

目次

第一章	目的.....	01
第二章	過程.....	01
第三章	心得.....	115
第四章	建議.....	117

第一章 目的

土城樹林線機電系統係為「萬大中和樹林線（第 1 期）機電系統、自動收費系統及軌道工程」之後續擴充，依政府採購法採限制性招標，於 109 年 6 月 23 日議價決標，由法商阿爾斯通運輸股份有限公司、ALSTOM BRASIL ENERGIA E TRANSPORTE LTDA 與中鼎工程股份有限公司共同承攬。嗣後因考量土城樹林線工程路段皆位於新北市境內，為利地方民意與工程課題整合溝通與監督，經雙北市協議由新北市捷運工程局擔任工程建設機構辦理本計畫興建，其中機電系統標於 114 年 12 月完成契約移轉。

本次海外列車廠測計畫係因「新北捷運土城樹林線機電系統、自動收費系統及軌道工程」預計 116 年開始生產列車，並於 117 年陸續運抵金城機廠進行靜、動態測試，由於本工程與萬大中和線為同型之中運量鋼輪鋼軌自動駕駛列車，由法商阿爾斯通巴西聖保羅陶巴特工廠製造，為銜接萬大中和線列車生產品質及確保列車測試符合國際標準，爰於萬大中和線最後一批列車出廠階段，執行列車相關生產線廠測作業。

本次廠測重點：

- 一、確認土城樹林線列車工廠生產工藝，包含車體外殼製造、車廂內裝設備組裝、電纜連接、電氣、水密、靜態及動態測試等，相關人員資歷、廠房品質認證、品管制度等相關重點檢核。
- 二、針對法商阿爾斯通巴西聖保羅陶巴特工廠製造 Metropolis 系列列車，安排見證實際營運案例，包含聖地牙哥、里約及聖保羅等城市。

第二章 過程

本「新北捷運土城樹林線機電系統、自動收費系統及軌道工程」海外列車廠測及參訪計畫案，工作內容包含法商阿爾斯通巴西聖保羅陶巴特工廠列車製造工藝，及聖地牙哥、里約與聖保羅相關車輛營運狀況見證，第一節概述土城樹林線系統架構與車輛摘要，第二節至第四節論述車輛系統廠商簡介、生產線廠測及結果，第五節論述智利聖地牙哥捷運介紹，第六節論述巴西里約輕軌與聖保羅捷運介紹，第七節論述祕魯庫斯科高山火車及其他交通運輸介紹。

第一節 土城樹林線工程系統簡介

臺北都會區捷運萬大-中和-樹林線為因應全線旅運需求，將建設分為第一期(萬大中和線)與第二期(土城樹林線)工程，土城樹林線工程路線長度約為 13.3 公里，全線共設置 13 座車站，包含 2 座地下車站以及 11 座高架車站，並配置 11 座牽引動力配電室（PPSS）與 1 座 161kV/22kV 主變電站（BSS）。在車隊規模上，土城樹林線採購 16 列電聯車，結合萬大中和線採購的 19 列，全線將具備充足運能。本路線為鋼輪鋼軌系統，供電採導電軌（第三軌）型式，並全面導入具備自動列車保護系統（ATP）與自動列車監督系統（ATS）之全自動化無人駕駛系統（GoA4 等級）。



圖 1 捷運萬大-中和-樹林線工程路線示意圖

壹、核心機電系統架構

- 供電系統：供電系統負責驅動全線列車與車站維生設備，萬大線全線供電採高度備援的網路架構設計。第二期將新建 1 座 161kV 主變電站，與第一期的主變電站形成互相支援的電網。依據交流系統分析的規劃，供電網路必須能夠應付各種「正常」與「非正常」運轉情境：例如在萬大線第一期及第二期兩座主變電站均正常供電時，各自負擔其交流與直流負載；當第一期主變電站因故失效時，第二期的主變電站必須能夠承接並供給萬大線全線（含一、二期）的交直流用電；反之亦然，確保全線系統不因單一變電站故障而停擺。此外，供電系

統亦與現有環狀線（Y9、Y10、Y11 站）具備 22kV 電力轉供機制，進一步提升電網韌性。為達成最佳節能效益，全線供電規劃將導入「電聯車再生電力回收系統（RERS）」，將列車煞車時產生的電能儲存逆變後再利用，以穩定第三軌電壓並減低變電站輸出。

- 號誌系統：萬大線全線導入基於通訊的列車控制系統（CBTC），可實現移動閉塞及 GoA4 級別之全自動無人駕駛。在系統性能上，行車間距的設計要求極高，系統必須具備最短 120 秒以內的營運班距能力，甚至在軟硬體模擬中需展現可達 90 秒的極限班距操作，以因應未來運量的遠期成長。自動列車監督（ATS）子系統能將現場資料與監控整合至 SCADA 系統，若控制中心主電腦或通訊骨幹發生故障，現場的道旁控制電腦依然具備失效後維持安全的運作能力，確保列車在系統異常時不致發生擠軌或追撞。此外，行控中心（OCC）對於全線的系統具備高度掌控權，能針對列車、道岔、月臺門實施連鎖防護；例如月臺門未完全關閉時，列車無法啟動。
- 通訊系統：通訊系統是連結行控中心、車站、機廠及列車的神經網絡。針對萬大線第二期路網延伸，通訊傳輸骨幹必須預留充足的網路頻寬及硬體容量。無線電系統採用 TETRA 數位架構，支援行控中心、站務、隨車員與軌道維修人員的多方語音通話，並保障地下及隧道段的涵蓋率，同時預留警用及消防無線電輔助設施。在旅客服務上，車站配置單色點矩陣及高階顯示器（PIDS），除了顯示列車預估到站時間及目的地外，所有設備時間均與全球定位系統（GPS）同步。因應節能設計，PIDS 等顯示器具備休眠模式，在超過 30 分鐘未接收到行車訊號或營運結束後可自動關閉。
- 機廠設備：萬大線第二期並未另外徵收機廠用地，其 16 列電聯車的日常駐車、檢修與保養均與第一期共用「金城機廠」。金城機廠的設計已提前為第二期車隊的進駐預留空間與設備容量。機廠內配置有完善的儲車空間、地下車床維修軌、頂昇區、轉向架維修區及全自動列車清洗系統。其中自動洗車系統採無人化操作，設計洗車時速為 3 至 5km/h，且耗水設計至少有 50% 可回收再利用。機廠內亦建置完備的底盤清洗、廢油回收系統、以及全方位的倉儲與物流搬運設備，為萬大線全路網提供強大的後勤能量。

貳、車輛系統重點

每列車每側配置 12 個外滑式車門，單側出入口寬度為 1600mm。列車配置包括 4 輛動力車，其列車組成為 Mc1-M1-M2-Mc2，車頭兩節車廂分別為 Mc1 與 Mc2，其差異在於車底設備配置不同，MC1 車廂多了一組輔助電力系統(APS)設備；中間兩節車廂則為 M1 與 M2，具備相同的主要特性。整列列車全長 69.4m，寬度 2800mm。在 AW0 條件下的最大重量為 127,535.1 公斤，於 AW3 條件下的最大軸負載為 10,967.7 公斤。

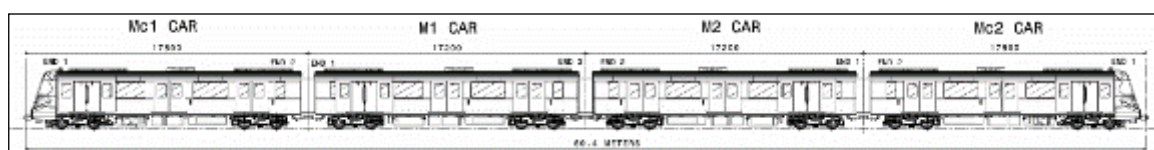
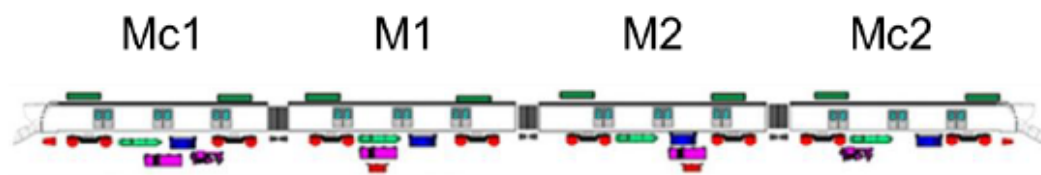


圖 2 土樹線列車配置圖



	車廂門 Saloon door		自動聯結器 Automatic coupler
	動力轉向架 Motor bogie		牽引箱 Traction case
	車間走道 Gangway		逃生端門 Detrainment door
	輔助電力系統 Auxiliary Power System		煞車模組 Brake module
	空調機組 VAC		空壓機模組 Compressor module
	電池箱 Battery box		半永久式聯結器 Semi permanent coupler

圖 3 土樹線列車設備配置

一、列車基本配置與一般概述

萬大線電聯車採用通訊式列車控制系統（CBTC）四節動力車（車廂配置為 MC1-M1-M2-MC2）組成。其中，頭尾兩端的 MC 車廂（MC1 與 MC2）與中間的 M 車廂（M1 與

M2) 在車底設備配置上各有其特定設計，以極大化車下可用空間與重量分配。此列車設計運行於 1435mm 的標準軌距軌道上，最大設計速度為 80km/h，最大營運速度則為 70km/h。車體主要尺寸與特性皆經過精密計算，在空載條件（AW0）下，整列車之質量為 128 公噸；而當滿載乘客（AW3，定義為座位坐滿且每平方公尺站立 6 人）時，列車總重則達到 171 公噸。

二、車體結構材料與被動安全防撞設計

車體外殼以高強度且具備長效壽命之沃斯田鐵不鏽鋼（主體為 301LN 級，非結構支架則採 304L）至少 30 年以上之營運年限。車體主要焊接採用較不易變形且能保持板面平整的點焊技術，並輔以弧焊進行組裝，表面施以 2B 冷軋亮面處理。所有異質金屬元件之間的介面均進行防電蝕防護，焊道與焊點亦進行妥善的防銹防腐處理。在被動安全方面，車體結構和聯結器具有優異之耐撞性能。電聯車防撞系統採用區域防護概念：在 MC 車前端（車廂最前端）裝有一體式且具防爬功能的被動安全緩衝裝置，能在列車遭受週期性或意外性撞擊時吸收能量，形成一個保護乘員完整性的緩衝區，有效防止車廂發生相撞攀爬等二次擠壓事故。

三、軌道動力學表現與穩定性分析

為確保車輛能在各種操作條件下安全行駛，電聯車採用 Alstom Metropolis B20C 動力轉向架，其具有 2000mm 的軸距，並透過旋轉環與車體結構連接。轉向架懸吊設計結合了雙橡膠彈簧的軸箱（主懸吊）與空壓緩衝墊（次懸吊，內部附有緊急橡膠彈簧），可在提供高乘坐舒適度的同時降低車輪與軌道的磨耗。詳細的軌道動力學模擬分析證實，該轉向架結構極為安全穩定：其在所有操作條件下的過蛇行臨界速度高達 92km/h，顯著高於最大營運與設計速度。在低速脫軌安全分析中，由於旋轉環連接件的橫向偏擺阻力極小，電聯車通過小半徑彎道與扭曲軌道時，輪重卸載率最大僅為 36.6%，遠低於安全界限。此外，高速運行時的最大脫軌係數僅為 0.95（優於 EN14363 標準規定的 1.20 限值），而施加於軌道上的作用力亦低於標準限值的 50%，這意指電聯車將不會對軌道造成過度的疲勞與損耗。

四、推進系統與整車電力配置

推進系統方面，整列車共由 16 部交流鼠籠式開放牽引馬達（型號 4ECA2120Q）成對高壓電氣連結設計，當部分車廂通過非橋接間隙時，其餘車廂仍可自第三軌獲得連續供

電。輔助電力系統則由三台基於 SiC（碳化矽）功率半導體技術的靜態換流器與電池充電器成，採並聯運轉並提供互為備援之負載保護功能。輔助電力系統穩定將 750Vdc 轉換成三相 380Vac/60Hz 供車廂空調等交流負載使用，並由電池充電器輸出穩定的 110Vdc 以對車載蓄電池充電並供列車低壓直流控制負載。

五、煞車控制、電氣防滑與安全連鎖

列車煞車系統具備營運煞車、緊急煞車、保持煞車與駐車煞車等功能。常態性的營運煞車採用電氣煞車（電力回生）與氣動機械煞車的混合調配控制，煞車控制電子裝置會讀取由空氣彈簧壓力算出的車廂實際載重來動態計算所需的煞車力，最大化電力煞車的使用以達節能效果。為保障最高等級的安全完整性，緊急煞車系統採「斷電即作動」設計，透過直接氣動電磁閥使列車安全迴路斷電，作動最大壓力的純機械摩擦煞車，且此時會切斷電力煞車、急衝度限制與防滑保護功能。緊急煞車控制迴路以硬線電氣串聯了車載 ATP、主控制器、駕駛員失能裝置（Deadman device，手動駕駛下若 3~4 秒未偵測到按壓即觸發緊急煞車）單通道車輪打滑保護系統，由煞車控制電子裝置依據各輪軸速度感測器量測所得之滑動狀態，控制放卸閥微調煞車缸壓力，確保在低黏著度鐵路條件下防止輪軸鎖死並減少停止距離。

六、客室內裝、車門安全與隔音隔熱性能

車廂內部寬度與高度空間皆以人因工程（基準為台灣男性 95%與女性 5%的體型特徵）進行最大化美學設計。每節車廂每側設置三組外側滑動式客室車門。車門之開門淨寬為 1600mm，高度為 1870mm，門扇由不鏽鋼與鋁製蜂巢結構組成。車門窗採用三層夾層安全玻璃（6mm 鋼化玻璃+1.52mm PVB 膠合層+4mm 內層玻璃+0.2mm 防濺層），該夾層玻璃能承受高達 1.91kPa 壓力，符合防火防煙 EN45545 HL3 等級與安全防護要求。客室車門邊條與門柱均設有氯丁橡膠材質之橡膠邊條，以防乘客手指伸入縫隙夾傷。車門額定關門施力為 150N，在最後 100mm 關閉區域會自動減小至 75N 避傷乘客。客室內裝設有車門屏風（Draught screen），其由 6mm 灰色強化安全玻璃與不鏽鋼管結構組成，並與客室座位之間維持 345mm 的內凹後退距離。車廂地板則在不鏽鋼板下方鋪設高品質的隔音隔熱層（Isoflex RT 等隔音隔熱材料），使地板結構具有至少 30 分鐘的有效防火屏障，防止熱傳導並降低客室內部噪音。

七、空調與通風系統

為打造舒適之客室環境，每節車廂車頂兩端各安裝一組低功耗的複合式空調機組（VAC），單組冷卻能力為 31.2kW，每車兩組總冷卻能力達 62.4kW。空調機組搭載了雙速冷凝器風扇、蒸發器風扇與兩台臥式全密閉渦旋式冷媒壓縮機（Copeland ZRH87 系列），可根據客室載重（AW2 負載，MC 車載客 148 人，M 車載客 153 人）與車外天候進行自動無段式的階段性卸載，實現最佳化的節能運轉。空調系統設計之環境臨界基準極具挑戰性：地面段設計外氣乾球溫度為 34°C，隧道段則為 37°C（外部濕度皆為 67%），並考量高達 650W/m²的太陽輻射熱。在最嚴苛的地面段條件下，即使客室車門單側開啟 20 秒，空調系統亦能在 2 分鐘內將車廂內溫度恢復至 25°C（含）以下，同時維持客室相對濕度在 64%以下。客室內部的空氣流通係透過非金屬、符合 EN45545-HL2 規範的出風口，沿著天花板面板左右兩側均勻輸送。出風氣流速率精密地控制在 0.25m/s 至 0.4m/s 之間，有效避免風速過快造成座位乘客的不適感，同時空調控制使 saloon 內部維持微弱正壓，以阻絕外部高溫與潮濕空氣滲漏入車廂內。

參、車輛應用環境差異分析

萬大中和線路段全長約 9.5 公里，路線自捷運中正紀念堂站起，沿南海路、西藏路、萬大路、保順路、保生路、中山路、連城路至金城路，並於金城路北側農業區設置機廠及一支線車站鄰近莒光路。此段路線全程採地下化配置，穿越都市密集區域，設有多座地下車站與隧道結構。在隧道段封閉式空間中，相較於開放式的高架路段，其溫濕度穩定性及結構穩定性較高，但封閉式空間在設計上強調防火安全、通風排煙與防水排滲。

土城樹林線工程主要採高架型式，沿線穿越樹林及新莊地區，全長約 13.3 公里，共設 11 座高架車站與 2 座地下車站（LG09、LG10）。此區段屬於開放式運行環境，車輛及設備暴露於風雨、陽光及溫差變化之下。與一期地下段的封閉穩定環境相比，高架段的主要挑戰在於風壓、雨水滲入、車體外部耐候性與乘客舒適度控制。此外，高架橋梁之結構振動、日曬條件亦會影響乘車品質與空調系統的長期性能。因此，在評估既有車輛設計於高架段之適應性時，需特別檢視排水系統、地板防滑設計與空調系統等之耐候表現。

第二節 土城樹林線車輛廠商簡介

阿爾斯通（阿爾斯通）企業發展最早可追溯至近一個世紀前，起初以重型機械製造與電力工程起家，並在 20 世紀陸續投入鐵路車輛與軌道運輸技術的研發，逐步累積深厚的工業底蘊。

進入 21 世紀後，阿爾斯通展開關鍵的策略重組，相繼剝離能源與電力業務，將營運核心全面聚焦於軌道交通。2021 年，阿爾斯通成功完成對龐巴迪運輸（Bombardier Transportation）的併購，這項里程碑極大地擴充了其在全球的鐵路車輛產品組合、數位化信號系統與維護服務網路，奠定了其作為全球軌道工程領航者的地位。

如今，阿爾斯通以「讓鐵路成為交通運輸的骨幹」為願景，持續推動綠色與智慧交通轉型。透過研發氫能列車、電池推進系統及自動駕駛技術，阿爾斯通致力於為全球城市與跨國網絡提供全方位的永續軌道運輸解決方案。

在鐵路車輛領域，阿爾斯通以零碳推進(氫能與電池)及智慧化為研發核心，建立全方位產品線，包含 Citadis™輕軌與 Innovia™單軌系統；Adessia™通勤列車與 Coradia™區域列車；以及 Avelia™高速列車系列（含 TGV-M）與 Traxx™強效機車。

作為城市地鐵旗艦，Metropolis™地鐵平台以「維持城市順暢呼吸」為訴求，具備三大特色，首先是高度模組化，能靈活調整車廂編組與供電方式，適應各都市客運量需求；其次是高度自動化，結合獨家 CBTC 信號系統，實現 GoA4 等級全自動無人駕駛與高密度發車；最後是綠色與舒適，採用輕量化設計與再生煞車節能，搭配低噪車廂與智慧乘客資訊系統。截至目前，阿爾斯通的 Metropolis 已在全球超過 25 個城市投入營運，交車量突破 3,000 節車廂，包含巴黎（Line 1, 4, 14 等多條路線）、阿姆斯特丹、巴塞隆納、布達佩斯、巴塞隆納、新加坡（東北線、環線）、上海（多條地鐵線）、利雅德、杜拜、布宜諾斯艾利斯、聖保羅、奇力聖地牙哥等，本計畫土城樹林線及環狀線第二階段工程南北環即是採用 Metropolis 系列車款。

- 車體與尺寸編組：

編組長度：可彈性調整為 2 節至 10 節車廂。

車體寬度：支援 2.71 公尺至 3.2 公尺不等的車體寬度選擇。

車體材質：可依區域環境與預算選用高強度不銹鋼或輕量化鋁合金。

- 動力與供電系統：支持第三軌供電（750VDC）或架空電車線供電（750V/1500VDC）。採用高效率 ONIX™/Optipower™變頻牽引控制系統與永磁

馬達（PMA），搭配高能量回收率的再生煞車技術（配合 Hesop™ 站務能量回收系統），顯著降低營運能耗。

- 自動化與信號控制：無縫整合阿爾斯通 Urbalis™ CBTC（基於通信的列車控制系統），支援 GoA4 等級的全自動無人駕駛，實現最小班距與極高的發車準點率。
- 乘客體驗與永續性：車廂配備低噪音驅動裝置、大尺寸車門加速上下車動線、LED 智慧照明與現代化乘客資訊顯示系統（PIS）。整車材料的可回收利用率高達 95% 以上。

結合車輛製造、信號、供電與維修服務，阿爾斯通以統包模式為全球都市提供永續且高效的軌道運輸方案。



圖 4 陶巴特工廠廠測啟始會議



圖 5 阿爾斯通南美公司簡介



圖 6 陶巴特廠房生產線說明

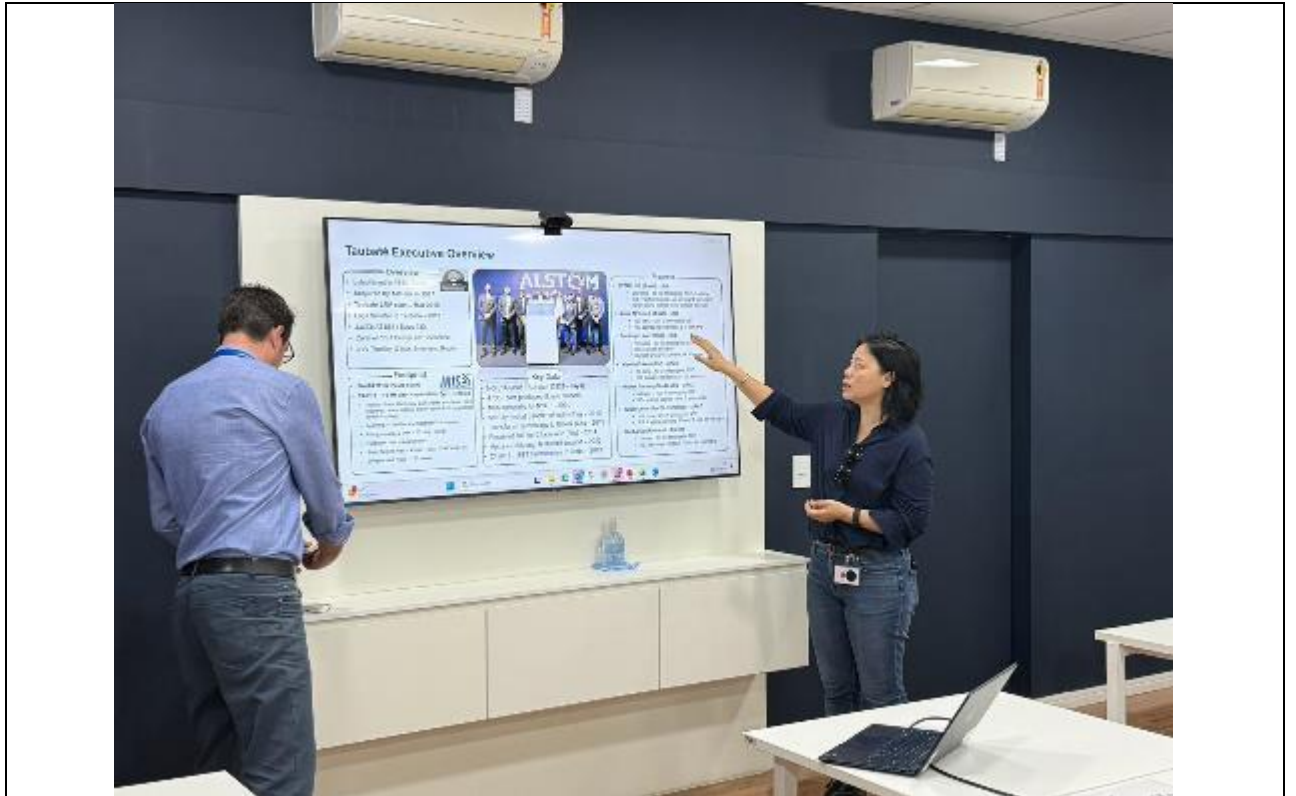


圖 7 陶巴特廠房生產線說明

阿爾斯通近年全力深化拉丁美洲的軌道佈局，結合在地化製造與國際接軌的技術標準，展現出市場影響力與供應鏈實力。全區擁有逾 6,000 名員工及 35 個以上的據點，提供車輛製造、系統整合與營運維護等全方位服務。其中，位於巴西的陶巴特（Taubaté）廠區更是其全球不銹鋼（SST）車體製造中心。

陶巴特廠距離聖保羅約 130 公里，具備成熟的工業經驗與工安紀錄，已實現連續超過 3,500 天無失能傷害事故。廠區在投入 1,500 萬歐元擴建後，總佔地達 13.3 萬平方公尺，雙班制下月產能可達 30 節車廂。該廠從車體切割、焊接、組裝、艙裝到電氣控制櫃全數實施高自製率生產，並配置 4 條高壓靜態測試線與 750 公尺的動態測試軌，具備完整的列車產出與驗證能力。

目前陶巴特廠的未交付訂單高達 939 節車廂，年產能運轉維持在高檔。主要專案包含巴西聖保羅地鐵 6 號線（132 節）、CPTM8/9 號線（288 節），以及智利聖地牙哥地鐵 7 號線（185 節，且包含 20 年長期維修保養合約），展現跨國高運量與 GoA4 全自動無人駕駛電聯車的製造優勢。

在亞太市場部分，台灣捷運建設亦為該廠的生產重心。陶巴特廠承攬了台北捷運萬大中和線與土城樹林線合計 35 列（140 節）Metropolis 不銹鋼電聯車，以及環狀線第二階段南北環的 29 列（116 節）車廂。

第三節 車廠生產線介紹與車輛生產線廠測

壹、車輛生產線介紹

阿爾斯通巴西陶巴特廠為全球不銹鋼（SST）車體製造中心，佔地 13.3 萬平方公尺，具備設計、製造至靜動態測試的全流程能力。產線以嚴密的模組化與流水線規劃，在雙班制下月產能可達 30 至 40 節車廂，且擁有連續超過 3,500 天無失能傷害的優異工安紀錄。製造流程包含雷射切割、成型加工與電阻點焊/電弧焊等高度自製的車體焊接，並同步平行進行轉向架、駕駛台及電氣控制櫃的預組裝（COMPO）。車體完成後進入包含 8 座核心工作站的艙裝線（Fitting），逐步安裝底盤設備、內飾、座椅與電纜線組。最後經由 4 條高壓靜態測試線、列車水密測試（WTT）及 750 公尺動態測試軌進行完整驗證，確保電聯車以最高品質出廠發運。

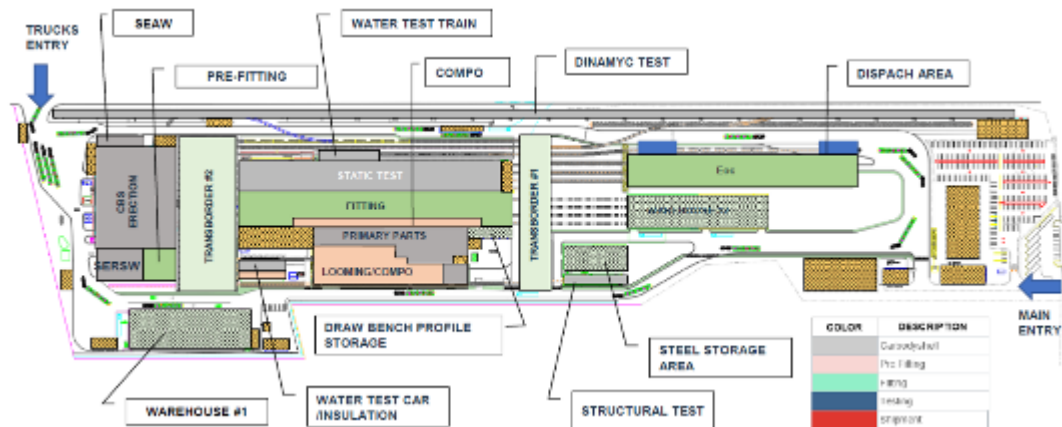


圖 8 陶巴特廠區配置

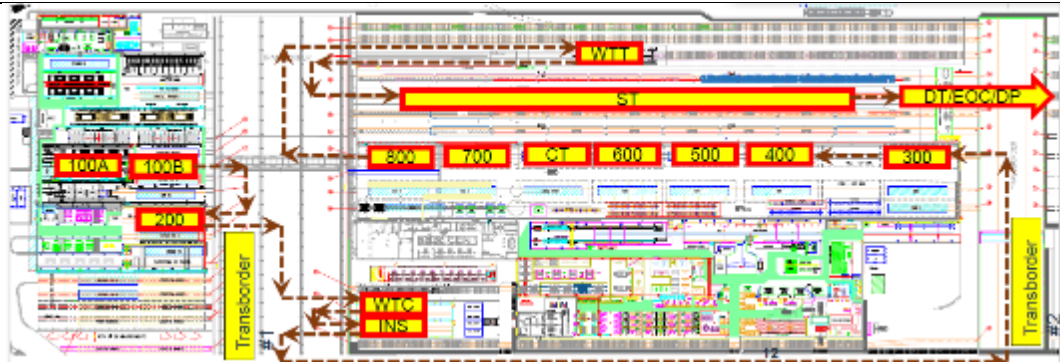


圖 9 土城樹林線車輛生產線

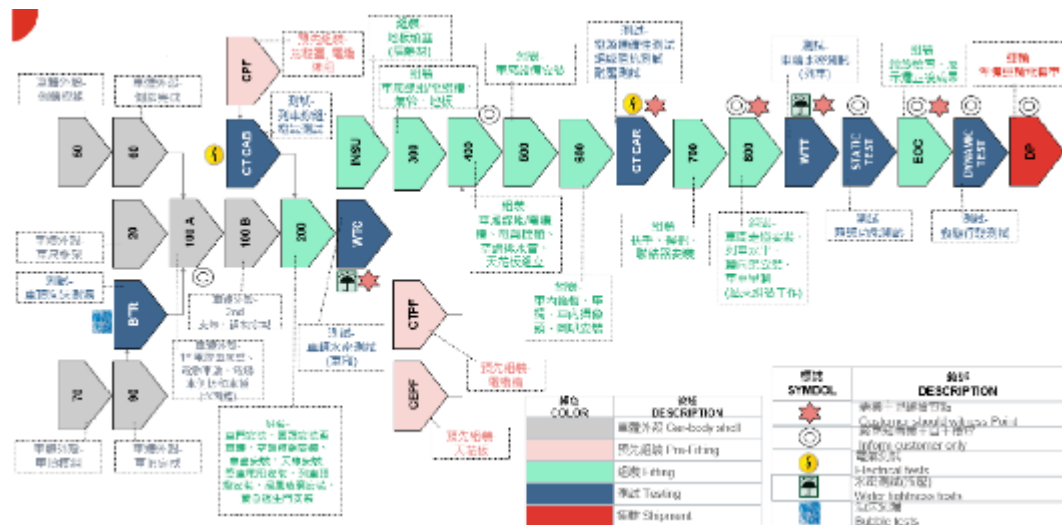


圖 10 電聯車製造、組裝、測試流程

車體外殼製造階段 (Car Body Shell, CBS : WS 20~100)

- 零組件加工：利用雷射切割機、拉伸成型機、拉拔機及折/壓床加工不銹鋼鋼板。
- 次組件焊接：透過電阻點焊與電弧焊，分別進行側牆模組（WS 50/60）、車底框架（WS 20）與車頂模組（WS 70/90）的焊接作業。
- 六面體組裝（WS 100A/100B）：將車底盤、前端、側板及車頂組合焊接，形成完整的車體六面體結構。
- 車頂泡沫測漏測試：車體結構完成後，即刻進行車頂泡沫測漏，確保結構密合度。
- 車架擬定型與二次工程（WS 200）：進行車體結構次級支架與細部修飾。



圖 11 加工不銹鋼鋼板及檢測



圖 12 CNC 進行加工



圖 13 南北環列車組裝生產線

預組裝與預艙裝階段（Pre-Fitting & COMPO）

- 轉向架組裝：包含輪組與材料到料、一級部件組裝、靜態組裝、最後至負載測試台進行調整與測試。
- 預組裝模組：同步進行駕駛台（CPF）、車頂拱架、氣壓模組、電纜線組及電氣機櫃的預組裝。



圖 14 轉向架組裝區



圖 15 轉向架測試台



圖 16 電纜線組預組裝

艙裝組裝階段（Fitting：WS 200~800）

- WS200：安裝車門、車窗、車頂設備、駕駛室及木地板。
- WS300：安裝底盤電纜槽、防撞箱、氣壓管線、導流板及車頂天花板。
- WS400：安裝車頂天花板板材、電氣機櫃、HVAC 空調排水管線。
- WS500：進行車底設備安裝與地板打磨。
- WS600：進行車廂內飾板、座椅、車內攝影機、廣播喇叭、緊急設備及跨接電纜安裝。
- WS700：安裝座椅面版、門柱、門罩、扶手握把及車廂間聯結器。
- WS800：安裝車間走道風擋、落實列車水平調整、完成轉向架落成安裝與車重量測，宣告艙裝工作結束。



圖 17 內裝組裝工藝



圖 18 內裝組裝視察



圖 19 駕駛操作台檢核

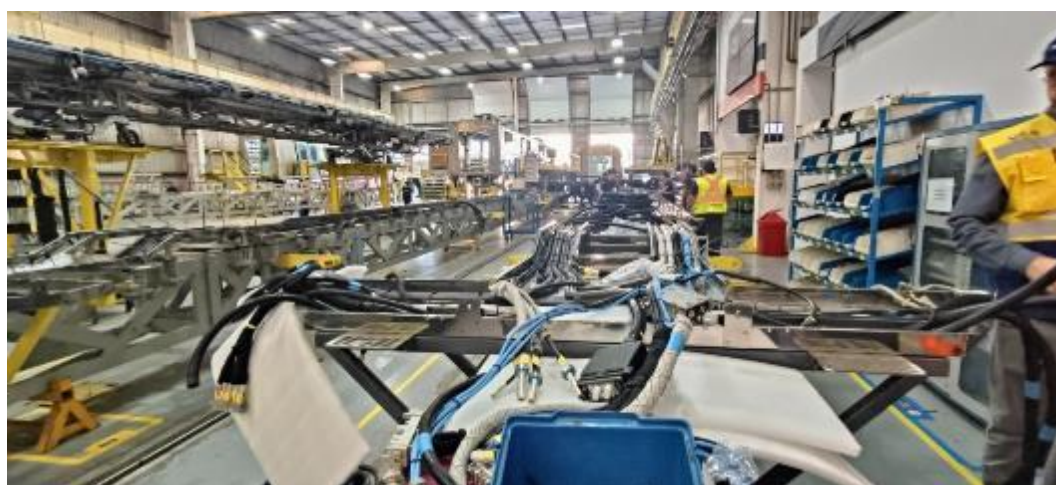


圖 20 車內配線模組化組裝設計



圖 21 車內線槽進料口設計

例行測試與品質驗收階段（Routine Test & Quality Check）

- 電氣與連續性測試：在專用高架平台區進行電路連續性測試、絕緣阻抗測試及高壓耐壓測試。
- 單車水密測試與隔熱：車廂水密性液壓測試與隔熱材填塞。
- 列車級水密測試：車輛連掛組成列車後，通過水密測試噴淋架，進行整列車之水密性驗收。
- 靜態功能測試：於靜態測試線（含 750V / 1500V / 3000V 高壓）進行全車電氣、控制、空調與通訊功能測試。
- 動態行駛測試：於 750 公尺動態測試軌上，進行實際行駛、煞車與高低壓供電（第三軌/架空線）測試。
- 最終檢查：進行全車外觀、內部細節與缺陷矯正之最終展示檢查。



圖 22 列車中央立柱組裝視察

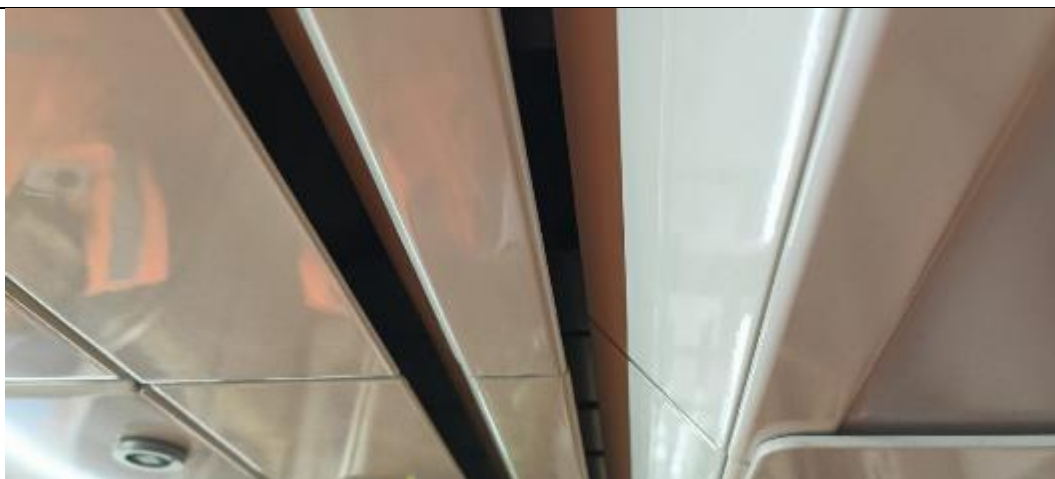


圖 23 列車空調出風口材質檢核



圖 24 列車水密測試視察

貳、生產線廠測作業

為確保土城樹林線車輛工藝與生產品質均能滿足需求，須具備公正第三方核予相關認證及授予證書，及人員能力培訓紀錄與車輛生產品管紀錄等，均為本次生產線廠測重點。

最基本應取得 ISO 9001 品質管理系統認證、ISO 14001 環境管理系統認證、ISO 45001 職安衛管理系統認證，ISO 9001、ISO 14001 與 ISO 45001 是國際標準化組織（ISO）制定的三大管理系統認證，分別針對品質、環境與職業安全衛生領域，協助企業建立系統化的管理架構，提升營運效率與永續發展能力。

ISO 9001 品質管理系統的核心在於顧客滿意與持續改善，透過標準化流程、風險管理與績效監控，企業能確保產品或服務品質穩定，降低錯誤與浪費，提升顧客信任與忠誠度，此認證不僅有助於進入國際市場，也常是招標或合作的基本門檻。

ISO 14001 環境管理系統則聚焦於企業對環境的責任，它要求企業識別並控制其活動對環境的影響，如能源使用、廢棄物處理與污染防治，導入此系統有助於符合法規、降低環境風險、提升企業形象，並促進綠色永續經營。

ISO 45001 職業安全衛生管理系統強調員工健康與安全，它要求企業建立風險評估與控制機制，預防職災與健康危害，並促進安全文化，此認證不僅保障員工福祉，也降低因工傷或事故造成的損失與法律風險。

經查核阿爾斯通 BRASIL ENERGIA E TRANSPORTE LTDA 已通過由 AFNOR Certification 核發的三項國際管理系統認證，展現其在品質、環境與職業健康安全領域的全面營運實力。該公司獲得的認證包含 ISO 9001:2015（品質管理系統）、ISO 14001:2015（環境管理系統）及 ISO 45001:2018（職業健康安全系統）。其中，ISO 14001 與 ISO 45001 證書效期均至 2028 年 6 月 26 日，而 ISO 9001 證書效期則至 2027 年 4 月 14 日。

在業務能力與服務範圍方面，該公司獲認證之能力涵蓋針對全球軌道交通及鐵道客戶所提供的全生命週期服務。其核心專業能力包含產品與系統的銷售、設計、開發、驗證與測試、製造、安裝、供應，以及相關技術支援。具體應用範疇廣泛，涵蓋整合式鐵路運輸系統、鐵路車輛（Rolling Stock）產品與備品備件，並進一步延伸至軌道資訊系統解決方案、基礎設施與土木工程。此外，公司在營運後期的維修保養、車輛升級改造、備件供應鏈管理、專案管理與客戶支援等服務領域亦皆納入認證範圍。

上述認證適用於公司在巴西的多個主要營運據點，包括位於陶巴特（Taubaté）、聖保羅（Água Branca）與里約熱內盧（Rio de Janeiro）等地的辦公室及廠區。同時，該認證範圍亦完整涵蓋其轄下的所有專案執行現場、測試調試與保固站點、維修廠及備件供應中心，確保整體營運皆符合國際標準。



圖 25 ALSTOM BRASIL ENERGIA E TRANSPORTE LTDA ISO 9001：2015 證明



圖 26 ALSTOM BRASIL ENERGIA E TRANSPORTE LTDA ISO 14001：2015 及 ISO 45001：2018 證明

另針對技術人員能力為生產線維持工藝品質的基礎，本次抽查重點旨在確認廠內執行軌道車輛關鍵組裝之技術人員，均具備符合國際鐵道品質管理標準及內部管制規範之「特殊製程資格檢定證書」，以落實關鍵工序之品質管控與風險防範。本次隨機抽查 6 名廠內技術人員之 ALPS ID 檔案及檢定證書，經交叉比對各項特殊製程之授權範疇，廠房展現出健全之專業分工與嚴密的工位授權體系。

點焊技術由 Luiz Felipe Mendes 專責執行手動點焊與連續點焊作業；電氣配線與端子壓接由 Vivian Porto 與 Tiago Enéas 取得認證，確保線束與接線品質；結構鉚接由 Delcio Luiz 與 Vivian Porto 執行；車體密封黏合則由 Delcio Luiz 與 Renne Andrade 負責；車體塗裝修補由 Tiago Enéas 取得相應資格。

所提供之人員特殊製程資格證書內容完整、版次符合最新規範，且設有清晰之資格發證、再驗證與失效履歷追蹤機制。抽查結果顯示，廠房具備完善且符合規範之特殊製程人員資格管理能力，能有效確保車輛製造與組裝過程之品質穩定度。

CERTIFICADO DE QUALIFICAÇÃO EM PROCESSOS ESPECIAIS							VERSÃO: 0001/01
Nome do Operador (nome e sobrenome): Tiago Enéas Gonçalves De Oliveira							Rev.: 04
CPF: 00.000.000/0000-00							Data de aplicação: 2020/03/26
Processo Especial (Código: P00000)	Especialista no Processo Especial (Present in the Special Process)	Status de Qualificação do Operador (Just in the Special Qualification)	Data de Revalidação do Operador (Revalidation date of the Operator)			Data de Verificação da Qualificação (Validation date of the Qualification)	Data de Desqualificação do Operador (Disqualification date of the Operator)
Rebites Pontos Manuais		Não aplicável					
Soldas Pontos em Série		Não aplicável					
Rebites Pontos Contínuos		Não aplicável					
Soldas Pontos Automáticas		Não aplicável					
Soldas Pontos Projétil		Não aplicável					
Isolação Pneumática		Não aplicável					
Colagem de Juntas/Pastilhas		Não aplicável					
Colagem e Selante Padrão		Não aplicável					
Grampagem e Colagem	Luiz Silva		09/06/20	09/12/20	10/06/21	10/12/21	10/06/22
Pintura (Retoque)	Cláudio Nascimento		09/10/20	09/10/21	09/10/22	09/10/23	09/10/24
Montagem Finalizada		Não aplicável					
Torque	Cláudio Nascimento		20/07/20	21/01/21	20/07/21	20/01/22	20/07/22
Enchimento/Reforço		Não aplicável					
Teste de Continuidade		Não aplicável					
1 - O operador é certificado no (X) Processo (X) Especial (X) ambos indicados (X). The Operator is certified in the (X) Process (X) Special (X) both indicated (X).							
2 - A avaliação dos desempenhos é realizada pelo PFI Manager no Processo Especial e/ou especialização. The evaluation of performance is realized by the PFI Manager in the Special Process and/or in the specialization.							
							Procedente/Renovação de: Responsible/Process Manager

圖 27 Tiago Enéas Gonçalves De Oliveira 端子壓接與線束佈線、噴漆、緊固扭力作業能力符合效期

CERTIFICADO DE QUALIFICAÇÃO EM PROCESSOS ESPECIAIS CERTIFIED OF QUALIFICATION IN SPECIAL PROCESSES							IND-SAL-7586-171
Nome do Operador (Name of the Operator): Luiz Felipe Mendes							Rev.: 04
Nº ALP: 1419100 480331							Data de aplicação: 30/07/2025
Processo Especial (Special Process)	Especialista no Processo Especial (Expert in the Special Process)	Título de Qualificação do Operador (Title of the Operator Qualification)	Data de Renovação do Operador (Renewal date of the Operator)		Data de Vencimento da Qualificação (Expiration date of the Qualification)		Data de Desqualificação do Operador (Disqualification date of the Operator)
Solda Ponto Manual	Fernando Sousa	198925	16/12/25	170626	171229	16/09/27	
Solda Ponto em Série	Fernando Sousa	198925	16/12/25	170626	171229	16/09/27	
Solda Ponto Circular		Não aplicável					
Solda Ponto Automática		Não aplicável					
Solda Ponto Progressão		Não aplicável					
Tubulação Pressurizada		Não aplicável					
Colagem de Juntas Paralelas		Não aplicável					
Colagem e Solda Ponto		Não aplicável					
Conexões e Tubulações		Não aplicável					
Pinos (Parafusos)		Não aplicável					
Montagem Industrial		Não aplicável					
Torneio	Eduardo Nascimento	204735	27/04/27	29/07/27	20/04/29	25/07/30	
Isolam. Identificação		Não aplicável					
Teste de Condição		Não aplicável					
1 - O operador é certificado no (s) Processo (s) Especial (s) acima indicados (s). The Operator is certified in Special Process(es) indicated above.							
2 - Se a avaliação do desempenho e satisfação o QPM Manager no Processo Especial deve certificar nas datas indicadas acima. The evaluator of performance and satisfaction, the QPM Manager in the Special Process must certify on the dates indicated above.							
							Eduardo Nascimento Special Process Manager

圖 28 Luiz Felipe Mendes 手動點焊、連續/串聯點焊、緊固扭力作業能力符合效期

經現場抽查阿爾斯通提供之訓練與資格文件，評定阿爾斯通陶巴特車輛製造廠具備完整且嚴謹之特殊製程品保體系與人員技術能力，各項技術資格與定期審查紀錄均符合國際標準，廠房製造與品質管理能力評定為合格。

此外，抽查萬大中和線 T19 車組水密測試、絕緣阻抗測試及高壓耐壓測試等完整廠測紀錄。

在水密測試項目中，測試係依據規範於 3.0 bar(+0.2/-0)的管路壓力下，對車輛進行持續 10 分鐘的噴水測試，並於噴水期間及停止後目視檢查車廂內部、車門窗間隙、空調回風口、車間走道及車底設備箱等區域。紀錄顯示，測試過程中雖曾發現部分區域（如 MC1 車廂之 CUS 蓋板與車間走道、MC2 車廂之牽引箱、M1 車廂之電池箱與車間走道）需進行微調或修復，但均已於現場由阿爾斯通生產人員或供應商代表即時處置完畢，內部檢查最終無滲漏現象，全數車廂之水密測試結果皆評估為合格。

在電氣絕緣與高壓耐壓測試項目中，廠方依據電纜等級群組（包含 C5-C1、B2、B1、A10、A9、A8、A7、A2 等類別）執行高阻計與耐壓測試計之量測。測試紀錄顯示，各車廂在 1220 VAC、1760 VAC 及 3500 VAC 高壓施加 1 分鐘的情形下，設備皆無關機且無絕緣擊穿或不穩定電流洩漏（實測漏電流介於 0.953 mA 至 8.373 mA 之間）；而在 500

VDC 絕緣阻抗測試中，測得之絕緣電阻介於 123 MΩ 至 13,600 MΩ 之間，遠高於合格標準之 3 MΩ。此外，測試所使用的高阻計、溫濕計與耐壓測試計均於校正有效期限內。

附件 2 測試記錄表 Appendix 2 Test Record Sheet

臺北都會區捷運系統 萬大中和樹林線（第 1 期）機電系統、自動收 費系統及軌道工程採購 案 Taipei MRT CQ810/CQ817/CQ811 Project	TITLE: 標題名稱: 水密測試記錄表 Test Record Sheet for Watertightness Test Procedure			測試程序編號 Test Procedure No. PD-LG-EMU-TT-14-
	第二階段 Stage 2			0046
	車廂 / 列車 編號 Car / Train No.	檢查員 / 見證人 Inspector / Witness		Date of Inspection 檢查日期
專案編號 Project No. CQ810	WTT TS19-MC1	檢查員 Inspector	ALSTOM EDUARDO GILBERTO	01/07/26
			ALSTOM JOÃO PEDRO	01/07/26
			ALSTOM VIGOR VILLALBA	01/07/26
	見證人 Witness	SEMPO 羅祖恩	01/07/26	
		SEMPO 林永豪	01/07/26	
			1 1	

測試日期 Test Date: 01/07/2026
溫度 Temperature: 23°C

- 測試結果 / Test Results: 如附件所示 As attached (8 頁/pages)
- 評估 Evaluation
☒ 合格 Pass / ☐ 失敗 Fail
- 備註 Remarks

圖 29 T19 MC1 水密測試紀錄(PAGE 20)

步驟 Step	說明 Description	標準 Criteria	通過 / 不 通過 P / F	備註 Remark
列車水密測試前準備 Preparation of Vehicle watertightness tests				
1	紀錄列車識別編號 Write the Train Identification.	N/A	N/A	車廂 Cars: MC1 編號 Numbers: W41019
2	檢查噴嘴位置 Check the location of the nozzles.	噴嘴須符合附件 4 的圖說 The nozzles are according to Appendix 4.	☒ Pass ☐ Fail	
3	進行測試前檢查安裝的設備，如第 5.2.2.2 節所述 Check the assemblies installed as described in section 5.2.2.2.	列車須達到執行測試的最低要求 Vehicle has the minimum requirements for the tests to be performed.	☒ Pass ☐ Fail	
4	檢查車底設備箱的蓋板是否設有密封膠條並正確關閉 Check that the covers of all the underframe boxes are equipped with sealing rubber and are correctly closed. 檢查車門是否關閉。 Check all doors are closed.	列車已準備好進行測試 Vehicle is prepared for the test.	☒ Pass ☐ Fail	

本文件由人員 ALSTOM BRASIL ENERGIA E TRANSPORTE LTDA / 法國阿爾斯通運輸股份有限公司 / 中國工程股份有限公司 共同承攬
編號及版本: PD-LG-EVA-TT-14-0048-B 最後修改日期: 2025.07.11

-21-

圖 30 T19 MC1 水密測試紀錄(PAGE 21)

意見 Comments

No.	觀察事項 Observations
1	CNS COVER WAS REPAIRED BY ALSTOM PRODUCTION OPERATORS.
2	GANGWAY WAS REPAIRED BY SUPPLIER REPRESENTATIVE.
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	

本文件由人員 ALSTOM BRASIL ENERGIA E TRANSPORTE LTDA / 法國阿爾斯通運輸股份有限公司 / 中國工程股份有限公司 共同承攬
編號及版本: PD-LG-EVA-TT-14-0048-B 最後修改日期: 2025.07.11

-28-

圖 31 T19 MC1 水密測試校正紀錄(PAGE 29)

附件 2 測試紀錄表 Appendix 2 Test Record Sheet

臺北都會區捷運系統 萬大中和樹林線 (第 1 期) 機電系統、自動收 費系統及軌道工程採購 案 Taippei MRT CQ810/CQ817/CQ811 Project	TITLE: 標題名稱: 耐壓測試紀錄表 Test Record Sheet for High Potential Test Procedure		測試程序編號 Test Procedure No. PD-LG-EMU-TT-14- 0037	
	車廂類型 / 編號 Car Type. / Car No.	檢查員 / 見證人 Inspector / Witness		Date of Inspection 檢查日期
專案編號 Project No. CQ810	TST 019 M1	檢查員 Inspector	ALSTOM Rafael Aben S	01 / 04 / 2020
			ACT	01 / 04 / 2020
			ALSTOM Unicef	01 / 04 / 2020
		見證人 Witness	ALSTOM 一級電檢	01 / 04 / 2020
	1 / 1			
	1 / 1			

測試日期 Test Date: 01/04/2020

溫度 Temperature: 22.5

1. 測試結果 / Test Results: 如附件所示 As attached (頁/pages)

2. 評估 Evaluation

☒ 合格 Pass / ☐ 失敗 Fail

3. 備註 Remarks:

因業主未能到場見證本次測試，廠商
將提供照片及影片作為佐證，並由現場
品管人員進行紀錄及說明。

圖 32 T19 M1 耐壓測試紀錄(PAGE 15)

附件 2 測試紀錄表 Appendix 2 Test Record Sheet

臺北都會區捷運系統 萬大中和樹林線（第 1 期）機電系統、自動收費 系統及軌道工程採購案 Taipai MRT CQ810/CQ817/CQ811 Project	TITLE: 標題名稱：絕緣阻抗測試程序 Insulation Resistance Test Procedure		測試程序編號 Test Report No. PD-LG-EMU-TT- 14-0036	
	車輛類型 / 編號 Car Type. / Car No.	檢查員 / 見證人 Inspector / Witness		Date of Inspection 檢查日期
專案編號 Project No. CQ810	TST 019 M1	檢查員 Inspector	ALSTOM Rafael Alen J	01/04/2026
			ACT William Alen	01/04/2026
			ALSTOM Vosses Vosses	01/04/2026
		見證人 Witness	ALSTOM 胡江敏	01/04/26
				/ /
		/ /		

測試日期 Test Date : 01/04/2026
溫度 Temperature : 22.3

1. 測試結果 /Test Results : 如附件所示 As attached (頁/pages)
2. 評估 Evaluation
合格 Pass / 失敗 Fail
3. 備註 Remarks :

因素主未能到場見證本次測試，廠商
將提供相同照片及影片作為佐證，並
由現場品質人員進行紀錄及說明。

圖 33 T19 M1 絕緣阻抗測試紀錄(PAGE 21)

第四節 車輛生產線廠測總結說明

經本局率領專管顧問、監造單位及 IV&V 顧問團隊之查核結果，土城樹林線車輛廠商阿爾斯通具備 ISO 9001 /ISO 14001/ISO 45001 認證，範疇涵蓋整合式鐵路運輸系統、鐵路車輛（Rolling Stock）產品與備品備件。實際走訪整體電聯車生產線，包含完整品質管制

制度與模組化概念組裝思維，例如車輛組裝最為耗時且容易組裝錯誤的電纜艙裝部分，設置專屬電纜組裝台，檯面上放置實際完成圖面，使組裝人員可以據以對照施作，並透過料件分區系統性集中，提升整體組裝效率及降低錯誤率。各區模組化電纜組再運往組裝台進行組合，以人因工程想法，避免人員因為俯仰施作而容易疲勞影響工率，以車廂為單位完成組裝，接續再透過翻轉台與升降設備，直接將艙裝模組送進車廂內部完成最後組裝固定。

經現場抽查阿爾斯通提供之訓練與資格文件，評定阿爾斯通陶巴特車輛製造廠具備完整且嚴謹之特殊製程品保體系與人員技術能力，各項技術資格與定期審查紀錄均符合國際標準，廠房製造與品質管理能力評定為合格。綜合抽查測試紀錄文件的見證結果，T19 車組四節車廂在水密性、電氣絕緣性能及高壓耐壓安全等各項測試數據上，均完整記錄且符合原設計規範之合格標準，測試評估結果全數判定為合格。

整體土城樹林線電聯車生產線廠測結果，透過品質管理、人員資格、產線檢核及測試結果等多面向確認，應可展現優異之電聯車組裝品質工藝，後續將針對本次廠測發現事項，特別要求監造單位納入後續駐廠監造重點項目，以確保本次廠測結果確實落實於土城樹林線電聯車組裝能維持相同工藝。



圖 34 完成生產線廠測作業合影



圖 35 完成生產線廠測作業合影



圖 36 本局致贈公務禮品

第五節 智利聖地牙哥捷運系統

壹、智利聖地牙哥

聖地牙哥位於智利中部盆地，東倚雄偉的安地斯山脈，西臨海岸山脈，海拔約 570 公尺。聖地牙哥市中心面積約 22 平方公里，若以整體聖地牙哥大都會區來看，面積廣達約 15,400 平方公里，大都會區人口近 700 萬人，佔智利全國總人口約四成，是拉丁美洲人口最密集且發展高度成熟的超級都會區之一。當地屬地中海型氣候，四季分明、夏乾冬雨，冬日能同時遠眺山頂積雪與現代化城區交織的壯麗景貌。

作為智利的政治、金融與商業核心，聖地牙哥貢獻智利近 45% 的經濟總值，是南美洲最穩健且具吸引力的金融樞紐之一。無數跨國企業將拉丁美洲總部設於市內的商業區，如 BHP、LATAM、Google Data Center、Microsoft、Oracle 等，區內的大聖保羅塔更是南美洲最高大樓。此外，聖地牙哥擁有南美洲現代化且高效率的地鐵網絡，及完善的國際機場設施，支撐著高強度的商務物流與觀光機能。

在文化與民情方面，聖地牙哥完美融合歐洲殖民遺跡與拉丁美洲的當代活力。舊城區以武器廣場與莫內達宮為核心，保存著濃厚的西班牙古典風格，而鄰近的聖克里斯托瓦爾山與聖盧西亞山則是市民日常休憩的主要綠地。當地居民生活節奏相較其他南美大都市更顯秩序與現代化，同時深植著葡萄酒文化、安地斯山脈戶外運動與活潑的街頭藝術風氣，展現出多元包容且充滿動能的城市性格。

貳、聖地牙哥捷運 4 號線/5 號線/7 號線

聖地牙哥捷運是智利首都圈最核心的公共運輸骨幹線路，整體路網結構兼具「東西向穿心骨幹、南北向聯絡幹線、雙環狀網狀交織」的複合式空間佈局，營運總里程近 150 公里，共設有 140 多座車站，服務範圍涵蓋聖地牙哥大都會區的多數行政區。

整體路網的發達基礎，建立在早期興建的傳統鋼輪與膠輪動車組混合架構上。東西向的 1 號線貫穿聖地牙哥最繁忙的商務中心與主幹道，是全系統運量最高的黃金動脈；2 號線與 5 號線則分別承擔南北向與西北至東南向的通勤重任。這三條主力線路在市中心與 4 號線、4A 號線串聯，形成早期覆蓋舊城區與主要近郊住宅區的基礎路網。

近年來，聖地牙哥捷運全面推進全自動化無人駕駛的新一代高架與地下鐵路建設。3 號線與 6 號線採用 CBTC 無人駕駛號誌系統、架空線供電及全高式月台門，提升系統的營

運安全與調度效率。這兩條新線以斜向穿梭的方式劃過市區，與 1 號線及 2 號線多處轉乘站點，建構出外圍區域間直接橫向聯繫的蛛網狀轉乘體系。

在多模態整合方面，聖地牙哥捷運全面融入公車與近郊鐵路綜合交通體系，乘客可透過 Bip! 電子票證或 App QR 碼進行跨運具無縫轉乘。展望未來，隨著興建中的 7 號線，及規劃中的 8 號與 9 號線逐步推進，聖地牙哥捷運路網將進一步延伸至東部與南部外圍新興高密度區，持續鞏固其作為南美洲高效率、高自動化軌道交通示範標竿的地位。



圖 37 聖地牙哥捷運路網

一、智利聖地牙哥捷運 4 號線

聖地牙哥捷運 4 號線於 2005 年通車營運，是連結聖地牙哥東北部高端商圈與東南部高密度住宅區的關鍵軌道縱貫線，路線全長 24.7 公里，設有 23 座車站，橫跨 8 個行政

區，改善東南部邊緣社區居民前往市中心與東北部商業區的交通瓶頸，是整個捷運路網中運量最高且不可或缺的黃金動脈之一。

採用 1,435 釐米國際標準軌距鋼軌鋼輪系統，並以 750VDC 第三軌供電，車隊全數採用阿爾斯通生產的 AS-2002 型鋼輪列車。單列列車由 3 節或 6 節車廂編組而成，為因應安地斯山脈山麓地形，列車具備良好的爬坡性能與加速性能。4 號線全線涵蓋地下隧道、地面段及高架橋梁，車站全數設有無障礙電梯與電扶梯，並在主要端點站配置封閉式安全防護設施。



圖 38 智利聖地牙哥捷運 4 號線出入口



圖 39 智利聖地牙哥捷運 4 號線出入口標示看板呈現各路線運轉狀態



圖 40 智利聖地牙哥捷運 4 號線出入口標示營運時間



圖 41 智利聖地牙哥捷運 4 號線配置上行電扶梯



圖 42 智利聖地牙哥捷運 4 號線月台層配置



圖 43 智利聖地牙哥捷運 4 號線自動收費系統



圖 44 智利聖地牙哥捷運 4 號線自動收費系統出站無需刷卡



圖 45 智利聖地牙哥捷運 4 號線月台層緊急設施



圖 46 智利聖地牙哥捷運 4 號線列車鋼輪鋼軌



圖 47 智利聖地牙哥捷運 4 號線列車



圖 48 智利聖地牙哥捷運 4 號線列車緊急對講機設備



圖 49 智利聖地牙哥捷運 4 號線列車空調系統



圖 50 智利聖地牙哥捷運 4 號線列車照明及相關標語



圖 51 智利聖地牙哥捷運 4 號線列車座位配置



圖 52 智利聖地牙哥捷運 4 號線列車陶巴特廠房生產



圖 53 智利聖地牙哥捷運 4 號線轉乘連通動線設計



圖 54 智利聖地牙哥捷運 4 號線立體化轉乘連通動線設計



圖 55 智利聖地牙哥捷運 4 號線電梯設計

二、智利聖地牙哥捷運 5 號線

聖地牙哥捷運 5 號線於 1997 年正式通車，是路網中長度最長、車站最多且轉乘節點最密集的東西向橫貫幹線。5 號線全長 29.7 公里，設有 30 座車站，串聯多處文化地標與市中心歷史樞紐，單程運行時間約為 50 分鐘，是首都東西向通勤族最依賴的交通脊梁。

5 號線採用高度靈活的膠輪捷運技術，車軌由鋼軌與兩側橡膠導向輪組成，具備高抓地力、高加速度、低運轉噪音以及極佳的爬坡能力，非常適合舊城區地下急彎與東南部高架段。車隊主要由法國阿爾斯通生產的 NS-93、NS-04 以及西班牙 CAF 製造的 NS-12 型膠輪列車組成，採 6 至 7 節車廂編組。車廂內部配置高功率空調、廣角車窗、LED 動態路線圖與全車高畫質監控系統，並具備全貫通車廂設計，提升乘客在車廂間的移動便利性與候車安全感。



圖 56 智利聖地牙哥捷運 5 號線列車採膠輪系統



圖 57 智利聖地牙哥捷運 5 號線列車扶手設計



圖 58 智利聖地牙哥捷運 5 號線月台層配置



圖 59 智利聖地牙哥捷運 5 號線穿堂層販賣店

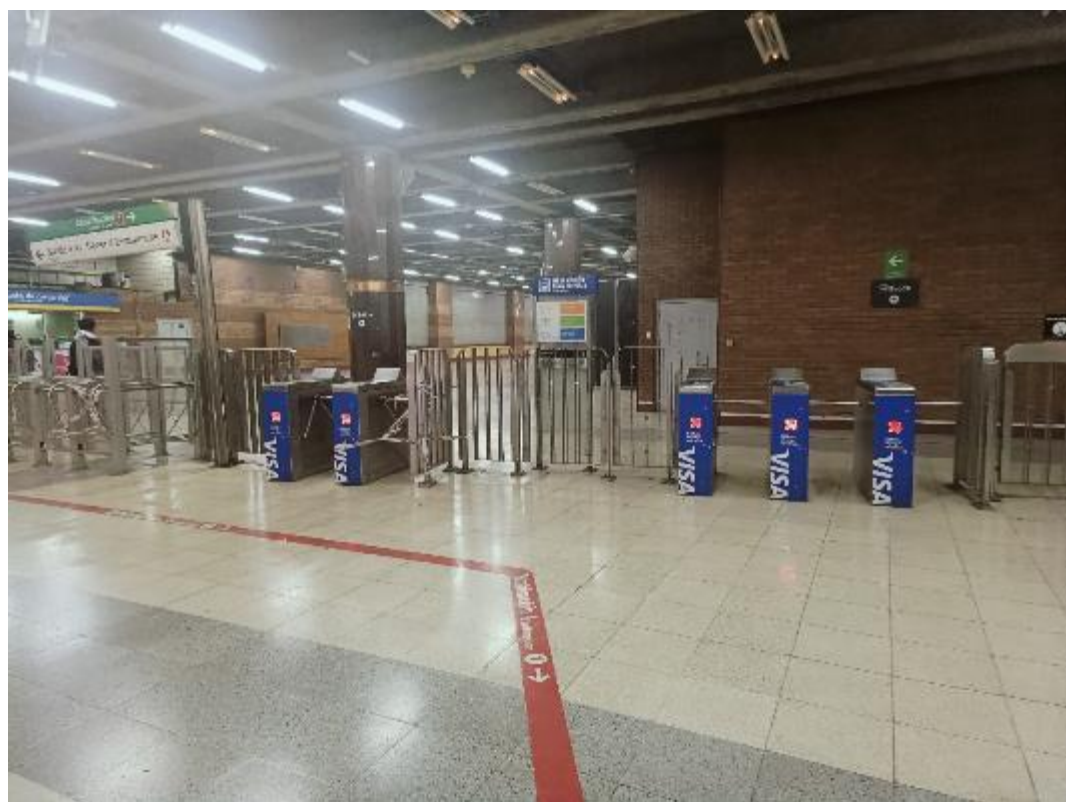


圖 60 智利聖地牙哥捷運 5 號線自動收費閘門



圖 61 智利聖地牙哥捷運 5 號線 bip! 票卡查詢機

三、智利聖地牙哥捷運 7 號線

聖地牙哥捷運 7 號線是智利政府與聖地牙哥捷運公司目前正在全力推進興建的全新核心東西向地下捷運大動脈。7 號線路線全長約 26 公里，設有 19 座全地下車站，規劃旨在提供一條平行於 1 號線（L1）的高容量平行分流走廊，專門紓解 1 號線長期以來極度擁擠的通勤壓力，並首次將捷運軌道服務延伸至西北部的 Renca 區與東北部的 Vitacura 區。

7 號線代表了聖地牙哥捷運技術全面升級的最高標準，全線採用全地下化敷設、1,435 釐米標準軌距與架空剛性電車線供電。列車車隊由法國阿爾斯通位於巴西 Taubaté 的工廠在地化製造。單列列車長度約 102 公尺，採用 5 節全貫通車廂編組，單趟載客量可達 1,247 人。最核心的技術突破在於採用 GoA4 等級的全自動無人駕駛系統（UTO），完全取消駕駛室。車廂內部配置極具現代感，配備高效自動調節空調、車載 Wi-Fi、USB 手機充電插座、博愛座與輪椅專用區；所有車站月台均配備全高式月台門，提供無死角的防墜安全保障。

第六節 巴西里約輕軌與聖保羅捷運系統

壹、巴西里約熱內盧與聖保羅

一、里約熱內盧

里約熱內盧(里約)位於巴西東南沿海，行政區面積約為 1,200 平方公里，市區人口約 670 萬人，若計入整個大里約都會區則超過 1,300 萬人，是巴西第二大城市。

里約以奇蹟之城聞名於世，其最著名的地理特徵在於雄偉的花崗岩岩峰、蒂茹卡熱帶雨林與科帕卡巴納等綿延沙灘交織出的絕美景致。在經濟發展方面，里約作為巴西至 1960 年前的舊都，長期以來積累豐厚的文化與政經資源。如今，里約是巴西僅次於聖保羅的第二大經濟體，同時也是拉丁美洲最重要的能源與影視娛樂中心。巴西石油公司(Petrobras)、Vale、Shell、Equinor 等能源巨擘的總部均設於此，支撐著當地的離岸石油開採與天然氣產業；此外，發達的觀光業與服務業也是里約的經濟命脈，每年吸引數百萬國際旅客造訪。

在文化與民情上，里約當地人被稱為卡里奧克，以熱情放鬆、熱愛戶外運動與海灘生活的態度著稱。這裡也是桑巴舞(Samba)與巴薩諾瓦(Bossa Nova)音樂的發源地，每年 2 月舉辦的里約嘉年華更是全球規模最大的狂歡節慶。然而，繁華景致的背後，山坡上廣布的貧民窟與城區治安問題，也折射出這座奇蹟之城顯著的貧富差距與社會挑戰。

二、聖保羅

聖保羅位於巴西東南部內陸的高原之上，市區面積約 1,521 平方公里，市區人口近 1,200 萬人，而大聖保羅都會區人口更超過 2,200 萬人，是巴西乃至整個南半球人口最多、規模最大的超級都會區。相較於里約的海濱風情，坐落於海拔約 760 公尺處的聖保羅氣候較為涼爽多雨，因午後常有微雨而被稱為雨城。

在經濟層面，聖保羅是拉丁美洲無可爭議的金融與商業樞紐，其生產總值佔巴西全國相當高的比例。拉丁美洲最大的證券交易所總部即設於此，市內的保利斯塔大道與法里亞·利馬大道高樓林立，集結無數跨國企業與金融機構，如 Nestlé、General Motors、Volkswagen、J.P. Morgan、Citi、B3 等。這座城市擁有極為高密度的地鐵與城際鐵路網，甚至因為地面的繁忙交通而發展出全球密度最高的民用直升機通勤網絡。

在文化民情方面，聖保羅是一座典型的國際移民大熔爐。19 世紀末咖啡經濟爆發後，歐洲、日本及中東等地的移民大量湧入，形塑其多元的族群結構，例如著名的自由區

貳、巴西里約輕軌

本案為巴西公共運輸領域極具代表性的公私合作模式（PPP, Public-Private Partnership）典範，特許經營期為 25 年，包含 3 年建設期，由里約市政府作為特許方，與民間企業 CCR 集團組成的特殊目的公司（SPV - VLT Carioca）簽署公私合作契約。SPV 負責營運維護與介面整合，並將機電統包交由阿爾斯通執行，土建工程則由專責承包商分

工程總興建成本約為 11.57 億雷亞爾（BRL），採公私協力分擔，其中 5.32 億來自中央政府補助，6.25 億由民間私營資金注入。建設期間依據工程里程碑節點付款，進入營運期後，政府每月給付金額則嚴格與營運績效指標（KPIs）掛鉤，藉此確保服務品質。

本案成功推進的另一核心關鍵在於在地化融資解鎖策略，為符合巴西國家社會經濟開發銀行長期優惠貸款的融資門檻，阿爾斯通必須提高當地採購與製造比例，為此阿爾斯通在 14 個月內於巴西建造拉丁美洲首座輕軌專屬工廠，成功將 32 列列車中的 27 列實現本土組裝，並完成技術轉移，使當地零件供應商進入供應鏈，順利鎖定長期資金。

而在系統開通後，里約輕軌持續深化路網效益。市政府於 2024 年 2 月推動延伸計畫，興建 700 公尺軌道連結全新竣工的大型多模態公共運輸轉乘中心，串聯輕軌、公車捷運系統(BRT Transbrasil)及 14 條市區公車路線，每日服務超過 15 萬名乘客，成為里約最大的公共運輸轉乘中心，預期為輕軌系統帶來高達 40%的運量成長推升效益。



圖 63 公共運輸轉乘中心

採用 1,435 釐米的國際標準軌距，路網全長約 28 公里，設有 4 條營運路線（Linha1、2、3、4）與 30 座車站，系統無縫銜接里約市中心各大關鍵交通門戶，包含聖多斯杜蒙國

內機場、里約客運總站、城際鐵路總站、渡輪碼頭及地鐵，讓搭乘飛機、火車或渡輪抵達的旅客能零時差進入市中心。此外，輕軌路線貫穿港區，沿途直達明日博物館、里約藝術博物館、水族館及著名的巨型彩繪壁畫街，完美將現代高科技軌道運輸、在地歷史文化與國際觀光動線融為一體。

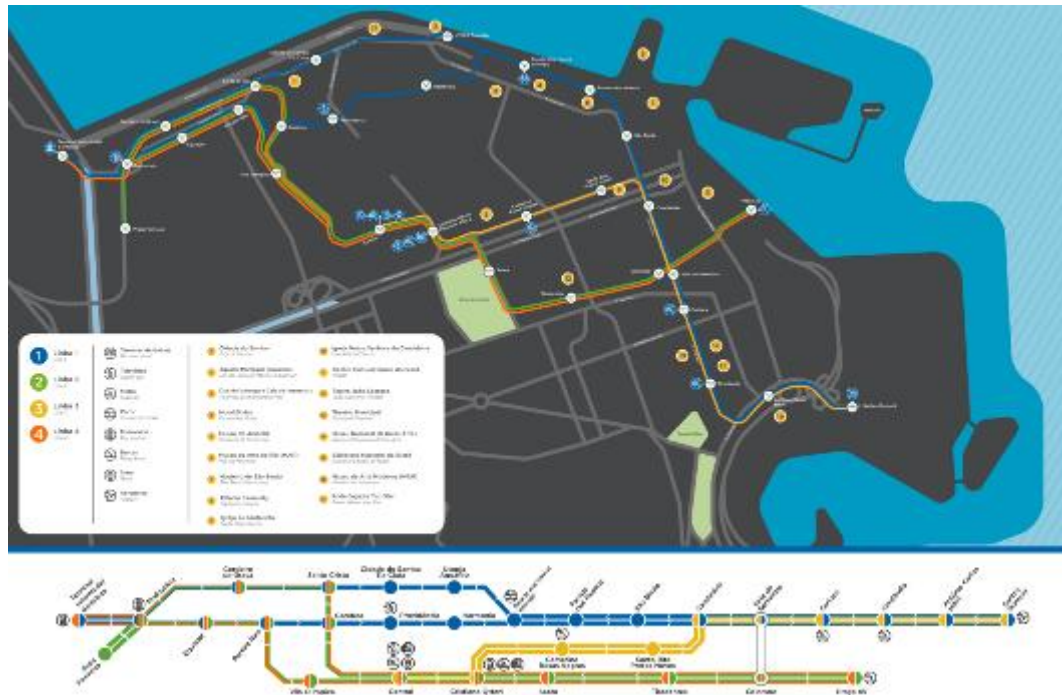


圖 64 里約輕軌路網圖

車隊 32 列全數採用阿爾斯通生產的 Citadis 402 型 100% 低底盤雙向輕軌列車，單列由 7 節模組化車廂編組而成，車長 44 公尺、寬 2.65 公尺，最高時速為 50 公里，單趟最高可載運約 420 名乘客。列車最具技術特色之處，在於採用地面供電系統（APS）結合車載超級電容與蓄電池技術，整條輕軌全線無架空線，不架設傳統架空線，列車僅在進入車站停靠時透過車頂集電弓與站體充電軌進行快速充電，行駛時則由埋設於兩軌之間的地面第三軌提供電力，這種工法完全保護里約歷史城區的天際線，避免繁雜電線破壞古蹟街景與都市景觀。這是拉丁美洲首座全線移除電車線的輕軌系統，正線 26 公里全面採用 APS，僅在車庫維修線 2 公里處保留 750V DC 架空線供電。



圖 65 輕軌列車駕駛室



圖 66 輕軌列車內裝配置



圖 67 輕軌列車車間走道設計



圖 68 輕軌列車進出口止滑設計



圖 69 輕軌列車扶手拉環未限定固定位置



圖 70 輕軌列車扶手系統整合多媒體顯示器空間



圖 71 輕軌列車座椅配置



圖 72 輕軌列車緊急對講機、緊急開門把手



圖 73 輕軌列車非轉向架車廂配置



圖 74 輕軌候車亭點矩陣顯示系統



圖 75 輕軌列車與月台間隙



圖 76 里約輕軌號誌燈

APS 是阿爾斯通專為輕軌與路面電車研發的專利供電技術，傳統輕軌仰賴集電弓接觸架空線取電，而 APS 則是將第三軌嵌於兩條鋼軌正中間的地面路面上。其核心技術原理，在於地面中央第三軌的分段式導電軌設計，由長度約 8 公尺的導電段與約 3 公尺的絕緣區間交替組成，透過列車底盤兩組滑觸式集電靴，隨時與地面導電軌保持物理接觸取電，並配合車載超級電容或備用電池，確保列車在過交會道岔或短暫斷電時能連續行駛。地面下方每隔約 22 公尺設有一組地下開關控制箱，當輕軌列車行經時，車載無線電系統會發射加密編碼訊號給地面感應器，唯有確認列車完全覆蓋該處導電段時，地下開關才會送電至該段導電軌，當列車通過並離開該段軌道後，地下開關會立刻切斷電源。因此，未被列車遮蔽的地面軌道始終維持無電狀態，即使行人踩踏、車輛輾壓或小動物接觸，也不會有觸電風險。



圖 77 輕軌系統低底盤月台



圖 78 APS 系統路面第三軌



圖 79 里約輕軌橫渡線

VLT Carioca 採用單一扁平化票價，單程車票費用為 R\$5 雷亞爾（BRL），系統實施自主榮譽制，輕軌車站為開放式無閘門設計，旅客必須在登車後使用車廂內部的驗票機自主刷卡過卡，票務工具主要支援里約官方電子票證 Jaé 卡與里約卡(Riocard)，旅客亦可在車站售票機使用信用卡或簽帳金融卡購票或充值。需要特別注意的是，VLT 系統嚴格執行一卡一人政策，不允許多人共用同一張卡連續刷卡過卡，隨車稽查人員會定期登車查驗，未持有效刷卡紀錄者將面臨 R\$170 雷亞爾（BRL）高額罰款。



圖 80 輕軌候車亭無設置收票閘門

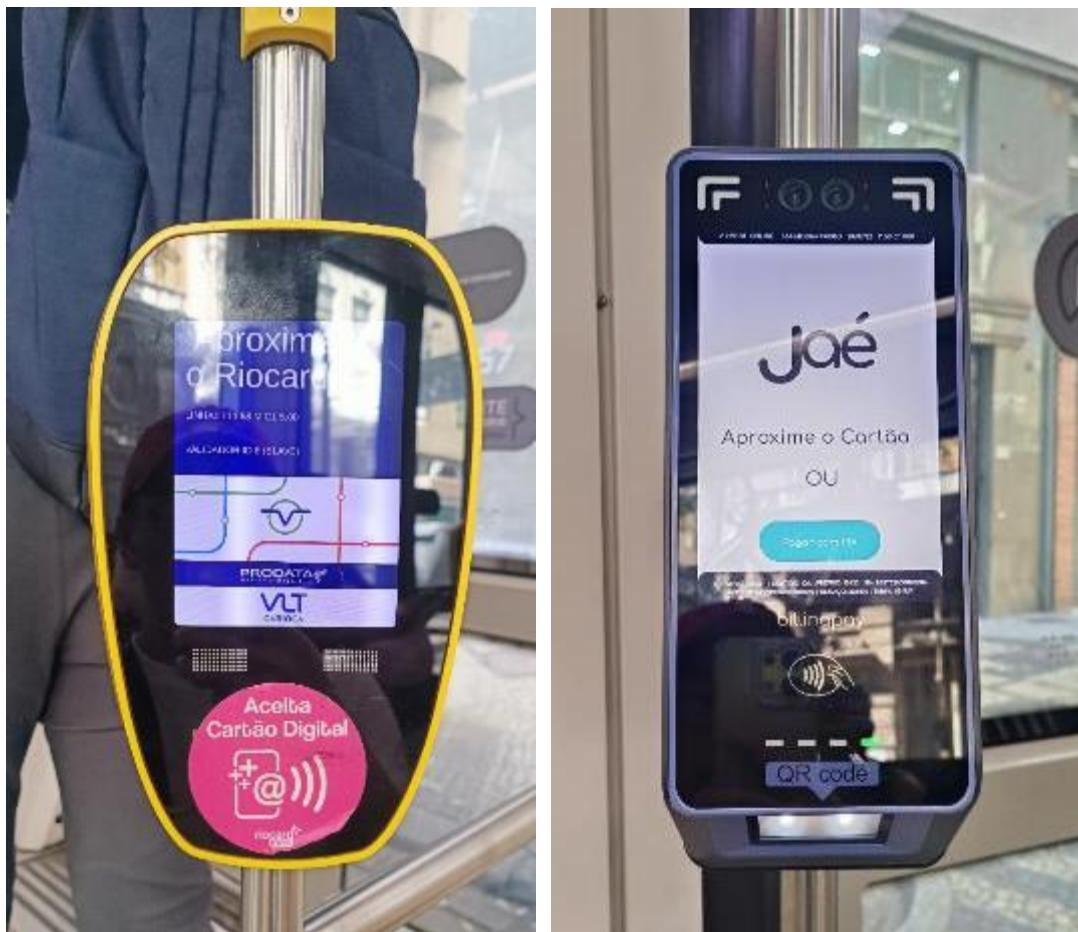


圖 81 輕軌列車車內驗票機系統



圖 82 輕軌候車亭 Jaé 售票機

參、巴西聖保羅捷運 15 號線/6 號線

聖保羅大都會區整體路網採用核心十字交會、外圍環狀擴散、遠程城鐵延伸的複合式架構，將龐大的聖保羅市中心與周邊衛星城市緊密連結在一起。

整體路網的核心結構，奠基於兩條最具歷史且運量極高的骨幹地鐵線，分別為南北向的 1 號藍線與東西向的 3 號紅線，這兩條主幹在市中心的 Sé 站相交，形成整個都會區運輸系統的十字中樞。以此中心為基礎，橫貫金融重鎮保利斯塔大道的 2 號綠線，與放射狀延伸的 4 號黃線、5 號紫線互相串聯，進一步加強西南區商業中心與南部住宅區之間的移動效率。

除了由聖保羅地鐵（METRÔ）運營的核心地下鐵路線外，聖保羅路網的另一大特色是與近郊通勤鐵路的深度整合。由 CPTM、Motiva、TIC Trens 及 Trivia 等營運商管理的廣域鐵路線，包含 7 號紅寶石線、8 號鑽石線、9 號翡翠線、10 號綠松石線、11 號珊瑚線與 12 號藍寶石線等，將服務範圍進一步向外擴展至大聖保羅地區的遠郊與鄰近市鎮。旅客可在 Luz、Palmeiras-Barra Funda、Pinheiros 及 Santo Amaro 等大型交通樞紐站，進行便捷的站內轉乘。

為滿足多元的區域連接需求，路網更融入多元化的軌道與公共運輸型態，包含 13 號翡翠線與機場快線直通瓜魯柳斯國際機場，大幅提升空中交通的接駁效率。另 15 號銀線則採用高架單軌系統，深入東區高密度住宅區。此外，路網結合專用公車走廊，共同交織出一座涵蓋地下鐵、近郊鐵路、單軌列車與地面快捷公車的高效多模態軌道交通網絡。

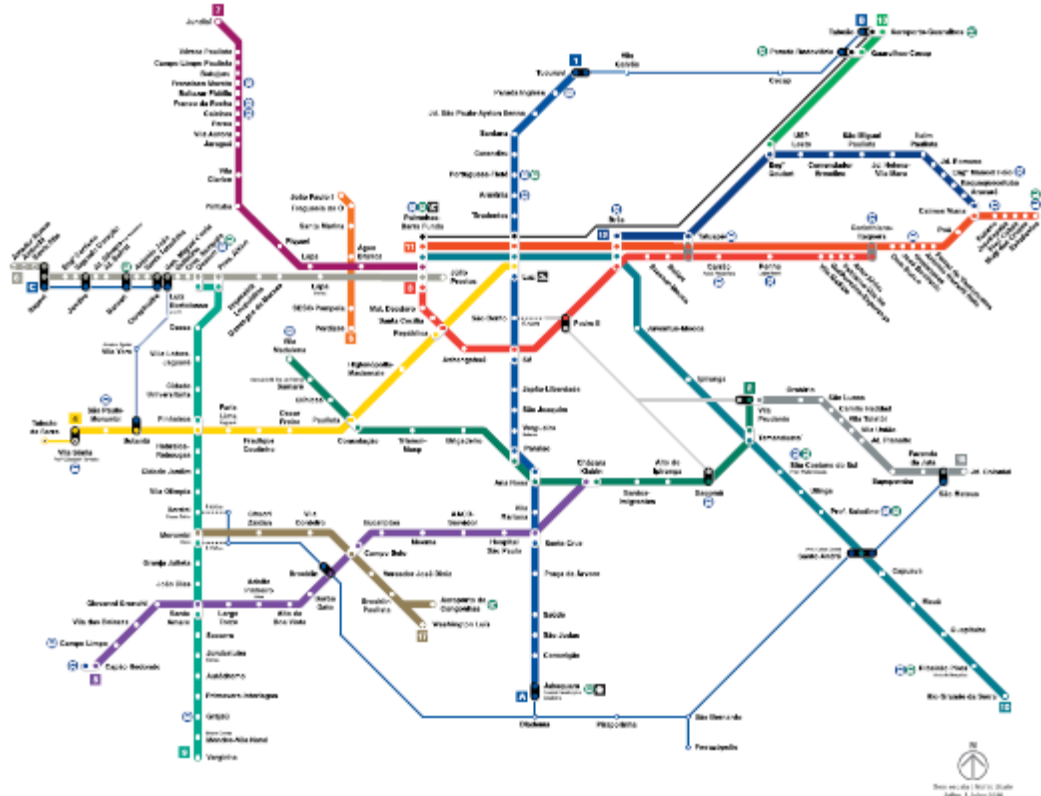


圖 83 聖保羅捷運路網圖

一、巴西聖保羅捷運 15 號線

巴西聖保羅捷運 15 號線是聖保羅大都會軌道交通系統中極具前瞻性與代表性的高架軌道建設，作為南美洲首條採用高運量跨座式單軌技術的捷運路線，15 號線旨在解決聖保羅東區人口極其稠密、地形起伏大及地面道路狹窄壅塞的交通瓶頸，將沿線居民前往市中心與捷運路網樞紐的通勤時間大幅縮短，成為全球營運效率最高的單軌鐵路系統之一。

在列車硬體與系統技術規格方面，15 號線採用高架跨座式單軌結構，行駛於建置於道路中央分隔島上方的混凝土軌道樑上，車隊全數採用由龐巴迪（Bombardier，現屬阿爾斯通集團）研發，並於巴西在地組裝的 Innovia Monorail 300 型無人駕駛單軌列車，單列列車由 7 節車廂編組而成，全長約 86 公尺、寬約 3.15 公尺，全車採貫通式車廂設計，單趟最高可載運多達 1,002 名乘客，設計運能達到每小時單向 40,000 人次以上。



圖 84 聖保羅捷運 15 號線車站



圖 85 聖保羅捷運 15 號線車站出入口



圖 86 聖保羅捷運 15 號線橫渡線

列車配備 GoA4 等級的全自動無人駕駛系統，號誌系統為 CBTC，車輪採用膠輪運轉，具備低噪音、低振動、高爬坡能力與較小轉彎半徑等優勢。全車車廂均配置高功率空調、防紫外線大視野觀景窗與 LED 雙語電子路線圖，提供極佳的搭乘舒適度。



圖 87 聖保羅捷運 15 號線列車進站



圖 88 聖保羅捷運 15 號線月台門配置

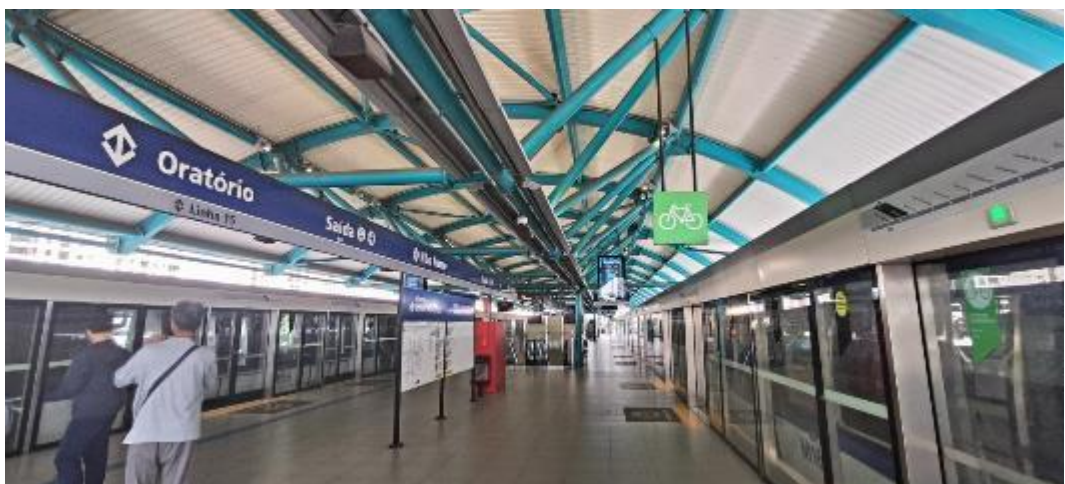


圖 89 聖保羅捷運 15 號線月台層配置



圖 90 聖保羅捷運 15 號線單軌列車車間走道

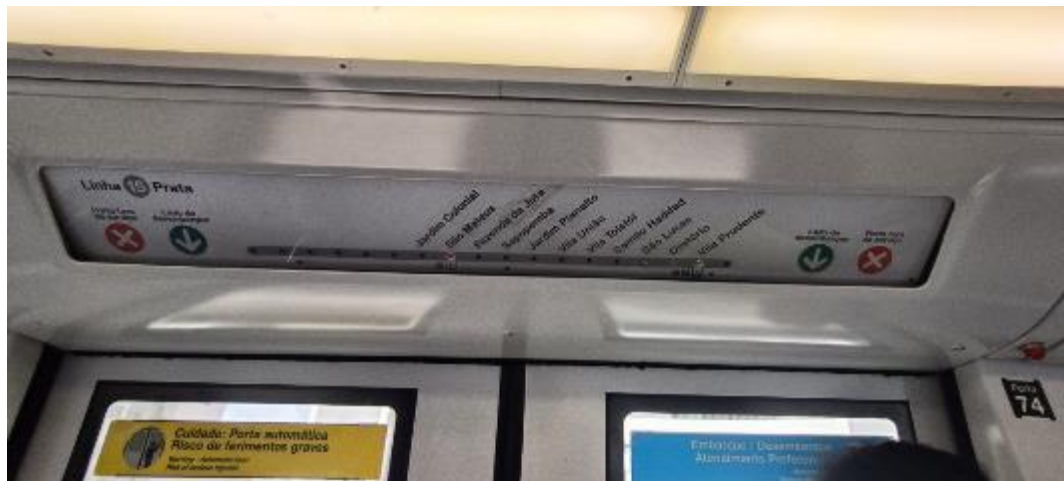


圖 91 聖保羅捷運 15 號線單軌列車到站顯示器



圖 92 聖保羅捷運 15 號線單軌列車車頭



圖 93 聖保羅捷運 15 號線單軌列車配置撒水系統



圖 94 聖保羅捷運 15 號線單軌列車滅火器配置



圖 95 聖保羅捷運 15 號線單軌列車內裝座位配置

15 號線的核心營運基地為位於奧拉托里烏站附近的奧拉托里烏機廠，該機廠佔地約 60,000 平方公尺，是全球規模最大的單軌列車專用機廠之一，規劃有停車線、三級與四級列車保養維修廠房、洗車設施及軌道轉轍調度區。由於單軌列車行駛於混凝土軌道樑上，機廠內配備有專用的高架軌道轉轍器與大型軌道梁檢修設備，可同時進行多列列車的常規檢查與深度維護。此外，隨著路線持續向東延伸，系統規劃第二機廠拉格布·肖菲機廠，佔地約 56,000 平方公尺，用以分擔未來全線貫通後的列車停放與保養需求。



圖 96 聖保羅捷運 15 號線機廠扇形區



圖 97 聖保羅捷運 15 號線機廠停車線配置



圖 98 聖保羅捷運 15 號線機廠停車線



圖 99 聖保羅捷運 15 號線機廠維修工廠配置

全線列車運轉、車站月台門連動、供電系統及緊急事件處理，均由聖保羅捷運公司的中央行控中心進行 24 小時即時監控與調度，行控中心可根據即時客流自動調整列車班距與發車密度，配合機廠內的自動調車系統，實現從機廠出庫、線路運行到返廠洗車保養的全全程自動化控制，確保這條高架單軌系統的高效與安全運作。



圖 100 聖保羅 15 號線行控中心配置



圖 101 聖保羅 15 號線行控中心合影

15 號線屬於聖保羅捷運路網的一部分，採用統一的標準軌道單程票價，單程票價為 R\$5.40 雷亞爾（BRL），旅客可以使用聖保羅官方電子票證 TOP 卡或單程票感應進站，車站閘門亦全面支援感應式支付技術，可直接使用 Visa、Mastercard 信用卡、簽帳金融卡或 Apple Pay、Google Pay 電子錢包刷卡過閘，或透過官方 App「TOP」購買數位 QR Code 車票過閘。更重要的是，15 號線實施付費區內免費轉乘政策，旅客在終點站轉乘地下重型捷運 2 號線時，無需走出閘門或支付額外費用；若使用單程票轉乘市營地面公車，亦可享受額外的轉乘優惠扣款。



圖 102 聖保羅 15 號線旅客服務處



圖 103 聖保羅 15 號線售票處



圖 104 聖保羅 15 號線售票充值機



圖 105 聖保羅 15 號線自動收費閘門



圖 106 聖保羅 15 號線自動收費無障礙閘門

15 號線的最大特色，在於其高架單軌景觀與極高的交通轉乘效益。全線車站均採高架獨立站體設計，設有全封閉式月台門、無障礙電梯與電扶梯，確保旅客候車安全與無障礙通行。由於車身行駛於數層樓高的高架軌道樑上，乘客在搭乘過程中能以極佳的全景視野俯瞰聖保羅東區都市天際線與龐大的市街景觀。15 號線將原本缺乏軌道覆蓋的東區邊緣社區，串聯至交通樞紐並直通保利斯塔大道金融區，完美展現高架單軌技術在高度密集的巨型都市中高效率、低土地佔用與永續綠能的獨特優勢。



圖 107 聖保羅 15 號線車廂外市街景觀

二、巴西聖保羅捷運 6 號線

巴西聖保羅捷運 6 號線是聖保羅大都會軌道交通系統中規模最大、技術最新的公私合作（PPP）特許經營大型軌道建設案，這條路線由拉丁美洲大型特許營運商 Linha Uni（由西班牙營運巨頭 Acciona 主導之營運公司）負責設計、建設與營運管理。

6 號線全長約 15.3 公里，設有 15 座全地下車站，路線呈西北至東南走向，連接西北部的傳統與高密度社區布拉西蘭迪亞至市中心的聖若阿金。因沿線行經阿曼多·阿瓦雷斯·彭特亞多基金會會計學院、瓦加斯基金會及馬肯森長老教會大學等多所巴西著名高等學府，6 號線也被聖保羅市民親切地稱為「大學線」。

在列車硬體與系統技術規格方面，6 號線採用最高等級的高運量地下重型捷運技術與 1,435 釐米國際標準軌距，列車車隊由阿爾斯通在地化生產，車體結構採用高強度不鏽鋼打造，由 6 節車廂全貫通編組設計。系統採用 GoA4 等級的全自動無人駕駛系統，搭配 CBTC 號誌控制方式，能精準控管列車運行，實現極短的發車間隔與更高的班次密度。車

廂內部將全數配置高功率自動調節空調系統、車載 Wi-Fi 網路、USB 行動設備充電插座、LED 雙語動態路線圖及全車高畫質監控系統，月台設有全高式月台門。

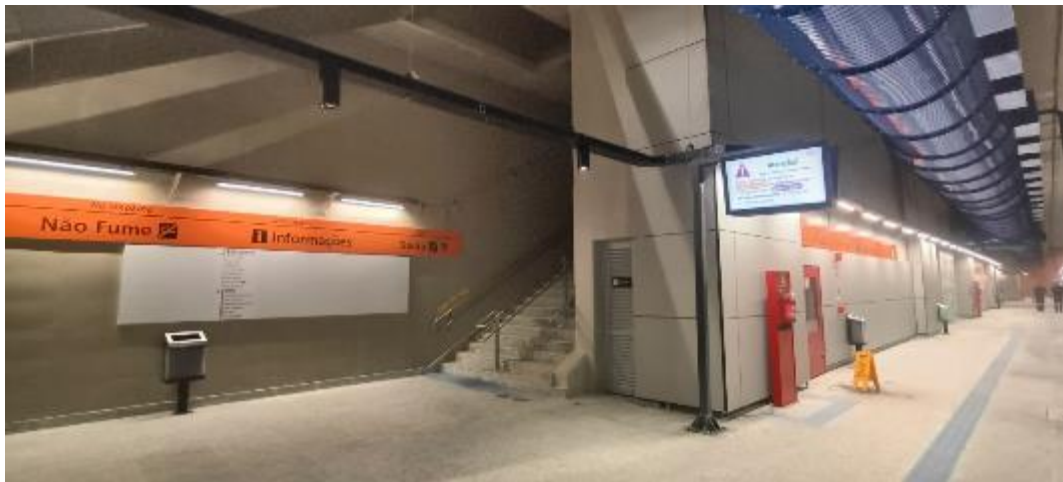


圖 108 聖保羅 6 號線月台旅客資訊顯示系統



圖 109 聖保羅 6 號線地下車站採用架空式導電軌



圖 110 聖保羅 6 號線地下車站試營運期間月台門未關閉



圖 111 聖保羅 6 號線列車定位應答器



圖 112 聖保羅 6 號線軌道電路



圖 113 聖保羅 6 號線試營運期間由司機員駕駛



圖 114 聖保羅 6 號線列車內裝座椅配置



圖 115 聖保羅 6 號線列車車門配置、車門釋放裝置、緊急對講機

6 號線的最大特色，在於其極高難度的工程技術、顯著的交通解壓效益與深遠的都市更新價值，其穿越聖保羅地形極其複雜的山丘與地下水文區，全線採用超大直徑潛盾機深入地下數十公尺開挖，部分車站深度創下聖保羅捷運網絡之最。這條路線將原先缺乏軌道覆蓋、通勤極度仰賴公車且地形起伏劇烈的西北區邊緣城鎮，直通心臟地帶保利斯塔大道周邊與市中心，將原本尖峰時段長達 1.5 至 2 小時的地面車程一口氣壓縮至 20 多分鐘。同時，6 號線預估每日服務超過 60 萬名乘客，大幅紓解 1 號線與 3 號線的轉乘負荷，成為帶動聖保羅西北區域經濟轉型與通勤革命的核心軌道動脈。



圖 116 聖保羅 6 號線 Perdizes 車站



圖 117 聖保羅 6 號線收費閘門



圖 118 聖保羅 6 號線月台層



圖 119 聖保羅 6 號線俯視月台層



圖 120 聖保羅 6 號線月台門通道指引標示



圖 121 聖保羅 6 號線穿堂層簡約採光設計



圖 122 聖保羅 6 號線車站大面自然採光

聖保羅捷運 6 號線目前已正式進入試營運階段，首期試營運開放的路線區段為 João Paulo I 至 Perdizes，該階段共開放 6 座車站，沿途依序包含 João Paulo I、Freguesia do Ó、Santa Marina、Água Branca、Sesc-Pompeia 及 Perdizes。其中，Água Branca 站作為關鍵節點，未來可直接連結現有的城際鐵路線，成為拉動西北區乘客進入軌道網的重要轉乘門戶。

在營運模式與時段規劃上，試營運期間主要採離峰時段與限制班次運行，開放時段集中於週一至週五的每日 10:00 至 15:00，目的在於透過非尖峰時段的載客測試，針對 GoA4 全自動無人駕駛訊號系統、月台門連動及車輛運能進行整合測試與穩定度調校。在此期間，試營運區段開放搭乘，供市民提前體驗新線路帶來的便利。根據聖保羅州政府與營運商 Linha Uni 的整體規劃，6 號線將採分階段推進營運：

- 第一階段延伸：預計於 2026 年底前，向北增開 Brasilândia 與 Itaberaba - Hospital Vila Penteadó 兩站，使北段路線正式延伸至 Brasilândia 終點站。
- 全線貫通：預計於 2027 年將南段路線延伸貫通至市中心樞紐 São Joaquim 站，屆時全線長達 15.3 公里、設有 15 座車站，並能與 1 號藍線等主幹線直接轉乘，將大幅減輕西北區至市中心的通勤時間與龐大流量。



圖 123 聖保羅 6 號線試營運路段(João Paulo I 至 Perdizes)

第七節 秘魯庫斯科高山火車及其他考察

壹、秘魯庫斯科高山火車

庫斯科位於秘魯東南部安地斯山脈的高原盆地中，海拔約 3,400 公尺，曾是印加帝國的首都與政治、文化及宗教中心。在克丘亞語中，「庫斯科」意為「世界的中心」。這座城市於 1983 年被聯合國教科文組織列為世界文化遺產，也是前往失落之城馬丘比丘與聖谷的核心門戶。

庫斯科最迷人之處在於「印加基石與殖民建築」交織的獨特風貌。16 世紀西班牙人征服印加帝國後，拆毀許多印加神殿與宮殿，並在其精密石砌的地基上興建巴洛克風格的天主教堂與住宅。例如曾是印加最神聖寺廟的太陽神殿，其牆面過去一度覆蓋金箔，西班牙人後來在其精密嵌合的石牆基礎上建造聖多明哥修道院，呈現出兩種文明高度疊加的視覺衝擊。此外，市中心的武器廣場四周圍繞著庫斯科主教堂與耶穌會教堂，搭配舊城區巷弄間如「十二角石」般不用水泥卻能禦震的石造奇蹟，充分展現這座古都的歷史厚度。

除了城內的古蹟，城郊亦圍繞著許多雄偉的印加遺址，其中以薩克塞瓦曼巨石堡壘最為著名，其重達數十噸的巨石至今依然緊密咬合。每年 6 月 24 日會舉辦重現印加帝國向太陽神致敬的太陽祭，是南美洲極具代表性的文化盛事。

現代的庫斯科是一座融合古老印第安傳統與現代觀光機能的活圖書館。漫步於聖佩德羅市場或聖布拉斯藝術區，隨處可見身著傳統織品的克丘亞族居民、羊駝手工藝品與在地傳統美食，使其成為全球旅人探索安地斯文明時絕不可錯過的文化樞紐。

從秘魯古都庫斯科前往世界七大奇景之一的馬丘比丘，由於兩地之間並無直接相通的高速公路，鐵路便成為絕大多數國際旅客最核心且便捷的交通方式。這條沿著烏魯班巴河谷延伸的安地斯高原鐵道，不僅是連結兩地的交通動脈，更是結合高山景觀、印加文化與觀光體驗的經典旅程。



圖 124 世界七大奇景馬丘比丘

這條鐵路線路整體沿著聖谷地形興建，終點站皆為馬丘比丘山腳下的熱水鎮。主要起訖車站包含庫斯科市區附近的「波洛伊站」，及位於聖谷心臟地帶的「奧揚泰坦博站」。其中奧揚泰坦博站班次最為密集，是多數旅客選擇搭乘的地點。因應安地斯山脈氣候變異

及山區鐵道營運效率限制，尤其是每年 1 月至 4 月的雨季期間，各大鐵路公司推行「雙模式服務」，安排專車巴士銜接庫斯科與奧揚泰坦博站，再轉乘觀光火車由奧揚泰坦博站前往熱水鎮，以確保行程的準點與舒適。

目前這條鐵路由秘魯鐵路（Peru Rail）與印加鐵路（Inca Rail）兩家民營營運商提供服務，兩者皆針對不同預算與需求的旅客設立不同車廂等級。Peru Rail 是當地規模最大且歷史悠久的營運商，旗下車款包含經濟實惠的「Expedition（遠征號）」、配置包覆式弧形大窗搭配車上傳統舞蹈表演的「Vistadome（全景號）」、與設有露天觀景車廂的「Vistadome Observatory（全景觀景號）」，以及由 Belmond 提供全包式頂級餐酒與專屬導覽的極致奢華車款「Hiram Bingham（海拉姆·賓漢姆號）」。Inca Rail 則以現代化設計著稱，提供標準的「The Voyager（航行者號）」、主打大面積高透光車窗與語音導覽的「The 360°（360 度全景號）」、包含三道式餐點與吧檯的「The First Class（頭等號）」，以及供家族或商務貴賓包廂租用的「The Private（私人包廂號）」。

在票價與搭乘規範方面，觀光火車採用動態定價機制，單程票價依季節、時段與車型等級而定。經濟型車廂單程約在 60 至 90 美元之間，中階全景車廂約 90 至 160 美元，高階頭等車廂約 200 至 350 美元，而 Hiram Bingham 則可達 500 至 650 美元以上。需要特別注意的是，因車廂空間有限，火車嚴格限制每位乘客僅能攜帶一件約 5 公斤左右的隨身行李，大部分旅客會將大件行李寄存在庫斯科飯店或車站託管處，僅帶輕便背包前往馬丘比丘。

Shuttle Service + Train DEPARTURE				Shuttle Service + Train RETURN			
TRAIN	SERVICES	Departure	Arrival	TRAIN	SERVICES	Departure	Arrival
41	THE VOYAGER	06:30	08:45	42	THE VOYAGER	08:30	10:45
41	THE PRIME	06:50	09:05	42	THE PRIME	08:50	11:05
61	THE VOYAGER	07:20	09:35	62	THE VOYAGER	09:20	11:35
61	THE PRIME	07:40	09:55	62	THE PRIME	09:40	11:55
43	THE VOYAGER	08:00	10:15	44	THE VOYAGER	10:00	12:15
43	THE PRIME	08:20	10:35	44	THE PRIME	10:20	12:35
63	THE VOYAGER	08:50	11:05	64	THE VOYAGER	11:00	13:15
63	THE PRIME	09:10	11:25	64	THE PRIME	11:20	13:35
45	THE VOYAGER	09:30	11:45	46	THE VOYAGER	12:00	14:15
45	THE PRIME	09:50	12:05	46	THE PRIME	12:20	14:35
65	THE VOYAGER	10:00	12:15	66	THE VOYAGER	13:00	15:15
65	THE PRIME	10:20	12:35	66	THE PRIME	13:20	15:35
47	THE VOYAGER	10:40	12:55	48	THE VOYAGER	13:40	15:55
47	THE PRIME	11:00	13:15	48	THE PRIME	14:00	16:15
67	THE VOYAGER	11:20	13:35	68	THE VOYAGER	14:20	16:35
67	THE PRIME	11:40	13:55	68	THE PRIME	14:40	16:55

圖 125 Inca Rail 時刻表

這套觀光鐵路系統的建立，對秘魯帶來多維度的顯著效益。在生態保育上，馬丘比丘周邊屬於地形陡峭且生態敏感的高山雲霧森林，堅持以軌道運輸替代公路開發，大幅減少汽柴油廢氣與噪音汙染，降低山體破壞風險。在交通與安全上，鐵路將原本需要徒步數日的山區路程縮短至數小時，提供安全且穩定的運輸管道。經濟與文化層面上，鐵路串聯庫斯科、聖谷與熱水鎮的觀光產業鏈，帶動旅宿與餐飲發展，並巧妙地將秘魯傳統舞蹈、紡織品展示與在地料理融入車廂體驗，成功將交通工具轉化為展現安地斯文化的重要舞台。

Peru Rail 成立於 1999 年，是秘魯南部鐵路民營化後的首家營運商，採 50/50 雙合資模式，由英國頂級奢華酒店與旅遊集團 Belmond Limited（隸屬於法國 LVMH 集團）與秘魯在地企業家 Lorenzo Sousa 家族共同持有。除了馬丘比丘觀光路線，Peru Rail 亦營運庫斯科至普諾的高原觀光列車及頂級臥鋪列車 Belmond Andean Explorer，同時承攬該區域在地居民通勤與礦業貨運業務。主力推廣 Vistadome Observatory 車種，除原有全景窗與傳統舞蹈表演外，此車款將全景車廂延伸結合獨立的後掛式露天觀景與酒吧車廂，並安排現場音樂演奏，成為介於普通全景車與 Hiram Bingham 頂級車廂之間熱門的進階選擇。各級車款如下：

- Expedition（遠征號）：採 2+2 對坐或順向配置，皮質座椅附有小桌板。車廂頭頂設有小型行李架，提供基本的通訊與空調設備，車上販售簡單零食與飲品。
- Vistadome（全景號）：座椅包覆性與皮質較佳，最大特色是延伸至車頂的包覆式弧形全景窗。回程時，車廂中央會轉化為展演通道，由乘務員進行傳統舞蹈表演與羊駝毛服飾走秀，並包含免費精緻點心與飲料服務。
- Vistadome Observatory（全景觀景號）：除全景座位區外，額外加掛一節開放式的觀景酒吧車廂，內部設有軟墊長沙發、酒吧吧檯及戶外觀景平台，並安排樂手進行現場音樂演奏。
- Belmond Hiram Bingham（海拉姆·賓漢姆號）：採 1920 年代普爾曼古典風格，全車鋪設精美地毯與拋光木質裝潢，設有獨立餐車車廂、頂級酒吧車廂與露天觀景車廂。座位皆為寬敞的包廂式餐桌椅，提供全套精緻餐具與名廚現場烹調的四道式餐酒。

Inca Rail 成立於 2009 年，作為打破市場獨占的競爭者進入客運市場，早期由私募基金投資，後由國際知名私募基金凱雷集團接手控股發展。近年凱雷集團已將 Inca Rail 100%股權出售轉讓予投資基金 RBB 繼續營運。專注於庫斯科至馬丘比丘區段的客運與客製化旅遊服務。針對核心車款推出 The Voyager Premium 與 The Voyager Premium & Lounge 升級選項，在標準觀光車廂基礎上引進更寬敞的座椅配置、獨立休息室通行權及特色餐飲體驗，進一步縮小與高階車款的服務落差。各級車款如下：

- The Voyager（航行者號）：採用符合人體工學的皮革座椅，配置折疊桌與加大側窗。車上播放輕柔的背景音樂，並提供行動裝置充電插座。升級版的 The Voyager Premium 則增加專屬貴賓室的使用權。
- The 360° Machu Picchu Train（360 度全景號）：車廂採用超高透光率的拱形天窗，座椅配備專屬 USB 充電孔。車上整合高科技音訊導覽系統，乘客可透過手機 App 連結收聽沿途景點解說，並附設一節帶有戶外觀景台與酒吧的車廂，提供特色安地斯花草茶與小點。
- The First Class（頭等號）：採低密度 2+1 或寬敞沙發對坐配置，設有獨立車廂與現場音樂表演區。乘務員會在座席區提供迎賓特調雞尾酒與精緻三道式料理。
- The Private（私人包廂號）：為獨立封閉式奢華包廂，設有私人吧檯、高級沙發區與專屬音響設備，提供客製化餐酒服務與專屬乘務管家。



圖 126 Inca Rail 高山火車航行者號



圖 127 Inca Rail 高山火車車頂觀景窗



圖 128 Inca Rail 高山火車駕駛室



圖 129 Inca Rail 高山火車 360 度全景號



圖 130 Inca Rail 高山火車 360 度全景號座位配置



圖 131 Inca Rail 高山火車 360 度全景號大面觀景窗



圖 132 Inca Rail 高山火車 360 度全景號現場演奏及帶動氣氛

特許權與基礎設施合作關係，兩家公司雖然在觀光車廂、票價與服務上競爭，但使用的是同一條軌道基礎設施，秘魯政府於 1999 年將南部與東南部鐵路網的特許營運權頒給鐵路基礎設施公司 Ferrocarril Trásandino S.A.(FTSA)，含庫斯科至熱水鎮段。FTSA 負責軌道維護、信號系統管制、車站管理與發車時間表的調度分配。Peru Rail 與 Inca Rail 皆作為鐵路營運商，向 FTSA 支付軌道使用費並受其調度，共享該段窄軌鐵路的通行權與營運時段。



圖 133 Inca Rail 換票處



圖 134 Peru Rail 售票處

庫斯科至熱水鎮的鐵路線路採用的軌道規格是 914 釐米的窄軌軌距，沿著崎嶇陡峭的山谷與烏魯班巴河興建，其較小的轉彎半徑極為適合穿越地形複雜的高山峽谷；而祕魯南部連結庫斯科至普諾與阿雷基帕的主線，則採用 1,435 釐米的標準軌，庫斯科城區亦因此設有標準軌與窄軌的轉乘與轉換區段。車輛動力多採用具備高海拔適應力的柴電機車（Diesel-Electric Locomotives）牽引客車車廂，或使用多節自走式柴油客車（DMU），確保在海拔逾 3,000 公尺、多急彎與人字形折返升降軌道上的安全性與穩定度。



圖 135 914 釐米的窄軌軌距



圖 136 Peru Rail 機車頭



圖 137 熱水鎮內 Peru Rail

雙模式服務將有工作人員在約定時間，於庫斯科市區的指定集合點或飯店迎接旅客，協助確認車票，並引導登上專屬觀光巴士，沿著安地斯山脈蜿蜒的景觀公路前行，穿過壯麗的高山峽谷與印加村落，歷時約一個半至兩小時，抵達聖谷心臟地帶的奧揚泰坦博火車總站。Inca Rail 專屬的接待人員會於現場引導旅客至專屬候車休息室，提供貼心的行李寄放與預備搭車指引。當月台傳來清脆的進站鈴聲，工作人員會依據車廂等級引導旅客有序驗票登車。登車過程中，身著印加特色傳統服飾的乘務人員演奏輕快柔和的安地斯傳統音樂，一路引導旅客前往奧揚泰坦博車站，並在車門口親切迎賓，協助指引座席與放置隨身行李。

與國內傳統交通模式大有不同，除帶有當地文化特色與熱鬧氣氛，更讓整體交通通勤轉變為一場具有儀式感的觀光行程，可以借鏡結合不同交通運具與觀光景點或在地文化，延伸作為都市與文化橋樑，更讓整個過程成為旅遊的一部分，不再只是單純前往景點的過程。



圖 138 Inca Rail 穿著傳統服飾帶領旅客前往車站搭乘火車



圖 139 奧揚泰坦博站入口



圖 140 熱水鎮車站



圖 141 熱水鎮車站候車人潮



圖 142 Inca Rail 舉牌引導不同車廂旅客



圖 143 車站內搭配現場演奏表演



圖 144 上車前逐一驗票確認

貳、其他

一、巴西里約基督山登山列車：

位於巴西里約熱內盧的柯科瓦多山頂基督像，是世界新七大奇景之一，欲前往山頂朝聖，最經典且最具歷史風味的交通方式莫過於搭乘柯科瓦多鐵路，這條登山鐵路興建於 1884 年，比 1931 年落成的基督像還要古老，甚至在基督像建造期間，承載大量花崗岩與建材的運輸重任，是巴西最具代表性的高山觀光鐵道工程之一。

柯科瓦多鐵道採用 1,000 釐米的米軌軌距，全長約 3.8 公里，爬升高度達 710 公尺。由於需爬升之坡度最大坡度高達 30%，鐵道全線採用「Riggenbach」齒軌系統輔助牽引來克服極陡坡度，以確保列車在上山與下山過程中的絕對安全。該鐵路線在 1910 年完成全線電氣化，成為巴西首條電氣化鐵路。目前營運的新一代齒軌列車是由瑞士鐵路車輛製造廠商 Stadler 製造，採用雙節車廂編組的電力動車組，每列車載客量約 150 至 160 人，座位數約 80 至 90 席，供電系統為直流 750V，最高營運速度為每小時 25 公里，全車具備再生制動煞車系統，可將下山時產生的煞車動能回饋至電網，兼具高安全性與綠能效益。單程行駛時間約為 20 分鐘，每小時能輸送約 1,000 名旅客。



圖 145 柯科瓦多列車雙臂式集電弓



圖 146 柯科瓦多列車車門配置



圖 147 柯科瓦多列車開窗設計與警示標語



圖 148 柯科瓦多列車車內環景觀景窗及中央照明設計



圖 149 柯科瓦多列車車內座椅配置



圖 150 柯科瓦多列車車頂設備配置

登山鐵路為克服輪軌黏著力不足的陡坡瓶頸，發展出多種齒軌系統，其中以 Rigggenbach、Abt、Strub 及專為極陡坡設計的 Locher 最為知名。各系統差異主要在於齒條型式與嚙合方式，Abt 採用兩到三條錯開的片狀齒條，運轉平順且轉轍器簡單；Strub 於單一軌頭加工齒槽，維護較易；Locher 採雙側水平嚙合以防跳齒；而齒軌鐵路先驅的 Rigggenbach，則開創經典的梯級式結構。

由瑞士工程師 Niklaus Rigggenbach 於 1863 年發明的 Rigggenbach 系統，構造係由兩條平行槽鋼作為側壁，中間固定等距的金屬橫棒，形成如平放梯子般的軌道。列車驅動齒輪咬合橫棒進行推進與煞車，能安全克服高達 250‰ 的坡度。該系統雙壁結構剛性極佳，且橫棒間透空可防冰雪與雜物堆積卡齒；但因材料耗量大及立體構造笨重，致使轉轍器設計相當複雜，維護成本較高。

儘管後續有其他系統競爭，Riggenbach 仍奠定登山鐵路的基礎，並留下許多百年經典案例，包含於 1871 年通車的歐洲首條登山齒軌鐵路瑞士里吉山鐵路、1874 年通車的匈牙利布達佩斯齒軌鐵路、1884 年完工的巴西柯科瓦多鐵路、奧地利阿興湖鐵路等。



圖 151 Riggenbach 齒軌系統



圖 152 Riggenbach 橫渡線

柯科瓦多登山列車採用全包式票價，一張車票即包含來回火車接駁及柯科瓦多國家公園與基督像景區的門票，營運時間為每日 7:20 至 18:00，每 30 分鐘一班。票價採淡旺季與特定身份動態定價，一般成人票價約在 R\$93 至 R\$122 雷亞爾（BRL）（BRL）之間；巴西當地居民、年長者與兒童可享有票價優惠，2 歲以下幼兒則可免費搭乘。由於基督像為全球熱門景點，高峰期現場排隊時間極長，營運單位強制或高度建議旅客提前於官方網站預約指定時段的車票，並於發車前 30 分鐘抵達科斯梅舊城區的火車總站報到。

柯科瓦多登山列車的特色，在於將高山工程技術與熱帶雨林景觀完美融合。列車從科斯梅舊城區車站出發後，會穿過全球最大的都市熱帶雨林「蒂茹卡國家公園（Tijuca National Park）」，沿途車廂穿梭於茂密的大西洋森林樹冠層中，旅客能近距離欣賞豐富的熱帶植物與鳥類生態，當列車逐漸爬升至山頂，視線會瞬間開闊，里約著名的瓜納巴拉灣、瓜納巴拉大橋、科帕卡巴納海灘及糖麵包山等絕美海景盡收眼底。此外，車站與列車上也常有傳統森巴音樂表演，為這趟直達雲端基督像下的鐵路之旅添增濃厚的巴西熱情風采。



圖 153 柯科瓦多登山列車大面觀景窗

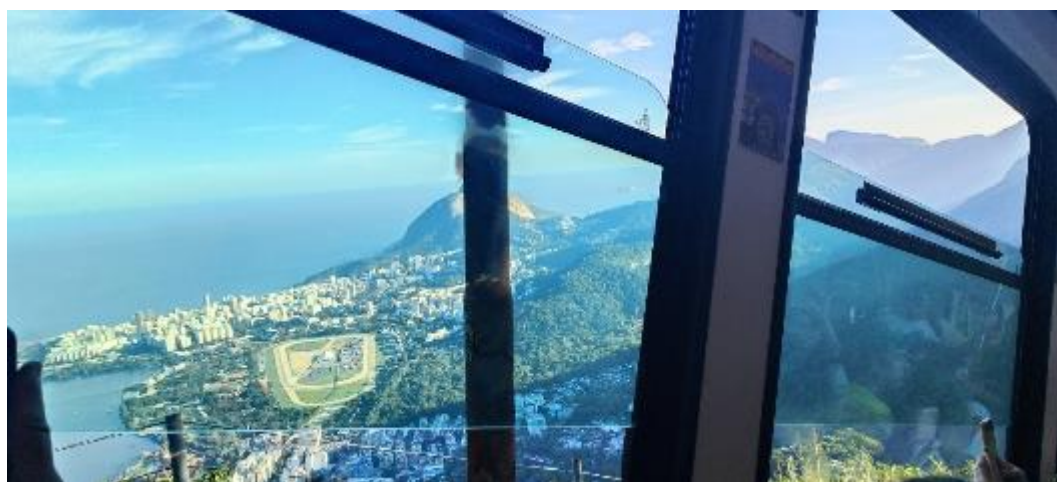


圖 154 柯科瓦多登山傾斜觀景視角

巴西里約熱內盧柯科瓦多山山頂屹立的「救世基督像」，最早可追溯至 19 世紀中葉。1850 年代，天主教神父佩德羅·瑪麗亞·博斯首次提出在海拔約 710 公尺的柯科瓦多山

頂建立一座大型宗教紀念碑的倡議，起初甚至曾建議以此向巴西帝國的伊莎貝爾公主致敬。然而，隨著 1889 年巴西推翻帝制成立聯邦共和國，新政府全面實行「政教分離」，致使這項計畫因而被暫時擱置。

直到 20 世紀初，第一次世界大戰帶來的全球動盪及戰後世俗化浪潮高漲，天主教里約熱內盧大主教區開始擔憂社會信仰流失與道德轉變。為重塑公眾的信仰核心，並為城市樹立一座精神象徵，天主教會與民間社團決定重啟興建計畫，恰逢 1922 年巴西迎來脫離葡萄牙獨立 100 週年的重要歷史時刻，興建基督像對於巴西而言更被賦予不同的歷史意義。

為籌集龐大的建設資金，天主教會發起全國性籌款活動，並獲得巴西當地民間信徒自願捐款募集的廣泛迴響，並未動用政府稅金。基督像於 1922 年 4 月 4 日正式奠基，基地選定於柯科瓦多山頂，其獨特的地理位置能從里約全市各個角度被遠眺，耶穌張開雙臂呈十字架形狀的造型，象徵著和平、包容、救贖及基督對這座城市的守護。

在整個施工期間，柯科瓦多齒軌鐵路發揮關鍵作用，將重型材料、工人與設備安全運送至陡峭的山頂，顯見齒軌系統除克服陡坡交通運輸作用外，更具備重負載運輸功能。經歷約九年的縝密施工與跨國團隊的努力，救世基督像最終於 1931 年 10 月 12 日正式落成揭幕。這座高約 30 公尺、翼展達 28 公尺的壯麗建築，不僅成為巴西天主教信仰的堅實象徵，更在 2007 年獲選為世界新七大奇蹟，並作為里約熱內盧景觀的一部分名列世界文化遺產，持續向全世界傳遞著和平與包容的精神。



圖 155 柯科瓦多山鐵路發展



圖 156 世界新七大奇蹟救世基督像

二、巴西里約糖麵包山纜車：

位於巴西里約熱內盧瓜納巴拉灣入口處的糖麵包山纜車，是全球最著名且歷史悠久的空中纜車系統之一，該纜車系統於 1912 年正式通車，是全世界第三座落成的空中纜車，僅次於西班牙與瑞士的早期工程。糖麵包山由花崗岩與片麻岩構成，拔地而起的陡峭巨石

使其無法興建傳統道路，這座纜車因而成為連結陸地與山頂的核心交通樞紐，並在 2012 年作為里約熱內盧山海景觀的一部分，被聯合國教科文組織列入世界文化遺產。

- 第一代纜車（1912 年至 1972 年）木製車廂與早期索道工程：1912 年正式啟用的初代車廂由德商阿爾貝特·波利希公司製造，車廂採用傳統木製框架配以金屬加固構造，外觀塗裝為黃色，內部空間狹小，單趟載客量僅有 22 人。機電系統採用早期的直流馬達驅動與鋼纜牽引，雖然受限於當時的材料科學與載重能力，但成功的路線設計克服陡峭花崗岩巨石地形，確立雙段式空中索道的的基本運轉格局。
- 第二代纜車（1972 年至 2008 年）金屬車廂與現代索道重構：隨著索道技術發展與運輸需求上升，1972 年進行全線系統重構，營運方導入由德商 Pohlig-Heckel-Bleichert（PHB）製造的第二代車廂與全新機電設備，第二代車廂結構改用兼具輕量化與穩固的高強度鋁合金與複合材料外殼，單趟載客量大幅提升至 75 人。此階段同步更新站台結構、驅動馬達與主牽引鋼纜，顯著提高索道的運轉速率與抗風穩定度。
- 第三代纜車（2008 年至今）瑞士全景技術與現代化安全系統：2008 年系統引進由瑞士知名索道車廂製造商 CWA Constructions 設計的第三代現代化車廂。新一代車廂採用空氣動力學弧形車體，並配置抗 UV 全景強化玻璃，單趟載客量為 65 人。在工程機電方面，第三代系統全面導入現代化數位控制與安全機制，包括自動減震系統、雙重備援液壓煞車設備、全天候纜線張力監控，以及獨立的緊急動力備援馬達，呈現當代高空索道工程在結構強度、運轉效率與安全備援上的最高標準。



圖 157 糖麵包山纜車發展沿革



圖 158 糖麵包山第一代纜車



圖 159 糖麵包山第二代纜車



圖 160 糖麵包山第三代纜車

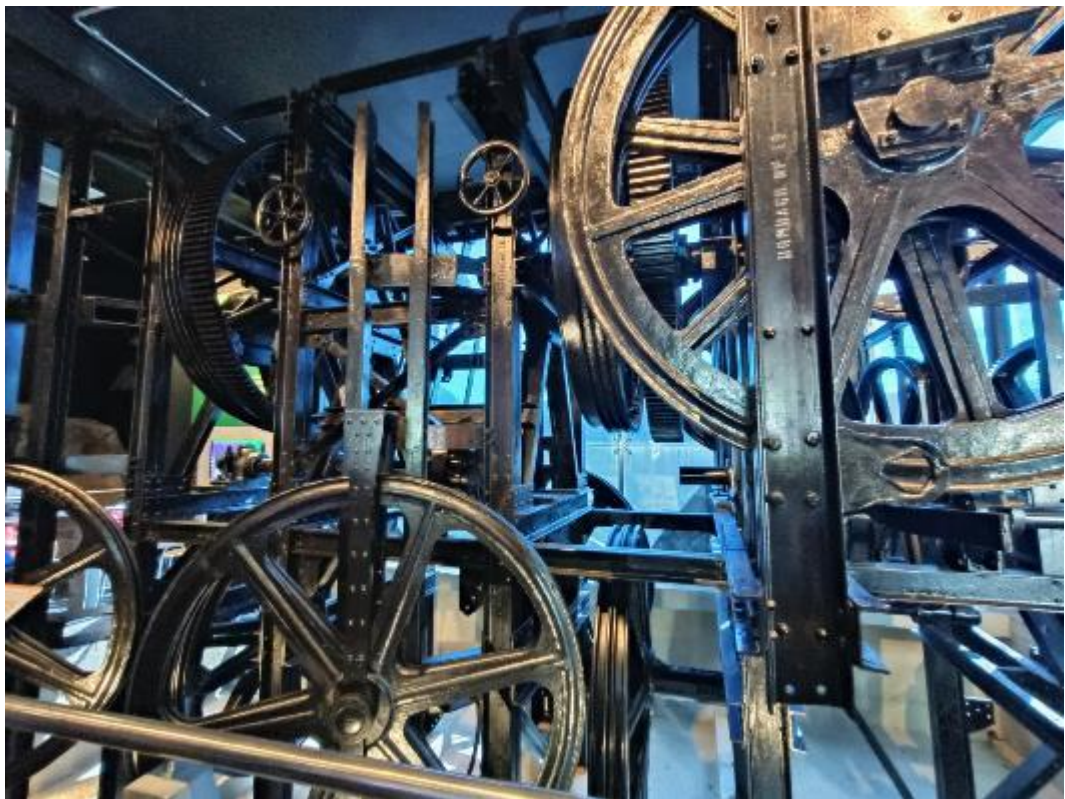


圖 161 纜車動力機構



圖 162 纜車車廂容量搭載 65 人

糖麵包山纜車系統分為兩段式營運，第一段路線從山腳下的烏爾卡海灘出發，攀升至海拔 220 公尺的烏爾卡山，航程約 538 公尺，耗時約 3 分鐘，第二段路線則由烏爾卡山延伸至海拔 396 公尺的糖麵包山頂，跨越 749 公尺的海灣峽谷，同樣約需 3 分鐘。目前運行的第三代纜車單一車廂可載運 65 名乘客，並配備 360 度全景強化玻璃與高效能通風系統，每小時單向運量可達約 1,200 人次。



圖 163 糖麵包山纜車兩段式營運



圖 164 糖麵包山纜車車站



圖 165 糖麵包山纜車車站繽紛外觀



圖 166 纜車月台門

糖麵包山纜車採用包含兩段路線來回共四趟的綜合門票，成人標準票價約為 R\$150 至 R\$185 雷亞爾（BRL）；6 至 21 歲兒童青少年、學生及 60 歲以上長者，則可憑有效證件享有半價優惠，6 歲以下幼兒則可免費搭乘。此外，營運單位亦提供包含快速通關、導覽服務或夜間特別體驗的加價票種。園區開放時間為每日 8:30 至 20:00，由於高峰時段人潮擁擠，官方極力建議旅客透過網路提前預約指定日期與時段的車票，以縮短現場排隊等候時間。

糖麵包山纜車的最大特色，在於其無死角的視野與震撼的雙段山海景致。當車廂緩緩懸空上升，旅客能以俯瞰角度飽覽科帕卡巴納海灘的弧形海岸線、瓜納巴拉灣的港灣艦艇、里約市區的天際線，以及遠方聳立於柯科瓦多山頂的基督像。烏爾卡山中繼站設有豐富的觀景平台、美式與巴西在地餐廳、咖啡廳，及展出 1912 年初代木質車廂的歷史展覽館。登上糖麵包山頂後，更是在黃昏時分觀賞里約落日與夜間城市燈火的最佳高點，將大西洋海景與熱帶都市風光完美融為一體。

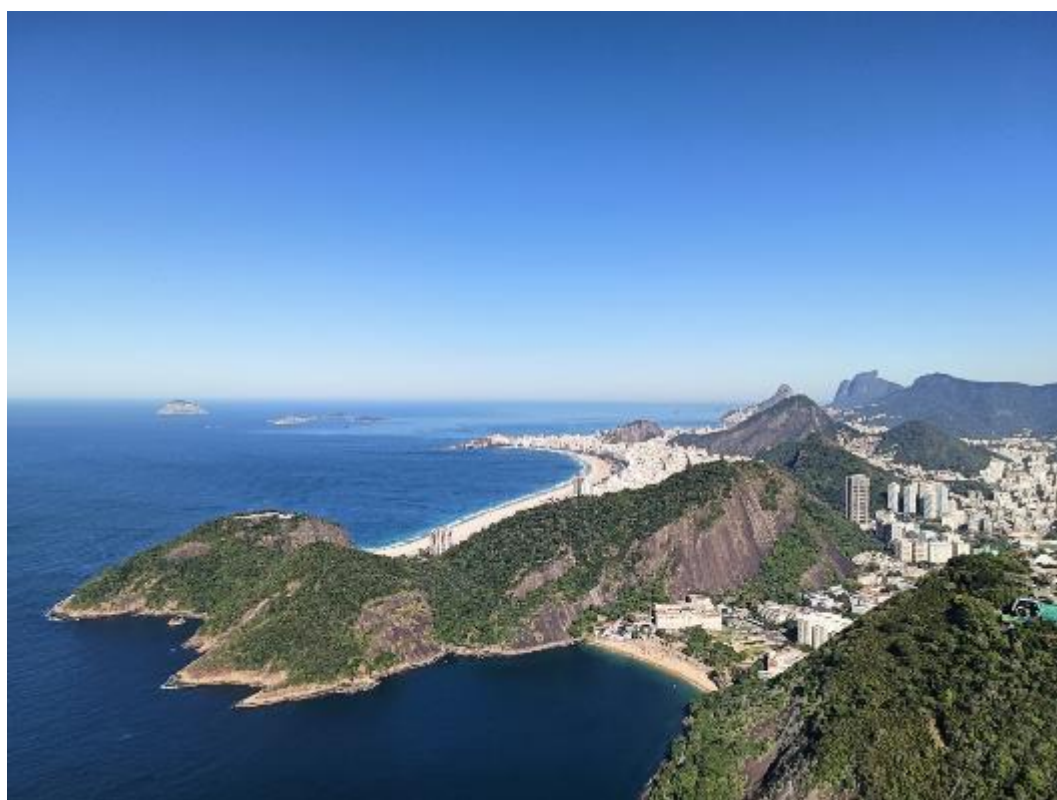


圖 167 糖麵包山大西洋海景與熱帶都市風光

「糖麵包山」名稱由來主要源於 16 至 17 世紀甘蔗加工與貿易鼎盛時期的歷史產物，當時葡萄牙殖民者將甘蔗榨汁、煮沸並倒入錐形陶土模具中進行結晶與脫色，冷凝後凝固的白糖會呈現底寬頂圓的圓錐體形狀，這種精製糖塊被稱為糖麵包（Sugarloaf）。由於這座由花崗岩與片麻岩構成的獨特巨石山體，其圓潤陡峭的錐狀廓影與當時輸送往歐洲的精製糖模具極為相似，葡萄牙商人與水手便以糖麵包山(Pão de Açúcar)稱之並沿用至今。另一說則認為該名稱源自當地原住民圖皮人語言中的 Pau-nh-Açuquã，意指「孤立的高山」，後來經過葡萄牙語的諧音轉譯演變成現今的糖麵包山。



圖 168 精製糖模具

第三章 心得

本次奉派赴南美洲執行「新北捷運土城樹林線海外列車廠測及參訪計畫」，深入阿爾斯通巴西陶巴特車輛製造廠進行生產線廠測實地查核，並實地考察智利聖地牙哥捷運、巴西里約輕軌與聖保羅捷運、祕魯高山火車及登山齒軌鐵路等多元軌道系統，獲益良多。謹將相關心得歸納陳述如下：

一、陶巴特車輛製造廠生產工藝與廠測查核具備完善產線制度

土城樹林線列車係萬大中和線之後續擴充，全線採購中運量鋼輪鋼軌全自動無人駕駛（GoA4）電聯車，並於巴西陶巴特廠進行製造，廠測結果具備國際標準認證與完善品保體系，陶巴特廠具備 AFNOR 核發之 ISO 9001:2015、ISO 14001:2015 及 ISO 45001:2018 認證，範疇涵蓋鐵路車輛製造、系統驗證與備品管理全生命週期。

廠區具備成熟的工安管理與月產達 30 至 40 節車廂之高自製率產能。關鍵特殊製程與技術人員資格管制部分，抽查 6 名技術人員教育訓練與技術能力檔案，確認其在手動/連續點焊、電氣端子壓接、線束佈線、結構鉚接及車體密封黏合等特殊製程均具備有效檢定證書與定期審查履歷，展現嚴格之工位授權與專業分工制度。

模組化組裝工藝與人因工程設計，產線針對車輛最繁複之電纜艙裝，建置專屬組裝台並將 1:1 實體圖面平鋪於檯面，配合料件分區集中管理，大幅降低錯線率；車廂內部電纜線槽預組後利用翻轉升降設備進料，兼顧施作效率與勞安人因工程。

嚴謹之測試數據見證與品質評定，現場抽查見證萬大中和線 T19 車組測試紀錄，在 3.0 bar 管路壓力持續 10 分鐘水密噴淋測試下，初期發現之 CUS 蓋板、牽引箱、電池箱及車間走道等處微調事項均已即時處置完畢，最終內部無滲漏合格；高壓耐壓測試與絕緣阻抗測試數據均符合原設計規範，評定全數合格。

二、海外多元軌道系統營運見證與技術借鏡

在海外營運案例考察方面，亦汲取多項寶貴經驗，都會捷運自動化與多模態整合，智利聖地牙哥捷運 4/5/7 號線及聖保羅 6/15 號線展現了鋼輪、膠輪及高架跨座式單軌等多元車型運用。聖保羅 6 號線與 7 號線引進 CBTC GoA4 等級無人駕駛技術；聖保羅 15 號線則展現單軌列車克服起伏地形與高架景觀的優勢。

低碳景觀輕軌系統，里約輕軌引進 Citadis 402 低底盤列車，全面採用路面第三軌分段供電（APS）搭配超級電容，完全移除天際架空線，保護了歷史舊港區景觀，並與大型多模態轉乘中心無縫串接，成效顯著。

觀光鐵道與登山工程體驗，祕魯庫斯科高山火車以 914mm 窄軌克服高山地形，將傳統服飾、在地餐飲與現場音樂融入乘車過程，成功將交通運具昇華為文化體驗；里約柯科瓦多登山鐵路採用 Riggensbach 齒軌系統克服 30% 陡坡，糖麵包山雙段空中纜車則以大跨距索道串聯山海地標，皆展現特殊軌道工程與交通運輸工程帶動國際觀光之典範。

第四章 建議

根據本次赴南美海外列車廠測查核發現，以及多元軌道、觀光鐵道之參訪心得，提出以下兩大具體建議，作為後續工程推動與未來路網規劃之參考：

一、落實海外駐廠監造管理機制，嚴格把關土城樹林線列車製作品質

土城樹林線列車預計於 116 年正式投入產線生產，並於 117 年陸續運抵金城機廠。由於土城樹林線多屬高架段運行環境，較一期地下段面臨更多風雨日曬及劇烈溫濕度變化，為確保後續量產車輛能維持萬大中和線之一致高品質工藝，並針對既有問題及本市境內中運量車輛營運經驗回饋精進，監造單位與專管顧問應將本次廠測查核成果轉化為監造作業重點查核項目，落實駐廠監造重點。

駐廠人員應嚴密監督點焊、連續焊、電氣壓接與車體結構膠合等關鍵工序，尤其針對隱蔽處施工項目之停檢點，聚焦高架耐候特性與出廠測試見證，於廠測階段應嚴格執行 3.0bar 列車水密噴淋測試，重點檢核車門窗膠條、車底設備箱、CUS 蓋板及車間走道密封度，並確實見證高壓耐壓與絕緣阻抗測試，確保所有測試紀錄完整可追溯，杜絕瑕疵出廠，並針對三鶯線車輛營運回饋事項進行滾動式檢討，透過 DRACAS 制度強化。

二、借鏡海外觀光與特殊軌道經驗，納入新北捷運及輕軌路網觀光文化延伸規劃

新北市擁有豐富之山海景觀與在地文化資源，如三鶯文創、淡水八里水岸、東北角及深坑石碇山區等，後續捷運與輕軌路線規劃應跳脫單純通勤思維，導入觀光整合策略：

無電車線地面供電：參考里約輕軌 APS 地面第三軌與超級電容技術，於行經具歷史風貌或景觀敏感區段時，評估無架空線輕軌方案以維護都市天際線，或是與既有基礎建設共榮發展，例如在五泰輕軌台 64 線既有高架橋下受限既有淨高限制，或淡海輕軌第二期老街路段等，整合無架空線技術克服都市規劃瓶頸突破工程困境。

結合地方文化體驗與特殊運具規劃，汲取祕魯庫斯科高山觀光火車之「雙模式接駁」與「車廂文化沉浸體驗」，如在地音樂、特色內裝、大面景觀窗模式，恰似淡海輕軌既有跨年煙火活動、幾米全線公共藝術《閉上眼睛一下下》與主題列車、「光之所向」光影列車秀等，即具有整合觀光與通勤特性的營運模式，又彷如里約齒軌鐵道及全景纜車克服陡坡之工程技術，於未來新北觀光遊憩路線可以突破既有思維，透過整合八里輕軌與纜車建

設或山海延伸公車路線，拓展十三行文化博物館及觀音山地方特色觀光與產業發展，將交通運具打造成融合新北在地文化、工藝與自然地景之特色觀光載體。