（十）站場軌道與終點站設施之配置

站內軌道之數目與分類、月台數目與長度、出入口位置、側線 (siding) 數目，以及終點站特性 (terminal characteristics) 等因素，均會影響站內作業時間，以致影響路線容量。

（十一）設備維修與故障

鐵路之設備維修、故障及發生事故，均會降低路線之容量，故需將其列為重要之影響因素。

（十二）軌道之設置

不同軌道之設置，如單線、複線或雙單線均會影響路線容量。

二 理想鐵路路線容量之計算方式

由以上之敘述可以知道影響路線容量之因素甚多，但一般考慮鐵路行車區間內之路線容量，則以閉塞區間之長度為主要考慮因素，因為區間愈長，列車行駛其上需要愈久的時間，而決定行車區間長度之因素則為列車之剎車距離加上列車彼此之安全距離，剎車距離則以貨車或列車兩者之中所需之較長者為計算標準，以確保列車之行車安全。

以圖 5-7 為例，若 A、B 兩站之間為一行車區間，列車長達 1 英里，列車剎車距離為 2 英里，安全距離亦為 2 英里，而列車行駛速度為每小時 60 英里，則因為每班列車自 A 點出發到通過 B 點，需時 5 分鐘，故在正常狀況下，此行車區間之飽和列車容量為每小時 12 班次，亦即容量 (C) 為：

$$C=\frac{V\text{（行車速度）}}{S\text{（距離／列車）}}=\frac{60\text{（英里／小時）}}{2+2+1\text{（英里／列車）}}=12\text{（列車／小時）} \qquad (5\text{-}2)$$

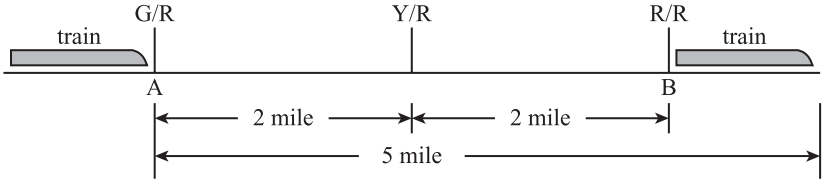

圖 5-7　鐵路行車區間容量計算之基本觀念

三 實際路線容量之計算公式

由於在實際狀況下，行車區間並非一直處於忙碌狀態，故區間內列車容量會受路線使用率、行車制度效率，以及不同軌道設置之路線區間（單線、複線、雙單線等），因而影響路線容量，如圖 5-8 所示：

著作權所有 侵害必究
華泰文化 HWA TAI PUBLISHING

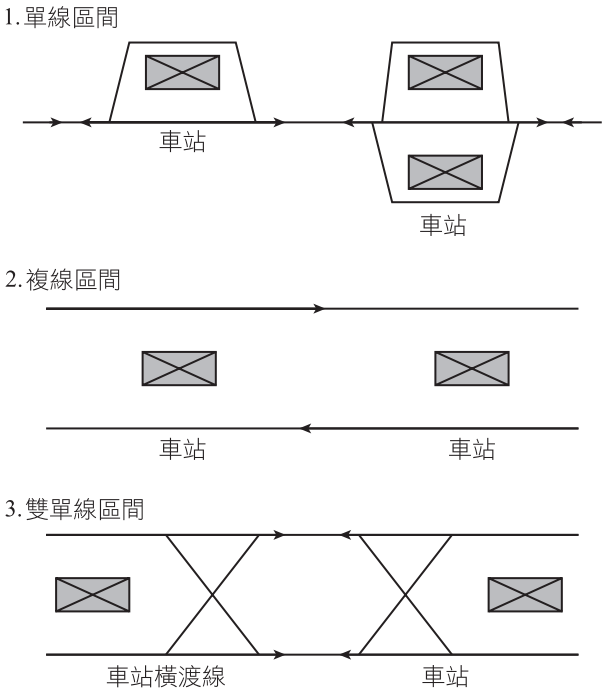

圖 5-8　不同軌道設置區間圖

1. 單線區間：所謂單線區間，乃指某一行車區間，僅有單一線路供上、下行雙向列車通行之用。
2. 複線區間：所謂複線自動閉塞區間，乃指兩站間為雙線，但每一單線僅能單方向行駛列車，並採軌道電路使用自動閉塞行車方式，司機員依路側號誌行車。
3. 雙單線區間：所謂雙單線區間乃指在兩站間為雙線，每一單線可因營運之需要進行雙向調度，並以 CTC 為行車制度。

（一）台鐵路線容量分析

台灣目前正在營運的軌道運輸系統，主要有台灣鐵路系統、台北捷運系統、高雄捷運系統、台灣高速鐵路系統、高雄輕軌系統、新北市淡海輕軌、桃園機場捷運系統等；關於傳統鐵路的部分，由於傳統鐵路路線距離較長，每一列車的往返並非短時間內可以完成，因此過去通常是以「日」為計算容量的時間單位，但對於捷運化後的台鐵，由於著重在旅客通勤運輸，故有尖離峰之分，此時探討全日的路線容量並無法反應尖峰時刻的需求，因此《2013 年台灣鐵道容量手冊》係仿照捷運系統，以小時為計算容量的時間單位。

對於每一路線區段的台鐵軌道容量，依定義可由下式計算：

$$C_l = \frac{3{,}600}{\bar{h}} \cdot n_t \tag{5-3}$$

C_l = 路線容量 (TU/h)

$\bar{h}$ = 路線之列車平均最小運轉時隔 (s)

n_t = 路線的軌道數目

從 (5-3) 式可知，最小運轉時隔為計算軌道容量的基礎要件，由於台鐵的車種組成複雜且車站內的配線不一，計算相當複雜。而對於任兩列車 i 及 j，最小運轉時隔包括瓶頸號誌安全時距（含可能的停車時間）、交會或待避損失時間，以及運轉寬裕時間，關係如下：

$$h_{ij} = T_s + t_l + t_m \tag{5-4}$$

著作權所有（侵害必究）
華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

h_{ij} = 先行列車 i 與續行列車 j 的最小運轉時隔 (s)

T_s = 瓶頸號誌安全時距 (s)

t_l = 列車交會待避損失時間 (s)

t_m = 運轉寬裕時間 (s)

而計算平均最小運轉時隔，若時刻表已知，則根據時刻表列車組合之相對頻率來計算；如時刻表未知，則根據營運列車數的相對頻率來計算。

1. 時刻表已知：

$$\bar{h} = \sum h_{ij} \cdot p_{ij} \tag{5-5}$$

$\bar{h}$ = 平均最小運轉時隔

h_{ij} = 列車 j 跟隨列車 i 的最小運轉時隔

p_{ij} = 列車 j 跟隨列車 i 的相對頻率（根據時刻表來統計）

2. 時刻表未知：

$$\bar{h} = \sum h_{ij} \cdot p_{ij} = \sum h_{ij} \frac{n_i \cdot n_j}{n^2} = \frac{1}{n^2} \sum h_{ij} \cdot n_i \cdot n_j \tag{5-6}$$

n_i = 第 i 種的營運列車數

n_J = 第 j 種列車的營運列車數

$n = \sum_i n_i$ = 總營運列車數

（二）軌道容量基本定義

茲就軌道容量相關的名詞定義如下：

1. 路線最大供給容量 (C_o) 若以乘位為客體單位，小時為時間單位，則路線最大供給容量 (maximum offered line capacity，記為 C_o) 為每小時路線上所能運送的最大乘位數 (spaces)，以每小時通過的最大列車數與每列車乘位數之乘積為其計算方法：

$$C_o = C_l C_t = C_l n_c c_v = f_{l,\max}\, n_c c_v \tag{5-7}$$

C_l：路線容量 (TU/h)

C_t：每列車包含坐、站位的乘位容量 (spaces/TU)，又稱列車容量

$f_{l,\max}$：路線上列車之最大服務班次 (TU/h)

n_c：每次列車所掛載之車廂數 (veh/TU)

c_v：每一車廂包含坐、站位的乘位容量 (sps/veh)，又稱為車廂容量

至於在決定軌道運輸之最大班距時，除了應考量列車容量限制外，還必須考慮最重要的因素是「政策班距」；因為鐵路是公共服務的事業，即使乘客需求不多，但是政府往往會要求至少一小時要提供一個班次，或者一天要提供早晚各兩個班次等「政策性班次」，以滿足乘客行的需要。

著作權所有 侵害必究

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

路線最大供給容量又稱為「設計容量」(design capacity)，為系統設計所提供的運輸能力。但由於乘客不太可能呈現均勻分布的狀態，因此設計容量在實務上並不會存在。

2. 路線最大使用容量 (C_w) 路線最大使用容量又稱「可達成容量」(achievable capacity)，通常是以乘客及小時為客體及時間單位，其定義為一小時內，通過路線上任一定點的最大乘客數。

「路線最大使用容量」與「路線最大供給容量」的關鍵差異在於客體單位，C_o 的客體單位為乘位數，而 C_w 的客體單位為乘客數，因此 C_o 代表的是系統的最大供給量，而 C_w 則代表了乘客的最大使用量。理論上，在供需平衡的狀態下 C_o 會等於 C_w，但實際情形卻說明了每一車廂的乘客乘載 (passenger loading) 很少能一直維持在車廂容量的水準，在大多數情形下，$C_w < C_o$；但在尖峰時刻，旅客過度壅塞時，亦可能發生 $C_w \geq C_o$ 的情形。

3. 路線表訂服務容量 (C_t) 若分別以乘位及小時為客體及時間單位，則路線表訂容量為在特定的營運時刻表 (timetable) 下，每小時路線上所能運送的最大乘位數。

$$C_t = f_t n_c c_v \tag{5-8}$$

f_t：表訂列車服務頻率 (TU/h)

n_c：每次列車所掛載之車廂數 (veh/TU)

c_v：每一車廂包含坐、站位的乘位容量 (sps/veh)，又稱為車廂容量

理論上，表訂列車服務頻率 f_t 須小於或等於路線上列車之最大通過頻率 $f_{l,\max}$，因此「路線表訂服務容量」應小於或等於「路線最大供給容量」，即 $C_t \leq C_o$，但因表訂服務容量是基於營運時刻表所計算出來之容量，而時刻表又是已考慮到各種路線條件、列車車種組成、可用車輛數、列車交會及待避，及系統號誌運作等實際運作結果制定而成，故表定服務容量也最接近實際情形。

4. 理論容量 (C_T) 理論容量代表的是系統的極限，其定義為「理想狀態下，單位時間內通過路線上某一點的最大客體數」。若以小時及列車為計算容量的時間及客體單位，則理論容量可以下式計算：

$$C_P = f_{P,\max} = 3{,}600/h_{T,\min} \tag{5-9}$$

$f_{T,\max}$：理想狀態下，列車之最大服務頻率 (TU/h)

$h_{T,\min}$：理想狀態下，兩列連續列車間最小運轉時隔 (s/TU)

理想狀態是指列車依照系統的最小運轉時隔循序運轉，沒有任何人為以及機械因素的干擾，也沒有考慮到列車的速度差異、車種組成，以及服務的可靠度等因

著作權所有 侵害必究
華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

素。理論容量的概念可應用於各種空間參考點以及客體單位所定義的容量，如理論路線容量。

5. 實用容量 (C_p) 實用容量 (C_p) 是指「正常營運條件下，單位時間通過路線上某一定點的最大客體數」。若以小時及列車為計算容量的時間及客體單位，則：

$$C_P = f_{P,\max} = 3{,}600/h_{P,\min} \tag{5-10}$$

$f_{P,\max}$：正常營運條件下，列車之最大服務頻率 (TU/h)

$h_{P,\min}$：正常營運條件下，兩列連續列車間最小運轉時隔 (s/TU)

由於正常營運條件考慮列車的速度差異、車種組成，以及服務的可靠度等因素，故其運轉時隔會大於理想狀況下之運轉時隔（即 $\bar{h}_{P,\min} > h_{T,\min}$），而實用容量會小於理論容量（即 $C_P < C_T$），且其將有下列關係存在：

$$C_P = \varepsilon C_T \tag{5-11}$$

ε：列車的調派效率 (dispatching efficiency)

實用容量又稱為時刻表容量 (timetable capacity)，也就是列車排班作業所能安排的最大列車數。一般而言，實用容量愈接近理論容量，則其排班效率愈高。

實例

假設一台鐵路線最多可允許 10 節車廂營運，每一車廂有 100 個座位，其中最小班距為 120 秒。假若在某一時段，路線上以 8 節車廂，300 秒班距在營運，其在最大乘載區間 (maximum load section, MLS) 的總運載量人數為 6,000 人／小時。試求最大路線容量、表定路線容量和各種使用係數。

解

上述容量和各種使用係數，可由下述計算方式求得：

1. 最大路線容量 = $C_{\max} = (3{,}600\ nC_v)/h_{\min} = (3600 \times 10 \times 100)/120 = 30{,}000$ 座位數／小時；
2. 表定路線容量 = $C_o = (3600 \times 8 \times 100)/300 = 9{,}600$ 座位數／小時；
   使用係數 = $\delta = C_o/C_{\max} = 9{,}600/30{,}000 = 0.32$；
3. 容量使用係數 = $\alpha = P/C_o = 6{,}000/9{,}600 = 0.625$ 旅客數／座位數；

最後，二係數 δ 和 α 相乘可得實際運載旅客數和最大路線容量的比值：

$$\delta\alpha = P/C_{\max} = 6{,}000/30{,}000 = 0.2 \text{ 旅客數／座位數}$$

著作權所有 侵害必究

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

第五節　結論與建議

從本章之敘述中，可以知道鐵路的行車制度從一開始的單一列車行車制度，到中央控制行車 (CTC) 制度為止，鐵路已逐漸克服了行車控制權分散的缺點，而達到可將系統上所有行車狀況即時顯現並控制的功能，不僅節省了行車上的人事費用，更提高了列車的安全性與營運效率。

尤其是當列車自動控制 (ATC) 系統發展完成以後，鐵路運輸已不再是繁雜、落後的運輸系統，而可以由行車控制中心 (operation control center, OCC) 輕易地控制整個系統的營運，並對於系統所發生的問題給予即時解決。

從本章第四節中的敘述更可以了解鐵路的運輸容量，除了受限於硬體設備之外，更會受到行車控制效率及設備維修、故障與發生事故的影響。因此若要真正發揮鐵路大運量的優點，必須依照鐵路系統之現有設備，採用最適當之行車制度及管理方式來配合，才能充分發揮鐵路系統之優良特性。

由於鐵路的行車制度攸關旅客的「安全」(safety)，而鐵路運輸的路線容量則與營運的「效率」(efficiency) 息息相關，因此為提升鐵路的行車安全與營運效率，建議國內應加強鐵路行車安全的管理及鐵路運輸路線容量的相關研究，以全面提升國內軌道運輸的服務水準。

著作權所有　侵害必究

本章習題

個案研究

試蒐集國內台鐵行車控制的發展沿革，並說明台灣目前正進行何種的改善計畫（如地面平交道改善、危險物品檢查、月台門設置等），以提升行車安全。

問題討論

1. 何謂「軌道電路」？何謂「計軸器」？何謂「中央控制行車」(CTC) 制度？此三者對行車安全有何幫助，試分別說明之。
2. 何謂列車本位制？何謂車站本位制？何者較為普遍？何故？
3. 說明列車自動控制 (ATC) 系統之子系統，其功能分別為何。
4. 設一鐵路區間仍屬單線，已知其站間上下行平均運轉時間為 10 分，而辦理列車人工閉塞手續時間為 2.0 分，其路線使用率及行車制度效率因素分別為 0.7 與 1.0，試求該單線之路線容量為何？若目前政府已將該區間擴建為雙單線，並採用 CTC 調度，使得調度員控制行車號誌之時間縮小為 0.5 分，而路線之使用率為 80%，且兩個行車制度效率因素分別為 1.1 與 1.2，試求擴建後之路線容量為何。並請比較影響此兩種路線容量差異之因素何在。

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

5. 試舉出影響鐵路路線容量之因素，並請詳細說明之。
6. 設有一鐵路路線，尖峰小時單方向以聯掛 10 節車廂來營運，班距為 12 分，每節車廂的有效長度與寬度分別為 20 公尺及 3 公尺，設每個座位的面積為 0.5 平方公尺，且每個座位經調查已知在整條路線的營運上，平均有 2 名旅客使用過，試求此一鐵路路線實際之運輸能力為何。（答案：12,000 人／小時）
7. 設已知鐵路路線每一區段內，均分別設置有 G/R、Y/G、Y/R 及 R/R 等四種號誌，因此可區分為三個區間，每個區間的距離皆為 2.4 公里，且已知列車長度為 1.6 公里，行駛速率為 100 公里／小時，試求該鐵路路線之最大容量。
8. 何謂「憑證區間閉塞制」？何謂「聯動區間閉塞制」？兩者有何不同？試分別比較說明之。
9. 何謂「隔時法」？其優、缺點為何？試分別說明之。
10. 何謂「隔地法」？各包括哪些鐵路行車控制的制度？試分別說明之。
11. 鐵路之運輸能力取決於路線容量，鐵路路線容量係指在單位時間內某區間所能行駛之列車數，請說明影響鐵路路線容量之因素，並說明如何在現有營運條件下提高台灣鐵路管理局之路線容量。（2012 年特考）

解釋名詞

1. ABS vs. CTC
2. pilot block system vs. token block system
3. ATO, ATC
4. track circuit
5. 雙單線，複線
6. 計軸器 (axle counter)

選擇題

1. 若車輛能聯結成列車行駛，如將 4 輛巴士聯結成列車，可增加幾倍的路線容量？
   (A) 1 倍　(B) 2 倍　(C) 3 倍　(D) 4 倍
2. 台北捷運如每一班列車座位坐滿為 352 人，每列車之淨立位面積為 264 平方公尺，如規劃每平方公尺可站 6 人，在尖峰時間發車班距為 3 分鐘狀況下，每小時單方向之運能為：
   (A) 29,040 人　(B) 38,720 人　(C) 45,000 人　(D) 28,720 人
3. 台鐵花東線所採用之普悠瑪號列車，其行進最高營運速度可達：
   (A) 100KPH　(B) 120KPH　(C) 140KPH　(D) 180KPH
4. 在決定軌道運輸之最大班距時，除了應考量列車容量限制外，還必須可慮下列何項最重要的因素？
   (A) 政策班距　(B) 可用列車數　(C) 安全間距　(D) 折返時間
5. 將鐵路路線上劃分成若干個閉塞區間，在同一個時間中，每一閉塞區間內只允許一部列車通過，以避免發生撞車之意外事故，此稱為何種隔離法：
   (A) 隔空法　(B) 隔人法　(C) 隔地法　(D) 隔時法
6. 設鐵路路線在兩站間為雙線，每一單線可因營運之需要進行雙向調度，此為何種行車區間？
   (A) 單線區間　(B) 雙單線區間　(C) 複線區間　(D) 雙複線區間

著作權所有 侵害必究

華泰文化 HWA TAI PUBLISHING

7. 設有一鐵路路線，尖峰小時單方向以聯掛 10 節車廂來營運，班距為 10 分，每節車廂的有效長度與寬度分別為 20 公尺及 3 公尺，設每個座位的面積為 0.5 平方公尺，且每個座位經調查，平均有 2 名旅客使用過，試求此一鐵路路線每小時實際之運輸能力為何？
   (A) 10,000 人　(B) 12,000 人　(C) 14,400 人　(D) 16,000 人
8. 依據軌道公司事先排定的時刻表，規定列車須按此時刻表行車，以策安全，此稱為何種隔離法？
   (A) 隔空法　(B) 隔人法　(C) 隔地法　(D) 隔時法
9. 目前台鐵係採用何種設備，作為偵測列車占用軌道的狀態？
   (A) 軌道電路　(B) 計軸器
   (C) 軌道電路與計軸器並用　(D) 中央控制行車系統
10. 若 A、B 兩站之間為一行車區間，列車長達 1 英里，列車剎車距離為 2 英里，安全距離亦為 2 英里，而列車行駛速度為每小時 50 英里，則此行車區間之飽和容量為每小時幾個班次？
   (A) 10班次　(B) 12.5 班次　(C) 16.7 班次　(D) 25 班次
11. 鐵路之路線容量乃指在單位時間內，某區間所能行駛之列車次數，其大小會列受下列哪些因素的影響？① 列車種類 ② 路線坡度 ③ 行車制度 ④ 列車與月台閒隙
   (A) 僅 ②③　(B) 僅 ①②　(C) 僅 ①②③　(D) ①②③④ 均是
12. 行車制度中之「隔地法」又稱為：
   (A) 列車本位制　(B) 車站本位制　(C) 人工嚮導制　(D) 行車命令制

答案：1. (B)　2. (B)　3. (C)　4. (A)　5. (C)　6. (B)　7. (C)　8. (D)　9. (C)　10. (A)　11. (C)　12. (B)

著作權所有 侵害必究

參考文獻

1. 張有恆、蘇昭旭，《現代軌道運輸》，新北市：人人出版社，2002 年 9 月。
2. 張有恆，《都市公共運輸》（四版），台北市：華泰文化，2018 年 2 月。
3. 張有恆，《軌道運輸管理》（二版），台北市：華泰文化，2019 年 2 月。
4. 張蓨，《鐵路運輸學理論與實務》，台北市：台灣商務印書館，1991 年 9 月。
5. 台灣鐵路管理局，「台灣鐵路百週年紀念」，1987 年 10 月。
6. 交通部運輸研究所，《2013 年台灣鐵道容量手冊》，民國 102 年。
7. Bardi, E. J., Coyle, J. J., & Novack, R. A., *Management of Transportation*, Thomson South-Western, 2006.
8. Armstrong, J. H., *The Railroad: What It Is, What It Does*, Simmons-Boardman Publishing Corporation, 1982.

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING