

從全生命週期觀點探討 軌道建設計畫之營運評估

楊正君 交通部鐵道局副局長
黃心怡 交通部鐵道局正工程司
張韶容 交通部鐵道局幫工程司

摘要

在面臨全球暖化與氣候變遷的挑戰下，發展公共運輸、減少私人運具使用為各國政府最重要交通政策，其中又以具安全、大量、準確、低耗能優勢的綠色運具－軌道運輸系統，廣被採用及積極建設。我國前瞻基礎建設所列軌道相關計畫及其他評估或推動中軌道計畫合計多達 58 項，總經費達 2 兆元，顯見軌道建設為我國當前基礎建設的重點。

然而，軌道建設成本高昂，所需營運成本相對高於公路系統，另軌道建設具高度公益特性，票價受管制，不易反映成本，若未能有效管控收支，將導致未來營運風險，故軌道建設計畫於規劃編擬階段以全生命週期觀點審慎納入營運評估更顯重要。

交通部為引導相關辦理機關於事前完善營運評估規劃，已於 2017 年著手修訂軌道建設計畫相關審查要點，並納入永續經營之精神，期藉由事前審慎評估，事後積極落實配套，使軌道建設能永續經營，提供民眾穩定、便捷、安全的大眾運輸系統。

關鍵詞：軌道、前瞻、營運評估、審查要點、永續、全生命週期

壹、前言

在全球暖化與氣候變遷的挑戰下，各國政府為求減碳無不以發展公共運輸、減少私人運具使用為最重要的交通政策，其中又以具備安全、大量、準確、低耗能優勢的綠色運具－軌道運輸系統，廣為全球主要城市採用並積極建設。我國重大交通建設也以軌道建設為最重要的公共投資，除前瞻基礎建設

計畫所列的 38 項軌道相關計畫外，加計其他評估中及推動中的計畫達 58 項，總經費達 2 兆元左右，軌道建設已為政府公共建設重點施政項目。

因軌道系統能源密集度約為汽車的 1/3，機車的 1/2，為減碳的運輸工具，所以被稱為綠色運具，各先進國家交通建設均以軌道系統為優先選擇，也是世界趨勢。臺灣社會

表 1 國內都市軌道建設計畫單位公里建設成本彙整表

單位：億元／公里

系統型式	建造型式	土建成本	機電成本	合計造價
高運量鋼軌鋼輪	地下	39.1	10.9	50.0
中運量鋼軌鋼輪	地下	39.3	15.6	54.9
	高架	20.3	10.0	30.3
中運量膠輪	地下	40.7	16.4	57.1
	高架	15.4	11.4	26.8
輕軌	高架	8.3	5.5	13.8
	平面	4.0	5.4	9.4

註：造價含直接工程成本、間接工程成本及物價調整費

資料來源：交通部運輸研究所（2017），都市軌道運輸系統型式發展之研究

近年來已少子化及高齡化，軌道系統具備安全、便捷、友善之特性，交通部致力推動以軌道運輸系統擔負全國骨幹運輸的角色，由高鐵主司城際長程運輸，高鐵與臺鐵合作分工中程運輸，都會區域內則以臺鐵、捷運及輕軌系統為主，同時強化軌道與公路系統的整合與分工，打造全島軌道系統成為友善無縫、安全可靠、永續營運及具有觀光魅力的交通建設計畫。

軌道系統建造及營運成本龐大，以捷運而言，高運量系統建造成本每公里約 50 億元，即使是平面輕軌系統每公里也約需 10 億元左右（如表 1），運用軌道連結區域交通，動輒需數百億元之投入，完工後軌道的經營包括用人、維護檢修、汰舊重置、租金利息、折舊攤提等費用，營運成本支出繁重。此外，因營運階段主要收入為票箱收入，惟軌道具公共財特性，票價常受政策管制無法反映營運成本，若運量不如預期或面臨市場變化（如增加同路廊競爭者），或票價難以反映經營

成本時，由於兼負大眾運輸責任，恐處長期虧損狀態，並造成政府財政負擔。

以國內主要軌道系統經營情形來看，臺鐵部分若僅就其本業營運收支觀之，至 105 年度已轉虧為盈，惟臺鐵路線及車輛設備的汰舊換新並未列入營運成本，而係以公務預算支應，致長期處於虧損狀態；台灣高鐵係依獎參條例訂定費率，稅前息前折舊及攤銷前利益（EBITA）約 80%，經政府協助 2 次財務改善後，近年轉虧為盈獲利良好，惟後續鉅額汰舊換新之資本支出尚待觀察；臺北捷運每日運量達 200 萬人次，維持穩定獲利，惟若僅就其本業來看仍有虧損，需靠業外收益挹注；至於其他近年興建且規模相對較小的捷運系統，是否能有臺北捷運的營運績效表現，則需再觀察。

整體而言，軌道系統確為交通建設及發展大眾運輸的重要選項，雖然其建造及營運成本較高，在計畫編擬階段即應以全生命週期觀點

審慎評估其運量預測、系統型式、運轉計畫、轉乘接駁、場站開發、TOD 發展規劃及財務計畫等項目，始能建造出符合國人交通需求、帶動都市發展、永續經營的軌道系統。

貳、軌道建設系統永續經營須經事前完整營運評估

交通部為大眾捷運及鐵路的主管機關，負責軌道建設計畫審查（計畫核定權為行政院），計畫審查時，除需考量計畫的必要性、工程可行性、用地取得可行性、地方財政狀況外，該興建計畫未來可否永續經營，未來是否可能成為蚊子系統或造成政府長期補貼負擔，更為計畫審查的重要項目，為引導提報計畫的相關機關於事前做好營運評估研析，交通部於 2017 年著手修訂軌道建設計畫相關審查要點，將系統永續經營的精神納入相關條文，並落實審查機制。

軌道建設系統營運要永續，其營運收入必須大於營運成本。影響收入及成本的主要變數—票價、運量、系統維運等，在計畫可行性研究階段時即應將影響營運收入的相關因素納入考量。其中「運量」為未來營運收支估算最重要的依據，合理的運量預測為營運評估研析最重要的基礎。高雄捷運自 2008 年 3 月投入營運，「實際運量」與「預測運量」落差過大，導致高雄捷運公司 2010 年即面臨財務困境，後經與高雄市政府進行財務改善及修約，並輔以各種運量提升措施，始轉虧為盈。可見，對於軌道系統未來運量的掌握，為評估計畫營運成敗重要關鍵。

對於軌道建設系統未來 30 年營運期的運量預測，按過去經驗顯示，常存在相當的

不確定性，因此規劃階段即應給予合理的未來情境假設，才能減少預測與實際的落差。按運輸行為決策過程，可以明白旅次產生者（Trip maker）通常依照他的旅次目的（如工作、就學、購物、娛樂等）及欲前往的目的地，考慮並選擇適當運輸工具及路線，這個決策過程最主要的考慮因素通常是「一般化旅行成本」，包含了整個旅次過程所使用的接駁運具及主要運具的時間成本與費用。由此可知，就及門性較低的軌道系統而言，除需考量系統本身的票價及行車時間外，車站轉乘接駁的便利性更影響未來軌道系統運量多寡的重要因素之一。

此外，過去我們選擇軌道系統的考量，多僅考慮運量需求、環境條件、建設成本及系統技術等要素，而缺乏全生命週期成本及如何透過軌道協助產業在地化，進而減少系統維運成本支出的思維，以致造成後續營運機構承擔較高的維運成本。因此，如何連結將軌道與產業政策一併納入計畫評估，避免一再發生有限的市場規模卻建造多種不同規模的小系統，或營運成本因車隊規模小、機廠重複配置及原廠技術限制，而大幅增加成本的不良發展模式，亦為從全生命週期角度評估軌道系統建設計畫非常重要且必須嚴肅面對的課題。

參、軌道系統建設計畫營運評估要項與說明

交通部已針對捷運及鐵路建設計畫訂定「大眾捷運系統建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」及「鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點」，規

範軌道建設計畫可行性研究及綜合規劃階段的研提內容及審查程序等，至一般鐵路計畫則依「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」規定辦理。前述 2 要點均於 2018 年曾進行大幅度的修正。主要規定如下：

一、捷運建設

- (一) 地方主管機關辦理可行性研究前，應先完成大眾捷運系統整體路網評估計畫報告書送交通部審議

為避免地方政府個別辦理捷運計畫，未能整合考量整體資源運用，交通部要求地方

政府應先辦理捷運整體路網評估（如新北市整體路網圖，圖 1），將系統單純化、資源整合運用、減少機廠用地需求、預留路線間轉乘空間等，以降低工程界面、建設成本及後續營運維護成本，並預作系統間轉乘規劃，提升民眾搭乘意願，以增加運量及營收。

(二) 可行性研究及綜合規劃報告重要項目及審查重點

- 1、合理的運量預測參數設定

可行性研究及綜規報告書必須說明運量需求預測方法及模式、旅次分布、運具選擇、



圖 1 新北市整體路網圖

資料來源：新北市政府捷運工程局

表 2 損益平衡運量密度門檻參考值

運量密度 (人 / 公里)	高運量捷運 (Metro)	中運量捷運 (AGT/Monorail)	輕軌運輸
運量密度門檻	9,000	6,000	3,500

資料來源：交通部運輸研究所（2017），都市軌道運輸系統形勢發展之研究

私人運具及大眾運輸的 OD 表、旅次產生率、各情境假設的參數設定值（包括各運具行車、時間及成本等），俾供審查單位檢核其運量預測的合理性。

2、發展符合運量密度之系統

興建完成的系統如遠大於運量需求，營運將成為政府財政負擔，實非納稅人所樂見。因此，交通部運輸研究所於 2017 年辦理都市軌道運輸系統形勢發展的研究，蒐集臺北捷運與高雄捷運實際營運資料，分析不同形式捷運系統的營運收入、支出平衡時的運量密度，作為國內推動軌道建設計畫參考，分析結果損益平衡的運量密度（如表 2）。

高運量系統 (Metro) 要達到營運收支平衡，每日每公里運量至少必須達 9,000 人次，中運量系統 (AGT / Monorail) 為每日 6,000 人次 / 公里，輕軌則為每日 3,500 人次 / 公里。另該研究建議以都會區人口現況及公共運輸使用率來評估是否有推動捷運建設的潛力，其方法是將路廊兩側 500 或 800 公尺範圍現況活動人口數 X 旅次產生率 X 現況公共運輸使用率 / 路線長度 (公里)，倘此數值未達到前述運量密度門檻的 1 / 2，表示推動時機尚未成熟。

交通部 2018 年 2 月頒布的捷運審查要點已將前述運量密度門檻作為審查檢核參考值，

請地方政府應提出營運目標年的運量密度及現況路廊的平均公共運輸量。如現況路廊的平均公共運輸量未達推動時機（營運收支平衡運量密度值 1 / 2），表示未來營運財務風險高，須說明該路廊運量提升的配套措施。

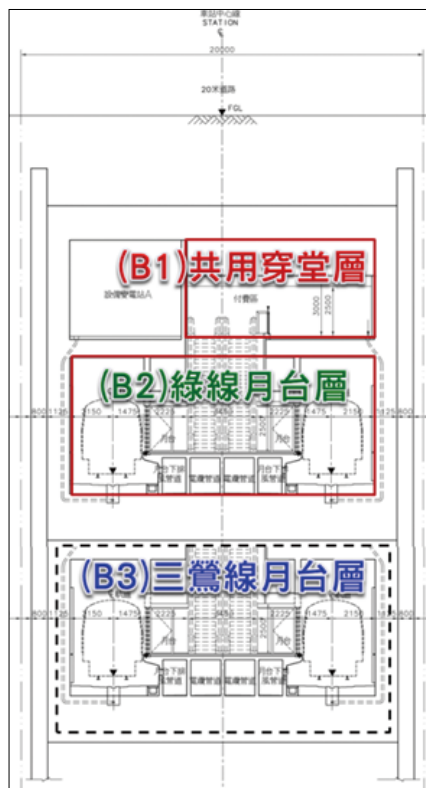


圖 2 三鶯延伸線與桃園綠線轉乘規劃

資料來源：桃園市政府（2019），臺北都會區大眾捷運系統三鶯線延伸桃園八德段可行性研究簡報資料



圖 3 TOD 大眾運輸導向的都市發展規劃示意

資料來源：聯合國 ITDP TOD 評估標準 3.0 版

3、轉乘規劃及公共運輸整合

由於軌道系統及門性不若私人運具，為吸引私人運具轉搭乘大眾運輸，便利之轉乘及接駁為第一要務。因此要點要求地方政府需提供車站與各運具間的轉乘方式、動線規劃（圖面說明）、轉乘服務（含設施、票證整合）構想等，並應說明公共運輸間的整合規劃。

以新北捷運三鶯線延伸八德為例，該路線規劃與桃園綠線銜接轉乘，考量高程後，將桃園綠線之車站設於地下 2 層，三鶯延伸之車站設於地下 3 層，2 者可直接於站內短距離的轉乘（如圖 2），而目前綠線施工即預留三鶯線共線段結構，銜接介面處設置可拆除式連續壁的方式處理，此也是本次要點所強調整體路網的重要性，可兼顧民眾轉乘便利性，也可降低工程困難度及整體工程成本。

4、大眾運輸導向的土地發展（TOD）構想

大眾運輸導向型發展（Transit-oriented development, TOD），主要指以大眾運輸樞紐及車站為核心，透過都市計畫與軌道系統場站的整合發展高效能及混合的土地利用，如商業、住宅、辦公等。此外，其都市設計強調行人友善動線與空間並與軌道車站聯結，構造一個以大眾運輸為導向的都市發展模式，不同於傳統以汽車使用為主導的發展模式。

臺灣 TOD 發展較晚，主要方式為增額容積與場站土地開發，仍欠缺軌道系統場站周邊混合的土地利用及友善的人行動線空間設計，以至無法將軌道建設與都市發展的結合效能發展最大效果，本次要點修正，特別將大眾運輸導向的發展構想納入，引導地方政府於捷運規劃階段應整合都市發展及更新，

將捷運作為地方發展廊帶，使周邊居民更容易並頻繁的使用大眾運輸系統。

5、運量培養

高雄捷運的實際運量與預估運量的落差原因，前經高雄市政府檢討，顯示關鍵在於社經發展不如預期，其中最大落差在產業人口及大眾運輸市占率嚴重不如預期（僅預測情境的 44%），大眾運輸使用不彰的原因則為機車數量增加 1.5 倍，以及未落實預測情境中設定的市區機汽車停車收費政策。

捷運建設應於興建階段即應持續導入政策，引導土地使用發展及運具使用行為改變，以逐步培養運量。故要求可行性研究階段需提出運量培養相關配套措施，包括交通管理配合手段、大眾運輸增闢與調整、智慧資訊整合、轉乘優惠措施、票證整合措施等，並須提出具體推動期程及績效指標，於後續綜合規劃階段再據以檢視。如綜合規劃階段仍未達成短期績效指標，則須再提出後續改善作為。

6、從全生命週期成本觀點選擇系統

以全生命週期成本角度考量都會區內資源整合運用方式，及國內關聯產業可自製之比率等，綜合評估研析系統型式，簡化系統型式、減少機廠用地需求、預留路線間轉乘空間等，以降低工程界面、建設成本及後續營運維護成本。

7、健全可行的財務計畫

- (1) 訂定自償率門檻及自償率越高中央補助越高的原則

由於各縣（市）財政條件不一，針對不同財政級次的地方政府賦予不同程度的門檻標準，避免齊頭式標準，反而形成不公平對待。另過去自償率與補助比例間無明確關連性，僅依「中央對直轄市及縣（市）政府補助辦法」之規定，對不同財力級次的地方政府給予補助，缺乏激勵地方進行財政努力的誘因，捷運審查要點則將自償率越高者中央補助非自償建設經費的比例越高的原則納入，以鼓勵地方政府提送具一定效益的計畫，且透過積極作為，對周邊進行土地開發，並將相關外部效益納入挹注捷運建設。

- (2) 經營比應大於 1

評估系統營運每年度的營運狀況，應大於 1；若為既有系統延伸線，則經營比應包括該延伸線的個別經營比，以及該路線加入整體路網後，對整體捷運系統經營比之影響（經營比計算僅考慮營運期營運成本及重置成本，硬體資本投入則視為沉沒成本）。

- (3) 確保整體路網邊際收益大於邊際成本

分析新增路線加入對營運機構的整體捷運路網營運財務效益初步分析（不含外部效益），且確保邊際收益大於邊際成本。

- (4) 提出地方財源籌措分析

包含成立基金或專戶的經費來源、運用方式，計畫執行期間，地方債務舉借情形及自籌財源能力分析，俾確保計畫執行期間，地方財源籌措無虞。

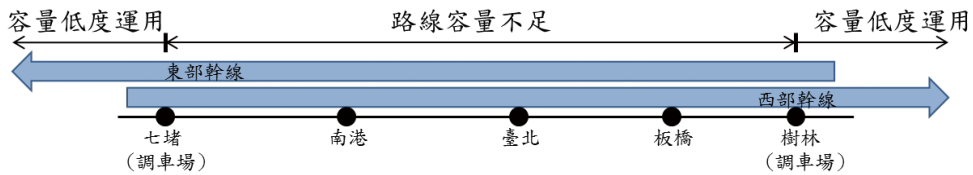


圖 4 鐵路立體化基地遷移影響鐵路容量說明

資料來源：作者自繪

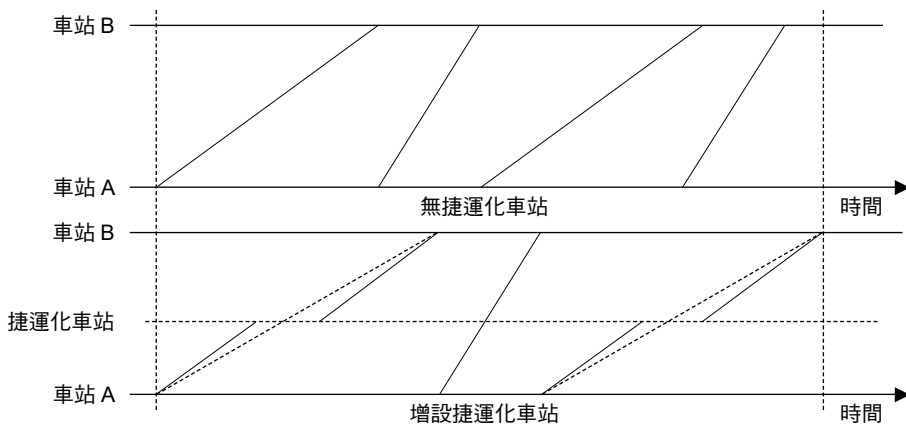


圖 5 臺鐵增設捷運化車站對軌道容量的影響

資料來源：交通部鐵路改建工程局

二、鐵路建設

目前國內執行中的鐵路建設，大致分為鐵路網改善及鐵路立體化 2 類，前者是就營運現況不符需求或為提高服務水準而進行調整，而鐵路立體化建設則係都市發展或道路交通及環境改善的需要而推動，然而鐵路立體化後確可能影響臺鐵現有運轉效能或行車調度能力，且通常會涉及維修基地的遷移。

以臺北市區鐵路地下化案為例，原有臺鐵路客運調車場遷至南港（後又遷至七堵）及板橋（後遷移至樹林），分別供西部幹線

及東部幹線使用，即造成兩調車場間路線需同時服務東部及西部幹線，形成路線重疊區間而成為運轉瓶頸路段（詳圖 4 所示）。

另外，地方政府為擴大鐵路服務範圍，常於推動鐵路立體化建設同時於市區增設通勤車站，經統計其所增加的運量以相鄰 2 站轉移的旅客居多，新增旅次相對有限，對於票收貢獻有限，卻需負擔新增車站的營運維修及人力成本；另經分析每增加 1 通勤車站將使路線容量折減 8%，鐵路行車時間也增加 2 分鐘，導致臺鐵競爭力下降（詳圖 5），進而流失旅次。

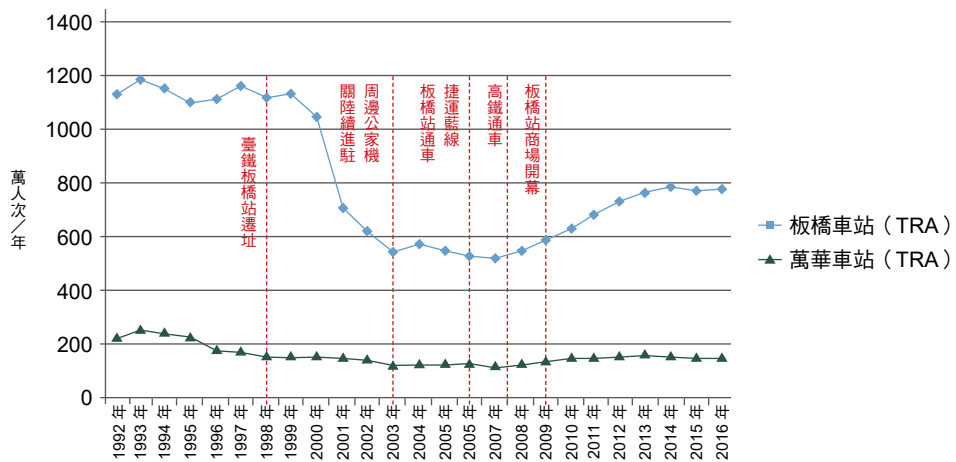


圖 6 板橋站旅客成長趨勢圖

資料來源：作者自繪

交通部為審議地方政府提出的鐵路立體化建設計畫，基於前述臺鐵營運衝擊經驗，於 2018 年 2 月 21 日修正「鐵路平交道與環境改善建設及周邊土地開發計畫審查作業要點」，要求地方政府將鐵路營運機構衝擊分析納入考量，且相關內容均須經過臺鐵局確認並同意，簡要說明如次：

(一) 鐵路營運衝擊分析及解決措施

在通盤考量鐵路營運機構現有設備及人力下，鐵路立體化計畫須根據旅運需求，提出合理之鐵路營運及行車計畫建議以及鐵路設施配置（包含基地、月台及軌道等）規劃，藉以評估分析鐵路立體化建設可能形成的鐵路營運衝擊，同時規劃可行之配套方案，以確保立體化計畫不會降低既有路線的營運容量與效率。

(二) 新增車站之運量培養措施

增設通勤站規劃則須從需求面確認其必要性，地方政府必須提出培養運量之具體措施，使未來可增加之效益足以負擔所新增之成本，避免對於鐵路營運造成負面影響。

(三) 車站聯外交通管理及轉乘運具規劃

車站聯外交通管理措施包含完善鐵路與公共運具間的接駁轉乘，增加公共運輸旅運需求，促使更多民眾願意搭乘鐵路；轉乘運具規劃則包括與其他軌道系統銜接、公車轉運站、計程車排班區、停車區等，俾完善鐵路車站聯外功能，增進鐵路運輸競爭力。

(四) 周邊土地開發構想

鐵路立體化可以消除地面鐵路對於既有都市發展及道路交通的阻隔，其對於都市發展及更新產生的效益應可遠大於改善道路交通的效果。因此鐵路立體化計畫的研擬尤須著重於立體化後的都市發展規劃，俾能配合

立體化計畫同步辦理都市計畫。將 TOD 策略納入立體化後車站周邊開發，除可創造結合大眾運輸及商業機能的居住環境外，更透過 TOD 的整合提升鐵路運量，形成有利大眾運輸發展的良性循環。

以板橋車站為例，於先期規劃時段即提出完善的周邊都市計畫與交通系統整體規劃，配合周邊開發，並整合臺鐵、高鐵、捷運、市區公車及國道客運等轉運功能，觀察營運階段因轉乘的便利性及不同軌道系統共站擴大路網功能，而提高民眾搭乘軌道運輸的意願，同步提升臺鐵板橋站的進出旅次（圖 6）。

肆、結語

時值政府大力推動軌道建設之際，吾人必須正視軌道系統投資經費龐大，評估其建設計畫時除著重運量需求、環境條件、建設成本及工程課題與技術外，系統選擇、營運規劃及 TOD 大眾運輸導向的都市發展規劃，實乃推動軌道建設必須予以正視的 3 個全生命週期課題。

將軌道產業政策納入計畫評估，引導各地整合市場及系統規格，避免有限的市場再切割為眾多不同的小系統，同時經由軌道技術發展及產業的在地連結，乃降低各地軌道建設營運成本唯一的方法，也是我們必須努力且不能放棄的目標；此外，軌道運輸及門服務性較低，良好的轉乘接駁系統及吸引旅次、提升營收的重要配套措施也不可輕忽。再者，軌道運輸必須與都市發展密切結合相輔相成，高度外部效益的場站開發及大眾運輸導向 (TOD) 的都市發展規劃，更是軌道系統永續經營最重要的基礎，必須在推動軌道建設的同時同步規劃並付諸實現。

軌道運輸具安全、大量、準確並符合環境永續的優勢，臺鐵、高鐵、捷運及輕軌每日旅客合計達 305 萬人次，已成為國人日常倚賴且不可或缺的交通工具，更創造了許多都市發展的新契機。相信未來的軌道建設在政府重視全生命週期評估的努力之下，將可打造更優質且永續經營的軌道建設系統，落實人本及綠色交通、都市發展及環境共存，成為民眾美好生活的聯結者。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所。2017。2046 年我國軌道運輸發展願景。
2. 交通部運輸研究所。2010。研提推動大眾捷運系統建設與營運永續發展機制之研究。
3. 交通部運輸研究所。2017。都市軌道運輸系統型式發展之研究。
4. 交通部鐵路改建工程局。2010。鐵路工程規劃作業手冊（第一版）。
5. 交通部鐵路改建工程局。2015。臺灣整體鐵道網規劃（二）。
6. 交通部鐵路改建工程局。2018。鐵路立體化影響評估報告。
7. 李建興。2017。營運成本暴增 北捷恐轉盈為虧。遠見雜誌 2017 年 5 月號。
8. 施岑佩、叢宏安。2017。我國近年度軌道建設計畫推動及執行情形之探討。
9. 張舜淵、呂怡青。2018。永續都市軌道運輸系統發展方向主計月刊 749:28-37。
10. 鍾慧諭。2017。用負責任的心面對未來軌道建設。臺灣經濟論衡 15(3):86-103。