

ISSN 1011-6850

TAIWAN RAILWAY JOURNAL

TRJ 臺鐵資料

季刊

358

Sep. 2016
Autumn



交通部臺灣鐵路管理局

TAIWAN RAILWAYS ADMINISTRATION, MOTC

目錄 Contents

鐵道系統的能源消耗與節能策略.....	鍾志成 1
Railway Energy Consumptions and Energy Saving Strategies.....	Jong, Jyh-Cherng
鋼軌應力解除改善作業工程價值工程研析.....	
.....李睿堅.曾惠文.蔡政委.蔡宜真.許穎琦.呂俊輝.劉德正 31	
The Value Engineering Analysis of Track Destressing.....	Li, Rui-Jian. Tzu, Hui-Wen. Tsai, Cheng-Wei. Tsai, Yi-Zhen. Xu, Ying-Qi. Lyu, Jyun-Huei. Liu, Te-Cheng
臺鐵七堵基地污水處理廠增設加壓浮除設備工程.....	常振興 57
TRA Qidu Base Sewage Treatment Plant Increase Establish Dissolved Air Flotation System(DAF) Equipment Project.....	Chang, Zhen-Shing
從地下場站火場救災觀點談營運單位應配合事項.....	蘇水波 69
The Coordinate Matters of Operating Organizations from the View of Disaster Relief in Underground Stations and Depots.....	Shu, Shui-Bo
政風預防業務專案稽核研析 - 以臺北及高雄機廠遷建計畫為例.....	梁惠儀.莊良乾 95
The Research of Prevention Operations Case Review — Model Based on Relocation and Building Project of Taipei and Kaohsiung Railway Workshop.....	Leung, Wai-Yi. Juang, Liang-Chyan

鐵道系統的能源消耗與節能策略

Railway Energy Consumptions and Energy Saving Strategies

鍾志成 Jong, Jyh-Cherng¹

聯絡地址：11494 台北市內湖區新湖二路 280 號

Address: No. 280, Xinhua 2nd Rd. Neihu Dist., Taipei City 11494, Taiwan

電話(Tel)：(02) 8791-9198

電子信箱(E-mail)：[jcyjong@sinotech.org.tw](mailto:jcjong@sinotech.org.tw)

摘要

鐵道系統是所有大眾運輸系統中能源密集度最低的系統，故為未來陸路運輸系統的發展主流。為了更進一步達到節能減碳的效果，鐵道產業界仍持續發展各種節能技術與策略。本文透過國內及歐盟的運輸及能源資料分析，說明鐵道系統對於整體運輸部門的節能效益，並藉由文獻回顧及列車耗能模擬分析，評估各種鐵道系統節能策略的應用性、投入成本與節能效益，研究結果發現車站節能措施於系統營運階段仍有好高的應用性，列車及系統機電相關的技術雖有很好的節能效果，但於系統採購時必須預為考量，交付之後要再變更的成本相當高。駝峰式路線設計的節能效果相當好，無須特殊複雜技術，但在路線興建之前必須納入設計。至於節能運轉策略則是在系統營運之後所採取的措施，其具有低成本高節能的特性，當屬最鐵道系統最經濟有效的節能措施。

關鍵詞：能源密集度、鐵道系統、節能

¹財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心主任

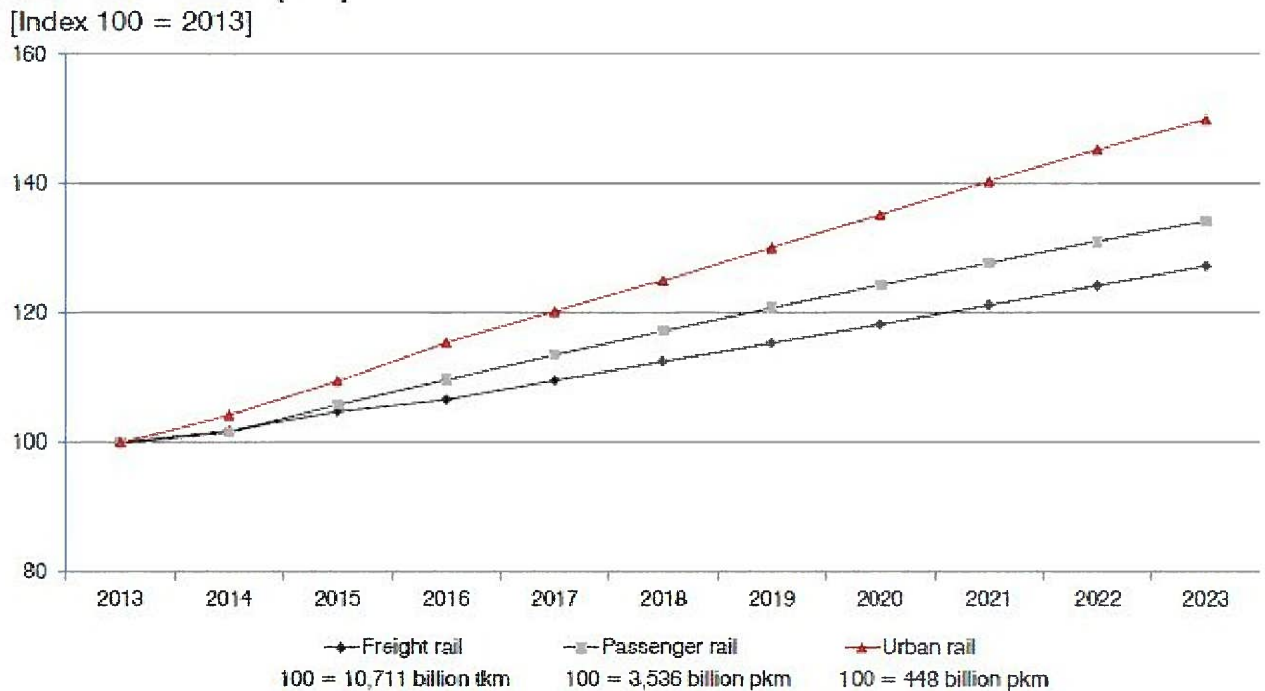
Abstract

The energy intensity of railways is the lowest among all public transportation systems. Consequently, railways have become the mainstream land transportation systems. To further reduce energy consumption and carbon emission, railway industries keep developing various energy-saving technologies and strategies. Through the analysis of transportation and energy data for both domestic region and EU, this paper illustrates the contribution to energy consumption reduction of transportation sector by shifting the ridership from other modes to railways. In addition, this paper evaluates the applicability, investment cost and benefit of various energy saving strategies. The results show that station energy consumption can be reduced even during operation stage. Although train, electrical and mechanical related technologies are very promising in energy savings, they should be taken into account during procurement. Otherwise, the cost will be tremendous after system delivery. Dipped vertical alignment is an effective approach for energy saving without sophisticated technologies. However, the alignment must be designed in such a way before construction. The efficient driving strategies can be applied to any systems during operation stage with low cost and high benefit. It is regarded to be the most economical energy saving strategies for railways.

Keywords: Energy Intensity, Railway, Energy Saving

一. 前言

由於全球暖化與極端氣候議題延燒，近年來世界各國均大力推動節能減碳策略，運輸部門在此思維之下，亦極力發展綠色運輸系統，其中鐵道系統，包括高速鐵路、傳統鐵路及都會捷運，因具備安全、準點、大量運輸及低環境衝擊等特性，故為世界主要國家的重點發展項目。若以 2013 年為基礎，預估至 2023 年，全球的貨運鐵路市場將成長超過 25%，客運鐵路市場約成長 35%，而都會鐵路市場更成長近 50%，如圖 1 所示。



資料來源：SCI Verkehr (2014)

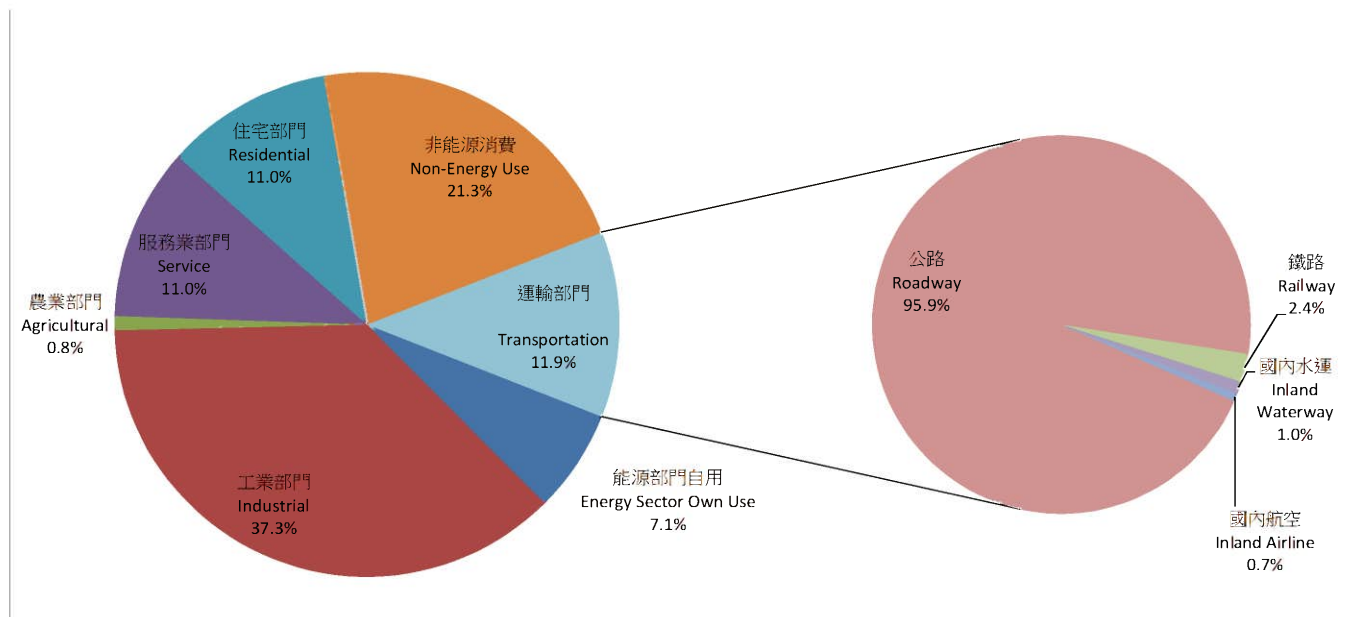
圖1 全球鐵道運輸市場趨勢 (2013~2023)

早期國內鐵道運輸以臺鐵為主，在全球鐵道復興潮流的帶動下，不斷推動鐵道建設計畫，自 1996 年第一條中運量捷運系統（臺北捷運木柵線）開始，國內鐵道運輸系統便如雨後春筍般大量興建，截至民國 2016 年 9 月底止，國內已正式商業運轉的系統包括臺鐵、台灣高鐵、臺北捷運系統及高雄捷運系統，即將通車營運者有高雄輕軌系統及桃園機場捷運系統，興建中的則有台中捷運系統、臺北捷運環狀線、淡海輕軌、安坑輕軌、三鶯線及桃園捷運綠線等。國內的鐵道運輸系統幾乎涵蓋各種系統型式，從高速鐵路、傳統鐵路、高運量捷運、中運量捷運到輕軌運輸系統，各種系統類型一應俱全，已然成為鐵道系統的最佳展示場所。

經過多年的營運，國內鐵道運輸系統已累積不少營運實績，本文嘗試從營運實績檢視鐵道運輸系統的節能減碳效益，並比對國際的趨勢做為參考。雖然鐵道運輸系統被公認為綠色運輸系統之一，但為更進一步達到節能的效果，本文亦回顧目前的節能發展趨勢並評估其投入成本、適用條件及節能效益，以作為未來國內鐵道系統擬定節能策略之參考。

二. 不同運輸工具之能源消耗分析

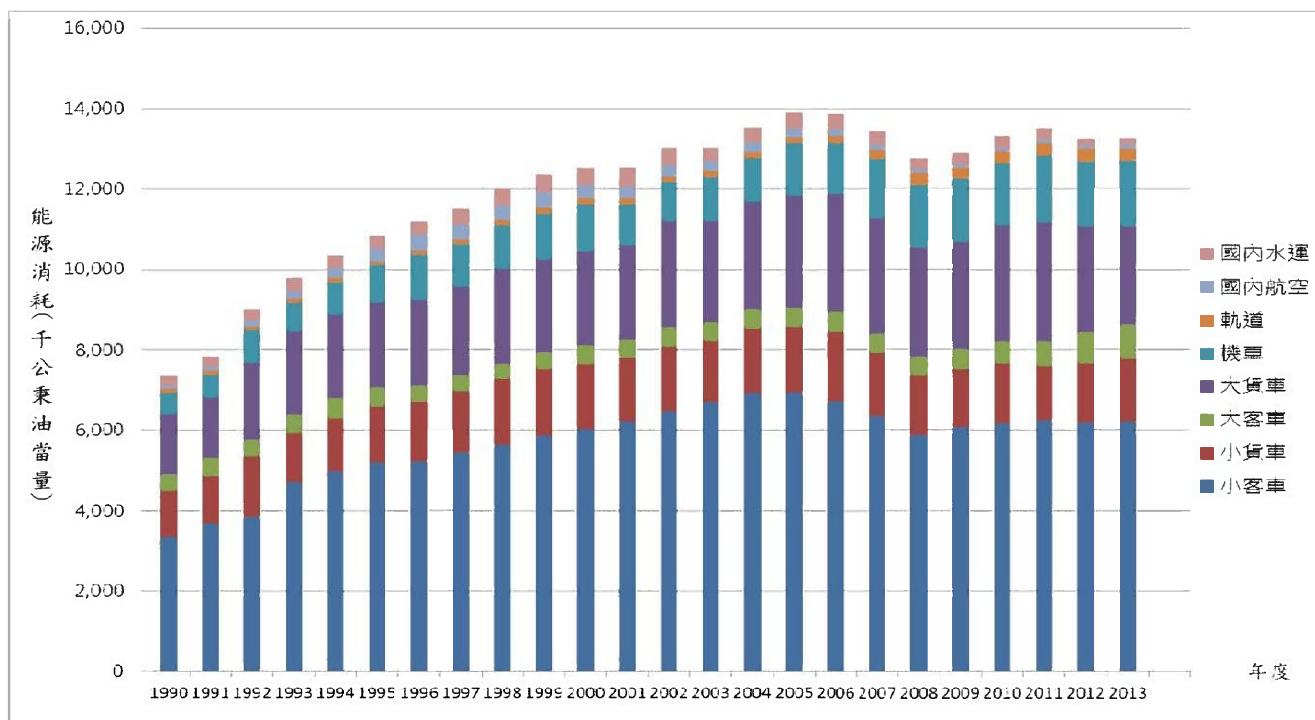
根據能源局（2016）的統計，國內能源消費逐年增加，而能源供給近 98% 均仰賴進口，自產能源比例僅約 2%，顯示國內是能源極度缺乏的國家。而在所有的能源使用部門中（不含非能源消耗），運輸是僅次於工業之第二大能源使用部門，2000 年約佔總能源消耗的 14.5%，此後逐年下降至 2015 年的 11.9%，其中公路運具佔所有運輸部門能源消耗量的 95.9%，鐵道運具佔 2.4%，國內水運與國內航空分別為 1.0% 及 0.7%，如圖 2 所示。



資料來源：經濟部能源局（2016）及本研究繪製

圖2 國內各部門能源消耗百分比

雖然運輸部門的能源消耗佔比逐年下降，但由於經濟活動頻繁，運輸部門的總能源消耗卻是逐年增加，直到 2005 年才逐漸趨緩，而各種運輸工具中，以小客車所消耗的能源最多，其次為大貨車、小貨車、機車、大客車及軌道系統，如圖 3 所示，而各運具的碳排佔比，亦大致與能源消耗的佔比類似（交通部運輸研究所，2015），亦即能源消耗愈多，二氧化碳的排放量愈大。



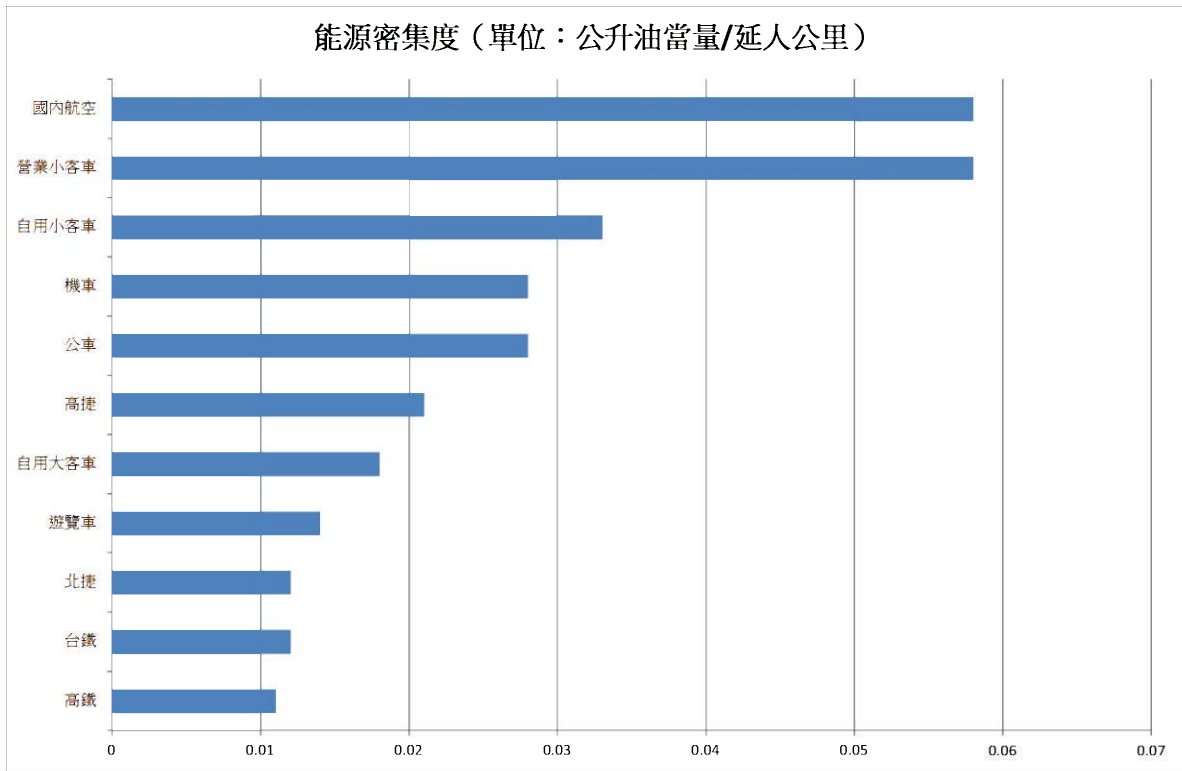
資料來源：交通部運輸研究所（2015）

圖3 運輸部門系統別能源消耗趨勢

值得注意的是，圖 3 的分析係各運具使用能源的總量，但並未考慮到不同運具實際運輸量的因素，舉例而言，圖 3 顯示鐵道運輸的能源消耗總量高於國內航空，但實際上鐵道運量遠高於國內航空，因此單就總能源消耗量比較，則有失公允。一般而言，用以度量不同運輸工具能源消耗量指標為能源密集度（Energy Intensity），其定義為「載運每人公里所消耗之能源」，其值愈高，代表愈耗能；反之，數值愈低，代表能源消耗愈少。圖 4 為國內個運具能源密集度的計算結果，該圖顯示國內航空的能源密集最高，而表現最佳的是高鐵、臺鐵及臺北捷運，顯見鐵道運輸系統相較於其他運具有較佳的能源效率。

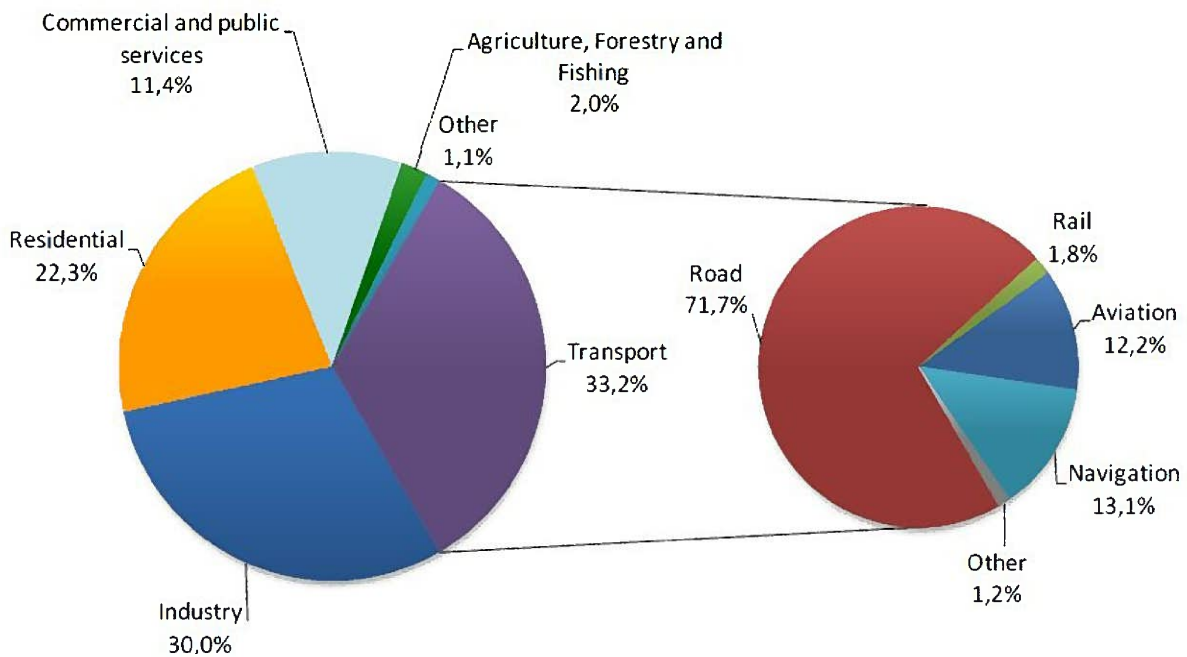
歐盟是世界上鐵道系統最發達的地區之一，圖 5 顯示其能源使用率以運輸部門最高，達 33.2%，甚至高於工業部門的 30.0%，而在運輸部門中，公路運輸的能源消耗佔 71.7%，鐵路僅佔 1.8%，但就運具分配而言，鐵路運輸則為 8.5%（詳見表 1），亦即鐵道運輸以較少的能源消耗，達到較高的市場佔有率。

整體而言，歐盟的能源消耗趨勢與國內的情況類似，亦即運輸部門是能源使用的大宗，而其中又以公路運輸的能源使用率最高，但就能源密集度而言，鐵道運輸最具能源效率，顯見鐵道運輸對於減少能源消耗助益甚大。由於能源使用量與二氧化碳排放量有很高的相關性，亦即能源使用愈多，碳排放量愈高，因此減少能源的消耗也伴隨著碳排放量的減少的效益。



資料來源：交通部運輸研究所 (2016)

圖4 國內不同運具之能源密集度



資料來源：UIC (2015)

圖5 歐盟 27 國各部門能源消耗百分比

表1 歐盟的運具分配

	旅客運輸 (延人公里)	貨物運輸 (延噸公里)	合計
公路運輸	83.6%	46.9%	70.3%
航空運輸	8.8%	0.1%	5.7%
水道運輸	0.6%	41.9%	15.5%
鐵道運輸	9.0%	11.1%	8.5%

資料來源：UIC (2015)

為緩和氣候變遷所帶來的負面衝擊，交通部（2012）頒布的運輸政策白皮書中，針對運輸部門訂定 2020 年允許排放量為 34.5 百萬公噸、2025 年允許排放量為 29.7 百萬公噸的目標，而採行的政策方向包括：(1)發展綠色運輸系統、(2)加強運輸需求管理及(3)提升運輸系統能源使用效率。其中發展綠色運輸系統的最主要策略，是提升公共運輸的使用量，特別是鐵道運輸系統。如以國內能源消耗最多的小客車為例，若改用台鐵、高鐵及捷運等鐵道系統，對運輸部門整體能源消耗量減少的效益最大，每從自小客移轉 1 延人公里的運量至鐵道運輸系統，可減少 64%的能源消耗量，顯見鐵道運輸系統為未來陸路運輸的發展主軸。

三. 鐵道系統的節能策略

儘管鐵道系統已是所有大眾運輸系統中最節省能源的運具，但為能更進一步達到節能減碳目標，鐵道工業界及鐵道運輸業者仍持續發展各種節能的技術。

鐵道系統的能源消耗可分為三個部分：車輛、車站及其他，如圖 6所示。車輛耗能包括車輛牽引耗能及空調、照明等輔助設施的用電；車站耗能包括車站的空調、照明等水電環控設施的用電；除此之外，其他辦公、營運及維修活動也會使用電能。車站及車輛耗能的相對大小端視車站的數量、規模及列車班距等因素而定，通常車站距離較長的鐵道系統，例如高鐵及台鐵，車輛的耗能可能會高於車站的用電，但對於車站密集的都會捷運系統，特別是地下捷運系統，車站的用電有可能會高於車輛的耗能。以臺北捷運系統為例，車站用電佔

58%，列車用電僅佔 42%（陳昱璇等，2015），但倫敦地鐵的車輛耗能卻高達 80%（González-Gil et al., 2014）。無論如何，車站及列車為軌道系統最主要的耗能項目，也是節能的重點，以下分別就車站及列車說明其節能策略。



圖6 軌道系統的能源消費組成

3.1 車站的節能策略

在陳昱璇等（2015）及魏竹星等（2015）的研究中，針對臺北捷運系統提出許多車站的節能策略，在空調耗能方面，採取隔絕冷氣外洩、減少不必要的設備運轉、調整空調設備的運轉參數、提升設備效能，以及利用尖離峰時段、旅客流量變化與車站地理位置等特性，進行差異化控制管理空調設備等措施。在照明耗能方面，採取照度調整、改善迴路設計、提高燈具效率利用尖離峰及日照時間長短等特性進行優化控制。而電扶梯則是針對人潮較少的出入口關閉電扶梯，以及設置怠速功能的方式來減少耗能，如所示。

表2 車站的節能策略

設備	節能策略
空調	<ul style="list-style-type: none"> ● 隔絕冷氣外洩 ● 減少不必要的設備運轉 ● 調整空調設備的運轉參數 ● 提升設備效能 ● 利用尖離峰時段、旅客流量變化與車站地理位置等特性進行差異化控制管理空調設備
照明	<ul style="list-style-type: none"> ● 調整照度 ● 改善迴路設計 ● 提高燈具效率（省電燈管、LED 燈具） ● 利用尖離峰、日照時間長短等特性進行優化控制
電梯	<ul style="list-style-type: none"> ● 針對人潮較少的出入口關閉電扶梯 ● 設置怠速功能

根據 Gonzalez-Gil et al. (2014) 的研究，採用高效能的照明設備可以有效降低照明的耗能，以比勒費爾德 (Bielefeld) 及香港地鐵為例，分別可減少 32% 及 40% 的耗能；另外，封閉式月台門可減少冷氣外洩，故可減少車站的空調耗能，但有可能增加隧道通風的需求。台北高運量捷運系統近期通車的新莊蘆洲線、信義線及松山線，都有加裝封閉式月台門，而高雄捷運系統的地下車站也都有設置月台門，除了可以減少車站冷氣的溢散之外，也可以減少旅客落軌的危險。

3.2 列車的節能策略

列車的耗能可分為兩大部分，其一為牽引動力的耗能，另一為空調、照明等輔助設備的耗能。一般而言，牽引動力的耗能遠高於輔助設備的耗能，因此列車節能策略的研究係以牽引動力的耗能為最主要的對象，持續吸引大批的學者與專家投入相關的研究 (Feng et al., 2013)，而列車空調、照明等輔助設備的節能策略與車站類似設備的節能策略大致相同。

列車的牽引耗能受到基礎設施、列車運轉動態及營運管理的因素的影響 (Mlinarić and Ponikvar, 2011)，其中基礎設施是鐵道系統的固定設備，例如路線、車站配置及站距等，列車運轉動態是單一系列車從起站至迄站的移動過

程，也會受到基礎設施的影響，而營運管理則是整個車隊的營運排班及調度管理。

要詳細了解列車的牽引耗能，可從列車的運轉動態來分析。列車從起站至迄站的運轉過程，會受到牛頓第二運動定律的控制（Jong and Chang, 2005），即

$$T_e(v) - R_e(v, i, \gamma) - B_e(v) = M_e \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

列車之有效牽引力 $T_e(v)$ 係受制於牽引馬達的特性牽引力及輪軌之間的黏著牽引力，若黏著力充足時，主要是由牽引馬達的功率所控制。列車之有效阻力 $R_e(v, i, \gamma)$ 包括四個部分：出發阻力 $R_s(v)$ 、行駛阻力 $R_r(v)$ 、坡度阻力 $R_g(i)$ 、彎道阻力 $R_c(\gamma)$ 及隧道阻力 R_t ，其中出發阻力 $R_s(v)$ 會隨著速度的增加急速降低，通常列車速度超過 10 km/h 以上，出發阻力會降為 0。行駛阻力 $R_r(v)$ 為速度的二次函數，亦即速度愈高，行駛阻力愈大。坡度阻力 $R_g(i)$ 與路線的縱坡度有關，上坡時會抵消列車的牽引力，但下坡時反而會產生列車前進的助力。彎道阻力 $R_c(\gamma)$ 與彎道的半徑 γ 有關，半徑愈大，阻力愈小。隧道阻力 R_t 與隧道的斷面有關，斷面愈大，活塞效應愈小，阻力愈小。列車的煞車力 $B_e(v)$ 與軋機系統（煞車系統）及輪軌之間的黏著力有關，在黏著力充裕的情況下，主要是受到軋機系統的控制；現代鐵道列車通常配備動力煞車（電氣煞車）及空氣煞車（摩擦煞車），高速時的煞車以動力煞車為主，低速時則以空氣煞車為主。列車的等效質量 M_e 包括列車質量及車輪、車軸等旋轉零組件的轉動質量的總質量，一般是介於列車質量的 1.04~1.10 倍之間。

列車在兩站之間的運轉過程，視牽引力及煞車力的運用狀況，會有「動力駕駛（Powering）」、「惰力駕駛（有些人會稱之為滑行駕駛，Coasting）」及「緊軋駕駛（亦有稱之為煞車駕駛，Braking,）」等三種模式，如表 3 所示，而表現出來的運轉動態依列車所受淨力的大小，會有「靜止」、「加速」、「等速」及「減速」等四種型態（如圖 7）。值得注意的是，列車的駕駛模式與運轉動態並無絕對的關係，列車在惰力運轉模式下，根據坡度的大小，可能會處於加速階段，也可能處於減速階段；另外，列車在高速時駛入陡上坡路段，由於高速時的牽引力較小，行駛阻力較大，且又處於陡上坡路段，亦可能發生列車所受的淨力小於零而發生減速的情形。

就耗能的觀點而言，動力運轉會消耗較多的能源，而惰力運轉及緊軋運轉時牽引馬達不輸出動力，故能源消耗量較小。因此，要減少列車的牽引耗能，必須在達到運轉目的的條件下，儘量減少動力運轉的使用時機以及降低牽引馬

達的出力需求；另外，降低列車行駛過程的阻力、減低列車重量等，都可以更有效的運用列車的牽引力進而減少能源的消耗量。以下說明相關研究在降低牽引動力耗能方面常用的技術與策略。

表3 列車動力系統及煞車系統之出力與駕駛模式之關係

駕駛模式		動力系統	
		$T_e = 0$	$T_e > 0$
煞車系統	$B_e = 0$	惰力駕駛	動力駕駛
	$B_e > 0$	緊軔駕駛	—

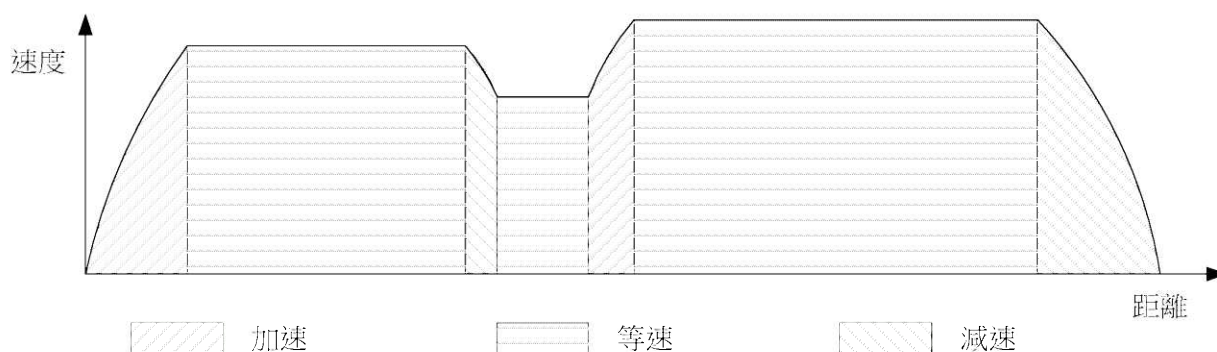


圖7 列車在兩站之間的運轉動態

3.2.1 列車設計策略

提升能源效率的列車設計策略在於減輕列車重量、減少空氣阻力及有效運用空間，其原理是降低牽引力需求及耗損。

1. 減輕列車重量

列車是鐵道運輸的移動載具，從式(1)可知，若能減少列車的重量，將可降低列車牽引動力的需求，進而減少能源的消耗。減輕列車重量最直接的方法是應用較輕的材料來打造列車。例如，鋼鐵的密度約 7.8~7.9 之間，而鋁的密度

僅約 2.7，故鋁製車身可有效降低列車的重量。根據國際鐵路聯盟（法文：Union Internationale des Chemins de Fer, UIC, 2016）的資料顯示，目前新採購的列車有超過 50%是鋁製的車身。國內高鐵 700T 列車、臺鐵太魯閣及普悠瑪號列車都是採用鋁合金車體，但台北高運量捷運系統則都是採用不銹鋼車體，其著眼點不在於節能，而在於不銹鋼車體有較佳的延壽性。纖維增強聚合物（Fibre Reinforced Polymers）是另外一種具有重量輕強度高特性的材料，因此也是很好的鋼材替代品，目前也有應用到鐵道車輛的案例。除了車體之外，列車內裝約占整車重量的 10%~20%，由於內裝不涉及列車結構安全，因此也有很大的潛力採用較輕的材質來降低重量。

轉向架（Bogie）是列車重量最重的次系統之一，其上有牽引馬達、煞車系統、懸吊系統及車輪。傳統式列車的每節車廂有兩個轉向架，但鉸接式列車（Articulated Train）的轉向架係置於兩節車廂之間，在相同的列車編組之下，鉸接式列車的轉向架比較少，進而減少整列車的重量。以圖 8 的列車編組為例，傳統式列車共需要 12 個轉向架，而鉸接式列車僅需 7 個轉向架，故可大幅減少列車重量。法國 TGV 高鐵列車即為鉸接式列車，而西班牙的塔爾高（Talgo）公司則是專門生產鉸接式列車的鐵路車輛製造商。

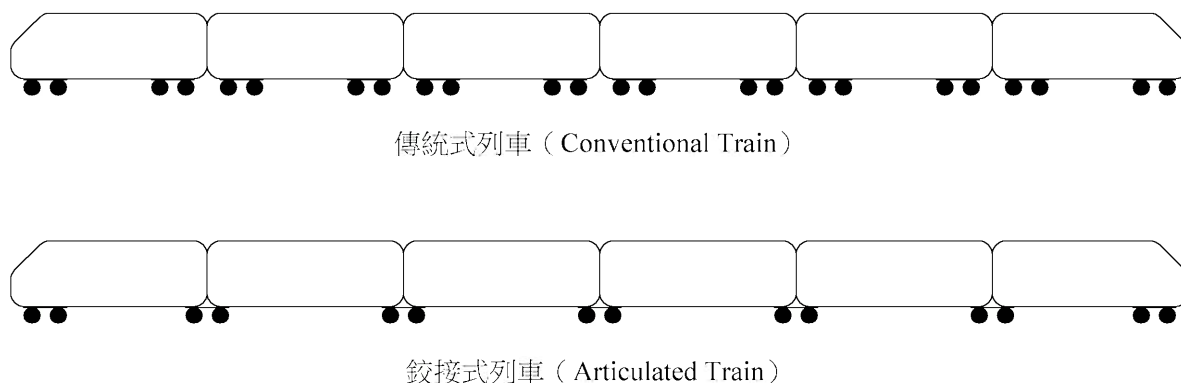


圖8 傳統列車與鉸接式列車比較

2. 減少空氣阻力

列車的行駛阻力有很大的一部分是空氣阻力，其與列車的速度的平方成正比，若能減少空氣阻力，則能有效降低牽引力損耗在克服行駛阻力的部分，讓牽引力的運用更有效率，以收節能之效。減少空氣阻力最常見的手段是打造流線化車體，但對於長編組列車的效果並不顯著（UIC, 2016）；另外，加裝轉向架整流罩（Bogie Fairings）也可有效減少空氣阻力，義大利 ETR 500 高速列車有裝設轉向架整流罩（由安薩爾多百瑞達公司（AnsaldoBreda）所製造），惟在其他鐵路車輛並不常見。

3. 有效運用空間

列車的總重量 (Laden Weight) 包括空重 (Tare Weight) 及載重 (Net Weight)，列車空間若能有效的運用，則可載運更多的旅客，每位旅客平均分攤的列車重量會愈低，故可提升能源效率。雙層列車 (Double-Deck Train) 為歐洲地區常見的列車空間利用方式，例如法國的 TGV Duplex 及瑞士的 IC 2000 列車均為雙層車廂。雙層車廂雖可提升能源效率，但建築界線必須要配合，必須要有足夠的淨空方能通行雙層列車。除了雙層列車之外，廣體列車 (Wide-Body Train) 也可增加載運量，提升能源效率 (Lukaszewicz and Andersson, 2009)。通常長途列車的寬度大約為 2.9 公尺，每一排的座位配置為 2+2，但廣體列車可採用 2+3 的配置，讓每一車廂的載運人數增加。例如台灣高鐵 700T 列車的車寬為 3.38 公尺，標準艙每一排的座位配置即為 2+3，故可增加載運人數。與雙層列車類似的是，建築界線必須要配合廣體列車的寬度來設計，方能提供足夠的淨空讓列車運轉。

早期的列車大都是由動力機車 (Locomotive) 牽引非動力客車 (Trailer) 來運轉，近年來動力分散式的電聯車 (Electric Multiple Unit, EMU) 則廣為軌道業者青睞。電聯車有諸多優點，包括折返調度較為容易，重量較為分散故對軌道衝擊較小，以及部分動力喪失時仍能運轉，此外，由於列車兩端均可載客，可有效運用空間，且因動力分散有較佳之加速啟動性能，故能源效率也會比機車牽引之列車更好。

3.2.2 牽引系統技術

牽引馬達自供電系統獲取電能之後，會將電能轉換成動力，再透過傳動系統輸出到動輪軸以推進列車，從電能轉換成動能的過程中，會有能源的消耗，若能減少能源的消耗，則可提升能源的效率。能源在牽引系統中的損耗，主要是牽引馬達本身，傳動系統的損耗量較小，因此提升牽引馬達的效率是最主要的關鍵。

1. 交流牽引馬達

早期的牽引馬達為直流馬達，直流馬達可藉由電阻的變化來改變馬達的功率，其控制相當容易，但缺點是會損耗較多的能源，且牽引馬達的體積較大，除了能源效率較差之外，維修也比較不容易。隨著高壓半導體整流技術的發展，交流馬達逐漸取代直流馬達成為列車牽引馬達的主流。供電系統提供的單相交流電經整流為直流電之後（註：捷運系統供應的為直流電，無需轉換），透過變壓變頻逆變器 (Variable Voltage Variable Frequency Inverter, VVVF

Inverter) 轉換為三相交流電，再藉由電壓及頻率的控制，可以精準控制交流馬達的輸出功率。交流馬達沒有電阻元件的能源損耗，而且體積較小，因此有較佳的能源效率。另一方面，交流馬達結構簡單，維修容易，現代新購鐵路列車幾乎以交流馬達為主。近期交流馬達逆變器的發展，係以絕緣閘雙極電晶體 (Isolated Gate Bipolar Transistor, IGBT) 取代閘極截止閘流體 (Gate Turn-Off Thyristor, GTO)，根據 UIC (2016) 的資料顯示，可以進一步提升能源效率達 5% 以上。

2. 永磁同步馬達

一般的牽引馬達為交流感應馬達，透過電流產生磁場，但也因此而消耗能源，永磁同步馬達 (Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM) 係以永久磁鐵來產生磁場，電能的損失較少且散熱的需求較低，具有體積更小能源效率更高的優點。日本阪急通勤鐵路及東京地鐵的測試結果顯示，可以分別減少牽引動力的耗能達 9% 及 12-13% (González-Gil et al., 2014)。

3. 關閉牽引馬達

通常牽引馬達在全負載時的能源效率會高於部分負載時的能源效率，由於電聯車有多具牽引馬達分散在不同的車廂，當列車在等速運轉、惰力運轉或靜止時，與其讓所有牽引馬達都在部分負載的狀況下運轉，透過最佳化軟體控制牽引系統，將部分牽引馬達關閉，讓其餘牽引馬達全負載運轉，可以提升整體能源效率 (UIC, 2016; González-Gil et al., 2014)。

4. 馬達通風控制

牽引馬達運作時會產生高熱，必須仰賴通風來降溫，牽引馬達降溫風扇的耗能相當可觀，若能根據牽引馬達的溫度來最佳化控制風扇的速度與功率，則耗費在風扇的能源可以顯著降低。目前新購的列車大都會裝設此種智慧控制系統，可有效漸低風扇的耗能，減少能源的浪費。

3.2.3 再生煞車技術

列車從高速狀況進入低速路段或車站時，必須煞車減速，而在列車減速過程會將列車的動能轉換成其他能源型式。若預將運轉中的列車減速或停止，係透過軔機系統提供制軔力，讓轉動中的車輪降低轉速甚至停止。軔機系統就作用的方式可分為摩擦煞車 (Friction Braking) 以及動力煞車 (Dynamic Braking) 兩種類型，前者是利用煞車閘瓦接觸轉動中的車輪或煞車來令片接觸煞車碟盤，讓車輪的轉速逐漸降低，過程中會產生熱量，藉由空氣散發掉；而後者則

是改變牽引馬達的連接方式，讓其成為發電機，利用列車本身的動能來發電，逐漸將列車的動能消耗掉。早期的列車係將列車動力煞車過程產生的電能，銜接到電阻上轉換為熱能再散發掉，而再生煞車（Regenerative Braking）則是將產生的電能回收再利用，以達成節能的目標。

再生煞車回收的電能有兩種運用方式，一種是提供列車本身輔助設備使用，多餘的電能則是提供給同一供電區間其他加速中的列車使用。由於列車輔助設備的耗電量相對較小，而同一供電區間是否有列車剛好在加速，則須視班距及站距而定，若產生的電能過多而超過供電系統的容許電壓時，為維持供電電壓在容許範圍，仍會將多餘的電能轉換成熱能散發掉。為了妥善運用再生煞車產生的電能，目前軌道產業界已發展出許多技術以減少能源的浪費（González-Gil et al., 2014; UIC, 2016; 林文進、彭柏志, 2015）。

1. 逆變回饋系統

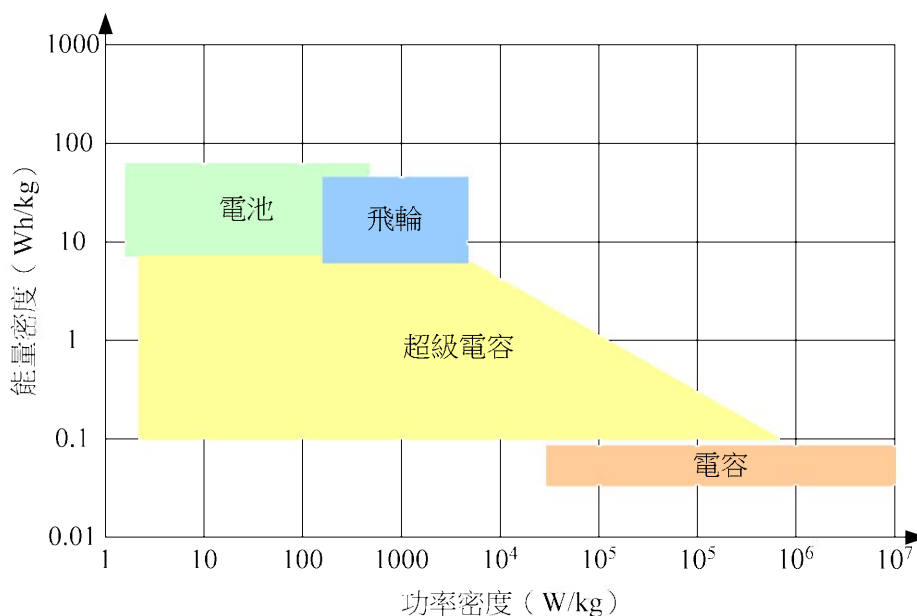
逆變回饋系統係於直流變電站安裝閘流體（Thyristor）三相逆變器，當再生煞車產生的電壓超過直流電網的容許值時，逆變器啟動將直流電轉換成交流電回饋至交流電網中。因此，若列車再生煞車所產生的電能可供鄰近列車使用時，則由鄰近列車優先使用；若附近無其他列車時，則回饋至交流電網運用。逆變回饋系統的節能效果佳，某些研究顯示其可節省牽引動力耗能達 7~11%（González-Gil et al., 2014），且具有對環境影響小的優點，而其缺點則是投資成本高。目前國內桃園機場捷運系統有裝設兩座逆變器變電站，可回收機場捷運的再生電力。

2. 能源儲存技術

能源儲存技術是將列車再生煞車所產生的電能儲存起來後續使用，儲能裝置可以設置在列車上，也可在道旁。若設置在列車上，則再生煞車產生的電能可供列車本身下一階段加速時使用；若設置在道旁，則可供鄰近列車有需要時使用。車載儲能設備的好處是電能傳輸的損耗較少，但缺點是會占用車輛的空間並增加列車的重量；相反地，道旁儲能設備不會增加列車的重量且空間的限制較少，但會有電力傳輸耗損的缺點。

至於儲能的技術，常見的有電池、超級電容（Super Capacitor）及飛輪（Flywheel），其能量密度與功率密度如圖 9 所示。電池的技術純熟，能量密度高、有穩壓作用，缺點是壽命短，功率密度低故充放電速度慢。飛輪的原理是將再生煞車的電能透過馬達轉換成飛輪旋轉的動能，而當有列車加速或供電電網的電壓低於設定值時，則將飛輪的動能透過發電機轉換成電能。飛輪具有高能量密度與高功率密度及設置地點靈活的優點，但有體積大、能量無法長期儲存及維修不易的缺點。超級電容則是近年相當熱門的儲能技術，具有穩壓的作

用、使用壽命長的優點，缺點則是控制複雜及設置成本高。超級電容另有快速充放電的優點，因此也是無架空線輕軌系統很好的儲能技術，輕軌列車於車站停車過程可快速對車載超級電容充電，而站間則以無架空線方式運轉，高雄輕軌系統即是採用此種技術來達成站間無架空線的目的。



資料來源：UIC (2016)

圖9 各種儲能技術的能量密度與功率密度

3.2.4 路線設計策略

前述節能技術係由車輛製造商及相關系統機電廠商所發展，但土木建築在列車節能方面也有許多發展空間，特別是路線的設計（劉海東等，2007），主要的重點是在於減少列車行駛過程中的阻力，以節省能源的消耗。

1. 駝峰式縱面線形

因路線造成的阻力包括坡道、隧道及彎道，其中以坡道阻力的影響最大。坡道阻力不見得都是阻礙列車前進的力量，下坡時坡道阻力的方向與列車行進方向相同，故有助於列車加速；反之，上坡時坡道阻力方向與列車行進方向相反，則有減速作用。

列車在兩站之間運轉，從靜止起步加速，維持一定的巡航速度，到進站減

速停車，若能妥善利用坡道阻力，於離站時配置下坡路線，而於進站時配置上坡路線，讓路線縱面形成駝峰狀，可節省能源並縮短運轉時分（Kim and Schonfeld, 1997; Kim et al., 2013a; 2013b; 陳富安，2013; Sarsembayev et al., 2015）。圖 10 為作者於泰國曼谷所拍攝之高架捷運系統的縱面線形，從相片中可以明顯看出車站的高程較高，而兩站中間的路線則向下凹，國內的桃園機場捷運系統 A12~A13 站之間也是採用此種設計方式（陳正勳，2009）。

究竟此種駝峰式路線設計的節能及縮短運轉時間的效果有多好，本研究以中興工程顧問社研發的 TrainSim 列車運轉模擬軟體（鍾志成、張仕龍，2005；鍾志成、張恩輔；2005）進行案例測試。假設兩站高程相等，相距 1 公里，兩站之間設計四種縱面線形，方案零是平直路線，另外三種方案採駝峰式設計，下坡及上坡路段長度各 250 公尺，坡度分別為 1%、2%及 3%，中間路段為平直線。模擬的列車為台北高運量捷運列車，模擬的情境為最短時間運轉，亦即全出力加速至 80 km/h，維持等速運轉，再以服務減速度減速進站，中途不採用惰力運轉。圖 11 為模擬所得之運轉曲線，計算結果彙整於表 4，表中的數據顯示，進出站的縱坡度愈大，運轉時間愈短且能源消耗量愈少，相對於方案零的平直線，方案三（縱坡 3%）的運轉時間節省達 8.45%，而牽引耗能的減少更達 19.75%，顯示妥善的縱坡設計可以顯著提升運輸效能及能源效率。

值得注意的是，對高架鐵路而言，駝峰式設計在景觀上較不美觀，而對地下鐵路而言，若是採用明挖覆蓋法興建地下隧道，建造成本可能會增加很多，但對於潛盾隧道而言，應不至於增加太多成本，因此，對於潛盾的地下捷運系統，採用駝峰式縱面線形的設計既沒有景觀的問題，亦不會增加建造成本，又可以達到節能的效果，應該是非常合適的設計方式。

車站

車站



圖10 泰國曼谷高架捷運系統的駝峰式縱面線形

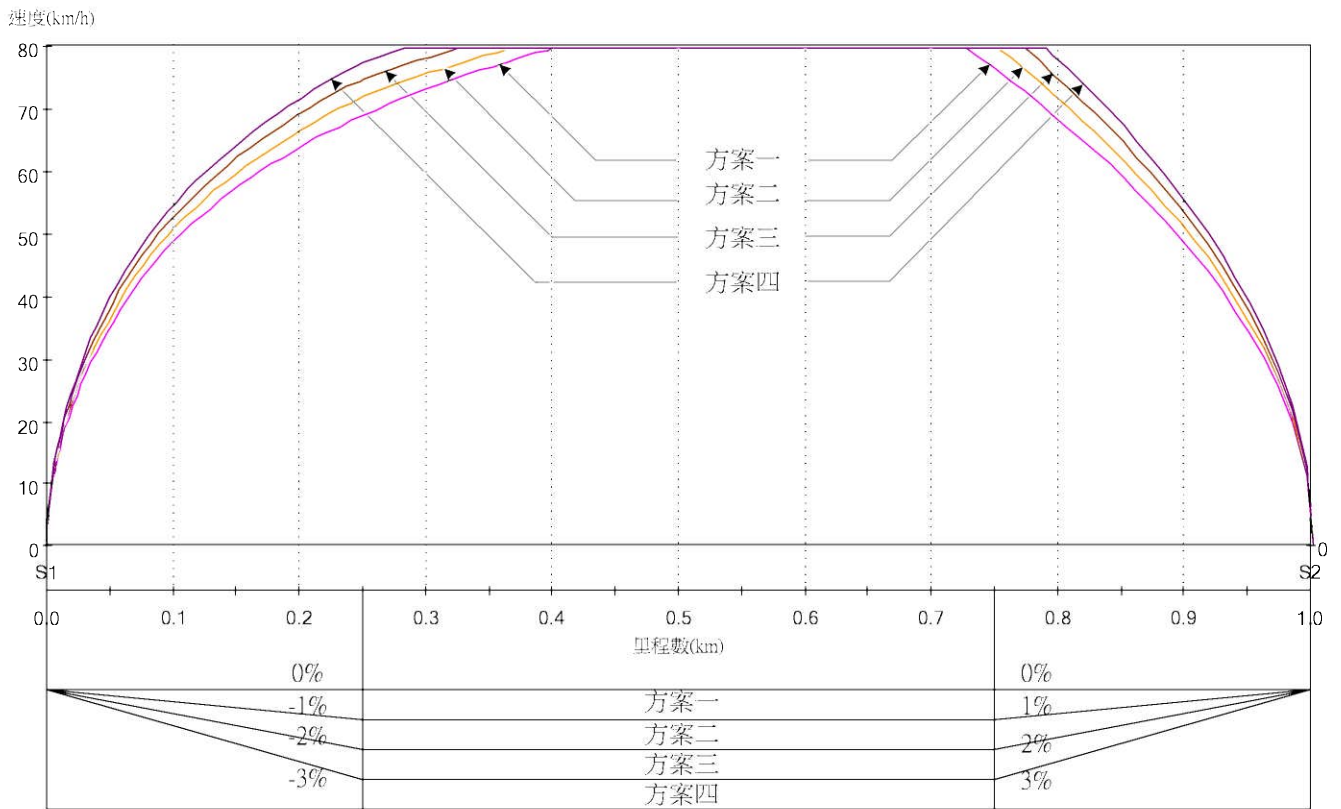


圖11 不同駝峰縱面線形之列車運轉曲線圖

表4 不同駝峰縱面線形之列車運轉耗能及運轉時間

路線方案	運轉時間 (秒)	運轉時間 縮短 (秒)	運轉時間 縮短%	能源消耗 (kWh)	能源消耗 減少 (kWh)	能源消耗 減少%
方案零 (0%)	70.05	0	0	36.12	0	0
方案一 (1%)	67.74	2.31	3.30%	33.50	2.62	7.25%
方案二 (2%)	65.79	4.26	6.08%	31.69	4.43	13.22%
方案三 (3%)	64.13	5.92	8.45%	29.86	6.26	19.75%

備註：運轉時間縮短及能源消耗減少係相對於方案零。

2. 減少小半徑彎道

列車於彎道上行駛時，因瞬間行進方向產生與軌道方向的差異及離心力作用等因素，導致輪緣與外側鋼軌的摩擦，以及車輪滑動的現象，因此會產生彎道阻力。彎道阻力係數大抵與彎道半徑成反比，各個系統採用的公式不盡相同，臺鐵採用的是 $600/\gamma$ ，台北捷運採用的是 $700/\gamma$ 。從圖 12可知，無論採用哪一種計算方式，彎道半徑愈小，阻力係數愈大，以臺鐵為例，在列車在半徑300公尺的彎道上，會比在直線上多出2‰的彎道阻力，因此會損耗較多的能量，但差異有限。鐵路的路線往往受制於地形地物條件，有時很難全面採取大曲率半徑的彎道，且彎道阻力比起行駛阻力及坡道阻力顯得微不足道，通常不會為了節能的理由而徵收更多的用地改採大曲率半徑的彎道。一般而言，定線工程師會在地形地物的限制之下，設計出符合規範的路線線形，若有窒礙難行之處，才會考慮去徵收土地。

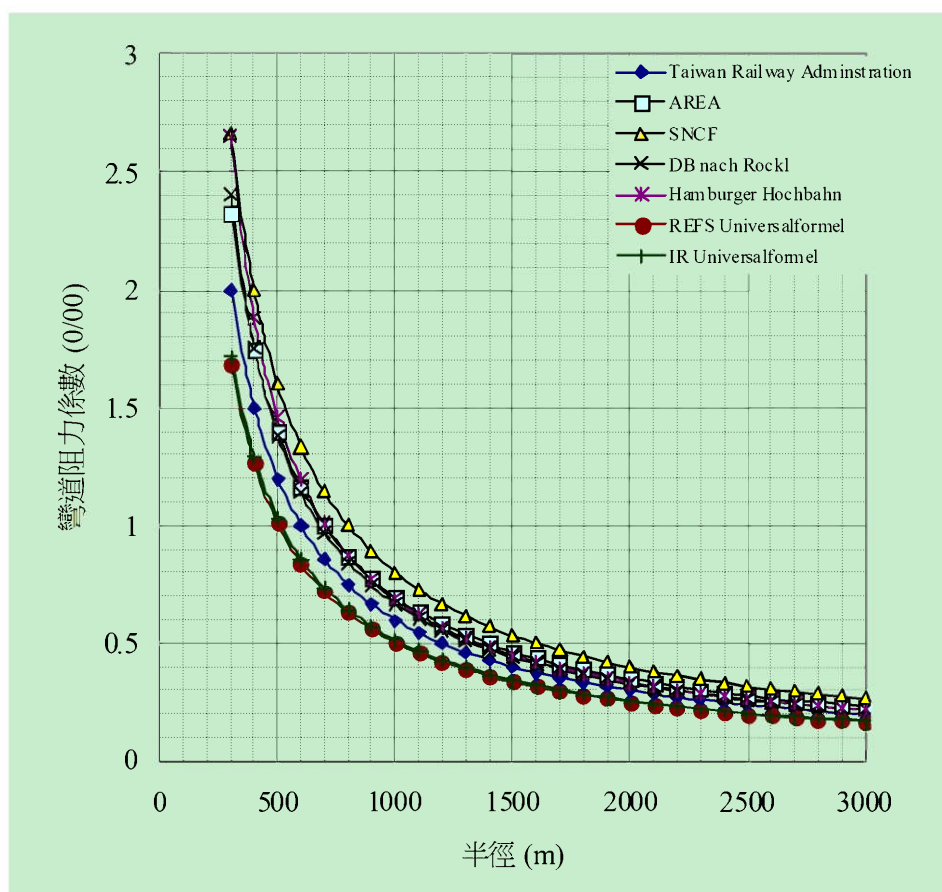


圖12 彎道阻力係數公式比較

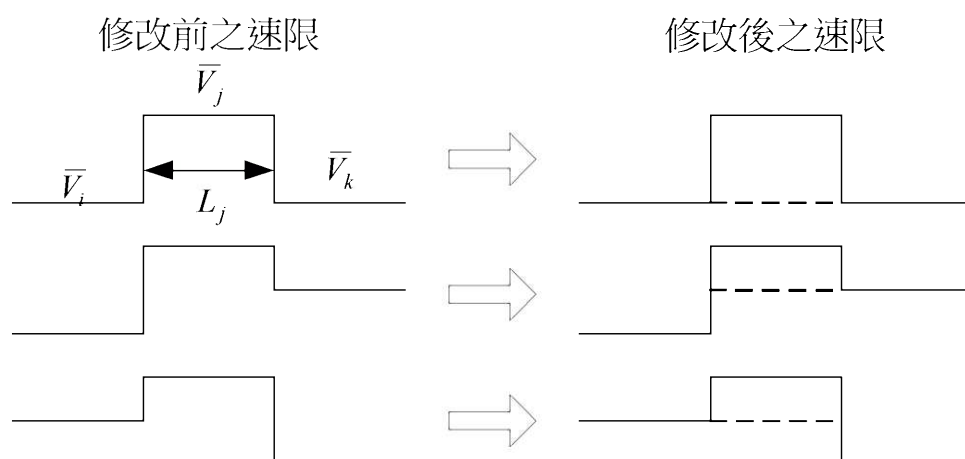
3. 採用大斷面隧道

列車行駛於隧道時，因隧道內空氣擠壓的活塞效應，會增加列車所受的阻力。隧道阻力與隧道斷面的形狀、大小、長度、通風井的多寡及大小、列車速度、形狀及截面積有關。一般而言，隧道斷面愈大，隧道阻力愈小，臺鐵在計算隧道阻力時，雙軌隧道因斷面較大，採用 1‰的阻力係數；單軌隧道因斷面較小，採用 2‰的阻力係數。隧道興建的成本相當高，且消耗在隧道阻力的能源微乎其微，一般土建工程師不會因為節能的理由特地去興建大斷面的隧道。

3.2.5 節能駕駛策略

前述的節能技術皆屬硬體層面，通常在路線建造完成及系統採購完成即已確定，營運機構僅能在給定的基礎建設及核心機電系統下營運。儘管如此，營運機構仍可透過營運規劃等軟性的手段來達到節能的目標。

在相同的路線及車輛條件下，列車的運轉時間與能源消耗大致呈負相關，亦即運轉時間愈長，能源消耗愈低，（鍾志成，2007; Jong and Chang, 2005）。運轉時間與能源消耗的控制變因包括牽引馬達出力的大小、列車最高運轉速度、煞車力的大小及是否採行惰力運轉等，其中以惰力運轉及降低最高速度的效果最為顯著。惰力運轉時牽引馬達不會耗費能源在推進列車，此時係藉由慣性前進，故可減少能源消耗；降低最高速度時，可減少列車加速過程以及維持等速運轉的耗能，故可節省能源。值得注意的是，實際的路線因地形地物的關係及運轉的需要，會有彎道或轉轍器，因此兩站之間的速限不可能一直維持在最高速度。當列車從低速區間進入高速區間時必須加速，而從高速區間進入低速區間又必須減速，此種頻繁的加減速會顯著增加耗能，並造成乘客的不舒適，因此實務上消除速限的變化，也是一種很好的節能運轉措施（參閱圖 13）。



資料來源：鍾志成、張恩輔（2008）

圖13 消除速限變化

為了說明列車牽引耗能與運轉時間的關係，本研究以前述方案零的路線條件，設定不同的列車最高速度及進站緊軔前的惰力運轉距離進行模擬，結果如圖 14所示，該圖可明顯看出，列車的牽引耗能與運轉時間呈現負相關，且兩者並非嚴格的一對一關係，亦即每一個運轉時分依其駕駛策略，可能有不同的能源消耗量。利用此一特性，可發展節能駕駛策略。

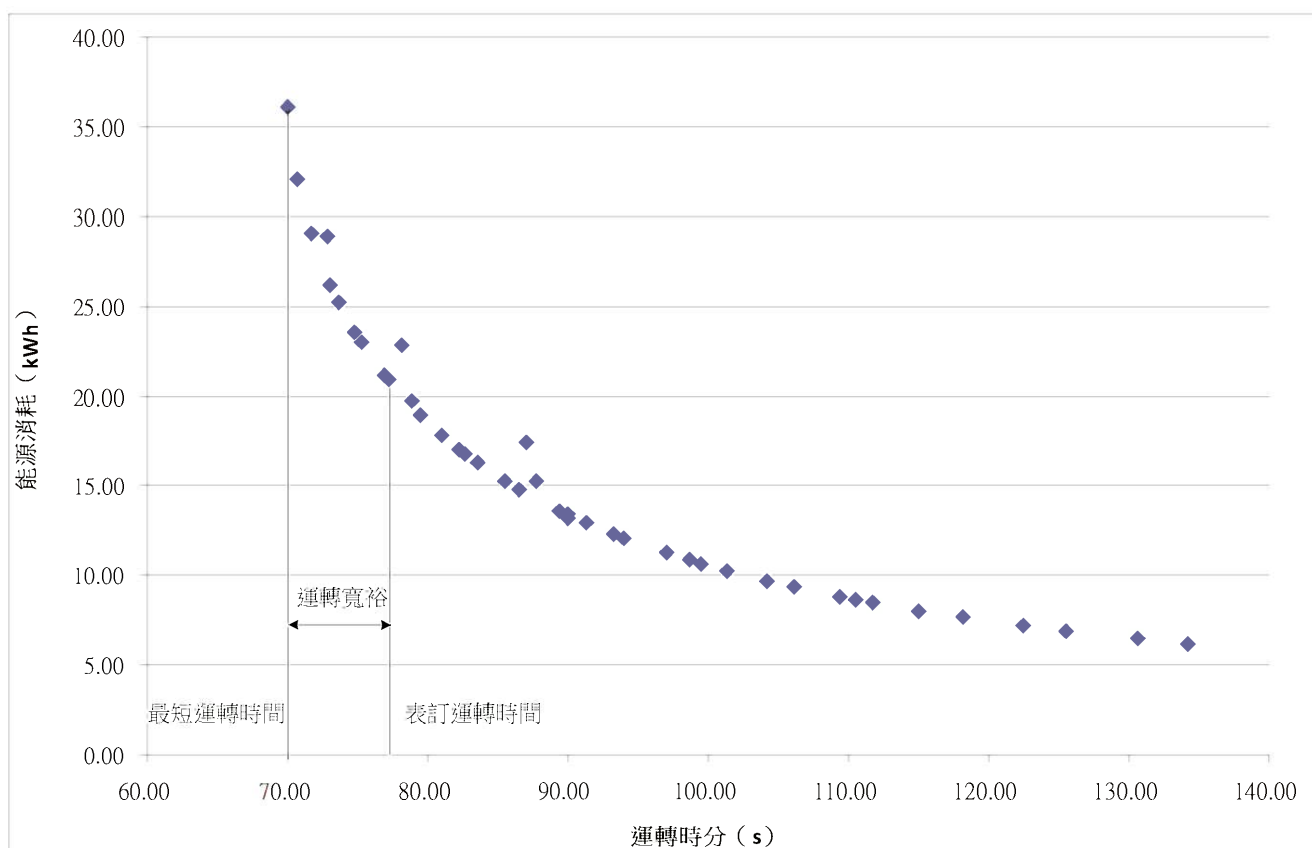


圖14 列車運轉時分與能源消耗關係圖

1. 運轉時間加入寬裕

圖 14 中的最短運轉時間 (Technical Running Time) 是在既定路線及列車條件下所能達到的最短時間，基本上是列車全出力運轉，持續維持在速限，於進站前再施以最大服務減速度進站的運轉時間，但鐵道營運機構並不會如此安排時刻表，除了能源消耗量較大之外，時刻表的穩定度也不高，稍有失誤即產生延滯，因此實務上會於最短運轉時間之外，再加上運轉寬裕時間 (Running Time Reserve) 來排定時刻表，以便列車因故延誤時，可以啟動趕點的機制，維持準點運轉，此一時間稱為表訂運轉時間 (Scheduled Running Time)。

表訂運轉時間納入運轉寬裕時間的另外一個好處是，可以大幅節省牽引動力的耗能，以圖 14 為例，最短運轉時間約 70 秒，若增加 10% 的寬裕，則牽引耗能可從 36 kWh 下降至約 21 kWh，可節省約 40% 的能源，效益相當可觀。值得注意的是，增加運轉時間對能源消耗減少的邊際效益是遞減的，一開始的效果很顯著，但當運轉時間拉長之後，效果就愈來愈小，而且鐵道系統係以運輸為主要任務，運轉時間過常會導致運輸效率不彰，因此不會因為節能的理由而

大幅增加運轉時間，實務上的運轉寬裕時間大約是最短運轉時間的 5%~12% (UIC, 2016)。

至於技術上鐵道營運機構如何執行表訂時間運轉，則視系統自動化程度而定。台北高運量捷運系統配備自動列車駕駛系統 (Automatic Train Operation, ATO)，內建三種功能位階 (Performance Level) 及搭配是否惰力運轉，合計共有六種運轉模式。預設是第二種功能位階 (列車最高行駛速度下降為 90%) 搭配惰力運轉，以此條件模擬所得的運轉時分來排點。而高雄捷運則是由行控中心直接設定運轉寬裕時間的百分比，系統會自動產生駕駛方式來運轉，以符合設定的運轉時間。至於臺鐵及高鐵此種人工駕駛的鐵道系統，則有賴司機員的詳實訓練來達到經濟運轉的目的。由於要達到相同的運轉時間有不同的駕駛方式，對應的能源消耗量不盡相同，鍾志成及張恩輔 (2008) 曾利用 TrainSim 搭配牛頓法設計出一套尋優機制，求解運轉時間限制下的最經濟運轉策略，其研究建議最優先採行的措施是消除速限變化，其次是惰力運轉，最後是降低速限。

2. 最佳化列車時刻表

時刻表的安排除了運轉時間之外，尚包括停車時間 (Dwell Time) 與服務班距 (Service Headway)。停車時間受到旅客量的影響，若規劃的停車時間太短而旅客量太大時，會導致列車實際停車時間超過表訂時間而產生延誤，後續趕點過程勢必消耗更多的能源，因此對於旅客較多的大型車站，在時刻表上可安排較多的停車時間，目前臺鐵台北站就會安排較長的停車時間以方便旅客上下車，而台北捷運台北車站同樣會安排較長的停車時間。

列車的服務班距除了與旅運量有關之外，就技術而言則是受制於列車與列車之間的最小運轉時隔。最小運轉時隔受到路線條件、列車條件、交通條件的影響 (Jong et al., 2009)，在安排時刻表時，列車的班距最好是在最小運轉時隔之外再加上一些寬裕時間，以便列車運轉擾動時多一些緩衝時間，若營運班距過短，甚至小於最小運轉時隔，則實際營運過程列車勢必無法在號誌全綠下運轉，屆時必然會發生列車頻繁的加減速而導致耗能大幅增加的情形。臺鐵路線容量不足，許多年節假日的時刻表已超出路線容量，除了列車容易誤點之外，運轉耗能也會顯著增加。

對於配備再生煞車的鐵道系統，若系統未裝設能源儲存裝置，則列車時刻表的安排對系統整體耗能，也會有很大的影響，理想上，若列車煞車過程附近有列車在加速，則再生煞車的電力可以充分的運用，但此種時刻表安排的技術性很高，主要原因在於列車的站距不會完全相同，就單一供電區間而言，或許可以盡量安排讓列車的加減速同時發生，但其他區間則不見得會如此；當然，

透過大規模的模擬分析，或許有機會找出最適化的時刻表，但要安排出一個符合需求且沒有列車衝突的時刻表，本身就是非常複雜的工作，遑論要產生眾多可行的時刻表來進行耗能的模擬分析，因此，加減速同步的時刻表安排，比較有可能發生在系統單純的捷運系統或是班距密度很低的鐵道系統，對於路線繁忙的傳統鐵路及高速鐵路系統，比較不切實際。

3. 節能駕駛輔助系統

前述運轉時間包含寬裕時間的作法是屬於事前的規劃，但實際營運過程，先行列車可能會因故延遲，導致續行列車無法在號誌全綠的狀況下運轉；或是列車延誤須以更短的運轉時間進行趕點。如為前者，若續行列車依原規劃時間運轉時，中途可能會遇到注意或險阻號誌，而導致自動列車保護系統(Automatic Train Protection, ATP)啟動煞車甚至強迫停車，一旦此種情形發生，當注意號誌或險阻號誌解除時，列車必須重新加速，此種減速再加速的過程會導致列車耗費更多的能源。若為後者，列車剩餘的運轉時間會比原規劃的運轉時間來的短，其經濟運轉策略將有異於原規劃的駕駛策略。為了提供列車動態的節能駕駛策略，邏輯上是於駕駛室裝設節能駕駛輔助系統(Efficient Driving Advice System)，動態提供司機員於剩餘行程的駕駛策略，以達到節能運轉的目的。

節能駕駛輔助系統若要實現，必須有幾項要素，包括隨時偵測列車所在位置的技術、完整紀錄路線線形、速限資料、列車牽引性能及列車時刻表的儲存設備，可以即時計算列車剩餘行程最佳運轉策略的電腦及演算法，以及提供駕駛建議的顯示裝置或自動控制系統。由於列車運轉的情況相當複雜，節能駕駛輔助系統必須動態處理各種情形，因此目前此種系統仍在測試階段(UIC, 2016)。

四. 綜合分析

第三節所回顧的各種節能策略及技術，其所需投入的成本有高有低，節能效益也不盡相同；另外，有些策略或技術必須在系統興建之初，就必須納入規劃設計，有些則是在系統營運階段仍能採用。

表 5 為各種節能策略與技術評估表，大致而言，車站的節能技術無論是空調、照明及電扶梯，即使對舊有的系統，仍然能夠應用及改善，其中屬於硬體層次的技術，例如提升空調設備的效能、改善照明迴路設計及採用高效率的燈具等，必須投入改善成本，但也有一些措施，例如利用尖離峰及旅客流量來優化控制空調、照明及電扶梯，所需投入的成本相對低很多，且效果亦不差。至

於列車節能技術方面，包括列車的設計策略、牽引馬達技術及再生煞車技術，基本上大都掌握在系統機電廠商，興建機構或營運機構只能於系統興建或更新時，要求機電系統承商提供最新的技術方案，一旦系統採購之後，營運機構能夠著力的地方相當有限。而路線設計策略方面，在系統興建之初就必須納入規劃設計，完工營運後要改變的機會也不大。值得注意的是，駝峰式路線設計的技術層次並不高，只要在路線設計時多加考量，未來長久營運的節能效果相當顯著。最後，一旦系統興建完成，營運機構僅能在既有的設備條件下來營運，但適度納入運轉寬裕時間及妥善規劃時刻表，會顯著降低耗能，不失為最經濟有效的節能措施。總之，若是以節能為目標，則從系統規劃、設計、興建、採購到營運階段，都存在一系列的措施與策略及可以讓鐵道系統更加節省能源。

表5 鐵道系統節能策略與技術評估表

分類	技術類型	技術內涵	投入成本	既有系統的應用性	節能效益
車站節能	空調節能策略	提升設備效能	中	高	中
		隔絕冷氣外洩	中	高	中
		減少運轉設備	低	高	中
		調整運轉參數	低	高	中
		優化控制管理	低	高	中
	照明節能策略	改善迴路設計	中	高	中
		提高燈具效率	中	高	中
		調整燈具照度	低	高	中
		優化控制管理	低	高	中
	電梯節能策略	關閉部分電扶梯	低	高	中
設置怠速功能		低	高	中	
列車節能	列車設計策略	減輕列車重量	高	中	高
		減少空氣阻力	高	中	中
		有效運用空間	高	低	高
	牽引系統技術	交流牽引馬達	高	中	高
		永磁同步馬達	高	中	高
		關閉牽引馬達	中	高	中
		馬達通風控制	中	中	中

再生煞車技術	逆變回饋系統	高	低	高
	能源儲存技術	高	中	高
路線設計策略	駝峰式縱面線形	中	低	高
	減少小半徑彎道	高	中	低
	採用大斷面隧道	高	低	低
節能駕駛策略	運轉時間加入寬裕	低	高	高
	最佳化列車時刻表	低	高	高
	節能駕駛輔助系統	中	中	高

五. 結論與建議

本文透過文獻回顧，探討鐵道系統所發展各種節能技術與策略，並從投入成本既有系統的應用性及節能效益來評估各項技術。鐵道系統的節能策略，基本上可區分為車站節能策略與列車節能策略兩方面。車站的節能於系統營運後，仍有很大的改善與調整空間，節能效益屬中等水準，其中利用尖離峰特性進行優化控制管理，不需投入大量經費仍可達到很好的節能效果。至於列車的節能，如牽涉到路線及系統機電的部分，在規劃興建之初或系統採購更新之時，即需預為考量。目前國內系統機電技術尚無法自主，系統相關的技術需仰賴系統機電承包商的努力，興建及營運單位僅能於採購階段納入最新的節能技術需求。而路線設計方面，國內具有完整的技術能力，只要未來在新路線設計時，納入駝峰式線形，對長遠營運的節能有相當顯著的效益。根據本研究的列車運轉耗能模擬結果顯示，駝峰式路線設計的節能效果最高可達近 20%，其效果不輸系統機電技術。最後，營運機構在日常營運階段，仍可藉由納入運轉寬裕時間及妥適安排時刻表進行節能運轉，其成本很低，而效益卻相當可觀，當屬性價比最高的節能措施。

參考文獻

1. 交通部（2012），運輸政策白皮書。
2. 交通部運輸研究所（2015），交通部綠運輸節能減碳成果及未來推動方向之研究。
3. 交通部運輸研究所（2016），我國運輸部門運具別能耗與溫室氣體排放推估暨作業手冊之研究。
4. 林文進、彭柏志（2015），臺北捷運板南線機電系統節能儲能方案之研究，捷運技術第 50 期，第 157-188 頁。
5. 陳正勳等（2009），機場捷運機場段潛盾隧道之特殊設計考量，第八屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，台北。
6. 陳昱璇等（2015），臺北捷運公司節能減碳作法，捷運技術第 50 期，第 39-48 頁。
7. 陳富安（2013），地鐵節能坡設計研究，鐵道工程學報，第 8 期，第 104-107 頁。
8. 經濟部能源局（2016），能源統計年報。
9. 劉海東等（2007），城市軌道交通列車節能問題及方案研究，交通運輸系統工程與信息，第 7 卷，第 5 期，第 68-73 頁。
10. 鍾志成（2007），列車運轉時分與能源消耗之定性分析，中興工程季刊，第 97 期，第 5-13 頁。
11. 鍾志成、張仕龍（2005），Sinotech TrainSim 列車運轉模擬軟體－（一）基礎模式研發，中興工程季刊，第 89 期，第 91-95 頁。
12. 鍾志成、張恩輔（2005），Sinotech TrainSim 列車運轉模擬軟體－（二）能源消耗分析，中興工程季刊，第 89 期，第 96-100 頁。
13. 鍾志成、張恩輔（2008），運轉時間限制下之列車最節省能源駕駛策略之模擬分析，運輸學刊，第 20 卷，第 4 期，第 425-450 頁。
14. 魏竹星等（2010），捷運車站水電、環控及電（扶）梯之節能設計，捷運技術，第 50 期，第 239-250 頁。
15. Feng et al. (2013), A Review Study on Traction Energy Saving of Rail Transport, Discrete Dynamics in Nature and Society, Vol. 2013, Article ID 156548, 9 pages.
16. González-Gil et al. (2014), A systems Approach to reduce Urban Rail Energy

- Consumption, Energy Conversion and Management, Vol. 80, pp. 509-524.
17. Jong et al. (2009), Rail Capacity Model for Estimating Hourly Throughputs with Mixed Traffic and Complex Track Layouts, Proceedings of the 3rd International Association of Railway Operations Research (IAROR), Zurich.
 18. Jong, J. C., and Chang, S. (2005), Algorithms for Generating Train Speed Profiles, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 356-371.
 19. Kim et al. (2013a), “Simulation-based Rail Transit Optimization model,” Transportation. Research. Record 2374, pp. 143-153.
 20. Kim et al. (2013b), Comparison of Vertical Alignments for Rail Transit, Journal of Transportation Engineering, pp. 230-238.
 21. Kim, D. and Schonfeld, P., Benefits of Dipped Vertical Alignments for Rail Transit Routes, Journal of Transportation Engineering, pp. 20-27.
 22. Lukaszewicz, P. and Andersson, E. (2009), Green Train Energy Consumption Estimations on High-speed Rail Operations, KTH Railway Group, Stockholm.
 23. Mlinarić, J. M. and Ponikvar, K. (2011), Energy Efficiency of Railway Lines, Traffic & Transportation, Vol. 23, No. 3, pp. 187-193.
 24. Sarsembayev, et al. (2015), Analyze of Impact of Track Alignment on the Energy Consumption Level, International Journal of Traffic and Transportation Engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 45-59.
 25. SCI Verkehr (2014), Rail Transport Markets – Global Market Trends 2014-2023: Importance and Dynamism of the World Wide Transport Markets and Their Drivers, SCI Verkehr GmbH.
 26. UIC (2015), Rail Transport and Environment: Facts and Figures, UIC/CER.
 27. UIC (2016), Energy Efficiency Technologies for Railways, retrieved from <<http://www.railway-energy.org/tfee/index.php?ID=100>> ◦

鋼軌應力解除改善作業工程價值工程研析

The Value Engineering Analysis of Track Destressing Method

李睿堅 Li, Rui-Jian¹
曾惠文 Tzu, Hui-Wen²
蔡政委 Tsai, Cheng-Wei³
蔡宜真 Tsai, Yi-Zhen⁴
許穎琦 Xu, Ying-Qi⁵
呂俊輝 Lyu, Jyun-Huei⁶
劉德正 Liu, Te-Cheng⁷

聯絡地址：高雄市左營區站前路 5 號之 2

Address : No.5-2, Jhancian Rd., Zuoying Dist., Kaohsiung City 81354, Taiwan
(R.O.C.)

電話(Tel) : (07) 588-2573ex316

電子信箱(E-mail) : 0471694@railway.gov.tw

摘要

因早期軌道養護人力較為充足，拉軌器應力解除法為純人力搭配簡單機工具作業即可施行，為因應養護人員逐漸減少，採購新型養護機具並改變軌道應力解除傳統作業模式。

本研究針對傳統拉軌器應力解除法與改良拉軌器應力解除法做比較，期望可以減少養護人力、提升效率。

關鍵字：應力解除、拉軌機

¹ 臺鐵局 高雄工務段 技術助理
² 臺鐵局 高雄工務段 技術助理
³ 臺鐵局 高雄工務段 技術助理
⁴ 臺鐵局 高雄工務段 技術副領班
⁵ 臺鐵局 高雄工務段 技術助理
⁶ 臺鐵局 高雄工務段 工務員
⁷ 臺鐵局 高雄工務段 技術助理

Abstract

There had adequate manpower in earlier period, the strategy of using rail pull device to release track stress only needs manpower and simple machine can execute the procedure. Because of the shortage of the maintenance laborers, we purchase the new models of track maintenance equipment and change the procedure for track destressing to dissolve the traditional procedure mode.

The research compares with the traditional strategy of using rail pulling device for destressing track and the improved new one. It hopes to work much effectively with fewer laborers.

Keywords : track destressing method, rail tensor

一、前言

一般的金屬都有熱漲冷縮的特性，鋼軌亦然。其伸縮量與長度、溫度的變化量成正比。然經研究發現，把道碴、軌枕、鋼軌與扣件系統視為軌道整體結構，則可利用軌枕與道碴之間的阻力來控制其伸縮量，鋪設長軌後發現軌框內鋼軌伸縮量被控制後，竟僅發生在兩端各 100m 的範圍內，中間部分則為不動區間。因此為降低軌道維護成本與風險，而鋪設長焊鋼軌再銲接成連續鋼軌，便以此當作為基本教義。惟狹義的鋼軌重新鋪定只單處理長焊鋼軌兩端外側的 100m 軌道是不足的。

長焊鋼軌的鋪設通常無法在制訂的溫度下（零應力溫度範圍）扣入扣夾，致使鋼軌內存有內應力。尤其在夏天高溫下，因為冬季溫度降低而產生鋼軌收縮量，收縮量超過扣件與道碴阻力總和。甚至伸縮接頭所能控制處理時，從而發生（弱面）鋼軌拉斷之虞；反之，冬季低溫鋪設軌道於夏季高溫下，則容易產生軌道挫屈以抵銷鋼軌內應力。

為避免長焊鋼軌由於內壓力過大而造成軌道變形、挫屈或拉斷鋼軌等現象，增加了養路成本與行車風險，則必須實施全鋼軌解應力作業，即為廣義之鋼軌重新鋪定，使軌道維持良好狀態以確保行車安全。因此連續鋼軌於新鋪設階段若發生以下幾種情形時，實施重新鋪定工作誠為佳。

(1) 長焊鋼軌未为零應力溫度範圍內鋪設之，鋪設作業中溫度遽然變化，以致超出規定鋪軌溫度範圍者。

(2) 因長軌爬行等發生異常伸縮變化，以致伸縮接頭或緩衝軌所不能處理者。

(3) 連續鋼軌區間發生鋼軌斷裂、挫屈或事故，經整修完成後，應及早實施重新鋪定。

(4) 鋪設路線因鋪設軌溫不均（鋪設時間分多次或拉長以致超出規定溫度範圍者），發生不規則作用於鋼軌的應力，亦應實施重新鋪定。

(5) 因事故發生後，非重行鋪設無法恢復完整軌道狀況者。

二、研析標的說明

2.1 研析標的

鋼軌應力解除方法分為 3 種，自然鬆放、鋼軌加熱及拉軌器應力解除法，其中鋼軌抽換後以拉軌器應力解除法為最常用的方式。本小組此次研析係做減少拉軌器應力解除作業時間、提高工作效率及節省經費，縮短路線封鎖時間，增進列車營運安全。

2.2 名詞解釋

長焊鋼軌鋪定溫度之決定須使：軌溫不得低於預期最高鋼軌溫度 35°C，但道碴橫向阻力在鋪設及養護上均能確實保持 500kg / m 以上時，得容許低至 40°C；軌溫不得高於預期最低鋼軌溫度 50°C。

無應力溫度：假設長焊鋼軌在這範圍內鋼軌收縮與膨脹的作用造成的內應力為 0。

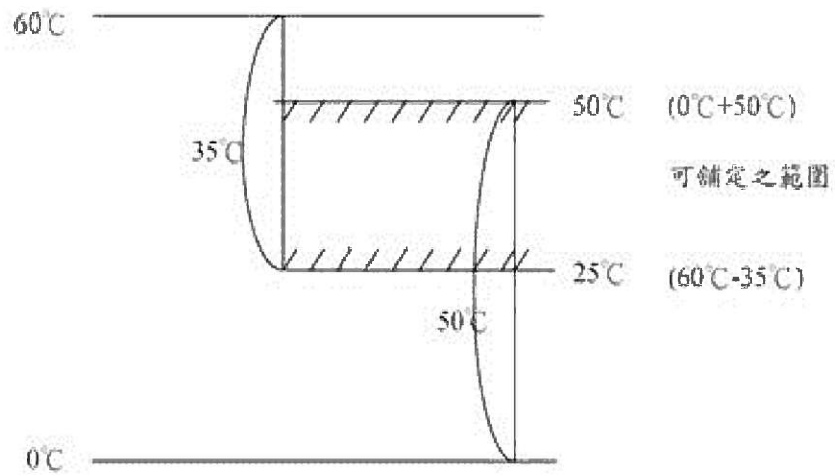


圖 1 長軌鋪定溫度範圍

2.2.1 長焊鋼軌應力解除

將長焊鋼軌內不正常應力消除或設法預防不正常應力發生，稱為長焊鋼軌應力解除。鋼軌因熱漲冷縮作用，發生拉斷鋼軌(拉應力)或挫曲(壓應力)等現象。



圖 2 鋼軌斷裂

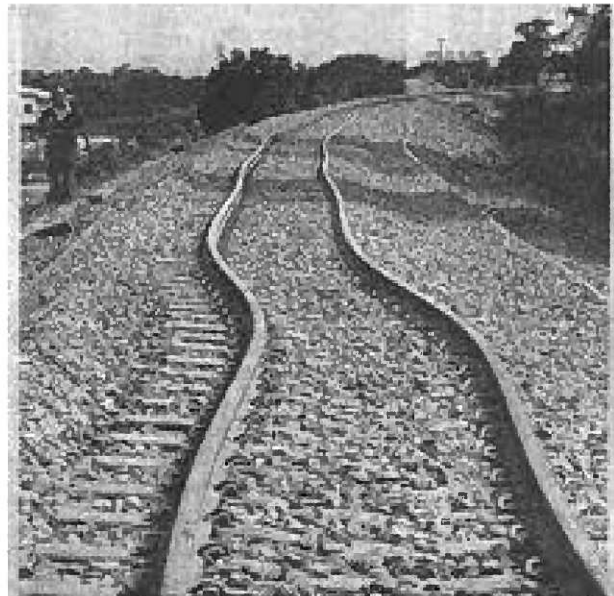


圖 3 鋼軌挫曲

2.2.2 長焊鋼軌應力解除方法

(1) 鋼軌自然鬆放法

在無應力溫度範圍時切開鋼軌，鬆解軌道扣件，在軌下墊滾輪，並用木槌輕敲鋼軌，俾鋼軌自由移動後切斷過長部分，回裝扣件，稱鬆放法。

優點：單一次應力解除長度較長、無須額外設備。

缺點：受氣候影響。

(2) 拉軌機應力解除法

於軌溫低於無應力溫度下限時，解開長軌扣件，以拉軌機（rail tensioner）拉長鋼軌，切斷過長部分，再重行鋪定。

優點：高機動性、組裝容易、不受氣候影響。

缺點：人數及設備較多，人數較多。

(3) 鋼軌加熱法

本法需有特別加熱設備，如紅外線或瓦斯鋼軌加熱器等，於低溫時逐段加熱長軌，使達無應力溫度，切開鋼軌，鬆解軌道扣件，在軌下墊滾輪，並用木槌輕敲鋼軌，俾鋼軌自由移動後切斷過長部分，回裝扣件。

優點：適合小半徑地區使用。

缺點：受氣候影響、設備較昂貴。

三、研析過程

3.1 資料階段

利用特徵要因分析法，分析長焊鋼軌應力解除時間過長之要因，分 4 大因素並圈選影響各因素之要因。

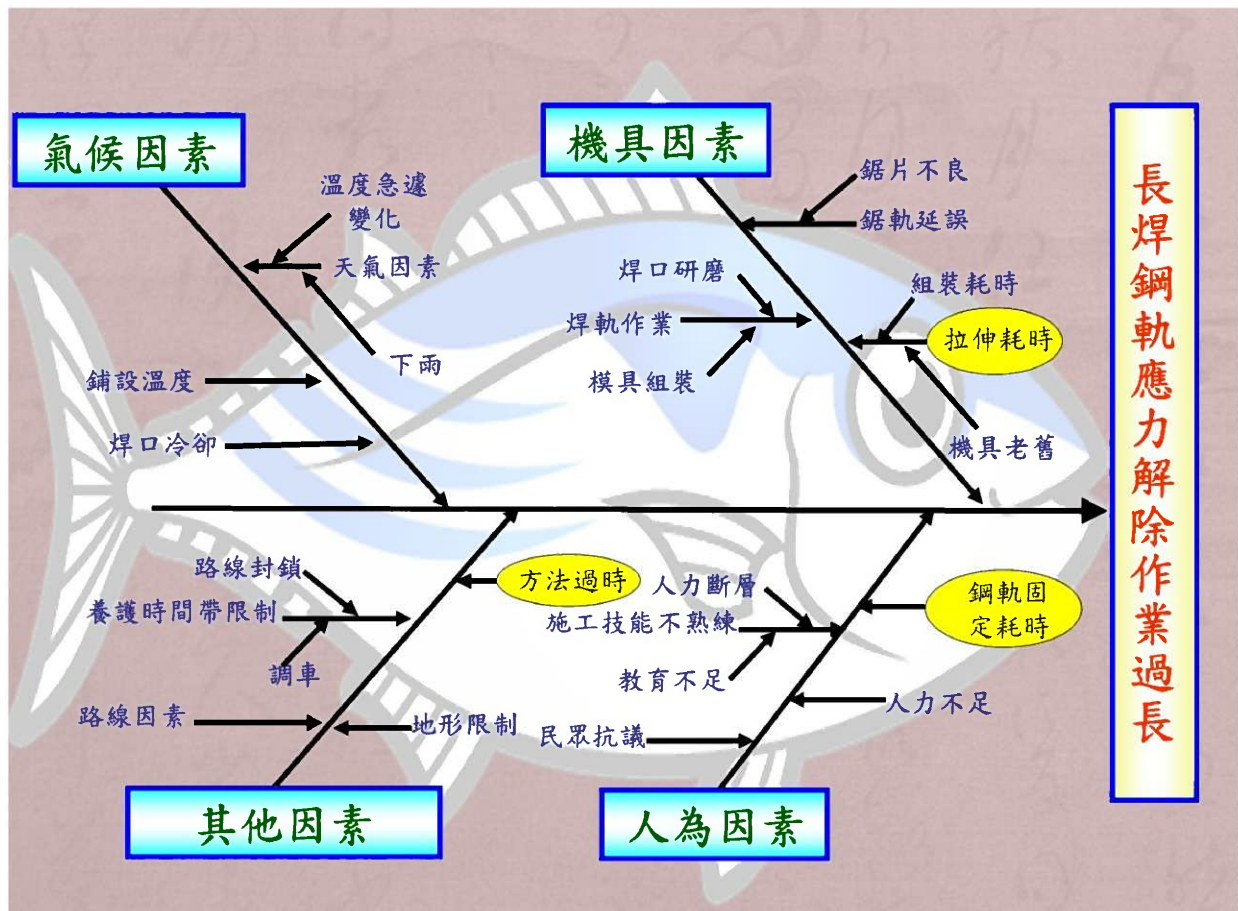


圖 4 要因研析魚骨圖

3.2 目標設定

為維持列車運轉安全，經由組員腦力激盪，激發創意，擬定具有效率的方案，符合機能效益，預期提升工作效率 20%，及節省經費 25%。

3.3 成本分析階段

研析標的資料整理的方式包括成本分析，其中作法就是將研析標的的成本資料整理為成本模式與成本條狀圖，根據成本分析即可列出高成本的項目作為研析可能的範圍。本案例以拉軌器應力解除法為研析標的，如下圖所示：

成本模式
價值工程研析

時間成本模式

圖例：
實際/估算
VE目標或 %

專案名稱：長焊鋼軌應力解除作業
地點：高雄工務段
單位：Mins(分)

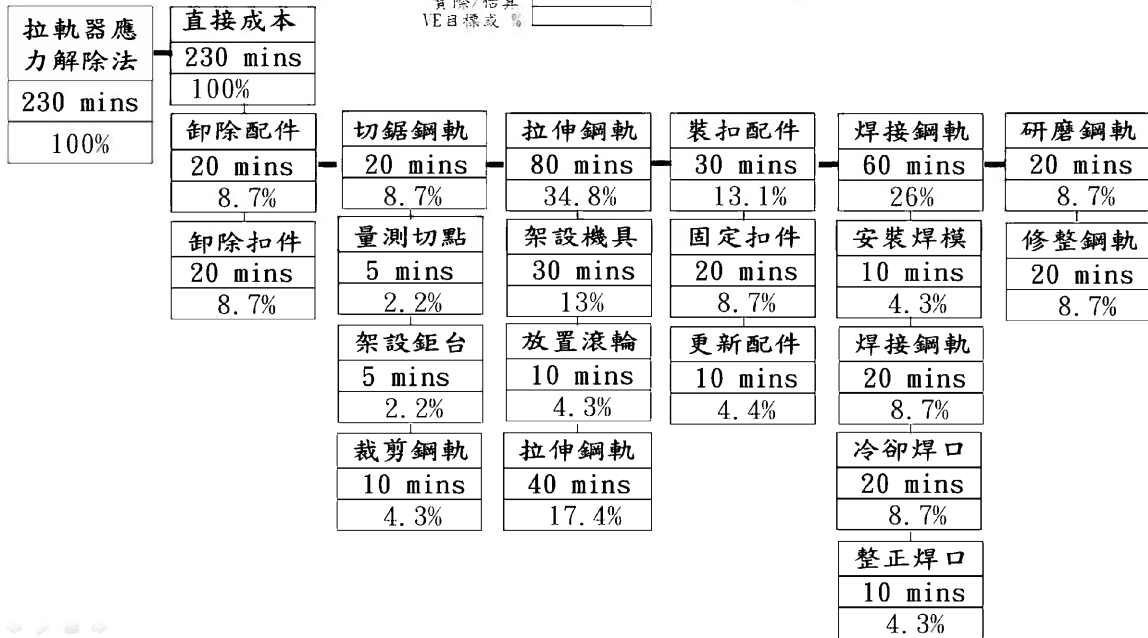


圖 5 成本模式

項 目	成本 (mins)	%	20	40	60	80	100	
卸除配件	20	8.7	■					
切鋸鋼軌	20	8.7	■					
拉伸鋼軌	80	34.8	■					
裝扣配件	30	13.1	■					
焊接鋼軌	60	26	■					
研磨鋼軌	20	8.7	■					
合 計	230	100	■					

圖 6 成本條狀圖

3.4 機能分析階段

將拉軌器應力解除法按照上述分割為 6 個部分，每 1 部分所包含的機能以動詞加名詞的方法定義：

表 1 卸除配件機能分析表

分項	機能			初期成本(分)
	動詞	名詞	機能	
卸除配件	卸除	扣件	B	20
B:主要機能		S:次要機能	RS:必要次要機能	
				

表 2 切鋸鋼軌機能分析表


分項	機能			初期成本(分)
	動詞	名詞	機能	
切鋸鋼軌	量測	切點	S	20
	架設	器材	RS	
	裁剪	鋼軌	B	
B:主要機能 S:次要機能 RS:必要次要機能				
				

表 3 拉伸鋼軌機能分析表

分項	機能			初期成本(分)
	動詞	名詞	機能	
拉伸鋼軌	架設	拉軌器	S	80
	置放	滾輪	RS	
	拉伸	鋼軌	B	
B:主要機能 S:次要機能 RS:必要次要機能				
				

表 4 焊接鋼軌機能分析表


分項	機能			初期成本(分)
	動詞	名詞	機能	
焊接鋼軌	安裝	焊模	S	60
	連接	鋼軌	B	
	冷卻	焊口	RS	
	整正	焊口	S	
B:主要機能 S:次要機能 RS:必要次要機能				
				

表 5 研磨鋼軌機能分析表


分項	機能			初期成本(分)
	動詞	名詞	機能	
研磨鋼軌	修整	鋼軌	B	20
B:主要機能 S:次要機能 RS:必要次要機能				
				

表 6 裝扣配件機能分析表

分項	機能			初期成本(分)
	動詞	名詞	機能	
裝扣配件	固定	扣件	B	30
	更新	配件	RS	
B:主要機能 S:次要機能 RS:必要次要機能				
				

表 7 機能成本分析矩陣表

機能	成本 (分)	卸 除 扣 件	量 測 切 點	架 設 鋸 台	裁 剪 鋼 軌	架 設 拉 軌 器	置 放 滾 輪	拉 伸 鋼 軌	安 裝 鋼 軌	安 裝 焊 模	冷 卻 焊 口	整 正 焊 口	整 修 鋼 軌	固 定 扣 件	更 新 配 件
卸除 配件	20	20													
切割 鋼軌	20		5	5	10										
拉伸 鋼軌	80					30	10	40							
焊接 鋼軌	60								10	10	30	10			
研磨 鋼軌	20												20		
裝扣 配件	30													20	10
合計 (分)	230	20	5	5	10	30	10	40	10	10	30	10	20	20	10
百分 比 (%)	100	8.7	2.2	2.1	4.3	13	4.3	17.4	4.3	4.3	13	4.3	8.7	8.7	4.3

本組採技術導向 FAST 分析如(圖 7)；以「減少工時」、「維持行車安全」為目的。以「確保安全」、「符合規章」為任何時刻均須存在的機能。

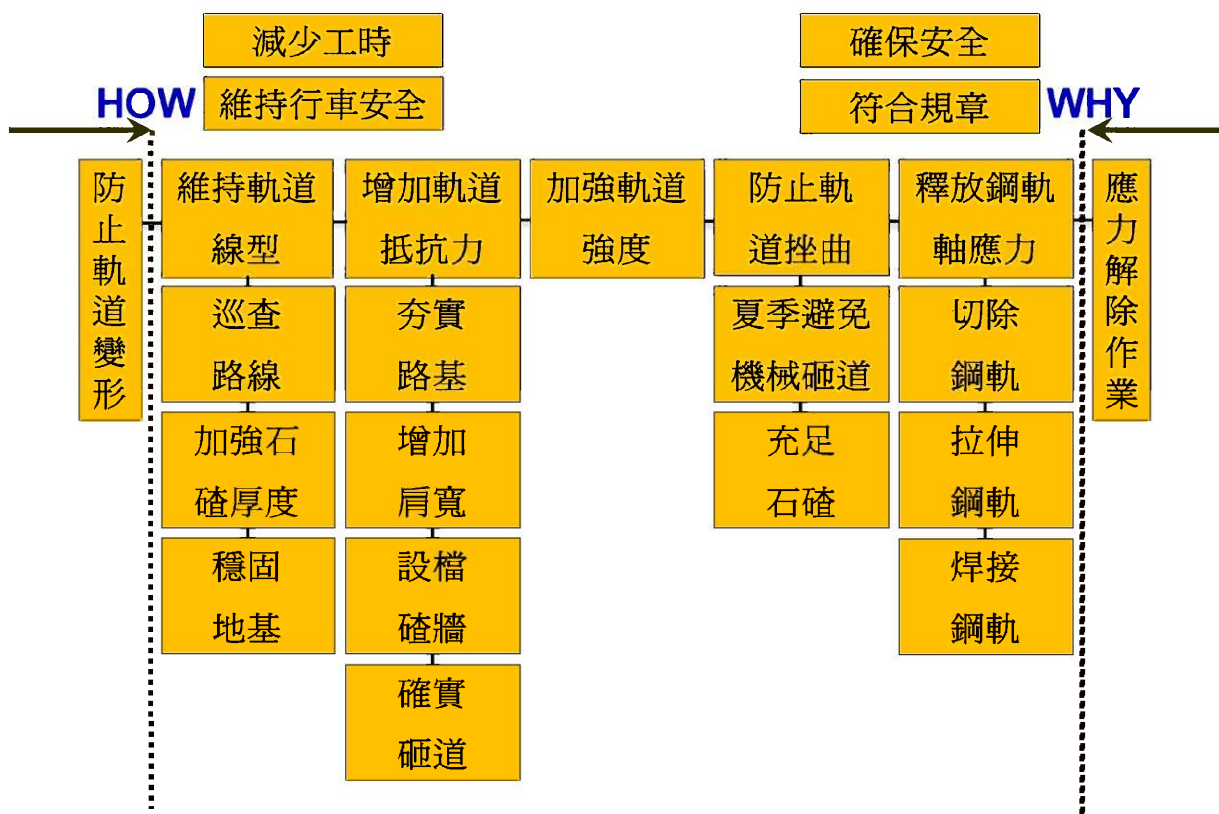


圖 7 機能分析技術 (FAST) 圖

由機能成本分析矩陣表及 FAST 圖可得，除冷卻焊口 (13%) 礙於技術瓶頸無法改善外，本組將針對前 3 項百分比較高之項目-「架設拉軌器 (17.4%)」、「架設拉軌器 (13%)」、「固定扣件 (8.7%)」等，進行創意構想，評選及找出有效提升作業效率及節省人力、成本之最適方案。

3.5 創意階段

3.5.1 腦力激盪

透過機具採購更新及作業方式改變，小組成員針對架設拉軌器、拉伸鋼軌、固定扣件三大關鍵機能，進行腦力激盪產生以下構想：

表 8 架設拉軌器創意構想表

創意階段		產生構想
研析標的：架設拉軌器		
1	傳統架設	
2	整組安裝	
3	預先安裝	
4	改變安裝方式	
5	機具輕量化	

表 9 拉伸鋼軌創意構想表

創意階段		產生構想
研析標的：拉伸鋼軌		
1	手動油壓	
2	鋼軌加熱	
3	電動油壓	
4	自然鬆放	
5	燃燒鋼軌	

表 10 固定扣件創意構想表

創意階段		產生構想
研析標的：固定扣件		
1	大鐵鎚	
2	扣件拉桿	
3	扣夾裝卸機	
4	挖土機	
5	大石頭	

3.5.2 構想比較

將上述所提出的各種構想列出優缺點加以比較，並評等改善的重點等級。

表 11 架設拉軌器創意構想比較表

機能：架設拉軌器			
構想	優點	缺點	評等
傳統架設	機動性良好	費時	A
整組安裝	節省人力	安裝不易	C
預先安裝	省時	不安全	C
改變安裝方式	省時	研發困難	A
機具輕量化	節省人力	機具昂貴	B

表 12 拉伸鋼軌創意構想比較表

機能：拉伸鋼軌			
構想	優點	缺點	評等
手動油壓	操作容易	費時、費工	A
鋼軌加熱	省力	費時、耗材昂貴	B
電動油壓	省力	額外購賣機具	A
自然鬆放	省力	配合天氣作業不穩定	C
燃燒鋼軌	便利	有工安疑慮	C

表 13 固定扣件創意構想比較表

機能：固定扣件			
構想	優點	缺點	評等
大鐵鎚	操作容易	費時、安全性低	A
扣件拉桿	技術門檻低	費工、費時	B
扣夾裝卸機	省力、省時	價格昂貴、機動性差	A
挖土機	省力、省時	價格昂貴、易損扣件	C
大石頭	取得容易	費工、安全性低	C

3.6 評估階段

為使小組成員之創意構想能落實、由組員之構想與原設備做比較，取其可行性較高創意作為綜合評估、分析。

3.6.1 權重評估

優缺點比較後，利用成對比較法將評估因子相互比較，並依據其相對重要性，計算各評估因子之權重。組員藉由可行性評估的機能構想決定出 5 目標及期望標準；以「省時間」為首要目標，尚需考量是否滿足「安全性」；。並經分數矩陣依原始分數計算出指定權重。詳細資料如下表：

表 14 拉伸鋼軌權重評估表

判斷階段	權重評估	
研析標的：拉伸鋼軌		
目標、期望標準	原始分數	指定權重
A 省人力	2	10
B 省時間	7	35
C 安全性	6	30
D 可靠度	4	20
E 技術性	1	5

		B	C	D	E
重要程度	A	B3	C2	D3	A2
	高 3	B	B/C	B/D	B2
	中 2		C	C/D	C2
	低 1			D	D/E
					E

表 15 拉伸鋼軌評估矩陣表

表列有潛力的構想	期望標準	省人力	省時間	安全性	可靠度	技術性	合計
	權重	指定權重					
		10	35	10	24	5	
原設計案 手動油壓	領隊	3	3	4	8	7	406
	秘書	3	4	3	6	6	
	協調人	2	4	3	7	7	
	成本工程師	4	2	3	6	6	
	專業人員	3	3	3	7	6	
替代方案1 鋼軌加熱	領隊	2	2	3	6	9	290
	秘書	2	3	2	4	7	
	協調人	1	3	2	4	8	
	成本工程師	3	1	3	4	7	
	專業人員	2	2	2	3	6	
替代方案2 電動油壓	領隊	9	9	9	8	3	811
	秘書	8	8	7	8	3	
	協調人	9	8	9	9	2	
	成本工程師	9	9	9	8	4	
	專業人員	8	8	9	8	3	

表 16 架設拉軌器權重評估表

判斷階段	權重評估	
研析標的：架設拉軌器		
目標、期望標準	原始分數	指定權重
A 省人力	1	4.5
B 省時間	7	32
C 安全性	3	13.6
D 可靠度	6	27.2
E 技術性	5	22.7

		B	C	D	E
重要程度	A	B3	A/C	D3	E2
	高 3	B	B2	B/D	B/E
	中 2		C	C/D	C/E
	低 1			D	D/E
					E

表 17 架設拉軌器評估矩陣表

表列有潛力的構想	期望標準	省人力	省時間	安全性	可靠度	技術性	合計
	權重	指定權重					
		4.5	32	13.6	27.2	22.7	
原設計案 傳統架設	領隊	4	4	4	4	6	496
	秘書	4	4	6	6	6	
	協調人	4	4	6	6	7	
	成本工程師	3	3	6	4	6	
	專業人員	3	4	6	6	6	
替代方案1 改變 安裝方式	領隊	6	6	6	7	8	652
	秘書	7	6	7	6	6	
	協調人	7	7	6	6	7	
	成本工程師	6	7	6	7	8	
	專業人員	7	6	6	6	6	
替代方案2 機具 輕量化	領隊	4	4	4	4	6	459
	秘書	4	4	6	6	6	
	協調人	4	4	6	6	7	
	成本工程師	3	3	6	4	6	
	專業人員	3	4	6	6	6	

表 18 固定扣件權重評估表

判斷階段	權重評估	
研析標的：固定扣件		
目標、期望標準	原始分數	指定權重
A 省人力	2	10
B 省時間	6	30
C 安全性	5	25
D 可靠度	1	5
E 技術性	6	30

		B	C	D	E
重要程度	A	B2	A/C	A/D	E2
	高 3	B	B/C	B2	B/E
	中 2		C	C2	C/E
	低 1			D	E2
					E

表 19 固定扣件評估矩陣表

表列有潛力的構想	期望標準	省人力	省時間	安全性	可靠度	技術性	合計
	權重	指定權重					
		10	30	25	5	30	
原設計案 大鐵鎚	領隊	3	4	6	4	7	534
	秘書	3	4	6	6	8	
	協調人	4	3	6	6	7	
	成本工程師	3	4	4	4	8	
	專業人員	3	4	6	6	7	
替代方案1 扣件拉桿	領隊	4	4	7	4	6	504
	秘書	4	4	6	6	4	
	協調人	4	4	6	6	6	
	成本工程師	3	3	7	4	6	
	專業人員	3	4	6	6	6	
替代方案2 扣夾裝卸器	領隊	7	8	7	7	6	677
	秘書	7	7	7	6	6	
	協調人	7	7	8	6	7	
	成本工程師	6	7	7	7	6	
	專業人員	7	7	6	6	6	

將指定權重帶入可行性評估表所選出之方案，列出評估矩陣表，組員共挑選出 3 個替代方案與原設計案做比較。評選分數最高為本組建議案。

表 20 權重評估總表

架設拉軌器	分數	拉伸鋼軌	分數	固定扣件	分數
傳統架設	406	手動油壓	496	大鐵鎚	534
改變安裝方式	811	電動油壓	652	扣件拉桿	504
機具輕量化	290	鋼軌加熱	459	扣夾裝卸器	677

表 21 田口法評估表

機能 創意	架設拉軌器	拉伸鋼軌	固定扣件
創意 1	傳統架設	手動油壓	大鐵鎚
創意 2	改變安裝方式	電動油壓	扣件拉桿
創意 3	機具輕量化	鋼軌加熱	扣夾裝卸器

表 21 田口法計算表

EXP	機能 A	機能 B	機能 C	組員 1	組員 2	組員 3	組員 4	組員 5
1	1	1	1	4	3	3	3	4
2	1	2	2	7	6	6	6	5
3	1	3	3	6	5	5	5	4
4	2	1	2	6	5	5	4	6
5	2	2	3	9	7	9	8	8
6	2	3	1	6	5	4	7	7
7	3	1	3	4	4	6	5	6
8	3	2	1	5	6	6	5	6
9	3	3	2	3	3	4	5	5

	機能 A	機能 B	機能 C
創意 1	13.18	12.65	13.3
創意 2	15.61	16.14	13.6
創意 3	13.26	13.26	15.16
EFFECT	2.429	3.493	1.861

擇定最佳方案
A2：改變安裝方式
B2：電動油壓
C3：扣夾裝卸器

3.7 發展階段

為縮短長焊鋼軌應力解除作業時間，本研析小組進行資料蒐集、機能成本分析及組合創意構想，研發改良應力解除作業，減少作業人力及時間。



改良前(手動油壓)



改良後(電動油壓)

圖 8 拉伸方式



改良前(拉軌器安裝於軌底)



改良後(拉軌器安裝於軌頭)

圖 9 架設拉軌器



改良前(大鐵鎚)



改良後(扣夾裝卸器)

圖 10 固定扣件

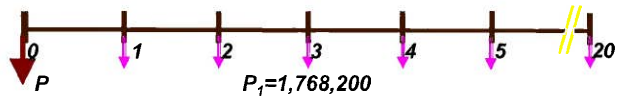
表 22 時間成本分析表

機能	原方案(分)	新方案(分)	節省時間(分)
卸除配件	20	20	
切割鋼軌	20	20	
拉伸鋼軌	80	40	40
焊接鋼軌	60	60	
研磨鋼軌	20	20	
裝扣配件	30	20	10
合計	230	180	50

表 23 經費成本分析表

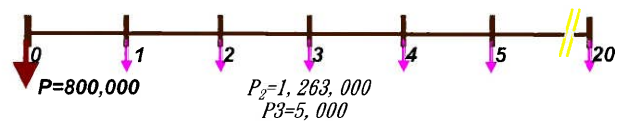
機能	原方案(人)	薪資(元)	新方案(人)	薪資(元)
卸除配件	10	16,840	10	16,840
切割鋼軌	2	3,368	2	3,368
拉伸鋼軌	10	16,840	6	10,104
焊接鋼軌	7	11,788	7	11,788
研磨鋼軌	3	5,052	3	5,052
裝扣配件	10	16,840	2	3,368
合計	42	70,728	30	50,520

原設計案：(利用現值法)
壽年20年 貼現率：3%



轄內應力解除每年25次(1,768,200 元/年)

建議案：(利用現值法)
壽年20年 貼現率：3%



1. 加購機具成本(800,000元/套)
2. 轄內應力解除每年25次(1,263,000元/年)
3. 機具維修成本(5,000元/年)

圖 11 現金流量圖

表 24 壽年成本表

壽年成本分析(利用現值成本)					
壽年期：20年 貼現率 3%					
成本項目	原設計			建議案	
	現值因子	年操作成本	現值	年操作成本	現值
一、建造成本(套)					
加設機具		-			800,000
二、維護成本(年)					
每年維護人力成本	14.877475	1,768,200	26,306,351	1,263,000	18,790,250
機具維護成本	14.877475			5,000	74,387
總現值成本			26,306,351		19,664,637
壽年節省(現值)					6,641,714
建議案比原設計案節省 25%					

四、建議案與結論

4.1 原設計與建議案

經過比較可發現：建議案初期建造成本比原設計案高，但後期維護人力及成本均較原設計案節省，且更具安全性。

表 25 原設計與建議案比較表

原設計		建議案		
1.安全性有疑慮		1.增加作業安全		
2.作業成本高		2.後續作業成本較低		
3.投入較多抽換人力		3.節省養護人力		
4.初期設備成本較低		4.初期設備成本過高		
5.作業時間過長		5.作業時間縮短		
壽年成本分析	以現值法計算			
	建造成本		維護成本	總成本
原設計		原設計 N=20 I=3	26,306,351	26,306,351
建議案	800,000	原設計 N=20 I=3	18,864,637	19,664,637
節省金額				6,641,714
節省百分比	建議案比原設計案節省成本 25%，作業時間節省 21%			

4.2 結論

臺鐵局精簡現場維修人員，以往傳統人力作業方式已漸被機械化取代。本研析案針對長焊鋼軌應力解除作業，配合新型機具及工法的改變，藉以提升工作效率、節省人力及成本。

參考文獻

1. 黃民仁（1993），「鐵路工程學」，頁 5-28~5-65，文笙書局。
2. 交通部臺灣鐵路管理局（2003）1067 公釐軌距鐵路長鉚鋼軌鋪設及養護規範。

臺鐵七堵基地污水處理廠增設加壓浮除設備工程

TRA Qidu Base Sewage Treatment Plant Increase Establish Dissolved Air Flotation System (DAF) Equipment Project

常振興 Chang, Zhen-Shing¹

聯絡地址：20645 基隆市七堵區崇禮街 1-4 號

Address: 2F., No.1-4, Chongli St., Qidu Dist., Keelung City 20645, Taiwan (R.O.C.)

電話(Tel)：(02) 24568990

電子信箱(E-mail)：0769786@railway.gov.tw

摘要

民國 77 年以前，臺鐵客車盥洗設備採用直落式馬桶設計，車上旅客排洩物直接排落軌道上。隨著時代的進步與環保意識的抬頭，這種落後的處理方式勢必有所改善，方可配合社會的進化。因此，才有隨後的溢流式、循環式和真空式廁所等設備的演變，以及處理事業廢水及員工生活污水等處理廠的設立並進一步追求處理技術。

七堵基地污水處理廠，係民國 94 年本段由南港調車場搬遷至七堵調車場時，接續管理之場區污水處理廠。該廠原設計為生物處理，每日處理污水 600 公噸，並可利用電腦設定施行 24 小時運作，工作人員需每日監測污水進水量、原水水質、篩濾物的分類和情形，決定生物池處理的批次，最後留意放流水的狀況及沉澱物整體處理，以將沉澱物製作成污泥餅。凡發現異常狀況，必須尋找原因，克服困難，設法解決問題；剛接管污水處理廠營運時，即發現七堵餐廳製作鐵路便當時會產生大量的油脂，使得污水處理設備功能不穩定，隨即要求增設物理性處理設備(加壓浮除機)，以為輔助處理之用，最終由臺鐵專案工程處

¹ 臺鐵局 機務處 工務員

歷經多年努力，於 103 年度完成增設，進而解除了廚餘油脂造成放流水質惡化的危機。

關鍵詞：油脂、污水處理、加壓浮除。

Abstract

Before 1988 , the design of the restrooms on board the TRA passenger cars was to discharge the waste directly on the rails. With the progress of technology as well as the rise of the environmental awareness, improvements over the old-fashioned way of disposing of the waste are bound to be called for in order to keep up with the evolution of society. Therefore a series of newer designs that employ more advanced technologies such as overflow , recycling and vacuum toilets have been introduced one after the other to be used in the modern restrooms. Along with the improvements came the setup of the plant that processes the industrial wastewater and sewage and the pursuit of better wastewater processing techniques.

Since 2005 when Nankang marshalling yard was moved to Qidu , we have been administering the wastewater plant in the Qidu marshalling yard. The plant is capable of bio-processing up to 600 tons of wastewater everyday under the monitoring of computers. The staff's job includes monitoring the flux of the inflowing wastewater , the quality of raw water , classification of the filtered substance , determining the processing batch of bio-pools and minding the condition of the out flow , as well as the handling of the concentration in order for the making of the sludge cakes. The staff must also respond to any unusual situations by determining the causes and finding the solutions.

At the beginning of the administration of the plant , we have discovered that the production of the lunch boxes by the Qidu restaurant has produced a lot of grease , resulting in the instability of the processing equipment. Having noticed the problem we immediately requested for additional physical processing apparatus as an aid. The request was finally approved by TRA project engineering department several years later and the installment of the new apparatus completed in 2014 , which successfully solved the crisis of the worsening quality of released water caused by the grease.

Keywords : Sewage Treatment, Dissolved air flotation system (DAF)

一、廢水油脂處理技術簡介

一般油脂可分為 2 種形式，一為動物性油脂，一為石油（煉製油）等礦油；在室溫下，呈現液體狀者稱之為油，呈現固體狀者稱之為脂或臘。其種類甚多，最主要者有碳氫化合物、酯、油、脂、臘及高級脂肪酸等；而油脂之定量視所用溶劑、來源、樣本對溶劑之比，樣本的 PH 及其他因素而定；常用之溶劑包括己烷、汽油醚、苯、氯仿及 Freon 等。

煉油廠、毛紡織廠、皮革廠及食品廠等製程常有廢棄油脂產生，另於廠內日常機械維修作業亦會產生廢棄機油、潤滑油等。

廢水中之油脂常以 3 種型態存在，分別為浮游、乳化及溶解態；以浮游態存在而言，既不雅觀又妨礙日光照射；若以乳化及溶解態存在，對廢水處理也有不良的影響，如降低污水管之輸水能力、妨礙污泥輸養作用、易生脂球與浮渣及有礙污泥脫水作業等。

於廢水處理程序之選定上，在油水分離階段，須先考量廢油脂特性及需處理程度，方能選用較適當之處理設備；一般先使用除浮油設備，而後依需求再加設混凝浮除設備，二者分別介紹如下：

1. 除浮油設備，大致上有 API 油水分離器(API Separators：美國石油學會(American Institute)所研發並以此為名)、PPI 油水分離器(Parallel-Plates Interceptor：殼牌公司於 1950 年推出)或 CPI 油水分離器(Corrugated Plate Interceptor)等除油設備、曝氣沉沙除油設備、鋼片式攔油機及油脂截留器等，其特色及使用後口碑不同，其比較如表 1 所示。一般工廠如需除浮油，建議採用油脂截留器即可，其構造可為鋼板或 RC。若能於廢油脂較易產生處（如機械維修部門）之排水管道裝置，截流效益將最高。

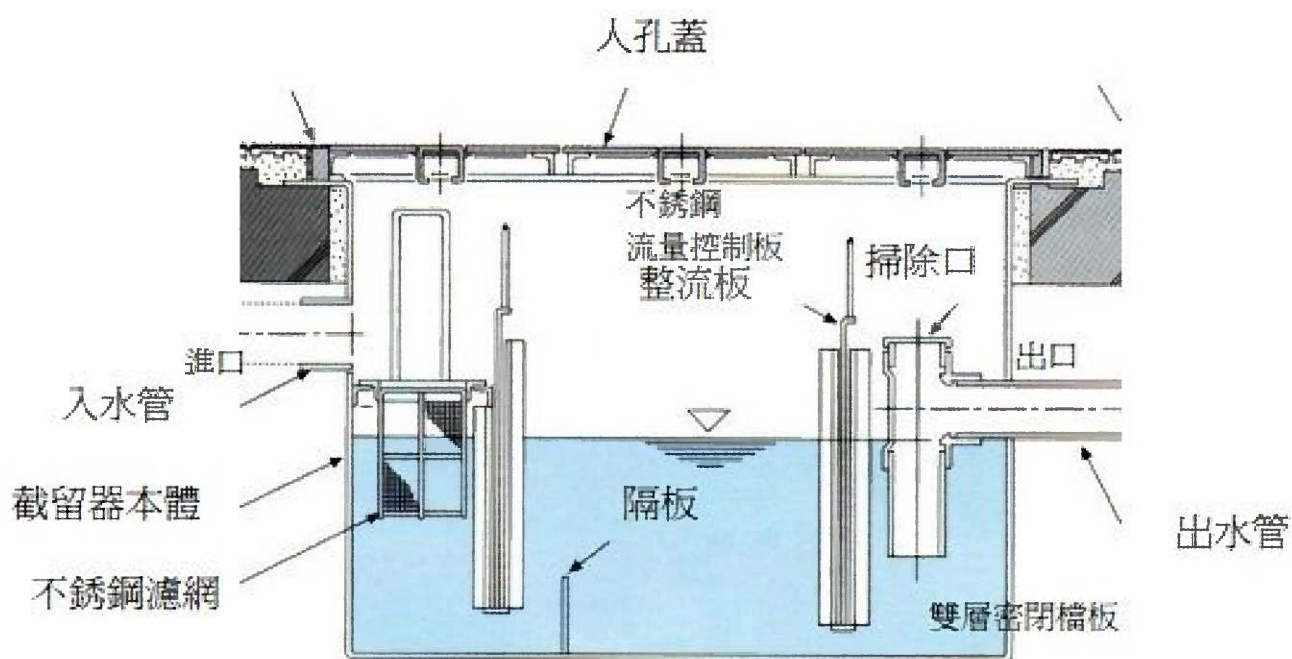


圖 1 標準型油脂截留器

表 1 浮除油設備比較

項次	優點	缺點
API、PPI 或 CPI 等除油設備	於各種重力式除油設備中，屬效率較高之設備。	設備皆為國外進口，導致維護不易。
曝氣沉沙除油設備	可達到除油及沉沙之功能。	較需土地空間及動力。
鋼片式攔油機	較適合於浮油較多之撈除作業。	屬電動設備，不易配合油脂產生啟動設備。
油脂截留器	較實用之除油設備，可達到操作簡單且持久之目標。	仍需定期掀蓋撈除浮油。

2. 為去除乳化及溶解態油脂，或需較高之除油效率，大致上可採用混凝浮除及過濾等方式，一般較常使用混凝浮除設備，而浮除設備可簡略區分為：溶解空氣加壓浮除設備（簡稱 DAF）、超高速加壓浮除設備（簡稱超高速 DAF）、螺旋真空浮除設備（Cavitation Air Flotation，簡稱 CAF）、誘導浮除設備(Induced Air Flotation，簡稱 IAF)等 4 種；其效能比較如表 2 所示。一般工廠建議採用超高速 DAF，其操作上較方便，且略具規模之甲級環境工程公司即可設計製作。

表 2 不同類型之浮設備比較

項目	內容
處理能力	以 IAF 浮除效率較高，SS 約 95%，油脂約 95%；其次為 DAF，SS 約 93%，油脂約 95%。
設備成本	以去除 1KgSS 為例，DAF 最低約 2.07 元，其次為 IAF 約 4.84 元。
佔地面積與動力	佔地面積以 IAF 及 CAF 較小，動力使用以 IAF 較大。
操作維護	以 CAF 最為簡易。

二、浮除系統

浮除系統又稱溶解空氣浮除濃縮系統(簡稱 DAF, Dissolved Air Flotation)。主要將 3~6kg/cm²之空氣打入污泥中，使大量空氣溶入廢水中，然後再將污泥導入未加蓋之槽內；在一大氣壓下，空氣自液中再溶出，形成小氣泡附著在污泥由於氣泡之上浮，而將污泥一併帶至液面處形成污泥氈，再利用刮泥器刮除，達到固液分離之目的，其主要目的在去除不易沉降分離之懸浮固體物及油脂。

溶解空氣浮除法經常運用在廢水處理油水分離、固液分離與污泥濃縮上，其原理乃藉由循環水或處理水加壓並引入空氣使空氣溶解於水中，再經由減壓

產生微細氣泡，微細氣泡附著於懸浮固體或膠羽上，使水中懸浮固體或膠羽利用附著微細泡氣泡之浮力上浮，用以去除水中之懸浮固體物或油脂。氣泡越小越容易附著於懸浮固體上，使懸浮固體更容易上浮而被去除。

一般空氣難溶於水，為了提高空氣溶解效率，在處理上有 2 種方向，一為增加液體表面積與空氣接觸，另一種方法為切割空氣成微細泡增加空氣表面積與水接觸，在浮除系統運用上兩者皆有，溶解空氣浮除法最大問題在於空氣溶解度有限，如何穩定提供定流量空氣且有效溶解，並能在浮除槽內形成微細泡為最重要的課題。目前國內生產製造溶解空氣浮除系統相當成熟，惟在溶解空氣系統上仍無法穩定達到自動控制，且所形成微細泡仍不夠細，需藉較佳的之化學混凝系統方能使浮除達到功效。

國內最常用溶解空氣方法是利用文式管引氣混合，其中有部份設計採加壓泵出口端引部份水流經文式管，再流入加壓泵入口端，與其他回流水並流入加壓泵，由於水中含有空氣，當氣水混合不佳時，容易造成空轉，同時一般離心式泵水中因為含有空氣容易引起空蝕現象，在操作上相當不穩定。

另一種設計則回流水經加壓泵流經文式管後再流入加壓槽，由於文式管背壓超過 3bAR 以上無法自吸空氣，所以須由外部補注加壓空氣，氣水混合情形影響空氣溶解度，水中所含空氣量不穩定，間接影響浮除槽效率。溶解空氣浮除系統由於溶氣效率較差，大部分均是以提高回流量以補溶氣效率不足，造成國內生產溶解空氣浮除系統效率不如歐美所生產的浮除系統。

有鑑於此針對溶解空氣浮除系統推出專用加壓泵，提供穩定溶解空氣加壓系統，使溶解空氣浮除系統在操作與應用上更為容易。本產品主要提供加壓容器專用泵，可直接吸引適量空氣與加壓水混合形成溶解空氣加壓水，經由浮除槽釋壓產生乳化狀器水混合液，已達到浮除效果，同時也提高溶解空氣浮除效率，使生產之設備足以媲美 歐美生產之設備。

三、溶解空氣原理與理論

溶解空氣浮除系統要提高處理效率時，須達到下述兩種條件要求，一為如何減小乳化水水中氣泡大小，另一方面則如何增加加壓水溶解空氣效率與空氣量。一般空氣溶解度低，須藉由加壓水以提高空氣溶解度，溶解空氣與氣體表面積大小有關，因此維持微小氣泡有助於空氣溶解，同時水壓越高溶解空氣量越多。下表為理論上水壓、水溫與空氣溶解量相關圖表，在臺灣夏季水溫約在 25~30°C，適當溶解空氣量與適當水壓方能有較佳浮除效果，過多未溶解空氣，不但影響空氣溶解效果，同時會造成浮除槽滾動，因此控制適量空氣引入，才能都獲得較佳浮除效果，溶解空氣量與壓力溫度關係，如圖 2 所示。

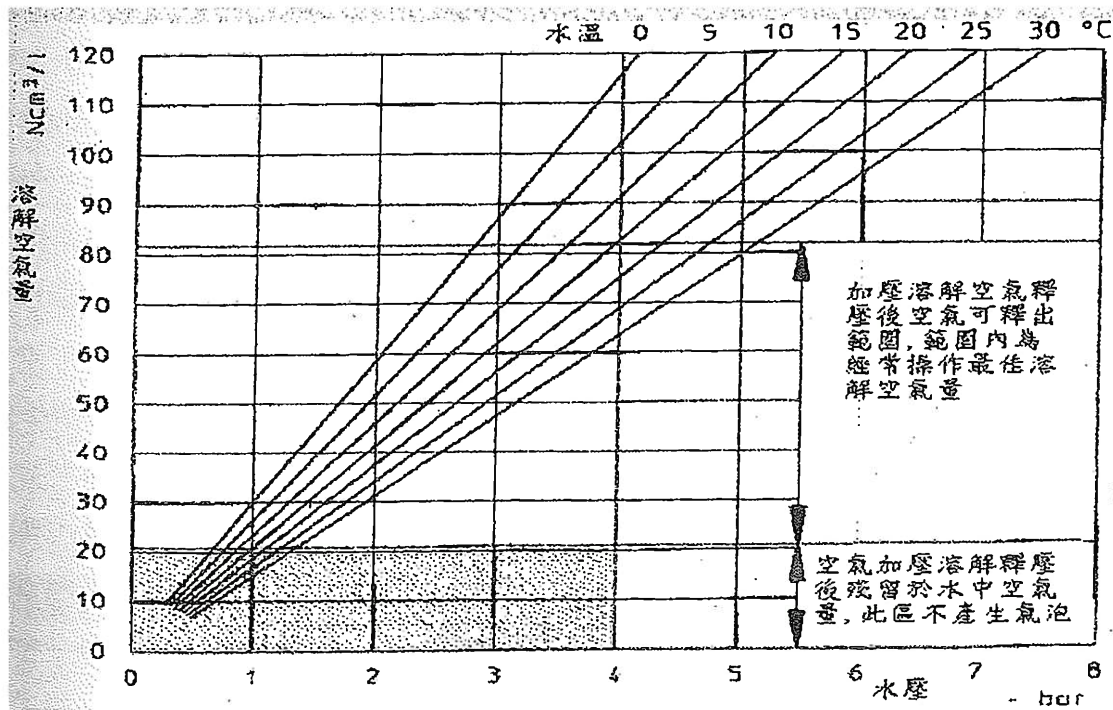


圖 2 溶解空氣量與壓力溫度關係

四、浮除槽功能計算

廢水處理程序中，浮除技術可設計較大之溢流率（約為沉澱之 3~5 倍）及較低污泥含水率。一般浮除污泥含水率約 98%，而沉澱污泥含水率約 99.5%~98.5%，相對採用浮除技術具有污泥減量之功用。浮除過程有真空浮除及加壓浮除二種方法，本段污水處理場使用加壓浮除，其設備（如圖 3—圖 14 所示）及功能如下：

- (1) 數量：1 組
- (2) 最大處理水量：30 m^3/hr
- (3) 進流水質：

Ph 6~9

Oil 250 mg/l

SS (Suspended solids 懸浮固體物) 500 mg/l

COD (Chemical Oxygen Demand 化學需氧量) 500 mg/l

- (4) 功能計算：

1. 加壓浮除槽為一套裝設備，一般加壓浮除對懸浮性油脂之去除率約 95%，於進流浮除之前，視需求以添加聚氯化鋁（PAC）或硫酸鋁加藥方式，使微細懸浮固體形成膠羽，以便能去除。
2. 添加凝集劑可使水中微細顆粒與膠體物質去除，有助於去除部份 COD，可增進後段活性污泥或接觸氧化法生物處理效能。

$$3. \text{ 氣固比 } \frac{A}{S} \equiv \frac{1.3sa(fp-1)}{SaQ}$$

$$A/S:\text{air/solid rate}=0.04$$

sa:solubility of air at required temperature 15.7 ml/l

Sa:solid in incoming wastewater,500mg/l

f:freation of air dissolved at pressure p=0.7

P:pressure in atmospheres=5.5(kg/cm²)

p:gage pressure 4.5(kg/ cm²)

q:recycle flow

Q:wastewater flow=30m³/hr

$$\therefore q=10.3(\text{m}^3/\text{hr})$$

4. 表面負荷：200m³/m²/d
5. 固體負荷 ≤ 4.5kg/m²/hr
6. 浮除槽尺寸(L×W×H)：3.35m×2.2m×3.08m(有效浮除面積 5.5m²)
7. 所需 DAF 表面積：(30+10.3)×24÷200=4.8(m²)
浮除槽有效面積 5.5(m²) > 4.8(m²)
8. 固體負荷：(500)×30÷1000÷5.5
=2.7(kg/m²/hr) ≤ 4.5 (kg/m²/hr)

(5) 加壓循環水泵：12.0(m³/hr)×50mH×10HP(1 組)

(6) 傾斜浪板表面負荷：由於有溶解空氣輔助，表面負荷可達 20~30m³/m²/d

(7) 傾斜板有效面積：30×1.2×2 (1×cos60)[°] = 36m²

(8) 表面負荷：(30+12)×24÷36=28m³/m²/d

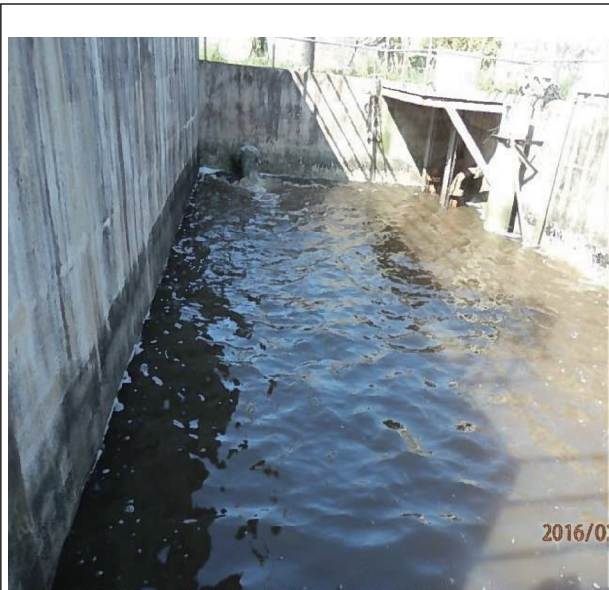


圖 2 污水準備進入加壓浮除機



圖 3 投藥



圖 4 迴流管使藥劑與污水充分混合



圖 5 刮渣板去除浮渣

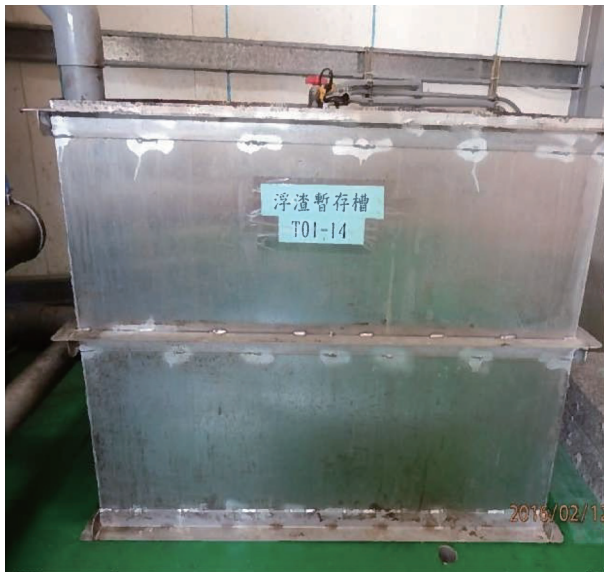


圖 6 浮渣收集



圖 7 去除浮渣之處理水槽外觀

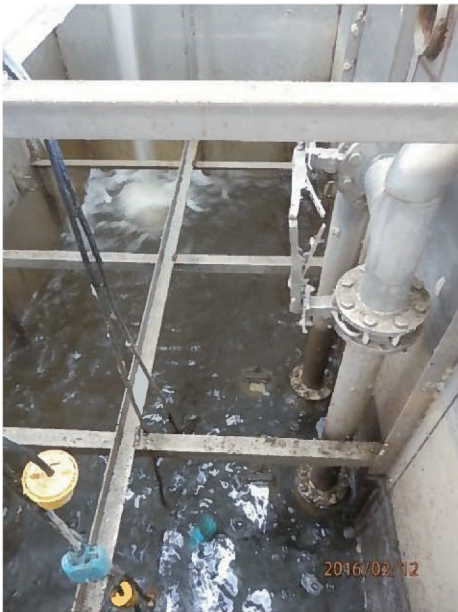


圖 8 去除浮渣之處理水情形



圖 9 砂濾槽過濾處理水



圖 10 處理後水排放



圖 11 循環泵建立浮除設備壓力



圖 12 空壓機提供所需壓力



圖 13 加壓浮除設備配電盤

加壓浮除濃縮槽操作注意要點如下：

1. 檢核污泥之上浮性，設定最適濃縮條件。
2. 檢核管路上之流量、濃度、壓力測器是否正常操作，同時量測空氣溶解量。
3. 量測必要之操作指標，如空氣溶解量等。
4. 長期記錄量測值，並作為有效操作之控制指標。
5. 加壓迴流泵之壓力有 $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ 。
6. 空壓機出口壓力應大於加壓迴流泵之壓力。

- 7.減壓閥後溶解空氣釋放，應形成白色微細氣泡。
- 8.刮渣設施之轉速及高程應調至適當值。
- 9.高分子助凝劑之加藥量儘量少，以得到最佳之濃縮效果。

五、結論與建議

近年來，由於環境保護意識抬頭，政府對於水污染防治格外重視，尤其自從發生日月光污水排放事件後，政府對於企業界之廢污水排放管理嚴加查緝，並且在 2015 年開徵水污染防治費，顯見政府打擊污水排放之決心。臺鐵身為政府機關一員更須關心水污染防治議題，各廠段所屬污水處理廠運作需要多加注意，方能應付嚴格的法規。故依廠段污水處理廠實際使用狀況，適時增建加壓浮除設備，大大提升污水處理效能將可十分顯著。

參考文獻

1. 張聖雄，財團法人台灣產業服務基金會技術 e 報。
2. 臺灣鐵路管理局專案工程處臺北施工隊材料送審書(103.6)

從地下場站火場救災觀點談營運單位應配合事項

The Coordinate Matters of Operating Organizations from the View of Disaster Relief in Underground Stations and Depots

蘇水波 Shu, Shui-Bo¹

聯絡地址：22041 新北市板橋區縣民大道二段 7 號 22 樓

Address：22F., No.7, Sec. 2, Sianmin Blvd., Banciao Dist., New Taipei City 22041, Taiwan (R.O.C.)

電話(Tel)：(02) 89691900 分機 2280

電子信箱(E-Mail)：msb_su@rrb.gov.tw

摘要

鐵路之地下場站（以下簡稱地下場站）因受限於特殊幾何構造、有限救援路徑、通風排煙、救援人員體能與裝備之限制，無法將所有救災資源同時投入災害現場，展開大規模搜救與滅火搶救行動，救災人員將面臨許多危害及挑戰[1]。當狀況不幸發生時，若可透過營運單位協助說明建築物特性，救災人員即可迅速熟悉環境；提醒救災人員相關危害因子，可維護救災人員安全；車站防災中心提供災情變化，可供救災人員掌握資訊；救災動線避開逃生動線，加速搶救效率；車站設施就近利用，可提高救災效能等等。透過營運單位即時協助提供相關資訊，藉以強化救災安全並適時調整整體救援作業模式，以提高整體救災成效，並將災害損失降至最低。

關鍵字：地下場站、防災中心、救災動線

¹鐵路改建工程局 簡任工程司

Abstract

All the emergency relief resources into the disaster site are difficult in the underground stations and depots, due to the limitations of special geometric configuration, rescue paths, smoke exhaust, and equipment and physical fitness of rescuers; hence, the rescuers will face many challenges and hazards, if launching a massive search, rescue, and firefighting. In the case of the disaster occurrence, the rescuers will quickly be familiar with the environment through the operating organizations' assistance in describing the building characteristics; they maintain the rescuers' safety through their reminding of the related hazard factors; the station disaster control center provides the disaster variety to help the rescuers master the information; that the rescue route keeps away from the escape route results in accelerating the rescue efficiency; using the nearest station facilities can improve the effectiveness of rescue. The operating organizations assist in providing immediate information; thereby, the rescuers strengthen their security, adjust the overall rescue operation modes, enhance the overall effectiveness of rescue, and reduce the disaster losses to a minimum.

Keywords: *underground stations and depots, disaster control center, rescue route*

一、緣起

在所有火災危害事件中，人命安全及建築結構、使用機能之維護，常為整體事件搶救成敗關鍵問題。地下場站一旦發生火災，因地下空間之高溫、濃煙，造成能見度不佳、通訊聯繫不良與狹窄複雜隧道空間環境等[1]，若營運單位可即時提醒空間特性及危害因子，將對搶救人員之安全有進一步保障。

目前營運單位防災或消防單位救災，探討文獻雖多，但整合資料較少，從很多火災或其他事故案例可知，當事故發生時，地下場站瞬間需疏散大量旅客，加上人員到達地面垂直距離長，往上步行避難較吃力及易疲累，造成疏散困難及複雜度，若加上未適時協助引導救災人員至災區，救災與避難人員路徑衝突恐將加重災害；另受到往地面之出入口數量、位置及大小等限制；地面上人員難以掌控地下場站空間之內部狀況，加上地下場站容積小通道多或站體大通道複雜，位置辨識困難及方向感弱，易蓄積有害氣體，避難時易產生混亂等等現

象。當地面上救災人員無法即時得知現場災況，往往造成救災效率差，甚至造成嚴重傷亡及損失，如何讓救災人員更有效率、順暢、安全完成任務是一項重要課題。

對營運階段而言，救災期間營運單位應協助及配合救災，本報告除探討建築物特性外，尚包含車站防災中心、救災動線及車站設施與救災配合事項等等。

二、建築物特性

搶救前應先瞭解建築物特性，熟悉環境是一項重要功課，地下場站功能特殊，部分無法適用建築法，主要係車站內部配置有軌道、乘車月台及必要附屬設施等等，作為交通運輸使用，因瞬間大量人潮聚集與疏散，建築物防災逃生等特殊需求，為現行國內建築技術規則無法涵蓋適用，須參酌採用國外先進國家之規範及鐵路相關規定辦理，以符合整體安全需求。現行國內地下場站考慮使用機能，常有二鐵/三鐵共構或共站並結合商業、辦公大樓及地下停車場之複合式建築，各類設施極為複雜且功能需求特殊，常被引用免適用建築技術規則相關條款如建築設計施工編第三章、第四章一部分或全部，或第五章、第十一章、第十二章有關建築防火避難部份或全部之規定；如防火區劃限制「建築技術規則建築設計施工編第 79 條」；最大步行距離「建築技術規則建築設計施工編第 93 條」等等。

因此，新設地下場站建築設計常使用對策包含：

- 1.結構及裝修以防火耐燃材料及高溫時不得釋放有毒氣體。
- 2.CFD 煙控模擬及人員避難動態模擬性能驗證。
- 3.新設捷運化通勤車站原則上設置專用樓梯供救災人員進入救災使用。
- 4.新設捷運化通勤車站原則上兩側設專用樓梯供緊急避難使用。
- 5.車站兩端設置隧道通風設備，可調整運轉模式供避難及救災使用，維持逃生與救災路徑可維生環境。
- 6.考慮弱勢避難。

三、車站防災中心

消防隊進入搶救亦受到出入口距離火災地點、路徑及空間上的限制，火災發生場所及火勢狀況難以掌握；新設地下場站設置防災中心，設施功能完整，包含如攝影機系統、電梯，電扶梯、消防、火警、電力、排煙及空調系統等等，相關系統皆納入中央監控系統監視與控制，相關重要動態與訊息皆可掌控；營運單位應熟悉系統操作使用，若可善用防災中心設施，即時對於發生事故地點透過攝影機系統及中央監控系統追蹤，協助救災指揮將會有相當大的助益，透過 DLP(Digital Light Processing)系統投影車站重要訊息可已達 3D 防災效果(請參閱圖 1 及圖 2)。



圖 1 車站中央監控系統(DLP 投影)

圖 2 隧道中央監控系統(DLP 投影)

防災中心設置主要參考國內外相關法規、標準及訓練說明如下:

3.1、國內法規或標準:

3.1.1、依據各類場所消防安全設備設置標準第 238 條[2]

防災中心樓地板面積應在四十平方公尺以上，並依下列規定設置：

一、防災中心之位置，依下列規定：

- (一) 設於消防人員自外面容易進出之位置。
- (二) 設於便於通達緊急昇降機間及特別安全梯處。
- (三) 出入口至屋外任一出入口之步行距離在三十公尺以下。

二、防災中心之構造，依下列規定：

- (一) 冷暖、換氣等空調系統為專用。
- (二) 防災監控系統相關設備以地腳螺栓或其他堅固方法予以固定。
- (三) 防災中心內設有供操作人員睡眠、休息區域時，該部分以防火區劃間隔。

三、防災中心應設置防災監控系統，以監控或操作下列消防安全設備：

- (一) 火警自動警報設備之受信總機。
- (二) 瓦斯漏氣火警自動警報設備之受信總機。
- (三) 緊急廣播設備之擴音機及操作裝置。
- (四) 連接送水管之加壓送水裝置及與其送水口處之通話連絡。
- (五) 緊急發電機。
- (六) 常開式防火門之偵煙型探測器。
- (七) 室內消防栓、自動撒水、泡沫及水霧等滅火設備加壓送水裝置。
- (八) 乾粉、二氧化碳等滅火設備。
- (九) 排煙設備。

3.1.2、依據「建築技術規則建築設計施工編」第107條第五款[3]，摘錄如下：

緊急用昇降機之構造除本編第二章第十二節及建築設備編對昇降機有關機廂、機道、機械間安全裝置、結構計算等之規定外，並應依左列規定：

五、應設有連絡機廂與管理室(或防災中心)間之電話系統裝置。

3.1.3、依據「建築技術規則建築設計施工編」第四章之一建築物安全維護設計第116-4條[3]

監視攝影裝置應依下列規定設置：

- 一、應依監視對象、監視目的選定適當形式之監視攝影裝置
 - 二、攝影範圍內應維持攝影必要之照度。
 - 三、設置位置應避免與太陽光及照明光形成逆光現象。
 - 四、屋外型監視攝影裝置應有耐候保護裝置。
 - 五、監視螢幕應設置於警衛室、管理員室或防災中心。
- 設置前項裝置，應注意隱私權保護。

3.1.4、依據「建築技術規則建築設計施工編」第116-5條[3]，摘錄如下：

緊急求救裝置應依下列方式之一設置：

- 一、按鈕式：觸動時應發出警報聲。
- 二、對講式：利用電話原理，以相互通話方式求救
- 三、前項緊急求救裝置應連接至警衛室、管理員室或防災中心。

3.1.5、依據「建築技術規則建築設計施工編」第十一章地下建築物第181條

第八及九款[3]，摘錄如下：

- 八、利用緩衝區與地下建築物或地下運輸系統連接之原有建築物未設置中央管理室或防災中心者，應增設之。
- 九、緩衝區所連接之建築物及地下建築物或地下運輸系統之中央管理室或防災中心監控，其監控項目應依本規則相關規定設置。雙方之中央管理室或防災中心應設置，專用電話或對講裝置並連接緊急電源，供互相連絡。

3.1.6、依據「建築技術規則建築設計施工編」第十二章高層建築物第259條

規定高層建築物應依下列規定設置防災中心[3]，摘錄如下：

- 一、防災中心應設於避難層或其直上層或直下層。
- 二、樓地板面積不得小於四十平方公尺。
- 三、防災中心應以具有二小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備及該層防火構造之樓地板予以區劃分隔，室內牆面及天花板(包括底

材)，以耐燃一級材料為限。

四、高層建築物左列各種防災設備，其顯示裝置及控制應設於防災中心：

- (一)電氣、電力設備。
- (二)消防安全設備。
- (三)排煙設備及通風設備。
- (四)昇降及緊急昇降設備。
- (五)連絡通信及廣播設備。
- (六)燃氣設備及使用導管瓦斯者，應設置之瓦斯緊急遮斷設備。
- (七)其他之必要設備。

高層建築物高度達二十五層或九十公尺以上者，除應符合前項規定外，其防災中心並應具備防災、警報、通報、滅火、消防及其他必要之監控系統設備；其應具功能如下：

- 一、各種設備之記錄、監視及控制功能。
- 二、相關設備聯動功能。
- 三、提供動態資料功能。
- 四、火災處理流程指導功能。
- 五、逃生引導廣播功能。
- 六、配合系統型式提供模擬之功能。

3.1.7、高層建築物「防災中心」之值勤人員講習訓練[6]，防災中心值勤人員

應具備之知識與技能如下：

- 一、掌握綜合操作盤之機能及操作要領。
- 二、瞭解消防安全設備之機能及操作方法。
- 三、充分掌握建築物之消防防護計畫及管理維護計畫書內容，熟悉建築物之特性。
- 四、依防災中心所蒐集之資訊，能活用各項消防安全設備。
- 五、具備自衛消防編組之指揮、通報要領及能力。
- 六、熟悉提供資料予消防人員之要領。
- 七、具有維護管理各項消防安全設備之能力。

3.1.8、依據「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」

[10]第三章地下場站3.9 地下場站之排煙設備相關規範，摘錄如下：

3.9.13 排煙設備之控制及操作，應符合下列規定：

- (1) 各項緊急排煙之細部設備應可用遙控之方式於防災中心或其他適當地點進行操作及動作顯示。
- (2) 在防災中心操作無效下，應能就地繼續操作緊急排煙系統。

綜上得知，國內法規要求設置防災中心區域，主要規範如高層建築物、地下建築物及特種建築物為對象，其特點以高度過高、深度過深或功能特殊之建築物為主，設置目的因應一旦火災發生時，防災中心人員可透過監控設施即時發現現場異常情形，以提早處理。而其收集情報的能力，能夠提早因應災害的狀況，提供適當輔助判斷，供搶救指揮重要資訊參考。

3.2、國外標準：

3.2.1 美國消防協會 NFPA 92A [12]相關章節規範，摘要說明如下：

6.4.1 包含火警系統、煙控系統、空調系統及煙控設備提供之煙控功能，應整合於單一控制系統。

6.4.3.5.1 啟動與停止，應允許由單一控制設備、現場控制盤、建築物控制中心或火災指揮站進行操作。

3.2.2 美國消防協會 NFPA130 [13]7.7 緊急通風系統相關規範，摘要說明如下：

7.7.1 控制室可直接操作啟動緊急通風系統。

7.7.1.1 控制室可提供緊急通風系統及連鎖驗證之正確資訊。

3.3、火災案例：

一般而言，發生事故時，地下場站防災設備，第一時間可供營運單位立即使用，發揮功能將災害損失控制降至最低，消防設備並非專供消防單位使用，地下場站設置監控站或防災中心，主要在事故發生初期即可即時反應車站現況，整合現場各系統自動回報相關資訊，以供營運單位或現場指揮官立即得到相關資訊，加速進行緊急處理，以降低營運風險。

而現代化智慧型(R 型)火警受信總機，當地下場站，若不幸發生火災時，

火災初期即透過火警系統自動進行偵測，當偵煙器偵測到火警警報動作後，防災中心可同步接收相關訊息，其消防安全設備依火警連動流程動作，以保護旅客避難逃生安全，地下場站火警連動示意圖，如圖 3 所示。

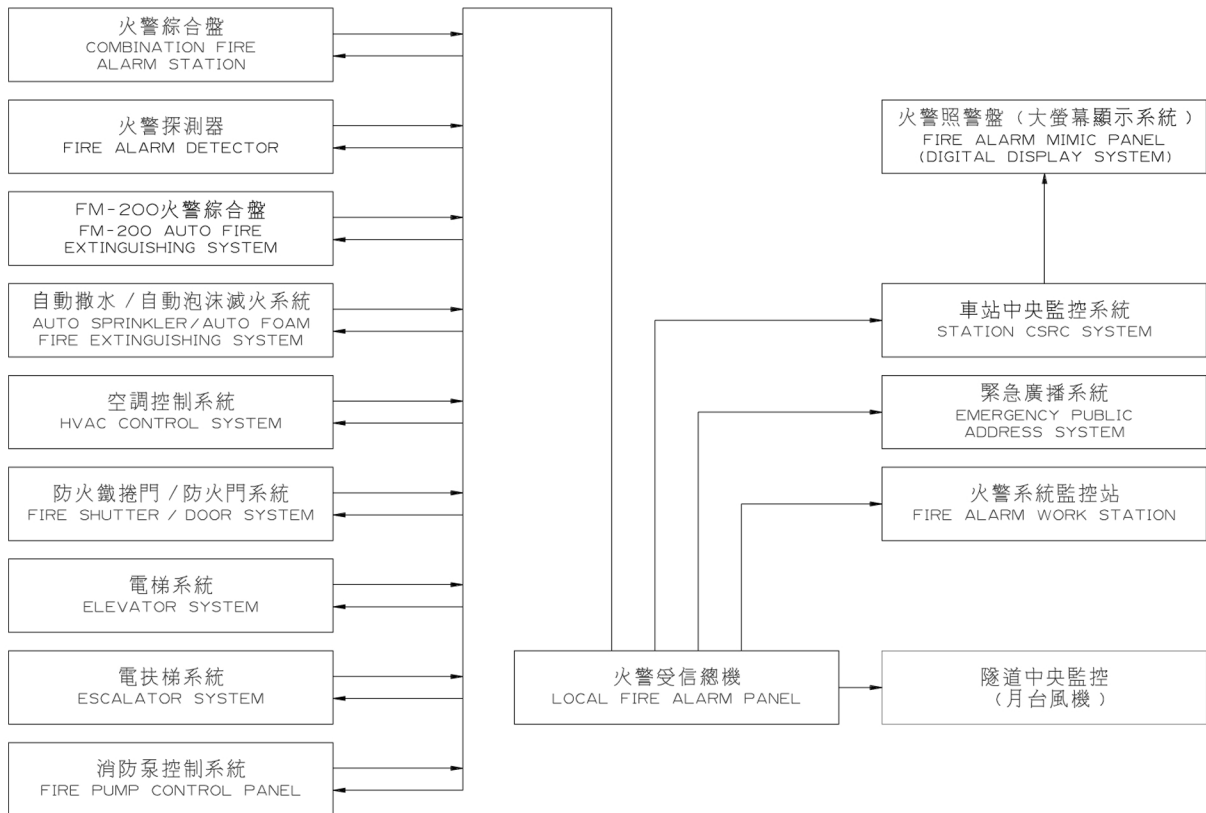


圖 3 地下場站火警連動示意圖

火警系統常為車站防火安全第一道守護神，當偵測到煙霧時立即產生警報，接下來透過火警連動功能，啟動相關安全防護設施，維持旅客逃生安全並將災害侷限某區域減緩事故影響。當不幸災難發生時，人員如未能立即滅火，消防設備功能若能即時有效發揮自動滅火功能，消防單位雖未抵達火災現場，火勢已遭控制或災難已消除，可提供營運使用單位一個安全環境，當遇到事故發生時，車站建築物本身即有足夠防護及處理能力，並可善加利用防災中心攝影機系統及 DLP 設備為輔助，監控室(防災中心)得以 3D 狀態即時取得現場狀況，以瞭解現場災況變化情形，而當消防單位進入車站救災時，可透過防災中心相關資訊取得火災現況及發展趨勢，提供救災人員參考重要依據。

案例一：

發生時間及地點：

民國 99 年 2 月 X 日約 20 時 54 分，XX 地下場站，司機員列車通過車站月台時，發現月台下方起火，立即以行調無線電手機通報車站，"第 2 月台 B 側月

台下方起火",約 20:58 路警所值勤員警協助通報消防隊,消防隊 21:07 抵現場。
事故影響:未造成人員傷亡,15 列次延誤 144 分鐘。

防災中心訊息:20:55 U-2 月台層已連續顯示火警警報。

隧道監控站訊息:事故時隧道通風機已開啟進行排煙,滅火後約 21:29 切換緊急運轉模式對煙霧進行排除動作。

相關資料請參閱圖 4~8。

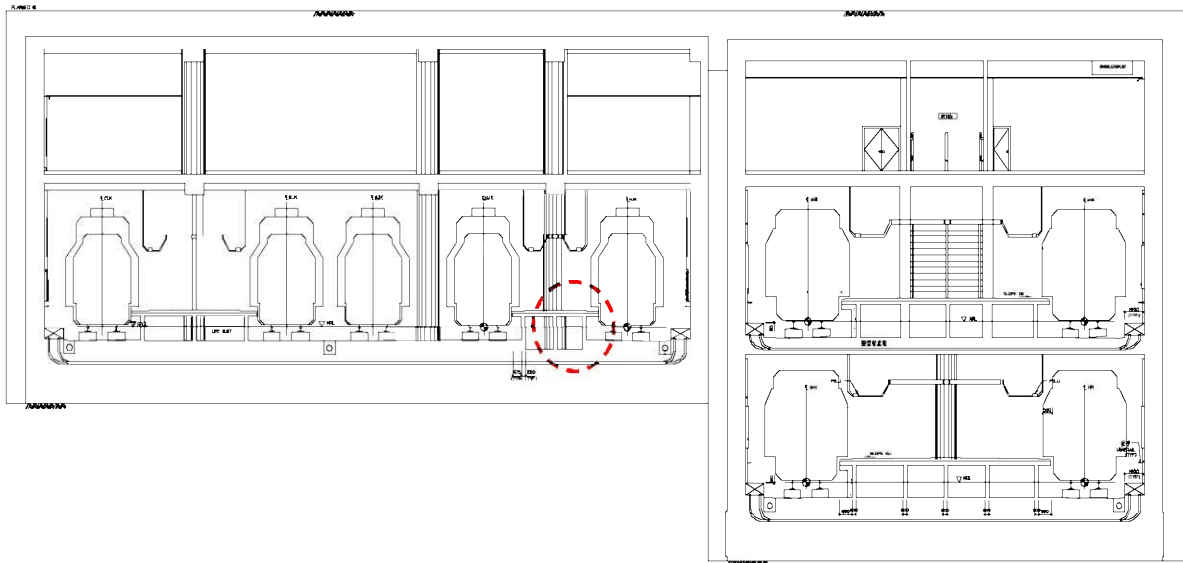


圖 4 火災位置示意圖

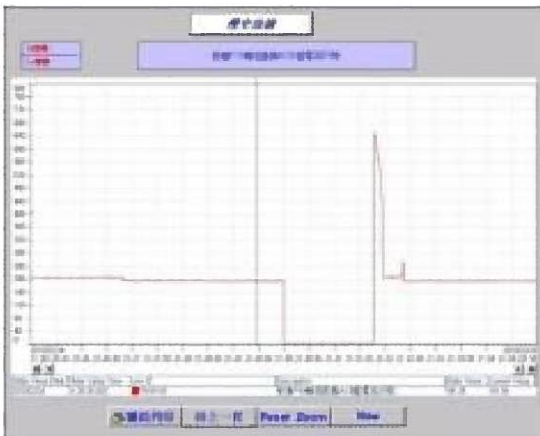


圖 5 隧道風機運轉示意圖



圖 6 火災燒毀情形

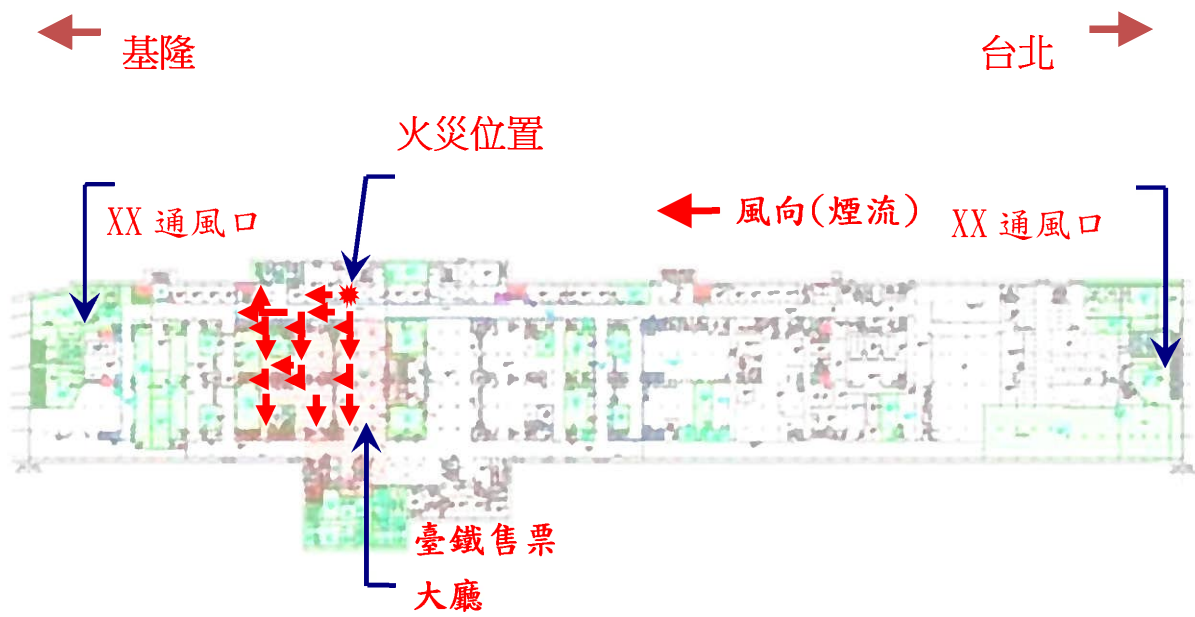


圖 9 火災位置及煙流擴散示意圖



圖 10 火災燒毀情形

時間	地點	警報內容	警報狀態
17:11:12	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:15	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:18	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:21	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:24	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:27	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:30	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:33	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:36	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:39	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:42	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:45	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:48	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:51	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:54	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:11:57	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:00	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:03	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:06	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:09	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:12	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:15	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:18	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:21	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:24	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:27	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:30	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:33	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:36	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:39	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:42	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:45	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:48	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:51	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:54	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:12:57	10-12-10	感測器異常	警報清除
17:13:00	10-12-10	感測器異常	警報清除

圖 11 火警系統警報報表

四、救災動線

一般所稱消防救災動線範圍較廣，包含消防單位至車站間路徑、車站周圍及車站內救災動線等等，而本報告所提之救災動線，探討範圍僅針對消防人員已到達車站，車站內至火災現場救災間之動線；營運單位應配合協助引導救災單位人員進入地下場站火災現場。相關救災動線涉及原設計構想及現場救災應注意事項，整體而言，包含如車站出入口主要型式、防救災考慮事項、地下場站火災危險特性及通報與連繫等事宜進行探討，請參閱圖 12~14。

4.1、地下場站出入口主要型式如下：

1、地面層出入口四通八達

大台北地區鐵路地下化車站大部分屬此種型式，如營運中之板橋、臺北、松山及南港等大型地下車站。

2、地面層僅單一出入口

運量較少之通勤車站或小型車站，考量平時營運管理人力，採用此種方式；緊急疏散時，另外可開啟車站兩側逃生梯進行疏散，如施工中之高雄鐵路地下化工程民族站、大順站等車站。

3、地面層兩個或以上出入口

如高雄鐵路地下化工程施工中之正義車站。

4.2、地下車站在防救災考慮事項：

1、因重力反向避難之特性較費力及需時較長，應多注意人潮避難衍生之意外，及注意救災與避難人員是否衝突。

2、車站建築結構，大部分為外氣無法穿透之密閉空間，救援較不易；站內燃煙需藉由機械排煙散逸，確保消防人員安全，並提昇救災時效性。

3、車站防災中心(站務空間或監控室)可供初期防災指揮中心使用，車站內所有緊急設備皆集中於此，可達監控及災害情報搜集之目的，並於車站災害發生初期應變處理；若屬隧道內或列車火災，因與列車運轉息息相關，初期防災指揮中心建議於行車室或其他合適地點。

4、列車行駛風壓會擾亂氣流，當列車停止運轉時，可避免因災情擴大難以掌

握，發生誘導困難現象。

5、新設通勤車站，月台兩端原則上設有緊急搶救時之進入口。

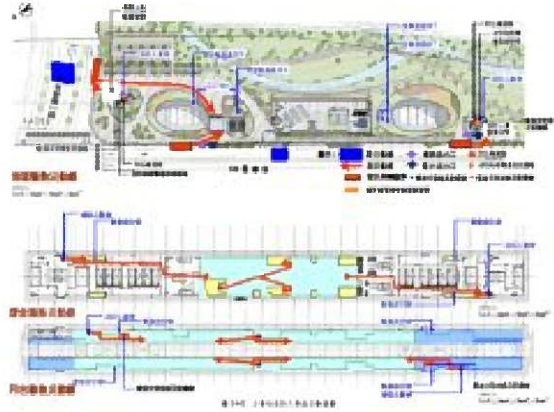
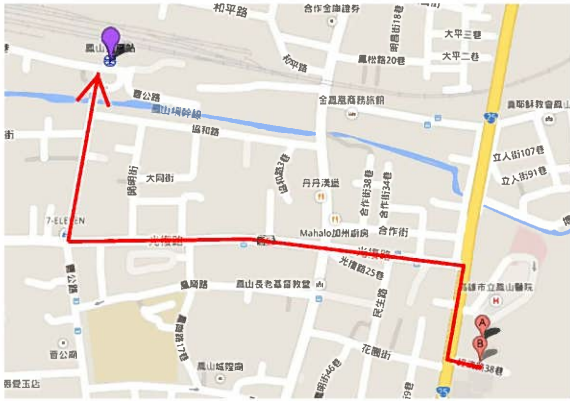


圖 12 消防隊至車站間救災路徑圖[4]

圖 13 車站周圍及站內救災動線示意圖[4]

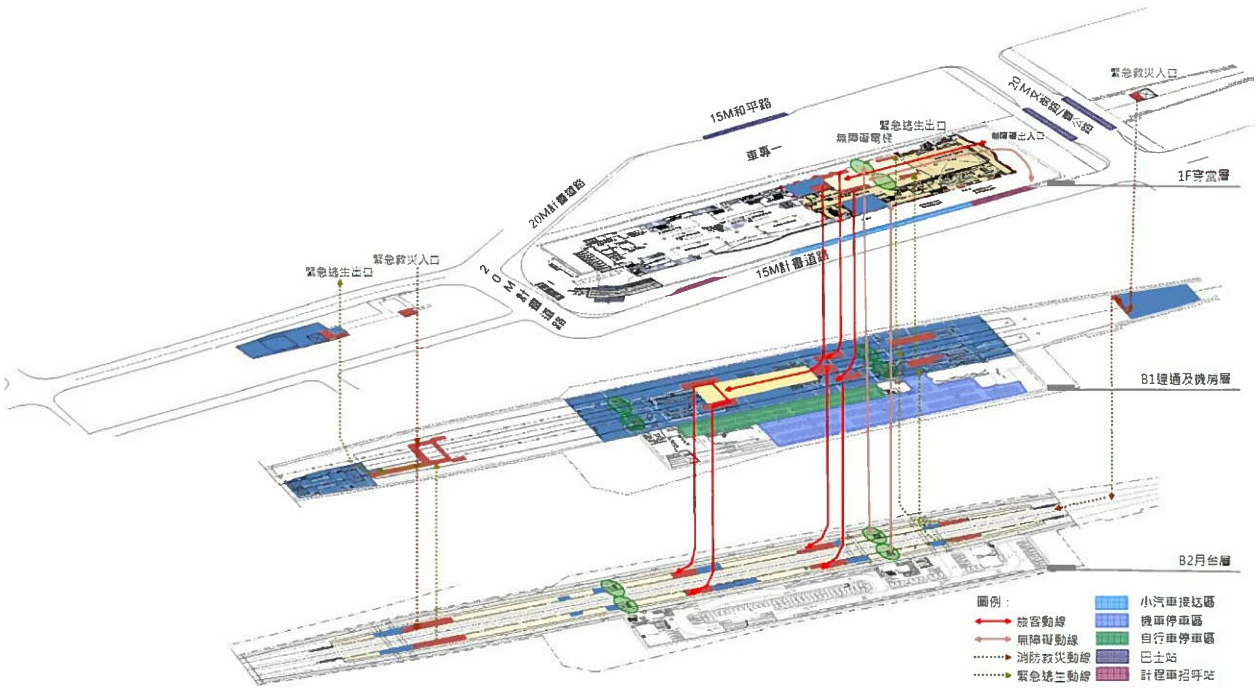


圖14 車站內救災及避難動線示意圖[4]

4.3、地下場站火災危險特性[1]

地下場站之火災案例，從其空間之封閉性探討其火災危險特性如下：

- 1、地下場站平時人潮相當多，尤其是上下班尖峰時間為甚，若發生火災時，人群將頓失方向，變成孤立及焦躁；在莫名恐懼與擁擠情況下，易產生恐慌現象或好奇滯留，影響避難逃生之順利進行。
- 2、因無法直接看到戶外空間，若標示不足，易產生方向、位置辨識困難；停電時因昏暗之故，避難方向不易分辨，而容易產生混亂。
- 3、火災發生時，一般人對地下空間認知不深，月臺層大量人群同時避難，造成垂直避難通道（樓梯、電扶梯）瞬間聚集大量滯留避難人群，影響避難逃生。
- 4、因複雜、曲折的通路及平面配置，導致旅客易迷失方向感。
- 5、空間因屬類似無窗戶之密閉空間，外氣供給受限，火災時因氧氣不足，特別是電纜、電氣類火災等，易因不完全燃燒或悶燒產生大量的濃煙。
- 6、火災時，煙流動方向與避難方向相同，易遭煙追擊；地下場站避難路徑也是煙流竄昇路徑，嚴重威脅滯留人群進入垂直通道時的安全。
- 7、火災發生時，熱氣與煙霧較難迅速排出戶外，因而易流入避難路徑，造成易蓄積有害氣體。
- 8、由於列車位於地下，行走產生的氣流風與地表風之影響，造成氣流的複雜化，甚至加速某些垂直通道向上氣流的流動，嚴重威脅選擇該垂直避難通道的避難人員安全。
- 9、因列車活塞效應所產生之氣流，易使內部氣流複雜化，致有延遲確認發生火源之地點，在狀況不明下，排煙系統如未正確操作，可能造成空間充滿濃煙，不利避難與救災作業。
- 10、滅火行動時，煙會流向供搶救人員使用之樓梯，使得視線遭其遮掩而無法靠近火點。
- 11、若於非公共區無人常駐的地點發生火災，火災的狀況不易掌握。
- 12、因燻燒的火災狀態可能產生大量濃煙及有毒氣體，易造成人員有缺氧的可能性。
- 13、管道間防火區劃不完全，則有延燒擴大之危險性，煙霧擴散之危險性，而

複合式車站建築共用設施多(如管道間、機房、通道)、營運單位多、介面複雜易互相影響，事故發生時不易迅速釐清事故位置。

- 14、事故發生時，風機如未即時正常運轉，將影響煙霧控制能力，造成濃煙擴散，不利人員逃生及救災之進行。
- 15、因設施規模空間較大時，消防救災行動之確認火點、人命搜救、避難引導、滅火行動等等，皆有其困難性。

4.4、通報與連繫配合事項：

若列車於地下隧道或地下場站發生火災，營運單位通報與連繫消防單位時，應配合事項至少包含：

1、救災人員抵達現場前：

- (一)營運單位應將著火地點(含火災種類、列車起火位置及停靠位置)、初步災害情形、有無人員傷亡、所屬街名及鄰近入口等扼要資料立即通報消防及救護單位。
- (二)消防人員與鐵路警察單位馳赴現場救災前，應與獲通報之車站明確洽商進入現場之入口及初步瞭解災害情形、救災動線，且儘量避免與旅客疏散方向衝突。

2、救災人員抵達車站時：

- (一)營運單位應將著火地點(含火災種類、列車起火位置及停靠位置)、現況災害情形、防災中心資訊及急需救護等扼要資料說明。
- (二)營運單位應派員引導消防人員至事故地點及防災中心(或行車室)，說明相關救災動線、消防設備及緊急升降機設置情形等扼要資料說明。
- (三)營運單位應安排維保相關人員，會同消防單位協助配合相關救災事宜。
- (四)營運單位現場指揮人員應對消防指揮人員說明現場是否已斷電，並辦理接地及路線封鎖情形，以利消防人員研判是否可實施灌救，及至隧道層救災之可行性。
- (五)因災害所致，造成月台層能見度不佳時，營運單位現場指揮人員應提醒

消防指揮人員，搶救時應注意月台層與軌道層間高差之問題，避免救災人員不慎跌落至軌道層。

(六)營運單位現場指揮人員應對消防指揮人員說明隧道通風系統是否已開啟及開啟模式，排煙路徑應管制，不要有人員進入。

(七)若屬列車火災，消防人員必須進入列車內救災時，營運單位現場指揮人員應提醒月台層月台與列車間隙，及列車踏板與月台間高差問題，請參閱圖 15~16。



圖 15 月台層月台與列車間隙



圖 16 月台層列車踏板與月台高差

五、車站設施與救災配合事項

假如列車於都會區隧道內發生火災，而消防單位出動至抵達車站所需時間約5分鐘，加上抵達現場後災害情資蒐集之時間約1~2分鐘、由各路徑進入站體於月台層成立前進指揮站所需時間約為6~13分鐘、隧道口步行推進600公尺隧道內約10~12分鐘，合計抵達隧道事故地點所需時間約22至32分鐘[1]；如隧道內事故列車尚有動力可繼續行駛至地下場站進行旅客疏散，消防單位抵達車站事故地點所需時間約9至12分鐘。此一時間計算係假設消防救援路徑未受群眾避難行為所干擾；救援路徑未受濃煙侵襲、能見度良好；救援人員未受惡劣環境影響等限制因素下獲得之樂觀時間，雖相關報告評估所需時間稍有差異，但消防單位抵達車站事故地點所需估算時間，與3.3案例1相較大致相符。因此，若於隧道段內發生火災時，當消防人員推進至起火事故現場，火災規模與成長可能已到最盛期並擴大蔓延階段，若可透過車站即時協助救災，資訊較充裕下，

救災相關成效自然可大幅提高。

目前營運中鐵路地下場站僅大臺北地區，不像捷運系統普及，消防單位搶救鐵路地下場站火災標準作業程序，可參閱搶救捷運火災標準作業程序，如圖17所示。

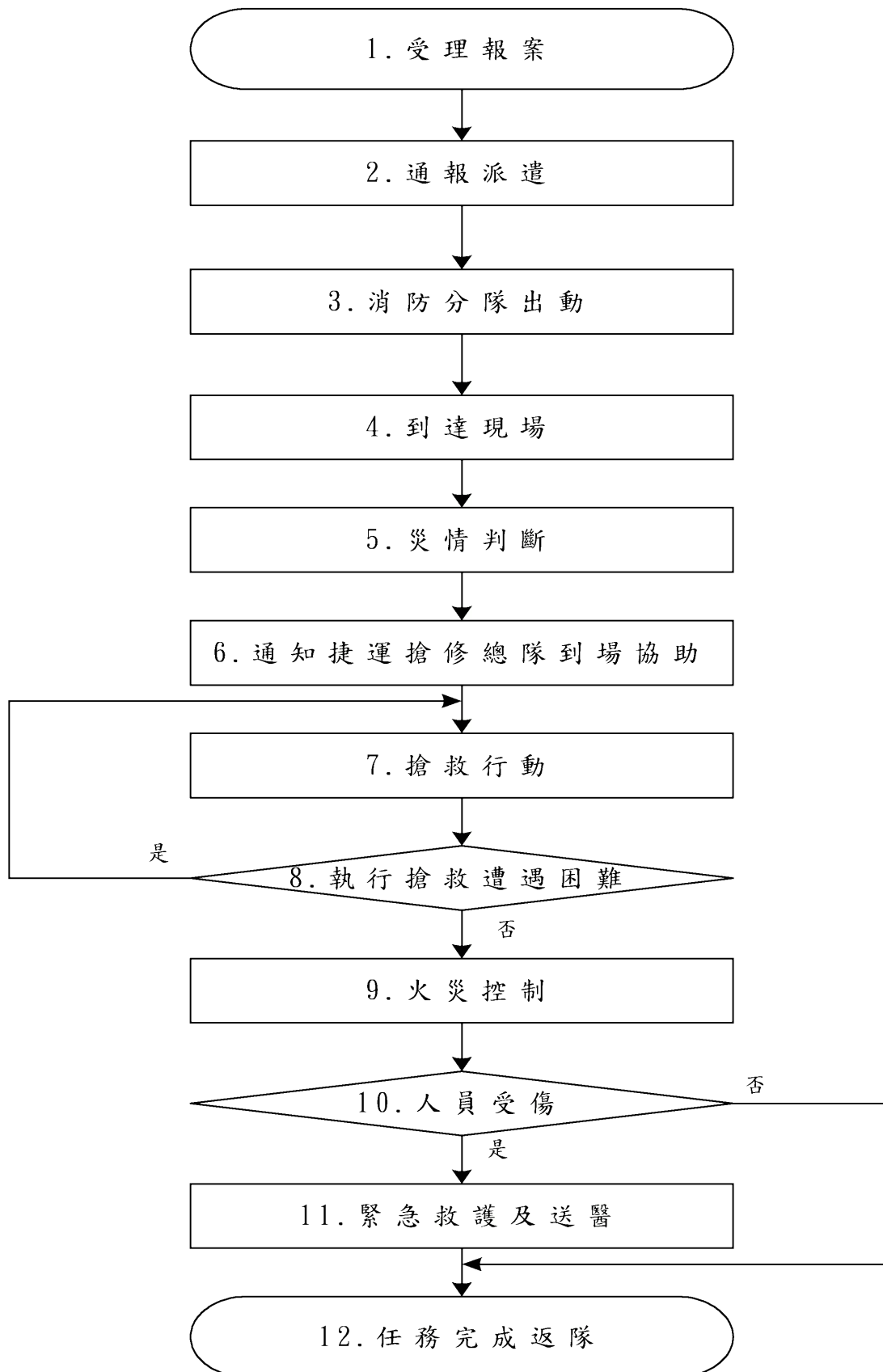


圖17 搶救捷運火災標準作業程序[1]

而營運單位對現場救災與救護需配合及提醒事項：

- 一、發生火災之列車，列車門若必須從外部打開時，營運單位應指導消防人員操作及必要之防護。
- 二、消防人員進入災害現場，營運單位應說明人員受困情形，優先救出受困民眾，若乘客受困，有傷亡無法立即救出時，應協助安排動線順暢之救護路線。
- 三、消防人員搜救時依災害狀況搜索月台層、管道間、車站辦公室、機房與附屬設施、廁所及列車等等；車站防災中心管理人員應與消防單位，緊密連繫提供即時資訊。
- 四、消防人員救災時，若需使用站內相關消防設施時，防災中心及維修保養人員應主動協助辦理，且須與防災中心緊密連繫取得即時資訊。
- 五、若消防救災與救護人員需到軌道層，或拉水線至起火列車實施灌救時，車站應事先告知電車線是否已斷電接地，及說明路線封鎖狀況，以維救災與救護人員安全。
- 六、消防人員實施灌救時，若須進行車站內斷電，防災中心人員及維保人員應協助辦理，斷電以局部及一般迴路為主，緊急迴路乃提供消防設施使用之電力，非必要時不宜斷電。
- 七、起火列車停靠之臨近軌道，營運單位應協調不要停靠其他列車或置放易燃物品，避免造成延燒事故。
- 八、若屬隧道內發生火災，特別是捷運化後車站與車站間距離較短，事故前後車站應進行人員及列車疏散，避免因煙流過站，影響人員避難安全。
- 九、若月台層能見度不佳時，營運單位現場指揮人員應提醒消防指揮人員注意；搶救時應注意月台層與軌道層間之高度差問題，避免救災人員不慎跌落至軌道層。
- 十、列車火災時，消防人員必須進入列車內救災時，營運單位現場指揮人員應提醒月台層月台與列車間隙，及列車踏板與月台間高差問題。
- 十一、營運單位應說明隧道通風系統是否已開啟，排煙路徑應管制人員進入，隧道內全尺度實驗請參閱圖18，隧道通風口排煙情形請參閱圖19。
- 十二、隧道係整體相通，地下段災害若涉及跨不同縣市消防單位管轄時，營運單位應同時通報兩邊消防單位，互相協助共同救災。

營運單位對現場救災與救護需配合及提醒事項，如圖20示意圖所示。



圖18隧道內全尺度實驗



圖19隧道通風口排煙情形

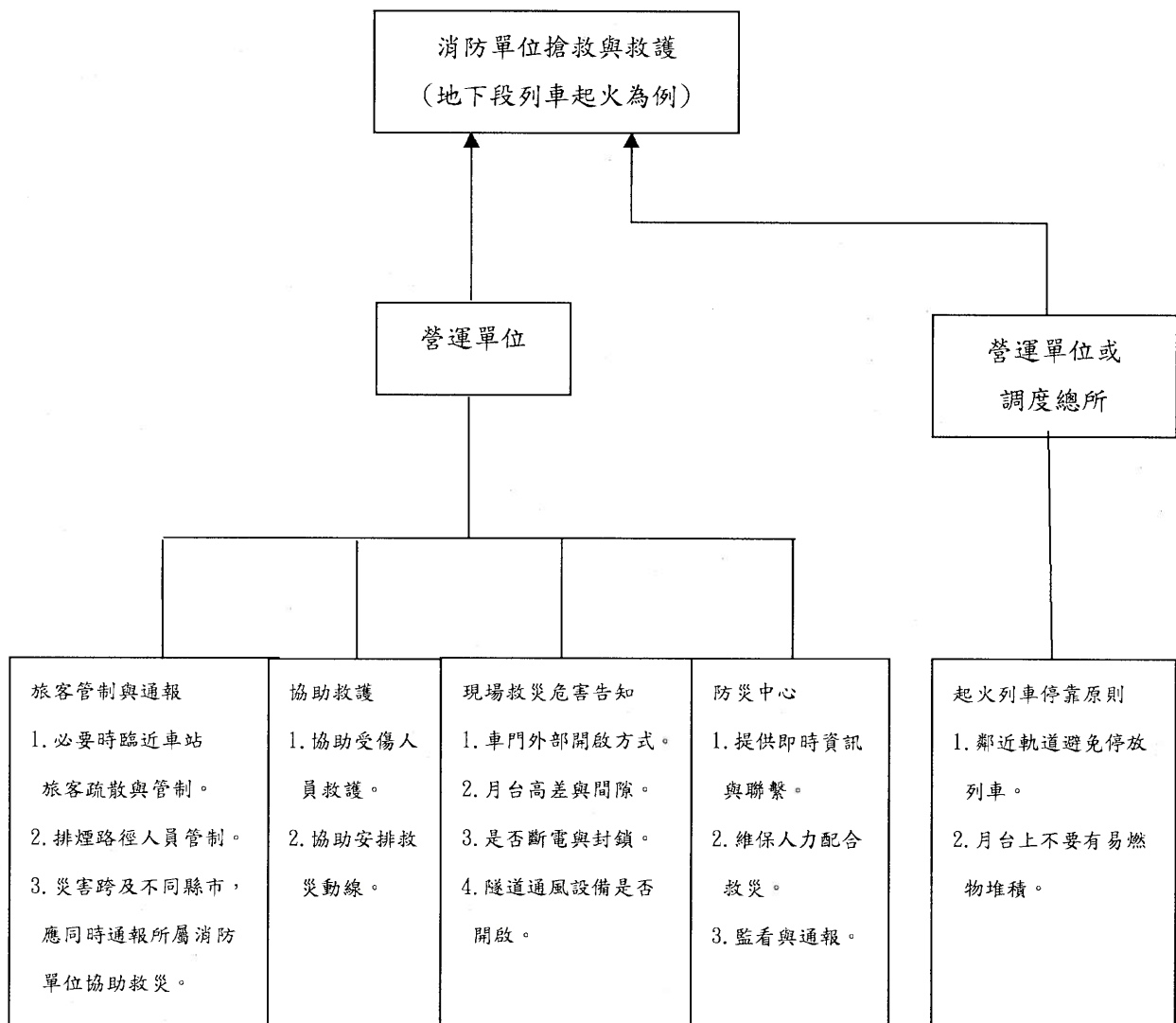


圖 20 營運單位配合救災事項示意圖

六、結論與建議事項

- 一、為加強災害防救相關之縱向指揮、整合及橫向協調、聯繫，以提升整體災害應變能力；定期模擬演習、實地演練及使用共同訓練教材，俾使相關人員了解地下場站特性、共同防護計畫、通報與連繫配合事項、現場救災與救護間配合事項等等，若發生事故時，以期縮短搶救之時間，減少災害之損失，確保生命財產安全。
- 二、鐵路隧道中若發生火災，人員已完成疏散，消防人員進行救災時，可善用既有設置之隧道通風系統，考慮利用隧道風機推拉之特性，開創一條可維生環境之救災路徑，保護救災人員安全，並與防災中心緊密連繫，管制濃煙之排放路徑，是否影響其他車站、列車及人員安全。
- 三、從之前相關火災案例來看，對救災人員而言，防災中心之訊息並未善加使用有些可惜，而營運單位亦應主動提供資訊，以確認災後危機是否解除已達安全環境。
- 四、對救災人員而言，電車線是否已斷電接地及路線封鎖情形，往往是救災人員所共同最擔心的事，畢竟直接影響其自身救災安全，營運單位應主動告知。
- 五、因災害所致，造成月台層能見度不佳時，搶救時應注意月台層與軌道層間之高度差問題，營運單位應主動告知提醒救災人員，避免不慎跌落至軌道層。
- 六、地下段災害若涉及跨不同縣市消防單位管轄時，營運單位應同時通報兩邊消防單位。
- 七、本報告中 4.4 通報與連繫配合事項及五、現場救災與救護需配合及提醒事項，營運單位應主動告知並提醒，讓救災人員更有效率、順暢、安全完成任務。

七、未來發展應用趨勢

拜網路通訊技術創新之賜，環境快速變遷，隨著鐵路無線通訊的發展與效益，無線通訊、網路系統、物聯網及智慧車站應用於軌道運輸事業及防災運用需求將更加殷切，雖下一代鐵路通訊系統 LTE-R，UIC 尚未公告相關規範，但若善利用既設系統整合、研發新一代智慧車站或其它資通系統整合應用，如當事件發生時，第一時間即可同步通知車站相關單位甚至消防單位加速處理時效，可提高防護強度及增加避難時間，將災難降低減

緩，短中期可考慮整合現有應用系統例如：

1. 整合共站單位無線電通訊系統，火災或其他緊急事故時，可立即透過無線電 TETRA 手機同步通報共站單位甚至消防單位。
2. 智慧型攝影機系統警報確認或自動通報後，即時同步通報車站相關單位甚至消防單位及臨近車站。
3. 火警系統結合列車資訊系統，警報確認或自動通報後，即時同步發布車站相關訊息甚至通知消防單位及臨近車站。
4. 長隧道防災、環控或安全門禁系統警報確認或自動通報後，即時同步發布車站相關訊息甚至通知消防單位及臨近車站。
5. 隧道內、月臺或列車發生火災經確認或自動通報後，即時同步啟動相關車站列車到站指示燈，以強化救災及避難安全。

對長期計畫而言，可考慮以下一代鐵路通訊系統 LTE-R 強大系統功能，進行系統機電、營運及安全各方面整合，以符合未來營運發展趨勢。

參考文獻

1. 內政部消防署(2013)，捷運、鐵道及地下場站搶救訓練教材，頁11，頁20-21，頁92-93。
2. 內政部消防署網站(2013.05)，擷取日期：2016年02月，網站：。
3. 法務部全國法規資料庫網站(2014.11)，擷取日期：2016年02月，網站：。
4. 交通部鐵路改建工程局(2014)，鳳山車站防災計畫書。
5. 交通部鐵路改建工程局、交通部鐵路管理局合編(2007)，安全手冊。
6. 臺南市政府消防局網站(2013.09)，高層建築物「防災中心」之值勤人員講習訓練，擷取日期：2016年02月，網站：。
7. 交通部鐵路改建工程局(2010)，南港專案隧道通風竣工資料。
8. 交通部鐵路改建工程局(2010)，南港專案中央監控竣工資料。
9. 交通部鐵路改建工程局(2010)，南港專案松山車站竣工資料。
10. 交通部 (2008)，「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」。
11. 交通部鐵路改建工程局(2015)，「無線電通訊應用於鐵道列車行駛之相關技術、測試程序及標準」出國報告。

12. NFPA 92A(2006) , Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences °
13. NFPA130(2014) , Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems °

政風預防業務專案稽核研析—

以臺北及高雄機廠遷建計畫為例

The Research of Prevention Operations Case Review — Model Based on Relocation and Building Project of Taipei and Kaohsiung Railway Workshop

梁惠儀 Leung, Wai-Yi¹

莊良乾 Juang, Liang-Chyan²

聯絡地址：10041 臺北市中正區北平西路3號

Address : No. 3, Beiping W. Rd., Zhongzheng Dist., Taipei City 10041, Taiwan
(R.O.C)

電話 (Tel) : (02) 23899432 轉 9039

電子信箱 (E-mail) : 0020686@railway.gov.tw

摘要

重大工程採購業務執行須經縝密之規劃設計、發包、簽約、施作、監工、抽查(驗)、驗收、付款、保固等步驟，如因政策性考量、實際施作問題、法令修改、民意反映、使用單位需求等因素影響，適時變更設計、追加減預算或考慮其他變數，在所難免。辦理專案稽核最主要的目的，是要發現制度及執行面的缺失，適時採取必要之導正及防範措施，以發揮積極興利除弊功能，期能有效提昇採購效能，防杜資源與公帑浪費，以構築廉潔優質公務環境。

¹ 臺鐵局 政風室 廉政規劃師

² 臺鐵局 政風室 科長

研究發現規劃設計宜調查使用需避免變更設計、決標金額宜含稅報價減少爭議³、服務費用計算宜訂明契約避免爭議。

關鍵字：專案稽核、政風預防業務、機廠遷建

Abstract

Each government project shall be executed of meticulous planning especially the major project. Every project has many complicated steps such as contracting, investigation, supervisor, checks, inspection, payment and warranty...etc., all the works have to be audit till the project close. And when the project has to be change then we need to modify and re-work every issue all over again of the project.

The most important object of the project-audit is finding the failure and made the corrective and preventive actions. Prevent of corruption and raise the government efficient to save resource and cost for the people. Keep the government rectitude.

Keywords : *Case Review, Prevention Operations, Railway Workshop Relocation*

3 「技服辦法」之規定報價原則上「含稅」，本研究案例「預算金額」及「決標金額」以不含稅方式公告，應留意招標前估算相關價金之合理基礎。另「營業稅」亦須以機關預算支應，招標公告中之「預算金額」不含稅，招標文件相關定義及用詞應仔細斟酌，為減少爭議發生宜先釐清，可參考工程會【訴 92423 號】申訴審議判斷。

一、前言

政風機構於年度初始前，應深入評估機關政風狀況，針對潛存高風險業務優先實施專案稽核，事前應簽報機關首長，並得於機關廉政會報提出，以落實專業分工，強化集體協調、審查功能。最後歸納彙整稽核結果，據以研擬具體改善作法，分析列舉該項業務整體面向運作情形，發掘隱藏的問題或危機，提供業務主管單位參採改進，若有作業違常案件，適時加以處理。以下就專案稽核法令規定與作業流程兩部分說明：

1.1 法令規定⁴

- (1) 政風機構人員設置管理條例第 4 條第 2 款及施行細則第 5 條第 3 款。
- (2) 國家廉政建設行動方案「加強肅貪防貪」之具體作為。

1.2 作業流程⁵

執行專案稽核應事前做好充分的準備工作，如確定稽核目的、範圍、項目，擬定稽核計畫，成立稽核小組，召開準備會議，請相關業務單位參加，研議細部稽核工作，並實施專案稽核會議與召開稽核檢討策進會議等；藉此檢視有無依法規或與機關行政流程可能發生弊端之關鍵，已發現潛藏危機或風險因子，研擬風險防範措施，提供業管單位參考改進，辦理專案稽核作業流程如圖 1. 辦理專案稽核作業流程圖。

⁴ 引自法務部廉政署(2015)，廉政工作手冊，臺北市：編者，頁 422。

⁵ 同上註引自第 433 頁。

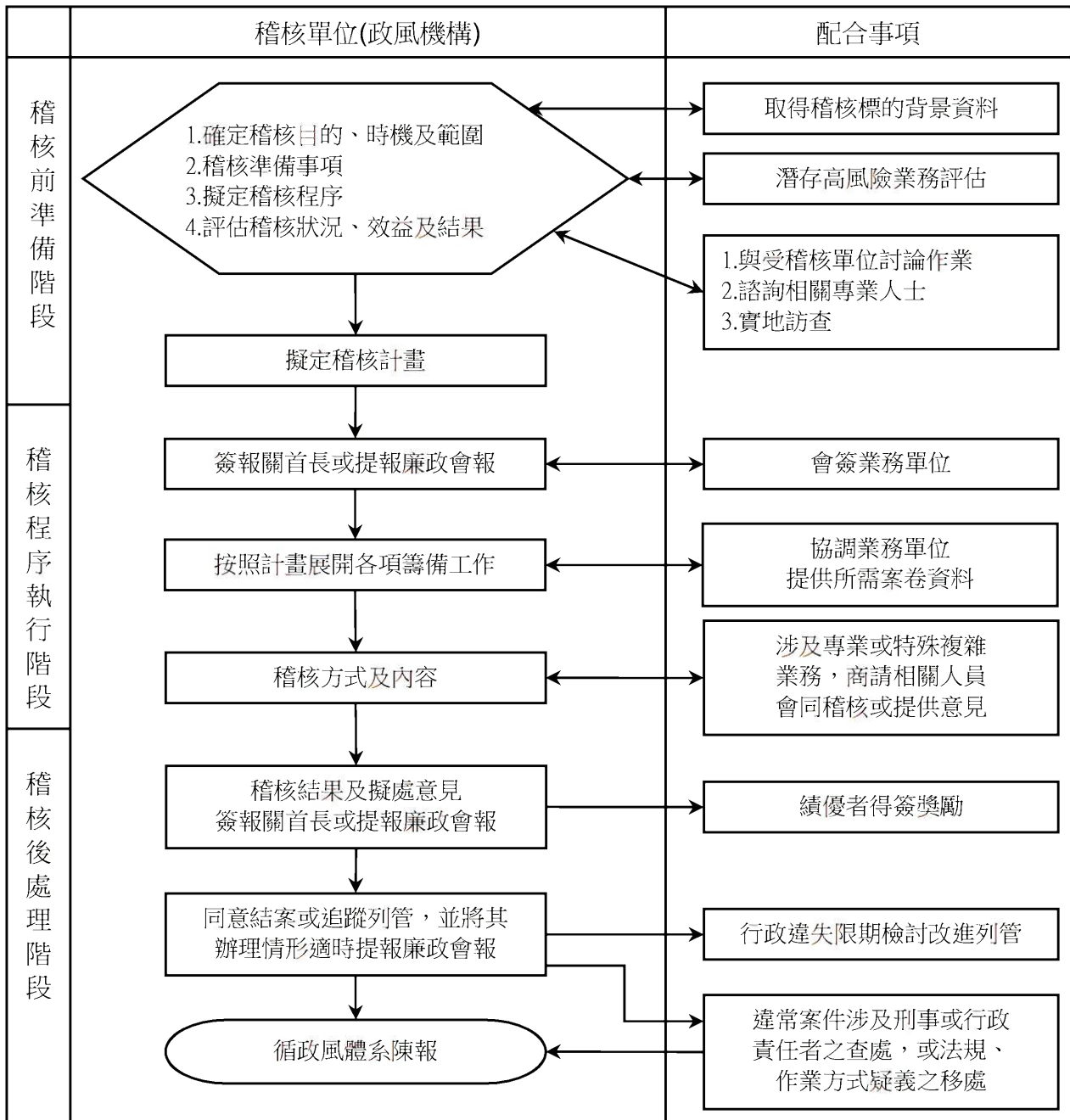


圖 1 辦理專案稽核作業流程圖

資料來源：法務部廉政署（2015:433）附件 3-4-1 辦理專案稽核作業流程圖

二、專案稽核

以下針對專案稽核業務之基本原則、稽核時機與稽核內容、稽核方式、稽核項目與稽核結果處理⁶等五部分說明：

2.1 基本原則

- (1) 政風機構應配合政府機關、公立學校及公營事業機構辦理專案稽核，藉由齊一之工作觀念與做法，協助機關建構優質的公務環境，以端正政風，促進廉能政治。
- (2) 政風人員執行稽核作業，應秉持「不干預業務單位權責」之原則辦理，並注意操守，公正行使職權，不得違反「廉政人員守則」相關規定。
- (3) 稽核人員應深入瞭解業務法令、作業流程可能發生弊端之關鍵，其有涉及專業或特定業務職掌者，得先諮詢相關專業人員或會同稽核，並參酌其他專業單位之意見，視需要納入報告或列為附件，必要時並應與業務單位召開會議研商、辦理政風座談會、民意訪查、問卷調查等，並將結果納入稽核報告。
- (4) 執行稽核工作時，應對潛在風險業務保持警覺，並掌握可能涉有公帑損失、浪費等不法或不當情事；稽核結果發現重大違失或機關有重大損害之虞時，應立即簽報機關首長處理；稽核資訊涉及隱私、機密、不法或不當之行為，不宜揭露予所有報告收受者時，得另單獨做成報告揭露。
- (5) 專案稽核單位應建立追蹤管考制度，確實辦理追蹤考核。

⁶ 專案稽核業務之基本原則、稽核時機與稽核內容、稽核方式、稽核項目與稽核結果處理，同上註，引自第 422 頁至 432 頁。

2.2 稽核時機與稽核內容

稽核時機依相關規定辦理或其他有稽核之必要者；稽核內容應有助於機關內控及防弊之事項。

2.3 稽核方式

稽核方式包含調閱文卷資料查核、電腦稽查、實地（物）查驗、諮詢訪談、召開稽核會議等。

2.4 稽核項目

政風機構推動專案稽核，得參考下列項目辦理：

- (1) 政風機構應針對機關潛存高風險業務。
- (2) 協調或會同機關業務單位辦理高風險業務稽核。
- (3) 一般行政業務：如財產、物品（料）、庫房、車輛、油料、出納等管理業務，得結合業管單位，辦理稽核。

2.5 稽核結果處理

稽核結果應製作書面紀錄，並依下列程序處理：

- (1) 發現績優情事者，得簽報行政獎勵。
- (2) 發現貪瀆不法情事，應依查處作業規定辦理。
- (3) 發現缺失情事，應簽報機關首長，檢討責任，並移請相關單位檢討改進或參處，同時予以列管，作為下次稽核重點。
- (4) 未發現缺失者，應記錄備查及簽報結案；如有稽核優點者，得轉發其他單位比照參處。
- (5) 發現現行法規或作業方式有疑義或窒礙難行之處，應簽報移請權責單位或機關處理。

三、機廠遷建計畫稽核案

臺鐵局各機廠⁷之設立目的係為辦理機、客、內燃車及貨物車輛之修理、製造事項，依據機關年度政風工作計畫辦理專案稽核，鑑於稽核業務內容之專業，為求審慎另聘請外界專家學者，與商請機關專業人員會同稽核並提供意見，以下就交通部臺灣鐵路管理局於 103 年及 104 年稽核臺北機廠⁸及高雄機廠⁹，相關之稽核結果，摘述如下：

3.1 103 年度臺北機廠遷建專案稽核案例說明

103 年度專案稽核標的為「臺北機廠遷建建設計畫-富岡基地(CL321-2 標機務段第一期工程)暨臺鐵捷運後續計畫」規劃設計之採購及履約管理程序，本案工程得標廠商以 23 億 4,136 萬 5,000 元得標，標比為 86.56%，屬機關重大工程建設項目之一。

3.1.1 稽核緣由

鑑於同處富岡基地之另一部分標的，涉因於規劃設計未符合使用需求情事，完工後，仍有多項不符實際需求、影響作業安全之待改善缺失。而本案工程履約過程中，亦發生有使用單位反映部分工項設計未符其實際需求之類似情況，致有工程經費追加、契約變更之情事，為適時勾稽問題發生之原因，防杜履約弊端及浪費公帑等違失態樣，策進刻正辦理及未來各項工程採購之規劃設計效益，爰規劃對工程有關「規劃及變更設計」程序，進行業務專案稽核，期能有效發掘現行制度及執行面缺失，適時提供建議，以興利防弊之角度協助機關遷建順利。

⁷ 臺灣鐵路管理局各機廠於 93 年 6 月 9 日依總統華總一義字第 09300107311 號令制定公布「交通部臺灣鐵路管理局各機廠組織通則」所設立，依據該局組織條例第 16 條規定制定，並設置臺北、高雄、花蓮機廠，參照組織通則第 1 條及第 2 條之規定。

⁸ 台北機廠前於 52 年 2 月 12 日依據臺灣省政府（52）府人丙字第 83387 號令訂定發布「臺灣鐵路管理局台北機廠組織規程」89 年 4 月 17 日臺灣省政府（89）府人一字第 15702 號令廢止。另依註 6 內述之「交通部臺灣鐵路管理局各機廠組織通則」設立，另依據台鐵局 95 年 4 月 18 日交通部臺灣鐵路管理局鐵人一字第 0950008517 號令訂定發布「交通部臺灣鐵路管理局臺北機廠辦事細則」全文 31 條；並自發布日施行。

⁹ 高雄機廠同前註令訂定發布「交通部臺灣鐵路管理局高雄機廠辦事細則」全文 22 條；並自發布日施行。

3.1.2 稽核發現

本案稽核分別以本工程規劃設計及內部設計審議程序、因規劃設計問題、成果審查衍生之改善管理作業、變更設計程序及執行單位遭遇問題等要項，逐一檢視勾稽，彙整稽核發現列要如下：

- (1) 業務執行單位組織權能及權責未能相符，影響其運作協調性及履約管理效能。
- (2) 變更設計程序未能有效掌控時效，且變更設計項目未能完全兼顧使用實際需求、採購經濟及效益，以降低機關經費支出及衍生損害。
- (3) 部分變更設計項目價格編列未能精確估算、單價未依合理市價覈實編列。
- (4) 監造廠商與設計廠商分屬不同顧問公司，相互推諉，其中設計廠商配合度差、專業性不夠、設計有所疏漏、變更設計拖延，多次要求改進成效不彰。
- (5) 業務執行單位為臨編單位，正式人員均為各處室支援，各組室人員不多，大多為約聘人員及臨時人員補充，且約聘人員多以非專業或技術人員為主，故平均素質不高，惟以其人力結構執行數十億之工程其督導與管理能力易不足；加上人員更迭頻繁，易造成移交不清或疏漏之情事發生。

3.1.3 稽核建議與效益

(1) 臺北機廠遷建專案稽核建議

臺北機廠遷建專案稽核建議條列如下：

- a. 規劃設計及內部設計審議程序部分工項應確實採納使用單位設計意見；使用單位也應確實參與表達使用需求，或設計是否適用合宜，並有所紀錄。
- b. 變更設計程序規範遵循、執行單位權責劃分及協調執行應予檢討策進。
- c. 應有明確之權責分工，且對於不良廠商應有嚴謹之懲罰措施以危機關之權益、具體勾稽變更設計程序若干違失情形，提請機關覈實究責及追償。

(2) 臺北機廠遷建專案稽核效益

本案稽核結果經策進檢討，除檢討非必要變更設計及節省相對預

算追加，有效節省支出之經費達 4,700 萬元以上，尚符合本次專案稽核效益有關節省公帑、減少無謂浪費，提昇本局工程採購效能及效率之預期目標。

稽核結果所提興革建議，已有效提供機關改善稽核相關缺失，稽核報告也提供各單位參考，提醒並防範類似情形發生，有效提升機關工程品質。

3.2 104 年度高雄機廠遷建專案稽核案例說明

104 年度專案稽核標的為「高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫-委託工程設計技術服務（含施工監造）」規劃設計階段，預算金額約為 3 億 7,245 萬 8,364 元，總工程經費約為 129.7 億元，與前案同屬機關重大工程建設項目之一。

3.2.1 稽核緣由

前因執行「臺北機廠遷建工程」專案稽核之部分標的曾發生多項不符實際需求、影響作業安全之待改善缺失。而工程履約過程中，亦發生有使用單位反映部分工項設計未符其實際需求之類似情況，需待履約執行單位檢討改善。另交通部鐵路改建工程局（以下稱鐵工局）於民國 94 年 7 月至 105 年 6 月期間辦理「臺鐵高雄-屏東潮州捷運化建設計畫」，規劃過程反覆，致原設計成果廢棄，浪費公帑高達 1 億 6 千餘萬元，又計畫經重大修正，惟未及時重新辦理環評，延宕整體計畫執行進度，民國 101 年經審計部調查後陳報監察院，民國 102 年業由監察院糾正行政院、交通部及所屬鐵工局。

鑑此，為預防前述違常情事與缺失發生，防杜因規劃設計疑義而滋生履約弊端及浪費公帑等違失態樣，適時檢討可歸責於規劃設計廠商之相關責任，策進機關刻正辦理及未來各項工程採購之規劃設計效益，爰規劃對本案稽核標的工程「規劃設計」階段程序，進行業務專案稽核，期能發揮即時導正功效。

3.2.2 稽核發現

本案經調閱相關卷資，並召開專案稽核會議，彙整稽核發現列要如下：

- (1) 決標金額不含稅與契約金額含稅不一致。
- (2) 履約保證金收取投標須知與契約規定互有矛盾情形。
- (3) 服務費用決標紀錄為「採固定服務費用」與技術服務契約採「建造費用百分比法」不相符，且給付方式是以合併計算或依各標核計尚缺明確。

- (4) 契約關於監造專業人力分派未臻明確。
- (5) 智慧財產權之著作人格權歸屬問題待釐清。
- (6) 設計書圖審查機制待建立
- (7) 明確使用單位需求

3.2.3 稽核建議與效益

(1) 高雄機廠遷建專案稽核建議

高雄機廠遷建專案稽核建議條列如下：

- a. 因應鐵路業務營業特性，採購招標案件以「不含稅」方式作為報價及決標金額，招標文件與契約條文內容規定不符情形，已釐清。
- b. 委託技術服務案件不收取履約保證金，投標須知與契約條款內容應一致，並可考量於廠商特定資格納入「投標廠商資格與特殊或巨額採購認定標準」第五條第一項第三款所列第(一)目至第(三)目之財力證明，已修訂並做成案例宣導。
- c. 技術服務費用採建造百分比法，其給付條件（合併或分標計算）應於契約內明訂清楚。
- d. 監造人力配置及資格應符合「公共工程施工品質管理作業要點」、技術服務契約(含服務建議書)之規定，依工程規模、性質督促監造單位派駐適當人力及各類專業人員，並適時辦理監造業務稽核。

(2) 高雄機廠遷建專案稽核效益

本案稽核結果經策進檢討，釐清計畫相關爭議，達成效益條列如下：

- a. 釐清稅金計價問題並促通盤檢討修正契約規定。
- b. 釐清履約保證金收取爭議並促契約修正增列防範措施。
- c. 釐清服務費用計算方式，避免雙方日後各自解釋之疑慮。

四、結語

前述兩案專案稽核係以客觀公正、興利除弊角度，協助機關檢查及覆核內部控制制度之實施狀況，並適時提供改善建議，以合理確保內部控制制度得以持續有效運作，促使機關達成施政目標。並防杜徇私舞弊、及時檢討改進執行缺失，預防貪瀆不法案件之發生，俾能有效提昇機關廉能形象。

專案稽核不但已警示各相關單位，並督促各單位能積極扮演應有的角色，並落實執行。後續據稽核結果，追蹤後續改善情形，使整個工作團隊均朝如期如質完成的目標努力，提供機關維修車輛同仁良好之維修設備與先進的工作環境、強化車輛維修品質、維護旅客安全，以維稽核制度之公信力，並期望藉由稽核結果與經驗，及考量未來 10 年購車計畫的車輛相關的維修需求及功能，重新打造一座理想的維修基地，同時亦證實本次稽核具良好成效。

參考文獻

1. 交通部臺灣鐵路管理局(2014),「臺北機廠遷建建設計畫-富岡基地(CL321-2標機務段第一期工程)暨臺鐵捷運後續計畫」專案稽核報告。
2. 交通部臺灣鐵路管理局(2015),「高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫-委託工程設計技術服務(含施工監造)」專案稽核報告。
3. 法務部廉政署(2015), 廉政工作手冊。

約稿

1. 為將軌道運輸寶貴的實務經驗及心得紀錄保存，並提供經驗交換及心得交流的平台，以使各項成果得以具體展現，歡迎國內外軌道界人士、學術研究單位及臺鐵局相關人員踴躍投稿。
2. 本資料刊載未曾在國內外其他刊物發表之實務性論著，並以中文或英文撰寫為主。著重軌道業界各單位於營運時或因應特殊事件之資料及處理經驗，並兼顧研究發展未來領域，將寶貴的實務經驗或心得透過本刊物完整記錄保存及分享。來稿若僅有部分內容曾在國內外研討會議發表亦可接受，惟請註明該部分內容佔原著之比例。內容如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全文或一部份或經重新編稿者，惠請提附該委託單位之同意書，並請於文章中加註說明。
3. 來稿請力求精簡，另請提供包括中文與英文摘要各一篇。中、英文摘要除扼要說明主旨、因應作為結果外，並請說明其主要貢獻。
4. 本刊稿件將送請委員評審建議，經查核通過後，即予刊登。
5. 來稿文責由作者自負，且不得侵害他人之著作權，如有涉及抄襲重製或任何侵權情形，悉由作者自負法律責任。
6. 文章定稿刊登前，將請作者先行校對後提送完整稿件及其電腦檔案乙份(請使用 Microsoft Word2003 以上中文版軟體)，以利編輯作業。
7. 所有來稿(函)請逕寄「11244 臺北市北投區公館路 83 號，臺鐵資料編輯委員會」收。電話：02-28916250 轉 213；傳真：02-28919584；E-mail：0245233@railway.gov.tw。

臺鐵資料季刊撰寫格式

- 格式** 自行打印於 B5(18.2 公分*25.7 公分)，使用 Microsoft Word 軟體編排。上、下邊界 2.54 公分；左、右邊界 1.91 公分。中文字體以新細明體，英文字體以 Times New Roman 為原則。
請於首頁輸入題目、作者姓名、服務單位、職稱、聯絡地址、電話及 E-mail。
- 題目** 中文標題標楷體 18 點字粗體，置中對齊，與前段距離 1 列，與後段距離 0.5 列，單行間距。
英文標題 Times New Roman 16 點字粗體，置中對齊，與前段 0 列、後段距離 0.5 列，單行間距。
- 摘要標題** 標楷體 16 點字粗體，置中對齊，前、後段距離 1 列，單行間距。
- 摘要** 標楷體 12 點字，左右縮排各 2 個字元，第一行縮排 2 個字元。與前、後段距離 0.5 列，左右對齊，單行間距
- 關鍵詞** 中英文關鍵詞 3 至 5 組，中文為標楷體 12 點字，英文為 Times New Roman 12 點字斜體。左右縮排各 2 個字元，第一行縮排 2 個字元。與前、後段距離 0.5 列，左右對齊，單行間距。
- 標題 1** 新細明體 16 點字粗體，前、後段距離 1 列，置中對齊，單行間距，以國字數字編號 【一、二】。
- 標題 2** 新細明體 14 點字粗體，前、後段距離 1 列，左右對齊，單行間距，以數字編號 (【1.1、1.2】)。
- 標題 3** 新細明體 12 點字粗體，前、後段距離 0.75 列，左右對齊，單行間距，以數字編號 (1.1.1、1.1.2)
- 內文** 新細明體 12 點字，第一行縮排 2 個字元，前、後段距離為 0.25 列，左右對齊，單行間距，文中數學公式，請依序予以編號如：(1)、(2))
- 圖表標示** 新細明體 12 點字，置中對齊，圖之說明文字置於圖之下方，表之說明文字置於表之上方，並依序以阿拉伯數字編號 (圖 1、圖 2、表 1、表 2)。
- 文獻引用** 引用資料，註明出處來源，以大引號標註參考文獻項次，12 點字，上標

參考文獻

以中文引述者為限，中文列於前、英文列於後，中文按姓氏筆畫，英文按姓氏字母先後排列，左右對齊，前後段距離 0.5 列，單行間距，第一行凸排 2 個字元。如：

1. 王永剛、李楠 (2007)，「機組原因導致事故徵候的預測研究」，中國民航學院學報，第廿五卷第一期，頁25-28。
2. 交通部統計處 (2006)，民用航空國內客運概況分析，擷取日期：2007年7月27日，網站：
3. 交通部臺灣鐵路管理局 (2007)，工程品質管理手冊。
4. 洪怡君、劉祐興、周榮昌、邱靜淑 (2005)，「高速鐵路接駁運具選擇行為之研究—以臺中烏日站為例」，中華民國運輸學會第二十屆學術論文研討會光碟。
5. Duckham, M. and Worboys, M. (2007), Automated Geographical Information Fusion and Ontology Alignment, In Belussi, A. et al. (Eds.), Spatial Data on the Web: Modeling and Management, New York: Springer, pp. 109-132.
6. FHWA (2006), Safety Applications of Intelligent Transportation Systems in Europe and Japan, FHWA-PL-06-001, Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington, D.C.

臺鐵資料季刊論文授權書

本授權書所授權之論文全文與電子檔，為本人撰寫之

論文。

(以下請擇一勾選)

同意 (立即開放)

同意 (一年後開放)，原因是：

同意 (二年後開放)，原因是：

不同意，原因是：

授與臺鐵資料編輯委員會，基於推動讀者間「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟、網路或其它各種方法收錄、重製、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用。

簽名：

中華民國 年 月 日

備註：

1. 本授權書親筆填寫後(電子檔論文可用電腦打字)，請影印裝訂於紙本論文书名頁之次頁，未附本授權書，編輯委員會將不予驗收。
2. 上述同意與不同意之欄位若未勾選，本人同意視同授權立即開放。

臺鐵 資料

季刊 第 358 期

發行人	鹿潔身
編輯者	臺鐵資料季刊編輯委員會
審查者	臺鐵資料季刊審查委員會
主任委員	鹿潔身
副主任委員	何獻霖、鐘清達
總編輯	朱來順
副總編輯	蔣東安
主編	劉嘉倫
編輯	何怡宣
出版者	交通部臺灣鐵路管理局 地址：10041 臺北市北平西路 3 號 電話：02-23899854 網址： http://www.railway.gov.tw
出版日期	中華民國 105 年 9 月
創刊日期	中華民國 52 年 10 月
封面圖片說明	DR2700型柴聯車在新建的太麻里溪橋試運轉
封面圖片攝影者	林志浩
印刷者	文名文具印刷有限公司 地址：206 基隆市七堵區崇禮街 23 號 電話：02-24566075
展售門市	國家書店松江門市 地址：10485 臺北市松江路 209 號 1 樓 電話：02-25180207 網址： http://www.govbooks.com.tw 五南文化廣場 地址：40042 臺中市區中山路 6 號 電話：TEL：(04)22260330 網址： http://www.wunanbooks.com.tw

電子全文登載於臺鐵網站

GPN：2005200020

ISSN：1011-6850

著作財產權人：交通部臺灣鐵路管理局

中華郵政臺字第1776號登記第一類新聞紙類
行政院新聞局出版事業登記局版臺字第1081號

ISSN 1011-6850



9 771011 685005 1

ISSN 1011-6850
定價:新台幣200元