

類別

地區：西班牙、義大利

三鶯線捷運系統計畫統包工程海外設備廠
測計畫(電聯車系統型式測試及模型車首
件產品檢驗)出國報告



主辦機關：新北市政府捷運工程局
108年9月

目錄

第一章 計畫目的.....	8
第一節 計畫緣起.....	8
第二節 海外廠測目的.....	9
第三節 海外廠測依據.....	9
第四節 章節編排說明.....	11
第二章 海外首件產品檢驗及測試過程.....	12
第一節 全尺寸單節車廂模型(下稱車廂模型)首件產品檢測.....	12
壹、捷運三鶯線電聯車外觀及內裝塗裝選定理由.....	12
貳、捷運三鶯線電聯車設計概念說明.....	13
參、全尺寸單節車廂模型廠驗查核項目及缺失改善說明.....	14
肆、管理及獨立驗證與認證顧問評估結果.....	22
第二節 車輛推進系統及電力煞車系統整合測試.....	23
壹、電聯車推進系統廠驗依據及內容概要.....	23
貳、電聯車推進系統設計概念簡要說明.....	24
參、電聯車推進及電力煞車整合測試程序概述.....	26
肆、專案管理及獨立驗證與認證顧問評估結果.....	30
伍、心得及小節.....	31
第三節 參訪米蘭理工大學轉向架測試實驗室及三鶯線轉向架疲勞設計驗證回顧.....	32
貳、轉向架疲勞測試依據及內容概要.....	32
參、三鶯線轉向架設計之疲勞測試驗證回顧.....	37
肆、米蘭理工大學軌道系統測試及風洞實驗室考察.....	40
第三章 軌道建設及城市交通考察.....	44
第一節 西班牙巴塞隆納地鐵系統考察.....	44
第二節 西班牙馬德里地鐵系統考察.....	46

第三節	西班牙 Montserrat Rack Railway 登山鐵路考察.....	48
第四節	西班牙國家鐵路考察.....	50
第五節	西班牙馬德里捷運維修機廠考察.....	51
	壹、考察過程概要.....	51
	貳、考察心得及小節.....	55
第七節	國內推動公共工程全生命週期管理機制配套法令探討.....	56
	壹、公共工程全生命週期執行法令現況分析.....	56
	貳、政府採購法之品質管理機制.....	56
	參、公共工程全生命週期品質管理配套措施.....	58
	壹、本節結論與建議.....	58
第八節	義大利米蘭軌道系統考察.....	60
	壹、米蘭地鐵系統簡介.....	60
	貳、米蘭輕軌系統簡介.....	62
第九節	羅馬軌道系統考察.....	62
第十節	義大利國家鐵路考察.....	64
第四章	本計畫執行心得.....	66
	第一節 有關海外廠測部分.....	66
	第二節 有關軌道系統設施考察部分.....	66
	第三節 有關公共工程永續發展部分心得及建議.....	68
第四章	建議事項.....	71
附錄	研討會資料蒐集.....	74

圖目錄

圖 1 第一階段檢驗模型車外觀及製作情形	圖 2 第一階段檢驗模型車內裝	17
圖 3 第一階段檢驗模型車手動駕駛操作台	圖 4 第一階段檢驗模型車操作台	17
圖 5 單節車廂模型外觀		17
圖 6 模型車車頭	圖 7 模型車外觀	19
圖 8 模型車側面造型	圖 9 模型車側面造型	19
圖 10 模型車車頭流線造型	圖 11 模型車車門樣式及開門情形	19
圖 12 模型車防爬裝置	圖 13 模型車自動連結器裝置	19
圖 14 模型車車燈造型及捷運公司標示	圖 15 模型車車燈造型及車頭擋風玻璃	20
圖 16 車外滑門緊急試壓閥	圖 17 模型車駕駛台	20
圖 18 模型車內部空間配置	圖 19 輪椅區及車門前空間配置	20
圖 20 緊急對講機	圖 21 車內放置滅火器	21
圖 22 車內滑門緊急試壓閥及車門開啟裝置	圖 23 車頭駕駛區空間配置	21
圖 24 車門開啟裝置及車內攝影機	圖 25 車廂內裝及站立空間配置	22
圖 26 1/24 模型車車頭造型	圖 27 1/24 模型車側面造型	22
圖 28 全體人員合影	圖 29 全體人員合影	22
圖 30 NAPLES 工廠鳥瞰圖		23
圖 31 測試點配置方塊圖		26
圖 32 推進系統及電力煞車系統整合測試設備配置圖		28
圖 33 受測設備配置圖		29
圖 34 三鶯線動力機箱配置示意圖	圖 35 三鶯線動力機箱外殼	29
圖 36 測試設備控制台	圖 37 全體人員合影	29
圖 38 ISA 出具之程序驗證書	圖 39 ISA 出具之程序驗證書	30
圖 40 熱驗證溫升測試結果		30

圖 41 熱驗證：溫度偵測.....		31
圖 42 轉向架架框垂直負荷	圖 43 轉向架架框垂直負荷	34
圖 44 轉向架架框可承受應力極限圖.....		36
圖 45 米蘭理工大學獨立實驗室認證書	圖 46 轉向架負荷分布示意圖	37
圖 47 轉向架框及枕梁示意圖.....		38
圖 48 測試過程簡報會議	圖 49 測試過程解說	38
圖 50 轉向架測試過程	圖 51 循環應力及疲勞測試結果紀錄.....	38
圖 52 轉向架測試過程	圖 53 循轉向架測試過程.....	39
圖 54 全體工作人員合影	圖 55 參與測試人員合影.....	39
圖 56 集電弓特性測試設備	圖 57 含溫控拉伸試驗機	41
圖 58 風洞測試裝置	圖 59 正弦波陣風示意圖.....	42
圖 60 風場監控設備	圖 11 風場調控台	42
圖 62 陣風葉片陣列	圖 63 風洞測試示意	43
圖 64 模型機測試示意	圖 65 自行車測試煙線示意	43
圖 66 邱副祕代表致贈米蘭理工大學紀念品.....		43
圖 67 巴塞隆納地鐵路線圖.....		44
圖 68 巴塞隆納 L1 線 CAF 5045 電聯車	圖 69 加泰隆尼亞廣場站月台	45
圖 70 L1 線道旁信標	圖 71 巴塞隆納地鐵自動售票機	45
圖 72 加泰隆尼亞廣場站 PA0	圖 73 巴塞隆納地鐵自動收費閘門	45
圖 74 馬德里地鐵路線圖		46
圖 70 馬德里地鐵站月台	圖 71 馬德里地鐵自動售票機	47
圖 72 馬德里地鐵站 PA0	圖 73 馬德里地鐵 CAF 電聯車內部配置	47
圖 79 SANTA COVA 車站月台	圖 80 MONTSERRAT RACK RAILWAY 登山鐵路系統.....	49
圖 81 ABT 齒軌式鐵道	圖 82 ABT 齒軌式鐵道	49
圖 83 STADLER GTW 系列電聯車	圖 84 登山鐵路列車採集電弓供電及設備	49

圖 85	TALGO2000 系列列車對接	圖 82	TALGO2000 系列受電裝置	51
圖 87	西班牙國鐵系統	圖 88	TALGO2000 系列內裝及 PIDS.....	51
圖 89	邱副秘書長代表致贈禮物	圖 90	維修機廠平面配置圖	52
圖 91	維修機廠 WLC 議題討論	圖 92	日立製作製造 COCHES 9000 列車介紹	52
圖 93	轉向架維修工廠	圖 94	地下車床	53
圖 95	發電機感應電圈整修品	圖 96	POWER PESCK 整修品	53
圖 97	維修機廠測試軌	圖 98	COCHES 9000 列車於測試軌測試.....	53
圖 99	維修機廠測試軌架空線系統	圖 100	維修機廠駐車廠	54

表目錄

表 1 捷運三鶯線電聯車主要規格表	14
表 2 契約規定查核項目及第一次查核結果概要	15
表 3 推進系統及電力煞車整合設備表	25
表 4 靜態(輔助)換流器測試設備概述:	25
表 5 設計之負荷評估表	33
表 6 列舉轉向架架框負載情形	33
表 7 以元素編號 1543 計算應力範圍	34
表 9 資料蒐集單	74

第一章 計畫目的

第一節 計畫緣起

本府自升格直轄市以來即致力推動捷運三環六線建設計畫，目前位於本市境內之臺北捷運環狀線第一階段建設計畫及萬大中和樹林線第一階段建設計畫的土建、機電工程由臺北市政府捷運工程局全面施工中，又本府於 102 年 1 月成立捷運工程處，並進而於 105 年 1 月升格成捷運工程局，辦理後續本市境內相關捷運及輕軌路線規劃、施工等項目，統籌辦理淡海輕軌、安坑輕軌及五股泰山與八里等輕軌運輸系統計畫，及三鶯線中運量系統，使與現有營運或興建中捷運路網銜接形成更綿密路網，以完整提供市民安全、可靠、便利、舒適及準點之大眾運輸服務，提升本市整體運輸系統效率。

查本計畫機電系統細部設計已邁入期末階段，現正進行設計驗證程序並逐步進入設備採購及製造階段，從而本計畫電聯車相關設備皆為外國電聯車系統廠商生產製造，考量設備零組件設計良窳將直接決定電聯車穩定性及乘坐舒適性，為儘為確保電聯車相關設計符合人因工程¹，並儘早確認設計成果與國人使用習慣之差異，並及早發現以期得以即早修正後續量產過程中影響之因素，預防批量不良品逕而影響整體工進，確有其必要派員到廠進行電聯車首輛等比例模型車人因工程設計驗證，以及電聯車推進及煞車系統等重要零組件之首件產品設計驗證，除可確保後續該等重要零組件之能效，藉此培植本局工程人員相關技術能力，並監督監造顧問公司及統包商依契約規定執行查驗、檢驗及測試之工作，爰針對電聯車關鍵設備量產前派員偕同測試，以確保後續量產設備符合契約要求，而規劃本次海外廠測計畫。

¹是研究人和機器、環境的相互作用及其合理結合，使設計的機器和環境系統適合人的生理及心理等特點，達到在生產中提高效率、安全、健康和舒適目的，本工程人因分析採用勞動部勞動及職業安全衛生研究所之人體計測資料庫進行分析。

第二節 海外廠測目的

本次三鶯線電聯車模型及推進系統系統海外測試、參訪驗證本工程轉向架疲勞測試之米蘭理工大學轉向架疲勞測試實驗室並藉此了解詳細測試程序，途中順道考察歐洲各大城市軌道建設，借鑒國際上認可的全生命週期工程造價管理理論與方法，從研究工程項目全生命週期(包括建設前期、建設期、使用期和翻新與拆除期等階段)成本問題出發，探討建立適合國內軌道產業生態、又符合國際慣例全生命週期工程造價管理理論，改進現有的全過程工程造價管理模式與方法。並在該理論模式下，採用先進的資訊技術和手段，合理確定和有效控制工程成本，提高工程建設專案在投資決策階段、設計階段、實施階段、竣工驗收階段和運營階段的管理水準，進而達到和實現投資效益最大的目的。並蒐集、彙整軌道、車輛、供電、號誌、通訊、月台門、行控中心及機廠等軌道建設相關資料。期間亦安排參訪核心機電系統相近之統義大利捷運米蘭3號線及日立公司負責維修之馬德里捷運系統²，希藉由統包商隨行人員導覽及實地觀摩無人駕駛之中運量捷運系統營運及維修之重點，作為捷運三鶯線未來營運前準備工作之借鏡。

第三節 海外廠測依據

本次海外廠測並順道於歐洲地區參訪軌道相關建設，係依「三鶯線捷運系統計畫統包工程-電聯車系統型式測試及模型車首件產品檢驗廠測計畫」奉准執行³，且為配合行政院前瞻計畫及本市三環六線後續規劃、工程施工及後續營運維護，擬藉此次赴西班牙及義大利廠測機會，參訪西班牙馬德里捷運系統及義大利米蘭、羅馬等歐洲各大城市軌道建設。

一、本次對海外廠測主要依據是依據下列契約條款：

一、契約書一般條款第11條「履約品管」。

二、契約書第一冊「品質管理需求」。

三、契約書第二冊機電系統功能規範2.10(11)⁴車輛模型、2.15推進與煞車系統規定。

² 目前日立公司於馬德里捷運除生產 9000 系列電聯車生產外亦提供維護工作工作範圍包含:短周期預防性維修、第一階、第二階校正維修、長周期預防性維修、協助處理突發狀況、人為破壞之修補等工作。

³ 108 年 6 月 10 日 1080966953 號府簽。

⁴ 本章節契約規定如下：

廠商應於設計階段提供 2 組完整列車的 1/24 比例之縮尺模型(不含內裝)，該模型應至少包括但不限於車體、車燈、車窗、車門、車頂設備、車底設備、聯結器、轉向架(可與車體分離)、車間走道及外觀相關設備

二、本次海外廠測執行細節主要係依據下列廠商依據前開契約條款所提送之設計文件及相關測試程序書：

- 一、電聯車-期初-車體造型與外觀0版(SYL-TK01-TS-ERS-0027-0)⁵。
- 二、電聯車-期初-車輛內裝0版(SYL-TK01-TS-ERS-0028-0)⁶。
- 三、電聯車-期中-車輛外觀0版(SYL-TK01-TS-ERS-0048-0)⁷。
- 四、電聯車-期中-車輛內裝0版(SYL-TK01-TS-ERS-0049_0)⁸。
- 五、模型車首件產品檢驗報告(SYL-TK01-TR-ERS-0591-C)⁹。
- 六、電聯車-期中-推進設備說明0版(SYL-TK01-TS-ERS-0054-0)¹⁰。
- 七、電聯車-期中-推進馬達技術說明0版(SYL-TK01-TS-ERS-0053)¹¹。
- 八、推進與電力煞車系統整合測試程序(SYL-TK01-PRO-ERS-0106)¹²。

等，以及放置該模型之軌道基座、外部透明壓克力保護盒與中英文銘牌設備，模型材料採用 Polyurethane(聚氨酯)或其它經業主審查核准之材料，廠商應提送其相關細節與資料經業主審核。該列車模型作為展示及評估車輛設計外觀之用。

廠商亦應於期末設計階段提供 1 組含車頭之全尺寸單節車廂模型(Full Size One-car-length Saloon Mock-up)。

- a. 車廂模型應至少包括但不限於車窗、車門、地板、天花板、內裝襯板、座椅、扶手、車內外照明、無障礙輔助設施、手動駕駛控制面板與相關輔助訓練設備等。
- b. 車廂模型應具備可展現及評估車輛設計外觀與內裝之人因工程考量等設計驗證之用，並可供日後輔助訓練使用。

⁵ 107 年 3 月 9 日新北捷機字第 1070728238 號函同意備查。

⁶ 107 年 3 月 9 日新北捷機字第 1070728238 號函同意備查。

⁷ 107 年 12 月 19 日新北捷機字第 1072435326 號函同意備查。

⁸ 108 年 3 月 6 日新北捷機字第 1080398292 號函同意備查。

⁹ 108 年 4 月 22 日新北捷機字第 1080721073 號函同意備查。

¹⁰ 107 年 10 月 26 日新北捷機字第 1072067097 號函同意備查。

¹¹ 107 年 12 月 12 日新北捷機字第 1072386557 號函同意備查。

¹² 108 年 6 月 12 日新北捷機字第 1081084213 號函同意備查。

第四節 章節編排說明

本份報告第二章分別針對全尺寸單節車廂檢驗結果報告、三鶯線車輛推進系統及電力煞車系統整合測試以及轉向架疲勞測試設計驗證等項目，期間順道參訪西班牙及義大利軌道參訪行程規畫中，藉由搭乘地鐵、城際鐵路、機場快線、考察國際級轉運車站及古今建築共構車站，也實際了解在軌道運輸上發展現況以及其後端的行車控制系統及維修系統，電車線的建置系統、列車排點系統的運用、無線號誌系統與軌道電路運用、轉轍器的研發控制、全生命週期成本觀念的運用於建設上等，考察過程中針對歐洲公共工程著重於全生命週期成本、工程生命週期管理評估有相當深刻體認，因此將於第三章第七節專章就國內推動公共工程全生命週期管理機制配套法令探討等議題分項說明，除展現本次學習的成果，亦期望本報告對本府推動之三環三線及後續延伸路網之規畫設計能有相當助益。

在米蘭理工大學探討「公共工程私營合作採購模式」議題上，透過考歐洲辦理民間參與公共建設的情況，將公共建設分為3個部份，能夠經由使用者付費達成收支平衡，就以BOT模式辦理；如果不行，就由政府向其收買其提供之服務後再以較低的價格向使用者收費（即Shadow Toll影子費率），或是由政府視情況提供適當的補貼或租稅優惠。就如同現在社會上熱烈討論的社會住宅，因為政府對社會住宅有租金限制而且要低，因此無法以BOT模式來辦理。若政府採取PFI模式的話，可以讓民間廠商來興建、營運管理社會住宅然後全數租給政府，再由政府轉租給符合資格的民眾。此時民間廠商獲取應得的利潤並且會將社會住宅管理妥善，政府無需一次支出高額的興建費用，承租人也可按其能力支付租金，應該是一個三贏的政策。

綜整以上課程精要後，重新審視國內既有法令規定，公共工程之全生命週期從最初之可行性評估、規劃、設計、施工及最後之維護管理，在不同階段皆有不同之管理機制，然在品質管理上多建立於施工階段，在維護管理階段多無訂定有相關品質之法令，但在實際執行上，卻可將維護管理階段視為一小生命週期來做品質管理，其主要原因為維護管理階段之項目多為發生破壞或是品質不佳時，其主管機關便開始進行相關問題之檢討，並規劃後續之改進事項，緊接著進行後續之設計及施工等等，在這些環節上，除一些政府單位可自行進行規劃設計外，尚有許多單位是利用政府採購法來將相關事項進行發包，在施工階段便可由各機關所成立之「工程施工查核小組」來進行品質管理，然公共工程全生命週期之其他階段尚無法以此方式來進行品質管理，故提出具體建議辦法來改善此現象，讓全生命週期之各階段皆能維持優良之品質。

第二章 海外首件產品檢驗及測試過程

捷運三鶯線為鋼輪鋼軌型式中運量捷運系統，是臺北捷運路網中繼文湖線及環狀線之後第3條全自動無人駕駛系統。捷運三鶯線全長14.29公里，共設置12座車站及1座機廠，並採購29列電聯車，每列車2節車廂，總計54節車廂，列車總長約34公尺，每列車載客量約330人，將於株式會社日立製作(Hitachi Ltd.)所具有之笠戶事業所等工廠製造及安裝量產車輛。

第一節 全尺寸單節車廂模型(下稱車廂模型)首件產品檢測

壹、捷運三鶯線電聯車外觀及內裝塗裝選定原由

捷運三鶯線目前已邁入期末設計階段並已完成電聯車外觀及內裝設計，為能讓民眾參與公共市政，且藉由設計方案成果發表說明會方式，並透過說明會邀請記者及民眾知悉「車輛外觀塗裝設計方案成果」，以提升設計方案成果能見度及促進全民參與度，帶動市民對於政策瞭解以及地方發展的認同，實現三環六線願景。因此，本府捷運工程局於107年度規劃「三鶯線列車外觀票選活動」¹³並選定「萬里藍天，悠遊峽谷」之湛藍色方案¹⁴作為未來三鶯線電聯車內裝及外觀塗裝之依據。

此外，依據捷運三鶯線統包工程契約規定¹⁵「廠商應提供1比24之縮尺列車模型作為展示及評估車輛設計外觀之用且必須於期末設計階段提供含車頭之全尺寸單節車廂模型，以展現並評估車輛設計外觀與內裝，並作為後續人因工程考量設計驗證之確認以及供日後營運單位輔助訓練使用」。考量設備零組件設計良窳將直接決定電聯車穩定性及乘坐舒適性，為確保電聯車相關設計符合人因工程，儘早確認設計成果與國人使用習慣之差異並及早發現以期得以即早修正後續量產過程中影響之因素，因此本計畫前於107年12月份率先由專案管理顧問¹⁶及監造顧

¹³ 本次活動係設計師參採三鶯地區的風土民情及文化特色設計完成的「萬里藍天，悠遊峽谷」、「如鶯當空，展翼飛揚」及「樂山樂水，陶冶性情」列車塗裝等3款設計方案。

¹⁴ 淡藍色系塗裝，意象呈現出三峽之大自然力量，同時與鶯歌的古老氣息調和出清新且雄渾之流線感。外部以長波浪的車側線條，躍動且蘊含力量科技、流線之造型呈現未來感。

¹⁵ 同註4。

¹⁶ 台灣世曦工程顧問股份有限公司

問¹⁷預先進行第一階段模型車首件產品初步檢驗後，確認模型車之選用之材料，列車幾何尺寸、車內照明及車內空間配置與未來量產車一致後，本府捷運工程局爰於該單節模型車廂製作完成並於 108 年 7 月進行第二階段模型車完成品檢驗。

貳、捷運三鶯線電聯車設計概念說明

三鶯線電聯車設計專注於低壽命週期成本及確保高可靠度與可用度，特別著重於美觀的工業設計和列車的舒適性以及乘客安全性。本車輛的主要特點是前端的特大玻璃窗¹⁸，此概念對無人駕駛車輛非常重要，因為乘客在車內就能享有廣闊的全景視野。三鶯線電聯車外型採用車頭傾斜 20 度之流線造型，並加大車窗面積使得乘客有較開闊視野，車廂內外顏色則配合「三鶯線列車外觀票選活動」選定之湛藍方案，並配合全線公共藝術色彩計畫作整體之設計，以打造時尚美觀之都會捷運系統。車體結構採用輕量化鋁合金材質¹⁹並於車頭部分採 FRP 複合材料以減輕車重達到節能效果，車廂內部為提供人性化及寬敞舒適之乘車空間，每節車廂設置約 25 個座位並裝設足夠照明燈具²⁰，另設有輪椅區及博愛座供行動不便乘客使用²¹，座椅採縱向配置使車廂通道保持 1.1 公尺以上寬度，提供乘客站立及通行之淨空，同時於車門走道、車輛前後端及天花板等區域佈設多樣化扶手供站立乘客使用，另列車車間走道²²採連通式設計以方便乘客於車廂間移動。此外，車內規劃有專用行李儲放區以供旅客放置大件隨身行李。

至於旅客資訊及車廂安全監測設計，每節車廂 6 組車門上方皆設有「LED 旅客資訊顯示器」可播放列車到站資訊，且於車門旁設有緊急對講機可供乘客於緊急狀況時與行控中心連繫尋求協助，另於車廂天花板安裝有 CCTV 閉路電視攝影機

¹⁷ 中興工程顧問股份有限公司。

¹⁸ 擋風玻璃將符合 NFF 15-818 標準、光學參數將依據 EN410 來訂定。列車的最大的營運速度為 70km/h（設計速度=80km/h）。

¹⁹ 三鶯線電聯車車廂頂板頂板及外板係由兩片鋁質薄板及包覆於薄板內層之低密度聚乙烯(LDPE)組成，於生產時完成空調通風口及廣播孔等鑽孔作業，再藉由多次冷加工滾軋製程彎成 10,000mm 之曲率半徑；而地板則是 17mm 厚之複合式材料夾板，表層板為 1mm 上有底漆之鋁板，二層面板間則填滿 PET 發泡材質構成如三明治結構之夾板，其內部具有鋁擠型骨架以增加強度，並提供內裝元件安裝之鎖固介面。

²⁰ 照明設備符合 EN50155 之電磁防干擾、EN61373 之震動要求以及 EN 13272 照明標準。

²¹ 無障礙輔助設施應包含輪椅放置區及必要固定設施、扶手、緊急通報設備。

²² 車間走道以波紋狀天花板由一個伸縮外罩波紋狀和兩個壁架所構成，波紋狀天花板的每個波紋狀會以鋁材固定在波紋狀外罩上

及火警偵煙器以提升乘車及營運安全性，藉由以上各項人性化車廂設施，將可提供旅客安全、舒適、溫馨之乘車環境。

表 1 捷運三鶯線電聯車主要規格表

項目	規格	項目	規格
車輛型式	鋼輪鋼軌	車體材質	鋁合金
鋼軌軌距	1435 mm	列車空重	約 117 噸
操作模式	無人駕駛	最大加速度	1.2m/s ²
列車組成	4 車固定編組	最大減速度	1.3m/s ²
車輛尺寸	長 17m/寬 2.65m/高 3.6m	最小班距	90 秒
列車總長	約 68m	牽引馬達	AC 交流馬達
列車容量	約 650 人	推進控制	變頻變壓 (VVVF)
車門數量	每側 3 組 (每車 6 組)	營運速度	80km/hr
車門尺寸	寬 1.6m、高 1.95m	牽引電力	第三軌 750VDC

參、全尺寸單節車廂模型廠驗查核項目及缺失改善說明

第一階段模型車檢驗日期業經專案管理顧問及監造顧問於 107 年 12 月 3 日於西班牙巴塞隆納模型車製造廠商 Integral design and development SA(IDD)公司²³ 廠房進行第一階段模型車首件產品檢驗，本次主要針對模型車之選用之材料、列車幾何尺寸、車內照明及車內空間配置初步檢驗，並針對模型車未符合設計成果部分促請廠商修正。

²³ IDD 模型公司位於西班牙巴塞隆納 Cornellà de Llobregat 各類模型設計及製作工廠，將近有約 500 名員工，主要生產領域為精密複合材料模型，應用領域包括建築、交通工業及精密工業等各類大型模型製作。而本計畫係拜訪 IDD 位於西班牙巴塞隆納近郊之研發生產中心，該中心主要包括手工組配區、CNC 車床區、濕式表面處理區、粉體表面塗裝區、金屬加工區等不同區域。IDD 所設計生產之車廂係以輕量與強度兼具之設計著稱，被廣泛使用於歐洲各主要城市之巴士車廂模型展示，在鐵路客車及輕軌系統等也有無數之使用實績，例如：Stadler、Bombardier、Siemens 與 Alstom 等著名車輛廠商皆曾委託製作。

表 2 契約規定查核項目及第一次查核結果概要

項次	查核項目	第一次查核結果		查核備註
		是 OK	否 NG	是 OK
1	在期末設計階段應提供一 (1) 套含車頭之全尺寸、全車長、全車廂之模型。	√		附件一圖說
2	車廂模型應至少包括但不限於車窗、車門、地板、天花板、內裝襯板、座椅、扶手、車內外照明、無障礙輔助設施、手動駕駛控制面板與相關輔助訓練設備等		√	附件二表單
3	車身材料應使用與實車相同材料，廠商應提送其設計細節、使用材質與相關資料經業主審核。	√		
4	車廂模型應具備可展現及評估車輛設計外觀與內裝之人因工程考量等設計驗證之用，並可供日後輔助訓練使用。		√	EED 把手做動空間不足，建議提高安裝位置
整體性考量-模型車應具備：				
5	此全尺寸模型應能反映出應建造的車輛外觀及內裝。	√		
6	模型供應商應提出車體結構計畫以進行評估和驗證。全尺寸模型會採用穩固的金屬架構設計來支撐設備、襯板和組件。	√		
7	車體結構應適合於與模型的所有元素之介接，如「車頭／車體」界面，「車體／內裝」界面等。	√		
8	用於製作模型的材料將具準確性，外觀逼真或實際材料具有良好的表面處理，可正確評估整個設計過程。	√		

9	全尺寸實體模型應用於對車輛設計進行詳細的人因工程和人體工學評估（特別是駕駛艙和駕駛員位置、座椅和站立位置）以及可用空間、可及性和安裝情況	√		
車內設備應檢查/查驗下列項目：				
10	內裝 - 內襯材料、側門、車間屏風隔門、設備櫃、前車窗、乘客座椅、立柱以及地板面板和披覆、踢腳板與轉向架蓋板、廣告框。		√	
11	乘客資訊系統車外目的地螢幕、車門上方螢幕，以及由車內喇叭組成的廣播系統。		√	
12	電源供應 - 輸入功率應為 110 Vac。應具備提供功能設備供電的能力，此能力具有備用容量能為非功能性操作介面設備和系統設備供電	√		
車外設備應檢查/查驗下列項目：				
13	PRFV 外罩（包括相關模具）應包含在全尺寸模型的供應範圍內。	√		
14	模型的外皮應該用長久耐磨和抗裂片材構成。模型各項配備之位置應與實際車輛上使用的設備和組件的位置相同。	√		
15	模型應沿車側配備適當的頂昇塊，吊升點應位於車頂以便吊升。	√		
16	模型應附加一個平台，可以模擬乘客車輛地板到軌踏面（T.O.R）的正確高度。	√		
17	必須在模型上採用新北大眾捷運股份有限公司之 Logo。		√	
18	車門外部把手、外部進入裝置、車頂設備與前防爬器		√	



圖 1 第一階段檢驗模型車外觀及製作情形



圖 2 第一階段檢驗模型車內裝



圖 3 第一階段檢驗模型車手動駕駛操作台



圖 4 第一階段檢驗模型車操作台



圖 5 單節車廂模型外觀

第二階段模型車於 108 年 7 月 10 日於西班牙巴塞隆納模型車製造廠商 Integral design and development SA(IDD)公司²⁴廠房進行模型車檢驗，並針對模型車未符合設計成果部分促請廠商修正。以下為模型車檢驗過程及成果照片：

²⁴ IDD 模型公司位於西班牙巴塞隆納 Cornellà de Llobregat 各類模型設計及製作工廠，將近有約 500 名員工，主要生產領域為精密複合材料模型，應用領域包括建築、交通工業及精密工業等各類大型模型製作。而本計畫係拜訪 IDD 位於西班牙巴塞隆納近郊之研發生產中心，該中心主要包括手工組配區、CNC 車床區、濕式表面處理區、粉體表面塗裝區、金屬加工區等不同區域。IDD 所設計生產之車廂係以輕量與強度兼具之設計著稱，被廣泛使用於歐洲各主要城市之巴士車廂模型展示，在鐵路客車及輕軌系統等也有無數之使用實績，例如：Stadler、Bombardier、Siemens 與 Alstom 等著名車輛廠商皆曾委託製作。

圖 6 模型車車頭



圖 7 模型車外觀



圖 8 模型車側面造型



圖 9 模型車側面造型



圖 10 模型車車頭流線造型



圖 11 模型車車門樣式及開門情形



圖 12 模型車防爬裝置

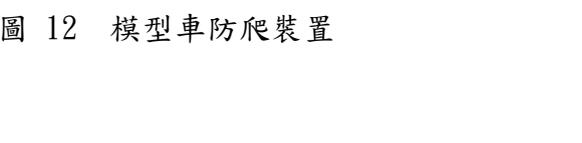


圖 13 模型車自動連結器裝置

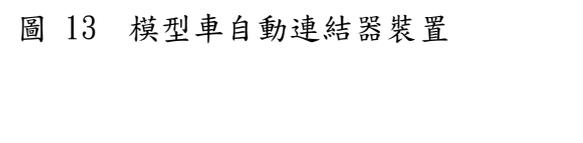




圖 14 模型車車燈造型及捷運公司標示



圖 15 模型車車燈造型及車頭擋風玻璃



圖 16 車外滑門緊急試壓閥



圖 17 模型車駕駛台



圖 18 模型車內部空間配置



圖 19 輪椅區及車門前空間配置



圖 20 緊急對講機



圖 21 車內放置滅火器



圖 22 車內滑門緊急試壓閥及車門開啟裝置



圖 23 車頭駕駛區空間配置



圖 24 車門開啟裝置及車內攝影機



圖 25 車廂內裝及站立空間配



圖 26 1/24 模型車車頭造型



圖 27 1/24 模型車側面造型



圖 28 全體人員合影



圖 29 全體人員合影

肆、管理及獨立驗證與認證顧問評估結果

針對廠房設備和生產線之評估意見，廠內、外清潔整齊，照明充足並有足夠安全/逃生標誌，廠房內工作員工皆配戴適當防護具。所製造之外板具有高水平板金工藝，5mm 厚之長形車廂外板是以兩面 0.5mm 鋁薄板屈邊，真空黏合而成，幾乎看不見缺口，後續再將整塊弧面壓屈成型。綜合上述所觀察，IDD 公司備有良好生產管理和品質管理，並配合精準之生產技術，本件全尺寸單節車廂模型產品品質值得信任。

第二節 車輛推進系統及電力煞車系統整合測試

本項測試將於日立公司拿坡里那不勒斯工廠²⁵內之實驗室進行，該實驗室頗具規模，可同時進行兩組不同型號容量之推進系統及牽引馬達測試，控制室在三樓，可透過強化玻璃目視一樓推進換流器及其控制牽引馬達之運作情形，亦可透過監視攝影機即時監控畫面。所有相關牽引馬達、換流器等控制電流、電壓感應器、溫度偵測器、轉速、扭力等數據均可經由 DAS 資料擷取系統及 SCADA 管理控制資料擷取，傳送至控制室處理，獲得整個測試程序中從設定參數、送電、電驛動作至結束，整段測試過程所獲取之資料，進而進行擷圖，以判斷該項測試是否成功或失敗。



圖 30 NAPLES 工廠鳥瞰圖

壹、電聯車推進系統廠驗依據及內容概要

本項測試係依據契約書第二冊機電系統功能規範第 2.15 節²⁶規定，本項測試

²⁵ 此廠為日立軌道車輛股份有限公司車輛電子零件、牽引電子設備及馬達、牽引控制單元以及列車控制與監測系統之開發、設計、生產、測試與試運轉的中心。此廠內有研究中心，具有模擬在線車速可高達 250 km/h 的性能測試設施、高架軌道、以及多個電磁相容性量測的實驗室，工廠總面積：158,000 平方公尺，工程師計 456 人，生產工人計 432 人。

²⁶ 契約揭繫系統需求如下

- A. 推進與煞車系統之耐熱能力應根據列車於全線軌道上持續營運時之狀況而設計，包含營運時之靠站時間，及列車中所有車輛承受 AW3 載重，並以日溫 40°C 設計且空調與其他設備同時運轉，廠商應提送其模擬分析

係以實車(AW3 載重)或在實驗室內模擬 AW3 載重下之列車在全線路線上之行駛狀況，受測設備應包括各相關推進設備及驗證再生電力狀況(再生電流大小是否與預測值一致，以驗證再生電力)、回饋輔助電力系統狀況、回饋第三軌狀況、煞車電阻狀況等，同時受測時間需連續運轉 15 小時以上，以推進系統之線開關、高速斷路器、差動繼電器應測試其能否在故障電流及暫態高壓，以及電磁干擾限制與相容性等測試項目。

貳、電聯車推進系統設計概念簡要說明

有關電聯車推進系統及輔助電力系統(包含靜態換流氣器及電池充電器，並包括動力機箱組及牽引設備，本次測試設備株式會社日立製作所義大利所屬公司負責設計與生產製造，推進系統至少包含電力模組化裝置、推進牽引馬達、控制邏輯、煞車電阻器、車輪空轉/打滑控制及其他相關連輔助裝置。

本計畫每列電聯車皆由兩節車廂組成，每節車廂均為動力車廂，每一部動力車廂皆具有 4 具動力馬達，而每一步推進換流器控制兩具推進馬達，故一部列車有 8 部推進換流器及 16 具交流電鼠籠式牽引馬達。每一車廂配備一組動力機箱，動力機箱中包含 2 部推進換流器、1 部靜態換流器、1 部電池充電器及 1 套電池組，靜

以驗證所採用之推進與煞車系統之耐熱能力。

B. 列車應具有下列故障運行能力：

- a. 列車在 AW3 載重且喪失 1/4 動力之情況下，應能維持一次往返營運。
- b. 列車在 AW0 載重且喪失 1/2 動力之情況下，應能維持一次往返營運。
- c. 列車在 AW3 載重且喪失 1/2 動力之情況下，應具有在全線之任一地點(含最大坡度、最小曲率半徑 50 公尺等路段)啟動並運行至最近車站之能力。
- d. 依營運需求，一列正常且載重至少空載(AW0)列車應能推或拉行停在全線之任一地點(含最大坡度、最小轉彎處等路段)、同樣長度且為 AW3 載重之另一故障列車至下一車站，並滿足以下需求：
 - (a) 正常列車之營運煞車及緊急煞車應具同時煞住兩列車之能力，且在緊急煞車情況下，兩列車上之緊急煞車均應作動。
 - (b) 於某些特殊情形下，故障空載列車之緊急煞車必須鬆放以便移動時，則不在此限，惟此時若基於系統安全之考量，其性能得酌予降低。
- e. 正常空載列車(AW0)應能將故障空載列車推或拉行至機廠。
- f. 上述各種情況之最小加速度為 0.15m/s^2 ，行駛速度應符合相關規定，廠商除應提送上述性能需求相關分析計算資料、車輛救援與疏散計畫書經業主審核外，另應於最大坡度路段以實際測試驗證該性能。

態換流器包含輔助主電源供應系統及相關附件、一部輔助電力供應(APS)轉換器及其他控制單元、中壓電阻接觸器、輸出變壓器等。至於靜態(輔助換流器)測試項目包含冷卻系統運行驗證、高壓電源供應超出容許範圍驗證、中壓輸出持續過負載保護驗證、中壓輸出(相對相)短路保護驗證、中壓輸出(相對地)短路保護驗證、外部輔助低壓電源供應關閉驗證、過電壓等級 UMAX 1 測試、過電壓等級 UMAX 2 測試、過電壓等級 UMAX 3 測試、諧波失真測試、滿載(額定)情況、半載狀況、線路供應電壓短時中斷測試、能量耗損驗證、過溫測試、過溫限制準則、元件溫度限制準則等測試項目。目的係測試靜態換流器在滿載容量及異常條件下運作，以驗證是否滿足細部設計所核定之相關工作能力及電氣保護動作，而攸關溫度控制的冷卻系統在滿載情境下是否滿足設計需求，為了測試捷運三鶯線動力機箱內靜態換流器，所有工作參數皆以模擬實際條件，在正常及最壞狀況下操作、以模擬負載加諸於靜態換流器實際進行運行，以驗證靜態助流器足以符合所有需求。本次測試之推進系統及電力煞車整合設備項目概略分類如下：

表 3 推進系統及電力煞車整合設備表

待測試設備	數量
動力機箱	1
牽引馬達	2
高速斷路器	1
煞車電阻	1
電池組	1

表 4 靜態(輔助)換流器測試設備概述：

測試設備/工具	廠牌	測試方式描述
PC筆電	HP	ACUs控制
pc筆電	HP	TCIJ控制
PLC(可程式邏輯控制)	Rockwell	測試管理
觸控面板	Schneider	測試管理
LV電源供應24VDC	ELIND	現場設備電源供應
LV電源供應110VDC	ELIND	ACU、TCU設備電源供應
PC伺服器	DELL	PLC編碼軟體

此外，尚包含 1 組推進換流器置於電源箱中，構成元件包含，三相電源換流器、具車載波器模組、具濾波電感、具牽引控制單元、具預充電線路、冷卻系統(通風管道+風扇馬達)、APS (SIV+BC 與相關冷卻系統)。以上測試將於日立製作所位於拿坡里那不勒斯工廠車輛測試室進行為期 1 周測試。至於所有測試儀器校正部分，已於測試前由第三方驗證單位公司計量實驗室做外部校正，有關量測儀器有效性的報告，均可在日立公司網站上取得或閱覽。

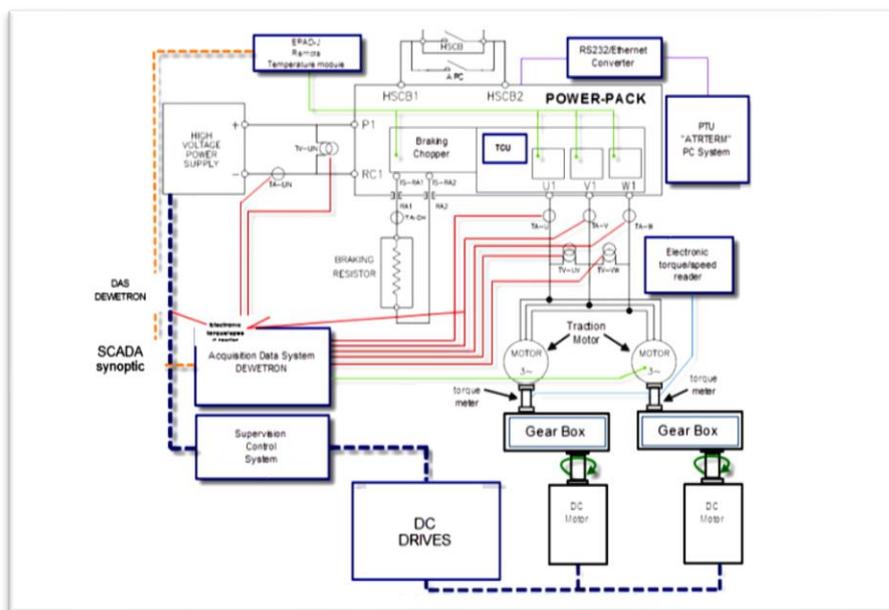


圖 31 測試點配置方塊圖²⁷

參、電聯車推進及電力煞車整合測試程序概述

二、初步驗證：在此測試期間將著重於由換流器之轉換器所讀取的濾波電壓。量測線濾波電壓數值從10%至90%之經過時間，線濾波器放電當濾波器電壓值達到 $\leq 50V$ 時，濾波器被認為是已放電，這是由濾波器電壓轉換器（PTU 和 DAS）取得相關實驗數值。

三、熱驗證：並非使用完整路線線型，而是藉由模擬萃取出相對嚴苛的循環，不

²⁷ 本圖係表示儀器、探針和傳感器的一般配置，其有項目的主要安排。一些項目與實驗室特別設備相關，像是：高電壓電源供應，DC 驅動器和 DC 馬達。另外一提，DAS 也能在執行測試中提供數據收集。對於電流/電壓的主要傳感器和熱探針也表示於上，其提供數值的正確讀數。

斷重複的熱應力來檢驗換流器的狀況。

- 四、推進效能測試：推進效能測試(牽引時之加速度、最大速度、煞車時之減速度)將在列車於 AW3 負載下測試。
- 五、整合系統效率驗證：本項測試係依據 EN61377:2016 章節 8.2 規範項下執行，必須藉由量測換流器輸入的電功率和馬達軸輸出的機械功率，來間接量測損耗。
- 六、熱馬達的扭矩速度特性測試：本項測試係依據 EN61377:2016 章節 7.2 規範項下執行，為測試出相應的扭矩特性，馬達須在一給定速度下執行。參考扭矩(主要控制器需求)必須提供給控制單元，以量測整合系統的特性。馬達輸出扭矩(均值)、電壓(均值)、電流及功率在換流器的直流測都必須要量測。
- 七、低電壓變動：在推進和煞車操作時，低電壓供應器必須要在 154V 和 70V 範圍之間調整。並驗證轉換器的工作正確性，不可以隔離保護。在相同的工作條件下，低電壓供應器的開/關和轉換器的開/關要分別驗證。當控制供應器被重建時，系統必須能用控制方法重新啟動。測試將以手動調整方式，使電源供應器得到需要的數值，這些數值將以認證過的三用電表做驗證。



煞車電阻
Braking resistor

動力機箱
Power Pack

高速斷路器
High Speed Circuit
Breaker

感應馬達
Induction motor



感應馬達
Induction motor

圖 32 推進系統及電力煞車系統整合測試設備配置圖



動力機箱
Power Pack

高速斷路器
High Speed Circuit Breaker

煞車電阻
Braking resistor

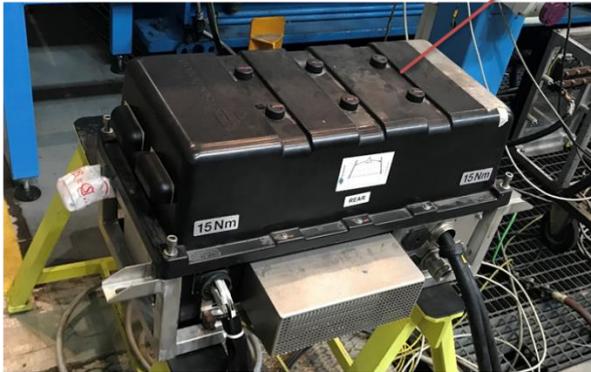


圖 33 受測設備配置圖

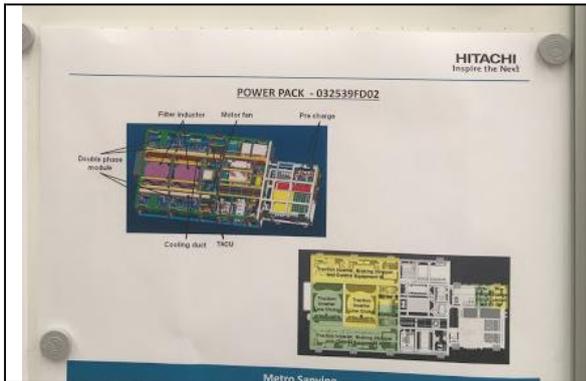


圖 34 三鶯線動力機箱配置示意圖



圖 35 三鶯線動力機箱外殼



圖 36 測試設備控制台

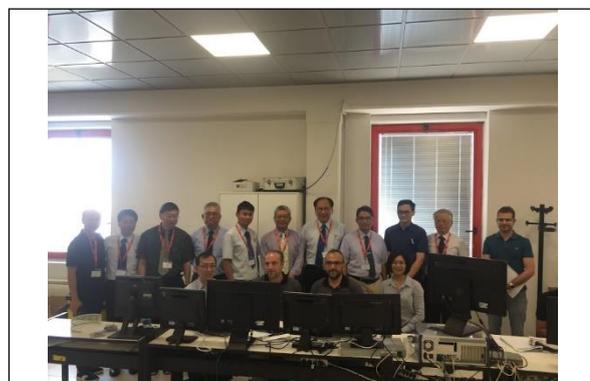


圖 37 全體人員合影



圖 41 熱驗證：溫度偵測

伍、心得及小節

捷運三鶯線本工程牽引動力馬達然採用交流電力技術，然而目前日立公司拿坡里實驗室現正進行電力推進系統從直流電力進展至PWM(脈波寬度調變)技術的交流電力和向量控制、直接轉矩控制的交流電力，系統中採用的電力半導體器件也從半波控制型元件(如SCR)進展至全波控制型元件(如GTO、IGBT)。隨著電力半導體技術、交流調速理論和微機電控制技術的發展，交流電機的變頻變壓調速技術日漸成熟，這也使得電力推進系統在機動性、可靠度、運轉效率和推進功率等方面有突破性發展，應用範圍不斷擴大，本局未來電聯車需求規範亦可納入參考。

第三節 參訪米蘭理工大學轉向架測試實驗室及三鶯線轉向架疲勞設計驗證回顧

本工程轉向架動態疲勞測試設計驗證係委託義大利米蘭理工大學實驗室進行測試驗證程序³⁰，該學院具有一系列的專門測試裝置，設計用於軌道車輛數個子系統的測試與特性分析，特別是備有轉向架或其子元件（例如轉向架框架、枕梁或懸吊系統）結構測試的裝置。本項轉向架動態整合測試業於 108 年 2 月開始測試，並於 108 年 7 月測試完成。

貳、 轉向架疲勞測試依據及內容概要

轉向架為車輛結構最重要的設備之一，攸關電聯車行走速度、穩定性、舒適度及安全等重要課題。電聯車的保固期為兩年，功能要求為「車輛之壽期最低須達 30 年，經大修及翻修後可再延長 15 年壽期。」，而轉向架之基本規範為「轉向架框架、車軸、軸箱及所有主要組件應配合車輛壽期設計，而無須重置、修理或結構強度補強。」。此次轉向架結構強度測試(Bogie Structure Proof Test)即是要驗證設計的結果符合需求，可達規定的強度或壽期。整體而言，強度負載測試結果為合格；至靜態疲勞負荷測試結果，除有一處所量測的應力值超過可承受應力極限圖於焊接未打磨的範圍，因此附近區域須打磨外，其餘各測點均符合標準。

轉向架除了本次的結構強度測試(靜態測試)外，接著同樣的轉向架要執行後續更嚴格的疲勞強度測試(動態測試)，才能在設計階段中驗證轉向架強度符合功能要求，測試合格後方可量產，足見本次測試的重要性。一般來說，轉向架的強度設計要符合「靜態」及「動態」的強度需求，本案之轉向架依照機械設計的一般原理及契約規定之 EN 13749：2011 標準，茲以下表說明設計

³⁰ 該實驗室經 ISO 17025:2005(Accredia)、ISO 9001:2008 (Italcert)認證認可的測試包含：測力輪組特性分析 (DM/AI. TSF. DOC. 12. 002 + DM/AI. TSF. POP. 12. 001)、轉向架框架、軸箱與枕梁之靜態測試 (UNI EN 13749:2011)、集電弓接觸條與架空電力線接觸線之間的摩擦係數量測，以及接觸線與集電弓接觸條的磨損率量測 (RFI-DMA-IM. LANST TE65)、列車的空氣動力負載：路旁軌道工人的空氣動力負載、月台乘客的空氣動力負載以及戶外壓力負載 (STI HS RST 2008, Direttiva 96/48/CE)、車軸旋轉彎曲的疲勞度 (EN 13260)、集電弓與架空接觸線之間的動態交互作用：量測系統的校正 (EN50317, RFI/DI/TC. TE/ST. TE 74D)。

之負荷、計算方式及評估方式：

表 5 設計之負荷評估表

負荷名稱	計算方式	評估方式
動態疲勞負荷 (fatigue load)	平均應力(Mean stress)：車重以 W3 計之，為各個靜態負荷(EN 13749 稱為 static load)所得出的應力值之總和。 變動應力(Varying stress)：依各部位之不同，以靜態負荷乘以某個倍數計之(EN 13749 稱為 dynamic load)，然後再以每個變動應力振幅的平方根之和計之。	EN 13749 可承受極限圖
靜態設計/驗證負載(proof load)	同上述之平均應力方式計算，但荷重更嚴苛，例如車重以 W4 計。	各方向的驗證負載合成應力小於降伏強度

依目前設計之車重，使用最大軸重 $W3=14552\text{kN/axle}$ 來計算疲勞負荷(fatigue load)。平均應力及變動應力作用於轉向架上，列舉垂直負載與齒輪箱負載為例：

表 6 列舉轉向架架框負載情形

負載條件	符號	所施加之負載
垂直	A	(平均) W3 條件下之二次懸吊負載與轉向架架框重量及承樑重量
	B, C	(變動) $\pm 0.3*A$ (係數 0.3 係依據 EN 13749)
齒輪箱負載	K	(平均) 齒輪箱與一半聯軸器之重量
	L, M	(變動) $\pm(W3 \text{ 負載下之反作用扭力} + 6g * \text{齒輪箱與一半的聯軸器之重量})$

上表係依 EN 13749 規定計算各點的平均負載(mean load), 變動負載(dynamic), 其中變動負載則採用靜態負載之某個倍數(依負荷點不同而定), 例如: 垂直負荷用 0.3 倍, 馬達與齒輪箱用馬達或齒輪箱本身重量一半的 6 倍, 煞車用 8 倍... 等等。由於轉向架架框之作用力複雜, 茲以下圖說明垂直負荷作用於轉向架架框之作用點及負載情形。將轉向架上所有的負載(力量單位)換算成應力後, 轉向架的架框強度由應力方程式求得。另外, 本計畫所使用的轉向架型式, 因旋轉阻力的因素, 採用承樑式(Bolster)轉向架, 承樑強度的計算原理與架框相同, 故不再贅述。以下以有限元素法所計算編號 1543 元素的應力值為例, 來說明實際計算值:

表 7 以元素編號 1543 為例, 計算應力值³¹

a		b		d		f		h		i	
Maj	Min	Maj	Min	Maj	Min	Maj	Min	Maj	Min	Maj	Min
57.1	3.2	17.1	1.0	-1.6	-17.7	-0.3	-3.6	2.9	0.2	17.3	0.9

k		l		n		p		q		s	
Maj	Min	Maj	Min	Maj	Min	Maj	Min	Maj	Min	Maj	Min
0.7	0.0	20.7	1.6	0.0	-2.7	0.3	-0.1	2.8	-0.9	24.6	1.9

平均應力 Mean stress	Smaj	61.0
	Smin	3.3

變動應力 Variable stress	dS	44.3
----------------------	-----------	------

主應力變動極限值 σ_1 Criteria considering Mean stress Smaj for variable stre	135.7
安全係數 SF1	3.1

主應力變動極限值 σ_2 Criteria considering Mean stress Smin for variable stre	154.0
安全係數 SF2	3.5

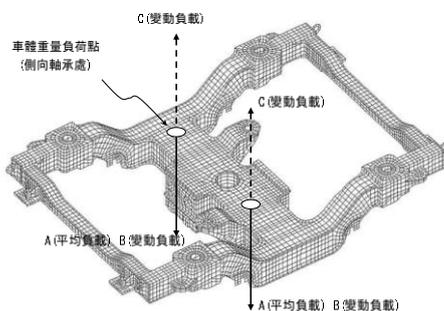


圖 42 轉向架架框垂直負荷

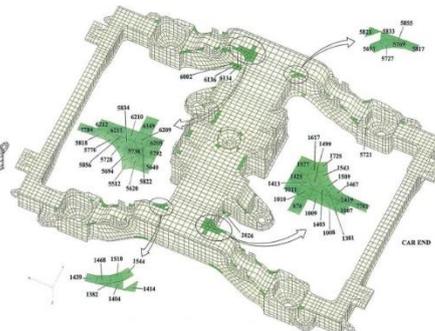


圖 43 轉向架架框垂直負荷

³¹ 其中 σ_1 、 σ_2 、SF1、SF2 將由以下的極限圖中說明

此外針對測試結果，可繪製承受極限圖(Endurance Limit diagram)(依據 EN 13749)將每一個元素的 (S_{maj}, dS) 、 (S_{min}, dS) 畫在可承受極限圖上，再依該處是屬於母材 Non-weld、焊接有打磨 weld(ground)、焊接無打磨 weld(not-ground)等情形，畫出每種材料的狀況下應力的範圍，此範圍就是可承受的極限。以下為表 8 繪製於可承受極限圖的應用實例：

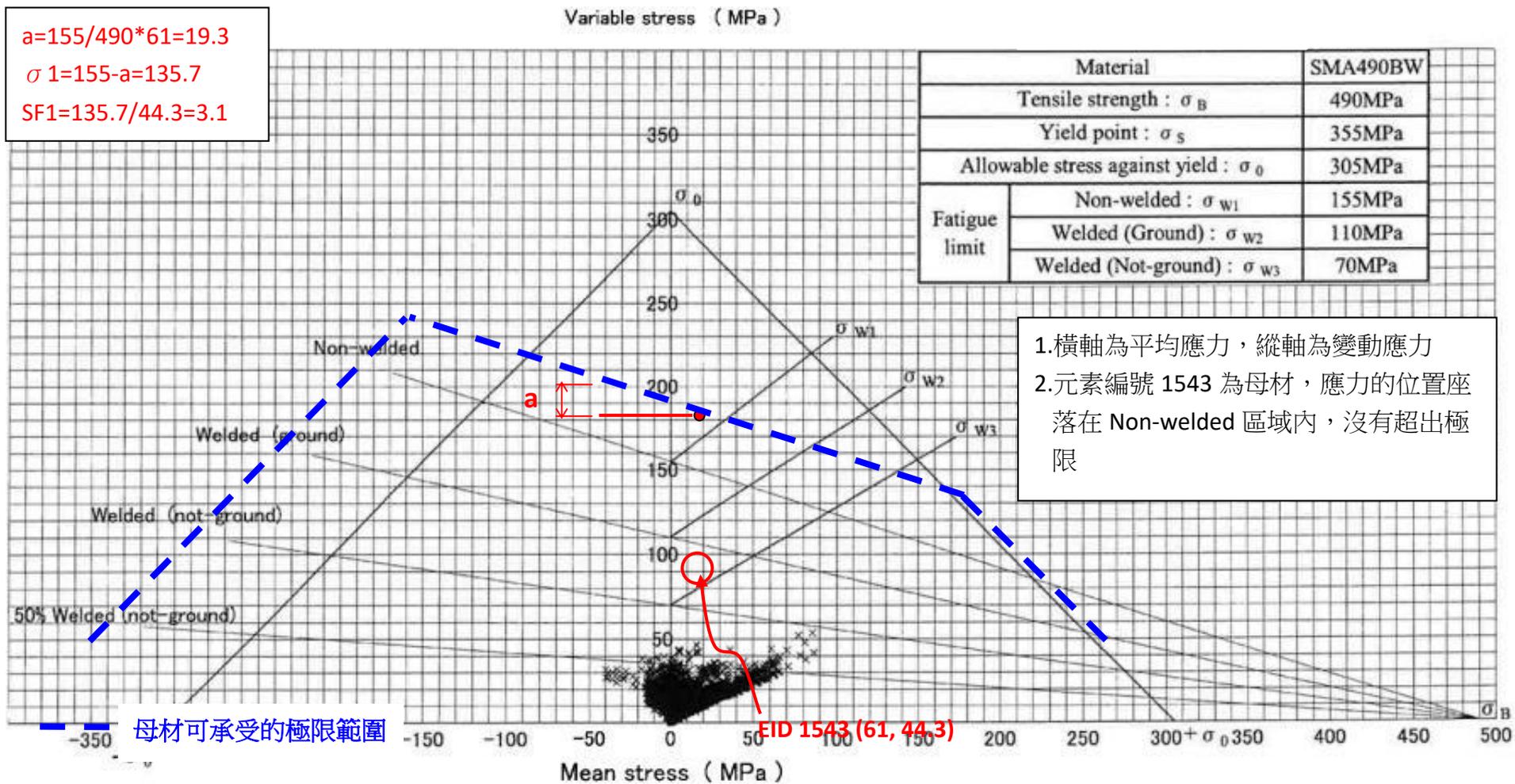


圖 44 轉向架架框可承受應力極限圖

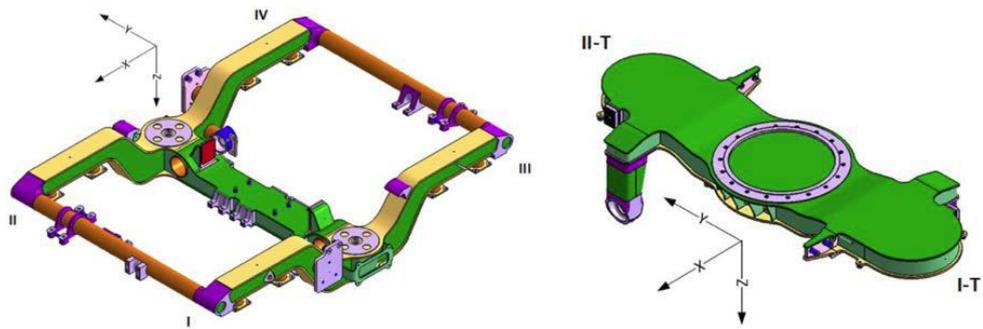


圖 47 轉向架框及枕梁示意圖

在疲勞測試期間，每 4×10^5 次循環進行靜態測試，以檢查與疲勞現象相關的最終產生異常應力。測試報告清單說明於文件已量測應力沒有觀察到演變。在整個疲勞測試進行的經控制靜態測試期間所量測的應力顯示，與疲勞現象相關的量測應力條件沒有顯著變化。此外經 200 萬次疲勞測試後，NTD 控制沒有跡象顯示與疲勞現象相關，在 0 次循環也沒有發現任何材料表面產生水波紋跡象。依據本實驗活動獲得的結果，三鶯線捷運的動力轉向架的轉向架框架和承樑符合相對應設計疲勞強度。

圖 48 測試過程簡報會議

圖 49 測試過程解說

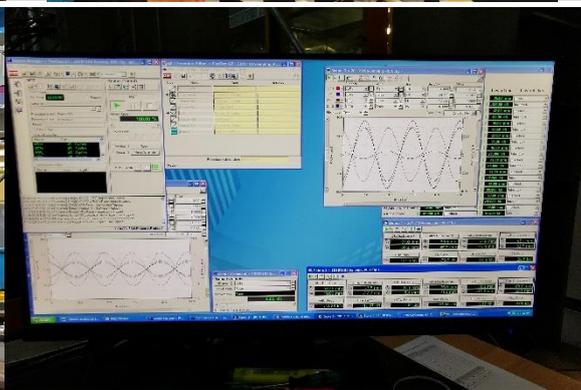


圖 50 轉向架測試過程

圖 51 循環應力及疲勞測試結果紀錄

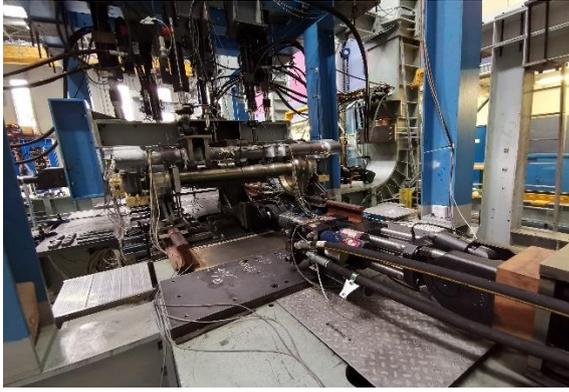


圖 52 轉向架測試過程

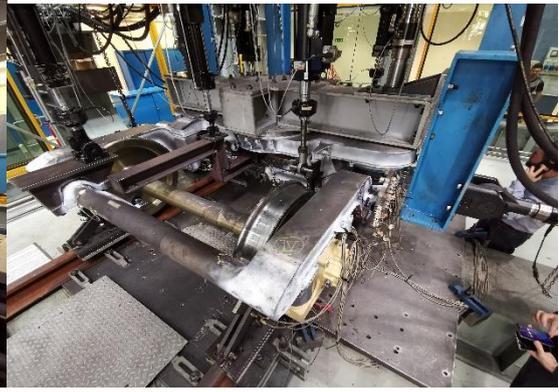


圖 53 循轉向架測試過程



圖 54 全體工作人員合影

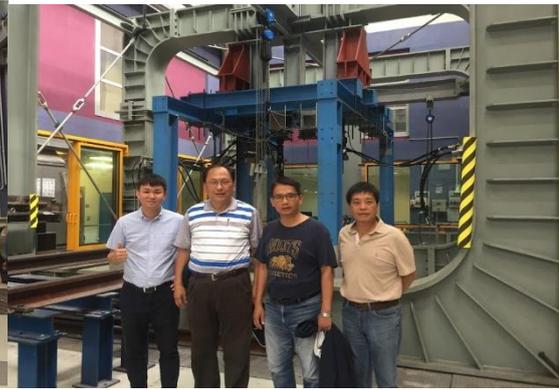


圖 55 參與測試人員合影

肆、 米蘭理工大學軌道系統測試及風洞實驗室考察

米蘭理工大學 (Politecnico di Milano) 是位於義大利米蘭的一所國立大學，目前擁有七個校區。創立於 1863 年，是米蘭歷史最悠久的大學，也是義大利規模最大的科技類大學，約有 42000 個學生，是一所歷史悠久、專業分布廣泛、師資力量雄厚的理工大學。米蘭理工大學是歐洲乃至世界的頂尖理工大學之一，在設計、建築、工程、航空航天等學科方面具有世界領先地位和卓越聲望³²。本次順道軌道系統測試及風洞實驗室係隸屬於該校機械工程系管轄之實驗室，該等實驗室亦取得獨立實驗室認證³³。目前軌道系統測試實驗室放置重要儀器³⁴及測試項目³⁵如下：

- (一) 轉向架測試裝置：軌道元件結構測試用之可重組態式測試裝置。
- (二) 測力輪組測試裝置：測力輪組之特性分析與校正。
- (三) 集電弓測試裝置：儀器化集電弓特性分析迴路裝置內的硬體。
- (四) 車軸測試裝置：車軸旋轉彎曲疲勞度與裂縫擴散現象的研究。
- (五) 集電器極條測試裝置：測試集電器極條重現真實在線情況。
- (六) 空氣動力測試：軌道空氣動力學研究的在線測試程序。
- (七) 次懸吊測試裝置：曲線軌道情況模擬。
- (八) 測力輪組特性分析：靜態特性分析輪組，或更常指的是轉向架，適當地以儀器量測其接觸力。在接觸介面 (UIC60 傾斜角度 1/20) 與在軸箱 (裝在整個轉向架的測試裝置上) 兩者的實際界線情況。直接量測各車輪上接觸力的三個分量。各種適用的負載 (垂直方向每輪最高 150kN，橫向 40kN，縱向 20kN) 及其組合。
- (九) 結構性的軌道元件測試：依據國際標準 EN 13749 進行軌道轉向架及/

³² 資料來源:維基百科全書，最後瀏覽日期 108 年 9 月 2 日。

³³ 證書截圖詳

³⁴ 資料來源:學校網頁，最後瀏覽日期 108 年 9 月 2 日。www.mecc.polimi.it

³⁵ Alstom, Ansaldo Breda, Ansaldo Breda España, Bombardier, G.E. Transportation system, Lucchini R.S., Balfour Beatty, Furrer Frey, Metropolitane Milanesi, Pantecnica, RFI, ATM, Ferrovie Nord Milano, Trenitalia, ContiTech, MSA, Mermec, Italcertifer, Contact, DB, Faiveley, Shunk, SNCF, Stemann.

或其元件的靜態、動態與疲勞測試。可重組態式配置以便容納目前在軌道、捷運與電車上流通之所有類型的轉向架。可同時控制各種數量的液壓致動器（最多 10 個），具有不同的負載範圍，最大可達 1000kN。

- (十) 集電器極條測試：進行集電器極條上的磨損測試，以最佳方式重現營運中所遇到的實際情況。最大張力適用 1200A。集電器極條與架空電線之間的最大相對速度高達 210km/h，可重現風冷卻效應以及由集電弓彈簧所施的負載。
- (十一) 集電弓特性分析：讓集電弓的特性分析重現與架線的動態交互作用，可複製交錯的幾何圖形與集電弓速度。對於兩個集電器極條，在垂直方向單獨施加負載。迴路控制中的即時硬體模擬集電弓與模擬的架線之間的實際交互作用。
- (十二) 車軸旋轉彎曲的疲勞度：旋轉時對軸中段施加可變量的負載重現車軸疲勞測試所需的條件。系統最大轉速 600rpm，對軸可施加最大 250kN 負載，能模擬惡劣環境條件下進行測試，以重現腐蝕效應。
- (十三) 作動次懸吊系統：模擬在彎道軌道中的軌道車輛運輸，重現無補償的橫向加速度，最高可達 1.1m/s^2 ，能在 3 秒內重現有效地模擬高速車輛的真實動態。



圖 56 集電弓特性測試設備



圖 57 含溫控拉伸試驗機

此外針對第六項空氣動力測試項目，米蘭理工大學另設有大型、中型、小型三個風洞實驗室³⁶佔地 600m²。以下分別介紹之：(1) 大型風洞屬於開放、吸入式風洞，風洞全長 30m，試驗段長 18.5m，寬 3.05m，高 2.1 m。風扇直徑為

³⁶ 同註 29。

1.8 m，一共有 16 片扇葉，風扇葉片的角度可調整以微調風速。風扇由一個 200 馬力之馬達驅動，馬達最大轉速 1800 rpm，最高風速可達 20 m/s，圖 58 為該風洞之影像圖。風洞試驗段中有兩個轉盤(直徑分別為 2.0 m、2.8 m)，可轉動轉盤模擬在不同風向角下模型的風場狀況。

一般的風洞可用於研究建築物在穩態(steady)風場中的問題，但此風洞具有一個特色，此風洞有一個陣風產生器(Gust generator)，如圖 60 所示。此陣風產生器可產生類似正弦波形週期性變化的風速，可用以研究非穩態(unsteady)風速下的風場現象，譬如結構物在陣風中的振動、風力發電機、音波風速計的反應時間等。圖 59 為陣風產生器運轉下的風洞內風速的變化圖，風速在 5.0 ~ 8.8 m/s 之間變化，平均風速約為 7.0 m/s。

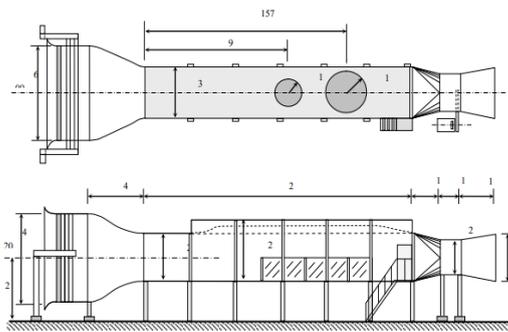


圖 58 風洞測試裝置示意圖

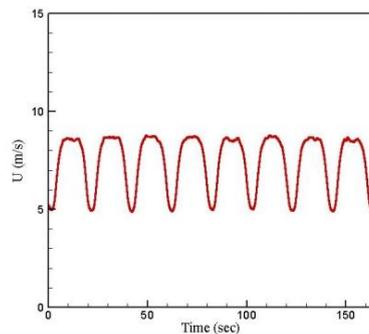


圖 59 正弦波陣風示意圖

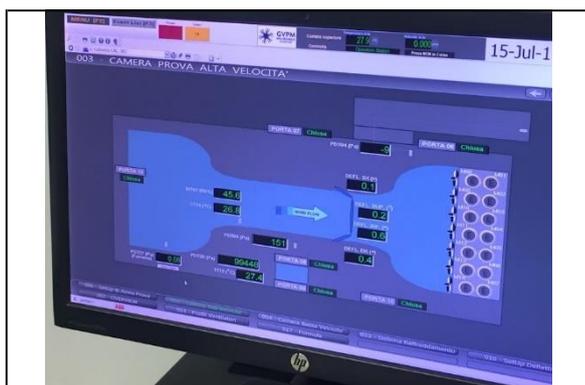


圖 60 風場監控設備



圖 61 風場調控台



圖 62 陣風葉片陣列

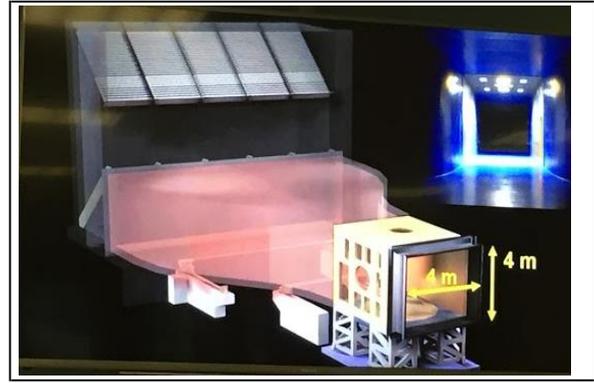


圖 63 風洞測試示意



圖 64 模型機測試示意



圖 65 自行車測試煙線示意



圖 66 邱副祕代表致贈米蘭理工大學紀念品

第三章 軌道建設及城市交通考察

第一節 西班牙巴塞隆納地鐵系統考察

巴塞隆納市區市的交通系統(Transportation Metropolitans de Barcelona, TMB)營運範圍包括地鐵、公車、觀光巴士、纜車、路面藍色電車(Tramvia Blau)。其中地鐵共有 5 條路線之市區地鐵(L1-L5)、1 條輕軌捷運線(L11)、及 3 條連結 FGC 郊區鐵路的支線³⁷，詳細路線如圖。大部分路線的營運時間為 6:00-24:00，週末及例假日延長至凌晨 2 點。票價種類有單程票、一日票(T-Dia)、十回票(T-10)，另有適合遊客的二日票、三日票、四日票，可使用於地鐵、公車、FGC 加泰隆尼亞鐵路。地鐵車門的開啟有手動和自動兩種，手動開門依門上箭頭指示轉開即可。

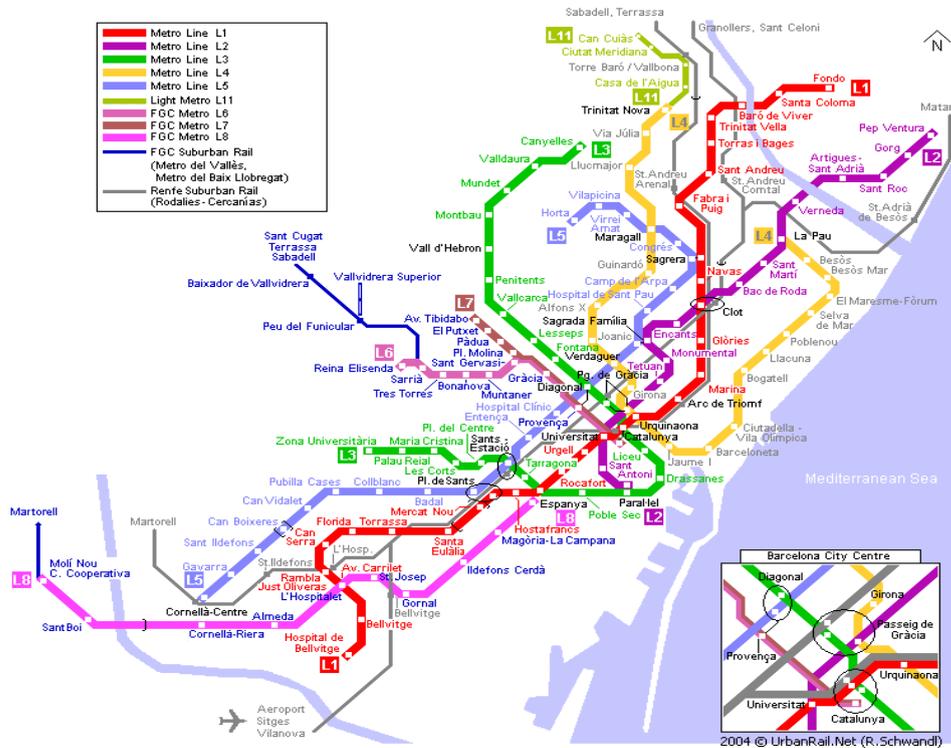


圖 67 巴塞隆納地鐵路線圖

³⁷ 巴塞隆納地鐵 (Metro de Barcelona) 共有 11 條線路，180 座車站，線路共計全長 143.3 千米。而巴塞羅那地鐵正在興建的 9 號線則將是歐洲最長的自動運行的地鐵路線。巴塞隆納地鐵由兩個公司運營，其中 TMB 運營 1 至 5 號線及 9 至 11 號線，FGC 則運營 6 號線至 8 號線。巴塞隆納地鐵和巴塞隆納城鐵 (TMB) 一起構成巴塞隆納都會區的軌道交通網絡。



圖 68 巴塞隆納 L1 線 CAF 5045 電聯車



圖 69 加泰隆尼亞廣場站月台



圖 70 L1 線道旁信標



圖 71 巴塞隆納地鐵自動售票機

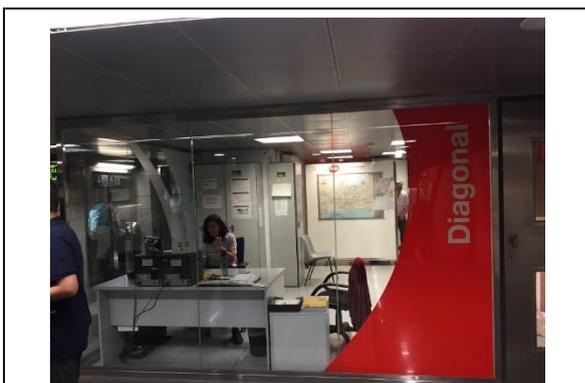


圖 72 加泰隆尼亞廣場站 PAO

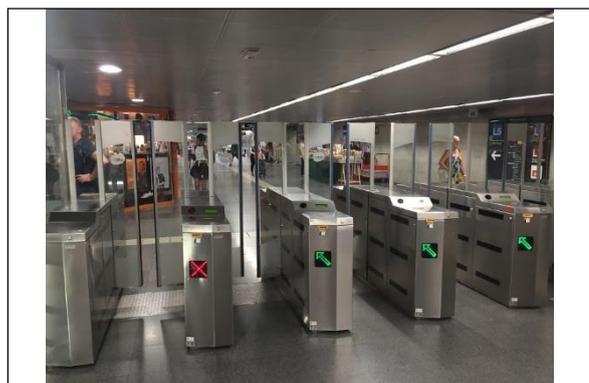


圖 73 巴塞隆納地鐵自動收費閘門

第二節 西班牙馬德里地鐵系統考察

馬德里市內之地鐵共有 12 線³⁸，圖 74，自 6:00 行駛至凌晨 1:30，路線涵蓋範圍廣濶且票價便宜，是馬德里境內最方便的大眾捷運系統。馬德里的地鐵票價在同一分區內係按次計費，不限里程，計有下列數種票價：

- 一、 One-way Ticket：單程票 1.1 歐元
- 二、 Metrobus 10 trips：5.2 歐元，可搭乘 A 區之十次地鐵或公車(機場巴士除外)，同次旅程中可多人共用同一張票卡。
- 三、 Metrosur 10 trips ticket：5.2 歐元，限用於搭乘十次新的地鐵線 MetroSur。

馬德里地鐵票可由站內自動售票機、書報攤等處購得，乃一具磁條之紙卡，於進站時以接觸式插卡驗票，出站時無須再驗票，直接出匣門即可。

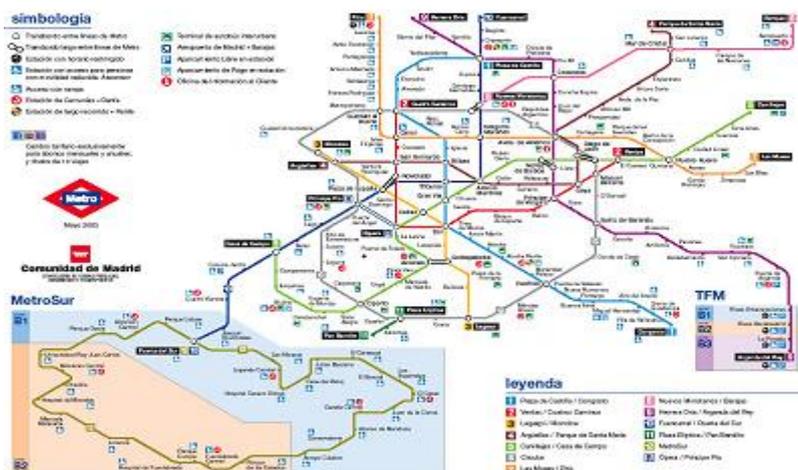


圖 74 馬德里地鐵路線圖

³⁸ 馬德里地鐵 (Metro de Madrid) 是西班牙首都馬德里的地下鐵路系統，啟用於 1919 年 10 月 17 日，目前共有 281 個車站，其中 27 個為兩線轉乘站，12 個為 3 線轉乘站，1 個^[2]是四線轉乘站。整個地鐵網絡包括十二條主線及一條支線，合計長度為 296 公里。有 3 站提供同線轉乘，以前往其他地區，而有 21 站提供與馬德里近郊線的轉乘。此外，馬德里地鐵旗下亦包括三條電車線，稱為輕鐵 (Metro Ligero)，總長度 27.78 公里，共設 38 個車站。

地鐵及輕鐵共設 326 個車站，總長度為 324 公里。以長度計，這是全球第十大的地鐵網絡 (僅次於上海、北京、倫敦、廣州、紐約、南京、東京、首爾與莫斯科)，但值得一提的是馬德里市區人口只有約三百萬，全都區人口約六百萬，全球都市人口排名約 50。



圖 75 馬德里地鐵站月台



圖 76 馬德里地鐵自動售票機



圖 77 馬德里地鐵站 PAO



圖 78 馬德里地鐵 CAF 電聯車內部配置

第三節 西班牙 Montserrat Rack Railway 登山鐵路考察

Montserrat Rack Railway 是位於西班牙加泰羅尼亞巴塞羅那西北部的山區鐵路線。該線路從 Monistrol de Montserrat 到蒙特塞拉特的山頂修道院^{39 40}。

該路線長 5 公里 (3.1 英里)，軌距為 1,000 毫米。該線路使用 Abt⁴¹ 系統，以克服了 550 米高度差，路線最大坡度為 15.6%。該線路採用 1500 V DC 的架空電源供電¹³。該生產線由 Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC) 公司運營¹³。

該路線電聯車推進系統係由瑞士 Stadler Rail 公司所製造 Stadler GTW 系列電動馬達驅動。每列車配置五具驅動馬達，且該等車廂均係動力編組，編號分別為 AM1-AM5 且以當地山峰命名。這些車廂均一般傳統是鋼軌鋼輪為列車導引設施以及齒輪式推進裝置，每個可以攜帶多達 200 名乘客。配有空調，全景窗戶等配置以便民眾於車廂內觀賞車外風景。在齒輪式推進裝置部分以高達 30 km / h (18.6 mph) 的速度行駛，在附著部分以 45 km / h (28.0 mph) 的速度行駛。該生產線還有一台 1930 年製造的電力機車 E4，從 ValldeNúria 齒輪式推進裝置鐵路退置成為該路工程用機車。

FGC 還在 Montserrat Rack Railway 的頂峰站附近運營著兩條纜索鐵路，分別有兩站供民眾搭乘；其中 Funicular de Sant Joan 為山頂站，而 Funicular

³⁹ Green, Richard (September 2010). "The railways of Barcelona". Today's Railways Europe. Platform 5 Publishing Ltd. pp. 31 - 33.

⁴⁰ Montserrat Rack Railway and associated funicular railways 官方網站，最後閱覽日期 108 年 8 月 11 日 <https://www.cremallerademontserrat.cat/home/>

⁴¹ 齒軌式鐵道一般分為 4 種，分別為 Rigggenbach、Abt、Strub 及 Locher

2. Rigggenbach 系統亦稱 Marsh 系統))：由使用仿似梯子形之齒軌由多塊鋼板組成，中間每隔固定距離由圓柱連結。此種齒軌最先被發明，缺點是此系統相對複雜且昂貴。
3. Abt 系統與 Rigggenbach 相似，係由垂直鋼板以機器銑割準確齒坑齒輪啮合相較於 Rigggenbach 系統更為平滑穩定。Abt 齒軌經常是 2 至 3 條作為平衡使用，列車上亦配有相同數量之齒輪，以確保至少有一齒輪維持啮合狀態。
4. Strub 系統與 Abt 相似，但只用一條較寬齒軌，具有維修較簡易之特性。
5. Locher 系統：該系統齒軌係銑割於鋼軌之兩旁，而非鋼軌上方，列車以兩齒輪同時與鋼軌左右兩側齒軌啮合不會有齒輪跳出齒軌現象，適合攀爬特陡峭之斜坡。

de Santa Cova 位於山腰間臨教堂側車站。

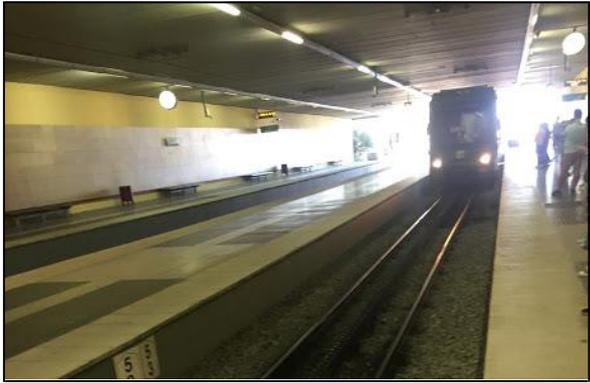


圖 79 Santa Cova 車站月台



圖 80 Montserrat Rack Railway 登山鐵路



圖 81 Abt 齒軌式鐵道



圖 82 Abt 齒軌式鐵道



圖 83 Stadler GTW 系列電聯車



圖 84 登山鐵路列車採集電弓供電及設備

第四節 西班牙國家鐵路考察

於西班牙廠驗之餘，此行亦就近造訪西班牙兩大國際都市－馬德里與巴塞隆納，順道考察其運輸系統與交通設施，本章將說明馬德里與巴塞隆納之城際軌道交通進行考察。

西班牙國鐵(RED Nacional de los Ferrocarriles Espanoles, RENFE)境內鐵路全長達 15,000 公里，其中 471 公里為 1992 年通車以聯絡馬德里至塞維爾的子彈列車 AVE(Alta Velocidad Espanola)專用，車程只須約 2.5 小時，另有 Talgo200 營運南部支線，長途車種還有特快車 Talgo、Intercity、Arco 行駛於各大城市間，設備雖沒有 AVE 那麼新穎，但也十分舒適。其他車種還有普快車(ER)、區域性鐵路(Cercanias)及私營鐵路。一般的長途列車車廂分為二等(Turista)與頭等(Preferente)，AVE 則還有更頂級的 Club 車廂。若城際間距離長、車程動輒 8 小時以上者可選擇搭夜車，夜車分為一般座位及臥鋪。

以馬德里為起點的國際、國內列車由齊馬丁(Estacion de Chamartin)和雅度齊(Estacion de Atocha)二座火車站發車，二站間有地鐵及通勤電車(Cercanias)相接。一般較常利用的是位於市區南方普拉多大道(Praseo del Prade)盡頭的雅度齊(Estacion de Atocha)車站，通往西班牙西部及南部的列皆由此出發，如往安達魯西亞、拉曼查及瓦倫西亞地區等，另亦是 AVE 高速火車(Alta Velocidad Espanola)、Talgo 快車的起迄站。

齊馬丁(Estacion de Chamartin)距馬德里市中心約 5 公里，除了往來西班牙境內東部及北部的列車在此停靠，自巴黎和里斯本出發的長途列車(Largo Recorrido)亦以此處為終點站，此車站內設有遊客服務中心、銀行、郵局、投幣保管箱、旅館預約中心、電信局、書店、租車中心等，極為便利。雅度齊(Estacion de Atocha)是馬德里的第一座火車站，已有百年歷史，以鋼筋、玻璃為建築結構建材的外觀頗別緻，內部綠意盎然的熱帶植物園更是一大驚喜，此車站內設有銀行、旅館預約中心、投幣保管箱等，另外雅度齊車站亦和地鐵站 Atocha Renfe 共構，乘客轉車十分方便。此外，大馬德里地區通勤電車也是由西班牙國營鐵路(RENFE)經營的大眾運輸系統之一，通勤電車路線遍及馬德里和拉曼查地區，是當地人經常使用的運具。

位於市區西邊約 2.5 公里的聖哲火車站乃巴塞隆納之主要車站，自國內其他城市及國際都市前來的火車都停靠此地，前往機場的火車也在此搭乘，車站內設有遊客服務中心、商店、匯兌處、ATM 等設施。另外靠近巴塞隆納港邊的弗朗沙火車站是西班牙境內長途及地區火車停靠的車站，此外格拉西亞大道(Passeig de Gracia)和加泰隆尼亞廣場(FGC 加泰隆尼亞鐵路)亦各有一座地區性的火車站，也有連結法國的火車在此停靠，這三座火車站均和聖哲火車站有連結。

此外，針對本次體驗搭乘馬德里與巴塞隆納 AVE 高速列車，時速最高可達 300 公里，其車廂共有 3 種艙等，分別是商務艙、豪華經濟艙及經濟艙。車廂內有提供免費無線網路，座位底下有插座，前方則有摺疊桌，供乘客使用，該車廂亦有設置簡易座位可供乘客於此用餐，列車上方螢幕除顯示列車即將停靠站資訊外，亦不定時轉播列車行駛外面環境景觀現況。本次體驗係採網路購票，車票上除有訂票代碼外，亦有 QR CORD，可供查票人員快速驗票，整體來說，該列車座位空間、環境設備及列車行駛平穩度等，均能讓乘客舒適搭乘前往目的地。

圖 85 Talgo2000 系列列車對接



圖 86 Talgo2000 系列受電裝置



圖 87 西班牙國鐵系統

圖 88 Talgo2000 系列內裝及 PIDS

第五節 西班牙馬德里捷運維修機廠考察

壹、 考察過程概要

我們從西班牙馬德里搭乘馬德里大眾捷運系統列車前再轉計程車到車站北側的機廠。機廠全名為 Area de Manenimiento de Material Movil，在廠區內有 6 股路線，可提供車輛各種等級維護，廠區外另有 8 條路線供列車停放。目前機廠雖

然由官方捷運公司(Metro de Madrid, S.A.)營運，然而各式列車仍分別由列車製造商以長期合約承接捷運公司的列車維護業務，本次查察維護的車型以株式會社日立製作所生產 Diagrama de la serie 9000 為主，然而日立公司也維護非該公司生產的車型。當日立公司受 Metro de Madrid, S.A.公司委託接下非其生產車輛的維護任務時，日立公司會先評估相關零件可否替換成通用性零件及效益，並經過 Metro de Madrid, S.A.公司同意後，日立公司才同意接下維護工作。



圖 89 邱副秘書長代表致贈禮物



圖 90 維修機廠平面配置圖



圖 91 維修機廠 WLC 議題討論



圖 92 日立製作製造 Coches 9000 列車介紹



圖 93 轉向架維修工廠



圖 94 地下車床



圖 95 發電機感應電圈整修品



圖 96 Power Pesck 整修品



圖 97 維修機廠測試軌



圖 98 Coches 9000 列車於測試軌測試



圖 99 維修機廠測試軌架空線系統



圖 100 維修機廠駐車廠

現場由機廠列車保養經理 帶領參觀並講解列車檢修區、轉向架修復區、車輪切銷區作業模式。另詢問 Mr. Rodriguze，10 年以上的長期維護合約對車輛供應商而言，確實會激勵提高車輛生產品質，以確保後續維護期間可享有低維護成本的益處。另外西班牙的鐵路係雖為國家營運，但仍針對諸多維修契約中尋找上可完全從整體生命週期的商業利益來決定；反觀國內軌道建設多由政府辦理，僅少數案件的預算包含經營期間的開支，而本局辦理的淡海輕軌與三鶯線雖有後續維護的擴充合約，但擴充期限也只有 5 年與 8 年，且因維護預算來源與建設預算相異，財務單位屢有疑議，只能說在現行法令制度下能有如此導入生命週期概念的突破，已屬佳績。此外，日立公司註廠專案經理 Brunero Franceschi 亦分該公司能獲得長期維護合約，係基於公司積極推動 WLC 制度，且主要基於三點條件：

1. 有效的全生命成本分析需仰賴完整的資料庫支持:完整、有用的資料是 WLC 分析活動的基礎，馬德里捷運系統除了本身累積 20 年的資料庫，其他國內公共工程的資料，統一由具有規模的 RICS(Royal Institution of Chartered Surveyors)負責收集及管理，因此擁有良好的資料品質。
2. 業主貫徹執行的決心:作為 WLC 的核心角色，業主必須有貫徹執行 WLC 活動的決心。前期於規劃商業模式時即投入資源進行 WLC 評估，提早預測環境與社會因子的影響性；召集重要關係人、財務、風險管理等領域的專家共同擬定發展策略；於發包文件中要求承包商 提供 WLC 工作計畫，並要求承包商於生命週期的各階段提出審查資料。

3. 實質的回饋，是落實 WLC 制度的驅動力: WLC 制度執行的驅動力，在於所產生的成效，可以實際回饋於資產擁有者(業主)、 承包商、上游供應商與使用者身上。舉例而言， PPP 合作模式其中一種是由民間出資建造並營運，待「營運績效」達到官方(業主)設定的目標時，方由政府支付民間公司費用，償還其投資建造及營運的成本。如此直接影響獲利的運作模式，使民間公司會更主動重視 WLC 活動的執行成效。

貳、 考察心得及小節

綜合前述日立公司註廠專案經理 Brunero Franceschi 觀點，未來於國內針對新建系統或者既有系統之維護合約，應可考慮推動 WLC 制度，並歸納以下幾點方向努力：

- 一、 建立完整的資產管理資料庫：完整的資料庫需要是有效、規格化、可拓展及準確的。建議國內工程主管機關規劃未來年度工作建置鐵路資產管理平台可望先由公路著手，串連現有公路管理系統內的資訊，讓使用者可由此「有效」連結至各系統進行查詢；如欲分析比對各系統資料，也可由此平台轉出「規格化」的格式作後續應用；並隨未來「拓展」平台的輔助分析功能及開發新型檢測設備，同步提升新增資料的準確性。
- 二、 發展 WLC 分析模組擬運用未來鐵公路資產管理平台所串聯之資產履歷,發展 WLC 價值評估模組以輔助資產管理及養護單位進行決策。朝向以設施全生命週期之功能表現如 MTTR(Mean Time To Repair)、MTTS(Mean Time To Support)，搭配環境和社會因子如地理空間資訊、路段運量、事故率等，產生綜合價值指標，可作為管理單位的廠商遴選、預算分配、人員調度等工作之輔助參考。

第七節 國內推動公共工程全生命週期管理機制配套法令探討

綜整以上參訪馬德里維修機廠精要後，重新審視國內既有法令規定，針對政府採購法制定之緣由是因應加入世界貿易組織(WTO)之產物，WTO係先進國家為解決各國關稅貿易障礙所發起的開放組織，我國從農業國家邁入開發國家後，經濟成長完全靠出口貿易維持，亦即外銷成長重於內需成長。因此加入世界貿易組織減少關稅障礙，一直是政府努力以赴的目標。但是加入世界貿易組織後，政府採購也應掃除一些非關稅障礙，讓國內外廠商之競爭條件相同，不能有不平等待遇。

壹、 公共工程全生命週期執行法令現況分析

公共工程之全生命週期從最初之可行性評估、規劃、設計、施工及最後之維護管理，在不同階段皆有不同之管理機制，然在品質管理上多建立於施工階段，在維護管理階段多無訂定有相關品質之法令，但在實際執行上，卻可將維護管理階段視為一小生命週期來做品質管理，其主要原因為維護管理階段之項目多為發生破壞或是品質不佳時，其主管機關便開始進行相關問題之檢討，並規劃後續之改進事項，緊接著進行後續之設計及施工等等，在這些環節上，除一些政府單位可自行進行規劃設計外，尚有許多單位是利用政府採購法來將相關事項進行發包，在施工階段便可由各機關所成立之「工程施工查核小組」來進行品質管理，然公共工程全生命週期之其他階段尚無法以此方式來進行品質管理，故提出具體建議辦法來改善此現象，讓全生命週期之各階段皆能維持優良之品質。

貳、 政府採購法之品質管理機制

公共工程之全生命週期，從規劃、測量、設計、施工、完工驗收及使用管理維護等各階段，均須有良好之管理控制，始能確保良好之品質。目前國內之政府機關、公立學校、公營事業在進行採購時，均需要依照政府採購法之規定，其中自招標階段開始，以及後續之決標、履約管理、驗收、爭議處理、罰則等事宜皆於政府採購法中詳細規定之，政府採購法自民國 87 年 5 月 27 日制定公布施行後，於民國 91 年 2 月 6 日修正公佈，另外與施工品質相關之法規經多次增刪，現行相關規章

經整理如表 7.1 所示，目前公共工程委員會亦提送新版之修正草案經行政院院會通過後於 97 年 9 月 30 日送立法院審議中，此版之修正內容與公共工程品質管理相關部分，主要為第七十條、第七十條之一，藉以確保採購品質，增訂或修正防止廠商低價搶標之處理機制、授權訂定須施以檢(試)驗之工程材料設備項目之相關措施等。

目前公共工程全生命週期中，自可行性研究、規劃、設計等階段之相關項目，於政府採購法第二十二條第二項規定訂定之機關委託技術服務廠商評選及計費辦法中可見之，依照第五章所提出之相關組架構及權責、標準作業程序、品質管理作業等進行發包。驗收階段，依政府採購法第七十條第四項之規定，由工程施工查核小組進行查核，其內容包括機關之品質督導機制、監造計畫之審查紀錄、施工進度管理措施及障礙之處理，監造單位之監造組織、施工計畫及品質計畫之審查作業程序、材料設備抽驗及施工查核之程序及標準、品質稽核、文件紀錄管理系統等監造計畫內容及執行情形、缺失改善追蹤及施工進度監督等之執行情形，廠商之品管組織、施工要領、品質管理標準、材料及施工檢驗程序、自主檢查表、不合格品之管制、矯正與預防措施、內部品質稽核、文件紀錄管理系統等品質計畫內容及執行情形、施工進度管理、趕工計畫、安全衛生及環境保護措施等之執行情形等，維持其於可行性研究、規劃、設計、施工、維護管理等階段之品質管理。公共工程維護管理階段方面，尚需要以其他之相關法令來訂定不同項目之品質標準，以建築物為例，其維護管理之標準則需依照其他相關之法令來進行管理，如建築物公共安全檢查簽證及申報辦法、建築物昇降設備設置及檢查管理辦法、消防法...等，故在契約文件中需加上相關之檢驗標準，當物品需汰舊換新時，便經由政府採購法來進行發包購買，當建物破損而需要進行維護時，亦經由政府採購法來進行發包，由廠商進行施工後，由政府採購法第七十條來進行該標案之驗收。回顧目前之政府採購法，在維護管理階段之品質管理需視其服務標的屬建築物或其他工程之性質及規模等情形來進行各部分或各階段之維護，尚無法藉由單一政府採購法來維持其品質，而在可行性研究、規劃、設計及施工等階段，可經由修改政府採購法第七十條第四項「工程施工查核小組」之部分來達到品質管理之目的。

參、 公共工程全生命週期品質管理配套措施

公共工程全生命週期之各階段環環相扣，依照行政院公共工程委員會現行對施工之三級品質管理制度設有「工程施工查核小組」，對施工階段之品質進行查核。在可行性研究、規劃、設計等三階段，目前並無相關規定進行，為使本研究所建構之全生命週期三級品管制度能落實執行，經送訓學員研議，後建議機關辦理工程可行性、規劃及設計時，所有辦理者包含：

- 一、 依採購法第三條機關自辦者；
- 二、 依採購法第五條委託法人或團體代辦者；
- 三、 依採購法第四十條洽請其他機關代辦者；
- 四、 依採購法第三十九條委託廠商協助辦理者皆予以規定，條文中對可行性、規劃及設計工作成果品質之權責、不同對象及工程規模應有之品質管理人員數量、品質管理人員之資格與受訓方式及執行品質管理應增列費用百分比等皆作詳細規定。

壹、 本節結論與建議

承前，經送重新檢討鬼內法規關規定並機考察人員充分討論後，為全面提升公共工程品質，藉由課程中介紹國外相關資訊並蒐集國內相關案例，探討公共工程之可行性研究、規劃、設計、施工及維護管理管理等各階段之品質管理程序，建立符合國情之全生命週期公共工程品質管理機制，並檢討現行相關法規命令，提出相關配套措施，強化公共工程全生命週期品質管理，以促進公共工程之永續使用，歸納下列六項重點。

1. 定義公共工程全生命週期品質管理:在國際標準組織不斷的將其品質管理系統更新以符合顧客第一及流程管理之際，為使國內公共工程管理與國際接軌，將營建工程全生命週期之「可行性研究」、「規劃」、「設計」、「施工」及「維護管理」不同階段之業務，不論工程規模以 ISO 9001 之架構推動品質管理，使之循序漸進除提升國內公共工程品質外，經由全生命週期管理，使各階段專業經驗能相互影響，提升公共工程品質管理。
2. 應用知識管理之方式降低工程生命週期總成本:縮短工期滿足使用者或社會大眾安全、舒適、便利 便利 等需求，並延長公共建築物的生命，以達

營建產業永續經營之願景。經參考國內外現行制度擬定全生命週期品質管理架構。本計畫除參考國內外現行制度外，並針對國內各工程主辦機關目前皆已通過 ISO 9001 之驗證，對工程生命週期各階段品質管理亦建立標準作業程序，以國內較為健全的臺北市政府捷運工程局、臺北捷運公司為主軸，並擷取中興顧問公司及台灣世曦顧問公司等數十個機構之制度，建立公共工程全生命週期品質管理架構。

3. 引用 SIPOC 架構建立研究流程:以臺北捷運工程局之品質管理系統及「各機關辦理公有建築物作業手冊」為依據，引用 SIPOC 為架構，就生命週期各階段之輸入與輸出進行分析，除對建構之全生命週期品質管理組織架構作說明外，並就各階段之品質文件架構，作規劃、設計及維護管理之品管訓練架構配套措施。
4. 推動公共工程全生命週期品質管理機制之配套法令:政府採購法制定之緣由是因應加入世界貿易組織(WTO)之產物，必須修改政府採購法之部分條文為第二十二條第二項規定訂定之機關委託技術服務廠商評選及計費辦法、第七十條第四項規定訂定之工程施工查核小組作業辦法，公共工程全生命週期之各階段環環相扣，若依照行政院公共工程委員會之修正草案，將「工程施工查核小組」改為「工程查核小組」，授與此小組查核生命週期各階段之品質，在可行性研究、規劃、設計等三階段，進行查核其所應提報之相關文件及程序書是否完備，在施工階段便可依現行制度進行查核，至於維護管理階段亦可查核其相關維護檢驗時間點之查驗工作，如此方可落實公共工程全生命週期品質管理。

第八節 義大利米蘭軌道系統考察

壹、米蘭地鐵系統簡介

米蘭擁有廣泛的內部交通網絡，在義大利也是一個重要的交通轉運點，是國內最大的航空、鐵路和公路網路樞紐。內部的公共交通網絡包括地鐵、鐵路、輕軌電車和公共汽車，以及計程車和自行車共用服務。

米蘭地鐵系統於西元 1964 年第 1 條紅線(M1)正式營運，是義大利國內繼羅馬後第二個有地鐵系統的城市，5 年後西元 1969 年第 2 條綠線(M2)開通⁴²，於西元 1990 年黃線(M3)⁴³及西元 2013 年紫線(M5)⁴⁴陸續加入營運。目前正興建紫線(M5)延伸線及 M4 號線之工程，計畫於西元 2015 年世界博覽會開幕之前開始營運通車。米蘭地鐵是義大利境內最長的地鐵系統，營運路網包含 4 條路線，並由不同數字及顏色區，總長度為 94.5 公里，共計有 103 個車站。每日運量乘客數約為 115 萬人次，目前該系統係由 Azienda Trasporti Milanese (ATM) 公司負責捷運系統營運及維護管理。

囿於住宿地點及行程安排等因素，無法將前述各地鐵路線逐一走訪，僅就近考察中央火車站 (Centrale FS) 附近對其交通建設進行初步之認識，另後續行程中前往 5 號線紫線之行控中心參訪，屆時再針對該地鐵路網作一詳細介紹與說明。

中央火車站 (Centrale FS) 於西元 1970 年啟用，為米蘭相當重要之交通樞紐，車站外觀有如博物館之建築，相當雄偉氣派，為附近建築之地標，內部十分富麗堂皇，非常具有參觀欣賞之價值，惟因往來人潮眾多，商店林立，因此周邊環境略顯髒亂；站內交通設施計有：高速鐵路、區域鐵路、2 號線 (綠線) 地

⁴² 米蘭地鐵第 2 條路網 (2 號線綠線)：目前規模共有 35 個車站，全長 39.4 公里，軌距為 1435mm 標準軌距，供電方式採直流電壓 1500 伏特之架空線。

⁴³ 米蘭地鐵第 3 條路網 (3 號線黃線)：目前規模共有 21 個車站，全長 16.6 公里，軌距為 1435mm 標準軌距，供電方式採直流電壓 1500 伏特之架空線，該線之行車號誌系統使用列車自動保護 (ATP) 和自動列車操作 (ATO)，使列車運行自動化。

⁴⁴ 米蘭地鐵第 4 條路網 (5 號線紫線)：目前規模共有 9 個車站，全長 6.1 公里，軌距為 1435mm 標準軌距，供電方式採直流電壓 750 伏特之第三軌供電，該線為全自動無人駕駛系統，並於月台側裝設全罩式月台門。

鐵、3 號線（黃線）地鐵等軌道設施交會，車站附近亦有輕軌、無軌電車、公車客運、計程車及自行車等多元化之交通設施可供民眾選擇。

2 號線（綠線）之站體包含地下與高架車站兩種，且多數為島式月台車站，長近 40 公里和 35 個車站，是歐洲最長的單一地下路線和義大利最長的路線。營運初期有 2 種類型之列車營運，行駛市區段每列車為 8 個門，而郊區路線車輛為 6 個門，另所有站均配備電梯及輪椅升降平臺樓梯，用以服務身障人士。

3 號線（黃線）地鐵於西元 1990 年，歷經 9 年的施工期，終於在世界盃足球賽前完成，第一期工程共 8 個車站營運通車，由於該線提供了米蘭大教堂與中央車站間舒適便捷的交通工具，對於米蘭旅遊發展有相當之助益，後續於西元 2011 年完成延伸線，由米蘭北部 Comasina 向南到達 San Donato。由於該線訂名為黃線，因此在車站各類型之看板、站牌及站體裝潢，乃至於列車之主要顏色皆為黃色，也讓旅客容易辨識線別，不易有搭錯車之情形發生。

此外，地鐵站內大多未設置電扶梯設備，因此旅客進出站以及上下樓層時皆須步行，此規劃尚與國內民眾搭乘軌道系統體驗有別；但卻提供旅客一項不錯的服務，就是上下樓梯時之行李輸送帶，方便旅客攜帶大型行李時所使用。

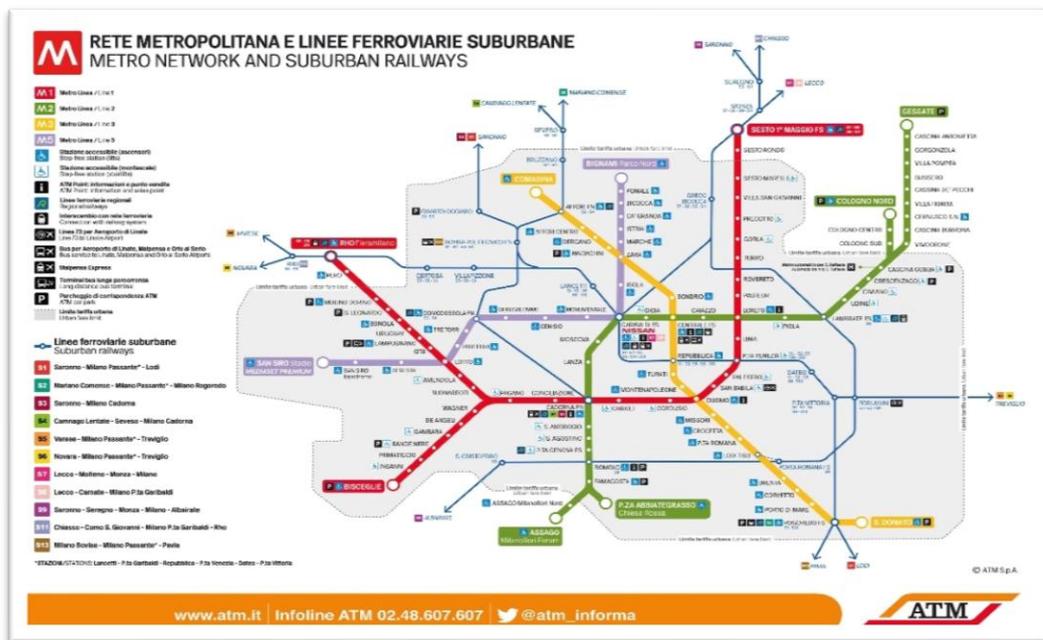


圖 101 米蘭地鐵路線規劃路網示意圖⁴⁵

⁴⁵ 資料來源 Azienda Trasporti Milanesi (ATM) 公司提供

貳、 米蘭輕軌系統簡介

米蘭輕軌系統由 17 條路線組成，總長度約為 115 公里，為義大利最大的輕軌系統。軌距為 1445mm，供電方式採直流電壓 600 伏特之架空線供電，與本處現正辦理之淡海輕軌系統，軌距為 1435mm，供電電壓為直流 750 伏特之供電方式不同。由於米蘭輕軌系統歷史十分悠久，因此目前營運之車種頗多，也讓街道上之畫面呈現多元化之景象，再加上街道上空有如蜘蛛網般之架空線，形成了一幅特殊的景象。輕軌架空線之佈設是米蘭街景的一大特色，對於景觀卻是一大妨害，其中固定架空線之方式，是於住宅外牆上直接打螺栓固定，而且街道上之路燈固定方式亦同，相信其架設方式是國內國情及氣候所不允許，由於科技日新月異目前世界各大電聯車廠也都陸續發展出無架空線之車輛供電系統，諸如 Anadol-TramWave 系統、ALSTOM-APS 系統、SIEMENS - NVC 系統、Bombardier - PRIMOVE 系統、CAF - ACR 系統等，相信不久的將來會在日後之輕軌路線上提供服務。

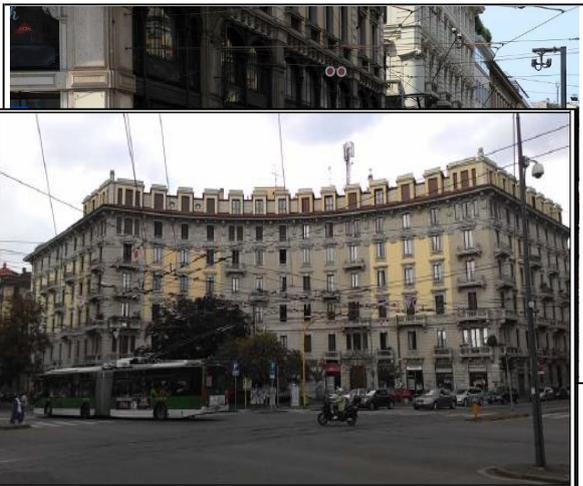


圖 102 輕軌列車 7527 型



圖 103 輕軌列車 4907 型

圖 104 街道架空線實景

圖 105 街道架街道架空線實景定方式

第九節 羅馬軌道系統考察

羅馬地鐵於 1955 年 2 月 9 日啟用，也是義大利第一座擁有地鐵的城市。現

在羅馬地鐵有三條路線：A 線⁴⁶、B 線⁴⁷和 C 線⁴⁸，共有 74 個站。C 線延長線工程正在進行中，當局亦計劃興建第四條路線（D 線）⁴⁹，然而現時並沒有建造 D 線的時間表。現正營運羅馬地鐵系統全長 60 公里，A 線與 B 線在特米尼車站交匯，A 線與 C 線在聖若望站交匯（2018 年 5 月 12 日啟用）。羅馬地鐵每日載客量達 84 萬人次，年載客量達到 3 億 813 萬人次。羅馬地鐵歸屬 ATAC（Azienda Tranvie ed Autobus del Comune di Roma）公司管轄，ATAC 即為羅馬交通公司，該公司同時管轄羅馬市內公車、輕軌以及無軌電車的運行。

羅馬地鐵的規模與倫敦、巴黎、柏林等其他西歐大城市的地鐵系統規模相較甚小，甚至比不上米蘭地鐵。主要原因是羅馬市地下埋有大量古羅馬時代的歷史

⁴⁶ 羅馬地鐵 A 線的標識色為橙色，是羅馬市第二條地鐵線路。A 線從羅馬東南部的郊區始發，經過市中心的東北部後，在梵蒂岡城北邊經過，終點位於羅馬市西北方。A 線的奧塔維亞諾站是距離梵蒂岡城最接近的羅馬地鐵站。羅馬地鐵 A、B 線於特米尼站交匯，而 A 線亦與 C 線於聖若望站交匯。

⁴⁷ 羅馬地鐵 B 線的標誌色為藍色。雖然名稱為 B，但卻是羅馬第一條通車的地鐵線路。1930 年代法西斯政府計劃在羅馬中央火車站（羅馬特米尼車站）與羅馬萬國博覽會區（EUR 區）之間修建一條快速鐵路，原定於 1942 年開幕的羅馬世博會後來因為二戰爆發而沒有召開，到 1940 年地鐵工程被迫停工，當時特米尼站到金字塔站之間的隧道已經完工，戰爭期間被臨時用作防空洞。二戰結束後，1948 年，羅馬地鐵工程再度開工，原先的羅馬萬國博覽會區域（EUR 區）也重新定義為羅馬的新商務中心。B 線於 1990 年由特米尼站向東延伸至今天的瑞比比亞，2012 年 B1 線由博洛尼亞站引出延伸至孔卡杜羅站，2015 年 4 月 21 日 B1 線再次延長至左尼奧站。

⁴⁸ 羅馬地鐵 C 線的標識色為綠色。C 線一期路段於 2014 年 11 月 9 日正式投入運行。第二期至 Lodi 站的路段於 2015 年 6 月 29 日投入運行，第三期至聖若望站的路段則於 2018 年 5 月 12 日通車，從此 C 線在聖若望站與地鐵 A 線相連。羅馬地鐵 C 線也是羅馬第一條無人自動駕駛地鐵列車自動運行裝置。C 線未來分二期工程逐步通車，2022 年通車至鬥獸場站（與地鐵 B 線交匯）。因為 C 線將穿過羅馬最重要的歷史中心區，為保護沿線的歷史文物及遺蹟，所以該線的通車時間可能會經常有所延期，比如在 2014 年，地鐵 C 線聖若望站挖掘到古農村商業遺址。在 2016 年 5 月 16 日，同區域的鄰站 Amba Aradam-Ipponio 站也在挖掘過程中發現古羅馬營房。地鐵 C 線在抵達鬥獸場站（與地鐵 B 線相連）後將穿越帝國廣場大道延長一站至威尼斯廣場，但是因為資金問題該計劃遲遲未能動工，在未來更將進一步從威尼斯廣場站繼續延伸至梵蒂岡城附近的 Clodio/Mazzini 站。

⁴⁹ 羅馬地鐵 D 線的標識色為黃色。D 線與 C 線同時規劃，計劃分擔 B 線的大量人流以及連接河左岸的 Trastevere 區域，但因為資金問題，D 線如今處於無限期延遲狀態。該線路連接羅馬的東北部和西南部的 EUR 區，線路長度為 22 公里，設站 22 座，與 A 線在西班牙廣場站交匯，與 B 線在 EUR 馬格利亞納站相連，與 B1 支線在左尼奧站交匯，與 C 線在威尼斯廣場站交匯。

遺蹟文物，因而地鐵系統的擴建計劃常被暫停以評估定線對文物的影響，也因此使得羅馬地鐵的造價極其的高昂，每公里線路建設的各項成本遠高於其他歐洲都會。

行程間出訪團員利用當地例假日，從佛羅倫斯主車站搭乘義大利國鐵至羅馬（Rome），藉以考察兩地之間鐵道運輸現況及增長視野。此兩地車站特色之一為主車站之運轉車種多樣，普通、快速及特快速等列車不採專屬搭乘月台；特色之二為各列車車次搭乘月台（1至15月台），需視列車進站後，於發車前約莫5~10分鐘才告知旅客於列車資訊顯示幕上，係隨車班當時調度而定現場觀察車班抵達末端站準點率不佳。羅馬地鐵採不同於國內計費邏輯，出訪部分團員因時間不容許，僅體驗單程票以次計費（1.5 歐元），另尚有其他套票，如一日票、二日票、三日票及周票等。

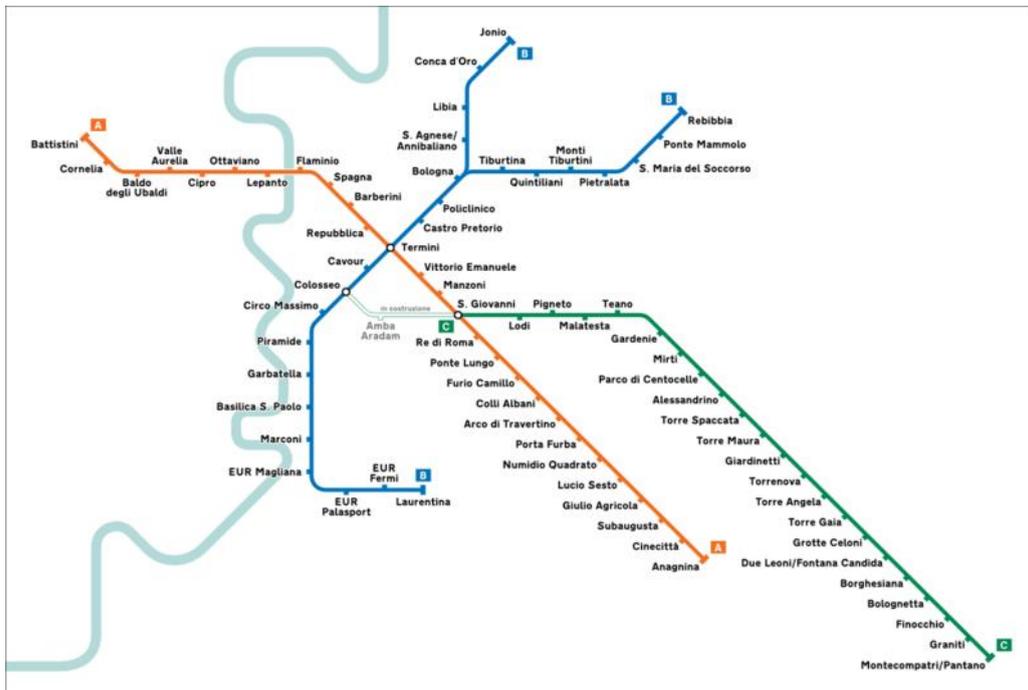


圖 106 羅馬地鐵營運路網圖

第十節 義大利國家鐵路考察

本次考察利用假日安排體驗搭乘義大利鐵路前往羅馬市區最主要的車站-米特尼車站，藉此考察當地軌道建設及車輛設備，親身體驗並感受其設計特色。本次所

搭乘之義大利國鐵為 Frecciarossa 紅箭高速列車，時速最高可達 300 公里，其車廂共有 3 種艙等，分別是商務艙、豪華經濟艙及經濟艙。商務艙採皮椅設計，一排 3 人座位，豪華經濟艙座椅亦採皮椅設計，一排 4 人座位，經濟艙則採布椅設計，一排 4 人座位。車廂內有提供免費無線網路，座位底下有插座，前方則有摺疊桌，供乘客使用，另有設置一節車廂專門販售餐飲，該車廂亦有設置簡易座位可供乘客於此用餐，列車上方螢幕除顯示列車即將停靠站資訊外，亦不定時轉播列車行駛外面環境景觀現況。本次體驗係採網路購票，車票上除有訂票代碼外，亦有 QR CODE，可供查票人員快速驗票，整體來說，該列車座位空間、環境設備及列車行駛平穩度等，均能讓乘客舒適搭乘前往目的地。



圖 107 義大利國鐵正線 OCS 系統裝置



圖 108 義大利國鐵正線號誌系統裝置



圖 109 義大利國鐵羅馬站月台



圖 110 義大利國鐵車內座位配置及 PIDS

第四章 本計畫執行心得

第一節 有關海外廠測部分

捷運三鶯線車輛關鍵設備零組件均採用國際各大設備廠商之產品，包含車門系統、煞車系統、推進系統、車廂外板等，相關產品在世界各地之輕軌系統有諸多使用實例，藉由本次海外廠測作業，可看出各廠商工程師格外重視設備生產作業之品質要求，每一項作業均確實做好品管作業，確認均符合圖面尺寸才准予進行次一項製程，經捷運三鶯線各顧問團隊實際赴各設備供應廠商瞭解執行進度及生產現況，更加對於電聯車設計與製造品質增添許多信心。此外，本次海外廠測作業著重於兩項車輛型式測試項目，分別是全尺寸單節車廂模型首件產品檢測及車輛推進系統、電力煞車系統整合測試及轉向架疲勞設計驗證，該兩案均由廠商委由獨立實驗室依照契約規定之相關測試標準執行測試，並提出測試報告，由於電力煞車系統及轉向架框之結構疲勞測試對於未來營運安全而言尤為重要，亦特別要求所聘任之獨立安全評估機構（ISA 機構參與本項測試執行之過程，藉由多層把關更可看出設計廠商對於設計作業之嚴謹）。軌道系統在歐洲各大城市已廣泛程為日常交通運具，作為城際間有效疏散運輸流量之大眾交通運輸系統，相關產業包含系統設計、設計整合、零組件生產、設備供應、車輛組裝等工程技術，發展均已相當成熟。歐洲各大車廠除可供應本國內需市場且有餘力外銷世界各地，獲有相當口碑。因此，本次海外廠測行程之餘亦考察所訪城市之輕軌系統參考各大城市成熟之輕軌系統並瞭解輕軌系統發展沿革，回頭檢討並精進本國輕軌功能規範。

第二節 有關軌道系統設施考察部分

本次西班牙及義大利軌道參訪行程規畫中，藉由搭乘地鐵、城際鐵路、機場快線、參訪國際級轉運車站及古今建築共構車站，也實際了解在軌道運輸上發展現況以及研究，以及其後端的行車控制系統及維修系統，電車線的建置系統、列車排點系統的運用、無線號誌系統與軌道電路運用、轉轍器的研發控制、LED 照明的製造流程及運用於運輸場站、車輛維修提升機的建置、全生命週期成本觀念的運用於建設上等等，雖然只參訪部分公司與車站據點，無法了解該兩國軌道發展的全貌，但已受益良多。在此歸結下列 2 點心得：

- 一、國內軌道營運單位與旅客仍有持續進步：百年鐵路大國雖然擁有日新月異的技術，但部分早年留下來的設備受限於日常營運所需而無法擴建，例如狹小的地下車站與隧道等。但在運量需求高增情況下，在月台長度不足的地下車站，營運單位利用長編組列車營運，但頭尾兩節車廂不開門等變通作法，在倫敦地下鐵與輕軌等路線皆可看到。又如早期車站與車廂設計沒有考慮無障礙動線，在面對今日社會的需求下業者只能逐步改善，並製作特別的無障礙地圖供有需要的旅客參考。而旅客似乎也能接納早年設備所帶來的限制與不便，接受營運單位的權宜措施而未有抱怨，顯示出業者與消費者的智慧。另外國人搭捷運早已習慣靠邊站立，將另一側讓給趕時間的旅客，但是倫敦為了加快車站電扶梯的輸運量，在今年初於部分車站試辦鼓勵旅客將電扶梯站滿，以提升車站進出量。雖然部分民眾還不習慣，但因為需求而回應作出改變，是我們看到營運單位與旅客的努力成果。
- 二、提倡國內民眾習慣並接納大眾運輸系統：歐洲的街道不管在市中心區或郊區多半不寬，而且市中心區甚至規劃徵收擁擠稅以抑制私人運具駛入。而倫敦除了密集的軌道系統以外，在公路上也有綿密的公車路網。我們停駐倫敦期間，看到私人汽車在公車車陣內排隊行駛，駕駛人幾乎都習慣且接受這種路權的分配情況，米蘭及羅馬輕軌與公路車輛共用車道行駛，或是輕軌列車與公車共道行駛，不論駕駛人或行人也非常習慣如此的交通環境。但回頭看國內在推動大眾運輸政策時，當道路管理者要把原本供私人運具行駛或停放的道路空間改給大眾運輸系統時，不論是高架或地下捷運需在路面佔用設施空間，或是輕軌要行駛平面道路，往往會遭到私人運具使用者的反抗。倫敦的都市發展過程中，可能是很早期就開始推動大眾運輸，民眾對於使用大眾運具或是對政府部門將多數道路資源分配給大眾運輸的情形皆習以為常，也享受以大眾運輸為主的交通模式所帶來的便利。在這方面政府除了多跟民眾溝通以外，也必須教育民眾：「大眾運輸是服務所有人，包含原本開私家車的你」，讓大家體認到大眾運輸的效益是所有人共享的，也唯有大家都支持大眾運輸政策，在人口密集的城市中才能持續維持交通的順暢運作，讓大家共享交通之便捷。

第三節 有關公共工程永續發展部分心得及建議

工程生命週期分析各階段所應探討的範疇及深度有所差異，事實上，對應在工程界最貼近的思維就是「價值工程」(Value Engineering)概念；價值工程除需考量省錢、提升工程的可靠度和改進品質外，還需兼顧環境保護、生態保育與節能減碳等課題，以達於「提升工程整體價值」。一般而言，工程的生命週期分析，能夠於愈早階段將之實施與融入整體永續考量，將愈容易發揮效益。然而「計畫是否採取了正確的手段以解決課題？」例如許多待解決之交通壅塞問題，不必然一定要以新建道路做為唯一手段；相對地，許多道路拓建或新建後，未必對交通壅塞有顯著的效益，可能只是將壅塞路段轉移到了別處。因此，只要在政策層面有所缺失的公共工程，無論其採取何種先進的技術或做法，都難以稱之為永續公共工程。

一、環境影響部分：

公共工程不必然需將環境保育當作犧牲品，但不諱言，許多公共工程確實也導致山林河川的浩劫。由於環境保護在國內仍以管末處理思維為主，以環保署的執掌範疇而言，公共工程最多只有在進行環評審查時，方有介入的機會。況且多數公共工程並不需要進行環評，通常只有在施工階段違反相關環保法令時，才有處罰的機制；然而，環境受到破壞，並不會因施工或監造廠商被罰款而回復或有所改善。因此，就現有環境保護法規並不足達到永續公共工程環境保育的目標，就過去工程會所推行之生態工程，部份目的即為修正工程對環境的影響程度，唯在應用面上，國內尚有許多發展空間，但也不乏已然成型之機制與做法可供參照。換言之，在全世界環境保育優先的潮流下，國內公共工程已逐漸將環境保護工作由體制外監督轉至體制內融入，在機制整合、評估技術與調查研究都有持續及顯著的發展。

二、社會公益部分：

公共工程在推動過程中，「社會公義」經常居於關鍵性的影響因子，無論徵收用地時民眾的抗爭或保育團體的抗議，皆常導致工程的延宕或各種內外部成本的額外支出，因此各界對於「民眾參與」和「資訊公開」的要求未曾間歇。事實上，公部門在推動公共工程時，不乏來自地方民代的意見壓力，通常借助其問政監督的機制中夾帶進入，當承辦人員受到此一非專業性的影響因子時，常導致許多牴觸社會公義的規劃

設計，不但造成工程價值降低、成本增加、時間延宕，甚至後續尚要面對檢調的約談或民眾的質疑等，此乃許多基層工程人員或公務員難以承受之痛。整體而言，公共工程涉及太多利害關係，但在民眾參與機制尚不成熟或參與時機往往過遲的現況中，時常發生民眾在施工說明會或施工時，才獲悉與其切身相關之工程已經「箭在弦上」。即使執行過程中未受非專業干擾，如果有近似黑箱的作業形式，仍易引發爭議。因此，加速推動工程全生命週期（尤其是可行性研究及規劃階段）之民眾參與機制，不但可減少民眾的質疑，透過「資訊公開」更能避免非工程專業因素之干擾，同時對於遵守法規及秉持專業的公務員，也能提供保障。就機制面而言，於「規劃設計初期」或「工作執行計畫書審查」階段，即應將審查結論於網路上公開，並應在期中報告完成前，讓民眾有發表意見的場合（如辦理討論會、說明會等），期末則可開放關心的在地民眾或相關團體列席，充分尊重相關利害關係人的權益。除了一般民眾與當地住民，民間非營利組織也常關心特殊議題而欲參與公共事務，這些組織多對於所關心議題之永續面有較深入的探討，並能從不同的角度思維，與公部門間達於良好互補。因此，民間非營利組織團體參與工程各生命週期，尤其是先期參與，可將民間意見由體制外的抗爭，轉為體制內的夥伴關係，不但能增益工程整體價值，並將使工程推動更加順遂。

三、經濟發展部分：

公共建設需考量經濟發展，當屬最明確及無疑的課題，然衡諸許多考量於現有機制中卻仍有不足，以致有假性經濟估算之發生。例如道路選線經過林地而捨棄穿越農地的例子，突顯的是徵收林地較徵收農地容易及便宜，主要係忽略林地的環境價值，包括林地提供水土保持的效益，提供乾淨的空氣，提供野生動物的棲息環境等價值，或低估這些價值所致。國內過去公共工程思維較考慮單一成效，重「新建」而輕「養護」，並常為了減少工程費與用地費，或工務單位為減少與其他單位的交涉介面，在成本估算時輕忽社會成本與環境成本，間接妨礙永續發展。例如許多易淹水工程，水利單位為減少與農業單位的整合介面，在農地保全上常以護岸工程為主。然若考量工程費與農地被淹之損失而言，利用農地作為滯洪空間，在農地遭受淹水時進行農作補償，不但可減免工程費，並可大幅降低下游遭受淹水的機會，更何況在現今既有農地荒蕪率高，領取休耕補償案例隨處可見之情況下，如果能考慮採行「利用農地作為滯

洪空間」，搭配相關補償措施，就整體經濟評估來看，應當更具效益。然而，就執掌而言，水利單位並無該項補償費用，小錢不能花，只能花大錢，若以「全生命週期」角度來看（除了堤防的興建費，還有後續可能遭沖毀的修補費，甚至在全球氣候變遷的威脅下，需面臨不斷加高堤防的可觀費用），實為不划算的投資。

其次，公共工程應著重「節能減碳」，表面上可能採用較貴的能源或材料，但就國際碳稅勢在必行的趨勢下，越早適應節能減碳技術及材料，除可加強產業界未來的國際競爭力，還能避免國際碳稅實施後的貿易制裁或抵制。生命週期評估目前已被廣泛應用於評估產品環境衝擊的工具，就公共工程而言，目前受到政府採購法關於專利的限制，對於綠色產品（材料）的發展不見得有利。另就綠色材料應用面而言，除材料本身外，尚須注意因地制宜的條件，包括運輸耗能成本，使用年限，養護難易等，應一併納入分析。

第四章 建議事項

- 一、「建立軌道資產管理平台等完整資產管理資料庫」：歐洲各國之所以能成功推動 WLC 制度，主要基於有效的全生命成本分析需仰賴完整的資料庫支持完整、有用的資料是 WLC 分析活動的基礎，馬德里捷運公司除了本身累積 20 年的資料庫，其他國內公共工程的資料，則統一由具有規模公司負責收集及管理，因此擁有良好的資料品質。因此，故需建立完整資產管理資料庫且須達到有效、規格化、可拓展及準確且完整資料庫，始可達到 WLC 分析活動基礎。爰此，本局規劃未來年度建置軌道資產管理平台，串連現有本市境內公路管理系統內資訊，並連結臺北大都會捷運系統之捷運維護零組件管理系統內的資訊，讓使用者可由此「有效」連結至各系統進行查詢；如欲分析比對各系統資料，也可由此平台轉出「規格化」的格式作後續應用；並隨未來「拓展」平台的輔助分析功能及開發新型檢測設備，同步提升新增資料的「準確性」。另就前開展 WLC 分析模組擬運用未來軌道資產管理平台所串聯之資產履歷，發展「WLC 價值評估模組」，以輔助資產管理及養護單位進行決策。朝向以設施全生命週期之功能表現如 MTTR(Mean Time To Repair)、MTTS(Mean Time To Support)，搭配環境和社會因子如地理空間資訊、路段運量、事故率等，產生綜合價值指標，可作為本府境內捷運路網管理單位的廠商遴選、預算分配、人員調度等工作之輔助參考。
- 二、「獲取軌道新知之必要」：軌道建設都是城市的運輸骨幹系統，使用都是以百年為考量，重要設備的重置或耐用年期多是 20 年以上，且軌道建設從規劃設計到核定，往往要經過 10~20 餘年討論及審查才能定案，定案後的施工期程短則 7、8 年，長則 10 餘年。在這數十年的過程中軌道技術發展早已日新月異，故國內相關的產官學界對鐵路產業的新技術新觀念時有必要持續學習。然我國鐵路產業發展環境與市場需求不如歐洲、日本及中國，各單位除靠平日相關資訊文件吸收技術新知外，與其他國家的鐵路交流論壇是獲取鐵路產業界新知及交流經驗的重要平台。本次參訪的收穫成果可回饋應用在本市轄內推動的捷運與輕軌建設。建議相關單位日後多注重類似軌道交流論壇機會，當有獲邀請時可積極參與前往觀摩學習並交流經驗，並帶回軌道產業最新資訊與發展方向，以利本局後續推展軌道運輸系統能與國際發展趨勢齊平。
- 三、「推動國家訓練中心以養成軌道人才」：軌道產業是整合各項子系統的綜合產業（如設計、結構、動力、資訊、震動等），我國因為市場規模不足，從以前到現在的軌道核心機電系統均需仰賴向歐美或日本大廠採購，沒有足夠的誘因與資源吸引國內廠商

投入研發，僅有台灣車輛股份有限公司在與國外大廠的技術合作下，進行輕軌車輛組裝生產等技術作業。也因此捷運核心機電系統的後續維修及升級作業，均受制於原廠的技術專利門檻而使營運單位困擾許久。交通建設是國家發展的先驅，而軌道建設又是投入資金較高之交通建設，技術門檻也高，如能有效帶動國內相關企業參與，對我國經濟發展及軌道產業供應鏈將有重要影響，亦可嘉惠國內各軌道營運業者。又產業發展需要人才的支持，人才養成需要學界及產業界的通力合作。從國內現有的傳統城際鐵路、高速鐵路到都市捷運與輕軌，都累積了部分的操作經驗，建議中央政府出面整合相關學校系所、顧問公司、軌道興建與營運機構，比照英國成立國家軌道訓練中心以培育人才，以滿足國內後續的軌道市場需求，而本局也願意在捷運與輕軌的建設上分享經驗，供國內其他預計發展捷運或輕軌地區，甚至是國內產業要到國外拓展市場時的經驗參考。

四、「持續推動大眾運輸政策，並結合轉運站與商場規劃，在大眾運輸服務中滿足生活所需」：推動大眾運輸政策是解決都市交通最重要的策略之一。我國因為私人運具使用成本偏低，且提升私人運具的使用成本上不容易得到民眾支持，故在推動大眾運輸之條件更為嚴峻。而軌道建設及營運成本非常高，財務能否永續經營成為軌道建設計畫可行與否的重要指標。近年軌道建設計畫評估已將土地開發（TOD）及租稅增額（TIF）納入自償規劃，但本業收入偏低仍是營運單位要面對的挑戰。營運機構除了以更積極發展附屬事業、不全盤依賴本業以外，政府單位對於提升大眾運輸使用率及運量仍責無旁貸。在車站規劃使用方面參照英國主要車站的設計理念，將捷運車站結合其他運具形成複合式的轉運站，讓各式大眾運輸在轉運站內無縫接軌，以提升大眾運輸的便利性與競爭性。另外轉運站可與商場共構，提供旅客在轉乘過程中滿足生活食衣住行育樂一切所需，對營運單位而言可將大眾運輸帶來的人潮於商場消費，以提升附屬事業收入補貼本業的經營開支。另外也建議交通管理單位訂定分階段目標，透過推拉的手段，從硬體及軟體面建構大眾運輸及人行友善之環境，並逐步縮限私人運具的使用便利性並提高成本，以逐年提升大眾運輸使用量，建設綠色節能、環境永續的城市，也確保軌道系統之財務永續發展。

五、「軌道場站規畫與旅客生活所需的結合」：運輸行為是生活各式活動所衍生的需求，而運輸場站往往是人潮匯集的據點，如果能在場站提供基本生活所需，一方面提升運輸場站的價值，另一方面也提升顧客的使用滿意度。本次考察行程看到很多的運輸場

站都會跟其他的運具作轉乘（如地鐵跟公車或渡輪等），而場站的週邊或上方就是商場與住宅開發大樓，對搭乘的旅客就近提供生活所需的商業店舖與住宅需求，對經營商場與住宅大樓的運輸業者而言也是一筆業外收入，以彌補運輸本業的龐大開支。本次大會開幕式與談的貴賓亦表示要加強運輸與生活需求的結合，才能多方面滿足客戶的需求，進而提高運輸場站的重要性及運輸業者的價值。

六、「大數據的收集與分析」：我們正處於所有人人手一機無時無刻在交流的時代，資訊的傳達是即時且鉅量，因此鐵路營運機構在面對每日服務的成千上萬旅客，需要會搜集旅客資料並以大數據分析旅客屬性與潛在的需求，以適時提供最佳的運輸本業及業外生活需求服務，以滿足旅客無時無刻在改變的需求，並增進自身收益與競爭力。而要如何蒐集旅客資料，除了透過票務及收費系統知道即時的旅運需求以外，也可透過運輸場站提供的免費網路服務或網路會員制度，搭配各式折扣與實用資訊，換取使用者自願提供相關屬性資料以利後續營運分析與收益管理。

附錄 研討會資料蒐集

本共計蒐集 9 份課程講義、2 份參考標準、2 份 PPP 研討文件。蒐集資料整理如下表。

表 9 資料蒐集單

項	類型	名稱	摘要
L1	課程講義	Attendees Skills Level & Introduction to the Course	強調 WLC 策略對成本降低之重要性。
L2		Whole Life Costing Training	執行 WLC 活動各階段的工作項目與流程。
L3		Whole Life Value	討論不同重要關係人對價值的定義，尋求共同價值的方案。
L4		Asset Management	定義資產管理的功能，說明要達到管理成效之關鍵要因。
L5		Methods of Estimation	介紹工程常用的評估方法及各自的優缺點。
L6		Sustainable Procurement	說明執行持續採購策略之要點，考量條件及參考規範。
L7		Reliability, Maintainability, Supportability and Availability	介紹可靠度、維護度、支援度、可用性的定義及評量方式，說明對工程品質的影響。
L8		Integrated Logistic Support	說明 ILS 後勤策略中常用工具的功能及運用時機。
L9		WLCE Software	簡介 WLCE 全生命週期統計軟體的功能。

P1		<p>Overview of Infrastructure Research in the School of Construction and</p>	<p>介紹 PPP 模式應用範疇。</p>
P2	<p>PPP 研討</p>	<p>The System Dynamics of Funding and Financing of Transport</p>	<p>運用 Cost saving Indicator(CSI)指標對公共利益、財務、功能等，綜合預估工程建設成效。</p>