



如何擺脫一票難求

鍾志成／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

黃笙珙／財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心 正研究員

劉昭榮／交通部運輸研究所運輸計畫組 研究員

一票難求是鐵路營運機構面臨的難題之一，這種情況在臺鐵系統最為嚴峻。需求面的管理可以適度地將需求分散在不同的時段，以減緩尖峰的輸運壓力，然而，釜底抽薪之道仍有賴供給面的管理。供給面的管理從鐵路系統興建之初就需要進行路線容量的評估與分析，因為鐵路是百年建設，一旦系統興建完成，要再修改或擴充都所費不貲。本文探討軌道容量的各項影響因素，並概要說明路線容量分析的架構，最後並以臺鐵為例，分析目前的路線容量瓶頸以及可能的改善對策。國內刻正大力推動各項軌道建設計畫，倘若每一個計畫都能落實容量分析，提供適切的硬體設施，將來鐵路營運機構才有充分的運能可資運用，如此方能舒緩一票難求的困境。

前言

鐵路運輸的商品（運輸服務）具有不可儲存的特性，過度供給將造成浪費，而供給不足又會導致一票難求的窘境，因此，如何提供適切的運能，一直是鐵道運輸業者必須面對的難題。

過度供給的問題主要在於確保旅客乘車的權益，時刻表一旦公佈且車票賣出之後，運送契約就成立了，依據《鐵路運送規則》，除非發生天災、事故或其他不可抗力之事由，否則鐵路營運機構應依旅客列車時刻表運轉列車；換言之，業者不能為了節省成本而任意取消班次，因此，針對離峰需求不高的時段，業者通常會拉長服務班距，以降低運能的浪費。

相反地，對於一票難求的情形，鐵路運輸業者會面臨極大的疏運壓力，因此無不挖空心思，用盡手段設法滿足民眾的旅運需求。處理需求大於供給的課題，可從需求面管理及供給面管理兩個方向來探討。前者是透過收益管理的機制，以較低廉的票價將部分時間價值不高的尖峰旅客需求移轉至離峰時段，除了可降低尖峰輸運的壓力之外，亦可減少離峰運能的浪

費；簡言之，即是將需求挖峰填谷，讓運能做最有效的利用。台灣高鐵的票價設計便有此機制存在，會有許多的優惠票種及時段，而臺鐵第四代的票務系統則是會考量不同的起迄需求來配票，且無法提供全程同一座位時，也會有自動車票銜接的機制，讓旅客盡量能夠買得到票。然而，需求面的管理有其極限，若要根本解決一票難求的問題，最重要的還是要依賴供給面的管理。

軌道容量與運輸能力

很多民眾會認為，在尖峰時段或連節假期間，鐵路業者何不多開一些班次提供充足的運能，深究其原因在於軌道容量不足。依交通部運輸研究所頒行的「臺灣鐵道容量手冊」^[1]的定義，軌道容量有很多不同的意涵，如果以運輸能力的觀點來看，一般所謂的運能不足指的是最大供給容量小於需求量。最大供給容量可簡單定義如下：

$$\text{最大供給容量} = \text{路線容量} \times \text{每列車載運的旅客數} \quad (1)$$

上式中路線容量是指單位時間內可以開行的列車班次數，會受到鐵路的路線條件、列車的交車條件，以及行車的控制條件所影響（詳述於後續章節），也是最大供給容量的關鍵影響因素。但在相同路線容量的條件下，藉由開行長編組的列車，以提高每列車載運的旅客量，也可提升整體的運能。只不過列車的編組與車載容量並不能隨意變更，因為目前的列車發展趨勢是採用電聯車，其編組幾乎是固定的，不像早期以機車牽引客車的方式編組運轉，可以任意加掛車廂（註：即使以機車牽引客車，受限於機車牽引力及路線條件，所能牽引的非動力客車亦有其極限）。另外一個限制因素是月台的有效長度，列車編組長度若超過月台的有效長度，旅客並無法安全上下列車，故月台長度也會限制了列車容量。

無論是列車編組型式或是月台長度，在列車採購規劃以及站場設計時就已經決定了，由此可知，鐵路營運機構對於營運資源的採購與建置（例如車輛採購、路線股道數、月台長度等）應該要依據長期需求預測妥善規劃，以免系統建置完成之後，限制了營運的彈性。

為何要進行軌道容量分析

鐵路建設是百年建設，一旦興建完成之後，要變更系統規格除了會影響既有的營運之外，所需投入的財務成本以及經濟成本都非常可觀，因此建設之初，對於未來所能提供的服務品質及運輸能力，必須經過縝密地分析，以免建設成果不敷使用或造成浪費。

前一小節提到，影響運能最關鍵的因素在於路線

容量，因此軌道容量分析實為軌道建設過程不可輕忽的工作。以國內近二十年最常見的鐵路立體化計畫而言，建設後導致臺鐵路線容量下降的情況屢見不鮮，但計畫完工後即變成限制條件，要再修改難度相當高，於是鐵路營運機構僅能在路線容量的限制條件下來營運，自然無法提供充足的運能。正因為過去的案例所造成的衝擊逐漸受到矚目，目前《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》中即要求，鐵路立體化建設應該要針對整體路線容量及行車效率之影響進行分析。只不過分析的內容及方法是否詳實，不同計畫之間有很大的落差。

國外容量分析實務案例常應用於「營運」和「工程規劃與設計」兩階段，前者報告著重於定期評估現有容量，並針對瓶頸路段提出改善策略；後者則提供類似國內鐵道建設計畫之可行性評估或綜合規劃與詳細設計報告。另外，部分國家的公部門亦提供此類報告之撰寫規範與指南，建議顧問公司或營運單位撰寫方向與脈絡。國內交通部運輸研究所「應用鐵道容量分析方法進行營運改善規劃」^[2]中即建議，在可行性研究與綜合規劃報告中應先透過運量預測得到尖峰小時旅客量，接著根據列車容量可計算出尖峰小時所需列車數以及設計班距，然後依照此運輸需求進行路線站場的規劃設計，過程中可能會因為不同情境而發展出多種可能方案，最後便要進行容量分析求得運轉時隔、路線容量以及可達成容量，並檢核這些結果是否能夠滿足前面分析求得的設計班距、尖峰小時列車數以及旅客量，以確認設計方案可以滿足運輸需求，如圖 1 所示。

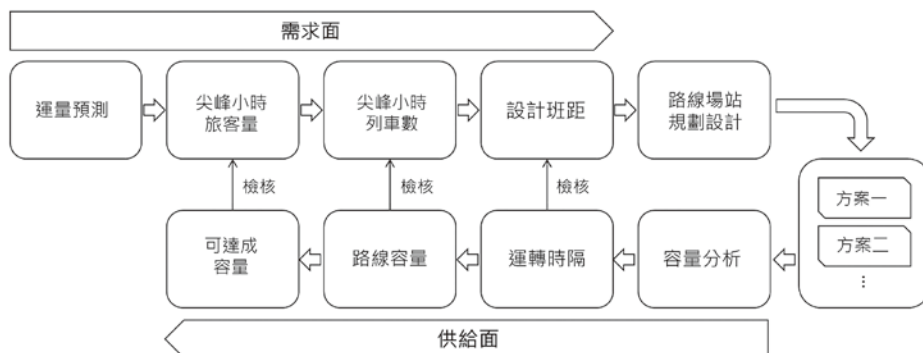


圖 1 可行性研究與綜合規劃應具備的供需分析內容

那些因素會影響軌道容量

前面提及，影響運能最關鍵的因素在於路線容量，而路線容量是單位時間所能開行的列車數，其為計算容量的時間週期除以列車的運轉時隔，亦即兩列車通過路線上同一點的時間間隔，因此影響運轉時隔的因素會決定路線容量的大小。

運轉時隔的影響因素包括路線條件、交通條件，以及控制條件，彙整如表 1。在路線條件方面，站間的軌道數量及站內的軌道佈置最為關鍵。單線區間的路線容量遠不如複線區間，而車站是否設有副正線允許列車追越待避更是影響深遠。臺鐵花東線及南迴線部分路段為單線區間，路線容量較小，這也是為何近年臺鐵希望將此兩路線升級為複線的主要理由。至於站內軌道佈置，主要是因為臺鐵兼營快慢列車，站內的軌道及月台佈置攸關高級列車是否能夠追越慢速列車，對路線容量的影響非常鉅大。臺鐵立體化過程通常伴隨著捷運化車站的增設，絕大多數都是沒有設置副正線，導致先行列車停靠捷運化車站，阻礙續行列車繼續通行，因而減少路線容量。根據張恩輔等人^[1]之研究，每增設一個不能待避的捷運化車站，路線容量減少約 8%。

在列車組充足的情況下，列車的組成以及停站形態是交通條件對運轉時隔最主要的影響因素。快慢車混合運行以及不同的停站型態會有交會待避的時間損失，導致運轉時隔增加，進而降低路線容量，如圖 2 所示。至於控制條件，其中以閉塞號誌的配置方式及閉塞區間長度對運轉時隔的影響最深遠。一般而言，號誌的相位愈多，閉塞區間長度愈短，連續列車之間的距離愈短，運轉時隔也愈短。目前臺鐵採用的是三位式的號誌系統，閉塞區間的長度約 1.5 公里 ~ 2.5 公里，列車的運

表 1 影響運轉時隔的因素

分類	影響因素	
路線條件	<ul style="list-style-type: none"> 站間軌道數目與運轉方式 站內軌道及月台佈置方式 站間距離 路線幾何條件 	<ul style="list-style-type: none"> 銜接點與折返點的配置 基地位置及配線 路線供電穩定度 路權型態
交通條件	<ul style="list-style-type: none"> 列車性能 <ul style="list-style-type: none"> - 列車牽引性能 - 煞車性能 - 最大速度 阻力係數 	<ul style="list-style-type: none"> 列車的組成 列車的方向分布 停站時間與停站型態 可用列車數
控制條件	<ul style="list-style-type: none"> 列車操控方式 閉塞制度的種類 辦理閉塞的方式 	<ul style="list-style-type: none"> 閉塞號誌的配置方式 閉塞區間長度 路口號誌設計 (B 型或 C 型路權)

資料來源：交通部運輸研究所，臺灣鐵道容量手冊^[1]

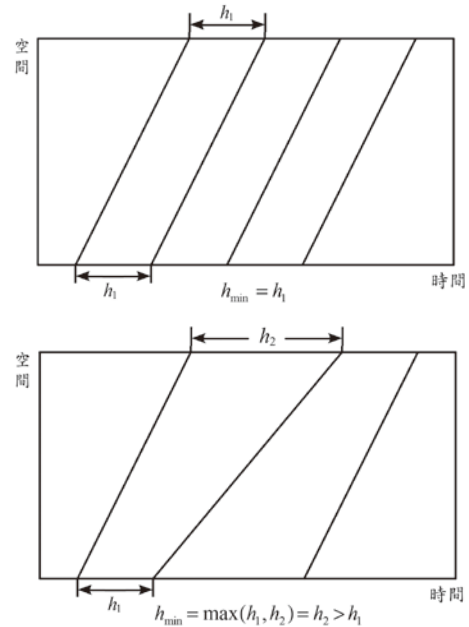


圖 2 列車交通組成對運轉時隔的影響

資料來源：交通部運輸研究所，臺灣鐵道容量手冊^[1]

轉時隔大約是 3 分鐘，但若考慮停站時間，在捷運化車站，運轉時隔可能會高達 4 分鐘，甚至更高。

要如何進行軌道容量分析

從前一節可知，要分析路線容量必須先計算運轉時隔，而影響運轉時隔的因素非常多，圖 3 為鐵道容量分析的泛用架構，從這個架構可知，容量分析需要複雜的計算，因此必須仰賴電腦的協助，所幸交通部運輸研究所出版的鐵道容量手冊有開發分析軟體，視應用的情境，分為傳統暨區域鐵路系統（即臺鐵系統）、都會捷運系統，以及輕軌運輸系統，可針對不同的系統進行分析。在傳統鐵路方面，視分析的對象究竟是單一路段還是連續路段，分別搭配解析法及模擬法來求解，可因應不同分析目的的需要。

軌道容量分析的注意事項

軌道容量是一個非常複雜的概念，在分析時必須注意以下事項：

- 鐵道容量並非單一固定的數值，只要運轉條件（路線、交通、控制）改變，容量也會跟著改變。有時候甚至連硬體都沒有更動，只是交通條件調整而已（例如車種組成），容量也會跟著改變。
- 計畫性排點考慮的路線容量（列車於號誌常綠下運轉，又稱時刻表容量或實用容量）與運轉整理時的最大容量（列車可能遇到紅黃燈而減速）有不同的

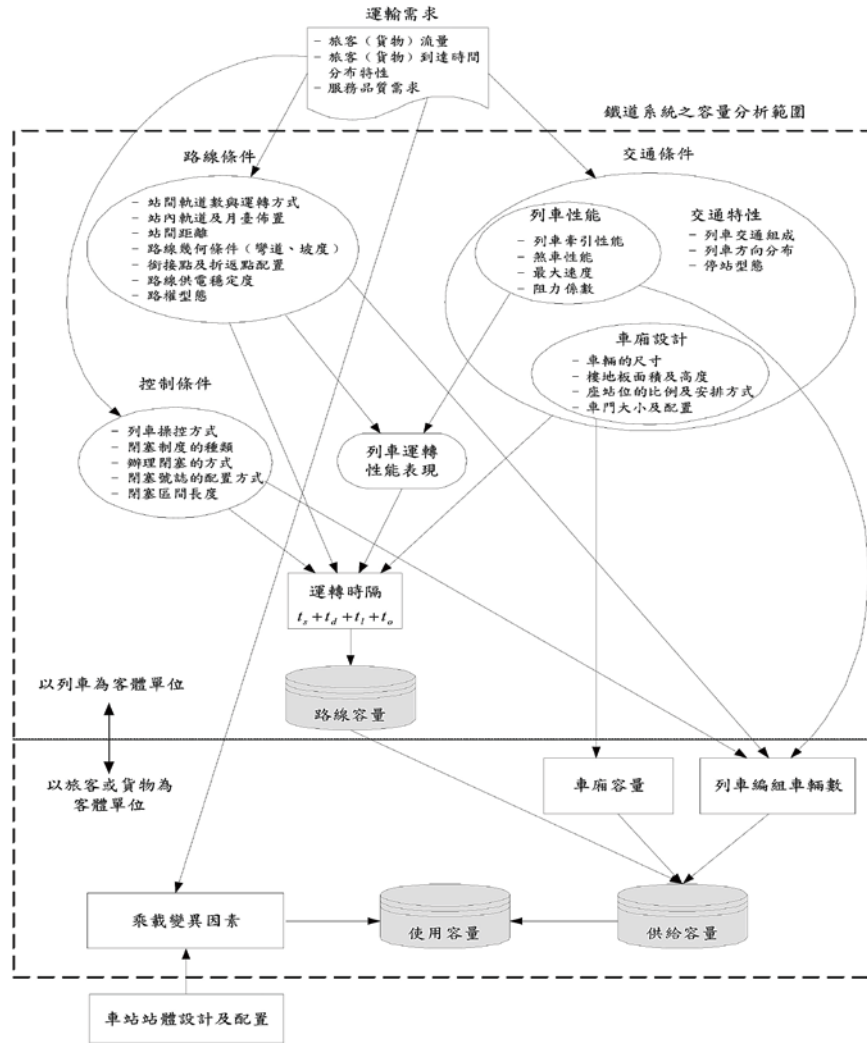


圖 3 鐵道容量分析的泛用架構

資料來源：交通部運輸研究所，臺灣鐵道容量手冊^[1]

意義。最大容量會大於實用容量，以便列車誤點時可以採行運轉整理策略慢慢恢復時刻表運轉。

3. 最大容量比較偏向於理論上的探討，在實務上的意義不大，比較實用的是時刻表容量，也就是排班作業所能安排的最大列車數（以列車為客體單位）或載運的最大旅客數（以旅客為客體單位）。鐵道容量分析通常以時刻表容量為主。
4. 時刻表容量與服務水準是息息相關的，而且有權衡取捨 (Trade Off) 的關係。當列車流量趨近於最大容量時，延滯會急劇的增加而導致運輸效率不彰，時刻表的可靠度也會下降。相反的，預留較多的運轉寬裕時間以增加保留容量，雖會降低實用容量，但可提升時刻表的可靠度及服務水準。

除此之外，很多人會把列車排點（安排列車時刻表）跟軌道容量分析混為一談，其實兩者有相當大的差異，說明如下：

1. 軌道容量分析是評估軌道系統在一定條件下之的期望容量；列車排點只是一個容量使用的案例，不能代表所有的情況。
2. 軌道容量分析不必給定列車初始班表，但列車排點若無初始班表則無法作業。
3. 列車排點只能回答是否排得出班表，無法回答實用容量有多少？已使用容量有多少等問題。
4. 容量分析會計算運轉時隔，但運轉時隔卻是列車排點的輸入資料。
5. 容量分析可以知道路線瓶頸的所在，但列車排點不能。
6. 列車排點很耗時，在規劃設計階段並不適用。
7. 軌道容量分析可以快速回答策略性的問題，例如基隆每小時是否可以開 8 班通勤列車，但用列車排點來回答這類問題並不恰當。
8. 列車排點需要借助商用數學規劃軟體，所費不貲。

臺鐵路線容量的瓶頸

臺鐵經營環島路網，最常面臨的問題是連節假日東部幹線一票難求的窘境，但問題真的是發生在東部路線（宜蘭線、北迴線及花東線）嗎？恐怕未必見得。主要原因在於東幹線係從樹林調車場發車，會行經臺北地下隧道，而這個區段又有西部幹線列車（七堵調車場發車）、西部通勤列車（基隆－新竹為代表）、東部通勤列車（蘇澳新站－樹林為代表），在路線條件的限制之下，多開東部幹線列車會排擠其他車種的營運班次，簡言之，是不同服務、不同的運轉速度及停靠形態的列車，彼此競爭使用樹林－七堵有限的路線容量，如圖 4 所示。

透過交通部運研所的容量分析模式，可求得七堵－樹林下行方向的路線容量瓶頸發生在七堵－南港之間，每小時僅能開行 8.67 列車（請參閱圖 5），而上行方向的路線容量瓶頸發生在樹林－板橋之間，每小時可開行 10.45 列車（請參閱圖 6）。

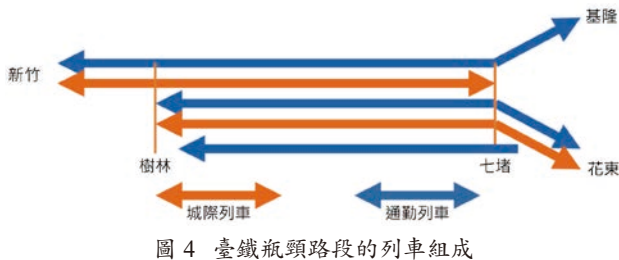


圖 4 臺鐵瓶頸路段的列車組成

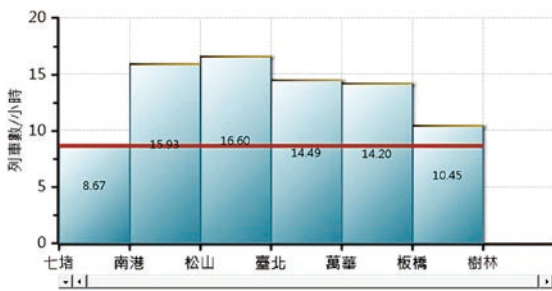


圖 5 下行方向瓶頸位於七堵→汐止

資料來源：交通部運輸研究所，應用鐵道容量分析方法進行營運改善規劃^[2]

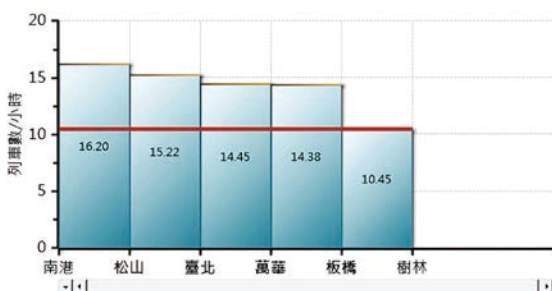


圖 6 上行方向瓶頸則位於樹林→板橋

資料來源：交通部運輸研究所，應用鐵道容量分析方法進行營運改善規劃^[2]

表 2 七堵－樹林路段案例之瓶頸改善方案效益彙整表

改善方案	效益說明
傾斜式列車降速運轉	傾斜式列車運轉時間提升 30%，路線容量約可提升 3~7%。
調整交通組成	調整為僅有單一車種，路線容量最多約可提升 44%。
號誌系統改善與升級	將全線號誌安全時距縮短 20%，路線容量約可提升 15~19%。
增設待避線	將一處無待避功能之車站增加待避線，路線容量約可提升 2~6%。

資料來源：交通部運輸研究所，應用鐵道容量分析方法進行營運改善規劃^[2]

若要提升路線容量，可能的方式包括傾斜式列車降速、調整城際列車與通勤列車的比率，以降低列車交會待避的時間損失、升級號誌系統或是於通勤車站增設待避線，分析結果如表 2 所示。從分析結果可知，傾斜式列車降速運轉，提升路線容量的效益最大，也無須金錢成本的支出，只不過旅客搭乘傾斜式列車就是希望減少乘車時間，在路線容量的限制之下，似乎存在運轉效率與路線容量的權衡取捨問題。

結語

鐵路營運業者以旅運服務為主要任務，在面對旅客需求時，無不希望能夠充分滿足旅客的需要。惟運能受到基礎建設的影響甚鉅，若在規劃設計之初沒有進行路線容量分析與檢核，一旦硬體完工之後，只能在有限的路線容量下提供服務，往往造成一票難求的問題。目前國內刻正進行前瞻軌道建設，在此呼籲政府對於軌道建設計畫，一定要進行路線容量分析。過去國內並無相關的分析方法與工具，目前交通部運輸研究所已經頒行鐵道容量手冊並開發相關分析軟體，政府應於相關辦法或制度中強制要求可行性研究與綜合規劃階段必須進行容量分析並進行審議，以免完工後讓鐵道營運機構在有限的容量下提供服務。

另一方面，當系統建設完成之後，鐵道營運機構必須善用其運能，此時搭配彈性票價、優質的訂票系統，透過需求面的管理，將部分尖峰運能移轉至離峰時段，讓時間價值高的旅客付出較高的票價，而時間價值較低的旅客可以選擇離峰時段搭乘，如此，可善用最大供給容量，並提升鐵道營運機構的收益，對於業者及旅客而言，可創造雙贏的局面。

參考文獻

- 交通部運輸研究所，臺灣鐵道容量手冊（2019）。
- 交通部運輸研究所，應用鐵道容量分析方法進行營運改善規劃（2021）。
- 張恩輔、黃笙玟、鍾志成，「臺鐵捷運化建設效益回顧與建議」，第 29 屆中華民國運輸學會論文集，民國 2014 年 12 月。