

臺鐵北迴線軌道容量分析

黃笙玆* 張盛義**

摘要

臺鐵北迴線自開通以來便一直扮演著串接臺灣東西部的交通要道，憑藉著東部豐富天然資源的開發，北迴線係臺鐵貨運服務最密集的路線，同時隨著近年來觀光事業的發展、傾斜式列車的引進，客運量急速增加，使得北迴線的運能供給是否能滿足運輸需求儼然成為重要的課題。然而，雖然國內在評估鐵路系統運能的技術上已有所發展，但對於客貨運混合之路線仍然沒有一套適用的軌道容量分析方法，因此本研究發展了一套模式來評估北迴線軌道容量，發現其容量瓶頸位於南澳至漢本間，並指出客貨運列車速差為造成瓶頸的主因，相關結果可作為擬定改善方向之參考。

關鍵字：傳統暨區域鐵路系統、軌道容量分析、實用容量

一、前言

臺鐵北迴線起於蘇澳新站，迄至花蓮站，全長約 79.5 公里，最初於民國 69 年通車時為單線鐵路，之後在民國 80~93 年間進行了雙軌化、重軌化、電氣化、號誌系統等多項工程，並且於民國 96 年和 102 年，更有太魯閣號與普悠瑪號分別加入營運的行列，使得北迴線無論在路線容量、行車安全、旅行時間和服務品質等均有大幅的改善，不過隨著時代進步、經濟繁榮以及觀光風氣盛行，北迴線仍然面臨著客貨運需求的挑戰。

在客運方面，北迴線歷年客運量的變化如圖 1，自普悠瑪號於民國 102 年上路後，每年平均客運量從 3~400 萬人增加至 7~800 萬人，占臺鐵總客運量的 3.5% 左右，主要為返鄉、就學與觀光旅次。目前北迴線平均每日開行近 80 列對號列車與 40 餘列通勤列車，但每逢年節假日就有供不應求的現象，且尖峰時段的列車乘載率相當高。

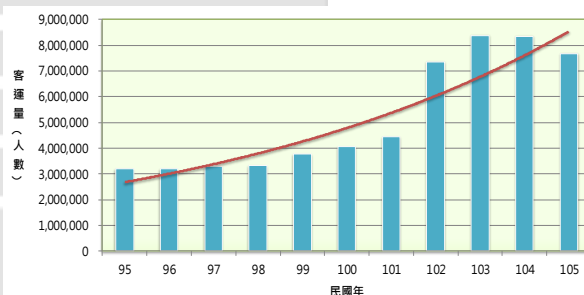


圖 1 臺鐵北迴線歷年客運量

而貨運方面，雖然臺鐵整體鐵路貨運呈現下滑的趨勢，但北迴線的貨運量還是一直維持在一定的水準，其歷年貨運量的變化如圖 2，民國 105 年北迴線的年貨運量達到 831 萬噸，占臺鐵貨運總量的 90% 左右，為臺鐵最重要的貨運路線，主要運送的貨物種類為石灰石、水泥、砂石與黏土等。目前北迴線每日有 50~60 列定期貨運列車來滿足貨運需求，若再加上不定期列車，則可能將近百列，與客運列車數量相當。

* 中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心研究員

** 中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心高級研究員

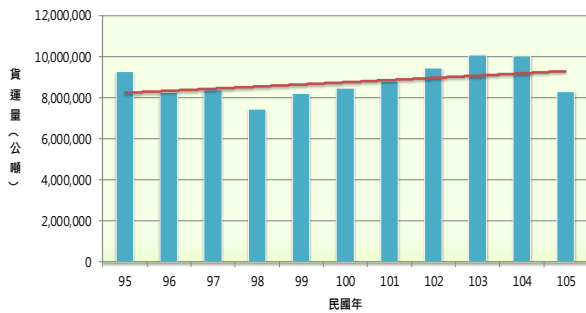


圖 2 臺鐵北迴線歷年貨運量

由上述狀況可知，為了提升服務水準，北迴線未來可能須在尖峰時間加開客運列車，以滿足旅運需求，但又同時必須顧及大量的貨運服務，即將面臨路線容量不敷使用的問題，因此有必要先進行軌道容量分析，以了解現有路線是否能提供足夠的運能，並找出瓶頸路段以利研擬改善方向。

二、文獻回顧

根據不同的列車運轉條件，軌道容量可分為最大容量 (Maximum Capacity)、理論容量 (Theoretical Capacity)、實用容量 (Practical Capacity)、已使用容量 (Used Capacity)，與可利用容量 (Available Capacity) 等幾種。本研究之目的在於評估北迴線目前運能狀況，屬於其中的實用容量，亦即鐵路系統在正常營運條件下，單位時間內能通過的最大列車數。這裡所謂的正常營運條件，考慮了列車的速差、車種組成等因素，且列車必須在號誌常綠下運轉，亦即列車運轉過程不會遇到注意或險阻號誌。

過去國內對於軌道容量的研究較為匱乏，但自民國 94 年開始，交通部運輸研究所 (以下簡稱運研所) 為因應國內鐵路建設需要，針對臺鐵系統發展了傳統暨區域鐵路容量分析模式 (以下簡

稱運研所容量模式) 來評估實用容量。然而，在當時政府推動「臺鐵捷運化計畫」、「新十大建設」、「挑戰 2008 國家發展重點計畫」等政策的時空背景下，臺鐵市場的定位調整為客運為主、貨運為輔，因此該模式並沒有將貨運納入考量。

若欲利用運研所容量模式評估北迴線軌道容量，將會面臨兩點問題。第一點是車站型的限制，運研所容量模式將車站分為：(1) 兩島式月臺四股道、(2) 一島式一側式月臺無平面交叉三股道、(3) 一島式一側式月臺有平面交叉三股道，以及 (4) 兩側式或一島式月台兩股道等四種型式，雖符合絕大部分臺鐵車站的情況，但卻沒有考慮貨運側線的配置，而北迴線因為有大量的貨運需求，其車站幾乎都有佈設貨運側線。

第二點則是合併區間的問題，運研所容量模式的基本分析單元包含一股站間軌道與其兩側車站所組成的路線區段，但若兩側車站其中之一無法提供待避功能，為了避免高估容量，必須將無待避功能車站的前後區間結合成一個基本分析單元，才能評估出切合實際情況的軌道容量。但是此規則要套用在北迴線上將會面臨矛盾現象，如圖 3 所示，漢本站僅有兩個臨月臺面的軌道，分別用於上下行，客運列車不能在此進行追越待避，理論上漢本站前後區間應該合併為一個基本分析單元，但漢本站同時也配置了多條貨運側線，貨運列車可在此追越待避，在此情況下漢本站前後區間又應該是各自為一個基本分析單元，無論採用何者皆無法在切合實際情況下來計算容量。

有鑑於此，本研究以運研所傳統暨區域鐵路容量分析模式為基礎，發展一套適用於客貨運混合路線的容量分析方法，來評估臺鐵北迴線的軌道容量，並找出容量瓶頸所在。

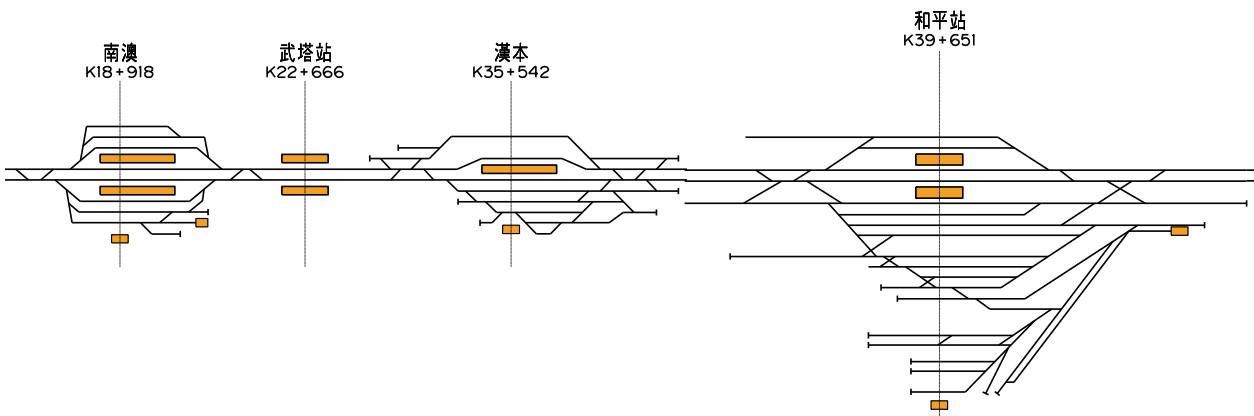


圖 3 北迴線南澳站至和平站之軌道配置圖

三、軌道容量分析模式

由於同時要考量貨車與各級客車在路線上運行的速度差異，以及列車於車站內停站、交會或待避行為等影響因素，本研究同樣以一股站間軌道與其兩側車站所組成的路線區段（區間），作為本模式的基本分析單元，並根據其列車流向來計算軌道容量，但與運研所容量模式不同的是，不需將無待避功能車站的前後區間合併。以圖 4 為例，從車站 A 到車站 B 有兩股軌道，每股站間軌道與其兩側車站各為一個分析單元，如路線區段 I 和 II，其運轉方向分別為上下行。

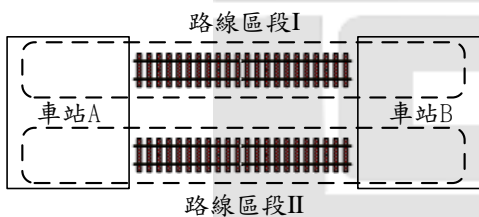


圖 4 軌道容量基本分析單元

本模式之架構如圖 5，針對每一個路線區段，首先根據其路線條件、交通條件，及控制條件等相關資料來計算號誌安全時距（Signal Close-in Time），接著計算瓶頸號誌時距（Critical Signal Headway）、交會待避損失時間（Time Lost due to Meeting or Overtaking）和運轉寬裕時間（Operating

Margin）等項目，進而獲得最小運轉時隔，再根據交通組成計算平均運轉時隔，最後採用小時作為單位時間，由一小時（3,600 秒）除以平均運轉時隔來求得每小時的列車最大通過量，也就是該路線區段的軌道容量。上述各計算項目大多和運研所容量模式採用類似的計算方法，但為了考量貨運列車，本模式對平均號誌安全時距與瓶頸號誌時距提出了新的計算方式，以下逐一說明每一個計算項目的細節。

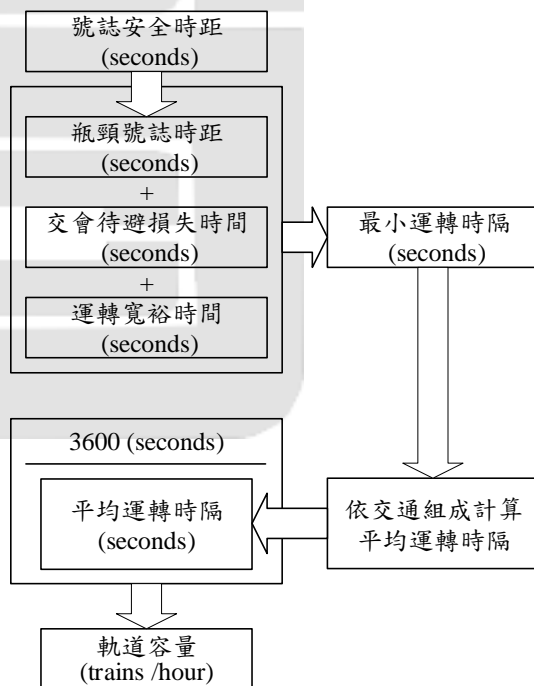


圖 5 軌道容量分析模式架構

(一) 號誌安全時距

號誌安全時距是指在號誌系統的限制之下，連續兩列車安全通過路線上某一點的時間間距，係列車安全運轉的最基本要求，受到號誌系統、軌道佈置、路線幾何條件、列車長度及性能等因素的影響。理論上應計算路線上每一處的號誌安全時距，再從中求取瓶頸號誌時距，但一般而言，列車進出車站時的速度會較低，而且當列車停靠車站時，將導致續行的列車無法進入車站，或是先行列車尚未離開車站到一安全距離以上，使得續行列車無法開出，因此瓶頸號誌時距通常會發生在車站，所以本研究主要是考量列車進出車站的號誌安全時距來求取瓶頸號誌時距。

有關列車進出車站的號誌安全時距之計算方式，本模式沿用過去運研所針對臺鐵三位式號誌系統，所發展的一系列公式來估計，如表 1，式中

下標 i 代表先行車；下標 j 代表續行車。

除此之外，本模式尚須根據列車於車站內使用軌道的情況，於表 1 中選擇合適或者按比例組合各項公式來計算平均號誌安全時距，例如：倘若車站內單方向僅有一股軌道，同向列車於站內勢必停靠同一軌道，進站及離站的號誌時距必須利用式 (1)、(3) 或 (4) 來估計；若單向有兩股以上的軌道，則同向列車在站內可以交替停靠不同的軌道，便可以利用式 (2) 和 (5) 來估計進站及離站的號誌時距；如果車站內存在雙向共用的軌道時，某些列車於車站內停靠同一軌道，有些則停靠不同軌道，此時號誌時距則根據兩者的比例來估計。對於上述各種可能情況，表 2 彙整了臺鐵常見軌道運用方式的平均號誌安全時距。其他相關變數的意義則說明如表 3。

表 1 號誌安全時距計算公式

時距種類	停靠軌道	其他條件	號誌安全時距計算公式	編號
進站	同一軌道	—	$T_{s,A1} = \sqrt{\frac{2(L_i+s_x)}{K_a a_i(G_o)} + \frac{v_j}{K_b b_j(G_i)} - \frac{v_j^2}{2K_b b_j(G_i)v_j}} + \frac{B_1+B_s-s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_i}$	(1)
	不同軌道	—	$T_{s,A2} = \frac{v_j}{K_b b_j(G_i)} - \sqrt{\frac{2(s_i-s_x-L_i)}{K_b b_j(G_i)} - \frac{v_j^2}{2K_b b_j(G_i)v_j}} + \frac{B_2+B_1+B_s+s_x}{v_j} + t_p + t_r$	(2)
離站	同一軌道	$L_i + s_x + B_n > \frac{v_i^2}{2K_a a_i(G_o)}$	$T_{s,D1} = \frac{v_i}{2K_a a_i(G_o)} + \frac{v_j}{K_b b_j(G_i)} - \frac{v_j^2}{2K_b b_j(G_i)v_j} + \frac{L_i+s_x+B_n}{v_i} + \frac{B_s-s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_j}$	(3)
	同一軌道	$L_i + s_x + B_n \leq \frac{v_i^2}{2K_a a_i(G_o)}$	$T_{s,D1} = \sqrt{\frac{2(L_i+s_x+B_n)}{2K_a a_i(G_o)} + \frac{v_j}{K_b b_j(G_i)} - \frac{v_j^2}{2K_b b_j(G_i)v_j}} + \frac{B_s+s_x}{v_j} + t_o + t_r + t_{d_j}$	(4)
	不同軌道	—	$T_{s,D2} = \frac{v_i}{2K_a a_i(G_o)} + \frac{L_i+s_x+B_n+B_{n-1}}{v_i} + t_o + t_r$	(5)

表 2 平均號誌安全時距計算公式

軌道數量	列車以副線到開時，是否與反向列車產生平面交叉	平均號誌安全時距	
		離站	進站
單向有兩股以上專用的軌道	否	$T_{s,D} = T_{s,D2}$	$T_{s,A} = T_{s,A2}$
單向有一股專用軌道與一股雙向共用的軌道	否	$T_{s,D} = \frac{1}{3}T_{s,D1} + \frac{2}{3}T_{s,D2}$	$T_{s,A} = \frac{1}{3}T_{s,A1} + \frac{2}{3}T_{s,A2}$
	是	$T_{s,D} = \frac{3}{4}T_{s,D1} + \frac{1}{4}T_{s,D2}$	$T_{s,A} = \frac{3}{4}T_{s,A1} + \frac{1}{4}T_{s,A2}$
單方向僅有一股專用軌道	否	$T_{s,D} = T_{s,D1}$	$T_{s,A} = T_{s,A1}$

表 3 號誌安全時距計算公式之符號意義說明表

變數	說明	單位
$a(G)$	列車在坡度 $G\%$ 的加速度	m/s^2
B_1	第一閉塞區間的長度	m
B_2	第二閉塞區間的長度	m
B_n	出發號誌機的下一個閉塞區間的長度	m
B_{n-1}	出發號誌機的下兩個閉塞區間的長度	m
B_s	車站所在區間的長度	m
$b(G)$	列車在坡度 $G\%$ 的減速度	m/s^2
G_i	進站路線坡度	$\%$
G_o	出站路線坡度	$\%$
K_a	加速性能折減因子	—
K_b	減速性能折減因子	—
L	列車的長度	m
s_t	進站道岔與出發號誌機的距離	m
s_x	列車於車站停車時車頭與出發號誌機的距離	m
T_s	最瓶頸處的號誌時距	s
$T_{s,A}$	進站平均號誌安全時距	s
$T_{s,A1}$	同一股道進站的號誌安全時距	s
$T_{s,A2}$	不同股道進站的號誌安全時距	s
$T_{s,A}^B$	抵達車站的進站號誌時距	s
$T_{s,D}$	離站平均號誌安全時距	s
$T_{s,D1}$	同一股道離站的號誌安全時距	s
$T_{s,D2}$	不同股道離站的號誌安全時距	s
$T_{s,D}^A$	出發車站的離站號誌時距	s
t	站間運轉時間	s
t_d	停站時間或停等時間	s
t_o	列車車尾通過出發號誌機後，解除閉塞及清除號誌的時間	s
t_p	列車進站時，車尾通過道岔位置後，解除主正線的進路、轉轍器扳轉、鎖定副正線的進路，以及號誌變換的整體作業時間	s
t_r	司機員的反應時間及軔機的作用時間（停車），或司機員確認號誌的時間（出發）	s
v	速度的代號	m/s
v_y	注意號誌的容許速度	m/s

（二）瓶頸號誌時距

瓶頸號誌時距係指列車在一個基本分析單元中運轉至少需保持的時間間距，可能會發生在出發車站或抵達車站，視兩列車速差的情形以及車站軌道配置條件的差異而定，與運研所容量模式不同的是，本模式額外考量了基本分析單元兩端車站無法追越待避的情況，以下分別說明之。

1. 先行列車的速度等級大於續行列車

當先行列車的速度等級大於續行列車，在路線運轉過程中，續行列車無法追上先行列車，因此瓶頸號誌時距通常發生在一個基本分析單元中

的出發車站，只要在出發車站保持足夠的安全時距，運轉過程中均不會發生列車衝突。如圖 6 (a) 所示，以 A 站代表第 k 段基本分析單元的出發車站，B 代表抵達車站，若 A 站的號誌安全時距大於等於 B 站號誌安全時距減去兩列車運轉時間差，亦即 $T_{s,D}^A \geq T_{s,A}^B - (t_{j,k} - t_{i,k})$ ，則第 k 段基本分析單元的瓶頸號誌安全時距 $T_{s,k}$ 為 $T_{s,D}^A$ ；若 B 站的號誌安全時距過大而導致 $T_{s,D}^A < T_{s,A}^B - (t_{j,k} - t_{i,k})$ ，如圖 6 (b) 所示，則瓶頸號誌安全時距為 $T_{s,A}^B - (t_{j,k} - t_{i,k})$ ，因此瓶頸號誌安全時距可用下式表示

$$T_{s,k} = \max\left(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B - (t_{j,k} - t_{i,k})\right)$$

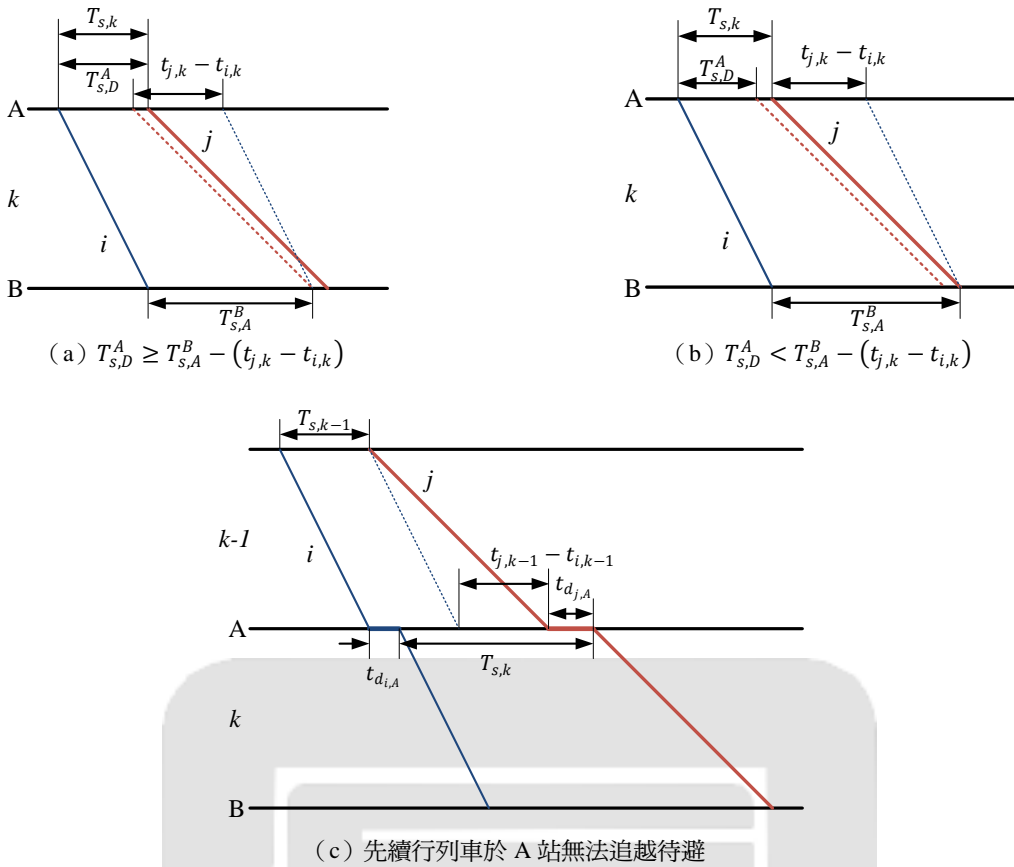


圖 6 先行快速列車與續行慢速列車的瓶頸號誌時距

假如先續行列車於 A 站無法追越待避，如圖 6 (c) 所示，則計算瓶頸號誌安全時距時還需考慮前一段分析單元的瓶頸號誌安全時距、兩車的運轉時間差與停站時間差，公式為：

$$T_{s,k} = \max\left(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B - (t_{j,k} - t_{i,k}), T_{s,k-1} + (t_{j,k-1} + t_{d_{j,A}} - t_{i,k-1} - t_{d_{i,A}})\right)$$

2. 先行列車的速度等級小於續行列車

當先行列車的速度等級小於續行列車，在路線運轉過程中，先行列車有可能被續行列車追上，因此瓶頸號誌時距通常發生在一個基本分析單元中的到達車站，只要在到達車站保持足夠的安全時距，運轉過程中均不會發生列車衝突。如圖 7 (a) 所示，若 B 站的號誌安全時距大於等於

A 站號誌安全時距減去兩列車運轉時間差，亦即 $T_{s,A}^B \geq T_{s,D}^A - (t_{i,k} - t_{j,k})$ ，則第 k 段基本分析單元的瓶頸號誌安全時距 $T_{s,k}$ 為 $T_{s,A}^B$ ；若 A 站的號誌安全時距過大而導致 $T_{s,A}^B < T_{s,D}^A - (t_{i,k} - t_{j,k})$ ，如圖 7 (b) 所示，則瓶頸號誌安全時距為 $T_{s,D}^A - (t_{i,k} - t_{j,k})$ ，因此瓶頸號誌安全時距可用下式表示：

$$T_{s,k} = \max(T_{s,D}^A - (t_{i,k} - t_{j,k}), T_{s,A}^B)$$

此外，假如先續行列車於 B 站無法追越待避，如圖 7 (c) 所示，則計算瓶頸號誌安全時距時還需考慮下一段分析單元的瓶頸號誌安全時距、兩車的運轉時間差與停站時間差，公式為：

$$T_{s,k} = \max\left(T_{s,D}^A - (t_{i,k} - t_{j,k}), T_{s,A}^B, T_{s,k+1} + (t_{i,k+1} + t_{d_{i,B}} - t_{j,k+1} - t_{d_{j,B}})\right)$$

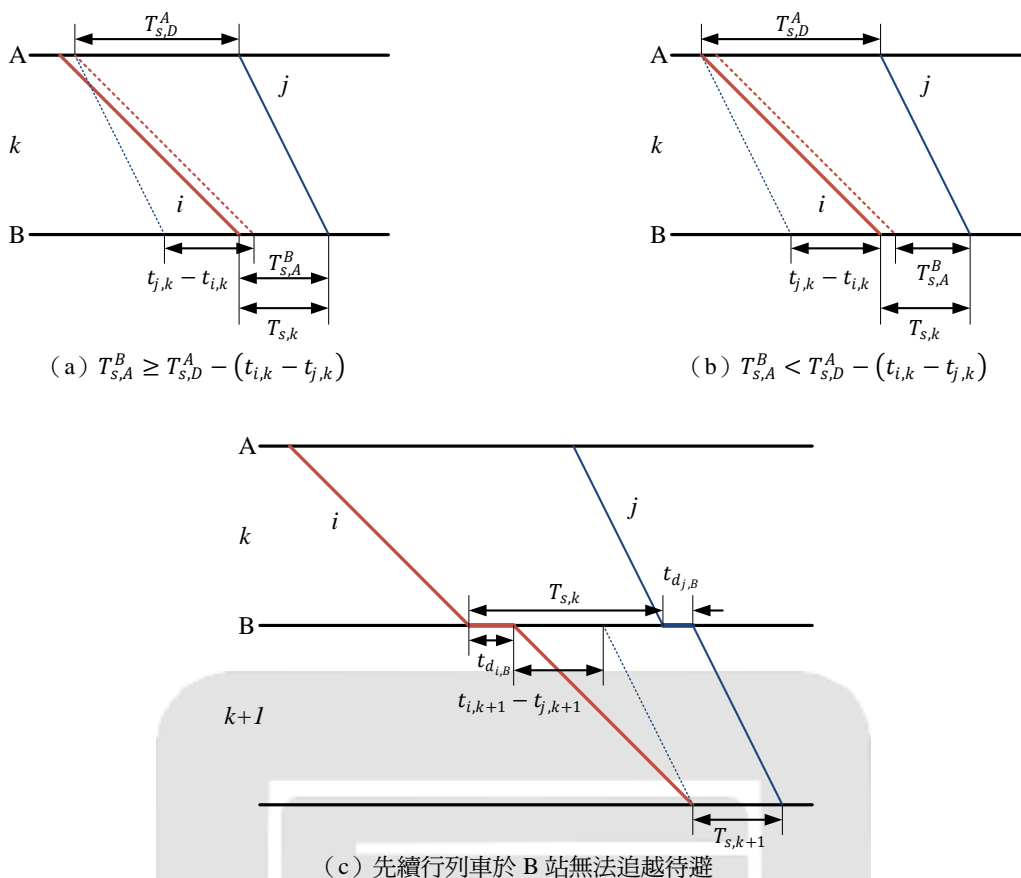


圖 7 先行慢速列車與續行快速列車的瓶頸號誌時距

3. 先行列車與續行列車的速度等級相同

當先行列車與續行列車的速度等級相同，則瓶頸號誌時距有可能發生在出發車站或抵達車站，視列車於兩車站的號誌安全時距而定，只要兩列車保持兩者中較大的時距，則運轉過程中就不會發生列車衝突，因此瓶頸號誌安全時距為：

$$T_{s,k} = \max(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B)$$

如果先續行列車於 A 站無法追越待避，則計算瓶頸號誌時距時還需考慮前一段分析單元的瓶頸號誌時距，公式為：

$$T_{s,k} = \max(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B, T_{s,k-1})$$

若先續行列車於 B 站無法追越待避，一樣的道理，計算瓶頸號誌時距時還需考慮下一段分析單元的瓶頸號誌時距，即：

$$T_{s,k} = \max(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B, T_{s,k+1})$$

假如 A 站和 B 站皆無法追越待避，則要同時考慮前後段分析單元的瓶頸號誌時距：

$$T_{s,k} = \max(T_{s,D}^A, T_{s,A}^B, T_{s,k-1}, T_{s,k+1})$$

(三) 待避損失時間

臺鐵有多種不同等級的列車，於複線區間運轉時，由於列車性能不一致而產生速差，為避免續行高速列車追上先行慢速列車而碰到注意號誌，通常慢速列車會先在車站內待避高速列車，因此有列車待避的損失時間。對於此情況，臺灣鐵道容量手冊（2013）中提出以下公式來估計待避損失時間 t_l 。

$$t_l = \frac{1}{2} |t_j - t_i|$$

(四) 運轉寬裕時間

由於號誌顯示、轉轍器的操作、停車時間以及列車運轉過程均為隨機程序 (Stochastic Process)，為了能涵蓋大部分的運轉情形，計算列車的運轉時隔時必須加計運轉寬裕時間。本研究採按比例計算的方式，當號誌安全時距及待避損失時間愈大，其產生的變異也愈大，因此保留較大的運轉寬裕時間，即：

$$t_m = \beta(T_s + t_l)$$

(五) 平均運轉時隔

對於任兩列車 i 及 j ，可根據上述說明計算瓶頸號誌安全時距 T_s 、列車交會待避的損失時間 t_l ，以及運轉寬裕時間 t_m ，然後組成最小運轉時隔：

$$h_{ij} = T_s + t_l + t_m$$

若營運列車種別有兩種以上，則每一種配對組合都要計算其最小運轉時隔，例如一共有 n 種列車，則先行及續行列車的配對有 n^2 種組合。最後在依照各種列車的相對頻率 p_{ij} ，或先續行列車的營運列車數 n_i 、 n_j ，以下列公式計算平均運轉時隔：

$$\bar{h} = \sum h_{ij} \cdot p_{ij} = \sum h_{ij} \cdot \frac{n_i \cdot n_j}{n^2}$$

(六) 軌道容量

在基本分析單元中，每經過平均運轉時隔 \bar{h} 的時間，便可允許一列車經過，而軌道容量為單位時間內能經過的最大列車數，因此若以小時為單位，軌道容量 C_l 的計算方式為：

$$C_l = \frac{3600}{\bar{h}}$$

四、北迴線軌道容量分析

臺鐵北迴線共 13 座車站，其月臺軌道配置整理如表 4，其中僅有兩股軌道的武塔站和景美站，客運和貨運列車皆無法追越待避；而漢本站和北

埔站因為有貨運側線，可供貨運列車待避；其餘車站則都可進行追越待避。

表 4 北迴線各車站月臺軌道配置

車站	月臺型式	貨運側線
蘇澳新	兩島式	有
永樂	一島式一側式	有
東澳	兩島式	有
南澳	兩島式	有
武塔	兩側式	無
漢本	一島式	有
和平	兩島式	有
和仁	兩島式	有
崇德	兩島式	有
新城	兩島式一側式	有
景美	一島式	無
北埔	一島式	有
花蓮	兩島式一側式	有

根據民國 106 年 12 月的資料，本研究考量了傾斜式自強號、自強號、莒光號、區間車以及貨運列車等五種車種，針對每區間列車密度最高的尖峰小時，根據前述之模式並透過試算表軟體 Microsoft Excel 輔助進行容量分析，獲得軌道容量結果如表 5。根據分析結果，北迴線的瓶頸發生在南澳至漢本間，上下行方向皆不到每小時 8 列車。

表 5 北迴線尖峰小時軌道容量

區間	軌道容量 (train/hour)	
	下行	上行
蘇澳新-永樂	11.73	12.65
永樂-東澳	11.15	11.73
東澳-南澳	10.18	10.79
南澳-武塔	7.39	7.51
武塔-漢本	7.39	7.51
漢本-和平	9.13	9.83
和平-和仁	9.51	10.90
和仁-崇德	9.01	9.54
崇德-新城	11.21	11.46
新城-景美	9.92	8.99
景美-北埔	9.92	8.99
北埔-花蓮	10.09	10.27

若欲進一步探討造成其瓶頸之原因，可從容量分析的各個計算項目中釐清問題之所在，並藉此擬定改善策略。在本案中，檢視南澳至漢本間各先續行列車組合下的待避損失時間，如表 6 和表 7，可發現武塔漢本間，貨運列車與客運列車的待避損失時間明顯大於其他客運列車之間的數值許多，是造成容量瓶頸的主因，因此容量改善策略可優先考慮如何降低待避損失時間。

表 6 南澳武塔間的待避損失時間

單位：秒

方向	先行列車	續行列車				
		傾斜	自強	莒光	區間	貨車
下行	傾斜	0	0	60	45	75
	自強	0	0	60	45	75
	莒光	60	60	0	15	15
	區間	45	45	15	0	30
	貨車	75	75	15	30	0
上行	傾斜	0	15	30	45	75
	自強	15	0	15	30	60
	莒光	30	15	0	15	45
	區間	45	30	15	0	30
	貨車	75	60	45	30	0

表 7 武塔漢本間的待避損失時間

單位：秒

方向	先行列車	續行列車				
		傾斜	自強	莒光	區間	貨車
下行	傾斜	0	30	75	75	315
	自強	30	0	45	45	285
	莒光	75	45	0	0	240
	區間	75	45	0	0	240
	貨車	315	285	240	240	0
上行	傾斜	0	30	75	90	330
	自強	30	0	45	60	300
	莒光	75	45	0	15	255
	區間	90	60	15	0	240
	貨車	330	300	255	240	0

五、結論與建議

本研究成功發展了客貨運混合路線的軌道容量分析方法，透過此方法不僅能找出北迴線之容量瓶頸所在，更能清楚指出造成瓶頸的原因，以供未來擬定改善方向之參考。

根據容量分析的結果可知，北迴線容量瓶頸發生在南澳至漢本間，下行方向為每小時 7.39 列車，上行為每小時 7.51 列車。若欲改善該瓶頸，建議可從降低待避損失時間著手，例如提升貨車性能或是調整路線以減少坡度和彎道，皆可減少客貨運車之間的速差，或是於武塔站增設軌道，讓客運列車在此進行追越，而盡量不受到慢速貨運列車的影響，甚至可考慮新闢貨運專用軌道，將客貨運列車分流，雖成本較高，但能夠從根本上完全消除客貨運列車之間的待避損失時間，進而提升北迴線客貨運運能。

參考文獻

- Kittelson & Associates Inc. (2003) Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2nd Edition, TRB, National Research Council, Washington D. C.
- Krueger, H. (1999) Parametric Modeling in Rail Capacity Planning, Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, pp.1194-1200
- Pachl, J. (2002) Railway Operation and Control, VTD Rail Publishing, Mountlake Terrace
- Tom Parkinson Transport Consulting Limited (1996) Rail Transit Capacity, TRB, National Research Council, Washington D. C.
- 交通部運輸研究所 (2005) 軌道容量研究－臺鐵系統容量模式之建構分析 (一)
- 交通部運輸研究所 (2013) 2013 年臺灣鐵道容量手冊