

高雄輕軌無架空線系統性能指標研析

高雄市政府捷運工程局系統工程科 股長廖俊榮

摘要

本局值推動輕軌計畫，改善本市交通建設，提昇大眾捷運運量，降低環境汙染，並以土地開發收益挹注輕軌工程經費，為展現本局重要施政計畫成果，故撰寫此研究。高雄輕軌為台灣第一條輕軌，亦是世界第一條全線無架空線技術興建的輕軌。第一階段 C1~C8 於 105 年 7 月 4 日部分路段通車，開放民眾免費搭乘，C9~C12 於 106 年 6 月 30 日亦加入開放試乘，全線 C1~C14 預計 106 年 10 月前將完成通車。第一階段執行成果經驗，可回饋環狀輕軌第二階段工程及後續路網建設計畫應用。

一、我國輕軌系統建設

全球暖化及氣候極端異常現象已成為近年各國最熱門及最受關切的議題之一。而能源需求量更在新興市場國家大力推動擴大內需方案及一味地追求經濟高度發展下，產生短缺問題。為此，各國政府一致認為抑制溫室氣體（CO₂）的產生已到刻不容緩的地步，且必須儘快提出更有效的節能減碳政策因應。節能減碳在你我生活中不知不覺地成為一種時尚顯學。

我國各部門能源消耗量仍屬工業部門居最高者（約 51.7%），運輸部門則仍居次高（約 13.1%）。政府單位持續依循 1997 年 12 月在日本京都由聯合國氣候變化綱要公約（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）會議制定的《京都議定書》（Kyoto Protocol）規定，雖然臺灣非屬簽署國之一，但對於環保議題之實踐上，除訂定本國相關針對工業部門之 CO₂ 排放量管制政策及目標外，對於運輸部門之能源消耗量部分，更應設法提升運輸工具之能耗效率或大力提倡節能運具。

軌道運輸系統，因所行駛之車輛有下列獨特優點，百年來仍是城市推動大眾運輸綠色運具時之首選，尚無其他系統可以取代。

- (1)在指定的軌道上行駛：傳統軌道運輸系統，車輛在特定得線路上行駛，列車鋼輪運行於兩根鋼軌上，只能前進，限制左右移動自由度，且透過特殊的輪軌結構，列車具有自我導向的功能，車輪可以沿著不論直線或甚至曲線上運行，無須駕駛額外特別操控機構，所以相對其他運具搭乘時相對安全舒適。
- (2)行駛阻力小：基本上，鋼輪與鋼軌之間形成點接觸運動狀態，這種滾動摩擦所產生的行駛阻力相對非常小，由於此獨特的輪軌系統動力學，因而輪軌系統克服行駛阻力所需能耗較小，尤其行駛的距離越長，比起其他運具所消耗的能量節省非常顯著，有綠色運具稱號。

現代軌道運輸系統，採用列車編組，由動力驅動，沿著軌道或導向線路行駛，屬大量運輸的地面快速運輸方式，其最大優點是具速度、低能耗、大運量。採用乾淨的電力驅動，是因應經濟全球化時代石油能源枯竭與生態環境污染嚴重問題的最好交通工具，因此具有綠色交通與節能意義的現代軌道運輸系統，成為陸上交通運輸的主幹。

日前行政院會拍板前瞻基礎建設特別條例草案，並以軌道、水環境、數位、綠能、城鄉等五大建設主軸，其核心思考主軸可預見均與節能減碳有關。前瞻基礎建設採特別預算匡列的總規模約 8,800 多億元，其中，最大宗就屬軌道建設，總計 38 項，約 4,200 億採特別預算規畫，高雄極力爭取前瞻基礎建設設置第三條捷運黃線經費即高達 1400 億，其他城市又以爭取輕軌建設計畫為主。

臺灣推動輕軌運輸的歷史，最早為新竹市政府推動之輕軌運輸系統計畫，惟最後告終。近十年產官學界，不斷著手研究輕軌運輸的可行性，其中西部交通走廊上的都市臺北市淡水、信義區、社子北投和士林，桃園縣、新竹市、臺中市、嘉義市、臺南市和高雄市等地方，都有進行相關的規劃案。2012 年，行政院通過「高雄都會區輕軌運輸系統高雄環狀輕軌捷運建設案」修正案；2013 年，行政院審議原

則同意興建時並採分期開發「淡水輕軌計畫」，故此兩案是否成功，將對臺灣其他地區帶來示範作用。其中，高雄輕軌為台灣第一條輕軌，亦是世界第一條全線無架空線技術興建的輕軌。寶貴輕軌建設經驗，足供各縣市引進輕軌借鏡。

二、國際輕軌車輛發展趨勢

輕軌運輸系統（Light Rail Transit, 簡稱 LRT）為軌道運輸系統之一，源起於歐洲城市老式街道電車（Street Car），其系統運能及運作效率均低於一般重軌捷運系統（通稱地下鐵），然由於傳統重軌捷運具專用路權，大部分設於地下，其建造成本高昂，一般小型城市較難承擔，故提高電車運輸效率之現代化輕軌模式，已逐漸成為 20 世紀末全球各城市爭相發展的都市大眾運輸模式。

在過去的 30 或 40 年，世界上許多城市投資有軌電車和輕軌，恢復對城市公共交通運輸模式的興趣，在 20 世紀上半葉非常流行。但由於越來越多人使用私人汽車以及輕軌電車缺乏靈活性，於是在第二次世界大戰後漸失去了支持。但隨著對現代城市“宜居性”的日益重視，許多城市認為軌道系統比公共汽車相比具有更高的能力和環境效益，因此新建或翻新的有軌電車和輕軌路網陸續開通。

然而，隨著非軌道“電動交通運具”的興起和城市交通的新方法，例如汽車共享和計程車 APP 運用，輕軌和有軌電車正面臨越來越激烈的競爭挑戰。軌道業者到底應該把發展的重點放在哪個方向，以持續確保輕軌車輛的吸引力和競爭力呢？

在性能和成本之間取得平衡，減少私人汽車使用，彌補軌道路線上的捷運路網不足。UITP 研究顯示，巴黎 T3 線的開通使得路線上的汽車使用量下降了 25%。最近，中國和非洲的大型城市已經開始增加採用輕軌作為補足其重運量捷運和通勤鐵路網絡的方式。

今日，乘客對即時機動性的需求，以及電動汽車和電動公車的興起，再次成為有軌電車和輕軌是否在未來仍可保持競爭力的關鍵課題。雖然有軌電車和輕軌的基礎設施成本比捷運便宜，但它們仍然是一套

高價的系統，並且不能提供與公共汽車或汽車共享相同等級的靈活性。而且車輛也很昂貴，可能導致城市在預算壓力考慮下採用更便宜的選擇。

那麼，軌道供應業者可以將電車或輕軌列入許多城市的思考選項名單，並確保其持續的競爭力嗎？Railway Gazette 在去年做了一項調查，將未來有軌電車或輕軌車輛發展優先考慮面向，包括降低營運維修成本、提高車速與可靠度、提高搭乘舒適度、提高載客容量、降低車價等 7 個因子，向專家小組詢問了他們對有軌電車和輕軌車輛未來發展的優先事項，排序等級分為 1~7。排序 1 是認為最需優先考量的，排序 7 是認為最不需要優先考量的。調查結果發現，受訪者關注的是對展望未來競爭優勢，而不是單單地解決昨天的弱點。

結果顯示，明確的優先考量標準是藉由更長的壽命週期和減少的磨損來降低操作和維護成本。這將有助公共交通建設與營運機構確保他們的電車和輕軌服務足以與其他交通工具競爭。

第二個優先考量標準，有不同的意見；三個選項都得到類似的支持，它們之間的邊距非常小。在速度至關重要的世界上，許多受訪者支持在新線路和現有線路上更好地分隔軌道，以提高速度和可靠性，並確保輕軌能夠盡可能有效地解決交通擁堵問題。然而，這種方法顯然相互是有競爭的。

第三優先考量標準，需要提高乘客的舒適性，更低的出入口高度，更好的內裝設計和座位，以及車載旅客資訊和娛樂系統，以滿足新一代“永遠連線上網”的需求。另其他受訪者贊成通過降低重量和更好的能源管理來提高能源效率。這將對營運成本產生直接影響。

由結果顯示，專家認為，提高載客容量不是未來發展議程的首要課題。同時，考慮到近年來的成本競爭，車輛購買價格考量優先等級亦相對較低。

令人驚訝的是，鑑於過去十年對研發的重大關注和投資，調查小組達成了一致共識，創建無架空線系統營運以改善城市形象企圖心應為輕軌車輛行業的最低優先等級。

專家調查小組清楚地認為，在成本和性能（速度和舒適性）方面的改進，是讓有軌電車和輕軌車輛對新移動性競爭仍保有優勢的關鍵。他們關注的優先等級排名表明，最大的改進空間是降低使用壽命期間車輛的營運成本，而不是初始購置成本。但這只是確保有軌電車和輕軌車輛仍可有效地在 21 世紀城市的大眾運輸交通運具中發揮不可或缺作用的一些先決條件而已。

Unife 總幹事 Philippe Citroën 認為，“城市政策，規劃和金融工具應鼓勵可永續的交通方式，例如輕軌，地鐵和通勤列車。除了電力運輸明顯的環境效益，城市軌道有助於緩解交通堵塞，在生活品質和生產力以及能源安全方面均會產生積極影響。

有軌電車和輕軌車輛優先考量因子	平均排名
降低營運維修成本，透過延長壽期與減少磨損	2.67
提高運轉車速與可靠度，將軌道與其他交通隔離	3.74
提升乘客搭乘舒適度，進出車廂平順、更佳內裝設計與旅客資訊系統	3.78
提升能源效率，降低車重、優化推進設備及車載儲能系統	3.85
增加載客量，增加車長或車廂內部空間最佳化	4.00
降低購買價格，一列輕軌車輛低於 200 萬歐元	4.22
宣揚創建無架空線技術系統，展現城市企圖心	5.74

三、高雄輕軌無架空線系統

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輕軌系統，所以高雄環狀輕軌系統建置，掌握符合輕軌硬體發展的世界潮流趨勢，以充分發揮輕軌系統的優勢。採用 100%低地板、無架空線供電系統、優先

號誌系統、要求節能減碳等作為，這就是目前輕軌系統發展世界潮流趨勢。

舊式輕軌車輛是高地板月台高度約 100 公分，乘客必踩階梯上月台進入車廂，上下車極不方便。如今科技進步，設計創新，有關輕軌車輛地板的結構設計改變了，從以往的高地板經 70%低地板，到今日的 100%低地板。在 100%低地板的車廂內無設置階梯，行動平順，方便推嬰兒車的乘客或行動不便的乘客使用，創造友善、幸福城市，提升城市形象。高雄環狀輕軌全車採用 100%低地板設計是世界趨勢，車內地板距離路面高度只有 35 公分，乘客可以從月台或道路直接上車。

電力係輕軌列車推進動力之主要來源，輕軌車輛使用電力對城市無二氧化碳排放污染，平面型輕軌系統電力輸送方式一般採用傳統架空線傳輸方式，但是在市區內，架空線往往在安全上或景觀上造成疑慮，而近年來輕軌技術發展日新月異，目前已有發展採用無架空線方式供電設計，如地面軌供電方式或車載儲能設備超級電容於車站充電方式。為維護都市景觀，維持海洋都市廣闊碧藍天空，高雄輕軌捷運系統決定以無架空線方式提供電力予車輛行駛。市場上無架空線供電系統陸續研發中，或是在營運中。所有無架空線供電系統均已取得國外第三公正專業單位認證通過，安全與功能並無疑慮。

高雄輕軌捷運的車輛是由西班牙廠商 CAF 公司承造，屬 CAF 所發展 URBOS 3 系列低地板車輛，目前使用於全球各大都市。其採用車載儲能設備超級電容＋電池無架空線技術，可搭配車輛使用再生煞車來回收電力供後續車輛行駛動力。已在西班牙數個城市有成功營運案例，而高雄是亞洲第一條引進全線採無架空線供電之輕軌系統。

平面建造型式之輕軌系統，採隔離路權之 B 型路權型態，同時於交叉路口採用優先號誌通行，並整合平面道路交通號誌，讓輕軌車優先穿越路口，使其行駛時不受其他地面交通干擾。交叉路口除提供輕軌優先外，同時設置警告燈號、警告音響、列車接近偵測裝置及相

關電路設施，預先淨空路口。透過有效的號誌設計，降低輕軌系統引進後對路口的交通衝擊。

高雄輕軌除路口及高架路段外，皆為嵌埋式植草軌道，不會突出路面。輕軌路廊範圍內，除了十字路口外，都會鋪上透水的綠草地，不僅視覺舒適，更能保水降溫，減少下水道載量；80%以上的綠覆率，較現有汽車行駛的柏油路面，更具環保、節能、減碳，與降低都市熱島效應的效益。軌道工程採用彈性包覆材，將鋼軌兩側及底部進行支承及包覆，對於噪音及振動有良好的抑制效果（約可降低 8-12dBv）減少對沿線居民的影響。

機廠大面積植栽綠化，建築物將採生態、節能、減廢、健康符合綠建築黃金級以上標章的設計，打造綠色機廠。

興建高雄市為一綠色都市，高雄輕軌系統將是節能減碳綠色運輸系統。其中，尤以引進全線無架空線供電系統，超級電容車載儲能技術，不僅全國首見，亞洲第一，更是領先世界各大城市輕軌系統，為一創新技術。

（一）達成無架空線技術所需設備

自我供電系統（ACR 系統）為裝設在列車上之裝置。該系統包括 2 組電力儲存模組箱，可使車輛增加 2 項功能：

- 可增加再生電力。因該系統可在煞車操作時回收並儲存列車之動能。如此可大幅提升車輛之能源效率，因煞車時動能轉換儲存之電力稍後可再被使用。
- 使列車能行駛於無架空線路段。此項功能可減少對市中心或古蹟區的視覺衝擊，並可使用於無法裝設架空線之區域。

自我供電系統之設計目的，能應付環狀輕軌路線中無架空線之路段。為高雄輕軌所使用之設備包括 2 個 ACR 箱，每一個箱包含數套超級電容模組及 1 套電池模組。

每部 5 車廂的輕軌電車自我供電系統有 2 個 ACR 箱。使用於每個 ACR 設備中的儲能模組，基本上由兩個區塊組成：

- 一個由數個超級電容串及電池構成的儲能模組。

- 一個 DC/DC 裝置和相關的電子控制裝置。

ACR 上所使用之儲能模組由超級電容及電池構成。儲能模組依照超級電容及電池技術進行設計。用於高雄環狀輕軌之系統主要特色是，超級電容所儲存之能量比其他類似系統高出很多（以 2012 年招標當時而言）。因此該系統可提供極高之動力能力，亦即具備更高之無架空線行駛性能，以及更強之煞車動能回收能力。

超級電容技術目前正在蓬勃發展，並使用於許多應用中。較之其他類似儲能系統（全使用電池），超級電容可提供更高之能量儲存密度以及特別強大之操作功率，讓車輛的行駛性能未因採用無架空線技術而有所打折扣。

在無架空線供電區域，ACR 設備可以供應列車運行所需要的能量。由於 ACR 系統與集電弓為並聯，ACR 設備在有或無架空線運行時都有能力回收煞車能量。

超級電容器/電池模組無法直接與架空線連接；因此，需設置 DC/DC 轉換器以控制超級電容器中的能量流量。這是一個雙向轉換器，即可以吸收能量（回收能量）並且執行充電運作，再將電力供應給列車。

為保證最大的效率和性能，ACR 系統係從 ACR 控制單元利用先進之控制演算法進行管控。因此，在節能路段的無架空線運作期間，來自輔助變流器和牽引設備的需求情況下，可以保證與電力供應設備間之完美協調，也就是搭配智慧能源管理系統，以達到節能效果。

- 超級電容器

超級電容器允許以供應軌道系統牽引設備所需的極高瞬間功率需求。在雙層電氣化學結構電容器的超級電容器（EDLC，雙層電氣化學結構電容器）中，雙層電極使電容組件之容量可增加至現今其他電流技術所無法達到的值。這些裝置的能量密度與容量較電解液電容器的能力密度和容量高出數千倍。由於這些裝置在能量儲存期間，沒有任何化學反應，所有的程序純屬物理性。其機制可完全逆轉，並且可以加載卸載百萬次。與

電池相較，超大容量電容器提供較高的功率（執行快速充電和放電的能力）並且可以執行數萬次的循環。

● 電池組

ACR 系統中的電池組是基於 NiMH 的技術，其特色為具備大能量容量。由於其大容量特性結合超級電容器的高功率特性，使每個應用方案得以達到最佳能量/功率比率。

（二）快速充電電源模組設計

快速充電電源供應系統(SCSE)是一套設備模組，可在列車抵達車站時，使充電區通電，以便對列車之車載儲能系統(超級電容所組成之自我電源供應系統 ACR)充電，並於列車離站時使其停止通電，俾列車利用超級電容所儲存之能量從一車站駛往下一車站，無須傳統的架空線。

為確保人們的安全，此項送電/停止送電之操作，係依據安全完整性等級(Safety Integrity Level) SIL 2 發展。

此 SCSE 操作模式為靜態模式，因列車是在停止狀態下升起及降下集電弓。快速充電電源供應系統基本上包含於車站開放空間區一條鋁製接觸裝置(導電軌)，裝設高度為 3.85 公尺。該導電軌之通電與斷電，係由高流量充電控制器(CCS)饋電站自動控制。

快速充電電源供應系統依據下列操作模式於各無架空線之車站對營運車輛供應電力：

1. 列車駛入充電區定位點，位於導電軌下方。
2. 列車自動升起集電弓，並與導電軌接觸。
3. 裝在列車頂上之編碼訊息發送器(TMC)透過集電弓發出連續編碼訊息。TMC 將編碼訊息傳給鎖碼訊息解碼器(AMC)。
4. 鎖碼訊息解碼器(AMC)裝置收到鎖碼訊息解碼後傳給高流量充電控制器(CCS)裝置。
5. CCS 裝置收到解碼訊息，並檢查 TMC 訊息與 Wheel Evaluator 訊號比對是否正確(安全狀態)。

6. 正確時,CCS 裝置送出「送電要求」給電流接觸器 Contactor。
7. 電流接觸器 Contactor 開啟導電軌之電流。導電軌成為帶電，從而啟動充電程序。
8. 列車充電結束時，駕駛員按下關門指令，集電弓開始降弓。
9. 列車駛離車站，車輪駛過車輪偵測器 Wheel Sensor，對 Wheel Evaluator 送出訊息。
10. CCS 收到 Wheel Evaluator 列車駛離車站訊息，對電流接觸器 Contactor 送出「關機請求」。
11. 電流接觸器 Contactor 使電路開路，導電軌關閉電源。
12. 在列車離站前須完成整個斷電程序。

（三）智慧能源管理系統

在無架空線系統中，電力煞車期間，牽引馬達所產生的能量被儲存在 ACR 系統中供後續使用。

因此，在牽引和巡行的階段期間，列車將從 ACR 系統饋電。在煞車期間，牽引馬達所產生的能量又被儲存在 ACR 系統中。所設計之系統因為使用超級電容技術，快速充電的特性，容許系統擁有極高的能量回收率。

ACR 可回收 27%~32% 的能量，扣掉 ACR 設備的重量影響多耗能 5%，約可節省 22%~27% 的能源，整體而言，雖然裝置 ACR 設備多花了一些建置成本，但以節能與降低營運成本的角度而言，是一種環保且經濟的有效作法。

ACR 系統容量與架構依照旅程需求來設計決定。每一列車 2 組 ACR 模組，每一 ACR 模組 4.1kwh，充一次電可行駛 1.4 公里以上。若將每次無架空線行駛所需消耗的電力記錄，呈現自然分配曲線，可用系統設計容量的決定，盡可能極大化涵蓋所有的旅次，不足的例外，以預防或備援矯正措施來彌補，達到硬體重量之最適化。

以廠商於西班牙 Seville 實際量測顯示，1 個 ACR 4.1 kwh，在無架空線站間絕大部分消耗 0.8~1.9 kwh 完成行駛，包含不預期的停等。

因為全程無架空線，只靠進入車站停站時間充電，有限的電力容量，必須做最佳化的使用。依照車輛到站距離與監控電能存量，來調節車上電力負載如空調設備等，進行智慧管理能源。

為將可用能源程度水準盡可能提升，必須採用幾種措施與管理模式。於是將能源管理分為下列三種管理模式層次：

1. 正常模式：即正常行駛速度、及空調運轉下，提供乘客舒適的搭乘條件。
2. 預防模式：即在不減損列車行駛性能下，預防性降低能源的使用情形，如降低空調設備的運轉，以增加列車行至下一個充電站之機率。
3. 救援模式：即降低列車行駛性能，關閉客車廂空調系統，車輛以慢速運行駛離正線，回到機廠充電。

四、高雄輕軌無架空線系統性能指標

依 99 年 7 月 22 日大眾捷運系統履勘作業要點，大眾捷運系統工程建設及營運機構依前點規定自行或報請辦理初勘前，應確認擬通車營運路段已完成營運要件，無營運安全之虞，其中包括，完成系統穩定性測試報告，且至少應包括下列指標：

1. 試運轉期間系統可用度，其計算公式＝（系統試運轉時間－系統延誤影響時間）／系統試運轉時間。前述系統延誤影響時間係指系統或列車延誤超過 90 秒之異常事件或事故。
2. 平均列車妥善率，其計算公式＝平均每日尖峰可用車組數／平均每日全車隊車組數。

另，初勘通過之依據，除應完成履勘前須改善事項外，地方主管機關須已完成營運中斷交通緊急應變計畫，並應提出依未來通車初期營運班表連續 7 天以上之試營運報告，且須符合下列要件：

- (一) 系統可用度達 99%以上，且延誤 5 分鐘以上事件不得超過 2 件。
- (二) 平均列車妥善率達 90%以上。
- (三) 系統啟動正常，且不得有發車失敗之情形。
- (四) 不得發生造成全線或區間單、雙向營運中斷之系統性故障事件。
- (五) 如為無人駕駛系統，不得於正線發生改採手動駕駛列車模式之情形。

高雄環狀輕軌捷運建設統包工程，功能規範亦要求，整個系統服務成果，達到營運服務指標中，系統可用度目標值達 99%以上。

輕軌系統與重運量捷運系統不同，影響輕軌系統運轉的主要系統，僅與車輛、供電、號誌有關，以第一階段工程為例，經由統包商經驗與分析評估，依各子系統賦予適當的權重，將系統可用度目標值配當至各主要系統，如下：

主要系統	權重	可用度
車輛	60%	99.40%
輕軌號誌	20%	99.80%
供電 - 變電站	10%	99.90%
供電 - 快速充電系統	10%	99.90%

各子系統達到配當的目標值，就能確保整體系統可用度達成。這些指標，在全線通車營運後，依其發展之系統展現計畫執行，展現期至少 6 個月，依營運機構排定之班表與系統營運維修計畫，執行連續的系統展現，以展現系統符合可用度需求。

系統	要求
整體系統	系統可用度 > 99%
自動收費系統	售票機、驗票機可用度 > 96%
維修設備	洗車機可用度 > 95% 同步抬高機可用度 > 95%

	地下車輪車床可用度>95%
車輛系統	開始商業運轉後可用度>75% 開始商業運轉後 3 個月可用度>80% 開始商業運轉後 6 個月可用度>90% 開始商業運轉後 12 個月可用度>95%

展現期間，本局與營運機構及統包商合組「系統展現審查小組」，每月定期開會檢討相關故障與延誤的歸屬，以釐清故障發生原因與停機時間，或展現計畫的調整。

展現結果符合契約規定後，廠商提送展現報告，經機關審查與核可後，廠商才可報請竣工驗收，正式驗收合格後，工程始起算保固期。

因目前尚未全線通車，系統展現亦未開始，但針對部分通車路段，統包商依據營運單位開立之營運缺失改善工作要求單，進行系統設備改善。自 104 年 10 月開始部分路段通車試營運起，截至 106 年 6 月止，工單統計如下：

車輛系統設備	工單數量
轉向架	34
駕駛艙：各項設備	24
車體：雜項設備	137
車門(車外進出)	59
駕駛艙空調	5
客艙空調	3
煞車設備	17
集電及變壓	14
駕駛控制及保護系統	2
通訊系統(資訊/監控)	65
輔助監控系統	31
快速(電力)儲存設備	31
合計	422

機電系統設備	工單數量
通訊系統	70
車載通訊設備	40
號誌系統	172
車載號誌設備	41
快速充電系統 SCSE	32
供電系統變電站	68
合計	423

統包商自系統上線營運服務後，已檢討改進的軟硬體項目及其改善成效，統計分析彙整如下：

改善項目（軟硬體）	改善成效
1. 列車 ACR 軟體進版	SW0.05 軟體版本更新，改善並修正備援電池充電性能，以提高車站充電之效率
2. 列車 Traction 軟體進版	SW0.04 軟體版本更新，改善電阻器過熱問題，減低牽引故障頻率
3. 集電弓馬達與控制模組更新	更換新式馬達及控制箱，以優化集電弓升降之機械動作，減低噪音及耗損
4. 列車 TCMS 軟體進版	TCMS 整體控制邏輯優化提升，提升司機員操作之便利性
5. TSS RTU 軟體進版	軟硬體更新以利： - 增加連結至 OCC 訊號數量點，以利監控 - 改善直流交流設備交互干擾造成之誤告警 - 消除直流交流設備交互干擾造成之瞬跳電
6. Wheel Sensor	wheel sensors 軟硬體更新以利： - 更換穩定性更高之新型 wheel sensors 解決故障情形

	- 延長 sensor 之感應時間，以優化偵測訊號及回傳 OCC 準確率
7. OSS 軟體進版	- 更新全車隊車載 OSS 軟體以解決時刻表無法下載及時間為負數之異常事件
8. 車載無線電軟體更新	- 於車載無線電增加輔助裝置以改善無線電訊號
9. TR 時制調整	- 路口時制時間依營運實際調整優化，以符營運需求
10.C2-C1 手動路徑設定	- 進路設定指令之作動時間予以延長，以確保司機員能正常開通 C2DN 至 C1DN 進路

五、結語

高雄環狀輕軌系統最重要特色之一為無架空線行駛能力，第一階段採用 CAF 無架空線技術，在車上設置電力儲存裝置，僅需在車站內進行快速充電，不需沿線設置架空線。因沒有架空電車線，減少城市景觀視覺衝擊與基礎設施建置維護成本、及確保用路行人安全。這不但是國內首見，在國際上極少成功案例之一，實際上線運轉經驗，可用於回饋改善精進系統，以提升整體系統可靠度、穩定性。

創新採用之超級電容車載儲能無架空線供電技術，目前該項技術仍持續進化中，惟受限於市場規模，發展不易，關鍵技術仍掌握在國外廠商手中。因是國內首條輕軌，不論引進無架空線供電使用的技術，甚至營運時所面臨路口交通安全的問題，均是第一次。創新建設同時，更應注意規畫未來營運維修所可能遭遇的問題。

因目前尚未全線完工，俟全線通車營運後，系統展現工作即將開始，統包商依展現計畫執行，以展現系統符合可用度需求。

針對部分通車路段，統包商依據營運單位開立之營運缺失改善工作要求單，進行系統設備改善。以目前營運缺失改善工作要求單統計數量，因隨著部分路段逐步增加車站數與車輛數上線營運，尚未呈現

下降趨勢，然而，當全線通車後，隨著統包商執行系統設備改善，預期營運缺失將會逐漸下降收斂。

參考文獻

- [1] 交通部大眾捷運系統履勘作業要點，2010。
- [2] 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，2012。
- [3] 高雄環狀輕軌捷運建設(第一階段)統包工程 系統保證計畫，2014。
- [4] Railway Gazette International, October 2017。