

立體型捷運機廠規劃以雅加達輕軌機廠為例

張家豪¹ 張辰秋² 鄒政憲³ 馬嘉良⁴

¹ 林同棧工程顧問股份有限公司 海外部副理

² 中華大學運輸科技與物流管理學系 教授

³ 林同棧工程顧問股份有限公司 海外部經理

⁴ 林同棧工程顧問股份有限公司 執行副總經理

摘要

由台北捷運第一條線木柵線興建至通車，及第二條線淡水線機廠開工民眾抗爭的經驗，可知機廠及時興建為捷運工程的重要要徑，從用地取得、規劃設計、工程興建及系統號誌測試等，往往耗費多年進而影響通車時程，即使近期施工的全國各捷運線，都有機廠用地取得的困難，所以，機廠工程實為捷運系統重要要徑之一。未來三環三線+三線路網建構完成後，預估日運量將可達到 163 萬人次。未來面臨如此龐大的捷運路網，於營運維護的捷運機廠相對需負擔相當重要的核心角色，以因應未來捷運營運調度、維護保養、行控管理等。本文以印尼雅加達輕軌為例，採用立體型捷運機廠配置，其用地約 10 公頃可供容納 96 列車停駐維護使用的五級機廠，並規劃未來聯開結合商業及住宅需求物業開發大樓。可供未來國內機廠規劃之參考，以減少用地需求並活化機廠用地。

關鍵詞：雅加達輕軌、維修機廠、立體型機廠

一、前言

目前新北市捷運營運的路線有板橋土城線、淡水線、中和線、新莊線、新店線、蘆洲線、機場線、土城線延伸頂埔及淡海輕軌綠山線。為發展捷運建設及改善城市發展結構，而建構出三環三線+三線願景，除已通車營運之路線，尚包含興建中環狀線第一階段、萬大-中和-樹林線第一期、三鶯線、安坑輕軌、淡海輕軌藍海線，設計中之萬大-中和-樹林線第二期及規劃中之環狀線第二階段、汐止民生線、五股泰山輕軌、八里輕軌、深坑輕軌。

新北市政府為紓解地區交通壅塞問題，促進地方發展及提供民眾便捷舒適之大眾運輸系統，目前主辦規劃中之路線包括八里輕軌、五股泰山輕軌、深坑輕軌、泰山板橋輕軌及三鶯線延伸桃園八德段等後續路網推動，依各計畫路廊環境及區域特性規劃路權型式，並配合整體輕軌運輸系統一致性之構想，採同一輕軌運輸系統，大幅降低

¹林同棧工程顧問股份有限公司 海外部副理(*通訊作者，聯絡地址：10657 台北市大安區仁愛路 3 段 136 號 12 樓，電話：02-27840988，E-mail:chchang@tylin.com.tw)

²中華大學運輸科技與物流管理學系 教授

³林同棧工程顧問股份有限公司 海外部經理

⁴林同棧工程顧問股份有限公司 執行副總經理

後續維護成本，亦能在運作上更能確保系統營運的品質及效率。未來三環三線+三線路網建構完成後，市轄境內捷運長度預計可達 234.92 公里，捷運站亦可達 202 座，預估日運量將可達到 163 萬人次。未來面臨如此龐大的捷運路網，於營運維護的捷運機廠相對需負擔相當重要的核心角色，以因應未來捷運營運調度、維護保養、行控管理等。對於機廠用地需求在寸土寸金的土地上，如何使機廠有最佳的空間規劃，以能降低土地徵收減少購地成本，為目前機廠用地選擇上的一大挑戰。也由於機廠面積範圍大，過去在用地徵收上常面臨居民抗爭徵收不易情形，因此除了原先機廠維護功能外，亦可考量活化機廠用地配合土地開發及物業規劃可使機廠土地達到更高的使用效益，融入地方創造雙贏局面。



圖 1 新北市捷運建設願景圖

二、捷運機廠規劃與設計原則

台北捷運於 1996 年的 3 月 28 日開始正式營運，通車至今已經有 21 年歷史，第一條通車的路線是從動物園到中山國中站的「木柵線」，現已和內湖聯通，改為「文湖線」。由木柵線興建至通車的經驗，可知機廠及時興建為捷運工程的要徑，從用地取得、規劃設計、工程興建及系統號誌測試等，往往耗費多年進而影響通車時程，機廠工程為捷運系統重要要徑之一。其中機廠用地取得常是工程執行最大的關鍵議題，以桃園線北機廠為例，從規劃階段所選得的機廠用地因都市計畫變更案遭市民要求遷移，經研議討論後，將北機廠移設至滲眉埤。滲眉埤機廠用地取得預計於 111 年交付，後續進行包括：污染整治、基地現況調查評估、基本設計、環境影響差異分析、都市及非都市用地變更、

私地及公地用地取得等 8 大工作項目。由於目前國內機廠大多採用平面型機廠配置，用地面積較大；近年於新北市捷運的機廠規劃檢討下，原則將輕軌系統機廠用地規劃於 5~10 公頃，以減少用地取得及土地徵收預算下，開始有立體型機廠規劃，如安坑輕軌機廠。以下先以機廠的功能規劃及設計原則說明，在考量到機廠維護運轉功能下，以檢討如何在有限的機廠用地作最優最適化的機廠配置。

2.1 機廠功能與維護設備

機廠作為城市軌道交通配套系統，主要包括車輛段、綜合維修中心、物資總庫和培訓中心四大基本部分，輔以必要的辦公、生活設施。其中部分機廠包含行車調度中心、捷運警察分局或營運公司部分室處併在機廠中。車輛段與綜合基地作為捷運系統的運用、檢修、材料、後勤保障和培訓基地，其基本功能有 (1)車輛停放及日常保養功能;(2)車輛檢修功能;(3)列車救援功能;(4)系統設備/設施的維護、保養和檢修功能;(5)材料物資供應功能;(5)技術培訓功能。機廠規模大小及功能需求，依據營運需求、停駐車輛數及維修計畫，決定各機廠之功能，方能進行各層次機廠之規劃設計作業。同時，規劃階段即須考量未來運量成長及擴展系統之需要，並有計畫的分階段興建，以便滿足各階段營運需求。而機廠等級區分之目的主要在於規劃維修設備及人員之設置與權責劃分。捷運機廠依其維修等級可分為五級，分述如下

表 1 機廠等級定義表

維修等級	功能定義	國內捷運機廠
第一級	1. 每日例行目測檢查及調整 2. 以簡單可移動式檢修工具，進行每日例行檢查	中和機廠
第二級	1. 需使用特殊設備，進行車輛隱密部分之目測檢查及調整 2. 以簡單可移動檢修工具，進行車輛隱密部分較簡單、可短時間內完成之檢修	
第三級	1. 需使用頂昇設備作大部分解，以進行檢修 2. 需較長時間始可完成之檢修	新店、新莊、南港機廠
第四級	1. 需使用各類工具為電聯車組件作大部分解 2. 其所拆下之零組件，需經加工或測試 3. 零組件需更換，且需長時間始可完成之檢修	
第五級	1. 使用各種工具為電聯車組件作細部分解 2. 其所拆下之零組件，需經加工或測試 3. 零組件需更換，且需長時間始可完成之檢修 4. 具電聯車大修之能力	蘆洲、土城、木柵、內湖、北投、南機廠及淡海、高雄輕軌機廠

機廠的設置原則及功能定位上，需考量有不同路線的旅運需求及尖峰小時站間最大運量、列車載客容量及班距、路線長度等決定車隊規模，進而檢討機廠車輛空間包含駐

車區股道數及維修區股道數，以及機廠維護運轉人員數包含司機、技術人員、訓練及休息空間等。同時，機廠規劃亦須考量電聯車檢修制度，一般採用預防性的定期檢修制度，按檢修內容分為定期檢修和日常維修兩類，維修工作說明如下表 2，維修設備如表 3 所示：

表 2 捷運車輛檢修工作說明

檢修分類	工作內容
列檢	對容易出現危及行車安全的各主要部件進行外觀檢查
月檢	每月的定期保養與基礎維修，通常以車輛的制動裝置和軸箱油潤裝置為主，同時對其他部件進行輔助性檢修
定修	基本上為段修，主要針對車輛進行全面檢查，對各大部件的技術狀態和作用做較仔細檢查。
架修	主要任務是檢測和修理大型部件，並對車輛各部件進行解體和全面檢查、修理與試驗。
廠修	全面性恢復修理，要求全面恢復其性能，組裝後要重新油漆、標記、靜調和試車，達到新車出廠水平。

表 3 各級機廠檢修設備

機廠等級				機廠設備	
第五級	第四級	第三級	第一級	(1) 清潔車輛內部用之清潔工具	
			第二級	(2) 移動式檢修工具	
			第三級	(3) 車輛外部清洗系統	(4) 移動式供電系統
				(5) 具有潤滑油輸送、廢油回收系統、壓縮空氣系統之檢修坑	
			第四級	(6) 天車 (8) 轉向架旋轉台 (10) 底盤升降台 (12) 地下車床 (14) 底盤清洗系統	(7) 懸臂吊車 (9) 車體及底盤頂升設備 (11) 油壓式運貨電梯 (13) 切削屑運送設備
第五級	(15) 電聯車推移系統 (17) 維修用機具 (19) 零組件清潔設備 (21) 存放零組件及備品倉儲 (23) 堆高機 (25) 鐵道車輛調度車	(16) 轉向架高壓清洗設備 (18) 焊接設備 (20) 工作台 (22) 電池充電器 (24) 鐵公路兩用車和車輛復軌設備 (26) 電子測試設備			
			(27) 車輪軸維修用特殊工具 (29) 噴漆廠 (31) 移動式頂升設備	(28) 磁粉探傷車 (30) 輪軸清洗場	

2.2 機廠配置設計原則

機廠與正線接軌方式也是影響機廠用地大小的條件，車輛段段型設計上可分為貫通式佈置及盡端式佈置，貫通式佈置方式可使車輛便於進出可使檢修作業及調度作業動線上較為順暢，但所需之用地面積較大，如北投機廠；盡端式佈置主要是將駐車區與維修區採用平行橫列佈置，機廠內軌道線行採用 Z 型折返動線，雖調車作業較為不便，但可充分利用空間，減少用地範圍，目前國內大部分機廠皆採用盡端式配置，如南機廠、蘆洲機廠、新莊機廠等。



(a) 貫通式-北投機廠



(b) 盡端式-蘆洲機廠

圖 2 貫通式及盡端式佈置機廠

機廠設備規劃設計需配合基地面積、形狀及線形限制條件下，並在考量維護、檢測、調度、駐車、行控管理、訓練及休息、儲存倉庫、供電、污水處理等功能需求作最有效、經濟的機廠配置。一般機廠設計原則如下：

- (1) 線路設計：以作業靈活調度、檢修/駐車順暢度，設置橫渡線於出入口轉換軌道前，以便於調度使用。優化檢修及調度運轉之最優化。
- (2) 維修廠區調度作業，應避免影響列車進出，如自動洗車區於調度動線上的配置，避免平面交叉佈設，道岔形式避免太多形式儘可能單一形式佈設。
- (3) 考量列車、技術人員、機具操作之安全動線，於號誌及動線安全標示明顯，加強人員安全警示設施。
- (4) 區域排水、防災滯洪規劃。廠內維修污廢水、生活污水分流處理規劃。
- (5) 設備數量、檢修位置佈置以滿足最高維修能量。
- (6) 建築配置考量人因需求，考量安全、照明、通風、動線、電力區等因素，使司機、行控人員、技術人員有最適的安全工作環境。
- (7) 考量彈性及未來擴充之空間需求，及預留物業開發之條件，活化空間。

2.3 立體型機廠案例

規劃興建機廠廠區腹地不足時，無法在平面拓展機廠使用需求，因此有立體型機廠發展。日本東京地下鐵擁有世界最密集的捷運路網，其檢修廠即因應用地的需求發展成立體型機廠。

- (1) 東京地下鐵銀座線上野檢車區：東京都市區上野車站附近住宅與商業區內隱藏著一個東京地下鐵的機廠，也就是上野檢車區。上野檢車區分為地上部與地下部；腹地面積：16,223m²（地上部 7,723m²、地下部 8,500m²）；地上部可提供如同台灣捷運系統三級廠的維修，地下部提供一般駐車用；地上部可提供 7 列車、地下部 13 列車停車。



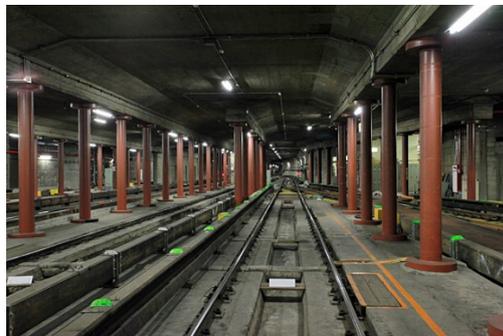
(a) 檢車區出入口與平面道路平交



(b) 地上檢修區



(c) 地下駐車區出入口



(d) 地下駐車區

圖 3 東京地下鐵銀座線上野檢車區(資料來源 <https://dailyportalz.jp/b/2010/08/05/b/>)

- (2) 東京都交通局大江戶線木場車檢車區：木場車輛檢修廠位於東京都深川區木場公園地下，廠區分為地下兩層地下一層可停靠列車 8 列、月檢修線 2 列車、一般檢修線 8 列車；地下二層可停靠列車 17 列、洗車線 4 列(含車輪磨削線)。木場車輛檢修廠僅能提供如台灣捷運系統的四級檢修廠。



圖 4 東京都交通局大江戶線木場車檢車區 (資料來源: 維基百科日文版)

三、印尼雅加達輕軌及機廠規劃與設計

3.1 雅加達輕軌路網發展

印尼首都雅加達擁有約 1 千萬人口，因都市人口過度膨脹使城市過度擁擠，面臨嚴重環境汙染等問題，其中以交通問題最為嚴重，雅加達道路的汽車密度是臺北市的 4 倍，隨著市民所得提高，擁車人數還以每年 10% 的成長率持續增加，而交通秩序觀念不足更使市區交通雜亂壅塞更加嚴重，每天平均約有 140 萬的通勤族面臨塞車之苦。



圖 5 雅加達輕軌路網圖

為舒緩雅加達交通擠塞問題，雅加達首都政府在 2014 年提出興建輕軌計劃(如圖 5 所示)，評估採用輕軌系統可兼具載客量多、徵用土地少(沿既有道路路權)、建設費用相較地下捷運便宜等優點。雅加達輕軌第一期連接 Depot station 連接到 Kelapa Gading 後向南發展至第一期終點站 Velodrome，全長 5.8 公里，設站 6 座高架車站，於 2016 年 6 月 22 日發包統包工程，經約 2.5 年施工及系統測試、於 2019 年 6 月開始試營運，直至 2019 年 12 月正式收費營運。其雅加達輕軌第一期如下圖 6 所示。



圖 6 雅加達軌捷運第一期與維修機廠

3.1 立體型機廠規劃

雅加達輕軌捷運機廠規劃須能考量到未來路網延伸線的需求(Line1+Line2+Line7)，依據捷運公司規劃內容機廠必須能容納高達 97 輛列車(含駐車區與維修區)。以國內輕軌機廠為例，淡海機廠占地 5.38 公頃可供 32 列車停駐；高雄輕軌機廠占地 3.8 公頃可供 24 列車停駐，平均每 1 公頃地可供 5~6 列車停駐。雅加達輕軌機廠規劃採停駐 96 列車量需求，機廠用地面積預估至少 15 公頃以上。在雅加達壅擠的市區須能有滿足駐車需求的五級維修廠實為不易，同時捷運機廠也包含一座車站，捷運公司為能活化機廠用地結合務業管理概念，規劃機廠包含商業及住宅區的規劃，為當地居民打造雙贏的局面。在初步規劃中機廠用地僅約 10 公頃，為能滿足五級廠及駐車數量需求而將平面型機廠配置發展成為立體型機廠，其初步規劃如圖 7 所示。



圖 7 雅加達輕軌機廠初期規劃示意圖

3.2 輕軌機廠配置與動線規劃

由於雅加達市區排水系統不佳，使都市長年都受到淹水影響，也是建築規劃上一般不會設置地下室空間作為人員使用需求，因此機廠基地規劃高程須填土至 EL4.5m，並配置一座地下室滯洪池及兩座景觀滯洪池調解降雨減緩淹水情形。雅加達輕軌機廠有別於國內機廠平面型配置，為能節省土地並將有限土地面積做最佳配置，故發展成為立體型機廠。採機廠一樓(GF)為維修區，二樓為駐車區及車站，三樓為車站出入口及汽車停車場。機廠平立面如下圖 8 所示，整體機廠配置包含主維修區、駐車區、行控管理中心、備援行控中心、危險物品儲存區、廢棄物區、污水處理廠、自動洗車區、噴漆廠、次變電站、環廠高架橋樑、危險物倉儲區、資源回收區、軌枕儲放區、滯洪池、停車區。

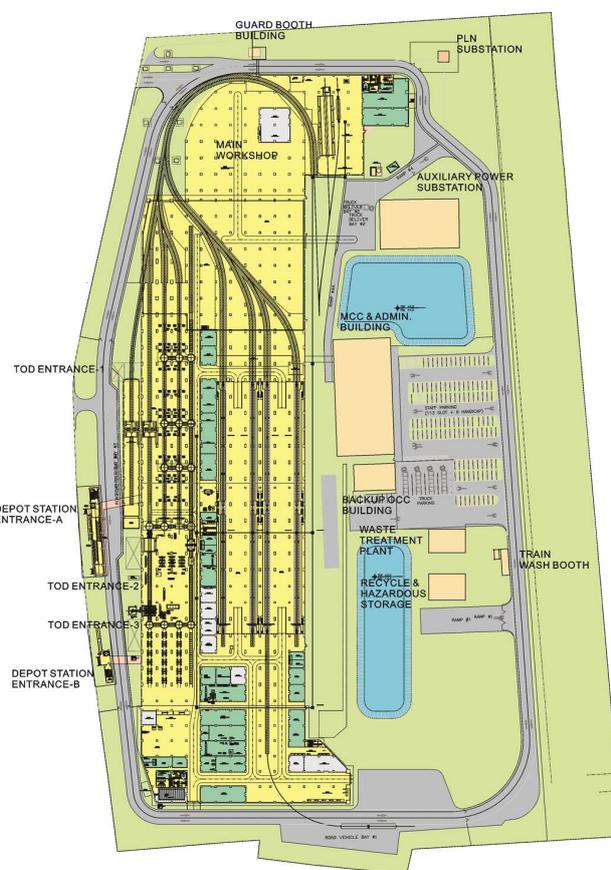


圖 8 雅加達輕軌機廠平面配置圖

立體型機廠主要是藉由環廠高架橋來銜接地面層維修區(GF)與二樓駐車區(1st F)，下圖 9 為平面及立面動線示意說明，綠色路線為由高架段進入機廠車站路線，紫色路線為出站後藉由高架橋進入二樓駐車區；駐車區列車可在由藍色路線進入維修區。同時，為便於二樓駐車區相關物品運送，在橋上另有規劃可容一般貨車通行之車道，及機廠二樓設置連絡天橋，可使駐車區司機、調度人員透過天橋直接進入行控大樓供休息進出使用。

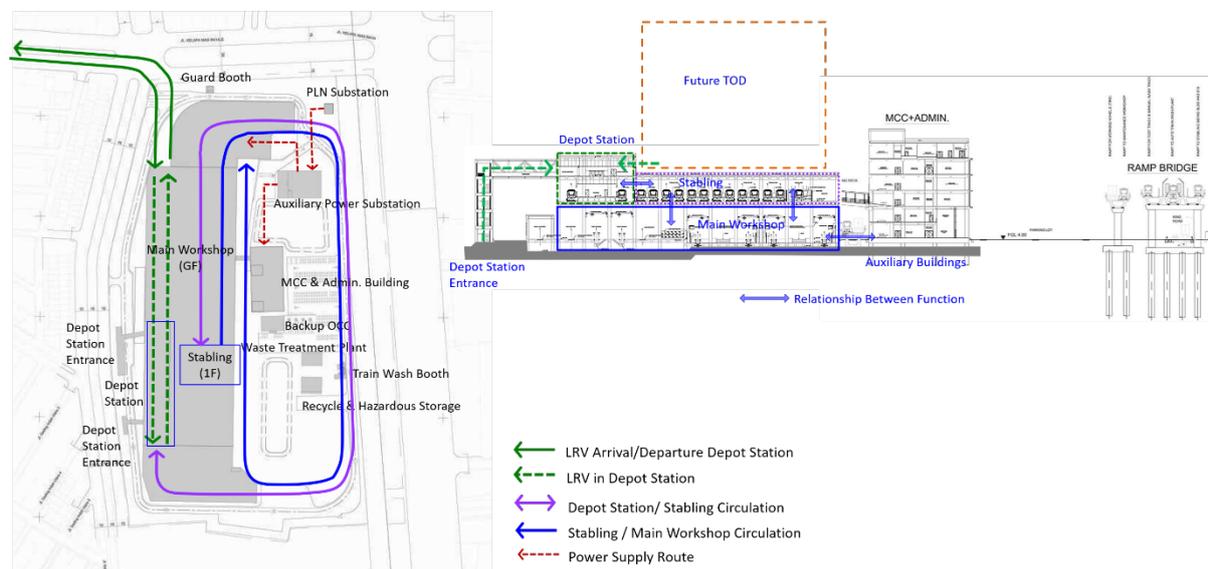


圖 9 雅加達輕軌機廠動線示意圖

3.3 立體型機廠介面探討

機廠介面為捷運工程中最為複雜一環，從建築、土建、機電、維修設備、系統號誌等介面為使機廠工程是否得以順利推動的關鍵。以下針對雅加達機廠提出兩點介面探討。

- (1) 機廠內軌道線形介面檢討：由於立體型機廠由環廠高架橋進入地面層維修區 (GF)與二樓駐車區(1st F)的建築主體後，於軌道線形配置需於建築物內配置扇形軌道區及配合車輛調度的橫渡線，由別於平面型機廠其扇形區通常配置於戶外區較無須檢討柱位衝突問題。於立體型機廠其扇形區軌道配置需透過車輛軌跡檢核確實檢討，在不同轉彎半徑線形下進行車輛動態包絡線檢核；結構系統上則需在局限扇形軌道空間內調整柱位，如下圖 10 所示。柱位調整往往使建築結構設計上需反覆檢討，其介面主要為車輛系統及軌道線形介面檢討，如橫渡線上方因大跨度柱距進而影響未來聯合開發樓層配置限制。

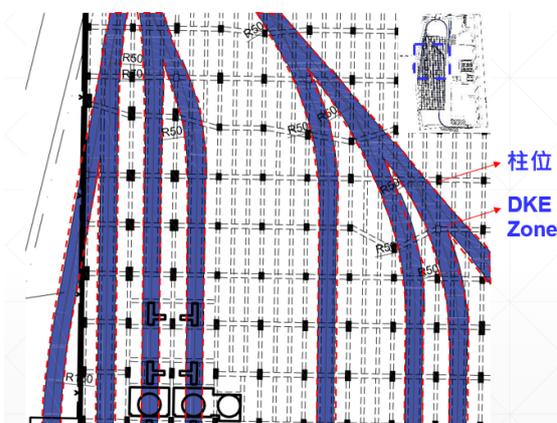


圖 10 機廠建築柱位與車輛、軌道線形衝突檢

(2) 自動洗車區與污水處理廠介面：利用高架橋下空間設置污水處理廠可減省土地空間使用，同時將自動洗車區配置於污水處理廠上，使洗車洗劑汙廢水在最短的排水路徑下排至污水廠處理。在高架橋結構設計上，除原先雨水排水管線外，需與洗車設備商檢討汙廢水之排水路徑及需求管徑，並與污水處理設備商檢討污水處理排放程序及入水口位置。並需考量橋上工作人員進出之安全梯間等設施。

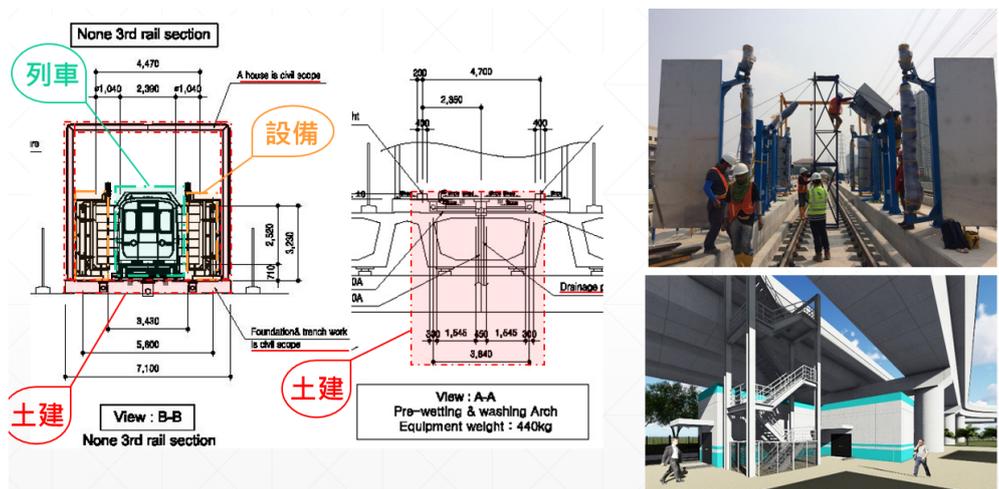


圖 11 機廠自動洗車設備介面檢討

四、結論

1. 都市捷運建置，機廠占地廣闊，用地取得困難，易生紛爭，未來機廠的規劃設計趨勢為小而美，立體化。
2. 捷運機廠的設置須因地制宜，雅加達輕軌捷運機廠以 10 公頃打造五級機廠的作法值得借鏡。
3. 本文總結林同棧顧問公司海外實績及日本東京的工程實際案例，分析和摘述了解運機廠的設計工作流程，同時，提出設計和建設中的關鍵介面和經驗，期盼爾後的設計水準和建設品質得到進一步的優化。

五、建議

1. 現在是 5G 智慧軌道的世紀，機廠的自動化和相關創新是後續值得思考的議題。
2. 機廠的物業開發是捷運財務永續的基石，建議納入機廠規設的考量。
3. 保護環境，在機廠的規設中增加海綿城、綠建築、再生能源、…等的環保因子，讓社會大眾更歡喜的接納捷運機廠作為的鄰居。

參考文獻

- [1] Preliminary Design Report Volume 1 Main Report, "Project Management Services (PMS) For The Implementation of The Jakarta LRT Project", PT Jakarta Propertindo, 2016.
- [2] Detail Design Report for Depot and Depot Station of The Jakarta LRT Project,"Kereta Api Ringan (LRT) Jakarta Koridor 1 Tahap 1 : Kelapa Gading – Velodrome", WIKA & T.Y.LIN International Taiwan, 2018.
- [3] 深坑線輕軌運輸系統暨周邊土地開發可行性研究報告書，新北市政府，2019。
- [4] 黃漢榮，「軌道工程學」，高立圖書有限公司，2017。
- [5] 許博士、羅吉特、胡劭安，大眾捷運概論，鼎文書局，2018。
- [6] 東京都交通局 https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/ch_h/