

國立臺灣大學工學院土木工程學系



碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

以利潤容量概念衡量鐵路路網產值及容量分配

Using Profit-Generating Capacity to Evaluate  
Rail Network Asset Value and Capacity Allocation

林侑儒

Lin, Yi-Ju

指導教授：賴勇成 博士

Advisor: Lai, Yung-Cheng, Ph.D.

中華民國 103 年 7 月

July 2014

## 致謝



如果說大學生活像一場百米賽跑，那麼研究生生涯就像一場定向越野。少了既定的標線框架，雖然不免偶爾在半途迷航，卻有了更大的自由度可對研究主題發揮創意與想像。感謝指導教授賴勇成老師六年來作為我的指北針，不僅帶給我資訊整合與思辨能力使我們這場耐力賽中找到方向，老師對同學的關心與用心也是驅使我堅持到終點的最大動力，老師謝謝您。同時還要感謝李治綱老師與鍾志成博士作為口試委員，為本研究提供多項寶貴建議。

很幸運的是，我在研究路途上從來不是孤身一人。首先謝謝賴家軌道團隊的資深榮譽總顧問吳明軒、高效率總裁朱泓宇以及交通全能知識家王劭暉，數不清你們救了我多少次進度卡關、程式裝死、研究碰壁等等撞牆期，和你們在 Meeting 後的晚餐時光是我最快樂的回憶；也謝謝賴家的眾多學長姐，特別是姿雅、允宣為本研究打下重要基礎，也在我尋求諮詢的時候提供火力支援；謝謝碩一、碩零的學弟妹仲瑋、紹原、雅雯、品融、佳聰、旭東、念祖、桂豪、韋柏時常幫忙賴家的大小事務，也謝謝仔芳在投稿 TRB 時對本研究做出諸多貢獻，祝你們未來研究一切順利！也謝謝所有 R01 交通組夥伴，有你們在的研究室總是充滿元氣與溫暖，絕對不是冷氣年久失修的緣故，期盼進入職場後大家有緣再聚首。

最後，本研究獻給我的摯愛的家人。謝謝在英國工作的姊姊總在我熬夜時傳 Line 催促我休息，You're my sweetest consultant. 謝謝父母栽培我二十餘年，總是將最好的留給我們姊妹，總是給予我們一百分的信任讓我們放手做自己想做的，又總是給予滿滿的支持與鼓勵。謝謝你們，我愛你們。

## 摘要

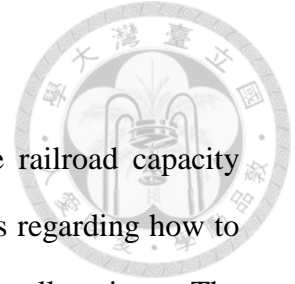


現今軌道運輸需求高長，既有軌道系統因設施擴充不易且費時，逐漸面臨嚴重壅塞問題。如何在有限資源中合理分配軌道使用，以及如何提供誘因促使營運業者以更有效率之方式使用鐵路容量，為軌道領域之重要研究課題。傳統上，鐵路系統多採用計算簡易、意義直觀之吞吐量作為鐵路容量單位，例如單位時間內通過之列車數或延車公里。然而，吞吐量僅反映出各級列車直接加總的最高總通過量，導致營運者決策偏向最大化流量之策略，無法反映出路網之實際價值以及當下之軌道資源價值利用比例。

有鑒於此，本研究擬提出一套鐵路容量分析之新方法，應用「利潤容量」概念，將傳統之鐵路容量單位從吞吐量轉化為價值總量，藉此釐清實際利用率與容量最大產值間的相互關係。利潤容量單位為貨幣值，和制訂財務策略所使用之單位相容，有利於以更全面之管理視角處理鐵路問題。此外，在探討利潤容量的過程中，還需探討「容量最佳分配」議題，本研究將軌道擁有者在各種車路類型路網之不同的利潤容量結構，研擬合乎財務永續原則之容量最佳分配制度與模式。最後，引入列車需求資料建立「整合型利潤容量分析系統」，可提升整體軌道資源運用效率，並兼顧鐵路系統之財務永續性。

關鍵詞：利潤容量、容量成本、鐵路通行費、收益管理

## Abstract



The booming demand of rail service has been a worldwide railroad capacity challenge. Railway infrastructure owners are facing critical issues regarding how to utilize track resource efficiently and possibly optimize track capacity allocation. The traditional definition of rail capacity is usually based on the maximum number of trains can be operated in a section of track in a given period. The particular unit (trains/hour or trains/day) does not reflect the train types nor consider the revenue each train can generate. To overcome these limitations in existing capacity models, this research proposes a new concept, “Integrated Profit-generating Capacity”, by considering infrastructure owners’ profit generated from the existing rail network. Since the currency unit of profit-generating capacity corresponds with the operational goal of railroads, the new capacity definition can reflect difference of train types and their abilities to generate profit. In addition to the concept, this research aims to establish the integrated profit-generating capacity models for various types of railways and consider the demand of rail market. By considering the features of networks, the profit-generating capacity can improve the efficiency of capacity utility and improve the financial sustainability of railway system. With consideration of both the rail demand and capacity supply, the optimal usage of the rail infrastructure can be determined. This system has the potential to induce the infrastructure owners generate a better strategy leading to more efficient use of railway capacity resulting in a financially sustainable railway system.

**Keyword:** Profit-generating Capacity, Access Charge, Access Fee, Revenue Management

# 目錄



致謝.....	I
摘要.....	II
Abstract.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章、緒論.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	3
1.4 論文架構.....	4
第二章、文獻回顧.....	5
2.1 軌道容量定義與分析方法.....	5
2.1.1 傳統軌道容量分析.....	6
2.1.2 標準列車容量分析.....	7
2.2 利潤容量模式概念與要素.....	11
2.2.1 鐵路組織架構與容量利用策略.....	12
2.2.2 利潤容量之收入要素.....	15
2.2.3 利潤容量之成本要素.....	19
2.3 小結.....	24
第三章、研究方法.....	25
3.1 整合型利潤容量模式概念.....	25
3.2 整合型利潤容量模式建構流程.....	27

3.3	利潤容量資料庫之建置.....	28
3.4	利潤容量之列車價值計算.....	31
3.4.1	收入要素.....	35
3.4.2	非容量成本要素.....	37
3.4.3	動態容量成本要素.....	38
3.4.4	車路組織架構與列車利潤.....	40
3.5	跨區段利潤容量最佳化模式.....	44
3.6	小結.....	48
第四章	、案例分析.....	49
4.1	案例一、臺鐵路網車路分離.....	50
4.2	案例二、臺鐵路網車路合一現況.....	56
4.3	案例三、臺鐵路網車路合一且開放部分路權.....	58
4.4	案例四、北美路網容量重新分配.....	61
4.4.1	流量守恆限制之容量分配結果.....	64
4.4.2	流量變化限制之容量分配結果.....	66
4.5	案例五、北美路網加車問題.....	68
4.6	小結.....	76
第五章	、結論與建議.....	77
5.1	結論.....	77
5.2	建議.....	78
參考文獻	.....	79

## 圖目錄



圖 2-1 運轉時隔分析適用於車站間區段 .....	9
圖 2-2 延滯基準之標準列車當量計算方法 .....	11
圖 2-3 Sameni 等人提出之利潤容量概念模式 ( Sameni et al, 2011 ) .....	12
圖 2-4 總成本回收比例 (ECMT, 2004).....	19
圖 3-1 利潤容量模式之投入與產出 .....	27
圖 3-2 整合型利潤容量建構模組 .....	28
圖 3-3 容量資料庫建置流程 .....	30
圖 3-4 列車價值計算流程 .....	34
圖 3-5 各車路組織類型之利潤容量案例 .....	41
圖 3-6 類型一：軌道與車務帳目分離示意圖 .....	42
圖 3-7 類型二：軌道與車務帳目不分離示意圖 .....	43
圖 3-8 類型三：軌道與車務帳目不分離且出借軌道示意圖 .....	44
圖 4-1 案例分析架構 .....	50
圖 4-2 臺鐵案例路段 .....	51
圖 4-3 案例一整合型利潤容量與傳統容量分析方法之對照 .....	55
圖 4-4 案例二之整合型利潤容量成果 .....	58
圖 4-5 案例三之整合型利潤容量成果 .....	60
圖 4-6 北美路網重新分配案例路段 .....	61
圖 4-7 案例四之整合型利潤容量與傳統容量分析對照 .....	66
圖 4-8 各種流量限制之利潤最大容量分配結果 .....	67
圖 4-9 各種流量限制之利潤容量 .....	68
圖 4-10 各成本要素與加入客車數、先占煤礦車數之相對關係 .....	72
圖 4-11 各運具之聯邦補助款 (2000 年連鎖美元/千旅客英里).....	73

圖 4-12 不同情境之客車增加量與利潤容量變化 ..... 75





## 表目錄



表 2-1 軌道維護與列車營運特性比較 (Finger et al, 2013) .....	14
表 2-2 歐洲鐵路鐵路通行費 .....	18
表 2-3 FRA 定義各級軌道速限 (FRA, 2007) .....	20
表 2-4 維修成本函數係數 (Lai et al, 2013) .....	21
表 2-5 貨運鐵路營運成本 (Dingler, 2011) .....	23
表 3-1 列車與情境指標 .....	29
表 3-2 容量資料庫相關參數與集合 .....	30
表 3-3 容量資料庫範例 .....	31
表 3-4 列車價值相關參數 .....	33
表 3-5 各情境利潤容量資料庫範例 .....	35
表 3-6 各車路組織類型之收入與成本要素 .....	41
表 4-1 臺鐵案例車種特性 .....	51
表 4-2 臺鐵案例區段特性 .....	52
表 4-3 車路分離成本要素 .....	52
表 4-4 車路分離之利潤架構 (元/列車公里) .....	53
表 4-5 車路分離案例容量分配結果 .....	54
表 4-6 車路合一案例之成本結構 (元/列車公里) .....	56
表 4-7 車路合一案例之利潤架構 (元/列車公里) .....	57
表 4-8 車路合一案例容量分配結果 .....	57
表 4-9 車路合一且開放部分路權案例之成本架構 (元/列車公里) .....	59
表 4-10 車路合一且開放外來營運業者案例容量分配結果 .....	59
表 4-11 列車參數 .....	62
表 4-12 CN 模式之軌道參數 .....	62

表 4-13 CN 模式之交通流參數資料庫 (區段 A 部份範例).....	62
表 4-14 容量重新分配案例之成本要素 .....	63
表 4-15 北美容量重新分配案例容量分配結果 .....	64
表 4-16 北美加車問題案例之路段特性 .....	69
表 4-17 北美加車問題案例之列車特性 .....	70
表 4-18 北美加車問題案例之成本要素 .....	70

# 第一章、緒論



## 1.1 研究動機

自歐盟執委會於 1991 年通過 91/440 號指令以來，歐洲鐵路市場逐漸走向自由化。各國政府降低了鐵路市場之進入門檻以增加市場之競爭性，並促進跨國鐵路服務之合作。在此浪潮下，歐洲各國之軌道擁有者 (Infrastructure Manager) 不論是否自行營運車輛，常面臨如何將路權租借給無軌道擁有權之車輛營運業者 (Train Operating Company) 之問題，鐵路通行費議題因此開始受到注重。臺灣鐵路局自創立以來，始終是臺灣傳統鐵路運輸之唯一單位，同時兼顧路網維護與車輛營運工作。然而，近年來臺鐵局面臨沉重之債務問題，參考國外案例切分鐵路運輸服務與軌道設施維護之部門為一可能之解決方案。若是短時間內無法將此二部門實質分離，亦可考慮將帳目拆分以釐清財務缺口之歸責對象。過往研究亦建議臺鐵局逐漸開放鐵路市場，引入私人營運業者負責部分鐵路支線，藉由提升鐵路市場競爭性提升整體社會福利。不論是拆分帳目、分離車輛營運與軌道維護部門、或是開放鐵路市場，皆是臺灣鐵路未來之可能走向。鐵路系統在以上情境中皆需要收益管理策略以有效利用軌道資源，而鐵路容量之衡量方法將是軌道資源利用之首要課題。

當今世界上有多種鐵路容量分析方法，分別適用於不同區域或路段，卻沒有如同公路般一套標準化的鐵路容量估算邏輯 (Abril et al., 2007)。傳統上，鐵路容量的計算單位多以區段吞吐量作為基礎，如「列車/小時」、「列車/天」皆為常見之容量單位。然而吞吐量僅反映出各級列車直接加總的最高總通過量，導致營運者決策偏向最大化流量之策略，無法反映出路網之實際價值以及當下之軌道資源價值利用比例。舉例而言，某一區段一日內營運 7 班次之 A 車種，整體營收可能超過同一區段一日內營運 10 班次之 B 車種，顯示吞吐量大小無法反應區段之容量價值。有鑒於此，本研究提出一套鐵路容量分析之新方法，應用利潤容量

(Profit-generating Capacity) 概念，將傳統之鐵路容量單位從吞吐量轉化為價值總量，藉此反映出軌道路網之最大產值。另外，利潤容量單位為貨幣值，和制訂財務策略所使用之單位相容，有利於更全面之管理視角處理鐵路問題 (Sameni et al, 2011)。

## 1.2 研究目的

各國鐵路系統近年來也逐漸注重財務永續策略，許多鐵路研究希望能以更有效之營收管理減少政府財政負擔，增加鐵路系統能自負盈虧、永續經營之可能性。為幫助鐵路系統具備財務永續之優良營運體質，本研究提出鐵路系統利潤容量概念與模式，並搭配軌道擁有者與營運業者之間收費機制的相關文獻回顧，發展符合各種車路組織型態之鐵路利潤容量分析模式。鐵路系統未來趨勢為將車路營收及支出帳務分離，然而兩單位於費用協調部份，容易因定義差異、認知差異、公平性不足、談判冗長、互相不信任等因素，嚴重降低軌道擁有者與營運業者間之專業化效率。因此，收費制度探討方面，將著重容量及利潤定義，制定各車種對軌道容量與利潤影響性之判斷準則。為避免各單位認為收費不公，所導致不僅軌道擁有者無法取得更高生產者剩餘，並抑制市場交易效率等不必要之制度缺陷。本研究於收費制度建立完成後，規劃在一定期望服務水準之限制下，藉由利潤容量模式找出路網潛藏之最大產值，亦檢視軌道使用率是否符合軌道擁有者之最大利益。其細部目標分作以下五點：

1. 建立鐵路系統利潤容量概念
2. 彙整鐵路通行費與容量分配相關學術文獻
3. 探討不同車路組織類型之利潤容量要素
4. 建立整合型鐵路利潤容量分析模式與分析系統
5. 應用整合型鐵路利潤容量分析系統最大化路網價值

根據以上目標，軌道擁有者可依利潤容量分析模式選擇適合之軌道利用策略，在不同路網系統中比較不同區段、不同營運車種下的最大利潤容量，可找出實際區段價值，也可用於比較不同路段的容量使用狀況。利潤容量亦可應用於容量分配上，作為軌道擁有者選擇營運業者之依據，並作為鐵路通行費標準之參考。

本研究成果亦可為臺灣鐵路未來發展之參考。近年來有部分研究探討臺鐵民營化、公司化之可能，亦有研究建議臺鐵局先分開營運部門與軌道部門之帳務，以釐清財務現狀。不論是放寬鐵路市場限制讓私有營運業者可租用軌道營運列車，抑或是臺鐵局將列車營運業務外包、專心處理軌道維護與容量分配等工作，本研究探討之鐵路利潤容量分析模式皆可適用於未來不同的車路組織架構，建立利潤容量為鐵路容量使用指標。

### 1.3 研究範圍

本研究主要探討範圍為軌道擁有者對於路網營運車種之容量分配規劃。藉由追求軌道路段之最大產值，以鐵路利潤容量模式找出對軌道擁有者最有利之容量利用策略。利潤容量之衡量基礎為不同路網形態下的軌道擁有者利潤要素，當中同時包含軌道擁有者在列車營運與軌道租借兩種業務之收入與成本。為反映不同車路組織類型之軌道擁有者利潤容量要素，本研究採用了北美鐵路與臺鐵傳統鐵路之背景資料，分析軌道擁有者在不同業務職掌下之決策情境，以反映現實不同車路組織架構之路網特性差異。在一路網從建置到營運的過程中，本研究的範圍為路網建成之後的容量分配規劃。

本研究的預期產出為最理想之容量分配策略，亦即各列車所占用容量之百分比。由於本研究以容量概念尋求最佳車種組合，分配過程當中不需考慮時刻表，因此最佳化成果不涉及排班問題，但是利潤容量之產出結果可作為後續列車排班之參考依據。

#### 1.4 論文架構

本研究共分五大章節，第一章介紹研究動機、研究目的以及研究範圍，建立研究之基準以及發展方向。第二章進行文獻回顧，針對鐵路利潤容量相關之軌道容量文獻、鐵路通行費文獻、容量分配文獻以及列車當量文獻進行探討。從前人之研究基礎整理出當前鐵路運用策略缺少考量車路組織類型、列車需求面，並且缺少以軌道擁有者利潤為基礎之研究，故本研究將探討不同車路組織架構下的軌道擁有者利潤結構變化，研擬更符合鐵路旅運需求、同時創造最大路網價值之軌道容量利用規劃。第三章介紹整合型利潤容量模式之架構以及組成要素，包含各列車對軌道擁有者之收入與支出，求得單位列車利潤後進一步以最佳化模式分配容量，最後建立一跨區段最大化利潤容量模式。第四章進行案例分析，分別探討臺鐵路網與北美路網在不同情境下之利潤容量分析結果。案例分析過程顯示利潤容量模式可彈性應用在不同路網類型、不同業務職掌之軌道擁有者情境當中。最後，第五章整合案例成果，分析本研究貢獻並探討未來可能發展方向。

## 第二章、文獻回顧



本章節將文獻回顧分為「傳統軌道容量」與「利潤容量」兩大類別進行探討。

2.1 節介紹過去研究對於軌道容量問題之定義與分析方法，在回顧傳統吞吐量定義之鐵路容量模式的同時，介紹近年才被引入鐵路領域之標準列車容量分析方法，使軌道容量具有一致的衡量基準。2.2 節回顧將利潤容量概念引入軌道容量之研究文獻，作為本研究模式建構之基石。考慮到本研究以軌道擁有者之利潤為主題，而利潤容量之要素組成與軌道擁有者之容量利用策略息息相關，2.2.1 節首先回顧不同車路組織下的軌道擁有者業務職掌，並討論在不同角色下軌道擁有者進行利潤容量分析所需之容量分配方法，藉以思考本研究最佳化容量分配模式之設計方式。2.2.2 節與 2.2.3 節更進一步討論利潤容量之收入與成本要素，藉以進行列車價值之估算，藉以推求不同容量利用策略下之利潤容量。2.3 節整理既有文獻之成果與尚待解決之議題，確立本研究之發展方向與方法，藉此作為第三章研究方法之建構基礎。

### 2.1 軌道容量定義與分析方法

在探究軌道系統容量時，不論使用者選定何種方法，都必須要先定義「容量」的代表意涵與基本單位，接者才能進一步探究軌道容量。目前世界上有多種鐵路容量分析方法，分別適用於不同區域或路段，卻沒有如同公路般一套標準化的鐵路容量估算邏輯 (Abril et al., 2007)。故 2.1.1 節與 2.1.2 節分別回顧「傳統軌道容量」與「標準列車容量」兩種鐵路容量分析方法，探討各方法對軌道容量之定義與分析方式。

### 2.1.1 傳統軌道容量分析

傳統上，軌道容量代表在特定的運轉條件、硬體設備和一定的時間長度下，軌道系統可營運的最大列車數量。軌道容量將會隨著運轉條件或是硬體設施特性的更改而變化，例如時刻表、列車優先度、列車流組成、號誌系統、路段長度、單雙線或是區間長度等。專家學者一般將軌道容量估算法區分成三大類，分別是解析法、模擬法和參數法。解析解通常藉由列車間的平均時隔（headway）來計算軌道容量，可以快速提供軌道運行與使用概況，常用於長程規劃之中（Carey and Kwcinski, 1994; Huisman and Boucherie, 1998; Pachl, 2002; Kozan and Burdett, 2005, 2006; Jong, 2009）。模擬法需要非常詳盡的路線與交通特性等相關資料，利用電腦軟體模擬實際運行情形，進行較解析解更為詳細的運算，一般而言可以得到比解析解更準確的結果。但也由於模式之複雜性，模擬法較解析法解耗時許多（Welch and Gussow, 1986; Kaas, 1991; Abril, 2007; Dingler, 2011）。參數法為較折衷的辦法，其藉由統計迴歸或人工智能等預測方法，將模擬法之結果參數化，可達到比解析法準確的估算結果，又比模擬法有更佳的運算效率（Lai, 2008; Lai and Barkan, 2009）。CN 參數容量模式是現今北美路網最被廣泛使用的參數模式之一，CN 模式由加拿大鐵路公司所研發，適用於單線鐵路路網（Krueger, 1999; Gorman, 2009）。CN 模式將車流量  $x$  與延滯  $d$  發展為自然指數關係：

$$d = Ae^{Bx} \quad (2-1)$$

其中  $A$ 、 $B$  為輸入軌道參數與交通流參數後推得之模式係數，可省略複雜耗時之模擬運算，直接推得各流量下之路網總延滯。在窮舉車種組合當中，部分交通流參數會隨之變動，參數  $A$ 、 $B$  也隨之改變，以此得到不同情境之延滯變化量。



### 2.1.2 標準列車容量分析

為了反映出不同車種之容量異質性，賴勇成等人 (2012) 提出一標準列車當量 (Base Train Equivalent, BTE) 概念，將不同列車種類轉化為相同基準，也就是標準列車單位 (Base Train Unit, BTU)。此概念和公路系統中的自小客車當量 (Passenger Car Equivalent, PCE) 運用原理相似，將不同類型車輛依據服務水準等特性轉換為相同基準之自小客車單位 (Passenger Car Units, PCU)。標準列車當量可視使用者需要選取標準列車，可被應用在計算多少單位的自有列車因為外來列車而被排擠軌道使用權。佔用容量較多、對軌道容量衝擊較大的車種具有更高的標準列車當量值。舉例來說，若將某一平均時速 40 英里的貨車設定為基本列車，該車種標準列車當量值為 1.0，而平均時速 79 英里之客車標準列車當量值為 2.0；在此情境下，路線上營運 30 台貨車即消耗 30 個列車單位之容量，營運 20 台貨車與 10 台客車則消耗 40 個列車單位之容量。標準列車當量值之計算乃是異質性混合車流相對於標準列車組成之均質車流的容量影響，混合車流在特定服務水準 (Level of Service, LOS) 下，其流量應能以標準列車當量轉為均質車流。因此，標準列車當量可由公式 (2-2) 至 (2-3) 計算求解，兩公式之關係可整理成公式 (2-4) 之形式。

$$H_M = N_b^M + N_t^M \quad (2-2)$$

$$H_b = N_b^M + N_t^M E_t^M \quad (2-3)$$

$$H_b = N_b^M + N_t^M E = (H_M - p_t H_M) + p_t H_M E_t^M = H_M + p_t H_M (E_t^M - 1) \quad (2-4)$$

其中：

$H_M$  = 混合車流  $M$  在特定服務水準之列車數 (列車)

$H_b$  = 車流轉換為標準列車均質流後，在特定服務水準之列車數 (BTU)

$N_b^M$  = 混合車流  $M$  當中的標準列車  $b$  之數目 (BTU)

$N_t^M$  = 混合車流  $M$  當中的非標準列車  $t$  之數目 (列車)

$E_t^M$  = 非標準列車  $t$  於混合車流  $M$  當中之標準列車當量

$p_t$  = 非標準列車  $t$  占混合車流之百分比



為使標準列車當量可應用於不同的現有容量分析方法，以下將分別介紹適用於運轉時隔容量分析與延滯容量分析之標準列車當量計算過程。

#### 運轉時隔基準之標準列車當量計算方法

運轉時隔為路段上連續兩班列車通過之時間間距 (圖 2-1)，為控制列車運行安全與服務水準之重要因子，運轉時隔受限於軌道參數與前後車列車參數。在特定時間內，能以最小運轉時隔通過的最大列車數即為該區段容量。

$$h_{avg}^M = \sum_{i,j} h_{ij} W_{ij}^M \quad (2-5)$$

$$H_M = 3600 / h_{avg}^M \quad (2-6)$$

$$H_b = 3600 / h_b \quad (2-7)$$

其中：

$h_{uv}$  = 前車  $u$  與後車  $v$  在特定區段之最小運轉時隔 (秒)

$h_{avg}^M$  = 混合車流  $M$  當中之平均運轉時隔 (秒)

$W_{uv}^M$  = 前車  $u$  後車  $v$  之車組在混合流  $M$  當中之比例

$h_b$  = 相鄰標準列車  $b$  在特定區段之最小運轉時隔 (秒)

將運轉時隔基準之容量定義  $H_M$ 、 $H_b$  分別帶回到公式 (2-2) 、 (2-3)，可將均質車流與混合車流之相應關係以運轉時隔呈現。代入後將方程式移項整理可得列車當量與混合車流平均時隔、標準列車時隔之關係。



$$\frac{1}{h_b} = \frac{1}{h_{avg}^M} + \frac{p_t(E_t^M - 1)}{h_{avg}^M} \quad (2-8)$$

$$p_t(E_t^M - 1) = \frac{h_{avg}^M}{h_b} - 1 \quad (2-9)$$

$$E_t^M = \frac{1}{p_t} \left( \frac{h_{avg}^M}{h_b} - 1 \right) + 1 \quad (2-10)$$

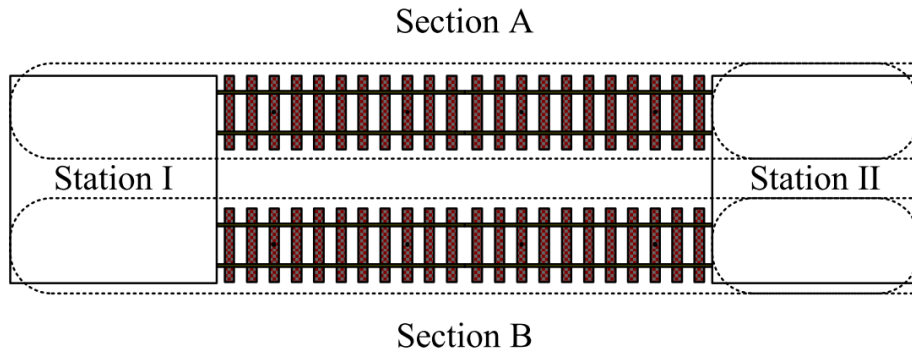


圖 2-1 運轉時隔分析適用於車站間區段

## 延滯基準之標準列車當量計算方法



延滯基準之標準列車當量計算方法係透過相同之延滯量，對應到混合車流與均質標準車流下之列車數量（圖 2-2）。該延滯量可由模擬軟體輸入軌道與列車參數後獲得，例如北美路網廣泛使用之 RTC 模擬軟體（Wilson, 2008）；延滯量亦可使用參數法輸入車流量與交通組成參數推求各車種組合之流量-延滯關係，例如 CN 參數模式（Canadian National Parametric Model）。該模式之車流量與路網延滯呈現自然指數關係，因此可將公式 (2-7) 當中的容量轉為延滯的自然對數函數。帶入公式 (2-4) 後即可求得列車當量與延滯之關係。

$$H_M = \frac{1}{B^M} \ln\left(\frac{d_M}{A^M}\right) \quad (2-11)$$

$$H_b = \frac{1}{B^b} \ln\left(\frac{d_M}{A^b}\right) \quad (2-12)$$

$$E_t^M = \frac{H_b - H_M}{p_t^M H_M} + 1 = \frac{\frac{1}{B^b} \ln\left(\frac{d_M}{A^b}\right) - \frac{1}{B^M} \ln\left(\frac{d_M}{A^M}\right)}{p_t^M H_M} + 1 \quad (2-13)$$

其中：

$A^M$  = CN 參數模式在混合車流  $M$  之指數係數

$B^M$  = CN 參數模式在混合車流  $M$  之流量係數

$d_M$  = 混合車流  $M$  之延滯時間

$A^b$  = CN 參數模式在標準列車均質流之指數係數

$B^b$  = CN 參數模式在標準列車均質流之流量係數

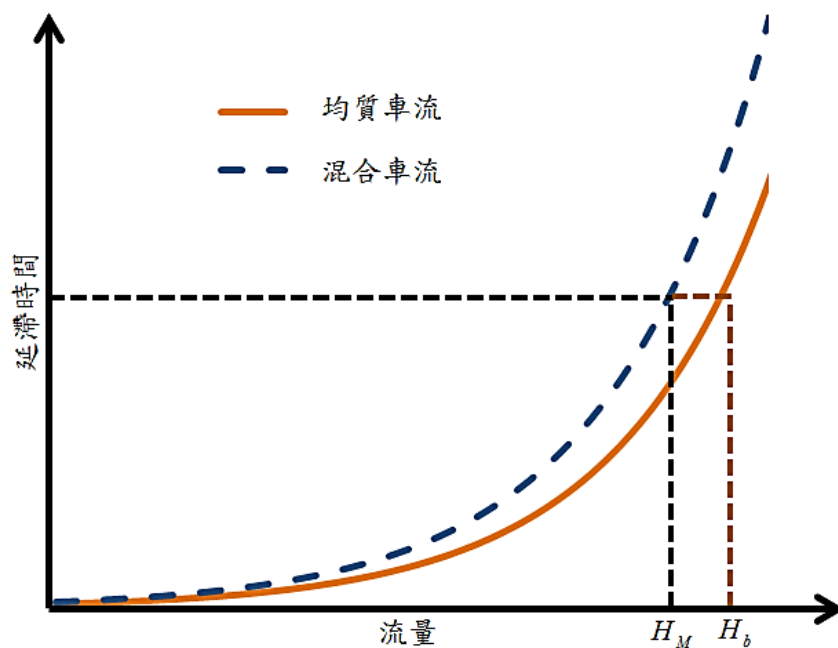


圖 2-2 延滯基準之標準列車當量計算方法

## 2.2 利潤容量模式概念與要素

2.1 節所回顧之鐵路容量文獻以單位時間內最大吞吐量做為容量計算基準。然而，不同領域之研究對於「容量」一詞有不同之定義。社會領域與商業領域研究會使用「容量」一詞來代表創造營收之「能力」，例如 Quiry 等人 (2011) 將企業組織在常態營運下年復一年之獲利能力稱為「利潤產生容量 (Profit-generating Capacity)」，Corbett (1988) 將個人每年的生產所得稱為「所得產生容量 (Income-generating Capacity)」，澳洲政府之生產力委員會 (Productivity Commission, 2008) 將每年之稅務評估收入稱為「收入產生容量 (Revenue-raising Capacity)」。以上三種容量用詞雖然指稱對象不同，但皆描述了研究客體在一定時間內之經常性收益，不包括額外之收入或支出。

本研究將利潤產生容量簡稱為「利潤容量」做進一步討論。利潤容量概念被應用為鐵路系統之一新興容量單位，源自 Sameni 等人 (2011) 之研究。該研究以利潤容量概念分析一貨運鐵路路網，輸入油耗、人員、車輛使用等成本，再推

算產出之直接價值與更廣泛的社會經濟效益，其概念圖展示於圖 2-3。該研究中依據不同情境產生不同之容量價值，計算不同貨運列車組成下之特定路段總收益變化。



圖 2-3 Sameni 等人提出之利潤容量概念模式 (Sameni et al, 2011)

Sameni 等人 (2011) 之鐵路系統利潤容量研究乃針對北美路網之特性，車種組合皆為貨運列車，且並無考慮軌道擁有者向營運業者收取之鐵路通行費，而是採用貨運商品價值作為營運收入來源。本研究希望將鐵路利潤容量概念推及到更廣泛之鐵路系統，不論是客運或貨運、北美路網或是其他國家路網。在此目標下，各種路網型態之產值將與該路網之軌道容量利用策略緊密相關。如欲衡量路網產值，就必須先回顧鐵路經濟與路網組織架構等相關文獻，以審視整個鐵路系統之利潤容量要素組成。因此，本研究欲以更宏觀之格局研究利潤容量於不同路網型態之應用，並且更深入分析利潤容量之組成。2.2.1 節首先就各國鐵路之組織架構與容量利用策略進行回顧，從中尋求可將 Sameni 等人 (2011) 之鐵路利潤容量計算方法應用在更廣泛路網之方法。2.2.2 節與 2.2.3 節分別探討在不同車路組織架構之軌道擁有者角色下，利潤容量之收入與成本要素的相關研究。

### 2.2.1 鐵路組織架構與容量利用策略

鐵路系統由於基礎建設造價高昂、沉沒成本龐大，各國鐵路案例傳統上多由政府部門一肩扛負鐵路之建設、設施維護與旅運服務之業務，成為單一的國營事

業體。然而，國營鐵路經常因政府與事業體之角色分際模糊，造成鐵路國營事業既缺少私營企業之效率，虧損來源資訊模糊，導致營運虧損嚴重（曾偉豪，2007）。1990 年代為多國鐵路之組織改革期，歐盟執委會於 1991 年通過 91/440 號指令，促使歐洲鐵路走向市場開放。歐洲各國鐵路逐步轉變原先以國營鐵路事業為主之車路組織架構，進行改制以降低鐵路市場進入難易度。鐵路改制開始後，多數鐵路系統之車路組織型態可概略分為「車路分離 (Vertical Separation)」、「控股公司 (Holding Company)」以及「車路一體 (Vertical Integration)」三種模式 (ECMT, 2005; Velde et al, 2012)，皆以分割鐵路事業為手段，將傳統的單一事業體拆分為不同會計報表、不同部門單位，甚至不同的獨立機構。其目的為釐清營利或虧損之來源、提高服務水準與效率，並因此增進軌道路網之經營績效，降低鐵路事業對於政府財政補助之依賴性。

在車路分離系統中，車輛營運與軌道維護分屬不同組織，前者專司旅客服務或貨物運輸，後者專職路線、號誌等硬體設備之維修。營運業者付予軌道擁有者鐵路通行費換取軌道使用權，而軌道擁有者可決定如何將路網容量分配給營運業者，並進一步擬訂班表。由於建置路網所需經費龐大，且軌道建設多具有公益色彩，歐洲的車路分離路網中多由政府部門或國營公司擔任軌道擁有者，做為一中立角色公平給予所有營運業者使用路線之機會。相對於車路分離路網，車路合一路網之軌道擁有者除了維護軌道基礎設施，也提供列車營運服務。車路合一路網可再分為帳務不分離或帳務分離，後者將列車營運與軌道維護的收入支出進行會計拆帳，因此得以釐清各業務之營收情形。最後，控股公司之車路組織架構介於前述車路合一與車路分離間之過渡型態，雖然車輛營運與軌道維護業務分屬不同單位管轄，但雙邊單位隸屬於相同之控股公司集團，呈現車路組織部分分離之情形。

根據 Velde 等人 (2012) 之研究報告，車路組織架構之不同處主要在於營運業務與軌道設施維護兩項任務之權責劃分。故首先討論軌道維護與列車營運之業

務範疇定位與特性比較。在 Finger 等人 (2013) 的分析中，列車營運屬於企業對消費者商業模式 (B to C) 或者企業對企業交易關係 (B to B)，列車營運之財務目標為最大化營運收入與最小化營運成本。而在軌道維護方面，軌道設施因屬於昂貴資產，故軌道擁有者所屬市場偏向自然獨佔市場，服務模式屬於企業對企業交易關係 (B to B)，財務目標為最大化軌道路網帶來之收入，以及最小化路網維護成本，相關特性比較整理於表 2-1。

表 2-1 軌道維護與列車營運特性比較 (Finger et al, 2013)

	列車營運	軌道維護
市場種類	競爭市場或獨佔市場	自然獨佔
商業模式	B to B 或 B to C	B to B
目標	最大化列車營運收入	最大化軌道路網收入
	最小化營運成本	最小化路網維護成本

由於「列車營運」與「軌道維護」兩項業務之商業模式、財務目標不盡相同，這也導致軌道擁有者在分配容量實會因自身的業務職掌而改變策略。所謂的容量分配，為軌道擁有者在路網建置後，針對有限之軌道資源分配予自有營運列車或外來業者列車 (Bassanini et al, 2002; Cao et al, 2012)。前者自有列車之容量分配需考慮各車種之需求量、單位列車價值以及列車性能來創造路網之最大產值。該情境下之容量分配問題與收益管理問題相似。但是過去之收益管理文獻多集中探討旅客需求預測、消費者價格彈性、銷售配額……等議題。因此，本研究重點放在軌道資源之有限性與列車組成方式，對於鐵路市場需求則是假定為已知資料，可藉由匯入需求資料庫使利潤容量模式更貼近現實。

對於外來業者列車之容量分配，常見容量分配方式可分為行政機制、市場機制以及成本機制三大類別 (Gibson, 2003)。行政機制與市場機制屬於「先分配、



再定價」之容量分配方式，成本機制則是直接產生各區段成本定價。行政機制容量分配無一定原則，多沿襲實務上之前例，隨案例不同而略有變化，執行較為簡單但難以確保其公正性 (Gibson, 2003)。市場機制之常見方法為拍賣競價，有助於獲得營運業者之願付價格，但拍賣競價方法本身相當繁雜，相關文獻多探討複合式標案之流程設計與程式撰寫 (Quinet, 2003; Borndörfer et al, 2005; Czerny et al, 2009; Schlechte, 2011; Klug et al, 2013)，或引入賽局理論討論營運業者在競爭下之決策分析 (Fragnelli et al, 2000; Bassanini et al, 2002)。成本機制則是將路網拆分為不同時間帶，藉由估算各時間帶成本向營運業者收取租金。

實務上，歐洲鐵路系統之容量分配方式多傾向行政機制與成本機制混用 (Perennes, 2012)，軌道營運業者推估路段成本作為定價之基礎，再以協商方式分配軌道容量予提出申請之營運業者。歐盟執委會之 2001/14/EC 指令規範了鐵路容量分配與定價方式，為追求歐洲鐵路市場之公平性，軌道擁有者應盡可能提供各營運業者平等之競爭基礎。過去的競標研究著重於最終標案贏家之決定，並產出最大利潤班表，該種研究下問題困難度會隨著路網複雜性快速增加，實務應用不易。本研究應用收益容量概念，決定最有利軌道用有者的列車組成並以成本定價，可有效降低問題複雜度。後續列車排序問題可在實務上另行解決。

### 2.2.2 利潤容量之收入要素

在分析各車路組織架構中的鐵路容量利用策略後，還需要進一步分析軌道擁有者之收入與成本要素才有助於本研究發展整合型利潤容量模式。根據 2.2.1 節之回顧，可知軌道擁有者負責列車營運業務時，收入來源包含貨運收入或者客運票務營收，牽涉到市場需求預測與收益管理。由於列車營運收入多屬於 B to C 商業模式，實務上常被政策綁定，或者受制於市場機制成為價格接受者，因此以下討論著重於軌道擁有者出借路權所獲得之通行費收入。關於運輸業常見之定價

方法，張有恆 (2011) 歸納出數種普遍性定價法，其中包含：



- 邊際成本定價法

可尋求社會福利最佳結果，缺點為運輸業之邊際成本經常小於平均成本，普遍上會令業者產生虧損。

- 平均成本定價法

廠商以其平均成本作為市場上商品的價格，無超額利潤、無暴利但可以確保業者之成本回收。然而鐵路之軌道設施造價高昂，可能導致定價過高、市場需求過低造成鐵路流量下降。

- 次佳定價法 (Ramsey pricing)

追求社會福利最大但以正常利潤為限制條件。介於邊際定價和最大利潤定價之間。需求彈性愈大價格愈低。

- 成本加乘定價法

在產品平均成本之上加乘一定百分比，作為業者利潤。

- 報酬率定價法

設定一合理報酬率，利潤為資產價值乘以該投資報酬率。

綜觀以上定價法之優勢與劣勢，並考慮到本研究案例中的可取得數據，以及計算簡易度，本研究最後採用成本加乘法作為鐵路通行費之定價基礎，詳細定價公式將於 3.4.1 節當中介紹之。

關於針對鐵路通行費之研究，由於北美鐵路市場較為封閉，且軌道擁有者多為私人公司，較少研究提及鐵路通行費定價，多採公司私下協商方式進行費用談判。而歐洲鐵路網在歐盟執委會之規範下，多為開放市場，鐵路通行費因此成為歐洲鐵路系統之重要議題 (Nilsson, 2001; Sánchez-Borràs et al, 2010)。以下四項

鐵路通行費項目是以財務永續為願景所建議軌道擁有者採用之鐵路通行費項目 (Nash, 2005; Sánchez-Borràs et al, 2010; Kozan et al, 2005; Johnson et al, 2008)：

- 維護和更新費用: 支付營運業者使用軌道容量造成之路線維護費用，或新建與改建基礎設施費用；
- 容量成本: 營運業者占用容量造成路網其他列車之衝擊，包含壅塞狀態下增加的列車旅行時間成本與其他列車被排除軌道使用機會之機會成本；
- 環境成本: 列車營運對環境帶來之不利影響，例如溫室氣體排放、大氣污染物和噪音成本；
- 事故成本: 列車增加導致事故風險增加相關的物質和非物質的成本。

其中 Nash 於 2005 年整理了歐洲各國之定價準則與收費要項，表 2-2 中之 MC 與 FC 分別代表邊際成本 (Marginal Cost) 與整體成本 (Full Cost)，邊際成本僅收取增加一列車所多出之額外費用，通常難以達成收支平衡，故常搭配一額外費用形成 MC+；而整體成本則是考量總營運成本，因為容易導致定價過高，常搭配政府補助形成 FC-，以使鐵路通行費降至合理範圍。另外，表 2-2 中 I 與 S 分別代表車路合一路網與車路分離路網。

表 2-2 歐洲鐵路鐵路通行費



	定價原則	車路合一/ 車路分離	維修與 更新成本	容量成本	事故成本	環境成本
奧地利	MC+	I	V	V		
丹麥	MC+	S	V	V		
芬蘭	MC+	S	V			V
法國	MC+	S	V	V		
德國	FC-	I	V	V		
義大利	FC-	I		V		
瑞典	MC+	S	V		V	V
瑞士	MC+	I	V	V		V
英國	MC+	S	V	V		

鐵路通行費制度一方面反應軌道擁有者為維護軌道所付出之花費，另一方面可提供營運業者誘因，使其願意在符合軌道擁有者期望之前提下營運列車 (Nash, 2004)。然而，在綜合性之歐洲鐵路通行費回顧中，發現現有鐵路通行費定價下多數軌道擁有者收取之鐵路通行費無法平衡支出 (Calvo and Oña, 2012)。除了東歐國家因較多採取整體成本收費、成本回收比例較高外，其餘西歐國家不論定價原則為邊際成本或整體成本，普遍上鐵路通行費僅涵蓋部分成本。其中由於北歐屬於社會福利國家，視鐵路服務為社會福利之一環，成本回收率更低於其他國家之定價機制。東歐國家之總成本回收比例在圖 2-4 中以灰底長條圖表示。

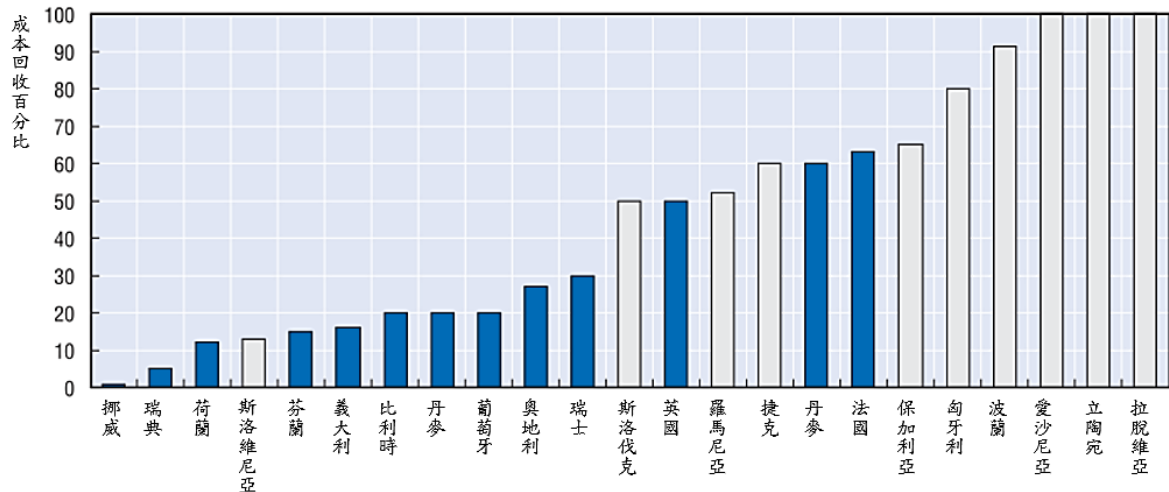


圖 2-4 總成本回收比例 (ECMT, 2004)

各國之鐵路政策反映在鐵路通行費策略，並導致不同的成本回收結果。以政府資源扶助鐵路產業誠然有助於國家社會福利之提升，但長遠看來可能損及鐵路利用效率與鐵路系統之財務永續，故本研究在回顧各國鐵路通行費計算制度後，將審慎考量收費要素之選定，以及成本衡量之計算方法，將鐵路通行費制度作為鐵路利潤容量之重要基礎。

### 2.2.3 利潤容量之成本要素

利潤容量之收入要素可分為列車營運與軌道租借兩大要項，而在成本方面，外來營運業者跟軌道擁有者雙方兼有需共同分擔之成本，亦有其中一方須額外負擔之增量成本。最常被計算之共同分擔成本為軌道維護成本。而延滯成本隨路網壅塞程度變化，意即路線上所有列車都對路網總延滯成本具有直接或間接影響。最後，當軌道擁有者兼提供客貨運服務，其營運成本也應納入利潤容量要素中。因此，以下依序探討軌道維護成本、延滯成本以及營運成本三種成本要素。

#### 軌道維護成本

列車行駛時勢必對軌道造成磨耗，並且耗損嚴重度隨著車種重量、軌道線型特性等因素而有輕重之別。Zarembski 等人 (2004) 在美國聯邦鐵路管理局提出

技術性報告，將北美鐵路之軌道維修成本歸納為四項主要參數：載重 (Tonnage)、軌道曲度、軌道等級以及軌枕種類。列車載重為維修參數之首，因為列車軸重越大、其產生之動態載重對鋼軌衝擊性越高，鋼軌扣件、道碴與相關土建設施受應力量變形或沉陷的機率也越大。而軌道曲度反應列車在越小的轉彎半徑下軌道損傷越劇烈，維修成本自然隨軌道曲度增加而上升。軌道等級反映出各路段之軌道設備水準，等級越高之路網的容許行駛速限越高，相對地設施維護成本也越高。美國聯邦鐵路管理局針對各軌道等級制定速度上限值 (FRA, 2007) (表 2-3)，其中又分為貨運列車速限與客運列車速限。軌枕種類則是反映出不同軌枕材料對應力之耐受度有高低之別，常見木質軌枕與混凝土軌枕兩類。木質軌枕因為材料結構較脆弱，且易受天候影響、因雨雪造成之濕度漸漸朽壞，需要維修替換之頻率較高。混凝土軌枕可承受之壓應力較大，因此相對來說維修成本略小。

表 2-3 FRA 定義各級軌道速限 (FRA, 2007)

Track class	Freight trains (miles/hr)	Passenger trains (miles/hr)
Excepted track	10	NA
Class 1 track	10	15
Class 2 track	25	30
Class 3 track	40	60
Class 4 track	60	80
Class 5 track	80	90
Class 6 track	NA	110
Class 7 track	NA	125
Class 8 track	NA	160
Class 9 track	NA	200

Lai 等人 (2013) 延續 Zarembski 之研究成果，將軌道維修成本轉換為年載重函數，在不同的軌道等級、路線曲度與軌枕材料下，建構年載重與年維修成本之關係函數為：

$$AC = \alpha X + \beta$$

(2-14)

其中：

$AC$  = 平均軌道維修成本 (美元/英里)

$X$  = 每年總噸數 (MGT)

$\alpha, \beta$  = 模式迴歸係數



各種軌道等級、路線曲度與軌枕材料對應之維修成本函數係數與 R 平方係數整理於表 2-4 當中。

表 2-4 維修成本函數係數 (Lai et al, 2013)

Tie	Curvature		Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Wood	Light (96% - 4% - 0%)	$\alpha$	474.2	619.4	773.3	892.2
		$\beta$	16,416	18,529	20,777	24,489
		$R^2$	0.9864	0.9851	0.9839	0.9830
	Moderate (90% - 8% - 2%)	$\alpha$	499.3	650.9	811.7	935.9
		$\beta$	16,576	18,785	21,134	22,925
		$R^2$	0.9884	0.9865	0.9851	0.9840
	Severe (82% - 12% - 6%)	$\alpha$	542.9	703.6	873.9	1,005.6
		$\beta$	16,812	19,155	21,644	23,545
		$R^2$	0.9911	0.9887	0.9869	0.9855
Concrete	Light (96% - 4% - 0%)	$\alpha$	406.8	550.9	703.7	821.6
		$\beta$	17,182	19,279	21,510	23,208
		$R^2$	0.9776	0.9779	0.9780	0.9777
	Moderate (90% - 8% - 2%)	$\alpha$	423.7	575.3	736.9	858.7
		$\beta$	17,101	19,361	21,790	23,546
		$R^2$	0.9571	0.9713	0.9798	0.9792
	Severe (82% - 12% - 6%)	$\alpha$	472.0	627.2	791.8	919.0
		$\beta$	17,525	19,788	22,195	24,029
		$R^2$	0.9856	0.9838	0.9826	0.9816

### 延滯成本

當路網車流增加，各列車之延滯時間也隨之提升。過去常見之延滯計算方法有參數法與模擬法等類型。以英國的延滯成本定價基準為例，英國先將路段切分後，蒐集過去的路網延滯數據並建立一自然指數模式，找出車流量與壅塞相關連

鎖延滯 (Congestion Related Reactionary Delay, CRRD) 之關係，計算過程如公式 2-15 所示。模式建立後，再以該區段時間帶每新增一列車之 CRRD 增量，乘以平均延滯成本並折減歸因於軌道擁有者之延滯責任，最後獲得該區段時間帶下之鐵路通行費 (Maunsell, 2007)，計算過程如公式 2-16 所示。

$$d_n = Ae^{BU_n} \quad (2-15)$$

$$T_n = \Delta d_n * N_n * PR_n * F_n \quad (2-16)$$

其中：

$d_n$  = 時間帶  $n$  之延滯時間

$A$  = 延滯模式之軌道參數係數

$B$  = 延滯模式之交通流參數係數

$U_n$  = 容量利用指數 (Capacity Utilization Index, CUI)

$T_n$  = 時間帶  $n$  之收費 (每英里)

$\Delta d_n$  = 時間帶  $n$  之 CRRD 增量 (每列車英里)

$N_n$  = 時間帶  $n$  之列車數

$PR_n$  = 時間帶  $n$  每一分鐘延滯之平均成本

$F_n$  = 英國路網之軌道擁有者 Network Rail 之延滯歸責比例

### 營運成本

不論是軌道擁有者自有營運列車、或是租用軌道之營運業者的外來列車，都可能對軌道擁有者產生軌道維修成本與容量成本。然而，營運成本特別反應在軌道擁有者兼職掌列車營運業務的情況。因為若是針對外來業者之營運成本，理應



由外來營運業者各自負擔其列車之運輸支出。相較於軌道維護成本與延滯成本，營運成本之推估函數在過去研究當中相對缺乏，多藉由實務數據統計結果進行單位列車成本之計算，例如柴油車燃油成本、車輛租借成本、車輛維修成本、人事成本以及行政成本等等。Dingler (2011) 將營運成本歸納為車廂租借、機車頭購置或租賃、燃料使用以及員工薪資等四項變動成本，又分為聯運貨車與煤礦車計算其每營運單位列車小時之花費，其數據呈現在表 2-5 當中。

表 2-5 貨運鐵路營運成本 (Dingler, 2011)

	聯運貨車	煤礦車
平均每小時車廂成本	\$1	\$1
平均列車車廂數	84.9	99.2
每列車小時車廂成本	\$85	\$58
機車頭購入成本	\$1,750,000	\$1,750,000
生命週期	25.0	25.0
貼現率	7%	7%
殘值	\$20,000	\$20,000
平均車組單位	5	3
每列車小時機車頭成本	\$88	\$53
每小時待速燃油消耗	3.5	3.5
每加侖平均燃油成本	\$3.13	\$3.13
平均車組單位	5	3
每列車小時油耗成本	\$55	\$33
每列車乘務人員數	2	2
平均時薪	\$24.68	\$25.68
員工福利	35%	35%
每列車小時人員成本	\$67	\$67

除了以上列舉之軌道擁有者成本，實際案例中可能另有其他成本要素有待釐清，例如路網規劃成本、行政人員業務成本甚至車站使用成本……等等，需要依個案特性斟酌考量利潤容量之組成項目。

### 2.3 小結

綜合以上文獻，可以看出當前利潤容量概念應用在鐵路系統之研究尚缺少全面性探討，有待更進一步討論不同的鐵路系統下利潤容量之定義與應用的可能變化。而鐵路通行費作為利潤容量之重要來源，當前之鐵路通行費實務困境為成本回收比例過低，雖可用政府資源填補經費缺口，但不利於長遠的財務永續計畫。本研究將探討鐵路利潤容量概念，欲以鐵路利潤容量反映路段或路網之真正潛值，才能達到軌道資源之有效利用。本研究將首先以軌道擁有者作為收益主體，將利潤容量建立在以軌道擁有者為主體之價值基礎。研究的最終目標為開發一整合型利潤容量模式，加入鐵路需求面之考量。本研究將探討不同路網形態中的軌道擁有者之利潤結構變化，研擬更符合鐵路旅運需求、同時創造最大路網價值之軌道容量利用規劃。

### 第三章、研究方法



根據前章節之文獻回顧成果，本研究將建構一鐵路利潤容量模式，將利潤容量概念推廣至不同的車路組織架構中。3.1 節首先定義本研究採用之利潤容量概念將「容量」由「瓶頸路段通過最大車數」轉化為「軌道擁有者在指定路段可獲得之最大產值」，並分析模式之投入要素與產出。3.2 節開始建構利潤容量模式，呈現完整的利潤容量模組架構。更詳細的利潤容量計算過程與運算邏輯介紹在 3.3 節與 3.4 節當中。3.3 節呈現如何針對特定區段窮舉車種組合情境，建立容量資料庫作為後續利潤容量之計算基礎；3.4 節則專注於列車價值之計算，最後將單位列車價值整合為各種交通組成情境下之區段利潤容量。前述 3.3 節至 3.4 節介紹之利潤容量計算過程可產生單一區段之利潤容量，為了將模式拓展至跨區段之範疇，使利潤容量成果更加貼近實務營運經驗，3.5 節將利潤容量流程轉化為最佳化模式，以數學方法在不同的車流連續性限制下找出跨區段路網之最大利潤容量。最後，3.6 節回顧本研究之計算方法並進行綜合討論。

#### 3.1 整合型利潤容量模式概念

傳統鐵路研究中，多以將鐵路容量定義為瓶頸路段通過最大車數作為容量單位，或者特定服務水準下之車流量。而利潤容量概念最初應用於財務領域，利潤容量反映出企業組織在常態營運下的獲利能力，當中不包含非經常性之收入 (Quiry et al, 2011)。Sameni 等人 (2011) 首先將利潤容量概念進一步應用於鐵路領域，分析一貨運鐵路路網之燃料、人員、車輛使用等成本，再推算產出之直接價值與更廣泛的社會經濟效益。

本研究同樣將列車數轉換為列車價值，並將價值定義為軌道擁有者營運列車或租借路權予列車創造之利潤，也就是各車種價值與車輛數之乘積總和：

$$P = \sum_{i \in I} V_i * N_i \quad (3-1)$$

其中：

$i$  ：車種編號，屬於車種集合  $I$

$P$  ：該路段利潤容量

$V_i$  ：車種  $i$  之列車價值

$N_i$  ：車種  $i$  之列車數

而列車價值來自於該列車對軌道擁有者創造之收入，再扣除該列車對軌道擁有者製造之成本：

$$V_i = R_i - C_i \quad (3-2)$$

其中：

$R_i$  ：車種  $i$  對軌道擁有者創造之收入

$C_i$  ：車種  $i$  對軌道擁有者創造之成本

不同於 Sameni (2011) 北美貨運利潤容量研究的是，本研究不僅把傳統最大列車數容量轉為貨幣值，並考慮營運業者之需求上限，建構一考量需求之整合型利潤容量模式。另外，行駛於軌道擁有者路網上的列車並非皆擁有相同的利潤架構。實際上，在不同的車路組織類型下，軌道擁有者之利潤來源可能包含自有列車營運利潤，以及鐵路通行費利潤。綜合以上所述，可獲得利潤容量模式之投入與產出項目，整理於圖 3-1 當中。以下章節將深入介紹各利潤要素與容量分配過程，最終求出路段之利潤容量。



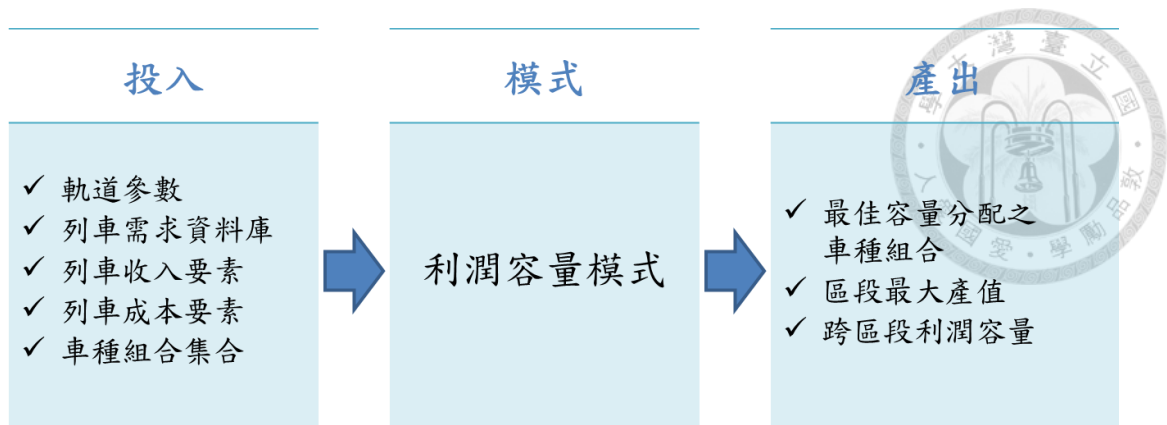


圖 3-1 利潤容量模式之投入與產出

### 3.2 整合型利潤容量模式建構流程

依據 3.1 節所述之鐵路利潤容量概念，本章節將建構利潤容量模式之求解流程，過程中針對某一軌道區段輸入路網資訊、列車資訊以及鐵路市場需求資訊，同時衡量列車對軌道容量與軌道擁有者利潤之衝擊。利潤容量模式之計算步驟大致可分為三大主軸：(1) 容量資料庫之建立 (2) 列車價值之計算 (3) 區段與跨區段利潤容量之產出。「容量資料庫建立」之目的為找出區段上所有可能之交通流組成情境，並計算各情境下之每車種標準列車當量，該資訊會輸入「列車價值計算」作為動態容量成本之基礎。接著容量資料庫繼續以標準列車流量檢核混合車流總交通量有無超過標準列車容量上限。而在「列車價值計算」部分，首先估算單位列車創造之收入與成本，再以容量資料庫輸出之交通組成計算各情境下之軌道擁有者利潤。最後，「區段與跨區段利潤容量」綜合各區段容量資料與交通組成利潤之計算結果，選出能滿足容量與流量限制之交通組成情境。

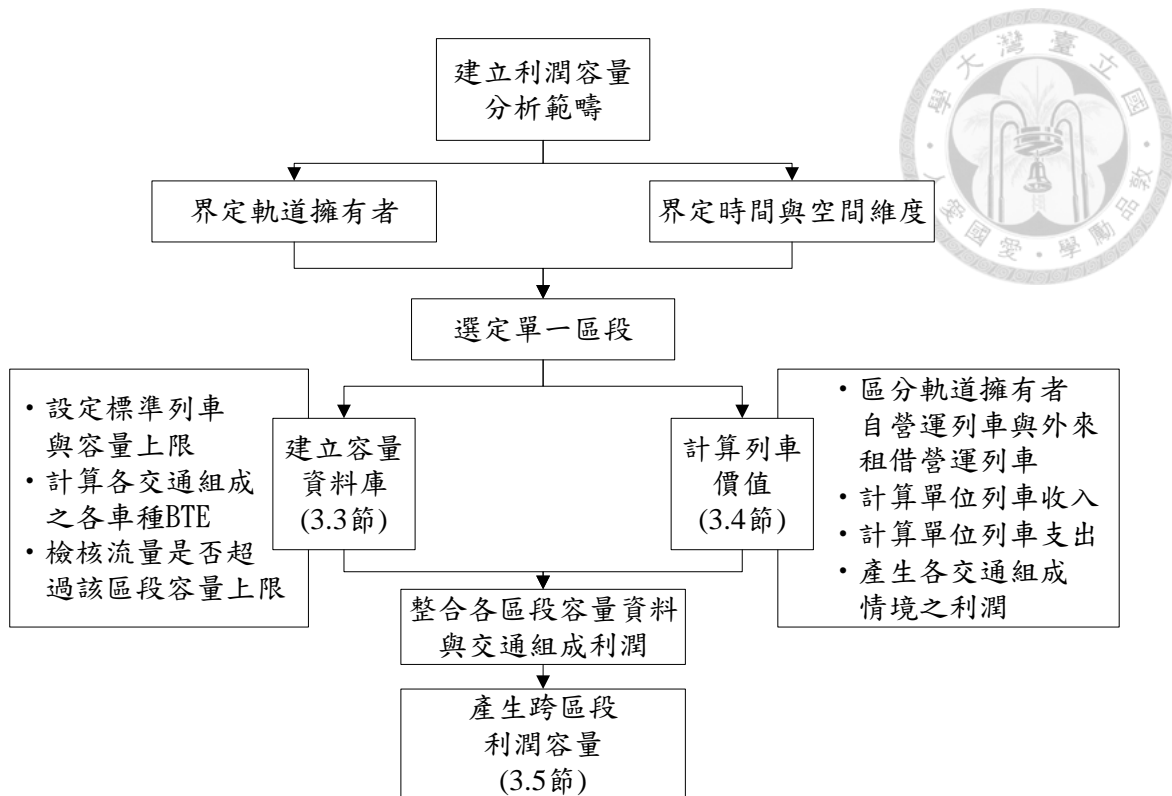


圖 3-2 整合型利潤容量建構模組

### 3.3 利潤容量資料庫之建置

利潤容量資料庫需呈現各區段在合理總流量下之車種組合情境，並以此計算各情境產生之利潤，以尋求最大利潤容量之容量運用策略。如 3.2 節所述，建立利潤容量資料庫之步驟整理如下：

- (1) 指定標準列車
- (2) 計算該區段的標準列車容量上限
- (3) 以最大標準列車容量車數窮舉交通組成
- (4) 檢核各交通組成下，總車流量是否超過容量上限

為便於後文簡介利潤容量模式求解流程，本研究將列舉利潤容量模式之數學符號，將利潤容量產生過程呈現在邏輯化的運算機制當中，在此先行整理容量資料庫建置之要件並定義數學符號。首先定義列車相關指標， $i$  為一般列車指標，

也就是不區分該車種之經營所有權、編號為  $i$  之列車車種。建立容量資料庫的一開始需要相同的容量衡量標準，故指定區段中的某一車種成為標準列車  $b$ 。在後續列車價值計算中，軌道擁有者自有列車與外來營運業者列車對利潤之貢獻不同，因此又產生了指標  $j$  與指標  $k$ ，前者代表軌道擁有者自有營運列車之車種編號，後者為外部營運業者營運列車之車種編號。列車指標之外，本研究以  $Y$  表示交通組成情境所構成的集合， $y$  則表示交通組成  $Y$  情境下的離散數，例如：兩列區間車、一列自強號、三列莒光號可表示為  $y=(2,1,3)$ 。 $(0,1,1)$  為此集合第一種情境， $y=1$ ，流量上限值由該區間標準列車容量限制。

表 3-1 列車與情境指標

符號	定義
$i$	編號 $i$ 之列車車種
$j$	編號 $j$ 之軌道擁有者自有營運列車車種
$k$	編號 $k$ 之外部營運業者營運列車車種
$b$	標準列車指標
$y$	編號 $y$ 之交通組成情境

選定車種  $b$  為標準列車後，需計算該區段在標準列車均質流下可容納之最大車數，即為容量上限  $H_b$ 。區段上可能存在現行營運列車具有優先之路網使用權，因此過程中會判斷  $H_b$  是否需要扣除先占列車數量  $F$  做為容量上限  $U$ 。容量上限車數確立後，在最高車數限制下進行交通組成之窮舉，產生了交通組成情境集合  $Y$ 。在各個情境  $y$  當中，都需要以標準列車當量模式將混合車流轉換為均質標準列車流。可由公式 (2-3) 推得車種  $i$  在交通組成  $y$  情境之標準列車當量  $E_i^y$ ，再將交通組成  $y$  下之各車種列車數  $N_i^y$  乘以  $E_i^y$  並加總，獲得交通組成  $y$  下之總標準列車數  $N^y$ 。各情境  $y$  都需檢核其總標準列車流  $N^y$  是否超過容量上限  $U$ ，若超過則排除該交通組成情境。相關參數與容量資料庫建置流程整理於表 3-2 與圖 3-3。

表 3-2 容量資料庫相關參數與集合

符號	定義
$H_b$	區段能容納標準列車 $b$ 之容量
$F$	市場的先占列車數
$U$	容量上限車數
$Y$	交通組成情境集合
$E_i^y$	交通組成 $y$ 下，列車 $i$ 之標準當量
$N_i^y$	交通組成 $y$ 下之 $i$ 列車數
$N^y$	交通組成 $y$ 下之總標準列車數， $N^y = \sum_i N_i^y E_i^y$

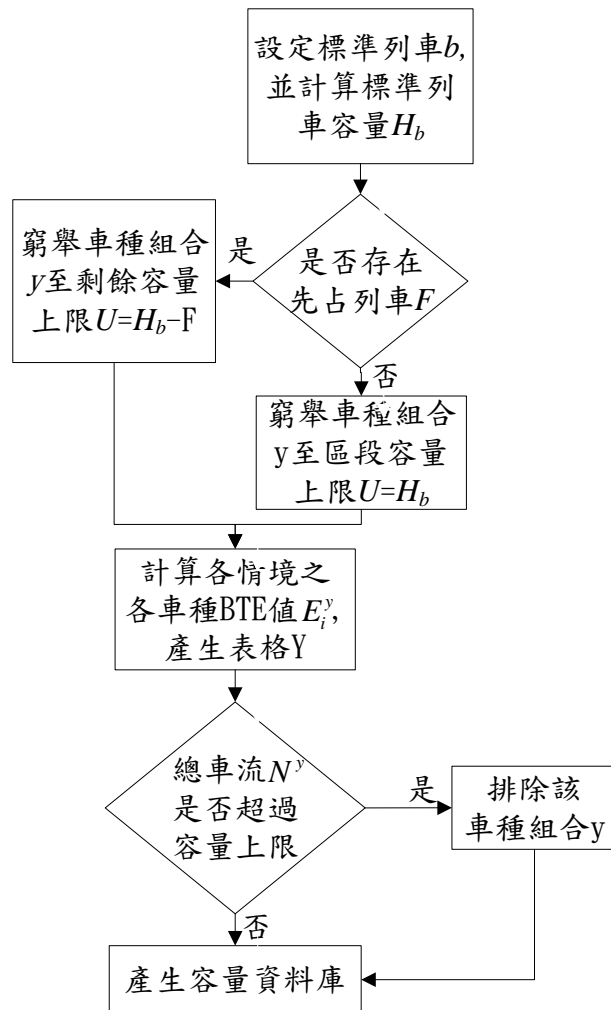
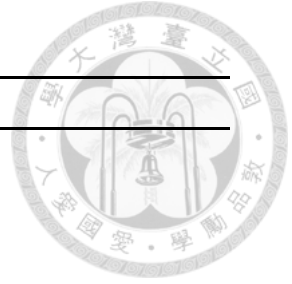


圖 3-3 容量資料庫建置流程



指定標準列車時可考量兩大要素。一是選取對軌道容量衝擊最小之車種，例如運轉時隔或延滯增量最低。二是在車路合一且有外來營運業者的情境下，指定軌道擁有者某一自有車種做為容量標準。各區段容量上限標準可視個案做調整，如果指定標準列車時已選定容量衝擊最小之車種，則該標準列車容量即可做為容量上限。若標準列車是依據經營權指派，則須另行考量該區段最大車數之合理範圍，避免窮舉情境不足以反映實際可行之車種組合。窮舉車種組合之步驟以 VBA 之迴圈進行運算，窮舉總流量為零至容量上限之所有組合。

產出特定容量下之所有車種組成後，依照各車種特性，計算每列車在不同混合車流下之當量值，最後檢視該方案之總流量是否超過該區段之標準列車容量上限。容量資料庫最後的輸出結果如表 3-3 之格式，該表格以臺鐵路網永樂至東澳區段為例。

表 3-3 容量資料庫範例

方案	區間車 ( $i=1$ )		自強號 ( $i=2$ )		莒光號 ( $i=3$ )		總流量 (BTU)
	車數	當量	車數	當量	車數	當量	
$y=1$	0	1	1	0.79	1	0.98	1.77
$y=2$	0	1	1	0.79	2	0.97	2.73
...							

### 3.4 利潤容量之列車價值計算

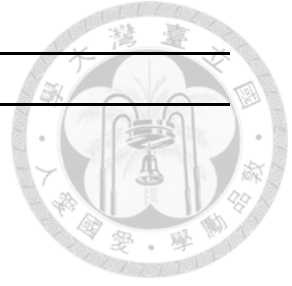
如表 3-1 之列車與情境指標所示，列車價值之計算因需要考量不同經營權列車對軌道擁有者之收入與成本貢獻，故計算成本與收入時需分為「軌道擁有者自有營運列車車種  $j$ 」與「外部營運業者營運列車車種  $k$ 」進行討論。首先進行單

位列車成本與收入之推估，再視各車種車數計算各交通組成下之區段利潤容量，產出利潤容量資料庫。

在收入方面，首先計算分別軌道擁有者自有營運列車  $j$  創造之單位列車收入  $R_j^O$ ，以及外部營運業者營運列車  $k$  創造之單位列車收入  $R_k^A$ ，上標 O 與 A 分別代表軌道擁有者之營運收入與軌道出租收入。此二項收入要素在考慮各列車需求上限  $D_i$  後，乘以各車種列車數得到軌道擁有者在  $y$  情境下總收入  $R^y$ 。本研究假設各列車之收入僅與該車種特性相關，與車流組成無關。而在成本計算部分，考量到列車之容量成本應反映出車流組成變化，本研究將單位列車成本分為非容量成本與動態容量成本兩步驟進行計算。首先估算軌道擁有者自有營運列車  $j$  造成之成本  $C_j^O$ ，以及外部營運業者營運列車  $k$  造成之成本  $C_k^A$ ，上標 O 與 A 分別代表軌道擁有者之營運成本與軌道出借成本，兩種成本與交通組成無關；另外在各交通組成  $y$  下，引入容量資料庫之列車當量資料  $E_i^y$ ，計算車種  $i$  之容量成本  $Q_i^y$ 。綜合非容量成本與動態容量成本之計算結果，產生軌道擁有者交通組成  $y$  對應之總成本  $C^y$ 。總收入  $R^y$  與總成本  $C^y$  的差值即為軌道擁有者在交通組成  $y$  之總利潤  $V^y$ 。以上之列車價值細部計算方法將詳述於 3.4.1 節至 3.4.3 節，表 3-4 呈現列車價值相關參數符號，圖 3-4 呈現上述利潤容量模式之整體求解流程。

表 3-4 列車價值相關參數

符號	定義
$R_j^O$	軌道擁有者自有營運列車 $j$ 創造之單位列車收入
$R_k^A$	外部營運業者營運列車 $k$ 創造之單位列車收入
$D_i$	$i$ 車種列車需求上限
$R^y$	軌道擁有者在情境 $y$ 下總收入， $R^y = \sum_j N_j^y R_j^O + \sum_k N_k^y R_k^A$
$C_j^O$	軌道擁有者自有營運列車 $j$ 造成之成本
$C_k^A$	外部營運業者營運列車 $k$ 造成之成本
$Q_i^y$	交通組成 $y$ 下，列車 $i$ 之動態容量成本
$C^y$	軌道擁有者在情境 $y$ 下總成本， $C^y = \sum_j N_j^y C_j^O + \sum_k N_k^y C_k^A + \sum_i N_i^y Q_i^y$
$V^y$	軌道擁有者在情境 $y$ 下總利潤， $V^y = R^y - C^y$



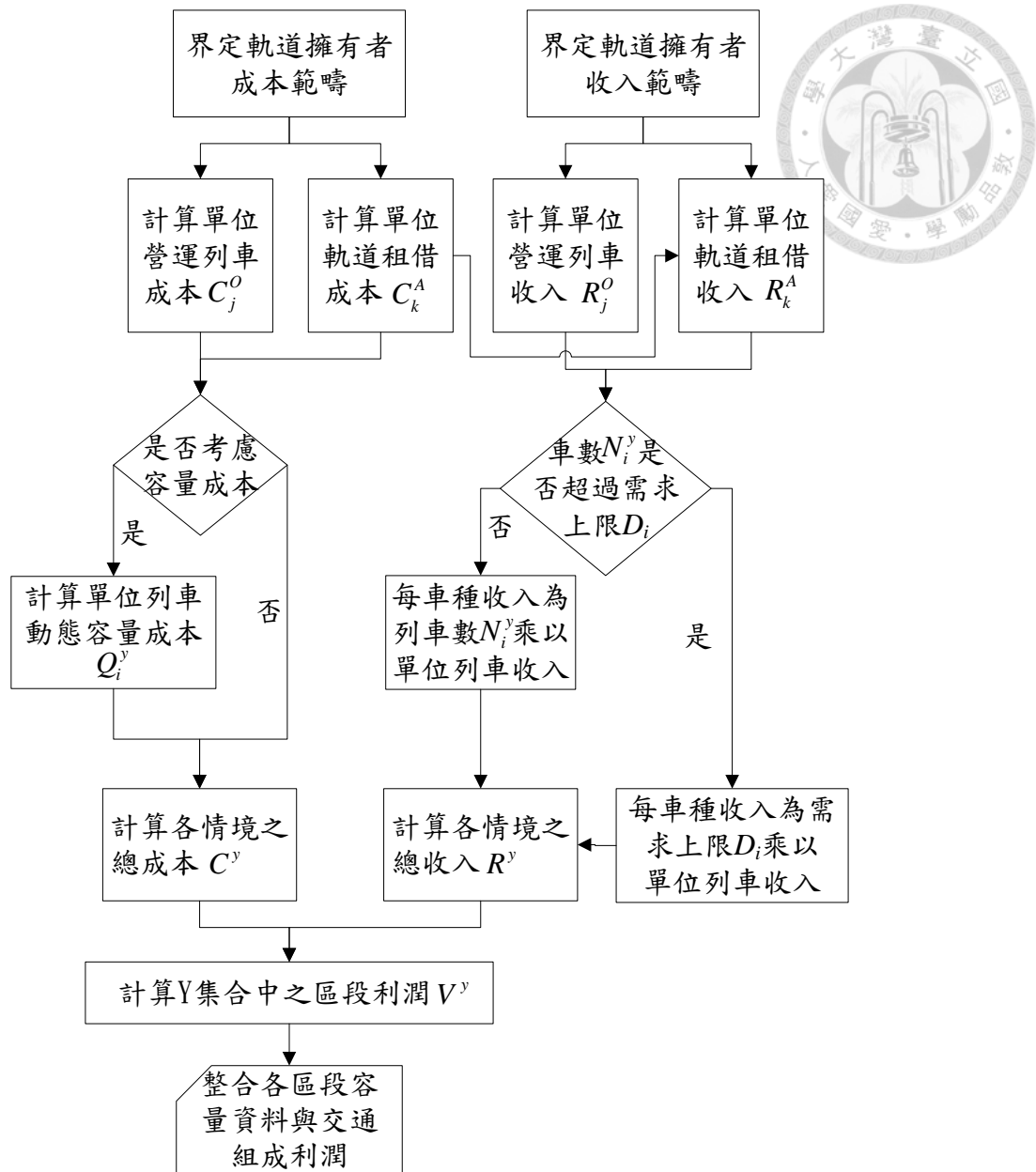



圖 3-4 列車價值計算流程

列車價值計算流程完成後，將產出各種交通組成方案之軌道擁有者總利潤。表 3-5 為一範例表格，當中以區間車作為軌道擁有者自有營運列車，車種編號以  $j$  表示；自強號與莒光號為外部營運業者營運之列車，車種編號以  $k$  表示，數值以臺鐵路網永樂至東澳區段為例。同表 3-4 之定義， $y=1$  代表交通組成  $(0,1,1)$  之車流， $y=2$  則是交通組成  $(0,1,2)$  之車流。

表 3-5 各情境利潤容量資料庫範例



方案	區間車 ( $i=1, j=1$ )		自強號 ( $i=2, k=1$ )		莒光號 ( $i=3, k=2$ )		總利潤
	單位	單位	單位	單位	單位	單位	
	成本	收入	成本	收入	成本	收入	
y=1	161	171	166.3	808.6	166.3	393.7	869.7
y=2	161	171	166.3	808.6	166.3	393.7	1097.1
...			(元/列車公里)				(元/公里)

### 3.4.1 收入要素

依據 2.2 節之回顧，軌道擁有者之收入來源有二，其一為軌道擁有者自有列車之營運收入，其二為軌道租借之鐵路通行費收入。前者營運收入之估算多基於市場需求預測與列車服務計畫，進而將預期的列車營運收入作為收入來源。如為營運客運列車，常見的收入來源為旅客購票產生之票箱收入，可由預測未來旅運量乘以列車票價獲得；如為貨運服務方面，收入來源受到市場貨物價格影響。不論客運或鐵路服務，軌道擁有者之自有列車營運收入都需要預測市場需求量並考量商品價值才能反映整體營收。

軌道擁有者在營運列車之外，亦可能開放部分路權，供外來營運業者使用軌道並向其收取鐵路通行費。現今各國鐵路之通行費定價多採取路權談判之方式，負責分配容量之公司或政府單位針對特定個案向各營運業者協調路網使用權與租借費用。為了以客觀標準進行鐵路通行費探討，本研究整合了常見之運輸業定價方法——「成本加乘定價法」作為通行費計算方法之基礎。如 2.2.2 節之文獻回顧，成本加乘定價法係生產者之成本乘以指定利潤率作為最終商品定價。然而，單純以外來營運業者產生之成本訂定鐵路通行費價格，可能造成收費過高、營運

業者放棄租用路權之情形。為了反映外來營運業者之軌道租借意願，本研究以「外來列車生成成本」作為鐵路通行費之下限值，而上限值則是營運業者之願付價格。由於營運業者普遍性以最大利潤為目的，其願付價格應不超過租借路權後、營運列車之預期收入。統整以上結論，可將鐵路通行費收入模式整理如下：

$$R_k^A = \begin{cases} C_k^A + \gamma(WTP_k - C_k^A), & WTP_k \geq C_k^A \\ WTP_k, & WTP_k < C_k^A \end{cases} \quad (3-3)$$

其中：

$R_k^A$  : 鐵路通行費定價，也就是軌道擁有者租借路權予  $k$  列車之收入

$C_k^A$  : 列車  $k$  租用軌道對軌道擁有者產生之成本

$\gamma$  : 軌道收費之利潤率

$WTP_k$  : 營運業者對於  $k$  列車通行費之願付價格

另：

$$WTP_k = R_k^O \quad (3-4)$$

其中：

$R_k^O$  : 車種  $k$  營運單位列車之預期收入

在考慮外部營運業者之願付價格後，鐵路通行費收入模式為一段分段函數。本研究預期當營運業者租用軌道對軌道擁有者造成之直接成本超出營運業者之預期收入，營運業者將會放棄租借路權，因此鐵路通行費收入上限值以外來列車  $k$  之願付價格為界。

### 3.4.2 非容量成本要素

對於成本要素之計算，考量到部分成本主要與車種特性相關，與交通組成無關，本研究將該種成本稱之非容量成本並在本節討論之；至於會隨交通組成而變動之動態成本，相關敘述請見 3.4.3 節。本研究在計算列車價值時主要考慮以下五種成本：

- ◆ 軌道維護成本  $C^M$
- ◆ 行政業務成本  $C^G$
- ◆ 營運人員成本  $C^P$
- ◆ 車輛成本  $C^R$
- ◆ 燃料成本  $C^F$

前二項「軌道維護成本」與「行政業務」分別代表列車營運對鋼軌造成之磨耗成本，以及軌道維護相關人員與行政業務成本，因此，不論營運列車之所有權為軌道擁有者或外來營運業者，上述兩項成本皆須納入該車種之成本考量。而「營運人員成本」代表乘務與運務人事費用，「車輛成本」為車輛租借、購入及維修成本，「燃料成本」為列車營運之耗能開支，以上成本皆與列車營運服務直接相關，因此後三項成本僅在軌道擁有者提供營運服務時採計之，外來營運業者之營運成本由外來應運業者自行負擔，不對軌道擁有者之利潤造成影響。軌道擁有者自有營運列車  $j$  之非容量成本呈現於公式 (3-5)，外部營運業者營運列車  $k$  之非容量成本呈現於公式 (3-6)。

$$C_j^O = C_j^M + C_j^G + C_j^P + C_j^R + C_j^F \quad (3-5)$$

$$C_k^A = C_k^M + C_k^G \quad (3-6)$$

### 3.4.3 動態容量成本要素

動態成本反映不同的車流總量與車種異質性下，列車間交互作用導致之成本變化。本研究為反映利潤容量與軌道利用之動態關係，將容量成本以動態成本的概念考量不同交通組成之容量特性。本研究將綜合 2.2.3 節之延滯成本文獻回顧成果，並新加入稀有性容量概念，引入標準列車當量模式計算機會成本。因此 3.4 節介紹之容量成本  $Q_i^y$  可由公式 3-7 與公式 3-8 兩種方式推得，兩種成本之計算方法如下所述：

#### 延滯成本

如 2.2.3 節之延滯成本文獻回顧，英國鐵路是各國鐵路案例中少數對壅塞成本收費有詳盡研究之國家。在多數鐵道路網缺少「流量-壅塞相關連鎖延滯」模式的情形下，本研究將 CRRD 增量轉變為使用者自訂之延滯增量。案例分析分別針對北美鐵路進行容量重新分配問題與路網加車問題推算容量成本，在容量重新分配案例中，採用 CN 參數模式求得各車種組合下之單位列車延滯量。以 4.1 節為例，該案例路段以貨運為主，且貨運對列車準點率之寬容性較高，故以每 1 小時每列車 100 英里作為延滯基準量  $d^B$ 。當車流量對應之路網延滯已超過該延滯基準，各車種需負擔之延滯成本即為總延滯扣除延滯基準後，乘上總列車延滯成本與該車種比例。延滯成本的計算方式可由公式 (3-7) 表現之。

$$C_{i,y}^D = C_y^D (d^y - d^B) p_i \quad (3-7)$$

其中：

$C_{i,y}^D$  : 車種  $i$  在交通組成  $y$  之延滯成本 (元/列車里程)

$C_y^D$  : 交通組成  $y$  之平均延滯成本 (元/列車小時)



$d^y$  : 混合車流中總延滯 (小時/列車里程)

$d^B$  : 總延滯基準量 (小時/列車里程)

$p_i$  : 混合車流中的車種  $i$  所占之延車里程比例 (%)



### 機會成本

在資源有限的前提下，選擇某種資源利用方式勢必得放棄其他資源運用機會，被放棄之收益即為機會成本。在鐵路市場中，由於軌道設施成本龐大，資源的有限性更加顯著。Nash 等人 (2004) 探討之稀有性容量 (Scarce Capacity) 概念即是反映軌道容量分配所產生之機會成本。以北美路網為例，當貨運公司做為軌道擁有者出借路權予國營客運公司，機會成本反映在借出容量若用於自有貨運列車可產生之利潤。機會成本計算的關鍵在於如何將一單位外來列車轉化為自有列車之使用容量，藉此衡量出借軌道之機會成本。例如一班次客車可能等於 0.5 列貨車，該客車使用路權之機會成本即是受到排擠之 0.5 列貨車價值。不同種列車之單換轉換問題被過去文獻認為不易處理，尤其是在北美路網客貨運共用路廊的情境下，無固定時刻表可供分析 (Nash et al, 2004; Johnson, 2008)。

根據 2.1.2 節之文獻回顧，標準列車當量可應用在機會成本之計算。該標準列車當量模式可將任一指定車種轉換為相同的標準列車單位，藉此推求某一車種在容量有限之情況下取代了多少標準列車之用路機會。然而，即使標準列車當量能夠將特定車種組合與服務水準下的非標準列車轉換為同質流量，這並不必然反映了標準列車在該路段上之用路需求。機會成本只在標準列車也存在用路需求、但被非標準列車排擠路權之前提下存在。當容量利用率較高時，排擠路權之情況更加可能發生 (Johnson, 2008)。因此，容量利用程度也應被納入機會成本之考量。求得非標準列車所取代之標準列車數量後，再乘以標準列車價值以及該路段容量利用率，反映出營運一單位非標準列車製造之機會成本。因此，機會成本模

式可整理為公式 (3-8)。

$$C_{k,y}^S = V_b^y E_k^y U^y \quad (3-8)$$

其中：

$C_{k,y}^S$ ：外部營運業者之車種  $k$  在交通組成  $y$  當中之機會成本 (元/延車里程)

$E_k^y$ ：外部營運業者所有之車種  $k$  在交通組成  $y$  當中之標準列車當量值

$V_b^y$ ：標準列車  $b$  之單位價值 (元/BTU)

$U^y$ ：交通組成  $y$  在該區段之容量利用率 (%)

本章節除了呈現傳統的延滯成本計算過程，也提出了新的容量成本公式——以標準列車當量計算列車被排擠路權時之機會成本，可使用於多車種並存之共用軌道路廊。這些成本可被視為容量成本的其中一種形式，然而決策者與實務單位應從延滯成本與機會成本當中擇一方法使用之。因為當運用容量成本衡量鐵路通行費時，應避免成本重複計算的情形發生，而延滯成本與容量成本基本上不存在於同一情境之中。前者為列車營運時間拉長造成的成本上升，後者為營運機會被剝奪導致的利潤損失，兩種成本產生之情境假設不相容，因此應避免重複計算。

#### 3.4.4 車路組織架構與列車利潤

軌道擁有者在不同車路組織架構中具有不同之業務職掌，軌道擁有者之利潤結構也因此不盡相同。在完全車路分離之車路組織中，軌道擁有者負責軌道設施之維護，並將軌道容量分配予各營運業者；在車路合一之車路組織中，軌道擁有者擁有列車並提供列車營運業務。在前二種車路組織情境之外，亦有軌道擁有者自行營運列車但同時將路網剩餘容量租賃予外來營運業者。路網上不同所有權之列車，對於軌道擁有者產生之價值也不盡相同。圖 3-5 將現行各國鐵道路網型態

區分為三大類型，分別探討各類型下軌道擁有者之利潤容量要素。各車路組織類型之收入與成本要素整理於表 3-6 當中。

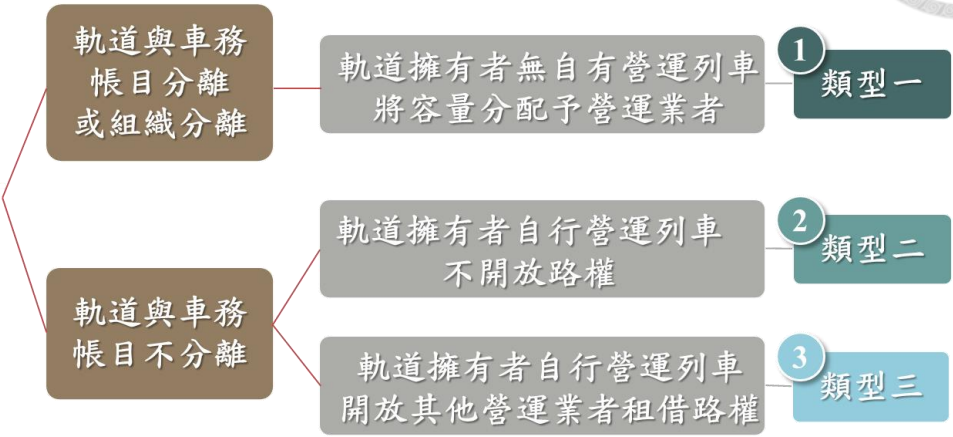


圖 3-5 各車路組織類型之利潤容量案例

表 3-6 各車路組織類型之收入與成本要素

	類型一	類型二	類型三
軌道擁有者收入	鐵路通行費收入 $R_k^A$	列車營運收入 $R_j^O$	鐵路通行費收入 $R_k^A$ 列車營運收入 $R_j^O$
軌道擁有者支出	軌道出借成本 $C_k^A$ 動態容量成本 $Q_k^y$	列車營運成本 $C_j^O$ 動態容量成本 $Q_j^y$	軌道出借成本 $C_k^A$ 列車營運成本 $C_j^O$ 動態容量成本 $Q_i^y$

## 車路組織類型一：車路帳目分離或組織分離

首先介紹車路組織類型一，也就是軌道維護與列車營運兩項業務帳目分離或組織分離。此車路組織類型常見於歐洲鐵路，2.2.1 節回顧之「車路分離」、「控股公司」以及「完成帳務分離之車路合一」路網皆可屬於此類。歐盟執委會於 1991 年通過 91/440 號指令，鼓勵各國開放鐵路路權，增加鐵路市場競爭力。在此政策主導下，西歐各國鐵路逐漸走向組織改制，完成軌道建設與列車營運之帳務拆分，甚至進一步達成軌道與車務組織分離。在該車路組織類型下，不論軌道維護與列車營運業務是完全分離為不同組織、或由控股公司之不同單位分別負責兩項業務，列車營運之收益皆不再流向軌道擁有者，軌道擁有者也就無所謂「自有營運列車」。軌道擁有者之收入來源仰賴各營運業者繳交之鐵路通行費，軌道擁有者之成本則是以維持軌道設施相關支出為主。英國 Network Rail 即屬此類軌道擁有者。綜合 3.2 節之利潤容量模式流程與 3.4 節之列車價值介紹，車路組織類型一之收入與成本函數可表示如下：

$$R^y = \sum_k N_k^y R_k^A = \sum_k N_k^y [C_k^A + \gamma(R_k^A - C_k^A)] \quad (3-9)$$

$$C^y = \sum_k N_k^y (C_k^A + Q_k^y) \quad (3-10)$$

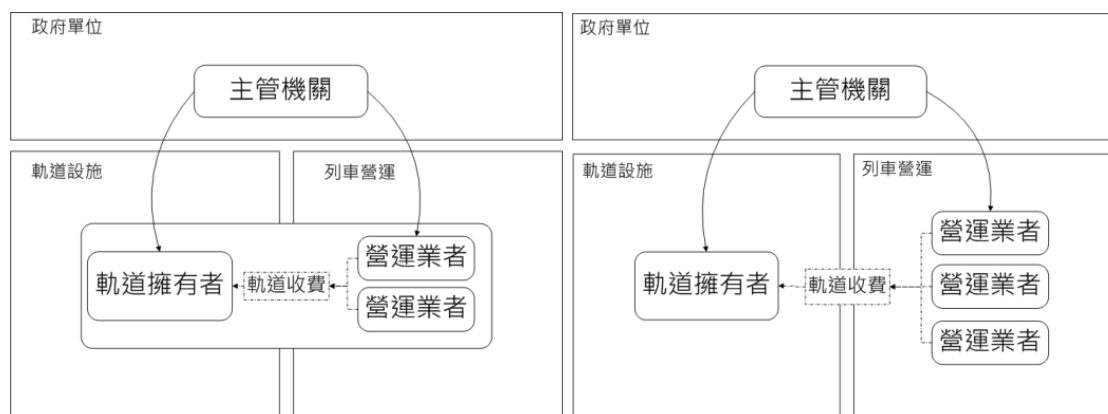


圖 3-6 類型一：軌道與車務帳目分離示意圖

### 車路組織類型二：車路合一且軌道擁有者不開放路權

類型二為臺灣客運傳統鐵路現行的車路合一路網，軌道擁有者身兼供給軌道設施與營運列車之業務。其利潤容量要素包含列車服務之營收，例如旅客票箱收入與貨運運送收入；支出部分則是主要考量軌道維護費用與營運服務支出，包含土建與機電維護成本、行車成本、人事成本等等。除了臺鐵路網外，丹麥鐵路的軌道擁有者 Privatbaner 也屬於該種路網形態。綜合 3.2 節之利潤容量模式流程與 3.4 節之列車價值介紹，車路組織類型二之收入與成本函數可表示如下：

$$R^y = \sum_j N_j^y R_j^O \quad (3-11)$$

$$C^y = \sum_j N_j^y (C_j^O + Q_j^y) \quad (3-12)$$

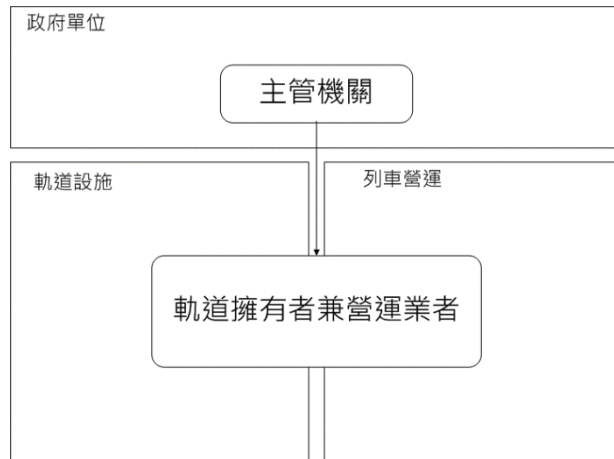


圖 3-7 類型二：軌道與車務帳目不分離示意圖

### 車路組織類型三：車路合一且軌道擁有者開放部分路權

車路合一路網中，軌道擁有者除了營運自有車輛，同時可能有其他營運業者需要租借路網，正如同車路組織類型三。例如北美路網的 Amtrak 國營客運鐵路本身擁有路權之路段有限，須另行向私營貨運公司租借鐵路使用權。因此，軌道擁有者除了自有車輛之營運收入與成本，另需考量其他營運業者繳交之鐵路通行

費，以及外來營運業者使用軌道所造成之增量成本。綜合 3.2 節之利潤容量模式流程與 3.4 節之列車價值介紹，車路組織類型三之收入與成本函數可表示如下：

$$R^y = \sum_j N_j^y R_j^O + \sum_k N_k^y [C_k^A + \gamma(R_k^A - C_k^A)] \quad (3-13)$$

$$C^y = \sum_j N_j^y (C_j^O + Q_j^y) + \sum_k N_k^y (C_k^A + Q_k^y) + \sum_i N_i^y Q_i^y \quad (3-14)$$

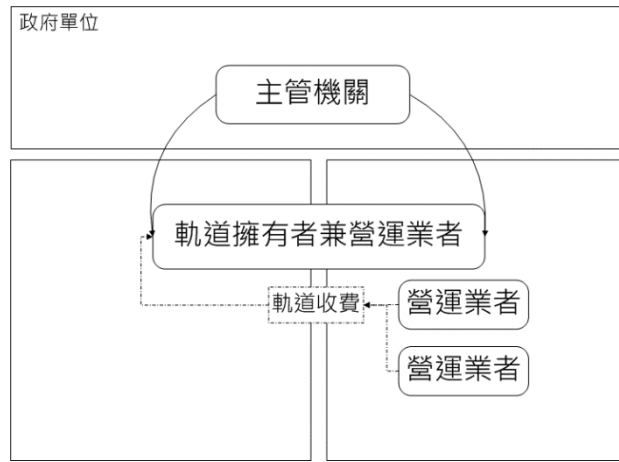


圖 3-8 類型三：軌道與車務帳目不分離且出借軌道示意圖

### 3.5 跨區段利潤容量最佳化模式

前章節所述之利潤容量模式流程僅能應用在單一區段。不同區段在各自的軌道參數與列車需求下，可能產生不同的最佳交通組成，造成車流在跨區段時流量不守恒，除非路段當中有機廠或側線提供足夠的股道儲存列車，實務很可能無法滿足原先單一區段之利潤容量結果。因此，若考量到跨區段之利潤容量問題，就必須將車流連續性納入限制當中，本章節將對此問題建構一最佳化模式尋求跨區段之最大利潤容量。本研究以下彙整並條列出後續用以發展最佳化模式之索引、集合以及參數之數學符號與定義，以方便閱讀與參考，茲如後所列：



◆ 索引

$s$  : 區段，兩車站之站間股道； $s \in S$

$y$  : 交通組成； $y \in Y$

$i$  : 車種編號； $i \in I$

$b$  : 標準列車

◆ 決策變數

$h_s^y$  : 二元整數，當區段  $s$  選擇交通組成  $y$  時為 1，否則為 0。

◆ 集合

$S$  : 包含所有區段  $s$  之集合

$S_e$  : 包含所有區段  $s$ ，但排除末端區段之集合

$Y$  : 包含所有交通組成  $y$  之集合

$I$  : 包含所有車種  $i$  之集合

◆ 參數部分

$V_s^y$  : 區段  $s$  在交通組成  $y$  下之利潤價值

$L_s$  : 區段  $s$  長度

$N_{is}^y$  : 車種  $i$  在區段  $s$ 、交通組成  $y$  之列車數

$E_{is}^y$  : 車種  $i$  在區段  $s$ 、交通組成  $y$  之標準列車當量

$H_s^b$  : 區段  $s$  之標準列車容量上限

$G_{s,s+1}$  : 區段  $s$  與區段  $s+1$  之間能容許的車流差值

透過混合整數規劃法，建立處理跨區段利潤容量問題之模式，其詳細數學模式如下所示：

目標函數：

$$\text{Max} \sum_{s \in S} \sum_{y \in Y} V_s^y h_s^y L_s \quad (3-15)$$

限制式：

$$\sum_{y \in Y} \sum_{i \in I} N_{is}^y h_s^y E_{is}^y \leq H_s^b \quad \forall s \in S \quad (3-16)$$

$$\sum_{y \in Y} h_s^y = 1 \quad \forall s \in S \quad (3-17)$$

$$h_s^y \in \{0,1\} \quad \forall s \in S, y \in Y \quad (3-18)$$

目標式 (3-15) 為本研究所期望之最大化軌道擁有者利潤函數，也就是各區段之交通組成方案二元決策變數  $h_s^y$ 、各區段方案單位長度產值  $V_s^y$  以及各區段長度之乘積總和。限制式 (3-16) 為區段容量上限，又其中  $h_s^y$  為二元變數，要求區段  $s$  在選擇  $y$  做為最大利潤之交通組成時，總車數經標準列車當量轉換後不得超過標準列車容量  $H_s^b$ 。限制式 (3-17) 令各區段僅能選擇一種交通組成情境。最後，限制式 (3-18) 為交通組成方案決策變數之定義域。以上介紹之利潤容量最佳化模式可求出各區段之最大利潤容量，然而，如同本節前言所述，各區段之最佳解在實務上不一定能運用於跨區段範疇，因此本研究首先增加車流守恆限制，令車流在通過各區段時各車種列車數不變：

(1) 跨區段車流守恆限制：

$$\sum_{y \in Y} N_{is}^y h_s^y - \sum_{y \in Y} N_{is+1}^y h_{s+1}^y = 0 \quad \forall i \in I, s \in S_e \quad (3-19)$$

限制式 (3-19) 將容量資料庫中的列車數量  $N_{is}^y$  乘以方案二元決策變數  $h_s^y$ ，也就是對應出車種  $i$  通過區段  $s$  之列車數，並限制任一車種  $i$  通過終端區段以外之所



有區段  $S_e$  時，區段  $s$  與下游區段  $s+1$  之車流數維持不變。然而，實務上亦有可能產生跨區段車流不守恒之情形。例如區段上通過駐車廠、機廠，或其中有車站具有額外股道可供車輛停等與發車。在以上情境下，車流在上下區段之列車數目可能不守恒。因此，本研究另外考慮以「車流變動範圍限制」來反映跨區段車流可能不完全守恒之情況：

(2) 跨區段車流變動範圍限制：

$$\sum_{y \in Y} N_{i,s}^y h_s^y - \sum_{y \in Y} N_{i,s+1}^y h_{s+1}^y \leq F_{s,s+1} \quad \forall i \in I, s \in S_e \quad (3-20)$$

$$\sum_{y \in Y} N_{i,s+1}^y h_{s+1}^y - \sum_{y \in Y} N_{i,s}^y h_s^y \leq F_{s,s+1} \quad \forall i \in I, s \in S_e \quad (3-21)$$

$$\sum_{i \in I} (\sum_{y \in Y} N_{is}^y h_s^y - \sum_{y \in Y} N_{is+1}^y h_{s+1}^y) \leq G_{s,s+1} \quad \forall s \in S_e \quad (3-22)$$

$$\sum_{i \in I} (\sum_{y \in Y} N_{is+1}^y h_{s+1}^y - \sum_{y \in Y} N_{is}^y h_s^y) \leq G_{s,s+1} \quad \forall s \in S_e \quad (3-23)$$

公式 (3-20) 與公式 (3-21) 針對所有的非末端區段  $S_e$ ，規定區段上下游之列車  $i$  數量差值不得超過區段  $s$  與區段  $s+1$  之間能容許的車流差值  $F_{s,s+1}$ 。該差值  $F_{s,s+1}$  可由區段中之軌道特性進行限制，例如考慮到中間車站之股道數目以及可用列車數量限制，一小時內上下游之列車總數不得超過 4 台列車等等。公式 (3-22) 與公式 (3-23) 則是進一步規範總車流數在跨區段時，上下游差值不得超過區段  $s$  與區段  $s+1$  之間的總容許量  $G_{s,s+1}$ 。

### 3.6 小結

第三章研究方法建立了利潤容量模式應用於鐵路系統之基礎概念，提出列車需求參數之輸入以符合軌道擁有者與外部營運業者之列車服務期望。利潤容量之求解流程包含容量資料庫之產生，以及列車價值之計算。其中列車價值包含各項收入與成本之估算，也與鐵路通行費之定價息息相關。最後，為了使利潤容量模式可應用於跨區段軌道系統，本研究提出了一跨區段利潤容量最佳化模式，根據軌道設施特性設定各區段之車流數限制，可要求區段上下游列車數完全守恆或者部分守恆。

## 第四章、案例分析



為了將利潤容量模式應用於 3.4.4 節介紹之三種路網類型，本研究將選取可反映此三類型路網之實務案例進行分析。對於車務與軌道拆分之路網類型一，由於歐洲鐵路之數據取得較不易，因此本研究採用臺鐵路網作為案例背景，假設臺鐵在當前鐵路發展策略走向市場開放之趨勢下，在未來施行軌道與車務帳務拆分或組織分離，4.1 節案例一以此假設情境進行路網類型一之案例分析。對於圖 3-5 呈現之路網類型二，軌道擁有者兼顧軌道維護與列車營運服務，並且不對外開放軌道路權，臺鐵客運現況即屬於該種車路類型，因此 4.2 節以臺鐵客運現況進行利潤容量模式之建構與應用。

至於圖 3-5 呈現之車路組織類型三，即「車路合一且軌道擁有者開放部分路權」，本研究除了假設臺鐵路網未來開放路權予外來客運營運業者，亦加入北美路網案例進行討論。臺鐵路網與北美路網之最顯著差異在於前者以客運服務為主，服務水準要求高，列車延滯之情形相較於貨運為主之路網輕微許多，因此臺鐵案例缺少容量成本之計算基礎，加入北美路網案例可以檢驗本研究建構之整合型利潤容量模式在不同路網之應用成果。因此，針對車路組織類型三，4.3 節與 4.4 節分別以臺鐵路網與北美路網進行案例分析。4.3 節之案例三假設臺鐵路網中僅區間車為軌道擁有者之自營運列車，其餘客運列車由外來營運業者經營。4.4 節案例四假設北美貨運路網中有二貨運車種，聯運貨車為軌道擁有者自有列車，煤礦車為外來業者之列車，以利潤容量模式進行容量分配。然而，實務上路網常存在既有營運列車，軌道擁有者在分配容量時通常傾向不更動既有列車數量，因此 4.5 節建立了案例五，假定北美客貨運共用路廊當中已有特定煤礦車數量占用容量，要在不更動先占列車數量的前提下進行加入外來客車之問題探討。本研究之案例分析架構如圖 4-1 所示。

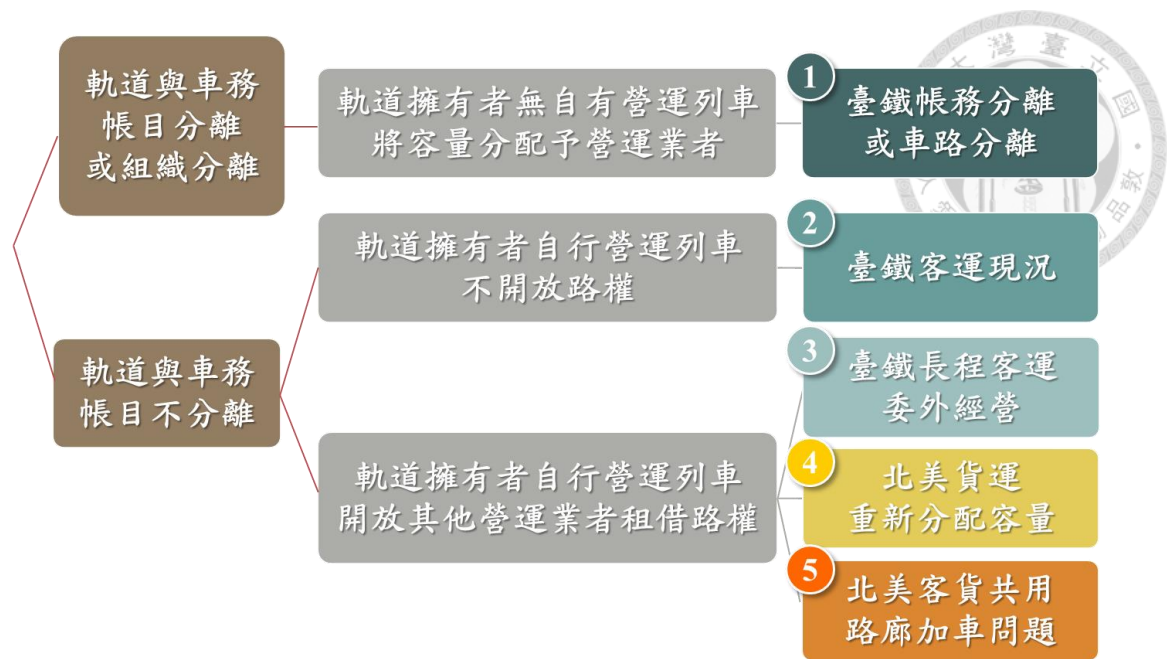


圖 4-1 案例分析架構

#### 4.1 案例一、臺鐵路網車路分離

以下 4.1 至 4.3 節將依序探討「臺鐵路網車路分離」、「臺鐵路網車路合一現況」以及「臺鐵路網車路合一且開放部分路權」之三種情境。案例背景皆選用臺鐵北迴線之永樂站至新城站東正線下行路段。路段全長 57.7 km，行經 9 個車站、8 個區間，全程雙線單向運轉。該路段目前由臺鐵局擁有路權並提供軌道基礎設施相關服務，是為軌道擁有者。營運車種包含通勤電車（區間車）、城際快車（自強號）與城際慢車（莒光號），各車種列車參數整理於表 4-1 當中。本研究選取區間車做為標準列車，以臺鐵容量手冊制定之運轉時隔規範進行容量分析，各區段之運轉時隔整理於表 4-2 當中。

由於臺鐵現行路網以客運為服務主體，在容量手冊規範之運轉時隔下，假設列車皆只遇到綠燈號誌（全速行駛）的情況下通過路段，因此延滯的產生機會較低，故以下臺鐵案例中省略容量成本之計算。



圖 4-2 臺鐵案例路段

資料來源：台灣商業網 taiwanbeez.com

表 4-1 臺鐵案例車種特性

	區間車 (標準列車)	自強號	莒光號
車長(m)	160	272	177
最大車速(km/h)	100	130	100
加速度(km/h/s)	1.88	1.25	0.98
減速度 (km/h/s)	2.5	2	1.5

表 4-2 臺鐵案例區段特性

	各車組運轉時隔(秒)									區段長 (公里)
	電電	電自	電莒	自電	自自	自莒	莒電	莒莒	莒自	
永樂→東澳	239	244.6	248.9	274.3	180.7	232	264.6	222.3	210.7	5.8
東澳→南澳	217	240.5	225.1	224.5	183.3	254.5	244.8	252.9	268.2	8
南澳→和平	224.2	379	250.9	398.5	173.5	353.5	275.6	230.6	325.5	20.8
和平→和仁	213.1	232.3	224.5	230.7	171.5	245.7	220.6	232	239.8	7.7
和仁→崇德	261.4	286.1	285.3	283.1	214.8	253.1	281.7	254.1	254.9	10.1
崇德→新城	264	250.7	282.5	252.1	193	267.1	289.8	304.8	262.7	5.3

回顧表 3-6 之收入與成本要素整理，車路分離之軌道擁有者收入來源為外來營運業者交付之鐵路通行費，軌道擁有者成本包含外來營運業者製造之非容量成本以及動態容量成本。由於台鐵缺乏延滯成本之相關數值，且客運系統中延滯量不及北美貨運案例，因此以下成本計算僅就靜非容量成本部份進行探討。考量臺鐵現行組織架構龐大，統計數據範圍較廣，缺少細項成本資料，故外來營運業者製造之非容量成本採以下運輸成本參數估計：

表 4-3 車路分離成本要素

成本項目	金額	單位
折舊成本	118.9	元/列車公里
工務人員	2097	人
企劃處人員	62	人
人事成本	47.4	元/列車公里
總成本	166.3	元/列車公里

資料來源：黃台生等人 (2006)、臺鐵局統計資料與本研究整理

考慮到臺鐵客車重量相近，假設各車種對軌道造成之成本相近，故以路網折舊作為軌道設施維護成本再加上工務與企劃人員之薪資，除以總列車公里數。其中折舊費用扣除非客貨運輸成本約為每年 4551 百萬元，人事支出採每位員工每月七萬元，最後得到每列車公里所造成之成本約為 166.3 元。粗估成本支出後進一步以成本定價法推算合理之鐵路通行費範圍。直接成本 166.4 為鐵路通行費之價格下限，上限則是各營運業者對該區段路權之願付價格，可以預期票箱收入假設上限。區間車、自強號與莒光號之每列車公里收入分別為 171 元、808.6 元以及 393.7 元。本研究假設鐵路通行費之利潤率為 0.5，根據公式 (3-3) 可得鐵路通行費收入，因此區間車、自強號與莒光號在該區段之單位利潤分別為 2.4、321.2 以及 113.7 元/列車公里。

表 4-4 車路分離之利潤架構 (元/列車公里)

	區間車	自強號	莒光號
鐵路通行費收入	168.6	487.4	280.0
軌道出借成本	166.3	166.3	166.3
單位列車利潤	2.4	321.2	113.7

資料來源：黃台生等人 (2006) 與本研究整理

獲得各車種單位列車利潤後，著手進行車種組合之窮舉並尋找最大利潤容量之軌道資源配置。各區段列車需求數、區段最佳列車組合以及跨區段最佳交通組成結果如表 4-5 所示。

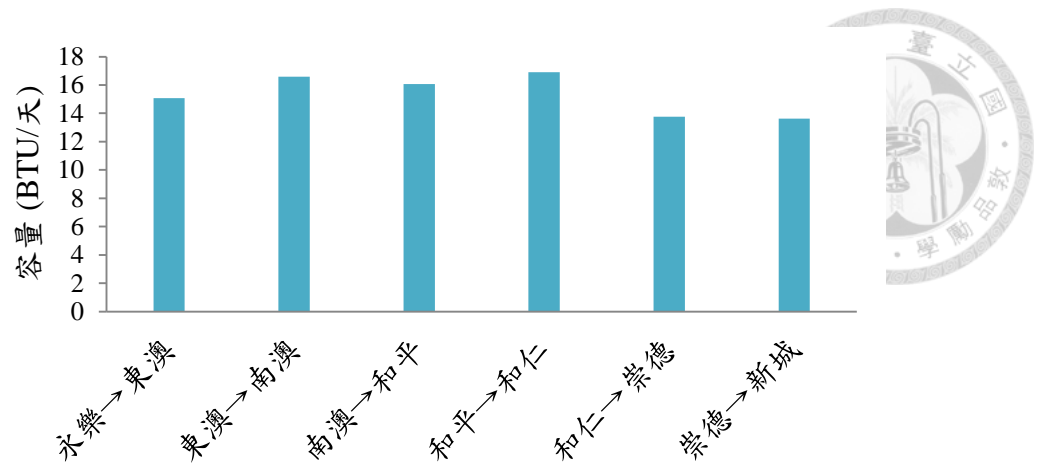
表 4-5 車路分離案例容量分配結果

區段	需求輸入			區段 長度	各區段最佳 交通組成			區段利潤	跨區段最佳 交通組成			跨區段 利潤
	區	自	莒		區	自	莒		區	自	莒	
永樂 → 東澳	4	6	4	5.8	4	6	4	2,391.4				2,386.6
東澳 → 南澳	4	6	4	8	4	6	4	2,391.4				2,386.6
南澳 → 和平	4	6	4	20.8	2	6	4	2,386.6	2	6	4	2,386.6
和平 → 和仁	3	4	6	7.7	3	4	6	1,974.1				1,411.8
和仁 → 崇德	3	4	6	10.1	3	4	6	1,974.1				1,411.8
崇德 → 新城	3	4	6	5.3	3	4	6	1,974.1				1,411.8
	車/小時			公里	車/小時			元/公里	車/小時			元/公里

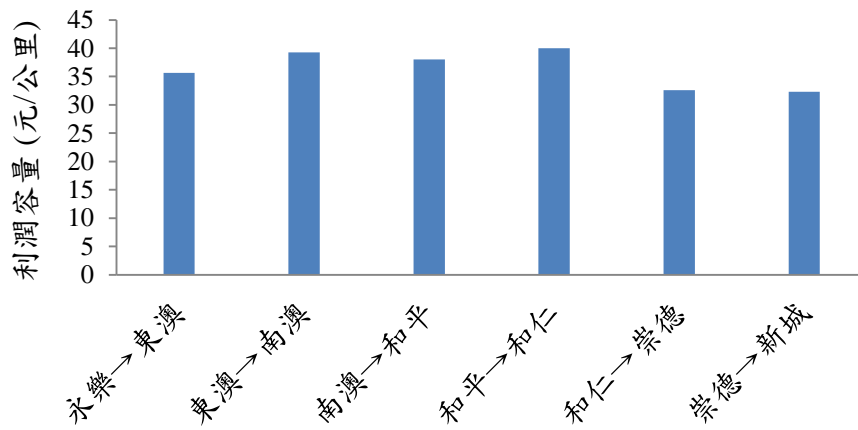
從各區段之最大利潤容量車種組合，可看出在自強號與莒光號的優勢單位利潤下，區間車之容量分配順位最後。模式會優先滿足自強號與莒光號之列車需求數，再將區段剩餘容量分配予區間車。由表 4-4 可知區間車與莒光號之單位列車利潤小於其單位成本，這表示當列車發車數超出該車種需求，該區段產生之虧損會較難在其他區段彌補回來，除非其他區段有更高之列車需求，並配合較長之區段長度創造更大利潤。因此，表 4-5 可觀察到跨區段交通組成中，區間車數量與莒光號數量嚴守各區段的需求最小值，但自強號數量卻可以超出和平至新城區段之自強號需求上限。

為了凸顯利潤容量使用前後之容量分析差異，圖 4-3 顯示了傳統最大車數容量漸變為整合型利潤容量之步驟變化。圖 (a) 代表將各車種標準化後，以標準列車單位 (BTU) 衡量各區段容量。圖 (b) 和 Sameni (2011) 之北美貨運研究概念相同，將單位列車利潤乘以吞吐量後即為利潤容量。圖 (c) 為本研究之整合型利潤容量模式，引入鐵路市場之列車需求資料，尋找各區段利潤容量在需求限制下的最佳軌道利用策略與最大利潤容量。長條圖代表單一區段之最大利潤容量，長折線則代表跨區段利潤容量模式之結果。由於跨區段選擇的容量分配與和平至新城區段之需求上限較不吻合，因此跨路段利潤容量在後半區段之利潤容量較低。

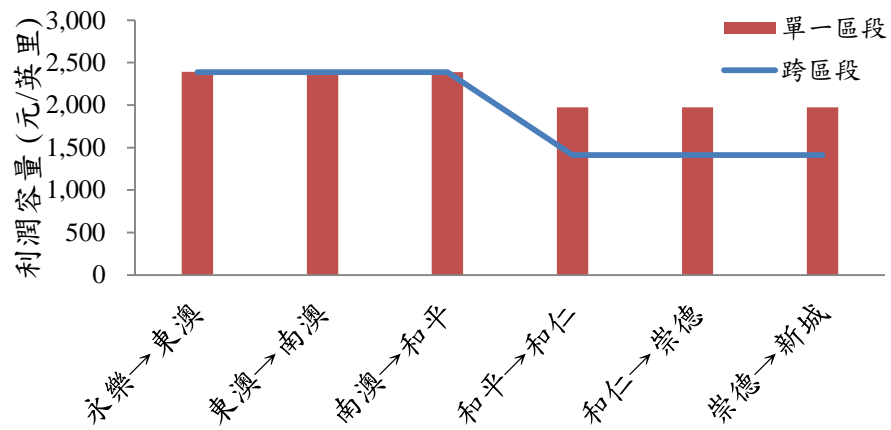




(a) 傳統容量分析方法



(b) 標準列車利潤容量



(c) 整合型利潤容量

圖 4-3 案例一整合型利潤容量與傳統容量分析方法之對照

## 4.2 案例二、臺鐵路網車路合一現況

根據表 3-6 之整理，軌道擁有者自行營運列車且不開放路權的情形下，利潤為自有營運列車之營運收入扣除成本。本案例中臺鐵局收入為客運票箱收入，計算依據各車種之全年收入除以該車種總行駛列車公里，再換算為每列車公里之票箱收入。在臺鐵營運成本方面，成本要素包含用人費用、動力費及水電、修理保養費以及材料與用品支出。

表 4-6 車路合一案例之成本結構（元/列車公里）

項目	成本	單位
用人費用	16,754	百萬元/年
動力費及水電	1,039	百萬元/年
修理保養費	664	百萬元/年
燃料及油脂	532	百萬元/年
材料及用品費	1,595	百萬元/年
總列車績效	38,280,000	列車公里/年
總營運成本	20,580	百萬元
單位營運成本	537.7	元/列車公里

資料來源：黃台生等人（2006）與本研究整理

根據前人研究數據，平均營運成本 537.7 元遠超出區間車與莒光號之預期票箱收入 171 元與 393.7 元。顯示在臺鐵局當前的財務結構下，客運服務並無法創造利潤，反而是營運越多列車將導致越高虧損。考量到鐵路交通之社會福利性質，政府應給予營運業者合理之運輸補貼。臺灣當前並無明確之鐵路補助政策，而是採專案補助方式依個案需求調整金額。因此，本案例分析參酌「公路公共運輸發展計畫補助經費核撥處理原則」當中之民營汽車客運之車價補助比例，給予莒光號四成之成本補助。由於降至六成之營運成本仍不足以使收入最低之區間車損益

兩平，再將區間車之成本補助提高至七成。區間車、自強號與莒光號在補貼後的單位營運成本分別為 161.3、537.7、322.6 元/列車公里。

表 4-7 車路合一案例之利潤架構 (元/列車公里)

	區間車	自強號	莒光號
列車營運收入	171	808.6	393.7
補貼後營運成本	161.3	537.7	322.6
單位列車利潤	9.7	270.9	71.1

資料來源：黃台生等人, 2006 與本研究整理

求得車路合一案例之利潤架構後，會發現三車種之單位利潤大小仍維持「自強>莒光>區間車」之順序，因此各區段最佳交通組成與車路分離案例（表 4-5）相同，但跨區段最佳交通組成由「2 台區間車、6 台自強號、與 4 台莒光號」轉為「3 台區間車、4 台自強號、與 4 台莒光號」。觀察表 4-7，可發現本案例之三車種單位利潤皆小於單位成本。因此當一區段之列車供給數超出需求，增加之成本較難在需求較高之其他區段回收，造成跨區段最佳交通組成之各車種數均小於各區段之最小列車需求。

表 4-8 車路合一案例容量分配結果

區段	需求輸入			區段 長度	各區段最佳 交通組成			區段利潤	跨區段最佳 交通組成			跨區段 利潤
	區	自	莒		區	自	莒		區	自	莒	
永樂 → 東澳	4	6	4	5.8	4	6	4	1,948.3				1,396.8
東澳 → 南澳	4	6	4	8	4	6	4	1,948.3				1,396.8
南澳 → 和平	4	6	4	20.8	2	6	4	1,928.9	3	4	4	1,396.8
和平 → 和仁	3	4	6	7.7	3	4	6	1,539.0				1,396.8
和仁 → 崇德	3	4	6	10.1	3	4	6	1,539.0				1,396.8
崇德 → 新城	3	4	6	5.3	3	4	6	1,539.0				1,396.8
	車/小時			公里	車/小時			元/公里	車/小時			元/公里

圖 4-4 顯示了案例二之整合型利潤容量成果。由於路段資料之標準列車與區段參數都與案例一相同，因此各區段之標準列車容量與不考慮需求之利潤容量皆與圖 4-3 (a) (b) 一致，在此不再贅述。圖 4-4 之直方圖為各區段最佳解，跨區段解則以長折線呈現。和案例一不同的是，由於本案利之跨區段容量分配皆未超過各路段之列車需求上限，故跨區段利潤容量在各區段之利潤值皆相同，呈一水平線。

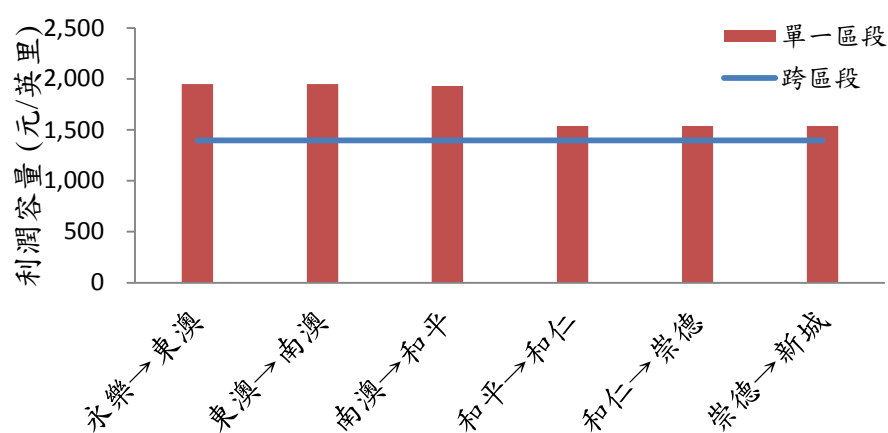


圖 4-4 案例二之整合型利潤容量成果

### 4.3 案例三、臺鐵路網車路合一且開放部分路權

為增加鐵路市場競爭力，適度開放路權是臺鐵局未來發展的可行方向之一。也就是臺鐵局可保留部分車種服務做為自有列車營運，同時開放其他車種予外來營運業者共用路權。回顧 4.1 與 4.2 案例，可知自強號不論是作為軌道擁有者自營運列車或是外來營運業者車輛租借路權，自強號對軌道擁有者皆可產生利潤，並且無須憑藉額外補貼。而莒光號在車路分離情況下，因為軌道擁有者不需考量該車種之營運成本，省略了臺鐵局目前負擔最重之人事成本，因此在車路分離情境下不需政府補貼即有利潤產生。反觀在車路合一之現況下，莒光號需要政府補貼四成的該車種對軌道擁有者之增量成本，才能使列車利潤為正。區間車則是前

二案例中皆無法達成損益兩平，需要政府額外挹注經費。綜合前述案例之列車利潤計算結果，當區間車為軌道擁有者自有營運列車、自強號與莒光號為外來營運業者租借軌道之列車，軌道擁有者對於此三車種將有更高的單位列車利潤，其利潤架構表現於表 4-9 當中。

表 4-9 車路合一且開放部分路權案例之成本架構 (元/列車公里)

	區間車 (自有列車)	自強號 (外來列車)	自強號 (外來列車)
單位列車收入	171	487.4	280.0
單位列車成本	161.3	166.3	166.3
單位列車利潤	9.7	321.2	113.7

本案例設定臺鐵局維持區間車之營運服務，避免該車種因虧損過度而使民眾缺少該項旅運服務。至於在車路分離時能創造更大利潤之自強號、莒光號則交由外來營運業者經營。因此，案例三分別以 9.7、321.2、113.7 元/列車公里作為區間車、自強號與莒光號之單位列車利潤，容量分配結果於表 4-10 呈現。

表 4-10 車路合一且開放外來營運業者案例容量分配結果

區段	需求輸入			區段 長度	各區段最佳 交通組成			區段利潤	跨區段最佳 交通組成			跨區段 利潤
	區	自	莒		區	自	莒		區	自	莒	
永樂 → 東澳	4	5.8	4	5.8	4	6	4	2,420.6				2,401.3
東澳 → 南澳	4	8	4	8	4	6	4	2,420.6				2,401.3
南澳 → 和平	4	20.8	4	20.8	2	6	4	2,401.3	2	6	4	2,401.3
和平 → 和仁	3	7.7	6	7.7	3	4	6	1,996.0				1,426.4
和仁 → 崇德	3	10.1	6	10.1	3	4	6	1,996.0				1,426.4
崇德 → 新城	3	5.3	6	5.3	3	4	6	1,996.0				1,426.4
	車/小時			公里	車/小時			元/公里	車/小時			元/公里

本案例之三車種單位利潤大小仍維持「自強>莒光>區間車」之順序，導致各區段最佳交通組成與前述二案例相同，但跨區段最佳交通組成由車路合一案例之「3 台區間車、4 台自強號、與 4 台莒光號」轉變回「2 台區間車、6 台自強號、與 4 台莒光號」，和車路分離之案例一相同。探究其原因，可由表 4-9 觀察到自強號之單位利潤超過單位成本約 160 元，故進行跨區段分析時自強號供給數傾向滿足需求更高之區段。而區間車與莒光號之間產生了容量與價值上的權衡關係，最後利潤容量在犧牲區間車數量、優先供給莒光號需求的情形下達到了利潤最大化。圖 4-5 呈現案例三之整合型利潤容量成果，直方圖為各區段最佳解，跨區段解則以長折線呈現，最終成果與案例一極為相似，但案例三之利潤容量略高於案例一之結果。

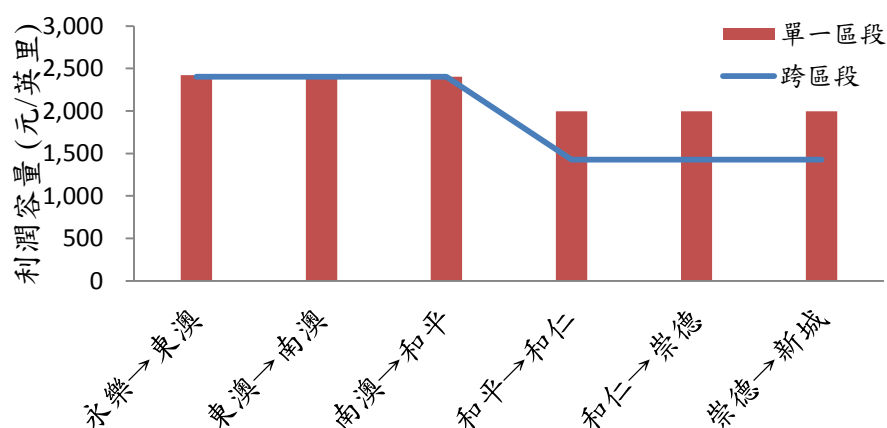


圖 4-5 案例三之整合型利潤容量成果

比較以上臺鐵路網情境之利潤容量結果，發現在三情境之利潤容量中，以案例三「臺鐵局自營運區間車並轉移長程客車之營運權」利潤容量最大，車路分離案例利潤容量次之，車路合一現況利潤容量最低。這顯示在 4.1 節至 4.3 的臺鐵路段特徵與需求假設下，臺鐵局開放部分路權予長程客車可對軌道擁有者創造更大路段產值。

#### 4.4 案例四、北美路網容量重新分配

相較於臺鐵路網以客運服務為主，北美鐵路則是貨運鐵路公司為較高比例之鐵路營運業者與軌道擁有者。由於貨運鐵路對準點率之寬容量大於客運鐵路，北美路網多以延滯時間作為路段容量之分析基礎，故容量成本之估算在北美鐵路中更顯現其重要性。

本容量重新分配案例採用加拿大太平洋鐵路之實際路段，簡稱為 A、B、C、D 四區段，全長約 450 英里。案例中設定加拿大太平洋鐵路為軌道擁有者，自有營運列車為聯運貨車，外來營運業者之車種為煤礦車，並設定聯運貨車為標準列車。聯運貨車的編組中包含拖車與貨櫃，多載送消耗品及較高優先性之貨品，服務境內或跨國之運輸業者。聯運貨車因具備更高的平均馬力 ( $HPTT > 3.0$ )，多以更高速度行駛，服務可靠度較高。煤礦車則是載重噸數大、長運程、平均馬力低 ( $HPTT < 1.0$ )，因此煤礦車服務性能不及聯運貨車之水準。



圖 4-6 北美路網重新分配案例路段

表 4-11 列車參數

列車特性	聯運貨車 (標準列車)	煤礦車
機車動力	5 SD70	3 SD70
車廂/拖車數	93	115
列車載重	5,900 噸	16,445 噸
列車長度	5,649 英尺	6,325 英尺
HPTT	3.64	0.78
最大速度	70 mph	50 mph

根據 2.1.1 節所回顧之 CN 參數模式，將列車參數、軌道參數以及交通流參數輸入 CN 模式當中，即可找出如公式 (2-1) 之流量-延滯關係，避免繁瑣的模擬過程得到路網總延滯。

表 4-12 CN 模式之軌道參數

區段	複線比例 (%)	側線間距 (英里)	側線均勻度	號誌間距比 (%)
A	5	20	0.4	100
B	8	13.3	0.5	100
C	7	14.3	0.4	100
D	6	16.7	0.6	100

表 4-13 CN 模式之交通流參數資料庫 (區段 A 部份範例)

聯運 貨車數	煤礦車數	平均車速 (英里/小時)	速度比	優先性	尖峰值
1	1	60	1.4	0.5	1.62
1	2	63.3	1.4	0.33	1.62
...					



根據表 3-6，本案例之軌道擁有者利潤結構包含通行費收入、列車營運收入、軌道出借成本、營運成本以及動態容量成本五大部分。關於固定成本，聯運貨車與煤礦車需共同承擔使用軌道之維護成本與行政業務成本，而列車營運成本則僅由自有營運列車，也就是本案例之聯運貨車給付。另外，兩車種皆會在各種交通組成中產生不同的動態容量成本。成本要素列於表 4-14 當中。

表 4-14 容量重新分配案例之成本要素

列車特性	聯運貨車	煤礦車	資料來源
平均軌道維護成本 (美元/列車英里)	3.7	3.85	Lai 等人 (2013)
聯合成本 (美元/列車英里)	0.85	0.85	加拿大太平洋 鐵路年報 (2012)
列車營運成本 (美元/列車英里)	4.9	-	Dingler 等人 (2013)
貨物延滯成本 (美元/列車小時)	1,153	410	Dingler 等人 (2013)

表 4-14 之成本要素多數為現有路網數據之統計值，但北美路網之軌道維修成本如 2.2.3 節文獻回顧所述，已有過去文獻整理出列車載重與軌道維護成本之線性數學式。考量到本案例路段之聯運貨車車速已達北美路網之等級四之速限水準，將表 3-3 之係數帶入後可得本案例之軌道年維修成本  $C_M$  與列車載重  $W_i$  之關係式為：

$$C_M = 773.3 + 20777 W_i \quad (4-1)$$

表 4-11 當中整理了聯運貨車與煤礦車之載重噸數，帶入公式 (4-1) 後可得煤礦車與聯運貨車之單位維修成本。而在延滯成本部份，單位貨物延滯成本再乘以各

交通組成下之各車種延滯量，會得到動態延滯成本。值得注意的是，3.4 節介紹之利潤容量資料庫建置步驟包括「指定標準列車車種並計算標準列車容量」，並限制各區段容量皆不得超過該區段之標準容量上限。然而，不同於臺鐵容量手冊具備一最小營運時隔標準，北美路網容量分析以延滯為衡量基礎，因此「容量上限」之概念較不明確。為此，4.4 節與 4.5 節之北美案例取消了區段容量限制，也就是限制式 (3-16) 被移除，改以延滯成本反映出流量與利潤之權衡關係。

在收入要素方面，聯運貨車作為軌道擁有者之自有營運車種，其單位列車里程收入為 141.6 美元。煤礦車做為外來營運業者，其預估貨運收入為 137.1 美元/列車英里 (Dinger, 2011)。本研究將煤礦車之單位列車收入作為煤礦車對鐵路通行費之願付價格，並假設鐵路通行費利潤率假定為 0.5。綜合 3.4 節介紹之列車價值計算方法，北美路網因具有動態容量成本問題，因此利潤容量將隨交通組成變化。

#### 4.4.1 流量守恒限制之容量分配結果

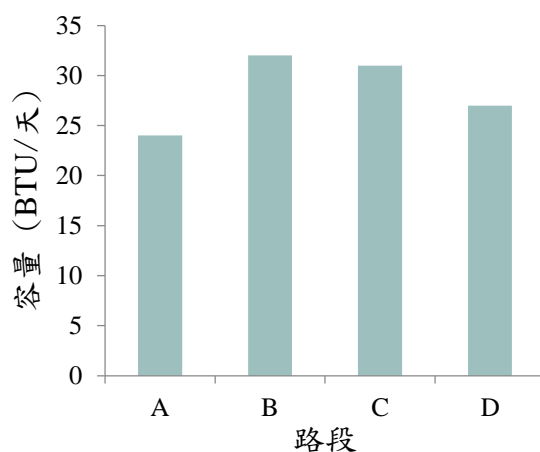
表 4-15 呈現了區段 A、B、C、D 各自的車種需求上限、容量分配後的區段最佳車數分配，以及跨區段最佳車數分配。

表 4-15 北美容量重新分配案例容量分配結果

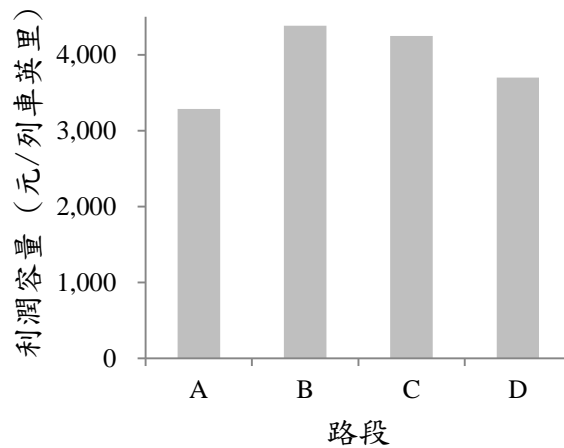
區段	需求輸入		區段 長度	各區段最佳 交通組成		區段 利潤	跨區段最佳 交通組成		跨區段 利潤
	聯運	煤礦		聯運	煤礦		聯運	煤礦	
	貨車	車		貨車	車		貨車	車	
A	15	8	100	15	5	2,339.3	16	6	2,102.8
B	16	10	200	16	9	2,756.1			2,555.0
C	17	12	100	17	9	2,890.7			2,555.0
D	18	14	50	18	5	2,741.7			2,541.4
	車/天		英里	車/天		元/英里	車/天		元/英里

值得注意的是，在聯運貨車單位利潤普遍高於煤礦車的情形下，區段最佳化模式會優先滿足聯運貨車需求量。但在跨區段容量分配模式中，若營運列車數超過該區段需求上限，有可能反而在另一區段創造更大利潤，因此最終的列車供給數可能會超過部分區段之需求上限。然而，營運列車數大於區段需求上限亦有可能造成過大的軌道擁有者支出，導致利潤容量下跌。本案例最後選擇分配 16 台聯運貨車、6 台煤礦車作為最佳容量分配策略。16 班聯運貨車非最高之區段需求上限，亦非最低之區段需求上限，由此可看出上述列車需求與供給之權衡關係。

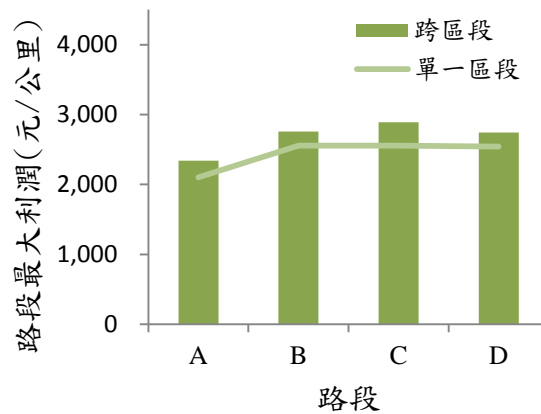
圖 4-7 顯示了案例四之利潤容量使用前後容量分析差異。圖 (a) 以聯運貨車為標準列車，呈現各區段之標準列車數上限。圖 (b) 將單位列車利潤乘以吞吐量後即為利潤容量，不考慮需求。圖 (c) 為引入鐵路市場之列車需求資料，尋找各區段利潤容量在需求限制下的最佳軌道利用策略與最大利潤容量。長折線為跨區段利潤容量模式之結果，為了維持跨區段車流守恆，跨區段利潤容量略低於各區段之最大利潤容量。



(a)傳統容量分析方法



(b) 標準列車利潤容量



(c) 整合型利潤容量

圖 4-7 案例四之整合型利潤容量與傳統容量分析對照

本案例之跨區段利潤容量乍看之下和各別區段利潤容量差距不大，但該數值為一日車流標準下之每英里利潤。若考量到區段長度與時間維度，在長區段、長時期比較下，兩者之間可能會有更顯著的利潤容量差值。

#### 4.4.2 流量變化限制之容量分配結果

3.5 節介紹跨區段利潤容量模式時，曾提到在流量守恆限制之外，亦可依據各區段軌道參數將流量守恆轉化為跨區段流量變化限制，也就是限制式 (3-20) 至限制式 (3-23)。案例一至案例三採用之跨區段容量模式皆假設各區段車流數

守恆，這是因為臺鐵客運區段切分較細、兩車車站之間為一單位區段，容量時距以小時為單位，因此區段間車量數變化之可能性較低。而在北美路段當中，單一區段 (subdivision) 可能包含數個車站，在這較長的區段中有更高之可能存在可提供發車、收車服務之軌道設施。故本案例分析中額外加入「跨區段車流變動範圍」限制式，假定區段 B 與區段 C 當中可容許有限之流量變化。圖 4-8 呈現各種限制條件下利潤容量最大之容量分配結果，紅色直方圖代表聯運貨車數，藍色直方圖代表煤礦車數。圖 4-9 整理四種限制條件在其容量分配結果之下，產生之最大利潤數值。

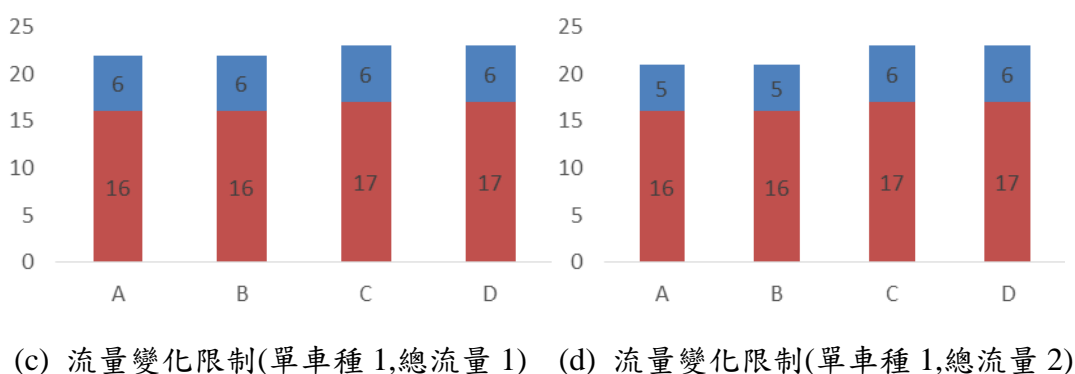
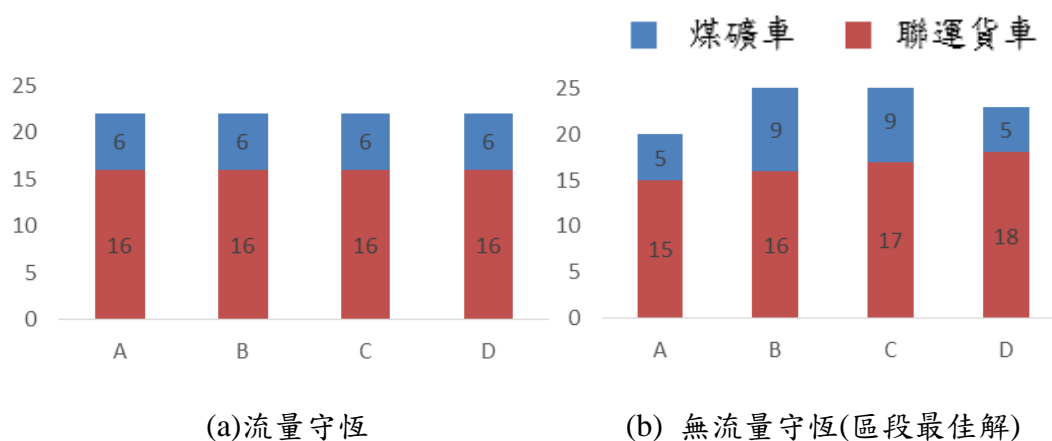


圖 4-8 各種流量限制之利潤最大容量分配結果

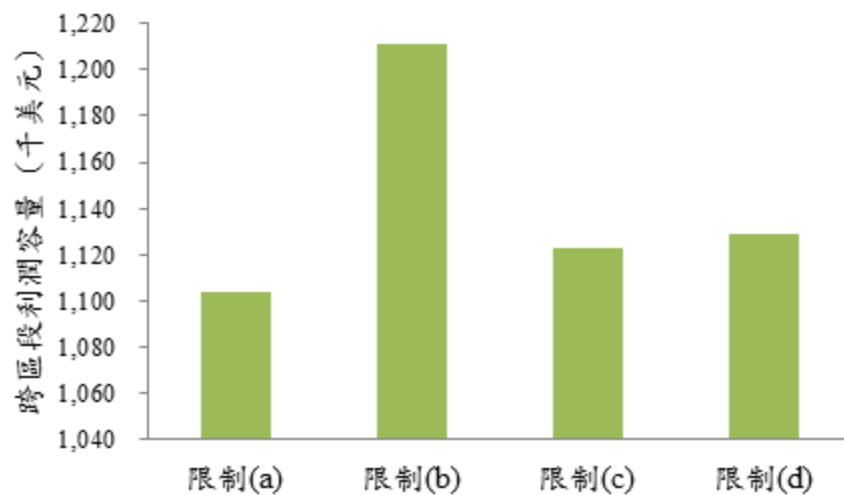


圖 4-9 各種流量限制之利潤容量

由圖 4-8 與圖 4-9 可看出，無流量守恒限制可帶來最大的跨區段利潤容量，相當於假設各區段皆可以不受限制地變化列車，結果會和各區段之最佳化結果相等，約 1,211 千美元。若假設各車種車流通過所有區段均相等，因限制條件最嚴苛，因此產生之跨區段利潤容量最低。約 1,103 千美元。圖 4-8 (c) (d) 分別把流量變化限制放寬到「各車種上下游流量可變換 1 台」與「總車流上下游流量可變換 1 或 2 台」，因此最大利潤容量也微幅提升至 1,123 千美元與 1,129 千美元。值得注意的是，1,129 千美元已是在「僅有區段 BC 之間可變化列車」的前提下，該軌道系統可產出的最大價值，因為之後無論把各車種或總車種上下游流量差值放大多少倍，最終的軌道容量分配結果依然不會改變。

#### 4.5 案例五、北美路網加車問題

在北美路網，多數鐵路為私營，軌道擁有者多為貨運鐵路公司。既 1970 年代通過鐵路旅客服務法案 (Rail Passenger Service Act, RPSA) 後，為滿足長途鐵路客運需求，國營鐵路客運公司 Amtrak 應運而生。根據 Amtrak 2012 年報，Amtrak 現行營運路網超過 21000 英里，約 72% 之列車里程營運在其他鐵路公司所有之

路網。在鐵路旅客服務法案第四十九條的保障下，Amtrak 僅需支付對軌道擁有者造成之增量成本 (Amtrak, 2012)。雖然 Amtrak 在法律給予的優先權下，一度大幅度改善服務準點率。然而，貨運公司的服務水準卻相對受限，美國鐵路協會因此提出訴訟，最後 Amtrak 的特權在 2013 年被宣告違憲 (Wilner, 2013)。為了達成經濟永續之理想，本研究借鏡歐洲鐵路的收費制度，試算虛擬路網之軌道維修成本、延滯成本，以及貨運公司之機會成本，並比較不同收費制度之數據結果。

本案例係根據北美中西部單線正線鐵路，取一區段進行路網加車問題之討論，並比較不同鐵路通行費定價對利潤容量造成之影響。考量北美客貨運共用路網之特性，將虛擬路段之軌道特徵參數輸入 CN 參數模式，軌道參數如表 4-16 所示。

表 4-16 北美加車問題案例之路段特性

參數	類型
路線種類	單線雙向運轉
路線長 (英里)	262.25
號誌間距 (英里)	1.375
側線間距 (英里)	11
號誌系統	三位式號誌

車種組合則以煤礦車與客運列車二車種進行容量成本與總利潤容量之探討。軌道擁有者兼私營貨運業者擁有煤礦車作為標準列車，煤礦車普遍上具備長運程、高噸數、低平均馬力等特性 ( $HPTT < 1.0$ )。而案例中的客運列車根據美國國營鐵路客運公司 Amtrak 之特性設定參數，Amtrak 之營運列車通常有較高的 HPTT 以及最優先的軌道路權 (Cambridge Systematics, 2007)。相關列車參數列於表 4-17。

表 4-17 北美加車問題案例之列車特性

列車特性	煤礦車 (標準列車)	客運列車
機車動力	3 SD70 機車頭	P42-DC 機車頭
車廂/拖車數	115	13
列車載重	16,445 噸	500 噸
列車長度	6,325 英尺	500 英尺
HPTT	0.78	15.4
最大速度	50 mph	79 mph

軌道擁有者之利潤結構包含煤礦車之營運利潤，以及客運列車繳納之鐵路通行費扣除客車對軌道擁有者造成之直接成本，其細部項目列於表 4-18 當中。

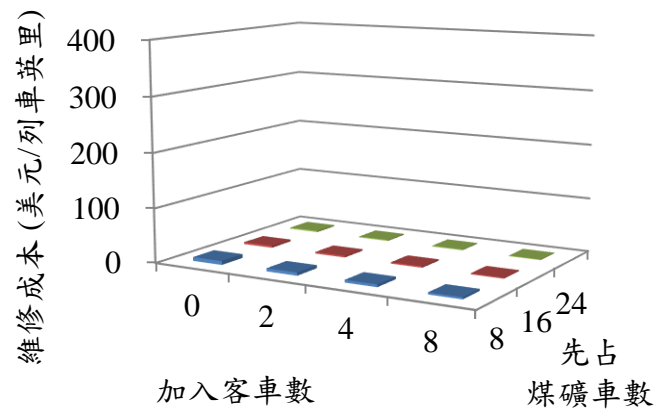
表 4-18 北美加車問題案例之成本要素

列車特性	煤礦車	客車	資料來源
平均軌道維護成本 (美元/列車英里)	3.85	3.49	Lai 等人 (2013)
客貨運延滯成本 (美元/列車小時)	410	1500	Dingler 等人 (2013)；估計值
行車成本 (美元/列車英里)	4.2	-	Dingler 等人 (2013)

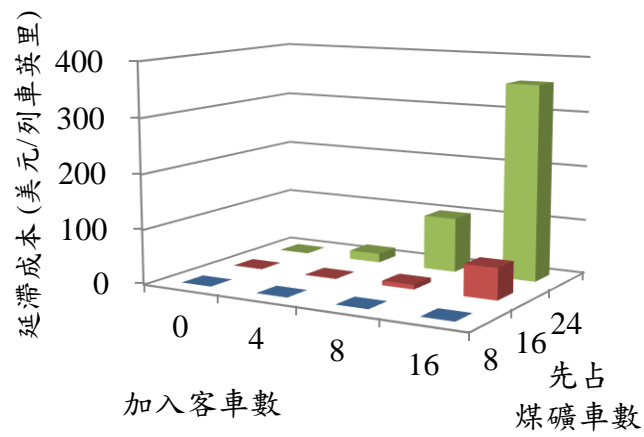
根據 FRA 之規範，本研究案例中之北美路網採用的 79mph 客車與 70mph 聯運貨車皆需要路網等級四以上之軌道水準，因此選用表 3-3 當中的木質軌枕、路網等級四之參數，得到的年載重與年維修成本之關係函數同公式 (4-1)。另外在延滯成本方面，由於 Amtrak 客運公司並無公定之列車延滯定義與退費規範，難以估算其客運延滯成本，故本研究假設客運之延滯成本比貨運更高，依據聯運貨車每小時 1153 美元之貨物延滯成本，假定客運列車單位延滯成本為 1500 美元/列車小時，延滯基準則設在每 100 列車英里 0.5 小時。



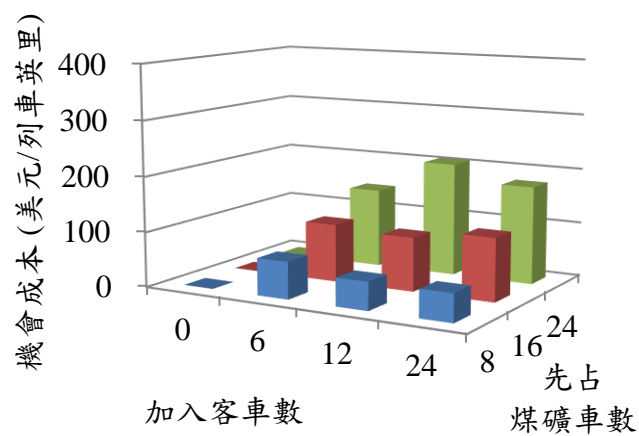
在軌道擁有者收入計算方面，如 4.4 節引用之數據，煤礦車之單位列車收入為 137.1 美元/列車英里。而在客車方面，加入單位客車之收入與軌道擁有者採用之鐵路通行費定價模式密切相關，故以下首先回顧三種通行費訂價之成本要素特性。本案例假設總標準列車容量約為 32 班煤礦車，故列舉現有煤礦車數量 8 台、16 台以及 24 台之三種情境，觀察逐台加入客運列車直至容量上限的利潤容量變化。圖 4-10 列舉客車比例占 0%、10%、33%、50% 與先占煤礦車數 8、16、24 台的情況下之混合車流，比較三種成本要素在各車流情境之變化。圖 4-10 (a) 呈現之軌道維修成本隨著總車流數上升而下降，變動範圍在 1.2 至 7.1 美元/列車英里之間。這是因為本研究採用之軌道維修年成本函數有一常數項，當總流量越大，該固定成本由越多列車均分，因此流量上升反而使單位客運列車之通行費價格下滑。圖 4-10 (b) 呈現之延滯成本特性與維修成本截然不同，原有煤礦車數為 8 台時路網延滯不超過延滯基準 0.5 小時/100 列車英里，因此延滯成本為零。但是當原有煤礦車數增加為 16 台，且總車流達到 20 台列車以上，延滯成本開始快速增加，由 1.2 美元/列車英里躍升至 356 美元/列車英里，顯現 CN 參數模式假定之延滯與流量自然指數關係特性，路網高流量下壅塞程度會快速增加。圖 4-10 (c) 表現之機會成本相較於延滯成本，變化幅度較小，因為機會成本定義為客運使用路網所排擠的煤礦車路權價值，不論路網延滯之大小，只要加入客車不為零，皆有機會成本產生。機會成本在流量上仍呈現流量越高、機會成本越大之趨勢。這很合理地反映了容量成本之設計概念，當容量利用率越高，代表剩餘軌道資源越少。在資源有限的情況下，應給予更高之容量成本反映軌道資源之稀有性。另外，越高之客車比例不必然造成越高之單位列車機會成本，因為客運較優越的列車性能對軌道容量之衝擊反而較小，標準列車當量多在 1 以下。機會成本變動幅度在 50.8 至 206.1 美元/列車英里之間。



(a) 維修成本



(b) 延滯成本



(c) 機會成本

圖 4-10 各成本要素與加入客車數、先占煤礦車數之相對關係

不論如何計算維修與容量成本，當其值超過客運願付價格、也就是預期收入，鐵路通行費利潤會轉為負值。若是貨運業者因政策或長期合作策略等因素，仍舊選擇在客車成本超過客車預期收益的情境下加車，出租路權的虧損會直接反應在貨運業者的整體利潤容量當中。由於北美客運多屬於虧損狀態，故本案例以政府對鐵路之補助金額作為客運業者之願付價格。圖 4-11 顯示聯邦政府補貼鐵路與其他運具之金額 (2000 年美金/千旅客英里)：

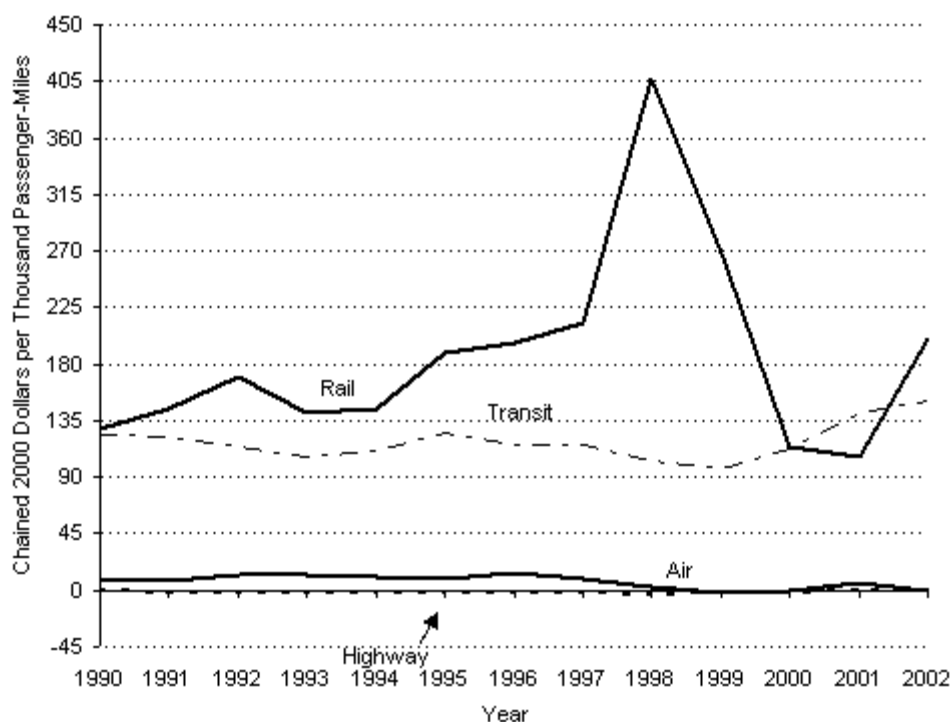


圖 4-11 各運具之聯邦補助款 (2000 年連鎖美元/千旅客英里)

資料來源：美國運輸統計局

考慮通膨與補助趨勢，假定本案例之政府補助為 200 \$/千旅客英里，並以此推算單位列車英里下之客運列車補貼額度：

Amtrak 每列車載客數 = 13 車廂\*84 車廂人數上限\*0.5 乘載率 = 546 人

平均補助金 =  $200/1000 \times 546 = 109.2$  美元/列車英里

因此本案例之客車願付價格設定為 109.2 美元/列車英里，並依據該願付價格計算三種鐵路通行費利潤，再與軌道擁有者自有營運列車——煤礦車營運利潤加總。本案例以現行鐵路通行費之維修成本為基礎，增加考慮容量成本之通行費，將計算並分析以下三種通行費收費方案在各情境之數質變化：

方案一：軌道維修成本定價

方案二：軌道維修成本 + 延滯成本定價

方案三：軌道維修成本 + 機會成本定價

之所以三種通行費訂價方法都涵蓋軌道維修成本，是因為將維修成本視作車輛營運最基本之直接成本，不論列車歸屬於哪一營運單位。因此第一種通行費定價即近似為現階段 Amtrak 付與貨運公司之鐵路通行費，第二與第三種通行費定價著眼於列車占用的軌道容量。本案例未給予列車需求上限，而是假定各情境之列車數皆能創造單位列車營運收入。

圖 4-12 呈現了三種定價方案下的區段利潤容量。首先可以發現的是，當現有之煤礦車數不變，加入客車並不一定造成利潤容量上升，反而會在超過特定車數後總利潤下降。這顯示了流量上升雖然能增加鐵路通行費收入與貨運收入，但是伴隨而來的延滯成本會減小車流帶來的增量收入，甚至可能造成虧損。關於三種定價方案之比較，可看出收費方案三（軌道維修+機會成本定價）創造比另外兩種方案更大的利潤容量，而定價方案一之維修成本定價不足以完全反應出路網增加列車造成之成本，故收費方案一之利潤容量最低，且三方案的差異隨著流量增加、客車比例增加而上升，顯示鐵路通行費定價應考量容量成本。至於三種收費方案對於整體利潤容量之關係，可看出收費方案三在不加入客車的情境下創造了最高的利潤容量，這是因為單位煤礦車之收入大於客車給付之鐵路通行費，且案例中假設煤礦車需求無上限。然而先占車數達到 24 台煤礦車時路網已過度壅擠，鐵路通行費超出客車之願付價格，故增加客車將會導致虧損。

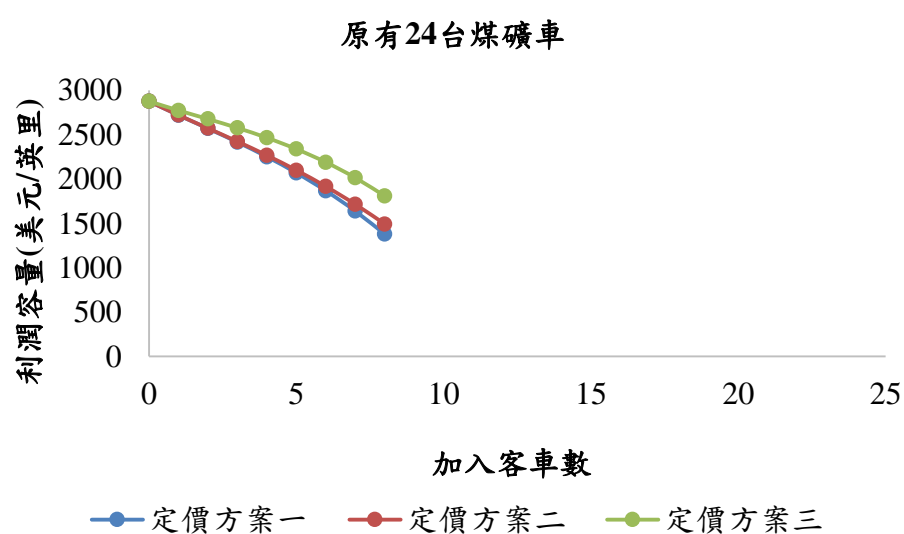
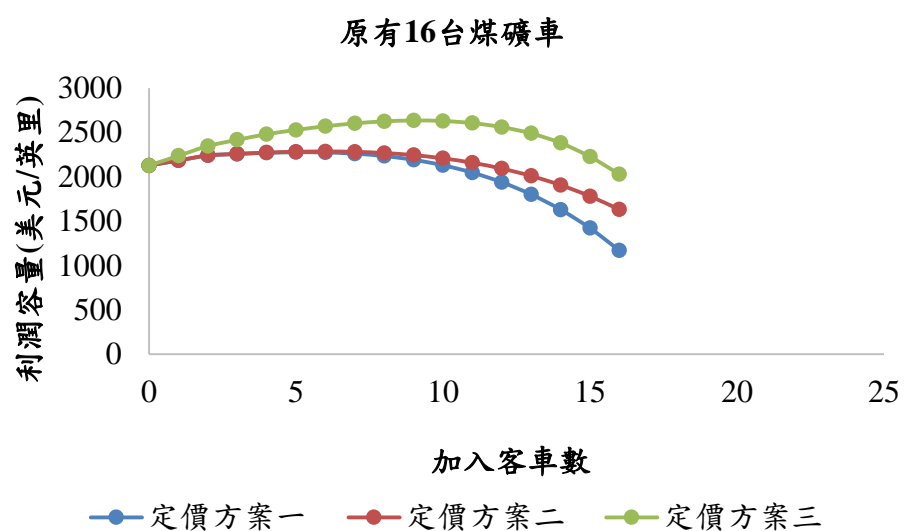
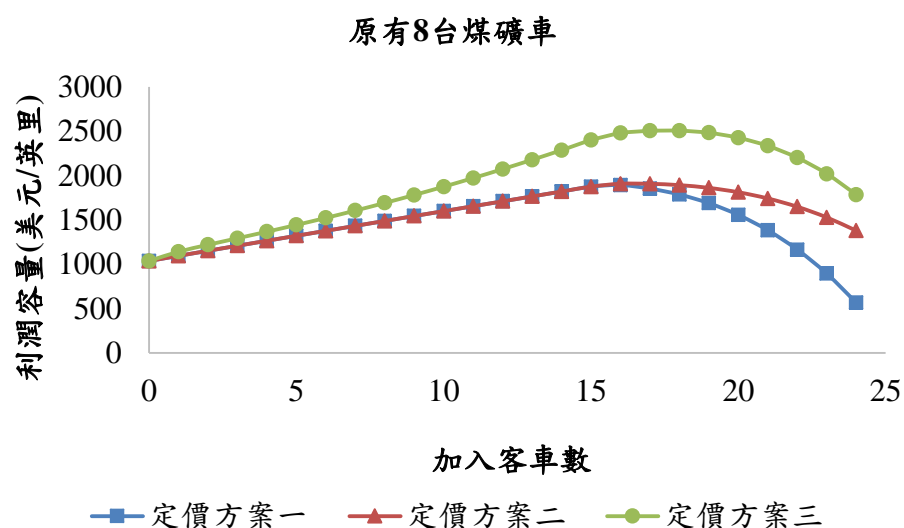


圖 4-12 不同情境之客車增加量與利潤容量變化

## 4.6 小結

相較於北美路網，4.1 節至 4.3 節當中的臺鐵路網容量分配模式差異較不顯著，因為客車列車性能差距不大，標準列車當量值多近似於 1，因此分配結果幾乎僅受列車利潤影響。而客運路網中準點率要求高，又因此省略了容量成本之估算，導致單位列車利潤值不受車種組合影響。故只要單位列車利潤大，就幾乎可確定該車種擁有最優先之容量分配順位，但在跨區段利潤容量模式當中，權衡各區段之列車利潤與使用容量後，可能會產生與單一區段最佳利潤容量不同之交通組成。

北美容量重新分配案例考慮了延滯成本，因此即使是相同的流量與車種組合，不同區段呈現至利潤容量仍有些微差異。北美案例以延滯成本取代了區段容量上限，使軌道擁所有者可更彈性地找出最大利潤容量之容量分配策略。而跨區段容量分配模式可以更宏觀之角度思考軌道容量運用，例如聯運貨車在容量占用與單位列車價值上均較煤礦車更有優勢，但跨區段容量分配模式得到的聯運貨車數並不一定就是各區段聯運貨車需求數當中的最大或最小值。

而在在客貨運共用路廊的加車問題當中，本研究檢視了三種通行費定價在不同車流組成與流量下的造成的利潤容量變化。在延滯成本的考量下，流量上升並非永遠與區段利潤容量呈正相關性。客車的比例變化對於機會成本有更大之變動，對延滯成本則是影響不顯著。不論容量成本採用延滯成本或機會成本計算，都比北美鐵路現行以維修成本為主之通行費定價更能反映列車實質占用之軌道資源，可作為實務上路權談判之參考。

## 第五章、結論與建議



鐵路系統具有投資成本龐大、容量有限擴增不易之特性，因此鐵路領域之容量研究在鐵路系統即將達到飽和的今日越趨重要。過去鐵路容量研究多將容量定義限縮在有限時間之最大吞吐量，本研究則是將利潤容量概念應用於鐵路系統當中，以軌道擁有者之利潤做為利潤容量基準，將列車吞吐量轉為貨幣單位，以更宏觀的視野衡量軌道路網之最大產值，並尋找最佳的容量利用策略。

### 5.1 結論

1. 本研究將多種列車藉由價值估算轉換成同一計算基準，以軌道擁有者利潤角度計算並分析軌道容量。利潤容量之單位與財務規劃常用單位相容，有助於衡量軌道資源之實際產值。
2. 本研究將利潤容量概念延伸至各路網類型之鐵路系統，並考量列車需求量進行容量分配。將利潤容量概念延伸應用後，利潤容量模式可更符合現實鐵路系統，有助於協調軌道擁有者與營運業者之合作關係。
3. 本研究首次使用標準列車當量計算機會成本，以標準化的列車當量比較不同車種所占用的軌道容量，並乘以受排擠列車之單位營運收入作為機會成本。利潤容量模式中的容量成本要素計算可作為鐵路通行費定價之客觀標準，協助軌道擁有者與外來營運業者進行路權談判。
4. 以利潤容量模式釐清不同車種之使用容量與單位列車價值，有助於軌道擁有者找出最大利潤之容量分配方法，並依此做出軌道產值最大化之路網資源運用決策。
5. 當軌道擁有者具備客觀衡量路段產值之條件，也有助於軌道路網之財務永續性，降低鐵路系統對政府財政補貼之依賴程度，有助於軌道擁有者達成財務永續之商業模式。

6. 為了達到一個公平且經濟永續之鐵路系統，收費系統與軌道容量研究是相當重要的課題。本研究希望能為現階段之鐵路通行費收費制度帶來不同的檢視角度，也為臺鐵路網未來可能的改組方向提供容量研究之參考，有待後續研究進行更多種情境下之利潤容量研究。

## 5.2 建議

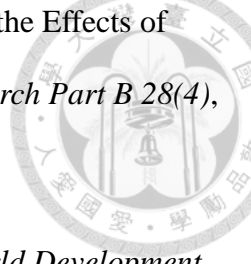
1. 臺鐵目前尚缺乏針對各部門業務、各車種進行細項成本要素之研究，希望未來能仿效英國鐵路之延滯成本模式建置過程，可以從容量利用率等參數推求延滯成本。在軌道維修成本方面，也建議未來建構一考量軌道參數、車輛軸重等因子之軌道維修成本模式，將有助於建立鐵路通行費定價之客觀標準，進而給予營運業者誘因，以對軌道維護更有利之方式使用軌道。
2. 對於利潤容量要素中的軌道擁有者收入，本研究假設在需求上限下，單位列車之貨物或票箱收入為定值，但實務上貨運需求或旅客需求應與供給列車數呈現彈性關係。以客運為例，越密集之班次可能令旅客有更高的搭乘意願，但若服務供給過剩仍會造成資源浪費。因此需求參數為未來研究之可能方向，各區段之車種需求可與通行費定價、服務班次呈現動態關係，需要進一步的市場調查以釐清參數關係。
3. 本研究在各案例中均使用相同之時間維度，臺鐵容量為一小時，北美鐵路容量為一天。然而，實務上在整合客貨運需求時常面臨時間範圍不一致之問題，客運想要規律化、時間單位較小的容量分配方式，貨運則傾向不固定發車時間、時間單位較長的容量分配方式。因此對於客貨運共用路廊之利潤容量整合，還需要更進一步之研究。



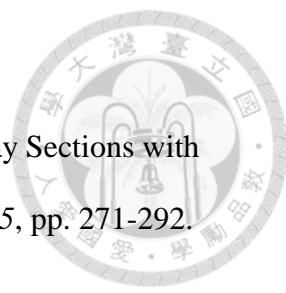
## 參考文獻



1. Abril, M., F. Barber, L. Ingolotti, and M. Salido.(2008), An Assessment of Railway Capacity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 44, pp. 774–806.
2. Bassanini A., Bella A. L., Nastasi A. (2002), Allocation of Railroad Capacity Under Competition: A Game Theoretic Approach to Track time Pricing, *Transportation and Network Analysis: Current Trends, Applied Optimization*, Vol. 63, pp. 1-17.
3. Borndörfer, R., Grötschel,, M., Lukac, S., Mitusch, K., Schlechte, T., Schultz, S., Tanner, A.(2005), An Auctioning Approach to Railway Slot Allocation, *ZIB-Report*, pp.05-45.
4. Calvo, F., and J. D. Oña. (2012), Are Rail Charges Connected to Costs? *Journal of Transport Geography*, Vol. 22, pp. 28–33.
5. Cambridge Systematics, Inc. (2007), National Rail Freight Infrastructure Capacity and Investment Study. TRB Workshop on Railroad Capacity and Corridor Planning.
6. Canadian Pacific Railway (2012), 2012 Annual Report, <http://www.cpr.ca/en/invest-in-cp/financial-reports/FinancialReports/Attachments/221/cp-ar-2012.pdf>. Accessed June 30, 2014.
7. Cao C., Gao Z., Li, K. (2012), Capacity Allocation Problem with Random Demands for the Rail Container Carrier, *European Journal of Operational Research*, Vol. 217, pp. 214–221.

- 
8. Carey, A., Kwiecinski, A. (1994), Stochastic Approximation to the Effects of Headways in Knock-on Delays of Trains, *Transportation Research Part B* 28(4), pp. 251-267.
  9. Corbett, J. (1988), Famine and household coping strategies, *World Development*, Vol. 16 (9), pp. 1099–1112.
  10. Czerny, A. I., Mitusch, K., Tanner, A. (2009), Allocation of Congested Rail Network Capacity: priority rules versus scarcity premiums, European Transport Conference 2009, Netherlands.
  11. Dinger, M.H., Lai, Y.C., and Barkan C.P.L. (2013), Mitigating Train Type Heterogeneity on a Single Track Line, *Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol. 227 (2), pp. 140-147.
  12. ECMT (2005), Railway Reform and Charges for the Use of Infrastructure, Published by OECD.
  13. Federal Railroad Administration (2007). Federal Railroad Administration Track Safety Standards Compliance Manual, Chapter 5 Federal Railroad Administration Track Safety Standards Compliance Manual, United States Government. p. 155.
  14. Finger, M., Gueguen, A., Messulam. P. (2013), Towards a new organization of French Railways, 2nd Conference on the Regulation of Infrastructure Industries
  15. Fragnelli, V., García-Jurado, I., Norde, H., Patrone, F., and Tijs, S. (2000), How to Share Railways Infrastructure Costs. Game Practice: Contributions from Applied Game Theory, Theory and Decision Library, Vol. 23, pp 91-101.
  16. Gibson, S.(2003), Allocation of Capacity in the Rail Industry. *Utilities Policy*, Vol.

11, pp. 39–42.

- 
17. Huisman, T., Brocherie, R. J. (1998), Running Times on Railway Sections with Heterogeneous Train Traffic, *Transportation Research Part B* 35, pp. 271-292.
18. Johnson, D., and Nash, C. (2008), Charging for Scarce Rail Capacity in Britain: A Case Study. *Review of Network Economics*, Vol.7, Issue 1, pp. 1-24
19. Jong, J. C., Chang, E. F. and Huang, S. H. (2009), A Railway Capacity for Estimating Hourly Throughputs with Mixed Traffic and Complex Track Layouts, Proc. to 3th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis Engineering and Optimization Approaches, Zurich, Switzerland.
20. Kaas, A.H. (1991), Strategic Capacity Analysis of Networks: Developing and Practical use of Capacity Model for Railway Networks, Scan Rail Consult, Technical University of Denmark.
21. Klug, T., Harrod, S., Schlechte, T. (2013), Comparing railway capacity allocation models, International Association of Railway Operations Research 2013, Copenhagen.
22. Kozan, E., and Burdett, R. L. (2005), A Railway Capacity Determination Model and Rail Access Charging Methodologies, *Transportation Planning and Technology*, Vol. 28, 2005, pp. 27-45.
23. Kozan, E., and Burdett, R. L. (2006), Techniques for absolute capacity determination in railways, *Transportation Research Part B* 40, pp. 616–632.
24. Lai, Y. C. (2008), Increasing Railway Efficiency and Capacity Through Improved Operations, Control and Planning, PhD Dissertation, University of Illinois,

Urbana, IL




25. Lai, Y. C., Dingler, M., Lin, S. Y., and Liu, K., C. (2013), Optimal track class assignment for a railroad network, *Journal of the Operational Research Society*, pp. 1-10.
26. Lai, Y.C., and Barkan, C.P.L. (2009) Enhanced Parametric Railway Capacity Evaluation Tool. In *Transportation Research Record - Journal of the Transportation Research Board*, No. 2117, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 33-40.
27. Lai, Y.C., Liu Y.H., and Lin, T.Y. (2012), Development of Base Train Equivalents to Standardize Trains for Capacity Analysis. In *Transportation Research Record - Journal of the Transportation Research Board*, No. 2289, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 119–125.
28. Maunsell, F.(2007), Capacity Charge Tariff PR2008, Network Rail, October 2007.
29. Nash, C. (2005), Rail Infrastructure Charges in Europe. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 39, Part 3, pp.259-278.
30. Nash, C., S. Coulthard, and B. Matthews. (2004), Rail Track Charges in Great Britain—the issue of charging for capacity. *Transport Policy*, Vol.11, pp. 315-327.
31. Nilsson, J. E. (2001), Towards a Welfare Enhancing Process to Manage Railway Infrastructure Access. *Transportation Research Part A*, Vol. 36, 2001, pp. 419–436.
32. Pachl, J. (2002), Railway Operation and Control, VTD Rail Publishing,

Mountlake Terrace, WA.



33. Productivity Commission (2008), Assessing Local Government Revenue Raising Capacity, Australian Government, ISBN 978-1-74037-249-7.
34. Quinet, E.(2003), Short term adjustments in rail activity: the limited role of infrastructure charges, *Transport Policy* 10, pp. 73–79.
35. Quiry, P., Fur Y. L., Salvi, A., Dallochio, M., Vernimmen, P. (2011), Corporate Finance: Theory and Practice, Wiley, 2 edition.
36. Sameni M. K., Dingler, M. H., Preston, J. M., and Barkan, C. P.L. (2011) Profit-Generating Capacity for a Freight Railroad. Presented at Transportation Research Board 90th Annual Meeting, Washington, DC.
37. Sánchez-Borràs, M., C. Nash, P. Abrantes, and A. Lopez-Pita. (2010), Rail Access Charges and the Competitiveness of High Speed Trains. *Transport Policy*, Vol. 17 , pp. 102-109.
38. Schlechte, T.(2011), Railway Track Allocation: Models and Algorithms. Doctoral Dissertation, Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften.
39. Turvey, R. (2000), Infrastructure Access Pricing and Lumpy Investments, *Utilities Policy* 9, pp. 207–218.
40. Velde, D., Nash, C., Smith, A., Mizutani, F., Uranishis, S., Lijesen, M., Zschoche, F. (2012), EVES-Rail study: Economic effects of Vertical Separation in the railway sector, Full Technical Report.
41. Welch, N., Gussow, J. (1986), Expansion of Canadian National Railway’s Line Capacity, *Interfaces* 16 (1), pp.51–64.

- 
42. Wilner, F. N. (2013), Amtrak's Sisyphean struggle to run on time, *Railway Age*,  
July 05, 2013
43. 張有恆，運輸經濟學，華泰文化，ISBN 9789576098345，民國一零二年。
44. 曾偉豪，鐵路事業公司化資產結構與組織變革之探討，國立政治大學地政研  
究所博士論文，民國九十六年。
45. 黃台生、陳拓宇、陳怡懃、王穆衡、陳佩茶、張贊育、王銘德，臺鐵費率計  
算公式之檢討與價格訂定策略之規劃，交通部運輸研究所，ISBN  
986-00-4842-8，民國九十五年。