

A、B型混合路權輕軌容量分析實證研究—以淡海輕軌第二期整體路網為例

Danhai Light Rail Transit with Mixed Types A and B Rights of Way Railway Capacity Analysis - A Case Study Incorporating Phase 2 Network

運輸計畫組 劉昭榮

研究期間：民國111年3月至111年12月

摘 要

整體鐵道容量分析之泛用架構一般皆以供給面做為主要的考慮範疇，而依據過去本所「運輸系統容量分析暨應用研究—軌道系統」之系列研究結果顯示，影響鐵道容量的因素可歸納成路線條件、交通條件及控制條件三大類，影響可謂錯綜複雜。

108-109 年度本所分別辦理「輕軌系統容量分析暨應用研究(1/2)—A、B 型路權容量模式構建」及「輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)—A、B 型路權容量及可靠度分析軟體開發」二項 A、B 型路權輕軌容量研究，已就其關鍵之容量相關議題進行深入分析研究，惟鑑於輕軌容量系列研究之完整性及後續之應用推廣，爰選定大部分皆為 A、B 型路權甚至藍海線第二期路網 2 站為 C 型路權之淡海輕軌整體路網進行容量實證分析研究，俾為後續參據。

經由本研究之分析結果顯示，由於淡水漁人碼頭站(V26)—V21 站尚未通車營運，且淡水河岸老街路段 V22 站—V21 站預計將採 C 型路權布設，將更增加整體路網容量分析之難度。經由本研究之現況及情境容量分析，仍可獲致許多寶貴之分析成果，包括淡海輕軌綠山線及藍海線之容量瓶頸皆位於紅樹林站，平均每小時 10.27 列車，運轉時隔為 350.45 秒（目前最短班距為 360 秒），且若要再縮短班距，減少列車在紅樹林站和崁頂站的停靠時間，於紅樹林站和崁頂站交替使用兩條股道進行折返，即可產生效果。另欲分析分歧路線之容量，本案例分為紅樹林站—濱海沙崙站、濱海沙崙站—崁頂站，以及濱海沙崙站—V21 站等三段分別進行容量分析，結果顯示由於紅樹林站—濱海沙崙站是通車後兩種運行模式的重疊段，故為了滿足岔出二路線之容量及營運需求，紅樹林站—濱海沙崙站重疊段之容量必須有效提升，而經由列車於紅樹林站交替使用不同股道進行折返，則運轉時隔可降為 180.62 秒(約 3 分鐘)，則兩種運行模式各自能夠於 6 分鐘開行一班列車，且濱海沙崙站—崁頂站和濱海沙崙站—V21 站之容量亦可充分運用。

關鍵詞：A、B 型路權、容量分析、運轉時隔

A、B型混合路權輕軌容量分析實證研究—以淡海輕軌第二期整體路網為例

一、前言

1.1 研究緣起

過去本所鐵道容量系列研究已發展傳統區域鐵路系統(臺鐵系統)、都會捷運系統及 A、B 型路權輕軌容量的鐵道容量分析模式與軟體，並就上述系統之容量研究編訂臺灣鐵道容量手冊，爰除部分後續容量議題需再納入研究外(如末端站、維修機廠、號誌系統提升…等對容量之影響)，已能充分考量系統之路線條件(包括站場配置)、交通條件(包括列車性能及車種組成)及控制條件(號誌系統)等參數資料，就已開發之鐵道容量分析模式分析並掌握各種鐵道系統之供給容量，並深入分析影響其容量之關鍵要素及容量提升做法。鑑於高雄環狀輕軌及淡海輕軌已陸續完工通車，且前瞻基礎建設計畫亦將於各都會區規劃推動輕軌系統，為利後續規劃及推動中之輕軌系統皆能有效掌握其供給容量，提供最務實之系統型式選擇及軟體設施規劃配置決策參考，實應全面進行所推動之輕軌運輸系統容量分析，以擴大後續輕軌系統於規劃、興建及營運階段之應用。

108-109 年度本所分別辦理「輕軌系統容量分析暨應用研究(1/2)—A、B 型路權容量模式構建」及「輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)—A、B 型路權容量及可靠度分析軟體開發」二項 A、B 型路權輕軌容量研究，已就其關鍵之容量相關議題進行深入分析研究，惟鑑於輕軌容量系列研究之完整性及後續之應用推廣，爰選定大部分皆為 A、B 型路權甚至藍海線第二期路網 2 站為 C 型路權之淡海輕軌整體路網(如圖 1 所示)，進行容量實證分析研究，俾為後續參據。

1.2 研究內容

輕軌系統之布設本具有極大之彈性，不同路段可採用不同路權型式之輕軌，其中 A 型路權輕軌系統因路權專屬較為單純，但 A、B 型路權輕軌系統因於路口部分可與公路車流(甚至人流)共用路權提供公路及輕軌車輛行駛，車流特性變得異常複雜。故本研究乃著重探討影響 A、B 型路權輕軌容量之關鍵因素，初步主要鎖定在於下列 2 項議題：(1)路口號誌對輕軌系統容量之影響；(2)影響橫交道路車流紓解之路口號誌周期時制和輕軌列車之互動。茲綜述本研究整體的研究內容如下：

1. 影響 A、B 型路權輕軌容量之因素分析：分析車站/路口之近、遠端設站空間幾何布設等路線因素；分析輕軌列車之車輛間運轉特性、輕軌加減速運動等交通因素；分析輕軌停站時間、路口號誌時制、優先號誌等控制因素。
2. A、B 型路權輕軌路線容量模式應用：包括單一空間參考點容量及瓶

頸點分析模式、可靠度之分析模式應用。

3. 分析參數資料蒐集：包括空間參考點相關位置、間距、末端站內參數、中間站參數、橫交路口參數、路口與號誌參數、優先號誌參數等資料蒐集。
4. 實證案例分析：就蒐集之路線條件(車站/路口幾何布設)、交通條件(車輛間運轉特性、輕軌加減速運動)、控制條件(輕軌停站時間、路口號誌時制、優先號誌)等參數資料，建置容量模式之操作環境，進行單一空間參考點容量及瓶頸點分析、可靠度之分析。



圖 1 淡海輕軌容量研究範圍

資料來源：新北市政府，「新北大眾捷運系統淡海輕軌運輸系統計畫」112年6月修正報告。

二、輕軌系統路線容量分析模式

2.1 基本概念

路線容量分析可求得系統的最大發車頻率或最大流率，即每單位時間最多可通過多少列車，實務上主要是在計算鐵道系統的實用容量 (Practical Capacity)，也就是系統在正常營運條件下所能提供的運能 (Krueger, 1999)。

在傳統鐵路與捷運系統中，所謂的正常營運條件是指列車在閉塞號誌系統常綠下運行，亦即列車運行時不會受到其他列車影響。然而，輕軌並沒有閉塞號誌系統，並且在 B 型路權還有橫交路口的影響，故本模式在分析輕軌的實用容量時，將營運條件界定為：「列車在不受其先行列車的影響下順暢運行，且要考量路口號誌的影響以及運轉寬裕」，如圖 2 所示，列車運行時除了停站之外也可能因遇到紅燈而停車，但列車之間須保持足夠的距離，即便先行列車停靠車站或停等紅燈，續行列車也不得因與先行列車靠得太近而被迫減速，甚至接續在先行列車後面停車；亦即不同列車在停車點之間的運轉速度必須維持固定。

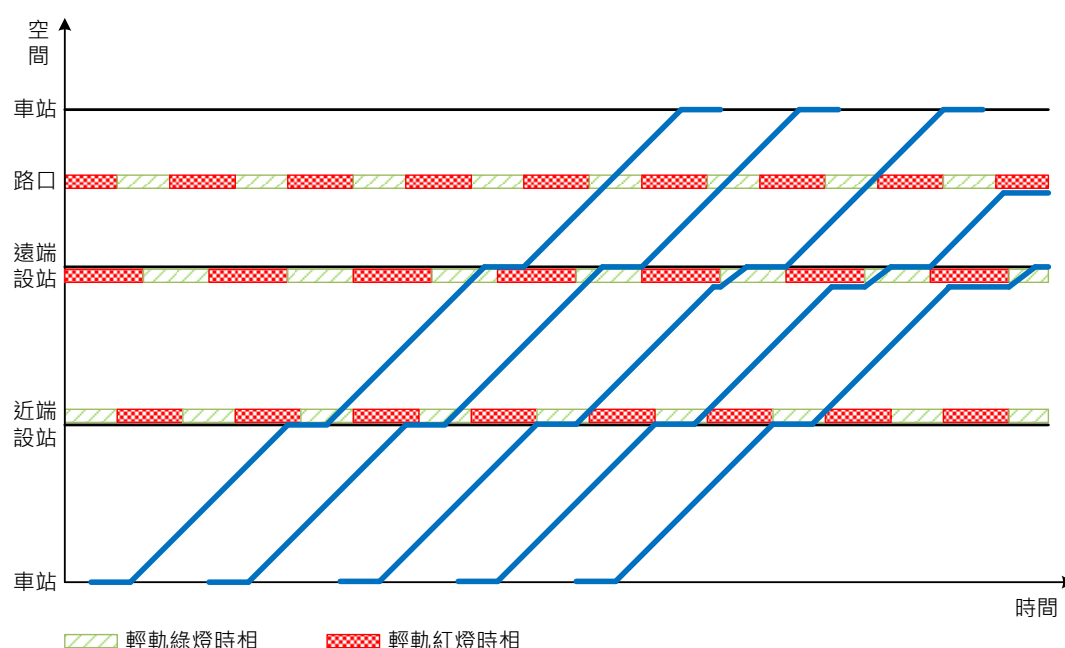


圖 2 評估輕軌容量的營運條件示意圖

為評估本案例整體路線之容量，本研究應用本所 109 年度開發完成之「A、B 型路權輕軌容量分析模式及軟體」進行相關分析，可同時分析「單一空間參考點」及「連續路段」之容量，以掌握主要之瓶頸點及整體路線之容量限制。另為了要在符合上述條件來求取輕軌路系統連續路段的各項容量資料，本模式演算的基本概念如圖 3 所示，即在一條輕軌路線的起點不斷地密集發送列車，以離散事件導向（Discrete-Event Simulation）的系統模擬方法，依照列車運轉基本規則以及上述營運條件，將列車推進至路線終點，最後觀察列車到達終點的流量來評估此連續路段之容量。模式中共有兩種事件：進入事件與離開事件，分別代表列車進入與離開某一空間參考點，如圖 4 所示，每一事件皆包含其所屬的列車、發生時間與空間參考點等資訊，透過一連串的進入與離開事件的推演，便可描述一列車從路線起點運行至終點的過程。

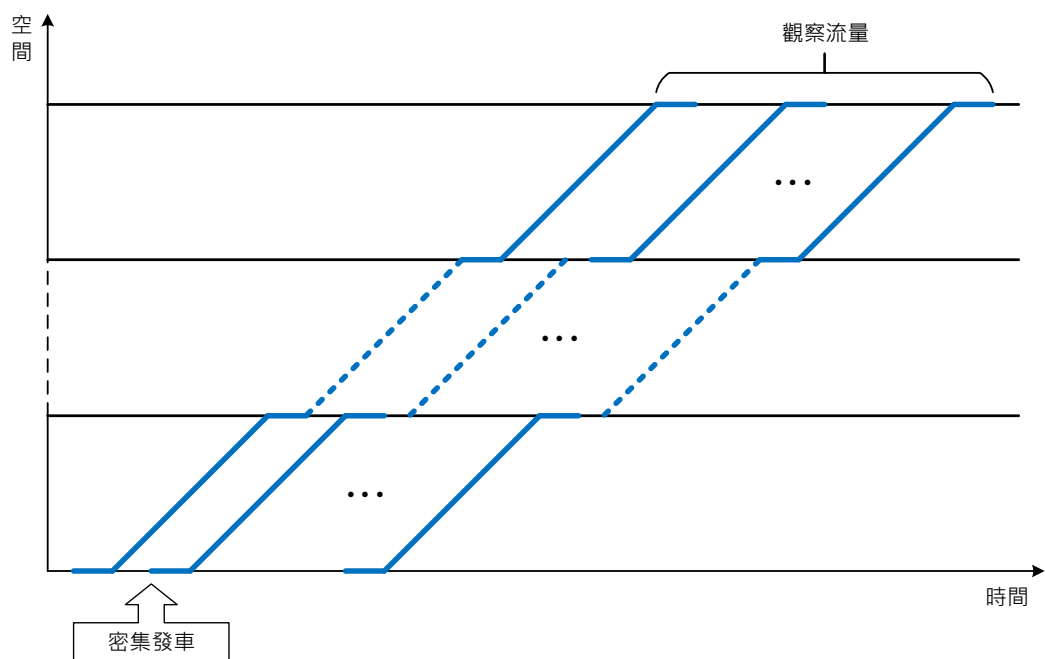


圖 3 演算概念圖

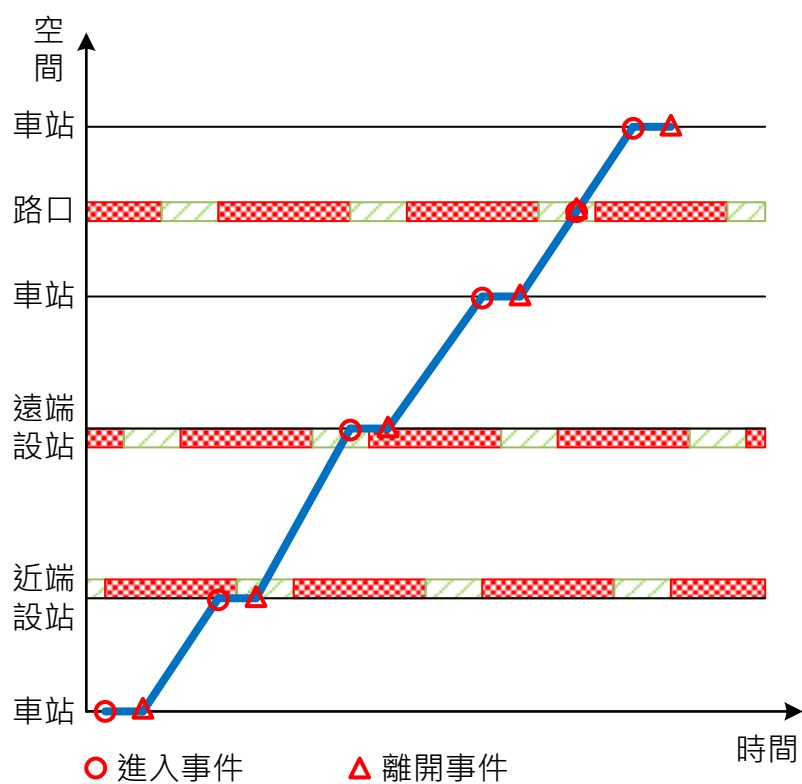


圖 4 進入事件與離開事件示意圖

2.2 假設條件

在模式中，列車須遵循著運轉基本規則運行，包括(1)先續行列車要保持足夠的安全時距；(2)列車在站間運行時不能追越前車；(3)列車行經橫交路口時需根據號誌的指示通過。此外為便於發展模式，本研究針對模式做

了下列假設：

1. 連續路段可為 A、B 型交互混合之路權型式，其範圍為路線中所有空間參考點，包含中間站、橫交路口以及受路口影響之中間站，如近端設站與遠端設站，但為使本模式能著重於探討連續路口號誌對輕軌容量之影響，連續路段範圍不含端末折返站。
2. 列車均行經整個連續路段，採複線運轉，亦即每一列車皆從路線的起點出發，經過中間所有的空間參考點最後到達終點，而沒有列車以中間的任何車站做為起迄點。此假設與目前國內輕軌系統的營運方式相同，即便未來在運輸需求較高的區間開行區間車，也只是代表開行區間車的部分容量利用率較高。若是分歧路線，則可從分歧點將路線切分成數個連續路段，分別進行容量分析。
3. 有關 B 型路權之橫交路口的車流影響，在本模式中均轉換成路口號誌的影響反映之，且根據目前國內實務狀況，路口號誌採用定時號誌控制（Pretimed Signal Control），若有採用優先號誌，則會維持其號誌週期不變，避免影響號誌連鎖或續進的設計。

2.3 模式架構

圖 5 為本模式之架構，在進行模擬時考量的因素包含停站時間、運轉時間、安全時距、路口號誌與運轉寬裕，最後再根據每列車從連續路段終點離開的時間來計算路線容量。其中安全時距受到路線、交通與控制等條件的影響，本研究參考本所（2020）針對輕軌發展的安全時距公式，並考量司機員與煞車系統反應時間，模式中採用的安全時距計算方式如表 1，相關的數學符號意義如表 2。

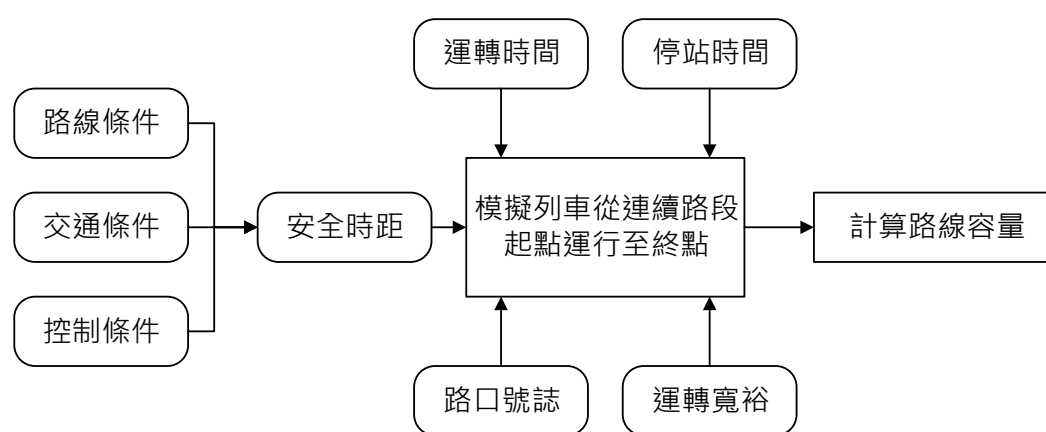


圖 5 模式架構

表 1 安全時距公式彙整表

時距種類	公式
先行列車從靜止啟動通過路口至續行列車通過路口所須保持的最小時間間隔	$t_{DP} = \frac{v_o}{K_a a} + t_r + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{L}{v_i} - \frac{v_o^2}{2K_a a v_i}$
兩列車連續通過路口所須保持的最小時間間隔	$t_{PP} = t_r + \frac{v_i}{2K_b b} + \frac{L}{v_i}$
先行列車離開車站至續行列車到達車站所須保持的最小時間間隔	$t_{DA} = t_r + \frac{L}{v_i} + \frac{v_i}{K_b b}$

表 2 安全時距公式數學符號意義說明

變數	說明	單位
a	列車加速率	公尺/秒 ²
b	列車減速率	公尺/秒 ²
K_a	列車加速率有效因子	—
K_b	列車減速率有效因子	—
L	列車車身長度	公尺
t_{DA}	先行列車離開車站至續行列車到達車站所須保持的時距	秒
t_{DP}	先行列車從靜止啟動通過路口至續行列車通過路口所須保持的時距	秒
t_{PP}	兩列車連續通過路口所須保持的時距	秒
t_r	司機員與煞車系統反應時間	秒
v_i	列車於車站或路口前的巡航速度	公尺/秒
v_o	列車於車站或路口後的巡航速度	公尺/秒

2.4 整體流程

本模式的模擬流程如圖 6，基本上是逐列車進行模擬，當一列車所有事件的時間都決定後，再加入下一列車，直到所有列車都模擬完成，便能根據列車到達終點站的時間來評估容量。在決定事件時間的過程中，必須檢核是否符合列車運轉的基本規則，若沒通過檢核，則將該事件的發生時間往後延，直到通過檢核為止。此外，若該事件為進入事件，由於計算容量時的營運條件是不讓列車靠得太近而減速，因此還需要往前找尋關鍵事件，

一併調整列車離開前一站的時間，才能讓列車在維持原定行駛速率的情況下也能與先行列車保持足夠的距離。

對於整個過程中的檢核機制、所需延後時間之計算、關鍵事件及其延後時間之計算、優先號誌之考量，以及路線容量評估等流程，分別說明如下。

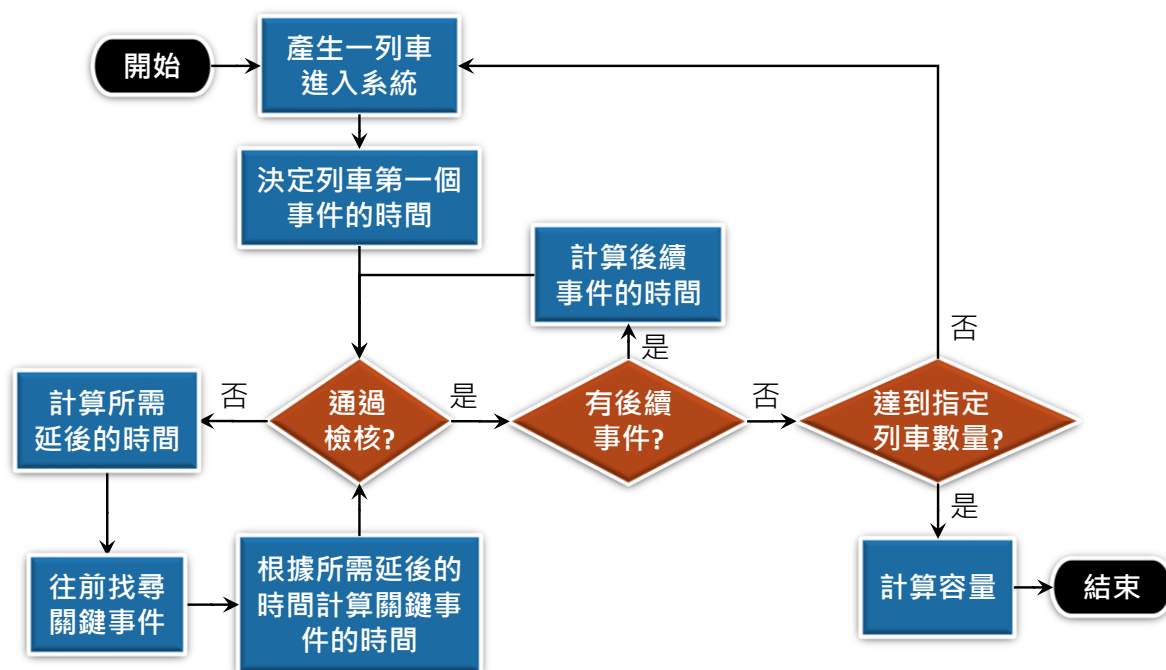


圖 6 整體流程圖

一、檢核機制

根據空間參考點型式與事件類型的不同，所需檢核的項目亦有所不同，如表 3 所示，各項檢核之目的為確保在模擬的過程中，各列車之間能保持足夠的安全時距、列車行經橫交路口時能根據號誌的指示通過，以及列車不會緊接在前車後面停等紅燈等規則，若檢核不通過，則透過延後該事件的發生時間來通過檢核。

表 3 空間參考點型式、事件類型與檢核項目對照表

空間參考點型式	事件類型	檢核項目
中間站	進入事件	● 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	● 停站時間是否足夠
橫交路口	進入事件	● 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	● 路口號誌是否為綠燈
近端設站	進入事件	● 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	● 停站時間是否足夠

		● 路口號誌是否為綠燈
遠端設站	進入事件	● 是否緊接在先行列車後面停等紅燈 ● 與先行列車是否保持足夠的安全時距
	離開事件	● 停站時間是否足夠

二、所需延後時間之計算

為了通過檢核，須視空間參考點型式與事件類型來計算所需延後的時間量，其計算方式分別說明如下：

1. 中間站

當列車進入中間站與先行列車的安全時距不足時，如圖 7 所示，則該進入事件所需延後的時間量為

$$t_{e,c} = t_{D,i-1} + (1 + \beta)t_{DA} - t_{E,i} \quad (1)$$

式中：

$t_{e,c}$ ：通過檢核至少需延後的時間（秒）

$t_{D,i-1}$ ：第 $i-1$ 列車離開空間參考點的時間（秒）

β ：運轉寬裕時間係數

$t_{E,i}$ ：第 i 列車進入空間參考點的時間（秒）

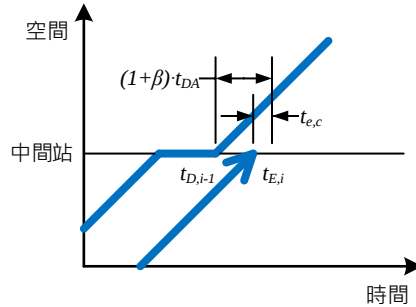


圖 7 計算中間站進入事件所需延後時間示意圖

當列車離開中間站而停站時間不足時，如圖 8 所示，則該離開事件所需延後的時間量為

$$t_{e,c} = t_{E,i} + (1 + \beta)t_d - t_{D,i} \quad (2)$$

式中：

t_d ：列車的停站時間（秒）

$t_{D,i}$ ：第 i 列車離開空間參考點的時間（秒）

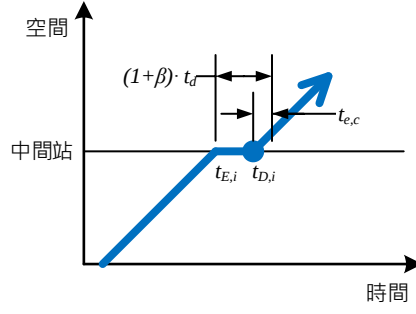


圖 8 計算中間站離開事件所需延後時間示意圖

2. 橫交路口

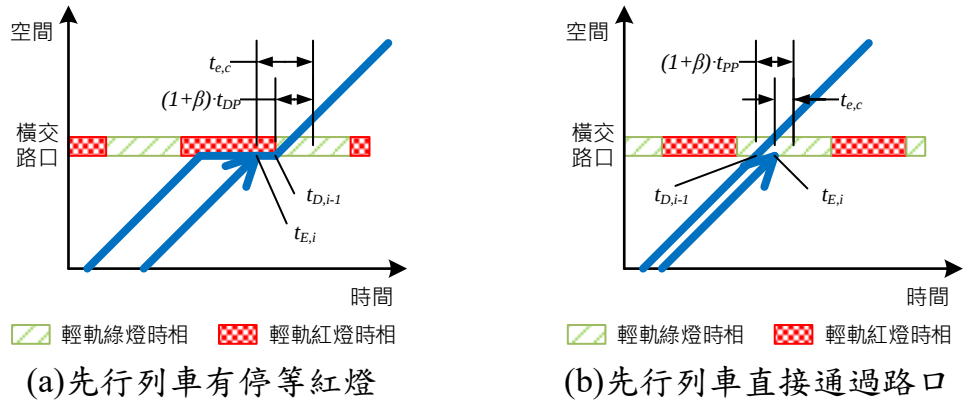
當列車進入橫交路口與先行列車的安全時距不足時，如圖 9 所示，共有兩種情況，其所需延後的時間量之計算分別為：

(1) 先行列車有停等紅燈

$$t_{e,c} = t_{D,i-1} + (1 + \beta)t_{DP} - t_{E,i} \quad (3)$$

(2) 先行列車沒有停等紅燈，直接通過路口

$$t_{e,c} = t_{D,i-1} + (1 + \beta)t_{PP} - t_{E,i} \quad (4)$$



(a) 先行列車有停等紅燈

(b) 先行列車直接通過路口

圖 9 計算橫交路口進入事件所需延後時間示意圖

若列車離開橫交路口時必須停等紅燈，如圖 10 所示，則該離開事件所需延後的時間量為

$$t_{e,c} = r_w \quad (5)$$

式中：

r_w ：列車到達路口時，剩餘的紅燈時間（秒）

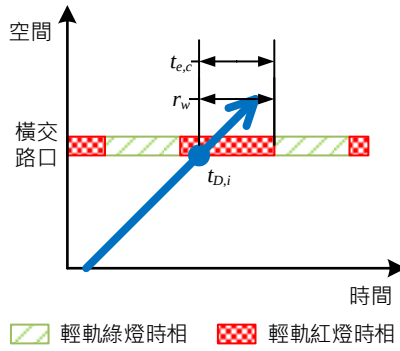


圖 10 計算橫交路口離開事件所需延後時間示意圖

3. 近端設站

當列車進入近端設站的車站時，若與先行列車的安全時距不足，如圖 11 所示，則該進入事件所需延後的時間量之計算如公式(1)。

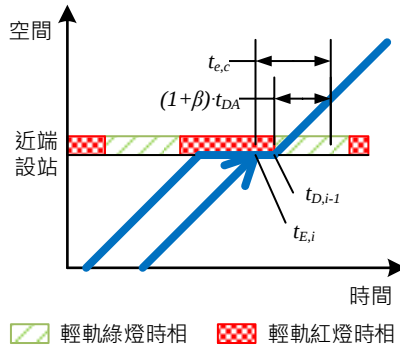


圖 11 計算近端設站進入事件所需延後時間示意圖

而當列車離開近端設站的車站時，若路口號誌為紅燈，則列車必須等到號誌轉為綠燈才可離開，同時停站時間也必須足夠，如圖 12 所示，故該離開事件所需延後的時間量為

$$t_{e,c} = t_{E,i} + \max(r_w, (1 + \beta)t_d) - t_{D,i} \quad (6)$$

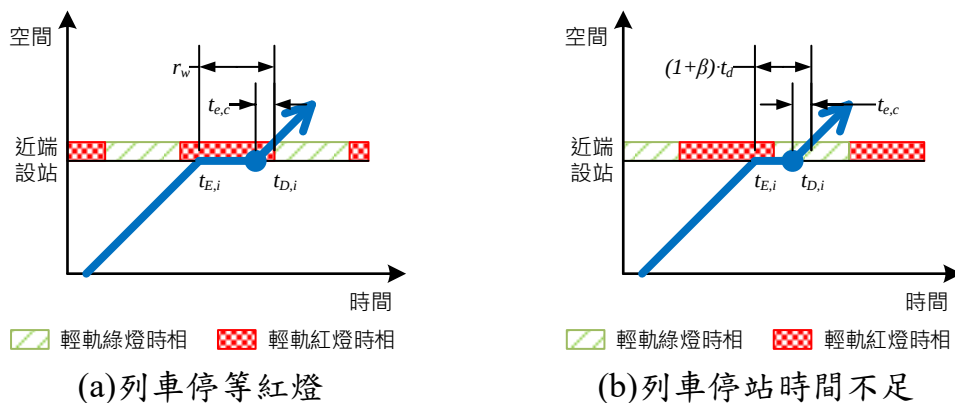


圖 12 計算近端設站離開事件所需延後時間示意圖

4. 遠端設站

當列車進入遠端設站的車站時，如圖 13 所示，會根據先行列車離開

時路口號誌是否為紅燈，來計算進入事件所需延後的時間量：

(1) 先行列車離開時路口號誌為紅燈

當先行列車離開時路口號誌為紅燈，表示續行列車不會緊接在先行列車後面停等紅燈，因此續行列車可於路口停等紅燈後再進站，則進入事件所需延後的時間量為

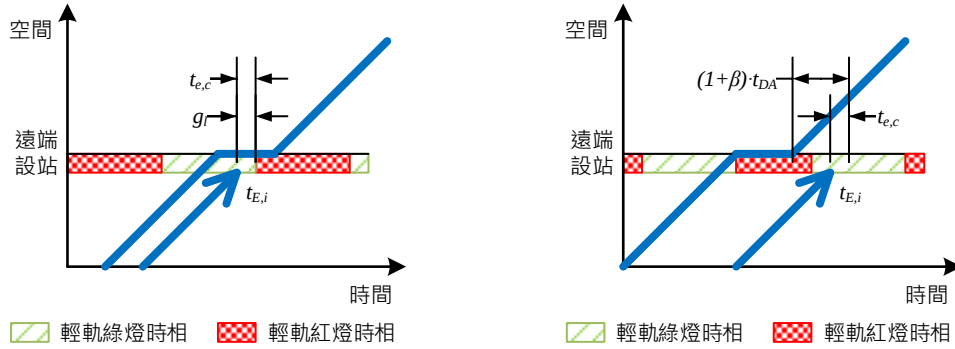
$$t_{e,c} = g_l \quad (7)$$

式中：

g_l ：列車到達路口時，剩餘的綠燈時間（秒）

(2) 先行列車離開時路口號誌為綠燈

當先行列車離開時路口號誌為綠燈，表示續行列車進站必須和先行列車保持足夠的安全時距，故所需延後時間的計算如公式(1)。



(a) 先行列車離開時號誌為紅燈

(b) 先行列車離開時號誌為綠燈

圖 13 計算遠端設站進入事件所需延後時間示意圖

而當列車離開遠端設站的車站時，由於沒有路口號誌的影響，情況便和中間站相同，若停站時間不足，則該離開事件的發生時間至少需延後的時間計算如公式(2)。

三、優先號誌之考量

為了避免輕軌受路口號誌影響而產生太多額外的停等時間，實務上通常會採取相對優先號誌 (Priority Signal) 讓列車在抵達路口時能順利通過，因此本模式採用文獻中常見的優先號誌策略來進行模擬，包含延長綠燈、縮短紅燈和插入綠燈三種 (Smith, H. R., et al., 2005; Koonce, P., et al., 2008; Urbanik, T., et al., 2015)。此外，考量到公路交通號誌通常有續進或連鎖的設計，模式中執行優先號誌策略時，不會改變原有號誌週期長度，並且有如表 4 之限制。

表 4 採取優先號誌策略之限制

優先號誌策略	限制條件
延長綠燈 (Green Extension)	● 最長輕軌綠燈時間
縮短紅燈 (Red Truncation)	● 橫交路口最短綠燈時間
插入綠燈 (Phase Insertion)	● 橫交路口最短綠燈時間 ● 一個號誌週期內可插入的輕軌綠燈時相數量

四、路線容量評估

完成模擬後，扣除系統暖機階段以及結束之前的時段，僅取中間模擬時間範圍內之狀況，如圖 14 所示，以下列公式計算路線容量

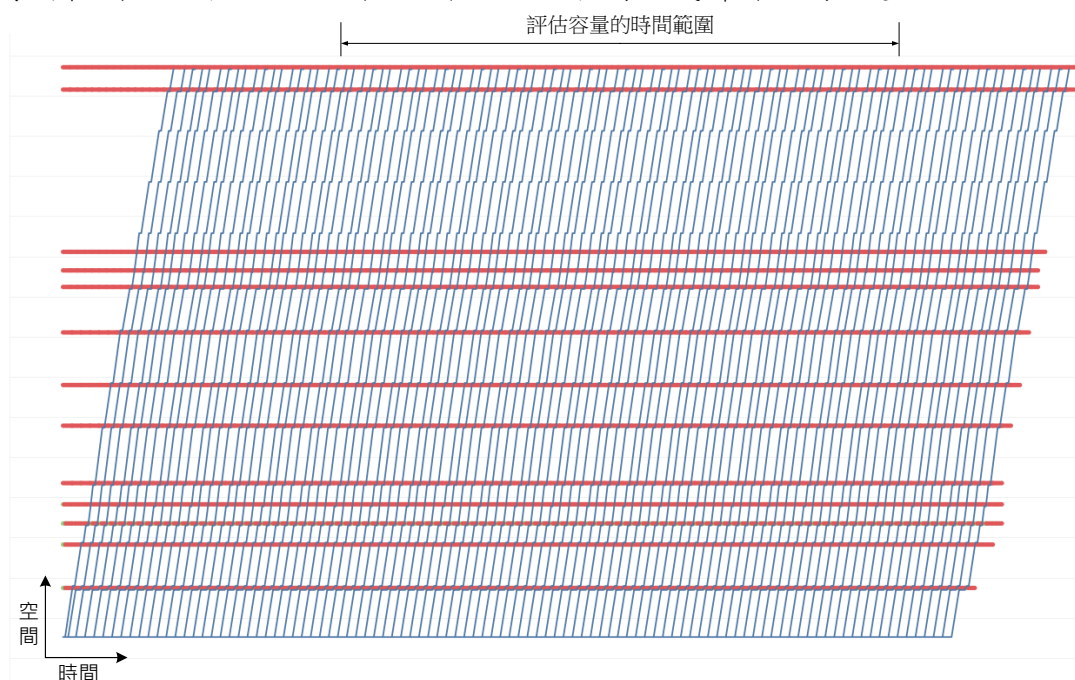


圖 14 評估容量時所使用的範圍示意圖

$$\bar{h} = \frac{t_D(N) - t_D(1)}{N - 1} \quad (8)$$

$$C_l = \frac{3600}{\bar{h}} \quad (9)$$

式中：

$\bar{h}$ ：平均運轉時隔（秒）

$t_D(N)$ ：時間範圍內最後一列車於路線終點離開的時間（秒）

$t_D(1)$ ：時間範圍內第一列車於路線終點離開的時間（秒）

N ：時間範圍內從路線終點離開的列車數（秒）

C_l ：路線容量（列車數/小時）

三、淡海輕軌參數蒐集分析

3.1 路線及營運路段概述

淡海輕軌計畫分為二階段，第一期路網主要分為綠山線及藍海線兩條路線，全長 9.55 公里，設置共 14 站；第二期路網則為藍海線的延伸，長 4.44 公里，設置 6 站。綠山線的總長 7.4 公里，設置 7 座高架車站及 4 座平面車站；藍海線與綠山線 1.21 公里共線，第一、二期總長 7.86 公里，不含共線段設置 9 座平面車站。

綠山線起自臺北捷運紅樹林站北側的機車停車場上方，一路以高架型式沿台 2 乙線、淡金公路、金龍橋、濱海路建置，並在中山北路後降為平面，自沙崙路轉往新市六路路口為端點。藍海線原規劃起自台 2 乙線中山路與淡水老街中正路的分隔島，分別循兩路以單股方式建置，並於中正路與文化路交會處併為雙股，一路沿台 2 乙線西行至觀海路右轉淡海路跨公司田溪，續沿濱海路到濱海沙崙路口，與綠山線銜接共軌。藍海線中的 V26 淡水漁人碼頭站、V27 沙崙站、V28 台北海洋科技大學為第一期施工路網，於 2020 年 11 月 15 日通車；藍海線第二期路網包含藍海線淡水站(V21)至淡水漁人碼頭站(V26)，因原定行駛老街規劃遭到反對，目前擬改走河岸路線，預計於核定後 5 年完工通車。

3.2 淡海輕軌營運及規劃路段之參數蒐集分析

為利分析淡海輕軌目前已通車之第一期及規劃設計階段第二期所有路段之路線容量，本研究蒐集彙整通車路段之路線、交通、控制條件等各項參數資料，茲臚列如表 5~表 13 所示。

表 5 各空間參考點設置型式

名稱	類型	
	往炭頂方向	往紅樹林方向
紅樹林站	端末站—使用相同股道站前折返	
竿蓁林站	中間站	
淡金鄧公站	中間站	
淡江大學站	中間站	
淡金北新站	中間站	
新市一路站	中間站	
淡水行政中心站	中間站	
濱海路-濱海路306巷路口	路口	
濱海義山站	遠端設站	近端設站
濱海路-濱海路202巷路口	橫交路口	
濱海沙崙站	近端設站	遠端設站
沙崙路-新市二路路口	橫交路口	
淡海新市鎮站	近端設站	遠端設站
沙崙路-新市五路路口	橫交路口	
炭頂站	端末站—使用相同股道站前折返	

名稱	類型	
	往 V21 站方向	往紅樹林方向
紅樹林站	端末站—使用相同股道站前折返	
竿蓁林站	中間站	
淡金鄧公站	中間站	
淡江大學站	中間站	
淡金北新站	中間站	
新市一路站	中間站	
淡水行政中心站	中間站	
濱海路-濱海路306巷路口	路口	
濱海義山站	遠端設站	近端設站
濱海路-濱海路202巷路口	橫交路口	
濱海沙崙站	近端設站	遠端設站
濱海路-濱海路148巷路口	橫交路口	
台北海洋大學站(V28站) (中正路二段)	近端設站	遠端設站
沙崙站(V27站) (觀海路)	近端設站	遠端設站
觀海路-中正路二段(台2乙)路口	橫交路口	
淡水漁人碼頭站(V26A站) (中正路二段51巷)	遠端設站	近端設站
中正路二段-22巷路口	橫交路口	
中正路二段-沙崙路口	橫交路口	
V25站 (中正路一段87巷-132巷路口)	遠端設站	近端設站
中正路一段-淡海路路口	橫交路口	
中正路一段-62巷路口	橫交路口	
中正路一段-22巷路口	橫交路口	
V24站(中正路一段8巷)	近端設站	遠端設站
中正路-32巷路口	橫交路口	
V23站(真理街)	近端設站	近端設站
中正路-文化路口	橫交路口	
V22站	中間站	
V21站	端末站—使用相同股道站前折返	

資料來源：新北大眾捷運股份有限公司、本研究整理。

表 6 各空間參考點的間距參數

空間參考點	往炭頂方向	往紅樹林方向	空間參考點	往 V21 站方向	往紅樹林方向
	與下一空間參考點之距離 (公尺)	與上一空間參考點之距離 (公尺)		與下一空間參考點之距離 (公尺)	與上一空間參考點之距離 (公尺)
紅樹林站	840.81	—	紅樹林站	840.81	—
竿蓁林站	929.69	840.06	竿蓁林站	929.69	840.06
淡金鄧公站	980.57	928.72	淡金鄧公站	980.57	928.72
淡江大學站	579.13	979.05	淡江大學站	579.13	979.05
淡金北新站	506.97	577.33	淡金北新站	506.97	577.33
新市一路站	852.08	506.97	新市一路站	852.08	506.97
淡水行政中心站	370.00	848.63	淡水行政中心站	370.00	848.63
濱海路-濱海路306巷路口	346.98	397.00	濱海路-濱海路306巷路口	346.98	397.00
濱海義山站	265.00	320.05	濱海義山站	265.00	320.05
濱海路-濱海路202巷路口	315.50	293.00	濱海路-濱海路202巷路口	315.50	293.00
濱海沙崙站	424.00	287.50	濱海沙崙站(V09)	380.05	287.50
沙崙路-新市二路路口	221.93	500.00	濱海路148巷路口	106.34	366.09
淡海新市鎮站	298.00	165.67	台北海洋大學站(V28站)	1,118.60	106.34
沙崙路-新市五路路口	327.06	352.00	沙崙站(V27站)	244.67	1,123.64
炭頂站	—	274.13	觀海路-中正路二段(台2乙)路口	495.96	244.67
			淡水漁人碼頭站(V26A站)	55.04	496.85
			中正路二段-22巷路口	85.11	56.15
			中正路二段-沙崙路口	289.77	85.11
			V25站(中正路87巷-132巷路口)	295.19	290.63
			中正路一段-淡海路路口	100.82	295.19
			中正路一段-62巷路口	150.89	100.82
			中正路一段-22巷路口	75.58	150.89
			V24站(中正路一段8巷)	290.07	75.58
			中正路-32巷路口	275.70	300.08
			V23站(真理街)	212.53	295.35
			中正路-文化路口	308.17	212.53
			V22站	1,136.09	308.17
			V21站	--	1,141.05

資料來源：新北大眾捷運股份有限公司、本研究整理。

表 7 末端站_紅樹林站及 V21 站參數

參數名稱_紅樹林站	設定
列車離站後的巡航速度	15 公里/小時
列車進站前的巡航速度	20 公里/小時
折返停靠時間	120 秒
列車於車站停車處至橫渡線之距離	50 公尺
橫渡線區範圍	65.53 公尺
列車從設定路徑點至橫渡線之距離	303 公尺
直進道岔限速	15 公里/小時
斜進道岔限速	10 公里/小時

參數名稱_V21 站	設定
列車離站後的巡航速度	10 公里/小時
列車進站前的巡航速度	15 公里/小時
折返停靠時間	120 秒
列車於車站停車處至橫渡線之距離	25.59 公尺
橫渡線區範圍	69.93 公尺
列車從設定路徑點至橫渡線之距離	230 公尺
直進道岔限速	15 公里/小時
斜進道岔限速	10 公里/小時

資料來源：新北大眾捷運股份有限公司、本研究整理。

表 8 端末站_炭頂站參數

參數名稱	設定
列車離站後的巡航速度	10公里/小時
列車進站前的巡航速度	25公里/小時
折返停靠時間	120秒
列車於車站停車處至橫渡線之距離	25.59公尺
橫渡線區範圍	69.93公尺
列車從設定路徑點至橫渡線之距離	230公尺
直進道岔限速	15公里/小時
斜進道岔限速	10公里/小時

資料來源：新北大眾捷運股份有限公司、本研究整理。

表 9 各中間站參數

車站名稱	往炭頂方向		往紅樹林方向	
	進站前巡航速度 (公里/小時)	停站時間 (秒)	進站前巡航速度 (公里/小時)	停站時間 (秒)
竿蓁林	40	35	50	35
淡金鄧公	40	35	40	35
淡江大學	35	35	55	35
淡金北新	40	35	30	35
新市一路	30	35	50	35
淡水行政中心	25	35	30	35
濱海義山	30	35	30	35
濱海沙崙	30	35	15	35
淡海新市鎮	25	35	25	35

車站名稱	往 V21 站方向		往紅樹林方向	
	進站前巡航速度 (公里/小時)	停站時間 (秒)	進站前巡航速度 (公里/小時)	停站時間 (秒)
竿蓁林	40	35	50	35
淡金鄧公	40	35	40	35
淡江大學	35	35	55	35
淡金北新	40	35	30	35
新市一路	30	35	50	35
淡水行政中心	25	35	30	35
濱海義山	30	35	30	35
濱海沙崙	30	35	15	35
台北海洋大學站(V28 站)	30	35	30	35
沙崙站(V27 站)	30	35	20	35
淡水漁人碼頭站(V26A 站)	30	35	20	35
V25 站	30	35	20	35
V24 站	30	35	20	35
V23 站	30	35	20	35
V22 站	15	35	15	35

資料來源：新北大眾捷運股份有限公司、本研究整理。

表 10 各橫交路口參數

路口名稱	往炭頂方向巡航速度 (公里/小時)		往紅樹林方向巡航速度 (公里/小時)	
	進入路口前	離開路口後	進入路口前	離開路口後
濱海路－ 濱海路 306 巷	30	30	30	30
濱海路－ 濱海路 202 巷	30	30	30	30
沙崙路－ 新市二路	30	30	25	25
沙崙路－ 新市五路	25	25	25	25

路口名稱	往 V21 站方向巡航速度 (公里/小時)		往紅樹林方向巡航速度 (公里/小時)	
	進入路口前	離開路口後	進入路口前	離開路口後
濱海路－ 濱海路 306 巷	30	30	30	30
濱海路－ 濱海路 202 巷	30	30	30	30
濱海路-濱海路 148 巷路口	30	30	30	30
觀海路-中正路二 段(台 2 乙)路口	30	30	30	30
中正路二段-22 巷 路口	30	30	30	30
中正路二段-沙崙 路口	30	30	30	30
中正路一段-淡海 路路口	30	30	30	30
中正路一段-62 巷 路口	30	30	30	30
中正路一段-22 巷 路口	30	30	30	30
中正路-32 巷路口	30	30	30	30
中正路-文化路口	30	30	30	30

資料來源：新北大眾捷運股份有限公司、本研究整理。

表 11 各路口與號誌參數(綠山線)

路口或車站名稱	路口 寬度 (公尺)	路口至車站 停車處之距離 (公尺)	號誌 週期 (秒)	輕軌綠燈 時相時間 (秒)	路口號 誌時差 (秒)
濱海路－ 濱海路 306 巷	27	—	90	40	45
濱海路－義山路口 (濱海義山站)	49	16.756	90	32	0
濱海路－ 濱海路 202 巷	28	—	90	40	0
濱海路－沙崙路口 (濱海沙崙站)	92	20.775	180	50	125
沙崙路－新市二路	76	—	90	35	35
沙崙路－新市三路口 (淡海新市鎮站)	50	22.775	90	40	30
沙崙路－新市五路	54	—	90	35	60

資料來源：新北大眾捷運股份有限公司、本研究整理。

表 12 各路口與號誌參數(藍海線)

路口或車站名稱	路口寬度 (公尺)	路口至車站 停車處之距離 (公尺)	號誌 週期 (秒)	輕軌綠燈 時相時間 (秒)	路口號 誌時差 (秒)
濱海路— 濱海路 306 巷	27	—	90	40	45
濱海路—義山路口 (濱海義山站)	49	16.756	90	32	0
濱海路— 濱海路 202 巷	28	—	90	40	0
濱海路—沙崙路口 (濱海沙崙站)	92	20.775	180	45	125
濱海路-濱海路 148 巷 路口	30	—	90	35	0
濱海路—中正路二段口 (台北海洋大學站 V28)	30	41.4	90	35	0
淡海路—觀海路口 (沙崙站 V27)	30	20	90	35	0
觀海路-中正路二段(台 2 乙)路口	21	—	90	50	0
淡水漁人碼頭站(V26A 站) (中正路二段 51 巷)	70	60	90	50	0
中正路二段-22 巷路口	12	—	74	35	0
中正路二段-沙崙路口	16	—	74	35	0
V25 站 (中正路一段 87 巷-132 巷路口)	12	25	150	115	0
中正路一段-淡海路路 口	12	—	150	105	0
中正路一段-62 巷路口	9	—	150	105	0
中正路一段-22 巷路口	6	—	150	105	0
V24 站(中正路一段 8 巷)	36	65	150	115	0
中正路一段-真理街口 (V23)	25	20	150	84	0
中正路-文化路口	57	—	150	85	0

資料來源：新北大眾捷運股份有限公司、本研究整理。

表 13 全域參數與列車參數

參數名稱	數值
列車間乘載變異因子	0.8
運轉寬裕時間係數	0.25
司機員與煞車系統反應時間 (秒)	3.0
參數名稱	數值
列車車身長度 (公尺)	33.44
座位數	66
立位數	184
平均行駛速度 (公里/小時)	30.00
列車加速率 (公尺/秒 ²)	1.1
列車減速率 (公尺/秒 ²)	1.1
加速有效因子	0.75
煞車有效因子	0.75

資料來源：新北大眾捷運股份有限公司、本研究整理。

四、淡海輕軌案例容量分析結果

本案例的分析範圍為綠山線及藍海線已營運及規劃設計中之所有路線，包含末端站 3 座、不受路口影響的中間站 9 座、受路口影響的車站有 7 座以及橫交路口 7 處。在優先號誌方面，目前僅有已營運之綠山線有相關號誌策略之資料，其餘藍海線部分則僅能蒐集目前路口號誌時制資料進行分析，爰藍海線部分暫時假設路口綠燈時相即為未來輕軌之綠燈時相進行分析，所以本案例主要著重於現況之路線容量與各種情境之容量比較分析結果呈現。

4.1 現況容量分析成果

經過輕軌系統單一空間參考點容量分析模式的計算，本案例現況綠山線及藍海線已營運路段的單一空間參考點瓶頸容量如表 14 及表 15 所示，綠山線往崁頂站與往紅樹林站方向的運轉時隔皆為 350.45 秒，路線容量為 10.27 列車/小時，主要之瓶頸點在紅樹林站，次要之瓶頸點在崁頂站與濱海沙崙站，其主因皆為紅樹林站為同股道折返，故嚴重限制其容量。至於濱海沙崙站之運轉時隔為 180 秒，路線容量為 20 列車/小時，而該站因是綠山線及藍海線之重疊路段分歧站，故亦為潛在之容量瓶頸點。至於藍海線已營運之第一期路段的單一空間參考點瓶頸容量如表 15，往漁人碼頭站(V26)與往紅樹林站方向的運轉時隔亦皆為 350.45 秒，路線容量為 10.27 列車/小時，主要之瓶頸點在紅樹林站，次要之瓶頸點在漁人碼頭站(V26)與濱海沙崙站，其原因與綠山線大致相同。

表 14 綠山線單一空間參考點瓶頸容量分析結果

方向	往崁頂站方向	往紅樹林站方向
運轉時隔(秒)	350.45	350.45
路線容量(列車/小時)	10.27	10.27

表 15 藍海線第一期路段單一空間參考點瓶頸容量分析結果

方向	往漁人碼頭站方向	往紅樹林站方向
運轉時隔(秒)	350.45	350.45
路線容量(列車/小時)	10.27	10.27

4.2 容量情境分析成果

為利瞭解淡海輕軌系統現有瓶頸點之改善措施，本案例僅再就藍海線第一期路段及未來淡海輕軌全線營運之分歧線容量進行情境分析，以做為後續營運單位營運策略之參考，茲分析如下。

一、藍海線第一期路段情境分析

依表 15 所示，現況藍海線第一期路段之瓶頸仍在紅樹林站，故若將

該站之列車折返方式調整為「交替使用不同股道折返」，分析結果如圖 15 所示，顯示其運轉時隔將可降低為 295.84 秒，路線容量則可提升為 12.17 列車/小時，但其主要之瓶頸點則轉移至漁人碼頭站(V26)。

單一空間參考點容量分析

系統瓶頸容量

發生地點: 淡水漁人碼頭站(C)
 設計班距(秒): 295.84 路線容量(列車數/小時): 12.17 設計容量(乘位數/小時): 3225 可達成容量(旅客數/小時): 2419

各空間參考點之容量

空間參考點	運轉時隔(秒)	路線容量(列車/小時)	設計容量(乘位/小時)	可達成容量(旅客/小時)
紅樹林	180.62	19.93	5282	3961
竿蓁林	70.94	50.75	13448	10086
淡金鄺公	70.94	50.75	13448	10086
淡江大學	69.33	51.93	13761	10321
淡金北新	70.94	50.75	13448	10086
新市一路	67.91	53.01	14049	10537
淡水行政中心	66.79	53.90	14283	10712
濱海路-濱海路306巷路口	30.00	120.00	31800	23850
濱海義山	90.00	40.00	10600	7950
濱海路-濱海路202巷路口	30.00	120.00	31800	23850
濱海沙崙	180.00	20.00	5300	3975
濱海路-濱海路148巷路口	45.00	80.00	21200	15900
台北海洋大學站(V28)	90.00	40.00	10600	7950
沙崙站(V27)	90.00	40.00	10600	7950
觀海路-中正路二段(台2乙)路口	30.00	120.00	31800	23850
淡水漁人碼頭站(V26)	295.84	12.17	3225	2419

圖 15 藍海線第一期路段情境分析結果

二、全線營運之分歧線容量情境分析

淡海輕軌藍海線第一期路線從綠山線的濱海沙崙站岔出，分別設置台北海洋大學、沙崙和淡水漁人碼頭等 3 座車站，後續第二期路線亦將再增設 5 站銜接至捷運淡水站，路線通車後，將採取紅樹林站－炭頂站以及紅樹林站－V21 站兩種運行模式，故必須分析分歧線之容量問題。

欲分析分歧路線容量，必須從分歧處將路線分段後才能透過輕軌容量軟體進行分析，故本案例將分為紅樹林站－濱海沙崙站、濱海沙崙站－炭頂站，以及濱海沙崙站－V21 站(藍海線)等三段分別進行容量分析。首先，若分析路段為紅樹林站-濱海沙崙站、情境假設紅樹林站為「同一股道站前折返」時，則路線瓶頸為紅樹林站(末端站)，運轉時隔為 350.45 秒，路線容量為 10.27 列車/小時，分析結果如圖 16 所示。若分析路段為濱海沙崙站－炭頂站、情境假設炭頂站為「同一股道站前折返」時，則路線瓶頸為炭頂站(末端站)，運轉時隔為 327.05 秒，路線容量為 11.01 列車/小時，分析結果如圖 17 所示。若分析路段為濱海沙崙站－V21 站(藍海線)、情境假設 V21 站為「同一股道站前折返」時，則路線瓶頸為 V21 站(末端站)，運轉時隔為 325.11 秒，路線容量為 11.07 列車/小時，分析結果如圖 18 所示。

根據上述分析結果顯示，分歧線二段路線之運轉時隔約為 325-327 秒(約 5.4 分鐘)，路線容量約為平均每小時 11 列車。但值得注意的是，紅

樹林站－濱海沙崙站為兩種運行模式的重疊區間，其容量受限於紅樹林站，運轉時隔也大約為 6 分鐘，若兩種運行模式交替使用，則各為 12 分鐘可開行一班列車，此時濱海沙崙站－崁頂站和濱海沙崙站－V21 站之容量便無法充分運用。若列車於紅樹林站交替使用不同股道進行折返，則運轉時隔可降為 180.62 秒(約 3 分鐘)，如圖 19 所示，則兩種運行模式各自能夠於 6 分鐘開行一班列車，且濱海沙崙站－崁頂站和濱海沙崙站－V21 站之容量可充分運用，如圖 20 所示。

空間參考點	運轉時隔(秒)	路線容量(列車/小時)	設計容量(座位/小時)	可達成容量(旅客/小時)
紅樹林	350.45	10.27	2722	2042
竿蓁林	70.94	50.75	13448	10086
淡金部公	70.94	50.75	13448	10086
淡江大學	69.33	51.93	13761	10321
淡金北新	70.94	50.75	13448	10086
新市一路	67.91	53.01	14049	10537
淡水行政中心	66.79	53.90	14283	10712
濱海路-濱海路306巷路口	30.00	120.00	31800	23850
濱海義山	90.00	40.00	10600	7950
濱海路-濱海路202巷路口	30.00	120.00	31800	23850
濱海沙崙	90.00	40.00	10600	7950

圖 16 紅樹林站-濱海沙崙站路段現況容量分析結果

空間參考點	運轉時隔(秒)	路線容量(列車/小時)	設計容量(座位/小時)	可達成容量(旅客/小時)
濱海沙崙	180.00	20.00	5300	3975
沙崙路-新市二路路口	45.00	80.00	21200	15900
淡海新市鎮	90.00	40.00	10600	7950
沙崙路-新市五路口	45.00	80.00	21200	15900
崁頂站	327.05	11.01	2917	2188

圖 17 濱海沙崙站－崁頂站路段現況容量分析結果

單一空間參考點容量分析

儲存 複製 關閉

系統瓶頸容量
發生地點: V21站
設計班距(秒): 325.11 路線容量(列車數/小時): 11.07 設計容量(乘位數/小時): 2934 可達成容量(旅客數/小時): 2201

各空間參考點之容量

空間參考點	運轉時間(秒)	路線容量(列車/小時)	設計容量(乘位/小時)	可達成容量(旅客/小時)
濱海沙崙	180.00	20.00	5300	3975
濱海路-濱海路148巷路口	45.00	80.00	21200	15900
台北海洋大學站(V28)	90.00	40.00	10600	7950
沙崙站(V27)	90.00	40.00	10600	7950
觀海路-中正路二段(台2乙)...	30.00	120.00	31800	23850
淡水漁人碼頭站(V26A)	90.00	40.00	10600	7950
中正路二段-22巷路口	37.00	97.30	25784	19338
中正路二段-沙崙路口	37.00	97.30	25784	19338
V25站(中正路一段87巷-132...	75.00	48.00	12720	9540
中正路一段-淡海路路口	21.43	168.00	44520	33390
中正路一段-62巷路口	21.43	168.00	44520	33390
中正路一段-22巷路口	21.43	168.00	44520	33390
V24站(中正路一段8巷)	75.00	48.00	12720	9540
中正路-32巷路口	21.43	168.00	44520	33390
V23站(真理街)	75.00	48.00	12720	9540
中正路-文化路口	30.00	120.00	31800	23850
V22站	66.71	53.96	14300	10725
V21站	325.11	11.07	2934	2201

圖 18 濱海沙崙站—V21 站路段現況容量分析結果

單一空間參考點容量分析

儲存 複製 關閉

系統瓶頸容量
發生地點: 紅樹林
設計班距(秒): 180.62 路線容量(列車數/小時): 19.93 設計容量(乘位數/小時): 5282 可達成容量(旅客數/小時): 3961

各空間參考點之容量

空間參考點	運轉時間(秒)	路線容量(列車/小時)	設計容量(乘位/小時)	可達成容量(旅客/小時)
紅樹林	180.62	19.93	5282	3961
竿蓁林	70.94	50.75	13448	10086
淡金部公	70.94	50.75	13448	10086
淡江大學	69.33	51.93	13761	10321
淡金北新	70.94	50.75	13448	10086
新市一路	67.91	53.01	14049	10537
淡水行政中心	66.79	53.90	14283	10712
濱海路-濱海路306巷路口	30.00	120.00	31800	23850
濱海義山	90.00	40.00	10600	7950
濱海路-濱海路202巷路口	30.00	120.00	31800	23850
濱海沙崙	90.00	40.00	10600	7950

圖 19 紅樹林站(交替使用不同股道折返)-濱海沙崙站路段容量分析

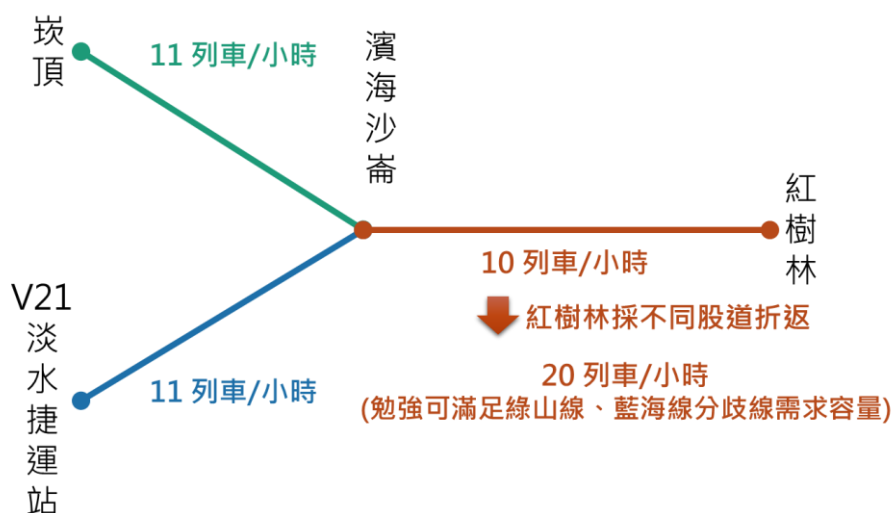


圖 20 淡海輕軌全線營運後分歧路線之容量分析結果

五、結語

在探討軌道容量課題時，多數文獻皆認為整條鐵道路線的容量受限於容量最小的瓶頸處，就如整條輸水管的流量受限於其流量最小的地方。本研究分析結果不僅支持此論點，除分析各個單一空間參考點及瓶頸處之容量，更進一步針對不同情境假設分析不同改善策略可改善瓶頸處容量之程度，以做為後續營運單位營運策略之參考，而透過本研究的容量分析模式，可以獲得更貼近實務情況的輕軌容量分析結果，相關結果如下。

1. 目前淡海輕軌綠山線及藍海線之容量瓶頸，皆位於紅樹林站，平均每小時 10.27 列車，運轉時隔為 350.45 秒（目前最短班距為 360 秒）。
2. 淡海輕軌若要再縮短班距，減少列車在紅樹林站和崁頂站的停靠時間，於紅樹林站和崁頂站交替使用兩條股道進行折返，並可調整濱海沙崙站的路口號誌時制。
3. 欲分析分歧路線之容量，必須從分歧處將路線分段後才能透過輕軌軟體進行分析，故本案例分為紅樹林站－濱海沙崙站、濱海沙崙站－崁頂站，以及濱海沙崙站－V21 站等三段分別進行容量分析。結果顯示由於紅樹林站－濱海沙崙站是通車後兩種運行模式的重疊段，故為了滿足岔出二路線之容量及營運需求，紅樹林站－濱海沙崙站重疊段之容量必須有效提升，而經由列車於紅樹林站交替使用不同股道進行折返，則運轉時隔可降為 180.62 秒(約 3 分鐘)，則兩種運行模式各自能夠於 6 分鐘開行一班列車，且濱海沙崙站－崁頂站和濱海沙崙站－V21 站之容量亦可充分運用。
4. 有關參數資料之蒐集仍是本研究容量分析之關鍵，因本計畫目前尚在綜規報告修正及細設階段，且因藍海線第二期計畫變更內容尚未核定，故設站點位里程、機電系統等資料皆無法取得，僅能逕行推估。另有關藍海線之列車營運計畫因交通局尚未擬定，故路口號誌時制計畫尚無參數

資料，無法進行可靠度相關分析。

5. 藍海線第二期之淡水老街河岸 V21 站—V22 站路段，係屬 C 型路權輕軌型式，目前國內尚未開發 C 型路權輕軌容量分析模式及軟體，本計畫僅能針對相關參數進行合理之假設及折減推估，建議國內應儘速開發模式軟體，以利完備輕軌容量分析作業。

六、參考文獻

- 交通部運輸研究所 (2020)，2019 年臺灣鐵道容量手冊。
- 交通部運輸研究所 (2020)，輕軌系統容量分析暨應用研究 (1/2) —A、B 型路權容量模式構建。
- 交通部運輸研究所 (2021)，輕軌系統容量分析暨應用研究(2/2)—A、B 型路權容量及可靠度分析軟體開發。
- 李明華 (2018)，A 型路權及 B 型路權之輕軌容量模式研發，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 邱榮梧 (2006)，輕軌運輸系統與獨立號誌化路口容量之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 紀尚詮 (2014)，輕軌優先號誌與平面路權對路網服務容量影響之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 新北市政府 (2023)「新北大眾捷運系統淡海輕軌運輸系統計畫」112 年 6 月修正報告。
- 陳諭嫻 (2013)，整合輕軌電車優先號誌時制之模擬研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 鍾志成、黃笙玗、李治綱、賴勇成、蘇振維、劉昭榮 (2012)，「臺鐵連續區段軌道容量分析模式」，中華民國運輸學會 101 年學術論文國際研討會論文集。
- Fernández, R. (2010), "Modelling Public Transport Stops by Microscopic Simulation," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(6), 856-868.
- Gu, W., Li, Y., Cassidy, M. J., & Griswold, J. B. (2011), "On the Capacity of Isolated, Curbside Bus Stops," *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(4), 714-723.
- International Union of Railways (2004), UIC leaflet 406 Capacity, UIC, France.
- Kittelson & Associates, Inc. (2013), Transit Capacity and Quality of Service Manual 3rd Edition (TCRP Report 165), Transportation Research Board, National Research Council, U.S.A.
- Koonce, P., et al. (2008), Traffic Signal Timing Manual (No. FHWA-HOP-08-024), Federal Roadway Administration, U.S.A.

- Krueger, H. (1999), "Parametric Modeling in Rail Capacity Planning",
Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, pp. 1194-1200.
- Marnell, P., Paul, Z., Koonce, P., & Shaun, Q. (2017), "Evaluating Transit
Priority Signal Phasing at Most Multimodal Intersection in Portland,
Oregon," Transportation Research Record: Journal of the Transportation
Research Board, (2619), 44-54.
- Mendes, L.M., Bennàssar, M.R., & Chow, Joseph Y.J. (2017), "Comparison of
Light Rail Streetcar Against Shared Autonomous Vehicle Fleet for
Brooklyn–Queens Connector in New York City," Transportation Research
Record: Journal of the Transportation Research Board, (2650), 142-151.