國內輕軌之啟航—高雄環狀輕軌捷運

關鍵詞：輕軌、統包工程、無架空線

台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／資深協理／陳幼華 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／技術經理／林建華 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／技術經理／王慶麟 ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／捷運工程部／副理／于新源 ❹

摘 要 ABSTRACT

高雄環狀輕軌第一階段優先通車營運路段長度8.7公里，設置14座車站及1座機廠，其中13座為地面車站，1座為高架車站。候車站設計考量高雄氣候的特性，並結合都市景觀塑造，公共藝術配合各站區域環境特色而設置，使候車站成為一生動的活動場景。

本計畫已於民國102年2月動工，開啟國內第一條輕軌建設的新頁，預計104年10月第一階段完工通車。屆時將可串聯高雄港區相關水岸之建設據點，活絡高雄觀光資源，並帶動沿線地區商業發展。同時做為國內其他城市發展輕軌的示範，這也是本計畫的期許。

全線軌道採標準軌距1,435mm且為長焊鋼軌，地面段主線為埋置式軌道，臨港線路段則鋪設埋置式植草軌道，高架段改施築減振抑噪軌道。軌道路基設計參考原土層的E_{v2}值，而有不同的路基處理，以確保使用年限內不須重大維修。

人性化的低底盤輕軌列車，由五個車廂組成，可容納250人，隨運量成長，未來可加組兩個單元的模組化車廂。營運初期(民國108年前)班距7.5分鐘，而後縮短至6分鐘。第一階段全線採用無架空線系統，以減輕架空線對整體都市景觀及天際線等環境視覺之衝擊，同時對於輕軌列車外觀特別要求，塑造輕軌成為美麗的高雄移動新地標，且新構築之輕軌其綠覆率可達85%，將充分展現高雄「水之都・綠之軌」新意象。

壹、計畫緣由

「高雄環狀輕軌捷運建設計畫」係行政院97年03月20日核定同意興建，原規劃採民間參與興建營運移轉(BOT)方式辦理，全線路線長度19.6公里，設置32處候車站，一座維修機廠，總建設經費122.01億元。核定計畫經費預估，民間投資至少52.95億元，政府投資48.54億元，營運特許期限為38年(包括4年興建期，34年營運期)，惟本建設案歷經98、99年2次辦理公告招商，招商作業並不順利，無廠商參與投標。為避免再度延宕此重大交通建設之興建期程，經評估結果，將民間參與興建策略，改由政府自辦興建後，再委託民間經營(OT)方式營運，繼續推動本案。

高雄縣市於99年12月25日合併升格，都市發展變化大，配合中央推動海空經貿城計畫，高雄港區重大建設已相繼開發，將於103年陸續啟用，其中包括：駁二文創特區、海洋文化及流行音樂中心、高雄港客運中心暨港務大樓整體開發計畫、高雄世界貿易展覽中心、高雄軟體科學園區、多功能經貿區、中鋼總部、高雄DC21開發計畫。

配合上述高雄港區經貿發展需求及公共運輸整體規劃，須修正環狀輕軌部分路線，使其行經高雄港水岸地區，串聯各項建設據點，包括：全台灣最美麗的水岸圖書館—市圖總館、亞洲最棒台灣第一的港灣娛樂城—海洋文化及流行音樂中心、台灣第一個獲得綠建築標章的公共建築—高雄世界貿易展覽中心、海洋旅客進出的高雄門戶—港運中心以及六星級的帆船飯店等新灣區建築地標，企圖將亞洲新灣區打造成為最璀璨、交通最便利的高雄新核心(如圖1(a)，圖1(b))。藉由輕軌引進人潮，帶動沿線

圖1(a) 輕軌串聯港區各開發案

圖1(b) 輕軌開創大高雄城市軌道運輸

地區之商業發展，充分展現國際海洋城市的特色，並提升城市競爭力的優勢。

為建構大高雄都會區軌道運輸路網，本輕軌路線，將可轉乘現有營運中的捷運紅、橘線，以及施工中的鐵路地下化工程，形成完整的綠色運輸系統，以推動現代化城市永續經營的理念，建立大高雄都會區軌道運輸的新里程碑。

高雄環狀輕軌是台灣第一條經行政院核定的輕軌系統，總建設經費高達165.37億元，其中市府爭取中央補助經費63.63億元。預估高雄環狀輕軌建設將發揮以下主要功能與效益：

一、彰顯交通運輸功能

配合高雄市公共運輸整體發展政策-建置六大轉運中心，縮短山城-都會核心距離，促進城鄉發展，達成30分鐘生活圈之目標。旅客搭乘輕軌可於捷運紅橘線(O1西子灣站、R6凱旋站、R13凹仔底站)、臺鐵通勤站(鼓山、美術館、大順站)轉乘至鄰近區域。

二、提升土地使用強度

輕軌捷運車站為人潮聚集的地點，輕軌通車後，勢將帶動其周邊的土地開發，在有限的土地資源下，土地必須做最有效的利用，以充分發揮其商業效益。

三、強化成本經濟效益

環狀輕軌捷運串聯了捷運紅、橘線及鐵路捷運化後的各車站，形成高雄都會區的最重要大眾運輸路網，讓旅客的轉乘更方便。相對大眾運輸工具而言，是以低成本的造價發揮了相乘的效益。

四、活絡高雄觀光資源

輕軌捷運通車後，將與捷運紅橘線、高鐵、台鐵等車站無縫接軌，使輕鬆行、自由行的旅客更為方便。高雄大都會區既有的觀光勝地，配合精心塑造的亞洲新灣區，預期將吸引旅客接踵而至，無疑的輕軌亦將肩負起帶動高雄觀光發展的使命。

貳、計畫概要

高雄環狀輕軌捷運起於凱旋三路與一心路口北側之臺鐵前鎮調車場，沿凱旋路旁之臺鐵臨港線路廊往南佈設輕軌設施，直至凱旋四路南端終點後，右轉進入成功二路續往北行，於成功路與新光路交叉路口C8車站後，沿著海邊

圖2 「高雄環狀輕軌捷運建設計畫」修正計畫路線圖

圖3 高雄環狀輕軌捷運第一階段路線示意圖

路前行，至新田路、英雄路交叉路口處左轉，利用現有自行車道路廊，經光榮碼頭跨越愛河至真愛碼頭，進入駁二特區，至七賢三路口轉臨海二路至C14車站，可與捷運橘線O1(西子灣站)轉乘。路線續佈設於目前為自行車道之臨港線鐵路路廊，往北沿臺鐵園道至美術館後不久，即東轉行經市立聯合醫院後於農十六銜接大順一路，再續沿大順一～三路往東南方向前行，最後於中正路口西南隅之凱旋公園佈設軌道，銜接凱旋二路旁之臺鐵臨港線路廊後，沿路廊接回起點，路線全長約22.1公里，預定設置36處候車站，詳如圖2所示。

其中C1站～C14站路段，設置14處候車站及1座機廠，全長約8.7公里，為第一階段工程，詳圖3所示。工程公告預算金額為新台幣65.2億元，公告底價金額為新台幣58億元，已於102年2月動工，預計104年10月完工通車。

其餘自C14站至C36站為第二階段，路線長約13.4公里，設置22處候車站及1處駐車場。將配合交通部鐵路改建工程局「臺鐵捷運化-高雄市區鐵路地下化計畫」興建期程，於106年底鐵路地下化工程完工後，賡續辦理本案第二階段工程，預計108年12月完工通車，屆時輕軌環狀路線亦告形成。

參、執行方式

本計畫分以下兩階段執行：

一、基本設計顧問服務

高雄市政府捷運工程局於100年底，辦理高雄環狀輕軌捷運建設基本設計顧問委託技術服務案公告招標，台灣世曦工程顧問股份有限公司於民國100年 12 月26日投標，經開標及評選後，列為第一優勝序位之廠商，並於101年1月9日簽約及正式啟動，全力展開基本設計工作，本案基本設計工作包含原高雄環狀輕軌捷運建設基本設計顧問委託技術服務案、第一次擴充契約案及第二次擴充契約案之工作服務範圍所規定之工作項目，其內容包含：

(一) 先期調查作業

細項工作有控制測量及地形測量、地質調查工作、管線調查工作、沿線橋梁調查及建議、其他工程資料蒐集及分析等，含路型與轉乘資料調查分析、建議及路型審議工作。

(二) 營運需求

包括輕軌系統初步營運安全分析、輕軌營運服務指標分析等，並含駐車場選址評估分析。

(三) 土木、建築、水電環控及軌道基本設計

工作項目含製作工程圖說(含需地範圍圖)及進行相關規劃設計、設計準則及規範，以及完成軌道基本設計。

(四) 機電系統基本設計

包括系統需求分析與選擇建議、變電站設置規劃、負載潮流分析、牽引動力集電方式分析、整合輕軌號誌與平面道路號誌規劃作業、自動收費系統型式分析、專用無線電系統分析等。

(五) 招標策略研擬及招標文件準備

工作內容含招標策略研擬、研擬招標文件、協助審標等。

(六) 計畫管理

包括管理計畫、興建成本估計、計畫時程管控、工務管理標準作業程序等。

(七) 其他相關工作

依業主指示辦理與本服務案有關之工作。

(八) 土石方規劃設計內容及收容處理建議說明書。

為配合業主招標期程，基設時程由正常11個月壓縮為5.5個月。本計畫第一階段統包工程於101年6月8日召開廠商說明會，6月29日上網公開閱覽，至102年1月4日順利完成最有利標廠商評選，由共同投標廠商CAF (CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES S.A.) 西班牙鐵路建設和協助股份有限公司、長鴻營造股份有限公司評選勝出，獲選為最有利標廠商。

二、專案管理服務

本項服務工作經開標及評選後，亦由本公司得標，接續基本設計之工作重點，辦理施工中的專案管理、審查統包商細部設計、督導監造及機電驗證與認證等事項，其中監造工作則由捷運局另委託中興工程顧問公司承辦。本項

工作服務範圍包含：

(一)建立各階段、各工作項目之審查、核定、或備查等作業流程

(二)設計之諮詢及審查

(三)施工督導與履約管理之諮詢及審查

(四)機電驗證與認證

遵循EN50126標準規範及相關國際標準規範，進行機電系統及營運前各項作業審查與監督，使機電系統於設計、興建及營運等各階段，均能滿足其特定安全性、功能性及綱要性之要求。機電系統驗證與認證範圍包括車輛、通訊、號誌、供電、自動收費、機廠設備及其外部介面。

(五)營運機構籌設

擬定營運機構設立計畫及營運計畫書、研擬營運勞務招標文件、協助審標等。

(六)其他配合事項

肆、設計考量與依據

輕軌系統係指有人駕駛、使用導引、電力驅動之客運運輸系統，可因地制宜，同一路線可單獨或混合採用專用路權、隔離路權、共用路權；相較於高運量或中運量鋼軌鋼輪捷運，輕軌系統之車輛具軸重較輕、車輛界限較小、轉彎及爬坡能力較強、制動能力較高之特性。本計畫採用傳統鋼輪、鋼軌系統，1435mm標準軌距及長銲鋼軌，設計時考量高雄地區之氣象、水文、環境、交通及特性與路線上既有結構之限制條件等。系統之設計，除考量安全耐用外，尚須注意造型美觀及避免對當地景觀環境之衝擊。對旅客、員工及行人與汽、機車用路人等之安全應充分納入系統之整體規劃、設計、營運與維修考量。材料選用應符合防蝕、防火、耐候、耐久等品質要求，以確保系統整體運轉穩定、安全與維修便利。並將友善城市無障礙空間之概念納入設計。

高雄環狀輕軌捷運第一階段，採用分之百低地板(底盤)輕軌列車，方便年長及身心障礙者搭乘。並引進最新之無架空線系統，以減輕架空線對整體都市景觀及天際線等環境視覺之衝擊。針對車輛與運量因應部分，依行政院核定之高雄環狀輕軌捷運建設修正計畫之數據檢討辦理。該計畫基本營運資料建議營運初期採用寬度2.65公尺、車身長度30~36公尺之模組化輕軌車廂，並以每平方公尺立位5人計算，推估每輛車可容納250人(含座位與立位)；隨著運量成長，可加組兩個單元的模組化車廂，使車廂容量提高為360人。初步試算之基本營運資料如表1。

高雄環狀輕軌捷運建設修正計畫建議之車隊規模(Fleet-Size)指總車輛數，包括尖峰時段所需的車輛數及備用、維修中的車輛數。其中，備用、維修車輛數以尖峰營運列車數的10%予以估算，據此，輔以相關資料及公式，初估民國103年底第一階段V型線營運所需的30~36m長電車總數為9輛，民國108年底大環線全線通車營運所需之總車輛數增為24輛，其後再隨營運計畫之調整，至民國116年將24輛輕軌電車全部加長為40~45m之終極規模。上述初步試算之營運計畫彙整如表2所示。

表1 高雄環狀輕軌捷運建設修正計畫初步試算之基本營運資料

通車階段		V型線(C1↔C14)		大環線(C1↔C1)		環東水岸線(C22↔C14)	
行駛方向		順時針往西	逆時針往東	順時針	逆時針	順時針往南	逆時針往北
行駛區間		C1→C14	C14→C1	C1→C2→C1	C1→C35→C1	C22→C14	C14→C22
路線長度(L)		8.6公里	8.6公里	22.1公里	22.1公里	17.7公里	17.7公里
平均營運速率(Vo)		21.1km/hr	21.1km/hr	21.6km/hr	21.6km/hr	21.0km/hr	21.0 km/hr
場站調度時間(Tt)		3分鐘	3分鐘	4分鐘	4分鐘	4分鐘	4分鐘
往返行駛時間(To)		54.8分鐘		130.8分鐘		108.9分鐘	
每節車輛容量(Cv)		250人/輛	250人/輛	250人/輛	250人/輛	250人/輛	250人/輛
承載係數(α)		1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
最大承載區間		-		C20→C21[註]		C30→C31	
最大旅客承載量(Pmax)	110年	-		1,191人/hr		2,557人/hr	
	120年	-		2,046人/hr		3,877人/hr	

[註]大環線之最大旅客承載量係環東水岸線以外區段之基本需求。

表2 各營運路線之設計營運班距及總車隊規模

路線別	分析項目	104~108年	109~115年	116年以後
最大承載區間	初期最大旅客承載量P_{1max}(人次/時)	627	2,559	3,129
	末期最大旅客承載量P_{2max}(人次/時)	770	3,040	4,268
	列車編組車廂數(n)	1	1	1
	初期尖峰班距$h1=(60\alpha \times C_V \times n)/P_{1max}$	30.4	7.5	8.8
	末期尖峰班距$h2=(60\alpha \times C_V \times n)/P_{2max}$	24.7	6.3	6.4
	設計班距(分鐘)	7.5	6.0	6.0
V型線或大環線	V型線/大環線營運班距h(分鐘)	7.5	12 (=6×2)	12 (=6×2)
	往返時間$T=(T_0+t_t)$ (分鐘)	54.8	130.8	130.8
	尖峰時間列車需求N=T/h	8	11	11
	最大區間旅客承載量P_{1max}(人次/時)	770	1,459	2,291
	路線容量C_o (座位/小時/方向)	2,000	1,250	1,805
	回饋尖峰旅客承載率$\alpha=P/C_o$	0.37	1.17	1.27
	C型線/大環線尖峰車輛需求總(N_{c1})	8	11	11
環東水岸線	區間車營運班距h(分鐘)	-	12(=6×2)	12 (=6×2)
	往返時間$T=(T_0+t_t)$ (分鐘)	-	108.9	108.9
	尖峰時間列車需求N=T/h	-	10	10
	最大區間旅客承載量P_{1max}(人次/時)	-	3,040	4,268
	路線容量C_0 (座位/小時/方向)[註1]	-	2,500	3,610
	回饋尖峰旅客承載率$\alpha=P/C_o$	-	1.22	1.18
	區間車尖峰車輛需求總(N_{c2})	-	10	10
總路網	尖峰車輛需求總數(N_c)	8	21	21
	備用維修車輛比例[註2]	10%	10%	10%
	備用維修車輛數(N_r)	1	3	3
	車隊規模$N_f=N_c+N_r$(輛)	9	24	24

[註1]環東水岸線之路線容量加計大環線提供之服務容量(立位密度5人/m^2)。

[註2]備用維修車輛數係以尖峰列車需求數之10%，採無條件進位法估計之。

伍、主要工程內容

基本設計之主要工程內容包括：軌道工程、機電系統、建築與公共藝術、橋梁工程、水電環控等設施，以下僅針對前四項詳加說明。

一、軌道工程

高雄環狀輕軌捷運（第一階段）軌道基本設計主要條件有：車輛採無架空線系統、路線最大坡度5.5%，平面最小轉彎半徑25公尺、鋼輪/鋼軌型式之系統、軌距採用標準軌距1435mm及長銲鋼軌、全線為平面路段及高架路段。軌道設計之細節敘述如下：

圖4 高雄環狀輕軌捷運建設第一階段軌道配置

(一)軌道配置

輕軌路線大部分與一般道路共用路權，為了避免軌道突出周圍路面，造成用路人的障礙，將採埋置式(或稱嵌埋式)軌道系統，軌道除頂部露出空氣外，其周邊藉由黏彈性化合物(visco-elastic compound)的包覆予以固定，無須軌道扣件。為了美化道路景觀，埋置式軌道版中間部分亦可植草綠化。本計畫第一階段的軌道配置詳圖4所示，原則上一般平面道路及交會路段採用埋置式軌道，行經台鐵臨港線路段則採用植草式軌道，其中流行音樂中心路段橋梁，考量環境衝擊影響則採用減振抑噪軌道型式。

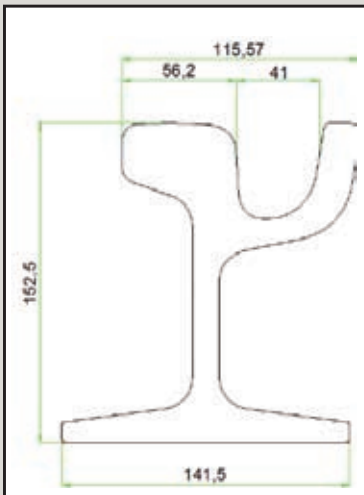


圖5 槽狀軌41GPU

圖6 埋置式軌道

圖7 埋置式植草軌道

(二) 鋼軌之選用

鋼軌型號之選用主要以槽狀軌41GPU(如圖5)及鋼軌50E6為主，本計畫需考量經系統整合後（特別是無架空線車輛系統中採地面供電者，其車體下方集電設施之配置及尺寸，或需搭配鋼輪之選用），再依其整合成果選取最適化鋼軌，常見的埋置式軌道與植草式軌道之案例如圖6及圖7。目前歐洲輕軌亦有廣泛採用Ri59和Ri60等型號之鋼軌。

(三) 軌道基礎設計

輕軌埋置式軌道結構的組成由上而下通常是軌道、軌道版、軌道版基礎及路基(sub-base)，如圖8所示，軌道版及其下之基礎須根據路基地盤反力係數K_{30}或應變模數E_{v2}值之大小設計之。因此在設計軌道版結構之前，必須了解沿線路基土壤的力學特性。茲說明如下：

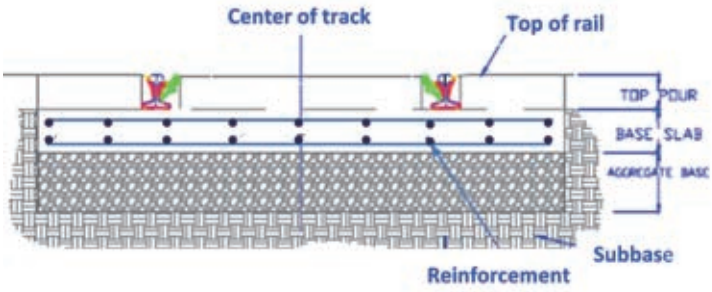


圖8 軌道結構與基礎示意(改自Laurence E. Daniels 2003)

圖9 高雄地區工程地質分區

1. 工程地質

本計畫區路線範圍為高雄市三民區、苓雅區、鹽埕區、鼓山區、左營區等，其平均高程約10公尺左右，屬平坦之地形。

高雄都會區可分為典寶－後勁溪平原區、壽山－半屏山區、仁愛－前鎮河平原區、高屏溪平原區等四個工程地質分區，如圖9所示（中央地質調查所，2003）。經進一步考慮沉積環境變遷、沉積物分佈特性及標準貫入試驗N值後，典寶－後勁溪平原區可細分為四個次區、仁愛－前鎮河平原區分為七個次區，壽山－半屏山區分為兩個次區，高屏溪平原區分為三個次區，本計畫工程範圍則位於仁愛－前鎮河平原區。

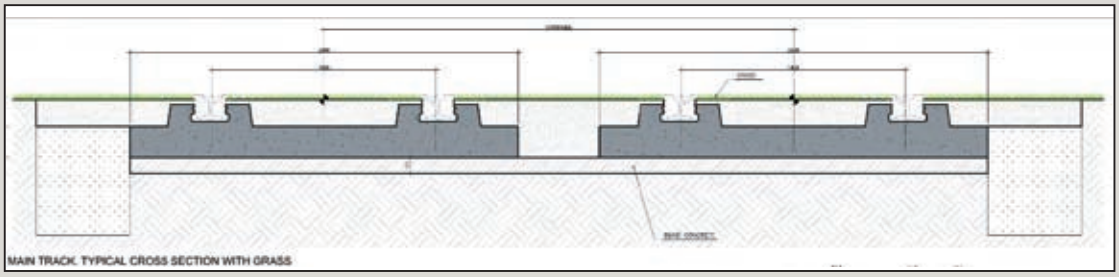
2. 沿線土壤條件

高雄都會區地表下淺層2~12公尺不等深度內多屬於粉土質黏土層，標準貫入試驗N值大多小於10。其中，鹽埕區原為魚塭，後因港口繁榮而填土為商業區，地表下10公尺內多含貝殼或腐木，標準貫入試驗N值約在2~7。

3. 路基承載力評估

為管控軌道版基礎之承載力，各國均提出不同之指標，如地盤反力係數K_{30}、應變模數E_{v2}或動態應變模數E_{vd}，並限制兩次循環加載之應變模數E_{v2} / E_{v1}比值，目的在減少因車輪反覆載重引起的塑性變形(plastic shakedown)。

輕軌軌道系統及路基如圖10，依「高雄環狀輕軌捷運建設綜合規劃報告」（高雄市政府捷運局，2008）建議，輕軌道版基礎須滿足E_{v2}≧120 MPa之條件。台灣高鐵對軌道版基礎之要求為E_{v2}≧80 MPa且E_{v2}/E_{v1}<2.3。經收集其他國家輕軌規範，主線上之軌道版基礎要求多為E_{v2}≧80 MPa，於平面道路交會段則為E_{v2}≧100 MPa；日本則規定無道碴軌道之路床K_{30}≧110 MPa/m。至於路基之原土層，「高雄環狀輕軌捷運建設綜合規劃報告」要求原土層應達E_{v2}≧45~60 MPa，而其他國家輕軌規範對原土層之要求多為E_{v2}≧40MPa。另本計畫系統顧問根據歐洲經驗，建議採用以下原則作為判斷原土層是否適合作為路基：



資料來源：Detail Track Section, C1~C4 Final

圖10 輕軌軌道系統及路基示意

表3 軌道路基處理工法

工法名稱	淺層攪拌工法	格網加勁工法	置換工法
工法特點	1. 就地攪拌固結材料與原土後，夯實回填。 2. 棄土量少。 3. 適用於淺層軟弱黏土改良。 4. 需有場地供暫置固結材料。	1. 淺挖至適當深度後，鋪設格網，將原土分層夯實。 2. 棄土量少。 3. 適用於淺層疏鬆砂土改良 4. 需有場地暫置挖出之土方。	1. 挖除影響範圍深度內之不良土方，以CLSM或結構回填替代。 2. 需另購土方，棄土量大 3. 適用於土層範圍較廣。
示意圖			

◆→ E_{v2} > 20MPa 且

◆→ E_{v2}/E_{v1} ≦ 2

若原土層無法滿足上述標準，則需針對列車應力顯著影響範圍內之原土層內進行處理（一般為30至50cm，視系統特性而定），以提高其勁度與強度。惟不同的列車與軌道系統各有其特定之承載力與變形容許值，未來將由軌道廠商根據列車經道版傳遞至基礎之載重，進一步分析決定基礎所需之強度與勁度，以控制軌道之差異沉陷量，並確保其在壽年內不需要重大的維護與更新工作。

輕軌工程於都會區中施工，應避免大挖大填，工法選擇應考量縮小施工範圍及時間，以降低施工對交通及民眾生活之衝擊，故針對軟弱土層之處理工法應以施工快速、降低噪音為主。經參酌各國規範及研究成果，初步建議當軌道版基礎及路基遭遇軟弱粘土層而有長期壓密沉陷疑慮時，應以攪拌改良為主、置換為輔，以減少棄土方之問題；若無長期壓密沉陷疑慮，則以淺層置換為主、格網加勁為輔，如表3所示。

(四) 管線遷移與軌道排水

1. 管線遷移計畫

依輕軌線形與道路配置之相互動線關係(如圖11)，研析線形與道路是否可調整以避開受衝突之重大管線。工區內既有

雨水下水道，須配合辦理遷移復舊或設施保護等。

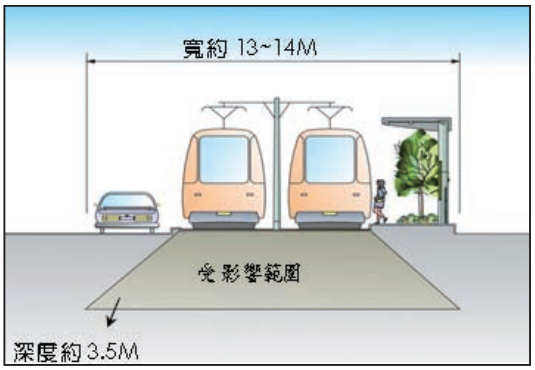


圖11 管線受輕軌影響範圍示意

2. 排水

本工程範圍內相關新建排水系統，依據交通部100年12月29日頒布「輕軌系統建設及車輛技術標準規範」之規定辦理(如圖12及圖13)；即輕軌系統之排水設計應比照市區道路設計標準及周邊設施之設計標準。

圖12 配合道路現狀進行排水規劃

圖13 槽型鋼軌鑿孔

二、機電系統

系統機電包含車輛系統、通訊系統、供電系統、自動收費系統、號誌系統、維修設備、行控中心等。

(一) 輕軌車輛

高雄輕軌車輛主要規格如表4所列。

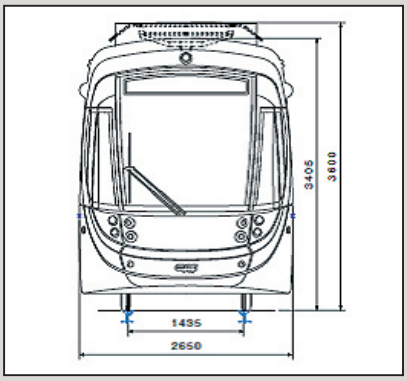
高雄輕軌列車外型如圖14及圖15所示，內裝設計如圖16及圖17。

資料來源：CAF高雄輕軌車輛外部設計

圖14 高雄輕軌列車外型圖A

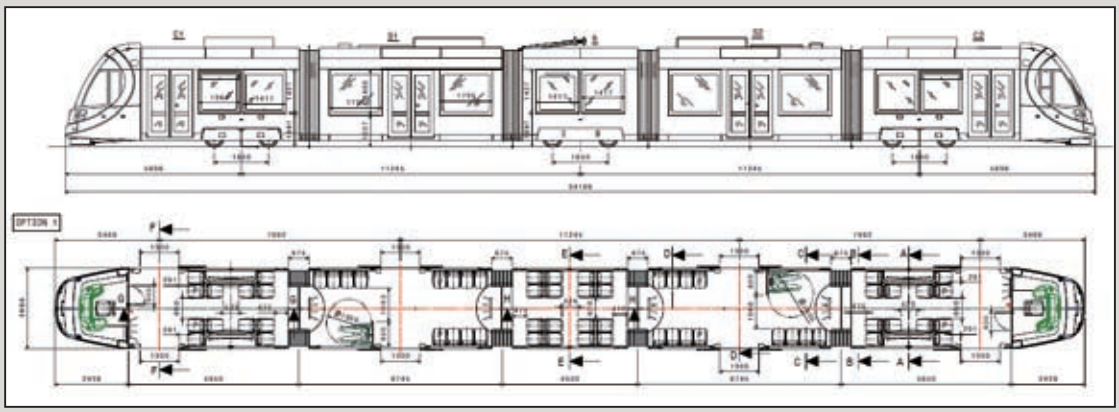
資料來源：CAF高雄輕軌車輛外部設計

圖15 高雄輕軌列車外型圖B



資料來源：CAF高雄輕軌車輛內裝設計

圖16 高雄輕軌列車立面正視圖



資料來源：CAF高雄輕軌車輛內裝設計

圖17 高雄輕軌列車內裝設計圖

表4 高雄輕軌車輛主要規格

規格項目	說明	規格項目	說明
系統型式	鋼輪鋼軌，標準軌距1435mm	載客量	座位坐滿+ 立位5人/m^2時載客量 250人
車身高度	3.80 公尺以下	軸重	小於 13噸
車身材質	金屬	車身寬度	2.65 公尺
急衝度 (Jerk)	1.3 m/sec^3	加速度	1.3 m/sec^2
正常/緊急減速度	0.8～1.5 /2.70 m/sec^2	車門入口處地板高	350 公厘(距軌道頂面)
輪椅上下車處	兩處	車上驗票機	設於中央握把
門寬	雙扇1.3公尺，單扇0.8公尺	車廂月台高度差	±25 mm
駕駛室	前後兩端均設	車間通道	無車間通道門
動力供應方式	電力，無架空線/架空線(機廠)	車廂內裝特別需求	1. 無障礙環境 2. 腳踏車固定架
推進最大坡度	千分之六十	最小轉彎半徑	25公尺

(二) 供電系統

高雄環狀輕軌捷運建設第一階段共設置DTSS+TSS1、TSS2~TSS6計6座牽引變電站，每一TSS引接台電22.8kV雙回路供電。牽引變電站配置位置詳圖18。

圖18 高雄環狀輕軌捷運建設第一階段TSS配置位置

任一TSS失效不會影響行車用電，DTSS、TSS1相互備援，TSS6須依系統特性設置滿足備援。高雄環狀輕軌捷運建設第一階段TSS供電引接規劃如圖19。

TSS內部空間規劃如下：

標準TSS：長15m*寬7m *高4m

DTSS+TSS1：長17m*寬10m*高4m

TSS2：長13m*寬9m *高4m

TSS6：長15m*寬10m*高4m

TSS5須考量半地下化設計

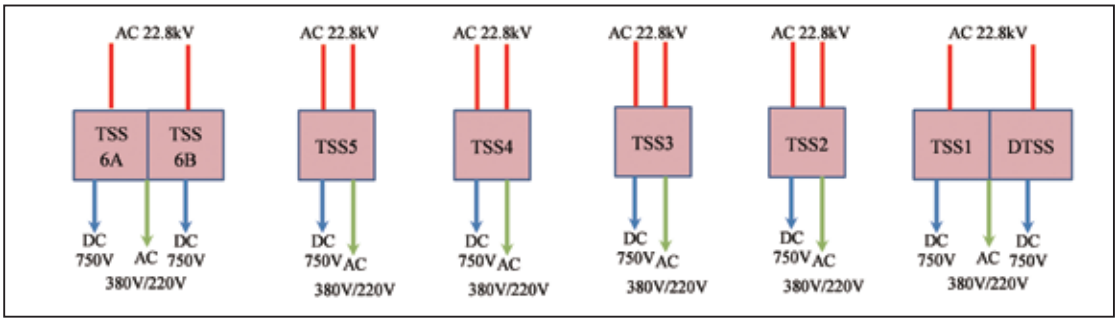


圖19 高雄環狀輕軌捷運建設第一階段TSS供電引接圖

(三) 號誌系統

輕軌號誌提供列車位置偵測，控制器回傳路口號誌及輕軌號誌至高雄市智慧運輸中心，輕軌行控中心僅接收輕軌號誌狀態，無ATP、ATS及列車自動識別，站間橫渡線為非電動轉轍器，端點站及機廠為電動轉轍器，於道旁設置聯鎖控制設備，全線僅於機廠變電站有一號誌設備室。設計架構如圖20。

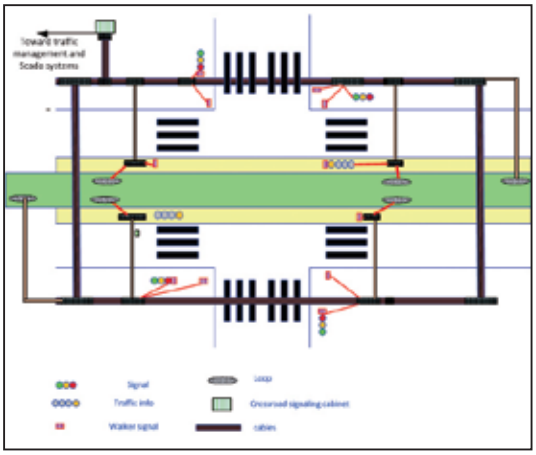


圖20 高雄環狀輕軌號誌架構

正線行車完全由司機員主控(目視駕駛)，行控中心僅可執行機廠調車控制，無正線進路設定能力。

(四) 通訊系統

高雄輕軌之通訊系統設計與操作，應以全線路網為設計基礎，設計時並須考量未來擴充性。系統將涵蓋所有區域（列車、候車站、軌道、機廠/維修工廠/行控中心等），圖21為通訊系統之架構圖。

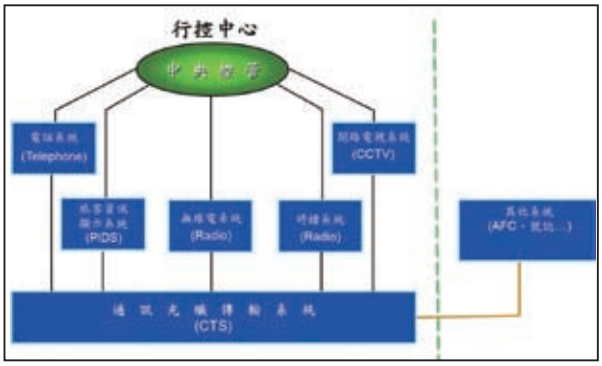


圖21 輕軌捷運通訊系統架構圖

電話系統：行控中心裝設一套電子數位用戶交換機，語音傳輸以 IP 形式處理(Voice over IP)。

旅客資訊顯示系統：提供車站點矩陣資訊顯示器，行控中心編輯台選擇顯示器插入即時及預錄之任何訊息(如：誤點、商業廣告、乘客須知、緊急訊息、列車訊息、政令宣導等訊息)。

數位無線電通訊系統：採分時多工(TDMA)數位式無線電系統(符合歐洲電信標準協會(ETSI)所制定之標準)，並利用乙太網路光纖骨幹網路的介面。

時鐘系統：提供輕軌捷運路網標準時鐘信號，由行控中心設備房內母鐘產生經

由傳輸網路傳至各輕軌捷運系統內各廠站之時鐘設備。

通訊光纖傳輸系統：傳輸行控中心、各廠站及相關附屬建築物(例如TSS)間之所有語音、資料、影像及監控訊號。本系統包括行車路線上下行之光纜及Gigabit (GbE)乙太網路系統。

閉路電視系統：影像訊號經由Gigabit (GbE)乙太網路傳輸，並提供IP (Internet Protocol) 網路攝影機。

(五) 自動收費系統

高雄環狀輕軌自動收費系統及設備須在安全及可信賴的環境下運作。即所有與票證相關之設備須能獨立運作、具自我檢查功能；停電時需有資料暫存、資料傳輸、狀況自動回報及不正確使用之自動警報功能。自動收費系統整體系統架構如圖22。

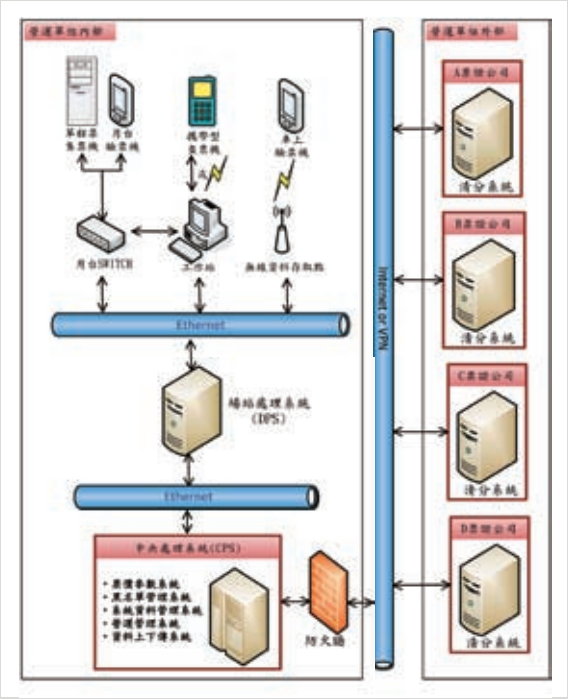


圖22 高雄環狀輕軌自動收費系統整體系統架構圖

票證分「單程票」及「電子票證」；電子票證之設計應符合安全及保全等準則且便於使用，並能配合區域性票證系統之整合。「單程票」及「電子票證」之交易流程如圖23。

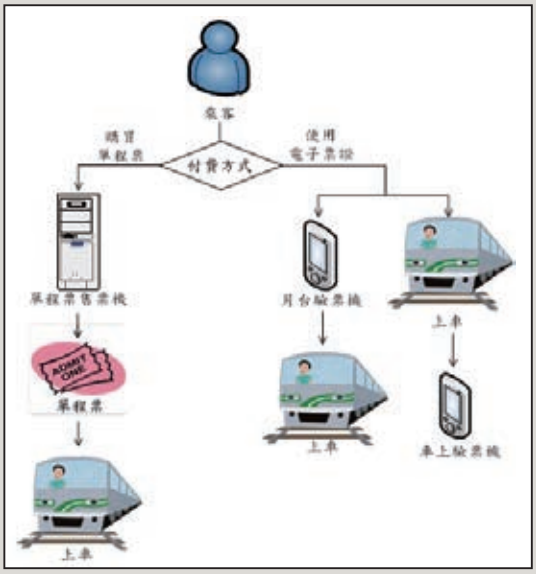


圖23 「單程票」及「電子票證」之交易流程

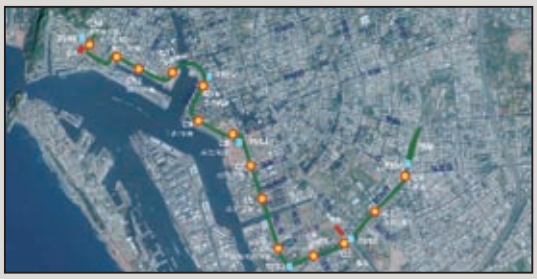


圖24 路線、候車站及牽引動力變電站位置

三、建築及公共藝術

(一) 建築

高雄環狀輕軌捷運建設第一階段候車站建築設計之工作範圍為14座候車站(C1-C14)及6座牽引動力變電站(TSS1-TSS6)，其中13座為地面車站， 1座為高架車站(C11)；牽引動力變電站4座為平面型(TSS2-TSS4，TSS6)，1座為半地下式(TSS5)，1座位於機廠內與廠區變電站共構(TSS1)。圖24為車站及牽引動力變電站位置。

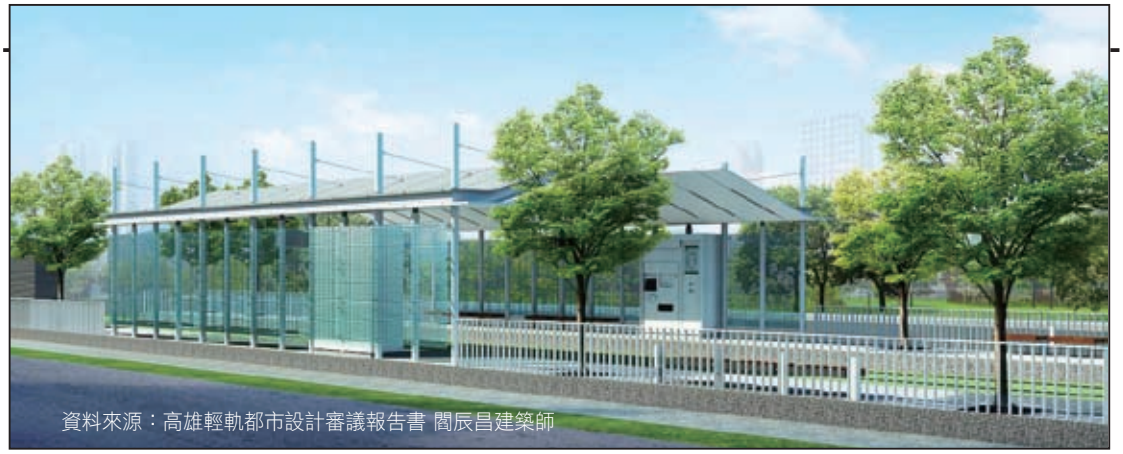


圖25 標準候車站示意

候車站的設計需考量高雄熱帶氣候的特性，同時候車站也需結合都市景觀塑造，並考量遮雨、遮蔭，與材料耐久性、防蝕性，將候車站與人行道、自行車道做整體設計考量(如圖25)。

(二)公共藝術

整體公共藝術將配合各站區域環境特色，以點串連成線的方式(圖26)，訴說高雄的歷史和特色，並藉人們與公共藝術的互動，使候車站成為一生動的活動場景及教育場所。

圖26 公共藝術設置位置

四、橋梁設計

既有的臺鐵跨越愛河(橋墩橋齡約46年，橋長約96M，橋寬約4M，如圖27)，上部結構為鋼U型梁，現為人行/腳踏車道使用。基本設計原考量移除舊橋上部結構，保留臺鐵舊橋墩；新建的輕軌新橋(含上部結構與下部結構)，採河中不落墩方式。另考量鄰近民宅之減振抑噪，加設隔音牆。進入細部設計階段，因舊鐵橋被指定為暫定古蹟，設計方式仍保留臺鐵舊橋墩，上部結構則考量保留作為人行/自行車橋。後續設計方案須經文資委員會審查，初步橋形意象如圖28所示。

圖27 愛河景觀橋位置

圖28 愛河橋橋形意象圖
(Grosvennor Bridge_摘自London Photo Routes 網站)

陸、結論與建議

一、建構完整的低碳大眾運輸系統

高雄環狀輕軌捷運分成兩階段執行，第一階段與第二階段預計分別於104年10月及108年12月完工通車。屆時將與營運中的捷運紅橘線及臺鐵捷運化工程，形成完整的低碳大眾運輸系統，並結合「亞洲新灣區」計畫的四大國際級建設，成為高雄市邁向偉大城市的新里程碑。

二、塑造美麗高雄新地標

高雄輕軌捷運的基本設計，考量了高雄地區之氣象、水文、環境、交通等特性，進行整體的規劃、設計、營運與維修。除注意安全耐用外，對於都市景觀的營造亦著墨甚深。譬如嚴謹要求列車的外觀與候車站公共藝術、鋪設埋置式植草軌道以及引進最新之無架空線系統，均可顯示捷運局對塑造輕軌成為美麗高雄新地標的用心。

三、注意軟弱路基的處理

高雄輕軌第一階段路線經過地區，屬軟弱至中硬的粉質黏土且地下水位高，其標準貫入試驗的N值約在2~7，局部路段軌道在長期承受車輪的反覆載重下，路基可能產生較大的塑性變形，影響日後的維修。細設階段統包商應對軌道版及其下基礎的設計深入探討。

參考文獻

1. 高雄環狀輕軌捷運建設基本設計顧問委託技術服務，期中報告及第一次擴充案服務成果，審標報告，台灣世曦工程顧問股份有限公司，中華民國102年2月。
2. 高雄環狀輕軌捷運建設基本設計顧問委託技術服務，期中報告及第一次擴充案服務成果，基本設計報告書，台灣世曦工程顧問股份有限公司，中華民國101年9月。
3. 高雄都會區輕軌運輸系統高雄環狀輕軌捷運建設修正計畫書，高雄市政府捷運工程局，中華民國101年3月。
4. 高雄環狀輕軌捷運建設基本設計顧問委託技術服務，期中報告及第一次擴充案服務成果，軌道基本設計報告，台灣世曦工程顧問股份有限公司，中華民國101年9月。
5. 高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)統包工程，土建設計規範，台灣世曦工程顧問股份有限公司，中華民國101年7月。
6. CAF車輛外部設計，西班牙鐵路建設和協助股份有限公司，102年3月15日。
7. C1-C14車站設計外觀圖，西班牙鐵路建設和協助股份有限公司，102年3月25日。
8. 高雄輕軌車輛內裝配置B版，西班牙鐵路建設和協助股份有限公司，102年4月3日。
9. 高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)統包工程，都市設計審議報告書，閻辰昌建築師事務所，102年9月3日。
10. Detail Track Section, C1~C4 Final Design, Construction of Kaohsiung LRT (Phase I) Project, SENER/CAF, 20 Aug, 2013.