淡海及安坑輕軌列車儲能電池(ESS)精進作為

新北市政府捷運工程局 機電系統科

壹、前言

近年來，為提升城市軌道運輸系統的能源效率與營運彈性，國內各輕軌路網逐步導入車載儲能系統（Energy Storage System, ESS）應用，透過無架空線供電方式減少對電網負載，並兼具剎車能量回收、臨時斷電備援與環境美觀等多重效益。本局於淡海及安坑輕軌路線即導入此系統，期望提升列車行駛效率並降低營運碳排。然而，系統於營運初期陸續發生儲能裝置防水不足、BMS 通訊模組異常與 Slave 卡板故障等狀況，對列車行車妥善率產生影響。

貳、主旨及背景說明

為改善淡海及安坑輕軌列車儲能裝置運行妥善率，本局除辦理現有系統修復及改善外，另推動「列車儲能系統自主技術提升計畫」，開發具通用性之儲能系統應用產品，建立標準化控制介面與通訊協定，藉此降低對單一廠商依賴，提升系統穩定性及國產化發展能量。

一、儲能裝置設計概要

安坑及淡海輕軌列車採用車載型 ESS（Energy Storage System）儲能裝置(如圖 1)，可用容量為 33kWh，於無架空線區域提供列車牽引與輔助電力，能支援列車於無架空線區域進行 5 次停車與重新啟動，並於有架空線區域透過集電弓充電。

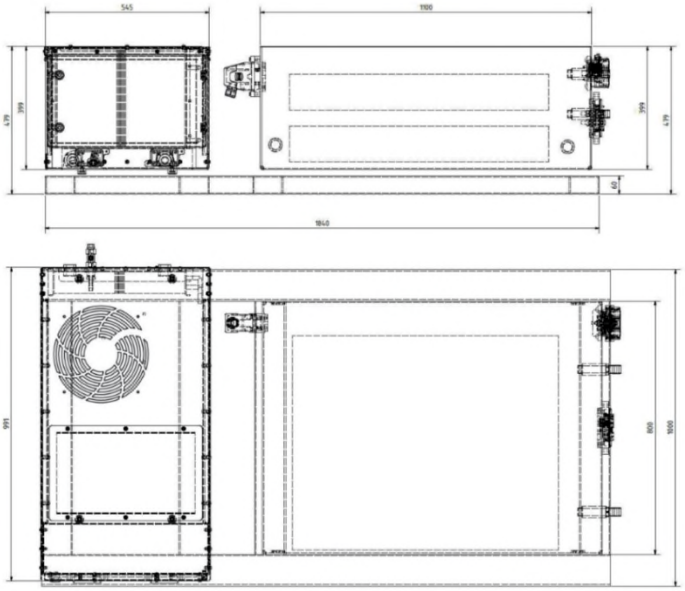

圖 1 儲能系統尺寸圖

資料來源：本局安坑及淡海輕軌儲能系統設計文件。

每列車配置兩套鋰離子電池儲能元件(如圖 2)，每套鋰離子電池額定電壓 414Vdc、容量 16.5kWh，短時間內可達 125kW 充放電功率，具 IP56 防護與 EN45545 E15 防火等級。系統搭配四象限儲能轉換器，負責調節充放電並維持主電路 750Vdc 電壓，並設計高速斷路器於集電弓與儲能系統間，異常時自動切離保護電網與設備安全。

儲能元件是儲存電量的元件，列車配置 2 個各自獨立的儲能元件，儲能元件各自獨立進行能量儲存的工作，儲能元件的設計是將 10 個電池芯以串、並聯方式組成一個模組，並且每個模組將安裝一個溫度感測器，再將 36 個模組串聯成為儲能元件，所以一個儲能元件將配置 360 個鋰離子電池芯。該儲能元件規格及鋰離子電池芯規格詳表 1、表 2。

表 1 儲能元件規格表

名稱	規格	單位	數量
額定電壓	414	Vdc	-
額定容量	16.5	kWh	-
最大充放電電壓(30 秒以內)	125	kW	-
連續充放電電壓	70	kW	-
重量	360±3%	kg	-
防水等級	IP56	-	-
數量(一列車)	-	套/每列車	2

資料來源：本局安坑及淡海輕軌儲能系統設計文件。

表 2 鋰離子電池芯規格表

名稱	規格	單位
電壓	2.3	V
功率容量	0.046	kWh
電流容量	20	Ah
長度	115	cm
寬度	22	cm
高度	106	cm
重量	0.55	kg

資料來源：本局安坑及淡海輕軌儲能系統設計文件。

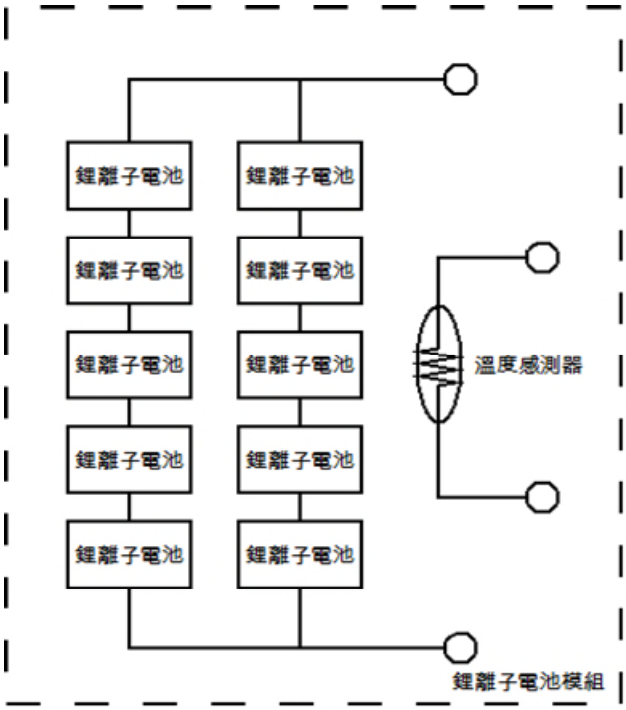

圖 2 鋰離子電池串並聯方式

資料來源：本局安坑及淡海輕軌儲能系統設計文件。

此外，配備溫度管理系統，該系統會即時監測電池芯的狀態，並將容量、電壓及溫度等狀態訊息透過 CanBus 將訊號傳送給牽引控制器(TCU)，TCU 會利用這些訊息來操控儲能轉換器的充/放電電壓及電流量(如圖 3)。

相關訊息 TCU 也會透過列車的 CanBus 傳送給列車監控系統(CMS)，CMS 將會把相關訊息於駕駛室的人機界面進行顯示，當儲能元件儲電量過低時 CMS 亦會對司機提出警告，確保儲能運作安全與效能穩定(如圖 4)。

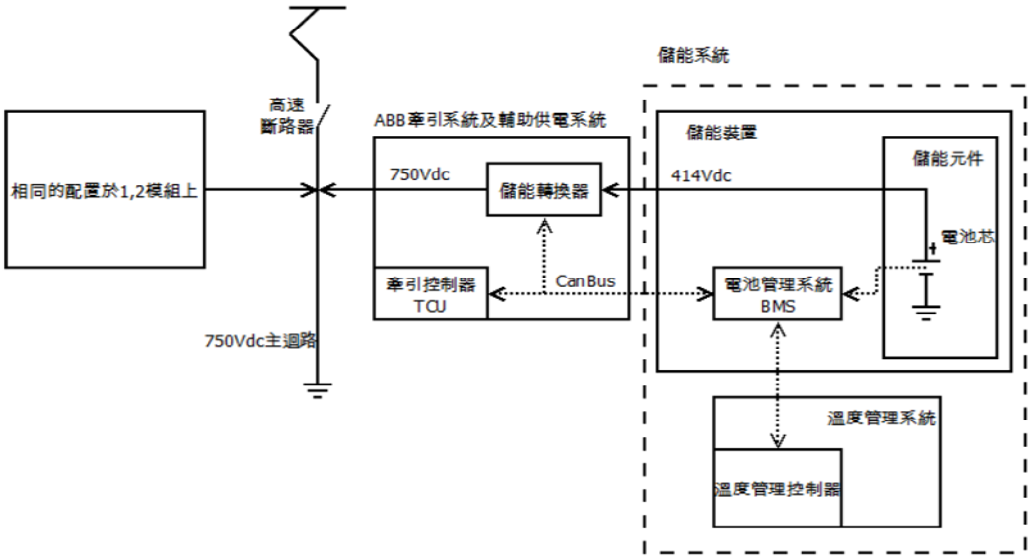

圖 3 儲能系統架構示意圖

資料來源：本局安坑及淡海輕軌儲能系統設計文件。

圖 4 電池管理系統示意圖

資料來源：本局安坑及淡海輕軌儲能系統設計文件。

儲能裝置之充放電會受到環境影響，尤其是溫度。若儲能裝置在太冷或太熱的環境下進行相同的充電放工作將會縮短壽命。所以儲能裝置將配置一溫度管理系統，配置一壓縮機提供 5kW 的冷凍力，可以在-25℃至+45℃的環境下運作，控制儲能元件保持在20±5℃的環境下工作。

二、儲能系統之能量說明

列車行駛於架空線區域時的能量傳遞：當車輛行駛或停於架空線區域時車輛經由集電弓導入架空線電源。架空線提供推進系統、輔助電力系統及儲能系統之供電，電能路徑示意圖詳圖 5。

列車行駛於無架空線區域列車加速時的能量傳遞：當列車行駛於無架空線區域時，牽引系統及輔助供電系統之電源接來自儲能系統，電能路徑示意圖詳圖 6。

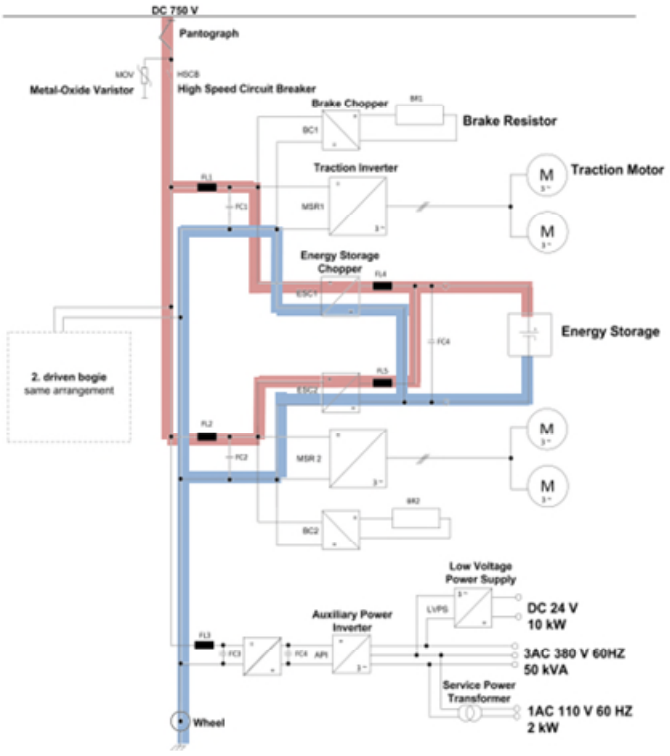

圖 5 架空線區域的電能傳遞路徑

資料來源：本局安坑及淡海輕軌儲能系統設計文件。

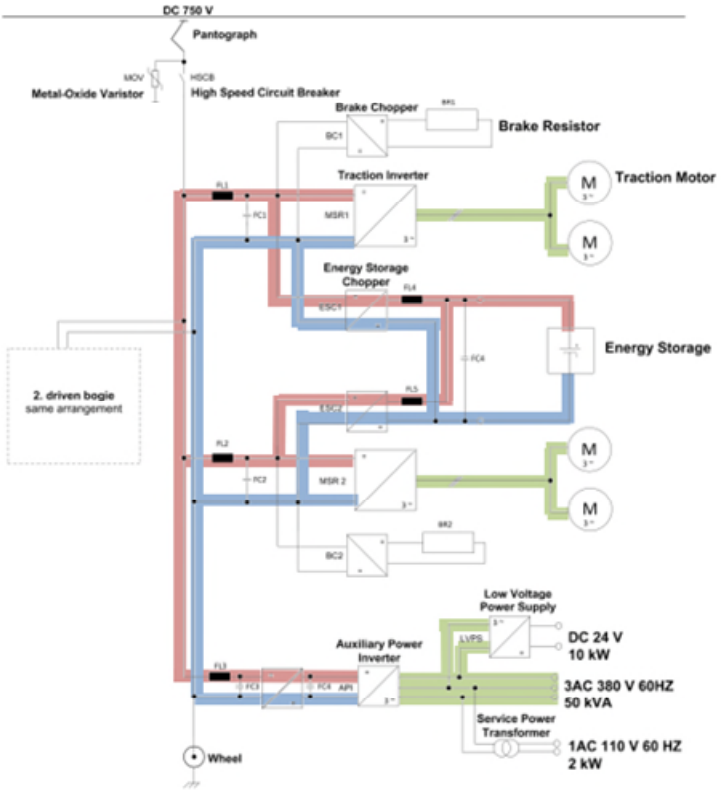

圖 6 無架空線區域進行推進時之電能路徑

資料來源：本局安坑及淡海輕軌儲能系統設計文件。

列車行駛於無架空線區域列車減速時的能量傳遞：列車在做再生煞車時，牽引馬達將動能轉換為電能，牽引變流器將會把此三相電能轉換為直流電。而此煞車電能可經由下列三種方式消耗掉：

a.提供給輔助電力系統使用。

b.提供給儲能轉換器對儲能裝置充電。

c.使用煞車電阻消耗掉多餘的電能。

儲能裝置容量有限，因此不是所有煞車再生電能皆能回饋到儲能裝置，當儲能裝置達到容量上限，多餘的電能將經由煞車電阻消耗掉，電能路徑示意圖詳圖 7。

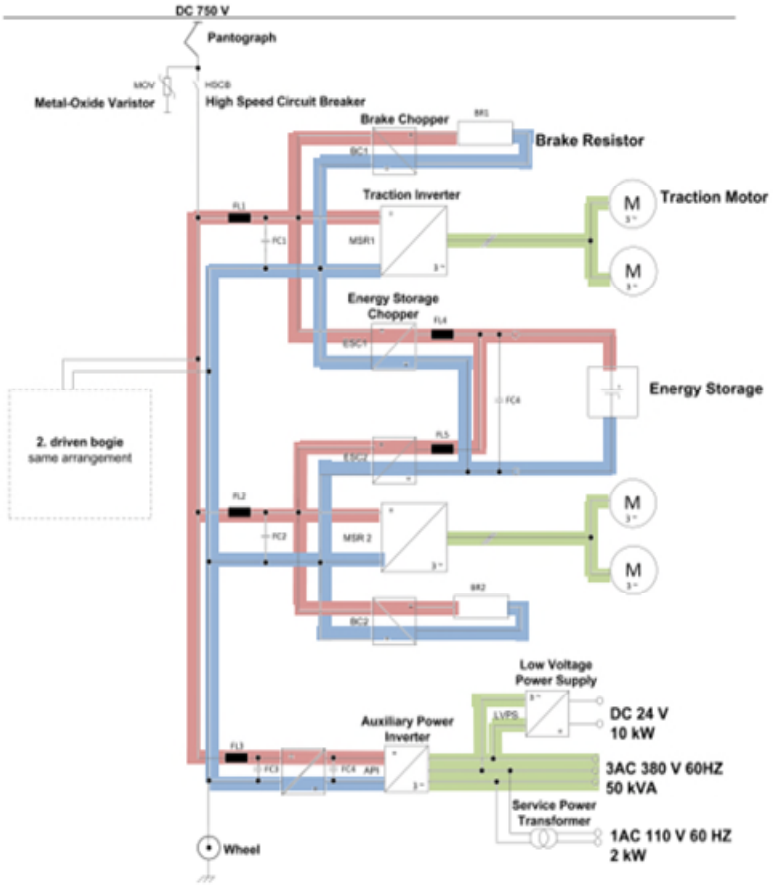

圖 7 無架空線區域進行電力煞車時之電能路徑

資料來源：本局安坑及淡海輕軌儲能系統設計文件。

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性能測試，惟營運初期仍因實際應用情形，針對各式故障態樣透過統計方式進行分析，檢討相關影響列車妥善率降低之肇因並據以精進，以下列舉兩項影響較大之事件，原因及改善方式說明如下。

一、未完全防水濕度過高導致故障

安坑輕軌營運初期，車輛儲能裝置（ESS）因防水結構不完全，導致雨水或環境濕氣滲入，造成儲能箱內部濕度過高，影響電池管理系統（BMS）模組穩定性。當內部濕度超標，易造成 BMS 內部電路板受潮，觸發異常電壓、訊號失準或保護機制誤判，進

而導致儲能裝置無法正常充放電或無預警斷電，列車需降級或停止運行。主要故障類型為重複性單體異常偵測與 BMS 溝通異常，系統會將該 ESS 模組隔離，降低列車儲能效能，影響營運妥善率。為改善此狀況，台樂騏公司自 112 年 10 月起推動 ESS 防水外蓋改善作業，逐批修復儲能箱防水結構，並同步調整維修進度與物料周轉管理，藉以降低濕度過高造成故障之機率(如圖 8)。

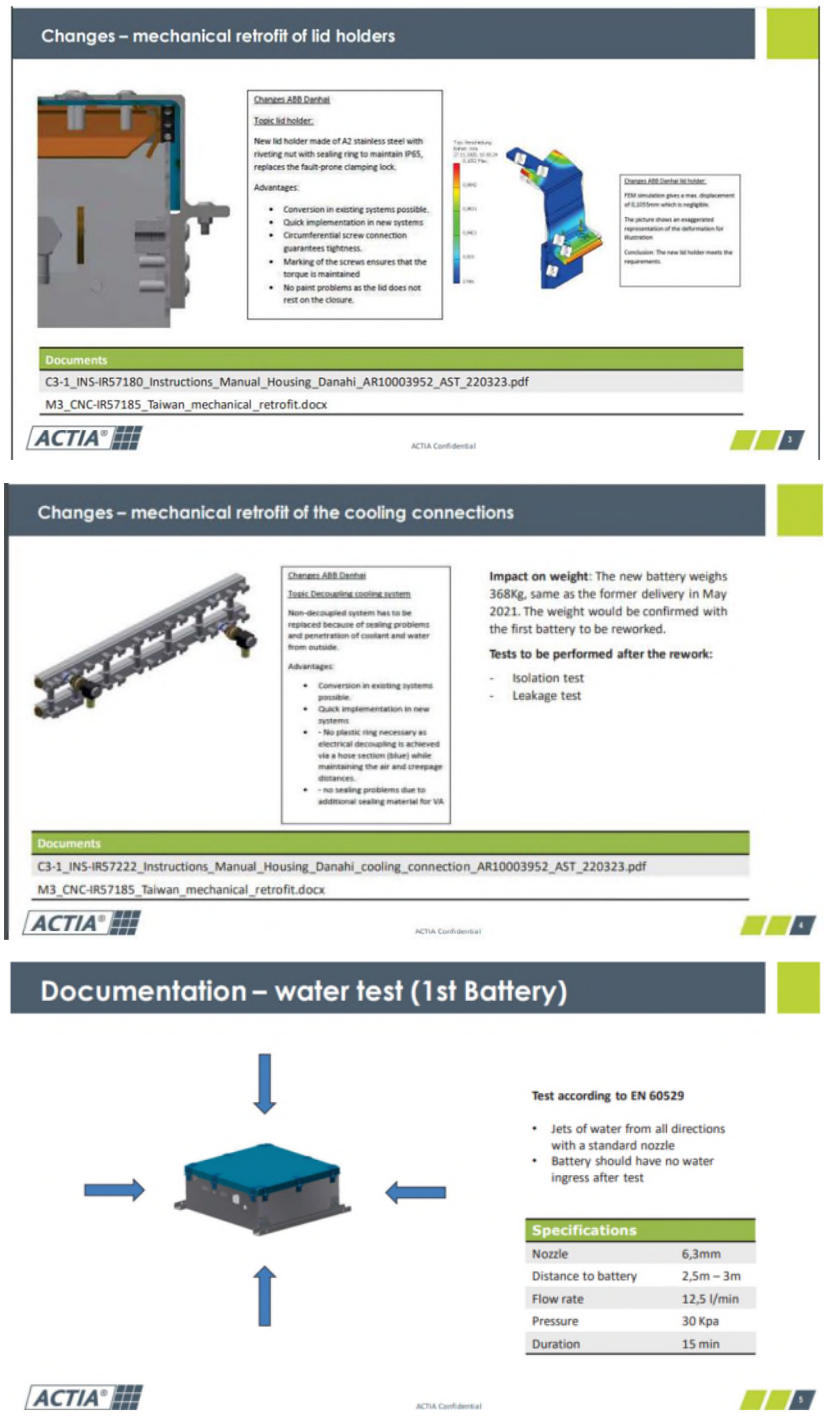

圖 8 防水外蓋改善作業

資料來源：台灣車輛股份有限公司儲能裝置修復檢討會議資料。

二、設備內 SLAVE 通訊卡版故障

淡海輕軌營運初期，儲能裝置 BMS 系統內部之 Slave 通訊卡板發生故障，主要為個別卡板訊號異常或通訊失效，導致 BMS 無法正確監控電池模組電壓、電流與溫度資料，進而造成整體 ESS 系統誤判電池狀態，出現無預警隔離或異常保護情形。此態樣多發生於單片卡板內部零件不良、焊點脫落或濕度影響通訊穩定性(如圖 9)。

當 Slave 卡板發生異常，BMS 將啟動防護模式，中斷該模組儲能功能，影響列車無架空線行駛效能。為改善此情形，維修廠商已於台灣預先備妥卡板週轉件備品，供現場快速更換，並同步推動防水及通訊線路優化作業，相關儲能系統維修數量詳表 3。

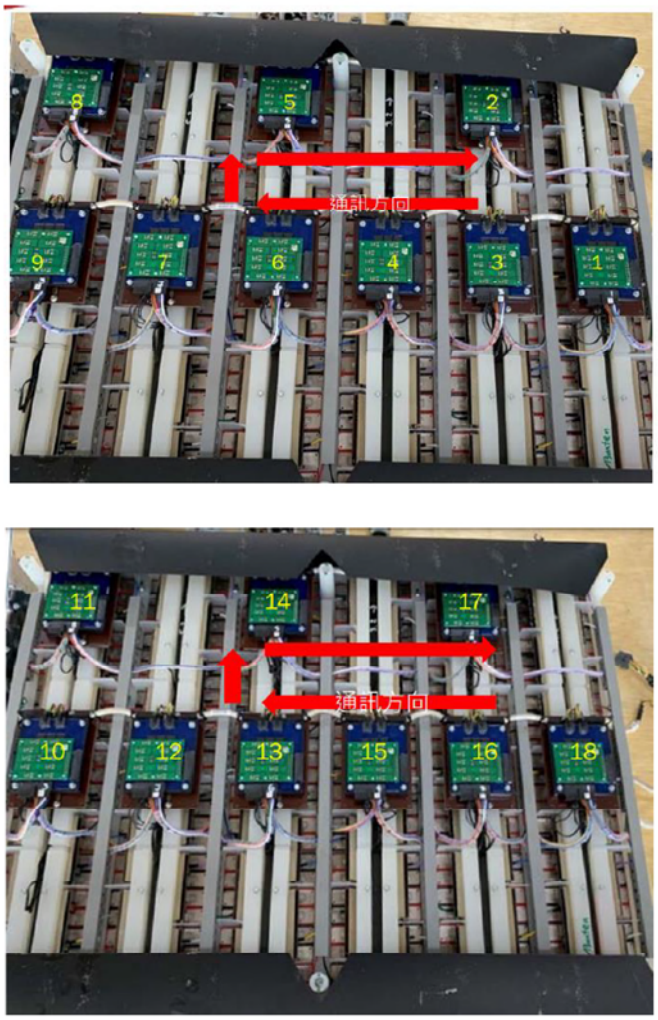

圖 9　SLAVE 通訊卡版查修示意圖

資料來源：台灣車輛股份有限公司儲能裝置修復檢討會議資料。

表 3 儲能系統維修趨勢

單位：個

月份	合併	安坑	淡海
2023/08	16	9	7
2023/09	8	2	6
2023/10	7	5	2
2023/11	11	7	4
2023/12	14	7	7
2024/01	8	3	5
2024/02	5	4	1
2024/03	5	4	1
2024/04	4	2	2
2024/05	1	1	0
2024/06	6	1	5
小計	85	45	40

資料來源：台灣車輛股份有限公司儲能裝置修復檢討會議資料。

肆、統計分析缺失案件回饋

針對安坑與淡海輕軌營運初期儲能裝置故障統計，自 2023 年 8 月起，兩線月平均維修量為 16 組，至 2024 年第 2 季降至月均 3 組，顯示改善措施逐漸見效。安坑輕軌儲能裝置問題以防水不良導致 BMS 濕度過高為主，設備商自 10 月起展開防水外蓋改善作業，維修廠商已於台灣預先備妥卡板週轉件備品，以應對重複性單體異常故障。淡海輕軌方面，儲能系統修復採每週 2 至 3 組進度，保固內預計修復完畢，並新增軟體優化測試車輛，提升通訊穩定性與故障判斷效能。近期儲能維修工單剩餘 7 組，另亦啟動詢價與標準化訂購流程，透過統計分析、備料充足與維修作業優化，雙線儲能系統故障率已逐步下降，營運妥善率獲得穩定改善(如圖 10)。

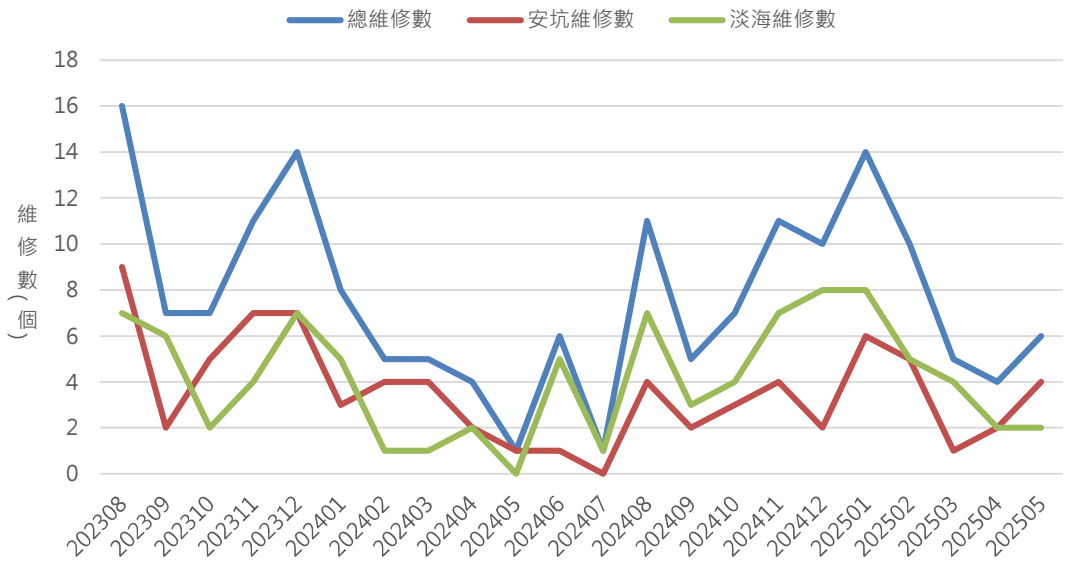

圖10 儲能裝置故障維修數統計(112/8-114/5)

資料來源：彙整每週安坑及淡海輕軌監造顧問列管儲能電池報修數量。

伍、自主精進開發

為強化本市輕軌儲能系統自主掌控能力，並降低對單一廠商技術與規格依賴，另啟動「列車儲能系統自主技術提升計畫」，透過開發具通用性之 ESS 產品，整合標準化介面、通訊協定及控制模組，並導入場域測試與實車驗證。計畫成果將納入本市輕軌技術規範，未來各潛在供應商均可依據相同標準參與投標，促進市場開放競爭，提升儲能技術自主設計、生產與維修能力，推動國產化及軌道產業永續發展。預期目標：

- 提升系統可用度及可靠度，減少設備故障對營運的影響，並提供本市輕軌規範精進外，亦將以開發之樣品來檢驗系統性能，確保開發成果技術能夠達到預期效果。
- 降低單一設備故障對整體系統運行的影響，確保營運穩定性。
- 透過模組化設計簡化維修作業，減少維修單元，降低人力與技術門檻。
- 確保維修技術與資訊可傳承，建立永久維修訓練場域，減少對原廠的依賴。

陸、結語

淡海及安坑輕軌於營運初期，車載儲能裝置（ESS）因設計及環境適應性問題，陸續發生防水不良、BMS 通訊異常及 Slaves 卡板故障等影響營運妥善率事件。安坑輕軌因儲能箱防水結構未完全密封，導致內部濕度過高，引發 BMS 模組重複性單體故障，淡海輕軌則因 Slave 通訊卡板訊號異常，造成儲能系統誤判與故障保護，影響列車行車效能與無架空線區段之運行安全。針對上述缺失，維修廠商台樂騏公司已積極修復及推動防水外蓋改善作業，淡海輕軌亦同步調整維修進度、優化軟體設定，並加強現場備料與快速更換機制，有效降低相關故障發生率。

為進一步強化儲能系統可靠度，並避免未來採購受限於單一廠商規格與技術，本局已啟動「列車儲能系統自主技術提升計畫」專業服務勞務採購案，透過開發具通用性之儲能系統應用產品,提升本市輕軌儲能系統自主研發與整合能力。計畫將針對儲能裝置、儲能轉換器、電池管理系統、溫度管理系統等進行系統化開發，制定標準化通訊協定與控制介面，並納入實車靜態、動態測試及場域應用驗證。藉由本案推動，除可有效提升現有儲能系統穩定性與運行安全，同時建立適用於不同輕軌車型與多廠牌系統之共通技術標準，確保未來採購市場開放競爭，降低依賴單一供應商風險，並強化國內軌道產業自主設計、生產及維修能力，推動國產化與技術創新，為本市輕軌運輸永續營運奠定穩固基礎。

柒、參考資料：無。