

出國報告（出國類別：其他）

電力機車 68 輛購案 檢驗及監督(114 年第 12 梯次)

服務機關：國營臺灣鐵路股份有限公司

姓名職稱：助理工程師 蔡丁泉

助理工程師 陳瓊瑾

派赴國家：日本

出國期間：114 年 7 月 14 日至 8 月 12 日

報告日期：114 年 10 月 08 日

摘 要

國營臺灣鐵路股份有限公司（以下簡稱「本公司」）因應國內鐵道運輸現代化需求與運能提升計畫，推動電力機車汰舊換新與運輸擴充策略，遂辦理 E500 型電力機車 68 輛之購置案，以取代老舊之 E200 型、E300 型、E400 型、PP 型等機車，並補強貨物運輸與牽引旅客列車之多元任務能力。本次出國報告係配合本案驗證及監造作業，赴原廠進行設計審查、製造查核、工廠測試及相關技術交流，以確保機車品質、安全性與符合台鐵運輸需求，進行全面性檢視與確認。

E500 型機車採用最新一代永磁同步馬達與 IGBT 牽引控制系統，具備高效率、低噪音與節能特性；同時配備先進火災偵測系統、智慧型軀機控制系統與整合監控診斷系統，大幅提升安全性與維修便利性。線材、配線與機械結構則嚴格遵循東芝品質管理標準，確保耐久性與防火性能。

監造過程中，本公司與株式會社東芝（以下簡稱立約商/東芝）雙方密切合作，確認各階段檢驗項目，包括型式測試、例行測試、出廠測試及交車測試等，並針對關鍵零組件進行技術驗證與品質追蹤。透過此次監造，本公司人員充分吸收日本精密製造、工安管理與品質管控之經驗，對未來國內維修、檢驗及自製能力均具顯著助益。

本案購車之核心目的，除提升牽引效能與運轉穩定性外，亦配合本公司現代化及淨零排碳長期政策，導入符合國際安全規範之新型機車，強化整體運輸系統之可靠性與維修效率透過本案推動，將有助於實現本公司「安全、準點、便捷、永續」的營運目標，並為未來整體車隊現代化奠定基礎。

本梯次監造人員派遣期間自中華民國 114 年 07 月 14 日起至 114 年 08 月 12 日止，為期 30 日，駐廠地點為立約商日本府中事業所，相關作業均依本公司與立約商所簽訂之契約內容辦理。

目 錄

壹、目的.....	2
貳、檢驗週報.....	5
參、機車製造程序簡介	13
一、機車製造簡介	13
二、電力機車測式.....	14
三、檢驗項目	15
1、油漆例行測試	15
2、車輛秤重例行測試	20
3、輪軸組殘留不平衡量	25
4、偏轉量測	27
5、車輪踏面輪廓	28
6、車輪表面檢查	30
7、車軸軸承溫升測試	31
8、馬達線路連接測試	32
9、齒輪箱漏油測試	35
四、牽引馬達工場見學.....	36
肆、專題報告.....	38
伍、心得與建議.....	75

壹、目的

為確保電力機車 68 輛（E500 型）購案之製造品質、功能性能及契約規範之全面落實，國營臺灣鐵路股份有限公司（以下簡稱「本公司」）依契約條款與技術規格書，派遣專責技術人員赴日本東芝府中事業所進行駐廠檢驗與製程監督。其主要目的說明如下：

一、確保產品品質與契約履約之完整性

藉由駐廠檢驗方式，實地掌握電力機車於製造、裝配、測試等各階段之製程品質，確保供應商所交付車輛符合以下要件：

1. 契約技術規格書之標準與容許誤差範圍。
2. 關鍵系統與零組件（如轉向架、牽引變流器、煞車模組等）之功能效能與壽命預期。

二、降低後續營運階段之維修公司風險與總體生命週期成本透過駐廠預先驗證製造品質本公司得以：

1. 降低因設計瑕疵、裝配誤差、材料缺陷所造成之車輛初期故障率。
2. 減少新車交付初期之維修需求與營運中斷風險。
3. 建立零組件壽命資料，作為後續預防性維修策略與備品管理依據，有效控管 LCC（生命週期成本）。

三、強化本公司自有技術能量與檢驗經驗傳承

藉由實地參與製程監造，培養本公司人員對新型電力機車之結構、系統邏輯、整合介面與測試程序之深入理解，並達成以下目標：

1. 建立技術交接平台，未來可自主管理系統保養與故障診斷。
2. 擴大本公司人員參與度，提升車輛工程與機電整合能力。
3. 作為培訓教材來源，厚植國內鐵道專業人力資源與技術資料庫。

四、即時監控製造異常並督促改善

在東芝府中廠進行駐點監造，可即時針對下列問題進行回報與改善建議：

1. 製程瑕疵（如焊接裂縫、轉向架配件不符規格）。
2. 測試失敗或邏輯異常（如再生制動異常、TCMS 錯誤警示）。
3. 安裝順序或模組整合不良（如通訊端口干擾、控制線路誤接）。

藉由即時協調與設計變更，確保後續車輛不再重複發生同類缺失。

五、掌握車輛交期與供應鏈進度，確保交付時程可控管

駐廠人員除監督品質外，亦需針對製造進度、原料供應、測試排程等進行管理監控，並回報以下重點：

1. 關鍵製程之達成率與交期風險。
2. 預定交車時程與出廠檢測合格情況。
3. 對車輛交車運輸、國內驗收與上線營運的影響預估。

六、促進台日雙方技術交流與合作深化

本案為高端鐵道技術引進與國際合作之重要案例，本公司藉此與東芝團隊建立高效協調與技術對話機制，期能：

1. 引入先進電力機車設計理念與品質控管流程。
2. 提升國內鐵道產業對接全球供應鏈的能力與標準認知。
3. 作為未來大型車輛採購之制度樣板，建立國際技術審查與驗收模組。



圖 1-1 本案新購 E500 型電力機車

E500 型新型電力機車的導入，代表台灣鐵路營運設備現代化的重要轉捩點。相較於既有機車車型，E500 在牽引性能、能源效率、行車安全與維修管理等方面均展現顯著優勢。該型

機車採用雙駕駛台設計與模組化結構，具備高牽引力與多用途運用彈性，能有效支援本公司在客運與貨運系統中的多元化營運需求。加上日本製造商提供之先進電力控制技術（如 IGBT 變流器）與再生煞車系統，使其在節能與環保效益上亦具備長期操作價值。

此外，E500 型的數位化駕駛介面與即時監控系統，不僅提升行車安全性，也強化維修預判能力，降低長期營運維護成本。綜合而言，E500 型機車的採購與部署，除可逐步汰換現有老舊機車，提升列車準點率與整體服務品質外，亦象徵本公司邁向智慧化、永續化運輸系統的關鍵進展，對提升整體鐵路運輸效能與產業形象具深遠意義。

貳、檢驗週報

表 2-1 第一週車輛檢驗週報表

表四

車 輛 檢 驗 週 報 表

專案名稱：電力機車 68 輛案		
期間：自 114 年 7 月 14 日至 114 年 7 月 20 日止		
年 月 日	星期	辦 理 事 項
114. 7. 14	一	1. E541:低速試運轉出廠測試程序書(TP-82) 7.6 節—無人裝置功能。 2. E541:完成車振動測試例行測試程序書(TP-89)7.1 節—完成車振動測試。 3. E541: 軔機與供氣系統出廠測試程序書(TP-20)7.9 節—軔力對軔缸壓力曲線圖。 4. E542:絕緣復位、電源確認。
114. 7. 15	二	1. E539:CLASS C。 2. E540:CLASS C。 3. E541:公司內部測試。 4. E542:軟體安裝。
114. 7. 16	三	1. E539:入線檢查。 2. E540:入線檢查。 3. E542:例行測試。 4. E544:油漆例行測試程序書(TP-57)7.1 節-機械室側牆總成、7.2 節-駕駛室結構、7.3 節-車架、7.4 節-色調。
114. 7. 17	四	1. E539：出貨。 2. E540：出貨。 3. E541：車輛稱重例行測試程序書（TP-56）7.1 節-車輛稱重。 4. E541：機車靜態車輛界限例行測試程序書（TP-55）7.1 節-車下設備的測量、7.2 節-靜態車輛界限。 5. E542：調整軟件安裝。 6. E546：轉向架例行測試程序書（TP-03）7.2 節-輪軸組殘留不平衡量、7.3 節-車輪踏面輪廓。
114. 7. 18	五	1. E541：連結器、主排障器調整。 2. E541：轉向架出廠測試程序書（TP-19）7.1 節車輪表面檢查、7.2 節車軸軸承溫升測試、7.3 輪軸組反壓測試、7.4 節輪軸組非破壞性測試。 3. E542：牽引及 APU 之電路連續性出廠測試程序書（TP-83）7.1 節 APU 起動測試。 4. E543：DR-E

114.7.19	六	1. 例假。
114.7.20	日	1. 例假。
備註：		

表 2-2 第二週車輛檢驗週報表

表四

車 輛 檢 驗 週 報 表

專案名稱：電力機車 68 輛案		
期間：自 114 年 7 月 21 日至 114 年 7 月 27 日止		
年 月 日	星期	辦 理 事 項
114. 7. 21	一	1. 東芝廠休。
114. 7. 22	二	1. E542：軔機與供氣系統例行測試程序書（TP-58）7. 8 節－軔機系統功能測試。 2. E542：軔機與供氣系統出廠測試程序書（TP-20）7. 7 節－軔缸壓力調整設備。 3. E543：車體水密例行測試程序書（TP-15）7. 1 節－車體配備組裝完成前水密測試。
114. 7. 23	三	1. E542:車體水密例行測試程序書(TP-15) 7. 3 節－車體配備組裝完成後的移動中水密測試。 2. E542:電力轉換裝置之 APU/HEP 性能、蓄電池及蓄電池充電器出廠測試程序書(TP-27) 7. 1 節－輔助供電系統、7. 5 節－蓄電池、7. 6 節－蓄電池充電系統。 3. E542:軔機與供氣系統出廠測試程序書（TP-20）7. 2 節－主空壓機之充壓時間。 4. E542:軔機與供氣系統例行測試程序書（TP-58）7. 3 節－空氣壓縮機。 5. E542:集電弓出廠測試程序書（TP-24）7. 1 節－運轉測試。 6. E542:低速試運轉出廠測試程序書（TP-82）7. 2 節－INCH(寸動)模式之低速運轉功能、7. 3 節－速度控制模式之低速運轉功能、7. 4 節－牽引力模式之低速運轉功能、7. 5 節－電軔指令之低速運轉功能、7. 6 節－無人裝置功能。
114. 7. 24	四	1. E542:ATP 隔離後限速備援系統出廠測試程序書(TP-98) 7. 1 節－ATP 隔離後限速備援系統動作確認。 2. E543:高壓設備出廠測試程序書（TP-25）7. 1 節－最小空氣間隙與最小表面電氣洩漏路徑。
114. 7. 25	五	1. E542:轉向架出廠測試程序書(TP-19) 7. 1 節－車輪表面檢查、7. 2 節－車軸軸承溫升測試、7. 3 節－輪軸組反壓測試、7. 4 節－輪軸組非破壞性測試。 2. E543:集電弓例行測試程序書(TP-61) 7. 1 節－集電弓升降弓測試、7. 2 節－整體運轉測試包括追隨性整合測試。

		3. E543: 軋機與供氣系統例行測試程序書 (TP-58) 7.2 節-輔助空壓機測試。
114. 7. 26	六	1. 例假。
114. 7. 27	日	1. 例假。
備註：		

表 2-3 第三週車輛檢驗週報表

表四

車 輛 檢 驗 週 報 表

專案名稱：電力機車 68 輛案		
期間：自 114 年 7 月 28 日至 114 年 8 月 03 日止		
年 月 日	星期	辦 理 事 項
114. 7. 28	一	1. E542:機車靜態車輛界限例行測試程序書(TP-55) 7.1 節-車下設備的測量。 2. E542:車輛稱重例行測試程序書(TP-56) 7.1 節-車輛稱重。 3. E543:行車紀錄影音輔助監視系統例行測試程序書(TP-72) 7.1 節-檢查電源狀態、7.2 節-檢查影片資料。 4. E543:電力轉換裝置之牽引動力單元性能出廠測試程序書(TP-26) 7.3 節-接地與隔離開關。
114. 7. 29	二	1. E542:現場作業。 2. E543:駕駛室及控制設備功能例行測試程序書(TP-60) 7.1 節-駕駛台面板(測試 ID 1 為前端駕駛室、測試 ID 3 為後端駕駛室)。 3. E543:電力轉換裝置之牽引動力單元性能例行測試程序書(TP-63) 7.4 節-牽引馬達隔離測試。
114. 7. 30	三	1. E543:高壓輔助迴路通電。 2. E545:油漆例行測試程序書 (TP-57) 7.1 節-機械室側牆總成、7.2 節-駕駛室結構、7.3 節-車架、7.4 節-色調。 3. E547:轉向架例行測試程序書 (TP-1000-03) 7.2 節-輪軸組殘留不平衡量、7.3 節-車輪踏面輪廓
114. 7. 31	四	1. E543:軋機與供氣系統例行測試程序書(TP-58) 7.8 節-軋機系統功能測試、7.9 節-緊急軋機功能測試。 2. E543:軋機與供氣系統出廠測試程序書 (TP-20) 7.7 節-軋缸壓力調整設備。
114. 8. 01	五	1. E543:組合式冷卻塔現場殘留作業。 2. E543:走行測試前置準備。
114. 8. 02	六	1. 例假。
114. 8. 03	日	1. 例假。
備註：		

表 2-4 第四週車輛檢驗週報表

表四

車 輛 檢 驗 週 報 表

專案名稱：電力機車 68 輛案		
期間：自 114 年 8 月 4 日至 114 年 8 月 10 日止		
年 月 日	星期	辦 理 事 項
114. 8. 04	一	1. E543:電力轉換裝置之牽引動力單元性能出廠測試程序書(TP-26) 7.2 節-冷卻裝置及冷卻系統。 2. E543:電力轉換裝置之 APU/HEP 性能、蓄電池及蓄電池充電器出廠測試程序書(TP-27) 7.1 節-輔助供電系統。 3. E543:低速試運轉出廠測試程序書(TP-82) 7.1 節-馬達線路連接測試。 4. E543:牽引及 APU 之電路連續性出廠測試程序書(TP-83) 7.1 節-APU 起動測試、7.2 節-牽引馬達於固定位置進行啟動測試。
114. 8. 05	二	1. E543:低速試運轉出廠測試程序書(TP-82) 7.2 節-INCH(寸動)模式之低速運轉功能、7.3 節-速度控制模式之低速運轉功能、7.4 節-牽引力模式之低速運轉功能、7.5 節-電軔指令之低速運轉功能、7.6 節-無人裝置功能、7.7 節-牽引系統效率測試、7.8 節-溫度等級測試。 2. E543:集電弓出廠測試程序書(TP-24) 7.1 節-運轉測試。 3. E544:現場殘留作業。
114. 8. 06	三	1. E543:低速試運轉出廠測試程序書(TP-82) 7.9 節-齒輪箱漏油測試。 2. E543:公司內部測試。
114. 8. 07	四	1. E544: 絕緣測試出廠測試程序書(TP-84) 7.1 節-電氣絕緣測試(絕緣阻抗)、7.2 節-電氣絕緣測試(耐電壓)。 2. E543: 車輛稱重例行測試程序書(TP-56) 7.1 節-車輛稱重。 3. E543: 軸重調整(第 6 軸左側、第 3 軸左側、第 2 軸右側)。
114. 8. 08	五	1. E543: 公司內部調查調整。 2. E544: 耐壓復位。 3. E548: 轉向架出廠測試程序書(TP-19) 7.1 節-車輪表面檢查。 4. E548: 轉向架例行測試程序書(E7-1000-03) 7.3 節-車輪

		踏面輪廓。
114. 8. 09	六	1. 例假。
114. 8. 10	日	1. 例假。
備註：		

表 2-5 第五週車輛檢驗週報表

表四

車 輛 檢 驗 週 報 表

專案名稱：電力機車 68 輛案		
期間：自 114 年 8 月 11 日至 114 年 8 月 17 日止		
年 月 日	星期	辦 理 事 項
114.8.11	一	1. 東芝廠休。
114.8.12	二	1. 114 年第 12 梯次移動日(回程、返台)。
114.8.13	三	
114.8.14	四	
114.8.15	五	
114.8.16	六	例假。
114.8.17	日	例假
備註：		

參、機車製造程序簡介

一、機車製造簡介

依據台鐵與東芝等監造及製造標準，會區分為 A 工程、B 工程、C 工程、D 工程

A 工程：車上、車下設備裝設工程、車下接線製造、跨接電纜接線製造、中央通道模組組裝。

B 工程：駕駛室、側牆結構裝設工程、車端接線製造、側牆結構配線作業、駕駛室組裝。

C 工程：機械室機器裝設工程。

D 工程：防水膠、屋頂裝設工程、屋頂接線製造。



圖 3-1.1 A 工程：車上、車下設備組裝

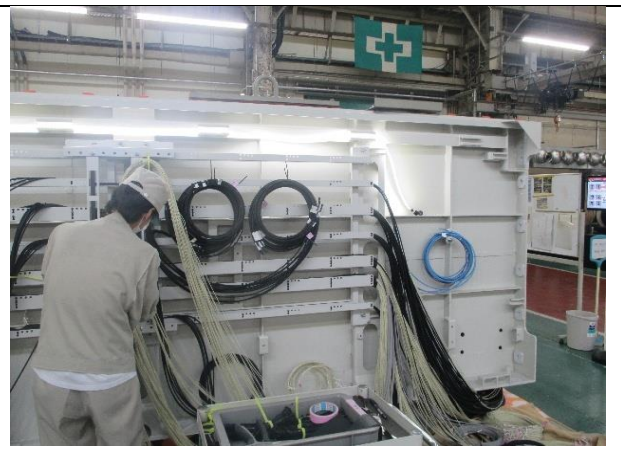


圖 3-1.2 B 工程：駕駛室、側牆、車端結構組裝



圖 3-1.3 C 工程：機械室機器裝設組裝



圖 3-1.4 D 工程：防水膠、屋頂裝設、屋頂接線組裝

二、電力機車測試

分型式測試、例行測試、出廠測試與交車測試

1、型式測試：

功能：

於製造期間進行，且應於該批車第 1 輛機車進行測試。驗證新設計 E500 型電力機車，是否符合契約技術規範與法規。建立性能、可靠度與安全的基準數據。

方式：

於首輛樣車（Prototype）上進行

涵蓋最嚴格、最完整的測試：

- 電氣系統：主變壓器、VVVF、輔助電源。
- 動力性能：加速、牽引力、耗能。
- 軀機性能：常用制動、緊急制動、再生制動。
- 安全系統：ATP、防火偵測、故障診斷。
- 結構測試：車體剛度、轉向架疲勞。

2、例行測試：

功能：

- 確認每一輛量產機車在製造過程完成後，性能與安全皆符合設計標準。
- 防止因製造差異造成品質落差。

方式：

- 每輛量產車均需進行。
- 主要在靜態工廠測試：
 - 電氣絕緣測試、控制回路檢查。
 - 輔助系統（空調、空壓機、冷卻系統）功能。
 - 軀機系統供氣、緊急制動檢查。
 - 牽引馬達組裝後，各尺寸及裝配檢查。

3、出廠測試：

功能：

- 確保工廠完成的整車組裝與調整，機車可安全上線運行。
- 屬於製造廠端的最終檢查。

方式：

- 在製造廠或指定試車線進行。
- 包含靜態與動態：
 - 靜態：全車電氣、控制、空氣管路功能檢查。
 - 動態：試車線低速運轉、基本加速與制動。

4、交車測試：

功能：

- 驗證該輛機車是否達到契約要求，能正式交付本公司使用。
- 屬於 買方驗收 性質，測試合格後才能列入正式車籍。

方式：

- 在台鐵軌道進行，買賣雙方共同參與。
- 測試項目：
 - 實際營運性能（牽引、制動、能耗、噪音）。
 - 與台鐵號誌、供電系統相容性。
 - ATP、防護系統與緊急功能。
 - 全車檢查與試運行。

三、檢驗項目

1、油漆例行測試（E544）

1.1 採購規範（油漆）

立約商應對所有油漆進行檢驗與測試，以証實符合已批核之標準及工藝之要求。

目的：為提供油漆例行測試之細節，以驗證符合採購規範要求、設計規格與工藝標準。

1.2 測試儀器：膜厚計

製造商：Kett

型式：LZ-990



圖 3-3.1 膜厚計



圖 3-3.2 檢驗合格期限

1.3 油漆塗裝測試項目

- (1) 機械室側牆總成
- (2) 駕駛室結構
- (3) 車架
- (4) 色調

1.4 塗裝構成

測試 ID	測試項目	底漆	補土	中塗漆	面漆	光澤度	顏色
1	機械室側牆總成	DDR 中所述：					
		UNIEPOCH 30	NAX PUTTY LIGHTFLEX T	NAX BES NONSAN PRASUF HS	NAX MIGHTYLAC	G70	橘色 (台灣塗料工業同業公會 No.1-64 橘色)
		實際的產品型號與用途：					
		UNIEPOCH 30 PRIMER NC F	NAX PUTTY LIGHTFLEX	NAX BES NONSAN PRASUF HS	NAX MIGHTYLAC G-2 TYPE KB -T No.1-64 orange G70 (註：面漆規格中包含其光澤度與顏色)		
2	駕駛室結構	DDR 中所述：					
		UNIEPOCH 30	NAX PUTTY LIGHTFLEX T	NAX BES NONSAN PRASUF HS	NAX MIGHTYLAC	G70	橘色 (台灣塗料工業同業公會 No.1-64 橘色)
		實際的產品型號與用途：					
		UNIEPOCH 30 PRIMER NC LIGHT GRAY	NAX PUTTY LIGHTFLEX	NAX BES NONSAN PRASUF HS	NAX MIGHTYLAC G-2 TYPE KB -T No.1-64 orange G70 (註：面漆規格中包含其光澤度與顏色)		
3	車架	DDR 中所述：					
		UNIEPOCH 30	-	-	NAX MIGHTYLAC	G70	深灰色 (RAL 7016 煤灰色)
		實際的產品類型與用途：					
		UNIEPOCH 30 PRIMER NC F	-	-	NAX MIGHTYLAC G-2 TYPE KB (RAL7016 G70) (註：面漆規格中包含其光澤度與顏色)		

1.5 塗裝點測量點

①機械室側牆總成

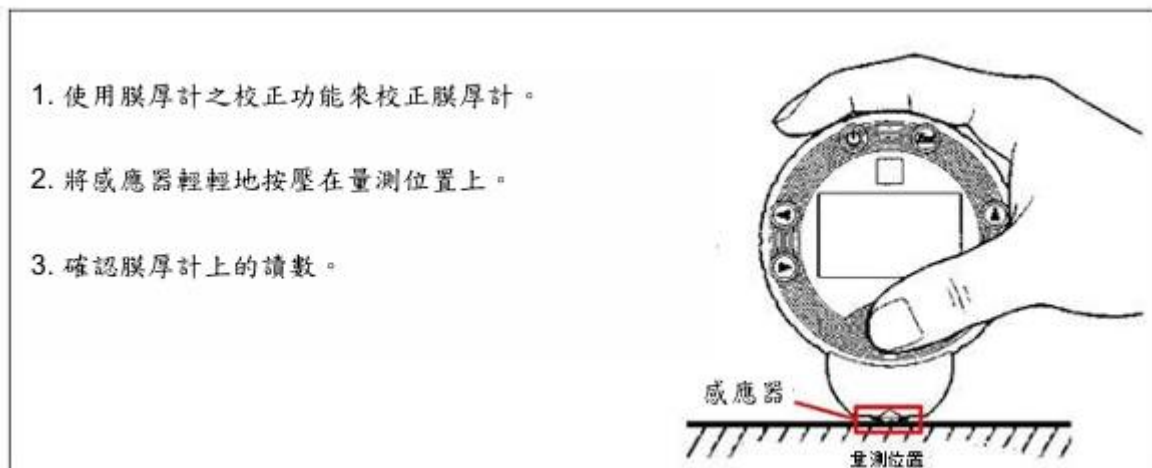
②駕駛室結構

③車架

★檢查塗裝厚度之量測點(兩側)



1.6 膜厚度測方法



1.7 機械室側牆總成塗裝測試程序

- (1) 根據供應商所提供之文件確認機械室側牆總成所使用的油漆類型
- (2) 檢查機械室側牆總成的塗裝狀態
- (3) 測量機械室側牆總成上的油漆膜厚

1.7.1 機械室側牆總成塗裝之測試合格標準

- (1) 油漆類型：以 1.4 塗裝構成表中所列出之實際的產品型號與用途為標準。
- (2) 塗裝狀態：塗裝無異常，無過度的 外部損傷或是刮傷。
- (3) 油漆膜厚：120~5350 (μm)

※ 膜厚之合格標準是 TISS 依據塗料特性並考慮到製造公差等因素而定的。

1.8 駕駛室結構

1.8.1 測試程序

- (1) 根據供應商所提供之文件確認駕駛室結構所使用的油漆類型
- (2) 檢查駕駛室結構的塗裝狀態
- (3) 測量駕駛室結構上的油漆膜厚

1.8.2 駕駛室結構塗裝之測試合格標準

- (1) 油漆類型：以 1.4 塗裝構成表中所列出之實際的產品型號與用途為標準。
- (2) 塗裝狀態：塗裝無異常，無過度的 外部損傷或是刮傷

(3) 油漆膜厚：120~5350 (μm)

※ 膜厚之合格標準是 TISS 依據塗料特性並考慮到製造公差等因素而定的。

1.9 車架

1.9.1 車架塗裝之測試程序

- (1) 根據供應商所提供之文件確認車架 所使用的油漆類型.
- (2) 檢查車架的塗裝狀態
- (3) 測量車架上的油漆膜厚

1.9.2 車架塗裝之測試合格標準

- (1) 油漆類型：確認為 1.4 塗裝構成中所列之 測試 ID 3 之「實際的產 品型號與用途」
- (2) 塗裝狀態：塗裝無異常，無過度的 外部損傷或是刮傷
- (3) 油漆膜厚：120~5350 (μm)

※ 膜厚之合格標準是 TISS 依據塗料特性並考慮到製造公差等因素而定的。

1.10 色調

1.10.1 色調之測試程序

- (1) 確認油漆供應商所提供之報告書
- (2) 確認油漆色調

1.10.2 色調之測試項目

- (1) 確認油漆供應商所 結果 通過 4 提供之報告書
- (2) 油漆色調

1.10.3 合格標準

- (1) 報告書中各檢視項目均無異常情形
- (2) 油漆色調無明顯差異



圖 3-3.3 測量前膜厚計校正



圖 3-3.4 測量後膜厚計校正



圖 3-3.5 測量機械室側牆油漆厚度



圖 3-3.6 測量機械室側牆油漆厚度數值



圖 3-3.7 車身顏色比對



圖 3-3.8 轉向架顏色比對



圖 3-3.9 車側不良處所

圖 3-3.10 車側不良處所

2、車輛秤重例行測試（E541、E542）

2.1 目的：執行車輛秤重的例行測試。

2.2 規範需求

車輛秤重：立約商應施行測試，來證實車軸負載可符合規範的需求，車輪及車軸負載的分佈差別應符合 IEC61133 的要求。

2.3 測試儀器

軸重量測設備：型號 M19-1676-1（製造商 KYOWA）

2.4 測試條件

在開始測試前，檢查以下項目：

- （1）駕駛室裝有相當於乘載人員質量的重物（160 公斤）。
- （2）以電纜連接檢測單元和記錄站，並以局部區域網絡(LAN)線連接記錄站和記錄電腦。
- （3） 連接測試樣品機車與牽引車。
- （4） 將每個車輪的檢測單元輸出校準至「0」。

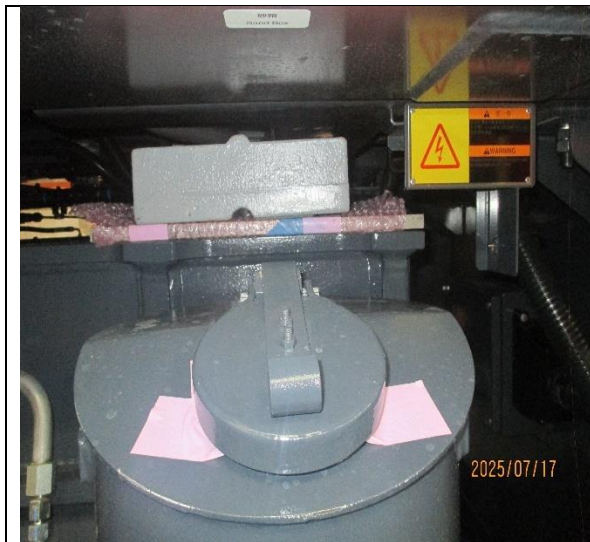


圖 3-3.11 配重塊放置（砂箱）



圖 3-3.12 配重塊放置（駕駛室）



圖 3-3.13 中間走道配重塊放置之一



圖 3-3.14 中間走道配重塊放置之二

2.5 車輛秤重測試程序

- （1）將牽引車由西側移至東側，直至轉向架 1 的每個車輪位於各檢測單元正中央的位置。
- （2）將牽引車由西側移至東側，直至轉向架 2 的每個車輪位於各檢測單元正中央的位置。
- （3）將牽引車由西側移至東側，直至轉向架 2 的所有車輪完全通過檢測單元。
- （4）將牽引車由東側移至西側，直至轉向架 2 的每個車輪位於各檢測單元正中央的位置。
- （5）將牽引車由東側移至西側，直至轉向架 1 的每個車輪位於各檢測單元正中央的位置。

驗證：

測量電腦上顯示的數值，是否有在標準值以內。

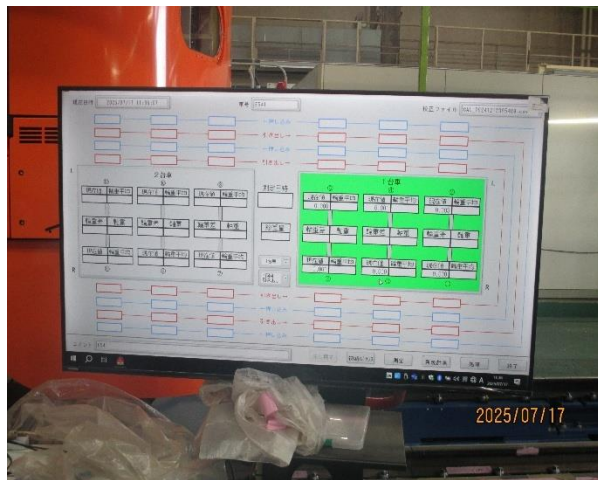


圖 3.3.15 電腦測量機車軸重數據

2.6 測試條件

測試 ID	項次	測量點	條件
1	1	轉向架 1 第 1 次	
	2	轉向架 2 第 1 次	
	-	-	
	3	轉向架 2 第 2 次	
	4	轉向架 1 第 2 次	

圖 3-3.16 車輛秤重測試程序條件



圖 3-3.17 車輛軸重測試中



圖 3-3.18 車輛軸重測試結果



圖 3-3.19 車輛軸重調整工具



圖 3-3.20 車輛軸重調整



圖 3-3.21 車輛軸重調整



圖 3-3.22 車輛軸重調整

3、輪軸組殘留不平衡量（E546、E547）

3.1 測試目的

為了驗證營運時的運行品質，管控輪軸組的轉動性能是很重要的。在本項測試，將一組完整的轉向架放置於測試台，轉動符合不平衡量標準的輪軸組，以檢查車輪的偏轉。輪軸組在生產過程中並於安裝到轉向架前，每一輪軸組的不平衡量都要調校到合格標準範圍內作為出廠的最終測試，並且根據規範章節 8.3.7（2）和 DDR-輪軸組技術規格(EL68-BOG DD-0001[ECS-E7-0032-31])之附件 5，並將調整後的最終值標示在輪軸組上。

3.2 測試配置

準備一組完整的轉向架，其軸箱安裝固定在 6 個(2 x 3 組車軸)墊塊治具上。

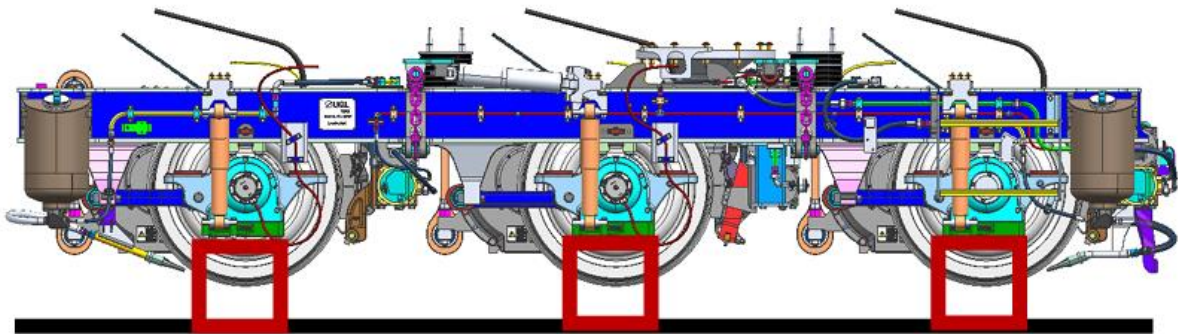


圖 3-3.23 輪軸組殘留不平衡量測試墊塊治具圖

3.3 測試程序

- (1) 記錄車輪和輪軸組的不平衡量。不平衡量打印在車輪表面上。
- (2) 用手轉動車輪確認車輪是否可以平順地轉動。
- (3) 設置指示量規指向車輪表面測量。
- (4) 轉動車輪並量測其偏轉，確認指示量規的讀值在合格標準內。

3.4 打印標示不平衡量與標示位置

電力機車 68 輛專案文件編號: EL68-BOG-TP-1001(C)

TRA EL PJT

內部管控碼: ECS-E7-1000-03 Rev.2

TOSHIBA

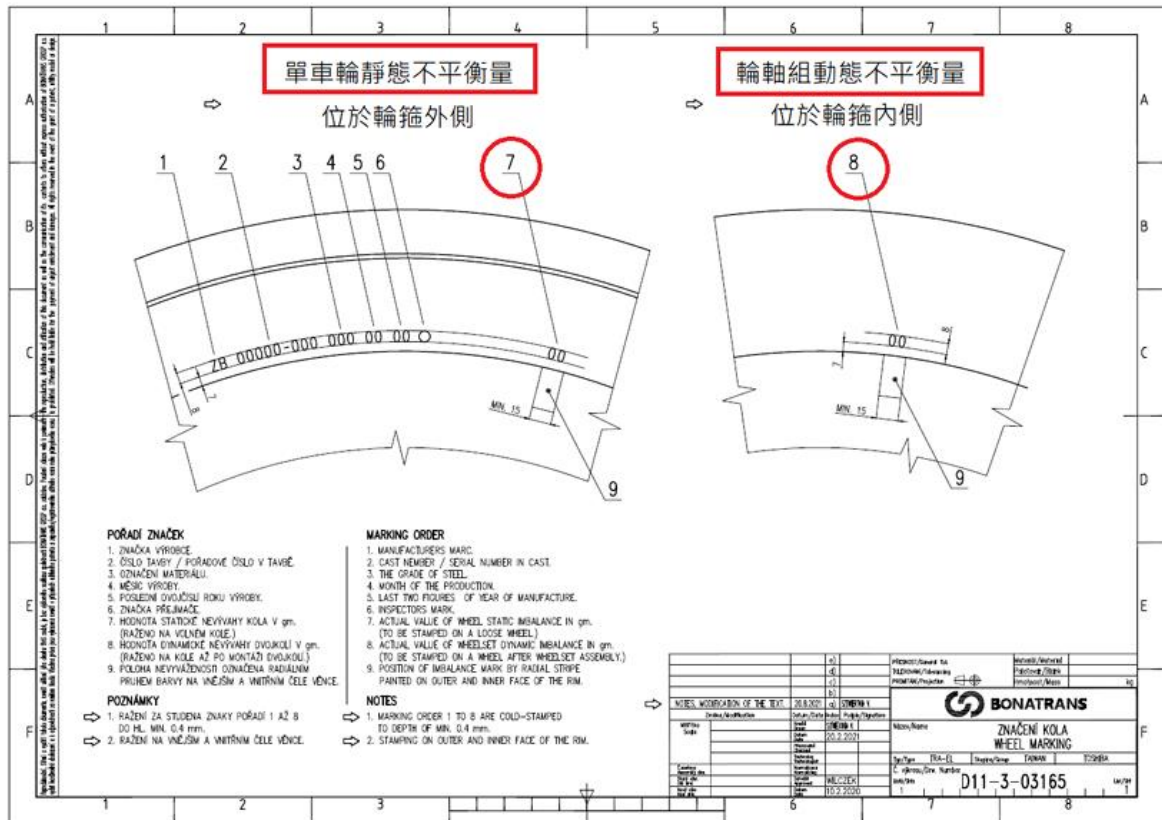


圖 3-3.24 標示不平衡量與標示位置圖表



圖 3-3.25 打印標示不平衡量與標示位置



圖 3-3.26 打印標示不平衡量與標示位置

4、偏轉量測

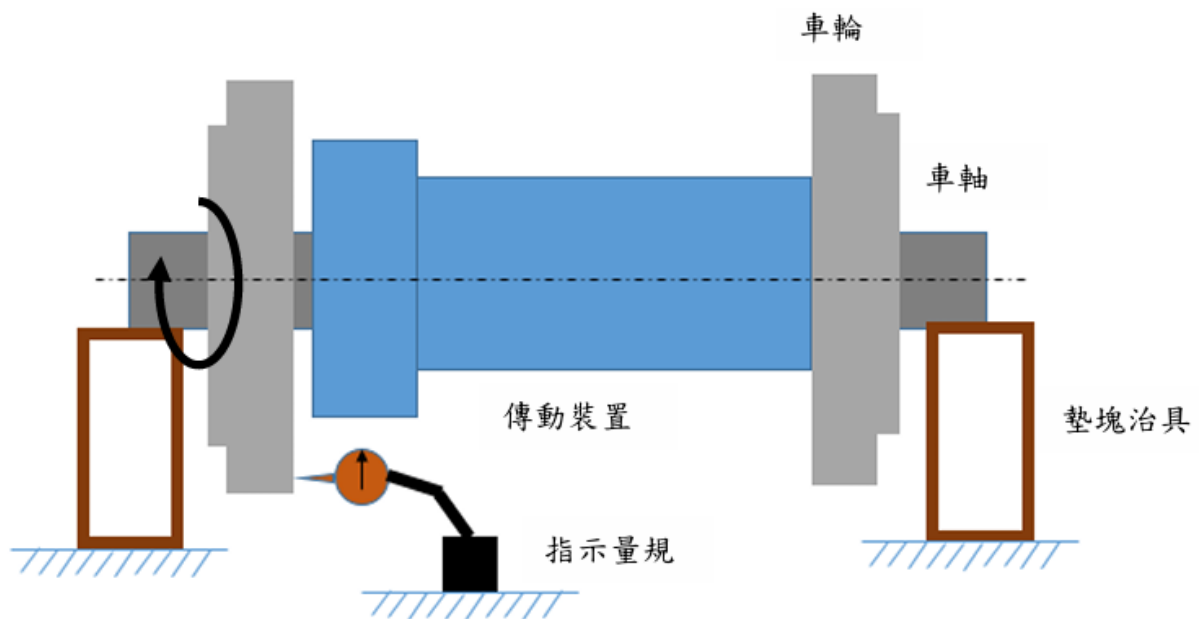


圖 3-3.27 偏轉量測位置圖表



圖 3-3.28 偏轉量規測試結果

4.1 殘留不平衡量標準值

測試項目	合格標準
車輪靜態不平衡量	< 72 gm
輪軸組動態不平衡量	< 75 gm
轉向架之車輪偏轉量測	< 0.5 mm

5、車輪踏面輪廓

5.1 測試目的

對於在工廠進行的完整機車測試，進行任何工廠測試之前，需檢查車輪踏面的狀況。 供應商將進行車輪踏面輪廓測量(車輪形狀及相關尺寸)，作為出廠的最終測試。

廠內用量具測量車輪直徑，並檢查車輪輪廓是否正確，車輪和輪軸組是否正確安裝在 完成的轉向架上。

5.2 測試配置

準備一組完整的轉向架在生產線的軌道上。

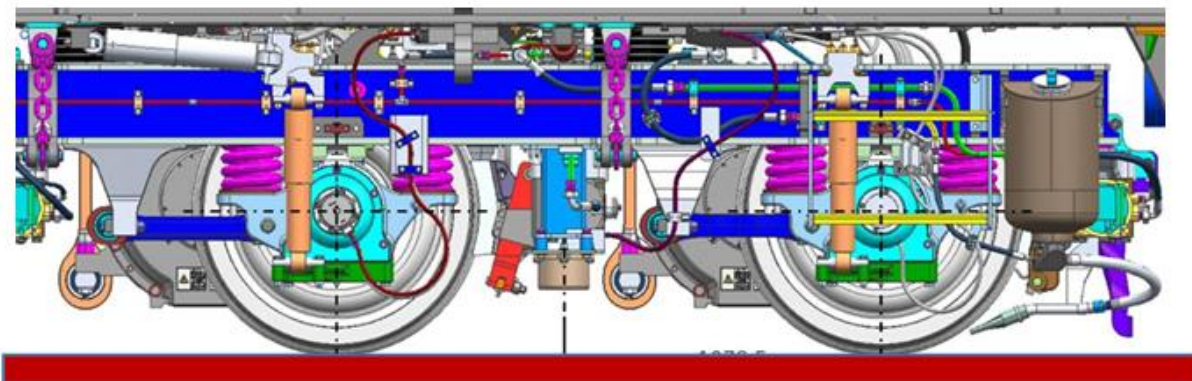


圖 3-3.29 車輪踏面輪廓測試位置圖

5.3 測試程序

- (1) 將一組完整的轉向架移動到測試區域進行測量。
- (2) 目視檢查車輪踏面，確認是否有損壞和異物。
- (3) 準備車輪直徑測量工具 TY-50 及車輪踏面確認量規。
- (4) 測量車輪直徑並記錄在表中。
- (5) 用量規檢查車輪踏面形狀，並記錄在表單上。

5.4 車輪踏面檢視（測量工具 TY-50）

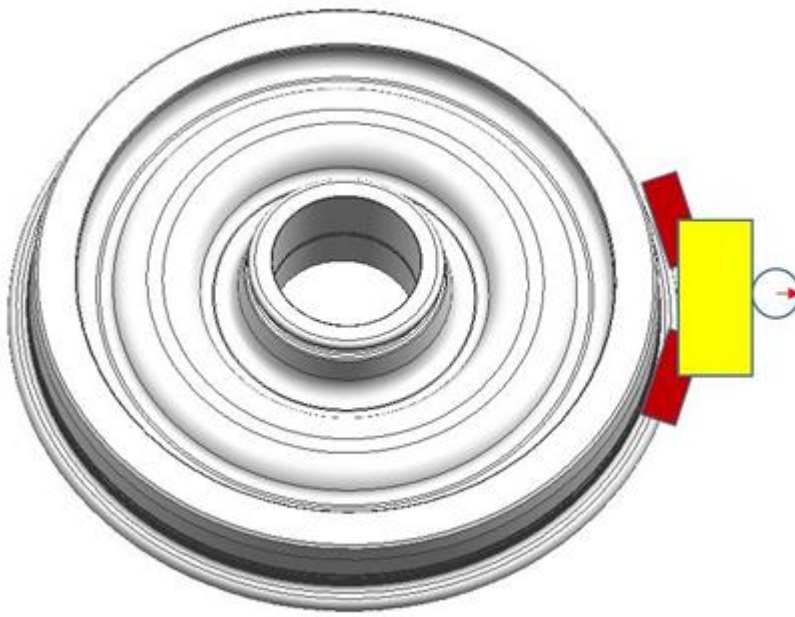


圖 3-3.30 車輪踏面測量工具測試位置圖

5.5 合格標準

- (1) 車輪直徑 D: $\varnothing 924$ ($= \varnothing 924 \sim \varnothing 928$) - 需搭配指定形狀的量具。
- (2) 踏面量具與實際踏面的間隙以厚薄規進行測量，其間隙應小於或等於 0.5 mm。



圖 3-3.31 車輪踏面檢視規



圖 3-3.32 車踏面輪廓量具



圖 3-3.33 車踏面輪廓量測



圖 3-3.34 量具有效日期



圖 3-3.35 量具標準值量測

6、車輪表面檢查（E541、E542）

6.1 測試準備及測試條件

準備一輛完成車於生產線的軌道上，在沒有通電情況下進行測試。本測試中將確認車輪在出廠 前為正常的狀態。

6.2 測試程序

- (1) 記錄序號：記錄轉向架與車輪的序號。
- (2) 目視檢查：使用粗糙度標準片，以目視或觸摸確認 12 個車輪的踏面與輪緣表面的粗度是否符合合格標準。

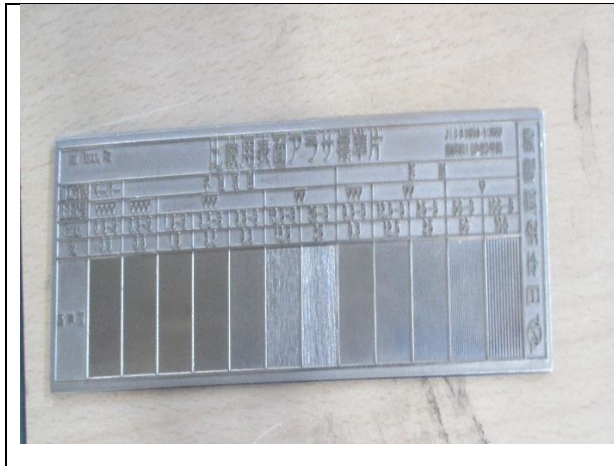


圖 3-3.36 粗糙度標準片



圖 3-3.37 目視、觸摸車輪踏面粗細度

7、車軸軸承溫升測試（E541、E542）

7.1 測試準備及測試條件

將溫度貼紙貼在車軸軸承表面。本測試將在低速試運轉出廠測試之後進行，因目的是確認車軸軸承是否因運轉時潤滑失效造成異常的溫度上升。

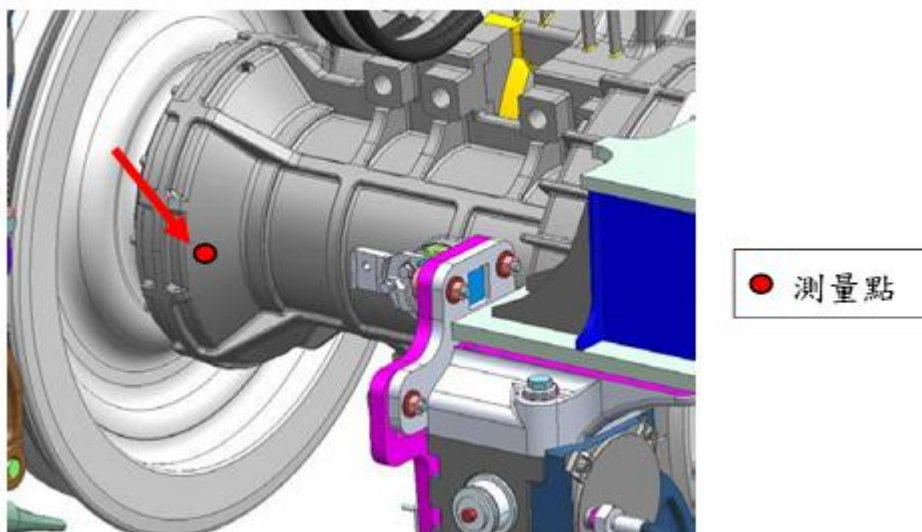


圖 3-3.38 車軸軸承溫度測量點

7.2 測試程序

- (1) 記錄序號：記錄車軸序號。
- (2) 目視檢查：確認溫度貼紙上的溫度標示。

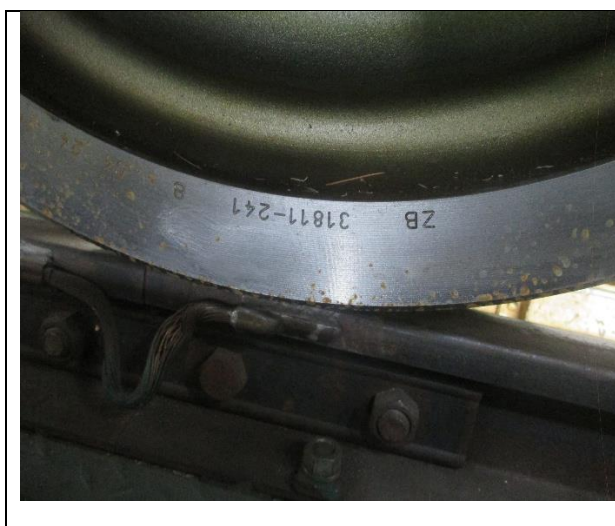


圖 3-3.39 車輪序號



圖 3-3.40 車軸軸承溫度貼紙

変色温度データ

1) **加熱速度と変色温度** 変色温度以下の被検体を加熱し、上昇中の温度を測定する場合にご活用ください。カタログの変色温度は、1 分間に 2~3℃の温度上昇をさせ、変色が完了した温度を採用しています。

型番	表示 No.	原色	変色	加熱速度 (°C/min)					
				0.5	1.0	2.5	5.0	10.0	20.0
G-1	25	うす緑味青	赤味灰	229	238	249	257	266	274
	29	うすピンク	黒	270	279	291	301	310	319
	31	明るい青味灰	茶黒	290	299	311	321	330	339
	33	うす青緑	灰黒	305	314	326	336	345	354
G-2	36	白	茶味灰	329	340	354	364	375	386
	41	青	茶白	386	398	414	426	439	451
	44	白	緑味灰	429	434	441	446	451	456
	45	紫	白	440	445	451	455	460	465

※表示の色は近似色

圖 3-3.41 溫度貼紙溫度表

8、馬達線路連接測試 (E543)

8.1 測試條件

將機車移動到 TISS 測試線上的 R100 曲線。

8.2 測試程序

- (1) 操作方式：檢查每部機車之馬達線路。
- (2) 檢視線路狀態有無拉伸或彎曲。 檢視線路有無干涉其它零件。

8.3 合格標準

(1) 馬達 1-馬達線路 (U,V,W,E1)

線路無異常拉伸或彎曲。

線路未干涉其它零件。

(2) 馬達 2-馬達線路 (U,V,W,E1)

線路無異常拉伸或彎曲。

線路未干涉其它零件。

(3) 馬達 3-馬達線路 (U,V,W,E1)

線路無異常拉伸或彎曲。

線路未干涉其它零件。

(4) 馬達 4-馬達線路 (U,V,W,E1)

線路無異常拉伸或彎曲。

線路未干涉其它零件。

(5) 馬達 5-馬達線路 (U,V,W,E1)

線路無異常拉伸或彎曲。

線路未干涉其它零件。

(6) 馬達 6-馬達線路 (U,V,W,E1)

線路無異常拉伸或彎曲。

線路未干涉其它零件。

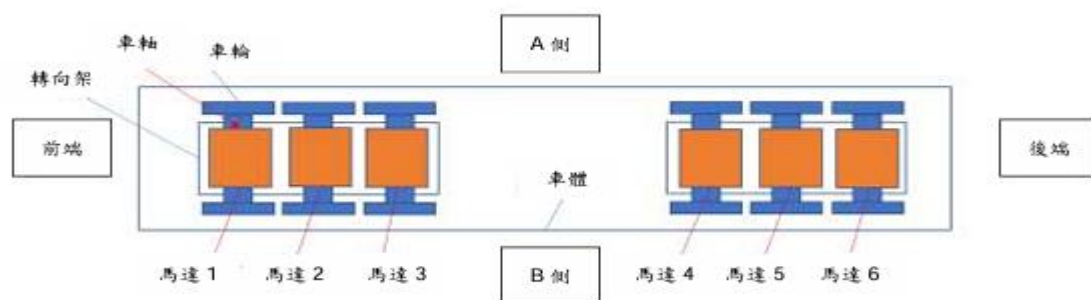


圖 3-3.42 轉向架、車軸、車輪和馬達位置



圖 3-3.43 馬達引線狀態

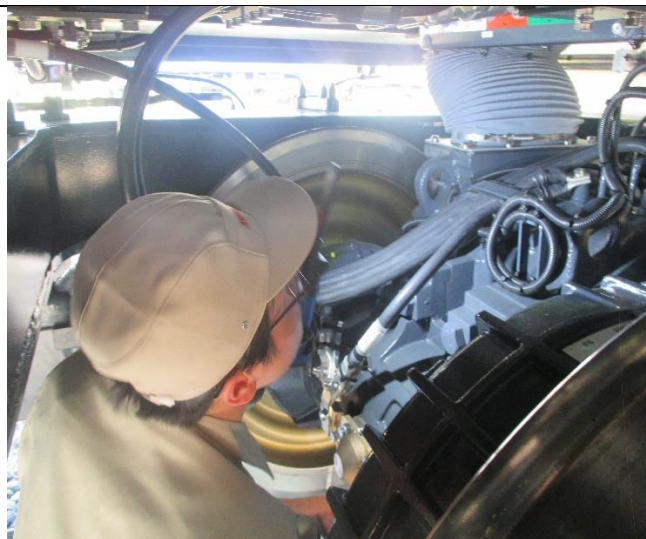


圖 3-3.44 馬達引線及風道狀態



圖 3-3.45 開瓦狀態

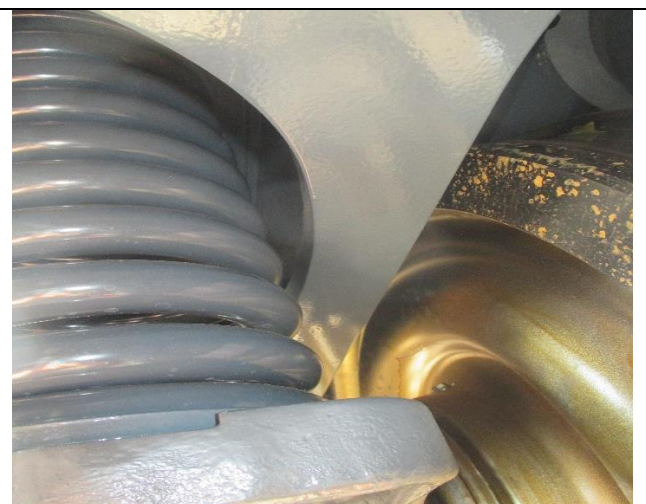


圖 3-3.46 主彈簧狀態



圖 3-3.47 橡膠彈簧狀態



圖 3-3.48 牽引馬達風道狀態

9、齒輪箱漏油測試

9.1 測試條件

經過寸動模式之低速運轉功能測試、速度控制模式之低速運轉功能、牽引力模式之低速運轉功能、電軔指令之低速運轉功能測試後，將機車移至檢查坑內查看。

9.2 測試程序

進入檢查坑內，用目視檢查每個齒輪箱，是否有漏油現象。

9.3 合格標準

- (1) 車軸 1 齒輪箱：齒輪箱無明顯漏油。
- (2) 車軸 2 齒輪箱：齒輪箱無明顯漏油。
- (3) 車軸 3 齒輪箱：齒輪箱無明顯漏油。
- (4) 車軸 4 齒輪箱：齒輪箱無明顯漏油。
- (5) 車軸 5 齒輪箱：齒輪箱無明顯漏油。
- (6) 車軸 6 齒輪箱：齒輪箱無明顯漏油。

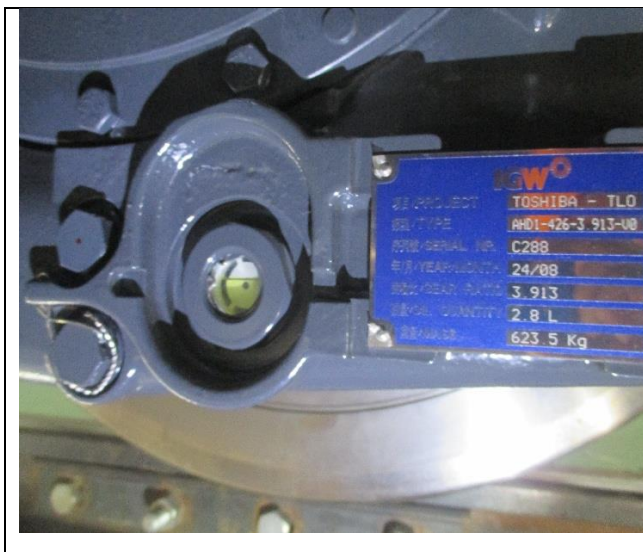


圖 3-3.49 齒輪箱油位視窗



圖 3-3.50 齒輪箱總成

四、牽引馬達工場見學

1、基本原理

(1) 磁場來源

- 傳統同步馬達轉子需勵磁繞組與滑環供電；
- PMSM 則在轉子上使用高性能稀土磁鐵（如 NdFeB 鈷鐵稀土磁石），形成固定磁場，省去轉子勵磁電流。

(2) 工作方式

- 定子三相交流電 → 產生旋轉磁場；
- 轉子永磁體磁場與定子旋轉磁場「鎖定」同步旋轉；
- 控制器透過 PWM 逆變器 + 向量控制，使電流與磁場方向最佳化，提升效率與轉矩控制。

2、主要特性

- 高效率：無勵磁損耗，效率可達 95%以上。
- 高功率密度：體積小、重量輕，在相同功率下比感應馬達小。
- 高轉矩特性：低速時仍能提供高轉矩，適合牽引動力。
- 低溫升：因轉子無銅損，散熱需求較低。
- 控制複雜：需精確的控制器與位置檢測（旋轉編碼器或感測器），否則可能失步

3、應用領域

- 鐵道車輛：
東芝為本公司 E500 型電力機車 就採用 PMSM 牽引馬達，取代傳統感應馬達，降低能耗與維護成本。
- 工業馬達：壓縮機、泵浦、風機。
- 家電：空調、洗衣機（高效率直驅）。
- 新能源：風力發電、電動車馬達。

4、本公司 E500 型 PMSM 特點（東芝設計）

- 冷卻方式：強迫風冷或油冷，適應台灣高溫潮濕環境。
- 耐環境設計：具 IP 高等級防塵防濕。
- 噪音低：永磁馬達比誘導馬達少電磁噪音。
- 維修週期長：無滑環碳刷，不需頻繁保養。

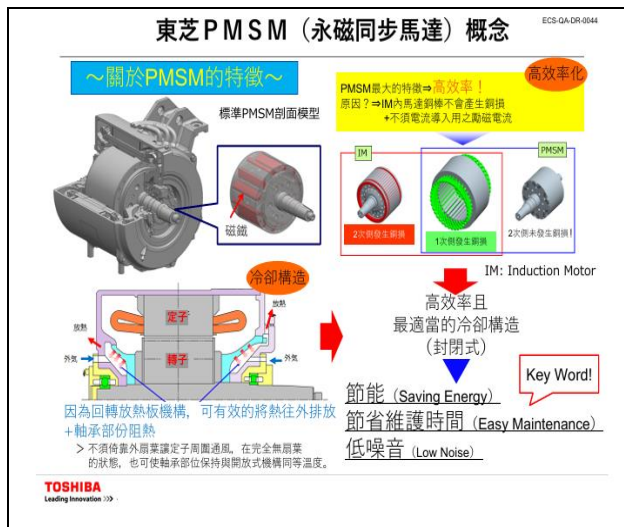


圖 3-4.1 東芝永磁同步馬達概念

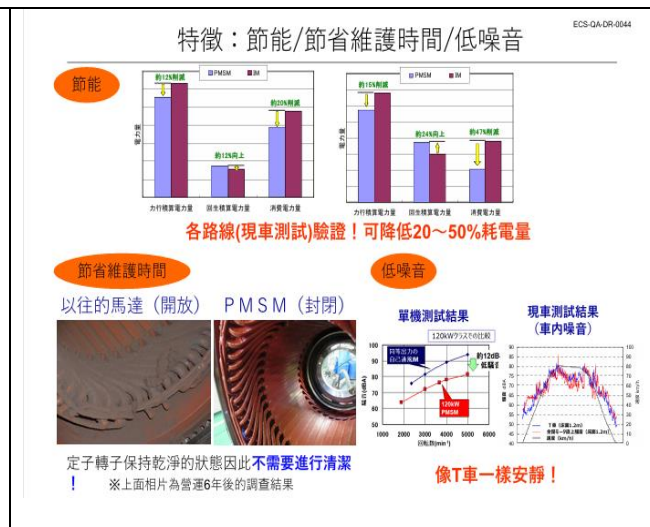


圖 3-4.2 永磁馬達優點



圖 3-4.3 不拆卸式軸承更換構造

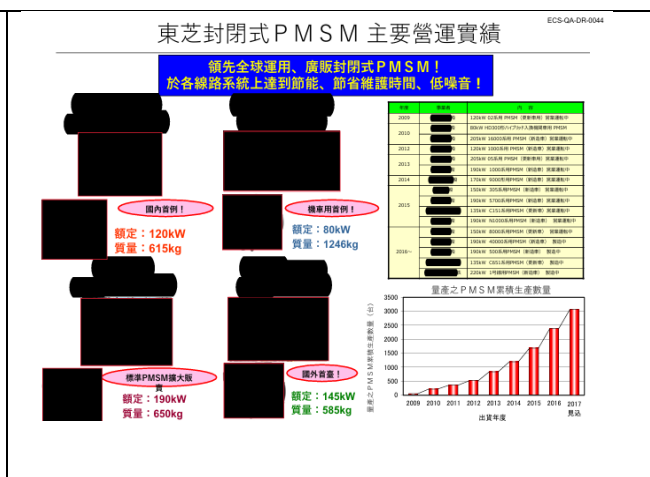


圖 3-4.4 東芝永磁馬達主要實績

肆、專題報告

輔助供電 (APU 和 HEP) 電路及系統轉換原理

1. 基本概念

1.1. APU 和 HEP 字義簡介

APU (Auxiliary Power Supply Unit) 機車本車輔助供電單元

HEP (Head End Power) 客車輔助供電單元

輔助供電系統的組成主要由 APU 對機車上的負載供電，而 HEP 對被牽引的客車供電。

1.2. 輔助供電示意圖

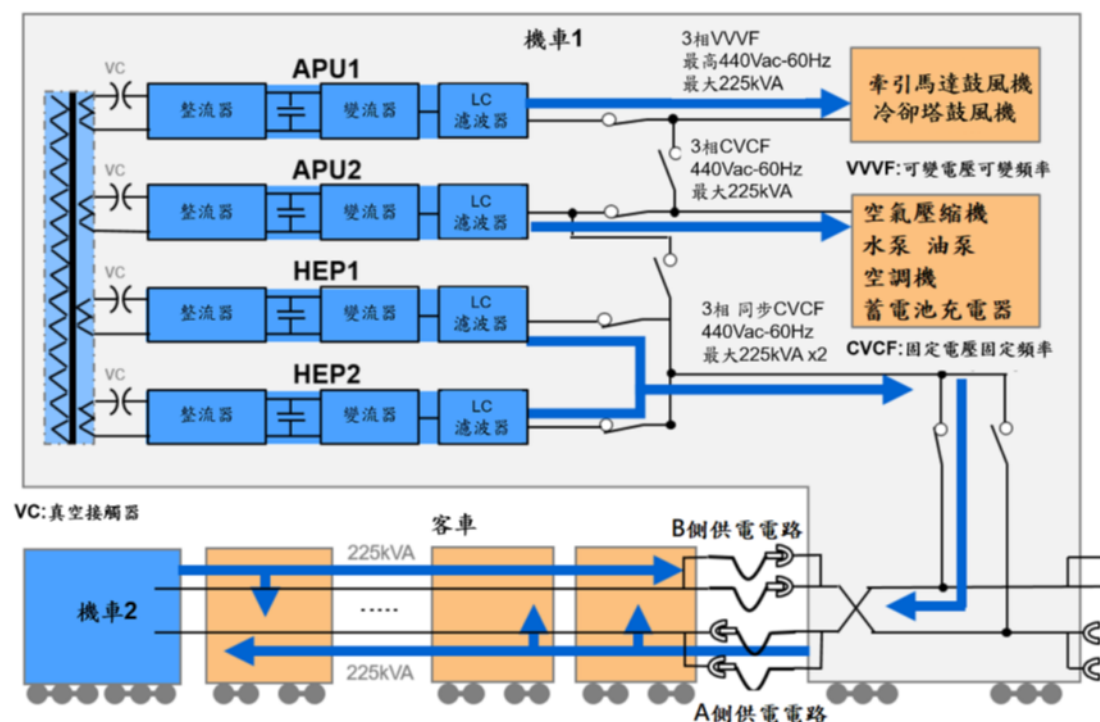


圖 4-1 輔助供電示意圖

APU 供應 440V 三相交流電源給機車、HEP 供應 440V 三相交流電源給客車。

1.3. 輔助供電系統概念-方塊圖

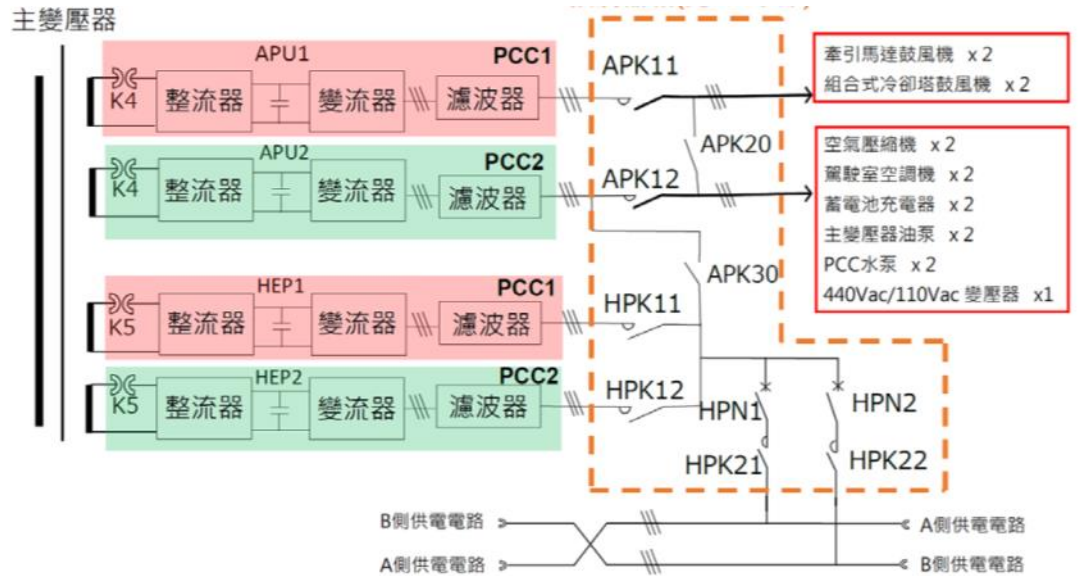


圖 4-2 輔助供電系統概念方塊圖

APU 和 HEP 從主變壓器的三次繞組接收電力。

在正常情況下，APU 供應 440V 三相交流電源給機車本車負載、HEP 供應 440V 三相交流電源給客車負載。

在故障情況下，執行接觸器連鎖機制以確保提供備用電源。在故障狀況下，執行接觸器連鎖裝置以確保備用電源供應。

1.4. 電力迴路

● 高壓迴路

來自 25KV 的高壓迴路包括了輔助供電系統(APU 和 HEP)、牽引系統、以及高壓設備 (Pan、VCB、HVT、CT 及直流成分抑制箱等)三大部分；輔助供電系統(APU 和 HEP)為其中之一。如以下方塊圖所示：

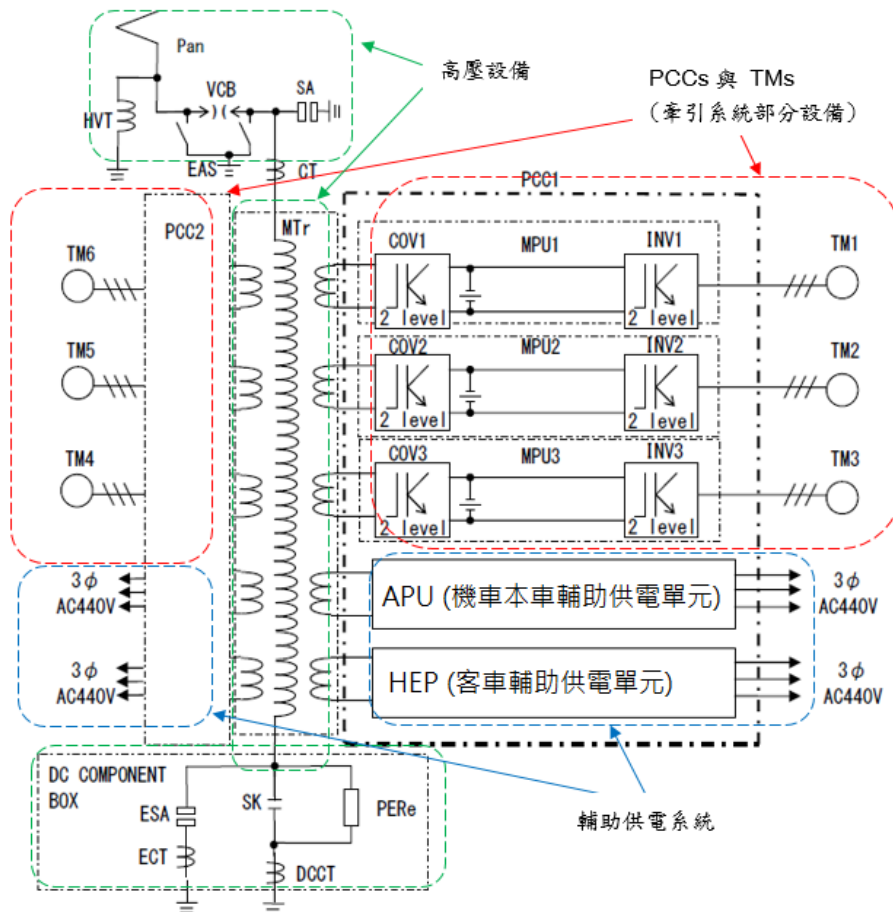


圖 4-3 高壓迴路方塊圖

● 輔助供電系統 (APU 和 HEP) 主迴路，如下圖：

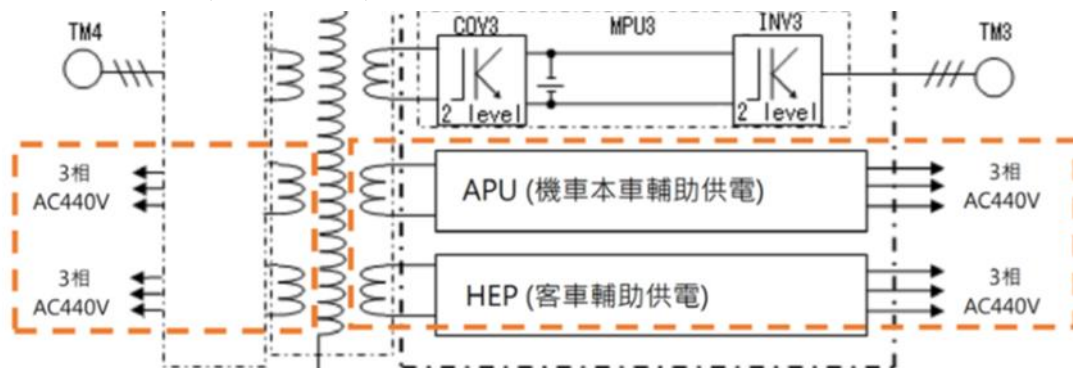


圖 4-4 供電迴路方塊圖

APU 和 HEP 分別從主變壓器三次側的四個輔助繞組接收電力。

每個 APU 和 HEP 都帶有輸入和輸出接觸器之獨立的電路，以確保一個系統中的異常不

會對其他系統造成損壞。因此，系統的可用性將增加，也可以確保在故障情況下為機車本車負載和客車負載提供備用電源。

APU 和 HEP 使用相同的 IGBT 單元。

1.5. 電力轉換裝置(PCC)

電力機車設有兩個電力轉換裝置（PCC1 和 PCC2）。

每個 PCC 由一台 APU 和一台 HEP 組成，其中 APU 為機車負載供電，HEP 為客車負載供電。

此電力轉換系統採用 IGBT 作為整流器和變流器的開關元件，實現簡潔性及向量控制。其方塊圖如下：

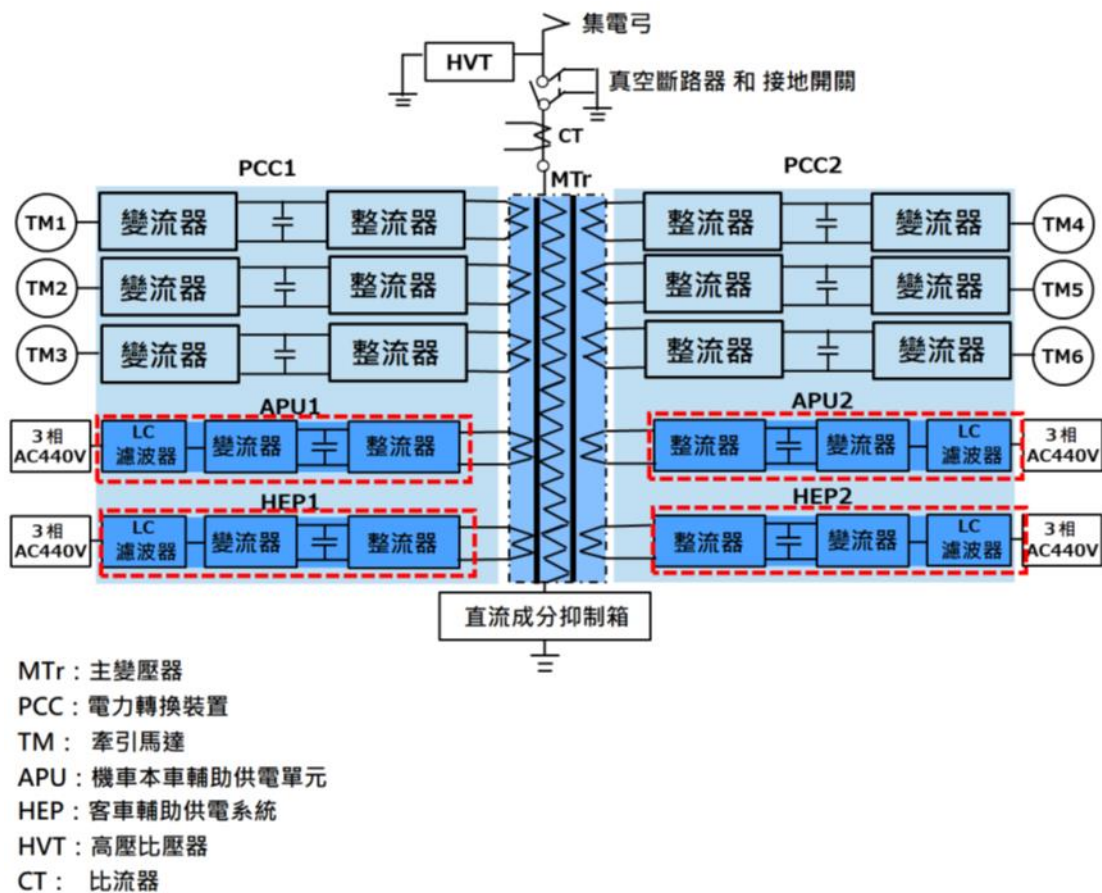


圖 4-5 電力轉換裝置系統圖

此系統的特點：

- APU 和 HEP 從主變壓器的三次繞組接收電力。每個 APU 和 HEP 都有獨立的電路，有輸入和輸出接觸器，這樣一個系統的異常不會對另一個系統造成損壞。因此，即使在故障情況下也能確保系統的可用性。
- 高耐受電壓，大容量 IGBT 元件
兩階段整流器和兩階段變流器採用額定值為 1200V - 1400A 的 IGBT 元件（二合一型）。它結構簡潔，可實現在一個電力單元中同時設置整流器和變流器。
 - 客製化 32 位元處理器的控制 PCB
利用電力電子控制專用的 32 位元處理器和表面貼裝元件，實現元件的高密度貼裝，同時亦實現控制單元的小型化。
 - 高轉速記錄儀

為便於故障時查找原因，整合高速追蹤和記錄（取樣率 $1\mu s$ ）閘極控制信號和 IGBT 閘極反饋信號之功能。

2. 電力轉換裝置(PCC) - 輔助供電系統

2.1. 概述

如下圖所示，機械室中有兩套 PCC（電力轉換裝置）。每個 PCC 由三個 MPU、一個 APU 和一個 HEP 組成。每個 APU / HEP 接收由主變壓器的單相交流電轉換為直流電的轉換器並將直流電轉換為 3 相交流電，而 LC 濾波器進一步向輔助設備提供平順的輸出電壓。

每個 APU / HEP 均採用 2 級 PWM 整流器和 2 級 PWM 變流器為基礎的 IGBT。IGBT 由微電腦的控制作為基本控制。

使用在 APU 和 HEP 的整流器/變流器單元是相同而可互換。

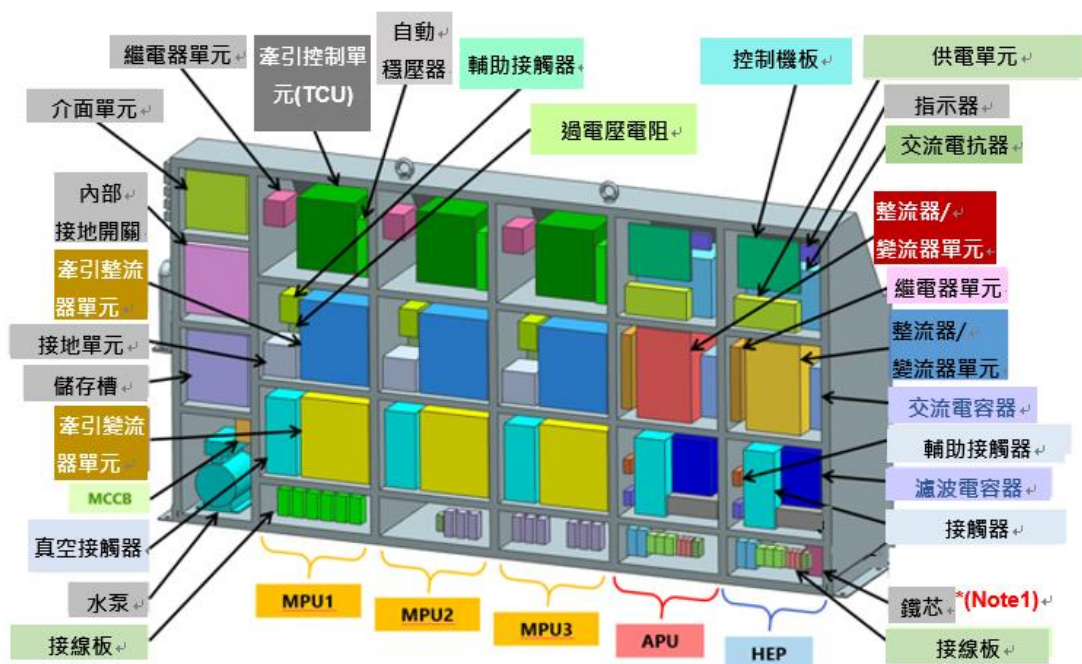


圖 4-6 電力轉換裝置-輔助供電系統

2.2. 架構

由於在臺鐵現有電力機車中從主變壓器取得 1500Vac 的客車電源，因此安裝了真空接觸器以中斷客車的電源。

對於 E500 型電力機車，已更改配置。440V 三相交流電由 HEP 送到客車，HEP 輸入側的額定電壓為 345Vac，而由真空接觸器保護。為了中斷客車的電源、停止 HEP 作動，然後隔離其迴路，這表示輸出接觸器的額定電壓會改變低至 440Vac；因此不在 HEP 輸出側採用真空接觸器。TISS 基於可靠性和市面上可取得而在 HEP 輸出側採用電磁接觸器。

輸入接觸器(K4, K5)安裝在整流器輸入側的正極，如下方塊圖所示。如果在整流器輸入側的負極側出現接地故障，則 GCT 會檢測到接地故障電流，並透過關斷(turn off)IGBT 閘極來切開(Open)正極的接觸器來中斷，如下圖所示。因此，不必在負極側考慮接觸器。

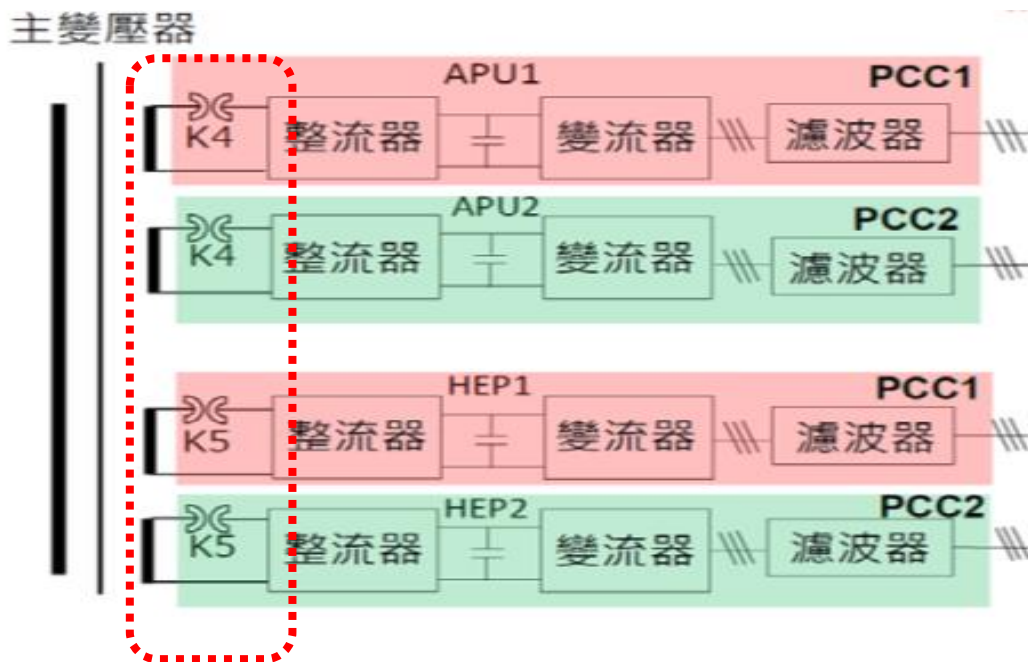


圖 4-7 電力轉換裝置架構圖

$V_s > 0$ (APU 或 HEP 的輸入電壓為正之半週期)

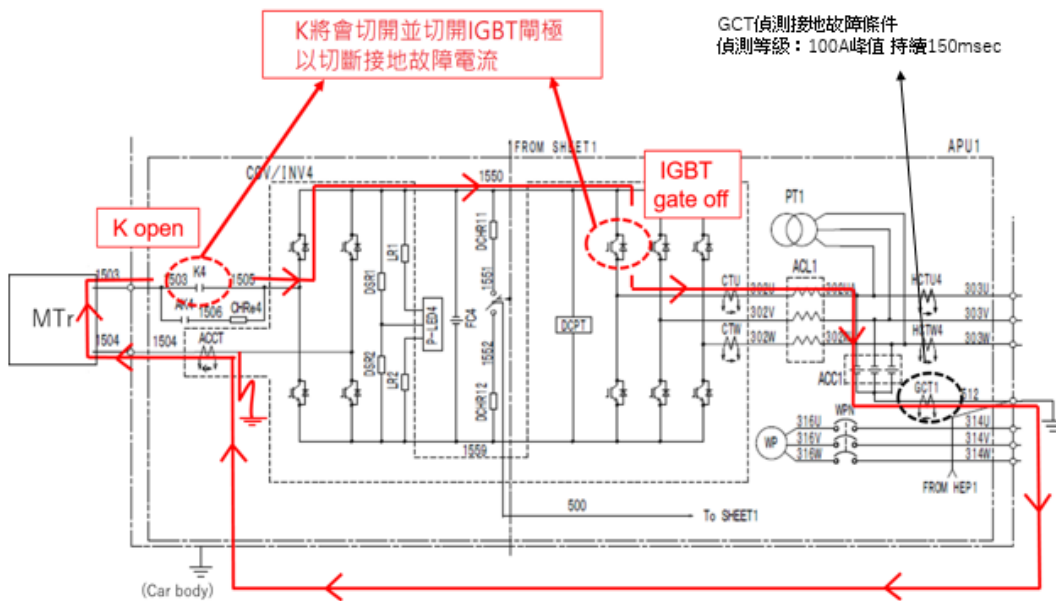


圖 4-8 電力轉換電路圖

$V_s < 0$ (APU 或 HEP 的輸入電壓為負之半週期)

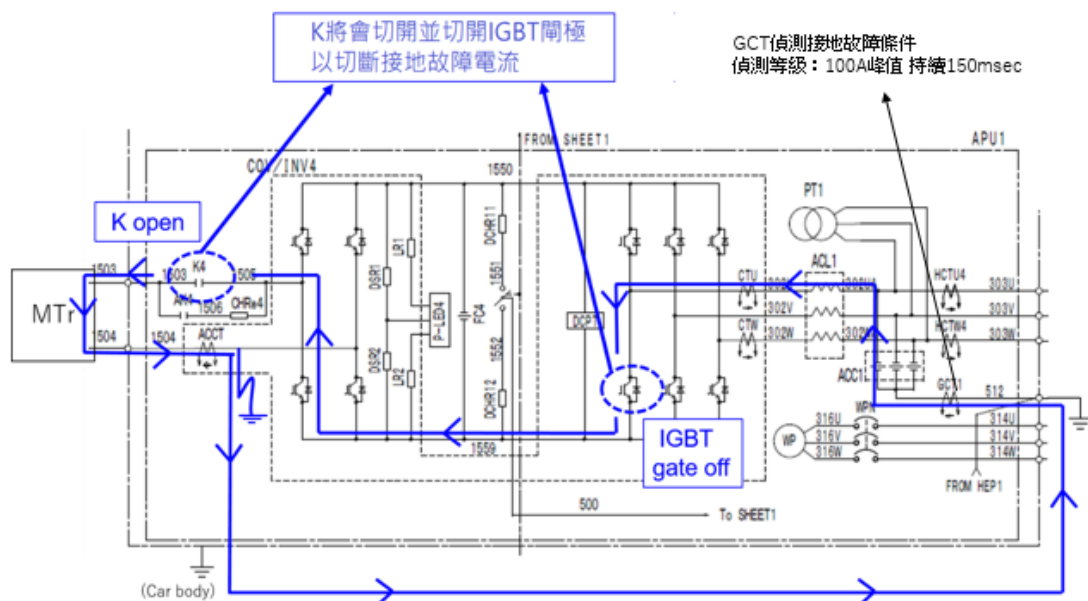


圖 4-9 電力轉換電路圖

● HEP 負載容量

設備用電負載

一、交流: AC440V

設備	電流(A)	合計(A)
1.空調機 x2	24	24
2.客室鼓風機	0.5	0.5
總計		24.5

二、直流: DC29V

設備	電流(A)	合計(A)
1.日光燈(LED)、廁所設備、旅客資訊系統、通道門	20	20
2.上下台門(無階化電動門)	20	20
總計		40

HEP 負載表 (PP 客車用電資料)

所需電力計算如下:

$$AC440V: \sqrt{3} * 440V * 24.5A = 18.7 \text{ kVA}$$

$$DC29V: 29V * 40A / (0.8 * 0.7) = 2.1 \text{ kVA}$$

(估計整流器的輸入功率因數為 0.8，效率為 0.7)

此處整流器是指 PP 客車的整流器，將 3 相 440Vac 轉為 DC29V。

現有 PP 客車的整流器是接收由機車供電之單相 1500Vac，其效率依據 TRA 的資訊為 >0.79 。

此章節中估計 E500 牽引之 PP 客車的整流器的功率因數及效率，採低於現有 PP 客車的功率因數(0.7)。

每一客車所計算的電力如下：

$$18.7\text{kVA} + 2.1\text{kVA} = 20.8\text{kVA}$$

考慮連掛 15 台客車而所有需求用電為：

$$20.8\text{kVA} * 15 = 312\text{kVA}$$

考慮 10%裕量，初步估計 HEP 的容量為 344kVA（電流為 $344\text{kVA} / (\sqrt{3} * 440\text{V}) = 451\text{ A}$)或更高。

估計容量(344kVA)小於 HEP 最大容量(450kVA)。

2.3. 供電單元

APU 與 HEP 中的整流器及變流器採用 IGBT 做為電力元件。

IGBT 是一種結合了 MOSFET 的高輸入阻抗優勢和雙極晶體管的高電導率特性（即低飽和電壓）的元件。

與其他電力元件(例如 MOSFET 和雙極晶體管)相比，IGBT 的導通狀態電壓降較小。

IGBT 的功率損耗主要包括導通損耗(conduction loss)和切換損耗。

IGBT 處於導通狀態時會發生導通損耗，可以經由選擇低飽和電壓的 IGBT 來降低導通損耗。而切換損耗在導通(turn on)和關斷(turn off)過渡期間發生。切換損耗受集極電流和閘極電阻影響。

我們採用 2 合 1 的 IGBT 型式，因此所有 IGBT 都集成在單一電力單元中。

在模組中，IGBT 固定於鋁製水冷散熱器上以進行冷卻。見下圖。

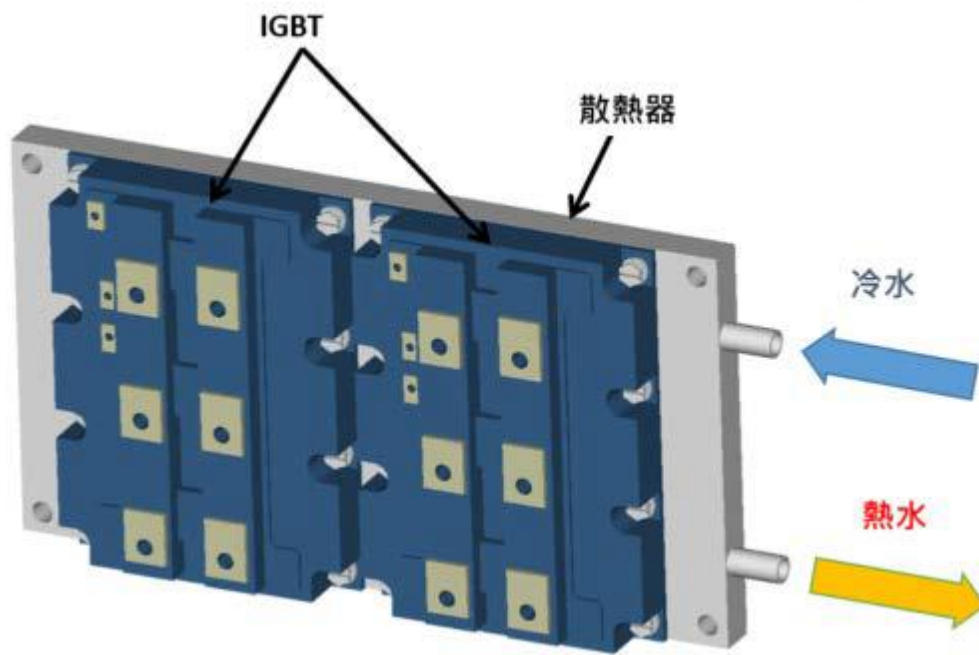


圖 4-10 供電單元示意圖

包括 APU（機車本車輔助供電單元）和 HEP（客車輔助供電系統）的輔助動力系統，在每一個 PCC 中，使用水冷式迴路來冷卻 APU 和 HEP 電力單元的 IGBT。

2.4. APU / HEP 的電子控制

APU 與 HEP 各有控制電路板，可獨立執行控制和保護。控制電路板的主要控制功能如下，控制功能由微處理器來執行。

- 1) 整流器控制功能
 - 直流電壓控制
 - 單位功率因數控制
- 2) 變流器控制功能
 - 輸出電壓控制
 - 負載波動控制
 - 並聯輸出
- 3) 自我診斷功能

APU / HEP 具有自我診斷功能，有助於提供以下功能來分析故障並針對故障進行故障排除。

- 故障數據記錄
- 下載故障數據

4) LCMS 的串列傳輸

APU / HEP 具有與 LCMS 的通信端，APU 和 HEP 向/從 LCMS 發送/接收數據以執行某些控制功能，並向 LCMS 傳輸必要的故障信息，以在機車營運期間由司機員執行適當的操作。

2.5. 保護

● 概念

採取以下措施以盡可能降低 APU 與 HEP 的設備故障及保護 APU 與 HEP。

- 當設備檢測到故障並停止時，設備將嘗試自動復位。
- 允許的復位次數受到限制，以防止設備或組件進一步損壞。

當不滿足閘極啟動條件（例如輸入低電壓或高電壓）時，設備將待機，直到啟動信號條件恢復為止。此狀態不視為故障。

● 保護操作

2.5.1.1. 自動隔離

如果發生嚴重故障，則 APU 在首次出現錯誤時會被自動隔離(lock out)，並且無法重新啟動。設備或其內部單元損壞的可能性很高。在這種情況下，故障信息將傳輸到 LCMS。

2.5.1.2. IGBT 閘極關斷

如果故障與設備本身有關，則 IGBT 閘極會在預定時間內關斷，然後 APU 自動重新啟動。除 IGBT 閘極關斷外，某些保護還需要接觸器切開。

- 如果在自動復位操作後修復故障，則 APU / HEP 繼續其操作。APU / HEP 將傳送復位信息給 LCMS。
- 在自動復位操作後的預定時間內再次檢測到故障時，APU / HEP 將被自動隔離。

APU/ HEP 將個別傳送故障訊息給 LCMS。

● 保護列表

在發生以下故障時，APU / HEP 可以檢測並保護系統。

- 輸入過電流
- 輸入過電壓
- 濾波電容器的過電壓
- 濾波電容器低壓
- 接地故障（詳見備註）
- 低壓控制電源
- 過溫
- 電流限制控制（詳見備註）
- 輸出過電流（詳見備註）
- 過載
- 相位不平衡(包含欠相)
- 輸出頻率異常

備註

- 當 1 組 APU 或 1 組 HEP 發生接地故障或過電流故障時，故障的 APU 或 HEP 將自動隔離，然後功能正常的 APU 與 HEP 會自動提供備援供電，而不影響機車運行。
- 如果司機員想要復位接地故障（或）過電流故障，如下圖所示，司機員可以通過按下位於司機員座椅後方的開關盤 2 上的”客車供電手動復位”按鈕進行手動復位操作。

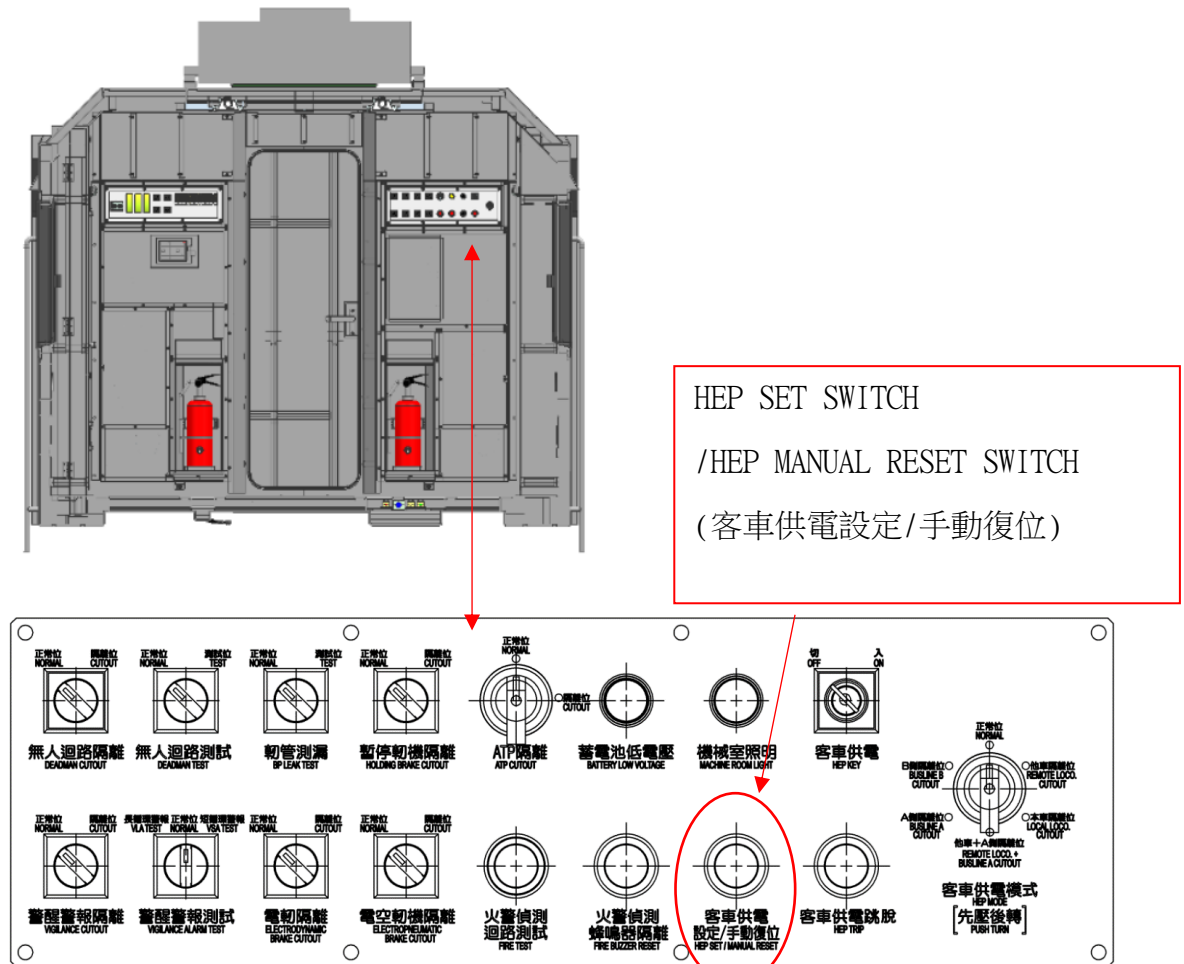


圖 4-11 保護操作隔離位置圖

- 亦或司機員可以從 LCMS 的 DDU 螢幕執行手動復位操作。
當司機員藉由上述過程中按下的手動復位按鈕時，故障的 APU 或 HEP 將再次重新啟動。
如果手動復位操作後故障仍未恢復，則故障的 APU 或 HEP 將再次自動隔離手動復位操作建議不超過 3 次，以免損壞設備。

2.6. APC 控制功能

自動動力控制(APC)設備之目的是在接近中性區間時發出訊號使 APU 與 HEP 自動停止，並在通過中性區間後自動復位。以此可防止在通過中性區間時集電弓和電車線之間發生電弧。

在本案中，APC 將對每個機車分別實施控制。

在中性區間時 APC 會檢測到，並在 TCU 接受到從 APC 發出的訊號後，TCU 會發出狀

態訊號給 APU 和 HEP。

TCU 具有冗餘機制。

通過中性區間時，機車本車輔助供電和客車輔助供電將停止輸出。（不包括蓄電池供電的負載，例如照明）。

但是，VCB 在通過中性區間時不會切開。

此外，如果 APC 系統發生故障無法偵測到 APC 的地上感應器時，則可使用設置於駕駛室的中性區間復位開關（用於中性區間偵測和復位）。

2.7. 客車負載降級模式

當 PCC 水泵故障時，考慮到冷卻性能降低而將隔離該 PCC 的 APU 和 HEP。發生水泵故障時，將切換客車輔助供電的備援操作，尤其是在單機車運轉時。在雙機車推拉運轉時，功能正常的機車將提供客車輔助供電的備援。

TISS 認為，以下備援的建議可確保最有效地利用機車和客車負載。在這種情況下，客車最大負載將被限制在 225kVA。該模式將由機車司機員手動操作位於駕駛室的手動開關。

- 下圖說明 PCC1 內的水泵故障時運作情形
客車負載降級模式(PCC1 內的水泵故障)

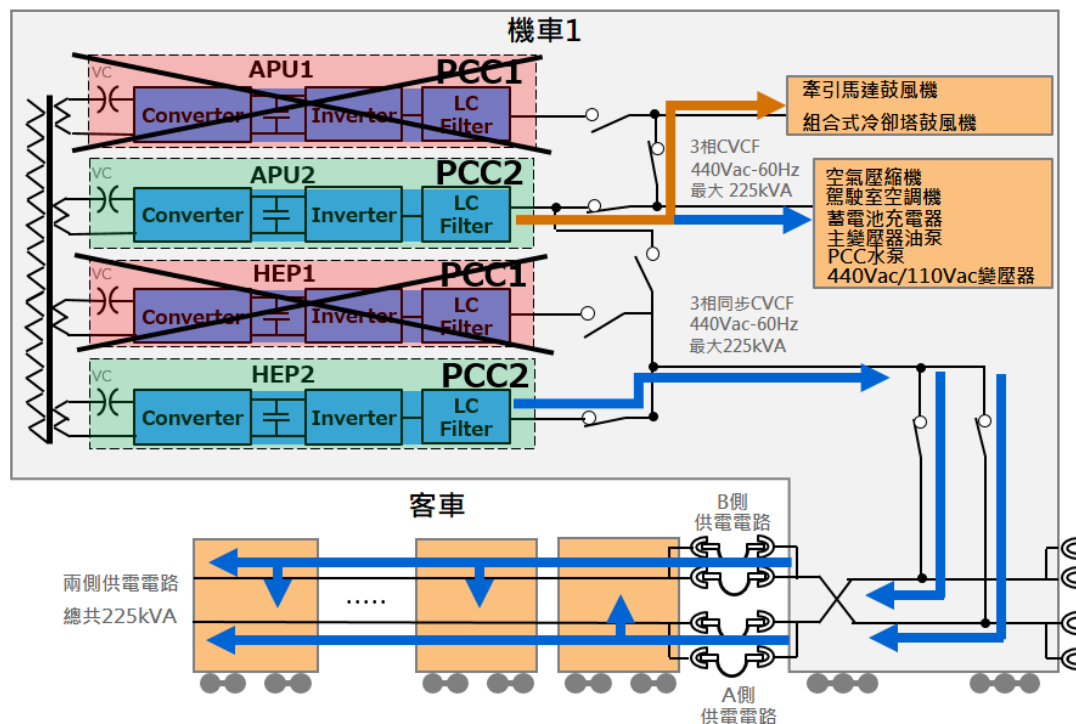


圖 4-12 PCC1 內水泵故障時運作圖表

- 下圖說明 PCC2 內的水泵故障時運作情形。
客車負載降級模式(PCC2 內的水泵故障)

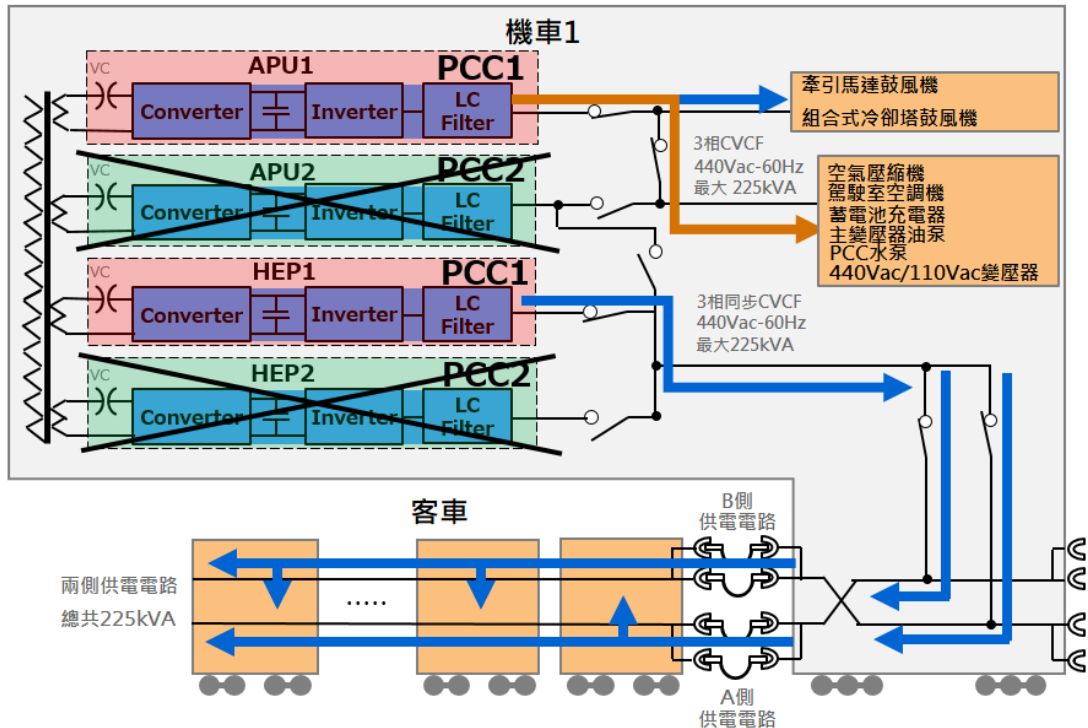


圖 4-13 PCC2 內水泵故障時運作圖表

- 上圖兩種情況，客車供電模式開關都設在「他車隔離位」以送電至兩側的供電電路。
客車供電模式也能選擇送電至單側的供電電路。

2.8. 接觸器箱

每個 APU 與 HEP 連接到輸出側的接觸器(APK11/12 與 HPK11/12)，以將輔助設備與 APU 或 HEP 隔離來保護。

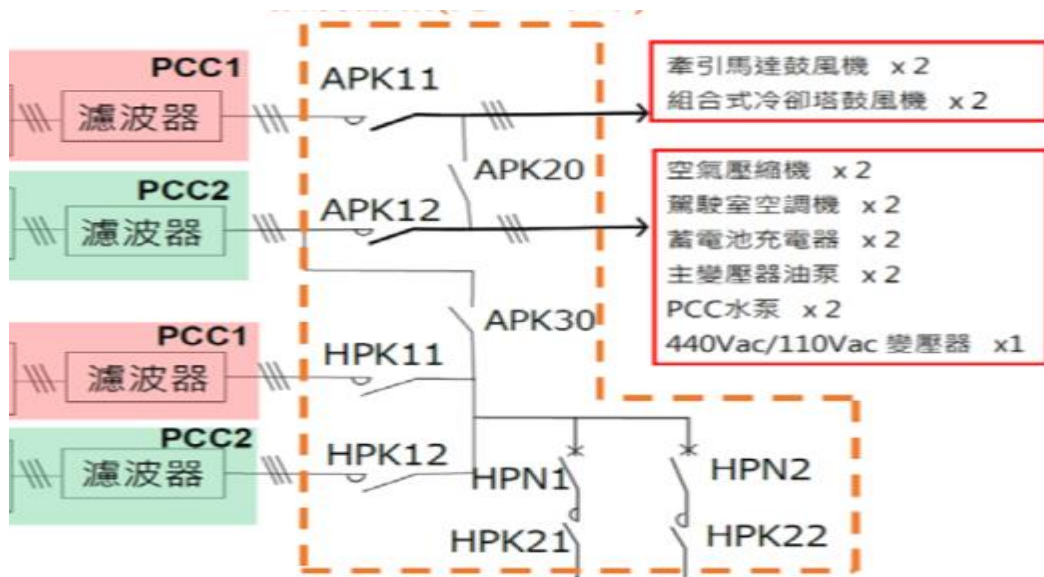


圖 4-14 隔離作用圖

除了每個 APU 與 HEP 上的輸出接觸器外，還包含橋接接觸器(APK20 與 30)，以確保輔助供電系統的備援（接觸器配置請參見圖 5-3），且安裝斷路器以保護 HEP 及供電電路。

由於 PCC 的結構限制，這些接觸器及其繼電器控制及斷路器（HPN）安裝在名為「接觸器箱」的箱體內。為了容易識別所以稱其為「接觸器箱」。根據供電電路需要送電的條件，接觸器 HPK21 至 HPK22 將會閉合。

3. 輔助供電單元

3.1. 設備

輔助供電系統包含以下設備：

- 機車本車輔助供電單元 1 (APU1)

APU1 裝置在 PCC1 內。APU1 通常在 VVVF 模式下操作。在故障模式下，APU1 可以在 CVCF 模式下操作。

- 機車本車輔助供電單元 2 (APU2)

APU2 裝置在 PCC2 內。APU2 在 CVCF 模式下操作。

- 客車輔助供電系統單元 1 (HEP1)

HEP1 裝置在 PCC1 內。HEP1 在 CVCF 模式下操作而且可以與 HEP2 並聯操作。假如 HEP2 失效，HEP1 可以與 APU2 進行並聯操作。

- 客車輔助供電系統單元 2 (HEP2)

HEP2 裝置在 PCC2 內。HEP2 在 CVCF 模式下操作而且可以與 HEP1 並聯操作。假如 HEP1 失效，HEP2 可以與 APU2 進行並聯操作。

- 真空接觸器(K4 和 K5)

每個 APU 和 HEP 的電源輸入側都提供了單極真空接觸器。操作這些真空接觸器來切換 APU 和 HEP 的電源。如果發生嚴重故障，真空接觸器應中斷 APU 或 HEP 的輸入電流。通過切開這些接觸器可以隔離故障的 APC 或 HEP。此外，每個 APU 和 HEP 均設有由接觸器和電阻組成的初始充電迴路。

- LC 濾波器

濾波器由三相電抗器和電容器組成，以 APU 和 HEP 輸出平順的電壓。

- 接觸器 (APK11 到 30, HPK11 到 22)

提供三極電磁接觸器以切換三相交流負載迴路。

- 斷路器 (HPN1 與 HPN2)

將會提供些斷路器來保護 HEP 與供電電路。

- 三相交流電源的跨接電纜

機車的任一端都提供了包括電纜、插頭和插座的跨接電纜。這些跨接電纜包含使用於三相交流電和聯鎖迴路的電纜。

3.2. APU 機車本車輔助供電單元

- APU1 輸出三相交流電以驅動鼓風機馬達。

- 在正常情況下，APU1 的輸出電壓和頻率是可變的。在啟動操作時，電壓和頻率會在一定時間內增加到 440V-60Hz，以降低啟動電流。當可以降低冷卻能力時，APU1 會降低輸出頻率和電壓，以較低的速度驅動鼓風機馬達來降低噪音。

- APU2 提供三相交流電源（440V-60HZ）到其他設備，例如空氣壓縮機、泵、空調機和電池充電器。這些設備需要恆定電壓和恆定頻率的電源。
- APU1 安裝在 PCC1 內，而 APU2 安裝在 PCC2 中。
- 當 APU1 故障時，APK11 與 APU1 前的 K4 會切開以隔離 APU1。APK20 會閉合而 APU2 會以 CVCF 模式供應給所有的機車設備的電源。
- 如果 APU2 故障，APK12 與 APU2 前的 K4 會切開以隔離 APU2。APK20 會閉合而 APU1 會以 CVCF 模式供應給所有的機車設備的電源。
- 若 APU1 或 APU2 其中之一故障，牽引系統與後續說明之 HEP 仍可維持性能，提供機車本車之 APU 輔助供電系統，有足夠之額定功率並承載機車輔助設備起動時之湧浪電流。
- APU 的容量滿足機車本車運轉所需輔助供電容量且大於所需容量總和之 110%。
- APU 輸出交流 440V 三相電源給電力機車輔助負載使用。APU 內部為一個 PWM 整流器、一個 VVVF/CVCF 變流器及一個電容。

3.3. HEP 客車輔助供電單元

- 為了向 P-P 客車提供 440V-3 相交流電，電源供應單元 HEP1 和 HEP2 分別設置在 PCC1 和 PCC2 中。
- HEP1 和 HEP2 的輸出並聯連接。HEP1 和 HEP2 以並聯模式運行，並透過供電電路向 P-P 客車提供 3 相交流電源（440V-60Hz）。
- HEP1 安裝在 PCC1 內而 HEP2 安裝在 PCC2 內。
- 如果 HEP1 失效，HPK11 及 HEP1 前的 K5 會切開以隔離 HEP1。APK30 會閉合然後 APU2 及 HEP2 會對客車負載供電。
- 如果 HEP2 失效，HPK12 及 HEP2 前的 K5 會切開以隔離 HEP2。APK30 會閉合然後 APU2 及 HEP1 會對客車負載供電。
- 提供客車之 HEP 輔助供電系統，能提供 15 輛 PP 客車(三相 440V/60Hz)至少 450KVA 以上所需之電力。且設置真空式接觸器，獨立控制其供電。
- HEP 的容量滿足 PP 客車運轉所需輔助供電且大於所需容量總和之 110%。
- HEP 輸出交流 440V 三相電源給連掛之客車輔助負載使用。
- HEP 內部為一個 PWM 整流器、一個 CVCF 變流器及一個電容。

4. APU/HEP 基本功能

4.1. APU/HEP 主電路說明

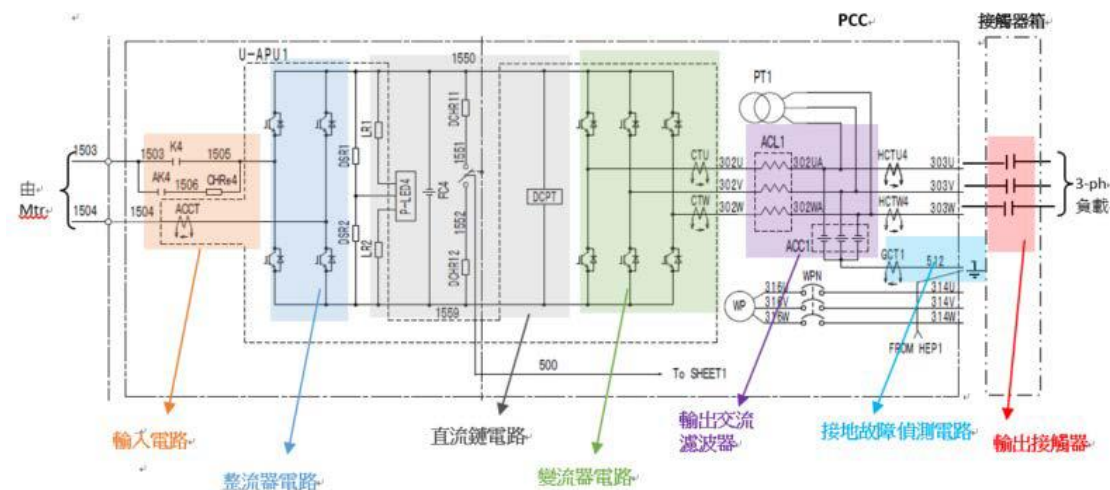


圖 4-15 APU/HEP 主電路作用圖

- 輸入電路

APU、HEP 從主變壓器的三次側繞組接收單相 345Vac 電源。

預充電路由安裝在 APU/HEP 的輸入側的輔助接觸器 (AK) 和充電電阻 (CHRe) 組成，用於對濾波電容器 (FC) 進行預充電。輔助接觸器 (AK) 閉合以進行預充電，充電電阻 (CHRe) 可防止湧浪電流流入濾波電容器 (FC)。

預充電後主接觸器 (K) 將閉合，並在後續的操作中保持主接觸器處於 ON 的位置。該主接觸器在故障情況下將隔離 APU/HEP 電路與主變壓器。

- 整流器電路

整流器電路將來自主變壓器的單相 345Vac 電源轉換為 650Vdc 的直流鏈電壓。採用 PWM 技術的 2 階 IGBT 整流器。無論輸入電壓和輸出負載如何變化，該 PWM 整流器都能保持恆定直流鏈電壓。

電流傳感器用 (ACCT) 於監控 APU/HEP 輸入電流以進行控制和保護。

- 直流鏈電路

併入大容量濾波電容器以吸收整流器產生的漣波。

安裝永久連接的放電電阻 (DSR)，用於在 VCB 切開時對濾波電容電壓進行放電。另一方面，在開始維護作業之前，置入直流鏈接地開關以對濾波電容器進行快速放電。

設置直流電位傳感器 (DCPT) 以監控直流鏈電壓以進行控制和保護。

- 變流器電路

該變流器將 650Vdc 的直流鏈電壓轉換為 3 相 440Vac 輸出，以提供給機車和客車輔助設備。採用 2 階 PWM 控制技術。

變流電路有以下兩種控制方式。

- 變壓變頻 (VVVF)

VVVF 變流器為牽引馬達鼓風機和冷卻塔鼓風機供電。因此，可以通過降低變流器的電壓和頻率來降低鼓風機馬達的速度。此外，可以防止啟動條件下的高湧浪電流。

- 恆壓恆頻 (CVCF) 變流器

CVCF 變流器向其他需要 440Vac 電源的輔助負載供電以確保其運作。

變流器輸出電流傳感器(CTU, CTW)用於監控變流器輸出電流以進行控制和保護。

- 輸出交流濾波電路

輸出交流濾波電路由交流濾波電抗器 (ACL) 和交流電容器 (ACC) 組成。輸出交流濾波器透過提供 3 相正弦波形消除切換漣波和諧波。

- 接地故障偵測電路

APU/HEP 的接地點是交流電容 (ACC) 的中性點。接地電流傳感器(GCT)用於偵測接地故障情況。當 APU/HEP 在輸入側/外部發生任何接地故障檢測時，該接地故障偵測電路可以偵測接地故障情況並將故障 APU/HEP 與主變壓器隔離，讓機車繼續運行。

- 輸出接觸器

輸出接觸器安裝在稱為接觸器箱的單獨的盒子中。變流器輸出電路上的接觸器用於在故障情況下將 APU/HEP 與負載設備隔離。

4.2. PWM 整流器

- 特性

PWM 轉換器將交流電轉換為直流電。

PWM 轉換器的特性包括：

與二極體電橋相比，IGBT 雖然方向相反，但將交流電轉換為直流電。

增加直流輸出電壓幅度大於交流輸入電壓波幅。

即使交流電路側存在電抗，也可以將功率因數控制為 1.0。

即使交流電源和/或直流負載發生變化，也可以控制為恆定直流輸出電壓。

- 使用二極體整流器將交流電轉換為直流電

- 使用 PWM 轉換器將交流電源轉換為直流電源

4.3. PWM 變流器

DC-AC 直流電轉換為交流電。

三相變流器的操作。使用半導體元件開關。

PWM 變流器將 650Vdc 直流電壓轉換為 440Vac 的穩定三相交流電壓。

由於變流器的切換頻率高，可以非常快速跟著電壓。因此，即使輸入電壓發生變化，也能穩定輸出電壓。

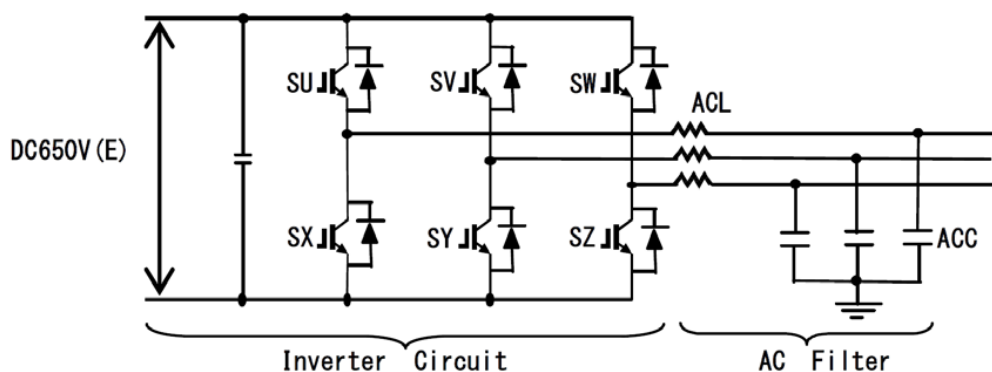


圖 4-16 PWM 整流器作用圖

用上圖所示的電路產生三相交流電的基本方法稱為 180 導通型，如下所述切開/閉合 SU 至 SZ 開關。變流器產生方波輸出電壓，這種失真的輸出波形包含高次諧波，通過交流濾波器使其接近正弦波。

如果 IGBT 切換的 ON/OFF 時序保持恆定，則輸入電壓的變化也會出現在輸出側。因此，必須要根據輸入電壓的變化來控制 IGBT 切換的時序，以保持所需的輸出電壓。變流器採用 PWM 控制方式工作，通過控制 IGBT 切換 ON/OFF 時序來控制輸出電壓。

4.4. PWM 控制

PWM 控制（脈衝寬度調製控制）將方波分成離散部分（脈衝）並控制它們的脈衝寬度，以便減少通過方波較高的次諧波分量使方波接近正弦波。

採用這種 PWM 控制方法，可以通過在輸入電壓變高時減小脈衝寬度和在輸入電壓變低時增大脈衝寬度來將輸出電壓保持在恆定水平。因此，可以透過相對於輸入電壓和/或負載的變化改變脈衝寬度（ON/OFF 時間比：調變比），將輸出電壓控制在固定水平。下圖中僅顯示 5 個脈衝為例。然而，實際操作上的脈衝數量會更多。

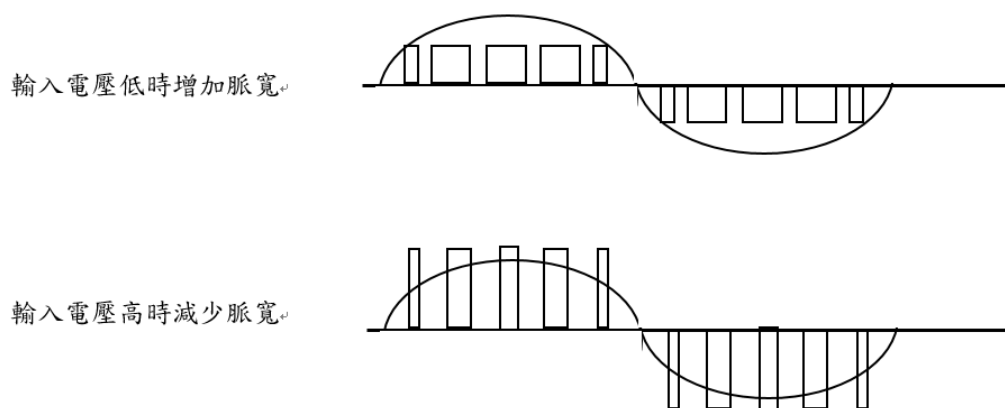


圖 4-17 PWM 控制的操作原則

4.5. 接觸器 AK 與 K 控制控制順序

- AK 與 K 閉合

在 VCB 閉合後且滿足沒有操作手動隔離開關的情況下，對於安裝在直流鏈電路上的濾波電容器(FC)進行初始充電期間 APU/HEP 會閉合輔助接觸器(AK)。

然後，FC 經由 AK 接觸器充電。當直流鏈電壓達到預定的設定值時，APU/HEP 閉合主接觸器(K)並啟動整流器閘極操作，然後 AK 將被切開。APU/HEP 在直流鏈電壓達到 610Vdc 後啟動變流器閘極操作。

AK 與 K 的控制迴路如下圖所示。

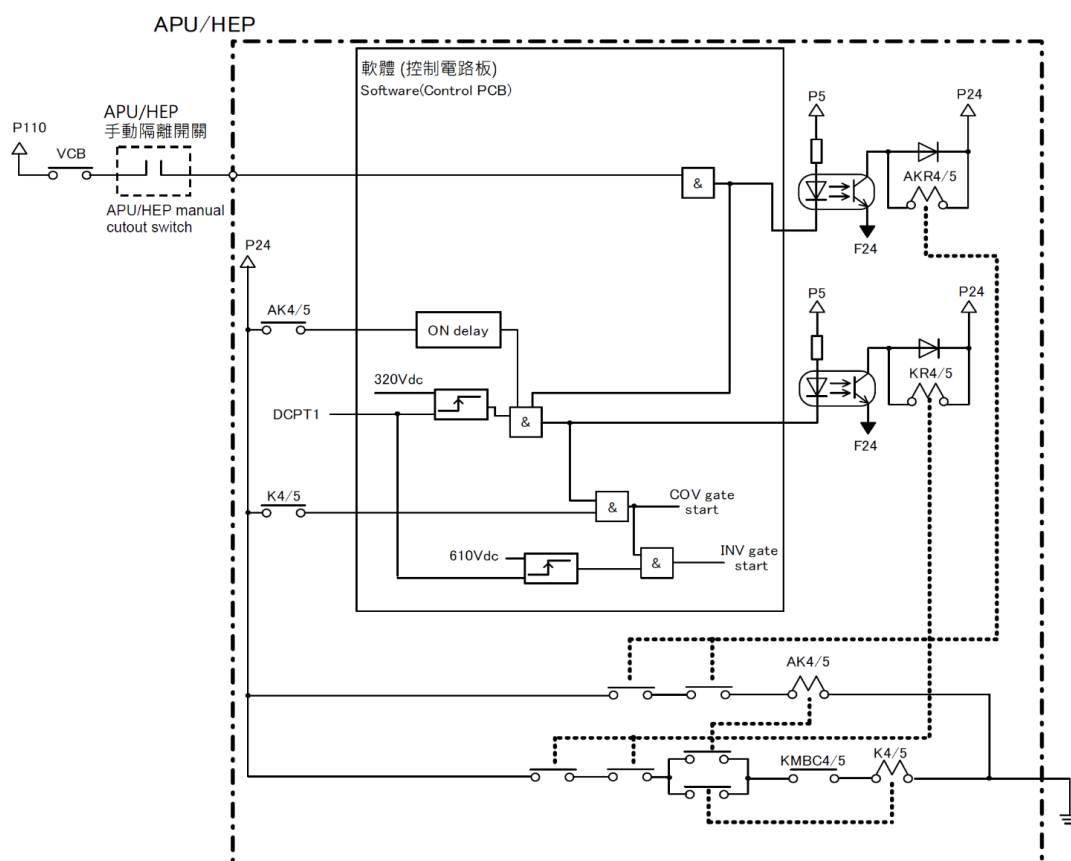


圖 4-18 接觸器 AK 與 K 控制控制順序

- **AK 與 K 切開**

AK 在 K 閉合 150ms 後切開。

當下面其中一個條件發生時，K 會切開。

讓 K 切開的保護操作

VCB 不閉合

手動隔離操作

5. APU/HEP 操作 (控制/動作/運行) 時序

本章節提供 APU 與 HEP 在不同操作條件下啟動與停止的順序。

5.1. APU1 與 APU2 啟動與停止的順序

本節涵蓋了在正常狀況下啟動與停止的順序。

啟動：APU/HEP 偵測到啟動指令時啟動。

停止：APU/HEP 透過按壓 LCMS 顯示器上的手動隔離(Cutout)操作按鍵 (或) 透過操作控制台上的手動隔離開關來停止。

除了啟動命令外，還需要滿足以下條件才能啟動 APU/HEP。

由於 APU 和 HEP 順序將由控制 PCB 執行。供給控制電源 (DC110V) 的蓄電池要啟動

APU/HEP 沒有故障

交流輸入電壓大於 236Vac

- **APU1 啟動與停止順序**

正常條件下，下面圖示表示 APU1 啟動與停止順序。

- ① APU1 接收包含 VCB 啟動控制邏輯的啟動命令。所以，只要 VCB 處於閉合狀態，APU1 就會接收啟動命令。
- ② 初始，AK 接觸器啟動對濾波電容器進行預充電以防止湧浪電流
- ③ 一旦濾波電容電壓達到預先設定的值，接觸器 K 就會閉合。
- ④ 整流器閘極會在接觸器 K 閉合後啟動。
- ⑤ 濾波電容器電壓會增加並維持在 650Vdc。
- ⑥ 由於 APU1 對負載以 VVVF 供電，接觸器 APK11 將被閉合以確保啟動 VVVF 供電給負載。
- ⑦ 在 APK11 閉合後，將會啟動變流器閘極。
- ⑧ 變流器閘極啟動後，APU1 輸出電壓增加，大約需要 15 秒能達到 440Vac。
- ⑨ 如果司機員執行操作手動隔離了 APU1，則 APU1 的停止動作則會如下圖所示。

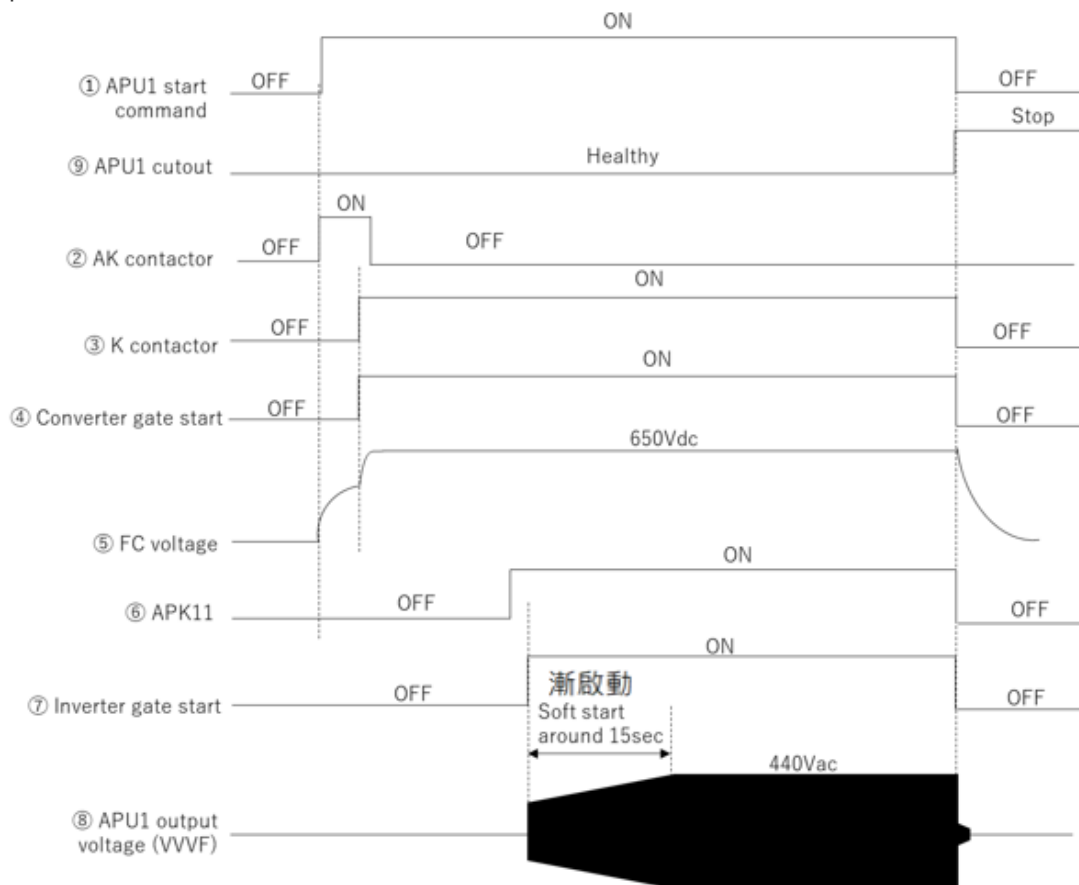


圖 4-19 APU1 啟動與停止順序

● APU2 啟動與停止順序

正常條件下，下面圖示表示 APU2 啟動與停止順序。

- ① APU2 接收包含 VCB 啟動控制邏輯的啟動命令。所以，只要 VCB 處於閉合狀態，APU2 會接收啟動命令。
- ② 初始，AK 接觸器啟動對濾波電容器進行預充電以防止湧浪電流
- ③ 一旦濾波電容電壓達到預先設定的值，接觸器 K 就會閉合。
- ④ 整流器閘極會在接觸器 K 閉合後啟動。

- ⑤ 濾波電容器電壓會增加並維持在 650Vdc。
- ⑥ 由於 APU2 對負載以 CVCF 供電，將啟動變流器閘極操作以建立輸出電壓。
- ⑦ APU2 以漸啟動方式在約 1 秒將輸出電壓提高至 440Vac。
- ⑧ 一旦 APU2 電壓到達，之後接觸器 APK12 將閉合以確保提供恆定電壓給負載。
- ⑨ 如果司機員執行操作手動隔離了 APU2，則 APU2 的停止動作則會如下圖所示。

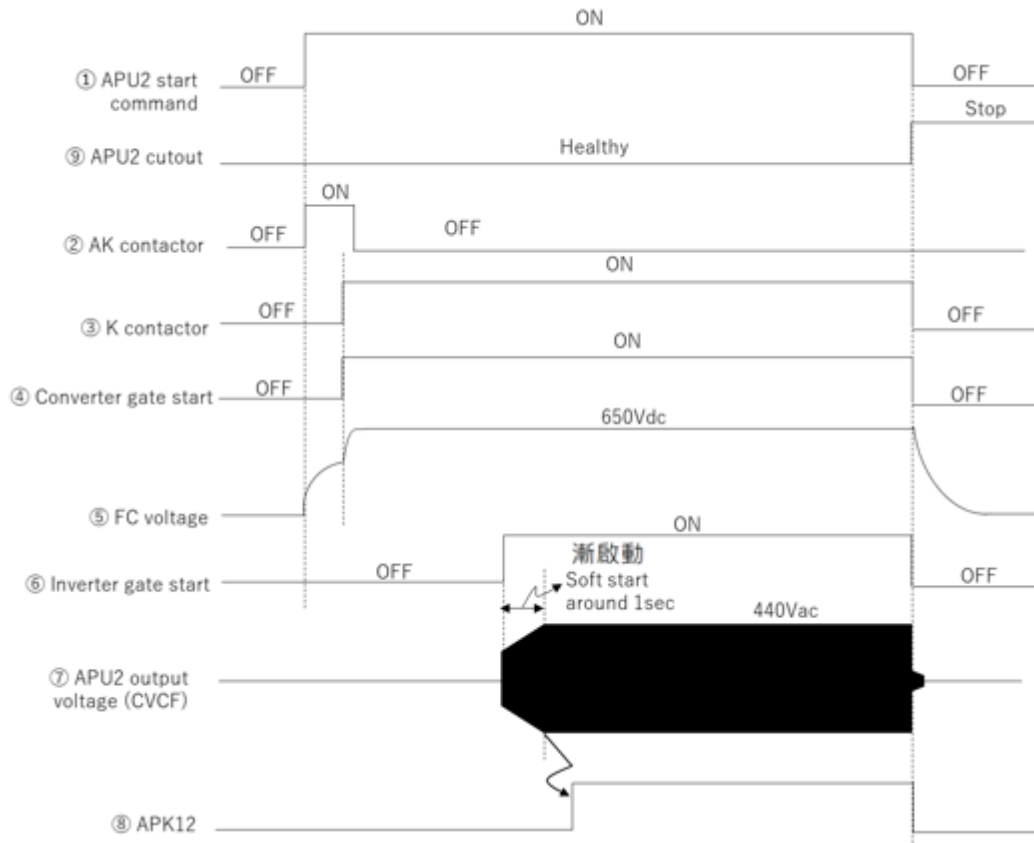


圖 4-20 APU2 啟動與停止順序

5.2. HEP1 和 HEP2 並聯運行系統的啟動順序

- 並聯運行的操作原則

並聯運行時需要調整交流電壓的相位和幅值，以便為負載提供所需的電源。HEP1 和 HEP2 透過控制交流電壓的波幅和相位來執行並聯運行，從而使 HEP 之間的無功電流和有功電流最小化。控制 PCB 根據輸出電流計算有功電流和無功電流。在相位和波幅不平衡的情況下，有功電流和無功電流分別在 HEP1 和 HEP2 之間流動。

對於相位不平衡，將使用輸出電流的有功電流來調整輸出電壓的頻率。對於波幅不平衡，將利用輸出電流的無功電流來調整輸出電壓的波幅。

並聯運行時，在 HPK11 閉合後，主要 HEP(HEP1)先行啟動輸出正弦波形至 HEP 的輸出電路。HEP2 為次要 HEP，隨之啟動並與 HEP 輸出電壓的波形相位同步，達成同步後，HPK12 將會閉合而供電至 HEP 輸出電路。

若其中一個 HEP 故障，則 APU2 擔任主要 HEP，正常之 HEP 擔任次要 HEP。

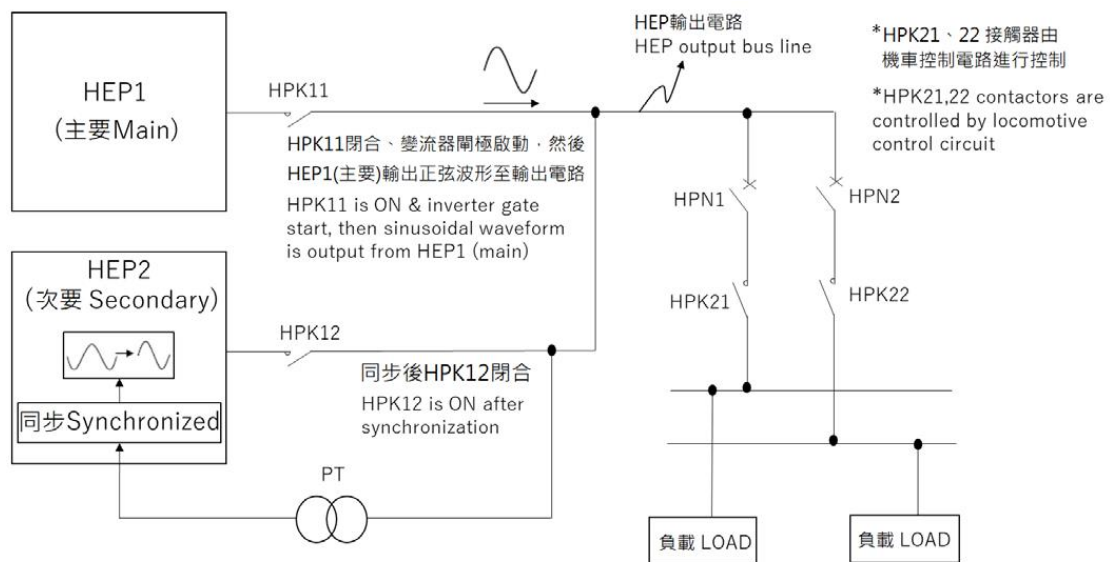


圖 4-21 HEP1 和 HEP2 並聯運行系統的啟動順序

● 並聯運行系統運行順序

下圖為正常情況下客車負載並聯運行系統的運行順序。

根據上節所說明的並聯運行，變流器閘極啟動和接觸器閉合條件如下圖所示並說明如下。

- ① HEP1 與 HEP2 接收包含 VCB 閉合控制邏輯在內的啟動指令，也就是當 VCB 在閉合態下，HEP1 與 HEP2 會接受到啟動訊號。
- ② 為防止湧浪電流，初期輔助接觸器 AK 會閉合對濾波電容器進行預充電。
- ③ 當濾波電容器的電壓達到預設值後，主接觸器 K 會閉合。
- ④ HEP1 與 HEP2 整流器閘極會隨著主接觸器閉合而啟動。
- ⑤ 濾波電容器的電壓上升至並維持在 650Vdc。
- ⑥ 當 HEP1 為主要 HEP 時，接觸器 HPK11 將會閉合。
- ⑦ 接觸器 HPK11 閉合後，HEP1 的變流器閘極將會啟動。
- ⑧ HEP1 變流器閘極啟動後，HEP1 會有約 1 秒的漸啟動並最終將輸出電壓上升至 440Vac。
- ⑨ 當 HEP1 的輸出電壓上升並達到 440Vac 後，HEP2 變流器閘極將會開始進行運作。
- ⑩ HEP2 變流器閘極啟動後，HEP2 會有約 1 秒的漸啟動並最終將輸出電壓上升至 440Vac，並 HEP2 會成為次要 HEP 並開始同步與 HEP1 的輸出電壓。
- ⑪ 在 HEP2 達成與 HEP1 的輸出電壓同步後，接觸器 HPK12 將會閉合並開始供電至 HEP 供電電路。
- ⑫ 開始向 HEP 供電線輸出供電電壓。
- ⑬ 如果司機員執行操作手動隔離了 HEP1&HEP2，則 HEP1&HEP2 將會如下圖所示停止運作

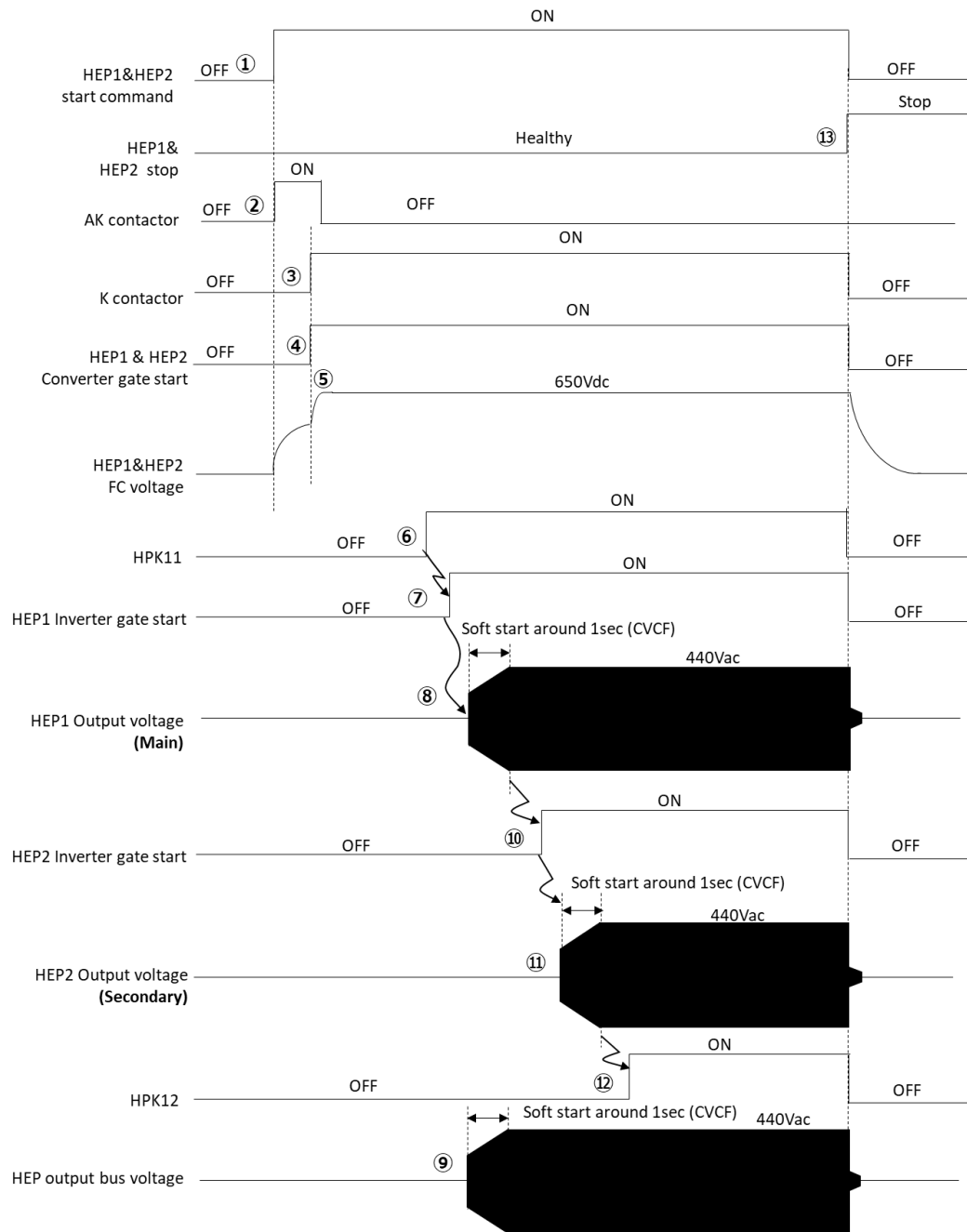


圖 4-22 並聯運行系統運行順序

5.3. 保護動作時序

下圖為偵測到 APU/HEP 故障時的保護動作時序。

如果出現故障，APU/HEP 經由切開 K、轉換器/變流器 IGBT 閘極和 APK/HPK 來啟動保護操作以隔離電路。

APU/HEP 具有自動復位操作，避免因短時間干擾而誤檢測。這表示如果檢測到任何故障，APU/HEP 將停止運行約 10 秒並自動重新啟動，如下圖所示。

然而，若是在自動重新啟動 600 秒之內重複偵測到故障，則 APU/HEP 系統將自動隔離且無法再次重新啟動直至實施保護動作復位為止。

如果在 APU/HEP 被自動隔離時司機員操作手動隔離開關，則故障 APU/HEP 會維持在停止狀態。

若是自動重新啟動的 600 秒之內未再偵測到故障，則保護動作時序將會重置，系統重設在保護動作時序的初始狀態。

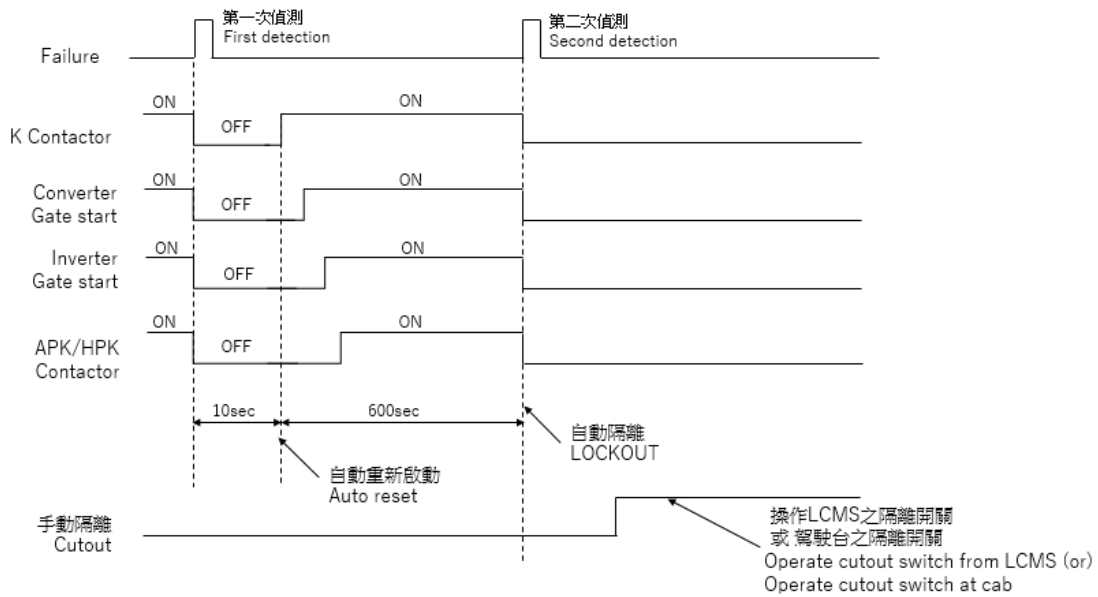


圖 4-23 保護動作時序

備註：有些故障需要在 600 秒內進行兩次或多次檢測以避免誤檢測。

5.4. APU/HEP 故障時的操作時序

本節包含 APU/HEP 不同故障條件下的操作順序。APU/HEP 根據系統中的故障行為控制輸出接觸器。因此，由接觸器聯鎖系統確保備用電源。

PCC1 與 PCC2 設置”水壓開關(WPS)”以偵測水流狀態。APU 和 HEP 從水壓開關得知水流狀態。

當 APU1 或 APU2 或 HEP1 或 HEP2 發生故障，全部 APU1、APU2、HEP1 和 HEP2 的變流器閘極將會停止以切換機車本車負載的供電模式。

當 APU1 故障時，則由 APU2 供電給機車本車之 VVVF 以及 CVCF 負載。APU2 以漸進方式啟動，以降低 VVVF 負載的湧浪電流，然後升高並維持恆壓恆頻，以保持 CVCF 負載的穩定運作。

當 APU2 故障時，則由 APU1 供電給機車本車之 VVVF 以及 CVCF 負載。APU1 以漸進方式啟動，以降低 VVVF 負載的湧浪電流，然後升高並維持恆壓恆頻，以保持 CVCF 負載的穩定運作。

當 HEP1 或 HEP2 之一故障時，則由 APU1 供電給機車本車之 VVVF 以及 CVCF 負載。APU1 以漸進方式啟動，以降低 VVVF 負載的湧浪電流，然後升高並維持恆壓恆頻，以保持 CVCF 負載的穩定運作。並由 APU2 和正常的 HEP 並聯供電給客車負載。

當 APU1 變流器閘極停止時，APK11 接觸器將會切開；當 APU2 變流器閘極停止時，APK12 接觸器將會切開。此為 TISS 之標準操作時序。

● 在正常狀況下 **APU/HEP** 的操作時序

在正常狀況下 APU/HEP 的操作時序如下：

- ① APK11 將閉合
- ② 啟動 APU1 操作，漸啟動，VVVF 負載的供電需要大約 15 秒才能達到 440Vac。
- ③ 啟動 APU2 對 CVCF 負載供電。
- ④ 當電壓達到 440Vac 後，APK12 將閉合對 CVCF 負載供電。
- ⑤ 在正常狀況下，APK20 將在切開的狀態。
- ⑥ 在正常狀況下，APK12 閉合後，水壓開關(WPS)會偵測到 PCC1 和 PCC2 的水流量正常。
- ⑦ 當 PCC 的水泵流量確認後，HPK11 將閉合。
- ⑧ 在 HPK11 閉合後，HEP1 啟動而擔任「主要 HEP」，HEP1 的輸出電壓升至 440Vac。
- ⑨ 在與 HEP 輸出電路的電壓同步後，HEP2 擔任「次要 HEP」開始運行。
- ⑩ 當 HEP2 的輸出電壓到達 440Vac 後，HPK12 接觸器將閉合。
- ⑪ 在正常狀況下，APK30 是在切開的狀態。
- ⑫ HPK21/22 接觸器由機車系統電路控制，這些接觸器在識別 HEP1 和 HEP2 電壓後閉合。

⑬ 為客車負載提供所需的電源。

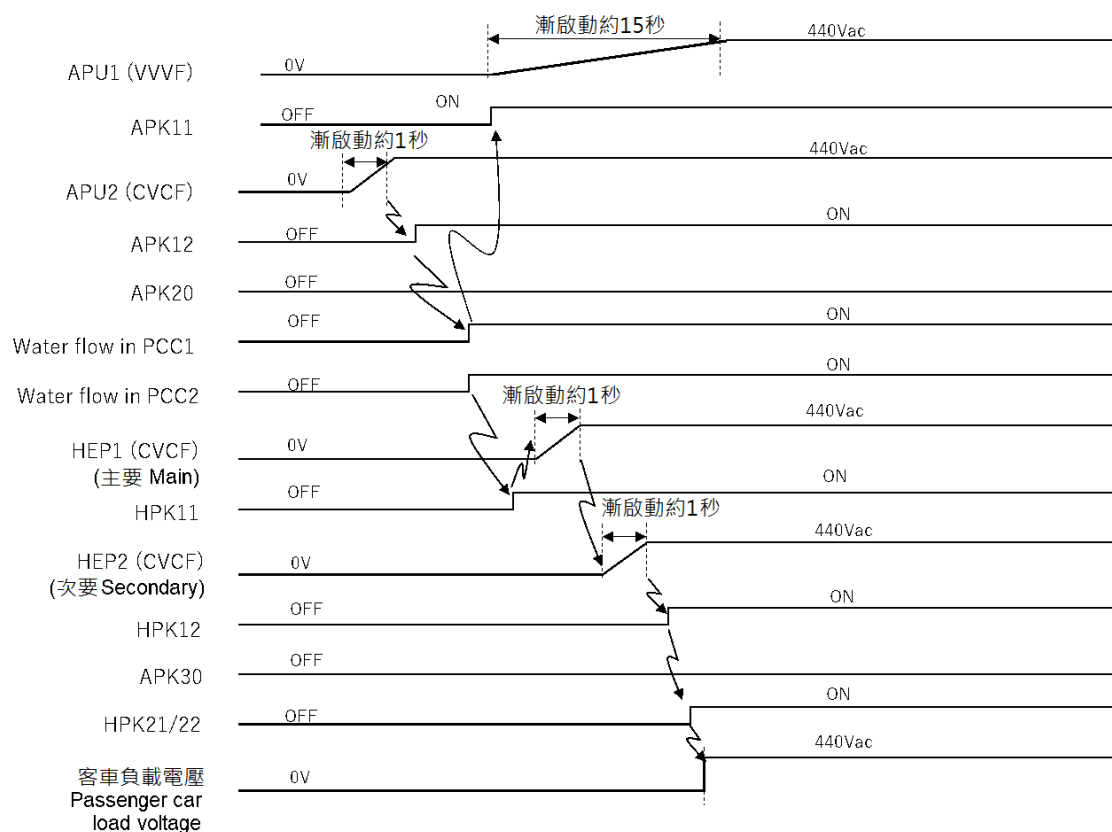


圖 4-24 正常條件下 APU/HEP 操作時序

- 在 APU2 自動隔離狀況下 APU/HEP 的操作時序

在 APU2 自動隔離狀況下 APU/HEP 的操作時序如下：

- ① APU2 發生重大故障時(請見 DDR-輔助供電系統技術規格(EL68-APS-DD-0002[DS4-DD-EA2723-36])附件 3：APU/HEP 保護方案)，APU2 會被自動隔離。
- ② 接觸器 APK12 會切開以停止 APU2 運行，為了進行機車本車負載的備援切換，功能正常的 APU1、HEP1 與 HEP2 也將會藉由 APK11、HPK11 與 HPK12 的切開來停止運行。
- ③ 然後，APK11 將會閉合。
- ④ 接著 APK20 閉合以連接 APU1 到 CVCF 負載，以使全部的機車本車負載都連接到 APU1 的輸出電路。
- ⑤ APU1 的操作與正常條件下的操作相同(15 秒左右的漸啟動)。
- ⑥ APU1 的輸出電壓升至 440Vac 且水泵啟動後，水壓開關(WPS)會偵測到 PCC1 和 PCC2 的水流量正常。
- ⑦ 當 PCC 的水泵流量確認後，HPK11 將閉合。
- ⑧ 在 HPK11 閉合後，HEP1 啟動而擔任「主要 HEP」，HEP1 的輸出電壓升至 440Vac。
- ⑨ HEP2 啟動擔任「次要 HEP」，與 HEP 輸出電路的電壓進行同步。
- ⑩ 當與 HEP 輸出電路的電壓達成同步後，HPK12 接觸器將閉合。
- ⑪ 在 APU2 故障狀況下，APK30 會在切開狀態。
- ⑫ HPK21/22 接觸器由機車系統電路控制，這些接觸器在識別 HEP1 和 HEP2 電壓後閉合。

⑬ 然後為客車負載提供所需的電源。

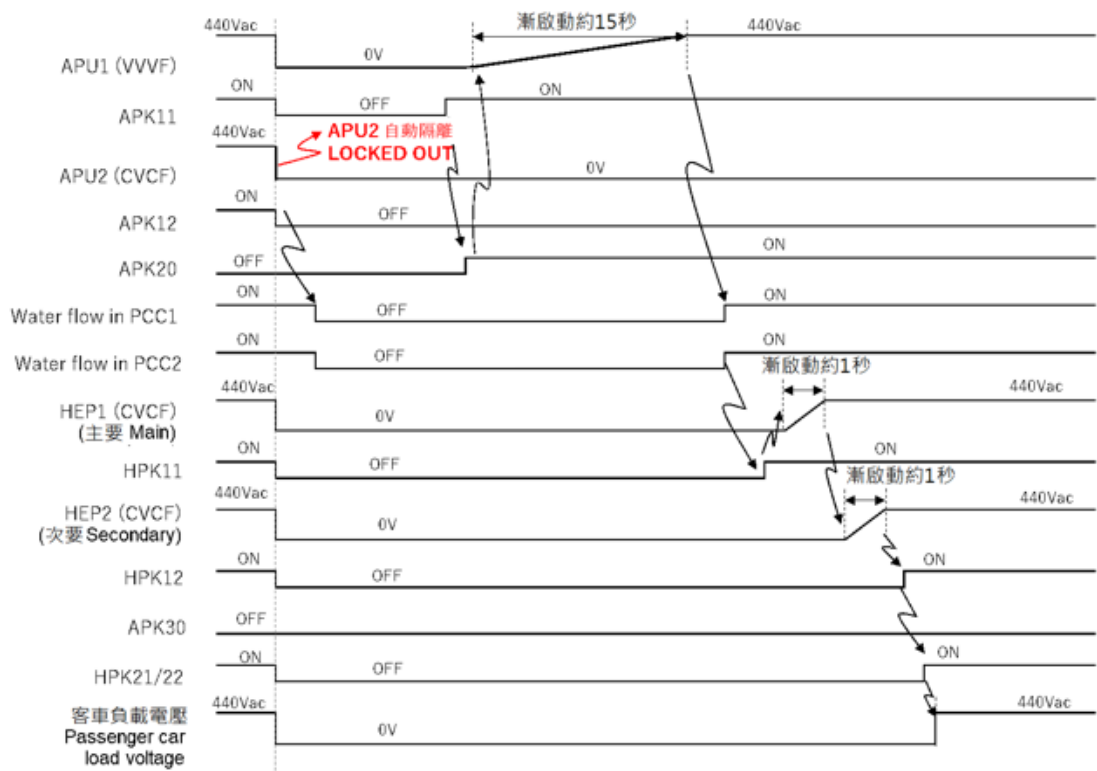


圖 4-25 在 APU2 自動隔離狀況下 APU/HEP 的操作時序

- 在 HEP1 自動隔離狀況下 APU/HEP 的操作時序
在 HEP1 自動隔離狀況下 APU/HEP 的操作時序如下：
① HEP1 發生重大故障時(請見 DDR-輔助供電系統技術規格(EL68-APS-DD-0002[DS4-DD-EA2723-36])附件 3：APU/HEP 保護方案) HEP1 會被自動隔離。
② 接觸器 HPK11 會切開以停止 HEP1 運行。
為了進行機車本車負載的備援切換，功能正常的 APU1、APU2 與 HEP2 也將會藉由 APK11、APK12 與 HPK12 的切開來停止運行。
③ 然後，APK11 將會閉合。
④ 接著 APK20 閉合以連接 APU1 到 CVCF 負載(由於 APU2 會與 HEP2 並聯供電給客車負載)，以使全部的機車本車負載在 HEP1 被自動隔離時都連接到 APU1 的輸出電路。
⑤ APU1 的操作與正常狀況下的操作相同(15 秒左右的漸啟動)。
⑥ APU1 的輸出電壓升至 440Vac 且水泵啟動後，水壓開關(WPS)會偵測到 PCC1 和 PCC2 的水流量正常。
⑦ 當 PCC1 和 PCC2 的水泵流量確認後，APK30 將閉合。
⑧ 在 APK30 閉合後，APU2 啟動而擔任「主要 HEP」，APU2 的輸出電壓升至 440Vac。
⑨ HEP2 啟動擔任「次要 HEP」，與 HEP 輸出電路的電壓進行同步。
⑩ 當與 HEP 輸出電路的電壓達成同步後，HPK12 接觸器將閉合。
⑪ 在 HEP1 故障條件下，APK12 會在切開狀態。
⑫ HPK21/22 接觸器由機車系統電路控制，這些接觸器在識別 APU2 和 HEP2 電壓後閉合。

⑬ 然後為客車負載提供所需的電源。

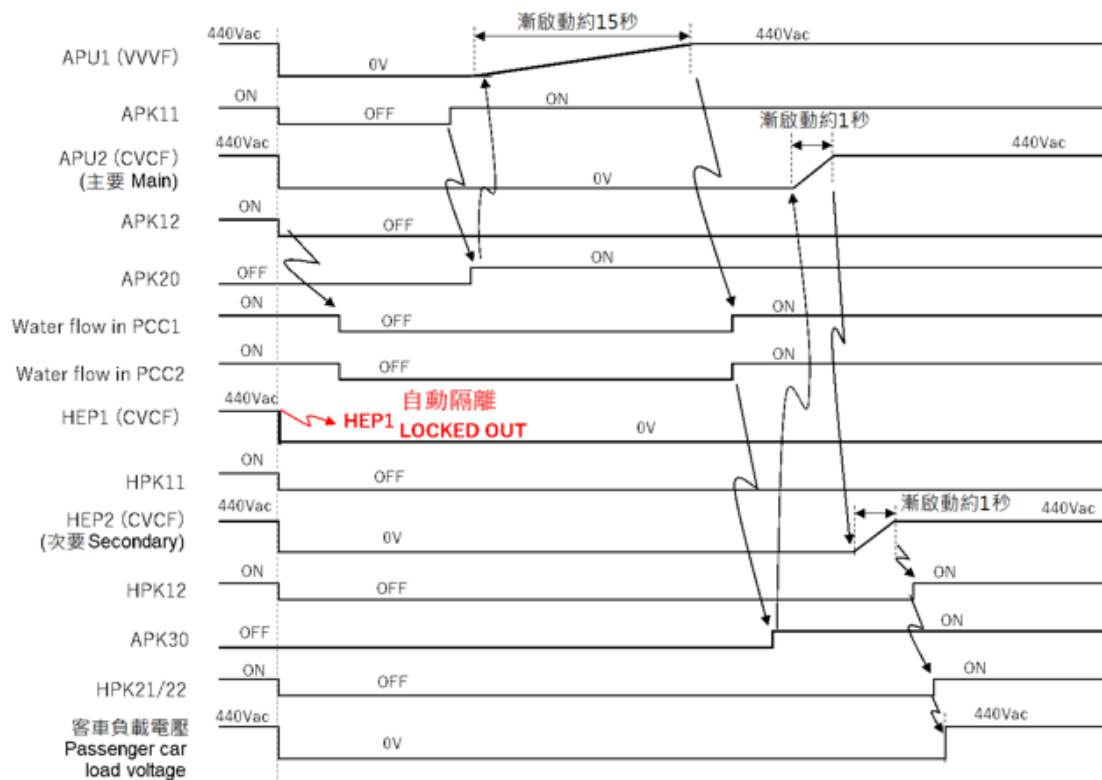


圖 4-26 在 HEP1 自動隔離狀況下 APU/HEP 的操作時序

- 在 HEP2 自動隔離狀況下 APU/HEP 的操作時序
在 HEP2 自動隔離狀況下 APU/HEP 的操作時序如下：
① HEP2 發生重大故障時(請見 DDR-輔助供電系統技術規格(EL68-APS-DD-0002[DS4-DD-EA2723-36])附件 3：APU/HEP 保護方案) HEP2 會被自動隔離。
② 接觸器 HPK12 會切開以停止 HEP2 運行。
③ 為了進行機車本車負載的備援切換，其他功能正常的 APU1、APU2 與 HEP1 也將會藉由各自之 APK11、APK12 與 HPK11 的切開來停止運行。
④ 然後，APK11 將會閉合，接著 APK20 閉合以連接 APU1 到 CVCF 負載(由於 APU2 會與 HEP1 並聯供電給客車負載)，以使全部的機車本車負載在 HEP2 自動隔離時都連接到 APU1 的輸出電路。
⑤ APU1 的操作與正常狀況下的操作相同(15 秒左右的漸啟動)。
⑥ APU1 的輸出電壓升至 440Vac 且水泵啟動後，水壓開關(WPS)會偵測到 PCC1 和 PCC2 的水流量正常。
⑦ 當 PCC1 和 PCC2 的水泵流量確認後，APK30 將閉合。
⑧ 在 APK30 閉合後，APU2 啟動而擔任「主要 HEP」，APU2 的輸出電壓升至 440Vac。
⑨ HEP1 啟動擔任「次要 HEP」，與 HEP 輸出電路的電壓進行同步。
⑩ 當與 HEP 輸出電路的電壓達成同步後，HPK11 接觸器將閉合。
⑪ 在 HEP2 故障條件下，APK12 會在切開狀態。
⑫ HPK21/22 接觸器由機車系統電路控制，這些接觸器在識別 APU2 & HEP1 電壓後閉合。
⑬ 然後為客車負載提供所需的電源。

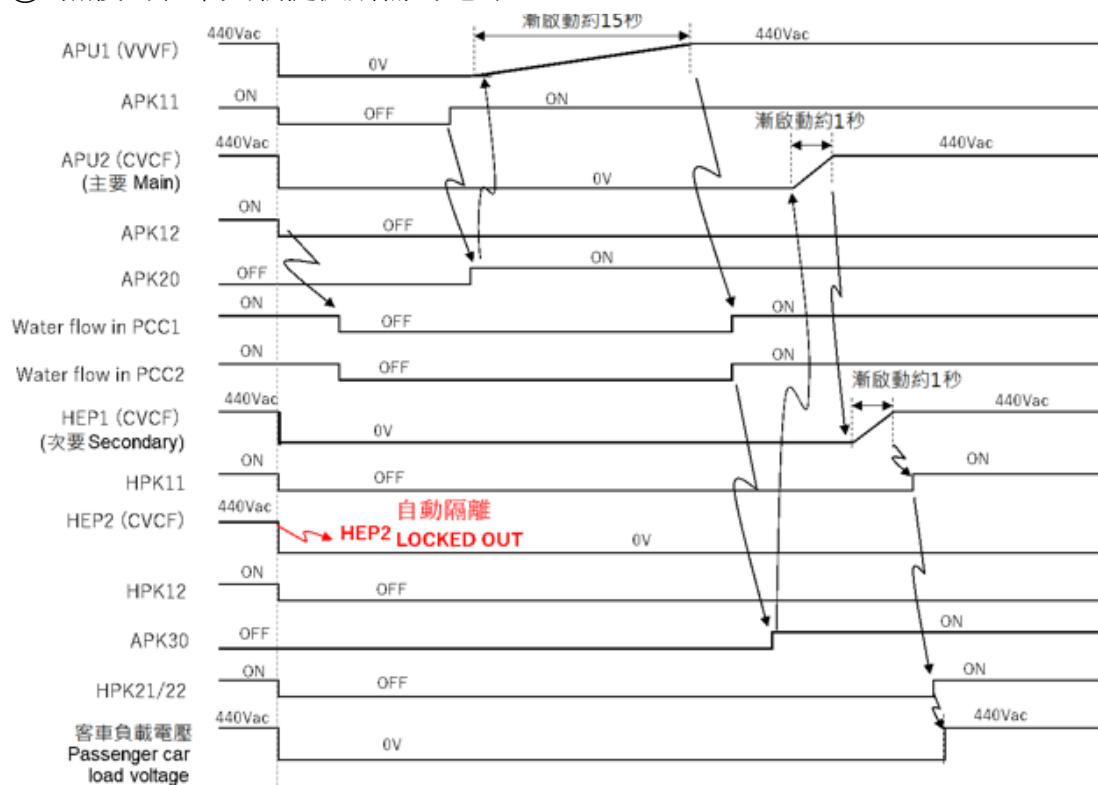


圖 4-27 在 HEP2 自動隔離狀況下 APU/HEP 的操作時序

- 在 PCC1 的水泵失效狀況下 APU/HEP 的操作時序
在 PCC1 的水泵失效狀況下 APU/HEP 的操作時序如下：
 - ① PCC1 水泵失效。
 - ② APK11 與 HPK11 會切開。
 - ③ APU1 與 HEP1 運行停止。
- 為了進行機車本車與客車負載的備援切換，其他功能正常的 APU2 與 HEP2 也將會藉由各自之 APK12 與 HPK12 的切開來停止運行。
- ④ APU2 自動備援供電給全部的機車本車負載；APK12 閉合。
 - ⑤ 然後 APK20 閉合以啟動 APU2 供電給全部的機車本車負載。
 - ⑥ 考慮到 VVVF 負載，APU2 啟動方式變更為 15 秒左右的漸啟動，以避免高湧浪電流。
 - ⑦ APU2 的輸出電壓升至 440Vac 且水泵啟動後，水壓開關(WPS)會偵測到 PCC2 的水流量正常。
 - ⑧ 駕駛員必須操作位於駕駛台的 APU 與 HEP 手動隔離開關來隔離 APU1 與 HEP1，以啟動客車負載降低指令至 HEP2 以及客車負載控制電路。
 - ⑨ 當 HEP2 接收到客車降載指令，並偵測到 PCC2 水泵流量正常後，HPK12 接觸器將被閉合。
 - ⑩ HEP2 啟動並對客車進行降低負載的運行。
 - ⑪ HPK21/22 接觸器由機車系統電路控制，這些接觸器在識別 HEP2 電壓後閉合。
 - ⑫ 然後為客車以降低負載提供電源。

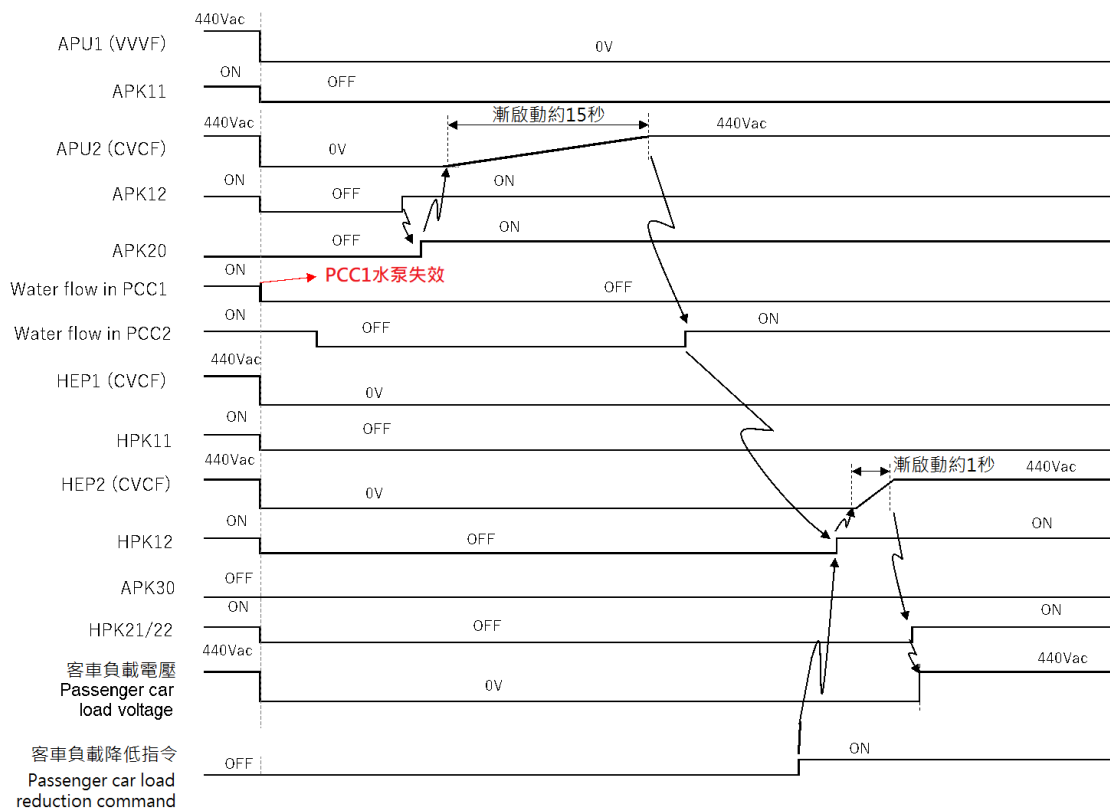


圖 4-28 PCC1 的水泵失效狀況下 APU/HEP 的操作時序

- 在 PCC2 的水泵失效狀況下 APU/HEP 的操作時序
在 PCC2 失效狀況下 APU/HEP 的操作時序如下：

- ① PCC2 水泵失效
- ② APK12 與 HPK12 會切開
- ③ APU2 與 HEP2 停止運行。

為了進行機車本車與客車負載的備援切換，其他功能正常的 APU1 與 HEP1 也將會藉由各自之 APK11 與 HPK11 的切開來停止運行。

- ④ APU1 自動備援供電給全部的機車本車負載，APK11 閉合。
- ⑤ APK20 閉合以啟動 APU1 供電給全部的機車本車負載。
- ⑥ APU1 正常啟動，以 15 秒左右的漸啟動。
- ⑦ APU1 的輸出電壓升至 440Vac 且水泵啟動後，會偵測到 PCC1 的水流量正常。
- ⑧ 駕駛員必須操作位於駕駛台的 APU2 與 HEP2 手動隔離開關以啟動客車負載降低指令至 HEP1 以及客車負載控制電路。
- ⑨ 當 HEP1 接收到客車降載指令，並水壓開關(WPS)偵測到 PCC1 水泵流量正常後，HPK11 接觸器將被閉合。
- ⑩ HEP1 啟動並對客車進行降低負載的運行。
- ⑪ HPK21/22 接觸器由機車系統電路控制，這些接觸器在識別 HEP1 電壓後閉合，
- ⑫ 然後為客車以降低負載提供電源。

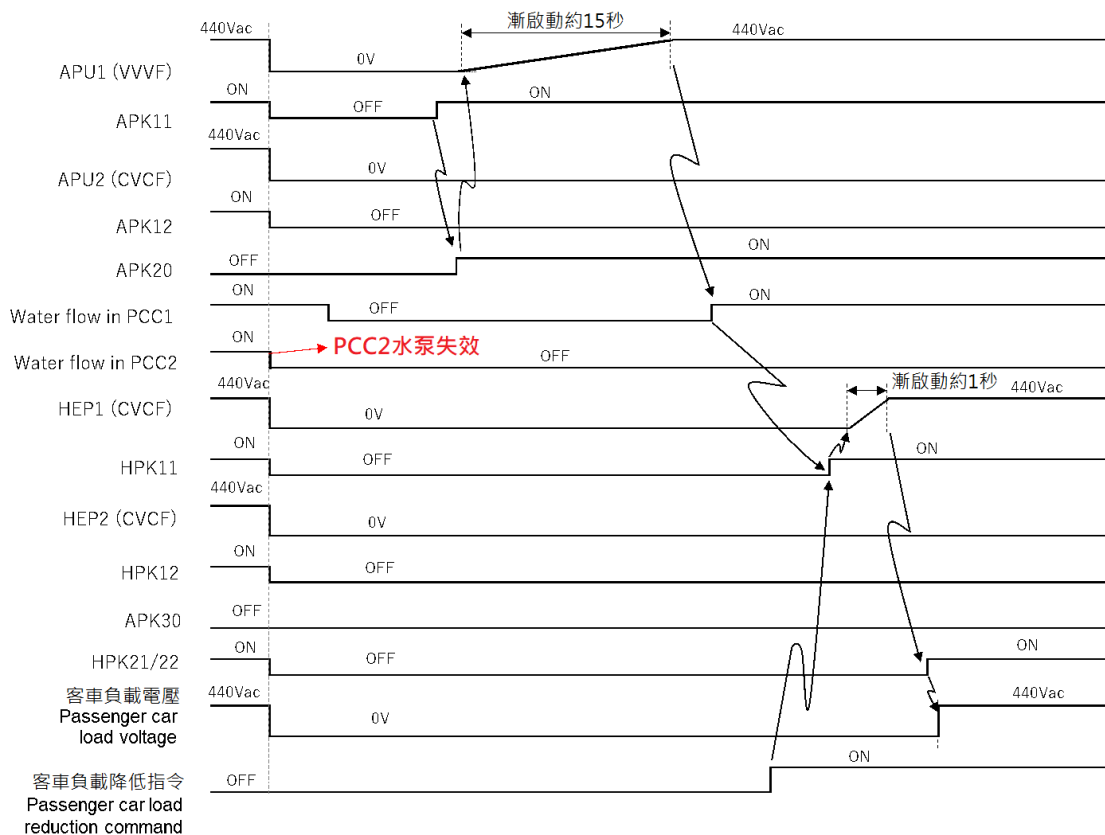


圖 4-29 PCC2 失效狀況下 APU/HEP 的操作時序

5.5. 中性區間時序

APU/HEP 由 MPU 接收中性區間訊號。在機車通過中性區間前，APC 系統偵測到中性區間之前的地上感應器，中性區間訊號切換為 ON，直到機車通過中性區間後 APC 系統偵測到中性區間之後的地上感應器。

通過中性區間時，APU/ HEP 停止運作，直到中性區間訊號切換為 OFF 之後 APU/HEP 復位恢復運作，如下圖所示。

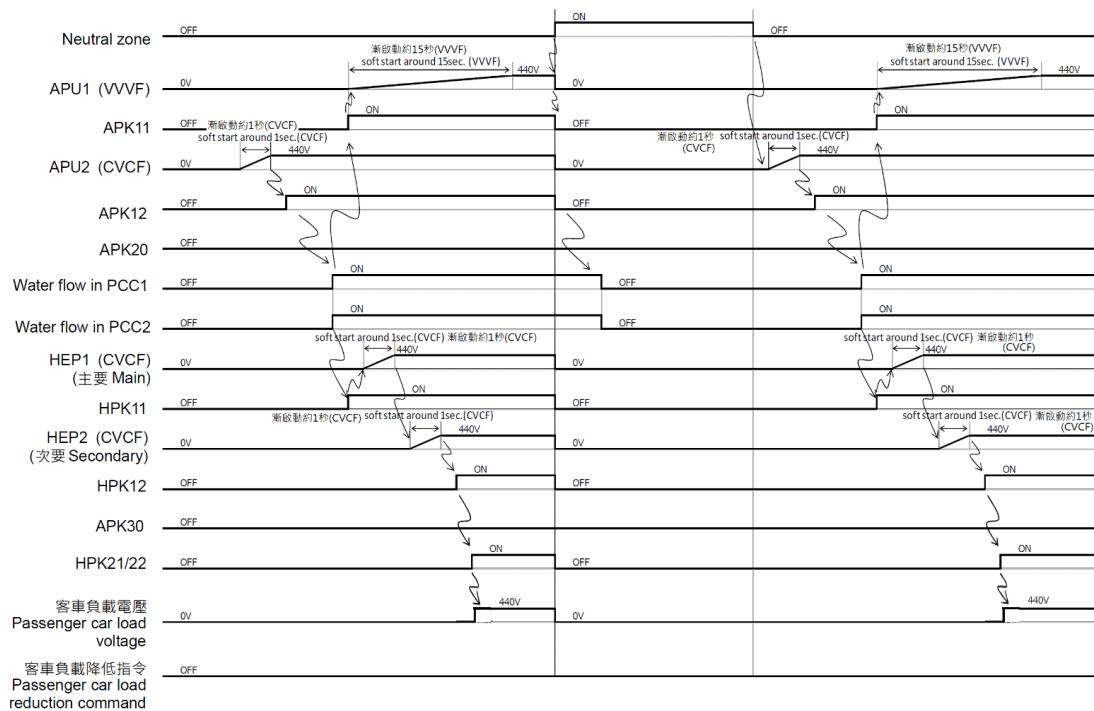


圖 4-30 中性區間 APU/HEP 操作時序

6. 備援供電功能 - APU 或 HEP 故障狀態下的供電模式方塊圖

如前述概念，備用電源的功能是針對一個 APU 或一個 HEP 故障時所提供的。

下圖顯示機車中 APU 和 HEP 的配置。APU1 和 HEP1 位於 PCC1 中。而 APU2 和 HEP2 位於 PCC2 中。

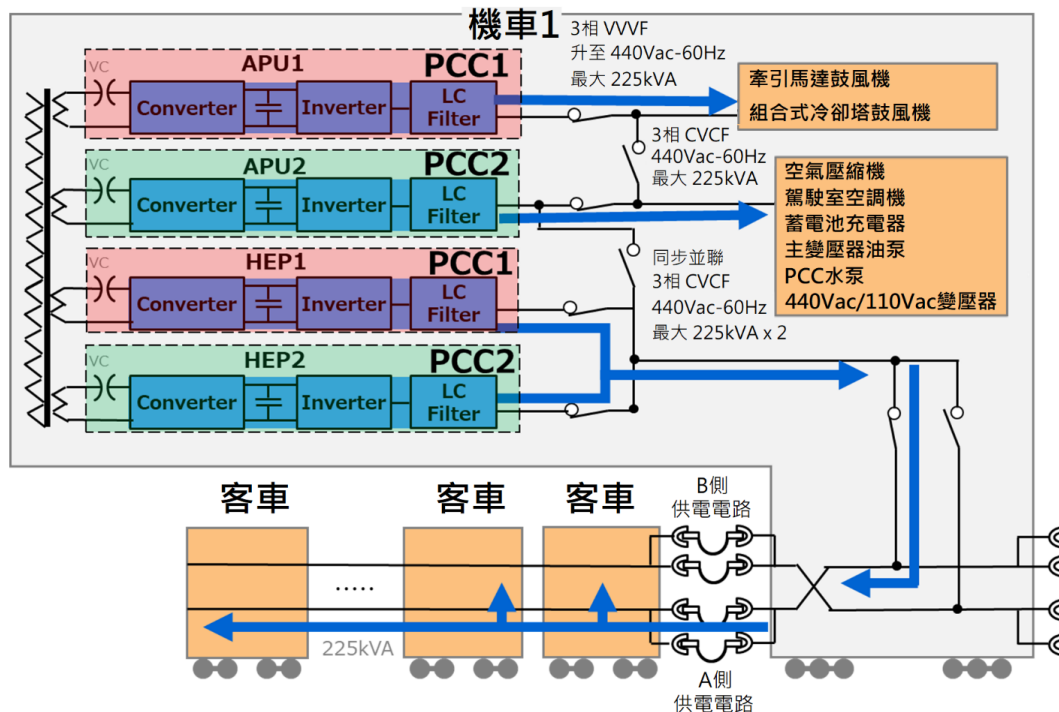


圖 4-31 輔助供電系統圖(正常狀態時)

1 個 APU (或) 1 個 HEP 故障之情況之外，其它模式的故障情況和供電功能如下。

6.1. 備援供電功能方塊圖

- 輔助供電系統(APU 1 故障)

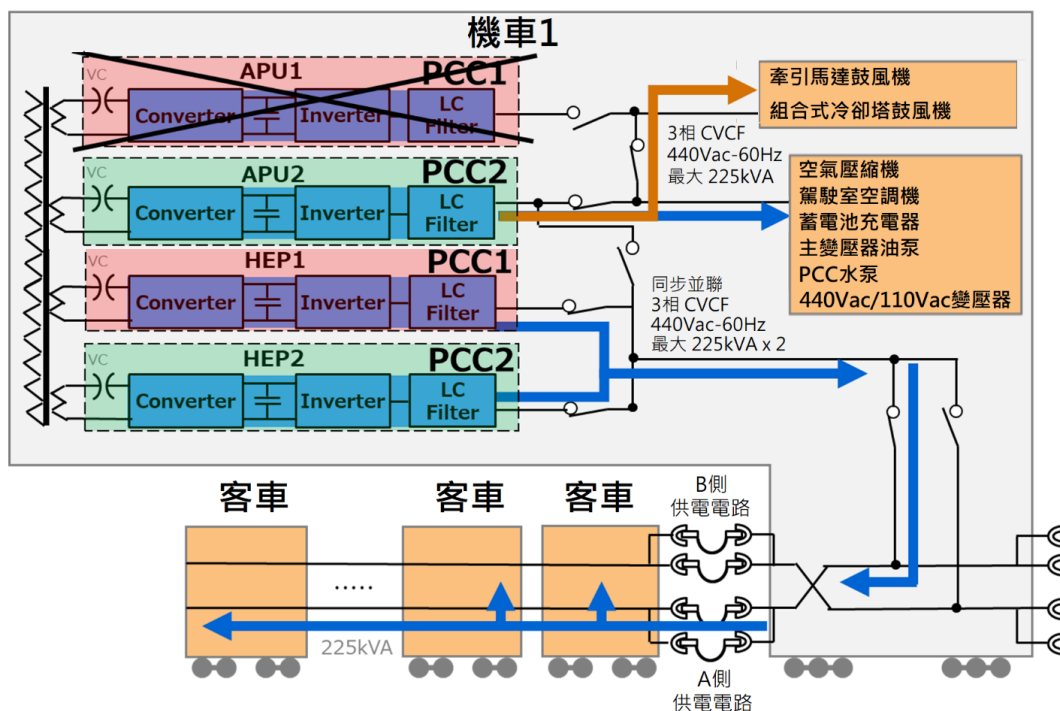


圖 4-32 輔助供電系統(APU 1 故障)備援方塊圖

- 輔助供電系統(APU 2 故障)

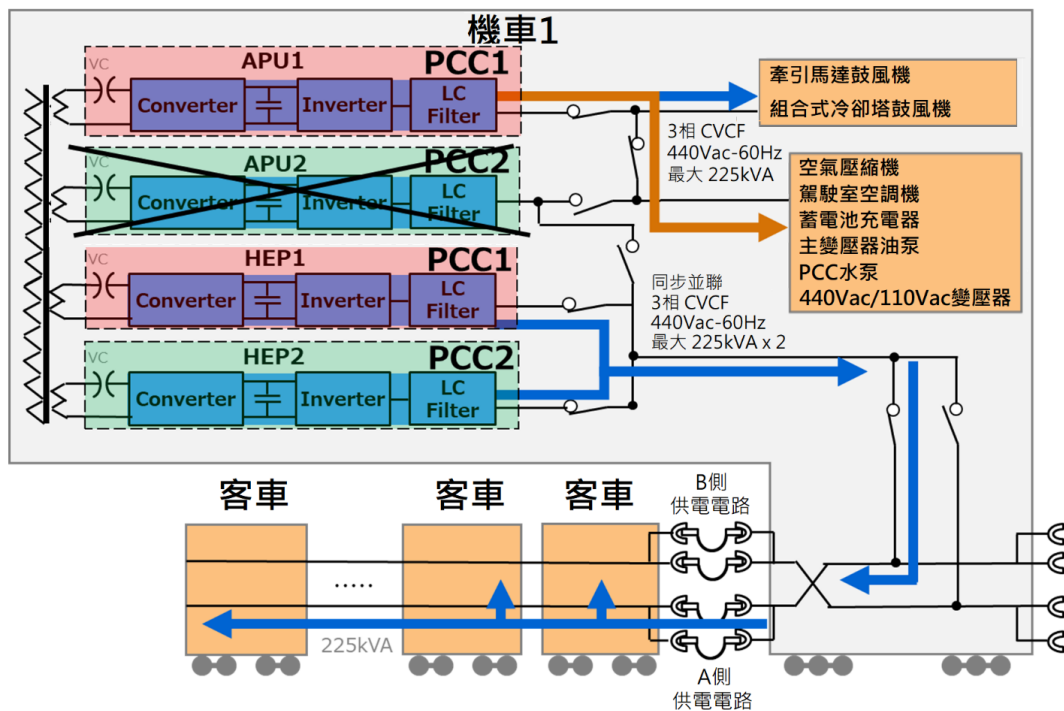


圖 4-33 輔助供電系統(APU 2 故障)備援方塊圖

- 輔助供電系統(HEP1 故障)

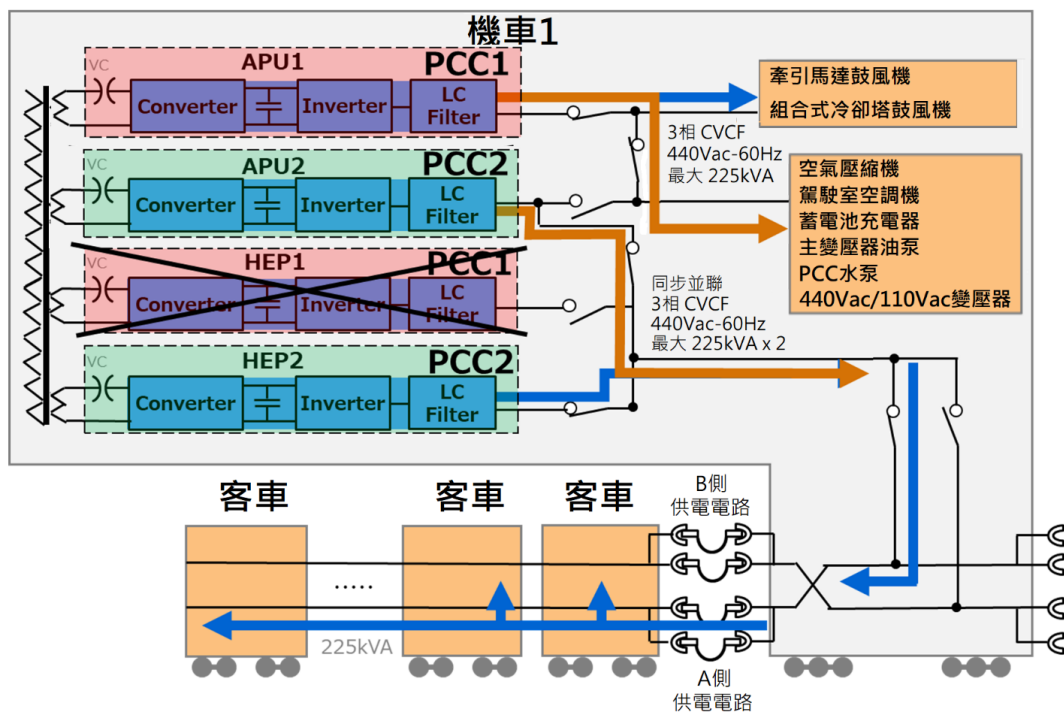


圖 4-34 輔助供電系統(HEP1 故障)備援方塊圖

●輔助供電系統(HEP2 故障)

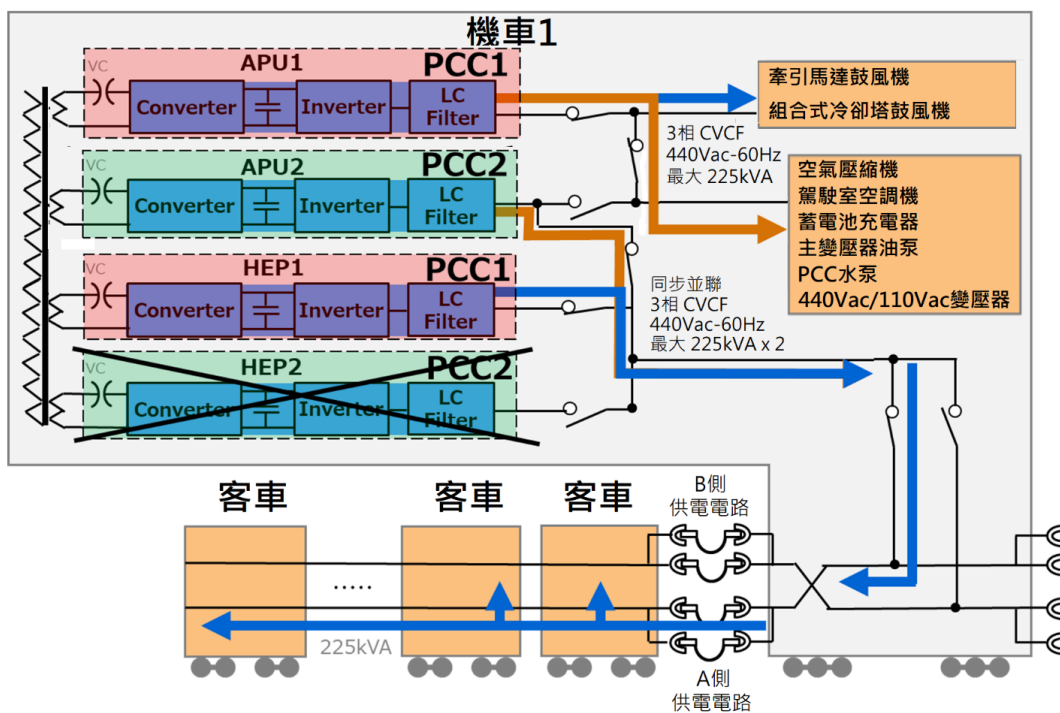


圖 4-35 輔助供電系統(HEP2 故障)備援方塊圖

● 輔助供電系統(APU1 與 APU2 故障)

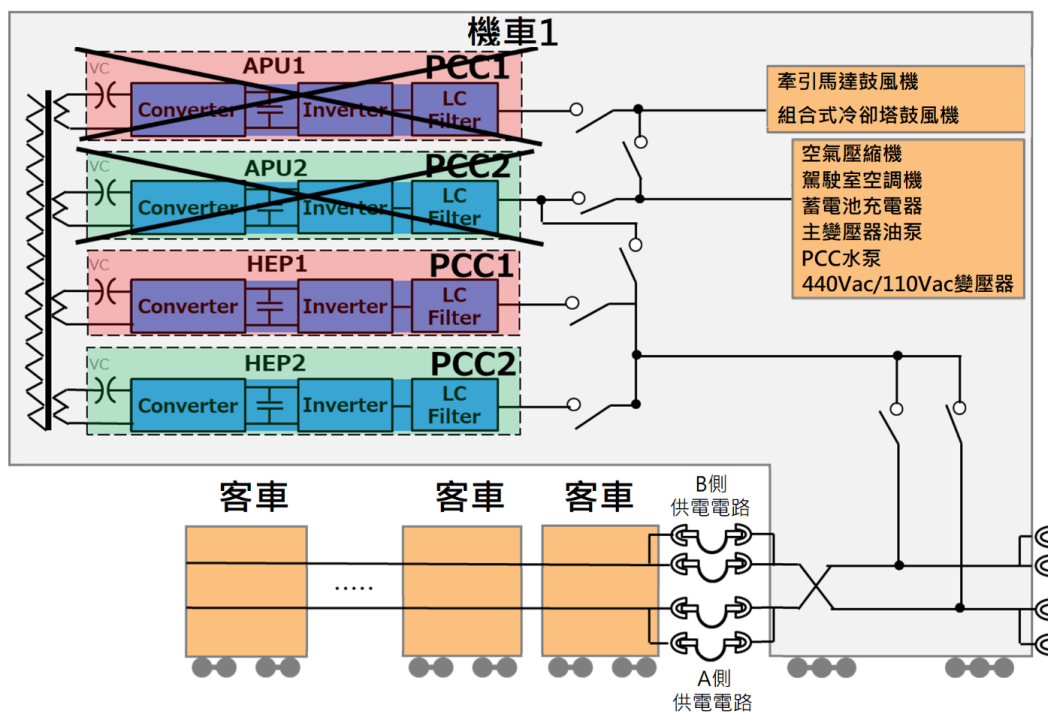


圖 4-36 輔助供電系統(APU1 與 APU2 故障)備援方塊圖

●輔助供電系統(HEP1 與 HEP2 故障)

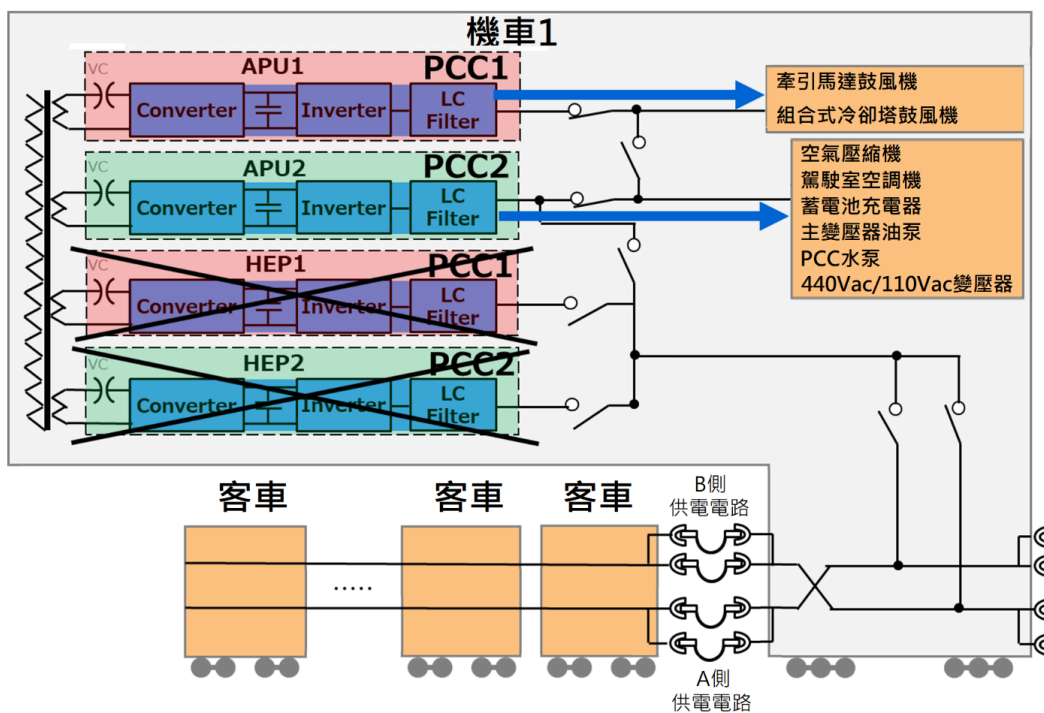


圖 4-37 輔助供電系統(HEP1 與 HEP2 故障)備援方塊圖

● 輔助供電系統(APU1、HEP1 與 HEP2 故障)

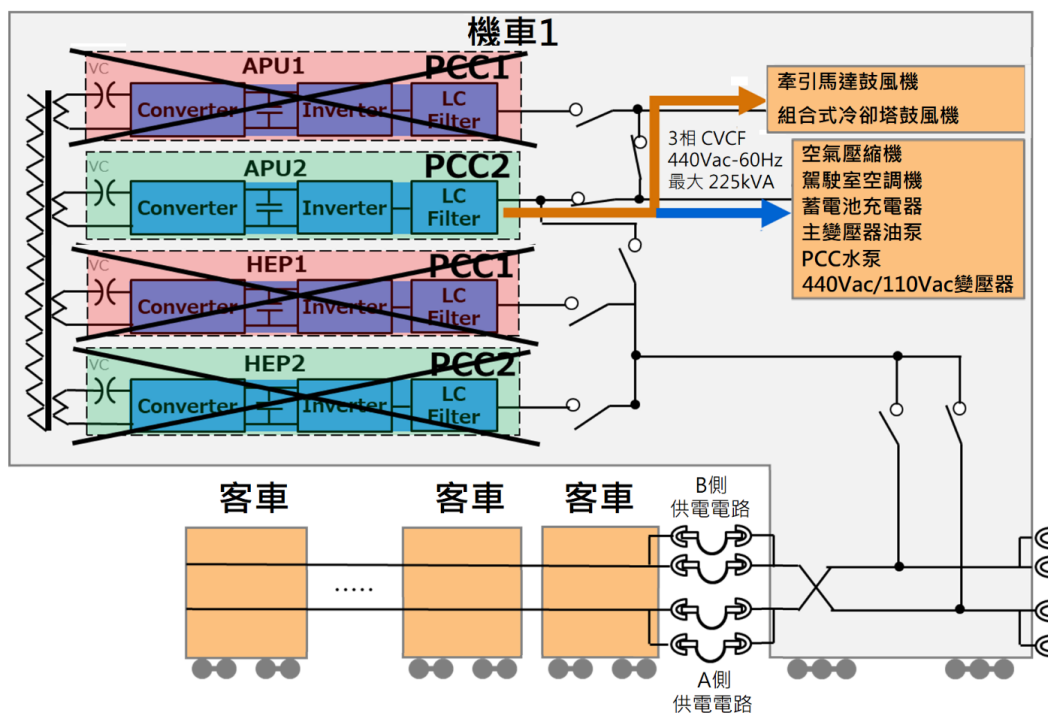


圖 4-38 輔助供電系統(APU1、HEP1 與 HEP2 故障)備援方塊圖

- 輔助供電系統(APU2、HEP1 與 HEP2 故障)

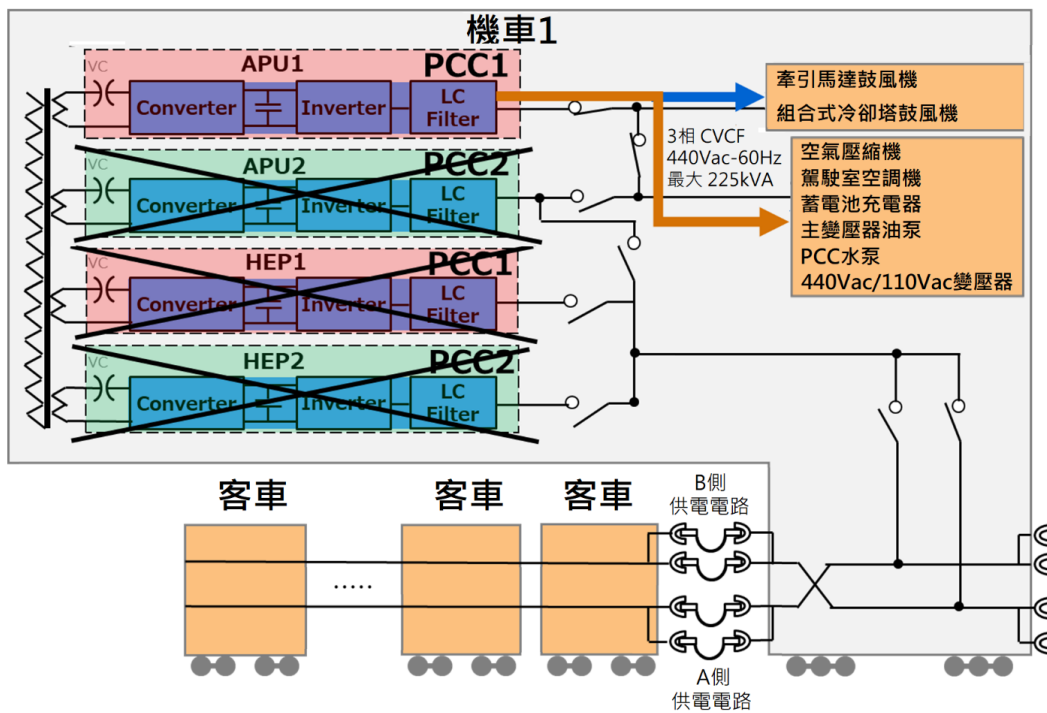


圖 4-39 輔助供電系統(APU2、HEP1 與 HEP2 故障)備援方塊圖

- 輔助供電系統(APU1 與 HEP1 故障)

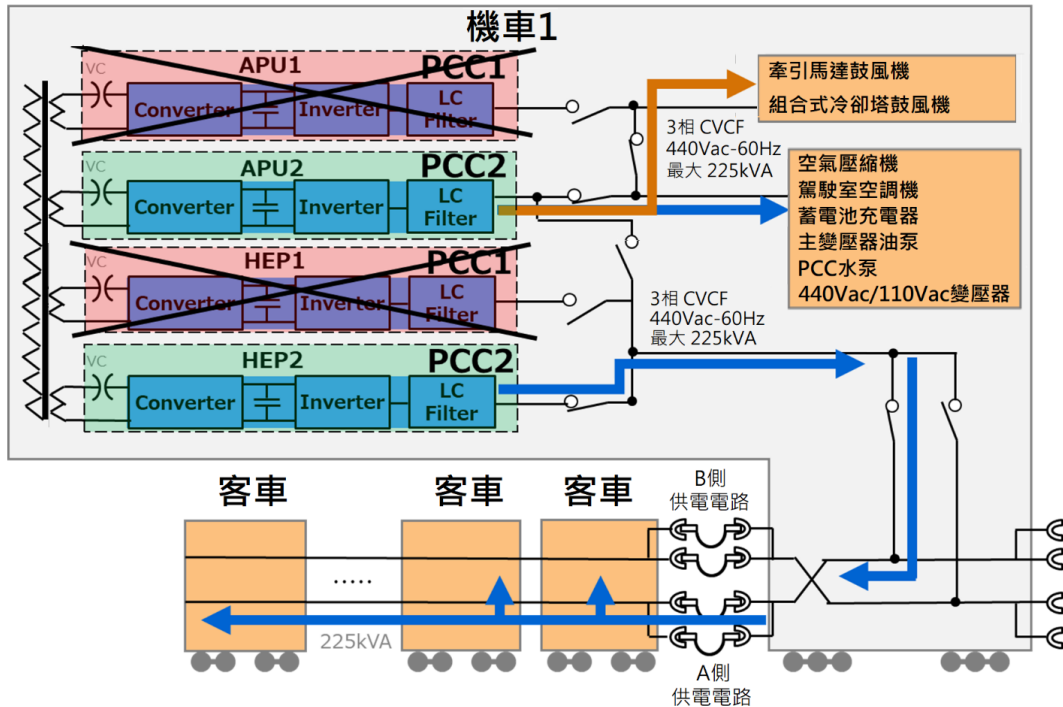


圖 4-40 輔助供電系統(APU1 與 HEP1 故障)備援方塊圖

- 輔助供電系統(APU2 與 HEP2 故障)

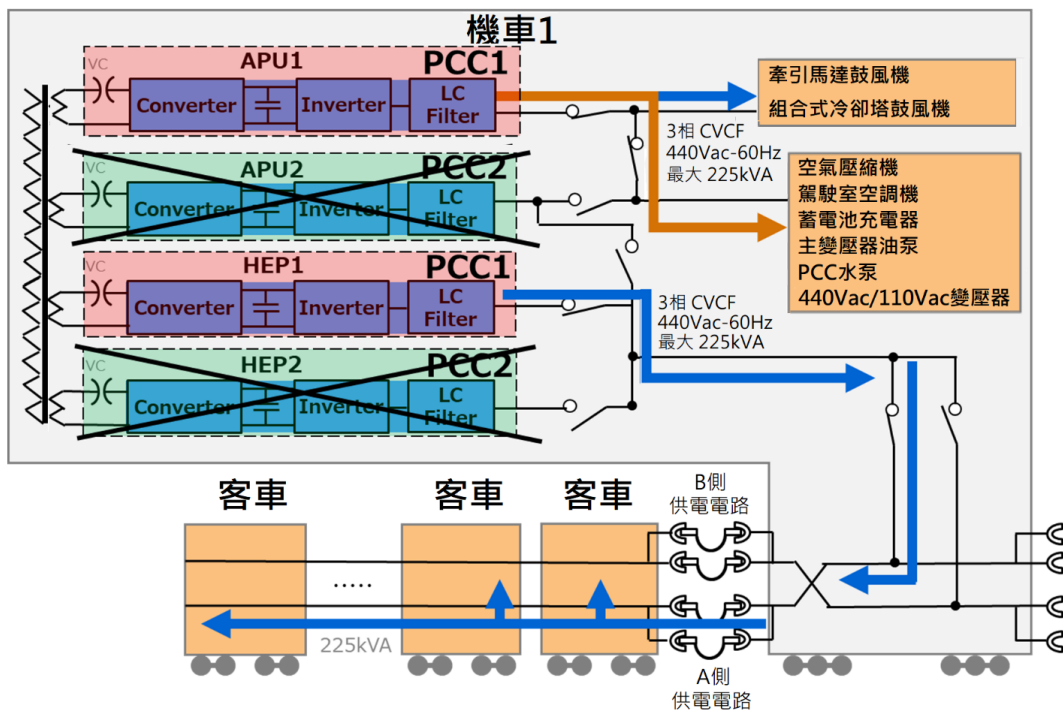


圖 4-41 輔助供電系統(APU2 與 HEP2 故障)備援方塊圖

- 輔助供電系統(APU1 與 HEP2 故障)

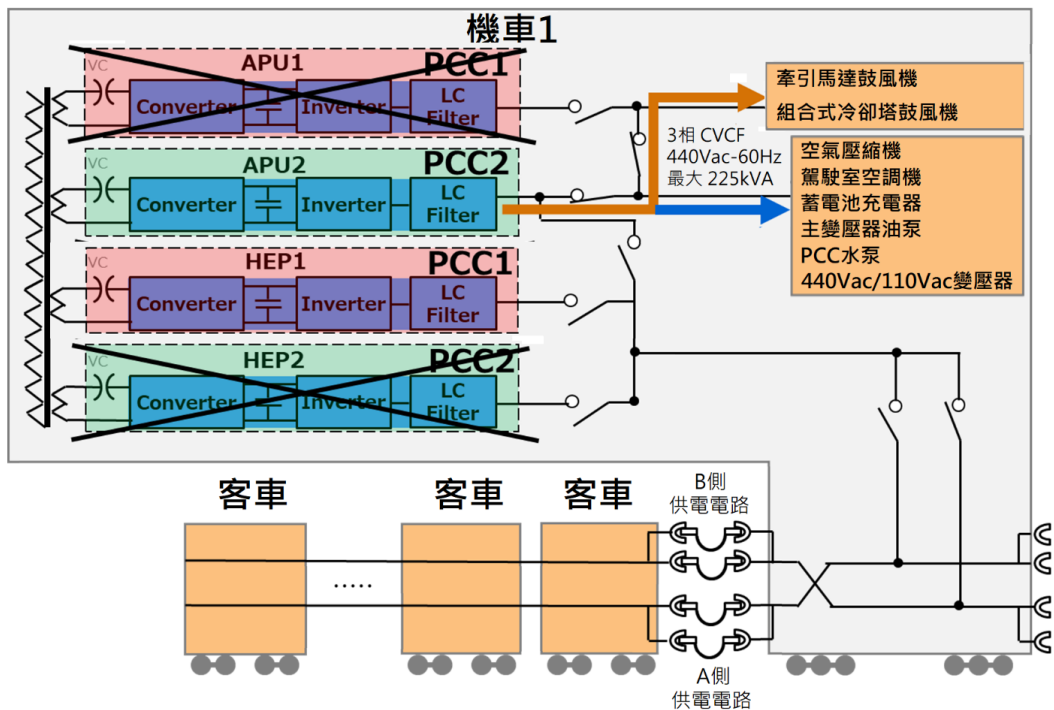


圖 4-42 輔助供電系統(APU1 與 HEP2 故障)備援方塊圖

- 輔助供電系統(APU2 與 HEP1 故障)

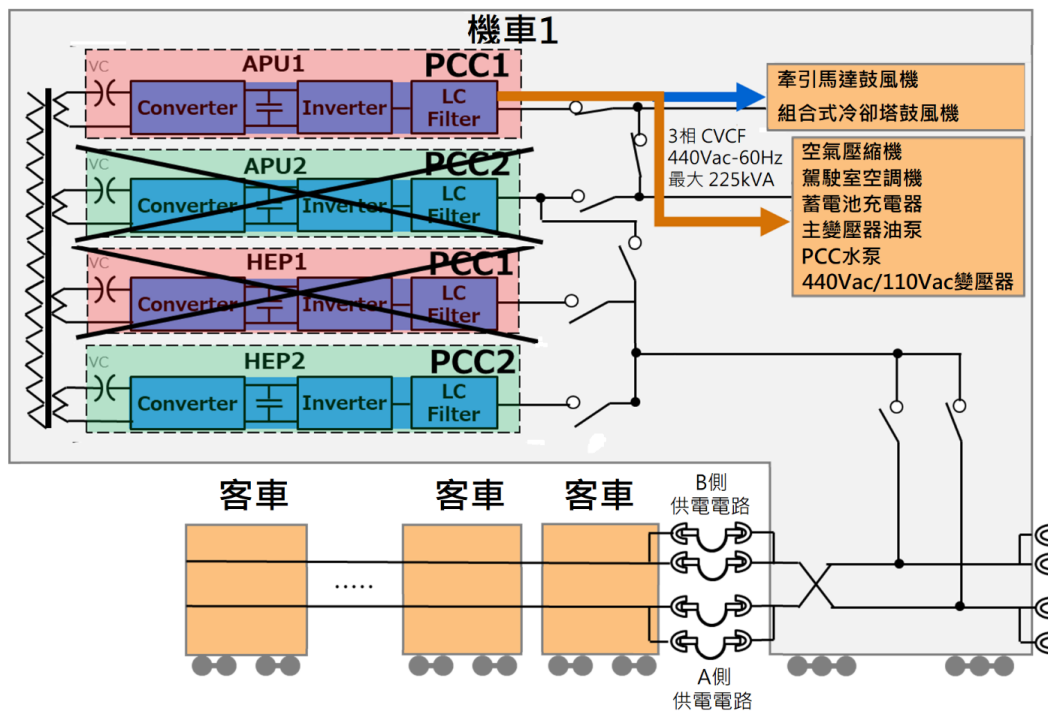


圖 4-43 輔助供電系統(APU2 與 HEP1 故障)備援方塊圖

6.2. 接觸器 HPK21 到 HPK22 的閉合

是根據供電電路的供電條件。如果客車發生故障時，基本上以切開 HPK21 及 HPK22 來隔離客車上 HEP 的迴路。斷路器 HPN1 與 HPN2 亦可提供備援保護。如果需要，HEP 輸入側設置的真空接觸器可以切開以斷開 HEP 的電源。

如果是 P-P 編組，則可以從編組的本務機車來控制後聯機車的 HEP 和 HPK。因此，後聯機車還可以為客車提供備用電源。將提供連鎖電路，以防止兩個機車同時供電同一側供電電路。亦有設置連鎖迴路，以防止在列車上的所有跨接電纜連接前對供電電路供電。

6.3. HEP 供電電路

- 對客車供電（正常條件）

PP 客車設置兩側供電電路。機車兩端的兩側都有插座。用於可解掛的跨接電纜與客車連接。

當客車與機車連結時，機車可以通過任何一側供電電路或經由兩側供電電路向所有客車供電。

正常狀況下，列車中的兩輛機車如下圖所示供電。客車的用電配置應如圖所示，以使供電電路上的功率損失降為最低。

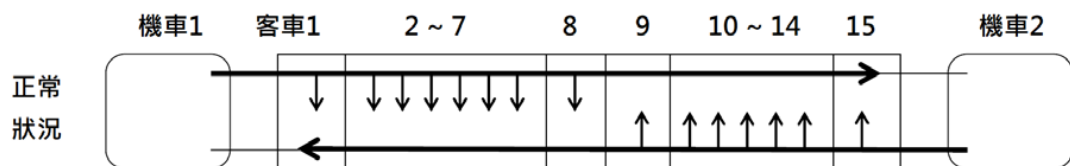


圖 4-44 對客車供電（正常條件）

- 機車 2 故障(由機車 1 供電給兩側供電電路)

當機車 2 故障，則機車 1 透過變更供電模式向兩側供電電路的所有客車供電，如下圖所示。

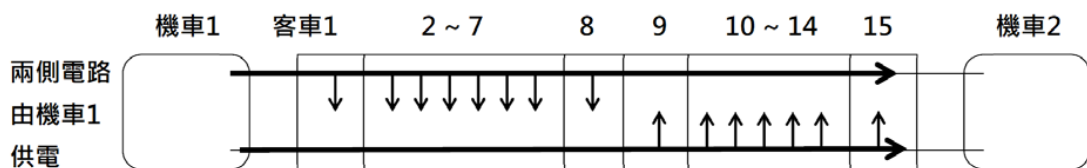


圖 4-45 機車 2 故障(由機車 1 供電給兩側供電電路)

- 機車 2 及一條供電電路故障(由機車 1 供電給剩餘的一側供電電路)

當機車 2 故障，且其中一側供電電路也發生故障時，則機車 1 透過變更供電模式對剩餘一側的供電電路對所有客車供電，如下圖所示。

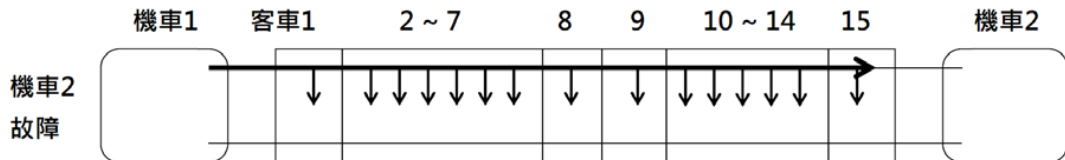


圖 4-46 機車 2 及一條供電電路故障(由機車 1 供電給剩餘的一側供電電路)

伍.心得與建議

一、本公司 68 輛電力機車日本東芝監造心得報告

本公司近年引進 68 輛由日本株式會社東芝公司監造之電力機車（E500 型），此計畫不僅提升本公司整體運能，也讓監造人員能夠深入學習日本在製造管理、品質管控與工廠環境方面的經驗。本心得報告針對東芝監造過程中所見所聞，整理出值得本公司借鏡之處。

（一）工廠工作環境觀察

1. 空調設備完善

日本東芝工廠內部全年維持穩定溫度，設有中央空調系統，確保員工即便在夏季也能於舒適環境中進行機車組裝與維修工作，提升工作效率與人員安全性，良好通風及降噪設計。



圖 5-1 廠內空調系統

2. 飲料販賣機設施完備

工廠內部設有多台自動販賣機，供員工隨時購買飲品，提供多樣化冷飲選擇，顯示出重視員工福祉及工作間休息需求。



圖 5-2 廠內自動販賣區

3. 零件存放與防護

所有工作零組件依照型號與用途分類置放在有標示與保護邊角的架上，許多物品附有防撞保護（如泡棉墊、防撞膠條），可有效降低搬運損壞風險，顯示出管理的精細與安全重視程度。



圖 5-3 零件存放與防護

4. 安全標示線：

地面與牆壁有標示線，確保物流與人員動線不重疊。

5. 安全配備：

設置安全走道、明確標示危險區域，員工必須穿戴完整防護具。



圖 5-4 安全配備與標示區域

（二）設備與管理方式

1. 機關車牽引車

工廠內部使用低速推送車（如圖片中黃色設備），可將機車精準推移至指定停車位，不需使用機車本身動力，操作安全性高並可減少人力耗費且節省工時。



圖 5-5 牽引車正面



圖 5-6 牽引車側面

2. 機車內部冷氣系統

為考量維修人員工作舒適性及避免電子元件過熱，機車內部也設有工作用冷氣系統，可於靜止或維修期間提供降溫功能，展現人本設計思維。



圖 5-7 工作用冷氣主機



圖 5-8 工作用冷氣系統

3. 工具借用管理系統

使用電子式工具管理系統，每一件工具均須由員工使用識別卡登記借用與歸還，確保工具不遺失並具備追蹤紀錄，有效提升工具管理效率與責任制度。

並且定期校正量測工具，確保品質檢驗準確。



圖 5-9 工具借用管理系統



圖 5-10 工具零配件牆



圖 5-11 零配件架



圖 5-12 電動工具架

（三）機車使用線材標準

本公司 E500 型電力機車所使用的線材，通常來自於東芝等高品質的供應商，其線材管理與應用非常講究，主要以下幾個方面：

1. 線材的選材與規格

- （1）**高導電性銅線**：E500 型電力機車使用高導電性的銅線，這對電力傳輸至關重要，可以確保機車動力系統的高效運行。
- （2）**耐高溫與耐磨性**：線材會選用耐高溫、耐磨損的材料，以應對機車在運行過程中的極端環境（如高溫、摩擦等）。

- (3) **絕緣與防水設計**：為了確保安全性，線材會具備良好的絕緣性能，並防止水氣或其他外界因素對線路的影響。

2. 線材管理

- (1) **質量控制**：線材會通過嚴格的品質檢測流程，從原材料到成品，確保符合國際標準。東芝等供應商會對線材進行常規的抽樣檢測與追蹤管理。
- (2) **標準化管理**：線材會依照各種運行需求進行標準化管理，這包括了編碼系統、標識系統等，方便管理和後續維護。
- (3) **編排與分類**：線材的使用會按照機車的不同系統（如電力供應系統、控制系統、照明系統等）進行分類編排，以提高維修效率。

3. 應用領域

- (1) **電力系統**：用於電力傳輸，從機車電源系統到動力牽引系統，線材負責承載高電流，保持穩定的電流供應。
- (2) **控制系統**：控制系統的信號傳輸也是使用專門的線材，這些線材需要具備高抗干擾能力，以確保列車控制系統的準確性。
- (3) **照明與輔助系統**：線材也應用於機車的照明、空調、電源插座等輔助系統，這些系統通常需要承載較低電流，但依然要求穩定性。

4. 維護與檢修

- (1) **定期檢查**：對於高負荷運行的機車，線材會進行定期的檢查，尤其是接頭、連接點等易磨損部位。
- (2) **替換與升級**：若發現線材老化或損壞，會及時替換，並且隨著技術進步，會不斷升級線材的技術要求，提升可靠性和使用壽命。

東芝對線材的使用與管理，強調高效、穩定和安全，這對於列車的長期運行和維護至關重要。



圖 5-13 E500 型機車所用線材規格

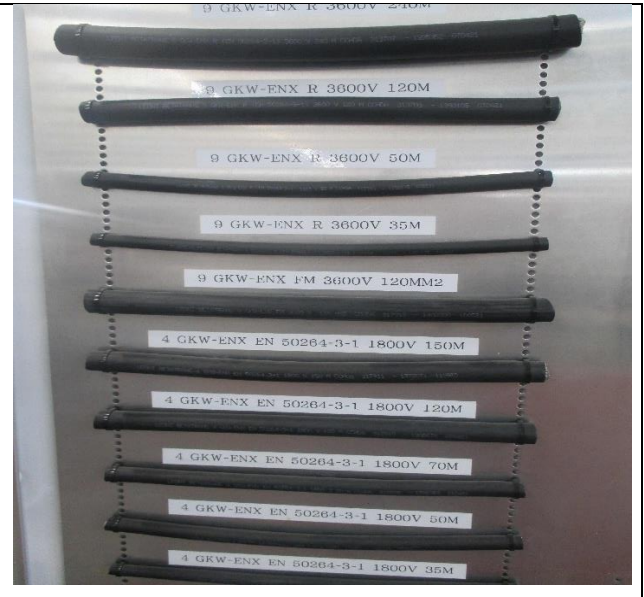


圖 5-14 E500 型機車所用線材規格

(四) E500 型電力機車製造新技術

1. 牽引控制系統

- (1) 採用東芝最新的 GTO/IGBT 功率半導體逆變器，實現精準的交流馬達控制，取代傳統直流馬達。
- (2) 可減少滑動，提升牽引效率，降低輪緣磨耗。
- (3) 具備高效率、低維修需求、壽命長等特點。

2. 電子監控系統

- (1) 機車配備車載診斷系統，能即時回饋運轉數據。
- (2) 故障資訊自動記錄，利於維修與統計。
- (3) 駕駛介面電子化，顯示器集中顯示關鍵數據（速度、電壓、電流、故障資訊）。
- (4) 降低誤判風險，提升操作便利。
- (5) OBD（車載診斷系統）與維修系統結合，建立電子化檔案。
- (6) 提供長期數據分析，提升維修決策效率。

3. 安全與偵測

- (1) 新增火災偵測系統與高靈敏感測器，能在初期發現異常。
- (2) 電纜選用阻燃材料，提升整體防護等級。

- (3) 即時偵測：針對機車內部高溫區、電氣設備與油箱區域進行監控。
- (4) 自動防護：偵測到火災徵兆時，可立即啟動滅火系統或警報，減少人員操作延遲。
- (5) 整合管理：與列車控制系統連結，可遠端監控與記錄火災警報資訊。

4. 人體工學設計

- (1) 司機室配置冷氣、減震座椅、隔音裝置，改善駕駛員舒適度。
- (2) 儀表配置符合人體工學，減少長時間操作疲勞。

5. 模組化電子系統

- (1) 逆變器、冷卻模組、控制單元採模組化設計。
- (2) 維修時可直接更換模組，縮短停修時間。

(五) 對本公司的影響

1. 正面影響

- (1) 營運效率提升：交流傳動效率高、維護週期長，能降低保養成本。
- (2) 維修制度的轉型（透過 OBD 系統，本公司建立更完善的「預防保養」觀念）
 - 傳統維修多依靠「事後維修」或「定期大修」。
 - OBD 的導入，能推動公司建立「預測性維護」，提早發現潛在問題，降低故障率。
- (3) 提升行車安全
 - 系統能在異常初期即警示，避免重大事故（例如變壓器過熱或電纜短路）。
 - 火災偵測系統也可透過 OBD 與駕駛台整合，快速反應。
- (4) 降低營運成本
 - 避免不必要的過度保養，僅針對有異常的部位檢修。
 - 減少臨時故障造成的誤點與拖車成本。
- (5) 大數據與決策應用
 - 收集長期的運行數據，台鐵可建立機車健康檔案，分析各零件壽命與故障模式。
 - 未來可透過大數據，優化採購週期與備品庫存管理。
- (6) 人員專業升級

- 維修人員需具備電腦與電子診斷能力，不再只依靠傳統經驗。
- 推動人才轉型，培養更多懂電腦、電子與機械結合的複合型技術員。

（7）安全性強化

火災偵測與阻燃設計，提升行車安全。

技術轉移：部分在台製造，讓台灣本地具備更多機車組裝與檢修技術。

2. 潛在挑戰

- （1）零件依賴度高：部份高階電子零件仍需仰賴日本供應。
- （2）維修教育需求：台鐵人員須熟悉系統，訓練成本增加。
- （3）設備更新壓力：E500 型技術標準提高，將迫使相關檢修廠房與測試設備升級。

二、本公司 68 輛電力機車日本東芝監造建議

1. 強化作業環境管理

引進冷氣系統及販賣機，不僅提升員工滿意度，也有助於穩定品質與作業效率。

2. 標準化零件與物料管理

透過明確分類標示、防撞保護、定置管理，可降低損耗與尋找時間。

3. 智慧化工具管理系統

借鑑其電子借用管理制度，可提升工具使用透明度與責任歸屬。

4. 導入自動化搬運設備

低速牽引車可減少人力依賴並提升車輛移動精準度，是提升機車維修水準的重要方向。

5. 國際標準線材應用

採用高規格耐用線材可延長設備壽命，亦符合安全規範。並且採用國際規格，使得 E500 型電力機車品質一致與可靠度高，符合國際安全與防火標準。

6. 零組件標示，請使用中英文併列標示

為提升維修效率、降低誤判風險並強化國際技術接軌，E500 型電力機車之零組件若採用中英文對照標示，將可在維修管理、安全操作與教育訓練上帶來多重效益。

7. 以後更新機車，是否能使用傳統有油潤滑之空氣壓縮機。不使用 VV270-T 無油壓縮機因不能長期運轉，尤其列車設備中，如有洩漏 MR 空氣，空氣壓縮機會一直運轉供氣，到運轉臨界點時，空氣壓縮機會強迫中斷休息，這樣會使得機車總風缸空氣會不夠提供列車使用，會造成行車危險。運轉噪音頻率尖銳及容易造成高溫運轉、要儲備主要零件（軸承組、密封環、轉子對組）：以因應原廠維修等待期長的問題。

8. 駕駛室內之監視系統建議不行關閉

機車如發生故障或提供技術支援時，能用監視系統得知機車發生故障原因及技術支援動作是否正確執行。使司機與檢查員能正確解除故障，使機車運轉正常。

此次赴日本東芝監造台鐵 68 輛電力機車，不僅是硬體設備的引進，更是一次管理制度與作業文化的學習過程。東芝展現了高度的專業與嚴謹態度，對台鐵而言，最值得借鏡的是 **品質把關、工作環境優化、零件管理制度化**，以及 **以人為本的設計思維**。若能將此經驗內化，未來公司在自製、維修與管理上，定能逐步追上國際水準。