

安坑輕軌列車穩定性測試及初期營運妥善率事件分析

新北市政府捷運工程局 機電系統科

壹、前言

為將新北市打造成交通運輸便利的永續宜居城市，於民國 99 年發展提出「三環六線」之規劃理念，目前新北市境內已達到 167 座捷運車站，營運里程約 183 公里，可涵蓋新北市大部分行政區域，為新北市捷運建設串連大台北都會區，藉由軌道建設串連住宅、產業、商業等需求廊帶，達成交通脈絡連結、低碳遊憩運輸營造及國際運輸賦能強化，以縮短核心區及衛星城市之距離。

其中實現建置大眾運輸工具目標之一，安坑輕軌已於 112 年 2 月 10 日完工通車，路線由安泰路與安坑一號道路路口起，主要以平面方式沿安坑一號道路北行，經安忠路，繼續向北行並轉沿安坑一號道路安和路支線段，後改以高架方式佈設，經安康路安和路口，再接續安和路一、二段，跨越國道 3 號高架橋上方後，於安和路二段東轉跨越五重溪，沿新北環快南側跨越中安大橋高架匝道後，再沿新北環快西側路權範圍內佈設，並接續IV-26 號計畫道路，於永安里民大會館及景福宮東側跨越新北環快及新店溪，至十四張地區與環狀線銜接，路線全長約 7.5 公里，其中包括設置 4 座平面車站、5 座高架車站，並於安泰路旁設置 1 座機廠。

為了使輕軌列車能在預期之運量需求下正常營運，在營運通車前會針對系統設備作完整的性能及安全檢測，相關測試包含安裝測試、工地測試、系統整合測試、穩定性測試及初/履勘等階段，其中列車的妥善率就是判斷能否正常營運的關鍵性指標之一，本案將探討安坑輕軌於穩定性測試及營運初期(112/3/14-112/5/30)之列車妥善率，以做為未來路線重點注意事項及營運時預防性檢修之參考。

貳、主旨及背景說明

為了測試輕軌列車能否在預期之運量需求下正常營運，安坑輕軌自 111 年 11 月 1 日至 111 年 11 月 7 日進行 7 日系統穩定性測試，於 111 年 11 月 19 日辦理初勘，並報請交通部同意後於 112 年 1 月 23 日辦理履勘，相關測試資料結果如後。

一、電聯車設計概要

安坑線電聯車(圖 1)為輕運量、有人駕駛、鋼軌鋼輪型式電聯車，以 5 節車廂固定編組方式營運、100%低地板、多關節式輕軌車輛、雙向可操控駕駛設計，編組方式為「M1-M2-M3-M4-M5」(圖 2)，每節車廂尺寸為車長約 7.875m(M1 及第 M5 車廂)、5.5m(M2 及第 M4 車廂)、4.1m(M3 車廂)/車寬 2.65m/車高 3.75m，列車總長約 34.45m，每列車最大載容量為 265 人，在動力設計上，採動力分散配置，M1 及第 M5 車廂採動力轉向架，M3 車廂則採非動力轉向架，並配合關節式(鉸接式)聯結器結構連接各車廂，如此設計可因應最大爬坡度(7%)、小轉彎半徑彎道(R25m)等路線之動力需求。



圖 1、安坑線電聯車外觀

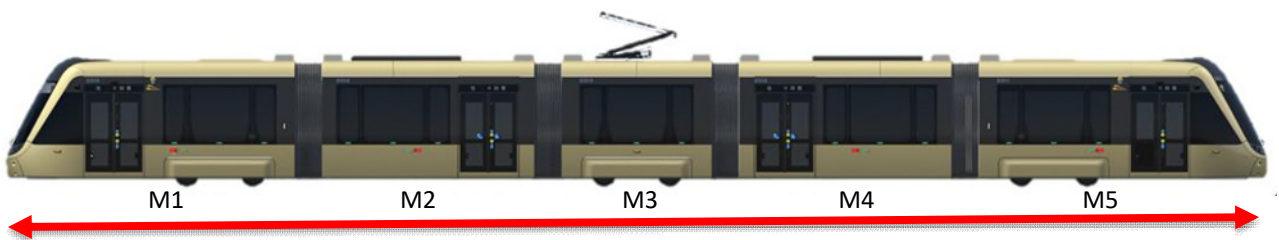


圖 2、車廂編號示意圖

二、穩定性測試通過條件

穩定性測試是在正式營運通車前檢驗運輸系統是否能安全營運之測驗項目之一，依大眾捷運系統履勘作業要點」第六點，地方主管機關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：

- (1)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。
- (2)平均列車妥善率90%以上。
- (3)系統啟動正常，且不得有發車失敗之情形。
- (4)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。

三、電聯車之可用度及妥善率計算

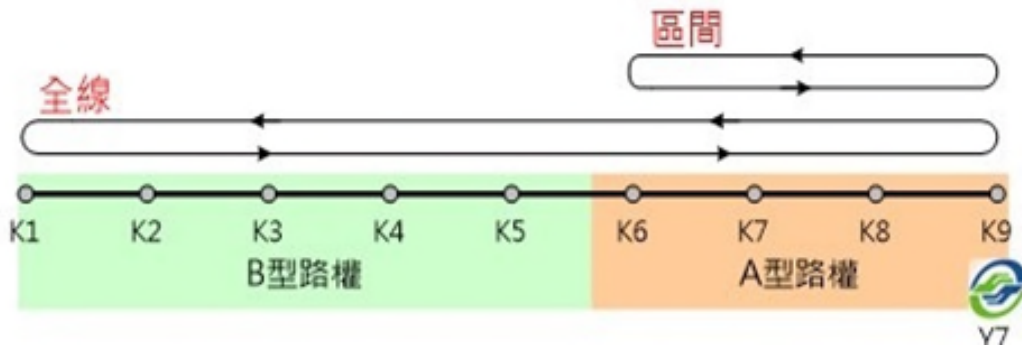
電聯車之可用度，其計算公式為乘車時間(48 分鐘)/班距(15 分鐘)及(24 分鐘)/班距(15 分鐘)，以安坑線初期營運班表(圖 3)為例，列車往返乘時間大迴圈約 48 分鐘(K1-K9)、小迴圈約 24 分鐘(K6-K9)，尖峰時段班距訂為 15 分鐘，離峰時段班距訂為 20 分鐘，帶入公式計算當日需求用車數，尖峰時段大迴圈電聯車需求為 $48/15=3.2$ 列，尖峰時段小迴圈電聯車需求為 $24/15=1.6$ 列，另由於為不同迴圈，故須分別無條件進位，得出尖峰

時段電聯車需求數最少為 6 列車(即可用車為 4+2=6 列)，若離峰時段為 20 分鐘，套入前述公式計算電聯車需求最少為 5 列。經上述計算得知，依照安坑線初期營運班表，目前電聯車最密班距之需求數量僅為 6 列，然本計畫可用車為 14 列車(含 2 列備用車)，係可滿足每日營運所需的班距需求。

電聯車之妥善率，其計算公式為平均每日尖峰可用車組數/平均每日全車隊車組數，以安坑穩定性測試最後一日為例，全車隊數為 14 列，若當日可用車為 13 列車，套用前述妥善率計算公式計算 $13/14 \approx 0.928$ ，則妥善率約為 92.8%，在平均 7 日內電聯車之妥善率可得 94.9%，由此可知，穩定性測試期間之妥善率是符合「大眾捷運系統履勘作業要點」所訂須高於百分之九十以上之標準。

新北捷運公司初期營運班距			
時段	時間	K1-K9	K6-K9
離峰	06:00-06:30	20 分鐘	20 分鐘
早尖峰	06:30-08:30	15 分鐘	15 分鐘
離峰	08:30-17:30	20 分鐘	20 分鐘
午尖峰	17:30-19:30	15 分鐘	15 分鐘
離峰	19:30-	20 分鐘	20 分鐘
假日	全天	20 分鐘	20 分鐘

圖 3、初期營運班距



車站名稱	車站代號	車站名稱	車站代號
雙城站	K1	安康站	K6
玫瑰中國城站	K2	陽光公園站	K7
台北小城站	K3	安和國小站	K8
耕莘安康院區站	K4	十四張站	K9
景文科大站	K5		

圖 4、營運模式(迴圈)示意圖

四、穩定性測試期間影響電聯車妥善率事件

系統穩定性測試期間共計發生 3 件 90 秒以上，5 分鐘以下之延誤事件，相關故障原因與故障排除作業說明如後。

1、111 年 11 月 1 日，215 車 M3 端轉向架 ERR

215 車停妥後，列車監控資訊系統(CMS)顯示 M3 端轉向架 ERR，經 OCC 指示列車執行重開機作業後，M3 端轉向架已恢復正常，本事件造成發車時間延誤(2 分 27 秒)，經查原因為 AIO 卡板異常，因其他車輛並無發生此情形，故判斷為單一個案，已於當日下午更換卡板。

2、111 年 11 月 2 日，215 車 M3 端轉向架 ERR

215 車停妥後，CMS 顯示 M3 端轉向架 ERR，經 OCC 指示列車執行重開機作業後，M3 端轉向架已恢復正常；本事件造成發車時間延誤(3 分 20 秒)，經查原因為 EHU 異常，因其他車輛並無發生此情形，故判斷為單一個案，已於 11/3 下午更換 EHU。



圖 5、CMS 顯示轉向架 ERR

3、111 年 11 月 5 日，203 車車載網路異常

203 車於 K6 換端後於 CMS 發現全車車門顯示離線、全車煙霧偵測器顯示紅燈，列車無牽引動力，執行重開機作業後，CMS 顯示白屏，且列車仍無牽引動力；再次執行降弓重開機作業後，牽引動力恢復正常，但空調及全車車門仍顯示離線；但當列車於 K9 換端後，CMS 顯示車載各項設備狀態均已恢復正常。本事件造成發車時間延誤(2 分 54 秒)，經查原因為 CAN BUS 異常(設備內之光源感應器故障所致)。



圖 6、CMS 顯示 CAN BUS 內設備異常

五、穩定性測試結果

經 7 天系統穩定性測試，平均列車妥善率達到 94.9%，5 分鐘以上之延誤共 0 次，5 分鐘以下之延誤共 3 次，計算得系統可用度 99.8%，無發生發車失敗及營運中斷之情形，故交通部同意辦理履勘。

日期	平均列車妥善率(%)		系統可用度(%)	
	每日	平均	每日	累積
111.11.01	100	100	99.779	99.779
111.11.02	100	100	99.7	99.74
111.11.03	85.714	95.238	100	99.826
111.11.04	100	96.429	100	99.87
111.11.05	92.857	95.714	99.739	99.844
111.11.06	92.857	95.238	100	99.87
111.11.07	92.857	94.898	100	99.888
累計	94.898		99.888	

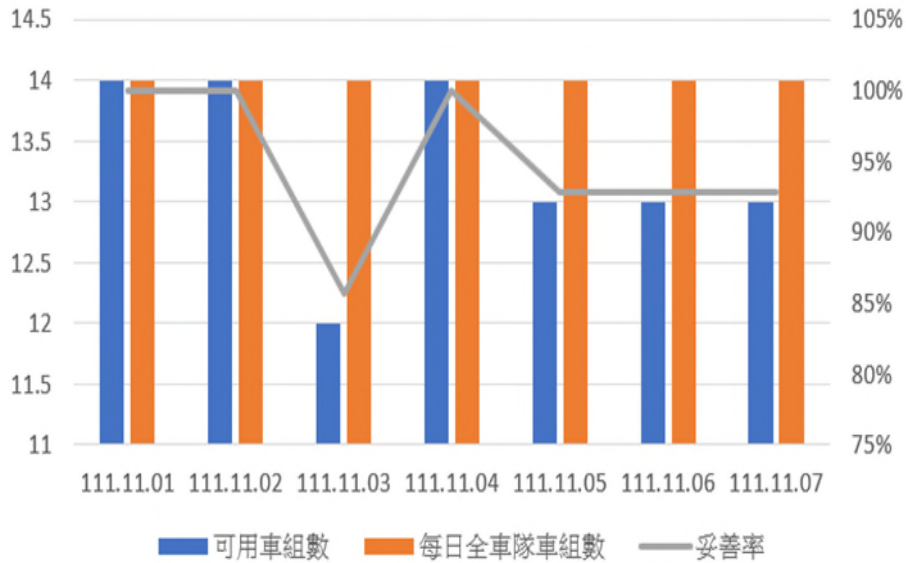


圖 7、平均列車妥善率及可用車組數(穩定性測試期間)

參、營運初期影響影響妥善率事件

雖本計畫於已依規定完成相關安全測試，惟營運初期仍因部分設備故障導致列車妥善率降低之情形，以下列舉三項影響較大之事件，原因及改善方式說明如下。

一、電磁接觸器作動異常

列車無法進入架空線模式或儲能電池模式，造成列車無法移動、駕駛室人機界面黑頻或無法開機之情形，累計發生 3 列車(包含 201、209、211 車)。

經調查後發現空調機內壓縮機之電磁接觸器接點鬆動(圖 8)，且線套有焦黑現象，根據原廠安裝技術文件(圖 9)，其正規安裝應採立式(垂直面)，而非現場採向上安裝方式，故造成接點未確實閉合，而產生輔助電力三項不平衡，導致輔助電力系統跳脫保護，進而使 24V 蓄電池電量耗盡，亦降低電磁接觸器使用壽命。



圖 8、壓縮機接觸器

後續已依原廠型錄規定調整電磁接觸器安裝方向，並於 112 年 3 月 8 日全面改善完成；另由於目前選用電磁接觸器型號非鐵路專用的產品，故建議路線契約律定改採符合 EN 50155、IEC60077、IEC61373 等標準的產品。

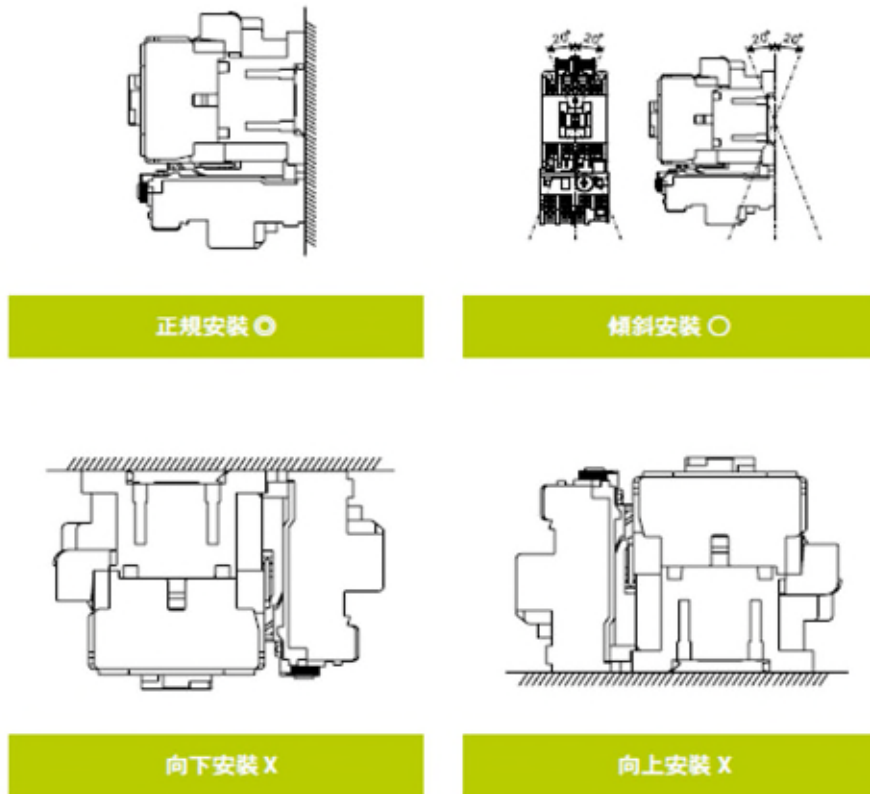


圖 9、電磁接觸器正規安裝指南示意圖

二、空調加熱器電阻值異常及線路接腳鬆動

CMS 顯示「三相不平衡故障」(圖 10)，累積發生 2 列車(包含 211、209 車)。

經調查係因列車運轉時產生震動和衝擊，又由於空調加熱器電跨接片以銅片與螺帽連接(剛性拘束)，使螺帽產生額外負載，造成故定點發生鬆脫(圖 11)，導致電阻值過高，進而發出故障警訊。

後續為避免因銅片剛性勁度導致接點單側發生翹曲，使鎖固點發生鬆脫，故改採具有韌性之電纜線連接(圖 12)、使用不鏽鋼防滑螺絲鎖固(圖 13)，並於 112 年 3 月 23 日改善完成，亦針對此項調整其後續的預防性檢修項目；另將於後續路線契約律訂，安裝於車上之電氣設備與元件，均應選用符合鐵路應用標準之產品 IEC60571/EN50155 及 IEC61373。

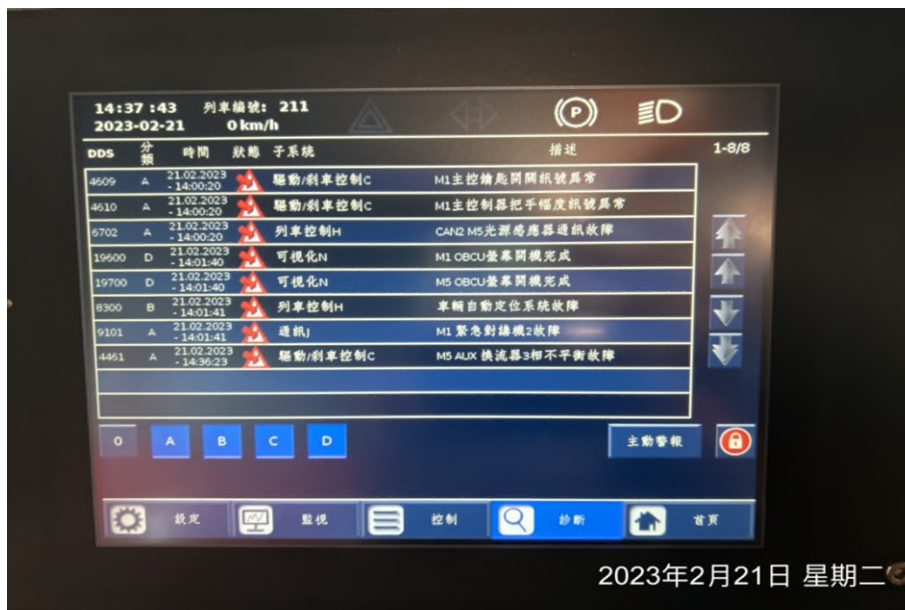


圖 10、故障紀錄



圖 11、銅片鬆脫蝕穿

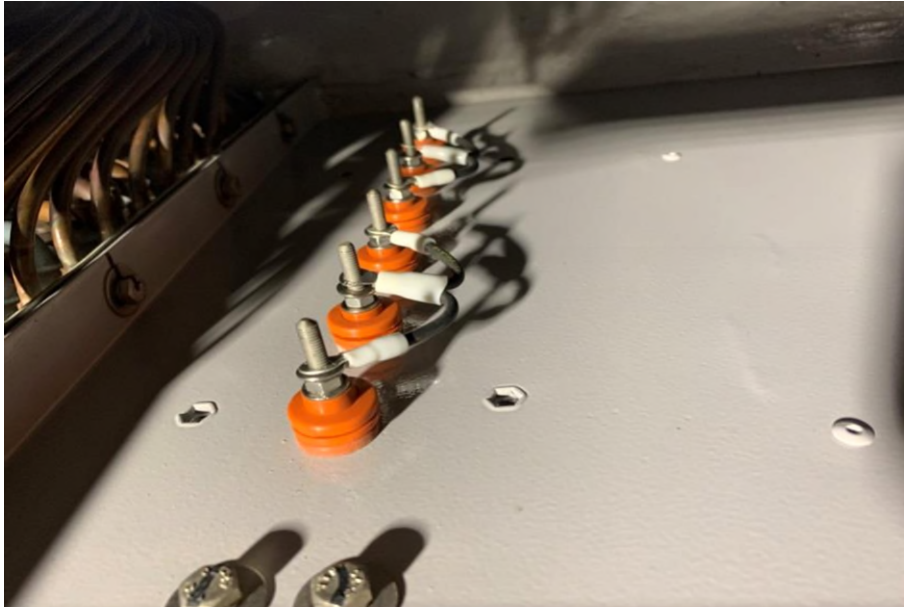


圖 12、電纜線連接方式(改善後)

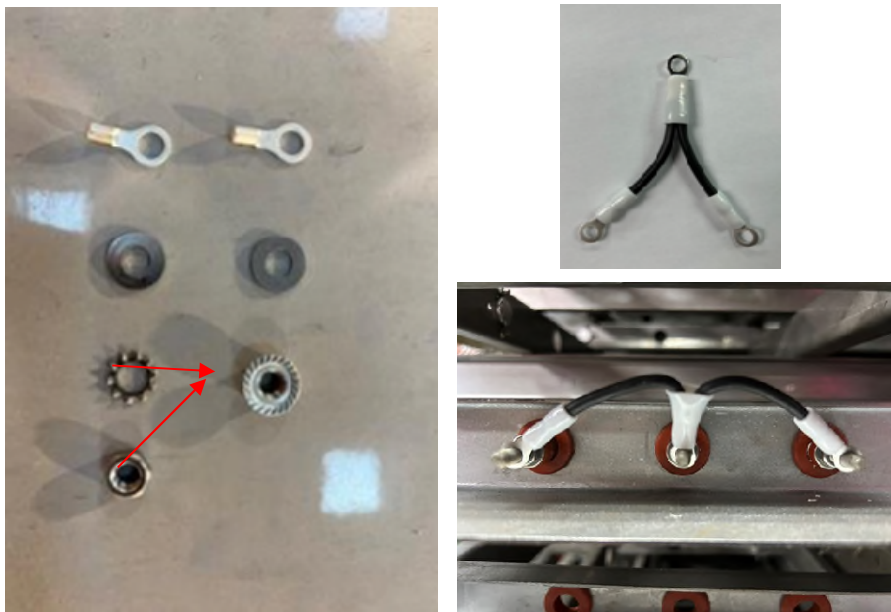


圖 13、更換不銹鋼防滑螺絲

三、空調冷凝水外漏與盤管結霜

列車蒸發器結霜，冷凝水流到 M2 客室車廂，導致空調機故障，累積發生 2 列車(包含 202、211 車)。

經調查係因空調 PLC 程式冷媒壓縮機啟停參數設定錯誤，使得冷媒壓縮機在露點溫度下仍持續運轉，造成冷凝盤管結霜，於升溫後融化冷凝水外漏，又因外氣風門及蒸發器過濾棉髒汙，造成換氣風量不足導致。

後續已將壓縮機啟停設定參數修正，另因外氣風門濾網與蒸發器濾網功能重複，且參考台北捷運案例亦無設置，故取消外氣風門濾網(圖 14)，並於 112 年 3 月 13 日改善完成，亦針對此項調整其後續的預防性檢修項目；另將於後續路線契約律訂，廠商應提供空調機組溫度設定參數之範圍，同時機組應具備相關偵測及保護措施，當車內溫度達設定範圍內之最低溫度時，確保空調壓縮機可以適當停機，不會長時間持續運轉而造成機組受損，以防止類似事件再度發生。



圖 14、取消外氣風門濾網(濾棉)示意圖

肆、統計分析缺失案件回饋

雖安坑輕軌穩定性測試期間列車平均妥善率可達 94.9%，然由於該測試期僅持續 7 日，時間較短，仍有可能無法反應設備異常問題，故為了保持列車長久營運、保障旅客安全和提升服務品質，透過統計妥善率及工單數量，分析異常事件發生之時間、地點、次數等資料(如是否發生於同一列車/設備/情境所致或各列車皆有發生)，即判斷該事件為單一個案或者為系統性缺失，並對其進行修正(如改善設計、制訂預防性矯正 SOP、增加備品數量供其替換等)，並納入後續契約，以避免相同錯誤再次發生。

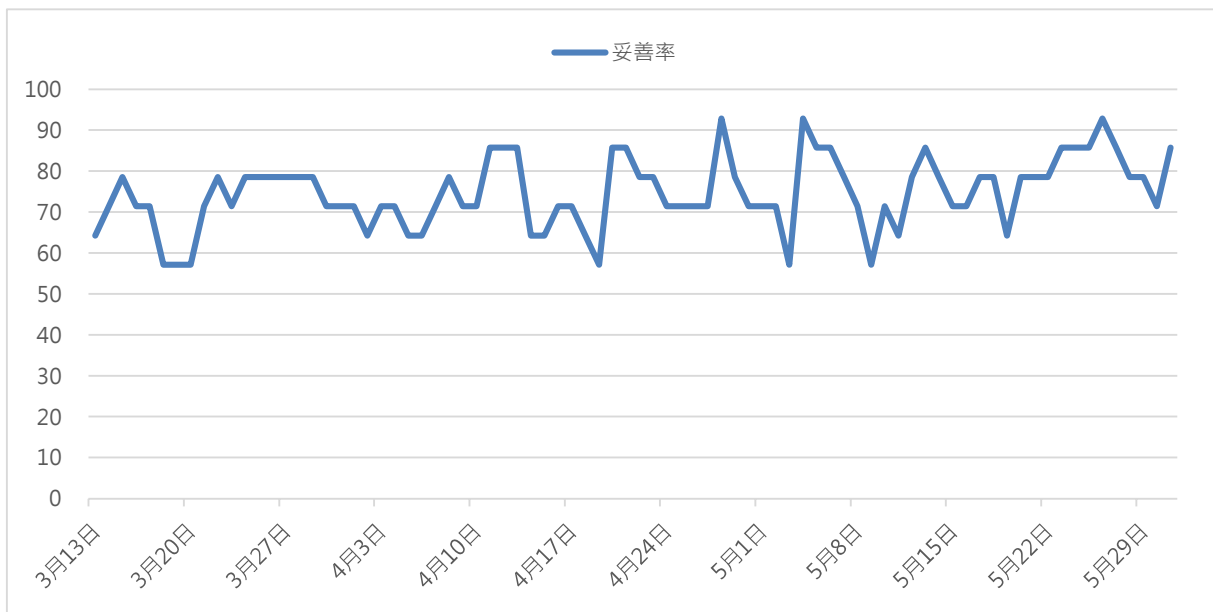


圖 15、初期營運妥善率統計(112/3/14-112/5/30)

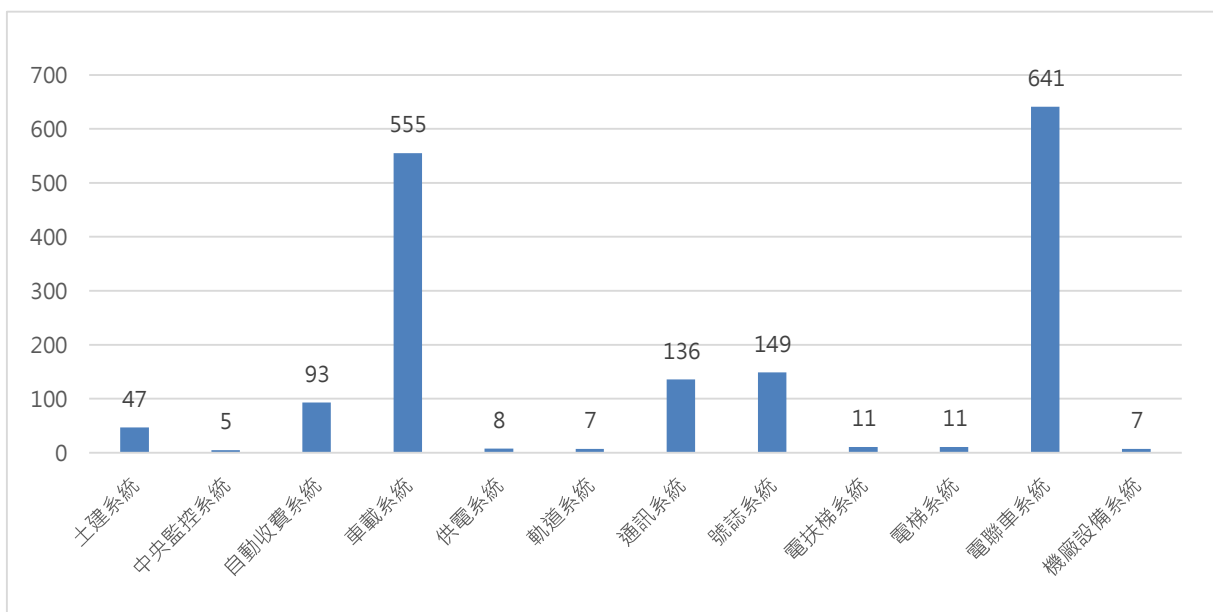


圖 16、初期營運累積維修工單件數(112/3/14-112/5/30)

伍、結語

安坑輕軌運輸系統計畫雖已於通車前通過系統整合及安全相關測試(於 111 年 11 月 19 日和 112 年 1 月 23 日完成初勘及履勘，並於 112 年 2 月 20 日通車)，然在營運初期仍有發生設備故障，進而影響營運之問題，故為了保持列車長久營運，適時分析列車妥善率及維修工單統計資料，並針對其進行修正，就極為重要；經分析「初期營運累積維修工單」，可發現故障大部分都集中在電聯車及車載系統，故導致妥善率一度下降至單日 60% 以下，但在各單位合作改善檢修下，於 112 年 5 月成功恢復至平均 77.4% 之水準，由此可得証改善確實有效，故為確保後續營運安全及服務品質，本團隊將持續改善精進。

為了建立我國獨立軌道工業獨立自主、解決人才不足及提升在地就業機會，在政府大力推動下，國家鐵路政策持續往國車國造方向前進，新北市境內鐵路運輸工具發展，已由淡海輕軌的國產化比例 26%、再到安坑輕軌國產化比例 42%(包含車體結構、FRP 面板、轉向架框、座椅、內裝板、空調機等)，未來汐東捷運更朝著國產化比例 50% 努力，雖然部分設備為國內首次開發應用於輕軌上，在國內經驗相較於國外尚不成熟的情況下，容易產生較多的故障情形，但藉由列車妥善率的回饋、滾動式檢討、並改善精進相關設計及契約後，相信可以避免再發生相同之情形，以提升未來列車妥善率，進而使國內鐵路產業發展更加茁壯。

陸、參考資料

1. 大眾捷運系統履勘作業要點。(網址：<https://reurl.cc/94e0zY>)