



高雄環狀輕軌捷運（第一階段）車輛概述

高華聰／台灣世曦工程顧問公司鐵道工程部 主任工程師

林建華／台灣世曦工程顧問公司捷運工程部 技術經理

簡聖民／高雄市政府捷運工程局系統科 科長

輕軌捷運是一種結合低碳概念且具備綠色環保概念之大眾運輸工具，高雄環狀輕軌為了能符合高雄建設主軸意念，塑造出高雄輕軌捷運安全與快樂涵義。高雄輕軌列車的外型依照高雄市建設的主軸『海洋首都，健康城市』為意象；而內裝設計則採用造型美觀簡潔、風格清新優雅，同時配合國人體型及乘車習慣，並且考慮運量與搭乘距離等因素，來安排座椅、扶手的配置及數量。高雄輕軌系統採用無架空線之設計概念，讓輕軌車輛行走於綠草如茵之軌道上，融合悠閒及綠地之感覺，讓輕軌捷運系統之運行多一份休閒及便利，少一份都市繁忙與緊張，也讓高雄環狀輕軌沿線充滿優閒氣氛，營造水岸輕軌之特殊意象。

高雄環狀輕軌捷運整體概述

高雄環狀輕軌部分路段行經高雄港區，不僅可塑造水岸特殊景觀，並可俯瞰海景，極具觀光效益，且銜接紅、橘線及環狀輕軌。基於促進水岸開發及銜接捷運路網，提昇捷運運量，水岸輕軌之興建其建設目標明確定位為連結水岸沿線各開發建設與觀光遊憩為主，如「海洋文化及流行音樂中心」、「高雄世界貿易展覽中心」、「高雄港客運專區暨港務大樓」、「高雄港站開發計畫」等重大建設案等，再配合多功能經貿園區、文化創意產業、郵輪母港等產業政策方向，成為推動水岸地區舊有都市整體再發展的基礎建設，並連結現有及規劃中的大眾捷運路網，提供轉乘及疏運功能，提升城市運輸新風貌，推動水岸土地總開發。

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沿著海邊路佈設，至新田路、英雄路交叉路口處左轉，利用舊臺鐵路廊，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，沿美術館路佈設，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佈設，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 37 處候車站，詳如附圖 1 所示，其中 C1～C14 路段（含機廠），全長約 8.7 公里，為第一階段工程，C14（不含候車站）～C37～C1（不含候車站）路段（含停車場），全長約 13.4 公里，為第二階段工程。

高雄輕軌車輛系統設計原則

高雄市政府所規劃建設之高雄環狀輕軌捷運，不只是興建輕軌系統，而且是引進高品質符合世界潮流趨勢的新式無架空線輕軌系統，同時車廂採用 100% 低地板設計，方便乘客上下車，可有效解決上下車時，月台高度與車輛地板高度不同之困擾，並且讓行動不便旅客進出車廂更為便捷與舒適。



圖 1 高雄環狀輕軌捷運路線示意圖

輕軌車輛，是輕軌捷運系統中和乘客之間最具有緊密接觸關係的重要單元之一，就乘客而言，很難對行車軌道、供電、號誌及行車控制系統等方面的良劣表示意見，但是他們對整個系統服務品質的評斷幾乎都是經由搭乘車輛的經驗而來，諸如車體外觀、運行速度、可靠度、安全性、座位安排、舒適程度等。

基本上，列車組合、車輛尺寸、列車性能與服務班距及運量需求有關；車輛的重量、長度、高度、寬度、車廂底板距離軌面的高度，及動態包絡線則影響土建淨空、月台長度及高度，以及相關結構物之建造成本；而動力及控制系統、車體材質、車門、轉向架型式、煞車系統、空調系統、車內外噪音量等，則影響營運及維修成本、旅客安全及舒適程度。

列車上配備更包括車外側攝影機、行車紀錄器、列車控制及診斷系統、車內監控系統、符合最新歐規防撞標準、雙氬氣頭尾燈、噴砂裝置、輪緣潤滑設備、偵煙探測器、無線電通訊系統、營運輔助系統、自動收費系統及交通控制系統等。讓高雄輕軌列車運轉過程中，符合安全、舒適的要求，也期盼能成為全台灣輕軌系統的指標。

因此，在輕軌車輛設計中，使用者及營運者方面的考量是非常重要的因素。車輛系統整體由車體、轉向架、車門、空調系統、推進系統、煞車系統、輔助電力系統、照明、列車控制、旅客資訊系統、聯結器等各系統組成，提供旅客一個安全、舒適、便捷的運輸服務。所需的技術包含機械、電機、電子、電腦資訊等方面的知識，作為大眾運輸系統之重要載具，對各項系統、次系統品質的要求將非常嚴格。

車輛系統特色

高雄輕軌所採用車輛（外觀詳圖 2）屬於 CAF 所發展 URBOS 3 系列 100% 低地板車輛，其主要特性如下：

- (1) 車體採流線型設計，外觀結合高雄港都特色，同時搭配沿線建築景觀。
- (2) 全線採用無架空線設計（第一階段），在路線沿線不架設如蜘蛛網般電車線，避免造成視覺衝擊。
- (3) 車體特別加強碰撞與能量吸收設計，即使發生列車追撞，採用車體潰縮變形的吸能裝置係符合歐規（EN）相關規定，以能確保乘客安全。
- (4) 車體與車門採用可耐海島型潮濕氣候之材質，使用壽命至少二十五年。
- (5) 動力來源採用超級電容及輔助電池方式，正常情形，在輕軌列車停靠於候車站上下乘客期間，超級電容利用其快速充電特性，可使超級電容充飽電力，並供行駛至下一車站之動力；但是當遇有不可預期之停車，如塞車、事故等，系統計算超級電容無法運作至下一個車站時，則輔助電池之電力啟動，做為備援動力來源使用，確保輕軌列車動力來源無虞，可順利以降級模式下一個候車站。



圖 2 高雄輕軌車輛外觀圖

- (6) 輕軌列車車長、軸距、輪徑、車速、轉向架特殊設計與配置、肘節式通道之使用，以滿足市街常有的小轉彎半徑要求。
- (7) 輕軌列車設置安全行駛裝置，當輕軌列車駕駛員失能時，經過預設之告警程序後，系統即自動啟動煞車使列車停止，避免造成意外事故。
- (8) 輕軌車輛除具有防止打滑及空轉裝置外，更在煞車時可將煞車動能回收至電車線系統或儲能系統，以節省能源及回收利用，並對環境具備環保功效，可提高節能效率。
- (9) 轉向架設計，除採用電腦分析與應力量測比對外，並特別考慮框架金屬疲勞強度，並且依國際公認標準執行測試，確保長期運轉安全無虞。
- (10) 冷氣系統為頂置式模組設計，可直接吊換維修，節省下線修理時間，提高列車組之可用率。
- (11) 車門如果夾到物體或無法關閉時，列車控制會使車輛無法開動，確保乘客安全。
- (12) 駕駛區與乘客區以塗色玻璃隔離，避免乘客與駕駛人員間相互干擾。
- (13) 車廂內設置輪椅停靠區，並靠近車門位置，可停放輪椅、嬰兒車，方便肢障人員及攜帶嬰兒車之乘客上下車。
- (14) 配合全車低地板之設計，轉向架上牽引馬達設置之位置，採取特殊設計之考量，將凸出地板面之位置盡量縮小，並設計成座位區。
- (15) 駕駛室前端上方設置對外標示目的地之電子點陣型式顯示器，於車外 40 m 處清晰可見列車相關資訊。
- (16) 車廂內內部更安裝旅客電子資訊顯示器，可以預告下一站與下兩站之站名，讓乘客及早做下車或轉乘準備。
- (17) 因應需求與彈性之車廂內裝，包括：無障礙環境、空間與設施，通勤及休閒用腳踏車的車上停放方式，以及尖、離峰的載客彈性等。
- (18) 候車站及車上均設置驗票機，讓乘客可自由選則於候車站內或車上進行驗票。

轉向架系統

為了能配合 100% 低地板輕軌車輛，高雄輕軌第一階段車輛所使用之轉向架與傳統之軌道車輛使用之轉向架不同，主要在於傳統軌道車輛轉向架框架上配置

兩組輪對（每一車軸配備兩個車輪，詳圖 3），傳統之軌道車輛轉向架做法，要製造 100% 低地板之車輛，車廂內地板面需採用具坡度及座位區採用踏階之處理方式（圖 4），而高雄輕軌第一階段車輛在每一組轉向架配置四組獨立輪系統（圖 5），在動力轉向架部分，則設置四個牽引馬達分別來驅動四組車輪動作，經由控制系統作牽引馬達間之相互補償，每邊的一對馬達都可由相同的變頻器饋電。

一組完整的轉向架是由一個變流器箱及兩個變頻器供電，使車輪行進時推進動作更流暢及平順，避免造成乘坐時之不舒適感，同時避免車輪及軌道之間過大之磨耗，其牽引控制系統架構詳如圖 6。

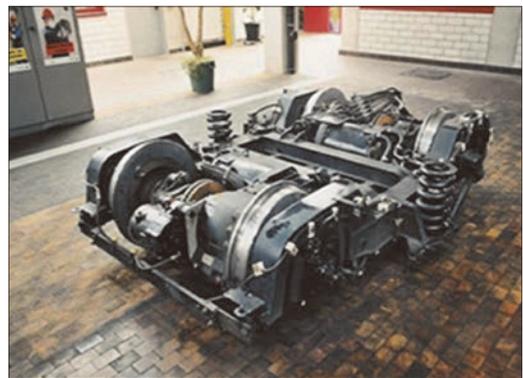


圖 3 傳統軌道車輛轉向架外觀圖



圖 4 傳統轉向架地板處理方式



圖 5 高雄輕軌第一階段車輛轉向架外觀圖

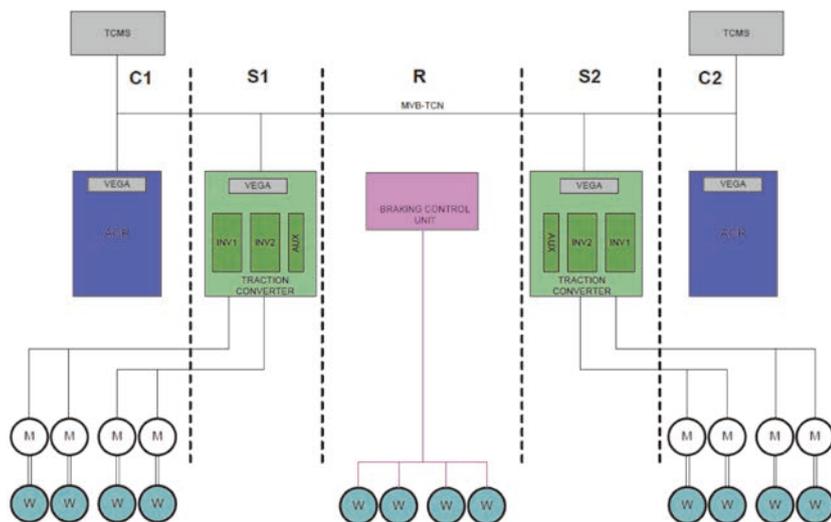


圖 6 牽引控制系統架構圖（參考文獻 1 P45）

牽引設備控制裝置的架構是依據 VEGA 控制平台（Vehicle Electronics for Generic Applications），該平台可支援不同鐵路應用的電子功能性，VEGA 平台的參考應用之一為牽引控制器，包括設定點的功能性，例如牽引轉矩、電動煞車、駕駛模式、感測器讀數、接觸器控制裝置、斷路器、IGBT、變頻器模式調變、整流器模式調變等等。當一個牽引變頻器出現單一故障，電車牽引系統的特定設計可維持 75% 的牽引力。

高雄輕軌第一階段列車兩端車輛配備有動力轉向架，而中間車則由無動力轉向架所支撐。馬達轉向架有四個馬達，以縱向方式與它們的軸裝配在一起，每個都固定在齒輪裝置箱以形成單一組件。該齒輪－馬達組件懸吊於轉向架底架，並由中央數個橡膠彈性組件連結。每個馬達驅動一個齒輪裝置，透過齒形的連結器將牽引轉矩傳遞到輪軸，同時能吸收主懸吊系統的上下相對位移量。

無動力轉向架是根據動力轉向架設計觀念，但是無動力轉向架底架與動力轉向架仍有些許差異，因為無動力轉向架未配置任何馬達，因此次懸吊系統可處於較低的位置，因此降低的地板高度，讓無動力車廂增加座位配置。此外，設置四個垂直減震器取代傳統轉向架之兩個。

車上儲能系統（ACR）

高雄輕軌第一階段列車之車上儲能系統是列車組上之自我供電系統，系統包括兩個「儲能模組」，該儲能模組是由超級電容及蓄電池所組合而成，對列車提供兩個功能：

- (1) 當列車組單獨運轉時，利用列車煞車產生再生能量，並儲存至儲能模組中，可使系統的效率顯著增加，因為煞車時期間儲存的能量可以供再度使用。
- (2) 作為沿著無架空線的路段行駛列車之動力供應，讓輕軌電車行經路段減少視覺及感官的衝擊，同時避免造成群眾在視覺上有感電之疑慮。

在無架空線路段時，ACR 設備可以供應列車所需要運行的能量，ACR 系統技術在於超級電容器能於短時間完成充電作業和電池的大量能量的儲存能力，具備特殊的特性，能夠透過

使用適當的控制裝置，同時供應和吸收能量。

儲能系統由一系列相關的裝置所組成，包括超級電容器電池以及相關的電池組以形成獨立的超級電容器和電池模組，直到達到所需的容量和能階為止。這種允許裝置間採相互關聯的系統意味著，對於個別特定應達之效率，以及系統上所建議最佳化解決方案，能達到整體系統所可能達到的最佳化程度，增加系統的效率。

為保證最大的效率和性能，藉由進階混合動力控制從 ACR 控制裝置設備控制 ACR 系統。因此，在無架空線路段，來自輔助變流器和牽引設備的需求情況下，可以確保發電設備間所需的協調。

由於系統與集電弓採用平行連接，ACR 設備在有無架空線運行時都有能力回收煞車能量。超級電容器／電池模組則無法直接與架空線連接；因此，DC/DC 變流器控制允許能量流控制的超級電容器中的能量。這是一個雙向變流器，即它可以回收能量並且執行充



圖 7 高雄輕軌第一階段車輛集電弓

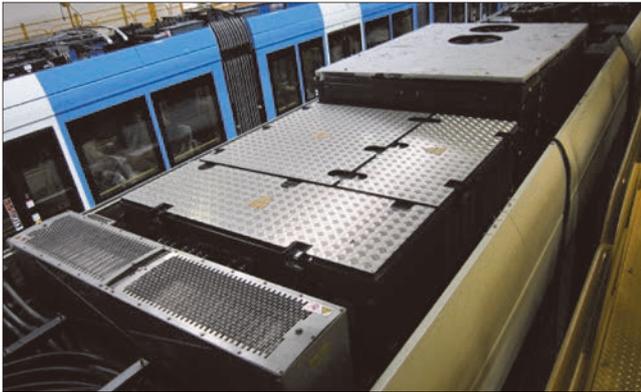


圖 8 儲能系統設備箱

電作業，再將能量供應給列車。超級電容器和電池都無法連接在一起。因此，DC/DC 變流器的設計為一種模組式結構，採用擁有混合動力（hybrid）而可同時使用超級電容器和電池，這意味在使用進階混合動力控制邏輯上，能在能量和電源間取得最佳化安排。

煞車系統

高雄輕軌第一階段車輛列車所使用之煞車系統，依其特性主要分為電氣及機械煞車，其功能及基本運作模式敘述如下。

電氣煞車：是高雄輕軌列車所使用之常用煞車，運作過程中所產生之電能，系統將回收的煞車電能饋電回架空線，以使其其他來回運行的電車可以使用該電力。當架空線無法回收電能時，相關電能將會回收至 ACR 中，當前兩種方式均無法回收電能時，則會在輕軌車輛上的煞車電阻器中減損。這些電阻器的尺寸經過選擇以進行恆久式電阻煞車。

機械式煞車：當電氣煞車不能提供完整的煞車作用力需求時，煞車碟上的摩擦煞車可補充動力煞車。摩擦煞車在至少三個連續緊急煞車期間也會維持整個緊急煞車的要求。

高雄輕軌列車於動力轉向架及無動力轉向架所使用之煞車方式有所差異。動力轉向架煞車由三種類型的煞車組成：(1) 電子動力再生式煞車、(2) 液壓控制摩擦式煞車、(3) 電磁軌道煞車。無動力轉向架煞車由兩種類型的煞車組成：(1) 液壓控制摩擦式煞車、(2) 電磁軌道煞車。

常用煞車則由駕駛利用非緊急煞車的其他控制器操作的正常煞車，煞車過程中採用混合剎車策略，常用煞車主要由電氣煞車（優先）及視情況所需的機械式煞車所提供。

車輛主要參數

項目	型式	項目	型式
車輛型式	鋼輪鋼軌	電壓	750 VDC
軌距	1435 mm	主要供電方式	超級電容 (ACR)
列車組成	C1+S1+R+S2+C2	載客量	250 人
列車長度	34 m	最高速率	50 km/h
車輛寬度	2650 mm	車體材質	鋁合金
車輛高度	3.6 m	最大軸重	13 噸
車間通道	1.4 m	牽引馬達	3 相交流馬達
車內高度	2 m	推進控制	變壓變頻 VVVF
入口地板高度	軌道面 35 cm	最大爬坡力	6%
車門寬度	1300 mm	最大加速度	1.3 m/s ²
車門數量	每側 4 組	最大減速率	1.5 m/s ²
與直線段月台間隙	不超過 50 mm	與曲線段月台間隙	不超過 75 mm

註：C 為動力車，R 為非動力車，S 為無轉向架車廂

結語

「水」與「綠」自古為人類生活發跡的源頭，藉由水域與大地植物的富饒資源成為人類與自然合一，圖求永續生存的關鍵元素。大高雄地區是一個有山有水的海港城市，「水」與「綠」不僅是這座城市的重要資產更是這個城市是否文明的重要指標。

高雄環狀輕軌系統將帶領高雄成為提供市民及遊客友善環境之大都會都市，不僅僅輕軌系統是綠色環保的運輸方式，且高雄輕軌所採用無架空線之系統將是全世界第一條採用全線無架空線系統建造之城市，依照系統設計，將能夠大大減少二氧化碳的排放，為節能減碳做一良好示範。

美學和風格的考量上，高雄輕軌第一階段車輛之設計由統包商邀請在鐵路和交通系統設計素有的聲譽和經驗 Animax 及 Giugiaro 設計公司合作。車輛設計以簡潔外型配合流線型表面，使車輛呈現出大膽、現代化及高效率的外觀，提供更細膩及高雅的造型。車體兩側色系簡單明確的線條，在動態中呈現出細緻的外觀。

在車廂內部及駕駛室空間的利用和控制上考慮到人性化配置，目的是在車門平順開關的設計及貫通列車組的車廂動線，能提供給乘客可以快速的進出車廂，及在車廂內移動時有一個愉悅的環境。

車體上採用大面的玻璃區域，車體有很大的比例是設玻璃窗和玻璃門，增強內部從外部採自然光的感覺，寬廣的玻璃區域，此可讓不論是坐著或站著的乘客都可以好好享受他們的旅程，特別是在車站上內有一個清楚的資訊展示可提供資訊。

參考文獻

1. 高雄環狀輕軌捷運建設（第一階段）統包工程車輛系統設計文件（2014）。
2. 交通部輕軌系統建設及車輛技術標準規範（2012）。
3. 高雄環狀輕軌捷運建設（第一階段）統包工程機電系統功能規範第二章車輛系統功能規範（2012）。 