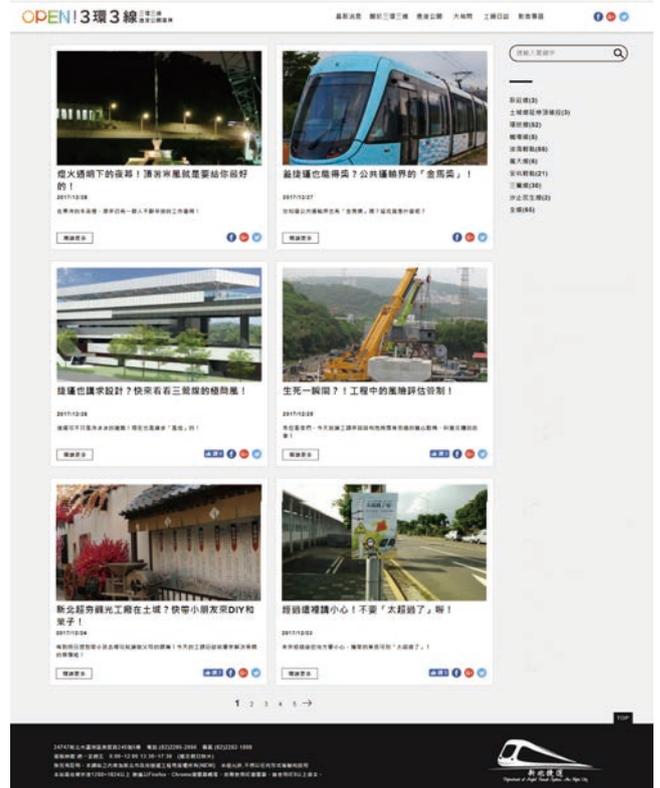


圖 37 工頭日誌



圖 38 水碓尾遺址考古試掘



圖 39 清法戰爭滬尾古戰場城岸遺蹟



圖 40 高架拱橋夜間裝飾照明模擬



圖 41 新北市市長及捷運局長與獎盃合影

結語

透過 BIM 模型建置，將傳統 2D 施工圖說轉換成 3D 模型，可用於虛擬實境模擬、碰撞干涉分析、危險性工作場所施工安全評估、交維計畫模擬、工程進度模擬，使管理、設計、施工及後續營運單位建立良好溝通介面，減少施工期間各種不確定因素，達成資訊有效傳遞之功能，對於民眾，亦可將 BIM 結合 GIS 模擬成果用於工程資訊分享，建立良好溝通平台，使民眾更加了解工程完工後的狀況。

淡海輕軌案為台灣國車國造的亮點，並獲中華民國運輸學會頒發傑出交通運輸計畫獎肯定（詳圖 41），在新北市整體輕軌路網機電系統單純化之願景而言是一小步，對國車國造則是邁出一大步，從設計到製造都在台灣完成的輕軌列車，不但為輕軌產業立下重要里程碑，對未來國內推展輕軌系統亦能有效降低建置、營運及維修成本，更可確保後續系統擴充的相容性，不再處處受制於國外廠商，奠定本國自行研發輕軌系統之基礎。

參考資料

1. 新北市政府資訊網，<http://www.ntpc.gov.tw>。
2. 新北市政府捷運工程局資訊網，<http://www.dorts.ntpc.gov.tw>。
3. OPEN33！三環三線進度公開專頁，<http://open33.ntpc.gov.tw/index>。
4. 淡海輕軌運輸系統綜合規劃（核定本），交通部高速鐵路工程局（規劃主辦機關）及新北市政府（建設主管機關），102 年 3 月。
5. BIM 於捷運車站生命週期應用，捷運技術半年刊第 47 期（P15-P22），台北市政府捷運工程局，101 年 7 月。
6. BIM 運用於台北捷運之探討，捷運技術半年刊第 47 期（P159-P166），台北市政府捷運工程局，101 年 7 月。