

91-53-5227

ISSN 1017-7159

# 運輸計劃

第三十一卷 · 第二期

季刊

**TRANSPORTATION  
PLANNING JOURNAL**

QUARTERLY VOL. 31 NO. 2



交通部運輸研究所  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION, MOTC

# 運輸計劃 季刊

第三十一卷 第二期  
中華民國九十一年六月三十日出版

# TRANSPORTATION PLANNING JOURNAL

Quarterly, Vol. 31 No. 2  
June 30, 2002

本季刊內容不代表本所意見

The views expressed in the Journal are not necessarily those  
of the Institute of Transportation.

## 目 錄 Table of Contents

### 理論篇 Theories and Methodologies

- 地區性道路人車衝突交通安全風險評估模式之建立 ..... 許添本 李明聰 245  
Development of a Traffic Safety Risk Assessment Model for Local Street  
..... Tien-Pen Hsu & Ming-Tsung Lee
- 貨櫃航線網路設計模式之研究 ..... 陳春益 邱明琦 267  
A Network Design Model for the Containership Routing Problem  
..... Chuen-Yih Chen & Ming-Chi Chiu

### 實務篇 Applications

- 捷運鐵路列車延滯事件發生後行車調度策略之模擬分析 ..... 李治綱 陳朝輝 簡聰裕 299  
A Simulation Study on Rescheduling Strategies of a Rail Transit Line with a Primary  
Delay ..... Chi-Kang Lee, Chao-Hui Chen, & Tsung-Yu Chien
- 捷運系統營運路線組合設計之研究 ..... 周義華 黃勵君 323  
Design of Route Service Pattern for MRT System ..... Yi-Hwa Chou & Li-Chun Huang
- 都市交通號誌控制系統工程之標準作業程序研究 ..... 徐國鈞 361  
Establishing a Standardized Procedure for the Urban Traffic Signal Control System  
Development ..... Kuo-Chun Hsu
- 委外校車路線規劃問題之研究 ..... 林志鴻 陳春益 林育俐 曾智強 391  
Routing School Bus for Contract Carriers  
..... Chih-Hung Lin, Chuen-Yih Chen, Yu-Li Lin, & Chih-Hyang Tserng
- 超額容量對國內線航空定價行為影響之研究 ..... 吳偉銘 429  
Impacts of Over-capacity on the Pricing Behaviors of Taiwan's Air Market  
..... Wei-Ming Wu
- 由法律觀點論電子載貨證券作業方式及可行性 ..... 張志清 451  
Legal Aspects of the Operation and the Feasibility of Electronic Bills of Lading  
..... Chih-Ching Chang

理 論 篇

THEORIES AND  
METHODOLOGIES

# 地區性道路人車衝突交通安全風險評估 模式之建立

## DEVELOPMENT OF A TRAFFIC SAFETY RISK ASSESSMENT MODEL FOR LOCAL STREET

許添本 Tien-Pen Hsu<sup>1</sup>

李明聰 Ming-Tsung Lee<sup>2</sup>

(89 年 10 月 20 日收稿，90 年 5 月 11 日第一次修改，90 年 6 月 14 日  
第二次修改，91 年 3 月 14 日定稿)

### 摘 要

交通寧靜措施愈來愈普遍地使用來改善地區道路的交通環境，這些改善措施主要是依據實務經驗而來，尚缺乏理論評估方法。鑒於其中改善的目的主要在於提高地區性道路的交通安全水準，所以本研究發展一套安全評估模式，作為評估的依據與準則。本研究利用地區性道路中人車衝突的狀況，建立人車衝突風險的評估模式；在風險評估模式之中，利用人車交會的次數考量行人暴露在危險環境中的長短作為曝光量指標；利用事故發生時能量傳遞的大小考量行人在事故中的傷亡程度作為嚴重性指標；並以此推估人車衝突風險指標值，評估地區性道路的交通安全程度。經過曝光量指標與風險指標的檢核過程，證實本研究所建立的人車衝突風險指標確實能夠反映地區性道路的交通安全狀況。並且可作為地區性道路運用各種減速措施或人車分流措施時，其交通安全改善績效的評估依據。

**關鍵詞：**地區性道路；交通寧靜措施；安全；風險指標

- 
1. 國立台灣大學土木工程學研究所副教授(聯絡地址為 10617 台北市羅斯福路 4 段 1 號台灣大學土木工程學研究所交通組，聯絡電話：23625920~401，傳真：23639990，E-mail：hsutp@ccms.ntu.edu.tw)。
  2. 國立台灣大學土木工程學研究所碩士。



## ABSTRACT

*Traffic calming has improved the poor traffic condition of local streets and become more popular than before. Since countermeasures used in traffic calming are merely planned and designed based on practical experiences, to develop a theoretical method for evaluating the performance is then necessary. In this research, the risk indexes of pedestrian—vehicle conflict with respect to traffic safety, including exposure index and severity index, are developed. The times of the pedestrians keeping away from the passing vehicles are adopted in the exposure index, and the kinetic energy of vehicle impact on the pedestrians are considered in the severity index. The risk indexes have been verified to have reflected the traffic safety condition of local streets.*

**Key Words:** *Local street; Traffic calming; Safety; Risk index*

## 一、前言

國內目前交通工程建設或是相關研究，仍著重在公路及主次要道路上，對於與民眾生活息息相關的地區性道路則甚少著墨。而地區性道路交通安全為民眾最關心，也是最需改善的項目<sup>[1,2]</sup>，但其始終缺少一套良好的評估模式，作為評估的依據與準則。因此本研究利用地區性道路中人車衝突的狀況，建立人車衝突風險的評估模式，並且以台北市地區性道路為例，進行此風險評估模式檢核與評估的工作。

## 二、人車衝突風險指標建立

本研究試圖建立人車衝突風險指標，用以預估地區性道路的交通安全狀況，同時考量行人暴露在危險環境的長短與發生事故所造成的傷亡，因此人車衝突風險指標將包含曝光量與嚴重性兩大部分。其中曝光量反映人與車發生衝突與車禍的可能次數，其可用人車交通量、潛在衝突量、或實際衝突量等來分析；而嚴重性則為可能造成危險的嚴重程度。

本研究在建立曝光量指標的過程中，考慮到若以實際人車衝突次數作為指標，於應用上必須詳細錄影觀測判定人車是否衝突，將會限制其實用性，故參考其他研究<sup>[2]</sup>，考慮若以人車交通量來推算的人車可能交會次數，當成人車潛在衝突次數，以此來代替實際人車衝突次數，在可證明其間有一定正相關之下，亦即本研究所推估之人車交會次數愈多時，人車實際衝突次數亦會愈多，那麼使用人車交會次數當成曝光量亦有

其合理性，且實用上較為簡易，此即為本研究選用人車交會次數當作指標，反映行人步行過程中可能的人車衝突次數，作為曝光量指標建立的方法；而嚴重性指標的建立，則引用 Rudolf Limpert<sup>[3]</sup>及 Todd Litman<sup>[4]</sup>所述，事故發生的嚴重程度與碰撞速率的平方值成正相關，並參考 Gary A. Davis<sup>[5]</sup>研究中的碰撞模式，本研究即以行人遭遇車輛碰撞時，車輛傳遞給行人的動能大小，反映行人遭遇事故時的傷害程度。而人車衝突風險指標則定義為曝光量指標與嚴重性指標的乘積。

## 2.1 曝光量指標建立

曝光量(exposure)一般定義為：一個駕駛人或一個交通系統所經歷可能發生事故的機會。因此曝光量愈高，代表其發生事故的機會也就愈高。曝光量可以是暴露在危險環境中的時間或是可能遭遇到危險的次數，用以反映交通事故發生次數的多寡。本研究將以地區性道路之中，人車交會次數作為曝光量指標。因行人步行特性的不同，將分為人行方向與車行方向平行的「並行曝光量指標」，與人行方向與車行方向垂直的「穿越曝光量指標」兩部分，分別討論如下：

### 2.1.1 並行曝光量指標建立

#### 1. 模式假設與特性描述

人行方向與車行方向平行的人車衝突主要發生在路段並行，模式建構如圖 1 所示。假設地區性道路之中，車輛皆以  $V$  的等速率行駛；而行人皆以  $V_p$  的等速率步行；1 方向與 2 方向的車輛流率分為  $Q_1$  與  $Q_2$ ，經由本研究調查並運用 K-S 檢定驗證，如表 1 所示，地區性道路之車流到達率除了兩處檢定結果並不顯著為卜瓦松(Poisson)分配之外，大多為卜瓦松分配，故本研究皆將車輛到達率設為卜瓦松分配來推導相關參數；而 1 方向與 2 方向行走在車道上的行人流率則分為  $Q_{P1}$  與  $Q_{P2}$ ，由於本研究對每個到達的人，在到達時與車的衝突來分析，故不論行人的到達率為何種分配，而以到達人數來總計與車衝突次數；行人步行於路長  $L$  的範圍內，與同向或是反向的行駛車輛發生交會。

則人行方向與車行方向平行的人車交會次數  $E'_r$  可以由每人預期交會車數乘以單位時間的行人數量計算得，如(1)式所示。其中單位時間長在考慮到地區道路平均通行時間及合理的評估樣本，時段不宜太長，故不採用一小時或十五分鐘，而參考其他類似研究之建議<sup>[2]</sup>，採 5 分鐘為分析時段長。

$$\begin{aligned} E'_r &= [U_{11}(t_r) + U_{21}(t_r)]Q_{P1} + [U_{12}(t_r) + U_{22}(t_r)]Q_{P2} \\ &= \sum_{j=1}^2 \left\{ \left[ \sum_{i=1}^2 U_{ij}(t_r) \right] Q_{Pj} \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

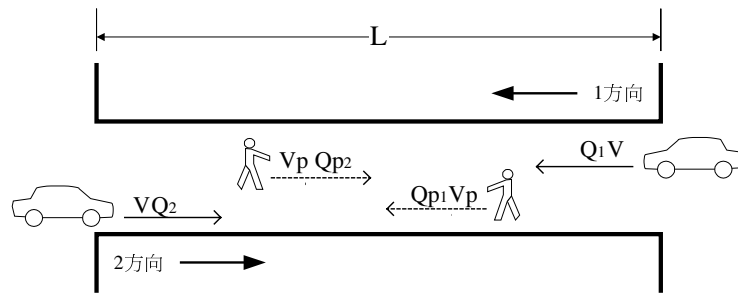


圖 1 人行方向與車行方向平行人車交會示意圖

表 1 地區性道路車輛到達率適合度檢定

Kolmogorov-Smirnov 適合度檢定																						
假設車輛到達率為卜瓦松(Poisson)分配 $P(k) = \lambda^k e^{-\lambda} / k!$ ( $\lambda$ 為 1 分鐘平均流率、 $k$ 為 1 分鐘實際流率)																						
調查地點	時間長度	$\lambda$	調查資料															D	D <sub>0.025</sub>	檢定結果 是否為 卜瓦松分配		
四維路166號	33	4.58	$k$	2	3	4	5	6	7	8	9									0.088	0.231	成立
			次數	3	9	8	2	6	2	1	2											
四維路166號	34	3.76	$k$	0	1	2	3	4	5	6	9									0.058	0.227	成立
			次數	1	1	8	5	9	5	4	1											
中華路二段 416巷	20	7.25	$k$	1	2	3	5	6	7	8	10	12	13							0.233	0.294	成立
			次數	2	2	2	3	1	1	1	1	4	3									
思源街 羅斯福路口	23	14.4	$k$	2	3	4	5	7	8	13	14	19	21	23	25	26	31	32	36	0.385	0.275	不 成立
			次數	3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	2	1	1	1	1			
大安路 信義路口	25	7.45	$k$	0	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15			0.139	0.264	成立
			次數	1	2	2	1	2	3	1	4	2	1	2	2	1	1					
中華路二段 309巷	34	7.85	$k$	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14							0.059	0.227	成立
			次數	3	6	3	6	3	3	6	1	1	2									
師大路93巷	28	1.60	$k$	0	1	2	3	6												0.048	0.250	成立
			次數	7	7	9	4	1														
大安路 信義路口	29	8.75	$k$	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15							0.103	0.246	成立
			次數	2	2	4	5	1	1	7	4	1	2									
中華路二段 416巷	12	6.33	$k$	3	4	5	6	7	9	12	13									0.174	3.75	成立
			次數	2	3	1	2	1	1	1	1											
四維路 建安國小後門	32	6.00	$k$	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12							0.246	0.234	不 成立
			次數	3	7	7	3	4	4	1	1	1	1									
福志路30號	22	2.80	$k$	1	2	3	4	5	6	7	8									0.085	0.281	成立
			次數	1	2	6	2	4	5	1	1											

其中  $U_{ij}(t_r)$  為  $t_r$  時間內  $j$  方向每位行人預期與  $i$  方向車流交會車輛數的期望值；

$Q_{Pj}$  為  $j$  方向行人於路段中步行在車道上的行人流率(人/單位時間(5 分鐘))；

$t_r$  為行人步行於路段中所需的時間(分鐘)。

## 2. 模式推導

當行人步行於長  $L$  的道路內，且人行方向與車行方向同向時，行人由道路某一端開始步行，在行人步行於路段中所需時間  $t_r = [L(1 - V_P/V)/V_P]$  內，在道路該端出現的車輛，皆會與行人發生交會；而人行方向與車行方向反向時，行人由道路某一端開始步行，在行人步行於路段中所需時間  $t_r = [L(1 + V_P/V)/V_P]$  內，在道路另一端出現的車輛，皆會與行人發生交會。車輛到達率假設為卜瓦松(Poisson)分配，則每位行人預期與車輛交會的次數  $U_{ij}(t_r)$ ，即為行人步行於路段中所需時間內道路上所期望出現的車數，如(2)式所示：

$$\begin{aligned} U_{11}(t_r) &= Q_1 [L(1 - V_P/V)/V_P]; U_{22}(t_r) = Q_2 [L(1 - V_P/V)/V_P] \\ U_{21}(t_r) &= Q_2 [L(1 + V_P/V)/V_P]; U_{12}(t_r) = Q_1 [L(1 + V_P/V)/V_P] \end{aligned} \quad (2)$$

因此人行方向與車行方向平行的人車交會次數  $E'_r$  為(3)式：

$$\begin{aligned} E'_r &= \sum_{j=1}^2 \left\{ \left[ \sum_{i=1}^2 U_{ij}(t_r) \right] Q_{Pj} \right\} \\ &= [U_{11}(t_r) + U_{21}(t_r)] Q_{P1} + [U_{12}(t_r) + U_{22}(t_r)] Q_{P2} \\ &= \{ Q_1 [L(1 - V_P/V)/V_P] \} Q_{P1} + \{ Q_2 [L(1 + V_P/V)/V_P] \} Q_{P1} \\ &\quad + \{ Q_1 [L(1 + V_P/V)/V_P] \} Q_{P2} + \{ Q_2 [L(1 - V_P/V)/V_P] \} Q_{P2} \end{aligned} \quad (3)$$

若考量不同車種間行駛速率與車輛流率不同，以致於影響預期的人車交會次數，則需分別預估大型車、小型車、機車的人車交會次數  $E'_{rb}$ 、 $E'_{rc}$ 、 $E'_{rm}$ 。且為消弭各路段因路段長  $L$  不同，所造成人車交會次數計算比較時的不一致，則令並行曝光量指標  $E_r$  為單位長度的人車交會次數，使各路段並行曝光量有比較的基準，則大型車、小型車、機車的並行曝光量指標  $E_{rb}$ 、 $E_{rc}$ 、 $E_{rm}$  為：

$$E_{rb} = E'_{rb} / L, E_{rc} = E'_{rc} / L, E_{rm} = E'_{rm} / L$$

因此並行曝光量指標  $E_r$  為(4)式：

$$E_r = (E'_{rb} + E'_{rc} + E'_{rm}) / L = E_{rb} + E_{rc} + E_{rm} \quad (4)$$

$$E_{rb} = \{Q_{b1}[(1-V_P/V_b)/V_P]\}Q_{P1} + \{Q_{b2}[(1+V_P/V_b)/V_P]\}Q_{P1} \\ + \{Q_{b1}[(1+V_P/V_b)/V_P]\}Q_{P2} + \{Q_{b2}[(1-V_P/V_b)/V_P]\}Q_{P2}$$

$$E_{rc} = \{Q_{c1}[(1-V_P/V_c)/V_P]\}Q_{P1} + \{Q_{c2}[(1+V_P/V_c)/V_P]\}Q_{P1} \\ + \{Q_{c1}[(1+V_P/V_c)/V_P]\}Q_{P2} + \{Q_{c2}[(1-V_P/V_c)/V_P]\}Q_{P2}$$

$$E_{rm} = \{Q_{m1}[(1-V_P/V_m)/V_P]\}Q_{P1} + \{Q_{m2}[(1+V_P/V_m)/V_P]\}Q_{P1} \\ + \{Q_{m1}[(1+V_P/V_m)/V_P]\}Q_{P2} + \{Q_{m2}[(1-V_P/V_m)/V_P]\}Q_{P2}$$

其中  $E_r$  為並行曝光量指標，即為 5 分鐘之內、單位長度的人車交會次數(人-車/公尺-5 分鐘)；

$E_{rb}, E_{rc}, E_{rm}$  為大型車、小型車、機車的並行曝光量指標；

$V_b, V_c, V_m$  為大型車、小型車、機車的行駛速率(公尺/秒)；

$V_P$  為行人行走於車道上的步行速率(公尺/秒)；

$Q_{bj}, Q_{cj}, Q_{mj}$  為大型車、小型車、機車  $j$  方向的流率， $j=1,2$ (車/秒)；

$Q_{Pj}$  為  $j$  方向行人於路段中步行在車道上的行人流率， $j=1,2$ (人/5 分鐘)。

## 2.1.2 穿越曝光量指標建立

### 1. 模式假設與特性描述

人行方向與車行方向垂直的人車衝突主要發生在路口穿越，模式建構如圖 2 所示。假設地區性道路之中，車輛皆以  $V$  的等速率行駛；而行人皆以  $V_P$  的等速率步行；3 方向與 4 方向的車輛流率分為  $Q_3$  與  $Q_4$ ，其到達率為卜瓦松分配；而 5 方向穿越道路的行人流率為  $Q_{P5}$ ；行人先步行至路緣 A 點，判斷是否能夠穿越道路，之後選擇可穿越的間距，穿越路寬  $W$  的道路；在等待穿越與穿越的過程中，與垂直方向的行駛車輛發生交會狀況。

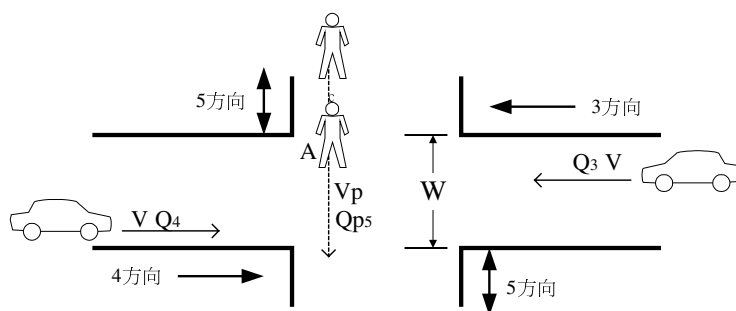


圖 2 人行方向與車行方向垂直人車交會示意圖

則人行方向與車行方向垂直的人車交會次數  $E'_c$  可以由每人預期交會車數乘以單位時間(本研究為 5 分鐘)的行人數量計算得，如(5)式所示：

$$\begin{aligned} E'_c &= [U_{35}(t_c) + U_{45}(t_c)] Q_{P5} \\ &= \left[ \sum_{i=3}^4 U_{i5}(t_c) \right] Q_{P5} \end{aligned} \quad (5)$$

其中  $U_{i5}(t_c)$  為  $t_c$  時間內 5 方向每位行人預期與 i 方向車流交會車輛數的期望值；

$Q_{P5}$  為 5 方向行人步行穿越道路的行人流率(人/單位時間(5 分鐘))；

$t_c$  為行人步行穿越道路所需的時間(分鐘)。

## 2. 模式推導

行人穿越道路的過程中，先步行至路緣判斷是否能夠穿越道路，等待之後選擇可穿越的間距穿越路寬  $W$  的道路。因此行人穿越道路所需的時間，包含實際步行穿越道路的時間  $t_1$ ，與選擇可穿越間距的等待時間  $t_2$ 。則所需時間  $t_c$  為：

$$t_c = t_1 + t_2$$

當道路寬度為  $W$ ，而行人步行速率為  $V_P$  時，行人實際步行穿越道路的時間  $t_1$  為：

$$t_1 = W / V_P$$

在車輛的到達率假設為卜瓦松分配的狀況下，車輛間距即為負指數(negative exponential)分配，雙向平均車流率為  $\lambda$ 。若行人無法順利穿越道路，即車間距  $T$  小於實際步行穿越道路的時間  $t_1$ ，則其發生的機率  $P(T \leq t_1) = 1 - e^{-\lambda t_1}$ ，若行人可順利穿越道路，即車間距  $T$  大於實際穿越道路的時間  $t_1$ ，其發生的機率  $P(T \geq t_1) = e^{-\lambda t_1}$ ，則選擇可穿越間距的等待時間  $t_2$  為：

$$\begin{aligned} t_2 &= 0 \times P(T \geq t_1) + P(T \leq t_1) \times \int_0^{t_1} T \lambda e^{-\lambda T} dT \times P(T \geq t_1) \\ &\quad + P(T \leq t_1)^2 \times 2 \int_0^{t_1} T \lambda e^{-\lambda T} dT \times P(T \geq t_1) + \dots \\ &\quad + P(T \leq t_1)^n \times n \int_0^{t_1} T \lambda e^{-\lambda T} dT \times P(T \geq t_1) + \dots \\ t_2 &= t_1 e^{-\lambda t_1} + e^{-\lambda t_1} / \lambda + e^{\lambda t_1} / \lambda - 2 / \lambda - t_1 \end{aligned}$$

因此行人穿越道路所需的時間  $t_c$  為(6)式：

$$t_c = t_1 + t_2 = t_1 e^{-\lambda t_1} + e^{-\lambda t_1} / \lambda + e^{\lambda t_1} / \lambda - 2 / \lambda \quad (6)$$

即在行人步行穿越道路所需時間  $t_c = (t_1 e^{-\lambda t_1} + e^{-\lambda t_1} / \lambda + e^{\lambda t_1} / \lambda - 2 / \lambda)$  內所到達的車輛，皆會與行人發生交會。則每位行人預期與車輛交會的次數  $U_{i5}(t_c)$ ，即為行人步行穿越道路所需時間內所期望出現的車數，如(7)式所述：

$$\begin{aligned} U_{35}(t_c) &= Q_3 \times (t_1 e^{-\lambda t_1} + e^{-\lambda t_1} / \lambda + e^{\lambda t_1} / \lambda - 2 / \lambda) \\ U_{45}(t_c) &= Q_4 \times (t_1 e^{-\lambda t_1} + e^{-\lambda t_1} / \lambda + e^{\lambda t_1} / \lambda - 2 / \lambda) \end{aligned} \quad (7)$$

因此人行方向與車行方向垂直的人車交會次數  $E'_c$  為(8)式：

$$\begin{aligned} E'_c &= [U_{35}(t_c) + U_{45}(t_c)] Q_{P5} \\ &= [(Q_3 + Q_4) (t_1 e^{-\lambda t_1} + e^{-\lambda t_1} / \lambda + e^{\lambda t_1} / \lambda - 2 / \lambda)] Q_{P5} \end{aligned} \quad (8)$$

若考量不同車種間行駛速率與車輛流率不同，以致於影響預期的人車交會次數，則需分別預估大型車、小型車、機車的人車交會次數  $E'_{cb}$ 、 $E'_{cc}$ 、 $E'_{cm}$ 。令穿越曝光量指標  $E_c$  為人車交會次數  $E'_c$ ，則大型車、小型車、機車的穿越曝光量指標  $E_{cb}$ 、 $E_{cc}$ 、 $E_{cm}$  為：

$$E_{cb} = E'_{cb} \text{、} E_{cc} = E'_{cc} \text{、} E_{cm} = E'_{cm}$$

因此穿越曝光量指標  $E_c$  為(9)式：

$$E_c = E_{cb} + E_{cc} + E_{cm} \quad (9)$$

$$E_{cb} = [(Q_{b3} + Q_{b4}) (t_1 e^{-\lambda t_1} + e^{-\lambda t_1} / \lambda + e^{\lambda t_1} / \lambda - 2 / \lambda)] Q_{P5}$$

$$E_{cc} = [(Q_{c3} + Q_{c4}) (t_1 e^{-\lambda t_1} + e^{-\lambda t_1} / \lambda + e^{\lambda t_1} / \lambda - 2 / \lambda)] Q_{P5}$$

$$E_{cm} = [(Q_{m3} + Q_{m4}) (t_1 e^{-\lambda t_1} + e^{-\lambda t_1} / \lambda + e^{\lambda t_1} / \lambda - 2 / \lambda)] Q_{P5}$$

$$t_1 = W / V_P$$

其中  $E_c$  為穿越曝光量指標，即為 5 分鐘內的人車交會次數(人-車/5 分鐘)；

$E_{cb}$ 、 $E_{cc}$ 、 $E_{cm}$  為大型車、小型車、機車的穿越曝光量指標；

$V_P$  為行人行走在車道上的步行速率(公尺/秒)；

$Q_{bj}$ 、 $Q_{cj}$ 、 $Q_{mj}$  為大型車、小型車、機車  $j$  方向的流率， $j=3,4$ (車/秒)；

$Q_{P5}$  為行人步行穿越道路的行人流率(人/5 分鐘)；

$W$  為道路寬度(公尺)；

$\lambda$  為雙向平均車流率  $[(Q_{b3} + Q_{c3} + Q_{m3}) + (Q_{b4} + Q_{c4} + Q_{m4})]$ 。

## 2.2 嚴重性指標建立

交通事故的嚴重性，決定於發生碰撞時能量的傳遞。在行人與車輛的交通事故中，行駛中的車輛在碰撞的瞬間，將車輛本身具有的動能傳遞給行人，因而造成行人的死傷。因此本研究將以交通事故發生時，「車輛本身質量」與「車輛碰撞時行駛速率平方」的乘積，建立嚴重性指標，用以衡量地區性道路之中，若發生人車交通事故時的嚴重程度。

### 1. 模式假設與特性描述

發生人車交通事故的模式如圖 3 所示。假設地區性道路之中，車輛最初皆以  $V$  的速率行駛，車輛到達率假設為卜瓦松分配，則車間距為負指數分配。當車輛駕駛人發現可能產生碰撞事故的行人時，與行人的距離為該車與前車的車間距，即車輛駕駛人於行人一出現在視野範圍內時立刻警覺可能發生碰撞事故。假設車輛自該點前以原速率前進至行人位置的時間為車間距  $T$ ，車輛駕駛人自接受刺激至採取減速措施的反應時間為  $t_p$ ，車輛減速至完全停止所需的時間為  $t_s$ ，車輛緊急煞車時的減速率為  $a$ ；行人面臨此狀況時，假設步行速率遠小於車輛行駛速率，或行人因為驚嚇而站立原地點不動，即行人步行速率  $V_p = 0$ 。車輛於警覺可能發生碰撞事故時，由原行駛速率  $V$  開始減速，當速率減至  $V_i$  時發生碰撞事故。

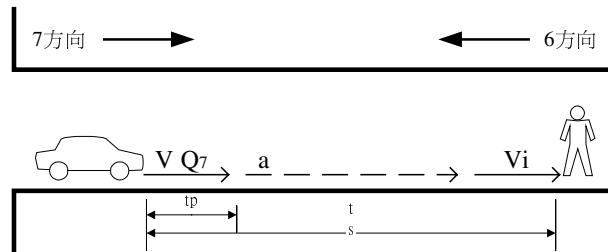


圖 3 人車碰撞事故示意圖

則事故嚴重性  $S'$  可以由車輛的質量乘以發生碰撞時車輛行駛速率的平方計算得，如(10)式所示：

$$S' = M \times (V_i)^2 \quad (10)$$

其中  $M$  為發生人車碰撞事故時的車輛質量；

$V_i$  為發生人車碰撞事故時的車輛速率。



## 2. 模式推導

上述事故嚴重性  $S'$  中,  $V_i$  為行人與車輛碰撞時的車輛速率, 而車輛碰撞時的速率 ( $V_i$ ) 與車輛原行駛速率 ( $V$ ) 的關係及其發生的機率如表 2 所示:

表 2 碰撞速率  $V_i$  與車輛原行駛速率  $V$  的關係及其發生的機率

發生狀況	碰撞速率 $V_i$	發生機率
$0 < T \leq t_p$	$V_i = V$	$f(T) = \lambda e^{-\lambda T}$
$t_p < T \leq t_s$	$V_i = (t_s - T)a$	
$t_s < T$	$V_i = 0$	不考慮(無嚴重性)
其中 $f(T)$ 為車間距 $T$ 時的負指數分配機率值 $t_s = t_p + V/a$ $\lambda$ 為雙向平均車流率		

當車輛間距  $T$  介於 0 及反應時間  $t_p$  之間時, 車輛駕駛人在尚未反應的情形下, 便以最初的速率  $V$  撞擊行人; 若車輛間距  $T$  介於反應時間  $t_p$  及完全停止時間  $t_s$  之間時, 撞擊行人時的車輛速率  $V_i = (t_s - T)a$ ; 而車輛間距  $T$  大於車輛完全停止時間  $t_s$  時, 便不會發生碰撞事故。

則事故嚴重性  $S'$  為(11)式:

$$\begin{aligned}
 S' &= M \times (V_i)^2 \\
 &= M \left\{ \int_0^{t_p} f(T) V^2 dT + \int_{t_p}^{t_s} f(T) [(t_s - T)a]^2 dT \right\} / \left\{ \int_0^{t_p} f(T) dT \right\} \\
 &= M \left\{ V^2 + P(T \geq t_s) (-2a^2 / \lambda^2) + P(T \geq t_p) (t_s^2 a^2 + t_p^2 a^2 + 2t_p a^2 / \lambda \right. \\
 &\quad \left. - 2t_s a^2 / \lambda - 2t_p t_s a^2 + 2a^2 / \lambda^2 - V^2) \right\} / \{1 - P(T \geq t_s)\} \quad (11)
 \end{aligned}$$

其中  $P(T \geq t_s)$  為車間距  $T$  大於等於  $t_s$  的機率  $= e^{-\lambda t_s}$ ;

$P(T \geq t_p)$  為車間距  $T$  大於等於  $t_p$  的機率  $= e^{-\lambda t_p}$ ;

$\lambda = Q_6 + Q_7$ 。

若考量不同車種間車輛質量與行駛速率的不同, 對於預期事故嚴重性的影響也不同, 則需分別預估大型車、小型車、機車的事故嚴重性  $S'_b$ 、 $S'_c$ 、 $S'_m$ 。令嚴重性指標為事故嚴重性, 則大型車、小型車、機車的嚴重性指標  $S_b$ 、 $S_c$ 、 $S_m$  為(12)式:

$$\begin{aligned}
 S_b = S'_b = M_b & \left\{ V_b^2 + (e^{-\lambda t_s}) (-2a_b^2 / \lambda^2) + (e^{-\lambda t_p}) (t_s^2 a_b^2 + t_p^2 a_b^2 + 2t_p a_b^2 / \lambda \right. \\
 & \left. - 2t_s a_b^2 / \lambda - 2t_p t_s a_b^2 + 2a_b^2 / \lambda^2 - V_b^2) \right\} / \left\{ 1 - (e^{-\lambda t_s}) \right\} \\
 S_c = S'_c = M_c & \left\{ V_c^2 + (e^{-\lambda t_s}) (-2a_c^2 / \lambda^2) + (e^{-\lambda t_p}) (t_s^2 a_c^2 + t_p^2 a_c^2 + 2t_p a_c^2 / \lambda \right. \\
 & \left. - 2t_s a_c^2 / \lambda - 2t_p t_s a_c^2 + 2a_c^2 / \lambda^2 - V_c^2) \right\} / \left\{ 1 - (e^{-\lambda t_s}) \right\} \\
 S_m = S'_m = M_m & \left\{ V_m^2 + (e^{-\lambda t_s}) (-2a_m^2 / \lambda^2) + (e^{-\lambda t_p}) (t_s^2 a_m^2 + t_p^2 a_m^2 + 2t_p a_m^2 / \lambda \right. \\
 & \left. - 2t_s a_m^2 / \lambda - 2t_p t_s a_m^2 + 2a_m^2 / \lambda^2 - V_m^2) \right\} / \left\{ 1 - (e^{-\lambda t_s}) \right\} \quad (12)
 \end{aligned}$$

$$\lambda = (Q_{b6} + Q_{c6} + Q_{m6}) + (Q_{b7} + Q_{c7} + Q_{m7})$$

其中  $S_b, S_c, S_m$  為大型車、小型車、機車的嚴重性指標(噸-公尺<sup>2</sup>/秒<sup>2</sup>，千焦耳)；

$M_b, M_c, M_m$  為大型車、小型車、機車的質量(噸)；

$V_b, V_c, V_m$  為大型車、小型車、機車的行駛速率(公尺/秒)；

$t_p$  為車輛駕駛人接受刺激後的反應時間(秒)；

$t_s$  為車輛減速至完全停止所需的時間(秒)；

$Q_{bj}, Q_{cj}, Q_{mj}$  為大型車、小型車、機車  $j$  方向的流率， $j=6,7$ (車/秒)；

$a_b, a_c, a_m$  為大型車、小型車、機車緊急煞車時的減速率(公尺/秒<sup>2</sup>)。

## 2.3 人車衝突風險指標建立

人車衝突風險指標為「曝光量指標」與「嚴重性指標」兩部分的乘積。因曝光量指標中「並行曝光量指標」與「穿越曝光量指標」的特性不同，而不論穿越或並行衝突，其嚴重性指標計算方式相同。則人車衝突風險指標將分為「並行人車衝突風險指標  $R_r$ 」與「穿越人車衝突風險指標  $R_c$ 」，則  $R_r$  與  $R_c$  分別為(13)、(14)式：

$$R_r = S_b \times E_{rb} + S_c \times E_{rc} + S_m \times E_{rm} \quad (13)$$

$$R_c = S_b \times E_{cb} + S_c \times E_{cc} + S_m \times E_{cm} \quad (14)$$

於風險指標中包括道路之中所出現的人車交會次數，以及若發生事故時傳遞的能量。透過人車衝突風險指標的建立，可以反映地區性道路之中，車輛流率、行人流率、車輛行駛速率、路長、路寬…等交通特性，與地區性道路交通安全的關係。

### 三、人車衝突風險指標檢核

人車衝突風險指標的檢核，應針對曝光量指標、嚴重性指標、及風險指標分別進行檢核工作，但嚴重性指標的檢核困難，因此本研究僅檢核曝光量指標與風險指標。曝光量指標目的在反映地區性道路之中的人車衝突次數，因此透過錄影拍攝及人工判讀的過程，即可檢核曝光量指標的適用性；而風險指標則反映地區性道路整體的安全狀況，因此透過心理感受問卷調查與尺度化分析的過程，可檢核風險指標與地區性道路交通安全的關係。

#### 3.1 曝光量指標檢核

依曝光量指標的模式假設，曝光量指標應能夠合理估算人車交會次數；且人車衝突次數隨著人車交會次數的增加而提高，因此曝光量指標應與人車衝突次數正相關。曝光量指標應能反映地區性道路之中，人車衝突次數的多寡。

如圖 4 所示，本研究以近似路點方式觀測，亦即使用短路段內進行觀測。運用人工判讀及記錄地區性道路之中，每輛車的車種、車輛行駛方向、每位行人步行方向、車輛前輪與行人前腳經過參考線 A 與參考線 B 的時點 TA 及 TB；且觀測人車交會次數、與人車衝突次數。並在錄影現場測量道路淨寬 W 及拍攝距離 L'。

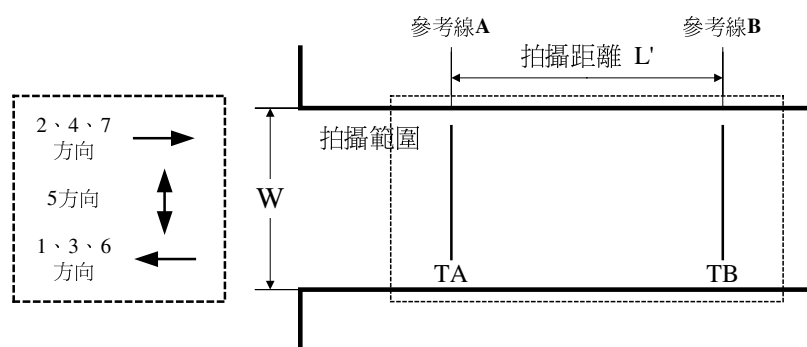


圖 4 近似路點觀測座標示意圖

透過上述觀測方式，以下列方法可獲得地區性道路人車衝突狀況與交通特性資料：

1. 速率：近似路點觀測所獲得的時間速率(temporal speed)。

$$V_{TS} = L' / |TA - TB|$$

其中  $V_{TS}$  為時間速率(公尺/秒)；

$L'$  為拍攝距離(公尺)；

$|TA - TB|$  為車輛前輪或行人前腳經過參考線 A 及參考線 B 的時差(秒)。

2. 平均速率：由各車種時間速率所推導出的時間平均速率(time-mean speed)。

$$V_k = E(V_{TS})_k$$

$$V_P = E(V_{TS})_P$$

其中  $E(V_{TS})_k$  為各車種的期望時間速率， $k$  為大型車(b)、小型車(c)、與機車(m)(公尺/秒)；

$E(V_{TS})_P$  為行人的期望時間速率(公尺/秒)；

$V_k$  為  $k$  車種時間平均速率，即風險模式中  $k$  車種行駛速率， $k$  為大型車(b)、小型車(c)、與機車(m)(公尺/秒)；

$V_P$  為行人時間平均速率，即風險模式中行人步行速率(公尺/秒)。

3. 車輛流率：為單位時間各車種通過參考線 A 的平均車輛數。

$Q_{kj}$  = 每 5 分鐘所觀測  $k$  車種  $j$  方向通過參考線 A 的車輛數除以 300 秒，取得每秒之車輛數(車/秒)

其中  $Q_{kj}$  為  $k$  車種  $j$  方向的流率， $k$  為大型車(b)、小型車(c)、與機車(m)，

$$Q_{k1} = Q_{k3} = Q_{k6}, Q_{k2} = Q_{k4} = Q_{k7} \text{ (車/秒)}。$$

4. 行人流率：並行方向為每 5 分鐘通過參考線 A 的行人數量；穿越方向為每 5 分鐘穿越道路的行人數量。

$Q_{Pj}$  = 每 5 分鐘所觀測  $j$  方向通過參考線 A 或穿越道路的行人數量， $j=1,2,5$ (人/5 分鐘)。

5. 人車交會次數：人行方向與車行方向平行的人車交會次數，為每 5 分鐘在拍攝距離內，人與各車種的交會次數；人行方向與車行方向垂直的人車交會次數，為每 5 分鐘在拍攝範圍內，人與各車種的交會次數。

$\hat{E}_r$  = 每 5 分鐘在拍攝距離內，人行方向與車行方向平行的人車交會次數(人-車/5 分鐘)。

$\hat{E}_c$  = 每 5 分鐘在拍攝範圍內，人行方向與車行方向垂直的人車交會次數(人-車/5 分鐘)。

6. 人車衝突次數：在人車交會的過程中，行人改變步行速率或方向、或造成車輛改變行駛速率或方向，以避免行人與車輛發生碰撞事故的次數。

$C_r$  = 每 5 分鐘在拍攝距離內，所發生人行方向與車行方向平行的人車衝突次數(人-車/5 分鐘)。

$C_c$  = 每 5 分鐘在拍攝範圍內，所發生人行方向與車行方向垂直的人車衝突次數(人-車/5 分鐘)。

藉由上述調查方法，在台北市隨機選擇 11 個地點調查，分別就尖峰與非尖峰時間、路口與路段等不同道路狀況，進行調查分析。由調查獲得的資料中，抽取其中 30 個 5 分鐘樣本資料，將車輛行駛速率、行人步行速率、及各方向車輛與人流率，透過模式計算，可獲得並行曝光量指標與穿越曝光量指標的指標值。此指標值與人車交會次數及人車衝突次數的關係，如圖 5 所示。同圖中可以發現，觀測樣本呈  $45^\circ$  的方向排列，表示運用模式推導的並行曝光量指標，能夠合理估算地區性道路之中實際人交車會次數；而實際人車衝突次數也由圖中左下方向右上方逐漸增加，表示曝光量指標愈大，人車衝突次數愈多，符合曝光量指標建立用以反映人車衝突次數的目的。統計上的檢定結果如下所述：

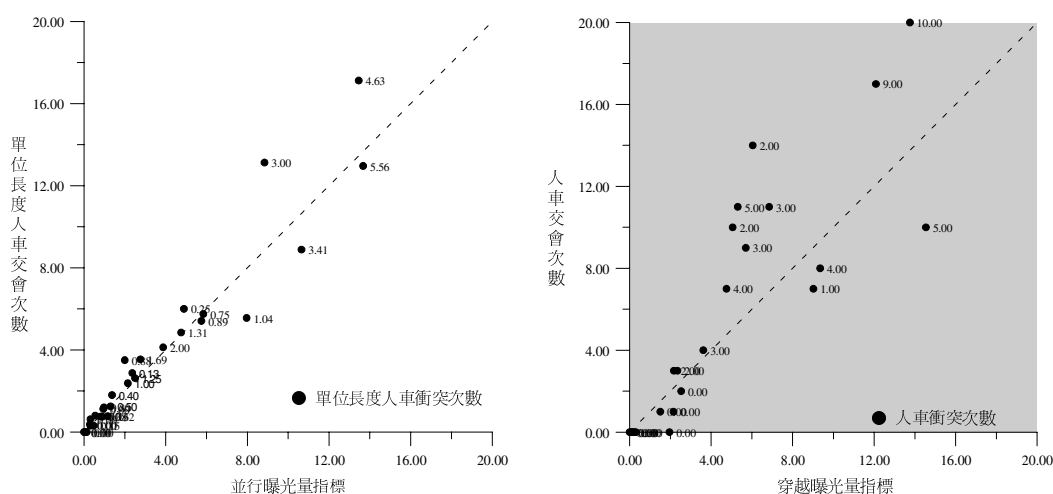


圖 5 曝光量指標與人車交會及衝突次數關係圖

#### 1. 曝光量指標與人車交會次數相等

因無法得知人車交會次數與曝光量指標的母體為何種機率分配，由於理論上應相等，方能說明本文研究之公式可以反映實際交會次數。所以本研究採用無母數 Wilcoxon 符號等級檢定。如表 3 所示，虛無假設  $H_0$  為中位數相等( $\eta_1 = \eta_2$ )、對立假設  $H_1$  為中位數不等( $\eta_1 \neq \eta_2$ )。在雙尾檢定顯著水準  $\alpha = 0.025$  的情況下，無法拒絕虛

無假設  $H_0$ ，則兩中位數相等，即曝光量指標與人車交會次數無明顯差異。

## 2. 曝光量指標與人車衝突次數相關

因無法得知人車衝突次數與曝光量指標的母體為何種機率分配，而理論上應有正相關，方能符合曝光量指標用以反映人車衝突次數的目的，所以本研究採用無母數等級相關係數檢定。如表 4 所示，虛無假設  $H_0$  為曝光量指標與人車衝突次數沒有線性相關、對立假設  $H_1$  為曝光量指標與人車衝突次數有線性正相關。在右尾檢定顯著水準  $\alpha = 0.05$  的情況下，拒絕虛無假設  $H_0$ ，則曝光量指標與人車衝突有線性正相關。

表 3 Wilcoxon 符號等級檢定表(曝光量指標)

$H_0: \eta_1 = \eta_2$		
$H_1: \eta_1 \neq \eta_2$		
曝光量指標	並行	穿越
$Z > 0$ 之等級和 $W(+)$	156	133
$Z < 0$ 之等級和 $W(-)$	279	302
$T = W(+)-W(-)$	-123	-196
觀察個數	29	29
變異數 $\text{Var}(T)$	8555	8555
$ Z^* $	1.33	1.83
臨界值 $Z_{0.025}$	1.96	1.96
接受 $H_0$ ：兩中位數相等		

表 4 等級相關係數(rs)檢定表(曝光量指標)

$H_0: E_r, E_c$ 與衝突不相關		
$H_1: E_r, E_c$ 與衝突正相關		
曝光量指標	並行	穿越
$\sum di$	22	48
$\sum di^2$	628	532
觀察個數	30	30
等級相關係數 $r_s$	0.860	0.882
臨界值 $R(0.05, 30)$	0.305	0.305
拒絕 $H_0$ ： $E_r, E_c$ 與衝突正相關		

### 3.2 風險指標檢核

為了解民眾對於地區性道路之中各種人車衝突狀況，所感受的交通安全或是危險的程度，與本研究推估的風險指標之間的相關性，本研究採取問卷訪談的方式，分析人車衝突狀況與交通安全感受間的關係。若本研究理論推導的指標與民眾認知的安全與否有一致性，則表示本研究之結果，在應用時可符合民眾的感受。經由錄影觀測與分析所得的地區性交通特性資料，並配合表 5 的設定參數，計算問卷訪談所需的每 1 分鐘人車衝突風險指標。其中車輛行駛速率為錄影調查結果；車輛流率則以每分鐘錄影調查的結果，放大為指標計算所需 5 分鐘車輛流率；車輛緊急煞車的減速率、車輛質量、與駕駛人的反應時間則以假設值計算；而道路淨寬則為現場測量所得。

表 5 問卷調查中人車衝突風險指標的參數假設

問卷調查基本假設	大型車	小型車	機車
k 車種行駛速率 $V_k$ (公尺/秒)	依錄影調查結果		
k 車種 j 方向的流率 $Q_{kj}$ (車/秒)	依 1 分鐘錄影調查結果放大為 5 分鐘指標值		
緊急煞車的減速率 $a_k$ (公尺/秒 <sup>2</sup> )	4.5	6	5
k 車種的車輛質量 $M_k$ (噸)	10	1.2	0.15
為車輛駕駛人的反應時間 $tp$ (秒)	1		
道路淨寬 $W$ (公尺)	依現場測量結果		

以此方式計算各人車衝突狀況的風險指標，選取包含風險高至風險低之間的各種人車衝突狀況，作為問卷訪談內容的拍攝地點與時段。並考量如表 6 所示的各項設計與調查原則，進行問卷的設計與調查。

本研究以錄影機播放各種人車衝突狀況的畫面 1 分鐘，再由受訪者填寫對於該狀況的感受。訪問居住於台北地區的民眾共 34 人，及基本資料如下所述：

1. 性別：男性 22 人、女性 12 人。
2. 年齡：10~19 歲 2 人、20~29 歲 24 人、30~39 歲 2 人、40~49 歲 3 人、50 歲以上 3 人。
3. 職業：公務 2 人、商業 1 人、學生 26 人、服務 4 人、其他 1 人。

依風險指標的模式假設，風險指標值越大，民眾感受越危險，因此地區性道路人車衝突風險指標值，應與心理感受尺度化<sup>[6,7]</sup>量表值，有明顯的正相關。而此風險指標能夠反映地區性道路之中，民眾所感受交通安全或危險的程度。根據錄影拍攝 11 個

調查地點共 290 分鐘的調查資料中，並行與穿越兩種衝突狀況分別抽取 21 及 24 個 1 分鐘樣本資料，計算並行風險指標，並訪談 34 位受訪者，進行連續類別尺度化分析，此指標值與心理感受尺度化量表值的關係如圖 6 所示。由圖中可約略發現風險指標愈大，民眾感受愈危險，統計上的檢定結果如下所述。

表 6 問卷設計與調查原則

原 則	說 明
說明問卷訪談目的及判斷依據	以簡略的文字說明地區性交通的問題，並告知受訪者以車種、車速、及人車交會次數，作為交通安全感受的判斷依據。
以語意化字詞解釋交通安全等級	以「很安全」、「安全」、「普通」、「不安全」、「很不安全」等 5 個字詞，解釋地區性道路交通安全 A、B、C、D、E 等 5 種等級，以助於民眾了解與評判。
並行與穿越兩種狀況的交通安全感受皆須考量	本研究所建立的地區性道路人車衝突風險指標，分別考慮了並行與穿越兩種行為的人車衝突狀況。因此並行與穿越兩種人車衝突狀況皆須進行問卷的設計與訪談。
以錄影資料作為問卷訪談的內容	對於地區性道路的人車衝突狀況，並不容易運用文字描述，因此利用錄影調查所拍攝的畫面，作為問卷訪談的內容，使受訪者易於衡量各種人車衝突的交通安全狀況。
涵蓋風險高與風險低之間的各種狀況	錄影資料的選擇，需先經由風險指標的計算，選擇人車衝突風險指標包含風險高至低之間的各種狀況，作為問卷訪談的內容。
錄影拍攝的畫面長度須適中	錄影拍攝的畫面長度若是太短，便無法具體傳達人車衝突的狀況；錄影拍攝的畫面長度若是太長，受訪者便可能無法專心於問卷訪談。因此問卷中將以 1 分鐘的各錄影地點，作為訪談的內容。
訪談的對象須能夠體會該狀況	本研究所錄影拍攝的人車衝突狀況，皆位於台北地區之內，因此受訪者以居住於台北地區的民眾為限。
訪談的對象須涵蓋各種社經背景	問卷調查的對象，須涵蓋各種社經背景的受訪者。使問卷調查的結果能夠包含不同類型的意見。

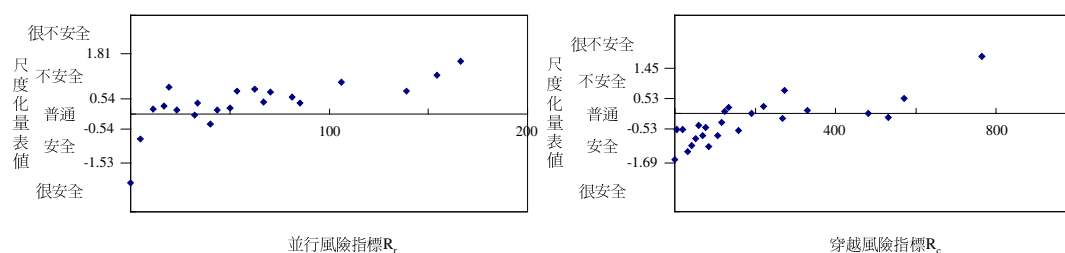


圖 6 風險指標與心理感受尺度化量表值關係圖



因無法得知風險指標為何種機率分配，所以本研究採用無母數等級相關係數檢定。如表 7 所示，虛無假設  $H_0$  為風險指標與尺度化量表值沒有線性相關、對立假設  $H_1$  為風險指標與尺度化量表值有線性正相關。在右尾檢定顯著水準  $\alpha = 0.05$  的情況下，拒絕虛無假設  $H_0$ ，則風險指標與尺度化量表值有線性正相關。表示本研究對地區性道路所推導的風險指標愈大時，民眾對於該路所感受之危險程度也愈大。

表 7 等級相關係數(rs)檢定表(風險指標)

$H_0$ : $R_r$ 、 $R_c$ 與量表值不相關		
$H_1$ : $R_r$ 、 $R_c$ 與量表值正相關		
風險指標	並行	穿越
$\sum di$	0	0
$\sum di^2$	392	438
觀察個數	21	24
等級相關係數 $r_s$	0.745	0.810
$R(0.05,21)$ $R(0.05,24)$	0.368	0.343
拒絕 $H_0$ : $R_r$ 、 $R_c$ 與量表值正相關		

#### 四、人車衝突風險指標實例評估

經由指標的檢核，發現人車衝突風險指標與地區性道路交通安全程度有明顯正相關。因此透過車輛行駛速率、行人步行速率、車輛流率、行人流率、與道路寬度的調查及測量，並配合模式的假設，可計算地區性道路之中人車衝突指標。而指標值的大小，便反映出地區性道路的交通安全狀況；指標值越大，代表該地區性道路中的人車衝突狀況越危險，也代表該地區性道路越不安全。

表 8 各地區性道路尖峰人車衝突風險

調查地點	調查時間	尖峰 $R_r$	尖峰 $R_c$
四維路(166 號)	89/03/03 16:00~16:30 89/03/03 12:45~13:15	111.31	109.00
思源街(羅斯福路口)	89/03/08 17:00~17:30	30.20	9325.80
福志路(30 號)	89/03/22 12:00~12:20	8.05	5314.00
中華路二段 309 巷(市集)	89/03/04 12:00~12:30	21.02	19.67
師大路 93 巷(3 號前)	89/02/29 17:30~18:00	3.18	1.92
四維路(建安國小後門)	89/03/20 16:00~16:30	141.96	446.29

各地區性道路以每天最高的風險值，代表其人車衝突的風險。因人車衝突風險指標之中，影響的參數包含車輛流率、行人流率、車輛行駛速率、行人步行速率、車輛種類…等，皆會影響指標值的大小。因此人車衝突風險指標值最高的尖峰 5 分鐘，不一定為上午或是下午的車輛尖峰時間，必須經由實地觀測，選取行人流率與車輛流率皆大的時段進行調查之後，再選取其中的尖峰 5 分鐘人車衝突風險。而本研究所調查的各地區性道路，其尖峰 5 分鐘人車衝突風險如表 8 所示。由表 8 所示的尖峰 5 分鐘人車衝突風險指標，可以略知各地區性道路的人車衝突狀況。

如圖 7、圖 8 的四維路建安國小後門與四維路 166 號前，於建安國小下午放學的時刻並行人車衝突風險值較高，為 141.96 及 111.31，並行人車衝突較為危險；雖然建安國小後門兩旁的巷道有設置簡易的人車分隔設施，但步行於車道上的行人仍多，以致於出現不少人車衝突的狀況；四維路 166 號前的行人流率雖較建安國小後門略少，但此處並無人車分隔設施的設置，造成所有行人皆面臨與車輛發生衝突的機會，情況也很危險。



圖 7 四維路建安國小後門



圖 8 四維路 166 號前

如圖 9、圖 10 的思源街羅斯福路口與福志路 30 號前的穿越人車衝突風險值較高，為 9326 及 5314，穿越人車衝突較為危險；其中以思源街羅斯福路口的情況較為嚴重，主因為行人流率與機車流率皆大，造成行人穿越時面臨的車輛衝突機會很高；而福志路 30 號前為福林國小後門，下午放學時行人流率較高，且福志路道路寬度達 8.8 公尺，車輛行駛速率較快，造成行人穿越時的威脅。

經由人車衝突風險指標的評估，可以獲知交通安全必須改善的地區性道路。而改善的方法可以透過各種減速措施或人車分流措施，用以控制車輛流率、減少行人步行於道路上的流率、降低車輛行駛速率、縮減路寬…等方式，降低人車衝突風險指標值，

增進地區性道路的交通安全狀況。



圖 9 思源街羅斯福路口



圖 10 福志路 30 號前

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

1. 本研究利用地區性道路中人車衝突的狀況，建立人車衝突風險的評估模式。在風險評估模式之中，利用人車交會的次數，考量行人暴露在危險環境中的長短作為曝光量指標；利用事故發生時能量傳遞的大小，考量行人在事故中的傷亡程度，作為嚴重性指標；並以此推估人車衝突風險指標值，評估地區性道路的交通安全程度。
2. 人車衝突風險指標的檢核，應針對曝光量指標、嚴重性指標、及風險指標分別進行檢核工作，但嚴重性指標的檢核困難，因此本研究僅檢核曝光量指標與風險指標。
3. 曝光量指標的檢核工作，透過錄影拍攝及人工判讀的過程，證實曝光量指標能夠合理預估地區性道路的人車交會次數，並且能夠反映地區性道路的人車衝突次數。而風險指標的檢核工作，透過心理感受問卷調查與尺度化分析的過程，證實風險指標能夠反映用路人對交通安全狀況的心理感受。因此本研究所建立的人車衝突風險指標能夠確實反映地區性道路的交通安全狀況。
4. 經由人車衝突風險指標的評估，可以獲知交通安全必須改善的地區性道路。而改善的方法可以透過各種減速措施或人車分流措施，用以控制車輛流率、減少行人步行於道路上的流率、降低車輛行駛速率、縮減路寬…等方式，降低人車衝突風險指標值，增進地區性道路的交通安全狀況。

## 5.2 建議

1. 本研究針對地區性道路之中的交通安全問題進行探討。然而地區性道路的交通問題不僅僅只有安全問題，關於地區性道路的便利、舒適、與防災…等議題，仍有發展的空間。
2. 本研究針對地區性道路的交通安全狀況建立評估模式，但改善的策略或設施並不僅考量安全方面的成效，對於環境、景觀、費用…等皆為考慮的重要因子。因此本研究建立的人車衝突風險，可提供地區性道路環境改善時的重要參考，但並非改善時的全部依據。
3. 本研究建立的人車衝突風險評估模式，是以地區性道路之中的人車交會次數作為曝光量指標，用以預估地區性道路之中的人車衝突次數。但人車衝突次數應會隨著道路寬度的增加而減少，也就是說道路愈寬的地點，道路中央行駛車輛與道路兩旁步行行人衝突的機會愈小，而以人車交會次數所推估的曝光量指標並無法反映此現象，因此本研究建立的人車衝突風險指標，可能高估較寬之地區性道路的危險程度。不過趨向保守的估計，對於地區性道路的改善並無大礙。後續研究可針對此現象，在曝光量指標之中加入折減因子，提高人車衝突風險指標的正確性。
4. 運用心理感受尺度化分析，能夠獲得各安全程度界限的量表值，可以大略了解各地區性道路的安全狀況，但並不方便於評估工作的運用。且為了使本研究發展的評估指標更具有實用的價值，將風險指標值進行交通安全上的分級，為後續必須進行的工作，期能夠界定各交通安全分級的人車衝突指標值。

## 參考文獻

1. 許添本、鍾智林，「巷道交通安全調查比較分析」，中華民國第四屆運輸安全研討會論文集，民國八十六年十一月。
2. 吳永隆，「地區性交通計畫之應用考察」，國立成功大學土木工程學研究所博士論文，民國八十七年六月。
3. Rudolf Limpert, *Motor Vehicle Accident Reconstruction and Cause Analysis*, 3<sup>rd</sup> Edition, Charlottesville, Va Michie Co., 1989.
4. Todd Litman, "Evaluating Traffic Calming Benefits, Costs and Equity Impacts", Victoria Transport Policy Institute, 7 June 1999.
5. Gary A. Davis, "Method for Estimating Effect of Traffic Volume and Speed on Pedestrian Safety for Residential Streets", *Transportation Research Record*, Vol. 1636, 1998, pp. 110-115.



# 貨櫃航線網路設計模式之研究<sup>1</sup>

## A NETWORK DESIGN MODEL FOR THE CONTAINERSHIP ROUTING PROBLEM

陳春益 Chuen-Yih Chen<sup>2</sup>

邱明琦 Ming-Chi Chiu<sup>3</sup>

(89 年 12 月 5 日收稿，90 年 4 月 20 日修改，91 年 3 月 12 日定稿)

### 摘 要

定期貨櫃航運為現今海運市場之主流，為降低營運成本及提升效率，貨櫃航線設計問題遂成為航商需面對之重要課題。貨櫃航線之設計乃基於航運市場之考量，設計貨櫃船隊之繞行路線，然隨著貨櫃航線之聯營及網路化，使航線設計問題日趨複雜，實有賴一分析工具協助規劃設計。本文旨在考量航線設計之基本實務因素(如往返繞行、航段容量限制等)，以及航運之發展趨勢(如聯營化、網路化等)等因素，據以構建一貨櫃航線網路設計模式，以期有效協助航商進行航線設計作業。

本文乃利用網路流量之觀念來探討航線設計問題。經分析，該設計問題必須同時考量多個不同的貨櫃起迄對(貨櫃流)，以及貨櫃船舶(船舶流)在航運網路上的流動，故本質上係屬一多元商品網路設計問題。在模式構建與測試上，本文所構建之航線網路設計模式可同時考量主、接駁航線之設計、及航線聯營因素，經數個簡例測試，顯示模式之運算結果尚稱合理。

**關鍵詞：**定期貨櫃航線；航線設計問題；多元商品網路設計問題

- 
1. 本研究蒙國家科學委員會專題研究計畫經費補助(編號 NSC89-2416-H-006-029)，並獲國內某大航運公司提供遠洋航線及貨櫃營運資料，謹此致謝。
  2. 國立成功大學交通管理科學系教授(聯絡地址為 701 台南市大學路 1 號國立成功大學交通管理科學系，E-mail:cychen@mail.ncku.edu.tw)。
  3. 國立成功大學交通管理科學研究所博士候選人。

## ABSTRACT

*Nowadays containership liner service is the major way to transport containers by sea. In order to offer better service and spend less cost, shipping carriers are facing the containership routing problem. This problem has become more complicated because shipping carriers not only design one containership line, but also bundle of lines that construct a liner service network. For instance, a major shipping carrier may have seven containership lines for the trans-pacific service. Furthermore, containership lines can be operated by shipping carriers themselves as well as with help of consortium, leasing or exchanging container slots from other carriers.*

*This paper makes an attempt to develop an optimization model to assist shipping carriers to solve this containership routing problem. The optimization model is formulated as a multicommodity network design problem, which takes ship flows and container flows into account. That is, if containership lines are designed, ships will periodically visit en route ports in their lines, and containers can be unloaded or loaded in these ports and transported from their origins to their destinations. Furthermore, designed containership lines are divided into oceangoing ones and feeder ones. This optimization model is tested by some test cases. The results seem promising. This model is expected to help shipping carriers to solve the containership routing problem.*

**Key Words:** *Liner service; Containership routing problem; Multicommodity network design problem*

## 一、前言

貨物裝運之貨櫃化，使定期貨櫃航運服務成為近年來海運市場的主要經營型態之一，相較於其他類型的海運服務，由於定期航線具有固定週期、及定港泊靠之特性，可維持較為固定的服務品質，因而在日漸講究運送速度及時效性的國際經貿環境中，定期航運市場不但逐漸成長，更成為各大航商競爭的主要領域。然而，由於貨櫃船的大型化及船隊的擴大，在運輸供給量遠超過運輸需求量的市場環境中，各航商間之競爭日趨激烈不言可喻。

一般而言，在激烈的競爭壓力下，節省成本與擴大貨源乃為航商最主要的經營目標，而航線之規劃設計則為達成目標的主要策略性手段。對定期航商而言，營運時所面臨之航線設計問題主要有三個層次：

### 1. 新航線之設計

對一有利可圖之目標市場，投入船舶，經營一條或多條新闢之航線。其策略目標主要在擴大服務範圍，提升營運量及收入。由於開闢新航線需有可用之船隊，因此，其作業通常屬長期性、策略性，以配合船舶之建造或租賃時程。

### 2. 舊航線之調整

對現有之服務航線，依其營運狀況進行航線之調整。可區分為，定期之通盤檢討，或不定期特殊狀況下之局部調整，例如配合船舶更換，航程改變下所做之局部灣靠港的增減或灣靠次序之改變。其策略目標主要在使營運更有效率，或節省營運成本。由於只牽涉局部之航線調整，因此，其性質多屬中短期性、作業性之航線設計範疇。

### 3. 艙位之互租或互換

航商間可透過聯營或契約合作的方式，針對特定之航線，商訂艙位互租或互換的額度。其目的主要在微調並拉近市場供需間之差異，以精省成本，擴大收益。由於合作契約之簽訂是具時效性的，因此，航商間多配合契約之時程，定期檢討市場狀況，調整艙位互租或互換之額度。

除了上述功能性之考量外，航商在進行航線之設計規劃前，更必須考量整體海運市場環境。近年來，各大航商之結盟或航線聯合營運已成為定期航運市場的主要潮流。在整體運能增大的情況下，各聯營航商為利用剩餘船舶能量提升服務品質，據以吸引更多之貨櫃運量，在航線的規劃設計上將日趨「精緻化」，以滿足更多不同的運輸需求；其主要的進行方式有二：

#### 1. 主航線之網路化

即對越洋或近洋航線上運量供需較大或較具有成長潛能的港口(如亞洲區域主要港口間、或亞洲區域與北美區域主要港口間)，提供更多不同的點對點直捷航線，以服務不同特定港口對之貨主。因而使原本之航線服務由單一或少數航線，擴展為網狀的航線組合或網路，使航商整體的航線結構由線狀朝向面狀發展。

#### 2. 接駁航線之配合

除了部分主要港口將有更多的直捷主航線可供貨主或托運人選擇外，為使部分需透過接駁服務之港口，其貨櫃運輸流程更加順暢以縮短轉運貨櫃之運輸時程，主航線在設計時，將對其接駁航線之配合設計或調整做更多的考量。

對航商而言，上述航線設計「網路化」之趨勢，將使航線設計作業由傳統的單一



航線設計問題，演變為同時考量多條定期航線或航線網路之設計問題，或考量新航線設計暨舊航線調整之互動性航線設計問題，甚至可進一步演變為主航線及接駁航線設計同時考量之航線設計問題。無論是哪一種航線之設計，當航線之發展網路化之後，由於各航線之設計、或航行航段之調整、抑或是艙位之互租互換規劃均具有互動性，因此，再不宜僅就規劃航線本身，作獨立性之探討，而需同時考量所有相關之航線或航段之相互影響。然而，如此一來，將使航商之航線設計規劃作業，其複雜度及困難度大幅提高，而有賴建立一套有效率之分析方法來協助分析。本文之主要目的，即希望針對定期貨櫃航運業，建立一符合未來航線發展趨勢，且可考量各航線間或航段間互動性之定期貨櫃航線網路設計模式，以期有助於航商之航線規劃作業。

本文以下計分五節，第二節文獻回顧，說明與航線規劃設計及航線結構發展相關之文獻；第三節為概念性模式之建立，用以說明本文模式建立之基本概念；第四節為數學模式之構建，說明航線網路設計模式之基本假設及數學式；第五節為模式之測試，主要乃透過簡例之假設與求解，驗證模式之可行性及合理性；最後一節則說明本文之結論與建議。

## 二、文獻回顧

一般船隊之規劃與管理大致可區分為船舶排程(ship routing)、船隊部署(fleet deployment)及船舶排班(ship scheduling)等三個部分。在實務規劃流程上，航商多先進行船舶之排程，即本文所討論的主題：航線設計，再依據排程結果部署適合之船型船隊，並依據船隊部署結果，視各船舶狀況安排其船期。由於本文旨在探討定期貨櫃航線之規劃設計，因此，2.1 節首先將探討與航線設計直接有關之船舶排程相關研究。此外，由於定期航運業之航線發展趨勢對航線設計之影響甚鉅，因此，2.2 節亦將相關之文獻納入探討：

### 2.1 船舶排程部分

Ronen<sup>[1]</sup>曾就船舶的排程及排班等問題進行綜合性回顧，並對船舶之排程/排班問題、與車輛排程/排班問題之特性差異進行比較；文中並整理相關文獻，將有關貨船之排程及排班之研究，依其經營型態區分為定期船(liner)、不定期船(tramp)及工業用船(industrial)等三大類。Cho and Perakis<sup>[2]</sup>根據短期及長期規劃之不同條件假設，提供兩種不同的船舶排程策略：短期部分，假定貨櫃運輸需求、船隊規模及候選航線等均為已知，建立模式求解每一艘船個別之服務航線、或航線組合、及各航線之服務航次數。

長期部分，則假定船隊規模是不確定的，除可求解各船舶之航線分派及服務航次數外，並同時決定船舶之建造、購買或租賃等船隊管理策略。研究中上述兩種模式均無應用範例及求解結果，作者僅建議以現有之最佳化軟體求解，而面對大規模整數規劃問題時，則可考慮採用拉式鬆弛法(Lagrangian relaxation)求解。此外，該研究雖提供了長短期的航線排程策略，但因服務航線為已知，模式之功能主要在對不同的船舶進行服務航線之分派部署，故應屬於船隊部署之課題。Rana and Vickson<sup>[3]</sup>探討往復式網路型態下之定期貨櫃船排程問題，其建立之模式可求解各不同船型之航行航線，並決定各船舶在其航線各個航段上之貨櫃載運量，及各船舶在其服務航線上之繞行次數。

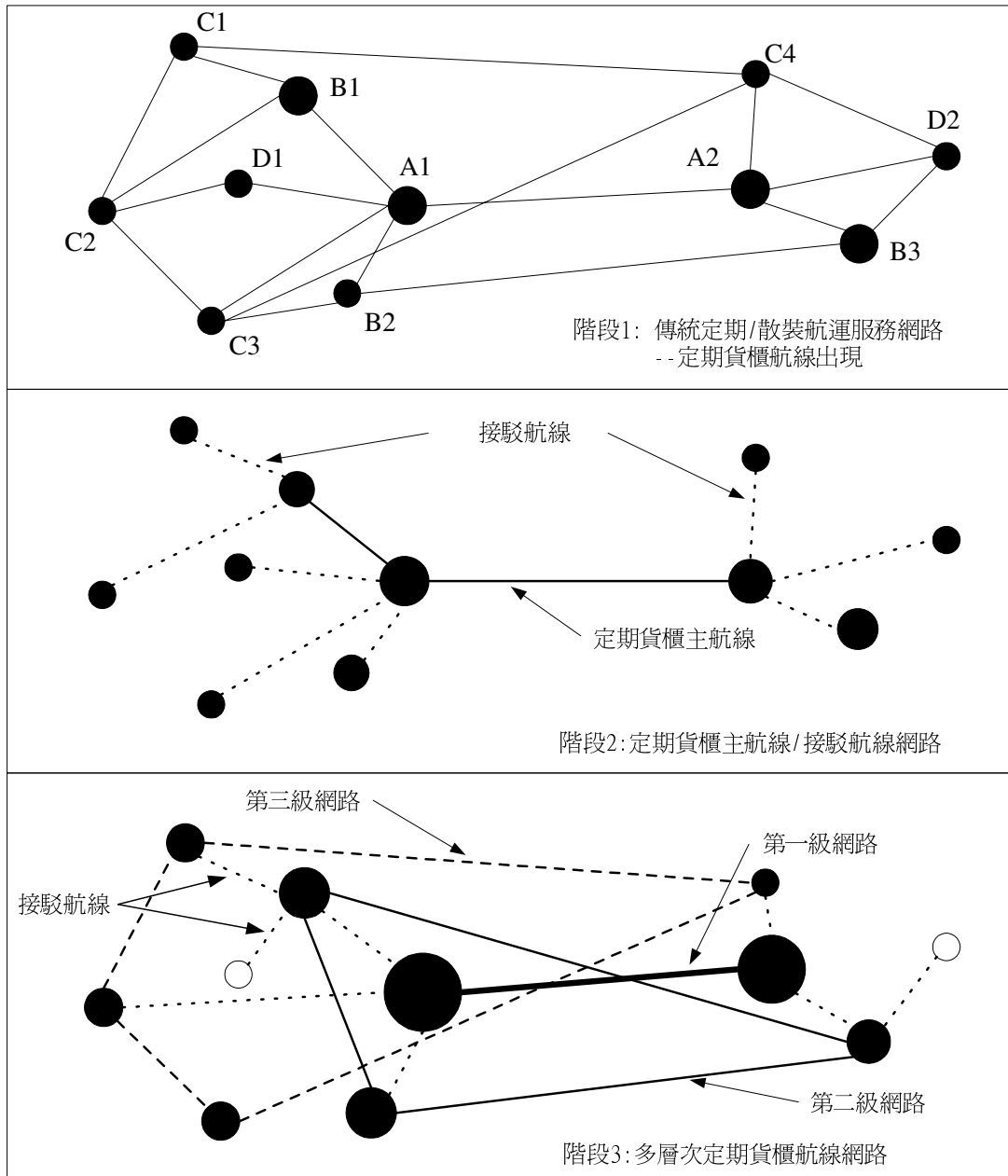
陳春益及張永昌<sup>[4]</sup>以國內某航商之美西至東亞航線為例，探討定期貨櫃船航線之泊靠港選擇問題，並以區位選擇之觀念建立一最小成本之混合整數規劃模式進行實例分析，模式主要特點係納入定期定港泊靠原則之考量。唯其所考量之航線僅有一條，且為一單向性之航線。彭信坤<sup>[5]</sup>曾利用空間經濟學之區位理論，探討使航商利潤最大化之泊靠港選擇及各港裝卸量等決策，該研究並未對實務上航線設計之考量因素做具體之考量。董孝行<sup>[6]</sup>曾建立一非線性迴歸模式，分析船型、貨櫃承攬比例等變數對航線泊靠港選擇之影響。許志成<sup>[7]</sup>在研究中建立一最小成本之整數規劃模式，求解在固定船舶數目下，船隊之航行路線並評估其經濟效益。至於在實務之航線規劃上，不同規模之航商，其航線規劃作業或許不盡相同，但其基本的規劃理念則相近似。

由上述文獻之整理，雖有相關文獻中對往復式(或循環式)航線之設計加以探討，但尚未有文獻納入航線聯營及接駁運輸等因素。如就航線設計模式之型態而言，相關文獻所建立之航線設計模式亦多屬單一航線之設計，尚未對定期貨櫃航線之航線網路(或多航線)設計問題加以探討，此即本文擬探討之重點。唯，本文旨在進行航線靠港分析，至於各港起迄貨櫃運量、及船隊部署課題中之船型與船隊規模，在本文中則假定為已知之參數。

## 2.2 航線發展部分

Robinson<sup>[8]</sup>將亞太地區航運網路的發展區分為三個階段，並說明東南亞及中國大陸之經濟成長暨新興港埠之加入使得未來亞太地區整體航運網路將朝向多層次的結構發展(圖 1)，其中如新加坡、香港等均可能成為第一級轉運中心，服務大型航商之遠洋主航線，高雄、釜山則可能成為第一級或第二級轉運中心，服務次要主航線，而大陸及東南亞新興港埠則大多為第三級港，由接駁航線來銜接。唯文中亦指出，大陸地區將為主要之海運需求市場，故如上海、鹽田等大陸主要港埠在加速建設下，將有逐漸納入主航線灣靠港之可能。總括來說，該研究提出了幾個相當重要的概念：

1. 亞洲區域為全球航運網路之一節點，同時本身也是一個完整的航運網路。
2. 貨櫃的移動方式，與航段或航運網路之設計演變可視為兩個不同的層次，某一層次的規模變化將影響另一層次的結構與運作。



資料來源：[8]。

圖 1 多層次定期貨櫃航線網路之發展趨勢

3. 定期航商之合併與策略聯盟趨勢將促進越洋主航線及接駁航線網路之整合，藉以延伸接駁航線之服務範圍，以滿足主航線上大型船舶在運量上之經濟規模。

該文獻除上述之分析外，亦說明由於環境之演變及亞太海運市場之快速成長，亞太地區越洋主航線及接駁航線在結構上已發生及未來可能發生的變化。此外，楊士毅<sup>[9]</sup>探討航線聯營之趨勢對航線泊靠港選擇之影響，其探討重點可區分為單一航線聯營與多航線聯營兩部分。在單一航線部分，定期航商之航線聯營方式多為共同派船，聯營目的大多是為了減輕獨立開闢航線所產生之規模不經濟，以節省營運成本。而在泊靠港選擇或航線設計上，由於兩聯營航商需共同派船以維持航線營運，因此在作業上需密切配合，在航線設計上，即無法只以單一航商之角度來思考，故航線上泊靠港之選定多以聯營航商共同協商之方式來決定；而在多航線聯營部分，航線聯營之方式常為互租或互換艙位，其目的多為透過多條航線之服務，擴展服務據點及新市場。其對航線設計之影響，即航線網路上，直靠服務之港口將增加，而部分轉運港之轉運功能則可能因而降低。

由上述航線發展之相關文獻，可知航線聯營及航線網路化之發展，為現今定期航運業在航線設計時必須加以考量之趨勢，而此一趨勢將增加航商在航線設計時，必須考量與其他聯營航商或其他航線設計之互動性，而使航線之設計工作更加複雜。

綜合 2.1 及 2.2 小節二部分之文獻回顧，可知相較於以往之航線設計相關研究及實務作業，本文不同之處，在於本研究擬將航線聯營及網路化之發展趨勢納入考量，即探討多條定期航線或航線網路之設計問題。而所設計之航線係為循環式航線，且在主航線設計時，將就其接駁航線之設計，及航線聯營之艙位租用因素等一併納入模式之中，以期能透過本文之模式，進一步分析不同航線間，或不同航段間在航線設計時之互動性，提供航商之航線規劃單位更有用之決策資訊。

### 三、概念性模式之建立

在構建航線網路設計模式之前，本節擬先說明航線網路設計模式之基本形成概念。3.1 節將先探討航線設計問題之本質，作為發展概念性模式之依據；3.2 節則闡述貨櫃航線網路設計問題之概念性模式。

#### 3.1 航線設計問題之本質

航商在安排航線灣靠港時，基本原則乃在符合成本利益之條件下，滿足市場之貨櫃運輸需求。即在預估的市場貨櫃運量及流向型態之下，選擇航線之灣靠港。而不同

的航線設計方式，其所需之貨櫃及船舶相關成本亦不相同。以單一主航線的設計為例，不同的靠港安排方式，對港埠而言，將使服務範圍內的港口，有些以直靠服務，有些則需透過集貨船轉運；對貨櫃而言，其運送路徑不同，則所需之運送時間、成本等亦不相同；對船舶而言，其沿途之泊靠港及行駛航段不同，因此所需之港埠費用、航行成本、及航行時間等亦可能不同。由此可知，航線設計之結果，對貨櫃、船舶及港口等之日常營運均有重大之影響。

就航線設計問題的本質而言，其考量的主要有兩種決策：其一，決定船舶的灣靠港及灣靠次序；其二，決定沿線所有服務港口(包括主港及副港)裝卸貨櫃之可能運送路徑，以及各路徑上之運量。而此兩種決策在分析時是同時產生且具有互動性的。航線的設計如進一步擴展為多條航線或航線網路之設計問題，基本上，其考量之因素及問題之本質與單一航線設計問題並無差異，唯當單一航線變成網路結構後，不但貨櫃流動與航段組成設計間之互動更加複雜，網路中不同航線之設計亦具有互動性。因而，使航線網路之設計、各港進出口貨櫃運送路線及各航段上運量之分析，在問題的困難度上遠超過單一航線之設計。

### 3.2 航線網路設計之概念性模式

當定期貨櫃航線由原先的單一航線擴展為多航線，甚至形成航線網路結構後，將使航線設計問題之複雜度增加，實有賴建立一分析模式，協助航商以較有效率之方式進行分析。由於定期航線之營運，實際上，係船舶及所載運之貨櫃，藉由其於不同航段(節線)上之接續航行，而在不同港口(節點)間移動之行為，因此，航線網路設計問題應具有網路流量之性質。有鑑於此，本研究擬利用網路流量分析之概念，來表述航線設計問題，並建立航線網路設計模式，據以求解在貨櫃需求量為已知之情況下，最佳之航線網路設計方式。以下，茲透過概念性模式來探討航線網路設計問題之內涵，並說明其網路流量特性，以作為下一節數學模式建立之基礎。

根據前述各節之分析，以及本研究與國內某航商航線規劃單位之研討，發現從網路流量分析的觀點來看，定期貨櫃航線網路設計問題，實質上可視為一包含貨櫃流(container flow)及船舶流(vessel flow)之網路設計問題(network design problem)。其中，航線網路服務範圍內的所有主港及副港可視為航運網路架構中的節點集合，而各港之間所有可相互連接且於實務上可行之航段則可視為網路架構中之節線集合，結合港口節點及航段節線集合，即形成航線網路設計問題之基本網路架構。而本文之分析，主要即在貨櫃流之起迄分布型態已知(即各起迄港間之運量已知)下，於此一基本網路架構中，求解船舶流及貨櫃流之最佳流動型態，亦即最佳之航線網路；如圖 2 所示意之

航線網路設計問題概念，圖中船流部分顯示航線設計結果有兩條主航線及一條接駁航線，由此三航線形成一主/接駁航線網路。而貨櫃流部分顯示有兩種已知的貨櫃起迄運量需求(港口 4 到港口 7：100TEU，港口 1 到港口 6：150TEU)。在貨櫃排程部分，則說明基於上述的航線設計下，兩個起迄對之貨櫃將可能有不同的運送路徑(圖 2)。以下茲分別由貨櫃流及船流兩部分詳細說明此一概念性模式：

### 1. 貨櫃流部分

航商所承運之每筆貨櫃均有其起點港與迄點港，起迄港間需藉由主航線或接駁航線之銜接，方能完成貨櫃之運送。因此，每一個起迄對(O/D Pair)之貨櫃，均可視為一種運輸需求(如圖 2 中，在貨櫃流部分即有 4→7：100TEU 及 1→6：150TEU 兩種運輸需求)，其貨櫃排程(container routing)之路徑則取決於航線設計之結果，亦即船舶流之型態。唯貨櫃之運送路徑不同，其貨櫃之相關成本亦不相同，最後將可能影響航線設計之結果。除了成本之影響外，貨櫃流量與航段設計容量間亦具有互動性，由於所有起迄對之貨櫃係由多條航線分攤承運，因此，在某一航線之某航段上，可同時裝載許多不同的起迄對之貨櫃，但必須符合該航段上之船舶艙位限制。換言之，由於各航段有船舶容量上限，同一起迄對之貨櫃，亦可能因超過容量限制而分由不同的航線來載運，即其運送路徑可能不同。依據上述之論述，若就網路流量問題之類型區分，由於模式中所分析之貨櫃流含括許多不同起迄港間之貨櫃流動，而每一對起迄港間之貨櫃可視為一種單元商品，因此，若由貨櫃流動之角度觀之，航線網路設計問題係屬於一多元商品網路流量問題(multicommodity network flow problem)。

### 2. 船流部分

在基本之航運網路架構中，行駛於各港口間之貨櫃船可視為一種單元流量，由於在定期航線中，貨櫃船所行駛之路線及沿線之灣靠港為固定，且具有重複繞行之特性，因此，貨櫃船在航運網路中具有流量守恆之性質。而航線設計問題在實質上，即在求解最佳之船舶繞行路線。至於最佳路線，對航商而言，即該航線設計方式之營運總成本(包括船舶、港埠及貨櫃等相關成本)為最低。除了上述的特性之外，多航線的設計問題尚必須考量不同航線之設計間具有互動性，由於各航線均位於同一服務範圍內，因此在載運之貨櫃運量上具有互補或增強之效果，在主航線間，某一航線可以彌補另一航線在某些航段上艙位容量之不足。而在主航線及接駁航線間，則主航線可藉由接駁航線之銜接，收集副港之貨櫃，而增加主航線艙位之利用率。依據上述之論述，若就網路流量問題之類型區分，由於定期貨櫃航線網路問題，同時包含了多條航線之設計，而每一條航線之設計均具有其基本網路架構，因此，若由船流之角度觀之，本問題可視為一多層次、且不同層次之網路間具有互動性之網路設計問題。

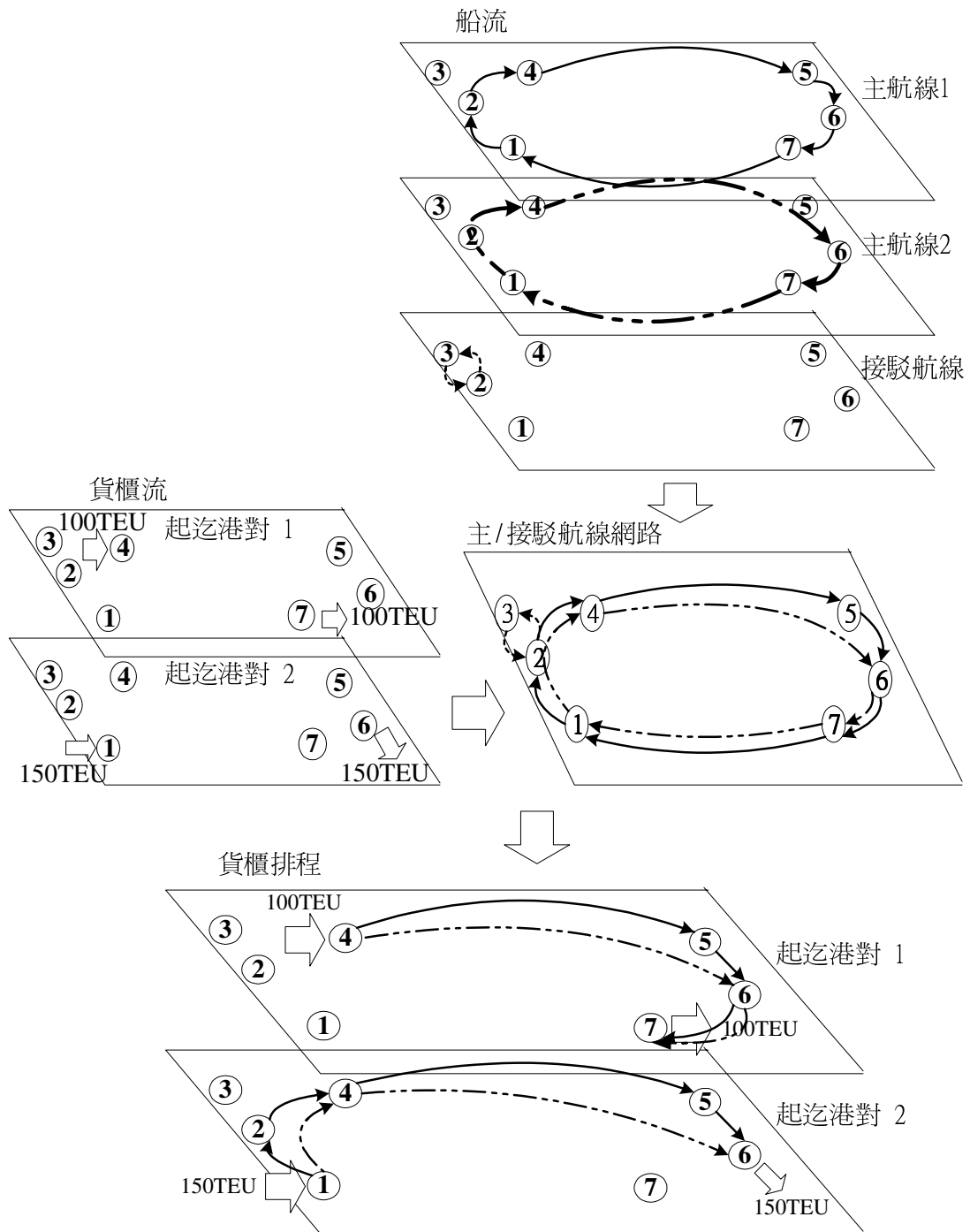


圖 2 定期貨櫃航線網路設計問題之基本概念

因此，結合(1)貨櫃流及(2)船流之分析，本質上，定期貨櫃航線網路設計問題係為一多元商品網路設計問題(multicommodity network design problem)。其目的在於追求多種船流及多種貨櫃流之總成本為最低的航線網路設計方式。若以具有 4 個港口的航運市場為例，其航線網路設計問題之基本網路可示意如圖 3。其中，主航線之候選港口為 A、B、C、D 四個，接駁航線之候選港埠則僅分別有 2 個，即 A 與 B、或 C 與 D(因其服務區域僅限於近洋部分)；此外，假設另有一條聯營航線，其航段及停靠港口為已知(其灣靠港設為 B、C、與 D)。因此，各港口之貨櫃可由轉運節點(即圖中菱形部分)，透過裝卸櫃節線(圖中虛線部分)，連接不同層次航線之港埠節點(圖中圓形及三角型部分)，及其航段節線(圖中實線部分)，包括：主航線、聯營航線、以及接駁航線)，以直接運送或間接轉運之方式，將貨櫃運至迄點港口。

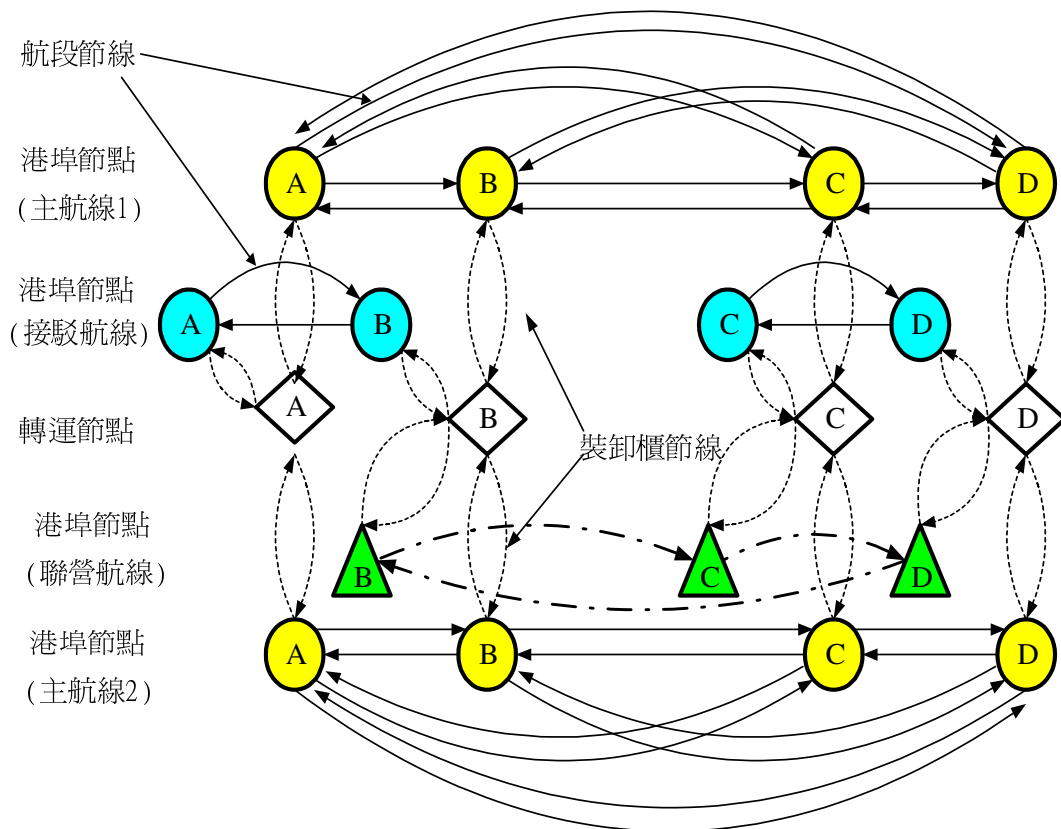


圖 3 貨櫃航線網路設計問題網路示意

圖 3 之網路中雖然包含了主航線、接駁航線、及聯營航線，但實際上，其概念可應用於各種貨櫃航線設計問題，如遠洋航線、近洋航線、接駁航線等航線網路之設計、



指定特定灣靠方式之航線設計、及不同特性航線間之整合性航線網路設計，或航線聯營之分析等。唯在數學模式建立時，需視各種航線設計問題之特性不同，而修正或加入必要之限制式。

## 四、數學模式之構建

本節旨在進行定期貨櫃航線網路設計模式之構建。4.1 節說明模式之基本假設；4.2 節列示並說明本研究之數學模式；4.3 節將透過對主要決策變數意涵，以及模式基本網路架構之說明，進一步闡述數學模式之設計理念。

### 4.1 基本假設

本小節將說明在本研究中，構建定期航線網路設計模式之基本假設，以作為數學模式構建之基礎，茲分述如下：

1. 模式中所設計之航線網路，係屬於多條遠洋定期貨櫃航線及區域內接駁航線之整合性網路。
2. 所有起迄對間之貨櫃運量為已知且固定。
3. 所設計的為一循環性繞行航線網路，船舶之營運即依此一航線網路週而復始，重複繞行灣靠沿線港口。
4. 由於航商多在既有船隊下進行航線設計，且船舶數量不足時，可向市場租用，因此假設各航線所使用的船型為已知，可有足夠的船舶提供服務。
5. 接駁航線只服務同一區域內之港口，而無越洋服務其他區域港口之行為。
6. 基於航線聯營為目前定期航線市場之重要趨勢，因此，模式中同時考量航線聯營之艙位租用因素，即假設市場中存在有其他航商之已知航線，且有額外之艙位可供租用。

### 4.2 數學模式

根據第三節之概念性模式以及 4.1 節之基本假設，定期貨櫃航線網路設計模式之數學式可列示如后(完整之定期貨櫃航線網路設計模式，以及變數與相關符號說明詳見附錄 1、2)：

#### 1. 目標函數

由於海運市場之競爭激烈，未來航線開闢之營運收入因運價之變動頻繁，及其他

諸多因素之影響，並無法詳實掌握。因此，本研究所構建之數學模式，係以航線網路開闢之營運成本最小化為目標，如式(1)所示。式中主要之成本項目包括貨櫃裝卸與運輸成本、航行油料成本與港埠費用、其他固定成本、以及艙位租賃費用等四大部分：

$$\text{Min} \sum_{l \in L} \sum_k \sum_{(i,j) \in A_l} C_{l,ij} X_{l,ij}^k + \sum_{l \in \{l_m \cup l_f\}} \sum_{(i,j) \in A_{ls}} F_{l,ij} Y_{l,ij} + \sum_{l \in \{l_m \cup l_f\}} C_l T_l + \sum_{l \in l_r} S_l Z_l \quad (1)$$

式中第一項， $\sum_{l \in L} \sum_k \sum_{(i,j) \in A_l} C_{l,ij} X_{l,ij}^k$  代表總貨櫃運輸及裝卸成本，其中  $A_l$  表屬於航線  $l$  之所有節線之集合，包含航段節線子集合  $A_{ls}$ 、貨櫃裝櫃節線子集合  $A_{ll}$  及卸櫃節線子集合  $A_{lw}$  (圖 3)，其中  $C_{l,ij}$  表貨櫃流  $X_{l,ij}^k$  流經節線  $(i, j)$  之單位成本，由於節線  $(i, j)$  可能為裝/卸櫃節線或航段節線，因此， $C_{l,ij}$  即代表單位裝/卸櫃成本或運輸成本；而第二項  $\sum_{l \in \{l_m \cup l_f\}} \sum_{(i,j) \in A_{ls}} F_{l,ij} Y_{l,ij}$  則表示所有船舶航行之油料成本及靠港費用，其中， $F_{l,ij}$  參數包括了航段  $(i, j)$  之單位距離的油料成本及港口  $i$  之靠港費用，而上述兩項成本是否發生均決定於航線中是否包含航段  $(i, j)$ ，即  $Y_{l,ij}$  是否為 1。此外，由於所設計之航線具有循環性，因此，對每個航段  $Y_{l,ij}$  其港埠成本僅考慮出發港口，並不影響總成本之計算，因為抵達之港口同樣為下一接續航段之出發港口；目標式之第三項  $\sum_{l \in \{l_m \cup l_f\}} C_l T_l$  表其他固定成本，此部分之成本係與航線整體航程相關者，如船舶使用成本、船員薪資及其他固定成本等；目標式之第四項  $\sum_{l \in l_r} S_l Z_l$  表向其他聯營航商既有航線租用艙位之總成本，其中， $Z_l$  為一決策變數，乃表示向其他聯營航商之既有航線  $l_r$  租用之艙位數， $S_l$  則為單位艙位之租賃成本。在目標式各成本項中，聯營航線之相關成本除了艙位租賃成本之外，尚包括相關變動成本，如第一項之裝卸及運輸成本；至於第二項之油料、靠港成本及第三項之船舶及人員固定成本，並非航線設計航商所需負擔。

## 2. 限制式

### (1) 船流部分

#### a. 船流守恆限制

在一循環性之定期航線網路中，對任一條航線  $l$  而言，航行之船舶必須循序到離各泊靠港，所以，抵達航線上任一港口  $i$  之航段數必等於離開該港口的航段數，意即航線網路中所有的港口均具有船流守恆之性質：

$$\sum_{j:(i,j) \in A_{IS}} Y_{l,ij} - \sum_{j:(j,i) \in A_{IS}} Y_{l,ji} = 0 \quad \forall i \in NP_l, l \in L \quad (2)$$

## b. 港口航運服務限制

定期航線網路上任一港口  $i$ ，至少需被一條航線服務，而該航線可以是主航線或接駁航線，甚至是聯營航線：

$$\sum_{l \in L} \sum_{j:(i,j) \in A_{IS}} Y_{l,ij} \geq 1 \quad \forall i \in NP_l \quad (3)$$

## c. 航線越洋航段數目限制

對航線網路中之任一條主航線  $l \in l_m$  而言，其單向(即去程或回程)之越洋航段數目最多為 1，如式(4-1)及(4-2)所示。其中  $NP_{lw}$  及  $NP_{le}$  分別代表越洋航線網路中，西端港口之子集合及東端港口之子集合，而且  $NP_l = NP_{lw} \cup NP_{le}$ ：

$$\sum_{\substack{i \in NP_{lw} \\ j \in NP_{le}}} Y_{l,ij} \leq 1 \quad \forall l \in l_m \quad (4-1)$$

$$\sum_{\substack{i \in NP_{lw} \\ j \in NP_{le}}} Y_{l,ji} \leq 1 \quad \forall l \in l_m \quad (4-2)$$

## (2) 櫃流部分

## a. 各轉運節點總櫃流守恆限制

對網路中之任一轉運節點  $i \in NT$ ，所有航線流入該節點之櫃數等於流出該節點之櫃數，如式(5)所示。其中，當轉運節點  $i$  對應起迄對  $k$  (OD pair  $k$ ) 貨櫃之起點港時，則有裝櫃(需求)量  $D_i^k \geq 0$ ；相同地，當轉運節點  $i$  對應起迄對  $k$  (OD pair  $k$ ) 貨櫃之迄點港時，則有卸櫃(供給)量  $S_i^k \geq 0$ ：

$$\sum_{l \in L} \sum_{j:(i,j) \in A_l} X_{l,ij}^k - \sum_{l \in L} \sum_{j:(j,i) \in A_l} X_{l,ji}^k = D_i^k \quad \forall i \in NT, k \in K \quad (5)$$

(轉運節點  $i$  對應起迄對  $k$  之起點港)

$$-S_i^k$$

(轉運節點  $i$  對應起迄對  $k$  之迄點港)

0

(轉運節點  $i$  不對應起迄對  $k$  之起/迄點港)

b. 各航線港口節點櫃流守恒

對個別航線而言，其流入某一港口節點之貨櫃數必等於流出該港口節點之貨櫃數，即運抵該港之貨櫃數減卸櫃數加裝櫃數必等於該航線(航班)運離該港之貨櫃數，如式(6)。其中， $K$  為所有的起迄對之集合：

$$\sum_{j:(i,j) \in A_l} X_{l,ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in A_l} X_{l,ji}^k = 0 \quad \forall i \in PN_l, k \in K, l \in L \quad (6)$$

c. 航段容量限制

某一航線所提供之航段容量不可低於流經該航段之所有貨櫃流量之總和，如式(7)所示。其中， $M_{l,ij}$  為航線  $l$  在航段  $(i, j)$  上之艙位容量上限，此一容量限制參數之設定，可在整條航線上之各航段均為相同，或針對不同航段有不同之艙位數額限制：

$$\sum_k X_{l,ij}^k \leq M_{l,ij} Y_{l,ij} \quad \forall (i, j) \in A_{lS}, l \in \{l_m \cup l_f\} \quad (7)$$

d. 聯營航線(租用艙位)容量限制

航商在聯營航線上任一航段之貨櫃裝運量總和，不可超過其在該航線所租用之艙位數  $Z_l$ ，如式(8)。

$$\sum_k X_{l,ij}^k \leq Z_l \quad \forall (i, j) \in A_{lS}, l \in l_r \quad (8)$$

由於租用之艙位係為一種增額容量，在實務上對航線設計具有強化或彌補不足之效果，因此，若就短期性之規劃而言，航商之艙位租用策略與航線之設計或調整，在決策上是具有互動性的。

e. 艙位租用之額度限制

對任一聯營航線，航商可租用之艙位數均有一固定之上限，其數額之多寡主要取決於出租艙位之聯營航商本身之貨櫃運輸需求。

$$Z_l \leq U_l \quad \forall l \in l_r \quad (9)$$

## f. 航程估算限制式

此一限制式之功能，主要在加總各航線之航行時間、靠港時間以及裝卸櫃時間，以估算出航線之總航程，並據以計算每日固定成本，如式(10)所示。其中， $T_{ij}^S$ 、 $T_i$ 、 $T_{ij}^L$ 及 $T_{ij}^U$ 分別代表航段 $(i, j)$ 之航行時間、港口 $i$ 之基本靠泊時間、港口 $i$ 之單位裝櫃時間及單位卸櫃時間等四項參數。

$$T_l = \sum_{(i,j) \in A_{TS}} T_{ij}^S Y_{l,ij} + \sum_{(i,j) \in A_{TS}} T_i Y_{l,ij} + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_{TL}} T_{ij}^L X_{l,ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A_{TU}} T_{ij}^U X_{l,ij}^k \quad \forall l \in \{l_m \cup l_f\} \quad (10)$$

## g. 變數限制式

在各類變數中，貨櫃流變數及艙位租用數變數均屬非負整數，而船流(或航段)變數則為 0-1 變數，如式(11-1)所示：

$$X_{l,ij}^k, Z_l \in N \cup \{0\}; Y_{l,ij} \in \{0,1\} \quad \forall l \in L, k \in K, (i,j) \in A_l \quad (11-1)$$

另外，由於聯營航線之各航段為已知，因此限制相關航段變數之值需為 1，如式(11-2)。

$$Y_{l,ij} = 1 \quad \forall l \in l_r, k \in K, (i,j) \in A_l \quad (11-2)$$

## 4.3 設計理念

## 1. 主要決策變數之意涵

由第 3 節之概念性模式分析可知，航線網路設計問題是一種網路流量問題，因此，本文主要係以網路流量問題之概念構建模式，模式中考量之決策變數雖然有三個，然較主要者仍為代表船流之 0-1 變數 $Y_{l,ij}$ ，以及代表貨櫃流變數之 $X_{l,ij}^k$ 。其中 $Y_{l,ij}$ 為航線 $l$ 在港口 $i$ 與港口 $j$ 航段上之船流，若 $Y_{l,ij}=1$ 則代表有船舶行經此一航段，亦即航線 $l$ 將包含航段 $(i, j)$ 。而 $X_{l,ij}^k$ 則為第 $k$ 個起迄對之貨櫃，在航線 $l$ 之航段 $(i, j)$ 上的載運量。而模式之目的乃在求解航段 $Y_{l,ij}$ 之組合，及各個航段 $Y_{l,ij}$ 上之各個起迄對之貨櫃流量 $X_{l,ij}^k$ ，以使 $Y_{l,ij}$ 及 $X_{l,ij}^k$ 之相關成本總和為最小。根據模式求解所得之決策變數，即可求得最佳之船舶航行路線(即航線或航段組合)及各港埠貨櫃之最佳流動路徑。

## 2. 基本網路架構

在整個問題的基本網路架構之設計上，由於每個候選的港埠均可視為一個節點 $i$ ，而各個節點之間可相互連接形成一條節線，因此，在一個具有 $n$ 個港埠之網路基本架

構下，某一條航線  $l$  之船流變數(或航段節線)  $Y_{l,ij}$  將有  $n(n-1)$  個，若問題中同時設計  $|l_m|$  條主航線及  $|l_f|$  條接駁航線，則此一問題將有  $|l_m + l_f|$  層基本航段網路，意即問題中總計應有  $n(n-1) * |l_m + l_f|$  個  $Y_{l,ij}$  變數。除了港埠節點之外，為使各港埠之貨櫃可以選擇使用不同航線來承運，或各航線上之貨櫃可以互相轉運，並且使問題可表現運輸及轉運過程中在各港所發生之裝卸櫃行為與成本，本研究另針對各個候選港埠  $i$  均加入一轉運節點  $i'$ ，此一節點係透過裝卸櫃節線與  $|l_m + l_f|$  層基本網路之港埠節點  $i$  分別銜接。而某一起迄對  $k$  之貨櫃即由其起點港埠之轉運節點，經由裝櫃節線連接到航段節線所形成之網路，經由某一條航線運輸，直接或再轉由其他航線運至此一  $k$  起迄對貨櫃之迄點港埠，再流經卸櫃節線，抵達迄點港埠之轉運節點。因此，在上述的網路架構下，每一層網路將有  $n(n-1)$  條航段節線，及  $2n$  條裝卸櫃節線，共計有  $[n(n-1)+2n]$  節線。由於每一條節線均有  $|K|$  個  $X_{l,ij}^k$  變數，因此，若問題中之起迄對有  $|K|$  個，則  $|l_m + l_f|$  條航線之網路設計問題，其貨櫃流變數  $X_{l,ij}^k$  將有  $[n(n-1)+2n] * |l_m + l_f| * |K|$  個。此外，若加入聯營航線艙位租用考量因素，則在一有  $|l_r|$  條聯營航線(每條航線假設均由  $m$  個航段及  $p$  個港口所組成)之問題中，其決策變數數目將再增加  $|l_r|$  個  $Z_l$  變數及  $(m+2p) * |l_r| * |K|$  個  $X_{l,ij}^k$  變數( $l \in l_r$ )。以兩條越洋主航線及其接駁航線之航線網路設計問題為例，在港口數  $n = 4$ ，且已有一條聯營航線之航運市場中，其基本之網路架構詳見圖 3。

## 五、模式之測試

為驗證模式之可行性及合理性，本節將設計一航線網路設計問題之簡例，並以假設之數據，代入模式中求解。此外，並進行簡單的敏感度分析，即更動部分參數，以了解其對航線網路設計結果之影響。5.1 節將概述簡例，5.2 節說明模式中相關參數之設定，5.3 節則概述模式之測試結果。

### 5.1 簡例概述

在簡例中，假設航商所服務之航線為遠洋定期貨櫃航線，服務範圍內之港口數為四個，近端區域市場與遠端區域市場均各有兩個港口，而每個港口均需提供服務，服務的方式可以是主航線直靠或透過接駁航線來轉運。以下，茲列點分別說明簡例中之其他假設：

1. 實務上，遠洋航線承運之貨櫃絕大多數為越洋貨櫃，起迄點均在區域內之近洋貨櫃多由近洋航線來服務，故在簡例中，所分析之起迄對貨櫃運量，並不考慮區域內之

需求。

2. 而在設計的航線數方面，假設可同時設計之主航線數目上限為兩條，此外，在近端及遠端區域內，並可同時有一條接駁航線之設計。
3. 假定遠洋主航線所使用的船型均為相同。
4. 市場中已有一條由其他聯營航商營運之越洋航線，該航線有多餘之艙位可供租賃。

綜言之，在簡例中，航商希望能在貨櫃需求型態(各起迄港對之貨櫃需求量)、成本、船型及相關參數為已知之情況下，設計出成本為最低的航線網路。

## 5.2 參數設定

簡例所需之相關參數分別說明如下：

### 1. 貨櫃裝卸成本

假設每一個裝櫃或卸櫃動作之成本均為 30 美元/櫃，且各港均暫訂為相同。

### 2. 基本運輸成本

此項成本與貨櫃運輸之距離有關，其數值如表 1 所示。

表 1 貨櫃基本運輸成本

單位：美元/櫃

起港 \ 迄港	P1	P2	P3	P4
P1	0	10	20	30
P2	10	0	10	20
P3	20	10	0	10
P4	30	20	10	0

### 3. 裝卸時間

每一個貨櫃之平均裝卸櫃時間與碼頭之作業效率有關，基本上，不同的港口之作業效率會有差異。為簡化情形，在簡例中各港之貨櫃裝卸時間，假定均為相同。其計算方式如下：假設每一吊桿平均每小時之作業速度為 25 次裝卸動作，每一次動作可允許吊上或卸下一個貨櫃。而每一艘船假設同時有三個吊桿進行裝卸，即一小時之裝卸速度為 75 次，每次約需時 0.0005-0.0006 日。

## 4. 起迄對之貨櫃需求量(O/D pairs demand)

由於近端區域及遠端區域之港口各有兩個，因此，其間之貨櫃起迄對(考慮雙向)共計有  $2 \times 2 \times 2 = 8$  個。每一個起迄對之編號方式及貨櫃運輸需求如表 2 所示。

表 2 各起迄對之貨櫃運量

單位：櫃

起港 \ 迄港	P1	P2	P3	P4
P1	0	0	500(1)	300(2)
P2	0	0	400(3)	600(4)
P3	200(5)	400(6)	0	0
P4	300(7)	400(8)	0	0

註：( ) 中為該起迄對之編號。

## 5. 各航段油料成本

各航段之油料成本與船舶之船型及該航段之距離直接相關，航段越長，所需之油料成本越高。假設之油料成本如表 3 所示。

表 3 各航段之油料成本

單位：美元

起港 \ 迄港	P1	P2	P3	P4
P1	0	5,000	30,000	32,000
P2	5,000	0	28,000	30,000
P3	30,000	28,000	0	3,000
P4	32,000	30,000	3,000	0

## 6. 各航段基本航行時間

各航段基本航行時間所指為，在一般正常之航行速度，且無其他導致延誤航行之突發狀況下，船舶由出港後到下一港口進港前之平均海上航行時間。簡例中假設之數據如表 4 所示。



表 4 各航段基本航行時間

單位：日

迄港 起港	P1	P2	P3	P4
P1	0	2(3)*	12	14
P2	2(3)	0	10	12
P3	12	10	0	2(3)
P4	14	12	2(3)	0

註\*：( )中為接駁航線船舶之航行日數。

## 7. 港口靠泊基本時間

船舶靠港基本時間係指，船舶進出港之基本引水時間，及在船席上未包括裝卸櫃之其他相關作業時間。簡言之，即灣靠該港最少所須耗費之時間。此一時間通常與各港之港埠條件及港埠作業效率等有關。本研究假設之資料如表 5 所示。

表 5 各港平均靠港時間

單位：日

港口	P1	P2	P3	P4
靠泊日數	0.5	1	0.5	1

## 8. 港埠靠泊費用

船舶每次灣靠港口，均需繳交一定使用費，其費率之高低與港口管理單位之策略或定價、船舶大小及航商是否有專用碼頭等因素有關。簡例中假設之資料如表 6 所示。

表 6 各港靠港費用

單位：美元/次

港口	P1	P2	P3	P4
主航線	10,000	12,000	13,000	11,000
接駁航線	8,000	10,000	11,000	9,000

## 9. 每日固定成本

即航線之營運，每日固定會發生的成本，主要的項目包括：船舶使用成本、船員

薪資及其他平均費用等。簡例中假設遠洋航線部分每日固定成本為 10,000 美元/日，接駁航線為 8,000 美元/日。

#### 10. 各航線之航段容量

各航線之航段容量與該航線所使用之船型有關，簡例中假定遠洋航線之船型均為相同，而各航段之基本容量為 1800 櫃，然假定近洋之區域內航段，部分艙位可能為近洋之貨櫃需求所占用，因此簡例中設定某些航段之容量較基本容量為低。各航段之容量如表 7 所示。

表 7 航線之航段容量

單位：櫃

起港 \ 迄港	P1	P2	P3	P4
P1	0	1,000(300)	1,800	1,800
P2	1,000(300)*	0	1,800	1,800
P3	1,800	1,800	0	1,000(300)
P4	1,800	1,800	1,000(300)	0

註\*：( )中為接駁航線之航段容量。

#### 11. 艙位租用之相關參數

假設市場中有一已知聯營航線，該航線在服務之港口及灣靠次序為 P2-P3-P4-P2，可供租用之艙位數上限為 500 個，而且為便於管理，只能以每 100 櫃為單位出租。至於單位艙位租用成本(slot fee)則為 500 美金/櫃。

### 5.3 運算結果分析

本文以 5.2 節之簡例參數資料為基礎，進行測例之運算；在以下 6 個測例中，除了測例 6 之外，在測例 1~測例 5 中均假設問題中並不考慮艙位租用因素。其中，測例 1 為基本資料之檢測；測例 2 及測例 4 主要在測試貨櫃需求量變化對求解結果之影響；測例 3 在測試接駁航線相關成本變化對航線設計之影響；測例 5 則探討港口靠泊費用及航段容量變化之影響；測例 6 主要在分析考量艙位租用因素下之求解情形。經本文以上一小節之參數資料代入航線網路設計模式，並以數學規劃求解軟體 CPLEX<sup>[10]</sup>加以求解，以測例 1 為例，總計其模式變數有 444 個，限制式有 176 個，結果之分析詳列於測例 1 中。

## 1. 測例 1

在 5.2 節之基本參數條件下，航線網路設計模式經 CPLEX 軟體求解，求解時間為 1.15 秒，最佳化之目標值為 750,000 美元。求解結果只需一條遠洋航線，且不需另設接駁航線，而此一主航線之總航程為 36.1 日。航線中所包含之航段，及各航段上之各起迄對貨櫃運量，如表 8 及圖 4 所示。

表 8 測例 1 之主航線航段及運量

單位：櫃

起迄對 航段	1 (P1→P3)	2 (P1→P4)	3 (P2→P3)	4 (P2→P4)	5 (P3→P1)	6 (P3→P2)	7 (P4→P1)	8 (P4→P2)	航段流量 總計
P1→P2	500	300	0	0	0	0	0	0	800
P2→P3	500	300	400	600	0	0	0	0	1,800
P3→P4	0	300	0	600	0	0	0	0	900
P4→P3	0	0	0	0	0	0	300	400	700
P3→P2	0	0	0	0	200	400	300	400	1,300
P2→P1	0	0	0	0	200	0	300	0	500

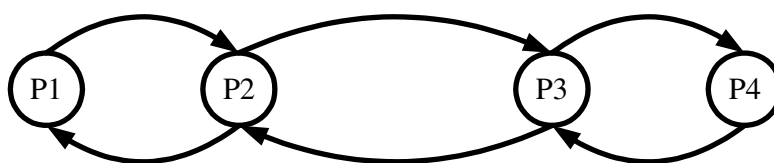


圖 4 測例 1 航線設計結果示意

由測例 1 之求解結果可知，由於單航線之服務已足以滿足各起迄對之貨櫃運輸需求，因此，設計之結果為單一主航線。然由於 P1-P2、P2-P1、P3-P4、P4-P3 等區域內之航段容量之限制，致使船舶在回程時仍須灣靠 P2 及 P3，以載運在去程時無法負擔之裝櫃需求。

## 2. 測例 2

在本例中，仍以 5.2 節之參數設定為基礎，但大幅變動某些起迄港對之貨櫃運輸需求量，以了解需求變化對航線設計結果之影響。唯經測試求解，雖然運量已降低為原來的 1%(起迄對之編號及降低後之運量分別為：1：5，2：3，5：2，7：3)，航線設計之結果仍與範例 1 相同。顯示單以運量降低此一因素，並無法使求解結果出現接駁航線，此係因所有之運量均為越洋之貨櫃需求，故例中至少需有一條越洋主航線來服務，若再採用接駁航線進行區域內之集貨，將可能因而增加額外之成本。

### 3. 測例 3

經測例 2 之分析，發現接駁航線之成本設定過高，應為影響接駁航線是否存在之主要因素之一，因此，在本測例之設計上，先維持測例 1 之運量水準不變，調降接駁航線之每日固定成本及油料成本，以測試其是否將出現接駁航線之設計；然後再測試運量及成本參數同時改變之影響。

- (1) 運量不變，成本改變：測試結果發現，兩項成本參數雖降低至原先之 1% 左右，其求解結果仍與測例 1 相同，顯示設計結果對此兩項成本之變動並不敏感。
- (2) 運量及成本同時改變：在此例中，除運量水準降低外，同時調降接駁航線之每日固定成本及油料成本，以了解其對航線設計結果之影響。經求解，共計需時 0.91 秒，最佳化目標值為 609,365 美元，而主航線及接駁航線之總航程則分別為 28.8 日及 7.6 日，其求解結果如表 9、表 10 及圖 5 所示。

表 9 測例 3 之主航線航段及運量

單位：櫃

起迄對 航段	1 (P1→P3)	2 (P1→P4)	3 (P2→P3)	4 (P2→P4)	5 (P3→P1)	6 (P3→P2)	7 (P4→P1)	8 (P4→P2)	航段流量 總計
P2→P4	50	30	400	600	0	0	0	0	1,080
P4→P3	50	0	400	0	0	0	30	400	880
P3→P2	0	0	0	0	20	400	30	400	850

表 10 測例 3 之接駁航線航段及運量

單位：櫃

起迄對 航段	1 (P1→P3)	2 (P1→P4)	3 (P2→P3)	4 (P2→P4)	5 (P3→P1)	6 (P3→P2)	7 (P4→P1)	8 (P4→P2)	航段流量 總計
P1→P2	50	30	0	0	0	0	0	0	80
P2→P1	0	0	0	0	20	0	30	0	50

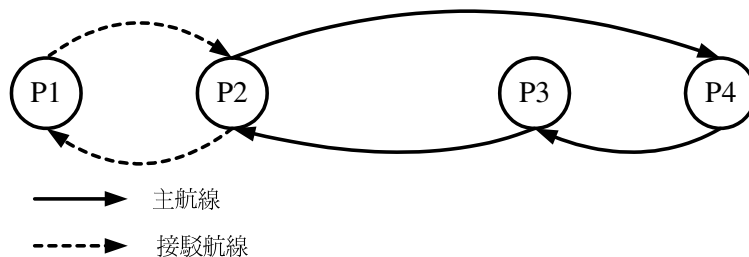


圖 5 測例 3 航線設計結果示意

由此一測試發現，由於以 P1 為起港及迄港之貨櫃需求量減少，在成本及容量的考量上，航商將選擇由容量較低，但成本也相對較低之接駁航線來服務 P1，而非以主航線直接灣靠。此一結果，與實務上航商對某一港口是否以主航線或接駁航線服務之考量頗為吻合。

#### 4. 測例 4

相對於測例 2，本測例主要係透過貨櫃需求量的增加，來檢測模式是否具備同時設計多條主航線之功能。例中將 P1 及 P2 至 P3，以及 P3 至 P1 及 P2(即起迄對 1、3、5、6)之貨櫃運輸需求增為 5.2 節中基本參數之兩倍，經求解得最佳化目標值為 1,165,800 美元，求解時間為 1.52 秒。本例之航線設計結果共有兩條主航線，其航程分別為 30.06 日及 32.12 日。其求解結果如表 11、表 12 及圖 6 所示。

由於本例之運輸需求增加後，越洋航段之運量在去程及回程部分，分別增為 2700 櫃及 1900 櫃，超過單一主航線越洋航段之容量 1800 櫃，因此，本模式在求解時即自動產生第二條主航線，顯示本模式具有航線網路設計之功能。

表 11 測例 4 之主航線航段及運量(航線 1)

單位：櫃

起迄對 航段	1 (P1→P3)	2 (P1→P4)	3 (P2→P3)	4 (P2→P4)	5 (P3→P1)	6 (P3→P2)	7 (P4→P1)	8 (P4→P2)	航段流量 總計
P2→P3	0	0	800	600	0	0	0	0	1,400
P3→P4	0	0	0	600	0	0	0	0	600
P4→P3	0	0	0	0	0	0	0	400	400
P3→P2	0	0	0	0	0	800	0	400	1,200

表 12 測例 4 之主航線航段及運量(航線 2)

單位：櫃

起迄對 航段	1 (P1→P3)	2 (P1→P4)	3 (P2→P3)	4 (P2→P4)	5 (P3→P1)	6 (P3→P2)	7 (P4→P1)	8 (P4→P2)	航段流量 總計
P1→P3	1,000	300	0	0	0	0	0	0	1,300
P3→P4	0	300	0	0	400	0	0	0	700
P4→P1	0	0	0	0	400	0	300	0	700

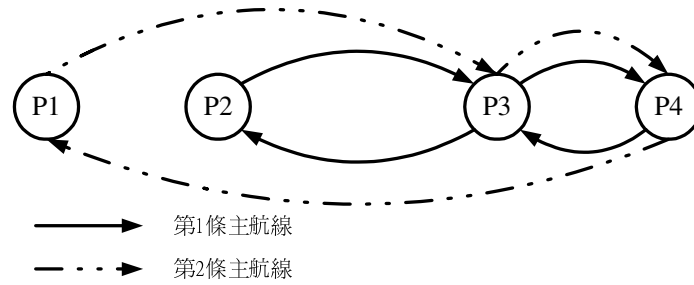


圖 6 測例 4 航線設計結果示意

### 5. 測例 5

在本測例中將進一步探討港口靠泊費用及航段容量變化對航線設計結果之影響。例中，所有參數基本資料均同 5.2 節中之設定，唯港埠 3 之靠泊費用增為美元 20,000/次，且各主航線之航段容量均提升至 1,800 櫃(即在區域內之主航線航段不考量保留部分容量，以供區域內貨櫃運輸使用)，接駁航線各航段則為 1,000 櫃。經 CPLEX 求解，所需時間為 0.94 秒，最佳化之目標值為 709,000 美元，航線之總航程為 34.6 日。求解結果如表 13 及圖 7 所示。

表 13 測例 5 之主航線航段及運量

單位：櫃

起迄對 航段	1 (P1→P3)	2 (P1→P4)	3 (P2→P3)	4 (P2→P4)	5 (P3→P1)	6 (P3→P2)	7 (P4→P1)	8 (P4→P2)	航段流量 總計
P1→P2	500	300	0	0	0	400	0	400	1,600
P2→P3	500	300	400	600	0	0	0	0	1,800
P3→P4	0	300	0	600	200	400	0	0	1,500
P4→P1	0	0	0	0	200	400	300	400	1,300

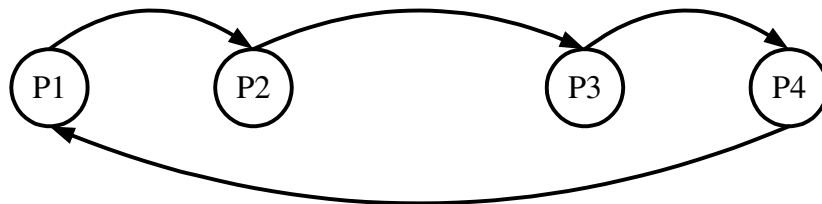


圖 7 測例 5 航線設計結果示意

由本測例與測例 1 之求解結果相比對，可知由於 P3 之靠港費用增加，及主航線在區域內之容量由 1000 櫃增為 1800 櫃，因此，航線設計結果，從原本範例 1 在去回程均靠 P3，改為只在去程停靠，而由 P3 欲運往 P1 及 P2 之貨櫃則在船舶第一次灣靠時即同時裝船。由此一求解結果，亦反映了實務上，在船舶艙位容量足夠之情形下，航商將儘量避免於同一航次中重複泊靠某一港口之情形，一方面可節省灣靠成本，更重要的，可以縮短航線整體航程，以提升服務水準。

## 6. 測例 6

本例主要在測試本模式在進行航線設計時，是否可同時考量聯營航線之艙位互租行為。例中假設服務市場中已有其他航商之航線存在，且該航線有部分之艙位可供租用，因此，對於正進行航線設計之航商而言，除了本身航線所提供之容量外，是否應另向其他航商租用艙位或加開航線？租用之額度為多少才能滿足需求？此等問題均為航線設計時應同時加以考量的。本例除以 5.2 節之相關參數為基礎外，另假設航商之貨櫃運輸需求在 P2 至 P3 起迄對部分增加 500 櫃，P4 至 P2 起迄對部分增加 300 個。經 CPLEX 求解得最佳化之目標值為 1,048,400 美元，求解時間為 1.44 秒，其航線設計結果為單一航線，繞行方式為 P1-P2-P3-P4-P2-P1，航程為 35.24 日。此外，在艙位租用之決策上，向其他聯營航商租用之艙位數為 500 個。求解結果如表 14、表 15 及圖 8 所示。

表 14 測例 6 之主航線航段及運量

單位：櫃

起迄對 航段	1 (P1→P3)	2 (P1→P4)	3 (P2→P3)	4 (P2→P4)	5 (P3→P1)	6 (P3→P2)	7 (P4→P1)	8 (P4→P2)	航段流量 總計
P1→P2	500	300	0	0	0	0	0	0	800
P2→P3	500	300	900	100	0	0	0	0	1,800
P3→P4	0	300	0	100	200	400	0	0	1,000
P4→P2	0	0	0	0	200	400	300	200	1,100
P2→P1	0	0	0	0	200	0	300	0	500

表 15 測例 6 聯營航線各航段使用艙位數

單位：櫃

起迄對 航段	1 (P1→P3)	2 (P1→P4)	3 (P2→P3)	4 (P2→P4)	5 (P3→P1)	6 (P3→P2)	7 (P4→P1)	8 (P4→P2)	航段流量 總計
P2→P3	0	0	0	500	0	0	0	0	500
P3→P4	0	0	0	500	0	0	0	0	500
P4→P2	0	0	0	0	0	0	0	500	500

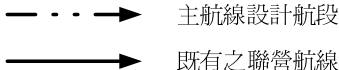


圖 8 測例 6 航線設計結果示意

由上述之求解結果可知，在本例之參數設定下，航商將只設計及開闢一條主航線，並向其他聯營航線租用 500 個艙位，以彌補航線容量之不足。然經本文進一步測試求解，發現當單位艙位租用成本超過 590 美金/櫃時，航商將不再向聯營航商租用艙位，而選擇另闢一條主航線。上述內容合理地反映了實務上之考量，即當越洋航段之運量需求超過單一航線之容量時，若其超額之需求量不大，未達某一經濟規模，或艙位租用成本不高，則相較於另闢航線所需負擔之龐大固定成本(船舶、人員成本)、油料成本及靠港費用等，顯然以向聯營航商租用艙位之方式較經濟。反之，如果超額運輸需求量或單位艙位租用成本過高，則權衡之下，將可能以加開航線之方式較為划算。由上述之分析可知，本模式之運算結果所反映之現象尚稱合理。

## 5.4 小結

根據簡例中 6 個測例之運算結果分析，在不同的成本、航段容量及運量參數之設定下，本研究之模式均可求得最佳解，且依據模式所選擇之航段，均可組成循環性之航線，切合定期航線營運特性，因此，顯示本文所構建之模式應用在航線網路設計問題應屬可行。而就各測例之求解結果，對照該測例之參數設定觀之，其結果大致上均可反映成本參數(如靠港費用)、航段容量限制、起迄港對運輸需求量、以及聯營之艙位租用等因素變化對航線設計之影響，且其結果均在合理範圍。換言之，根據上述之測試結果，本文所構建之定期貨櫃航線網路設計模式應屬合理。

若進一步對照簡例測試結果及模式設計之構想，發現在接駁航線成本降低之情形下，航線網路將出現接駁航線之需求(如測例 3)，由此可知，本研究之模式可以達到同時設計越洋主航線及接駁航線之構想。反之，若大幅增加貨櫃需求，模式之求解結果將出現兩條主航線(如測例 4)，因此，本模式亦具有同時設計多條主航線的功能。此外，當港口靠泊費用及航段容量變化時，本模式亦能合理反映其對靠泊行為之影響(如測例



5)。而當貨櫃需求量之增加有限，尚未達另闢新航線之經濟規模，或艙位租用成本較低時，則可能採艙位租用之方式來滿足需求(如測例 6)，因此本模式亦具有同時分析航線設計及聯營艙位租用之能力。綜言之，本研究之定期航線網路設計模式，應可有效的協助實務航線設計作業，尤其是多航線之設計或航線互動性之分析。

## 六、結論與建議

### 6.1 結論

本文經以上之分析，可獲致以下結論：

1. 由於海運市場之供給遠大於需求，造成定期市場之激烈競爭，使得航商之結盟或航線聯營成為一種趨勢。而在這樣的市場環境中，航商對航線之設計，將逐漸趨向精緻化，甚至發展成航線網路。因此，未來在航線設計時，同時設計多條航線或考量多條航線間互動之要求，將可能更加殷切。
2. 以往的研究中，有關定期貨櫃之航線設計者並不多見，且所探討之主題多限於單一航線之設計，本研究利用網路流量問題之觀念，建立一多航線或航線網路設計模式，可同時處理多條航線之設計問題。透過模式可以分析不同航線間之互動行為，將有助於實務上航商之航線規劃工作及相關之營運分析。
3. 本研究認為，定期航線網路設計問題，本質上是屬於一種同時考量船流及貨櫃流之網路流量問題。由於網路設計時，必須考量不同起迄對之貨櫃運輸需求，而每一個起迄對之貨櫃在網路上之流動可以視為一單元商品網路流量問題，因此，定期航線網路設計問題應屬於一多元商品網路設計問題。
4. 本研究之模式，是一網路流量模式，其基本之架構可適用於不同特性之航線網路設計，唯在實際應用時，需視該航線之特性，考量加入必要之限制式，如繞行方式限制、船舶容量限制、母港灣靠限制及艙位租用限制等等。
5. 本研究之航線設計模式，同時考量主航線網路及其接駁航線之設計。因此，是一種整合性之航線網路設計模式，透過模式，可協助航商以較有效率之方式分析整個目標航運市場之航線布設，以探討不同布設方式之成本差異。
6. 除了基本的航線設計外，本文所建立之模式亦可同時考量航線聯營之因素，即本模式可同時求解航線設計及艙位租用策略。

7. 在模式測試上，本研究以假設性之資料套入模式，進行遠洋定期航線網路之設計，共計測試 6 種範例，以分析不同參數之變化對設計結果之影響，而其求解結果，證實本模式均可順利運作求得最佳解，且其解答比對實務上之經驗，仍具有合理性。

## 6.2 建議

1. 研究中缺乏航商實際資料之驗證分析，未來應進一步以實務資料來進行模式之驗證，並了解當航線設計問題規模變大之後，在求解上可能面臨之困難，並研提合適的求解方法。
2. 除成本外，利潤也是航商規劃航線之考量因素，唯航線規劃係屬於一種中期之戰略性規劃課題，因此，研究中將市場之需求視為固定，即假設運費收入為固定，而求營運成本之最小化。後續之研究應可進一步在模式中納入對利潤之考量，或考量航線設計之變化，對市場需求之影響。
3. 在模式限制式中，雖考量航線設計之必要因素，但仍有部分實務性因素未納入考量，如航線週班服務(weekly service)等，後續研究宜納入考量。

## 參考文獻

1. Ronen, D., "Cargo Ships Routing and Scheduling: Survey of Models and Problems", *European Journal of Operational Research*, Vol. 12, 1983, pp. 119-126.
2. Cho, S. C. & Perakis, A. N., "Optimal Liner Fleet Routing Strategies", *Maritime Policy and Management*, Vol. 23, No. 3, 1996, pp. 249-259.
3. Rana, K. and Vickson, R. G., "A Model and Solution Algorithm for Optimal Routing of a Time-chartered Containership", *Transportation Science*, Vol. 22, 1988, pp. 83-95.
4. 陳春益，張永昌，「航商選擇定期貨櫃航線泊靠港之探討」，國家科學委員會研究彙刊：人文及社會科學，第 7 卷第 3 期，民國八十六年，頁 438-444。
5. 彭信坤，「航商對於船舶泊港及其裝卸量選擇分析」，運輸計劃季刊，第十二卷第四期，民國八十二年，頁 511-522。
6. 董孝行，「貨櫃船最適船型之研究」，運輸計劃季刊，第十五卷第三期，民國七十五年，頁 435-459。
7. 許志成，「定期貨櫃船舶排程計畫研究」，中央大學土木工程研究所碩士論文，民國八十六年六月。
8. Robinson, R., "Asian Hub/Feeder Nets: The Dynamics of Restructuring", *Maritime Policy*

*Management*, Vol. 25, No. 1, 1998, pp. 21-40.

9. 楊士毅，「定期貨櫃航商聯營對選擇泊靠港之影響研究」，成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十八年六月。
10. CPLEX Optimization Inc., *Using the CPLEX Callable Library*, Version 4.0, 1995-1998.

## 附錄 1 定期貨櫃航線網路設計模式數學式

$$\text{Min. } \sum_{l \in \{l_m \cup l_f\}} \sum_k C_{l,ij} X_{l,ij}^k + \sum_{l \in \{l_m \cup l_f\}} \sum_{(i,j) \in A_{IS}} F_{l,ij} Y_{l,ij} + \sum_{l \in \{l_m \cup l_f\}} C_l T_l + \sum_{l \in l_r} S_l Z_l \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j:(i,j) \in A_{IS}} Y_{l,ij} - \sum_{j:(j,i) \in A_{IS}} Y_{l,ji} = 0 \quad \forall i \in NP_l, l \in L \quad (2)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{j:(i,j) \in A_{IS}} Y_{l,ij} \geq 1 \quad \forall i \in NP_l \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{i \in NP_{hw} \\ j \in NP_{le}}} Y_{l,ij} \leq 1 \quad \forall l \in l_m \quad (4-1)$$

$$\sum_{\substack{i \in NP_{hw} \\ j \in NP_{le}}} Y_{l,ji} \leq 1 \quad \forall l \in l_m \quad (4-2)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{j:(i,j) \in A_l} X_{l,ij}^k - \sum_{l \in L} \sum_{j:(j,i) \in A_l} X_{l,ji}^k = D_i^k \quad \forall i \in N, k \in K \quad (5)$$

$$-S_i^k$$

$$0$$

$$\sum_{j:(i,j) \in A_l} X_{l,ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in A_l} X_{l,ji}^k = 0 \quad \forall i \in PN_l, k \in K, l \in L \quad (6)$$

$$\sum_k X_{l,ij}^k \leq M_{l,ij} Y_{l,ij} \quad \forall (i,j) \in A_{IS}, l \in \{l_m \cup l_f\} \quad (7)$$

$$\sum_k X_{l,ij}^k \leq Z_l \quad \forall (i, j) \in A_{IS}, l \in l_r \quad (8)$$

$$Z_l \leq U_l \quad \forall l \in l_r \quad (9)$$

$$T_l = \sum_{(i,j) \in A_{IS}} T_{ij}^S Y_{l,ij} + \sum_{(i,j) \notin A_{IS}} T_i Y_{l,ij} + \sum_k \sum_{(i,j) \in A_{IL}} T_{ij}^L X_{l,ij}^k + \sum_k \sum_{(i,j) \in A_{IU}} T_{ij}^U X_{l,ij}^k \quad \forall l \in \{l_m \cup l_f\} \quad (10)$$

$$X_{l,ij}^k \in N \cup \{0\} ; Y_{l,ij} \in \{0,1\} \quad \forall l \in L, k \in K, (i, j) \in A_l \quad (11-1)$$

$$Y_{l,ij} = 1 \quad \forall l \in l_r, k \in K, (i, j) \in A_l \quad (11-2)$$

## 附錄 2 模式變數、參數符號說明

符 號	說 明
決策變數	$X_{l,ij}^k$ 貨櫃流變數，表第 $k$ 起迄對之貨櫃，在航線 $l$ 航段 $(i, j)$ 上之流量
	$Y_{l,ij}$ 船流變數，表航線 $l$ 在航段 $(i, j)$ 上之船舶流量
	$Z_l$ 艙位租用變數，表在聯營航線 $l (l \in l_r)$ 上租用之艙位數量
參數	$C_{l,ij}$ 表單位貨櫃流經航段 $(i, j)$ 之成本，即單位運輸成本或裝卸成本
	$F_{l,ij}$ 表航線 $l$ 之船舶行經航段 $(i, j)$ 之油料成本及港埠成本
	$T_l$ 表航線 $l$ 單一航次之繞行總航程
	$C_l$ 表單位時間之固定成本，主要包括船舶使用成本、船員薪資等等
	$S_l$ 表聯營航線 $l (l \in l_r)$ 之單位貨櫃艙位租賃成本
	$T_{ij}^S$ 表航段 $(i, j)$ 之航行時間
	$T_i$ 表港口 $i$ 之基本靠泊時間
	$T_{ij}^L$ 表港口 $i$ 之單位裝櫃時間
	$T_{ij}^U$ 表港口 $i$ 之單位卸櫃時間
	$M_{l,ij}$ 表航線 $l$ 在航段 $(i, j)$ 上之貨櫃艙位容量上限
	$U_l$ 表聯營航線 $l (l \in l_r)$ 可供租賃之艙位數上限
	$D_i^k$ 表第 $k$ 起迄對之貨櫃在港口 $i$ 之裝櫃(需求)量
	$S_i^k$ 表第 $k$ 起迄對之貨櫃在港口 $i$ 之卸櫃(供給)量
	$k$ 表貨櫃起迄港對之上標
上下標及集合符號	$l$ 表所有航線之下標
	$i, j$ 表港口節點或轉運節點之下標
	$(i, j)$ 表起點為 $i$ 迄點為 $j$ 之節線
	$K$ 表所有起迄港對之集合
	$L$ 表所有航線之集合，其包括 $l_m$ 、 $l_f$ 及 $l_r$ 三個子集合
	$l_r$ 表所有聯營航線之集合
	$l_m$ 表主航線子集合
	$l_f$ 表接駁航線子集合
	$A_l$ 表航線 $l$ 之基本網路架構中，所有節線之集合， $A_l = A_{lS} \cup A_{lL} \cup A_{lU}$
	$A_{lS}$ 表航線 $l$ 之基本網路架構中，航段節線之子集合
	$A_{lL}$ 表航線 $l$ 之基本網路架構中，裝櫃節線之子集合
	$A_{lU}$ 表航線 $l$ 之基本網路架構中，卸櫃節線之子集合
	$N$ 表所有節點所成之集合
	$NP_l$ 表航線 $l$ 之基本網路架構中，所有港口節點之集合
	$NP_{lw}$ 表航線 $l$ 之基本網路架構中，越洋航線西端港口節點之集合
	$NP_{le}$ 表航線 $l$ 之基本網路架構中，越洋航線東端港口節點之集合
	$NT$ 表所有轉運節點所成之集合

實 務 篇

APPLICATIONS

# 捷運鐵路列車延滯事件發生後行車調度 策略之模擬分析

## A SIMULATION STUDY ON RESCHEDULING STRATEGIES OF A RAIL TRANSIT LINE WITH A PRIMARY DELAY

李治綱 Chi-Kang Lee<sup>1</sup>

陳朝輝 Chao-Hui Chen<sup>2</sup>

簡聰裕 Tsung-Yu Chien<sup>3</sup>

(89 年 11 月 29 日收稿，90 年 5 月 14 日修改，91 年 3 月 14 日定稿)

### 摘 要

捷運鐵路經常發生一些隨機性之小事件，並造成某列車之主要延滯，接者將影響後續列車的運行，形成延滯擴散現象，因而對旅客與鐵路營運人員產生極大的不便，因此事件發生後之行車調度十分重要。本研究發展一個事件導向的模擬程式，在已知列車運行計畫、旅客各時段起迄需求量、鐵路路線及場站資料下，模擬列車之運行、到站、停車、離站等運作，而得到列車運行結果；本模式同時可以模擬旅客之到站、月台等候、上車、與下車離站之旅行過程。利用此模擬模式，本研究探討某日上午尖峰正常運行及外生事件發生後的列車運行績效，並探討事件發生時採取各種行車調度策略的運行績效。系統績效指標包括：旅客觀點之平均旅行時間與列車乘載率差異，及行車調度人員觀點之延滯列車站數與系統延滯時間等。而運轉整理策略包含：站間趕點與月台趕點之趕點策略、抓前車與抓後車之間距控制策略、及刪除列車策略。本研

- 
1. 國立成功大學交通管理科學系教授(聯絡地址為 701 台南市大學路 1 號成功大學交通管理科學系，E-mail:cklee@mail.ncku.edu.tw)。
  2. 逢甲大學交通工程與管理學系講師。
  3. 國立成功大學交通管理科學系碩士。

究以淡水線之實際資料，針對尖峰時刻於起站發生的一個主要延滯事件進行測試，發現對旅客與營運人員而言，運轉整理都可以有效地增進列車運行績效。

**關鍵詞：**行車調度；都市鐵路；系統模擬

### ABSTRACT

*The paper presents a simulation model to investigate the rescheduling operation of a rail transit line with a disturbance, such as the technical failure of an operation device. Rescheduling operation is vital for a rail line under abnormal condition, because a primary delay of one train may cause severe consequent delays for the following trains. This study develops an event-oriented model to simulate the flows of train traffic and passenger traffic, under either the normal operation condition or the abnormal condition with rescheduling operation. Three types of rescheduling operations are considered: (1) speed and time control to reduce regular dwell time and/or running time; (2) holding the preceding and/or succeeding train to regulate headway; and (3) cancellation the operation of delayed trains. Four criteria are used to evaluate the performance of rescheduling operation: (1) the average travel time; (2) the load factor difference; (3) the number of delayed trains; and (4) the total delay time of system. A case study of Tamshui line with a primary delay is conducted to demonstrate the effectiveness of the model and to show various observations for the rescheduling operation.*

**Key Words:** Rescheduling; Rail rapid transit; System simulation

## 一、緒 論

### 1.1 行車調度問題

在大眾運輸導向(transit-oriented development)之發展下，都會區由一些大眾運輸走廊構成一個有活力之有機結構體。運輸走廊之捷運車站附近有著高就業密度、高訪客密度、與高居住密度之土地使用，如辦公大樓、百貨公司、活動中心、醫院、大型住宅公寓等。為了滿足人們全日內沿著運輸走廊有效率地從事社會經濟活動之需要，都市捷運鐵路通常是大眾運輸走廊之動脈，負責提供頻率高、容量高、平均速度高、與可靠性高之運輸服務<sup>[1,2,3]</sup>。上述之高服務水準是捷運鐵路設計時必須考量之系統特性，而高績效之捷運鐵路系統必須依賴平日有效之營運工作，亦即離線之營運規劃與即時之營運調度等。



離線之營運規劃工作包括：時刻表與運行圖之研擬、列車運用與指派計畫、乘務人員排班與輪班計畫、終點站或調車場之軌道使用計畫等<sup>[4,5]</sup>。上述計畫是每日營運工作之依據。但當系統發生任何事件或事故時，如號誌故障、煞車故障、轉轍器故障、電力中斷、人員或物品掉落軌道、車門無法關閉等，上述計畫必須作即時之修改。舉例而言，波士頓之捷運鐵路經常發生一些 10 至 20 分鐘之小事故<sup>[6]</sup>；車門無法關閉事件，台北捷運公司每週也可能會發生 1 至 2 次。所以，先進國家也將捷運鐵路即時營運調度問題之探討，與即時營運調度系統之發展，列為先進大眾運輸系統(advanced public transportation systems, APTS)中優先之重點項目<sup>[7]</sup>。即時之營運調度內容包括：時刻表與運行圖變動之行車調度、列車運用與指派變動之車輛調度、與乘務人員排班變動之人員調度等。

圖 1 之範例旨在說明時刻表或列車運行變動之影響，其中實線表示列車之運行計畫，虛線表示列車實際運行結果。假設 B 列車於  $m+1$  站因車門故障發生 3 分鐘延滯，此為首度事件延滯(primary delay)；則 B 列車與前一班 A 列車在  $m+1$  站之發車班距增加了 3 分鐘，在  $m+1$  車站搭乘 B 列車之旅客人數將較正常情形下增加。但是，在  $m+1$  站搭乘下一班 C 列車之旅客人數，因發車班距減小而較正常狀況減少。當 B 列車到達  $m$  站時，因 A 列車與 B 列車之班距增加 3 分鐘，站上等候搭乘 B 列車之旅客較正常為多，且 B 列車於  $m+1$  站上車人數較多，B 列車需要較正常狀況下更多之停站時間來上下旅客，所以在  $m$  站 A 列車與 B 列車之發車班距再度增長，而且 B 列車與 C 列車之發車班距再度減小。上述問題到  $m-1$  站會更加嚴重，如圖中因為延滯的 B 列車在  $m-1$  站尚未離站，使得 C 列車無法按照時刻表中計畫時間到站，而造成 C 列車在  $m-1$  站的延滯，此為事件衍生延滯(knock-on delay)。由上述範例中可以發現，因某站某列車之延滯，將造成該列車與後續列車於後續車站之延滯擴散。因此，當事故或延滯發生時，如何透過適當的行車調度策略，抑制延滯之擴散或消除延滯，讓旅客受到的影響降至最低，是重要的研究課題。

## 1.2 文獻回顧

行車調度之國內外相關研究不多，而且多集中於巴士系統，只有極少數之鐵路系統研究。巴士之行車調度以暫停(holding)策略為最常見之研究課題。例如 Abkowitz 以旅客總等候最小為目標式，探討旅客等候時間與巴士車輛間距(headway)的關係，決定巴士作暫停之最佳間距門檻(optimal threshold headway)與作暫停之車站；結果顯示巴士暫停策略可以減少 5%至 15%之旅客等候時間，暫停之地點宜選在高需求之車站前<sup>[8]</sup>。不過，在英國 Koffman 之另一項模擬研究，卻顯示巴士暫停策略沒有效果<sup>[9]</sup>。馳

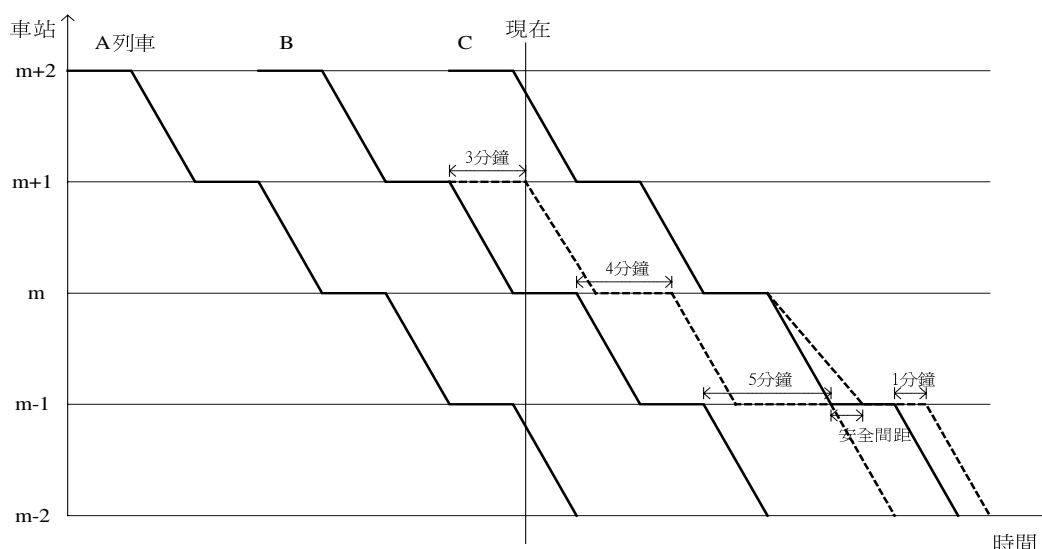


圖 1 時刻表變動範例

援(deadheading)、過站不停(expressing)、早歸(short-turning)等策略是在近年有了即時資訊技術後，方可以即時考量之行車調度手段；早期這些名詞之討論，經常只是跳站式(station skipping)班表規劃之內容，亦即某些馳援、過站不停、或早歸等班車，每日同時間會重複出現<sup>[10]</sup>。

都市鐵路自動化程度不斷提高，自動列車保護(automatic train protection, ATP)、自動列車控制(automatic train control, ATC)、自動列車行車(automatic train operation, ATO)等系統都有長足之進步，對於列車速率之控制是這些系統之主要功能<sup>[11]</sup>。因此，在路權不受外界干擾之鐵路系統，速度控制(speed control)或俗稱之「趕點」是鐵路實務界，對延滯發生時最常用之行車調度方法<sup>[12]</sup>。此外，將行控中心優秀調度員之行車調度經驗，彙整規則為即時決策支援之專家系統，一直是鐵路實務界認為比較可靠與實用之方法<sup>[13]</sup>。對於用列車暫停以恢復班距規律之策略，Levene 在倫敦地鐵之模擬研究中，發現效果十分有限<sup>[14]</sup>。Özekici 提出混合策略，該策略將延滯時間由兩個臨界值 K 與 L 區分成三種狀況；當延滯小於 K 值，列車仍然依時刻表發車並以正常速率運行；當延滯介於 K 和 L 兩值之間時，依時刻表發車後以趕點策略運行；當延滯大於 L 值時，將受延滯事件影響之列車從時刻表上刪除，直到下一班次發車時間準時發車<sup>[15]</sup>。針對先進之大眾運輸系統(APTS)，需要有效之分析模式成為即時行車調度決策支援系統之核心，O'Dell, et al.與 Eberlein, et al.採用確定性之混合整數規劃模式，考量暫停、早歸、過站不停、馳援等之行車調度策略，發展演算法快速求解；研究顯示該模式可以快速

求得結果，且預期可以減少 15%至 50%之旅客之等候時間<sup>[6,16]</sup>。

關於行車調度之策略分析，不論是對巴士系統或都市鐵路系統，都沒有一致之結論；例如暫停策略，就有好與不好的不同研究結果。因此，文獻之現況對於國內捷運鐵路之行車控制策略發展，尚難有直接之幫助。文獻之研究中分別對許多因素作簡化之假設，因系統績效之相關因素眾多，故很難比較與得知各項假設之影響。若期望探討行車調度之實務意義，在沒有相關之基礎研究之前，以模擬分析方法較為合適。該法可以直接針對列車流與旅客流，模擬號誌系統特性、旅客上下車行為、調度員之行車調度等，故可以逼真地反映實務系統狀況。即使無法獲得一般性結論，但可以針對國內系統分析而獲得實務應用之成果。關於列車流之模擬方面，Lee 直接模擬列車連續之運行，以探討最小班距等系統特性課題<sup>[17]</sup>；Carey 以列車離站與進站等離散之事件進行模擬，亦即列車推進是以跳躍的方式前進<sup>[18]</sup>；李治綱等考慮列車站間運轉時間或停站時間之隨機特性，以隨機模擬方式分析時刻表之可靠性<sup>[19]</sup>。關於旅客流之模擬方面，旅客上下車時間之估計是一項重點，雖然預期上下車時間受上下車人數與車上人數之非線性影響，但實務校估結果常仍只是線性關係<sup>[20]</sup>；旅客到站型態是另一項重點，在各時段起迄點需求資料已知下，簡單之均一分配(uniform distribution)是常用之方式<sup>[21]</sup>。

### 1.3 研究目的與論文組織

本研究之目的在發展捷運鐵路運行時刻表之模擬模式，期能據之分析台北捷運系統之運行班表，並探討行車調度問題。由 1.1 節中對行車調度問題之描述可知，模擬模式之內容必須包括：列車流、旅客流、與行車調度機制；分析結果必須反映旅客旅行時間等服務水準，與營運者調度工作量等系統績效。模擬模式之架構、功能、與內容，將於第二節中詳細說明。模擬模式之測試採用台北捷運公司淡水線之資料，針對早上尖峰時間進行模擬，測試結果將陳述於第三節中。最後，本研究之結論與建議條列於第四節。

## 二、模擬模式

### 2.1 模式架構

模擬時刻表或列車運行圖之實際運行績效，主要輸入是計畫之時刻表，主要輸出是實際時刻表，二者間之關係則反映系統績效。本研究之模擬模式將用來分析在列車

延滯發生時，執行行車調度之影響。系統績效指標包括：(1)旅客觀點之「平均旅行時間」與「擁擠指標」，及(2)行控人員觀點之「延滯列車數」與「系統總延滯時間」。因此，本研究模擬模式之內容必須包括三大部分：(1)列車流之模擬、(2)旅客流之模擬、及(3)行車調度手段之模擬。模式除了應充分反映各部分內各元素之關係，也必須適當地結合此三部分以反映各部分間之關係。簡言之，本研究之模式架構如圖 2 所示，其三大部分之內容則分別描述如後。

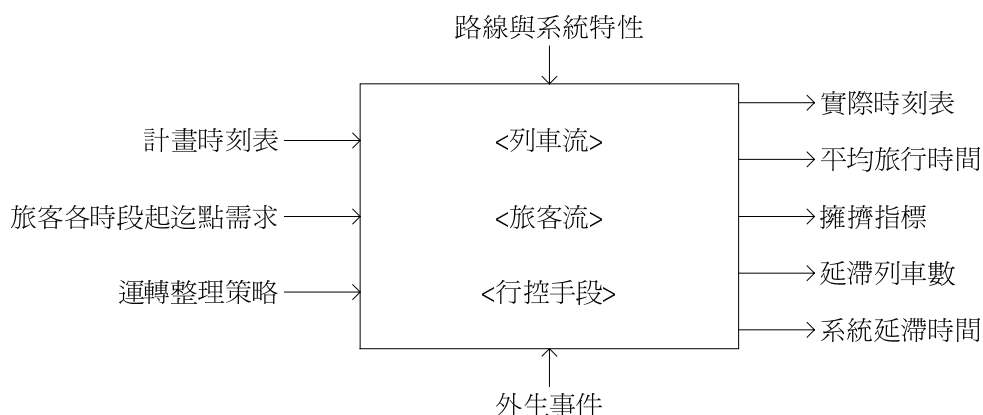


圖 2 時刻表模擬模式之架構

## 2.2 列車流之模擬

模擬列車運行之目的在估算實際之時刻表，亦即： $j$  列車  $i+1$  站實際到站時間 ( $AAT_j^{i+1}$ )，與  $j$  列車  $i$  站實際離站時間 ( $ADT_j^i$ )。對於都市鐵路，因為複線(double track)運行，站內無待避側線(passing loop)與橫渡線(crossing)，列車間無對向會車與同向錯車等行為，需要模擬者僅為跟車行為。

列車間到站關係的規則可以整理如下：

$$AAT_j^{i+1} = \text{Max}(CAT_j^{i+1}, ADT_{j-1}^{i+1} + h^{i+1}) \quad (1)$$

$$CAT_j^{i+1} = ADT_j^i + ART_j^{i,i+1} \quad (2)$$

$$ART_j^{i,i+1} = f(CRT_j^{i,i+1}, CON) \quad (3)$$

(1)式表示  $j$  列車到  $i+1$  站之時間，為估計到站時間  $CAT_j^{i+1}$  與前車離站安全間隔  $ADT_{j-1}^{i+1} + h^{i+1}$  後之較大值。如果站內有其他側線時，此跟車公式在有錯車可能性下與多部列車待避可能性下，必須大幅更改。(2)式說明估計到站時間  $CAT_j^{i+1}$  等於前站離站

時間  $ADT_j^i$  與站間運轉時分  $ART_j^{i,i+1}$  之和。(3)式說明站間運轉時分  $ART_j^{i,i+1}$  受到估算之站間運轉時分  $CRT_j^{i,i+1}$ ，及行車調度與控制  $CON$  等因素之影響。例如，都市鐵路列車在準點時常用有滑行(coasting)之經濟運轉時分，在誤點時則用最小運轉時分運行。

列車間離站關係之規則整理如下：

$$ADT_j^i = \text{Max}(CDT_j^i, PDT_j^i) \quad (4)$$

$$CDT_j^i = AAT_j^i + ABT_j^i \quad (5)$$

$$ABT_j^i = g(CBT_j^i, CON) \quad (6)$$

(4)式表示實際離站時間  $ADT_j^i$  為估計離站時間  $CDT_j^i$  與計畫離站時間  $PDT_j^i$  之較大值。如果列車  $j$  與其他列車間有會車或錯車關係，則(4)式必須做大幅變動。(5)式陳述估計離站時間  $CDT_j^i$  等於到站時間  $AAT_j^i$  加上實際停站時間  $ABT_j^i$ ，其中，停站時間  $ABT_j^i$  之內旅客可以上下車。(6)式說明實際停站時間  $ABT_j^i$  受到估算停站時間  $CBT_j^i$ ，及行車調度與控制  $CON$  等因素之影響。例如，尖峰時段月台候車旅客很多， $CBT_j^i$  值很大，但在站務人員協助下，可只給予某一固定上車時間。

本研究列車流之模擬以事件導向(event oriented)方式處理，列車事件的定義有到站事件和離站事件。以圖 3 列車運行圖之範例而言，在節點 1 由(4)、(5)、(6)式之到站模組，可以模擬列車至節點 2 之出發狀態；在節點 2 由(1)、(2)、(3)式之離站模組，可以模擬列車至節點 3 之到達狀態。因此，列車流之模擬在事件導向概念下，依照各列車在各車站之進站事件或離站事件發生時間的先後順序，依次進行模擬，一直到所有列車均到達終點站為止。但是事件模擬之順序不能只考慮其事件之開始時間，例如，圖 3 節點 6 之時間較節點 3 之時間早，計算離站事件(節點 6→節點 7)時，因無節點 4 之時間而無法進行。因此，進站事件(3→4)必須為離站事件(6→7)之先行事件，如虛線所示。將計畫之列車運行圖，加上界定事件先後關係之虛線，形成之網路是列車流模擬各事件順序之依據。

上述網路關係之實現，在模擬程式中可以運用鏈結串列(linked-list)之資料結構技術達成，以有效提升模擬程式效率。列車流模擬時，到站事件模組，已知列車到站時間，處理旅客下車、上車，並產生列車實際離站時間。離站事件模組，已知列車離站時間，產生列車下一站之實際到站時間；此時若為起始站，則必須再產生下一部列車到站時間。至於表示事件先後順序之網路關係，則由鏈結串列抓取第一筆資料(實際到站時間、實際離站時間最小者)時，若為離站事件，必須滿足「下一站前一列車已經離站」之條件，若未滿足此項條件，則從時間鏈結串列下一個位置找尋符合條件之資料。

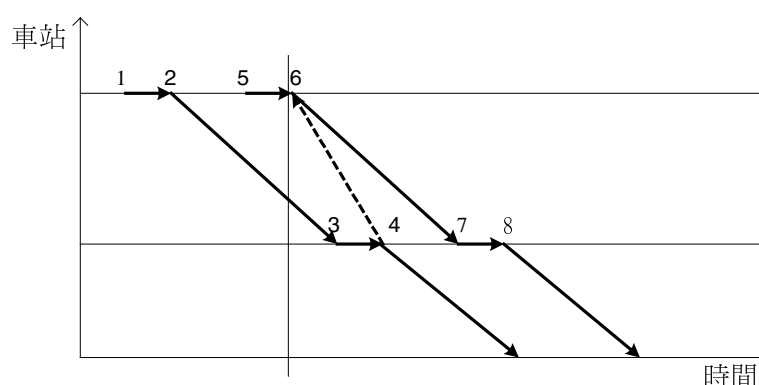


圖 3 事件之網路關係

### 2.3 旅客流之模擬

旅客觀點之指標為評估都市鐵路系統績效之重點，上下車旅客人數是前述列車流模擬第(5)式估算停車時間之重要因素；因此，旅客流模擬是都市鐵路列車運行模擬中不可缺少之一部分。旅客流模擬所考慮因素包括：(1)旅客到達車站之型態，(2)旅客之目的地或迄點，(3)旅客之月台等候時間，(4)旅客上車車廂或車門選擇，(5)到站旅客之下車時間，(5)上車旅客之上車時間，及(6)旅客旅行時間等。

旅客流模擬之輸入資料是各時段各起迄點之運輸量，旅客到達與目的地模組旨在模擬某一起迄點旅客到達之過程。由於台北捷運公司之旅次起迄資料，係以旅客持有之票證於出站時直接電腦建檔，資料檔內容為每小時由各站到目的站出站旅次量。本研究透過程式處理，將資料轉換為每小時各站旅客進站旅次量，以及到各目的站的旅客比率。因尖峰時段旅客量大且平均，本研究採均一分配處理旅客到站程序，先由旅次量計算旅客到站的時間間距，再求得各旅客到站時間，最後再依據迄點之比率賦予到站旅客迄點屬性。

旅客進站後即至月台候車，亦開始累計旅客之等候時間，一直到列車進站，下車旅客下車後，旅客順利上車為止。有時因為車上旅客太多，或乘載率太大時，後到月台候車之旅客，可能無法順利上車而需要等下一班列車。在實務上，旅客非常擁擠之尖峰時段，或事件發生造成之列車異常擁擠，站務人員通常會到月台上維持秩序，並協助旅客迅速上下車，以便列車順利運行。亦即，站務人員會協助處理過度擁擠問題，並勸告旅客不必擠上過度擁擠之列車，快速讓列車發車後可以等候下一班列車。每平方公尺站立 5 人時乘客衣袖開始接觸但可閱讀，每平方公尺站立 6 人身體開始接觸；本研究以每平方公尺站立 9 人時為乘載之上限，此時車上旅客已經相互感受身體之壓

力。

都市捷運鐵路最重要特性之一是準點或可靠，尖峰時間的大部分旅客是規律之經常旅客。因此，人們可能每天相同時間到達車站，搭乘相同時間之列車通勤，在月台等相同車廂或車門。尖峰時間在列車上換車廂之機會不大，會在上車時作車廂或車門之選擇。一般言之，車門選擇受到起站或迄站電扶梯與出入口位置之影響，為了到站後立即出站趕時間，在起點站等車時調整等車位置較有效率；因此，以迄點車站出口與電扶梯之影響，可能性較大。本研究雖無力對旅客作詳細之調查，但乃至台北淡水線之數個車站觀察候車旅客在各車門之分布情形，發現旅客確實有分布不均之現象；在 24 個車門裡，最多旅客等候使用之車門其旅客數約占 1.5/24，該車門是決定列車所需上下車時間之關鍵。

旅客上下車門所需時間，可能為該站上下車旅客人數的非線性函數，且與車上旅客人數也可能有關連。本研究於淡水線台北車站實地調查旅客上下車門時間與旅客數資料，將所得資料以上下車人數為自變數，上下車時間為應變數，以統計軟體校估其迴歸模型。可能因為未能觀察到非常擁擠之狀況，只得到簡單之關係式如下：

$$DT = 2.268 + 0.454 DP \quad (R^2 = 0.7028) \quad (7)$$

(5.19) (11.51)

$$UT = 1.049 + 0.373 UP \quad (R^2 = 0.7545) \quad (8)$$

(2.22) (13.12)

其中， $DT$ ：下車時間， $DP$ ：下車旅客人數；

$UT$ ：上車時間， $UP$ ：上車旅客人數。

模式顯示上下車時間與上下車旅客人數呈現正向關係，括弧之  $t$  統計量顯示迴歸模型中的常數項以及上下車旅客人數的估計係數，在  $\alpha = 0.05$  的顯著水準下均顯著異於 0。同時模式之決定係數(coefficient of determination)  $R^2$  達 0.7 以上，顯示模式之解釋能力還算不錯。

模式中旅客流之模擬，於到站事件模組中處理，假設旅客「先下車，後上車」，故先處理旅客下車，透過(7)式計算下車所需時間；其次，處理旅客上車，透過(8)式計算上車所需時間，並產生上車結束的時間。

## 2.4 行車調度策略之模擬

當實際之列車運行圖與計畫之列車運行圖有相當差異時，行控中心必須從事行車調度。差異產生之原因很多，台灣鐵路局分為三十多種原因，台北捷運公司尚不對外

提供相關資訊，情況不詳；不過，如車門無法正常運作的小事件，台北捷運公司經常會發生；並且，文獻中得知美國波士頓都市鐵路經常發生 10 至 20 分鐘延滯事件，行車調度是捷運鐵路管理工作重點之一<sup>[6]</sup>。列車發生延滯足以影響到系統營運時，必須從事適當之行車調度，使旅客所受影響降至最低。都市鐵路常用的運轉整理策略包含：趕點策略、間距控制策略、刪除列車策略、及跳站運行策略(馳援、過站不停、早歸)等，因台北捷運線之軌道布設難以應用跳站策略，本研究暫時不予考慮。

趕點整理策略區分為站間運轉時分趕點與月台駐車時間趕點。前者係列車有延滯時間發生時，於站間以較快的速度運行，以縮短站間運行時間，追回部分的延滯時間。後者當旅客上下車時間未滿預定駐車時間，且列車記錄已有延滯發生，則利用縮短月台駐車時間，來追回部分之延滯時間。台北捷運公司之時刻表不是以最短運轉時分為基礎，因此站間有趕點之機會。預定月台駐車時間設定為 25 秒，由於台北站為淡水線與南板線交會，大量旅客於此轉車，上下車需較長時間，故駐車時間設定為 40 秒；各站最短駐車時間為 18 秒，台北站為 33 秒。列車於各站停滿最短停站時間且旅客均已上車時，可以利用月台趕點讓列車離站，換言之，每次停站最多可追回 7 秒鐘的延滯時間。

間距控制策略最大的意義，在於避免事故列車與前車之間の間距相差過大，使月台上等候旅客增多，而造成事故列車上車旅客增多使延滯更加嚴重，不但拉大與前車の間距，並且縮短與後車の間距，進而造成延滯擴散至後續列車的現象。間距調整可分為抓先行列車暫停與抓後續列車暫停兩種方式。抓前車，係對每部列車判斷其與後車之間距，當間距超過某個特定值時，則該列車在本站作暫停一定時間。而抓後車，則對每部列車判斷其與前車之間距，當間距小於某個特定值時，則該列車在本站作暫停一定時間。透過間距控制可以避免事故列車與前後車之間の間距相差過大或過小，降低列車間乘載率差異，與某些旅客在月台上等候時間。

刪除列車策略因都市鐵路班次密集，尖峰時刻 3~5 分鐘就有一班列車，當列車延滯嚴重時，為避免造成後續列車發車時之壅塞，並產生列車及司機員調度問題，可以刪除部分列車，使後續列車儘快回復班表運行。

上述各項行車調度策略於模擬模式中之處理方式如下：(1)執行抓前車暫停、抓後車暫停，僅需於到站模組中，將下車結束時間延後；亦即，列車暫停時，旅客仍然可以上車。惟抓前車暫停時，由於後車並未到達本站，故需預測後車到達本站之時間，方能判斷是否執行暫停作業；亦即，抓前車暫停時，行車控制系統必須有預測功能。(2)處理月台趕點，則於到站模組旅客下車結束後，由旅客上下車時間計算允許之趕點時間。(3)處理站間趕點，則僅需於離站模組中，調整站間運轉時間。(4)至於刪除列車，



則於離站模組中，調整起站下一部車到達時間即可。

## 2.5 評量指標

系統績效之衡量指標，亦即模擬分析之輸出結果，包括：(1)旅客平均旅行時間、(2)列車乘載率差異、(3)延滯列車數、(4)行控調度處理之時間等。其中，前二項為旅客觀點之指標，後二項為營運觀點之指標。

以班距較短的捷運鐵路系統而言，旅客較為關心從起始站到目的站所花掉的旅行時間，因此，旅行時間對旅客而言，是最重要的評量指標。本研究為評量各運轉策略之差異，將旅客由到站至離站所花費的時間區分為：(1)旅客月台候車時間、(2)旅客上車時間、(3)旅客站間旅行時間、(4)旅客車上等候時間、(5)旅客下車時間、及(6)總旅行時間。模擬模式於到站模組中，分別計算各列車於各車站之各項旅行時間並予以累加，然後除以總旅客數，求得旅客平均旅行時間。

當系統中有列車發生延滯時，會造成此班列車與前車班距拉大，因此月台等候該班延滯列車的旅客增多，使上車時間增加，造成延滯更加嚴重；而與其後的列車間距縮短，相對使後車的上車旅客減少，形成前後列車乘載率差異很大的情形。因此，乘載率差異可用以描述各列車間擁擠程度之差異情形，本研究乘載率差異定義如下：

$$LDF = \frac{1}{(ns-1)(nt-1)} \left( \sum_i \sum_j \left| \frac{n_j^i}{C} - \frac{n_{j+1}^i}{C} \right| \right) \quad (9)$$

其中， $n_j^i$  為  $j$  列車在車站  $i$  的車上總旅客數； $C$  為列車容量；

$ns$  為車站數； $nt$  為列車數。

乘載率差異為系統內所有前後兩列車之乘載率差之加總，為避免數據正負相抵，所以前後列車乘載率差均取絕對值；而為方便不同列車數之比較，故求取平均值。

對捷運系統營運者而言，其所關心的是如何將延滯對系統所造成之影響降到最低。因為延滯會使得列車無法依照原先預定之時刻表運作，且班距變得一致，造成系統服務水準降低，列車及司機員的調度也會受到影響。以系統營運的角度來看，有效的行車調度應當可以減少受延滯影響之列車數，且若能以愈短的時間將延滯排除掉，可視為對營運者愈有效之策略。因此，本研究選擇延滯列車數與總延滯時間二項作為評估指標。一般鐵路公司通常以列車到達終點站且誤點達一定時間者，才將其列入延滯列車，由於本研究列車可以透過站間趕點及月台趕點追回部分延滯時間，且行控調度處理時間，各站之間會有所差異，故本研究將延滯列車數定義為未能準點離站的列車站數，總延滯時間則定義為列車於各車站延滯時間之總和。而造成列車延滯的

原因有：上下車旅客人數過多、後車因前車誤點而必須保持最小安全間距、其他外生事件產生延誤等。

### 三、個案分析

#### 3.1 個案資料

本研究以台北捷運淡水線的資料作個案分析。淡水線之列車運行包含淡水到新店(新店線)與北投到南勢角(中和線)二條路線的列車班次，尖峰時段每 5 分 44 秒各發一班車。本研究模擬淡水站至古亭站上午尖峰之運輸，模擬時段為早上 6 點鐘到 9 點鐘止。為簡化模式，假設發車班距為 3.5 分鐘，預定駐車時間台北站為 40 秒，其餘各站為 25 秒，當模式必須從事月台趕點時，每次停站最多可追回 7 秒，系統首班車設定為早上 6 點鐘，模擬結束定義為，將模擬時段內所有到站旅客運送到目的站為止。

淡水線為高運量路線，在列車容量設計上，每節車廂坐位 60 人、立位 310 人(每節車廂 44 平方公尺，每平方公尺站立 7 人)，共六節車廂，因此每列車為 2220 人。由於每平方公尺站立 7 人屬相當擁擠狀況，故本研究設定實務容量為每平方公尺站立 4 人，列車容量為 1416 人。按照淡水線之系統特性，各站產生計畫時刻表及正常情況下的站間運轉時間、站間趕點策略所使用的趕點運轉時間、及列車跟車的最小安全間距等資料整理如表 1 所示。

表 1 淡水線運轉基本資料

單位：秒

車站名稱	正常運轉	趕點運轉	安全間距	車站名稱	正常運轉	趕點運轉	安全間距
淡水→紅樹林	130	130	110	芝山→士林	84	81	104
紅樹林→竹圍	125	118	110	士林→劍潭	84	83	104
竹圍→關渡	138	131	112	劍潭→圓山	104	99	104
關渡→忠義	77	73	121	圓山→民權西路	85	81	103
忠義→復興崗	101	98	110	民權西路→雙連	57	55	103
復興崗→北投	122	113	116	雙連→中山	57	57	98
北投→奇岩	89	88	102	中山→台北車站	64	63	102
奇岩→唭哩岸	73	72	99	台北車站→台大醫院	61	61	103
唭哩岸→石牌	93	86	104	台大醫院→中正紀念堂	82	81	105
石牌→明德	58	58	104	中正紀念堂→古亭	92	90	101
明德→芝山	76	75	105				

資料來源：台北捷運公司。

台北捷運公司某日旅次起迄資料以二進位資料檔(binary file)型式儲存，內容包含淡水線、中和線、新店線、南板線、木柵線等路線每小時由各站到目的站之出站旅次量。本研究透過程式將資料轉換為淡水線每小時各站旅客進站旅次量，以及到各目的站的旅客比率。本研究同時假設每一時段旅客到達為均一分配，而 6 點鐘時段第一位旅客，於該站計畫時刻表首班列車到站前 5 分鐘到達。

利用前述之模式與淡水線資料，本研究作了許多實驗，本文陳述之項目包括：(1) 某日上午尖峰時段正常運行之系統績效；(2) 該日 7:31 分列車在淡水站故障 6 分鐘下之系統績效，以及事件發生後利用「月台趕點」、「站間趕點」、「前車間距調整」、「後車間距調整」、「刪除列車」等個別及綜合行車調度策略之系統績效；(3) 主要延滯事件 3~12 分鐘(間隔 3 分鐘)之系統績效與行車調度策略之績效。

### 3.2 基本實驗結果與分析

「正常運行」與「事件發生不做行控調度處理」之模擬結果如表 2 所示。正常運行情況下，旅客旅行時間中，站間旅行時間占 68.09%，車上等候時間占 19.91%，亦即旅客在車上之時間約占 88%，是最大比率之項目；在 3.5 分鐘的班距下，旅客月台候車時間僅占 10.70%。

表 2 正常運行與延滯事件(不做行控處理)之模擬結果

項 目	正常運行		延滯事件			延滯事件(乘載率限制)		
	時間	百分比	時間	百分比	增減比率	時間	百分比	增減比率
月台等候時間(秒)	105.74	10.70%	116.25	11.55%	9.94%	119.56	11.90%	13.07%
旅客上車時間(秒)	6.64	0.67%	7.26	0.72%	9.34%	7.22	0.72%	8.73%
車上等候時間(秒)	196.75	19.91%	198.45	19.72%	0.86%	196.77	19.58%	0.01%
站間旅行時間(秒)	672.86	68.09%	677.52	67.33%	0.69%	675.07	67.17%	0.33%
旅客下車時間(秒)	6.26	0.63%	6.78	0.67%	8.31%	6.43	0.64%	2.72%
總旅行時間(秒)	988.25	100.00%	1006.26	100.00%	1.82%	1005.05	100.00%	1.70%
承載率差異	0.0459		0.1190		159.26%	0.0878		91.29%
延滯列車站數	0		130			126		
系統延滯時間(分)	0		473			443		

當 6 分鐘延滯事件發生後，所有類別之平均旅行時間均增加，月台等候、上車、與下車三個時間項目上各約有 9% 的增加；因旅客在車上之旅行時間增加有限，平均

旅行時間只增加 1.82%。圖 4 為「正常運行」與「事件發生不做行控處理」之列車乘載率變化圖，「正常運行」下，同一車站不同列車之乘載率差異不大；「延滯事件發生」如果不做任何行控調度處理，發生 6 分鐘延滯之事故列車 26，因與前車間距達 9.5 分鐘，致乘載率比前行列車高出許多，事故列車乘載率到第 16 站之後便超過 2.0，到第 11 站甚至高達 3.7，而其後續連續 3 部列車以 1.5 分間距到站，乘載率則明顯較低，因此系統乘載率差異明顯增加了 159%。本研究以車廂內每平方公尺站立 4 人為標準所設定之列車容量為 1416 人，當列車乘載率達到 2.0 時，車廂內每平方公尺站立人數將達 9 人，車上旅客已經相互感受身體之壓力，顯然超過現實生活所能接受的狀況。乘載率大於 2.0 時，因過度擁擠旅客上下車時間可能會大幅增加，將違反本研究上下車時間為線性函數之假設。同時，當旅客擁擠或列車乘載率大時，將會發生旅客上下車困難的現象，此時通常會有站務人員維持秩序，故不致造成乘載率過大之現象。

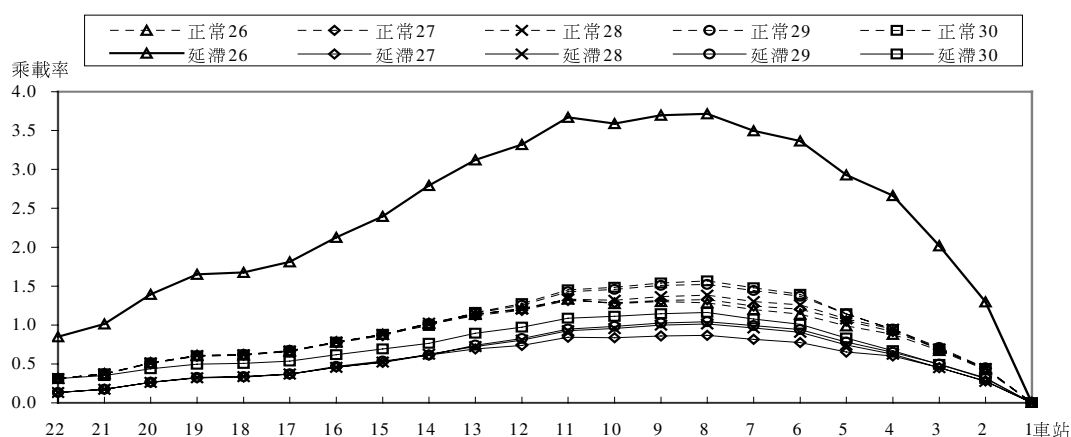


圖 4 「正常運行」與「事件發生不做行控處理」之列車乘載率變化圖

因此本模擬模式假設列車乘載率以 2.0 為上限，乘載率超過 2.0 時，旅客在站務人員協助下選擇搭乘下一班列車，且旅客依據到站先後順序上車。當 6 分鐘延滯事件發生時，在此乘載率限制下，所有類別之平均旅行時間均增加，其中月台等候時間增加 13.07%、旅客上車時間增加 8.73%。此時，乘載率差異雖較正常運行增加 91.29%，但比無乘載率限制狀況改善約 4 成。又因事件發生不做行控處理，後續兩列車無法準點進站與出站，造成延滯列車站數由 0 增加為 126，系統總延滯時間也增加到 443 分鐘。

### 3.3 行車調度之模擬分析

#### 3.3.1 單一運轉整理策略績效比較

表 3 是延滯事件發生後，利用「月台趕點」、「站間趕點」、「前車間距調整」、「後車間距調整」等個別行車調度策略之系統績效。

表 3 單一運轉整理策略績效比較

項 目	正常運行	延滯事件	站間趕點		月台趕點		抓前車		抓後車	
	時間	時間	時間	改善%	時間	改善%	時間	改善%	時間	改善%
月台等候時間(秒)	105.74	119.56	117.36	15.92%	116.32	23.44%	112.78	49.06%	119.61	-0.36%
旅客上車時間(秒)	6.64	7.22	7.12	17.24%	7.08	24.14%	6.99	39.66%	7.21	1.72%
車上等候時間(秒)	196.75	196.77	196.74	150.00%	190.75	30100%	199.25	-12400%	196.78	-50.0%
站間旅行時間(秒)	672.86	675.07	671.80	147.96%	674.78	13.12%	674.22	38.46%	674.62	20.36%
旅客下車時間(秒)	6.26	6.43	6.40	17.65%	6.39	23.53%	6.37	35.29%	6.43	0.00%
總旅行時間(秒)	988.25	1005.05	999.42	33.51%	995.32	57.92%	999.61	32.38%	1004.65	2.38%
乘載率差異	0.0459	0.0878	0.0871	1.67%	0.0878	0.00%	0.0844	8.11%	0.0878	0.00%
延滯列車站數	0	126	117	7.14%	98	22.22%	156	-23.81%	128	-1.59%
系統延滯時間(分)	0	443	363	18.06%	284	35.89%	527	-18.96%	448	-1.13%

因為旅客在車上之旅行時間約占 88%，趕點策略對此可產生明顯的改善。站間趕點可以使站間旅行時間減少約 3.3 秒，月台趕點可使平均旅客車上等候時間減少約 6 秒，站間趕點使得平均旅行時間改善 33.51%，而月台趕點可改善 57.92%；但是趕點策略對於乘載率差異之改善分別為 1.67%與 0%，效果十分有限。系統營運指標方面，延滯情形因趕點而有所改善，延滯列車站數與系統延滯時間約有 7~36%的減少。整體而言，月台趕點比站間趕點來得有效，主要是因正常運轉與趕點運轉之時間差距，除 5 個站間可趕 5 秒以上，其餘各站間能趕時間介於 1~4 秒，而月台趕點各站能縮短之時間可達 7 秒。

抓前車間距調整，係對每部列車判斷其與後車之間距，當間距超過某個值時，則該列車在本站暫停一定時間。因為抓前車間距調整時，不同時間間距及暫停時間長短，其績效值不同，例如：所設時間間距較短時，會使前面列車提早作暫停，使得車上旅客站上等候時間增長，而使總旅行時間增長。在旅客平均旅行時間最短之原則下，本研究模擬結果顯示，「與後車間距超過 7.5 分鐘，則前車暫停 2 分鐘」為最佳的間距調整策略。

抓前車調整因為使部分月台等候旅客提前上車，減緩發生事故列車的乘載負擔。執行前述最佳策略，可明顯改善平均月台等候時間，減少約 6.78 秒鐘；但因為在月台上作暫停，所以使車上等候時間增加約 2.48 秒鐘。抓前車調整使平均旅行時間改善 32.4%，且乘載率差異改善效果較趕點策略有效，可改善 8.11%；事實上，若無乘載率小於 2.0 之限制，乘載率差異之改善效果將更為顯著。而由於前車暫停，使得誤點列車提前 2 部列車，因而使延滯列車數及系統延滯時間增大。

抓後車間距調整，則對每部列車判斷其與前車之間距，當間距小於某個值時，則該列車在本站作暫停一定時間。由於本研究實例每 3.5 分鐘發一班車，此時如果與後車間距小於 2.5 分鐘則後車暫停 1 分鐘時，將造成後續列車皆延後發車，而使旅行時間增長。本研究模擬結果顯示，當「與前車間距短於 1.5 分鐘，則後車暫停 1 分鐘」時，旅客平均旅行時間最短，為最佳策略。而本研究實例執行抓後車策略時，僅事故列車其後之 3 部列車，因間距小於 1.5 分鐘而於起站延後發車，績效指標顯示抓後車效果並不顯著。

### 3.3.2 綜合運轉整理策略績效比較

圖 5 是執行綜合運轉整理策略之評估指標分析圖，除與抓後車組合使用之效果不顯著外，其餘策略組合使用均較各策略單獨使用時為佳，顯示策略組合使用有加成效果。其中，「站間趕點+月台趕點+抓前車」三者合併使用，改善效果最佳，總旅行時間改善約 94.4%，系統延滯時間改善約 45.15%。

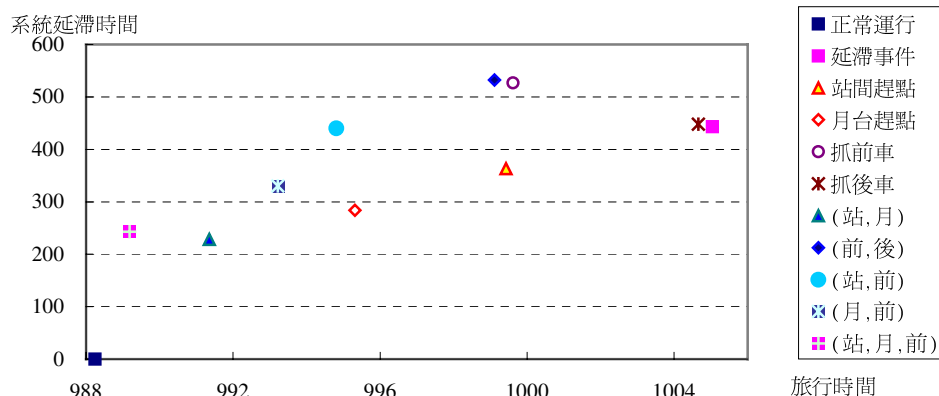


圖 5 執行綜合運轉整理策略評估指標分析圖

### 3.3.3 刪除列車策略分析

當外生延滯事件發生時，「刪除列車」亦為一可行策略。刪除列車主要目的是讓

後續列車儘快回復班表運行，此策略依事件型態可區分為主動刪除與被動刪除二種方式。前者例如車門故障，以台北捷運系統淡水線為例，車門無法關閉為目前最常發生的延滯事件，頻率約一週 2 次，當列車發生車門無法關閉，司機員及站務員於 2 分鐘內無法排除故障時，則執行清車作業，然後空車駛離車站（停靠待避線或駛回機廠），以利後續列車運轉；此種主動刪除外生事件列車，則通常僅後續第一部列車有誤點情況，後續第二部列車即可回復正常班表運行。但外生延滯事件若為旅客跌落、號誌故障，則通常事故列車在事件結束後繼續運行，本研究探討在淡水站某班列車產生 6 分鐘延滯，在發車班距為 3.5 分鐘的情況下，其後續兩班列車無法依照班表順利發出，而給被動刪除掉。

表 4 為外生延滯事件發生後，不刪列車與刪除列車之系統績效比較。三種情境在不做行控處理及乘載率小於 2.0 之限制下，總旅行時間皆有顯著增加，刪一列車與不刪列車之總旅行時間相差約 0.54 秒，但刪二列車則較不刪列車增加 13 秒，其差異主要來自月台等候時間；而延滯列車數及系統延滯時間則因列車刪除而較小。刪除二列車與正常運行之站間旅行時間相同，其原因是，外生延滯事故之列車與其下一班列車的班距達 4.5 分鐘，後車不會受到前車安全間距之干擾而增加站間運轉時間。

表 4 刪除列車策略績效比較

項 目	正常運行	不做行控處理			執行綜合運轉整理(站,月,前)策略		
		不刪列車	刪一列車	刪二列車	不刪列車	刪一列車	刪二列車
月台等候時間(秒)	105.74	119.56	121.45	134.53	112.45	114.39	125.60
旅客上車時間(秒)	6.64	7.22	7.34	7.64	6.97	7.08	7.47
車上等候時間(秒)	196.75	196.77	196.56	196.25	191.84	194.56	194.30
站間旅行時間(秒)	672.86	675.07	673.69	672.86	671.57	671.39	671.29
旅客下車時間(秒)	6.26	6.43	6.55	6.75	6.36	6.47	6.70
總旅行時間(秒)	988.25	1005.05	1005.59	1018.03	989.19	993.89	1005.36
乘載率差異	0.0459	0.0878	0.0840	0.0757	0.0875	0.0796	0.0737
延滯列車站數	0	126	64	43	102	43	45
系統延滯時間(分)	0	443	103	139	243	44	118

刪除列車配合運轉整理策略分析時，間距調整策略各時間間距模擬結果，刪除一列車時，抓前車以「與後車間距超過 7.5 分鐘，則前車暫停 2 分鐘」，抓後車以「與前車間距短於 1.5 分鐘，則後車暫停 1 分鐘」時，旅客平均旅行時間最短，為最佳的

間距調整策略，此調整策略與不刪除列車時相同。但刪除二列車時，抓前車仍以「與後車間距超過 7.5 分鐘，則前車暫停 2 分鐘」為最佳的間距調整策略，而抓後車的運轉整理策略則完全不產生效果，其原因是，外生延滯事故之列車與其下一班列車的班距達 4.5 分鐘，較正常班距為長，二車間距未有小於 2.0 分鐘之情況，故不會執行抓後車之暫停或延後發車策略。

刪除列車執行綜合運轉整理策略分析，發現仍以「站間趕點+月台趕點+抓前車」三者合併使用，改善效果最佳。不刪列車與刪除列車三種情境之各項評估指標有明顯之差異，刪除一列車比刪除二列車之總旅行時間節省約 11.47 秒，顯示部分外生延滯事件，若能主動刪除列車，以刪除發生事故之列車而讓後續列車能回復班表運行，為較佳之運轉整理策略。

### 3.3.4 不同時間長度主要延滯之運轉整理策略績效比較

本研究進一步模擬尖峰時刻於起站發生 3 分鐘、6 分鐘、9 分鐘及 12 分鐘的主要延滯，比較運轉整理策略之系統績效差異。表 5 為不同時間長度主要延滯旅客平均旅行時間的變化，其中，「不刪列車」係假設事件發生後，受影響之後續列車間隔 1.5 分鐘到站，而「刪除列車」則假設將無法準時進站之列車由時刻表中刪除。模擬結果顯示：旅客旅行時間隨主要延滯時間增加而增長，當 12 分鐘的延滯事件發生時，旅客旅行時間較正常運行增加 7.3%，如果此時採用刪除列車策略，則旅行時間將較正常運行增加約一成。

表 5 不同時間長度主要延滯旅客平均旅行時間變化

延滯時間 運轉策略	正常運行	3 分鐘	6 分鐘	9 分鐘	12 分鐘
不刪列車	988.25	992.29	1005.05	1027.06	1060.42
增加比率	-	0.41%	1.70%	3.93%	7.30%
延滯事件(刪除列車)	988.25	994.49	1018.03	1030.43	1085.67
增加比率	-	0.63%	3.01%	4.27%	9.86%

抓前車間距調整時，不同時間間距及暫停時間長短，其績效值不同。以主要延滯 9 分鐘(不刪除列車)為例，模擬前後車間距 4.5~13.5 分鐘(間隔 1 分鐘)、後車暫停 1~4 分鐘(間隔 0.5 分鐘)之不同策略組合，將所得之旅客旅行時間繪製為反應曲面圖(response surface)，如圖 6 所示，顯示抓前車不同策略之績效值差異極大，而抓後車亦有同樣之情形。在旅客平均旅行時間最短之原則下，不同時間長度之主要延滯，本研究模擬所得之最佳間距調整策略如表 6 所示。



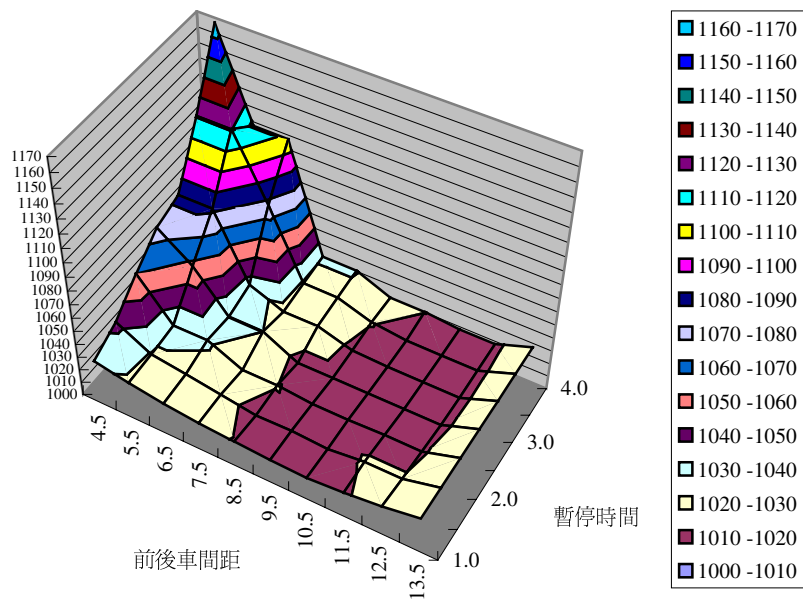


圖 6 抓前車不同策略之反應曲面圖

表 6 不同時間長度之主要延滯之最佳間距調整策略

運轉策略 \ 延滯時間		3 分鐘	6 分鐘	9 分鐘	12 分鐘
不刪列車	抓前車	(5.5;1.0)	(7.5;2.0)	(11.5;3.0)	(13.5;3.5)
	抓後車	(1.5;1.0)	(1.5;1.0)	(1.5;1.0)	(1.5;1.0)
刪除列車	抓前車	(5.5;1.0)	(7.5;2.0)	(11.5;3.0)	(10.5;3.0)
	抓後車	無效	無效	(1.5;0.5)	(1.5;0.5)

註：(前後車間距；暫停時間)

表 7 是延滯事件不刪除列車，使用「月台趕點」、「站間趕點」、「前車間距調整」、「後車間距調整」等個別行車調度策略，以及各策略合併使用之系統績效。模擬結果與前節相同：不同時間長度之主要延滯，除與抓後車組合使用之效果不顯著外，其餘策略組合使用均較各策略單獨使用時為佳。但無論各策略單獨使用或組合使用，其改善效果皆隨主要延滯時間增長而降低。圖 7 則是延滯事件發生後，「刪除列車」與「不刪列車」之旅行時間比較圖，當主要延滯時間短時，刪除列車所增加的旅行時間不大，但隨主要延滯時間增長時，刪除列車所增加的旅行時間則逐漸擴增。

表 7 不同時間長度之主要延滯之運轉整理策略績效比較

延滯時間 運轉策略	3 分鐘	改善比率	6 分鐘	改善比率	9 分鐘	改善比率	12 分鐘	改善比率
不作運轉整理(0)	992.29		1005.05		1027.06		1060.42	
站間趕點(1)	989.61	66.34%	999.42	33.51%	1018.15	22.96%	1048.12	17.04%
月台趕點(2)	987.76	112.13%	995.32	57.92%	1011.87	39.14%	1038.43	30.47%
抓前車(3)	991.24	25.99%	999.61	32.38%	1017.06	25.77%	1045.72	20.37%
抓前車(4)	991.90	9.65%	1004.65	2.38%	1026.66	1.03%	1059.96	0.64%
(5)=(1)+(2)	986.48	143.81%	991.35	81.55%	1004.81	57.33%	1028.21	44.63%
(6)=(3)+(4)	990.87	35.15%	999.11	35.36%	1016.54	27.11%	1045.15	21.16%
(7)=(1)+(3)	988.64	90.35%	994.81	60.95%	1009.13	46.20%	1034.76	35.55%
(8)=(2)+(3)	986.98	131.44%	993.22	70.42%	1002.97	62.07%	1025.75	48.04%
(9)=(1)+(2)+(3)	986.12	152.72%	989.18	94.46%	996.80	77.97%	1017.13	59.98%
(10)=(1)+(2)+(3)+(4)	985.48	168.56%	988.66	97.56%	996.23	79.44%	1016.62	60.69%

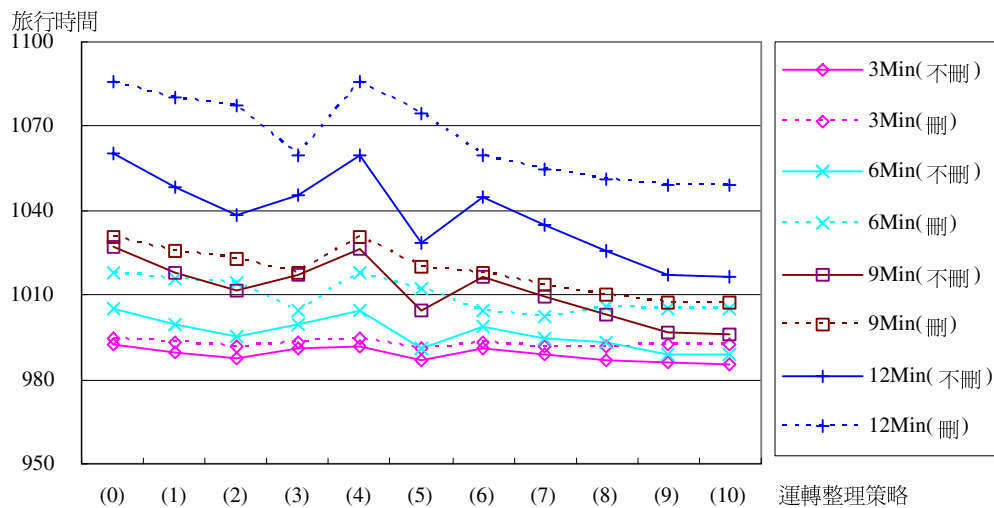


圖 7 不同時間長度之主要延滯之運轉整理策略績效比較圖

## 四、結論與建議

### 4.1 結論

本研究主要目的為捷運鐵路行車調度模擬模式之發展，本研究之主要研究內容與研究發現如下：

1. 欲探討行車調度問題或其他車輛調度等運轉整理問題，模擬模式中必須考量：整個時刻表中各列車運行之模擬，旅客進入、使用、與離開捷運系統等過程之模擬，以及行控中心行車調度作業之模擬；而且，上述三者間之關係必須界定清楚，並在模式中適當之連接。
2. 整個時刻表之列車運行模擬，若有詳細之車輛、號誌、設施等資料，可以逐秒地模擬列車之運行過程；在資料不完備、研究時間不足、或研究目的與研究精確度要求不同下，本研究以事件導向方式進行模擬。列車運行時受到車輛、號誌等設施之影響，本研究以列車間之關聯方程式處理。
3. 旅客到達車站、旅客在月台候車門之分布、旅客上下車之時間、與乘載率之控制等因素，都是本研究模擬旅客流之內容。基本之依據是捷運局提供之起迄點旅次矩陣，與本研究至月台實際調查之資料。
4. 本研究所發展之模擬模式經過測試，確實可以據以分析捷運鐵路之行車調度策略，如站間趕點、月台趕點、抓前車、抓後車、及刪除列車等。本研究評估行車調度績效之準則有四：旅客之平均旅行時間、乘載率差異、延滯列車站數、系統延滯時間；其中乘載率差異指標，因為採用乘載率限制，對於調度策略較不敏感。
5. 除抓後車間距調整效果較不明顯外，站間趕點、月台趕點、抓前車、及刪除列車皆可以縮短旅客旅行時間，且綜合策略的改善效果大多優於單一策略的改善效果。對系統營運者而言，當系統發生嚴重延滯時，刪除列車是相當有效的運轉整理策略，可使系統較快恢復正常班表營運，並減少受延滯影響之列車數。部分外生延滯事件(例如車門故障)若能主動刪除事故列車，讓後續列車以班表運轉，其效果較被動刪除列車為佳。

### 4.2 建議

關於捷運鐵路之運轉整理的研究，建議可以從下列幾個方向加以改進：

1. 本研究僅探討起站尖峰時刻 3~12 分鐘的外生延滯事件，若能獲得事件發生之時間、空間、規模、與特性等隨機性資料，可以依據本研究之模式探討行車調度策略之一

般性效果。或者，探討最佳化之行車調度策略，以及事件與最佳行車調度間之關係，如此方可使研究成果具備實務之應用價值。

2. 將模式擴充為複線雙向之營運系統或整個捷運鐵路網路系統，並探討其他運轉整理策略，例如：「縮短端末站反向發車時間」、「於事故列車前方插入一列車」之績效。
3. 配合車輛運用計畫與人員排班計畫，深入探討路網之行車調度課題，以及行車調度、車輛調度、人員調度等運轉整理策略之績效。

## 參考文獻

1. Cervero, R., *Transit Villages in the 21th Century*, McGraw-Hill Co, 1997.
2. Cervero, R., *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*, Island Press, 1998.
3. 張學孔、錢學陶、杜雲龍，「大眾運輸之都市發展策略」，捷運技術，第 22 期，民國八十九年二月，頁 1-16。
4. 李治綱，「網路方法應用於鐵路運輸分析之回顧」，運輸網路分析－中華民國第四屆運輸網路研討會論文集，民國八十八年十月，頁 102-114。
5. 陳強、沈志藏、魏瑜、林志銘，「台北捷運公司列車服務計畫現況說明與研究課題探討」，新世紀軌道運輸國際學術研討會論文集，民國八十九年十月，頁 399-352。
6. O'Dell, S. and Wilson, N. H. M., "Optimal Real-time Control Strategies for Rail Transit Operations during Disruption", In *Computer Aided Transit Scheduling*, Wilson, N. H. M. (ed.), Springer-Verlag, 1999, pp. 299-323.
7. Schweiger, C. L. et al., *Advanced Public Transportation Systems: The State of the Art*, DOT-VNTSC-FTA-93-8, U.S. DOT, 1994.
8. Abkowitz, M. and Engelstein, I., "Methods for Maintaining Transit Service Regularity", *Transportation Research Record*, 961, Washington D.C., 1984, pp. 1-8.
9. Koffman, D., "A Simulation Study of Alternative Real-time Bus Headway Control Strategies", *Transportation Research Record*, 663, 1978, pp. 41-46.
10. Futh, P. G., "Alternating Deadheading in Bus Route Operations", *Transportation Science*, Vol. 19, No. 1, 1985, pp. 13-28.
11. Blakey, R., "Computer Takes over Underground", *Railway Gazette International*, Vol. 143, 1987, pp. 675-678.
12. Perrin, J-P., "Automatic Train Control", In *Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems*, Papageorgiou, M. (ed.), 1991, pp. 55-58.

13. Fay, A. and Schnieder, E., “Knowledge-based Decision Support System for Real-time Train Traffic Control”, In *Computer Aided Transit Scheduling*, Wilson, N. H. M. (ed.), Springer-Verlag, 1999, pp. 347-370.
14. Levene, S. M., Weston, J. G., and Williamson, D., “An Assessment of the Application of On-line Computer to Control of an Underground Railway – A Simulation Study”, *Transportation Research*, Vol. 8, 1974, pp. 123-135.
15. Özekici, S. and Şengör, S., “On a Rail Transportation Model with Scheduled Service”, *Transportation Science*, Vol. 28, No. 3, 1994, pp. 246-255.
16. Eberlein, X., Wilson, N. H. M., and Bernstein, D., “Modeling Real-time Control Strategies in Public Transit Operations”, In *Computer Aided Transit Scheduling*, Wilson, N. H. M. (ed.), Springer-Verlag, 1999, pp. 325-346.
17. Lee, C-K, “The Minimum Headway of a Transit Rail Line”, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 2, No. 1, 1997, pp. 313-324.
18. Carey, M. and Kwieciński, A., “Stochastic Approximation to the Effects of Headways on Knock-on Delays of Trains”, *Transportation Research-B*, Vol. 28B, No. 4, 1994, pp. 251-267.
19. 李治綱、周學怡、孫志煌，「列車營運計畫之可靠性分析」，運輸學刊，第十卷第一期，民國八十六年三月，頁 73-90。
20. Lin, M-T. and Wilson, N. H. M., “Dwell Time Relationships for Light Rail Systems”, *Transportation Research Record*, 1361, 1993, pp. 296-304.
21. Heimbürger, D. E., Herzenberg, A.Y., and Wilson, N. H. M., “Using Simple Simulation Models in Operational Analysis of Rail Transit Lines: Case Study of Boston’s Red Line”, *Transportation Research Record*, 1677, 1999, pp. 21-30.



# 捷運系統營運路線組合設計之研究

## DESIGN OF ROUTE SERVICE PATTERN FOR MRT SYSTEM

周義華 Yi-Hwa Chou<sup>1</sup>

黃勵君 Li-Chun Huang<sup>2</sup>

(90 年 1 月 16 日收稿，90 年 5 月 29 日第一次修改，90 年 7 月 24 日

第二次修改，91 年 3 月 25 日定稿)

### 摘 要

本研究係針對捷運系統興建完成後，在不以工程改善為前提下，藉由既有之路網軌道布設及旅運量分布情形，運用系統化分析之方式，以啟發式演算法構建捷運營運路線組合之設計程序，提出基本營運路線及可行營運路線組合之捷運路網設計方法。為使經營者與使用者之權衡能達對系統整體有最佳之效益，本研究以營運者及使用者兩方面作為評估主軸，建立路網總評估指標，包含營運成本、乘客等車與轉車時間成本及轉車代價，而以系統總成本最小為目標。由設計程序所求解之各營運路線組合方案中，評選出最適方案，並透過敏感度分析之方式，探討影響營運路線組合設計變數間的相互關係，以提供決策者參考。經由民國八十九年四月間之台北捷運系統營運資料實例分析結果發現，在相同的控制變數下，以淡水—新店、石牌—南勢角及龍山寺—市政府站等三條之營運路線組合最佳。

**關鍵詞：**營運路線組合；啟發式演算法；系統總成本

- 
1. 國立台灣大學土木工程學系(所)教授(聯絡地址為 106 台北市羅斯福路 4 段 1 號台灣大學土木工程學系)。
  2. 國立台灣大學土木工程學研究所碩士。

## ABSTRACT

*This paper develops a heuristic method for the design of MRT route service pattern after referring to the MRT track's layout and the passenger OD matrix. Instead of engineering improvements, the MRT route service pattern are designed by logic procedures. Two types of routes are generated: (1) basic operation routes, (2) feasible operation routes.*

*To achieve the optimum alternative, the effects of routes service pattern design on both operators and passengers are traded off by minimizing the sum of operating costs and passengers costs. Through the case studies on April 2000, it is shown that the optimal of route service pattern for TAIPEI MRT Network are consisted with three routes:(1)Tamshui to Hsintian; (2)Shihpei to Nanshih Chiao; (3)Lungshan Temple to Taipei City Hall under the same considerations.*

**Key Words:** *Route service pattern; Heuristic algorithm; System total cost*

## 一、緒 論

一般捷運系統之路線設計，係以未興建前之預測運量分布及實質地理交通環境為基礎，進行「虛擬路網」之設計，且大多以交通分區中心、彎繞度及站距等工程面因素作為主要考量；然而，根據經驗指出，路網興建完成後，隨著經濟及都市的快速發展，旅運量及分布狀況可能與規劃時所預測者有所差異。因此，捷運系統營運路線組合之設計，有必要在軌道設備硬體架構已成形、短期間較難改變之際，就實際的旅運量分布情形重新探討，如此才能符合營運者之經營效率及使用者之需求。

再者，目前國內捷運系統中有關營運路線組合之設計，大多憑規劃人員之經驗判斷而得，所設計之營運路線組合並未同時兼顧使用者及營運者的要求，且缺乏明確的評估準則，以證明所設計之營運路線組合為最適的方案，因此亟需研究一套數量化及適用之設計方法及評估準則。

本研究主要針對影響捷運系統營運路線組合設計之因子加以分析，研擬營運路線之設計準則與評估指標，並經由系統程序、邏輯判斷之方式來設計營運路線組合，透過系統總成本最小之路網總評估指標，選擇最適之方案以供決策者參考。



## 二、文獻回顧

### 2.1 路網設計方法

捷運系統營運路線組合之設計，從國內的捷運系統路網規劃報告及相關文獻<sup>[1]</sup>中可看出，大多偏向於捷運路網尚未興建前之設計，對於路網已興建完成後之營運路線組合設計則較少提及。以台北捷運之營運路線組合設計<sup>[2,3]</sup>為例，係以預測運量為依據，並就參與者本身之專業知識與經驗尋找出數種可能之營運路線組合後，相互比較以選取承載率最大之方案，作為最佳的營運路線組合。因此所評定之路線組合方案係以營運者角度為考量，對於營運路線間之旅客轉車成本並未列入。

根據專家訪談得知，當初台北捷運系統之英國總顧問所策劃之營運路線組合係按每一條營運路線長度較一致，亦即考慮每一位司機員之值勤時間較一致、平均之方式，作為主要考量因素以排定營運路線組合。而營運路線長度與司機員值勤時間，與列車行駛速率有著密切之關係，從先驗知識判斷可知，在其他條件不變之情況下，列車行駛速率愈高，則營運路線長度可設計得愈長，但如何決定最適營運路線長度，則缺少量化之數據以資佐證。而張學孔等人<sup>[4]</sup>在探討捷運營運路線長度時，係以數學規劃方法來構建捷運系統服務路線長度最佳化模式，模式中雖然加入許多假設，使得實際應用上有所限制，但為國內較早針對捷運系統營運後之服務路線長度來構建最佳化模式。然而對於整體捷運路網形成後之營運路線組合設計並未提及。

香港地鐵營運資料年報<sup>[5]</sup>中提出，1982 年間所設計之營運路線組合曾因原設計支線(太子站接駁往荃灣)較主線(觀塘—中環)的旅運量高，且二條營運路線僅提供一個轉車站(太子站)，因而產生的轉車站人數過多，使得該轉車站容量無法負荷，亦造成營運的無效率，故而改變原設計之營運路線組合，而以中環至荃灣及觀塘至油麻地之二條新的營運路線組合來服務乘客。從香港的營運經驗可看出，旅運量大的路線宜設計為主要直通路線，而不應該設計成類似支線的轉運路線；且營運路線間應儘可能提供二個以上的轉車站設計來分散轉車旅客量；至於兩直線型路線之間，則可藉由營運路線重疊區段之車站作為轉車站。然而年報中較少提及數量化的營運路線組合之設計方法及評估準則。

周義華、林祥生<sup>[6]</sup>對於公車路網之設計方法，採用啟發式演算法，透過系統程序化之演算作業方式，發展出基本路線、直捷路線及環狀路線等三種設計方法，而周義華、邱榮川<sup>[7]</sup>以上述文獻之設計方法為主，配合捷運系統並將道路容量限制及轉車旅次之處理列入考慮，使得公車服務路線之設計較為完善且符合實用性。本研究為使所

求之解能具實際應用性，因此採以啟發式演算之方式，作為捷運路網營運路線設計之方法。

## 2.2 路線設計之相關服務因子

### 1. 時間價值

林益民<sup>[8]</sup>對於時間成本的計算上，認為社會與旅次需求者對時間的價值考慮層面並不同，就社會角度而言，時間價值設定的考慮因素著重在該旅次花費在旅行時間對社會總生產值的損失，因此時間價值不因不同運具而不同。Small<sup>[9]</sup>整理相關研究後提出，每小時之時間價值約為時薪之半，且車外時間價值為車內時間價值的 3 倍。黃俐嘉<sup>[10]</sup>在進行公車的路網績效評估研究指出，車內、步行、等車、轉車時間價值比例為 1:2:2:6 時，最能反映台北都會區之現況。邱奕明<sup>[11]</sup>則以黃俐嘉之研究為基礎，設定等車時間價值為 200 元/小時。

### 2. 班距與等車時間之關係

Welding<sup>[12]</sup>在研究中指出旅客在均勻到達的狀況下，乘客平均等車時間與班距的期望值及班距變異數之關係如(1)式所示：

$$E(W) = 1/2 \times E(H) + [V(H)/2E(H)] \quad (1)$$

式中， $E(W)$ ：平均等車時間；

$E(H)$ ：班距期望值；

$V(H)$ ：班距變異數。

Jolliffe 與 Hutchinson<sup>[13]</sup>則認為當班距低於一特定門檻值時，旅客到達率可視為均勻分布。而多數研究亦認為當  $V(H) = 0$  之充分條件成立時，即若旅客為均勻到達且班距固定具規則性時，等車時間的期望值約為平均班距的一半<sup>[14]</sup>。

### 3. 轉車成本

轉車成本一般常透過轉車次數來計算。林國顯<sup>[15]</sup>對於轉車成本的處理，係以固定的值再乘以轉車次數而得，因林君認為都市中的旅次長度差異較小，故而採以固定值計算，即轉車成本不因旅次長度的差異而變動。周義華、游政霖<sup>[16]</sup>則認為轉車成本與總旅行時間長度應成一反向變動的關係，因而在城際運輸轉車成本的計算上，修正林君的方法，採兩階段固定值設定法，即依旅行距離的長短，區分兩種不同的轉車成本設定值。

### 三、營運路線之特性分析

#### 3.1 列車折返特性

一般而言，捷運路網之列車折返設施，依其功能大致可分為單一橫渡線、複式橫渡線、剪式橫渡線及袋狀儲車軌等四種型式，如圖 1 所示。

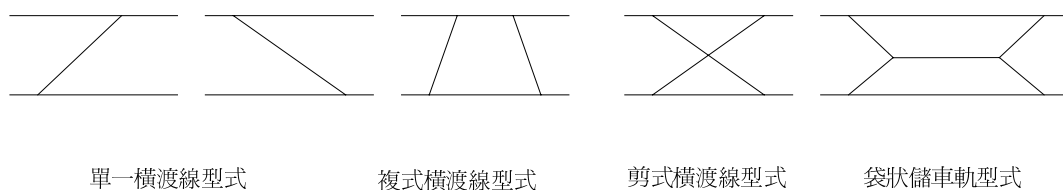


圖 1 捷運系統橫渡線之型式

而列車之折返，可分為於終端站折返與於中間站或交會站之折返。又搭配不同的站台型式(島式、側式及混合式站台)及橫渡線(單一橫渡線、複式橫渡線、剪式橫渡線及袋狀儲車軌)對列車折返之特性亦有所不同，一般可從系統安全性、折返作業之效率性及旅客方便性等三方面來加以說明，分述如下：

就系統安全性而言，中間站或交會站之列車折返，無論是何種型式之站台，由於列車在單一橫渡線、剪式橫渡線及複式橫渡線進行折返時，勢必影響到另一方向列車運行，因此，應以具有儲車功能之袋狀儲車軌作為考量，如圖 2 所示。而終端站因本身具有儲車之功能，故任何型式橫渡線之列車折返均應被考量。

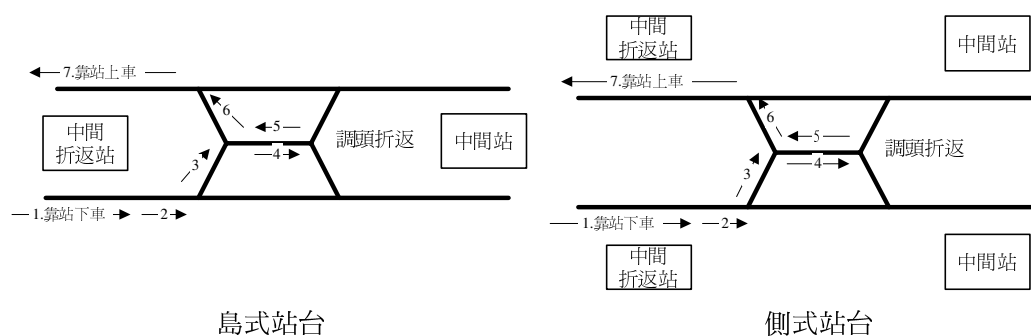


圖 2 中間站或交會站之列車折返運行方式

就折返作業之效率性而言，單一橫渡線由於發生故障時，不能像剪式或複式橫渡

線，可緊急利用另一條橫渡線作列車折返，其調度彈性較低。袋狀儲車軌之折返作業所需時間較長，且設置所需費用亦較高，故除非是有遠期延長捷運路線之構想，一般終端站較少採用此種布設型式。剪式或複式橫渡線則以設置在島式終端站前方較後方為佳，因其列車僅需停靠站台一次，所需折返作業時間較短，且無需執行清車作業，節省清車人力需求，如圖 3 所示。至於側式終端站後方無論搭配任何一種型式之橫渡線，其列車折返均須執行清車作業，且列車至少須停靠站台二次，但可明確區隔旅客上、下車動線等特性，如圖 4 所示。而側式站台所搭配之橫渡線，均未布設於終端站前方之原因，主要係由於此種布設方式將造成旅客搭乘列車之不便，如圖 5 所示。

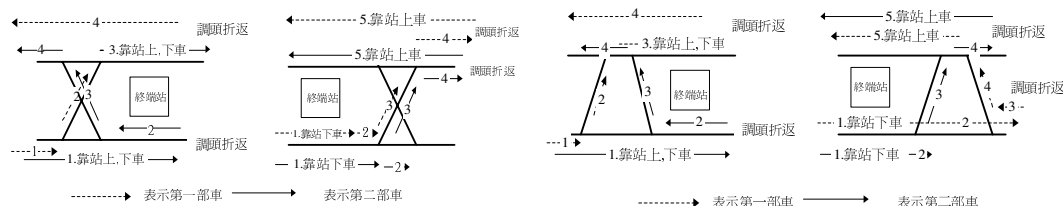


圖 3 剪式或複式橫渡線設置在島式終端站前方較後方為佳之示意

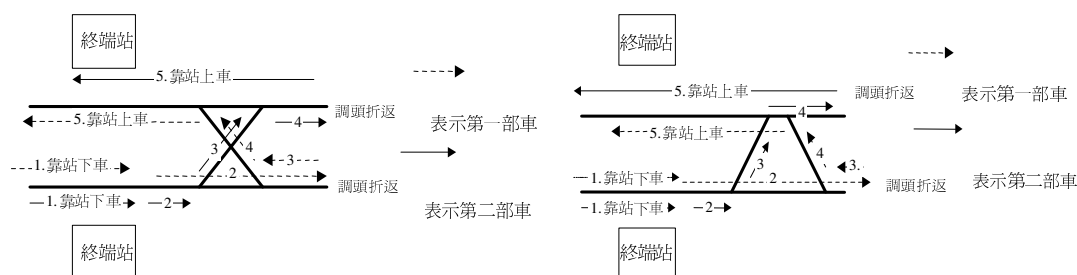


圖 4 側式終端站後方搭配剪式或複式橫渡線之列車折返方式

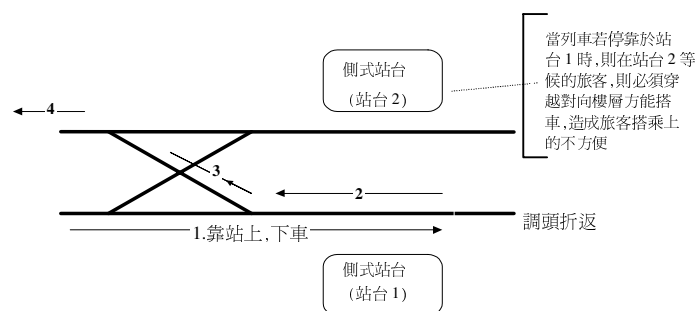


圖 5 橫渡線未布設於側式站台前方之示意圖

就旅客方便性而言，因終端站為島式站台兩側均可讓旅客同時上、下車，故方便性優於側式站台設計。

### 3.2 行車控制特性

由於營運路線設計與營運排班有著密切的關係，而適當的營運排班，有賴精確的行車控制資料，因此有必要對捷運行車控制特性與營運要素資料作一分析探討，分述如下：

#### 1. 全程往返時間

全程往返時間係指列車在一條營運路線上往返一趟所需之時間，可以從各站間行駛時間總和、各站停靠時間與端點站折返時間等資料加總後，精確地獲得營運路線的全程往返時間。然而捷運系統在規劃階段由於尚無實際營運資料，故多以全程距離除以平均營運速率，再加上迴車時間以獲得全程往返時間。本研究係探討捷運系統通車營運後之路線重新設計，故而相關行車控制資料將以實際列車行駛之數據為主。

#### 2. 端點站折返時間

端點站折返時間係指自列車行駛到達端點站後，司機員步行至另一端駕駛室準備發車之時間間隔。端點站折返時間之決定，一般係以最小停留時間為主。而最小停留時間係指當列車到達折返站後，司機員至另一端駕駛室準備發車所需之最短時間。一般又可依司機員之配置分為單人勤務、雙人勤務及雙人輪替三種。

單人勤務指司機員由一駕駛室調頭折返至另一駕駛室繼續開車所需之時間，一般最少為三分鐘；雙人勤務指兩端駕駛室均有一名駕駛員，可節省折返步行時間，但易造成人力浪費；雙人輪替指為節省司機員之折返時間，一司機員於某站上車代替原司機員駕駛，待原司機員完成折返後，再於另一車站下車。在一般行車狀況下，大多以「單人勤務」為主，「雙人勤務」及「雙人輪替」之使用時機，通常係由於列車發生故障或其他原因導致列車延誤，為使誤點之列車趕點發車所安排之權宜措施，因此，本研究將以「單人勤務」之營運模式，作為營運路線設計之主要考量。

此外，列車在實際排班時，為避免端點站折返有可能產生兩列車之衝突，對端點站之發車時間會略作調整(提早發車時間或延後列車到達時間)，使得端點站實際折返時間因而增加或減少。

#### 3. 站間行駛時間

站間行駛時間係指列車離站後到達下一車站所需之時間，主要係由列車運行效能(performance level)與列車滑行(coasting)二個參數決定<sup>[17]</sup>，分述如下：

(1) 列車運行效能：係指列車以其設計速率之某一百分比行駛所產出之效能，以台北

高運量捷運系統之列車行駛為例，可分為 PL1、PL2 與 PL3 三級，PL1 是列車以最大速率 80 KPH 行駛，PL2 及 PL3 之列車速率分別為 PL1 之 90%(72 KPH)與 80%(64 KPH)。一般在進行實際列車排班時，多以 PL2 之功能位階為主，以便於當列車於正線上之到站時間與時刻表排定時間不符時，為維持列車之正常服務水準，可針對誤點之列車作調整功能位階之彈性空間，以符合需求。

(2)滑行：係指列車離站後到達一設定距離與超越一最低速率後，為節省能源，號誌電腦對列車站間旅行時間作加速與減速之調整。

#### 4. 各站停靠時間

係指列車進站停靠後供旅客上、下車至重新啟動之時間間隔。在端點站之停靠時間因須配合折返時間及發車時刻，故非一定值；而中間站或交會站之停靠時間則可視各站之運量大小，設定一定值之時間。

### 3.3 營運路線之形成

捷運系統內營運路線之形成，應在硬體與軟體兩方面條件均符合要求情況下，才有路線開闢之價值。在硬體方面，首先路線的兩端點必須具有供列車迴轉或折返的橫渡線設施，才能讓列車正常的來回運轉，再者，列車進行折返作業時，必須提供一迴車空間以避免影響正線之列車運行。在軟體方面，則必須要在行車控制條件許可(例如電腦號誌設計之路徑可成立等)及經濟面考量(例如最短營運路線長度等)限制下，所設計之路線才可行，並可確保業者的經營效率。

本研究以台北捷運為例，因此在硬體方面之要求上，為達列車能正常運行且不影響正線運作下，對於端點站之選擇，將採路線一端具有袋狀儲車軌之中間站(或交會站)、能提供安全之迴車空間的混合式站台及終端站作為主要考量。在軟體方面之要求上，除依電腦號誌系統之行車控制規定外，對於最短營運路線長度之限制將參考台北高運量捷運系統行車運轉作業程序<sup>[18]</sup>中之規定，以構成區間營運之路線至少須經過六個車站數為標準，當所開闢該條路線經過車站數低於六個時，為避免列車實際運行於各站服務旅客之時間遠少於頻頻進行折返作業之時間，使開闢此種路線之經濟效用降低，因此應取消此種路線設計。

## 四、營運路線組合之設計準則與數學模式

### 4.1 營運路線組合之設計準則

營運路線組合設計之目的乃為提供捷運系統之營運基礎，適當的營運路線組合能

增加營運者的經營效率及提供符合旅客需求的運輸服務，因此在設計捷運營運路線組合時，必須兼顧乘客與業者之需求。本研究對於營運路線組合之設計準則歸納如下：

1. 須滿足旅客旅運需求

捷運系統之建設主要是為了有效解決都會區的交通擁擠問題，因此對於捷運營運路線的設計，也應以提供足夠且滿足旅客需要的運輸服務為目標。故而在進行營運路線組合設計時，須符合每一車站均有列車到達且旅客能經由各營運路線之間的轉車以到達目的地之要求。

2. 符合經營者降低營運成本之需求

為使捷運系統能正常運作，經營者能永續經營，對於營運路線之設計，應至少能使營運收入足以負擔營運支出。故而對於載運量較低之營運路線，除應考量是否符合路線基本營運量之限制外，應以提供較長之服務班距，來減少經營者之成本，惟不得高於政府所制定之最低服務水準班距。

3. 營運路線長度之限制

過短的營運路線長度將使列車頻頻於端點站折返，導致大部分之列車全程往返時間，虛耗於折返作業而非服務各站旅客，因此在設計營運路線時，必須考量路線長度是否符合經濟效益。

4. 應儘可能滿足旅客之期望

符合大多數旅客之期望路線，才能吸引旅客搭乘，進而提升營運收入，因此在設計營運路線時，應儘量提供直達、少轉車之營運路線，使旅客能儘速到達目的地。系統內轉車次數之限制則可確保旅客能得到直達、少轉車之運輸服務。

5. 需求量大之營運路線應提供較高之服務水準

對於各營運路線班次數之計算，應提供該路線最大承載區間運量所需之列車數，以滿足旅客需求。

6. 路線容量之限制

捷運路線均有其容量之極限，其容量應以該路線所能排定之最小班距，作為衡量之標準。故而在營運路線組合設計時，應考慮在單位時間內同一路線上，能提供最大班次數之限制。

7. 列車運行之順暢

營運路線之設計，應以列車能順暢、正常運行之路線作為選取之條件。若所設計之路線，列車於運行之途中，必須透過折返之方式以到達另一端點站，則此一路線應予刪除。此外，過多的營運路線組合，除可能增加旅客的轉車次數外，且會影響主線列車運行的順暢，因此在路線設計上應予以限制。

#### 8. 車隊規模之限制

捷運列車造價昂貴，添購車輛將增加經營者之營運成本，也因此車隊規模不可能無一限制，故而在設計營運路線時，必須考量有限的車隊數目。

#### 9. 號誌系統之限制

由於捷運路線交叉點間號誌的變換，有一最短時間之限制，因此，在設計營運路線時，應考量號誌系統轉換對最小班距之限制。

### 4.2 營運路線組合設計之數學模式

#### 4.2.1 基本假設

由於設計營運路線組合必須考量之因素甚多，因此為使問題適度簡化，且兼顧設計結果合理可行及滿足設計目標，本研究提出基本假設如下：

1. 旅運量大小及分布不因路線重新設計而轉移。
2. 不考慮以彈性編組列車之方式營運，且營運路線設計僅考慮「每站皆停」之服務策略。
3. 路網興建完成後之各項軌道硬體設施不變，且不考慮單線軌道系統，僅採取雙線分上行和下行兩種方式。

#### 4.2.2 數學模式之構建

根據前述之營運路線設計準則及相關之檢核條件，以數學模式表示如下：

##### 1. 目標函數

本研究以乘客總旅行時間成本與營運者成本兩部分所組成之系統總成本作為總評估指標。而其中由於一般捷運的旅次中，對於每位旅客之車內時間成本及以里程計價之票證費用，不會因路線設計的改變而有所增減，因此，本研究不考量此部分成本。

等車時間之計算，由於捷運系統所提供係屬班距小、班次密集且規則之運輸服務，故而對於旅客在捷運車站內之候車時間及轉車等候時間採班距的一半計算。此外，捷運系統內可能有不同的營運路線服務同一區間，其重疊區段之班距之計算公式如下：

$$h_r = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{h_i}} \quad (2)$$

式中， $h_r$ ：重疊區段班距(分)；

$i$ ：通過相同起點與終點之路線代號；



$h_i$ ：路線  $i$  之班距(分)。

轉車不便成本，則採固定值乘以轉車次數計算<sup>[15]</sup>。

經由以上的探討，本研究之營運路線組合設計之目標函數，如(3)式所示：

$$\begin{aligned} \text{Min } TC(L) &= C_1 + C_2 \\ &= \sum_{k=1}^m D_k \times f_k \times C + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n O_{ij} \times [WT_{ij} \times WC + N_{ij} \times TRC_{ij}] \end{aligned} \quad (3)$$

式中，

$L$ ：營運路線組合方案之代號；

$TC(L)$ ：營運路線組合方案  $L$  之尖峰小時系統總成本(元／小時)；

$C_1$ ：營運者成本(元／小時)；

$C_2$ ：使用者成本(元／小時)；

$m$ ：方案之總營運路線數；

$D_k$ ：路線  $k$  之長度(公里)；

$f_k$ ：路線  $k$  之班次數(列車／小時)；

$C$ ：單位營運成本(元／列車公里)；

$n$ ：捷運系統之車站總數；

$O_{ij}$ ： $i$  點至  $j$  點的旅客數(人／小時)；

$WC$ ：等車時間成本(元／分)；

$WT_{ij}$ ： $i$  點至  $j$  點的等車時間(分／人)；

$N_{ij}$ ： $i$  點至  $j$  點的轉車次數(次／人)；

$TRC_{ij}$ ： $i$  點至  $j$  點的轉車不便成本(元／次)。

## 2. 限制式

(1) 最短營運路線長度  $A(1)$  之限制(以涵蓋之車站數表示)

方案中每條營運路線所經過之車站數均需  $\geq A(1)$  之限制，即

$$N_k = \sum_{i=1}^n X_i \geq A(1) \quad k=1, 2, \dots, m \quad (4)$$

其中，

$N_k$ ：表路線  $k$  所經車站數目；

$X_k^i$ ：捷運系統中車站  $i$  之設定值，為雙元整變數。當車站  $I$  有路線  $k$  經過時，則

$X_k^i = 1$ ，當路線  $k$  未經過時， $X_k^i = 0$

其他符號之意義同(3)式所示。

(2) 最多營運路線組合數目 A(2) 之限制

$$m \leq A(2) \quad (5)$$

(3) 滿足捷運「每站皆停」服務方式 A(3) 之限制

$$\prod_{t=1}^{N_k} X_k^t = \begin{cases} 0, & \text{至少有一車站未停靠} \\ 1, & \text{每一車站皆停靠} \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

其中，

$X_k^t$ ：路線 k 中所經過車站 t 之設定值。當車站有列車停靠時，則車站之設定值為 1，其所有設定值之乘積必為 1。

(4) 路線間相互連通 A(4) 之限制

$$SD_k = \begin{cases} 0, & \text{路線間不相連通} \\ 1, & \text{路線間相互連通} \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

其中，

$SD_k$ ：路線 k 是否與其他路線相互連通之設定值，當路線間相互連通時，路線設定值為 1，否則為 0。

(5) 轉車次數 A(5) 之限制

$$N_{ij} \leq A(5) \quad i \neq j, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

其中， $j = 1, 2, \dots, n$

$N_{ij}$ ：i 點至 j 點的轉車次數。

(6) 提供足夠的運輸服務，且須受政策班距 A(6) 與系統最小班距 A(7) 之限制

$$f_k = \frac{Q_k}{C_\alpha} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$A(7) \leq \frac{60}{f_k} \leq A(6) \quad (10)$$

其中，

$f_k$ ：路線 k 之班次數(列車／小時)；

$Q_k$ ：路線 k 之最大站間旅客數(人／小時)；

$C_\alpha$ ：列車最大承載量(人／列車)。

(7)系統總列車數 A(8)之限制

$$Y = \left[ \sum_{k=1}^m (2D_k / v + 2T_k + ST_k) \cdot fk \right] \times (1 + R) \leq A(8) \quad (11)$$

其中，

Y：方案之總列車數需求(列車)；

$D_k$ ：路線 k 之長度(公里)；

v：列車平均行駛速率(公里／小時)；

$T_k$ ：路線 k 之列車折返時間(秒)；

$ST_k$ ：路線 k 之總停靠站時間(秒)；

R：列車備用率(%)。

## 五、營運路線組合之設計方法

### 5.1 營運路線組合之設計程序

前述之數學規劃模式難以用數學規劃法方式準確且快速地求解，經確認為 NP 問題後，改採啟發式演算法求解。

本研究依所擬定之設計準則與系統特性要求，以啟發式演算法發展出營運路線組合之設計流程如圖 6 所示，主要設計程序包含四個部分，其內容說明如下：

#### 1. 營運資料之建立與分析

主要包括旅次起迄資料、路網(車站型式、站台型式、軌道型式及其布設位置等)及營運(全程行駛時間、折返時間及列車停靠站時間等)等特性資料之蒐集與分析，以作為後續設計路線之依據。

#### 2. 基本參數與控制變數之設定

基本參數包括系統總列車數、列車最大承載量、單位營運成本、系統最小班距及時間價值當量因子等；控制變數包括最短營運路線長度、最多營運路線組合數目、車站服務因子、路線連通因子、轉車次數限制、系統總列車數、路線最大容量因子、最小班次數等。

此部分除可提供後續營運路線設計之檢核外，決策者亦可依不同的設計要求，輸入不同的基本參數或控制變數，以產生不同設計要求下的營運路線組合方案。

#### 3. 路網設計

主要包括捷運路網之路線組成分類、基本營運路線設計、可行營運路線組合設計

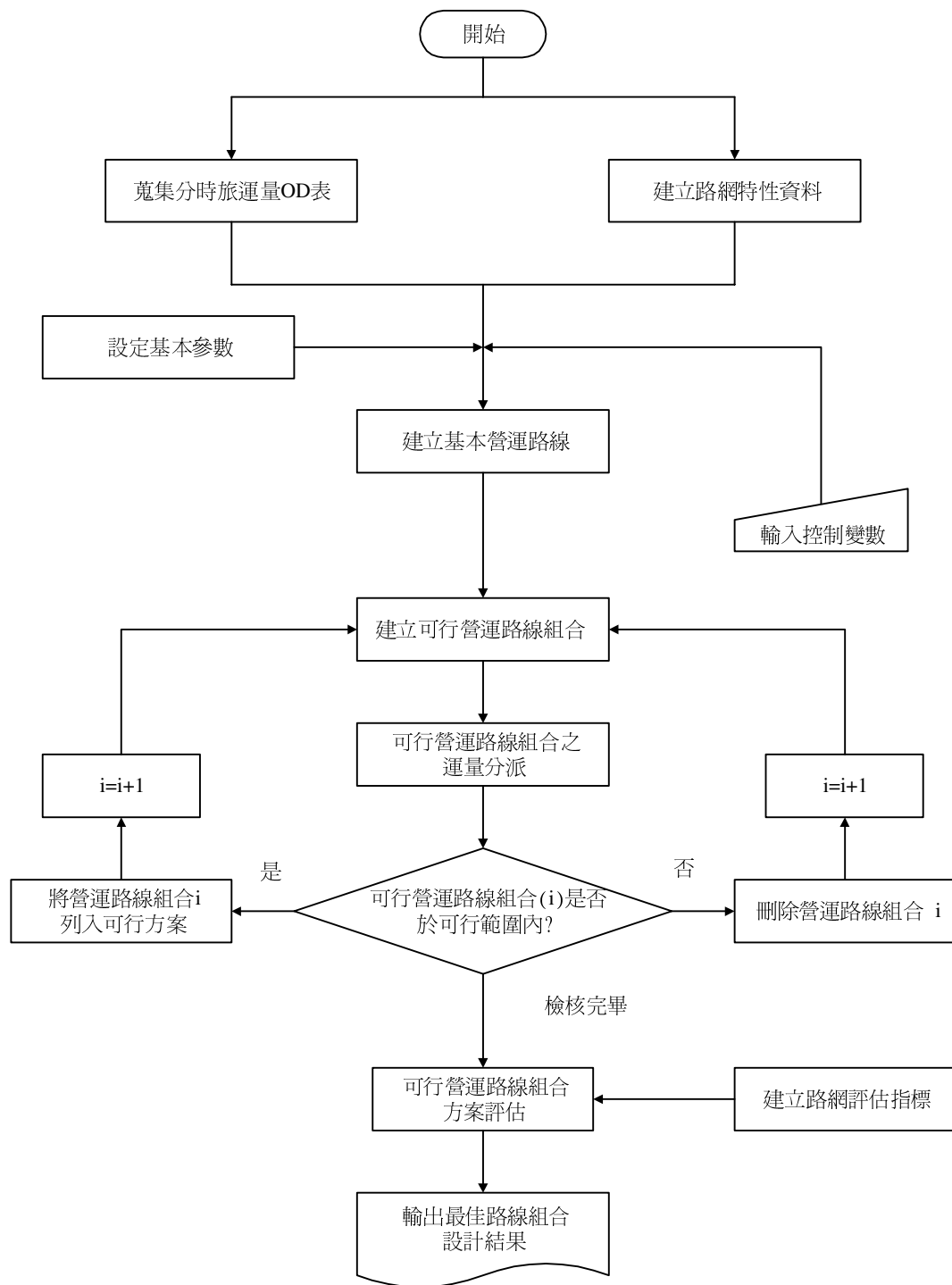


圖 6 捷運路網營運路線組合之設計程序

及運量分派等四個階段，藉由各階段不同的設計要求，以產生可行的營運路線組合方案。

#### 4. 路網評估

將所有的可行的營運路線組合方案透過(3)式之路網總評估指標加以評選，從而選出「最適」之捷運路網營運路線組合。

### 5.2 基本營運路線之設計

由於不同的捷運路網型態及橫渡線布設，影響著基本營運路線之設計，因此，本研究首先針對捷運路網依其型態將實體軌道路線組成進行分類，初步以直形及環狀路線二大類作為營運路線設計之軌道路線分類基礎。

然而，路網之構成係由不同軌道路線間相交會而成，而相交點是否有橫渡線布設，使列車可藉由橫渡線設施之變換，運行於兩軌道路線之間，亦是路線設計可否合併之重點。至於二路線軌道無論是否同在一個軌道層面，若無轉轍器相連通者，即無合併設計之必要，任何一條軌道路線均可獨立設計營運路線。因此在進行直形路線與環狀路線之軌道路線分類前，應先從原二類路線中找出相交點，並檢核是否符合路線合併之要件，若列車可藉由號誌系統之變換，行駛於兩軌道路線者，則該二類路線將可重新合併。有關捷運路網之軌道路線組成分類程序，如圖 7 所示。

當捷運路網之軌道路線組成分類完成後，第二階段即開始分別從直形路線、環狀路線及合併路線中依 3.3 節之營運路線特性分析，找出符合折返條件之車站或橫渡線作為折返點，並從中任選二折返點所構成之路線即為一條營運路線。假設捷運路網中之直形路線共有  $n$  個折返點，則將可構成  ${}_nC_2 = n!/[n!(n-2)!]$  條營運路線；若屬於環狀路線且具有  $R$  個折返點者，則將可構成  $R^2 - R + 1$  條營運路線；若屬於合併路線者，則將路線中所有折返點  $S$  合併後任取二點以構成一條營運路線。

然而任取二折返點所構成的營運路線，雖然可滿足列車運轉的合理性與安全性，但在列車運行的方便性及確保營運者開闢此一路線能獲得最低合理利潤之經濟性考量，並非都能達成。故而，基本營運路線在列車運行的方便性方面，須查核列車運行於交會站是否要透過再折返才能繼續行駛至另一端點站，若是則此一營運路線不符合運行的方便性，故應取消此一路線設計；而在業者合理利潤保障方面，則透過最短營運路線長度  $A(1)$  之限制下，所符合的營運路線則可稱為基本營運路線。此一基本營運路線之產生，可視為捷運路網之基本營運路徑。有關基本營運路線之設計程序，如圖 8 所示。

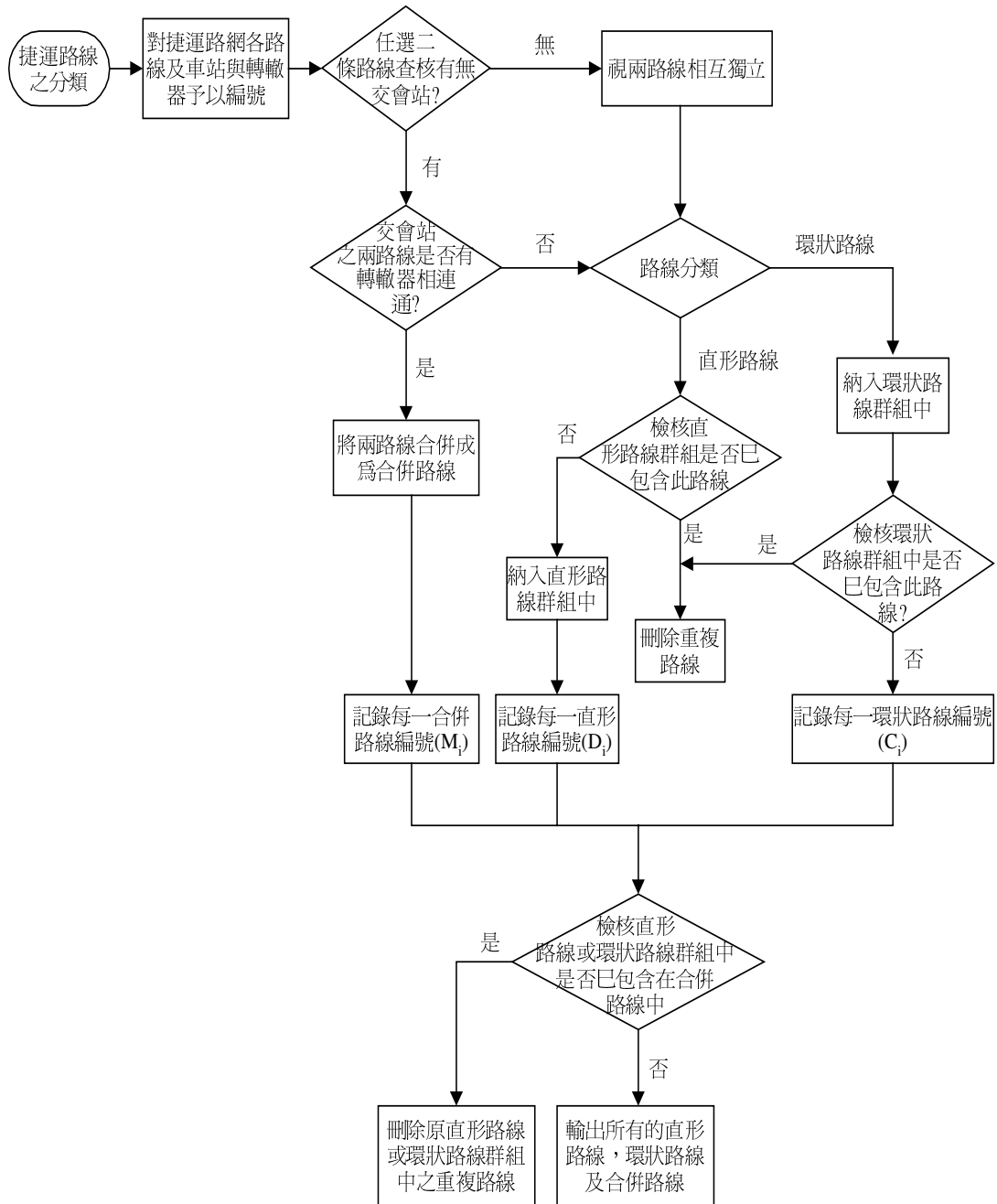


圖 7 捷運路網之軌道路線組成分類

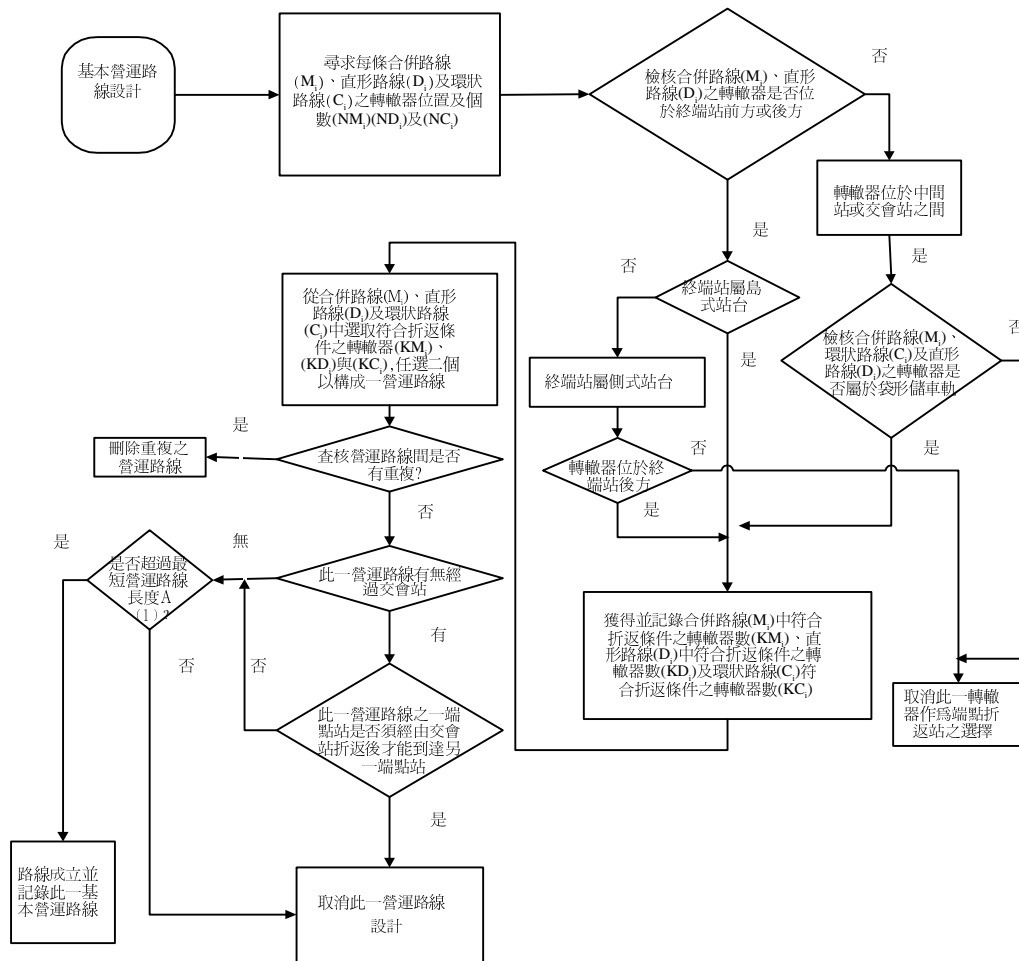


圖 8 基本營運路線之設計程序

### 5.3 可行營運路線組合之設計

可行營運路線組合係指由二條(含)以上之基本營運路線所組成的路網，亦即在滿足路線容量、效率原則及旅客所需運輸服務等條件下之基本營運路線組合。基本營運路線組合即將基本營運路線按組合方式，任選出以 2、3、4…組合方式之集合，若一捷運系統共有  $T$  條基本營運路線，則將可構成  $T C_2 + T C_3 + T C_4 + \dots + T C_T$  條基本營運路線組合。

然而，為避免所設計之營運路線組合因路線的組成數量過多，有可能會影響主線運行之順暢，並對搭乘之旅客在路線選擇上造成混淆，因此對於所組成之基本營運路

線數目應可依路網的複雜程度，有一定數量的限制，故以 A(2)最多營運路線組合數目(M 條)之控制變數加以檢核。因此所構成之基本營運路線組合則為  $T C_2 + T C_3 + T C_4 + \cdots + T C_M$  條。

此外，為達成路線設計之目標，本研究提出以下的控制變數加以檢核，進而從基本營運路線組合中，選出符合設計要求的可行營運路線組合方案。

1. 車站服務因子：以 A(3)表示。為滿足捷運「每站皆停」之服務方式，故以此一控制變數檢核之。
2. 路線連通因子：以 A(4)表示。主要係用以檢核路線間的連續性以便利旅客轉車。
3. 轉車次數限制：係指於捷運系統內，從任一車站到達目的站所必須轉車的次數，以 A(5)表示。可依捷運路網的複雜程度給予一數值。
4. 最小班次數：由最大班距換算而得，用以確保旅客最低服務水準，以 A(6)表示。
5. 路線最大容量因子：為各路線及區段之班距與捷運號誌系統最小班距之比值，以 A(7)表示。
6. 系統總列車數：除備用列車以應維修所需外，正線上所能提供最多的列車數量，以 A(8)表示。

有關可行營運路線組合之設計程序，如圖 9 所示，各步驟之作業流程說明如下：

1. 從所成立之基本營運路線中在符合 A(2)最多營運路線組合數目(M條)之控制變數下，任選出以 2、3、4.... M 條組合方式之集合，以構成基本營運路線組合。
2. 查核每一條基本營運路線組合是否符合 A(3)每個車站均被服務到、A(4)基本營運路線之間均能相互連通及 A(5)旅客在此一基本營運路線組合中須轉車之次數限制等條件。若是，則進行下一步驟；否則取消此一基本營運路線組合。
3. 決定列車最大承載量之服務水準後，對每一條基本營運路線組合進行運量的分派工作，刪除不符合運量分派條件的組合後，計算所有符合條件的基本營運路線組合之所需總列車數、路線每一區段之班距及每一條基本營運路線所需之班次數。
4. 查核所有符合上述條件的基本營運路線組合中各條營運路線之班距是否大於最小班次數(政策班距)之限制 A(6)。若否，則直接進行下一步驟；若是，則調整該營運路線班距等於政策班距後，進行下一步驟。
5. 查核路線及每一區段班距是否小於路線最大容量(最小班距)限制 A(7)。若是，則進行下一步驟；若否，則決策者可考量是否應於該區段內增設硬體軌道布設。
6. 查核每一基本營運路線組合中，是否符合系統總列車數 A(8)。若所需之總列車數小於 A(8)者，記錄此一基本營運路線組合並納入可行營運路線組合方案中；若無法符合控制變數 A(8)之條件限制者，決策者可考量是否應增購列車以提升服務水準。



7. 結束可行營運路線組合設計。

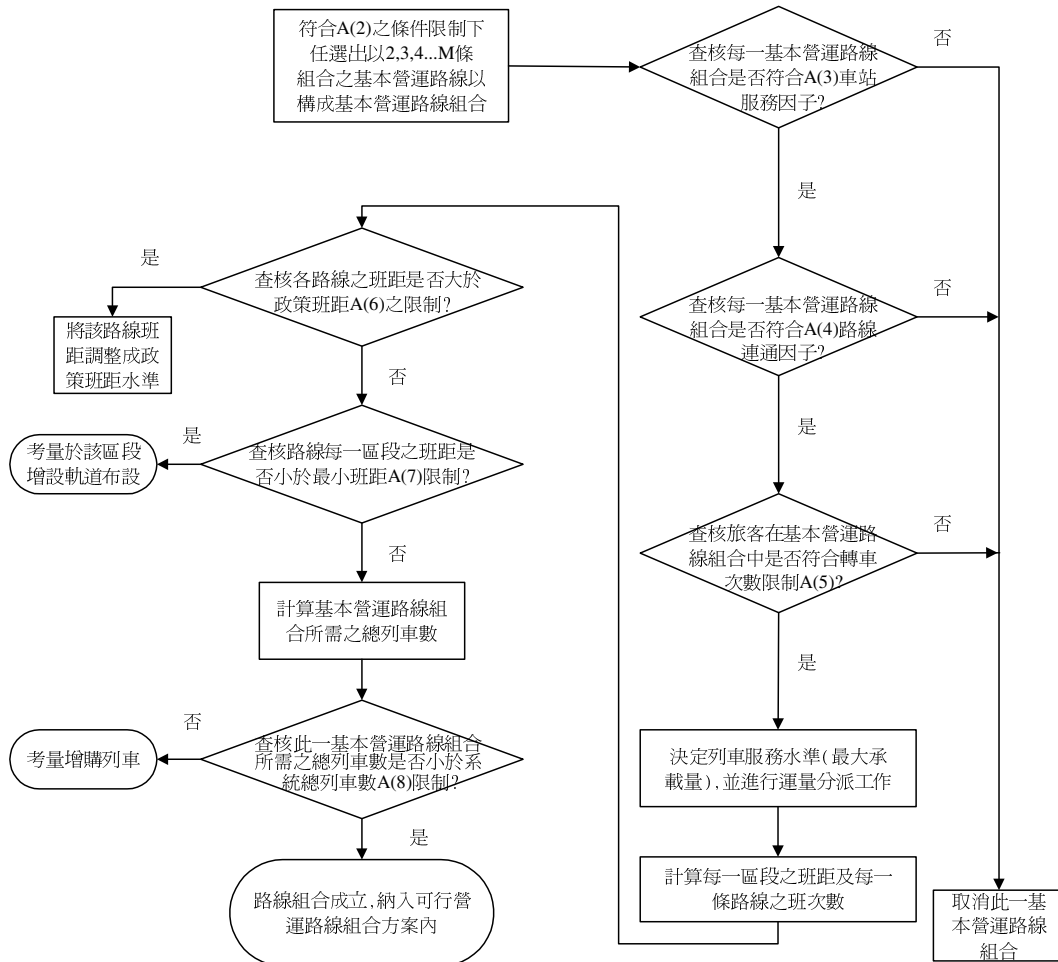


圖 9 可行營運路線組合之設計程序

## 5.4 可行營運路線組合之運量分派

可行營運路線組合初步設計完成後，為判別所設計之路線組合是否符合營運效率且可行，對各路線進行運量分派則為路線設計之必要檢核項目。

本研究對於可行營運路線組合之運量分派原則，是以滿足路線中之最大承載區間旅運量作為派車之基礎，並以路線組合中最少營運路線數經過車站之路線，作為優先分派之營運路線，其主要理由係由於經過車站之營運路線數愈少，業者能提供列車服務之選擇機會也愈少。因此，為滿足車站之旅運量需求，本研究採以非重疊區段之營運路線作為優先分派運量之考量。有關運量分派之步驟，如圖 10 所示，各步驟說明如下：

1. 將實際 OD 表轉換成各站站間之運量表，並將各營運路線依路線重疊程度劃分為數個區段，以計算各個區段之最大承載站間運量及所需之列車數。
2. 尋找各個區段中之非重疊區段路線，並以該區段中之單一路線作為優先分派路線。倘非重疊路線有二區段以上者，則先確認各區段之非重疊路線是否為同一條營運路線。若是，則找出區段中之優先分派路線最大承載區間的站間運量(應取上下行兩方向中最大站間運量者)後，進入下一步驟；若非重疊區段之路線為不同的營運路線者，則這些不同的營運路線均可視為優先分派路線，一併分派後進入下一步驟。
3. 求算優先分派路線所需之列車數(即先以最大承載站間運量除以列車最大承載量求算出單位小時所需之班次數及班距，再以該路線之全程往返時間除以班距後即可獲得該路線所需之列車數)。
4. 將已被分派過之旅運量從各站間運量分布表中扣除，並將已被分派之路線剔除後，查核是否尚有運量未分派。若是，則回到步驟 2；若否，則取消此一可行營運路線組合方案。
5. 運量分派直至所有路線均有運量分派後，則停止運量分派工作。
6. 運量分派中若各區段中有超過一條以上之營運路線經過時，則先找出區段中最少重疊路線之區段，其區段內路線均視為優先分派路線。至於區段內有二條以上之優先分派路線應按多少比例之派車方式最為合適，本研究由該區段任選一營運路線作為分派基準，若該區段所需班次數為  $N$  班，則該路線之比例組合先以  $1:(N-1)$  來進行運量分派，俟全數運量分派完畢並求得所需之總班次數後，再將基準路線增加一班次並以  $2:(N-2)$  之比例組合作運量分派，直至  $(N-1):1$  之比例組合均被計算過為止。最後再將各種比例組合所需之總班次數相互比較，以總班次數最小的那一組，作為此一可行營運路線組合之運量分派結果。以圖 11 為例，營運路線甲及丙之比例以  $1:2$  較  $2:1$  方式為佳。

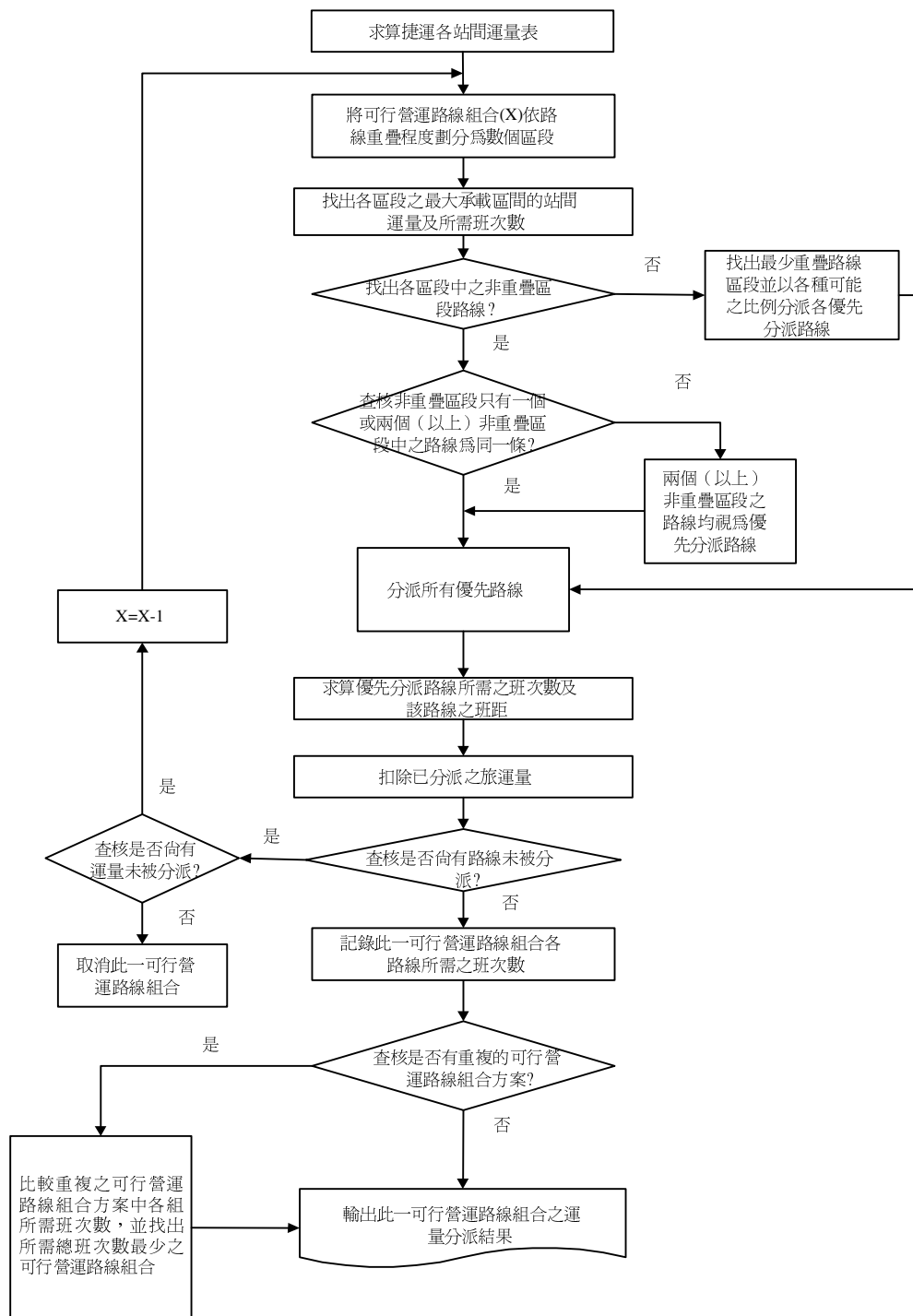
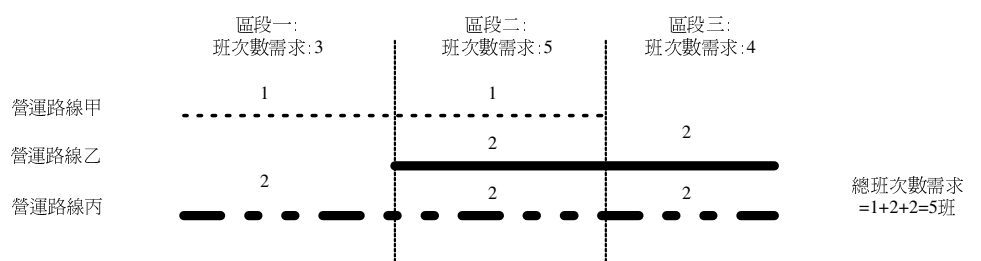
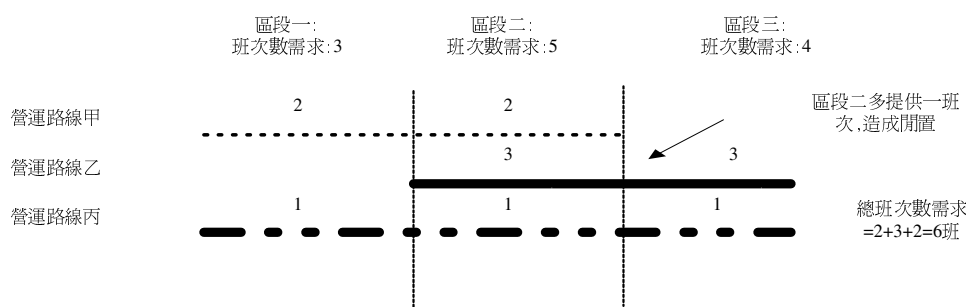


圖 10 可行營運路線組合之運量分派



(a)區段一以 1:2 比例之運量分派



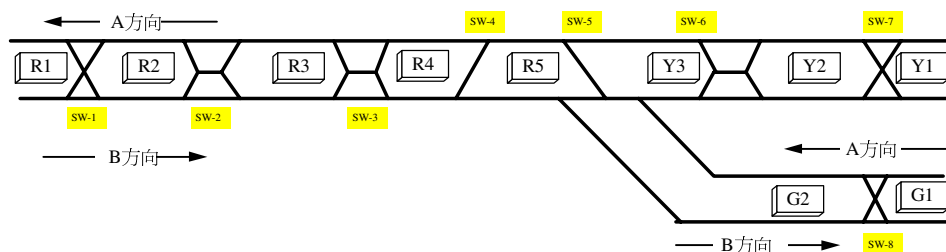
(b)區段一以 2:1 比例之運量分派

圖 11 重疊區段不同比例之運量分派示意圖

## 5.5 營運路線設計方法之驗證

為說明如何以本研究發展之路線設計方法從事捷運路網營運路線設計的工作，本節將透過簡例之方式，進行設計方法之簡要說明。

簡例說明之路網架構如圖 12 所示，其各站起迄需求量矩陣如表 1 所示，設計過程所需的設計參數值、上下行站間行駛時間、停靠時間及站間運量列表於表 2、表 3 中。



註：「R1、R2、...」代表車站代號，「SW-1、SW-2、...」代表橫渡線代號。

圖 12 捷運路網簡例架構圖

表 1 簡例各站起迄需求量矩陣

O \ D	R1	R2	R3	R4	R5	Y3	Y2	Y1	G2	G1
R1	0	10	12	14	28	20	16	8	4	2
R2	6	0	10	12	15	16	10	5	2	0
R3	12	28	0	14	10	11	17	12	20	10
R4	20	22	30	0	1	5	15	12	8	2
R5	8	20	18	6	0	16	15	33	20	15
Y3	16	24	30	14	10	0	12	23	18	14
Y2	8	5	3	10	8	15	0	12	12	12
Y1	14	12	20	22	12	20	5	0	10	8
G2	6	2	12	15	25	15	3	5	0	6
G1	14	4	15	22	23	22	14	2	8	0

表 2 簡例設計參數值

設計參數	設計值	設計參數	設計值
系統最小班距	2 分鐘	政策最大班距	15 分鐘
系統總列車數	15 列	營運成本	10 元/車公里
列車最大承載量	30 人/列車	轉車不便成本	5 元/次
端點站折返時間	3 分	袋型軌折返時間	5 分
等車時間價值	3 元/分	—	—

本研究在基本營運路線之設計選取，是在滿足所設之折返條件下任取二折返點所構成之路線，並在最短營運路線長度及列車順暢運行條件限制下所組成之路線。而最適可行營運路線組合方案則將所有可能之基本營運路線加以組合，並依所設計之控制變數進行檢核，進而篩選出系統總成本最少之方案。以下針對營運路線設計搜尋的過程與結果，說明如下：

#### 1. 捷運路線之分類

從圖 12 中可看出，路線相交會車站(R5)可透過轉轍器 SW-5 之變換使列車行駛於兩路線之間，因此兩路線可視為一組直形合併路線。

#### 2. 基本營運路線之建立

表 3 簡例 A、B 方向站間行駛時間、折返時間、停靠站時間及站間運量表

車站別	A 方向 站間距 離 (公尺)	A 方向 站間行 駛時間 (秒)	A 方向 停靠站 時間 (秒)	A 方向 折返時 間 (秒)	A 方向 站間運 量(人/ 小時)	B 方向 站間距 離 (公尺)	B 方向 站間行 駛時間 (秒)	B 方向 停靠站 時間 (秒)	B 方向 折返時 間 (秒)	B 方向 站間運 量(人/ 小時)
Y1	—	—	N/A	180	—	—	—	N/A	180	—
Y1↔Y2	1055	82	18	—	104	1053	80	N/A	180	114
Y2↔Y3	1619	119	18	300	215	1623	123	18	300	174
Y3↔R5	2138	138	25	—	303	2135	134	18	—	246
R5↔R4	696	65	18	—	320	698	67	25	—	249
R4↔R3	1362	97	18	300	126	1364	98	18	300	272
R3↔R2	1140	88	18	300	73	1137	87	18	300	202
R2↔R1	997	80	N/A	180	123	995	78	18	—	112
G1↔G2	830	71	18	—	199	828	69	N/A	180	163
G2↔R5	2142	136	25	—	124	2146	139	18	—	69
G1	—	—	N/A	180	—	—	—	N/A	180	—

從簡例中找出所有橫渡線位於島式站台之終端站的前、後方或側式站台之終端站後方或位於中間站或交會站間之袋形儲車軌的折返設施個數，計共有 SW-1、SW-2、SW-3、SW-6、SW-7 及 SW-8 等六個橫渡線。因此，直形合併路線共可構成  ${}_{(5+1)}C_2 = {}_6C_2 = 15$  條，即 R1-R2(SW1-2)、R1-R3(SW1-3)、R1-Y3、R1-Y1、R1-G1、R3、R3-Y3、R3-Y1、R3-G1、R4-Y3、R4-Y1、R4-G1、Y2-Y1、Y3-G1、Y1-G1 等，並以最短營運路線長度限制因子  $A(1) = 6$  個車站剔除不合適之營運路線，則符合之營運路線共有 R1-Y3、R1-Y1、R1-G1、R3-Y1 及 Y1-G1 等 5 條。再者，檢查符合之營運路線 Y1-G1，由於必須透過交會站 R5 調頭折返才能到達另一端點站，故刪除此一不可行之營運路線，剩餘之 4 條營運路線即構成基本營運路線。

### 3. 基本營運路線組合之建立

4 條基本營運路線按組合之方式，並在避免過多的路線設計混淆旅客之選擇的情況下，以最多營運路線組合數目  $A(2)=3$  條作為檢核條件，因此可構成有  ${}_4C_2 = {}_4C_3 = 10$  種基本營運路線組合。

### 4. 基本營運路線組合之檢核

10 種基本營運路線組合經控制變數 A(3)車站服務因子、A(4)路線連通因子及 A(5)

轉車次數限制之檢核後，可篩選出五種可行之營運路線組合。其中轉車次數限制 A(5) 假設以一次為限。

#### 5. 運量分派

將營運路線組合依路線重疊程度劃分為數個區段，並找出非重疊路線區段，作為優先運量分派之區段路線，例如第一種組合 R1-Y1 及 R1-G1(即 SW1-7 及 SW1-8)可分成三個區段 R1-R5、R5-Y1 及 R5-G1。而非重疊路線區段有區段二及區段三。

各區段中最大承載站間運量分別為 320、272 及 199，而所需之班次數分別為 11、10 及 7。由於非重疊路線區段有二組且各組內係由不同之營運路線所組成，故而兩區段內之營運路線均可視為優先分派路線。本例先以區段二(即 R5-Y1 區段)之營運路線(R1-Y1)作為優先分派運量路線，而尖峰小時所需之班次數為  $10(=272/30)$  班次，班距為 6 分，全程往返時間為 1926 秒，因此該路線所需之列車數為  $1926 \div 60 \div (6) = 6$  列。在 R1-Y1(SW1-7)之營運路線運量分派完成後，扣除已分派之各站站間運量後，可得 R1-G1 路線中之最大承載站間運量為 199，尖峰小時所需之班次數為 7 班次，班距為  $60/7$  分，全程往返時間為 1629 秒，故此路線所需之列車數為 4 列。合計所需之總列車數為  $6+4=10$  列。

#### 6. 可行營運路線組合之檢核

每一種營運路線組合之運量分派完成後，查核是否符合最小班次數 A(6)(政策班距 15 分鐘)之限制。發現第三、四種營運路線組合中之 R1-Y3 路線班距均為 20 分鐘一班次，第五種營運路線組合中之 R1-Y1 路線班距為 60 分鐘，三種營運路線之班距均高於政策班距 15 分鐘之限制，故而將此三種營運路線之班距調整成政策班距水準後，進行下一步驟路線最大容量 A(7)(各區段最短班距 2 分鐘)及系統總列車數 A(8)(15 列)等控制變數之查核，五種營運路線組合均符合路線最大容量、系統總列車數之要求。因此繼續進行下一階段之方案評估。

#### 7. 建立等車及轉車時間矩陣表

根據每一組營運路線組合建立一組相對應之等車、轉車時間及次數矩陣表。以第一組為例，其等車(包含轉車等候時間)及轉車次數矩陣表如表 4 及表 5 所示。所求得之矩陣乘上時間價值及轉車不便懲罰值後，以獲得總等車時間成本與轉車不便成本，如表 6 及表 7 所示。

#### 8. 可行營運路線組合方案之評估結果

依據(4)式求算每一組可行營運路線組合方案之系統總成本，選取總成本最小之方案即為最適營運路線設計之輸出。從表 8 可行營運路線組合方案之設計程序及結果表，其尖峰小時系統總成本一欄中可看出，第 1 組之總成本(15573 元)最小，因此該組為可行營運路線組合之最適方案。

表 4 等車、轉車時間矩陣

$\begin{smallmatrix} D \\ O \end{smallmatrix}$	R1	R2	R3	R4	R5	Y3	Y2	Y1	G2	G1
R1	0	60/34	60/34	60/34	60/34	3	3	3	60/14	60/14
R2	60/34	0	60/34	60/34	60/34	3	3	3	60/14	60/14
R3	60/34	60/34	0	60/34	60/34	3	3	3	60/14	60/14
R4	60/34	60/34	60/34	0	60/34	3	3	3	60/14	60/14
R5	60/34	60/34	60/34	60/34	0	3	3	3	60/14	60/14
Y3	3	3	3	3	3	0	3	3	51/7	51/7
Y2	3	3	3	3	3	3	0	3	51/7	51/7
Y1	3	3	3	3	3	3	3	0	51/7	51/7
G2	60/14	60/14	60/14	60/14	60/14	51/7	51/7	51/7	0	61/14
G1	60/14	60/14	60/14	60/14	60/14	51/7	51/7	51/7	60/14	0

單位：分。

表 5 轉車次數矩陣

$\begin{smallmatrix} D \\ O \end{smallmatrix}$	R1	R2	R3	R4	R5	Y3	Y2	Y1	G2	G1
R1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Y2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Y1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
G2	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
G1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

表 6 第一組營運路線組合之總等車及轉車時間成本矩陣

$\begin{smallmatrix} D \\ O \end{smallmatrix}$	R1	R2	R3	R4	R5	Y3	Y2	Y1	G2	G1
R1	0	53	64	74	148	180	144	72	51	26
R2	32	0	53	64	79	144	90	45	26	0
R3	64	148	0	74	53	99	153	108	257	129
R4	106	116	159	0	53	45	135	108	103	26
R5	42	106	95	32	0	144	135	297	257	193
Y3	144	216	270	126	90	0	108	207	393	306
Y2	72	45	27	90	72	135	0	108	262	262
Y1	126	108	180	198	108	180	45	0	219	175
G2	77	26	154	193	321	328	66	109	0	77
G1	180	51	193	283	296	481	306	44	103	0



表 7 第一組營運路線組合之轉車不便成本矩陣

O \ D	R1	R2	R3	R4	R5	Y3	Y2	Y1	G2	G1
R1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y3	0	0	0	0	0	0	0	0	90	70
Y2	0	0	0	0	0	0	0	0	60	60
Y1	0	0	0	0	0	0	0	0	50	40
G2	0	0	0	0	0	75	15	25	0	0
G1	0	0	0	0	0	110	70	10	0	0

表 8 可行營運路線組合方案之設計程序及輸出結果表

方案別	路線組合	優先派路線	該區之最大運量	優先派路線之班數	該路線之往返時間(秒)	該路線所需之車數(列)	剩餘未派路線	該區之最大運量	優先派路線之班數	該路線之往返時間(秒)	該路線所需之車數(列)	運量完成?	路線各區班距(分)	總車數需求(列)	總轉車不便成本	總等車時間成本	總使用成本	各線每小時班數	營運路線全長(公尺)	營運者成本	尖峰小時之系統總成本(元)
1	R1-Y1 R1-G	R1-Y1	272	10	1926	6	R1-G1	199	7	1629	4	是	R1-R5:60/17 R5-Y1:6 R5-G1:60/7	10	675	12093	12768	10 7	R1-G1:14335 R1-Y1:18012	2805	15573
2	R1-G1 R3-Y	R3-Y1	272	10	1677	5	R1-G1	215	8	1629	4	是	R1-R3:60/8 R3-R5:60/18 R5-Y1:6 R5-G1:60/8	9	1445	14500	15945	10 8	R1-G1:14335 R3-Y1:13743	2521	18467
3	R1-Y3 R1-Y R1-G	R1-Y1	202	7	1926	4	R1-G1 R1-Y3	19970	7 3 4	1629 1606	4 2	是	R1-R5:60/17 R5-Y3:6 Y3-Y1:60/7 R5-G1:60/7	10	675	13399	14074	7 7 4	R1-G1:14335 R1-Y1:18012 R1-Y3:12662	2771	16845
4	R1-Y3 R1-G R3-Y	R3-Y1	202	7	1677	4	R1-G1 R1-Y3	19970	7 3 4	1629 1606	4 2	是	R1-R3:60/11 R3-R5:10/3 R5-Y3:60/11 Y3-Y1:60/7 R5-G1:60/7	10	1065	16373	17438	7 7 4	R1-G1:14335 R1-Y3:12662 R3-Y1:13743	2471	19910
5	R1-Y1 R1-G R3-Y	R1-G1	199	7	2007	4	R1-Y1 R3-Y1	16256	4 9	2286 2139	3 6	是	R1-R3:60/11 R3-R5:3 R5-Y1:60/13 R5-G1:60/7	13	675	13725	14400	7 4 9	R1-G1:14335 R1-Y1:18012 R3-Y1:13743	2961	17361

註：圖中「優先派路線小時班次數」欄中，刪除線係表示因該路線不符合政策班距之要求，因而調整成刪除線下方之班次數以符合班距要求。

## 六、實例分析—以台北捷運系統為例

台北捷運初期路網共包括淡水線、新店線、中和線、板南線及木柵線等五條路線，其中木柵線因屬於中運量系統，技術型式和控制方式與高運量系統有極大的差異性，使得系統無法相容；而新北投支線列車因噪音問題，目前採減速方式接駁行駛。為簡

化研究之範圍，實例分析只考慮高運量系統且不包含新北投支線之營運路線設計。台北捷運路網軌道布設圖，如圖 13 所示。

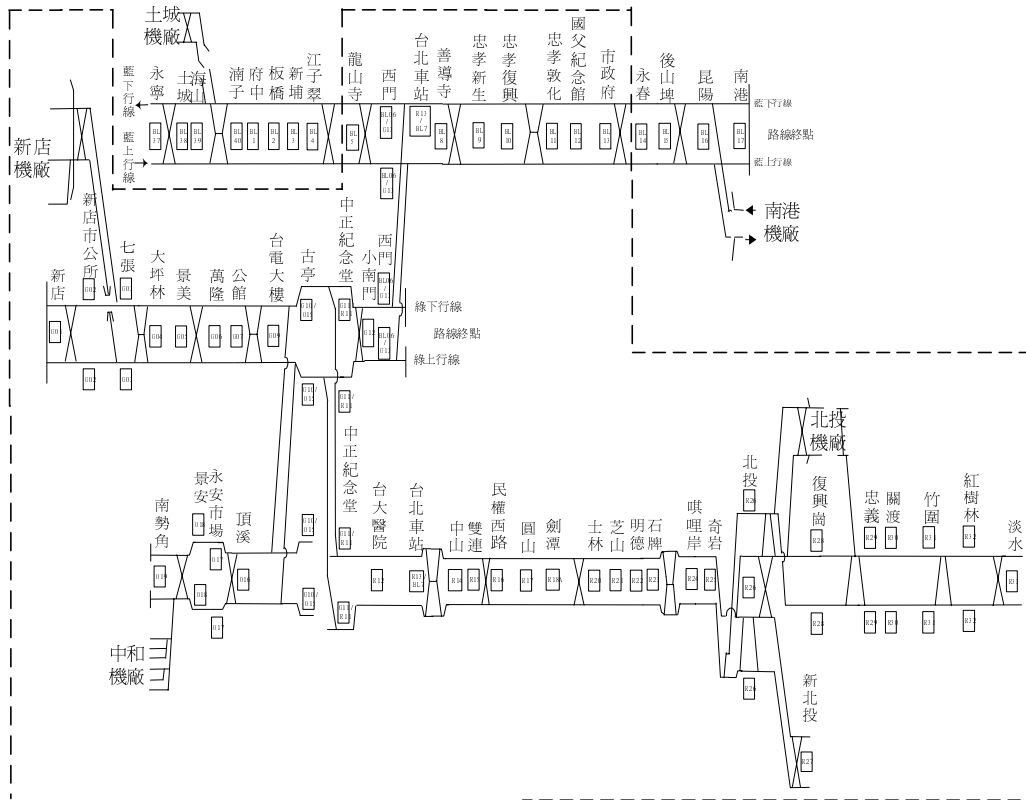


圖 13 台北捷運路網軌道布設圖

### 1. 建立基本資料

本研究以民國 89 年 4 月份台北捷運系統之營運資料作為建立起迄需求矩陣之基礎，合計有 42 個車站已通車營運，因此可建立 42×42 的捷運系統旅次起迄矩陣。

由於本研究之設計方法以尖峰小時的需求資料為設計基礎，因此在尖峰小時站間運量之取得，須將所蒐集之分時進出站運量及全日各站旅運量 OD 表，透過運量指派軟體加以轉換成為各站尖峰小時之站間運量。

### 2. 設定營運參數與控制變數

為後續營運路線設計程序進行之用，本研究參考台北捷運公司年報營運資料輸入營運參數與控制變數，如表 9 及表 10 所示。

表 9 台北捷運系統之營運參數設定值

營運參數	營運成本	列車最大承載量	等車及轉車時間價值	轉車不便成本
設計值	378.8 (元/每延車公里)	1936 (人/每列車)	1.66 (元/分)	6 (元/次)

表 10 台北捷運系統營運路線組合設計之控制變數設計值

控制變數	最短營運路線長度 A(1)	最多營運路線組合數目 A(2)	轉車次數限制 A(5)	系統服務班距指標 A(6)	系統最小班距 A(7)	系統總列車數 A(8)
設計值	捷運 6 個 車站之距離	3 條	2 次	7 分	105 秒	46 列

### 3. 營運路線組合設計之結果

經由上述所建立之基本資料與相關營運參數資料，並利用所撰寫之路線設計電腦程式，可產生一組最適的捷運營運路線組合設計方案。而路線設計之各步驟簡述如下：

- (1) 台北捷運路網透過路線基本分類結果，可分為合併路線(淡水、新店及中和線)及直形路線(板南線)二類。
- (2) 合併路線藉由基本路線設計後，找出符合折返條件之折返點共有八個(含北投站)，因此共可構成  ${}_8C_2 = 28$  條營運路線，而直形路線有三個折返點可選擇，共可構成  ${}_3C_2 = 3$  條營運路線。
- (3) 合併路線所組成之 28 條營運路線中，有 3 條營運路線(南勢角—台電大樓、南勢角—大坪林、南勢角—新店)必須經由交會站作列車調頭折返始能到達另一端點站，故予以刪除，又扣除 4 條不符合最短營運路線長度限制(六個車站)後，共剩下 21 條基本營運路線。直形路線則有一條營運路線(忠孝敦化—市政府)不符合最短營運路線長度限制須刪除。
- (4) 合併路線所組成之基本營運路線，在 A(2)至多 3 條路線組合之方式、A(3)車站服務因子、A(4)路線連通因子、A(5)轉車至多 2 次限制等控制變數檢核下，僅剩下 7 條基本營運路線組合{(R33-O19,R26-G1)、(R33-O19,R23-G1)、(R33-G1,R33-O19)、(R33-G1,R26-O19)、(R33-G1,R23-O19)、(R13-O19,R33-G1)、(R33-O19,R13-G1)}符合要求，而直形路線所組成之基本營運路線，只剩下 2 條{(BL5-BL13)、(BL5-BL13,BL5-BL10)}。
- (5) 合併路線中之各種基本營運路線組合經過運量分派後，發現各路線在目前旅運量水

準下，只需提供 10 到 15 分鐘的班距服務即可符合設定要求；然而因 A(6)政策班距設定為 7 分鐘，均低於上述各路線之班距，故而將各路線班距調整為 7 分鐘後，並進行下一階段 A(7)系統最小班距及 A(8)系統總列車數之查核工作。其設計結果如表 11 及表 12 所示。直形路線中之各種基本營運路線組合經過運量分派後，其設計結果如表 13 及表 14 所示。

- (6)從上述輸出結果表可看出，若未將高於政策班距之各方案路線加以調整的情況下，以 { (R33-G1,R33-O19,BL5-B13) } 之營運路線組合方案之尖峰小時系統總成本最低，約為 885,398 元，此時系統內之轉車人次數(639 人)最少。若將高於政策班距之各方案路線予以調整後之結果，則以 { (R33-G1,R23-O19,BL5-B13) } 之營運路線組合方案之尖峰小時系統總成本最低，約為 780,690 元。從各高於政策班距之路線方案調整前後所輸出之結果發現，各方案調整後之系統總成本均較未調整前為低，因此得知各路線班距從 10~15 分鐘調降為 7 分鐘，可使旅客的服務水準提高，亦可使系統總成本降低，故而採調整後之方案三作為最佳的輸出。

再者，本研究所輸出之最適方案 { (R33-G1,R23-O19,BL5-B13) }，較台北捷運公司民國 89 年 6 月間所設計之營運路線方案 { (R33-G1,R26-O19,BL5-B13) } 約可節省尖峰小時 12,767 元之系統總成本；其中營運者成本減少 24,901 元(356,728 元-331,827 元)，但使用者成本增加 12,133 元(332,855 元-344,988 元)。

表 11 營運路線組合方案之電腦程式輸出結果表(合併路線-未調整成政策班距)

方案	路線別	起迄站	站間最大運量	來回長度(公尺)	車站數	行車時間(秒)平均來回 Td	行車週期(秒)Cy	班距(秒)H	列車數 TN	總延車公里 TdL	路線總班次需求 F	方案總轉車人次數	方案總等車及轉車時間(分)	營運者總成本(元)	使用者總成本(元)	系統總成本	名次
1	BL6	R33<->G1	8046	65807	30	5294	7112	720	10	329.035	5	639	338230	211543	565293	776836	1
	BL7	R33<->O19	7578	57355	26	4605	6223	900	7	229.42	4						
2	BL6	R33<->G1	8046	65807	30	5294	7112	720	10	329.035	5	1013	366605	183474	614641	798115	3
	BL13	R26<->O19	7578	38830	20	3310	4748	900	6	155.32	4						
3	BL6	R33<->G1	8046	65807	30	5294	7112	720	10	329.035	5	1118	377236	172407	632917	805324	4
	BL18	SW1<->O19	7578	31526	17	2702	4018	900	5	126.104	4						
4	BL6	R33<->G1	15025	65807	30	5294	7112	450	16	526.456	8	4146	319450	223051	555161	778212	2
	BL22	SW2<->O19	7578	15595	8	1346	2296	900	3	62.38	4						
5	BL7	R33<->O19	7578	57355	26	4605	6223	900	7	229.42	4	1203	383291	176456	643480	819936	6
	BL12	R26<->G1	8046	47282	24	3999	5637	720	8	236.41	5						
6	BL7	R33<->O19	7578	57355	26	4605	6223	900	7	229.42	4	1384	400278	162623	672768	835390	7
	BL17	SW1<->G1	8046	39978	21	3391	4907	720	7	199.89	5						
7	BL7	R33<->O19	15025	57355	26	4605	6223	450	14	458.84	8	4795	342666	210245	597599	807844	5
	BL21	SW2<->G1	7473	24047	12	2035	3185	900	4	96.188	4						

註：表內「方案總轉車時間」一欄，包含旅客等車及轉車時間。

表 12 營運路線組合方案之電腦程式輸出結果表(合併路線-調整成政策班距)

方案	平均 列車 承載 量(率)	路線別	起迄站	站間 最大 運量	來回 長度 (公尺)	車 站 數	行車時 間(秒) 平均來 回 Td	行車 週期 (秒)Cy	班距 (秒)H	列 車 數 TN	延車 公里	路線 總班 次數 需求 F	方案 總轉 車人 次數	方案總 等車及 轉車時 間(分)	營運者 總成本 (元)	使用者 總成本 (元)	系統 總成本	名次
1	894*	BL6	R33<->G1	8046	65807	30	5294	7112	420***	18*	592.263*	9*	639	178397	419883*	299970	719854	6
	842*	BL7	R33<->O19	7578	57355	26	4605	6223	420***	16*	516.195*	9*						
2	894*	BL6	R33<->G1	8046	65807	30	5294	7112	420***	18*	592.263*	9*	1013	196854	356728*	332855	689583	3
	842*	BL13	R26<->O19	7578	38830	20	3310	4748	420***	12*	349.47*	9*						
3	894*	BL6	R33<->G1	8046	65807	30	5294	7112	420***	18*	592.263*	9*	1118	203785	331827*	344988	676816	1
	842*	BL18	SW1<->O19	7578	31526	17	2702	4018	420***	11*	283.734*	9*						
4	1669*	BL6	R33<->G1	15025	65807	30	5294	7112	420***	18*	592.263*	9*	4146	250133	277515*	440095	717611	5
	842*	BL22	SW2<->O19	7578	15595	8	1346	2296	420***	6*	140.355*	9*						
5	842*	BL7	R33<->O19	7578	57355	26	4605	6223	420***	16*	516.195*	9*	1203	197520	356728*	335100	691829	4
	894*	BL12	R26<->G1	8046	47282	24	3999	5637	420***	15*	425.538*	9*						
6	842*	BL7	R33<->O19	7578	57355	26	4605	6223	420***	16*	516.195*	9*	1384	204718	331827*	348138	679965	2
	894*	BL17	SW1<->G1	8046	39978	21	3391	4907	420***	13*	359.802*	9*						
7	1669*	BL7	R33<->O19	15025	57355	26	4605	6223	420***	16*	516.195*	9*	4795	252407	277515*	447769	725285	7
	830*	BL21	SW2<->G1	7473	24047	12	2035	3185	420***	8*	216.423*	9*						

表 13 營運路線組合方案之電腦程式輸出結果表(直形路線-未調整成政策班距)

方案	平均 列車 承載 量(率)	路線 別	起迄站	站間 最大 運量	來回 長度 (公尺)	車 站 數	行車時 間(秒) 平均來 回 Td	行車 週期 (秒)Cy	班距 (秒)H	列 車 數 TN	延車 公里	路線 總班 次數 需求 F	方案 總轉 車人 次數	方案總 等車及 轉車時 間(分)	營運者 總成本 (元)	使用者 總成本 (元)	系統 總成本	名次
1	1263*	BL2	B5<->B13	11375	15334	9	1266	2216	420***	6*	138	9*	0	31083.1	52276*	51597*	103874*	1
2	765*	BL1	B5<->SW1	6885	11527	6	861	1711	420***	5*	103	9*	0	25508	91574*	42343*	133917*	2
	498*	BL2	B5<->B13	4490	15334	9	1266	2216	420***	6*	138	9*						

表 14 營運路線組合方案之電腦程式輸出結果表(直形路線-調整成政策班距)

方案	路線 別	起迄站	站間 最大 運量	來回 長度 (公尺)	車 站 數	行車時 間(秒) 平均來 回 Td	行車 週期 (秒)Cy	班距 (秒)H	列 車 數 TN	總延車 公里 TdL	路線 總班 次數 需求 F	方案 總轉 車人 次數	方案總 等車及 轉車時 間(分)	營運者 總成本 (元)	使用者 總成本 (元)	系統 總成本	名次
1	BL2	B5<->B13	11375	15334	9	1266	2216	600	4	92.004	6	0	44404	34851	73711	108562	1
2	BL1	B5<->SW1	6885	11527	6	861	1711	900	2	46.108	4	0	70605	34891	117204	152095	2
	BL2	B5<->B13	4490	15334	9	1266	2216	1200	2	46.002	3						

註：表中「方案總轉車人次數」一欄，不包括從木柵線到板南線之轉車不便人次數，但包含忠孝復興站轉車等候之總時間成本(亦即將所有從木柵線轉車之旅客，均視為從忠孝復興站開始搭車)。而從板南線經台北車站轉新店線、淡水線或中和線之轉車不便人次數與轉車等候時間，以及從新店線、淡水線或中和線轉往板南線之轉車人次數與轉車等候時間均計數在合併路線【表 11 及表 12 之方案總轉車人次數】內。

#### 4. 敏感度分析

為了解各營運參數及控制變數的改變對營運路線設計之影響，本研究透過敏感度

分析之方式，在現有的旅運量水準下固定其他可能影響因素，僅以變動其中一項因素來探討捷運路網最適營運路線設計及總成本之影響。

當僅變動班距一項因素，則可從分析數據(如表 15 及圖 14 所示)中發現，班距設定值愈小，所需之班次數愈多，雖然旅客等候時間因而減少，但使業者所需提供之列車數相對地增加，造成延車公里數亦大增，故營運成本增加，此一輸出結果與先驗知識相符。再者，若各方案中之營運者成本及所需列車數相同，在不同之設計路線組合方案下，有可能造成轉車人次數不同，使得系統總成本亦不同；從表 15 及圖 15 中可看出，在相同班距 240 秒下，比較方案四與方案七之系統總成本，即可發現方案四優於方案七。由此得知，若未能配合運量分布情形下設計營運路線，將有可能因路線組合不當造成系統總成本大幅增加。

再者，若僅變動列車最大承載量設定值一項因素，則從分析數據(如表 16 所示)中亦可發現，當列車最大承載量設定值愈小，所需之班次數愈多，業者需提供較多的列車數以維持正當營運，使得營運者成本亦因此增加；然而班次數的增加，將使班距降低，使得旅客等候時間因而減少，使用者成本也會因此而減少。

表 15 班距變動下之敏感度分析

班距	方案	列車數	營運者成本	使用者成本	系統總成本	名次
240 秒	1	56	699806*	173053*	872860*	7
	2	50	594547*	192807*	787354*	5
	3	47	553046*	200010*	753056*	3
	4	40	462526*	262143*	724669*	1
	5	50	594547*	194579*	789126*	6
	6	47	553046*	202495*	755541*	4
	7	40	462526*	268199*	730725*	2
班距	方案	列車數	營運者成本	使用者成本	系統總成本	名次
360 秒	1	38	466537*	257665*	724202*	7
	2	34	396364*	286172*	682537*	3
	3	32	368697*	296662*	665359*	1
	4	27	308350*	380777*	689128*	5
	5	34	396364*	288260*	684625*	4
	6	32	368697*	299590*	668288*	2
	7	27	308350*	387913*	696263*	6

表 15 班距變動下之敏感度分析(續)

班距	方案	列車數	營運者成本	使用者成本	系統總成本	名次
480 秒	1	30	373230 <sup>*</sup>	342276 <sup>*</sup>	715506 <sup>*</sup>	5
	2	27	317091 <sup>*</sup>	379538 <sup>*</sup>	696630 <sup>*</sup>	3
	3	25	294957 <sup>*</sup>	393314 <sup>*</sup>	688272 <sup>*</sup>	1
	4	22	246680 <sup>*</sup>	499412 <sup>*</sup>	746093 <sup>*</sup>	6
	5	27	317091 <sup>*</sup>	381941 <sup>*</sup>	699033 <sup>*</sup>	4
	6	25	294957 <sup>*</sup>	396685 <sup>*</sup>	691643 <sup>*</sup>	2
	7	22	246680 <sup>*</sup>	507626 <sup>*</sup>	754307 <sup>*</sup>	7

班距	方案	列車數	營運者成本	使用者成本	系統總成本	名次
600 秒	1	23	279922 <sup>*</sup>	426887 <sup>*</sup>	706810 <sup>*</sup>	1
	2	20	237818 <sup>*</sup>	472903 <sup>*</sup>	710722 <sup>*</sup>	2
	3	19	221218 <sup>*</sup>	489967 <sup>*</sup>	711185 <sup>*</sup>	3
	4	16	185010 <sup>*</sup>	618047 <sup>*</sup>	803057 <sup>*</sup>	6
	5	21	237818 <sup>*</sup>	475622 <sup>*</sup>	713441 <sup>*</sup>	4
	6	20	221218 <sup>*</sup>	493780 <sup>*</sup>	714999 <sup>*</sup>	5
	7	17	185010 <sup>*</sup>	627340 <sup>*</sup>	812350 <sup>*</sup>	7

班距	方案	列車數	營運者成本	使用者成本	系統總成本	名次
極限值 (900/720 秒 或 900/450 秒)	1	23	211543	565293	776836	1
	2	20	183474	614641	798115	3
	3	19	172407	632917	805324	4
	4	16	223051	555161	778212	2
	5	21	176456	643480	819936	6
	6	20	162623	672768	835390	7
	7	17	210245	597599	807844	5

表 16 列車最大承載量變動下之敏感度分析

列車最大承載量設定值	方案	列車數	營運者成本	使用者成本	系統總成本	名次
1408	1	23	279922 <sup>*</sup>	426887 <sup>*</sup>	706810 <sup>*</sup>	1
	2	20	237818 <sup>*</sup>	472903 <sup>*</sup>	710722 <sup>*</sup>	3
	3	19	221218 <sup>*</sup>	489967 <sup>*</sup>	711185 <sup>*</sup>	4
	4	26	309648 <sup>*</sup>	400187 <sup>*</sup>	709836 <sup>*</sup>	2
	5	21	237818 <sup>*</sup>	475622 <sup>*</sup>	713441 <sup>*</sup>	5
	6	20	221218 <sup>*</sup>	493780 <sup>*</sup>	714999 <sup>*</sup>	6
	7	26	293640 <sup>*</sup>	427951 <sup>*</sup>	721592 <sup>*</sup>	7

表 16 列車最大承載量變動下之敏感度分析(續)

列車最大承載量設定值	方案	列車數	營運者成本	使用者成本	系統總成本	名次
1936	1	17	211543	565293	776836	1
	2	16	183474	614641	798115	3
	3	15	172407	632917	805324	4
	4	19	223051	555161	778212	2
	5	15	176456	643480	819936	6
	6	14	162623	672768	835390	7
	7	18	210245	597599	807844	5

列車最大承載量設定值	方案	列車數	營運者成本	使用者成本	系統總成本	名次
2200	1	15	186615*	638415*	825030*	2
	2	14	158545*	706317*	864863*	4
	3	13	147478*	731598*	879077*	6
	4	17	198123*	606769*	804893*	1
	5	14	158545*	709825*	868371*	5
	6	13	147478*	736518*	883997*	7
	7	17	188518*	644877*	833395*	3

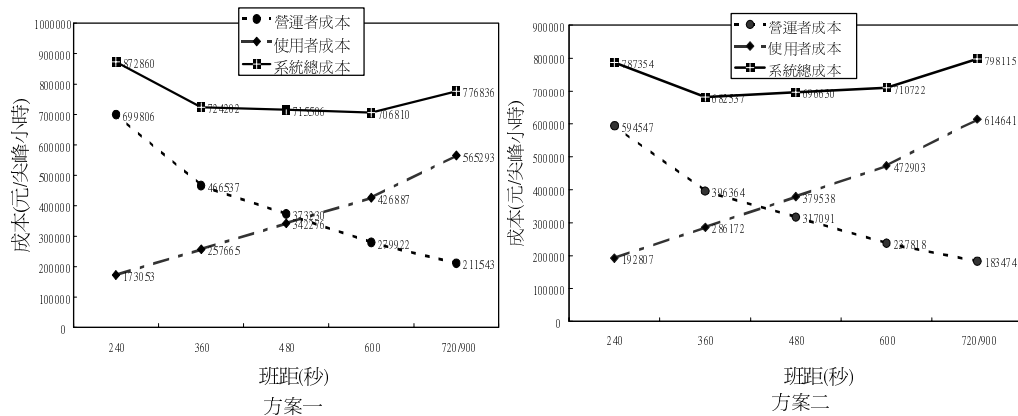


圖 14 同方案內不同班距下之趨勢分析



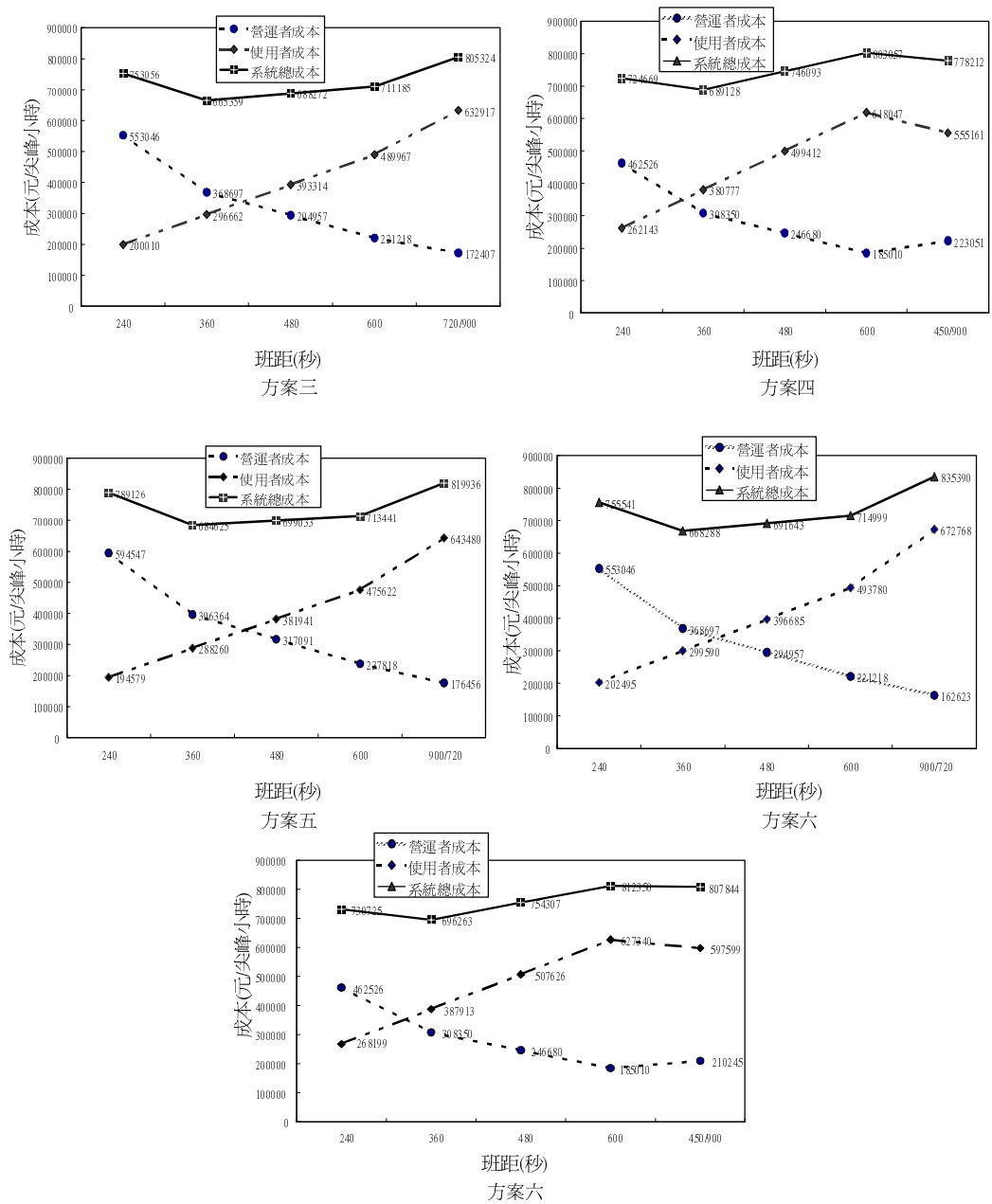


圖 14 同方案內不同班距下之趨勢分析(續)

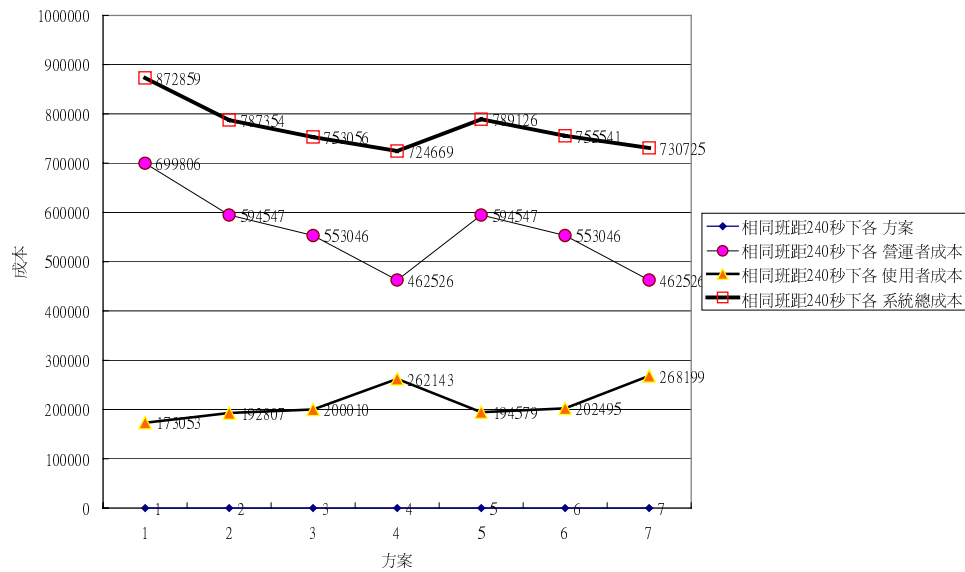


圖 15 相同班距 240 秒下之各方案成本趨勢分析

## 七、結論與建議

### 7.1 結論

1. 本研究分析捷運系統營運之特性，提出捷運營運後之路網設計方法，包含基本營運路線與可行營運路線組合二種路線設計，並以最短營運路線長度、車站服務因子、路線連通因子、轉車次數限制、最小班次數、路線最大容量因子及系統總列車數等控制變數來構建營運路線組合之設計程序。
2. 為兼顧列車折返之安全性及效率性，本研究透過列車運行折返及行車控制等資料之特性分析，歸納出符合列車正常折返點之評選要件。
3. 本研究為兼顧使用者與營運者兩者之間有相互抵換(trade off)之關係，建立以系統總成本作為路網評選之總評估指標，以確保所尋求之營運路線組合方案為最適。
4. 從實例分析中可看出，營運路線組合應考量實際旅運量分布情形，如此才不致因路線組合不當，設計出系統總成本偏高之無效率方案。
5. 由於本研究之營運路線組合設計方法可透過營運參數與控制變數之調整，產生符合不同設計標準之路網方案，例如本研究係以營運單位現階段所擁有之列車數作為營運路線設計之營運參數，倘營運單位欲增加其列車數，則此一參數之設定值，將可

自行調整。因此，顯示此設計方法可依決策者需求改變，具有相當的彈性。

6. 本研究所提出之營運路線設計方法主要係用於捷運系統已營運通車階段，其內容在於提供一系統化方法來找出最佳營運路線組合方案。

## 7.2 建議

1. 由於本研究實例分析所蒐集之旅運量資料係以「整點時段切割」方式計數，然而實際上旅運量尖峰時段未必恰巧發生在整點時段內；再者，旅次起迄的時間點亦並非全然在同一個時段內，建議後續若能調整計數切割時段，將可改善並獲取更精確的運量資料以利分析與決策。
2. 本研究在進行實例分析時，由於小南門維護支線尚未加入營運行列，使得所設計組合之營運路線數較少；再者，新通車路段加入營運之初期，旅運量仍在變化中，因此，後續若能在旅運量成長穩定情況下，針對日趨複雜之捷運路網，參考並利用本研究之設計方法來評選出最適之路線組合方案，將可滿足旅運需求並能提升經營績效。
3. 由於實際營運資料取得不易，故而在實例分析中，參考台北捷運公司年報資料加以簡化計算而得。倘有更詳盡之營運成本資料，應仍可套用於本研究以更精確求解。
4. 本研究在進行可行營運路線組合之運量分派時，係以最大承載量來求算列車班次數，亦即每班車均是假設「滿載」之效率，故不考慮空車率之問題。後續可另行設定尖峰列車服務水準以評選出所需最適之營運路線組合方案。

## 參考文獻

1. 中興工程顧問股份有限公司，「台中都會區捷運路網細部規劃報告－第二冊路網規劃」，民國八十七年七月。
2. 台北捷運工程局，台北都會區大眾捷運系統規劃手冊－第二冊營運及維修規劃，第十二版，民國八十七年十一月。
3. 凌建勳，「營運規劃相關課題－列車服務計畫之探討」，台北捷運局十週年慶研討會，民國八十六年九月十一日，頁 86-119。
4. 張學孔、涂保民、朱珮芸、許平和，「捷運系統服務路線長度之最佳化研究」，中國土木水利工程學刊，六卷四期，民國八十三年，頁 445-455。
5. 「地鐵公司一九九八年度年報」，香港地鐵公司，民國八十八年。
6. 周義華、林祥生，「都市公車路網設計方法之研究」，運輸計劃季刊，第十四卷第四期，民國七十四年十二月，頁 485-529。

7. 周義華、邱榮川，「配合捷運系統公車路網設計方法之研究」，運輸計劃季刊，第十六卷第二期，民國七十六年六月，頁 319-344。
8. 林益民，「大眾捷運系統費率訂定之研究」，台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國八十六年六月。
9. Small, K. A., *Urban Transportation Economics*, Harwood Academic, 1992.
10. 黃俐嘉，「公車路網績效評估模式之研究」，台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國八十六年六月。
11. 邱奕明，「公車路線調整準則與評估方法之研究」，台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國八十七年六月。
12. Welding, P. I., "The Instability of Close Interval Service", *Operations Research*, Quarterly, Vol. 8, 1957, pp. 133-148.
13. Jolliffe, J. K. and Hutchinson, T. P., "A Behavioral Explanation of the Association between Bus and Passenger Arrivals at a Bus Stop", *Transportation Science*, No. 9, 1975, pp. 248-282.
14. Turmquist, M. A., "A Model for Investigating the Effects of Service Frequency and Reliability on Bus Passenger Waiting Times", *Transportation Research Record*, No. 663, 1978, pp. 70-73.
15. 林國顯，「都市公車路網轉車規劃與評估方法之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國七十五年。
16. 周義華、游政霖，「城際客運轉運系統路線設計之研究」，運輸計劃季刊，第二十九卷第一期，民國八十九年三月，頁 143-180。
17. 謝興盛，「自動發車與列車調整」，台北捷運高運量號誌電腦 CTC 技術手冊，民國八十七年十月七日。
18. 「高運量系統行車運轉作業程序」，台北捷運公司，民國八十七年九月一日修訂。

# 都市交通號誌控制系統工程之標準作業 程序研究<sup>1</sup>

## ESTABLISHING A STANDARDIZED PROCEDURE FOR THE URBAN TRAFFIC SIGNAL CONTROL SYSTEM DEVELOPMENT

徐國鈞 Kuo-Chun Hsu<sup>2</sup>

(89 年 10 月 13 日收稿，90 年 4 月 12 日第一次修改，90 年 6 月 18 日

第二次修改，91 年 1 月 24 日定稿)

### 摘 要

本研究屬於交通部之系列專題研究計畫之一，全系列計畫之目的乃是尋求解決台灣地區發展都市號誌控制系統時之各種實務性困難；而本研究主旨在於針對都市交通號誌控制系統之建置／更新與擴充工程，建立一套標準作業規範，期能成為其從業人員的作業守則；俾使我國都市交通號誌控制系統工程之行政作業制度得以逐步標準化，且使未來的交通號誌控制系統得以發揮其應有之改善都市道路交通運作的功能。

**關鍵詞：**交通號誌控制系統；系統工程；標準作業程序

### ABSTRACT

*This study belongs to a series of ITS-oriented projects sponsored by the MOTC. It aims to resolve those practical development problems of the domestic urban traffic signal control systems. Research efforts have been focused on establishing a standardized procedure for the construction, renew and expansion of the urban traffic signal control system development. It is*

- 
1. 本研究係交通部科技顧問室委託辦理之專案研究計畫「台灣地區先進交通管理系統中都市號誌控制邏輯標準化與標準作業程序之研究」之部分研究成果，謹此致謝。
  2. 崑山科技大學資訊管理系講師，國立成功大學交通管理科學系博士候選人(聯絡地址為 701 台南市東區光華街 12 號 7 樓之 1，E-mail: gjs@nts.tcm.ncku.edu.tw)。

*expected that based on the outcomes of this study, i.e., an operational manual of system development, urban traffic signal control system authorities can revise step by step their administration procedure to further improve the domestic urban traffic control system development in the near future.*

**Key Words:** *Traffic signal control system; System engineering; Standardized procedure*

## 一、緒 論

環視國內在都市號誌控制系統工程上，由於長久以來一直缺乏一套可資遵循的作業規範，而各級地方政府也常因主管機關作業人員之專業性不足，以致無法完全掌握都市號誌控制系統之工程項目與品質，使得花費大筆經費所建立的交通號誌控制系統，經常無法切合實際需求；甚或由於缺乏妥善的維護與管理，而任由已建置完成有年之都市電腦化號誌控制系統遭到廢棄不用。因此，也常令社會大眾發出都市號誌控制系統僅是虛有其表之譏，輿論甚至頻生地方政府交通施政績效不彰之論。

因此本研究的主題，乃是針對都市交通號誌控制系統之建置／更新與擴充工程，建立一套統一性的標準作業規範，期能成為其從業人員的作業守則；俾使台灣地區的都市交通號誌控制系統工程之行政作業制度得以逐步地標準化，且使未來的交通號誌控制系統得以發揮其應有改善都市道路交通運作的功能；進一步更將使得我國未來先進交通管理系統(ATMS)的系統建置工作，也同樣能夠藉此規範之制定而獲益良多。

而標準作業程序之規劃工作，主要係將各類系統工程予以文件化，並訂出明確的工作規範，使得各類系統工程之工作成果，得以在最為經濟有效的工作方法之下，使其交通功能需求能夠獲得最大的滿足。

本研究係依循「工作方法」(work study)之研究方法與步驟，以研擬「都市交通號誌控制系統工程之標準作業程序」，其研究內容包括：

1. 文獻回顧：蒐集並整理標準作業程序研究方法的文獻。
2. 現況評析：分析現行都市交通號誌系統工程之實務問題。
3. 擬定發展策略：規劃標準作業程序之發展策略。
4. 研定標準作業程序執行規範：經由專家學者以及實務單位之反覆研商，擬定出標準作業程序之執行規範。
5. 結論與建議。

而本研究之研究流程如圖 1 所示：

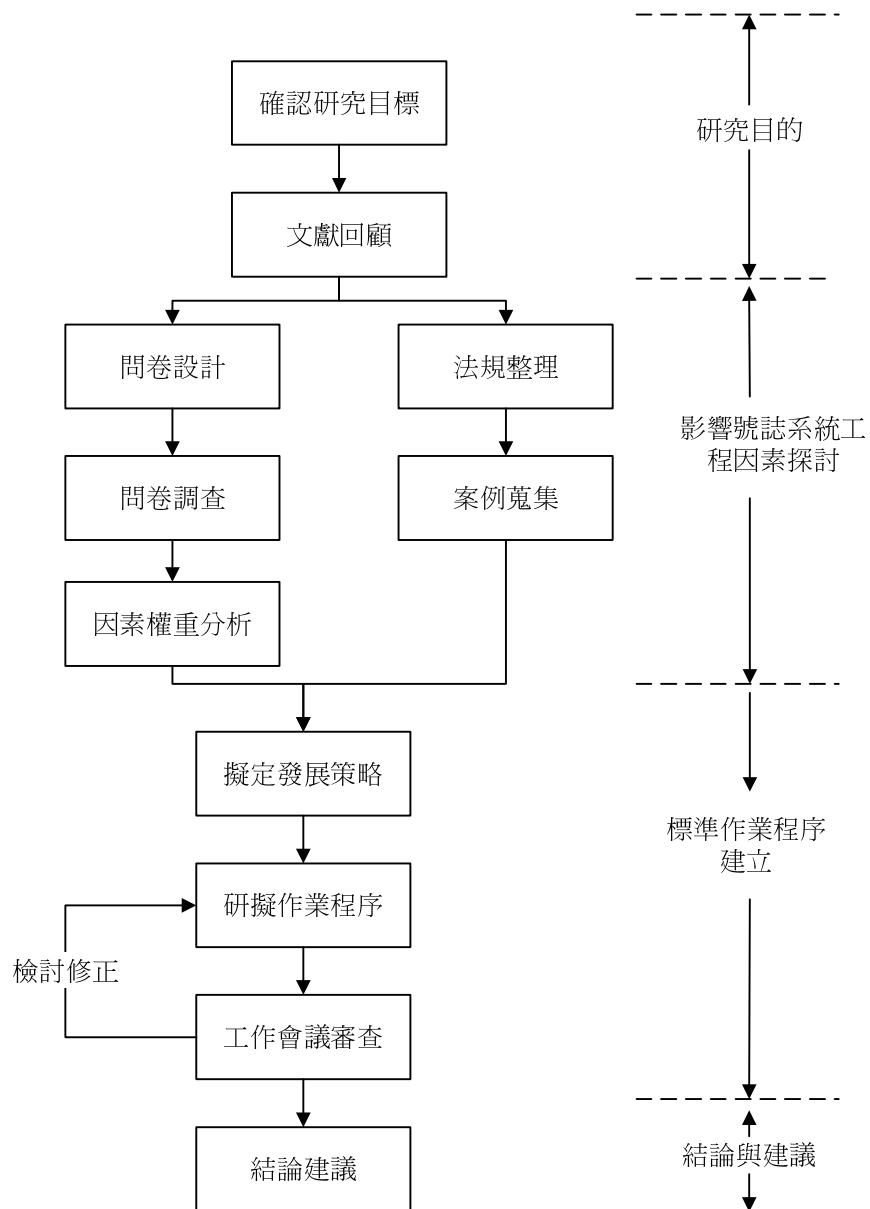


圖 1 研究流程

## 二、文獻回顧

「標準化」乃是一種為了有組織有系統地靈活運用所設定標準之行為，因此「標

準」即是標準化推行之基礎；而從「標準」之內涵可得知「標準化」活動之範圍。

而將標準加以文件化通常可有下列數種形式，以應用於不同的場合：<sup>[1]</sup>

1. 規範(specification)

係用以規定物料、產品、工具與設備等所需之品質、形狀、構造、尺寸、成分、容量、精密度、性能製造及試驗方法等。

2. 標準(standard)

即是以設定的標本，使物件或行動可與之比較。標準之目的係提供判定所需之準則，因此某種標準所採取之形式，乃是依照判定是何種對象及判定採用何種方法而定。

3. 實務規章(code of practice)

敘述某些被建議準則之文件，用於設計、製造、設置、維護或設備、設施、建築、產品之使用。

4. 法規(regulation)

包含立法、調節、行政的條文而具約束力的文件；它是由一依法具有適當權力之有關機構採用而公布之。

另外，標準化的主要目的，乃是為了增加生產、行銷和使用的效率和經濟，為達成此一目的，標準化具有下列特性：<sup>[2]</sup>

1. 互換性(interchangeability)：就是同一事物具有可以互換的性質。
2. 均一性(uniformity)：係指系統各個組成部分的品質、尺度、性能要求等，均在一定的規格範疇之內，而不須逐件逐項的去評估或測定其使用時應具備的妥適性。
3. 固定性(fixity)：乃是一種不可任意變更的條件，如時間、長度、度量等單位都是科學的標準。

由於標準化具有上述三種特性，所以推行標準化也就可以產生下列兩項效果：

1. 簡單化(simplification)：可以化繁為簡，可以選出最經濟、最適宜的型式。
2. 專業化(specialization)：只有標準化才能達到專業化的目的。

而所謂「標準作業程序」乃是以具有人為因素之作業性(operational)工作為其主要研究對象，其目的則是要訂定最佳的資源運用方式，以求達成目標的一套規範性工作準則。因此，必須對現行作業之內容做有系統的記錄、分析與檢討；並且基於這些有用的現況資訊，設計出較為完善的嶄新作業程序，以供未來工作時有所依循。一般作業程序的研究常可歸納為四個部分：<sup>[3]</sup>

1. 尋求經濟有效率的作業方法
2. 工作程序的標準化



### 3. 訂定衡量標準

### 4. 訓練執行作業人員

而其研究方法係以逐步的方式(step-by-step)，將複雜的問題加以剖析，以尋求解決方案，通常係採取圖 2 所示之循環分析步驟。

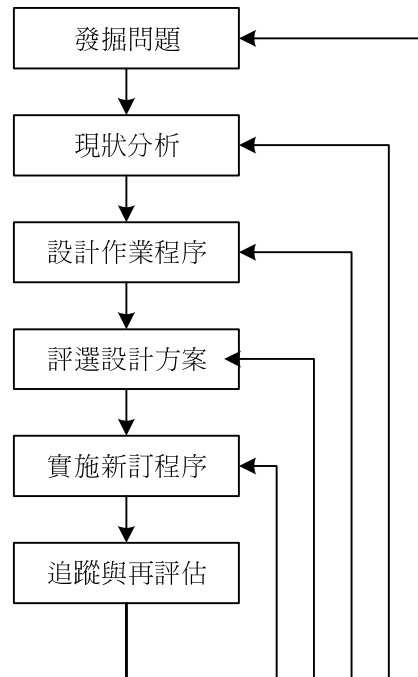


圖 2 作業程序研究步驟圖<sup>[3]</sup>

茲將圖 2 中各步驟的意義說明如下：

1. 發掘問題：確定問題之癥結所在，此步驟的原動力乃是改進的熱誠，以及創造性的思想。
2. 現況分析：客觀詳細地蒐集有關的事實與數據，以替代籠統的感覺或觀念，然後由所蒐集到的資料與限制因素的研討，可以判定問題的重點。
3. 設計作業程序：在各種限制因素下，設計出若干可能的作業程序方案，俾能在各種限制因素下，評選出可確實解決問題即達成目標之最佳方案。
4. 評選設計方案：在各種限制因素下，評選出可確切解決問題及達成目標之最佳方案。
5. 實施新作業程序：「說服」主管應用新程序，並以試行的方法提供相關人員訓練與

適應的機會。

6. 追蹤再評估：新程序實施後，應追蹤檢驗其影響，及其與實際情形間的差異，俾能在必要時進程序的修正。

由於號誌系統工程作業程序係屬實務行政運作，牽涉許多法規與社會習慣等無法量化因素，難以建立數學模式或以系統模擬方法來評比各方案間的優劣，且國內對於標準作業程序的研究方法尚未有具體的參考範例，因此本研究乃依照前述之作業程序研究步驟進行現況分析、資料蒐集與整理，而後依據問題反映擬定出合理的標準作業程序，並經由專家學者所共同組成的工作小組不斷檢討審驗，最後由交通部集合國內之專家學者召開審查會議審查完成。

### 三、台灣地區交通號誌控制系統之發展現況評析

針對台灣各縣市對於交通號誌系統工程上的問題，本研究利用分析層級法(AHP)，先與交通部科技顧問室、交通部運輸研究所、台北市交通管制工程處、高雄市政府警察局交通大隊、台南市警察局號誌小組、中華顧問工程司、中華交通號誌協會等單位之專家討論，建立起影響號誌系統工程作業因素之層級關係架構(如圖 3)，將影響號誌系統工程作業的問題權重列為目標層，目標層下設標的層，即分成系統規劃設計、發包施工、維護管理三種型態，每一標的層下再設準則層(即影響因子)。根據所建立之因素層級關係，同時考慮 AHP 問卷設計原則，研擬完成問卷初稿，試調後納入修正意見，即進行問卷訪問。

問卷調查對象係以各縣市的交通號誌控制系統主管單位(各縣市警察局交通隊、交通局)、交通部運輸研究所、各大號誌系統生產廠商、資策會等之專責人員為調查對象，共計發出 26 份問卷，回收 18 份問卷，回收率 69.23%，分析結果問卷之一致性指標(C.I.)，皆通過 Satty 所建議之最大上限 0.1，問卷有效率為 100%。

將有效問卷各成對比較值以幾何平均法計算求取綜合成對比較矩陣，再將此平均值輸入 AHP 程式中，計算整個調查對象群體的特徵向量，並檢查各階層之一致性，最後整理出影響交通號誌系統工程因素各因子之權重及排序，以整體層級架構下所得權重數值(global value)為計算的依據，其間相對之重要順序如表 1 所示。

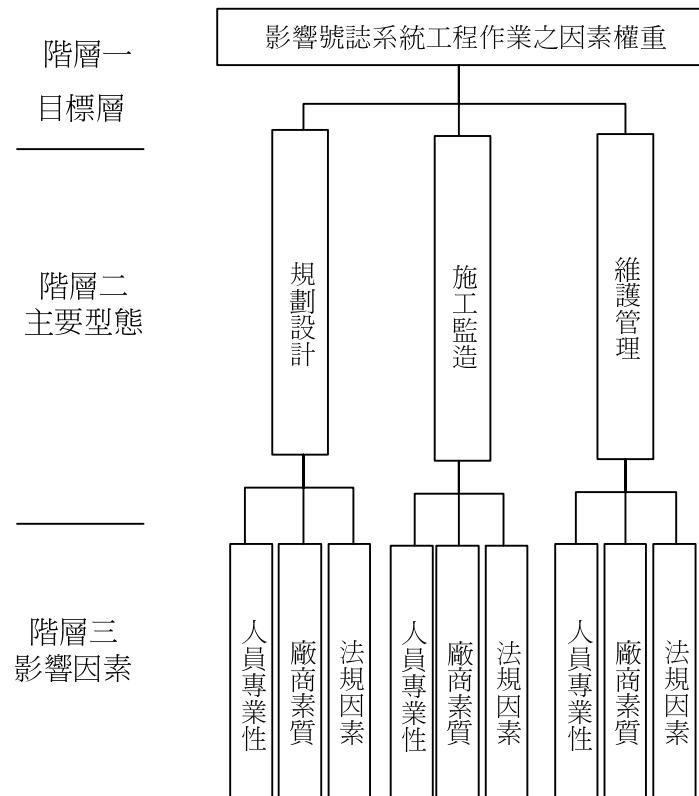


圖 3 影響交通號誌系統工程作業之主要因素層級架構

表 1 影響號誌系統工程因素權重排序

排序	影響型態	影響因素	相對權重
1	發包施工	法規因素	0.139
2	發包施工	廠商素質	0.121
3	規劃設計	人員專業性	0.112
4	規劃設計	法規因素	0.112
5	維護管理	人員專業性	0.109
6	維護管理	廠商素質	0.105
7	維護管理	法規因素	0.105
8	發包施工	人員專業性	0.1
9	規劃設計	廠商素質	0.097

由表 1 可以看出，號誌系統從業人員對於影響號誌系統工程的因素權重認知，另外本研究綜合各單位所填寫之其他補充意見後，區分三方面予以說明。

#### 1. 號誌系統之規劃與設計方面

- (1)雖然交通號誌系統係屬重要的交通管制設施，但因常受到民意代表之干擾，且以往未曾明訂一套完整、宏觀之長期規劃方向，又常受到上級單位所謂「重點推動內容」之左右，而使其發展過程極為紊亂不一。
- (2)號誌控制中心內部設備之硬軟體尚未加以標準化，卻又常受制於智慧財產權或其他的人為障礙，主管單位僅能掌握到使用權，卻經常受到號誌廠商之控制。
- (3)各地方單位普遍缺乏專業性之規劃與設計人員，而多由非專業人員，依經驗傳承或自行摸索的方式從事規劃與設計工作，難怪其控制成效普遍不佳。

#### 2. 號誌工程之發包與施工方面

- (1)由於號誌設備之標準不一，其維修工作十分困難且多受制於廠商。
- (2)地下管線過於雜亂，線路常遭其他管線單位加以破壞。
- (3)由於號誌系統工程係混合機電、土木、技術服務等工程，且其裝置使用影響道路交通甚鉅。過去主計單位依據審計法與稽查條例辦理號誌系統工程，常與業務單位認知不同，因此對於號誌系統之發包作業、使用單位、發包金額、表格、驗收資料等驗收程序常有不同之意見。
- (4)專業人才十分缺乏，相關工程之品質、材質往往缺乏專業認證與監工。
- (5)目前之發包制度係採規格標，某些功能較強之控制器無法納入考慮，徒然喪失增強號誌系統功能之機會。
- (6)非號誌專業製造廠商之任意搶標，造成技術及施工品質之低落。

#### 3. 號誌系統維護管理方面

- (1)國內目前缺乏準確有效之車輛偵測器，或雖設有車輛偵測器，但卻因故障率過高，因此無法提供可靠之車流資訊，以精準調整時制與衡量控制績效，連帶使得國內各都市所規劃之動態交通號誌控制系統均無法有效地加以運作。
- (2)號誌控制器之故障率太高，導致其與中心未連線之路口增加，不僅影響時制連鎖作業，也浪費過多的人力於現場的對時工作。
- (3)控制器內時制劃分均以「週(week)」為單位，然而特殊的例假日甚多，因而造成實際運作彈性之不良。

- (4)路網群組之定時時制難以兼顧幹支道之流量需求，各路口之時差無法配合設定，往往形成交通瓶頸，因而影響路段之交通順暢甚鉅。
- (5)因不同設備廠商所設計時制轉換之時差調整方法並不相同，使得不同設備之間無法加以動態連鎖。
- (6)缺乏專業單位針對整個路口、路段、標誌、標線、號誌、分向島等統一性規劃設計，使得號誌管制之效果無法充分發揮。
- (7)時制設計長期受到民代關說，而無法依流量與交通專業知識來設計時制。

## 四、交通號誌控制系統工程標準作業程序之發展策略分析

針對交通號誌控制系統之建置、更新與擴充工程的實際作業，本研究經過資料蒐集與文獻的整理分析後，將其整個系統工程歸納為下列各項工作階段：

### 1. 交通號誌控制系統工程成案階段

各縣市政府之行政體制與財政狀況雖各不相同，但交通號誌控制系統工程成案的步驟均可歸納為下列數項：

- (1)發展交通號誌控制系統之共識形成
- (2)發展經費或財源之尋覓
- (3)呈報上級機關核定
- (4)系統核定辦理

### 2. 系統規劃作業階段

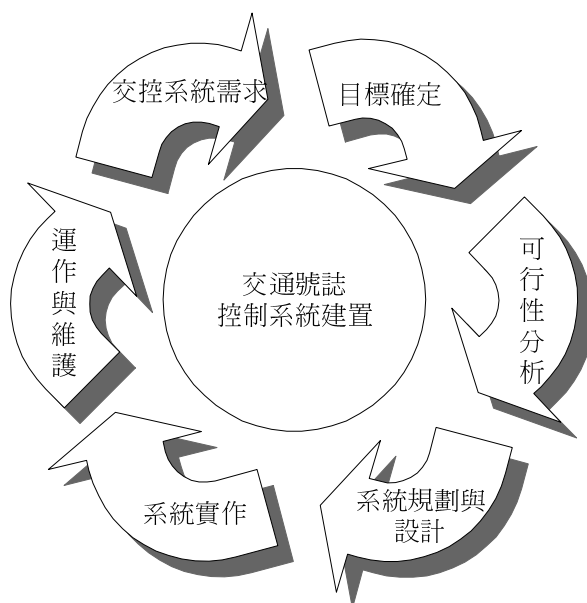
由於交通號誌系統在其功能需求、開發經費、配置人力、地方狀況等方面之差別，各級都市均有其各自適用之系統發展架構，並且依其都市本身之特性，而有不同之管理目標與階段性發展計畫，其重要工作項目計有：

- (1)系統生命週期(System life cycle)之擬定。

交通號誌控制系統之發展有其「生命週期模式」，在規劃階段擬定生命週期的模式，以及生命週期中各階段的預估時程，可讓後續規劃得以開展，並能有適當的標準初步評估各種替選方案。

交通號誌控制系統的生命週期模式可以應用循環週期的方式，如圖 4 所示建立其系統生命前後階段的關係。但亦可視系統本身限制或環境因素，使用其他不同的生命

週期模式，如瀑布式、雛形法、螺旋式等不同模式，來規劃其發展模式。



資料來源：參考文獻[4,5,6]分析成果。

圖 4 都市交通號誌控制系統之生命發展週期圖

#### (2) 道路交通資料之蒐集與分析

交通號誌系統中之交控時制軟體設計，須能因時因地制宜，方能發揮其實際成效；因此針對系統所涵蓋之控制範圍實地蒐集道路幾何、交通特性、與交通控制設施等資料。

依據所蒐集的資料，配合實際道路區位之配置狀況，可以找出現況問題之癥結所在，並依其區位特性分析問題之可能成因，以供研訂後續改善策略時加以參考。

#### (3) 交控策略之研擬

依據前述分析結果，再配合未來交通管理與控制的目標，以進行交通控制策略之研擬，可行的改善策略包括：

- a. 交控層級之提升：依據需求可提升至能夠即時反映車流變化之各種可能控制策略(如：全動態適應性交控邏輯)。
- b. 採行幹道或網路連鎖控制
- c. 可行時相規劃
- d. 時制重新設計

(4)系統實作之規劃，其內容包括：<sup>[7,8]</sup>

- a. 系統架構之選擇
- b. 控制群組之劃分
- c. 控制時段之劃分
- d. 交通偵測器之布設
- e. 短期流量之預測
- f. 控制群組間之交互運作關係
- g. 時制轉換方法
- h. 系統降級運轉
- i. 與 ITS 及其他相關資訊系統之整合界面

### 3. 系統設計作業階段

系統設計工作通常應包括：

- (1)交通控制軟體、交控邏輯、定時時制等規格設計。
- (2)各種系統設備規格，包括資料蒐集子系統、交通號誌控制子系統、傳輸子系統、中央電腦系統、電力系統等，所有設備之設計、製造、安裝、與測試等規格，其最低限度必須符合國家標準或是國際通用標準。

### 4. 系統發包作業階段

就一般發包方式而言，都市交通號誌控制系統工程目前可依各縣市之行政組織與人力結構，大致可區分為以工程採購或財物採購兩種方式，除台北市以外，過去一般縣市政府均採用財物採購統包的方式來處理號誌系統工程。

若採工程採購之行政手續較為繁複且缺乏彈性，但是工程品質較容易掌握；若採財物採購，其優缺點則正好與工程採購相反。依據採購法第七條「……採購兼有工程、財物、勞務二種以上性質，難以認定其歸屬者，按其性質所占預算金額比率最高者歸屬之」，而號誌系統工程通常機電系統採購之比重較土木工程為多，因此可採財物採購的方式來處理。

以財物採購的方式，可著重於完工後之系統能否具備原設計之功能規格，以簡化作業之人力需求。但另一方面，仍須配合以採購合約之附約方式，訂定必要的檢核點與檢核方式，俾能取代工程監工作業之功能。

此階段工作包括：

- (1)招標作業：

依照採購法第十八條招標方式可分為公開招標、選擇性招標及限制性招標三種。其中：

- a. 公開招標指以公告方式邀請不特定廠商投標。
- b. 選擇性招標指以公告方式預先依一定資格條件辦理廠商資格審查後，再行邀請符合資格之廠商投標。
- c. 限制性招標指不經公告程序，邀請二家以上廠商比價或僅邀請一家廠商議價。

號誌系統工程在規劃、設計、軟體、監造等技術服務部分，由於其專業性要求，依政府採購法第二十二條第九款之規定，可採如圖 5 所示之限制性招標之勞務採購流程辦理。但在成立預算前，限制性招標必須函報上級機關核准方得公告辦理。

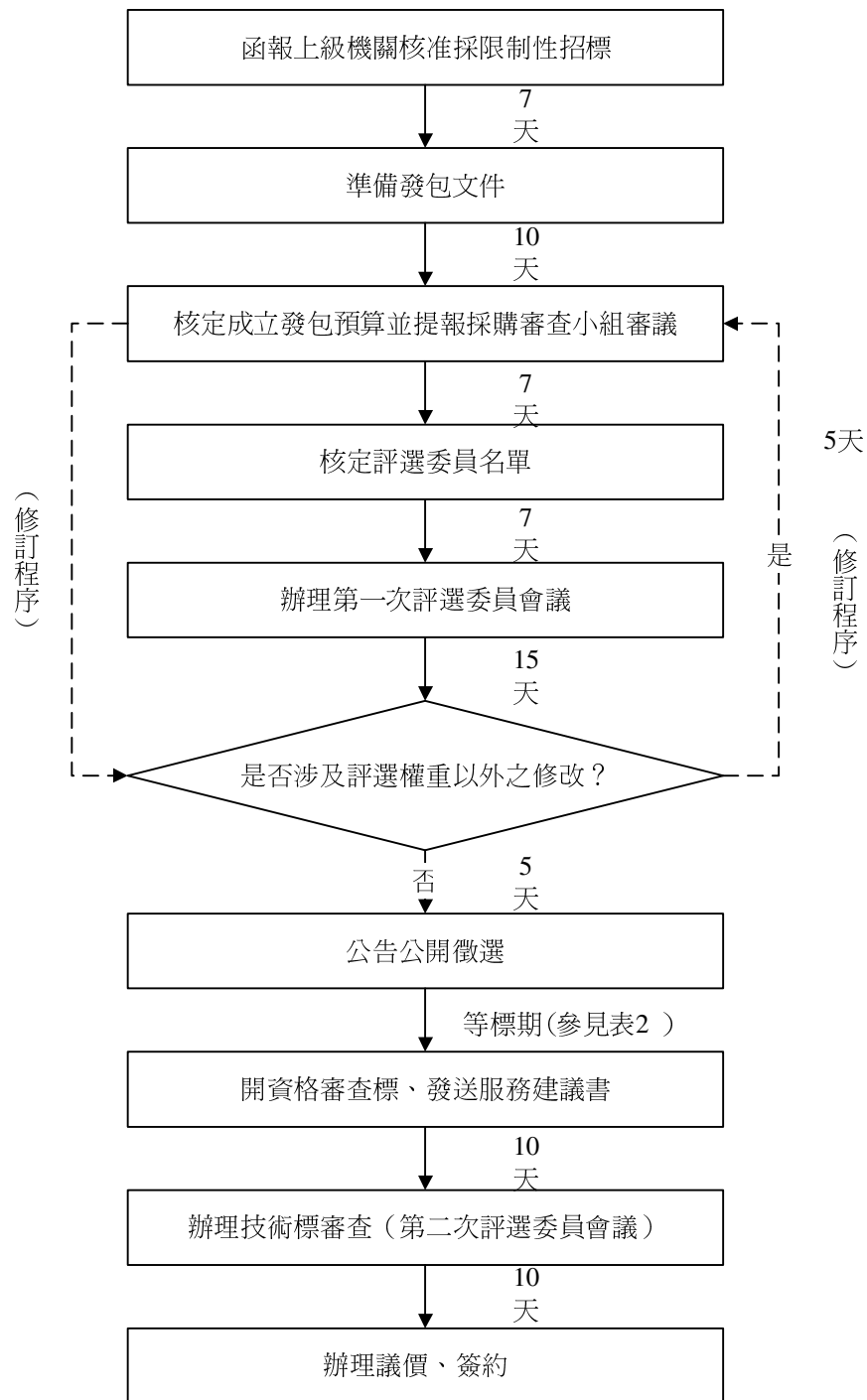
而在系統實作時，則可採用圖 6 所示之財物、工程採購的流程來辦理。不論應用勞務採購招標作業流程或財物、工程採購作業流程，公告徵選後之等標期，須依照採購金額規模，分成六個等級，而各有不同的等標期間，如表 2 所示。

依據採購法第五十二條規定，機關辦理採購之決標作業，可以最低標、最有利標、複數決標之方式。其中最有利標的方式可就廠商投標標的之技術、品質、功能、商業條款或價格等項目，評定決標廠商。此種方式可做為當招標規格必須以市場最低標準以使合格廠商數符合規定時的補救措施，如此就能採購到功能較強的系統。

表 2 採購規模及公開招標等標期表

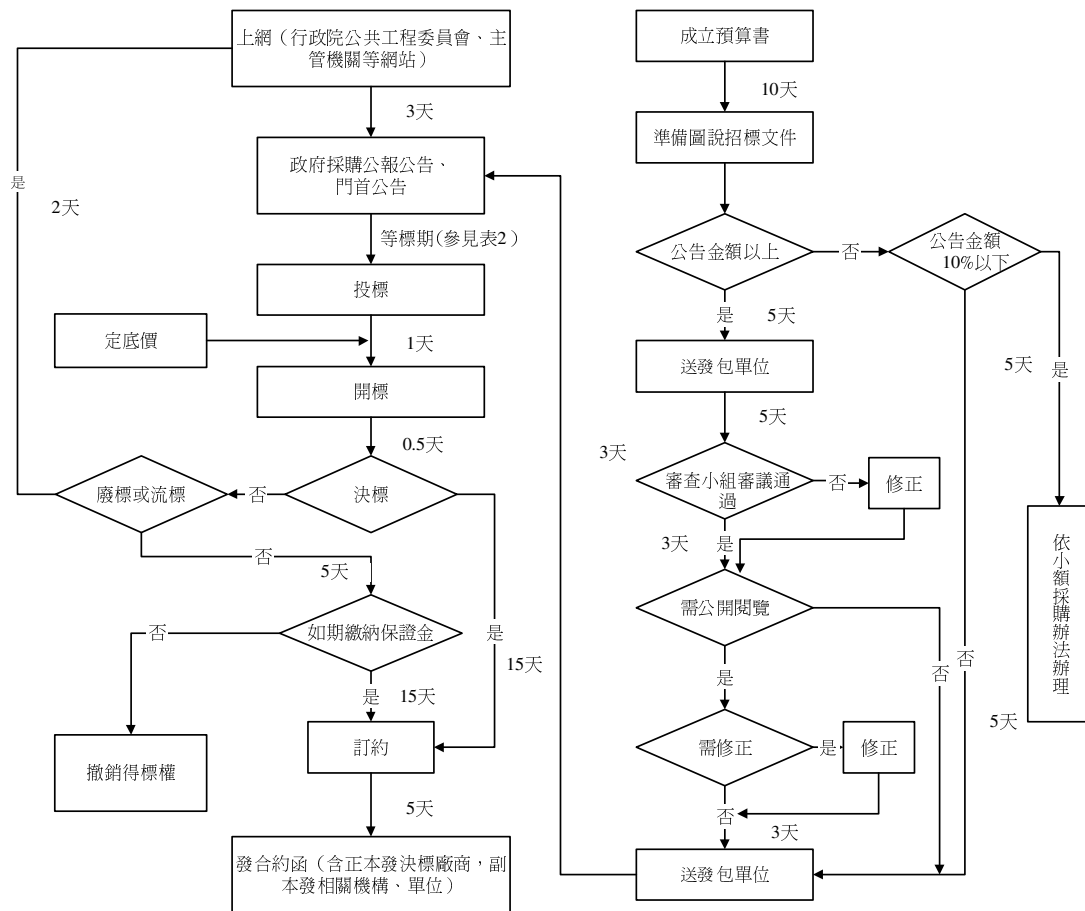
金額(元)	採購規模	公告招標等標期		
		第一次	第二次	第三次
約兩億兩千萬	締約或協定採購	40 日	20 日	3 日
工程：兩億 財物：一億 勞務：兩千萬	巨額採購	28 日	14 日	3 日
工程：五千萬 財物：五千萬 勞務：一千萬	查核金額	21 日	11 日	3 日
一百萬~ 五千萬	公告金額以上採購 公告金額	14 日	10 日	3 日
十萬~一百萬	公告金額 1/10 以上 未達公告金額採購	3 日	3 日	3 日
十萬以下	小額採購	逕行採購		





資料來源：參考採購法與文獻[9,10,11,12,13]。

圖 5 交通號誌系統工程之勞務採購招標作業流程圖



資料來源：參考採購法與文獻[9,10,11,12,13]。

圖 6 交通號誌系統工程之財物、工程招標作業流程圖

(2)廠商資格審定：就國內相關之號誌系統工程實例而言，其廠商資格可分為交通號誌控制系統之設備廠商(直接生產或代理國內外之交通控制設備廠商)與系統工程廠商(以交通號誌系統為承攬業務之系統規劃設計工程的廠商)等兩類，依據採購法第二十四條「機關基於效率及品質之要求，得以統包辦理招標…」，因此可形成四種工作組合，各有其優缺點，但其中以第四個方案較為適合交通號誌控制系統工程之進行。

a. 以交通號誌控制系統之設備廠商為主

其優點為設備技術純熟，且施工廠商技術落實，工程進度與品質容易管理；其缺點為軟體技術與系統整合須仰賴他人支援，且產品容易壟斷。

## b. 以系統工程之廠商為主

其優點為有助於系統工程與通訊傳輸之品質保障；其缺點為仍需依賴下游之號誌、偵測器廠商協助施工。

## c. 系統工程之廠商或設備廠商均得單獨參與

其優點為機會均等，且可採最低價者得標；其缺點為無法掌握服務水準。

## d. 規範系統工程廠商須與設備廠商聯合承攬組合投標

其優點為不同專業相互組合，可增加溝通協調能力，並可排除不合格之廠商參與；其缺點為廠商的權利義務不盡明確。

## 5. 系統施工建置階段

在施工階段，茲建議可採兩種監造方案：

方案一：由業主委託專業之工程顧問公司負責整體工程之監造，另由業主成立業務監督單位。

方案二：由業主自行派員監造，另委託專業之工程顧問公司擔任工程監造顧問。

其優劣比較如表 3 所示。另外在工程管理工作上須進行下列工作項目：

- (1) 依照契約約定事項督促廠商如期開工、提報工程預定進度甘特圖或預定進度網狀圖、施工計畫、品質計畫等，訂定監造計畫，並控制工程進度，按時填報監工日報表、辦理估驗計價、必要之契約變更或追加契約以外新增工作程序項目。如係委託監造者，由受委託之監造單位提報監造計畫。
- (2) 協助廠商請領臨時設施之許可證照與指導設置。
- (3) 廠商放樣、各項基準測量之校驗。

表 3 工程監造方案比較表<sup>[4,6]</sup>

方案	優點	缺點
方案一	1.具專業監造管理知識，較能控制工程品質及掌握進度。 2.對突發性之工程異動，較具因應能力。 3.可免除業主募集監造人力之困擾。	1.業主須另行成立督導單位。
方案二	1.業主可藉監造機會，訓練本身人員，並吸收工程監造之經驗。 2.對日後系統接收後之運作管理，較為容易。	1.由於缺乏系統工程之監造經驗，對於工程品質及進度較不易加以掌握。 2.需自行募集監造人力及工程結束後之人員安排均較為困難。

- (4) 督促廠商依規定執行工地安全衛生、交通維持及環境維護等工作。

(5)辦理工程與材料之檢驗與品質管制工作。

#### 6. 系統測試與驗收階段

為確保工程之品質及系統之穩定可靠，系統設備及材料之檢測乃是相當重要之一環，應執行之檢測種類為：

- (1)工廠檢驗與測試
- (2)工地檢驗與測試
- (3)試用及驗收
- (4)檢驗與測試依據

#### 7. 系統運作與管理階段

交通控制系統要能發揮整體系統之效能，除須建立功能完整且易於操作的硬體設備及軟體系統外，系統運作是否得當亦為關鍵所在。都市交通號誌控制系統之運作，對於市區路網之交通順暢與秩序具有直接之影響，另外對於交叉路口的交通安全亦會產生明顯的效果。為了讓交通號誌系統之原設計功能得以充分發揮，在本階段主要有三項工作：

- (1)完成人力編組
- (2)執行人員訓練
- (3)執行作業流程

#### 8. 系統故障與維修階段

交通控制系統既為即時性之系統，故須維持二十四小時不關機之連續運作，以求不斷地監視都市交通狀況並控制路邊設備。維修制度的擬定須包括下列項目：

- (1)維修方式
- (2)維護組織
- (3)定期保養
- (4)修復保養
- (5)備品提存
- (6)維護設備

#### 9. 系統績效與效益評估

都市交通號誌控制系統之建置或擴充工程的所有功能在完工驗收後，應立即進行系統績效(performance)與交通效益(benefit)分析，以評估系統發展計畫執行之有效性，以供未來後續專案規劃與經費配置之依據。

評估工作基本上應涵蓋四大部分，其一為都市交通號誌控制系統中心軟硬體之功能評估，包括系統控制範圍、時制分析、保護及故障處理、儲存及記錄、系統顯示及查詢編修功能之評估；此外，亦應涵蓋監視投射設備、偵測器、號誌控制器、及通訊系統功能之評估。其二為軟體規劃與設計評估，包括軟體系統架構層級及功能模組設計之評估。其三為系統績效評估，主要著重於都市交通號誌控制系統運作時，控制中心軟硬體、路口控制器、偵測器與通訊方面之有效性分析。最後則為交通效益評估測試，主要係著重於系統運作後，對於道路車輛行駛之服務效益評估。茲將整個評估步驟整理如圖 7 所示。

都市交通號誌控制系統在建置完工後，可增強路網車流狀況之掌握，更可有效率地施行交通管理措施，使得駕駛人在路口的停等延滯時間減少，相對因停等所產生的耗油亦可減少，此兩項皆屬可計量的效益。針對上述兩項效益進行定量分析，應分別就改善前與改善後的情況，去評估系統完成後可貨幣化與不可貨幣化之綜合效益。一般都市交通號誌控制系統交通效益評估之項目計有：

1. 延滯、停等次數減少的效益

a. 獨立路口

- (1) 路口、路段平均延滯(秒／輛)
- (2) 停等百分比
- (3) 平均等候線長度

b. 幹道

利用試驗車法調查可求得下列二項評估指標：

- (1) 路段平均行駛速率：由試驗車之總旅行距離除以扣除交通延滯的旅行時間，所求得之速率。
- (2) 平均旅行速率：由試驗車之總旅行距離除以總旅行時間，所得之速率。

c. 路網

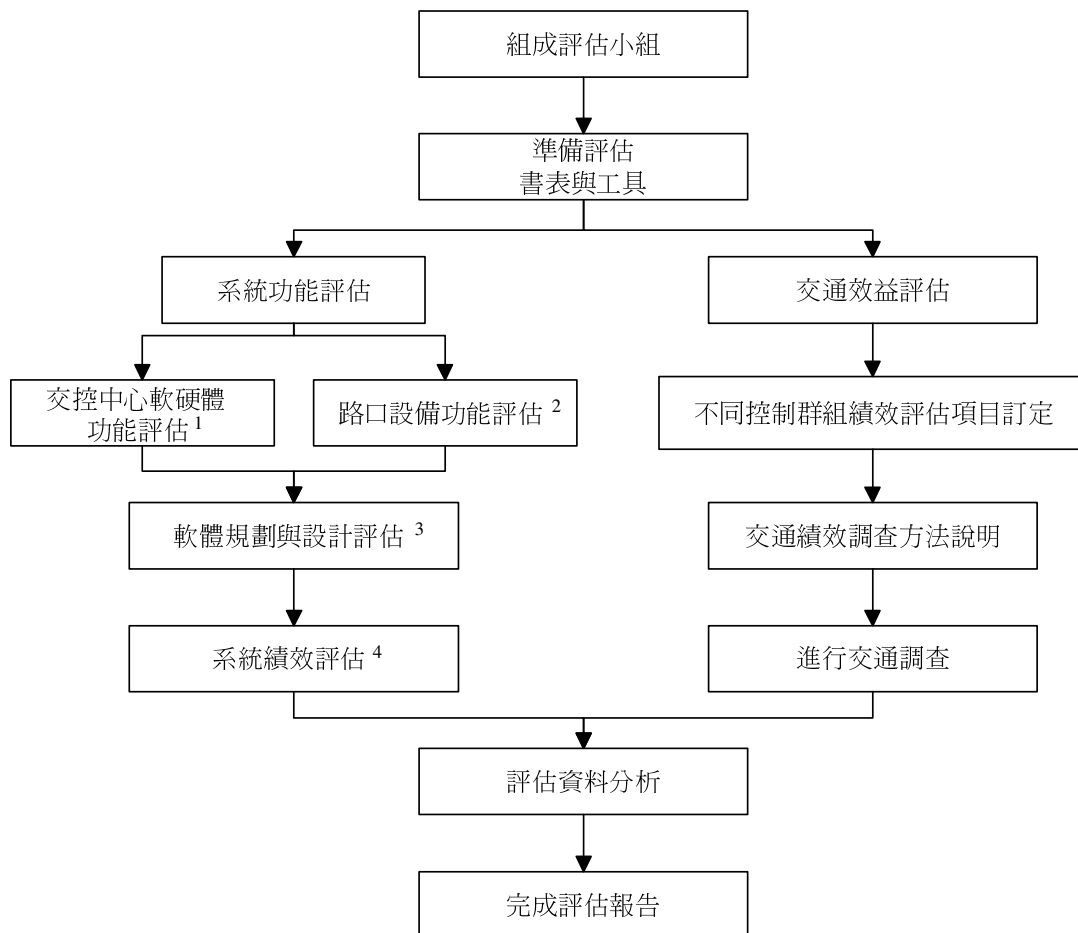
利用試驗車法調查可求得下列二項評估指標：

- (1) 路網平均行駛速率。
- (2) 路網平均旅行速率。

2. 車輛耗油量節省的效益

通常車輛之耗油係以停等於路口時之耗油量為最大，因此號誌系統改善後，車輛在路口之停等減少，即可節省車輛的燃油消耗。此處可採用油耗模式(如 Herman 的模式)來估算，主要的參數有三個，即：單位距離的行車時間、單位距離的停等次數及在

特定行駛速率下的平均停等次數等。



備註：

1. 交控中心軟硬體功能評估項目包括：系統運作控制範圍、時制設計分析、保護及故障維護處理、儲存及記錄、查詢顯示及編修。
2. 路口設備功能評估項目包括：交通號誌控制器、偵測器與其他路口設備之功能。
3. 軟體規劃與設計評估項目包括：軟體系統架構、功能模組設計。
4. 系統績效評估項目包括：交控中心軟硬體運作績效、路口設備軟硬體運作績效、通訊系統軟硬體運作績效。

資料來源：參考文獻[6,14,15]分析成果。

圖 7 都市交通號誌控制系統之績效與效益評估流程圖

### 3. 車輛廢氣排放量降低的效益

車輛廢氣排放的增加主要源於引擎無法在最有效的運轉狀態下工作，以致引擎燃燒不完全而產生。而車輛在都市道路行駛時，以停等延滯與行駛延滯最容易增加廢氣排放量，因此可應用模式來轉換交通參數來估計車輛廢氣排放量；或是亦可採用系統控制範圍內，空氣品質之長期監測數據，做為評估交通系統效益的指標。

### 4. 事件處理時間減短的效益

由於交通號誌系統建立後，可應用偵測設備提供更多道路資訊，並可提供更大的策略運作彈性，故較能掌握並調適交通事件之變化，使得因事件而產生的道路壅塞時間得以縮短。

對於非重現的交通事件(如天候、意外事故、道路封閉等)，因為相同的環境條件很難重複出現，因此較難評估交通號誌系統對於事件處理時間減少的幅度；但是對於重現性的交通事件(如上下午尖峰等)，則較易評估交通號誌系統對壅塞時間縮短的貢獻。

### 5. 事故發生次數降低的效益

交通號誌系統可藉由彈性的控制策略運用，在不過於減損績效的情況下，以時相保護方式分隔路口人車衝突，因此可減少事故發生機率。經由系統控制範圍之肇事類型與次數的事前事後統計分析，將可估算出系統建置後，事故發生次數降低的幅度，並可進一步轉換成貨幣化的價值。

## 五、標準作業程序執行規範之擬定

依照前述的都市號誌系統工程之作業分析步驟，參考現況分析中對於目前號誌系統工程作業中問題權重，本研究乃研擬出「都市交通號誌控制系統工程之標準作業程序」，並經由召開四次工作會議的方式，邀集專家學者與實務單位座談反覆討論與修正所研擬的作業程序，將作業規範以系統工程各階段之作業關係圖(如圖 8、圖 9、圖 10)來表達系統建置／更新／擴充工程間的關係，並在圖中將系統工程依其功能劃分為幾個階段，每個階段中再細分出數個作業步驟；因此凡作業階段起始時間具前後關係者，並不必然表示所隸屬的所有作業步驟也必為前後關係；緊接著再輔以工程時序圖(以建置工程為例，如圖 11、圖 12、圖 13 所示)，來加強說明各作業階段所包含之各個作業步驟的時序關係。

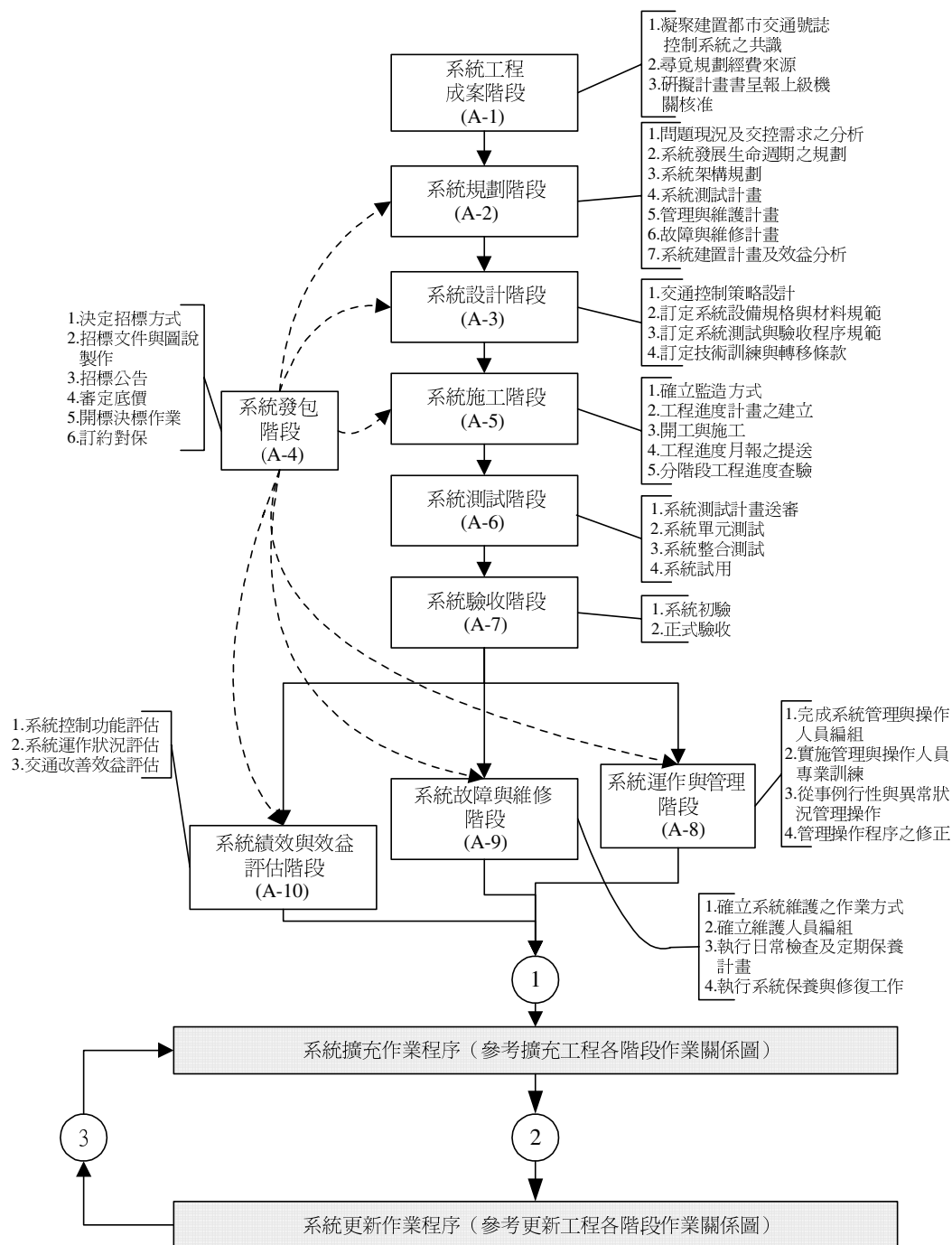


圖 8 都市交通號誌控制系統之建置工程各階段作業關係圖



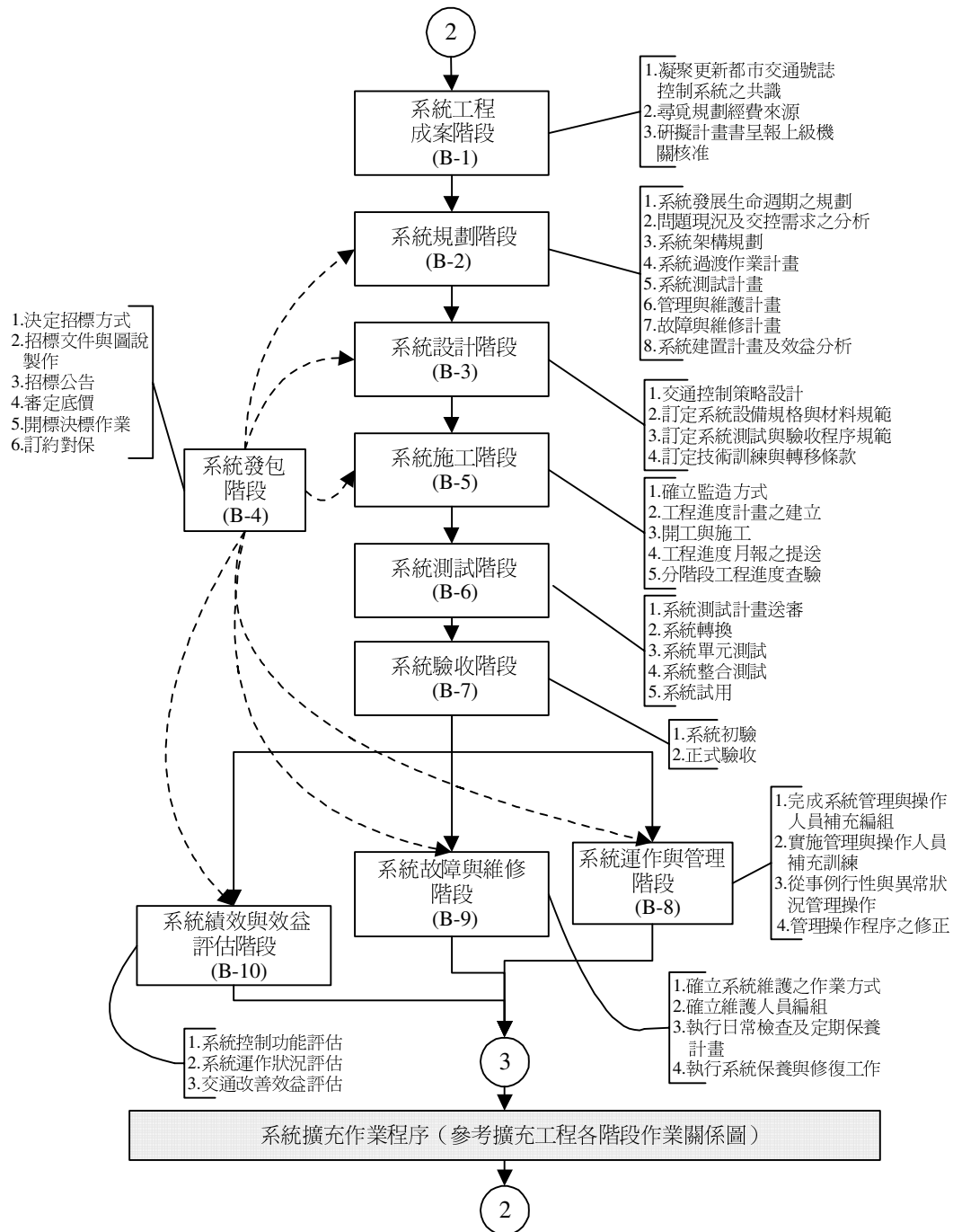


圖 9 都市交通號誌控制系統之更新工程各階段作業關係圖

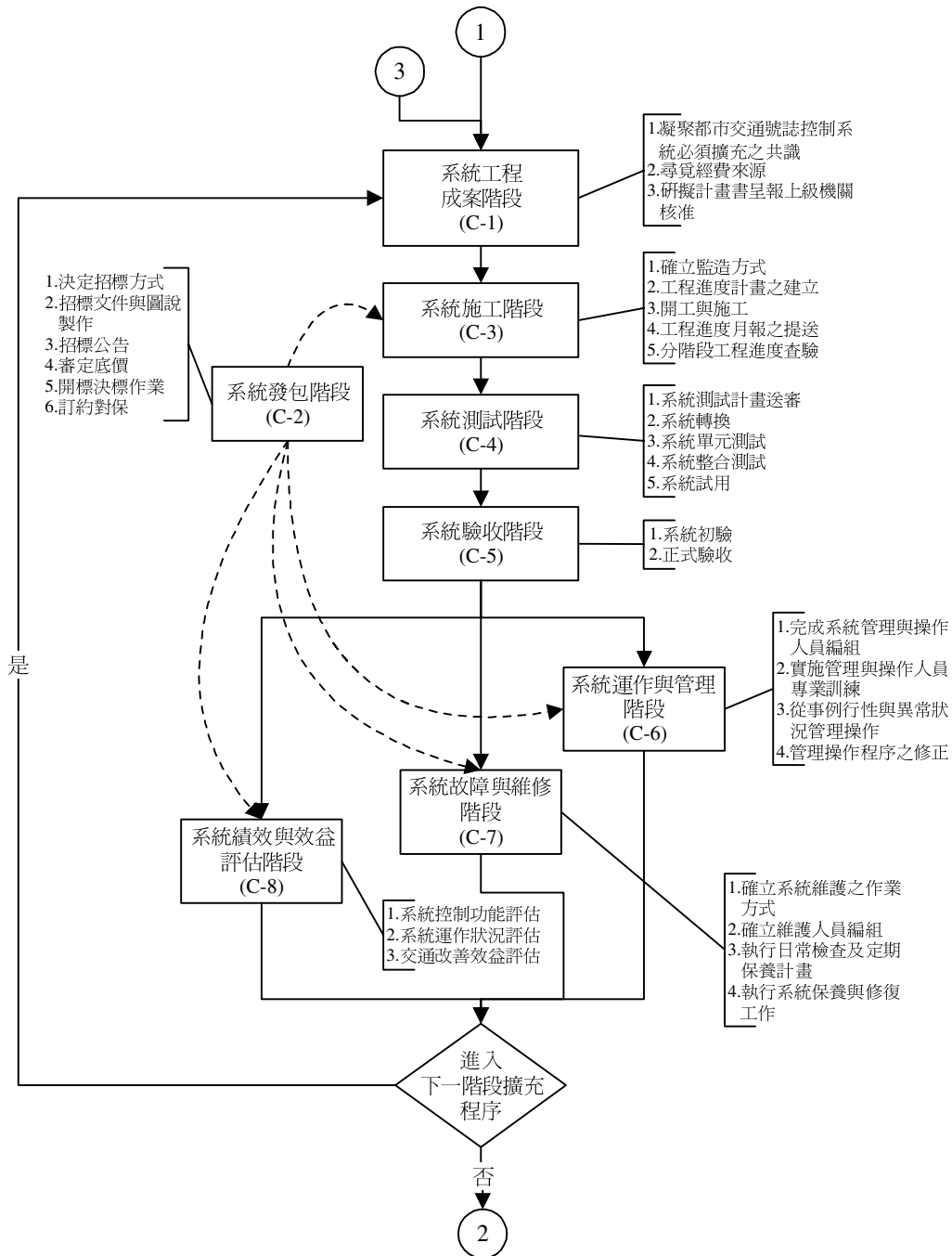


圖 10 都市交通號誌控制系統之擴充工程各階段作業關係圖

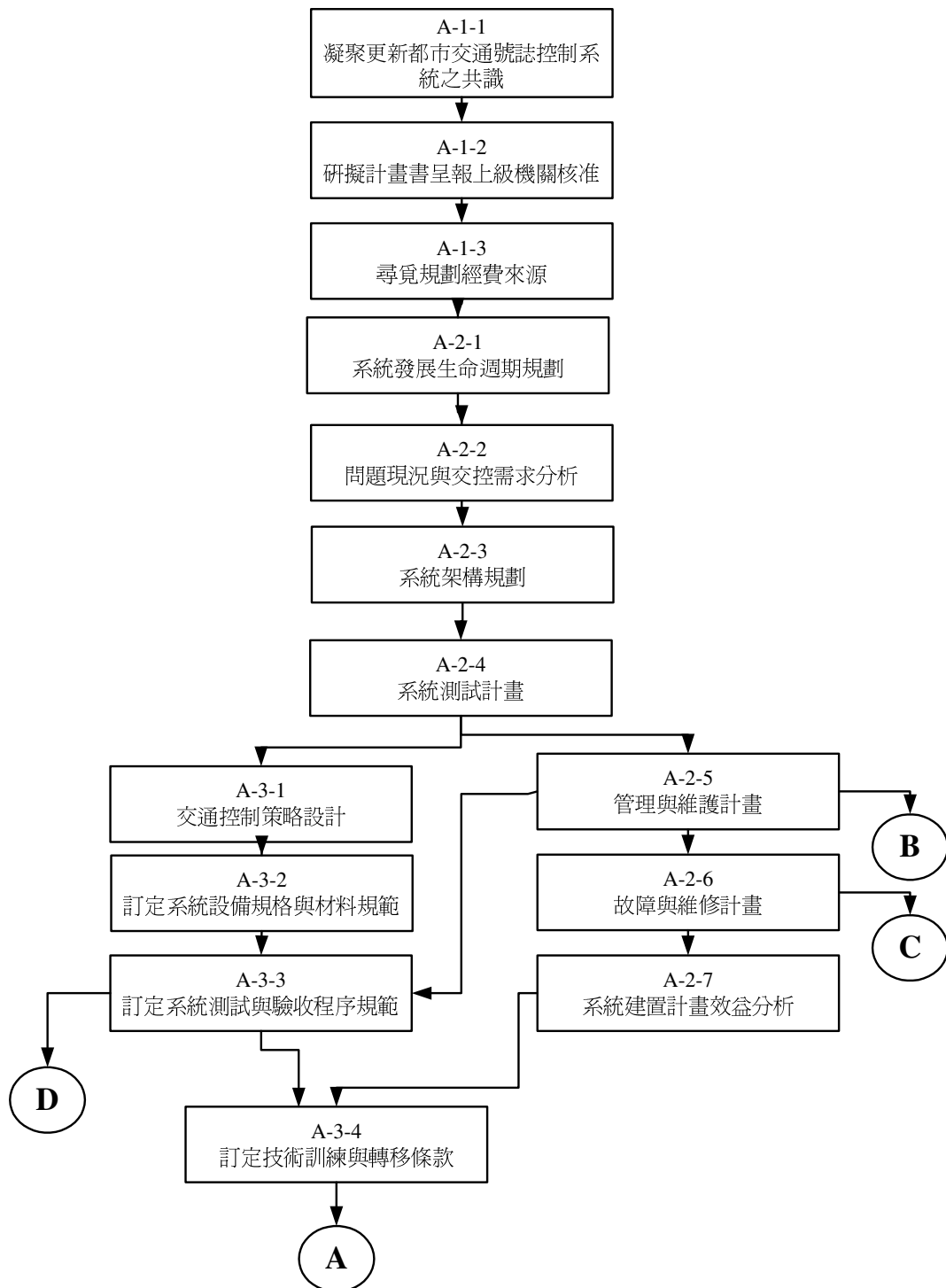


圖 11 都市交通號誌控制系統之建置工程時序圖

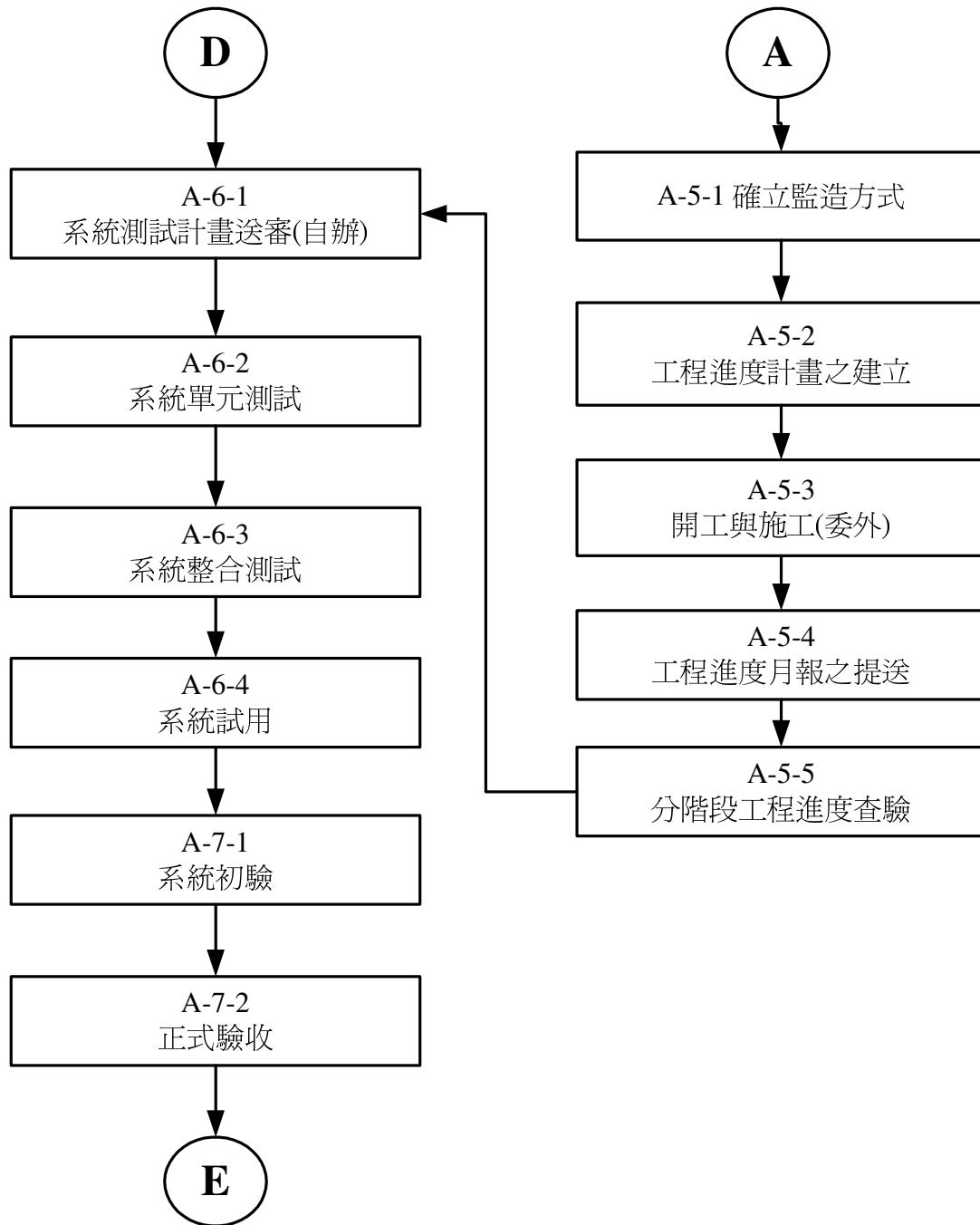


圖 12 都市交通號誌控制系統之建置工程時序圖(續 1)

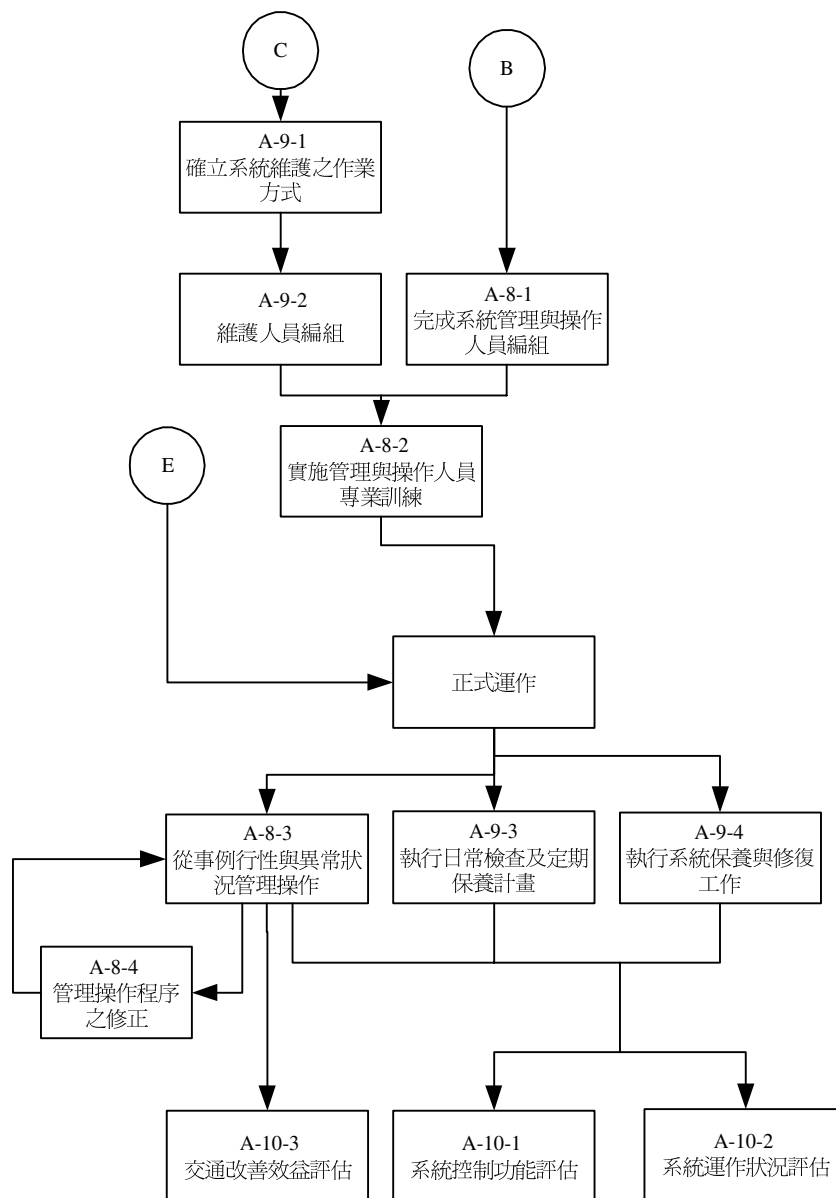


圖 13 都市交通號誌控制系統之建置工程時序圖(續 2)

時序圖中各個作業步驟的編號方式，乃係對應各階段的作業關係圖之標號。例如建置工程的作業步驟以字母 A 為各項編號起始；更新工程的作業步驟以字母 B 為各項編號起始；擴充工程的作業步驟則以字母 C 為各項編號起始。例如【A-6-3 系統整合測試】作業步驟，即是由建置工程中【A-6 系統測試階段】所細分出的一項作業步驟。

為使本研究所研擬的「標準作業程序之作業執行規範」能夠更為具體及實用起見，對於作業程序內涵之表達，係依據一般使用者的作業需求，來訂定每項作業步驟所需具備的結構要素；每個作業步驟的描述共分為十一個項目：

1. 功能目標：係說明該項作業所應具有的功能，或可達成的目標。
2. 執行人員／組織：係依據工作項目與內容，擬定該項作業之參與人員或組織。
3. 工作項目：詳細說明該項作業所需執行之工作細項。
4. 方法／技術／器材：說明執行該項作業所需之方法、技術或器材。
5. 前置作業步驟：說明進行該項作業之前，所需之前置工作。
6. 作業步驟成果：說明該項作業步驟的最終成果。
7. 預估工作時間：估計完成該項作業步驟所需之作業時間。
8. 作業評估檢討：說明該項作業步驟的成果評估方法。
9. 引用法例：說明執行該項作業步驟可能援用之法律與行政命令。
10. 配合與注意事項：列述進行該項作業步驟時，應加以配合的注意事項。
11. 參考文件：列示與本作業步驟有關之文獻或圖例，以供使用者加以參考或從事更深入之研究。

以都市交通號誌控制系統所從事之建置工程為例，可將其中之主要作業內容劃分為十大階段，如圖 8 所示。各階段中可再細分為若干作業步驟(如表 4)，以表達該階段中所應依序完成之工作項目與標準工作時間，整個「建置工程」部分，共由 36 個作業步驟所組成。

圖 8 中之實線箭頭，係代表作業程序中各階段間之順序關係，而虛線箭頭則表示該階段的作業步驟尚可應用於其他的階段。如此整個標準作業程序將形成一個發展循環，而可與本研究所提出之交通號誌控制系統之生命週期觀念互相呼應。

而在「更新工程」部分，係指系統在管理或控制運作上，因原有之系統過於老舊，其軟硬體之功能無法滿足現況需求而必須擴充；然因原系統之軟硬體架構無法大幅修改與更動，前一階段所規劃之擴充部分無法滿足，必須另行規劃與設計。其與建置工程之差異在於，更新工程乃是將原有之設備擴充、升級與加強功能，原有之系統在更新工程期間仍需繼續運作，因此從事更新工程除與建置工程之步驟相同外必須增加規劃「系統過渡作業計畫」之工作，其各階段作業關係如圖 9 所示，整個「更新工程」部分共由 38 個作業步驟所組成。

另外在「擴充工程」部分，係指系統由於管理或控制運作上之需要，必須擴大原有之控制規模，或從事功能上之局部擴充；惟因並未超越原先從事系統規劃與設計時

之控制地區及功能範圍，且其系統之管理維護組織皆已在系統建置工程階段完成；因此其工作之內容與範疇將較系統建置或更新工程來得單純而簡易，其各階段作業關係如圖 10 所示，整個「擴充工程」部分共由 26 個作業步驟所組成。

表 4 各項作業步驟之範例工作清單

作業步驟編碼：A-2-4	系統測試計畫(建議委外辦理)
功能目標	確定系統工程所規劃之項目、功能、標準均符合合約文件之規定要求，並提出檢驗與測試計畫，以作為工程結案時之依據
執行人員／組織與專業背景要求	1.交通號誌系統主管機關業務承辦人員與主管： 應具交通工程、交控工程或交通工程規劃背景 2.承包系統規劃作業之交控專業顧問公司或客觀學術機構 3.參與規劃成果審查之學者專家
工作項目	1.提出系統測試計畫，其中包括： A.測試時程、地點 B.測試人員及分工說明 C.功能測試項目、編號及流程 D.整合測試項目、編號及流程 2.規劃成果審查
方法／技術／器材	1.承包商須於檢驗與測試前，提送詳細的測試計畫經主管機構核可後方得實施，但主管機構有權修正其內容，承包商不得異議 2.檢驗與測試計畫手冊內容必須包括檢驗測試日期、地點、檢驗測試項目、設備、使用之儀器、測試場所、步驟、接線、準則、記錄表格等 3.檢驗測試記錄須包含設備名稱、規範要求、檢驗測試結果、主管機構評定、備註等項 4.檢驗測試步驟包含檢驗測試方法及模擬測試時狀況之製造方法等 5.邀請國內外學者專家共同參與報告審查，並依據報告內容提出問題與參考意見，作為規劃者後續修改之依據
前置作業步驟	【A-2-3】系統架構規劃
作業步驟工作成果	訂定系統測試計畫(可含在系統規劃報告內)
預估工作時間	一個月
作業評估檢討	檢視編列之測試項目是否完整
引用法例	政府採購法第七十條
配合與注意事項	無
參考文件	無

## 六、結論與建議

### 6.1 結論

根據上述研究可得到以下數項結論：

1. 台灣地區多年來在都市交通號誌控制系統之建置與管理層面，普遍面臨專業人員不足、長期規劃缺乏、設備未有統一標準、外在政治力介入專業判斷等多重影響因素，每每造成交通號誌系統之運作績效不彰，保固維修能力不足的問題。
2. 本研究經過資料蒐集、整理與訪問調查等過程，將所研擬之都市交通號誌控制系統工程之作業規範區分為新建、更新、擴充等三種類型；並以系統生命週期的概念，將各個部分相互連接起來。而每個部分又針對其作業內容劃分為若干個階段，每個階段又分成若干個作業步驟，各個步驟間則以「作業時序圖」來表達彼此間的關係。
3. 本研究已將各個作業步驟以自辦或建議委外辦理等方式一併列出，可供交通號誌控制系統業務承辦人員日後依其自有人力、經費預算等因素審慎考量後，選定其辦理方式。
4. 本研究已將每項作業步驟以工作清單的格式，區分為：功能目標、執行人員／組織、作業步驟內容、前置作業步驟、作業步驟成果、預估工作時間、作業評估檢討、引用法例、配合與注意事項、參考文件與圖例等分項，作為作業規範工作執行時之指引。

### 6.2 建議

綜合本研究經過深入規劃過程所得到之經驗與心得，茲提出下列各項建議：

1. 本研究在研擬系統工程之作業規範時，正值政府採購法公告施行；因此各單位過去所沿用之公文格式與作業流程，未必能夠完全適用新頒布之「政府採購法」。而政府採購法本身與其相關子法未來仍將陸續修訂。本研究雖經審慎研究，將部分作業流程與使用文件進行修正與調整，但在作業規範審定公告之前，可能仍有必要配合採購法中之最新規定，進行局部性之調整。
2. 本研究之研究成果，建議交通部選擇適當縣市試辦，並經由檢討與改進的程序，最後予以定案。而後由交通部提撥經費，將之編訂成為標準教材，並針對各縣市之交



通號誌系統業務承辦人員，舉辦訓練講習課程，而使各縣市之號誌系統管理工作得以迅速步入正軌。

## 參考文獻

1. 經濟部中央標準局，「標準化與驗證制度」，中華民國科技圖書館及資料館合作組織，民國七十一年三月。
2. 經濟部中央標準局，「工業標準化制度之研究」，經濟部，民國七十九年七月。
3. 林清河，工作研究，華泰文化事業公司，民國八十八年。
4. 中華顧問工程司，「台北市中心區及連外幹道交通號誌中央控制系統—規劃報告」，台北市交通管制工程處，民國七十九年五月。
5. 中華顧問工程司，「台北市交通監控系統工程規劃設計委託服務」，台北市交通管制工程處，民國八十八年。
6. 中華顧問工程司，「第二高速公路後續計畫—交通控制系統工程規劃報告」，交通部台灣區國道新建工程局，民國八十一年六月。
7. 大福興工程顧問公司，「高雄市中心區與連外幹道交通號誌電腦化工程規劃設計」，高雄市政府警察局，民國七十七年四月。
8. 中華顧問工程司，「七十八年度電腦號誌系統工程—軟體工程規範」，台北市交通管制工程處，民國七十八年十一月。
9. 臺北市交通管制工程處，「工程財物採購投標須知」，民國八十八年五月二十六日公布施行。
10. 臺北市交通管制工程處，「臺北市交通管制工程處工程採購合約」，民國八十八年五月二十六日公布施行。
11. 臺北市交通管制工程處，「臺北市交通管制工程處財物採購合約」，民國八十八年六月十七日公布施行。
12. 臺北市交通管制工程處，「臺北市交通管制工程處財物採購投標須知」，民國八十八年五月二十六日公布施行。
13. 臺北市交通管制工程處，「臺北市政府所屬各機關工程施工驗收作業程序」，民國八十八年八月十六日公布施行。

14. 國立成功大學交通管理科學系，「台北縣交通號誌電腦化第二期擴充系統工程」，台北縣警察局，民國七十八年。
15. 國立成功大學交通管理科學系，「台灣地區電腦化都市交通號誌控制系統軟體工程、通訊測試及評鑑手冊研究」，交通部運輸研究所，民國八十年十一月。

# 委外校車路線規劃問題之研究<sup>1</sup>

## ROUTING SCHOOL BUS FOR CONTRACT CARRIERS

林志鴻 Chih-Hung Lin<sup>2</sup>

陳春益 Chuen-Yih Chen<sup>3</sup>

林育俐 Yu-Li Lin<sup>4</sup>

曾智強 Chih-Hyang Tserng<sup>5</sup>

(90 年 2 月 20 日收稿，90 年 5 月 11 日第一次修改，90 年 6 月 18 日

第二次修改，91 年 3 月 12 日定稿)

### 摘 要

國內私立學校為便利學生就學，多提供校車服務，但基於經營成本之考量，不一定自行經營。自行經營校車多以學校為校車基地，其路線規劃問題可視為一般車輛路線問題。惟校車委託他人經營時，在車輛派遣(如車輛起迄點不一定相同)、與收益核算(如各車輛之收益力求平均)等方面與自行經營不同，值得進一步加以探討。本研究以南部某私立學校為實例研究對象，探討校車委託他人經營之校車路線規劃問題(簡稱委外校車路線規劃問題)，經初步了解，此委外校車路線規劃問題與一般車輛路線問題不同且較為複雜。本研究則依其營運特性直接構建一數學模式(同時考量指派與排序兩因素)，據以求解此委外校車路線規劃問題，惟此模式於問題規模較大時，求解不易，本研究乃利用區位基礎啟發法之觀念，研提一啟發模式(先後考量指派與排序兩因素)，以利於求解較大規模之委外校車路線規劃問題，並以此啟發模式進行實例研究。

- 
1. 本研究獲南部某私立學校提供校車營運相關資料，謹此致謝。
  2. 南台科技大學行銷與流通管理系助理教授(聯絡地址為 711 台南縣歸仁鄉民生九街 82 號)。
  3. 國立成功大學交通管理科學研究所教授暨所長。
  4. 國立成功大學交通管理科學研究所碩士。
  5. 國立成功大學交通管理科學系學士。

由實例運算結果顯示，此啟發模式之運算績效良好，應可協助學校進行校車之路線規劃。

**關鍵詞：**校車路線規劃問題；車輛路線問題；區位基礎啟發法

## ABSTRACT

*Many private schools offer school buses for their students; however, only a few of them run the business on their own while considering the operation cost. Those schools which own buses usually take schools as bus depots. This school bus routing planning can be viewed as a kind of general vehicle routing planning. However, if school buses are operated by outsources, the characteristics of the school bus routing planning are different in terms of vehicle dispatch and benefit calculation. This paper explores the routing problem of the school buses run by outsources, and selects a junior college in southern Taiwan as the case for study. Furthermore, a mathematical programming model is built for this bus routing problem. A location based heuristic (LBH) is employed to solve the routing problem. The case study shows that the heuristic seems to be promising.*

**Key Words:** School bus routing problem; Vehicle routing problem; Location based heuristic

## 一、前言

對國內私立學校而言，因學生分布範圍較廣，為便利學生就學，部分學校提供校車以方便學生上、下學。一般而言，學校提供校車服務之營運方式主要可分為三種：

### 1. 學校自行營運

乃由學校自行購買車輛加以營運。由於車輛屬學校所有，為便於車輛管理，多以學校為校車的出發點，經搭載點接送學生後再回到學校，若以圖 1 之學校與搭載點分布情況為例，則其路線規劃結果，如圖 2a 所示。此類自營校車路線規劃問題應可視為一般車輛路線問題(vehicle routing problem , VRP)。

### 2. 委託他人營運

此種營運方式乃學校不自行購買車輛，而與民間業者簽約，由業者提供車輛作為校車使用，因車輛不屬學校所有，而是由業者自行負責車輛的調度管理，以符合學校與學生的需求。此種營運方式，大致上可分為下列兩類：

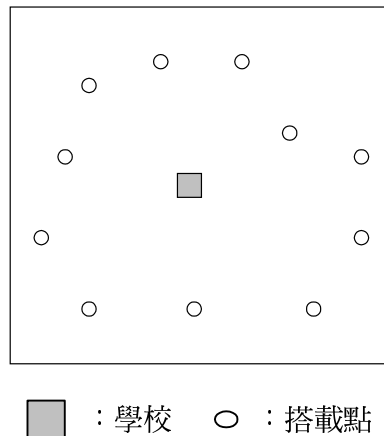


圖 1 學校與搭載點區位示意

- (1) 委外方式一：車輛皆屬承包業者所有，有固定的校車基地，此基地可能鄰近學校或學生搭車地點，其車輛通常由基地出發，完成學生的接送任務後再回到原出發的基地(圖 2b)。此種校車營運問題之特性，是將學校視為營運路網上之需求點，且為各校車路線必經的節點，其路線規劃方式較類似一般的車輛路線問題，但需考慮學校允許多部車輛經過。如校車基地鄰近學校，則其路線規劃問題則類似自營校車路線規劃問題。
- (2) 委外方式二：車輛不一定屬承包業者所有，而是採加盟方式營運，通常加盟車司機需自行負責車輛管理問題，承包業者及學校只負責路線規劃、以及車輛指派等工作。此種營運方式承包業者多沒有提供固定的場站供車輛停放，司機為降低營運成本及方便車輛管理，多將車輛停放在其住處附近或近其所服務之路線處。因此，基於極小化車輛營運成本，各車輛之行駛路線，如圖 2c 所示，若校車由學校出發，則各路線之迄點多不為學校，通常是進行路線規劃時再決定，此與一般車輛路線問題略有差異，此亦為本研究所擬探討的問題(以下逕稱此問題為委外校車路線規劃問題)。

### 3. 混合營運

此種營運方式為學校自行擁有部分車輛自行營運，而部分車輛採加盟方式，其車輛之行駛路線如圖 2d 所示。此路線規劃問題宜分別就自行營運及委外營運等兩部分加以探討。

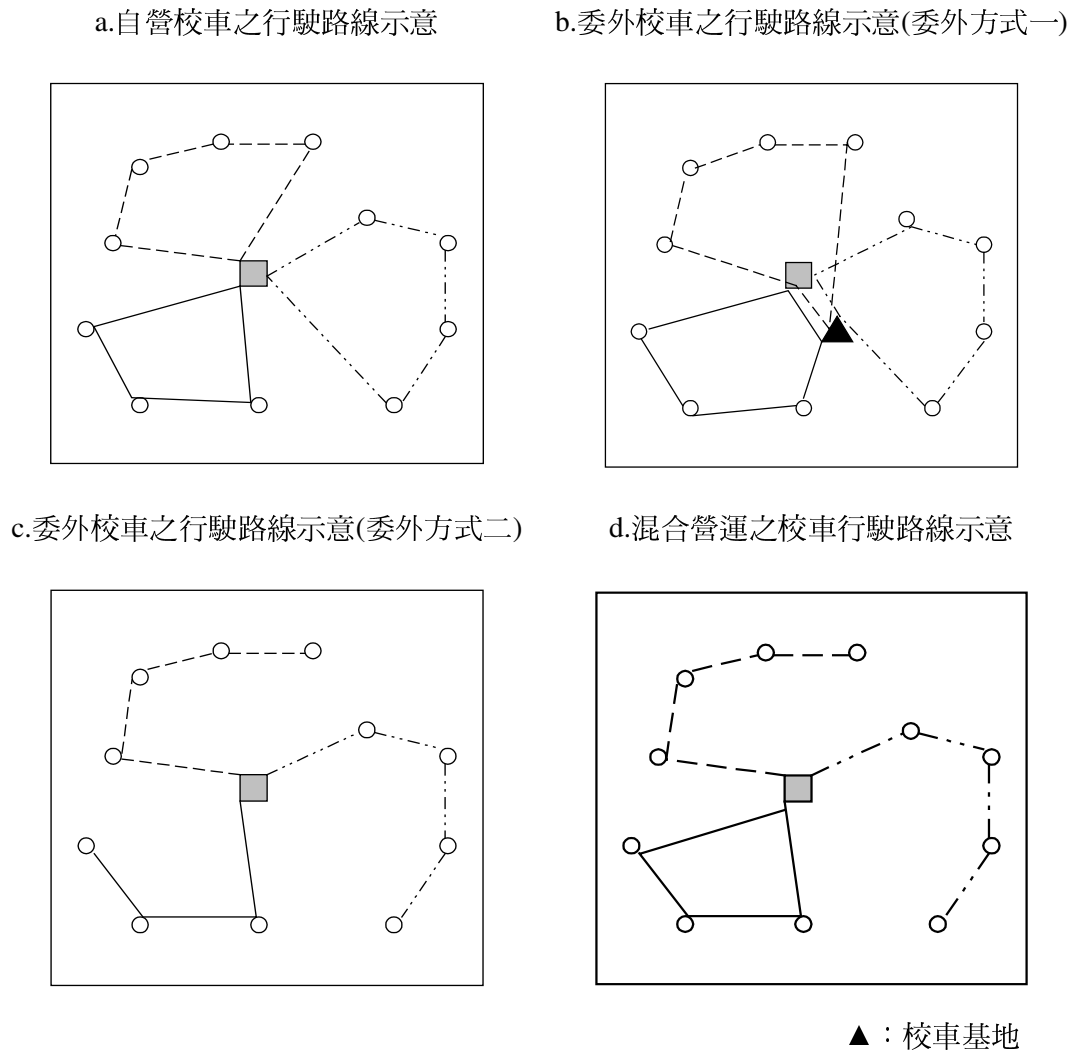


圖 2 各類營運方式之校車路線規劃示意

依初步了解，國內採校車委外營運之學校，多屬委外方式二之營運方式。就相關文獻而言，國內文獻<sup>[1,2]</sup>多以自營校車之路線規劃問題為例，即將此路線規劃問題視為一般車輛路線問題進行探討。而國外文獻部分，則多視起迄點為已知之一般車輛車輛問題(起迄點相同)<sup>[3,4,5]</sup>或路線規劃問題(起迄點不同)<sup>[6]</sup>等，皆與校車採委外營運(委外方式二)時之路線規劃方式略有差異，因此，如何以較有效率的方法進行此委外校車之路線規劃，實為值得探討的課題。

本研究以南部某學校為實例研究對象。據深入調查了解知，此學校之校車是採委外方式二之營運方式。其規劃步驟如下：

1. 決定搭載點

- (1) 選定候選搭載點：主要由學校及業者共同決定候選搭載點，供學生選取；
- (2) 學生選擇搭載點：由學生先行登記其欲搭車之搭載點，以了解各候選搭載點之搭車人數，作為確定正式搭載點之依據；
- (3) 確定搭載點：依學生選擇搭載點之資料，據以確定搭載點。

2. 規劃校車路線

依校方校車管理人員及承包業者之經驗，以人工作業方式進行校車之路線規劃。

3. 指派車輛服務校車路線

由於車輛採加盟方式營運，故校方僅訂定車輛使用年限之標準，如車輛使用年限超過此標準，則此車輛不可加盟營運，以保證加盟車輛之性能。而承包業者則依此標準自行選用加盟車輛及指派其應服務的路線。

就決定搭載點之步驟而言，主要由校方、承包業者、以及學生共同決定即可。而對指派車輛服務校車路線之步驟而言，目前由承包業者自行選定性能良好之車輛加盟營運，由於加盟車輛均來自台南縣市或高雄縣市，故多就近指派車輛服務各路線。但就校車之路線規劃方式而言，如設定校車以學校為起點，則進行路線規劃時，尚需決定其迄點，因此，此委外校車路線規劃問題將較一般車輛路線問題複雜。尤其此學校每學期搭乘校車之學生人數計兩千多人，搭載點超過一百個，所需規劃之營運路線達四十幾條，且每學期之搭載點數、搭載點之區位、以及搭車人數不同，因此，對校方校車管理人員與承包業者而言，較難以人工作業方式規劃較有效率之校車路線。此外，如能以較有效率的方式進行校車之路線規劃，不僅可節省學生乘車時間，且可減少車隊營運成本，進而可降低學生之車資，對搭乘校車之學生應頗有助益。具體而言，本研究之研究目的可臚列如后：

1. 了解委外校車路線規劃問題之特性；
2. 構建委外校車路線規劃之相關數學模式，以有效協助校方及業者進行校車路線規劃工作；
3. 研擬具體結論與建議，以供相關單位參考。

基於上述之研究目的，以下本文計分五節，第二節探討委外校車路線規劃問題之特性及模式之構建方式；第三節及第四節則依所研提之構建方式構建相關數學模式，並進行模式驗證；第五節為實例研究部分；有關結論及建議則列於第六節。

## 二、問題特性與模式之構建方式

### 2.1 問題特性

據初步了解，校方及業者進行委外校車之路線規劃時，除需決定車輛之迄點(如為上學，則決定車輛之起點)外，由於委外校車之車輛採加盟方式營運，故各加盟車輛頗關心其收益情況。就各車之收益而言，主要以該車之營運收入為基礎，再以某一固定的比例加以分配，即當車輛之營運收入較多時，則其收益亦較多。由於各車之營運收入乃以其載運之學生人數與服務之搭載點核算，即學生之搭載點離學校越遠，則所需繳交的車資越多，故校車所服務的搭載點均離學校較遠時，則此校車之營運收入較多，而其收益亦較多，因此，各加盟車輛為提高其收益，多傾向服務離學校較遠之搭載點，唯校車管理人員進行路線規劃時，得納入各車輛收益公平性之因素。就一般營運車隊而言，當各車輛之工時或收益分配有較大的差異時，通常多藉由司機輪調行駛不同路線之方式，長期而言，可使各司機或車輛之工時或收益差距縮小。然當校車以加盟方式營運時，每學期所使用的加盟車輛可能不同，且學校基於學生的安全考量，對於車輛之性能與司機之操守皆有所管制，因此，各車輛可能因機械因素、或司機服務態度、或交通違規等問題而隨時被汰換，以致較難以司機或車輛輪流更替行駛路線之方式進行車輛調度，以符公平原則。為使各車輛之收益不致差異太大，校方及業者進行路線規劃時，多允許各搭載點可被多輛校車前往載運學生，以使各車輛所服務的搭載點及搭載的學生人數等較趨於一致，而使各車輛之營運收入較為平均，進而達到各車輛收益平均化之目的。因此，學校單位及承包業者進行校車之路線規劃時，就校車以學校為起點而言，可歸納其特性如后：

1. 各路線之迄點可不相同且有待決定(以下簡稱迄點不定因素)；
2. 各搭載點可允許多部校車前往載運學生(以下簡稱分割載運因素)。

綜合上述所言，此委外校車路線規劃問題之特性包括迄點不定及分割載運因素。就分割載運因素而言，即表示單一搭載點可被多部校車所服務，故搭載點具有分割指派(splitting assignment)之性質，如以圖 1 為例，可能規劃多條路線同時經過相同搭載點(圖 3)，其路線規劃結果，將與圖 2c 略有差異。此外，此委外校車路線規劃問題，如與一般車輛路線問題加以比較，就其問題特性而言，委外校車路線規劃問題較一般車輛路線問題複雜(表 1)。



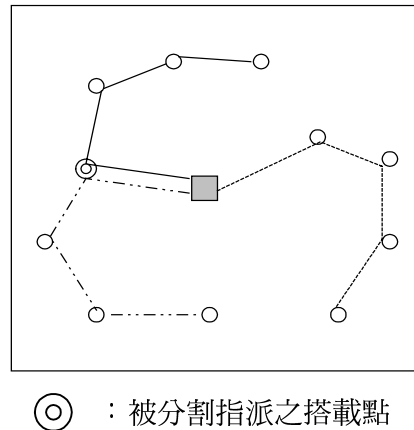


圖 3 搭載點具分割指派性質之路線規劃示意

表 1 一般車輛路線問題與委外校車路線規劃問題之差異

問題類別	一般車輛路線問題	委外校車路線規劃問題
問題特性		
各車輛起迄點是否相同	相同	不一定相同 <sup>1</sup>
單一需求點是否容許多部車輛前往服務	多僅容許單一車輛前往服務 <sup>2</sup>	容許多部車輛前往服務
是否考量各車輛收益公平性	否	是

註 1：如為放學，車輛由學校出發，而其迄點有待決定。

2：如單一需求點之需求量超過車輛容量時，通常會先行指派車輛進行整車運輸，待需求量少於車輛容量時，再進行路線規劃。

## 2.2 模式之構建方式

就模式之構建方式而言，如僅考量路線(routing)因素進行路線規劃，實質上其涵蓋兩個子因素，即指派子因素與排序子因素。所謂指派子因素乃是將需求點指派給各車輛以接受服務，排序子因素則是安排各車輛對各需求點之服務順序，即進行車輛之路線安排。理論上，求解此類路線規劃問題，應同時考量此兩個子因素，但處理實務問題時，為能及時獲得一合理解，則多分開加以考量，並分別說明如下：

### 1. 同時考量指派與排序兩因素

依問題特性直接構建數學模式，再進行求解，如問題規模較大時，通常會再配合

啟發式演算法進行求解，如拉式鬆弛法等。

## 2. 分開考量指派與排序兩因素

一般可先考量指派因素再考量排序因素，或者反之。茲分別說明如下：

- (1) 先考量指派因素再考量排序因素：即考量車輛之限制條件，先對需求點進行分區，再針對各分區內之需求點進行路線安排，屬先分區再排路線(cluster first, routing second)之求解策略，如區位基礎啟發法(location based heuristic, LBH)<sup>[7,8,9,10]</sup>。
- (2) 先考量排序因素再考量指派因素：即先對全部需求點規劃一條巡迴路線，再針對此路線進行分區，使各分區之路線均符合車輛之容量或工時之限制，屬先排路線再分區(routing first, cluster second)之求解策略<sup>[11,12]</sup>。

就上述針對委外校車路線規劃問題與一般車輛路線問題之比較結果(表 1)知，委外校車路線規劃問題較一般車輛路線問題複雜，由於一般車輛路線問題已知為 NP-hard 問題，故委外校車路線規劃問題應亦為 NP-hard 問題，因此，本研究除依同時考量指派與排序兩個子因素，據以構建數學模式進行求解外，另外，本研究將利用先後考量指派與排序兩個子因素，並考量需求點之分割指派性質，據以構建啟發模式，以利於求解實務問題。就同時考量指派與排序兩因素而言，其進行委外校車之路線規劃時，應於車輛容量限制之下，同時安排各車輛所服務之搭載點及其服務順序，僅單一步驟即可求得路線規劃結果(圖 4)，而先後考量指派與排序兩因素之求解方式，即在車輛容量限制之下，先進行搭載點分區作業(圖 5b)，待分區完成後，再針對各分區分別進行

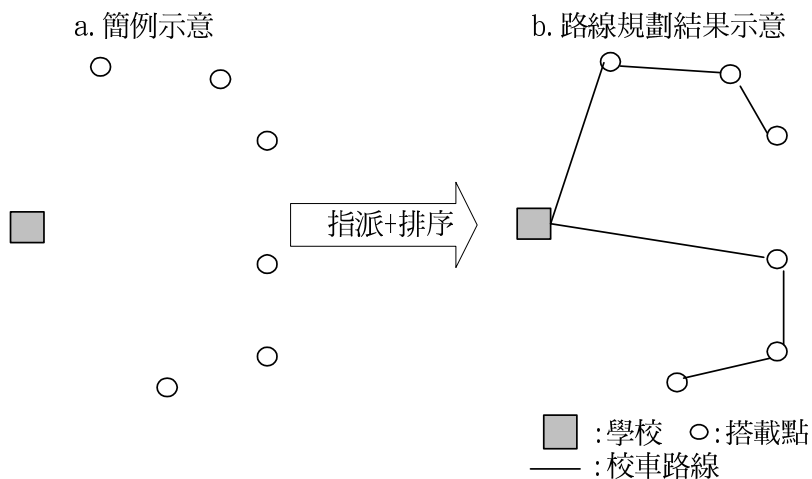


圖 4 同時考量指派與排序兩因素之求解示意

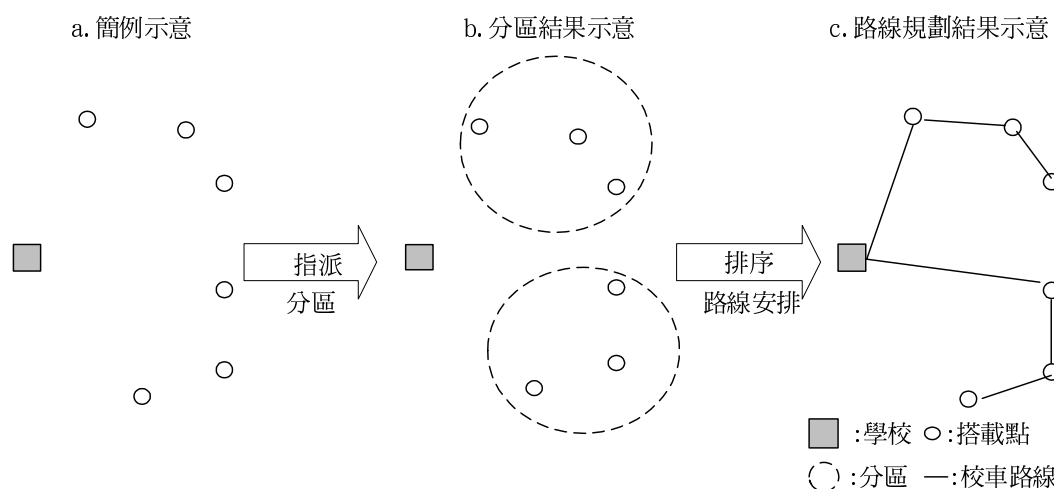


圖 5 先後考量指派與排序兩因素之求解示意

路線規劃(圖 5c)。由於後者不是同時考量指派與排序兩因素，可有效降低運算之複雜度，較易求解大型路線規劃問題，但其求解結果僅為一近似解。至於有關迄點不定與分割載運兩因素之處理方式，則分別於第三、四節構建相關數學模式時，再加以說明。

### 三、委外校車路線規劃模式(多元網路模式)之構建

如前所述，本研究將依是否同時考量指派與排序兩個子因素，據以構建相關數學模式，以利於求解委外校車路線規劃問題，而本節則先行同時考量指派與排序兩個子因素，並依其問題特性，據以構建數學模式。其中，3.1 節將研提構建模式之構想；3.2 節則進行模式之構建；3.3 節則藉由簡例之測試進行模式驗證；有關模式構建與測試心得則列於 3.4 節。

#### 3.1 模式之構建構想

本研究將以分開考量校車流量與學生流量的方式進行模式之構建，其主要構想是先行利用校車流量處理校車迄點不定之因素，並基於有校車流量才有學生流量之原則下，再將校車流量與學生流量加以整合。此外，就處理分割載運因素而言，由於各搭載點均允許多部校車前往載運學生，且各搭載點搭車學生總數固定，故各校車於某一搭載點所載運的學生人數將呈相依關係且為決策變數，通常此類問題可以多元商品網路問題(multi-commodity network problem)之觀念加以處理<sup>[13]</sup>，因此，本研究為同時考

量迄點不定及分割載運因素，將分開考量校車流量與學生流量，並以多元商品網路問題之觀念直接構建數學模式(以下簡稱多元網路模式)。為便於構建模式，本節先將校車所服務的區域轉換為運輸網路(圖 6)，並將搭載點設定為網路上之節點，且搭載點間或搭載點與學校間之最短距離設定為網路上之節線，以圖 6 而言，如節點 1 設定為學校，則其餘節點設定為搭載點，並設定  $N$  為所有節點之集合，節線則為各搭載點間之最短距離，並分為車流及人(學生)流兩類網路進行探討，簡述如后：

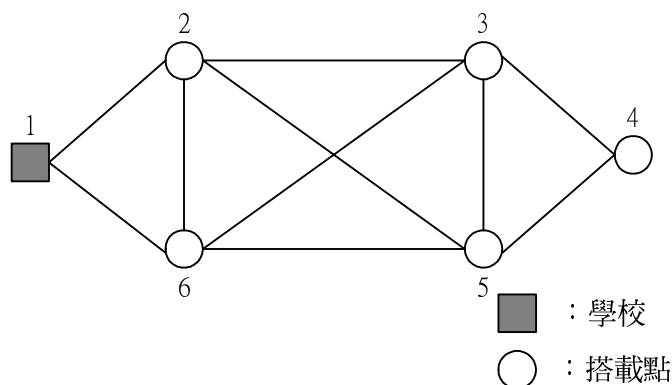


圖 6 校車網路示意

### 1. 多元車流網路

所謂多元車流網路，即將每輛校車分別在各自的網路進行路線規劃(圖 7)，以利於表示此校車之起迄點位置。如以校車 1 之網路而言，設節點 1 為學校，且校車由學校出發，則此節點之校車供給量為 1，而其餘節點為搭載點，並設定其對校車 1 之需求量为  $b_j^1$ ， $\forall j \in N - \{1\}$ ，則此  $b_j^1$  為 0-1 二元變數，如  $b_j^1 = 0$ ，則表示此搭載點  $j$  對校車之需求量为 0，亦即表示校車 1 不以搭載點  $j$  為迄點，如  $b_j^1 = 1$ ，則表示此搭載點  $j$  對校車需求量为 1，亦即表示校車 1 之迄點為搭載點  $j$ ，由於車輛之迄點有待決定且唯一，因此設定  $\sum_{j \in N - \{1\}} b_j^1 = 1$ ，表示僅有一個搭載點對校車 1 之需求量为 1，即為其迄點。此外，如設定流入及流出節點  $j$  之流量分別為  $\sum_{i \in N} x_{ij}^1$  及  $\sum_{l \in N} x_{jl}^1$ ，依據流量守恆之原則，其關係式應為：

$$\sum_{l \in N} x_{jl}^1 - \sum_{i \in N} x_{ij}^1 + b_j^1 = 0 \quad \forall j \in N - \{1\}$$

其中， $x_{ij}^1$  為 0-1 二元變數，而節點 1 之流量守恆限制式則為：

$$\sum_{j \in N} x_{1j}^1 = 1$$

如對所有校車而言，則應包括下列限制式：

(1) 校車流量守恆限制式

$$\sum_{j \in N} x_{1j}^k = 1 \quad \forall k$$

$$\sum_{l \in N} x_{jl}^k - \sum_{i \in N} x_{ij}^k + b_j^k = 0 \quad \forall k, \forall j \in N - \{1\}$$

(2) 各搭載點對各校車之需求限制

$$\sum_{j \in N - \{1\}} b_j^k = 1 \quad \forall k$$

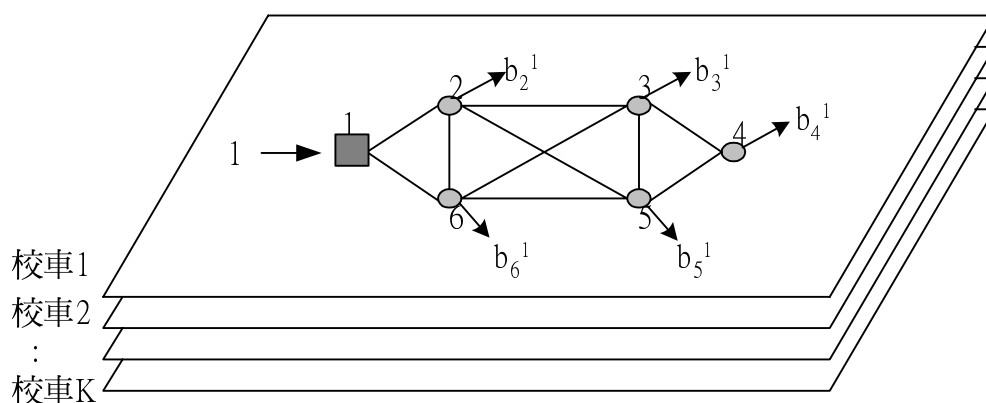


圖 7 多元車流網路示意

## 2. 多元人流網路

所謂多元人流網路，即配合上述的多元車流網路，探討每輛校車網路之學生流量問題，以利於規劃各搭載點各校車所應搭載的學生人數(圖 8)。如以校車 1 而言，同樣的設定節點 1 為學校，其餘節點則設定為搭載點，且搭載點  $j$  之搭車學生總數為  $d_j$  ( $\forall j \in N - \{1\}$ )，並設定校車 1 載運到搭載點  $j$  之學生數量為  $a_j^1$  ( $\forall j \in N - \{1\}$ )，為整數變數且  $a_j^1 \leq d_j$ 。如設定流入及流出節點  $j$  之學生人數分別為  $\sum_{i \in N} y_{ij}^1$  及  $\sum_{l \in N} y_{jl}^1$ ，依據流量守恆原則，其限制式為：

$$\sum_{l \in N} y_{jl}^1 - \sum_{i \in N} y_{ij}^1 + a_j^1 = 0 \quad \forall j \in N - \{1\}$$

其中， $y_{ij}^1$  為整數變數且節點 1 之限制式為：

$$\sum_{j \in N} y_{1j}^1 - \sum_{i \in N} a_i^1 = 0$$

此外，由於各車收益分配與其營運收入呈正比關係，因此，可設定各校車之營運收入介於某上、下限值(分別以  $UB$  與  $LB$  表示)之間，並藉由調整上、下限值控制各校車之營運收入的差距，進而使各校車收益分配不致差異太大，如設定在搭載點  $j$  搭乘校車所需繳付的車資為  $p_j$ ，且以  $\sum_{j \in N - \{1\}} p_j a_j^1$  表示校車 1 之營運收入，則可設定：

$$LB \leq \sum_{j \in N - \{1\}} p_j a_j^1 \leq UB$$

當上下限值差距越小，則各車營運收入越平均。為使上述構想較易執行，實務界多允許多部校車能同時服務相同搭載點，如校車 1~校車  $k$  載運到搭載點 6 之學生人數分別為  $a_6^1, a_6^2, \dots, a_6^k$ ，且搭載點 6 之總搭車人數為  $d_6$ ，則可設定搭載點 6 對學生之需求限制為  $\sum_{k=1}^K a_6^k = d_6$ 。因此，就流量守恆、學生流量需求限制、以及校車營運收入平均化，則應包括下列限制式：

(1) 學生流量守恆限制

$$\sum_{j \in N} y_{ij}^k - \sum_{e \in N} a_e^k = 0 \quad \forall i$$

$$\sum_{l \in N} y_{jl}^k - \sum_{i \in N} y_{ij}^k + a_j^k = 0 \quad \forall k, \forall j \in N - \{1\}$$

(2) 各搭載點學生需求限制

$$\sum_{k=1}^K a_j^k = d_j \quad \forall j \in N - \{1\}$$

(3) 各校車之營運收入限制

$$LB \leq \sum_{j \in N - \{1\}} p_j a_j^k \leq UB \quad \forall k$$

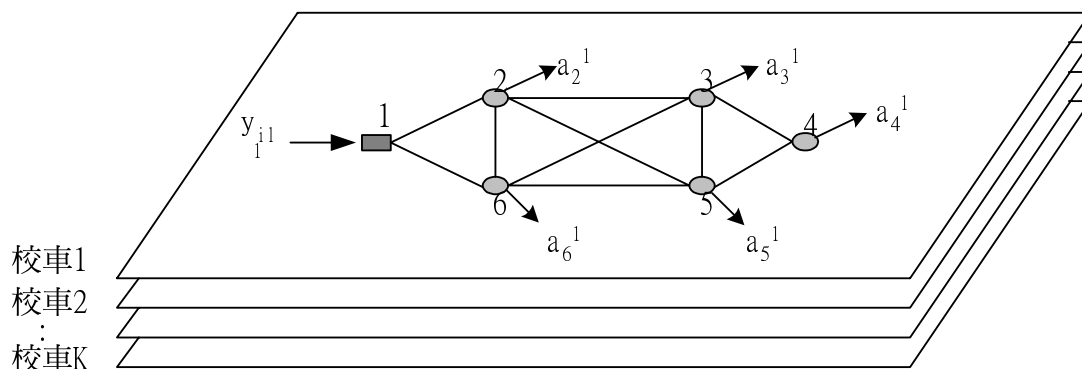


圖 8 多元人流網路示意

### 3. 車流網路與人流網路之整合

由於本研究為簡化問題之分析，分別以車流網路與人流網路考量車輛流量與學生流量，但事實上此兩種流量應一起加以考量，因此，應將此兩種流量網路加以整合，其整合構想為：

- (1) 由於本研究主要以學校及業者的立場進行校車之路線規劃，因此，將考量車輛營運成本為主要目標；
- (2) 依據(1)之構想及校車之主要任務為載運學生，因此，對校車之路線規劃而言，要先有車輛流量，才有學生流量。

如以圖 9 為例，就校車 1 之網路而言，以  $x_{ij}^1$  表示校車 1 在節線  $(i, j)$  之流量變數，而以  $y_{ij}^1$  表示校車 1 在節線  $(i, j)$  所載運之學生流量變數，則可設定：

$$y_{ij}^1 \leq \mu^1 x_{ij}^1$$

其中， $x_{ij}^1$  及  $y_{ij}^1$  分別為 0-1 整數變數與整數變數，而  $\mu^1$  為校車 1 之容量，則上式即表示每節線要先有校車流量才有學生流量，且學生流量不可超過校車容量。因此，對所有校車及所有節線而言，應包括下列限制式：

$$y_{ij}^k \leq \mu^k x_{ij}^k \quad \forall k, \forall (i, j) \in A$$

其中， $A$  表示所有節線之集合。

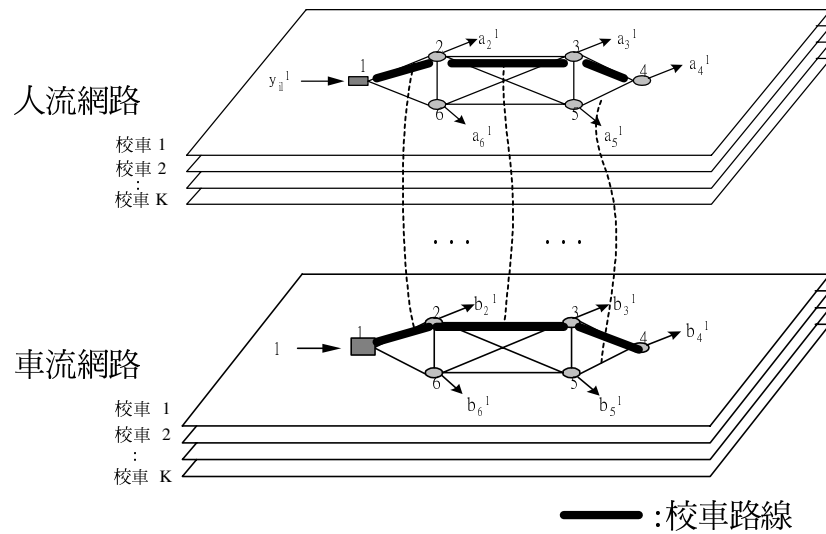


圖 9 車流網路與人流網路之整合示意

### 3.2 數學模式

依照上述之構想，設定其基本假設如下：

1. 有  $K$  輛校車均以學校為起點，但其迄點未知(如為上學，則反之)。
2. 各校車行駛相同的路段，其成本皆相同。
3. 各搭載點均容許多輛校車前往搭載學生。
4. 各路段皆沒有容量限制。
5. 各搭載點沒有時窗限制。
6. 各校車皆有容量限制。

如上所述，如以極小化車隊營運成本為主要目標，則其數學模式列示如下：

$$\text{Min} \quad \sum_{k=1}^K \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j x_{1j}^k = 1 \quad \forall k \quad (2)$$

$$\sum_{l \in N} x_{jl}^k - \sum_{i \in N} x_{ij}^k + b_j^k = 0 \quad \forall k, \forall j \in N - \{1\} \quad (3)$$



$$\sum_{j \in N - \{1\}} b_j^k = 1 \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N - \{1\}} y_{1j}^k - \sum_{j \in N - \{1\}} a_j^k = 0 \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_{l \in N} y_{jl}^k - \sum_{i \in N} y_{ij}^k + a_j^k = 0 \quad \forall k, \forall j \in N - \{1\} \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K a_j^k = d_j \quad \forall j \in N - \{1\} \quad (7)$$

$$y_{ij}^k \leq \mu^k x_{ij}^k \quad \forall k, \forall (i, j) \in A \quad (8)$$

$$\sum_{j \in N, j \neq 1} a_j^k \leq \mu^k \quad \forall k \quad (9)$$

$$LB \leq \sum_{j \in N - \{1\}} p_j a_j^k \leq UB \quad \forall k \quad (10)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad y_{ij}^k \in Z^+ \cup \{\emptyset\} \quad \forall k, \forall (i, j) \in A \quad (11)$$

$$b_j^k \in \{0, 1\} \quad a_j^k \in Z^+ \cup \{\emptyset\} \quad \forall k, \forall j \quad (12)$$

其中：

(1) 決策變數部分

- $x_{ij}^k$ ：表節線(i, j)之校車流量，如校車 k 經過節線(i, j)，則其值為 1，否則為 0；
- $y_{ij}^k$ ：表校車 k 於節線(i, j)所載運之學生流量，為整數變數；
- $a_j^k$ ：表校車 k 載運到搭載點 j 之學生人數，為整數變數；
- $b_j^k$ ：表搭載點 j 對校車 k 之需求量，如有需求其值為 1，否則為 0。

(2) 參數部分

- $c_{ij}$ ：表校車行經節線(i, j)之營運成本；
- $d_j$ ：表搭載點 j 之總搭車人數；
- $K$ ：表校車總數；

LB : 表校車營運收入之下限值;

$p_j$  : 表搭載點  $j$  搭車者, 每學期所需繳交的車資費用;

$\mu^k$  : 表校車  $k$  之容量;

UB : 表校車營運收入之上限值。

### (3) 集合部分

A : 所有節線之集合;

N : 所有節點之集合;

$Z^+$  : 正整數之集合。

其中, 式(1)為目標函數乃極小化校車營運成本; 式(2)及式(3)為校車流量守恆限制式; 式(4)為各搭載點對校車之需求限制; 式(5)及式(6)為學生流量守恆限制式; 式(7)為各搭載點之總搭車人數; 式(8)表示每節線要先有校車流量才有學生流量之限制, 且學生流量不可超過校車容量; 式(9)為校車之容量限制; 式(10)為各校車之營運收入限制; 式(11)及式(12)為 0-1 整數變數或整數變數。

## 3.3 模式驗證

本小節將以南部某學校(以下簡稱 A 學校)校車在台南地區之營運為例, 並利用 3.2 節之數學模式進行求解, 且與實際資料進行比較分析, 以驗證此模式。

### 3.3.1 測試資料說明

A 學校之學生來源主要來自高雄縣市, 台南縣市次之, 目前在高雄地區提供 41 條校車路線服務學生上、下學, 台南地區則有 3 條校車路線。就台南地區之營運資料而言, 目前共有 14 個搭載點, 所服務的學生人數共有 149 人, 目前業者共計派遣 3 輛校車(各校車容量均為 50 人)來服務此區域; 此外, A 學校確定正式搭載點之原則為:

1. 如有 5 位(含)以上學生選擇此候選搭載點搭乘校車, 則此候選搭載點列為正式搭載點, 否則不列為正式搭載點, 並將學生併入其他的正式搭載點;
2. 如欲裁撤之候選搭載點(即選擇此候選搭載點搭車者不足 5 人)離其他搭載點較遠時, 為考量學生搭車之便利性, 仍會將其列為正式搭載點。

依上述之資料及確定正式搭載點之原則, 此台南地區之搭載點的位置、服務路線、以及營運資料, 如圖 10、表 2 及表 3 所示, 其中, 表 2 為各路線所服務之搭載點及其營運收入之資料, 表 3 即為各搭載點之總搭車人數及每人每學期所需繳付車資之資料, 其中, 搭車人數少於 5 人之搭載點, 屬原本欲裁撤之候選搭載點, 但此候選搭載點離其他搭載點較遠, 因此, 仍列為正式搭載點。

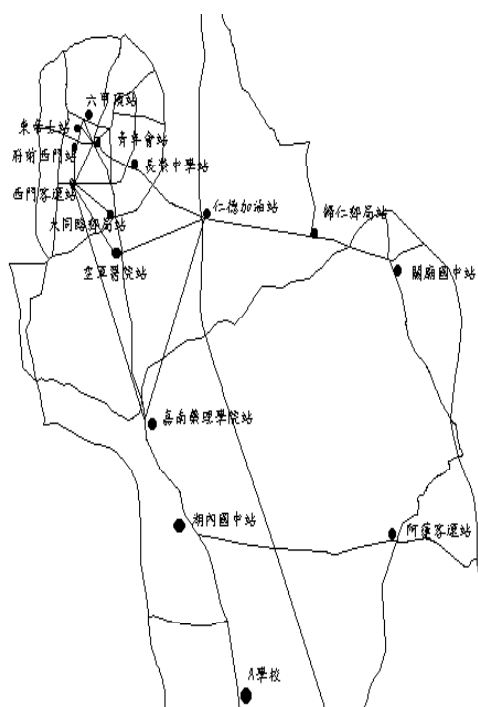


圖 10 台南地區校車搭載點分布

表 2 台南地區現有校車路線

路線別	搭 載 點	營運收入(元)
路線 1	A 學校→阿蓮客運站→關廟國中→歸仁郵局→仁德加油站→青年會	277,088
路線 2	A 學校→嘉南藥理學院→府前西門站→西門客運站→東帝士百貨公司	363,144
路線 3	A 學校→湖內國中→空軍醫院→大同路郵局→長榮中學→六甲頂	361,504
平 均		333,912

資料來源：A 學校。

### 3.3.2 測試結果

本小節引用 3.3.1 節所述之台南地區營運資料，並設定校車容量為 50 人(即  $\mu^k = 50$ )，車輛數  $K = 3$ ，而搭載點之搭車人數( $d_j$ )與每位學生每學期車資( $p_j$ )如表 3 所示。至於其他參數之設定，臚列如下：

1. 節線成本( $c_{ij}$ )：

由於實際車輛營運成本資料較難以取得，本研究利用地理資訊系統軟體 TransCAD，將學校及各搭載點資料標示於台南地區電子地圖上，並利用其路網求算各搭載點間之最短路徑，並與業者討論修正後，將其視為網路上之節線成本( $c_{ij}$ )。

表 3 各搭載點之搭車人數與車資一覽表

搭載點	搭車人數(人)	車資(元/人·學期)
湖內國中站	1	4,328
嘉南藥理學院站	10	4,328
空軍醫院站	11	7,128
大同路郵局站	18	7,128
西門客運站	12	7,368
東帝士百貨公司站	19	7,528
六甲頂站	11	7,768
府前西門路站	12	7,368
青年會站	6	7,368
長榮中學站	7	9,288
仁德加油站	1	9,040
歸仁郵局站	5	8,240
關廟國中站	3	7,640
阿蓮客運站	33	4,840

資料來源：A 學校。

## 2. 收益上、下限值(UB 值及 LB 值)：

由問題的特性可知，各校車之收益與其所服務之搭載點位置、以及載運之學生人數多寡有關，因此，進行委外校車路線規劃時，除需考量營運成本外，應再考量各車收益公平性問題，由於設定各車輛之收益相等，於實務上或模式之求解較不需要或有困難，且如前所述，各車收益與其營運收入呈正比關係，因此，本研究將設定各車輛營運收入之上、下限值，並嘗試使各車輛之營運收入能維持在此上、下限值範圍內，進而使各車收益較趨一致。而此上、下限值的設定方式乃以所有路線營運收入總和之平均值為基礎，增減百分比值而訂定。如表 2 所示，各路線營運收入之平均值為 333,912 元，若設定百分比為 15%，則其上限值(UB)設為 373,981( $333,912 \times (1+0.15)=373,981$ )

元，下限值(LB)設為  $293,843(333,912 \times (1-0.15)=283,826)$  元。表 2 各路線之營運收入與平均值之差異最高達  $17((333,912-277,088)/333,912=0.17)$ ，為使各車之收益，不致差異太大，本小節先行設定百分比為 15%，並藉由此百分比值之調整，以進行模式之敏感度分析。

根據以上的參數設定，利用最佳化軟體 cplex6.0 在個人電腦上進行求解。其求解結果如表 4 所示，目標值為 92.52 距離單位，至於車輛服務搭載點的順序，如以路線 1 為例，校車起點為 A 學校，依序服務各搭載點後，最後到達長榮中學站，表中括號內之數字表服務該路線之車輛於此搭載點所載運學生數。經與現有路線(表 2)相較，此模式求解之營運成本較少(約相差 15%)，且上、下限值(UB 及 LB 值)與平均值之差距亦較小，因此，就營運成本與各車營運收入之公平性而言，顯示利用此模式進行委外校車路線規劃較有效率。

表 4 測試結果(多元網路模式)

路線別	搭 載 點*	搭車人數(人)	營運收入(元)
路線 1	A 學校→阿蓮客運站(33)→關廟國中(3)→歸仁郵局(5) →仁德加油站(1)→長榮中學(7)	49	297,896
路線 2	A 學校→湖內國中(1)→嘉南藥理學院(1)→青年會(6)→ 府前西門路口(12)→東帝士百貨(19)→六甲頂(11)	50	369,760
路線 3	A 學校→嘉南藥理學院(9)→空軍醫院(11)→大同路郵 局(18)→西門客運站(12)	50	334,080

\*：括號內數字為載運學生數。

依實務經驗知，為維持各車之收益平均化，多會將搭載點進行拆站(一個搭載點多部校車前往載運學生)，且當拆站現象越多時，則車隊之營運成本可能會顯著的增加，即營運成本與各車收益公平性間存有反比的關係。而本研究之數學模式，為力求各車營運收入平均化，利用限制式(10)之營運收入上、下限值之限制加以達成，然當上、下限值之差距越小，將使各車之營運收入越平均化，因此，本小節將嘗試改變此上、下限值(調整百分比值)，進行模式敏感度分析，藉以了解此模式是否能反映上述現象。由表 5 之測試結果可知，當營運收入上、下限值與平均值之差距越小，則有較多的搭載點有拆站的現象，但其拆站結果並不一定隨著百分比值的減少呈等比例的增加，而是隨車資結構及搭乘人數的不同而異，如差異為百分比為 15%時，僅嘉南藥理學院站有拆站現象，而當差距為 10%及 5%時，則分別有兩個搭載點有拆站現象(表 5)，且其

營運成本亦有顯著的增加，此結果與上述之現象頗為符合。

值得一提的是在測例 3 中(表 5)，當縮小差距至 5%時，使阿蓮客運站出現拆站的現象，而該站屬偏遠地區，故會大幅增加車輛之營運成本，就模式之求解結果而言，其目標值亦較其他測例之求解結果有顯著的增加，此一現象應屬合理，然基於營運成本與學生乘車時間之考量，實務上應不會對偏遠搭載點進行拆站，多會安排一部校車前往載運學生。因此，本節所構建之數學模式在實務應用上，如為防止偏遠地區之搭載點出現拆站現象，可事先於模式中增加式(13)，即限制搭載點  $j$  僅接受單一車輛服務。

$$\sum_{k=1}^K b_j^k = 1, j = \text{不可被拆站之搭載點} \quad (13)$$

### 3.4 小結

本節同時處理委外校車路線規劃問題之指派與排序兩個子因素，並分開考量校車流量與學生流量，藉以處理迄點不定之因素，並利用多元商品網路設計問題之技巧，處理分割載運之因素，且據以構建一數學模式，經簡例加以測試，其運算結果相當合理，頗符合問題之特性(詳見 3.3 節)。然此數學模式應用於實務問題上，由於搭載點及車輛之規模皆不小，則會產生大量的變數(整數變數)以及限制式，如搭載點超過 100 個、車輛數超過 40 部時，此數學模式將產生至少 70 萬個變數及 14,000 個以上限制式，因此，較難及時獲得正確解，為能及時求得一合理解，應開發或利用現有的啟發式演算法加以求解。而本研究將嘗試利用先分區再排路線(先後考量指派與排序兩個子因素)之求解方式，據以構建啟發模式，以利於求解大型路線規劃問題，期能有效協助實務界進行校車之路線規劃。

表 5 調整營運收入上下限之影響 (多元網路模式)

測例	上下限與平均值之差距 (%)	下限值(元)	上限值(元)	運 算 結 果		
				目標值 (距離單位)	各路線營運收入 差距(元)	拆站情形
1	15	283,826	383,998	92.52	297,896~369,760	嘉南藥理學院(1,9)*
2	10	300,521	367,303	93.55	305,024~365,432	嘉南藥理學院(1,9) 空軍醫院(1,10)
3	5	317,216	350,608	121.54	317,904~347,196	嘉南藥理學院(3,7) 阿蓮客運站(5,28)

\*：(a, b)表示有兩路線前往載運學生，各搭載 a, b 位學生。

## 四、委外校車路線規劃模式(區位基礎模式)之構建

如前所述，由於上述之數學模式對於搭載點及車輛數較多時，較不易求解，因此本研究將依先後考量指派與排序兩個子因素構建一啟發模式，即利用區位基礎啟發法之觀念，並配合本問題之特性，先構建相關設施區位模式(稱區位基礎模式)進行搭載點之分區規劃，再分別進行各分區內搭載點之路線規劃。因此，以下將分四小節進行探討，其中，4.1 節為研提此區位基礎模式之構想；4.2 節則進行數學模式之構建，以利於搭載點之分區規劃；4.3 節則進行簡例測試；4.4 節則比較多元網路模式與區位基礎模式等求解方法之簡例測試結果，以了解其間之差異。

### 4.1 研提區位基礎模式之構想

就區位基礎啟發法<sup>[9]</sup>而言，其主要利用容量限制性設施區位問題的觀念針對路線規劃問題之需求點先進行分區，然後再進行每一分區內需求點之路線安排，因分區結果將使各分區內之需求點數較少，故各分區內之路線規劃較為簡單，頗適合大型路線規劃問題之求解，另外，陳春益和郭振峰<sup>[7]</sup>、Bramel and Simchi-Levi<sup>[9]</sup>和 Klineciewicz and Luss<sup>[10]</sup>等分別嘗試利用區位基礎啟發法求解區位-路線問題(location-routing problem)、車輛路線問題(vehicle routing problem)、及車隊規劃問題(fleet planning problem)，經其求解結果顯示，此啟發法之求解成效頗佳，而且陳春益等<sup>[8]</sup>探討利用區位基礎啟發法求解相關車隊管理問題時，亦構建分割指派容量限制性設施區位模式，以利於考量需求點具分割指派性質之特性，因此，基於處理委外校車路線規劃問題之分割載運因素，本研究將依區位基礎啟發法之觀念，構建分割指派容量限制性設施區位模式，以利於搭載點之分區規劃。此外，對於處理迄點不定因素，本研究將於進行各分區之路線規劃時，再一併考量，具體而言，其構想如后：

#### 1. 分區步驟

如以圖 11a， $n$  個搭載點為例，其進行搭載點之分區規劃方式如下：

- (1) 首先在  $n$  個搭載點中，選取  $m$  個種點(seed points)，並計算各種點到各搭載點及各種點間之最短距離  $c_{ij}$ ,  $i=1,2,\dots,m$ ,  $j=1,2,\dots,n$ ，視為種點服務此搭載點之運輸成本，其中，被選取的  $m$  個種點僅為候選的開放種點，且經分區規劃後，有些將成為開放種點，而有些則不為開放種點，如種點成為開放種點，則將服務其他搭載點，但不被其他開放種點服務，反之，則將其視為一般搭載點，應接受開放種點之服務，所以進行分區規劃時，應同時考量種點可能成為開放種點或一

般搭載點之可能，因此，除了計算種點到各搭載點之運輸成本外，應再計算各種點間之運輸成本(圖 11b)。

- (2) 由於各搭載點具分割指派性質，所以應容許單一搭載點被多個開放種點服務，因此，本研究將據以構建分割指派容量限制性設施區位模式，以利於分區規劃之進行，其中，此模式之目標函數將考量種點之固定成本，以期能以最少的開放種點(車輛)服務所有的搭載點，而本研究則將各種點之固定成本設定為相同之常數，主要是因為營運車輛多採加盟方式，並不屬業者或學校所有，因此，學校當局進行校車路線規劃時，通常不需考量車輛使用成本(即固定成本)是否有所差異。

根據(1)及(2)之設定方式，如以圖 11a 為例，則其分區規劃結果，如圖 11c 所示。

## 2. 路線規劃步驟

就一般車輛路線問題而言，其起迄點多為已知或相同，因此，進行路線規劃時，多針對每一分區內的需求點與車輛場站間安排一旅行銷售員問題(traveling salesman problem, TSP)之路線，即可完成所有需求點之路線規劃。然依據本研究之構想，將於各分區進行路線規劃時，一併考量迄點不定之因素，理論上，應該構建數學模式或利用啟發法，以利於求解各分區之路線規劃且決定路線之迄點，但為使進行路線規劃時有更多地理資料提供作為規劃路線之參考及圖形介面展示的功能，本研究則利用地理資訊系統軟體 TransCAD 進行各分區搭載點之路線規劃，其路線規劃方式是由調度人員依其經驗將分區內之搭載點依序點選，再利用 TransCAD 所提供的求解最短路徑之功能計算被依序點選之搭載點的最短路徑，並可反覆點選不同服務順序之搭載點，以列舉各分區搭載點之所有最短路徑，再選取最適當的最短路徑設定為校車路線。如以圖 11c 為例，經分區規劃之運算結果顯示，其搭載點共分為四區，再利用 TransCAD 針對各分區進行路線規劃，如 11d 所示，每分區將可求得單趟校車路線，其中，搭載點如被多個開放種點服務，則其路線規劃結果，將使此搭載點位於多條路線之中。

## 4.2 模式構建

依據上述分區步驟之構想，本小節將構建一分割指派容量限制性設施區位模式，針對各搭載點進行分區之規劃，即進行搭載點之指派作業。在構建此模式之前，其事先準備工作及基本假設如下：

### 1. 事先準備工作

- (1) 選擇種點：一般而言，當搭載點數較少時，可將所有搭載點皆設定為種點，以增加開放種點之選擇機會，使分區結果更趨合理；或搭載點較多時，為簡化模



式及增加模式之運算效率，則可利用中位問題(P-median problem)之觀念先對所有搭載點選擇適當的種點，再進行分區規劃。

- (2) 節線成本( $c_{ij}$ )之計算： $c_{ij}$  表示搭載點  $j$  接受種點  $i$  服務之運輸成本。一般而言，其設定可分為兩部分，分述如下：
- 直接成本(direct cost): 若假設種點  $i$  到搭載點  $j$  之最短距離為  $d_{ij}$ ，則設定  $c_{ij} = 2d_{ij}$  為節線成本。
  - 最鄰近插入成本(nearest insertion cost)：若場站到種點  $i$  之最短距離設定為  $d_i$ ，對任一需求點  $j$  到種點  $i$  與場站之最短距離分別設定為  $d_{ij}$  及  $d_j$ ，則其節線成本可設定為  $c_{ij} = d_{ij} + d_j - d_i$ 。

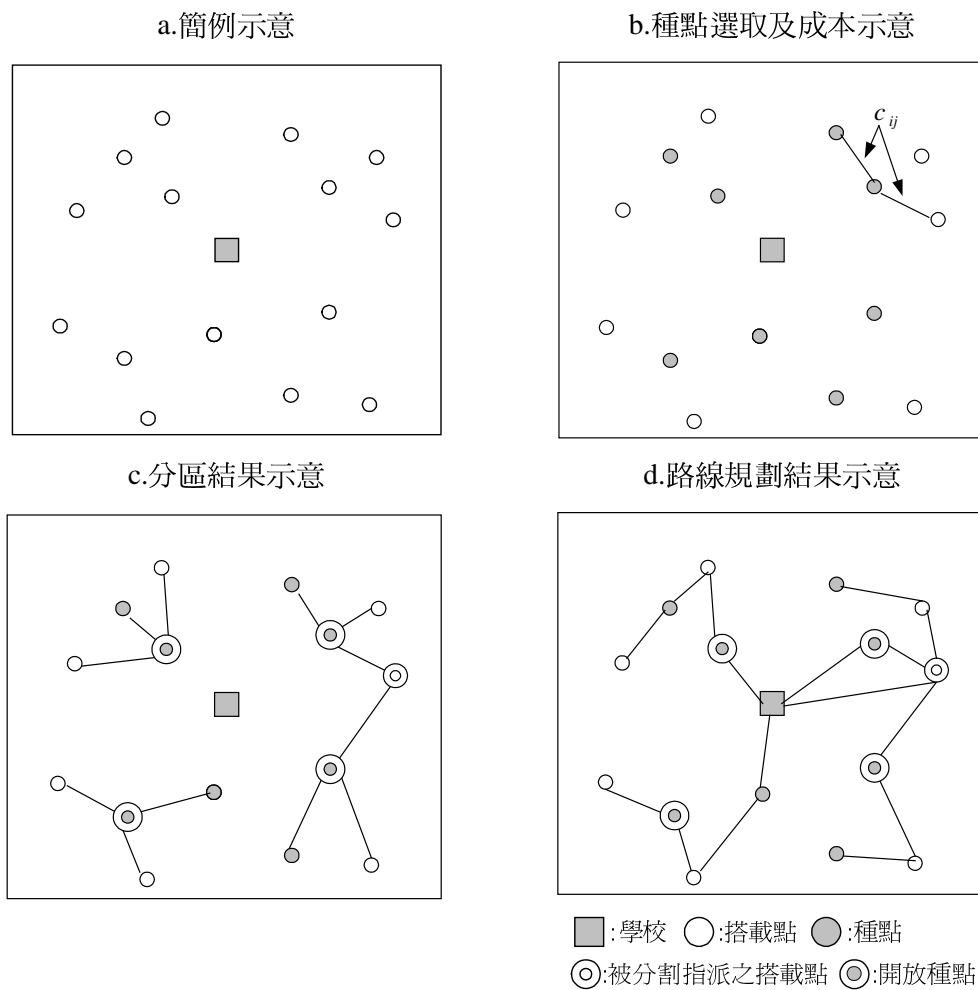


圖 11 區位基礎模式之求解步驟示意

根據 Bramel and Simchi-Levi<sup>[9]</sup>針對這兩種節線成本設定方式之測試結果知，採用最鄰近插入成本之設定方式所得之結果較優於利用直接成本之設定方式，但差異不大，本研究則利用直接成本的方式設定節線成本。

## 2. 基本假設

- (1) 車輛行駛同一路段其運輸成本相同。
- (2) 每節線皆無容量限制。
- (3) 每種點(車輛)皆有容量限制。
- (4) 每搭載點具分割指派性質。

依據上述之事先準備工作及基本假設，並基於極小化校車營運成本為目標，此分割指派容量限制性設施區位模式可列式如后：

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in I} x_{ij} \geq 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$z_{ij} \leq \mu_i x_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} z_{ij} \leq \mu_i \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} z_{ij} = d_j \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (6)$$

$$LB \leq \sum_{j \in J} p_j z_{ij} \leq UB \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (8)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (9)$$

$$z_{ij} \in Z^+ \cup \{\emptyset\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (10)$$

其中：

#### 1. 決策變數部分

$x_{ij}$ ：表示搭載點  $j$  是否接受校車(種點) $i$  之服務，接受則為 1，否則為 0；

$y_i$ ：表示校車  $i$  是否被使用，如被使用其值為 1，否則為 0；

$z_{ij}$ ：校車  $i$  載運搭載點  $j$  之學生數。

#### 2. 參數部分

$c_{ij}$ ：校車  $i$  服務搭載點  $j$  之運輸成本；

$d_j$ ：搭載點  $j$  之總搭車人數；

$f_i$ ：使用校車  $i$  所需支付之固定成本；

LB：每輛校車每學期營運總收入之下限值；

$p_j$ ：於搭載點  $j$  搭車者，每學期所需繳交的車資費用；

$\mu_i$ ：校車  $i$  之容量；

UB：每輛校車每學期營運總收入之上限值。

#### 3. 集合部分

$I$ ：校車(種點)之集合；

$J$ ：搭載點之集合；

$Z^+$ ：正整數之集合。

由上述模式結構可知，其為一整數規劃問題。其中，式(1)為目標函數乃極小化車輛營運成本；式(2)表示每個搭載點至少被一輛校車服務；式(3)表示唯有搭載點  $j$  被種點  $i$  服務，則車輛  $i$  才會載運學生到搭載點  $j$ ；式(4)表示每輛校車對其服務之需求點搭載人數總和不超過其容量限制；式(5)表示搭載點  $j$  之需求限制；式(6)表示唯有校車  $i$  被使用(種點  $i$  開放)，搭載點  $j$  才有可能被其服務；式(7)為校車之營運收入限制；式(8)及式(9)為 0-1 整數限制；式(10)為非負整數限制。

### 4.3 簡例測試

#### 4.3.1 測試結果

本小節同樣以 3.3.1 節之台南地區營運資料為例，進行此區位基礎模式之測試，因此，就車輛容量、搭載點之搭車人數( $d_j$ )、每位學生每學期車資( $p_j$ )與收益上、下限值(UB 值及 LB 值)等資料均與 3.3.1 節相同，但其固定成本( $f_i$ )與節線成本( $c_{ij}$ )之設定則有所差異，簡述如后：

1. 固定成本：如 4.1 節所述，本研究假設所有種點的固定成本皆相同，因此，進行簡

例測試時，各種點之固定成本均設為相同之常數。

2. 節線成本：此處的節線成本僅採用直接成本的方式計算。

3. 選擇種點：將所有搭載點均設定為種點。

根據上述的資料及參數設定，先將 4.2 節之數學模式，利用最佳化軟體 cplex 6.0 在個人電腦上進行求解，並將求解所得之分區結果，利用 TransCAD 針對各分區之搭載點進行路線規劃(即求解繞行分區內所有搭載點之最短路徑)，當上、下限值與平均值之差距為 15%時，其求解結果如表 6 所示。如再改變模式之營運收入上、下限值(即調整百分比值)後，其求解結果如表 7 所示，其中，當營運收入上、下限值與平均值之差距越小，則有較多的搭載點有拆站的現象，且其營運成本則會顯著增加，此與多元網路模式之求解結果相同且符合問題之特性。同樣的在測例 3 中(表 7)，縮小差距至 5%時，使阿蓮客運站有拆站現象，此與 3.3 節利用多元網路模式之求解結果(表 5)相同。

就此區位基礎模式之測試結果而言，其拆站的現象、目標值與上下限百分比值間之變化關係等均符合多元網路模式之求解結果及此問題特性，因此，利用此區位基礎模式求解委外校車路線規劃問題應屬可行，但同 3.3 節所述，實務應用上，如某些搭載點不可被拆站時，可將區位基礎模式之式(2)調整如下：

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \geq 1, \quad j = \text{可被拆站之搭載點};$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad j = \text{不可被拆站之搭載點}。$$

表 6 測試結果(區位基礎模式)

路線別	搭 載 點*	總搭車人數(人)	營運收入(元)
路線 1	A 學校→阿蓮客運站(33)→關廟國中(3)→ <b>歸仁郵局</b> (5) →仁德加油站(1)→長榮中學(7)	49	297,896
路線 2	A 學校→湖內國中(1)→嘉南藥理學院(1)→青年會(6)→ <b>西門客運站</b> (12)→東帝士百貨公司(19)→六甲頂(11)	50	369,760
路線 3	A 學校→嘉南藥理學院(9)→ <b>空軍醫院</b> (11)→大同路郵 局(18)→府前西門站(12)	50	334,080

\*：括號內數字為載運學生數；粗黑斜體字表開放種點。

表 7 調整營運收入上下限之影響(區位基礎模式)

測例	上下限與平均值之差距 (%)	下限值(元)	上限值(元)	運 算 結 果		
				目標值 (距離單位)	各路線營運收入 差距(元)	拆站情形
1	15	283,826	383,998	98.97	297,896~369,760	嘉南藥理學院(1,9)*
2	10	300,521	367,303	100.05	302,224~365,432	嘉南藥理學院(1,9)
3	5	317,216	350,608	128.05	317,216~350,608	嘉南藥理學院(3,7) 阿蓮客運站(5,28) 空軍醫院(5,6)

\*：(a, b)表示有兩路線前往載運學生，各搭載 a, b 位學生。

則可限定不可被拆站之搭載點不具分割指派性質，而使其僅被單一開放種點服務。

#### 4.3.2 多元網路模式與區位基礎模式求解結果之比較

就多元網路模式與區位基礎模式之求解結果加以比較，如表 8 所示，並說明如下：

1. 就目標值而言，多元網路模式與區位基礎模式之求解結果差距約為 5.4%~7.0%，即多元網路模式之求解結果使車輛總行駛里程較短；
2. 就決策變數而言，就上述簡例而言，構建多元網路模式所產生的決策變數約為區位基礎模式的三倍以上，且當問題規模越大時，構建多元網路模式所產生之決策變數將更多，使其求解更為不易，且與構建區位基礎模式所產生的決策變數之差距更大；
3. 就電腦運算時間而言，多元網路模式雖可同時考量指派與排序兩因素，但需花費較多的時間進行求解，而區位基礎模式雖先後處理指派與排序兩因素，但其求解時間相對較少。

經由上述之比較得知，雖多元網路模式將可求得較佳的解，但將花費較多的求解時間，且隨上下限與平均值之差距，對求解時間將會顯著的影響。由於此測例之搭載點及車輛較少，所以其決策變數、目標值、以及求解時間等之差異較不明顯，但可據此推論，當問題規模較大時，將有明顯差異，就本研究的測試經驗而言，當搭載點超過 100 個、車輛數超過 40 部時，此數學模式將產生至少 70 萬個變數及 14,000 個以上限制式，利用最佳化軟體 cplex6.0 在個人電腦上求解，並無法於可接受的時間內獲得一合理解，因此，本研究將利用多元網路模式求解小型路線規劃問題，而大型路線規劃問題將利用區位基礎模式進行求解。

表 8 多元網路模式與區位基礎模式求解結果之比較

測例	上下限與 平均值之 差距(%)	下限值 (元)	上限值 (元)	求解 策略 <sup>1</sup>	決策 變數 (個)	求解結果		
						目標值	拆站情形	求解時間 <sup>2</sup> (秒)
1	15	283,826	383,998	1	1344	92.52	嘉南藥理學院(1,9)	58.44
				2	434	98.97	嘉南藥理學院(1,9)	1.分區(1.56) 2.路線安排(<=20)
2	10	300,521	367,303	1	1344	93.55	嘉南藥理學院(1,9) 空軍醫院(1,10)	49.54
				2	434	100.05	嘉南藥理學院(1,9)	1.分區(1.15) 2.路線安排(<=20)
3	5	317,216	350,608	1	1344	121.54	嘉南藥理學院(3,7) 阿蓮客運站(5,28)	211.21
				2	434	128.05	嘉南藥理學院(3,7) 阿蓮客運站(5,28) 空軍醫院(5,6)	1.分區(1.32) 2.路線安排(<=20)

註 1：求解策略 1 表示多元網路模式；求解策略 2 表示區位基礎模式。

2：求解策略 1 之欄位為利用多元網路模式之求解時間；求解策略 2 之欄位為利用分割指派容量限制性設施區位模式進行分區規劃之求解時間(分區部分)，以及利用 TransCAD 針對各分區進行路線安排所花費之時間(路線安排部分)，約 20 秒內可完成每分區之路線安排。

#### 4.4 小結

就上述針對區位基礎模式進行簡例測試結果而言，其求解結果頗能反映營運成本與各車營運收入平均化間呈反比關係之問題特性，且與多元網路模式之求解結果差異不大，且經由 4.3.2 節之比較得知，當問題規模較小時，利用多元網路模式進行求解即可，當問題規模較大時，則較適合利用區位基礎模式求解。由於下一節實例部分之問題規模頗大(搭載點為 119 個、搭車人數共 2052 位)，因此，本文將利用區位基礎模式進行求解，再與現有路線進行比較分析，以了解此區位基礎模式於實務應用上之情況或限制，以供相關單位參考。

## 五、實例分析

本節將以 A 學校之實際校車營運資料為例，進行實例分析。5.1 節將簡單說明資料之背景；5.2 節則敘述實例運算之結果；5.3 節為運算結果分析；5.4 節為本節之小結。

### 5.1 實例說明

實例之 A 學校位於高雄縣與台南縣之交界處，其學生來源主要來自高雄縣市，台南縣市次之，由於交界處交通較不便利，故學校提供校車以方便學生上、下學，且以委外方式二之營運方式提供校車服務。目前承包業者共提供 44 輛校車服務學生，其中，高雄地區計有 41 輛校車，共有 105 個搭載點，服務學生總數 1,903 人；台南地區則有 3 輛校車，共有 14 個搭載點，服務學生總數 149 人；就校車的服務網路而言，搭載點共有 119 個，服務學生總數 2,052 人，約占學校學生總數的五分之二，為該校學生上、下學之重要交通工具(表 9)。

表 9 搭載點及搭車人數之實例資料

區 域	校車數(輛)	搭載點數(站)	搭車人數(人)
高雄地區	41	105	1903
台南地區	3	14	149
合 計	44	119	2052

在與 A 學校訪談中得知，校車搭載點的選擇主要由學校當局、承包業者、以及學生事先共同決定即可。目前台南地區的搭載點位置，如圖 10 所示，而高雄地區的搭載點位置，如圖 12 所示；在車資的訂價方面，各搭載點之每位學生每學期所收取之車資是按照搭乘校車之里程來計價，因此，不同搭載點每人每學期所收取的車資費用並不相同。目前校車路線規劃方式，主要由車輛業者及學校當局依其經驗法則共同決定，而其現有路線、搭載人數、以及各校車營運收入(以百分比表示)，如附表 1 所示。

### 5.2 運算結果

本小節引用附表 1 所述之台南及高雄地區營運資料進行實例分析，除節線成本與固定成本之設定方式同 4.3.1 節外，其他參數之設定，說明如下：

1. 上下限值：就附表 1 之營運收入而言，其平均值為 361,162 元，如將現況路線之營運收入與此平均值加以比較，則其差異最多為 48% 左右，即現況路線之營運收入介於 534,520 元( $361,162 \times (1+0.48)$ )與 187,804 元( $361,162 \times (1-0.48)$ )之間。而為了解此區位基礎模式之求解結果與現況路線之差異，故本節將上、下限值百分比設定為 48%，即以上限值為 534,520 元，而下限值為 187,804 元，進行實例分析。
2. 種點選擇：由於實例問題之搭載點較多，因此，本研究乃以中位問題(P-median problem)之觀念於 119 個搭載點中選出 60 個種點。
3. 車輛容量：由於採加盟方式營運，並無可用車輛數的限制，因此，實務上進行路線規劃時，並不會考量車輛容量是否不同，而多以容量為 50 人進行規劃(此為一般客運車輛之容量)，待規劃完成後，再指派適當的車輛進行服務，所以本研究之實例測試對車輛容量皆設定為 50 人。

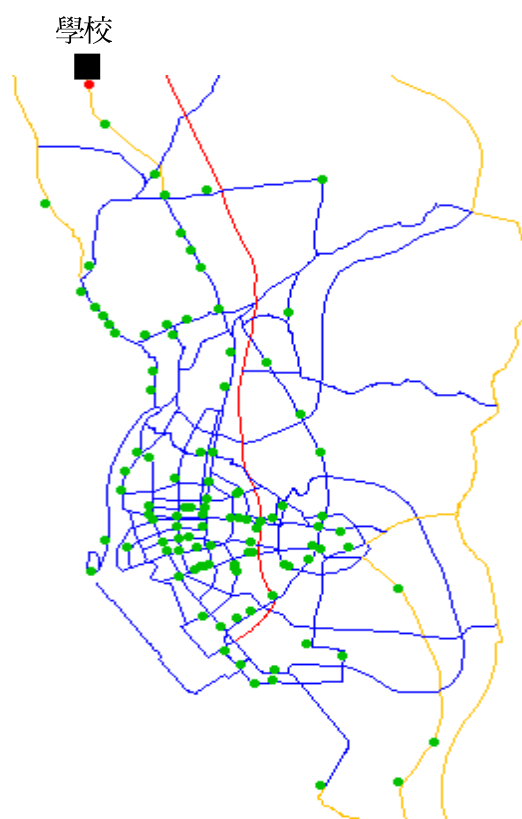


圖 12 高雄地區校車搭載點分布



根據以上參數的設定，利用區位基礎模式進行求解，其中，經分割指派容量限制性設施區位模式進行分區規劃之求解結果顯示，台南地區共有三個開放種點，即有三個分區，而高雄地區共有三十九個開放種點，即有三十九個分區，並利用 TransCAD 求取各分區內繞行所有搭載點之最短路徑，其求解結果如附表 2 所示。

### 5.3 運算結果分析

經上述的運算結果，可獲致初步的結果如后：

1. 就附表 2 之求解結果與現況路線(附表 1)加以比較，如表 10 所示，並說明如下：

- (1) 使用車輛數顯著減少：經實例運算之結果，僅需 42 輛校車即可服務所有搭載點，較現況路線(需 44 輛校車)所需的車輛數少；
- (2) 營運成本減少：經實例運算之結果顯示，其營運成本較現況路線之營運成本約可減少 10% 左右；

因此，在相同的上下限值百分比之下，就使用車輛數與營運成本等部分而言，此區位基礎模式之求解結果頗為合理，且較現況路線為佳。

表 10 實例運算結果與現況路線比較

實例運算(現況)路線	車輛數			目標值	上下限值與平均值之差距(%)
	高雄地區	台南地區	合計		
實例運算路線	39	3	42	1203.67	<=48
現有路線	41	3	44	1336.69	<=48

2. 如改變營運收入上下限值與平均值之百分比(48%~5%)，則由其求解結果顯示，當百分比值越小，則營運成本將顯著增加(圖 13)，此求解結果頗符合上述所提之問題特性。
3. 就搭載點之拆站現象而言，當上下限值百分比由 5% 逐漸增加到 48% 時，其搭載點被拆站的現象將有逐漸減少之趨勢，此現象頗符合問題之特性。此外，由於現況路線是由調度人員依其經驗自行規劃，通常為方便其路線規劃及調配各車之營運收入，調度人員多會選擇較接近學校之少數幾個搭載點進行拆站，故由附表 1 之現況路線顯示，會出現七部車輛同時服務相同搭載點(岡山教會站)之情況；然經本研究依上下限值百分比為 48% 時之運算結果顯示(附表 2)，由於本研究是先針對搭載點進

行分區，再對各分區進行路線規劃，故其分區結果，將使得被分割指派之搭載點較不會集中於學校附近，而是隨著分區結果有所差異，由於，此實例研究之上下限值之差距頗大，即表示此限制條件較為寬鬆，故分區內之搭載點多較為集中，而使被分割指派之搭載點分布較為平均，由求解結果顯示，多數被拆站之搭載點(如高雄應用科大、文藻學院、西門客運站等)皆由二部車輛服務，僅極少數搭載點(如後火車站、岡山教會等)同時被三~四部車輛服務，較不會出現搭載點同時被七部車輛服務的現象。

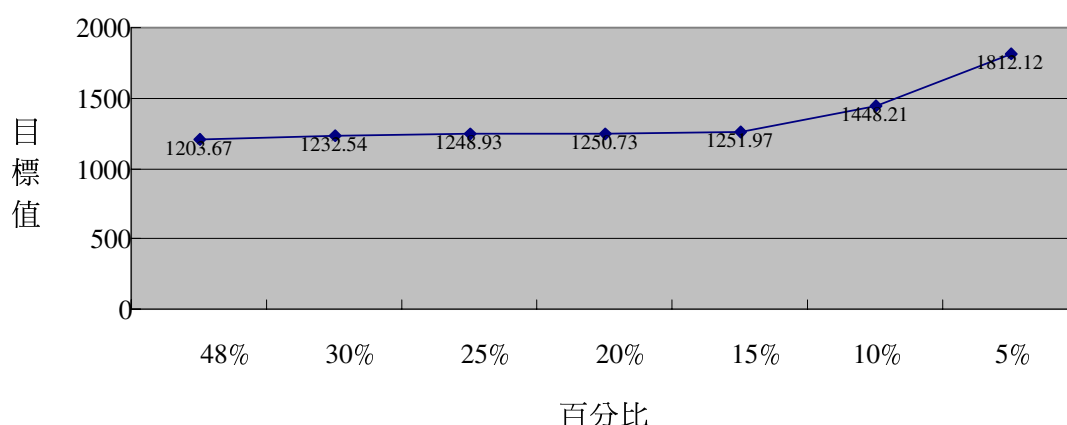


圖 13 上下限值與目標值之關係(實例運算結果)

## 5.4 小結

經本研究進行實例研究結果(附表 2)與現況路線(附表 1)進行比較及結果分析顯示，在相同的上下限值百分比(48%)下，就營運成本、使用的車輛數、以及搭載點之拆站情況而言，本實例研究之結果，均較現況路線為佳，且當縮小上下限值的百分比(48%~15%)時，其營運成本及使用的車輛數等，亦較現況路線為佳，故經此實例研究結果顯示，此區位基礎模式實可提供學校進行校車路線規劃之參考。

## 六、結論與建議

經由上述對問題之探討與模式求解，本文之結論如后：

1. 傳統上，學校自行經營校車，則其路線規劃問題可視為一般車輛路線問題。但據本

研究深入了解，國內多數私立學校之校車採委外營運時，基於節省營運成本及考量各車收益公平性等因素，其路線規劃問題與一般車輛路線問題略有不同且較為複雜，其問題特性如下：

- (1) 各車之起迄點可不相同；
  - (2) 如校車以學校為起點，則進行路線規劃時，應同時決定其迄點；
  - (3) 各搭載點均容許多部車輛前往載運學生。
2. 本質上，此委外路線規劃問題與一般車輛路線問題相同，皆需考量指派與排序兩因素進行路線規劃，一般而言，可依是否同時考量指派與排序兩因素進行問題求解，理論上，宜同時考量指派與排序兩因素，而本研究則構建多元網路模式，以同時考量指派與排序兩因素，進行校車之路線規劃。此外，本研究亦根據區位基礎啟發法研提一區位基礎模式，即構建分割指派容量限制性設施區位模式進行搭載點之分區規劃，且利用 TransCAD 進行路線安排，以先後考量指派與排序兩因素，進行校車之路線規劃。經簡例測試結果，多元網路模式與區位基礎模式之求解結果，其營運成本約有 5%~7% 之差異。
3. 經本研究針對多元網路模式之測試經驗知，其應用於大型問題時，無法及時獲致一合理解，且實例問題之搭載點及搭車人數不少，故本文嘗試利用區位基礎模式處理實務問題，經實例分析結果顯示，此區位基礎模式對於使用車輛數量、車隊營運成本、以及搭載點之拆站現象等方面的考量，均較現有路線為佳。就實務而言，並無強制任何搭載點不可被拆站，故本研究進行實例分析時，並無利用 4.3 節所提之限制式加以限定任何搭載點不可被拆站，以利於與現況路線進行比較，如實務上有此要求時，則可將區位基礎模式之式(2)稍加修改即可(詳 4.3 節)。

此外，本文亦歸納出以下幾點建議，於後續研究再進一步加以探討：

1. 經簡例測試顯示，多元網路模式之運算結果較佳，但求解大型問題較為不易，由於應用此模式構建大型問題時，預期產生較多的決策變數及附加限制式，因此，本研究尚未開發適當啟發式演算法配合此模式，以利於求解實例問題，應可於後續研究再進行探討，並與區位基礎模式之求解結果加以比較，以供校方及業者進行路線規劃之參考。
2. 由於實務上進行校車路線規劃時，並沒有限制各車輛之行駛時間或旅程、各搭載點之時窗限制等因素，因此，本研究進行路線規劃時，亦無考量上述之實務性因素，

如於實務應用時，有上述之實務性因素之限制，則宜再修改上述之相關模式，再進行路線規劃。

3. 本研究採用區位基礎模式進行實例研究，其中，利用地理資訊系統軟體 TransCAD 進行各分區之路線安排，由於地理資訊系統具有圖型介面與地理資料庫的功能，因此，於實務運用時，可納入這些功能據以發展成為一決策支援系統(decision support system, DSS)，以更有效協助校方及業者進行路線規劃。
4. 本研究之車輛營運成本僅考量距離因素，未來可納入車輛之行車速率等因素，以提供學校更多的方式進行路線規劃。此外，由於校車多屬較大型車輛，故未來可再考量道路容量限制，以使路線規劃結果較適合大型車輛行駛；或者依路線規劃及載運人數之結果，可考量採用中、小型車輛進行服務，非必採用大型車輛。
5. 本研究僅依問題特性進行校車之路線規劃，而於後續研究中，應再考量車輛之停車地點與車輛容量等條件，進行車輛指派之作業。
6. 本研究僅以單一學校之委外校車路線規劃為探討對象，而多個學校如將校車均委由相同的承包業者，為減少營運成本與學生負擔，則多校委外校車聯營之路線規劃問題頗值得加以探討。

## 參考文獻

1. 陳建都，「校車指派研究」，私立大葉大學事業經營研究所碩士論文，民國八十五年。
2. 詹達穎，「模擬鍛鍊法求解車輛排程問題」，中華民國運輸學會第九屆學術論文研討會，民國八十三年，頁 185-192。
3. Bennett, B. T. and Gazis, D. C., "School Bus Routing by Computer", *Transportation Research*, Vol. 6, 1972, pp. 317-325.
4. Bowerman, R., Hall, B., and Calamai, P., "A Multi-objective Optimization Approach to Unban School Bus Routing: Formulation and Solution Method", *Transportation Research*, Vol. 29A, 2, 1995, pp. 107-123.
5. Duac!, G., Ferland, J. A., and Forgues, P. A., "School Bus Routes Generator in Urban Surroundings", *Computer & Operations Research*, Vol. 7, 1980, pp. 199-213.
6. Newton, R. M. and Thomas, W. H., "Bus Routing in a Multi-school System", *Computer & Operations Research*, Vol. 1, 1974, pp. 213-222.

7. 陳春益、郭振峰，「建立物流中心區位模式之研究」，*運輸計劃季刊*，第二十三卷第三期，民國八十三年，頁 305-326。
8. 陳春益、林志鴻、張蕙蘭，「網路區位問題應用在車隊管理之探討」，*中華民國第四屆運輸網路研討會*，民國八十八年，頁 115-125。
9. Bramel, J. and Simchi-Levi, D., "A Location Based Heuristic for General Routing Problem", *Operations Research*, Vol. 43, 1995, pp. 649-660.
10. Klinkewicz, J. G. and Luss, H., "Fleet Size Planning when Outside Carrier Services Are Available", *Transportation Science*, Vol. 24, 1990, pp. 169-182.
11. Bodin, L., Golden, B., Assad, A., and Ball, M., "Routing and Scheduling of Vehicle and Crews: The State of the Art", *Computers & Operation Research*, Vol. 10, 1983, pp. 63-211.
12. Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J. Y., and Semet, F., "Classical and Modern Heuristic for the Vehicle Routing Problem", *International Transactions in Operation Research*, Vol. 7, 2000, pp. 285-300.
13. Ahuja, R. K, Magnanti, T. L., and Orlin, J. B., *Network Flows*, Prentice-Hall Inc., 1993.

附表 1 實例之現況路線

路線別 <sup>3</sup>	搭 載 點	路線收費 最高路線收費 (%) <sup>2</sup>
A1	A 學校→覺民路口(17)→澄和路口(33) <sup>1</sup>	77.7
A2	A 學校→中華十全路口(5)→中華建國路口(17)→小圓環(6)→高雄市立體育館(19)	75.5
A3	A 學校→典寶橋(2)→援中港(4)→彌陀國小(10)→梓官派出所(10)→大舍甲廟(6)→蚵寮國小(11)	61.4
A4	A 學校→岡山教會(5)→民族建工路口(13)→民族國中(29)	68.3
A5	A 學校→鳥松灣仔內(22)→鳥松鄉公所(13)→鳳松經武路口(11)	81.5
A6	A 學校→大統戲院(18)→三多復興路(29)	79.2
A7	A 學校→後勁農會(25)→樂群路口(21)	57.4
A8	A 學校→前鋒社區(16)→鼓山三信(7)→鼓山渡船口(20)	69.2
A9	A 學校→瑞豐國中(21)→五甲派出所(29)	90.5
A10	A 學校→岡山教會(5)→武昌武營路口(12)→遠東愛買(32)	78.0
A11	A 學校→岡山教會(18)→燕巢派出所(27)	42.8
A12	A 學校→忠孝國中(5)→忠孝國小(33)→五甲加油站(8)	85.4
A13	A 學校→阿蓮客運站(33)→關廟國中(3)→歸仁郵局(5)→仁德加油站(1)→青年會(6)	55.4
B1	A 學校→高雄應用科大(48)	74.6
B2	A 學校→九如交流道(39)→覺民路口(10)	76.1
B3	A 學校→民族大順路口(14)→龍華國小(23)→中山七賢路口(10)	72.4
B4	A 學校→岡山文化中心(7)→文藻學院(41)	64.8
B5	A 學校→公正瑞隆路口(38)→憲德戲院(9)	82.0
B6	A 學校→九如大順路口(25)→高雄應用科大(21)	71.5
B7	A 學校→中華社區(2)→華榮電纜公司(12)→新莊國小(31)	64.3
B8	A 學校→岡山教會(6)→鳳山高中(26)→鳳山客運站(18)	86.0
B9	A 學校→岡山教會(5)→永全加油站(2)→五甲廟(39)	77.6
B10	A 學校→左營北站(18)→明誠國中(27)	69.5
B11	A 學校→後昌加昌路口(21)→金山市場(12)→左營南站(12)	62.9
B12	A 學校→三多廣東路口(22)→三多光華路口(23)	77.3
B13	A 學校→環保局(21)→高雄商職(22)	72.7
B14	A 學校→嘉南藥理學院(10)→府前西門路口(12)→西門客運站(12)→東帝士百貨公司(19)	73.0
C1	A 學校→小港分局(21)→大林浦三角公園(3)→林園國中(18)→招明國小(4)	100
C2	A 學校→桂林國小(17)→大寮鄉公所(28)	90.8
C3	A 學校→小港市場(8)→機場站(15)→太平國小(21)	81.7
C4	A 學校→岡山教會(5)→前金福路口(4)→草衙漁港(16)→鎮興鎮榮路口(5)→前鎮高中(18)	78.6
C5	A 學校→高雄縣警察局(10)→國父紀念館(8)→鳳山國中(26)→工協新村(4)	89.2
C6	A 學校→仁武路口(23)→建國鳳松路口(21)	78.0
C7	A 學校→五福國中(31)→大統百貨公司(15)	75.3
C8	A 學校→中正技擊館(32)→復興中正路口(4)→新興分局(11)	77.2
C9	A 學校→民族市場(9)→三民公園(12)→中華九如路口(23)	69.6
C10	A 學校→三民國中(18)→後火車站(29)	73.4
C11	A 學校→皇統飯店(2)→民族九如路口(25)→民族保齡球館(19)	72.5
C12	A 學校→內惟站(9)→大榮高工(10)→富野站(27)	72.9
C13	A 學校→右昌國中(47)	61.2
C14	A 學校→岡山教會(6)→大社(42)	60.5
C15	A 學校→橋頭五里林(3)→橋頭火車站(17)→楠梓陸橋(26)	44.8
C16	A 學校→岡山憲兵隊(9)→橋頭市場(39)	37.4
C17	A 學校→湖內國中(1)→空軍醫院(11)→大同郵局(18)→長榮中學(7)→六甲頂(11)	72.3

資料來源：A 學校。

註 1：括號中之數字為搭乘學生數。

2：各路線之收費計算，乃以搭乘學生之人數，以及其搭乘之距離計算。由於校車承包業者不公開各路線每學期之收費，故僅以相對數字表示，即各路線收費除以最高之路線收費。

3：路線編號之首位字母乃表示不同承包業者，但進行路線規劃時，則由校方與承包業者一起作業。

附表 2 實例研究之路線規劃結果(區位基礎模式)

路線別	搭 載 點	路線收費 最高路線收費 (%) <sup>2</sup>
1	A 學校→三民公園(12)→後火車站(19)→民族保齡球館(19) <sup>1</sup>	86.1
2	A 學校→中華十全路口(5)→後火車站(5)→中華九如(23)→中華建國路口(17)	87.4
3	A 學校→皇統飯店(2)→九如大順(25)→民族九如路口(23)	84.8
4	A 學校→文藻學院(35)→民族大順路口(14)	80.2
5	A 學校→華榮電纜公司(12)→新莊國小(12)→龍華國小(23)	79.0
6	A 學校→文藻學院(6)→新莊國小(2)→民族建功路口(13)→民族果菜市場(9)→民族九如路口(2)→三民國中(18)	84.1
7	A 學校→岡山教會(2)→民族國中(29)→高雄應用科大(19)	82.7
8	A 學校→中華社區(2)→金山市場(12)→前鋒社區(6)→明誠國中(27)	82.6
9	A 學校→橋頭火車站(3)→新莊國小(14)→前鋒社區(10)→內惟站(9)→大榮高工(10)	84.8
10	A 學校→覺民路(17)→澄和路(33)	84.8
11	A 學校→覺民路(10)→建國鳳松路(21)	64.9
12	A 學校→後勁農會(25)→後勁加昌路(21)→典寶橋(2)→援中港(2)	68.9
13	A 學校→岡山教會(10)→岡山憲兵隊(9)→梓官派出所(10)→彌陀國小(10)→蚵寮國小(11)	60.9
14	A 學校→仁武路口(15)→鳥松灣仔內(22)→鳥松鄉公所(13)	94.5
15	A 學校→大社(42)	62.1
16	A 學校→高雄應用科大(50)	84.8
17	A 學校→岡山教會(3)→右昌國中(47)	68.8
18	A 學校→三多廣東路口(16)→三多復興路口(29)→遠東愛買(5)	93.1
19	A 學校→大舍甲廟(6)→援中港(2)→楠梓路橋(3)→樂群路口(21)→左營北站(18)	75.6
20	A 學校→後火車站(5)→復興中正路口(4)→新興分局(9)→大統百貨公司(15)→高雄市立體育館(19)→五福國中(3)	87.9
21	A 學校→環保局(21)→三多廣東街口(6)→三多光華路口(23)	93.1
22	A 學校→橋頭火車站(7)→橋頭市場(1)→橋頭五里林(3)→左營南站(12)→鼓山三信(7)→鼓山渡船口(20)	77.9
23	A 學校→中山七賢路口(10)→新興分局(7)→小圓環(6)→富野站(27)	87.6
24	A 學校→五福國中(28)→高雄商職(22)	90.3
25	A 學校→中正技擊館(32)→公正瑞隆路口(18)	92.1
26	A 學校→岡山教會(10)→武昌武營路口(12)→大統戲院(9)	61.5
27	A 學校→瑞豐國中(21)→公正瑞隆路口(20)→憲德戲院(9)	95.3
28	A 學校→忠孝國小(33)→忠孝國中(5)	77.1
29	A 學校→鳳山客運站(18)→鳳山國中(26)	98.0
30	A 學校→縣警局(10)→工協新村(4)→大寮鄉公所(20)	90.8
31	A 學校→鳳松經武路口(11)→大寮鄉公所(8)→昭明國中(4)→林園國中(18)→大林埔三角公園(3)	90.5
32	A 學校→九如交流道(12)→桂林國小(17)→太平國小(21)	97.4
33	A 學校→九如交流道(13)→鳳松經武路口(8)→鳳山高中(22)	82.9
34	A 學校→仁武路口(8)→五甲廟(27)→機場站(15)	100
35	A 學校→遠東愛買(27)→前鎮高中(18)→鎮興鎮榮街口(5)	94.1
36	A 學校→金福路口(8)→小港路口(8)→小港分局(21)→草衙魚港路口(16)	99.1
37	A 學校→岡山文化中心(7)→永全加油站(8)→五甲加油站(8)→鳳山高中(4)→五甲派出所(29)	89.6
38	A 學校→橋頭市場(38)→五甲廟(12)	58.3
39	A 學校→燕巢(27)→楠梓路橋(23)	62.2
40	A 學校→阿蓮客運站(33)→關廟國中(3)→歸仁郵局(5)→仁德加油站(1)→長榮中學(7)	65.0
41	A 學校→西門客運站(2)→府前西門路口(12)→青年會(6)→東帝士百貨公司(19)→六甲頂(11)	82.1
42	A 學校→湖內國中(1)→嘉南藥理學院站(10)→空軍醫院(11)→大同路郵局(18)→西門客運站(10)	71.6

註 1~2：同附表 1。





# 超額容量對國內線航空定價行為 影響之研究<sup>1</sup>

## IMPACTS OF OVER-CAPACITY ON THE PRICING BEHAVIORS OF TAIWAN'S AIR MARKET

吳偉銘 Wei-Ming Wu<sup>2</sup>

(90 年 5 月 4 日收稿，90 年 8 月 20 日第一次修改，90 年 8 月 27 日第

二次修改，91 年 3 月 14 日定稿)

### 摘 要

自民國八十七年起，國內航空業者之虧損，表面上雖是肇因於市場破壞性競爭行為之結果，然其真正原因為何呢？本研究建構一模型來說明：在較高超額容量之情況下，業者傾向以價格競爭手段，來消化超額容量所造成之成本壓力。反之，則傾向採以較平和之價格策略因應。理論上，若業者之虧損是由超額容量所致，則政府順應業者要求而提高機票之票面費率，其恐將造成以犧牲消費者利益，來彌補航空公司決策錯誤損失之嫌。若此，則對市場容量施予管制，顯然的便有其實務上與學理上之必要性。相對的，若虧損是由破壞性競爭行為所致，則訂定一價格限制以維持市場之穩定，顯然的是有其合理性。而本研究結果顯示：在業者基於兩岸直航之預期，以致競相擴充機隊之情況下，過多航班致使業者之經營處於產出不具效率階段，才是造成市場陷於破壞性競爭行為之主因。

**關鍵詞：**航空市場；超額容量；破壞性價格競爭

- 
1. 本文是國科會研究專題計畫(NSC 89-2416-H-327-012)之部分研究成果。作者感謝國科會之經費補助。同時也感謝兩位審查委員對本文所提供之寶貴意見。
  2. 國立高雄第一科技大學運輸與倉儲系助理教授(聯絡地址為 824 高雄縣燕巢鄉大學路 1 號高雄第一科技大學運輸與倉儲系 Tel:07-6011000 ext.3214, E-mail:www@ccms.nkfust.edu.tw)。

## ABSTRACT

*What are the real factors, other than the price war, that causes huge deficits for the domestic airlines? In this study, a model was created to demonstrate that airlines might set a more aggressive pricing strategy when the over-capacity condition is serious, under a less over-capacity condition while airlines might resort to a more peaceful price strategy. If the deficit is resulted from serious over-capacity problems, then to approve the increase of the regulated airfares will be an unfair play because it sacrifices consumers' benefit to subside the carrier's losses caused by wrongly expanding its fleet. Therefore, setting a policy to control the over-supply situation by reducing the approved flight numbers will be a reasonable mean theoretically and practically. In contrast, if the deficit is caused by destructive price competition, then setting a stable price regulation policy will be a reasonable way to maintain the market mechanism. This study has shown that the expectation of relinquishing the banned cross-strait air transportation is the main factor that made the carriers optimistically expand their fleet. Consequently, the unrealized expectation had led to a badly superfluous flight condition and inefficient fleet operation. Eventually, the over-capacity situation triggered the carriers to engage in a severe price war trying to improve the revenue.*

**Key Words:** Airline market; Overcapacity; Destructive competition

## 一、緒 論

自民國七十六年十月交通部頒布「民用航空運輸業申請設立、增闢航線、購機執行要點」起，國內航空政策正式進入所謂開放天空之新紀元。由於新的航空政策開放新業者進入市場，以及允許業者增闢航線等，故其已對國內航空客運市場的供給面，產生了不少衝擊。同時，國內航空市場也隨著復興、立榮、瑞聯(已於八十八年經民航局裁定停飛)等航空公司之復航或新加入，而正式進入激烈競爭之戰國時代。而在新的產業競爭環境下，整體國內航空市場其無論在飛機容量、航空費率、飛航班次上，皆有顯著之成長，旅客也因而享受了更舒適便捷(甚且是隨到隨時有班機可搭)之運輸服務。甚且，在持續激烈價格競爭之市場環境下，國內航空業者也付出了鉅額虧損的慘痛代價。而業者於經歷多年之虧損後，很自然的便以尋求提高票價來彌補其鉅額之虧損。然由於國內線航空費率仍屬管制費率，其漲跌皆須經由交通部核可，因此業者也就要求交通部允其提高票面價。

然綜觀前一次(民國八十八年十二月)國內航空費率之調整過程，雖然業者宣稱票價已有多多年未經調整，但當時市場實售票價卻仍比核定之票面價低。顯然的，業者以提高票面價來反映多年未予調整之航空票價，其理由並不充分<sup>3</sup>。但業者連年之虧損，也不禁讓政府與乘客擔心，如果沒有合理獲利挹助，則國內航空之飛安恐將遭受極大危害。因此釐清飛安、費率與獲利水準間之關係，實為制定航空管制政策時之重要思考課題。

學理上，良好之飛安是否必然建立在穩定之獲利環境下，其便是一值得探討之實務課題。假若此一命題成立，則實務上藉由種種之管制手段來保障航空公司之正常利潤，以進而確保飛航安全之論點，其便可得到理論上之支持。反之，則實務上若擬藉由調整管制價格之手段，以創造一穩定之獲利環境，進而期盼航空公司提供更具信賴之飛安表現，則恐有不合理之處。因此若飛安與獲利間存在一個非必然之關係，則航空價格之管制似也就須較傾向市場層面上之思考，而非純以成本面為思考之核心。

雖然國內線航空業者虧損之原因，表面上是肇因於激烈之價格戰，然而其背後真正之原因何在呢？實際上，若經由仔細觀察國內航空市場整體之結構與行為，本研究將提出如下之懷疑：過多航班可能才是造成國內航空公司於經營規模上，處於產出不具效率階段，進而迫使市場陷於破壞性競爭行為之結果。

然為了解超額容量對國內航空公司獲利水準所造成之影響為何？本研究首先將建立一理論模型，來說明超額容量與定價策略間之關係。之後，再進一步分析超額容量與市場價格策略行為其對航空公司獲利水準之衝擊。理論上，若航空公司赤字是來自超額容量，顯然的，以管制容量來取代管制定價，其將更能反映問題之真實原因。反之，適度的管制定價，則是維持國內航空業之市場秩序，並進而保障飛安之必要措施。

## 二、航空市場分析

雖然各國航空市場幾乎一直都是受管制之產業，然由於航空業固定資本之投入，於退出產業時極容易在市場上尋得買主(例如：飛機易於市場上出售或租出)，因此學理上航空業一直被懷疑可能是具有可競爭市場(contestable market)特性之產業(Butler

---

3. 事實上，以台北－高雄航線為例，業者已於該年十二月十六日經核定，票面價由原來之 1409 元調高至 1900 元以上之水準。然實際上經協調後，一般業者之實際票面價也只以約 1600 之水準暫時施行，以避免讓旅客感覺調幅過大。之後於次年(八十九年)三月二十二日，業者才正式完全實施新的票面價。

& Huston<sup>[1]</sup>，曾文慧<sup>[2]</sup>)。學理上，在一個可競爭市場中，無論是實質抑或是潛在之進入威脅，其便足以排除市場被壟斷之可能，所以若對其進行市場管制，則將有礙市場機能之運作。而此一學理觀點也就是自 1970 年代起，鼓吹解除航空市場管制之基本論點所在。

然實證上，Sinha<sup>[3]</sup>，Fawcett & Farris<sup>[4]</sup>卻發現航空業並不全然具有可競爭性，尤其當業者規模逐漸擴大之後。因此若對航空業解除管制，其將很有可能造成市場被少數業者壟斷之結果，所以適度對航空市場進行管制則有其必要性。實務上，在解除管制後之美國國內線航空市場，由於市場之併購行為以及軸輻式(hub-spoke)經營模式之盛行，市場已漸為少數大型航空公司(mega-carriers)所壟斷。不可否認的在此一市場發展趨勢下，其確也增加了業者在某些航點上之市場力(market power)。然在面對航空業者市場力逐漸增強之情況下，對航空費率施予上限價格管制之呼聲，也就更加高漲了(Borenstein<sup>[5]</sup>)。

雖然隨著管制之解除，而造成少數大型航空公司對各航點之市場力逐漸增加，但卻也因市場價格競爭激烈，而致使大部分業者遭受鉅額虧損。然在面對整個產業中，各業者幾乎都處於極度虧損之狀況下，因此也就出現鼓吹對航空價格再予管制(reregulation)之論點。而文獻上，Button<sup>[6]</sup>更以遊戲理論之空核(empty core)概念，來解釋航空市場之價格競爭具激烈性且不穩定性，甚且極易形成破壞性競爭行為(destructive competition)之結果。而 Tretheway & Waters II<sup>[7]</sup>則就美國國內航空市場解除管制後，因市場種種之表現所引發之各種再管制之論點，也提出相關之辨證與看法。

事實上，除市場管制課題外，美國自 1978 年解除對航空業之管制後，也引發一連串對飛安、服務品質與獲利力等主題之相關研究(Adrangi, et. al.<sup>[8]</sup>)。邏輯上，此類型研究之動機其大都建立在：解除管制後基於獲利考量，航空公司可能因相關限制之鬆綁、以及服務航線之增加，而晉用較不具經驗之飛行員，進而導致飛安與服務品質下降之疑慮上。相同的，我國自民國七十六年實行開放天空政策以來，解除對航空業之進入管制，至今已有十餘年了。而期間探討開放天空政策後之影響，除傳統屬運輸需求領域之研究外，其餘也大都集中在飛安、服務品質與獲利力之相關研究上(王小娥、李幼民<sup>[9]</sup>)。

而在解除管制對飛安影響之相關研究中，Foreman<sup>[10]</sup>利用 1929-1990 年間美國國內線飛行事故次數之資料，以 Box-Jenkins ARIMA 模型來檢視飛安事故於解除管制前後之趨勢。Rose<sup>[11]</sup>則利用 1955-1986 年間美國國內線飛行事故次數資料，以迴歸分析方式，來檢視飛安與管制之關係。Kanafani & Keeler<sup>[12]</sup>則以 1966-1989 年間，美國國內線每個月每百萬乘客哩數之死亡人數資料，利用非線性最小平方法來觀察飛安之趨勢。

而上述文獻皆發現：解除管制對航安並無顯著之影響。而國內同類型之研究中，王小娥、李幼民<sup>[9]</sup>，張新立<sup>[13]</sup>，康熙宗、藍武王<sup>[14]</sup>等，也都印證了：解除管制對飛安與服務品質之影響並不顯著。顯然的，上述國內外實證研究之結果，大致上皆已反駁了解除管制將造成飛安紀錄惡化之疑慮。

然近年來，隨著航空市場競爭的白熱化，以致迫使不少業者退出市場；或出現巨額虧損之結果。因此在解除管制之新市場環境下，其對航空公司獲利水準之衝擊，是否會進而影響飛安，也就更引起主管機關與研究者之高度興趣。文獻上，Adrangi et. al.<sup>[8]</sup>以美國航空協會資料庫 1938-1994 資料，利用計量經濟學中時間序列的方法來印證：解除管制對航安並無顯著影響，但同時卻增加了航空公司之財務風險。而 Rose<sup>[11]</sup>也印證：解除管制後之飛安與業者獲利間並無相關。然程建榮<sup>[15]</sup>卻發現：國內航空市場自開放天空政策後，只有部分公司之財務問題似對飛安有所影響。綜言之，上述文獻之發現也大都驗證了：航空公司之獲利與其飛安表現間，似乎並沒有存在顯著之直接因果關係。

雖然經由國內外實證研究之結果顯示，航空公司獲利能力之降低並沒有對飛安紀錄造成顯著之負面影響。然從實務運作之觀點而言，釐清造成業者虧損之主因，其將可提供未來國內航空產業政策制訂之參考依據。然實務上，國內線航空業者之虧損，是否真正肇因於：開放天空後，因新的競爭者加入，而造成市場出現破壞性價格競爭之結果？抑或另有其他原因呢？然經由實務之觀察與分析，本研究懷疑：業者基於兩岸通航之準備，而大量引進機隊以致造成整體市場出現超額容量之結果，才是引發國內航空市場出現一連串激烈價格戰之主因。

由於目前國內航空機票費率之訂定，其仍是沿襲傳統報酬率管制法則(rate of return regulation)。然就學理之意涵而言，Averch & Johnson<sup>[16]</sup>便已發現：被管制事業之費率訂定，其若採報酬率管制法，則將會有出現超額容量(over capacity)之可能(此即為所謂之 A-J effect)。因此就學理之觀點而言，此一費率訂定法將有可能助長國內航線之超額容量，更趨於惡化之結果。甚且，於市場競爭策略之學理中，超額容量已被視為現有市場經營者(incumbent)用來阻礙潛在新進業者(potential entrant)進入市場的手段之一；或是用來迫使同業進行(或穩固)勾結行為之籌碼。因此超額容量之存在，也可能是業者基於競爭策略考量之結果<sup>4</sup>。

實際上，經由觀察國內航空市場自解除管制後之實務運作情形，將可發現：市場

4. 學理上，亦有學者認為：超額容量可能也是造成同業勾結行為瓦解之主要因素。相關文獻可參考：Osborne & Pitchik<sup>[17,18]</sup>，Green & Porter<sup>[19]</sup>，Fudenberg & Tirole<sup>[20]</sup>，Spence<sup>[21]</sup>，Stigler<sup>[22]</sup>。

整體之票價競爭行為，確實是朝向激烈化發展。甚且，北高航線也曾出現過一元機票之情況。再者，國內各航線市場也因飛航家數過多，而曾出現不同航空公司間機票互搭方式，以致形成聯營之局面(本聯營方式已被公平會要求禁止)。因此有關超額容量之存在將有可能促成同業勾結之理論辨證，似可由上述國內機票聯營行為得到一些驗證。

本研究之目的乃在透過國內航空市場超額容量之分析，以了解國內航空公司之定價策略，進而釐清各航空公司連年虧損之主因。同時，本研究也期盼研究之結果，能提供未來制定相關航空管制政策之參考。而本研究之架構，首先將建構一理論模型，以作為探討超額容量及定價策略對廠商獲利影響之理論基礎。之後，本研究將再利用計量經濟學之迴歸分析方法，來檢驗國內航空市場之超額容量水準對業者定價策略之影響。

### 三、理論模型

本研究所建構模型旨在說明：當價格是由整體產業之市場供需來決定時，個別廠商在追求利潤最大化之定價策略中，於面對不同產能利用率情況下，所可能之反映為何？

假設在一個外生給定價格之產業環境中(可視為是由整體產業市場之競爭環境所決定)，某一廠商其利潤函數為：

$$\pi = PQ(P) - C(Q)$$

$P$  為價格變數； $Q$  為需要量； $C(Q)$  為成本函數。

然若欲了解個別廠商於面對不同價格條件下，價格調整對其利潤之衝擊時，於方法上，將可透過利潤函數對價格變數之一階導數來得知：

$$\frac{\partial \pi}{\partial P} = Q[1 + \varepsilon \cdot PCM] \quad (1)$$

$\varepsilon$  為價格彈性( $\varepsilon < 0$ )； $PCM = (P - c)/P$  為價格成本邊際(price cost margin)； $c$  為邊際成本。

然依據 Furguson<sup>[23]</sup>之文獻，平均成本與邊際成本比可定義為：函數係數(function coefficient, FC)。而此一關係可表示如下：

$$FC = AC / MC$$

$AC$ 、 $MC$  分別表平均成本與邊際成本。

事實上，從一般經濟學之學理可以了解， $MC$  線必交於  $AC$  線之最低點，因此在產出水準處於  $AC$  線為最低點( $Q^{MES}$ )時，其所對應之  $FC$  值將等於 1(參考圖 1)。再者，於產業經濟之學理中， $AC$  線之最低點可視為：在給定生產規模投入下，最有效率之產出水準。由於在此一產量下，平均成本正好達到最小化，故一般也可將此一產出水準定義為：最小規模效率產出(minimum efficient scale output)<sup>5</sup>。學理上，此一最小成本反映了生產容量之充分利用，所以可促使平均成本達到最小化。顯然的，當生產量小於  $Q^{MES}$  時，則表示實際生產量並未達到最有效率之產出水準( $Q^{MES}$ )，因此可視為有超額容量(over capacity)之情況發生。相對的，當生產量大於  $Q^{MES}$  時，則表示實際之生產量已超過最有效率之產出水準( $Q^{MES}$ )，因此可視為有容量不足(under capacity)之情況發生。

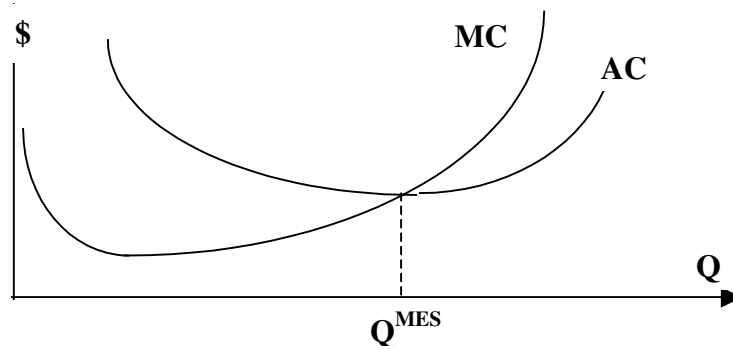


圖 1 邊際成本、平均成本及最小規模效率產出關係圖

然為了調查超額容量對定價行為所造成影響為何？方法上，可利用  $PCM$  對  $FC$  之一階導數來觀察兩者間之變動關係。而由前述  $PCM$  之定義可推得以下式(2)之關係：

$$PCM = \frac{P - c}{P} = 1 - \frac{c}{P} = 1 - \frac{1}{P} \cdot AC \cdot \frac{c}{AC} = 1 - \frac{1}{P} \cdot AC \cdot \frac{MC}{AC} = 1 - \frac{1}{P} \frac{AC}{FC} \quad (2)$$

5. 此一最小規模效率產出，並非是指對應於長期平均成本線下之所有短期平均成本線中，規模最小之對應產出量。事實上，在一般產業經濟之教科書中，此一產出量之所以被定義為最小規模效率產出(minimum efficient scale output)，蓋指在該產出量下，其所對應之平均成本最小。所以此處 minimum 一詞既非是指所對應之生產規模為最小；亦非是指該產量為最小。相對的，其是指所對應之平均成本為最小。參見：Stephen<sup>[24]</sup>, p. 22-23 之說明。

之後，再利用式(2)之結果，則可推得  $FC$  對  $PCM$  之導數如下<sup>6</sup>：

$$\frac{\partial PCM}{\partial FC} = -\frac{1}{P} \frac{\partial \left( \frac{AC}{FC} \right)}{\partial FC} = -\frac{1}{P} \left[ \frac{\frac{\partial AC}{\partial FC} FC - AC}{FC^2} \right] = -\frac{1}{P \cdot FC} \left[ \frac{\partial AC}{\partial FC} - \frac{AC}{FC} \right] \quad (3)$$

事實上，由圖 1 將可觀察得知：當產量減少且離  $Q^{MES}$  越遠時(即越往原點移動)，則不僅超額容量水準與  $FC$  值越大，同時  $AC$  線也將呈上升之趨勢<sup>7</sup>。因此， $FC$  與  $AC$  線間之關係，將可利用圖 2 來表示：

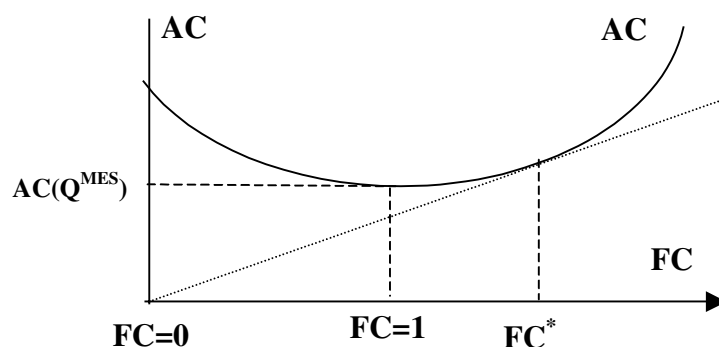


圖 2 函數係數與平均成本線關係圖

然由圖 2 可以得知：隨著超額容量之增加，除  $FC$  變大外(因為在產量小於  $Q^{MES}$  且大於某一臨界產量下， $AC$  線與  $MC$  線間之距離，將隨著產量減少而愈加擴大<sup>8</sup>)， $AC$  線也將同時隨之上升(事實上，圖 2 中隨著  $FC$  值之變大，其所對應之產量將減少)。因此令  $FC^*$  為一臨界  $FC$  值，則由圖 2 中  $FC$  與  $AC$  線之變化，可得知如下之關係式：

如果  $FC > FC^*$ ，則  $\frac{\partial AC}{\partial FC} > \frac{AC}{FC}$ 。反之，

6. 由於本研究之實證對象為國內航空市場中，各航線機票之整體價格水準。由於此一價格水準對於個別航空公司而言，是一外生給定之變數。所以在式(3)之求導數過程中，此一整體價格水準對個別航空公司  $FC$  之變動，實無須予以調整。
7. 雖然在邊際成本遞減之階段中，當產量小於某一臨界點之後， $FC$  可能隨超額容量之增加而下降。然由於此一階段之邊際成本為遞減，是屬生產不合理階段，故本研究並不加以考慮之。易言之，由於  $FC$  隨超額容量增加而下降之情況，會發生於生產不合理階段，故本研究將不予考慮。
8. 參見前一附註。



如果  $FC < FC^*$ ，則  $\frac{\partial AC}{\partial FC} < \frac{AC}{FC}$ 。

再者，利用上兩式所導之結果，則由式(3)將可推得下列二式之關係：

$$\text{如果 } FC > FC^*，\text{則 } \frac{\partial PCM}{\partial FC} < 0 \quad (4)$$

$$\text{如果 } FC < FC^*，\text{則 } \frac{\partial PCM}{\partial FC} > 0 \quad (5)$$

而依據式(4)、式(5)之意涵，且假設在二階條件滿足之情況下，則  $FC$  與  $PCM$  間之關係，將可以圖 3 來表示：

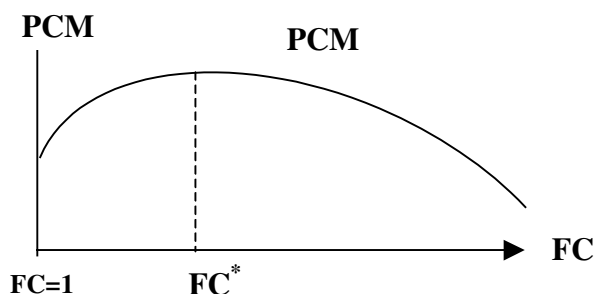


圖 3 函數係數與價格成本邊際關係圖

而由圖 3 中之關係，將可觀察得知：當  $FC = FC^*$  時，其將代表  $PCM$  為最大。最後，經由式(1)、式(4)、式(5)之結果，則可歸納如下結果(請參見附錄說明)：

當  $FC$  小於  $FC^*$  且鄰近  $FC^*$  之附近時， $\frac{\partial}{\partial P} < 0$ 。

當  $FC$  距離  $FC^*$  較遠且鄰近 1 之附近時， $\frac{\partial}{\partial P} > 0$ 。

顯然的，若依據上述之結果，本研究將可獲得下列之定理：

定理一：當超額容量較大時，廠商較可能以降價來創造利潤。

定理二：當超額容量較小時，廠商較可能以漲價來創造利潤。

而定理一、二之直覺意義，則可說明如下：

當超額容量極小時，廠商在有限之超額容量下，較不可能完全供應因降價求

售所增加之新需求量，故降價對其並不利。相對的，當超額容量處於較高水準時，此時超額容量所造成之成本壓力較大，而廠商為了消化此一超額容量，所以降價求售之策略對廠商將是有利的。

事實上，上述之論點也正符合了 Spence<sup>[21]</sup>所認為廠商之超額容量對定價行為所造成影響之觀點。而上述之結果更說明了：在有超額容量下，隨著超額容量之增加，廠商之定價行為將越趨向積極。換言之，當廠商之超額容量愈大時，其較傾向以降價來消化巨額之超額容量。反之，則廠商之價格策略將趨於採取較穩定之策略。

而本研究之實證工作，也將依據上述理論之結果，來針對國內航空市場之激烈價格競爭行為進行調查分析。實證上，本研究將以迴歸分析方法，來釐清本國國內線航空公司虧損之原因所在。其到底是前述超額容量所致呢？抑或是市場之價格競爭存在著破壞性所致呢？如果航空公司之虧損是由超額容量所致，則順應業者提高費率之要求，恐將造成犧牲消費者之利益，來彌補航空公司決策錯誤之損失(因盲目擴充機隊；或市場前景判斷錯誤)。若是如此，則對容量施予管制(諸如：減班或減航線)便有其必要性。相對的，虧損若是由於惡性競價行為所致，則訂定一價格限制(若此，則針對價格下限之管制將比上限價格管制更顯重要)，以維持市場之穩定，顯然的是有其合理性。

## 四、實證研究

### 4.1 實證模型

本實證工作擬藉由前一節理論模型中，所推得之定理一及定理二結果來釐清：超額容量對國內航空公司之定價策略與獲利水準的影響為何？假設某一航空公司  $i$  之利潤函數可定義為價格水準及容量之函數：

$$\pi_i = f(P_i, C_i)$$

$\pi_i$  為航空公司  $i$  之利潤； $P_i$  為航空公司  $i$  之價格水準； $C_i$  為航空公司  $i$  之超額容量水準。

再者，由前節之理論得知：在不同超額容量水準下，其將會造成廠商採取不同之定價策略。因此本研究將以一反映廠商超額容量之虛擬變數(dummy variable)，來驗證超額容量對國內航空公司定價與獲利之影響為何？所以，當納入超額容量虛擬變數之後，上式之迴歸式將可表示如下：

$$\pi_{it} = a_0 + \sum_{k=1}^{I-1} b_k D_{ik} + a_1 P_{it} + \sum_{k=1}^{2I-2} b_k D_{t, k-I+1} P_{it} + e_{it} \quad (6)$$

$D_{ik}$  為航空公司  $i$  之第  $k$  個超額容量虛擬變數於第  $t$  期之值； $I$  為超額容量之分類等級數。

本研究將對廠商之超額容量水準劃分為：高、中、小三級(所以上式中之  $I=3$ )。而各級超額容量虛擬變數值之界定，則將依據廠商各期超額容量水準來決定之。當某一期之超額容量水準，大於整體樣本超額容量之第三個四分位(third quartile)時，則定義該期之超額容量為高水準。相對的，當某一期之超額容量水準，小於整體樣本超額容量之第一個四分位(first quartile)時，則定義該期之超額容量為低水準。而其餘各期之超額容量，則將視為是中等水準。

依據上述對超額容量虛擬變數之界定，則式(6)之迴歸方程式可改寫為下式：

$$\pi_{it} = a_0 + b_1 D_{t1} + b_2 D_{t2} + a_1 P_{it} + b_3 D_{t1} P_{it} + b_4 D_{t2} P_{it} + e_{it} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} D_{t1} &= 1 && \text{當 } C_t > C^{(3)} \\ &= 0 && \text{其他} \\ D_{t2} &= 1 && \text{當 } C_t < C^{(1)} \\ &= 0 && \text{其他} \end{aligned}$$

$C^{(n)}$  為整體樣本期數之超額容量的第  $n$  個四分位；

$C_t$  為航空公司於第  $t$  期之超額容量水準。

由於在本研究之研究期間中，國內線航空機票之票面價，已於民國八十八年十二月經審議核定後，予以全面性之調整，因此本研究也將此重大經營變數，納入迴歸式設定之考量中，而以設定一時間虛擬變數( $T$ )，來詮釋此一經營變數對航空公司經營績效之影響。所以式(7)可再改寫為：

$$\pi_{it} = a_0 + b_1 D_{t1} + b_2 D_{t2} + a_1 P_{it} + b_3 D_{t1} P_{it} + b_4 D_{t2} P_{it} + b_5 T_t + e_{it} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} T_t &= 1 && \text{當 } t > t^* \\ &= 0 && \text{其他} \end{aligned}$$

$t$  為期數； $t^*$  為八十八年十二月之期數。

方法上，本研究將依據式(8)迴歸式之係數估計，來加以研判相關之行為意涵。然由前一節所導得之定理可得知：當超額容量水準遠離飽和水準時(也就是超額容量處於高水準)，利用降價以降低超額容量水準，對廠商而言是有利的。相對的，當超額容量

水準鄰近飽和水準( $Q=Q^{MES}$ )時(也就是超額容量處於低水準),則利用降價以降低超額容量水準,對廠商而言是不利的。因此綜合上述之理論觀點可以得知:式(8)迴歸式中  $P_{it}$  及  $D_{it}P_{it}$  兩項之係數和( $a_1+b_3$ )將為負;而  $P_{it}$  及  $D_{it}P_{it}$  兩項之係數和( $a_1+b_4$ )則將為正。所以本研究之實證工作,將可利用假設檢定(hypothesis testing)之方法,來檢視以下之兩個虛無假設(null hypothesis)是否成立。若依前述理論之論點,則本實證研究之虛無假設可設定如下:

$$\text{虛無假設一: } H_0:(a_1+b_3)\leq 0, \quad H_1:(a_1+b_3)> 0$$

$$\text{虛無假設二: } H_0:(a_1+b_4)\geq 0, \quad H_1:(a_1+b_4)< 0$$

事實上,經由上述假設檢定之結果將可用來判定:

1. 如果虛無假設一成立,則意味著航空公司在超額容量為高水準之情況下,航空公司確實將如前述定理所推論一樣,將採利用價格競爭來消化超額容量策略。而在此一情況下,赤字之發生應是超額容量所引起。顯然的,容量管制將較為合理。
2. 如果虛無假設二成立,則表示在超額容量為低水準時,利用價格競爭來消化超額容量,其對航空公司並不利。因此,赤字之發生應不是超額容量所引起。相對的,其可能是肇因於惡性價格競爭結果,所以價格管制是有必要。

## 4.2 變數說明

以下將針對本實證研究中之相關變數,一一進行說明。

### 1. 超額容量

學理上,一個廠商之生產容量乃是反映其資本設備投入之規模。而此一資本設備投入於生產過程中之使用程度,則可由其生產效率來展現出來。然在經濟學之學理上,前述最小規模效率產出(MES output),便是此一最佳生產效率之展現。易言之,在此一生產水準下,生產容量將被充分利用,以致達到單位成本最小化。

然由於目前國內航空產業對超額容量之計算,並無一客觀衡量之標準,但若以各航次之觀點來看,超額容量之計算似應以各航次之載客率來替代。然若從市場競爭之觀點而言,由於各航次載客率之高低,實際上受價格以及服務品質之影響甚鉅。因此若以載客率之高低,來斷定一航空公司之超額容量高低,則此一超額容量水準之大小,所受市場價格競爭行為之影響,將更甚於真正資本設備投入所造成之影響。所以在解讀超額容量之水準時,若以載客率之高低來斷定其高低,則顯然的將容易受市場行為影響而造成扭曲。

基於上述因素之考量，本研究將以各期之總飛行架次，來計算航空公司於各期之超額容量水準。由於一般航空公司每月之飛行總架次，大都於事前便已向民航局申報，因此其受即時(短期)市場競爭因素所影響之情況，就較載客率不顯著。所以本研究以航空公司各期之總飛行架次(而非以載客率)，來衡量其於各期之超額容量水準應屬合理。

## 2. 獲利水準

本研究中有關航空公司獲利水準之財務資料，將以研究對象航空公司之稅前營業利潤為依據，以彰顯航空本業經營之實際狀況，並避免業外收益(損失)及稅賦等因素之干擾。然由於稅前營業利潤之月資料不易取得，故本研究將以航空公司半年財務報表之稅前營業利潤為基礎，並以各月營業收益來計算出各月之權數，以進而導得各月之稅前營業利潤。

## 3. 價格水準

在民國七十八年以前，交通部採用嚴格的單一費率管制，業者無法調整票價。但在民國七十八年通過「民用航空運輸業國內客運航線彈性費率實施要點」後，航空公司方得以採彈性調整票價。雖然民航局對各航線所定票面價格資料，可由其定期發行之統計月報得知。但是票面價格在航空相關研究上，往往是不能反映出市場的真實狀況。實務上，在國內航空費率乃是屬於管制費率之情況下，政府對國內各航線之機票皆定有一票面價格，然後只允許業者於一下限價格內(實務上，是以票面價為上限價格)，逕行依市場變化，調整其實際售價，用以活絡市場競爭機能。因此也就造成了各航線各期之實際機票售價與核定票面價，有顯著差距之結果。顯然的，若以票面價來建立本研究中之機票價格水準，其確將有不妥之處。

再者，汪進財、劉得昌<sup>[25]</sup>對民國八十七年四月之國內旅客購票行為分析也發現：平均大約只有 24% 旅客直接於機場櫃檯現場購買機票，而透過旅行社購得機票之比率則高於四成以上<sup>9</sup>。由於機票之發售並不只限定於機場之櫃檯銷售；相對的，其大多是經由旅行社以切票之方式進行(此一現象在民國八十九年前極為普遍)。然而航空公司對旅行社之機票售價，則往往基於交易方式與切票數量多寡，而給予旅行社不同折扣。因此，若要取得航空公司之實際價格資料，則也唯有將上述不同銷售管道所售機

---

9. 除經由現場或透過旅行社購買機票外，該研究之表 5 顯示：仍有近 2 成 5 之旅客，是採預約購票。而預約購票中，有部分是向航空公司預約購得，而另一部份則是向旅行社預約購得。所以航空公司所售之機票中，將有超過 5 成以上之機票，是採以切票之方式經由旅行社售出，而經旅行社通路售出機票之售價，顯然的將比機場櫃檯之售價更便宜，因而其實際售價將更遠離票面價。

票予以加權平均，如此才能獲得較為客觀之機票價格資料。

然而由於上述之銷售資料，皆屬個別公司之商業機密，因此除非以私人管道獲得，否則一般研究者幾乎很難取得該資料。所以本研究將採取利用航空公司各期之實際營業收入資料，以及以票面價計算之票面價收入(即將各航線之實際載客數乘以各航線之票面價)，來導得各期之價差係數。之後，再以各期之價差係數乘以各航線之票面價，來推估各航線之實際機票售價。最後，再利用所估得各航線之各期價格；以及各航線之實際載客數，來建立該航空公司整體之各期價格指數，以作為該航空公司於各期之整體價格水準。

#### 4.3 資料說明

本研究將針對遠東航空公司八十七年第一季至八十九年第二季止之各月份資料(共 30 期)，來進行研究分析。同時由於在上述之研究期間，遠東航空公司經營之航線時有變動，因此本研究將只採用研究期間 10 條主要且皆連續經營之航線，進行相關資料之引用與分析。而此 10 條航線計有：台北－高雄線、台北－台南線、台北－花蓮線、台北－嘉義線、台北－台東線、台北－金門線、台北－馬公線、高雄－馬公線、高雄－花蓮線、高雄－金門線。

本研究中有關各航線票面價、各航線總飛行班次等資料，都採以交通部民航局編印之「民航統計月報資料」為研究資料來源。另外遠東航空公司之單月營收資料，以及各半年之營業利潤資料，則是經由「台灣經濟新報光碟資料庫」取得。

#### 4.4 實證結果分析

本實證研究首先將針對式 8 之迴歸式以最小平方方法(OLS: ordinary least square)來進行各項係數之估計。而其各項係數估計值以及其對應之  $t$  檢定統計值( $t$ -ratio statistics)，則分別呈現於表 1 之第二欄及第三欄中。由於上述 OLS 估計法中之 Dubin-Watson 值(D-W 值等於 0.615)顯著的否定：該迴歸估計式之殘差項不具有自我相關之虛無假設(即  $H_0: \rho = 0$ )，因此本研究另以一考慮自我相關(autocorrelation)之估計方法來估計各個係數。而各係數之估計值以及其所對應之  $t$  檢定統計值，則分別呈現於表 1 之第四欄及第五欄中。

同時，由表 1 之調整  $R^2$ (Adjusted  $R^2$ )值(OLS 的  $R^2=0.495$ ；AUTO 的  $R^2=0.892$ )可以發現：以有考慮自我相關之估計方法所估得之係數，將較以 OLS 估計法所估得之係數，對因變數(獲利變數)更具解釋力。因此經由採考慮自我相關估計法，來估計各解釋變數之係數，並配合前一節理論模型所導得之定理，本研究將可獲得如下之實證證

據：

1. 截距項之係數  $a_0$  為負(-64459)且為顯著不等於零(在 10%顯著水準下);以及無論超額容量處於何種水準,整個迴歸估計式之截距項( $a_0 + b_1$  或  $a_0 + b_2$  值)皆為負的結果,都正確反映了遠東航空公司於研究期間之虧損情況。
2. 價格變數之係數  $a_1$  為正(42313)但並不能拒絕等於零之虛無假設( $t\text{-ratio}=1.364$ )檢定結果意味著:若在不考慮超額容量水準所造成價格策略之變動,進而影響其獲利之條件下,國內航空機票之價格彈性將小於一。因此在不考慮超額容量所造成之成本壓力下,價格上漲將對航空公司之收益有正面,但不顯著之影響。甚且,此一係數估計結果也意涵著:國內航空市場可能存在著策略互補(strategic complements)之競爭型態。
3. 價格水準乘高超額容量虛擬變數之係數  $b_3$  為負(-46129)且顯著不等於零(在 5%顯著水準下)之結果表示:當超額容量處於高水準下,若採提高價格之策略,則將對航空公司更不利,故其應以降價來消耗多餘之容量為要務。另言之,在高超額容量水準下,降價對航空公司之收益有顯著之正面意義。再者,由  $a_1 + b_3$  之係數和為負(42313 - 46129)且顯著小於零(F Statistics P-Value=0.91)之檢定結果充分印證定理一所言:在超額容量處於高水準下,因超額容量所造成之成本壓力,將迫使航空公司採取更積極之定價策略,以消化多餘之容量為要務之觀點。綜言之,上述結果顯示了:於研究期間,航空公司間之激烈價格競爭行為,應是肇因於業者為消化過剩之超額容量所致。
4. 價格水準乘低超額容量虛擬變數之係數  $b_4$  為負(-5593),但並不能拒絕等於零之假設檢定。此一結果顯示:當超額容量處於低水準下,若採降價以消耗多餘之容量,則將對航空公司有利,但效益並不顯著。再者,由  $a_1 + b_4$  之係數和為正(42313 - 5593),但並不能支持顯著大於或等於零(F Statistics P-Value=0.246)之假設檢定結果顯示:本研究中定理二之主張,雖仍受此一檢定結果所印證,但並不顯著。

事實上,此一結果似也意味著:當市場景氣極度熱絡,而航空公司之超額容量處於低水準下,提高價格對航空公司雖是有利(可由前述第二項  $a_1 > 0$  之結果得知),然由於可能遭受其他競爭者蠶食其客載之情況下,故縱使在無超額容量下,航空公司提高機票價格之效益仍是有限(所以  $a_1 + b_4 > 0$  之假設檢定並沒有受到顯著之支持)。易言之,當市場景氣極度熱絡時,國內航空市場之價格競爭,雖可能存在著策

略互補之競爭型態，但卻不顯著。

而綜合上述第三項及第四項之實證結果，本研究也發現：超額容量之壓力將有可能促使國內航空市場之價格競爭，朝向策略替代(strategic substitutes)之競爭型態發展。

5. 時間虛擬變數之係數  $b_5$  為正(17848)且為顯著不等於零(在 5%顯著水準下)。而此一結果似也強烈暗示：主管機關提高機票之票面價，對國內航空公司之獲利水準，確實有相當顯著之貢獻。

表 1 不同估計法估計之係數及對應之 t 檢定值

	一般最小平方估計法 (OLS)估計之係數	t 檢定值	考慮自我相關 (autocorrelation)估計之係數	t 檢定值
$a_0$	-94217	-1.97*	-64495	-1.834*
$a_1$	77315	1.737*	42313	1.364
$b_1$	-42706	-0.563	51733	2.297**
$b_2$	26557	0.5854	7177	0.398
$b_3$	37293	0.521	-46129	-2.181**
$b_4$	-25899	-0.642	-5593	-0.346
$b_5$	5025.6	0.382	17848	2.397**
調整 $R^2$	0.495		0.892	
D-W 值	0.615			

$a_0$ ：截距項；

$a_1$ ：價格水準；

$b_1$ ：高超額容量虛擬變數；

$b_2$ ：低超額容量虛擬變數；

$b_3$ ：價格水準 x 高超額容量虛擬變數；

$b_4$ ：價格水準 x 低超額容量虛擬變數；

$b_5$ ：時間虛擬變數；

\*：10%顯著水準下顯著；

\*\*：5%顯著水準下顯著。

## 五、政策意涵與建議

由於運輸服務之提供常具有獨占性，同時為兼顧運輸需求之公共性，政府往往對費率設有上限價格之管制。相對的，政府基於誘發運輸業者提供優良服務品質之考量下，設定價格下限則又有其必要性。因此實務上對運輸費率之管制，確是有其合理性。



然在經由上述之實證研究結果，大致上已釐清國內航空業者之虧損，較可能是肇因於過多超額容量所致。之後，緊接著更重要的課題將是進一步探討：如何在兼顧實務與學理之基礎上，尋求一更具效率與公平之管制手段。事實上，在以往國內航空業之費率管制上，管制者所認知之公平管制手段，大都是採以累計成本之概念行之。因此管制者對票面價之核定，皆是依據航空公司所提供之成本資料來核定。

學理上，基於成本面思考之傳統管制方法有：合理報酬率法(reasonable rate of return method)與成本附加法(cost-plus method)。然實務上，由於管制者與業者在成本面與需要面之訊息上、以及對合理報酬率之認定上，並不全然皆為一致。因此受管制事業常會出現過度投資之資本不效率問題，而此一現象也就是學理上所稱之 A-J 效果。同時，上述之管制方法也經常遭受：對提升經營者之效率，並不具有誘發性(incentive)之批評。

事實上，從近十餘年來國內航空市場發展可以發現：業者基於兩岸通航預期，以致大量添購新機之舉動，可能才是造成國內航空市場，充斥著超額容量之主因。因此若只是將業者之虧損，歸因於市場新進者之加入，而導致市場惡性競爭之結果，但卻忽略了市場上存在著超額容量之事實，則任何的管制手段終將是事倍功半。顯然的，若不能同時消化市場之超額容量，而一味以提高票價來補貼業者損失，如此對消費者權益而言，其將是不公平的。再者，由於國內航空管制費率之訂定方法，其仍是沿用傳統以反映業者成本觀點來核定票面價。所以若從學理意涵來研判：就長期而言，國內航空市場終將如理論所預期，在 A-J 效果之效應下，超額容量之存在將會是一必然且常態之結果。

然若欲減少國內航空市場超額容量之情況，理論上，其於國內機票費率審議時，應納入其他非成本面因素而加以考量，以避免因只侷限於成本面之思考，而間接造成超額容量之結果(即為出現 A-J 效果)；另外，主管機關也可透過減班之手段，協調業者將多餘飛機於市場上租售出去，以降低國內航線整體之供給，並進而疏解市場整體超額容量之壓力。然此兩種手段是否可行，實務上，其仍存在有一些障礙須予以克服。

首先，若從改變管制費率訂定方法之角度思考而言，一個具有效率誘發性之價格調整上限制(price cap)已被提出，並已被應用於存在有競爭機能之英、美電信事業之管制工作上，而且成效良好(Nei & Bernard<sup>[26]</sup>, Braeutigam & Panzar<sup>[27]</sup>, Charles & Phillips<sup>[28]</sup>, Barnich<sup>[29]</sup>)。理論上，價格調整上限制切斷了管制價格與成本及報酬率之直接關聯性，取而代之是設定一個涵蓋考量：通貨膨脹率、生產力成長率以及外生成本變動等因素之價格上限。而在此一價格上限下，被管制者可藉效率之提升來降低價格，以增加競

爭力，如此消費者也可間接受益於效率之提升<sup>10</sup>。然以目前國內之管制條件而言，未來若要將此一管制方法付諸實現，首先須克服的困難便是相關航線實際價格資料庫之建立。一旦實際售價之資料庫建立，如此才能建構一個能夠反映國內各航線機票真實價格水準之航空票價指數。另外，相關航空業者之生產函數調查、相關會計科目及報表之統一等工作，也都是實施價格調整上限制之必要條件。然上述相關資料之蒐集，以目前國內之環境而言，似乎都是極大之挑戰。

相對的，若從降低國內航線整體供給之手段而言：聯合減班之行為其雖因業者經歷多年價格激戰，而苦嚐虧損惡果後，較能博得業者之共識，但同時其也需面對來自公平交易法之違法指控(事實上，民國八十九年間國內四家航空業者之聯合減班行為，已被公平交易委員會裁定違法)。雖然整體市場參與者之共同減班行為，已被認定為構成傷害市場競爭環境之行為。然若從立法之精神來探究，何以具競爭機能之市場環境須被保護呢？事實上，其乃是基於經濟學學理之意涵：一個具有活絡價格競爭機能之市場，將會為社會創造出最大之社會效益。然上述之聯合減班行為，表面上似乎已對整體國內航空市場之競爭環境造成改變，然消費者實質的權益是否受損，實應是以價格機能是否因而受到破壞為依歸。實務上，聯合減班行為確實已對整體國內航空市場之結構產生衝擊，但此一對市場結構之衝擊，其是否必然也將會產生市場價格競爭機能之降低，則仍是有待進一步觀察與驗證。相對的，就現階段之市場條件而言，聯合減班行為是最直接且有效方法，來解決國內航空市場超額容量之問題，卻是一不爭之事實。易言之，相關單位所應注意的應是於聯合減班行為後，是否有出現反競爭之行為(anti-competitive behavior)(尤其是屬價格上之合意行為)，才是較合乎經濟學學理之意涵。

## 參考文獻

1. Butler, R. V. and Huston, J. H., "How Contestable Are Airline Markets?", *Atlantic Economics Journal*, Vol. 17, Iss. 2, 1989, pp. 27-35.
2. 曾文慧，「放寬管制對我國民航業之影響與國內航空市場可競爭性之驗證」，交通

10.事實上，Tretheway & Water II<sup>[5]</sup>在探討以價格調整上限制，來管制航空業費率之可行性論文中已明確指出，由於現行之航空產業其屬性較屬於寡占市場，因此若以一般較適用於規範獨占市場之價格調整上限制，來管制航空業費率其並不可行。但其似乎也意涵著未來離島航空之價格管制作業上，若基於市場規模考量而只允以一家航空公司獨占經營之情況下，則以價格調整上限制來管制航空業費率，將可能是一合理且可行之費率管制方法。

- 大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十六年。
3. Sinha, D., "The Theory of Contestable Markets and U.S. Airline Deregulation: A Survey", *Logistics & Transportation Review*, Vol. 22, Iss. 4, 1986, pp. 405-419.
  4. Fawcett, S. E. and Farris, M. T., "Contestable Markets and Airline Adaptability under Deregulation", *Transportation Journal*, Vol. 29, Iss. 1, 1989, pp. 12-24.
  5. Borenstein, S., "Hubs and High Fares: Dominance and Market Power in the U.S. Airline Industry", *Rand Journal of Economics*, Vol. 20, 1989, pp. 344-368.
  6. Button, K., "Liberalizing European Aviation: Is There an Empty Core Problem?", *Journal of Transportation Economics and Policy*, Vol. 30, 1996, pp. 275-291.
  7. Tretheway, M. W. and Water II, W. G., "Regulation of the Airline Industry: Could Price Cap Regulation Play a Role?", *Journal of Air Management*, Vol. 4, 1998, pp. 47-53.
  8. Adrangi, B., Chow, G., and Raffiee, K., "Airline Deregulation, Safety, and Profitability in the U.S.", *Transportation Journal*, Vol. 36, Iss. 4, 1997, pp. 44-52.
  9. 王小娥、李幼民，「解除管制對國內航空產業服務水準之影響」，中華民國運輸學會第十三屆學術論文研討會論文集，第一冊，民國八十七年，頁 1-9。
  10. Foreman, S. E., "An Application of Box-Jenkins ARIMA Techniques to Airline Safety Data", *The Logistics and Transportation Review*, Vol. 29, No. 3, 1993, pp. 221-240.
  11. Rose, N. L., "Profitability and Product Quality: Economic Determinants of Airline Safety Performance", *Journal of Political Economy*, Vol. 98, No. 5, 1990, pp. 944-964.
  12. Kanafani, A. and Keeler, T. E., "Air Regulation and Safety: Some Econometric Evidence from Time Series", *The Logistics and Transportation Review*, Vol. 26, 1990, pp. 203-210.
  13. 張新立，「開放天空對我國航空運輸安全影響之研究」，國科會專題計畫研究成果報告，民國八十二年。
  14. 康熙宗、藍武王，「開放天空對國內航空運輸安全影響之實證研究」，中華民國第三屆運輸安全研討會論文集，民國八十五年，頁 281-286。
  15. 程建榮，「開放天空後航空業管理結構、營運績效及飛航安全之研究」，成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十五年。
  16. Averch, H. and Johnson, L., "Behavior of the Firm under Regulatory Constraint", *American Economics Review*, Vol. 52, 1962, pp. 1052-1069.
  17. Osborne, M. J. and Pitchik, C., "Price Competition in a Capacity-constrained Duopoly", *Journal of Economic Theory*, Vol. 38, 1986, pp. 238-60.
  18. Osborne, M. J. and Pitchik, C., "Cartels, Profits and Excess Capacity", *International*

- Economic Review*, Vol. 28, No. 2, 1987, pp. 413-28.
19. Green, E. J. and Porter R. H., "Noncooperative Collusion under Imperfect Information", *Econometrica*, Vol. 52, 1984, pp. 87-100.
20. Fudenberg, D. and Tirole, J., "Capital As a Commitment: Strategic Investment to Deter Mobility", *Journal of Economy Theory*, Vol. 31, 1983, pp. 227-250.
21. Spence, A. M., "Entry, Capacity, Investment, and Oligopolistic Pricing", *Bell Journal of Economics*, Vol. 8, 1977, pp. 534-544.
22. Stigler, G. J., "A Theory of Oligopoly", *Journal of Political Economy*, Vol. 72, 1964, pp. 44-61.
23. Ferguson, C., *The Neoclassical Theory of Production and Distribution*, Cambridge Univ. Press, 1969.
24. Stephen, M., *Industrial Economics: Economics Analysis and Public Policy*, Macmillan, 1988.
25. 汪進財、劉得昌，「台灣地區航空市場特性與發展分析」，運輸計劃季刊，第二十八卷第三期，民國八十八年，頁 451-484。
26. Nei, J. A. and Bernard K. E., "Price Cap and Rate of Return: The British Experience", *Public Utilities Frotnightly*, Vol. 132, Iss. 17, Sept. 15, 1994, pp. 34-36.
27. Braeutigam, R. R. and Panzar, J. C., "Effects of the Change from Rate-of-return to Price-cap Regulation", *American Economics Review*, May 1993, pp. 191-198.
28. Charles, F. and Phillips J., *The Regulation of Public Utility*, *Public Utility Reports*, INC., 1993, pp. 527-529.
29. Barnich, T. L., "The Challenge for Incentive Regulation", *Public Utilities Frotnightly*, June 15, 1992, pp. 15-17.

## 附 錄

實際上，本附錄旨在探討廠商於不同超額容量水準之下，不同定價策略對其獲利之衝擊。換言之，也就是在了解於不同  $FC$  下， $\frac{\partial \pi}{\partial P}$  到底是正或是負。

由本文之式(1)可以得知：

$$\frac{\partial \pi}{\partial P} = Q[1 + \varepsilon \cdot PCM] \quad (A1)$$

而且由經濟學學理可以得知：當商品之價格小於平均變動成本時，廠商將退出市場。因此，在邊際成本等於平均變動成本之假設下，其也將意味著在以下之說明中， $PCM$  必恆為正。實際上，由於  $PCM$  與  $\varepsilon$  兩項之大小，將隨著不同之生產量與所對應之需求曲線而改變，因此以下將針對不同之情況，分別探討之。

**情況一：當期生產量所對應之  $FC$  處於附圖一之  $1 < FC < J$  階段，且  $1 + \varepsilon \cdot PCM$  項為負**

由式(A1)可以得知，此一情況其意味著： $\frac{\partial \pi}{\partial P} < 0$ 。而在此一情況下，假若外生之市場價格上揚，而迫使需求量減少，進而促使超額容量增加( $FC$  增加)，則其將對廠商不利。因此廠商將儘量營造市場之競爭環境，朝向降價之方向進行，以圖利用降價來促銷並降低超額容量，最後並達到容量之充分運用。然經觀察發現：國內航空市場自開放天空政策後，整體市場隨時存在有超額容量之狀態。故此一朝向容量充分運用之情況，在本研究之實證工作上，將被排除於探討之範圍內。

**情況二：當期生產量所對應之  $FC$  處於附圖一之  $1 < FC < J$  階段，且  $1 + \varepsilon \cdot PCM$  項為正**

由式(A1)可以得知，此一情況其意味著： $\frac{\partial \pi}{\partial P} > 0$ 。雖然外生之市場價格上揚，將使需求量因而減少。然由於在此一情況下其意味著：價格上漲對廠商之所得效果將大於需求量減少之替代效果，所以其整體之價格效果仍為正。而廠商縱使知道價格上升會使其超額容量繼續增加( $FC$  增加)，然其仍會容忍此一超額容量之持續增加。所以在此一情況下，該廠商將盡力營造價格上升之環境，以利其整體獲利之創造。

**情況三：當期生產量所對應之  $FC$  處於附圖 1 之  $J < FC < FC^*$  之階段，且  $1 + \varepsilon \cdot PCM$  項為正**

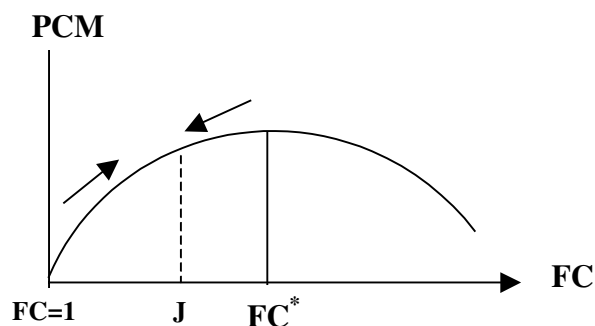
由式(A1)可以得知，此一情況其意味著： $\frac{\partial \pi}{\partial P} > 0$ 。然在此一情況下，外生之市場價格上揚對廠商利潤之影響，將如同前一情況一樣，廠商整體之價格效果仍為正。因此縱使此時廠商之超額容量已大，然其仍會容忍此一超額容量之繼續增加。事實上，此一超額容量與價格上升呈同步上升之發散趨勢，於實務上有其不合理之處，故本研究之實證研究，將排除此一情況發生之可能。

情況四：當期生產量所對應之  $FC$  處於附圖 1 之  $J < FC < FC^*$  之階段，且  $1 + \varepsilon \cdot PCM$  項為負

由式(A1)可以得知，此一情況其意味著： $\frac{\partial \pi}{\partial P} < 0$ 。然在此一情況下，由於廠商此時之超額容量已大，因此其當儘量營造市場價格下跌之環境，以有助於消化過剩之容量。相對的，若是外生之市場價格水準上揚，則此時對其龐大之超額容量，將有如雪上加霜一樣，對廠商之獲利極為不利。

經由上述各種情況之說明，廠商於面對不同水準之超額容量時，其所可能之價格策略將可歸納為：

1. 當超額容量處於較小之階段( $1 < FC < J$ )時，一般以  $\frac{\partial \pi}{\partial P} > 0$  之情況較有可能。如此，則廠商將採取營造市場價格上升之環境，以持續過剩之容量來換取較高之價格，進而攫取更大之利潤。
2. 當超額容量處於較大之階段( $J < FC < FC^*$ )時，一般以  $\frac{\partial \pi}{\partial P} < 0$  之情況較有可能。如此，則廠商將採取營造市場價格下跌之環境，以利消化其過多之超額容量，進而創造更大之利潤。



附圖 1 價格策略與超額容量變動關係圖

# 由法律觀點論電子載貨證券作業方式 及可行性

## LEGAL ASPECTS OF THE OPERATION AND THE FEASIBILITY OF ELECTRONIC BILLS OF LADING

張志清 Chih-Ching Chang<sup>1</sup>

(90 年 6 月 1 日收稿，90 年 8 月 7 日第一次修改，91 年 3 月 6 日定稿)

### 摘 要

在電子商務盛行的時代，電子載貨證券之使用可提供低成本、快速、高效率及避免詐欺之效益。然電子載貨證券必須能保障交易之安全，並提供傳統書面載貨證券之三項功能：收據、契約證明及物權證書，才能成為國際貿易信用交易之工具。準此，本論文以我國電子簽章法、海商法、聯合國海事委員會電子載貨證券規則及國際貿易法委員會電子簽章統一規則草案等相關法律、規則為基礎，研擬電子載貨證券之作業實務。本論文並探討電子簽章、加密及解密技術、憑證機構之運作等在電子載貨證券作業之應用，並以法律觀點分析其可行性。

關鍵詞：電子載貨證券；電子商務；電子簽章法；海商法

### ABSTRACT

*In the age of E-commerce, the use of electronic bills of lading can provide varieties of advantages, including lower operation cost, prompt delivery of documents, efficiency in operation, and the prevention of documentary fraud. However, electronic bills of lading must provide a safe transaction environment and three functions of paper bills of lading, namely receipt of goods, evidence of contract and document of title, in order to*

---

1. 國立台灣海洋大學航運管理學系副教授(聯絡地址為 202 基隆市北寧路 2 號海洋大學航運管理系；E-mail:cchang@mail.ntou.edu.tw)。

*replace paper bills of lading. This article explores how electronic bills of lading operate based on provisions of the ROC Maritime Law, the Electronic Signature Law, and relevant UN rules. It also examines the application of electronic signature, encryption and decryption, and certification authority, etc., in order to look into the legal feasibility of electronic bills of lading.*

**Key Words:** *Electronic bill of lading; E-commerce; Electronic Signature Law; Maritime Law*

## 一、前言

### 1.1 電子載貨證券之效益

載貨證券(bill of lading)在民法稱「提單」，經數百年來的發展，已成為國際貿易信用交易不可或缺之工具。在現行法律及實務下，傳統之書面載貨證券具：(1)物權證書之功能，可經由背書轉讓或直接交付，移轉載貨證券上記載貨物之所有權<sup>2</sup>，(2)收據之功能，證明收受貨物之種類、數量、情狀<sup>3</sup>，以及(3)契約證明之功能，載貨證券之發給人，對於依載貨證券所記載應為之行為(包括裝卸港等運送條件)，均應負責<sup>4</sup>。

在實務上，載貨證券需相當之人力及時間來製作、遞送，而在目前電子商務盛行之年代，以電子資料傳輸之方式得以有效率地製作及遞送電子載貨證券(electronic bills of lading)，而具如下之效益：

1. 成本低。除初期之建制成本外，只要達到經濟規模，可免除傳統書面載貨證券以人工傳遞訂艙單(shipping order，以下簡稱 S/O)、載貨證券、小提單(delivery order)及押匯文件(如商業發票、保險單)等。此外，透過電子載貨證券內容之傳輸可節省紙張之消耗、減少書面檔案之數量，而降低檔案及文件管理成本，蓋載貨證券相關資料為航運公司長久保存之重要檔案。
2. 傳遞迅速。可避免船到、貨到而載貨證券未到，必須安排擔保提貨，或以電報放貨，或發生額外倉租之困擾<sup>5</sup>。並可取代近洋航線使用之海運貨運單(sea waybill)<sup>6</sup>。

2. 民法第六二九條。

3. 海商法第五十四條及第五十五條，或 1968 年海牙威士比規則第三條第四項、第五項。

4. 海商法第七十四條第一項及民法第六二七條，海牙威士比規則第一條(b)款。

5. 鍾政棋，「運送人未收回載貨證券交付貨物之責任」，運輸計劃季刊，第二十九卷第三期，頁 557；曾國雄、張志清，海商法，頁 164；Gronfors, Cargo Key Receipt and Transport Document Replacement, pp. 14-15。

6. 有關海運貨運單之運作方式，參見 CMI Uniform Rules for Sea Waybills, 1990。此外，電子載貨證券亦可應用在航空貨運而取代航空貨運單(air waybill)。



3. 提高效率。在載貨證券的製作過程中，同一筆資料(例如 S/O 中對貨物及運送條件之陳述)，只要一次輸入，便可與各部門(包括會計及運務等部門)、分公司、代理行及客戶，依使用權限共享該資訊，可提高其作業效率。而在電子載貨證券之信用交易過程中，貨主可迅速押匯及提貨，亦可改善其資金調度效率及強化庫存成本之控制。此外，因電子載貨證券可減少人工輸入資料之次數，進而減低載貨證券因打字錯誤而須更正的機會，故對船貨雙方皆具效益，亦可提高航運公司之形象及商譽。
4. 可避免詐欺。電子載貨證券之流通過程皆可由運送人之電子資料中心控管、監視<sup>7</sup>。可透過密碼學加密、解密，以確認交易者身分。而電子簽章密碼可定期更換，使其被破解之難度及成本提高，故不易被偽造、竄改。亦無遺失載貨證券須以公示催告、補發之困擾<sup>8</sup>。

## 1.2 電子載貨證券之流通條件

電子載貨證券是否能取代傳統之書面載貨證券，應有如下之考量：

1. 必須能保障交易之安全，才能考慮電子載貨證券之效益。因此，配合之相關法規<sup>9</sup>及商業習慣<sup>10</sup>需逐步建立，使電子載貨證券具接受性。
2. 必須能提供傳統書面載貨證券之三項功能(收據、契約之證明及物權證書)，才能為國際貿易信用之工具。因此，除法律規範外，電子載貨證券之作業流程的設計應能符合國際貿易信用交易之需求<sup>11</sup>。
3. 必須有普及的網路架構。故在網際網路及電子商務盛行之地區方為可行。此外，為能進行電子載貨證券資料傳輸，使用者須有相關之軟體，包括加解密及電子簽章鑑

---

7. 電子資訊傳輸的發送及收受者之交易紀錄簿(transaction log)，應具證據效力，交易之各方皆有保存之義務。若當事人妨礙他造使用或故意將該紀錄滅失或隱匿或致礙難使用，法院得審酌情形認他造之主張為真實，參見我國民事訴訟法第二八二條之一。

8. 曾國雄等，載貨證券理論與實務，二版，頁 28-29。

9. 例如電子簽章法、海商法、民法、民事訴訟法對電子載貨證券性質、書面性及其證據力之規範。

10. 例如交易之各方(運送人及託運人等)應認同電子交易之實務，在必要時並應簽署電子資料交換協議(Electronic Data Interchange Agreement)，參見聯合國國際貿易法委員會(UN Commission on International Trade Law，簡稱 UNCITRAL)之 Electronic Data Interchange Report of the Secretary-general (A/CN. 9/350) pp. 14-15。

11. 參見圖 4 所示。

識軟體。

4. 必須有配合之憑證機構(certification authority)<sup>12</sup>，以第三人身分提供電子交易雙方身分登錄(enrolment)及認證(authentication)之功能<sup>13</sup>，包括驗證私密金鑰(private key)<sup>14</sup>及公開金鑰(public key)<sup>15</sup>之配對關係<sup>16</sup>，並發給或撤消公開金鑰憑證等<sup>17</sup>。
5. 運送人必須建立一個控管中心，可監視整個電子載貨證券交易過程，以及電子載貨證券密碼之發給、取消等。此等控管中心可由航運公司之資訊部門為之。
6. 使用者間須有合作之協議及意願，包括進出口商、開狀銀行、押匯銀行、保險公司、當地商會及海關<sup>18</sup>。對貨主而言，電子載貨證券之迅速及低作業成本的效益較為明顯，故可能較無阻力。但對航商而言，因仍須維持書面載貨證券之作業系統，故在使用之初期其成本未必較低，且對新的電子單據作業方式及風險，並不甚熟悉，可能較猶豫。航商願採用電子載貨證券之原因，在初期可能為提高其服務水準及商譽。但長期而言，仍有節省成本，提高作業效率之功用。
7. 須有保險業者之配合。為消除航商對簽發電子載貨證券潛在責任及風險之疑慮，亦須由船東互保協會(Protection and Indemnity Club)或 TT (Through Transport) Club 之同意承保該項風險。而貨主亦有密碼被破解之風險，可透過貨物保險方式以承保此等風險。

---

12.例如：歐洲之 BOLERO International Ltd，係由 Through Transport Mutual Insurance Association Limited(簡稱 TT Club)及 The Society for World-wide Interbank Financial Telecommunication S.C. (簡稱 S.W.I.F.T.) 共同投資創設，提供電子載貨證券登錄及控管功能，見 BOLERO 之 Standard Trade Settlement Protocols, [www.bolero.net](http://www.bolero.net)；BOLERO 之全名為：Bill of Lading Electronic Registry Organization。

13.依電子簽章法第二條第五款：「憑證機構：指簽發憑證之機關、法人。」又第七款規定：「憑證實務作業基準：指由憑證機構對外公告，用以陳述憑證機構據以簽發憑證及處理其他認證業務之作業準則。」

14.又稱簽署密碼。

15.又稱驗證密碼。

16.依電子簽章法第二條第三款：「數位簽章：指將電子文件以數學演算法或其他方法運算為一定長度之數位資料，以簽署人之私密金鑰對其加密，形成電子簽章，並得以公開金鑰加以驗證者。」第四款：「加密：指利用數學演算法或其他方法，將電子文件以亂碼方式處理。」

17.公開金鑰憑證之功能，類似我國戶政事務所簽發之「印鑑證明」，而私密金鑰之功能則類似印鑑章。另參見電子簽章法第二條第六款。

18.因信用狀押匯文件可能尚包括保險單、產地證明、進出口許可證，仍需由電子傳輸方式取得。

基於上述，本文將探討(1)電子載貨證券之作業方式；(2)電子載貨證券如何提供傳統書面載貨證券的三項功能，才能保障交易之安全及順利進行交易。

## 二、電子載貨證券之作業方式

### 2.1 電子傳輸之書面性

海商法第五十四條第一項第三款所稱託運人之書面通知應指 S/O，而載貨證券則指由運送人或船長簽名之文書，以提供海商法第五十四條所稱之收據及契約證明功能，並能經由背書轉讓，移轉載貨證券上所記載貨物之所有權<sup>19</sup>。其以書面記載為要件，目的在界定對貨物通知不正確之責任，以及對載貨證券記載之文義性作規範，以避免糾紛。

在另一方面，在電子載貨證券之交易流程中，各項資料之傳遞，有賴電子傳輸(transmission)方式進行。此種方式並非我國海商法第五十四條(或海牙規則第三條第三項、第四項)所稱之書面及簽名。因此，電子載貨證券須能提供下列證明功能，才能取代書面載貨證券：

1. 能確認該筆資料之完整性，未經任何偽造或竄改。若經被授權之人修改，應可由交易紀錄簿追查其對資料嗣後所作之修改，及修改之人的身分和修改時間等資料。
2. 該筆資料之製作人的電子簽章具獨特性、唯一性，可用以辨別簽章人。並經由電子簽章之使用，以及電子載貨證券密碼(electronic bill of lading key)之擁有來實行對貨載的控制權，例如轉讓貨載之所有權，或在目的地請求運送人交付貨物，或要求修改載貨證券之內容，變更目的地等，應提示電子載貨證券密碼<sup>20</sup>。
3. 由附在電子資料傳輸中之電子簽章，可證明簽章人對該筆資料內容之確認或同意，例如：運送人簽發電子載貨證券時，應對載貨證券所記載之事項對第三持有人負文義責任<sup>21</sup>，而託運人應對其 S/O 上所通知之貨物名稱、件數或重量、包裝之種類等事項對運送人負責<sup>22</sup>。

依 1990 年國際海事委員會電子載貨證券規則(CMI Rules for Electronic Bills of

---

19.民法第六二九條及海商法第五十八條。

20.另參見曾國雄、張志清，海商法，頁 182。

21.海商法第七十四條第一項、民法第六二七條。

22.海商法第五十四條、第五十五條。

Lading 1990, 以下簡稱 CMI Rules)第二條：「傳輸」：指一個或一個以上的訊息經由電子傳輸，作為發送單元共同向外傳遞，並由發送人以私密金鑰及電子信封方式加密，再由收受者以公開金鑰解密、開啟。而私密金鑰為經當事人同意為確保傳輸的真實性和完整性，而採用的任何技術上適當的方法，如一組數字及/或字元。而所發出之傳輸資料，可經由「電子監督系統」(electronic monitoring system)，檢查相關資訊系統中所記錄之交易，例如：交易紀錄簿或審計追蹤資料(audit trail)<sup>23</sup>。此等私密金鑰、公開金鑰憑證及認證服務系統之運作則有賴各國之國內法之規範，使電子資料傳輸及簽章之電子文件在法律上與書面資料及書面契約具有相同之效力。而依我國電子簽章法第十一條第二項規定，憑證機構之實務作業基準應包括「驗證憑證內容相關資料之留存」，此等作業基準經主管機關核定後，可提供具公信力之交易人身分紀錄資料。

依我國電子簽章法第四條：「經相對人同意者，得以電子文件為表示方法。依法令規定應以書面為之者，如其內容可完整呈現，並可於日後取出供查驗者，經相對人同意，得以電子文件為之…。」又同法第九條第一項規定：「依法令規定應簽名或蓋章者，經相對人同意，得以電子簽章代之。」係基於契約自由原則，由交易之雙方當事人自行約定所採之程序及方法，作成電子簽章或電子文件，為雙方共同信守之依據，並作為事後相關法律責任之基礎。因此，當託運人申請簽發電子載貨證券時，運送人可在雙方之電子資料交換協議中規定此等電子資料傳輸皆視為「書面」，且簽發電子載貨證券與簽發書面載貨證券無異，並隨時可印出正本載貨證券而終止電子載貨證券作業流程<sup>24</sup>。

## 2.2 電子傳輸之安全性

電子傳輸之安全有賴電子簽章、電子信封、加解密技術及憑證機構之運作來達成。

### 1. 電子簽章之定義及性質

依我國之電子簽章法第二條第二款：「電子簽章：指依附於電子文件並與其相關

23.我國電子簽章法第四條亦規定，以其內容可完整呈現，並可於日後取出供查驗者，才得以電子文件為之。

24.建議以下列條款規定：“Any Document, including Bills of Lading and Shipping Order, properly transmitted pursuant to this Agreement shall be considered to be a ‘writing’ or ‘in writing’; and any such Document when containing, or which there is affixed, a Signature shall be deemed for all purposes to have been ‘signed’ and to constitute an ‘original’. When original Documents are printed from electronic files or records established and maintained in the normal course of business, all electronic procedures shall cease here from.”因電子載貨證券涉及國際貿易交易，其電子資料交換協議應比照載貨證券之方式，宜以英文為之，但可經由網際網路以電子簽章方式簽署。

連，用以辨識及確認電子文件簽署人身分、資格及電子文件真偽者。」其以通信或交易雙方使用事前同意之有效安全程序，或主管機關認可之安全程序製作，足以驗證電子簽章自某一特定時間點至驗證真偽時間點之間，未經竄改，且符合<sup>25</sup>：

- a. 簽署者為特定目的使用獨一無二簽章；
- b. 可客觀辨識簽署者身分；
- c. 由簽署者以安全可靠之方法製作，或使用其可單獨控制之安全及可信賴之設施、方法製作，且製作後不易被偽造或破解；
- d. 可判別經簽署之電子文件內容是否遭受竄改。

而同法第十條又規定：「以數位簽章簽署電子文件者，應符合下列各款規定，始生前條第一項之效力：一、使用經第十一條核定或第十五條許可之憑證機構依法簽發之憑證。二、憑證尚屬有效並未逾使用範圍。」由此可知，若 S/O、載貨證券之內容及其簽署之方式，以電子資料傳輸方式，送達相對人，並以公開金鑰查驗其私密金鑰，及配合憑證機構之認證，則可確認其真實性，亦即可確認係由該特定之簽署人發出，以及其完整性(亦即未經竄改)。在此種情況下，則可取代書面之文件，作為責任界定之用。

此外，依電子簽章法第七條規定：「電子文件以其進入發文者無法控制資訊系統之時內為發文時間。但當事人另有約定或行政機關另有公告者，從其約定或公告。電子文件以下列時間為其收文時間。但當事人另有約定或行政機關另有公告者，從其約定或公告。一、如收文者已指定收受電子文件之資訊系統者，以電子文件進入該資訊系統之時間為收文時間；……」準此，以運送人發送電子載貨證券內容(含運送條件)至託運人之資訊系統時起，運送人受簽發載貨證券相關法律規定之拘束<sup>26</sup>。而託運人或電子載貨證券密碼持有人之權利，包括貨物所有權或貨損索賠之權利<sup>27</sup>，則自其開啟檔案時起<sup>28</sup>。但契約另有約定者，從其約定。以上發送及開啟時間，皆可由電子交易紀錄簿或憑證機構留存檔案中得知。

## 2. 電子簽章之加密方式

運送人在收受貨物或裝載貨物上船後，因託運人之請求所發給之電子載貨證券的電子簽章，應經加密(encryption)及解密(decryption) 之過程，以確保資料之完整，並辨

---

25.張翼明，論電子簽章法之「電子簽章」，月旦法學，第59期，頁123。

26.例如：海商法第五十四條第三項、第六十條第二項及第七十四條。

27.海商法第五十八條及民法第六二七條至六二九條。

28.電子簽章法第七條。

識簽署人之身分<sup>29</sup>。加密措施較有名者為 RSA<sup>30</sup>。其特點在加密時以私密金鑰為之。解密時則以對應之公鑰為之。依 RSA 加密措施，其進行方式如下(如圖 1 所示)：

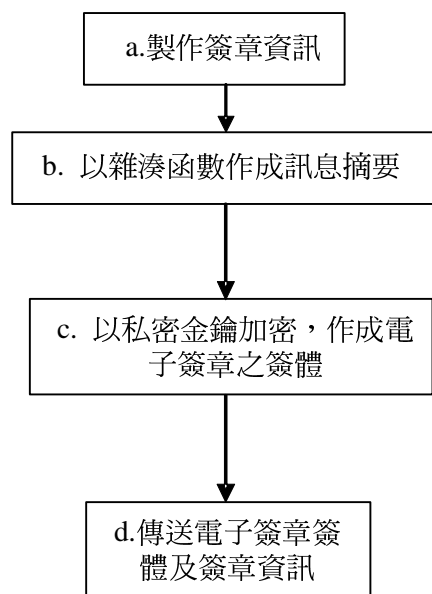


圖 1 電子簽章之加密過程

- a. 運送人之電子簽章資訊內容應與傳統書面載貨證券同，亦即包括簽章人之公司名稱(為航運公司本身，或承攬運送人，或代理行名稱)、簽章人姓名、簽章之名義(例如以運送人名義簽名則為“*As Carrier*”，以代理人名義簽名則為“*As Agent*”)。
- b. 雜湊函數(hash function)為一種數學演算法，將電子文件轉化成固定長度之數位資料(訊息摘要)<sup>31</sup>。
- c. 利用運送人向憑證機構申請公開金鑰憑證所用之私密金鑰對訊息摘要加密，形成電子簽章之簽體，再傳輸給收受人。只有擁有該私密金鑰之人才能產生該簽體，故可確認簽發者之身分及原始訊息之完整性。而此一簽體應由對應之公開金鑰才

29.參見電子簽章法第二條第三款。

30.係由麻省理工學院三位教授 Rivest, Shamir 及 Adleman 所發明之非對稱式加密法，取其姓氏之第一個字母為名。另參見梁定澎主編，電子商務理論與實務，頁 107-111；王昌斌等，「XML/EDI 電子載貨證券之研究」，航運季刊，第十卷第一期，頁 52-54。

31.但亦可以其他方式運算，參見電子簽章法第二條第三款。

能解密，故可確認收受人使用之權限。該一定長度數位資料之私密金鑰並非人腦所能記憶，故通常儲存在電腦磁片或硬碟中。以 IC 卡儲存應為較安全之作法。私密金鑰應妥為保管避免非法使用，若發現遺失或被盜用，應立即通知憑證機構。在電子化信用交易過程中，託運人、銀行及受貨人亦應取得私密金鑰，依此方式加密，再發送其簽章資訊。

d. 發送電子簽章相關電訊給收受人。

### 3. 電子簽章之解密方式

收受人應以發送人所發給對應之公開金鑰對電子簽章進行解密及比對。其解密方式如圖 2 所示。

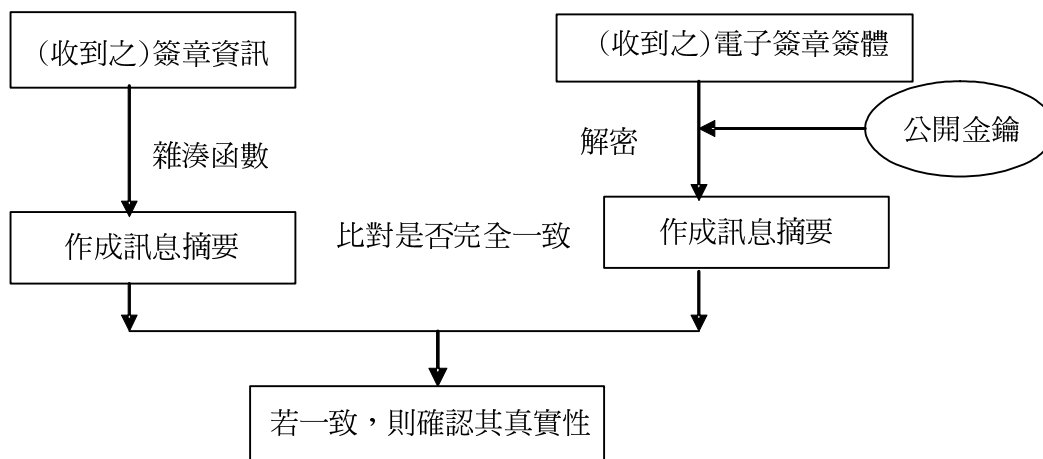


圖 2 電子簽章之解密過程

當收受人(託運人、銀行或受貨人等)收到運送人之電子簽章簽體，為確認該筆簽章之真實性，應以相同之方式對簽章資訊作成訊息摘要，在同一程式(雜湊函數)下對同一文件所得之訊息摘要應完全相同，故能比對是否經竄改或是否確由運送人所發出。

以對應之公開金鑰解密，可提供下列功能：

- 可確認該筆簽章之完整性，亦即與發送時一致。
- 可確認運送人(或發送人)之身分，因私密金鑰與對應之公開金鑰相符才能開啟。

由此一對應之公開金鑰無法推算出私密金鑰<sup>32</sup>，而惟有擁有該私密金鑰之人才能發出該電子簽章簽體。

- c. 可確認收受人使用該筆資料之權限及開啟時間，惟有擁有對應之公開金鑰之人才能開啟。收受人一經開啟電子簽章，無法否認未收到，故可達到劃分責任之要求。

#### 4. 電子信封

電子載貨證券之簽發尚包括載貨證券所記載之運送條件、運送條款等，在傳輸過程中為防止此等訊息被竄改或有所遺漏，須經壓縮文件後，再依密碼學以私密金鑰及公開金鑰加密及解密。類似一般使用之信封的加封，非經持有對應之公開金鑰的收受人拆封，無法讀取其內容，其加密及解密方式類似電子簽章之加、解密。

#### 5. 私密金鑰、公開金鑰及認證作業

私密金鑰與公開金鑰之目的，在辨識電子簽章及電子文件之發送者身分，以及其電子傳輸之真實性、完整性。但收受者對該私密金鑰與公開金鑰持有人之身分、此等金鑰之唯一性、以此私密金鑰來加密是否即如同該金鑰持有人親自簽名等事項，仍存有疑慮。為化解此種疑慮，有必要設立憑證機構在法律規範下，經營或提供認證服務，居中證明該公開金鑰發給人之身分<sup>33</sup>。此一憑證機構在電子簽章法下可能為政府機關或法人(例如股份有限公司)，其憑證實務作業基準及作業程序應送經主管機關(經濟部)核定後，公布在憑證機構設立之網站供公眾查詢<sup>34</sup>。

電子載貨證券認證作業應以如下之方式進行(其流程圖如圖 3 所示)：

- a. 運送人向憑證機構申請公開金鑰憑證。
- b. 由憑證機構依其憑證實務作業基準相關規定，審驗運送人之身分、資格與屬性，並驗證其公開金鑰及私密金鑰之配對關係後，簽發公開金鑰憑證<sup>35</sup>。公開金鑰憑證應以包括下列內容為宜：
  - (a) 當事人名稱。

32. 故又稱非對稱加密法，但將來隨著密碼學之發展，並不限於此種加密法。此為電子簽章法總說明所宣示之技術中立原則。

33. 參見我國電子簽章法第二條第五、六款，第十一條。另參見 1997 年 UNCITRAL 電子簽章統一規則草案(Draft Uniform Rules on Electronic Signatures)第二條(f)款及第十三條；國際商會(International Chamber of Commerce)國際數位化確認商務通用慣例(General Usage for International Digitally Ensured Commerce)之“III. Electronic Transactions and Information Security”。

34. 電子簽章法第三條及第十一條。

35. 電子簽章法第二條第七款及第十一條。



- (b) 公開金鑰。
  - (c) 數位簽章使用之數學演算法或其他運算方式。
  - (d) 憑證序號。
  - (e) 憑證之有效期間<sup>36</sup>。
  - (f) 簽發憑證之憑證機構名稱與所在地。
  - (g) 憑證之相關限制條件<sup>37</sup>。
- c. 運送人以其持有之私密金鑰加密簽署，並傳送電子載貨證券。此項電子載貨證券之傳輸內容至少應包括：
- (a) 運送契約之基本內容(例如貨物之陳述及裝卸港等)<sup>38</sup>。
  - (b) 運送人之電子簽章。
  - (c) 公開金鑰。
  - (d) 電子載貨證券密碼
- d. 電子載貨證券資訊傳輸之收受人(包括託運人/受貨人/押匯及開狀銀行等)向憑證機構確認公開金鑰持有人之身分後，再依前述方法解密以確認運送人電子簽章之真實性，並開啟電子信封讀取文件。

託運人、受貨人、押匯及開狀銀行等作電子資料傳輸時<sup>39</sup>，亦應如同運送人一般，向憑證機構申請公開金鑰憑證。惟若分屬不同之憑證機構<sup>40</sup>，則生交互認證之問題，尤其涉及外國憑證機構時為然。經濟部在核定前述之憑證實務作業基準時，應注意其內容是否能相容，並應制定承認外國公開金鑰憑證之實務<sup>41</sup>。

---

36.其期限不應太長，一般而言，最長不應超過三年，但若有冒用或破解等情事時，應隨時廢止。在有效期間不應因憑證機構遭勒令停業等而廢止，以保障交易雙方之權益。此等作業規則仍應由主管機關以法令規範之，參見電子簽章法第十三條：憑證機構於終止服務前，應對終止當時仍具效力之憑證，安排其他憑證機構承接其業務，若無其他憑證機構承接其業務，主管機關得安排其他憑證機構承接。必要時，得公告廢止當時仍具效力之憑證，以免造成交易糾紛。

37.例如使用範圍、交易種類之限制。依電子簽章法第十條，逾使用範圍以數位簽章簽署之電子文件不生效力，而依第十四條第二項：「憑證機構就憑證之使用範圍設有明確限制時，對逾越該使用範圍所生之損害，不負賠償責任。」

38.其他有關契約證明之內容，見本文 3.2。

39.例如託運人簽託運單時，或押匯銀行向開狀銀行提示電子載貨證券密碼請求償還所墊貨款時。

40.依電子簽章法第二條第五款，憑證機構可能由民間以公司組織型態經營，故不止一家。

41.參見我國電子簽章法第十五條及 1997 年 UNCITRAL 電子簽章統一規則草案第十三

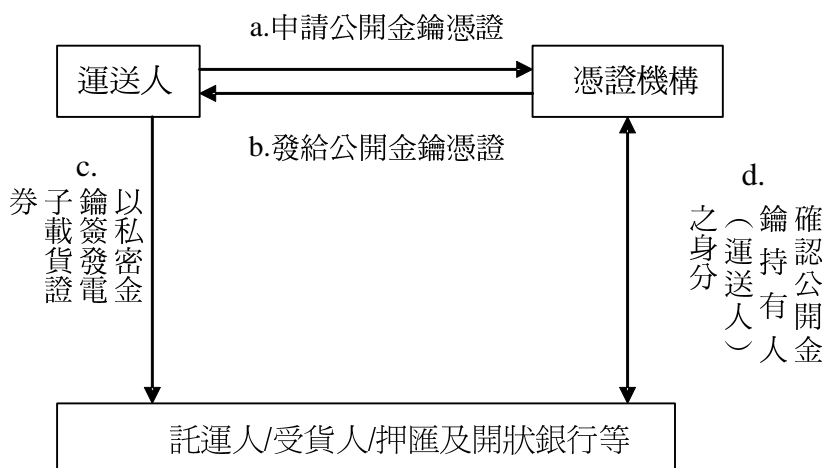


圖 3 電子認證作業流程圖

## 2.3 電子載貨證券之交易流程

以電子載貨證券取代傳統之書面載貨證券，仍需配合國際貿易信用交易之作業流程，而提供收據、物權證書及契約證明三項功能。茲依 CMI Rules 設計電子載貨證券交易步驟如下(其流程圖，如圖 4 所示)：

1. 買賣雙方訂立買賣契約，並約定以電子載貨證券作為信用交易之工具。
2. 託運人在運送人之網站上簽電子訂艙單(以下簡稱 E S/O)，並得到運送人之確認電訊。為能確認雙方的電子資訊傳輸之責任，所有傳輸皆應符合電子簽章法之電子簽章及認證作業規定。
3. 運送人通知貨櫃場 E S/O 資料。
4. 託運人送貨至貨櫃場，若為整櫃貨載，則應先提領空櫃<sup>42</sup>。
5. 運送人簽發待運之電子載貨證券(以下簡稱 E B/L)或電子碼頭收貨單(electronic dock receipt，簡稱 E D/R)，以及第一組電子載貨證券密碼(electronic bill of lading key，簡稱 E B/L Key 1)。
6. 託運人(賣方)報關，在我國則以關貿網路 (TradeVAN)投單。

條。

42. 託運人可提示運送人之確認電訊，取代以書面 S/O 作為貨物進場或提領空櫃的書面證明。

7. 海關放行。
8. 貨物裝船。
9. 託運人交出 E D/R 及待運 E B/L Key 1(並繳交預付運費或相關費用，例如貨櫃場作業費等)，換取已裝船之第二組電子載貨證券密碼(E B/L Key 2)。第一組電子載貨證券密碼隨即取消。
10. 運送人通知其目的港(地)分公司、代理行及貨櫃場該 E B/L 之內容。
11. 託運人以電子傳輸方式，向押匯銀行提出已裝船之 E B/L 和第二組電子載貨證券密碼(E B/L Key 2)，以及其他信用狀所要求之文件。
12. 運送人向押匯銀行發出確認電訊，並在押匯銀行付出貨款之同時(或之後)，發給押匯銀行第三組電子載貨證券密碼(E B/L Key 3)，並取消第二組電子載貨證券密碼。
13. 押匯銀行付出貨款。
14. 押匯銀行將 E B/L 內容、E B/L Key 3 及其他押匯文件傳送給開狀銀行。
15. 運送人向開狀銀行發出確認電訊，並在開狀銀行付出貨款之同時(或之後)，發給開狀銀行第四組電子載貨證券密碼(E B/L Key 4)，並取消第三組電子載貨證券密碼。
16. 開狀銀行向押匯銀行付出貨款。
17. 開狀銀行通知受貨人(買方)前來贖單。
18. 運送人向受貨人發出確認電訊。
19. 受貨人至開狀銀行繳款，並在受貨人付出貨款之同時(或之後)，由運送人發給受貨人第五組電子載貨證券密碼(E B/L Key 5)，並取消第四組電子載貨證券密碼。
20. 貨物卸船。
21. 受貨人繳交到付運費或其他費用後，可將 E B/L 換取電子小提單(E D/O)(亦可分割成數筆小提單，分批提貨，而 E D/O 記載之受貨人可另行指定真正提貨之受貨人，因此亦可用於海運承攬運送業將其 Ocean B/L 轉換成數筆小提單，交給其客戶)及第六組電子載貨證券密碼(E B/L Key 6)，第五組電子載貨證券密碼則同時取消。亦可不換小提單，逕以第五組電子載貨證券密碼提貨。
22. 運送人之分公司或代理行通知貨櫃場，可放貨。

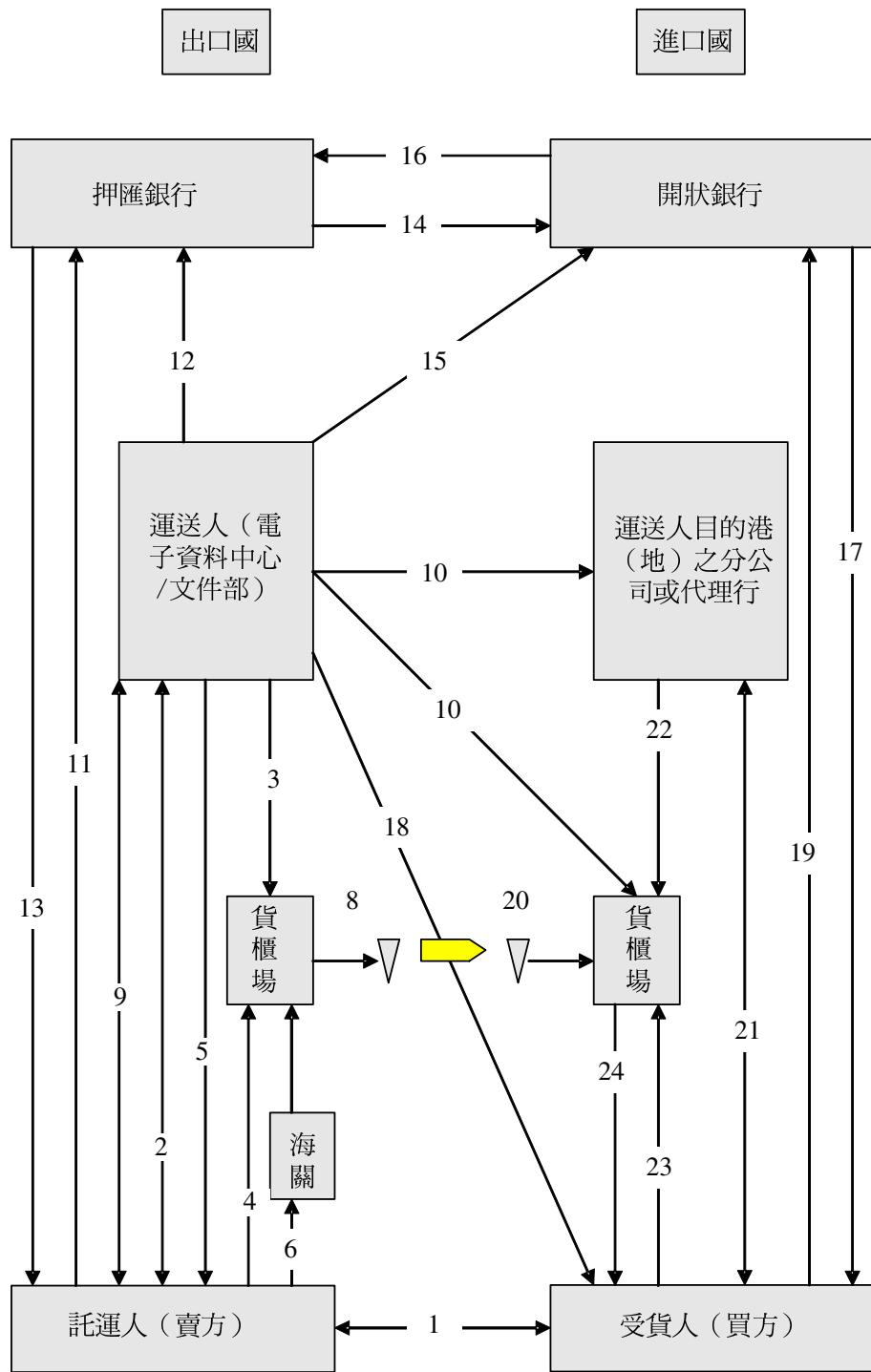


圖 4 電子載貨證券交易流程圖

23. 受貨人提示 E B/L 及第五組電子載貨證券密碼(若未另換領 E D/O)，或以 E D/O 及第六組電子載貨證券密碼(若已另換領 E D/O)，請求提貨。
24. 目的地貨櫃場放貨給受貨人，並由運送人之電子資訊中心取消第五組或第六組電子載貨證券密碼<sup>43</sup>，而完成貨物之交付。

### 三、電子載貨證券如何提供傳統書面載貨證券的 三項功能

電子載貨證券應提供與傳統書面載貨證券相同之三項功能，才能作為信用交易之工具。

#### 3.1 電子載貨證券之收據功能

電子載貨證券應具如下之收據內容：

1. 依照託運人 E S/O 通知之貨物名稱、件數或重量，或其包裝之種類、個數及標誌<sup>44</sup>。託運人對於上述之通知，應向運送人保證其正確無訛，其因通知不正確所發生或所致之一切毀損、滅失及費用，應由託運人負賠償責任<sup>45</sup>。而運送人所可能遭受之損害，包括因貨物陳述不正確受海關或有關當局之罰款，以及應對受貨人負載貨證券所記載事項之文義責任<sup>46</sup>。

上述之託運人之通知，由託運人經加密程序發送其 E S/O，再經運送人以託運人所提供對應之公開金鑰予以解密，確認發送者之身分、文件之完整性，即可確認具海商法第五十四條及第五十五條之託運人書面聲明之法律效果<sup>47</sup>。E S/O 經運送人開啟並發出確認電訊至託運人之資訊系統(視同書面之簽收或承諾)，運送契約視為

---

43. 以上電子載證券密碼之持有，視為持有電子載貨證券所記載貨物所有權，與持有傳統書面載貨證券同，參見 CMI Rules 第二條(g)項。此外，電子載貨證券密碼與電子簽章之私密金鑰不同，係由運送人發給，具物權證書之功能。

44. 海商法第五十四條第一項第三款及海牙威士比規則第三條第三項；另參見 UNCITRAL 電子商務模範法第十六條、第十七條。

45. 海商法第五十五條第一項及海牙威士比規則第三條第五項。

46. 海商法第七十四條第二項、第五十五條第二項及海牙威士比規則第三條第四項、第五項。

47. 參見電子簽章法第四條。

成立<sup>48</sup>。

2. 貨物之收受情況(外觀狀況是否良好)以及收受之日期。運送人在收到託運人提供的貨物之後，應按照託運人指定的電子郵件地址給予託運人一份收據電訊<sup>49</sup>，其內容應包括：a.貨物之陳述及保留(亦即貨物是否以外觀狀態良好下收受)；b.接收貨物的地點和日期；c.表彰貨物所有權之電子載貨證券密碼<sup>50</sup>。
3. 託運人必須向運送人確認收到收據電訊。在確認之後，該託運人便成為該電子載貨證券密碼持有人。一旦貨物實際裝船，收據電訊的裝船地點和日期應及時更新。所更新的裝船地點和日期，應與收據電訊之其他內容具同一效力，亦構成電子載貨證券之一部分。

### 3.2 電子載貨證券契約證明之功能

電子載貨證券應在法律上及實務上與書面載貨證券提供相同之書面文件功能，才能有效證明運送契約之內容。

#### 1. 契約關係原則及求償權

為能使電子載貨證券能提供海商法或民法所稱之具有書面證據力，其方式有二：

- (1) 以法律承認電子傳輸之資訊具有書面之效力。例如依我國電子簽章法第四條規定，經相對人同意，得以電子文件為表示方法。其應以書面為之或訂定字據者，亦可以電子文件代之。故可由當事人約定，而使電子載貨證券具法律上之書面效力<sup>51</sup>。除電子簽章法之立法外，亦可配合修正海商法第五十三條為：「運送人或船長於貨物裝載後，因託運人之請求，應發給載貨證券。前項載貨證券得經託運人之請求，依電子簽章法簽發電子載貨證券，本法關於載貨證券之規定，於電子載貨證券準用之。<sup>52</sup>」

上述以海商法另行規定之優點在其使電子載貨證券之簽發及法律適用更為明確，蓋電子簽章法第四條所稱之「表示方法」為一般性質之字眼，而載貨證券之簽發在提供收據、契約證明及物權證書之功能，若能進一步修正海商法，

---

48.曾國雄等，載貨證券理論與實務，頁 8-9；另參見電子簽章法第七條。

49.其作用類似書面之 D/R。

50.參見 CMI Rules 第四條及前述電子載貨證券交易流程圖。

51.其約定之條文，見註 24。

52.劃底線部分為本文建議增修之部分。

將可使當事人處理電子載貨證券相關之權利義務關係更為明確。在國際海商實務上亦有採類似之立法方式，例如，英國 1992 年海上貨物運送法第一條第五項規定：「國務大臣得以行政命令，使本法適用於利用電子通訊系統或其他資訊科技為下述有關交易行為：(a)本法所規範運送文件之簽發；(b)此等運送文件之背書、交付或其他之轉讓；或(c)其他與此等運送文件有關事項。」1978 年漢堡規則第一條第八項規定：「書面，包括電報及電報交換等事項」(“Writing” includes, inter alia, telegram and telex)<sup>53</sup>。二者皆另以明文規範電子資料傳輸之載貨證券或其他類似之文件。

- (2) 在本國及交易相對國之相關法律未完備前，當託運人申請簽發電子載貨證券時，應與運送人簽訂電子資料交換協議，並可約定依 CMI Rules 來規範電子載貨證券當事人間之權利義務關係。惟此種方式仍有如下之缺點：
- a. 除非另行與押匯、開狀銀行及受貨人等簽訂協議，無法拘束運送人與託運人以外之第三人。因此，仍有賴法律明確規範電子載貨證券之物權證書性質、收據及契約證明之功能。
  - b. 運送人是否願意承擔或接受 CMI Rules 之責任及風險；是否須對 CMI Rules 作局部修改，仍有待探討。CMI Rules 至目前為止僅能視為商業習慣，即使納入契約之中，其責任及風險仍有待評估。
  - c. 運送人之防護及補償協會是否能接受運送人以契約方式納入 CMI Rules，亦有待觀察。

## 2. 載貨證券應記載事項

我國海商法第五十四條所規定之載貨證券應記載事項仍須反映在電子載貨證券上，但欠缺法定應記載事項，只要不影響載貨證券之功能(收據、物權證書及契約證明)，該載貨證券仍應有效<sup>54</sup>。除此之外，電子載貨證券之內容可納入下列事項：

- (1) 以引入條款(incorporation clause)引入運送人書面載貨證券及運價表(tariff)之印刷條款<sup>55</sup>。此等印刷條款雖不隨電子載貨證券資訊傳輸，但只要當事人要求，即

53.其原文“includes, inter alia”，應譯為「包括…諸如此類」，故不限於所列舉之電報及電報交換二項。張東亮，劃時代之國際法—漢堡規則論，頁 125-126。

54.曾國雄等，載貨證券理論與實務，頁 22；漢堡規則第十五條第三項。

55.建議以下列條文規定：“All terms and conditions, liberties and exceptions of the Carrier’s applicable paper Bills of Lading and Tariff, including the Law and Jurisdiction Clause, are

可經由網路傳輸提供或可由運送人之網址下載該契約條文。

- (2) 引入 CMI Rules 作為契約一部分之條款，並可聲明若本運送契約條款與 CMI Rules 不一致或有衝突時，應以 CMI Rules 優先適用<sup>56</sup>。
- (3) 本電子載貨證券所證明之運送契約應受任何強制性之國際公約或國內法的管轄，如同已簽發書面載貨證券一般<sup>57</sup>。因現行強制性法律大都僅強制適用於簽發書面載貨證券之場合<sup>58</sup>，故須經本契約條款引入，乃可用以規範電子載貨證券當事人間之權利義務關係，以保障其流通性。因此，強制性法律規定將較 CMI Rules 優先適用，而 CMI Rules 將較電子載貨證券中之其他條款優先適用。
- (4) 作為表彰該貨載控制權之電子載貨證券密碼<sup>59</sup>。
- (5) 持有人可要求改簽發書面載貨證券之條款<sup>60</sup>。電子載貨證券之使用的先決條件在網路架設之普及性。所有以電子載貨證券交易有關之各個環結皆應能連接網路，並能以電子簽章方式鑑識電子文件之真偽，包括受貨人(買方)、銀行等。若交易之地區尚未廣設網路或無鑑識電子簽章之機能，則應有彈性規定：在交貨前之任何時候，電子載貨證券密碼之持有人得請求運送人在其指定之地點改發書面載貨證券，並終止電子載貨證券交易之所有流程。但若運送人在指定地點無提供書面載貨證券之便利條件，應可在離指定地最近之有此條件之地點(例如在運送人之代理行所在地)，發行書面載貨證券。

此外，電子載貨證券密碼持有人亦可僅請求運送人提供一份加蓋「不可轉讓副本」

---

herewith incorporated. These terms and conditions, etc. are available upon request (or are accessible through xxx (Carrier's wet site))”.

56.建議以下列條文規定：“This Electronic Bill of Lading shall have effect subject to the provisions of the CMI Rules for Electronic Bills of Lading, 1990. In the event of any conflict or inconsistency between this Bill of Lading terms and the CMI Rules, the CMI Rules shall prevail”.

57.建議採下列條文：“The Contract of Carriage evidenced by this Electronic Bill of Lading shall be subject to any international convention or national law which would be compulsorily applicable if a paper bill of lading have been issued”.

58.海商法第七十四條第一項及海牙威士比規則第一條(b)款。

59.見本文 3.3。

60.建議以下列條文規定：“The Holder of Electronic Bill of Lading Key has the option at any time prior to delivery of the Goods to demand from the Carrier a paper bill of lading at the place where the Carrier has facilities for the issue of the paper bill of lading. Upon the issue of a paper bill of lading, the Electronic Bill of Lading Key of that bill of lading shall be cancelled and its EDI procedures shall be terminated”.



(non-negotiable copy)之書面文件。此種書面文件並非可轉讓之正本載貨證券，故電子載貨證券之作業程序並不終止，電子載貨證券密碼亦不取消<sup>61</sup>。

### 3.3 電子載貨證券之物權證書功能

電子載貨證券須提供下列功能才能成為物權證書：

#### 1. 證明載貨證券合法持有人之權利

電子載貨證券之合法持有人可能為：

- (1) 託運人。當運送人收到託運人所交運之貨物後，應發給託運人一份收據電訊，除載明該筆貨載之名稱、運送條件外，並包括一組電子載貨證券密碼。託運人得以向押匯銀行提示此一電子載貨證券密碼，辦理押匯，取得貨款。
- (2) 押匯或開狀銀行。押匯銀行在付出墊款時，自運送人處取得一組新的電子載貨證券密碼(託運人原持有之電子載貨證券密碼隨即取消)，得再轉手給開狀銀行。銀行係以擔保物權方式持有載貨證券密碼，擔保其代墊或代償款項能優先受清償。
- (3) 受貨人(買方)。受貨人因付出貨款給開狀銀行(實務上稱為贖單)，得自運送人處取得一組新電子載貨證券密碼，代表取得該載貨證券所記載貨物之所有權，而有權請求提貨。

此外，為確認收受人已收受到該組電子載貨證券密碼及該筆載貨證券之電子資訊，得以約定方式規定收受人應在收受後，回覆一通「確認」電訊，才能合法取得該組電子載貨證券密碼，以免電子傳輸之誤遞，或收受人事後否認已收到<sup>62</sup>。

#### 2. 電子載貨證券密碼合法持有人對貨載之控制方式

##### (1) 持有人對貨載之控制權

電子載貨證券密碼之合法持有人應如同書面載貨證券之持有人一般，能取得：

- a. 請求交付貨物之權<sup>63</sup>；或

---

61. CMI Rules 第十條。

62. 參見電子簽章法第七條，蓋電子載貨證券密碼具物權證書或有價證券之功能，其收文時間不宜採以電子文件進入託運人資訊系統之時間，而應要求託運人收到後發出確認電訊，以釐清權責之分界點。

63. 若發生貨物毀損或滅失，受貨人亦享有貨損索賠之權利，參見民法第六四四條及張志清，「載貨證券的功能與貨損索賠：我國海商法與海牙威士比規則相關規定之比較」，航運季刊，第九卷第二期，頁 43。

- b. 指定受貨人，或變更受貨人為另一人之權；或
- c. 移轉控制權給另一人，包括銀行以擔保權方式取得後，再移轉給買方；或
- d. 可以向運送人發出指示，變更運送契約條款之權利，包括變更目的地或在中途港提貨等。

(2) 控制權之移轉方式

為使貨載控制權的移轉具有與書面載貨證券背書轉讓相同之效力，其控制權的轉讓應依下列方法進行：

- a. 由現持有人向運送人發出其意圖將控制權轉讓給一新的持有人的通知；
- b. 由運送人向被建議的新持有人發出確認之電訊，並對其發送電子載貨證券電子文件(除電子載貨證券密碼外)的所有信息；
- c. 再由被建議的新持有人通知運送人接受該移轉的控制權；據此
- d. 運送人應取消現行電子載貨證券密碼，並向新持有人發出另一新的電子載貨證券密碼。
- e. 如果被建議的新持有人通知運送人其不願接受該控制權之移轉，或在一合理時間內未能通知運送人其願意接受，則控制權的移轉不生效力。據此運送人應通知現持有人，同時現行電子載貨證券密碼仍保持有效。

(3) 電子載貨證券密碼之製作

為能確保交易之安全，電子載貨證券密碼須具有獨一性、安全性，因此：

- a. 各相繼持有人之電子載貨證券密碼各不相同，持有人不得自行轉讓電子載貨證券密碼。運送人和持有人應各自保持電子載貨證券密碼的安全性。
- b. 利用此電子載貨證券密碼確認合法持有人，運送人只負責向最後一組電子載貨證券密碼持有人發送確認的電訊。
- c. 電子載貨證券密碼必須與任何用於鑑別運送契約之任何方法(例如載貨證券號碼)獨立且無關，並與任何用於進入計算機網路的使用密碼或識別有所區別，以降低被破解之機會。

(4) 交貨之方法

電子載貨證券密碼之合法持有人向運送人請求交付貨物之方法如下：

- a. 運送人應將預定交貨的地點和日期通知合法持有人(亦即發出到貨通知)。
- b. 收到該項通知後，持有人有義務指定一受貨人，並給予運送人充分的交付指示，

並利用私密金鑰加密確認。

- c. 如無人被指定為受貨人，將視持有人為受貨人。
- d. 運送人在依上述規定之交付指示時，應適當地核對受貨人之身分證明。如果運送人證明自己已盡合理注意確定自稱為受貨人的一方確係事實上的受貨人，則運送人對誤交不負責任<sup>64</sup>。而此一交付將自動取消該電子載貨證券密碼。

## 四、結論與建議

### 4.1 結論

#### 1. 電子載貨證券之效益

使用電子載貨證券作業具有迅速、降低成本、提高作業效率、避免詐欺之效益。

#### 2. 電子載貨證券目前所面臨之問題

- (1) 法律規範尚未臻完備。電子載貨證券作業所需之法律基礎除電子簽章法外，海商法及民法等相關規定亦需配合。此外，國際貿易信用交易尚涉及各國法律規定，而各國立法進度不一，亦值得運送人注意<sup>65</sup>。在無完備法律規範前提下，運送人雖得以契約方式來規範簽發電子載貨證券之權利義務關係，惟礙於契約關係原則，無法拘束契約以外之第三人，故使用上仍有限制。
- (2) 運送人初期架構成本及經濟規模之問題。在網路未全球普及前，電子載貨證券並無法完全取代傳統書面載貨證券，因此運送人須同時維持書面及電子載貨證券之作業系統，其初期成本較高。而且，初期申請簽發電子載貨證券之託運人

---

64.CMI Rules 第九條 c 項。與書面載貨證券之「認單不認人」比較，電子載貨證券因須驗證受貨人之身分，應較具防止詐欺之能力。

65.聯合國國際貿易法委員會(The UN Commission on International Trade Law，簡稱UNCITRAL)於 1997 年通過「電子商務模範法」(UNCITRAL Model on Electronic Commerce)提供各國對電子商務立法之原則；美國聯邦政府於 1997 年公布「全球電子商務綱要」(A Frame Work for Global Electronic Commerce)所揭示之原則為美國各州立法之參考；德國於 1997 年通過「數位簽章法」(The Digital Signature Act)，並與歐洲共同體會員於 1997 年共同發表「全球資訊網路宣言」，確定資料保密及密碼學等技術在資訊社會中居於關鍵性地位；新加坡於 1998 年通過「電子交易法」(Electronic Transactions Act)；我國之電子簽章法已於九十年十一月通過(九十一年四月一日施行)。另參見郭懿美，資訊法規，Part I。

尚少，無法達到經濟規模。所幸大型航運公司對本身文件作業皆已電腦化，其額外成本應不致過大。

- (3) 當事人對電子載貨證券作業安全性仍存有疑慮。由於網際網路是一個開放之系統，即使有完善之法律及契約規範，仍應避免駭客之入侵。雖在傳輸之過程有加、解密措施，仍有被破解之風險。此外，在電腦系統當機、病毒或網路塞車時，其作業將受影響。

### 3. 電子載貨證券之發展前景

- (1) 在法律層面上，隨著電子商務的盛行，相關的法律問題將逐漸浮現，而電子載貨證券之交易具國際性，因此各國之國內法勢將配合國際立法之趨勢，逐步建立該國之電子簽章法規，以及修正其海商法律關於載貨證券之規定，我國自不例外。
- (2) 在網路架設方面，大型定期航商為提高其服務水準及商譽，將逐漸採行電子載貨證券作業系統。初期可能出現在歐洲及美國航線上，亞洲航線則可能限於網路較為普及之台灣、日本、南韓、香港及新加坡等地間之貨運。
- (3) 在保障交易安全方面，密碼學產品將成為不可或缺之工具，而各國亦將建立共同的法律機制以規範電子交易當事人間之權利義務，並防止駭客入侵電腦資料。而一旦交易安全無虞，電子載貨證券之使用者將漸增。

## 4.2 建議

### 1. 相關立法

我國電子簽章法已完成立法程序，為配合電子商務之進行，對於海商法及民法關於載貨證券及提單之規定<sup>66</sup>，以及電子簽章法施行細則<sup>67</sup>及外國憑證機構所簽發憑證之許可辦法等<sup>68</sup>，亦應配合實務需要，逐步修正。

### 2. 保障交易安全

對於保障交易安全方面，除發展密碼學相關產品，使駭客甚難入侵交易網路，亦可朝下列方向著手：

---

66.例如在海商法第五十三條及民法第六二四條中增加電子載貨證券(或提單)得準用書面載貨證券(或提單)之條文。

67.應包括憑證機構之設立標準、作業基準之審查內容、許可辦法等。

68.參見電子簽章法第十五條。

- (1) 建立應變<sup>69</sup>或預警<sup>70</sup>機制。
- (2) 建立安全認證制度，應依電子簽章法向具公信力之憑證機構申請註冊、認證，並由該憑證機構簽發公開金鑰憑證，以確認發送人之身分及文件傳輸之真實性。
- (3) 對妨礙電子商務交易秩序者，以相關法律予以重罰，以提高入侵者之風險。而憑證機構大都由民間經營，主管機關(經濟部)對憑證機構之管理亦相當重要<sup>71</sup>。
- (4) 為避免可能損失，運送人及其他使用人得以保險方式來涵蓋可能風險，包括：由運送人之防護與補償協承保因簽發電子載貨證券所生之額外風險；由貨物保險人承保載貨證券密碼被盜用之風險。

### 3. 國際規範之參照

法理上，國內法應較 CMI Rules 及契約條款優先適用，但為使電子載貨證券如同書面載貨證券能廣被接受，成為國際貿易交易之工具，航商可參考聯合國電子商務模範法及其海事委員會之 CMI Rules 等，設計符合國際規範之電子載貨證券作業流程<sup>72</sup>。而國內立法亦應符合現行國際規範。

### 4. 當事人使用之意願

電子載貨證券之簽發，應由託運人提出申請(否則仍簽發書面載貨證券)，故貨主應配合修改其交易條件，包括信用狀之規定。惟在 1993 年信用狀統一慣例尚未對電子載貨證券之審查作明文規範之前，買賣雙方及銀行間僅能以個案訂立特別約定方式為之。

### 5. 後續研究方向

本文以法律觀點論電子載貨證券之作業方式及可行性，惟電子載貨證券之使用涉及諸多的技術及實務問題，包括網路架設、密碼學之應用、當事人所共同簽訂之電子交換協議內容的研擬、與國際貿易實務之配合等問題，仍須隨科技及實務之發展而更

---

69.例如在私密金鑰被破解或被盜用時通知控制中心及憑證機構取消該私密金鑰及對應之公開金鑰，並採補救措施，避免損失之擴大，並使入侵者無利可圖。

70.例如每次以私密金鑰加密或以公開金鑰解密，皆可透過電子網路傳輸，自動知會憑證之持有人及憑證機構。

71.依電子簽章法第十二條，主管機關得視情節，處憑證機構新台幣一百萬元以上五百萬元以下罰鍰，並令其限期改正，逾期未改正者，得按次連續處罰。其情節重大者，並得停止其一部或全部業務。除此之外，亦可能負刑法之詐欺罪(第三三九條)及背信罪(第三四二條)等罪及民事賠償責任(例如依契約負違約責任或依民法第一八四條負侵權行為責任)。

72.見本文 2.3。

新及研究，使此等交易更為安全及盛行。

### 參考文獻

1. 鍾政棋，「運送人未收回載貨證券交付貨物之責任」，運輸計劃季刊，第二十九卷第三期，民國八十九年，頁 557。
2. 曾國雄、張志清，海商法，作者自行，民國八十九年七月，初版。
3. Grönfors, Kurt, "Cargo Key Receipt and Transport Document Replacement", Scandinavia University Books, 1982。
4. CMI, "CMI Uniform Rules for Sea Waybills", 1990.
5. CMI, "CMI Rules for Electronic Bills of Lading", 1990。
6. 曾國雄、張志清、鍾政棋，載貨證券專論，二版，作者自行，民國八十九年一月。
7. UNCITRAL Secretary-General, "Electronic Data Interchange Report", A/CN. 9/350.
8. BOLERO, "Standard Trade Settlement Protocols", [www.bolero.net](http://www.bolero.net).
9. 電子簽章法及總說明，民國九十年十一月公布。
10. 張冀明，「論電子簽章法之『電子簽章』」，月旦法學雜誌，第五十九期，民國八十九年四月，頁 123。
11. 梁定澎主編，電子商務理論與實務，華泰書局，民國八十九年年五月。
12. 王昌斌、張志清、黃俊豪，「XML/EDI 電子載貨證券之研究」，航運季刊，第十卷第一期，民國九十年三月，頁 43。
13. UNCITRAL, "Draft Uniform Rules on Electronic Signature", 1997, A/CN.9/WG.IV/ WP84.
14. International Chamber of Commerce, "General Usage for International Digitally Ensured Commerce".
15. 張志清，「載貨證券的功能與貨損索賠：我海商法與海牙威士比規則相關規定之比較」，航運季刊，第九卷第二期，民國八十九年六月。
16. 張東亮，劃時代之國際法—漢堡規則論，文化大學出版部，民國七十年。
17. 郭懿美，資訊法規，松崗電腦圖書，民國八十九年十月。

# 運輸計劃季刊稿約

- 一、本刊歡迎國內外有關運輸之工程、經濟、規劃、管理、資訊等未經刊登於其他刊物之中、英文研究論著；已刊登者，雖使用語文不同、題目更改、或內文經改寫，均不接受投稿。已於國內外會議發表之論文，不論有無收錄於其會議資料中，除經大幅修改者外，均請作者提附該會議主辦者之同意書，並於論文中加註說明。論文如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全文或一部分或經重新編稿者，作者應提附該委託單位之同意書，並於論文中加註說明。交通部運輸研究所同仁擬投稿件如屬所內已結案或未結案之計畫者，應依照本所出版品管理作業要點第十一條之規定辦理。凡由本刊主動邀稿者，不受上述各項限制。
- 二、為便於一次刊出，來稿以二萬五千字為限，其中應包括三百字以內之摘要一篇及三至五個關鍵詞，並請註明姓名、身分證字號、戶籍地址、服務單位、職稱、聯絡地址及電話。
- 三、中文稿之題目、作者姓名、摘要及關鍵詞均請附英文。文稿中需註釋處，請標明上標無括號序碼，再於引註當頁下方加橫線排印註釋。文稿中之數學式，函數請排正體字，變數請排斜體字。圖及表中之中文字請排細明體，英文字請排 Times New Roman 體。參考文獻請按出現序排列，文稿中提及時請標明上標加括號序碼；參考文獻若為期刊上之論文，請依序書寫作者姓名（姓在前名在後）、論文篇名、期刊名稱、卷期、出版日期、起迄頁碼；若為圖書單行本，請依序書寫作者姓名、書名、版次、出版社、出版地、出版日期、起迄頁碼；參考文獻中，英文之逗點、句點均採英國式排於引號外。
- 四、來稿請備一式三份，打印清楚；照片、圖片請附寄原本，凡無法清晰辨認及製版者，恕不接受。來稿經審查完成，本刊通知刊登時，作者應無條件提供 Microsoft Word 97（含以上）版本可讀檔案格式之電腦磁碟片。
- 五、運輸計劃季刊編輯室對來稿在不變更其論點之原則下有刪改權；來稿一經發表，當酌致稿酬；其他刊物如需轉載，應同時徵得作者及本所同意；並註明出處。
- 六、來稿請附下列保證及授權書寄：105 台北市敦化北路 240 號 6 樓交通部運輸研究所運輸計劃季刊編輯室。

---

## 保證及授權書

茲保證本人著作「」  
（係屬☐理論性 ☐實務性 論著）符合運輸計劃季刊稿約之規定，刊登後並授權中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）得以任何方式利用本著作，且得授權第三人為相同之利用，本人並承諾對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）或其再授權利用之人不行使著作人格權。本人保證本著作無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情事負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。本人承諾本著作經貴刊刊登後，不再以同一稿件，或將題目更改，或將內容改編，轉投其他國內、外刊物登載，如有違反，同意貴所得公布本人姓名並永不再接受本人投稿。此致  
中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）  
立保證及授權書人（所有作者均請簽章，姓名後註明身分證字號）：

中 華 民 國 年 月 日

# Transportation Planning Journal Quarterly

## GUIDELINES FOR THE SUBMISSION OF PAPERS

1. The Journal welcomes the submission of previously unpublished research papers from all countries, which are related to engineering, economics, planning, management, and information processing of transportation systems. Previously published papers, even if published in a different language, with a different title, or modified contents, will not be accepted. Unless drastically revised since conference presentation, papers which have been previously presented in domestic or international conferences, regardless of whether they had been included in the conference proceedings or not, must be submitted with a letter of consent from the conference organizer, and such a presentation must be duly noted in the paper itself. Papers which duplicate or contain portions of study reports of research projects, edited versions thereof, or funded by government agencies or private organizations, should be submitted with a letter of consent from the funding agency, and this must be duly noted in the paper itself. Papers submitted by the staff of the IOT should comply with its 'Guidelines for Publications'. The above terms do not apply to invited papers and articles.
2. The length of submitted papers should not exceed 25,000 characters/words, and should include an abstract of no more than 300 characters/words, as well as 3 to 5 key words, and the author's name and position, institution, contact address, and telephone number.
3. Papers written in Chinese should also carry an English version of the abstract, including the title of the paper, the name of the author, and key words of the paper. References should be numbered consecutively in the order in which they first appear in the text. In references, the author's name (beginning with the last name) should be listed first, then the article's or book's title, journal, volume number, place of publication, date of publication, and page numbers. The Times New Roman font should be used for the English version. Print all the mathematical equations and functions. And variables should be typed in italics.
4. Papers should be submitted with three copies of manuscript typed in a clearly legible form accessible by the Microsoft Word 97 (and above). All graphs and photographs should be submitted in originals. No illegible submissions will be accepted. Once accepted, the author should provide a floppy disk of the paper in the prescribed form upon its acceptance.
5. The Editor's Office of the Transportation Planning Journal Quarterly (TPJ Quarterly) reserves the right to edit and make any changes to the submitted papers, provided that such editing change do not alter the paper's original content. Upon the acceptance of a paper for publication, the TPJ Quarterly shall remunerate the author for the contribution of the paper. The TPJ Quarterly reserves the copyright on all of its published papers, and all reproductions of such papers must receive a prior permission of the author and this journal, and meanwhile indicate the sources.
6. All submissions should be sent to the following address:

The Editor's Office  
Transportation Planning Journal Quarterly  
Institute of Transportation  
6F, 240 Tun Hwa North Road,  
Taipei, Taiwan 105, ROC

---

## LETTER OF GUARANTEE

This letter serves to guarantee that my paper entitled “\_\_\_\_\_” (which belongs to the category of ☐ theory and methodology, ☐ applications), conforms to the “Guidelines for the Submission of Papers” of the Transportation Planning Journal Quarterly, and that I hereby authorize the Republic of China (represented by the IOT of the Ministry of Transportation and Communications) and any third party to use my paper in any form. I agree to abandon the author's right to the Republic of China (represented by the IOT of the Ministry of Transportation and Communications). I guarantee that I did not infringe upon the copyright of the paper of any other person. If I violated this rule, I should take on the responsibility for compensation to the author and to the Republic of China (represented by the IOT of the Ministry of Transportation and Communications) accordingly. I guarantee that once this paper is published in the TPJ Journal, I will not make redundant or duplicate publication (i.e., submission of the same article, or with a different title, or modified content) to other journals or periodicals in the Republic of China or any other countries. I agree that in the event of any violation of the stated terms on my part, the IOT may announce my name in public and shall reject all my papers afterwards.

This guarantee is provided to the Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications.

Signature (both author's and co-authors):

\_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_



# 運輸計劃季刊

TRANSPORTATION PLANNING JOURNAL

中華民國六十年十一月創刊

發行人：林大煜

審查者：運輸計劃季刊審查委員會

編輯者：運輸計劃季刊編輯委員會

總編輯：林大煜

主編：楊淑貞

副主編：吳玉珍

編輯：楊桂珍

出版者：交通部運輸研究所

地址：105 台北市敦化北路 240 號

網址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw)(本書同時登載於本所網站)

電話：(02)23496882

印刷所：萬達打字印刷有限公司

地址：106 台北市新生南路 3 段 84-1 號 2 樓

電話：(02)23639367・23627718

本期印製 1000 冊

經銷處：三民書局

台北市重慶南路 1 段 61 號 4 樓・電話：(02)23617511

劃撥儲金帳戶：00099985 三民書局

國家書坊台視總店

台北市八德路 3 段 10 號地下 1 樓・電話：(02)25787542

新進圖書廣場

彰化市光復路 177 號・電話：(04)7252792

劃撥儲金帳戶：22307031 鄭名秀

五南文化廣場

台中市中山路 2 號地下 1 樓・電話：(04)22260330

青年書局

高雄市青年一路 141 號・電話：(07)3324910

交通部運輸研究所運輸資訊組

電話：(02)23496880

每冊售價 100 元

中華郵政北台字第 467 號執照登記為雜誌交寄

Publisher：Transportation Planning Journal Quarterly

Editors：Editorial Board of Transportation Planning Journal Quarterly

Chairman：Mr. Lin, Dah-Yuh

Address：Institute of Transportation

Ministry of Transportation and Communications

6F, 240 Tunhua N. Rd.

Taipei, Taiwan 105, Republic of China