

# 運輸計劃

## 季刊

第三十三卷 第一期

中華民國九十三年三月三十日出版

# TRANSPORTATION PLANNING JOURNAL

Quarterly, Vol. 33, No. 1

March 30, 2004

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

- 以政府觀點發展 BOT 計畫財務模型 ..... 康熙宗・馮正民・黃思綺 1  
Development of the BOT Financial Model from the Government's Perspective  
..... Chao-Chung Kang, Cheng-Min Feng, and Szu-Chi Huang
- 高速公路電子收費系統之車道配置及其成本效益分析 ..... 張學孔・賴禎秀・吳清慈 29  
Lane Allocation and Cost-Benefit Analysis of Highway Electronic Toll Collection  
System ..... Shyue-Koong Chang, Chen-Hsiu Lai, and Ching-Tsyu Wu
- 因應臨時事件機場共用櫃檯即時指派之研究 ..... 顏上堯・杜宇平・陳怡妃 59  
Real-Time Reassignments of Common-Use Counters Following Airport Incidents  
..... Shangyao Yan, Yu-Ping Tu, and Yi-Fei Chen
- 家戶機動車輛持有狀態與使用需求模式之研究 ..... 周榮昌・劉祐興・王薇晴 83  
Household Joint Decision on Car/Motorbike Ownership Status and Use  
..... Rong-Chang Jou, Yu-Hsin Liu, and Wei-Ching Wang

### 實務篇 Applications

- 流量管制雛型系統之建立與測試 ..... 戴佐敏・張淳智・劉仲祥 115  
Preliminary Development and Testing of a Flow Control System  
..... Melody D. M. Dai, Cheng-Chih Chang, and Jong-Shyang Liou
- 運輸系統安全檢核與評估作業之研究—以台北捷運公司為例 ..... 張新立・吳晉光 149  
A Systematic Approach to Explore and Evaluate the Transportation Safety Issues  
— A Case Study of Taipei Rapid Transit Corporation  
..... Hsin-Li Chang and Jinn-Guang Wu
- 考慮屬性門檻的多屬性效用方案評選模式 ..... 周宏彥・段良雄 173  
Multi-Attribute Utility Project Evaluation Models with Attribute Thresholds  
..... Hung-Yen Chou and Liang-Shyong Duann
- 應用智慧型號誌控制器執行適應性交通控制之研究 ..... 張堂賢・張智華 203  
Adaptive Signal Control via an Intelligent Traffic Controller  
..... Tang-Hsien Chang and Zhi-Hua Chang

理 論 篇

THEORIES AND  
METHODOLOGIES

# 以政府觀點發展 BOT 計畫財務模型<sup>1</sup>

## DEVELOPMENT OF THE BOT FINANCIAL MODEL FROM THE GOVERNMENT'S PERSPECTIVE

康熙宗 Chao-Chung Kang<sup>2</sup>

馮正民 Cheng-Min Feng<sup>3</sup>

黃思綺 Szu-Chi Huang<sup>4</sup>

(91 年 8 月 20 日收稿，91 年 11 月 26 日第一次修改，92 年 1 月 20 日  
第二次修改，92 年 12 月 31 日定稿)

### 摘 要

本文從政府觀點建構一個 BOT 計畫之財務解析性模式。該模式可用來解釋政府與特許公司雙方之建設期出資比率、權利金、與政府財務回收率之間的關係，並可改善及修正過去政府訂定之自償率不適用於 BOT 計畫的問題。文中以簡例分析方式，計算 BOT 計畫之民間出資比率，權利金與政府財務回收率之最佳解。由簡例分析顯示，本文所構建之 BOT 計畫財務模型具備操作性與可行性，其不但可反映政府與特許公司雙方之建設期出資比率、權利金與政府財務回收率之間的關係架構，並可修正自償率之缺失。

**關鍵詞：**BOT；財務模型；權利金；自償率

- 
1. 本研究承行政院國家科學委員會補助，編號 NSC90-2416-H-126-011，謹此致謝。
  2. 靜宜大學企管系助理教授（聯絡地址：433 台中縣沙鹿鎮中棲路 200 號靜宜大學企管系；電話：04-26328001 轉 13312；E-mail：cckang@pu.edu.tw）。
  3. 國立交通大學交通運輸研究所教授（聯絡地址：100 台北市忠孝西路一段 114 號 4 樓交通大學交通運輸研究所）。
  4. 國立交通大學交通運輸研究所碩士。

## ABSTRACT

*This paper develops an analytical model to explore the relationship among the PCCR (private construction cost ratio), GCCR (government construction cost ratio), royalty payment, and GFRR (government finance recovery ratio) from the government's perspective. The purpose of this paper is to modify the drawbacks of SLR (self-liquidation ratio) in the present BOT financial model in which the SLR cannot be appropriately used to analyze the government cost and financial recovery in the BOT projects. In this paper, a numerical example is conducted to find the optimal solution for PCCR, GCCR, royalty payment, and GFRR. The results of numerical example show that the BOT financial model could be operational and explain the relationship of PCCR, GCCR, royalty payment, and GFRR in the BOT projects.*

**Key Words:** BOT; Financial model; Royalty; Self-liquidation ratio

## 一、前言

過去政府在推動完全由政府興辦的重大交通建設時均要求辦理財務計畫，在財務計畫中操作自償率分析的作用在釐清建設期間政府所投入的建設成本有多大比率能由該項交通建設營運期間之淨收入償還，從而區別建設資金籌措之來源。若政府資金全由公債籌措，則發行乙類公債以籌措計畫可自償之部分，發行甲類公債籌措計畫非自償部分，並由國庫償還甲類公債，由計畫盈餘償還乙類公債。目前政府推動交通建設 BOT 計畫亦要求辦理自償率分析，然自償率指標應用於 BOT 計畫會產生意義模糊之問題（陳天賜、徐榮崇<sup>[1,2]</sup>），且目前對自償率指標之使用僅限於訂定政府與民間雙方投資比率（Chang 和 Chen<sup>[3]</sup>），權利金議題則幾乎與其脫鉤。

因此，如何對自償率重新思考，運用財務工程手段建構一財務分析模型，讓政府能以政府財務回收率取代自償率作為 BOT 計畫中政府資金籌措方式之規劃指標，同時引入傳統財務理論學理基礎最完備之 NPV 法作為民間資本預算之財務指標，並將政府財務回收率與特許契約相關議題諸如政府與民間出資比率、營運權利金予以整合思考，使政府與民間就 BOT 計畫協商時能有一適用的財務分析模型可供談判基準，是本研究之主要目的。本文內容共分六部分，首先將研究動機與目的說明於前言；第二部分為文獻回顧；第三部分則是研究問題說明與研究範圍；第四部分則是構建 BOT 計畫財務模型，再者為簡例分析，最後為結論與建議。

## 二、文獻回顧

國內外探討 BOT 計畫相關課題不勝枚舉，舉凡 BOT 計畫風險衡量（馮正民、康熙宗



<sup>[4,5]</sup>), 風險分析與管理 (Walker 和 Smith<sup>[6]</sup>; Wang 等人<sup>[7]</sup>), 財務融資規劃 (Finnerty<sup>[8]</sup>)或法律契約關係等課題, 皆有廣泛與深入的探討。近來更深入討論 BOT 放棄價值的評估 (張大成、賴景昌<sup>[9]</sup>; Trigeorgis<sup>[10]</sup>; 陳宥杉<sup>[11]</sup>), 未具完全自償能力之補貼措施 (簡龍鳳<sup>[12]</sup>) 及 BOT 計畫外部性效益內部化 (陳明吉、花敬群、張金鵬<sup>[13]</sup>) 課題。

有關自償率 (self-liquidation ratio) 一詞, 從國外 BOT 計畫投資案例中, 並未發現有所謂自償率指標 (Walker 和 Smith<sup>[6]</sup>; Sidney<sup>[14]</sup>)。然究其衡量指標來看, 基本上, 自償率與益本比無異 (陳天賜、徐榮崇<sup>[1,2]</sup>; 黃明聖<sup>[15]</sup>; 交通部<sup>[16]</sup>; Asensio 和 Roca<sup>[17]</sup>)。而國外有關計畫投資評估是計算 IRR 或 NPV 折現流量 (discounted cash flow) 作為決策分析之用, 如 Finnerty<sup>[8]</sup>建議以 IRR 或 NPV 法評估 BOT 財務計畫。倒是 Chang 和 Chen<sup>[3]</sup>及 Lu 等人<sup>[18]</sup>討論台灣 BOT 高鐵計畫仍沿用自償率指標。但以財務計畫理論<sup>[8]</sup>以及相關計畫案例<sup>[17,19]</sup>而言, 財務評估指標仍以 B/C、IRR 或還本期 (PY) 或 NPV 法居多。嚴格來說, 我國 BOT 計畫之自償率應歸類於益本比法, 即傳統財務指標中的獲利能力指數 (Profitability Index, PI)。

由此看來, 長期以來, 成本效益分析 (Daniel<sup>[19]</sup>; Hanspeter<sup>[20]</sup>)、或 NPV、IRR (Finnerty<sup>[8]</sup>; Farrell<sup>[21]</sup>) 一直為計畫投資評估之重要依據。然由不同角度分析 BOT 計畫效益或政府獨資經營之計畫效益, 則有不同財務現金流量架構, 在此觀點下, 自償率便產生適用性之爭議。如陳天賜、徐榮崇<sup>[1,2]</sup>即說明不同投資計畫方案比較時, 自償率、內部報酬率 (IRR) 與淨現值 (NPV) 會產生指標與方案不一致的現象。而考量民間投資因素, 無論自償率大於 1 或小於 1, 政府投資之自償率不適用於 BOT 模式。因此, 針對政府與民間合辦之 BOT 計畫, 應以民間公司所繳予政府的租金或權利金之現值與政府投入建設成本的比率, 代替自償率, 此即所謂「民營化之政府財務回收率」觀念。以此觀之, 交通部所訂定之自償率應屬政府執行公共建設計畫之自償性比率, 亦即「中央政府建設公債及借款條例」所指之甲乙類公債而言。

黃明聖<sup>[15]</sup>則是把自償率區分為「完全由政府投資自償率」與「民間參與投資自償率」, 其定義「民間參與投資自償率」等於民間投資規模比率。若民間投資該比率, 則可保證民間投資者獲得其設定的稅前股權報酬率, 此與交通部所訂定之自償率涵意截然不同。Chang 和 Chen<sup>[3]</sup>討論台灣高鐵計畫財務分析模型時, 以民間投資的自償率設定民間於興建期投資比率, 訂定民間之投資額其自償率恆為 1, 依此計算建設期民間投資比率。並藉由調整權利金、民間特許公司償債方式等參數進行情境分析, 尋找政府、特許公司、融資者三方均能接受的情境。Chang 和 Chen 模型中討論到權利金訂定問題, 權利金之訂定非由民間投資自償率決定, 但政府投資之自償率則完全未予以分析。

由於 BOT 財務計畫目的在於進行風險分攤 (Finnerty<sup>[8]</sup>), 其中, 權利金即屬風險分攤工具之一, 也是民間公司營收與政府財務支出回收之間的平衡機制。觀乎目前相關 BOT 計畫案例, 權利金訂定與收取係採務實性作法 (交通部<sup>[16]</sup>), 即雙方契約訂定以協商方式來決定權利金收取額度問題, 如國內 BOT 高鐵計畫即屬之。此種作法係將 BOT 計畫權利金收取與自償率之間各自獨立運作, 二者無關。但是權利金之實質選擇權卻提供財務與風

險規避之平台作用，這個觀念說明，BOT 公司可利用選擇權買賣方式進行財務風險之避險動作。而現階段國內 BOT 計畫有關權利金收取與自償率分開來談，此實務作法與財務工程觀念有出入。在此狀況下，國內 BOT 計畫實務運作上面臨欠缺訂定權利金收取之機制問題。Windsperger<sup>[22]</sup>以所有權觀點分析加盟體系權利金問題，但 Windsperger 並無就加盟費與權利金提出明確計收方式。吳善楹<sup>[23]</sup>利用線性規劃法構建 BOT 計畫權利金收取模式之問題，其中，權利金計收方式可以營運收入、運量、總收入及利潤為基礎，收取方式可分一段式、兩段式、多段遞增收取、多段遞減收取、分年收取固定金額、一次收取固定金額及分年收取最適金額等方式。

從上述文獻發現，國內文獻除了陳天賜、徐崇榮、黃明聖等作者對 BOT 計畫之自償率有不同見解，其餘研究皆不討論自償率適用性問題。而吳善楹雖提出 BOT 計畫權利金收取模式，惟該權利金與自償率仍是脫節，至於自償率與權利金收取及相關課題之討論的文獻，則顯得少見。

### 三、研究問題說明與範圍界定

在構建模式之前，本研究先說明本文之研究問題，其次說明研究範圍。

#### 3.1 研究問題說明

基本上，有關自償率之定義已於 Musgrave<sup>[24]</sup>書中有所提及。Musgrave 將自償性定義為「計畫案的營收可以支持建設期的投資成本，如同公營企業可貸款投資，具生產性之投資計畫亦兼有營收與擴大稅基效果（參見陳天賜、徐崇榮<sup>[2]</sup>）。而交通部所頒訂「政府對民間機構參與交通建設補貼利息或投資部分建設辦法」之第二條，將自償率定義為「營運評估年期內建設計畫與附屬事業各年現金淨流入現值總額與工程興建年期內所有工程建設經費各年現金流出現值總額之比值」；定義如式(1)。

$$SLR = \frac{\sum_{t=n+1}^N [(R_t - J_t)/(1+i)^t]}{C_{Gov}} \quad (1)$$

其中，時間  $t$ ， $t = 0 \sim n$  為式(1)中之興建期， $t = n+1 \sim N$  為營運期； $R_t$  為  $t$  時點的計畫名目總營收，計畫總營收含公共建設計畫營運收入、附屬事業收入、資產設備處分率； $J_t$  為  $t$  時點的名目營運成本、維修成本及重置成本（不含稅與利息支出）； $i$  為折現率； $C_{Gov}$  為建設期建設成本（含增額土地取得成本、工程費用、建設期間利息成本、設計作業成本）折算至建設期起始年度現值總額，各變數值大於等於零（工程會<sup>[25]</sup>）。此概念可以由圖 1 表示之。

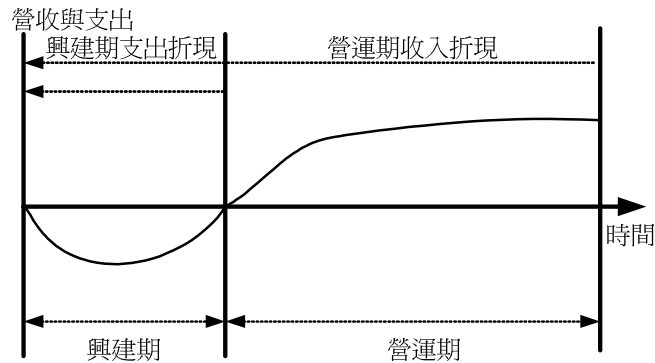


圖 1 自償率概念

由 Musgrave<sup>[24]</sup> 與式(1)可知，自償率與益本比無異。因此，當  $SLR \geq 1$  時，表 BOT 計畫之營運期收入除可支付興建與營運期成本外，尚有盈餘，故 BOT 計畫在財務上有完全自償能力；反之，當  $SLR < 0$  時，表 BOT 計畫不具財務自償能力。若  $0 \leq SLR \leq 1$  時，表示 BOT 計畫營運期之總收入可支應營運成本，但無法完全支應興建成本，故只有部分財務自償能力。換言之，該 BOT 計畫財務效益低，故民營化可行性不高。但是，政府可藉由提升式(1)之分子或降低分母值，擴大  $SLR$  值，增加民營化的可行性，此即所謂獎勵誘因配套機制。

而自償率是否可作為 BOT 計畫分析之用，可由政府獨資興建與營運以及 BOT 計畫之財務流量概念來說明。

### 3.1.1 政府獨資計畫之現金流量概念

就某項公共建設而言，政府若採取獨資興建營運，此項建設計畫之興建資金來源有一般國庫及甲、乙類公債，興建完工後開始營運，政府可向使用者收取使用費（或稱通行費），該使用費收入即是政府營運收入，此營運收入除用來支付營運成本、維修成本、折舊等項外，亦用來償還甲類、乙類公債，產生所謂計畫自償性問題。由此推知，式(1)之自償率應是以政府財務現金流量觀點來分析，觀念如圖 2 所示。

### 3.1.2 BOT 計畫現金流量觀念

圖 2 觀念說明，完全由政府投資興建與營運之公共建設計畫，其自償率意味著政府的投資額可由計畫本身營收償還的比率。若政府基於減輕財政壓力理由，將原先由政府獨資興建與營運之公共建設方式改以 BOT 方式辦理，則圖 2 之現金流量結構將改變為圖 3 概念。

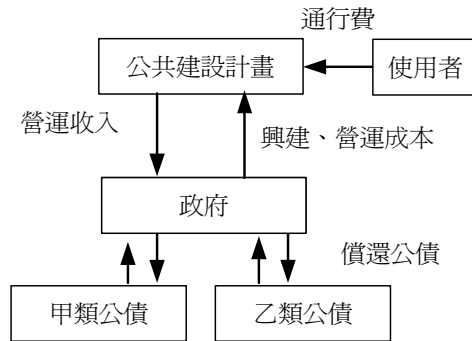


圖 2 政府獨資興建與營運

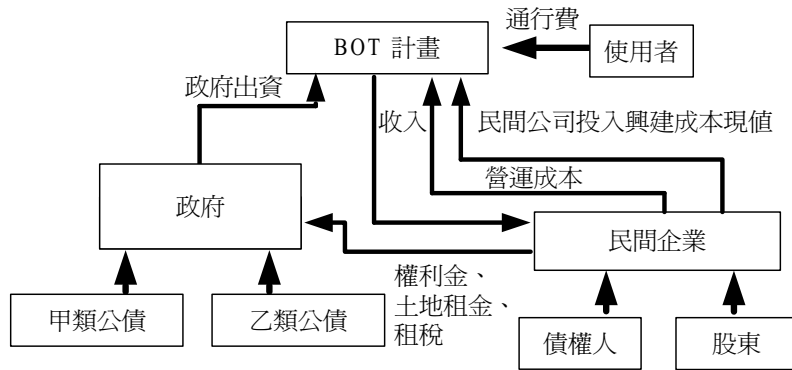


圖 3 BOT 計畫現金流量關係架構

由於在 BOT 計畫過程中，加入民間資金部分，因此，公共建設之投入成本係由政府與民間特許公司各負擔一部分；政府出資部分來源有甲、乙類公債，政府出資方式可以採金錢或非金錢方式，金錢方式由政府編列預算，直接或間接參與 BOT 計畫建設工作，或者採非直接方式投資，如政府編列預算協助民間取得土地用地。民間出資部分則是民間權益資金與債權資金，民間出資資金用於興建成本與未來營運支出。政府在 BOT 計畫之興建期或營運期須向民間收取營運權利金和租金，償還乙類公債支出。由於民間是 BOT 計畫營運者，因此，營運期之營運收入與其他附屬事業收入由民間取得，民間再利用營運收入支付繳交政府權利金。

如此，由圖 3 之現金流量結構可知，BOT 計畫與政府獨資興建與營運之現金流量結構產生變化，BOT 計畫之成本支出具有民間與政府共同出資概念，政府向民間收取之權利金或其他收入用以支付政府出資部分的比率是屬於政府財務回收比率；民間藉由營運收入支付民間出資部分與營運成本，方為民間投資報酬。因此，由圖 2 與圖 3 之資金流量結構知，目前政府所訂定自償率原意若為政府獨資計畫之獲利能力指數 (PI)，該指標考量稅前息前之現金流只能表達圖 2 中政府獨資計畫之項目，且指標中建設成本不應加計資本化

利息，使用目的則為據以區分建設主管機關之財務回收責任以償還公債。若將其更改為 BOT 計畫中之民間獲利能力指標用，則指標中項目之內涵必然與作為政府獲利能力指標時不同，如此該指標意義與作用將模糊不清。而自償率指標之構成項目一經定義就無法再同時作為政府獨資計畫之獲利能力指標或者 BOT 計畫中政府與民間雙方之獲利能力指標。因此明確定義自償率指標使之回歸於政府獨資計畫之獲利能力指數，另定義一財務指標來表達 BOT 計畫中之政府獲利能力指數實有必要。建設期出資比率與營運權利金之設計機制也應同時與政府所使用的財務評估指標及民間企業傳統使用的財務評估指標做緊密結合，於財務談判議題之決策上才有連貫性。

在圖 3 中之土地租金與稅金部分是政府依法必須向特許公司收取，部分有專款專用之約束。而 BOT 計畫之權利金收取與否在文獻上也有一番爭論，但是，Barzel<sup>[26]</sup>之所有權經濟概念則顯示，所有權是公眾資源之一種，在此權利下所取得之資源必須負擔相對準租 (qusai-rent)。同時，所有權可作為選擇契約形態之工具（參見該書之第三章）。依此概念，BOT 計畫權利金是特許公司向政府取得公眾資源之所有權所必須相對負擔之準租。另由工程會研究角度來看，基於特許權利觀念，保障政府應收利益、兼顧特許公司追求利潤目標。政府應向 BOT 特許公司收取權利金，此合理權利金設計是財務評估不可或缺要項，該權利金設定方式可包含開發權利金與經營權利金兩項。

### 3.2 研究範圍

由圖 3 可知，政府與特許公司會就特許契約議題如權利金、出資比率、財務報酬率等進行談判，此談判係屬特許契約談判架構；特許契約談判可以三方談判（政府、特許公司與融資機構），亦可以雙方談判，即特許公司與政府雙方進行談判，不涉及融資機構。三方或雙方談判並無定論，按台北港案例，台北港 BOT 計畫特許契約屬雙方談判。但本文所討論之權利金則是在進行權利金收取額度與方式，權利金談判問題則不在研究範圍內。

由於本研究所討論係權利金收取問題，此則涉及政府與民間特許公司對權利金認定立場問題，而本文所處理問題係以政府角度分析權利金收取問題。另外，本研究討論議題係假設 BOT 計畫已經進入議約階段，至於 BOT 計畫所帶來之內部或外部經濟效益者屬於計畫規劃與評估階段，不在本文所討論範圍內。

## 四、建構 BOT 計畫財務模型

本研究設定營運權利金為政府用以防止特許公司獲取超過合理報酬之手段，不宜增加特許公司之營運風險及財務風險，也不宜為特許公司製造稅盾效果，故設計其之於特許公司之支付優先性低於待償債務本利之後，股利之前；且不可抵稅。

從文獻來看，在特許契約中對權利金收取方法採實務性協商作法，BOT 計畫權利金收取計算方式則有許多方法，有以總營收或營運量為計算基準，權利金可隨營收或運量遞

增、遞減或固定方式計算，亦有採固定金額方式，或以固定權利金及變動權利金混合實施，至於採取哪一種方式較為適宜，並無定論。一般而言，權利金收取以固定式最簡便，以運量或總營收之遞增或遞減方式最能反映特許經營效益。

本文以固定金額，總營收及運量為基礎，討論權利金計算方式。茲將此三種方式說明如下：

- A. 固定金額方式 (模式一)：此方式係名目分年營運權利金依一定金額作為權利金之計算方式，並假設此金額年成長率為  $\beta$ ， $\beta > 0$  代表分年營運權利金呈直線正成長， $\beta < 0$  代表分年營運權利金呈直線負成長， $\beta = 0$  代表分年營運權利金為固定值，亦即未來特許期限內每年收取一定權利金額。
- B. 以總營收計算權利金 (模式二)：此方式係名目分年營運權利金依計畫年度總營收之一定比率收取，設此比率年成長率為  $\alpha$ 。當  $\alpha > 0$  代表比率呈直線正成長， $\alpha < 0$  代表比率呈直線負成長且為直線遞減， $\alpha = 0$  代表比率為固定值。
- C. 以運量計算權利金 (模式三)：此方式係名目分年營運權利金依計畫年營運量之一定乘數收取，設此乘數年成長率為  $\phi$ 。 $\phi > 0$  時，表乘數呈直線正成長； $\phi < 0$  時，表乘數呈直線負成長為直線遞減；當  $\phi = 0$  時，表乘數為固定值。

除了上述方式外，實務上，政府在推動 BOT 計畫可視計畫特性與民間特許之財務計畫，採行不同或更複雜之權利金收取方式，惟本文先就上述 A、B 及 C 方式進行推導，其餘較為複雜方式可為後續研究課題。

#### 4.1 固定式權利金收取方式

如模式一之說明，在推導權利金收取計算方式時，本文延續圖 3 概念，假設 BOT 計畫特許期分為興建期 ( $t = 0 \sim n$ ) 與營運期 ( $t = n + 1 \sim N$ )，政府無投資聯合開發或附屬事業，政府在營運期內自某一年度起每年收取營運權利金，且政府無對特許公司金錢補貼。特許期間結束後民間將該建設計畫之產權無償轉移給政府，其殘值不計，政府資金完全以政府債信籌措，權利金不可抵稅，政府規劃成本不計；此方式之 BOT 計畫按 WACC 法評價之現金流結構如圖 4 所示，相關變數定義如後。

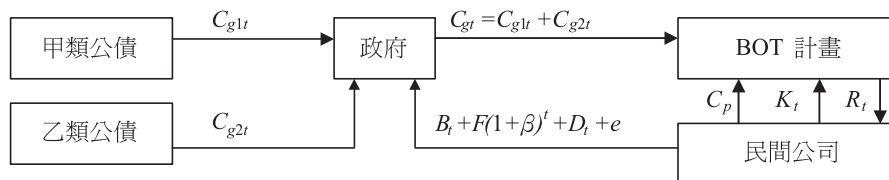


圖 4 BOT 計畫現金流量—分年營運權利金為一定金額，按年成長率  $\beta$  成長

圖 4 之 BOT 計畫現金流量概念說明，政府參與 BOT 計畫之資金來源來自於甲、乙類公債，此與民間資金部分共同組合用於 BOT 計畫之建設期，民間另一部分資金則用於營運期之營運成本與相關成本支出，同時收取營運收入，並支付  $B_t + F(1 + \beta)^t + D_t + e$  之土地租金、權利金、租稅與開發金予以政府，政府藉由所收取之土地租金、權利金、租稅與開發金，償還其所借貸甲乙類公債。由此一資金流量架構可知，權利金與政府出資、民間出資、政府財務回收有關。在構建權利金模式前，茲將相關變數符號定義如下：

$C_{gt}$ ： $t$  時點的政府投入興建成本；

$C_{g1t}$ ： $t$  時點由甲類公債支付的政府投入興建成本；

$C_{g2t}$ ： $t$  時點由乙類公債支付的政府投入興建成本；

$C_{pt}$ ： $t$  時點民間特許公司投入的興建成本；

$C$ ：BOT 計畫之建設期間興建成本（含增額土地取得成本、工程費用，不含資本化利息）折算至建設期起始年度現值總額；

$C_g$ ：政府投入興建成本折算至建設期起始年度現值總額；

$C_{g1}$ ：由甲類公債支付的政府投入興建成本折算至建設期起始年度現值總額；

$C_{g2}$ ：由乙類公債支付的政府投入興建成本折算至建設期起始年度現值總額；

$C_p$ ：民間特許公司投入的興建成本折算至建設期起始年度現值總額；

$K_t$ ：為  $t$  時點的名目營運成本（含維修成本、重置成本、人事成本、淨營運資金變動、其他成本，不含土地租金、權利金、利息支出）；

$B_t$ ：每期土地租金（名目）；

$T_c$ ：專案邊際稅率；

$D_t$ ： $t$  時點特許公司未舉債情況下所負擔的租稅；

$e$ ：開發權利金折算至建設期起始年度現值；

$L$ ：建設成本事先由政府承諾負擔部分折算至建設期起始年度現值總額， $L$  包含於  $C_g$ ；

$h$ ：營運權利金收取起始年度， $h$  為營運期內某時點， $n+1 \leq h \leq N$ ；

$F$ ：營運權利金徵收起始年度之名目金額；

$\beta$ ：分年營運權利金年成長率， $\beta > 0$  代表分年營運權利金呈直線正成長， $\beta < 0$  代表分年營運權利金呈直線負成長， $\beta = 0$  代表分年營運權利金為固定值。為確保權利金不為負， $\beta > -1$ 。

上述變數中，除  $\beta$  以外，其餘變數皆  $\geq 0$ 。

本模式設計營運權利金徵收起始年度為營運期中某一時點，此彈性時點之決定可作為談判議題。若營運初期特許公司的財務風險較高，政府可考慮延後收取營運權利金的時點而非在營運期第一年即開始收取，如此一來可降低營運期初期特許公司的財務風險。

由圖 3 知，BOT 計畫建設成本由政府與民間共同出資，因此，在建設成本分攤比率概念下，可定義政府出資比 (GCCR, government construction cost ratio) 與民間出資比

(PCCR, private construction cost ratio)，如式(2)與式(3)。

$$\text{政府出資比： } GCCR = \frac{C_g}{C} = \frac{C_g}{C_g + C_p} \quad (2)$$

$$\text{民間出資比： } PCCR = \frac{C_p}{C} = \frac{C_p}{C_g + C_p} \quad (3)$$

將式(2)與式(3)運算得  $C_g = GCCR \times C$ ， $C_p = PCCR \times C$ ；因  $C_g + C_p = C$ ，兩邊各除以  $C$ ，得  $GCCR + PCCR = 1$ 。又因政府須負擔所承諾之部分建設成本，故  $C_g \geq L$ ，得知  $\frac{L}{C} \leq GCCR \leq 1$ ，由於  $GCCR + PCCR = 1$ ，故  $PCCR$  上下限為：

$$0 \leq PCCR \leq 1 - \frac{L}{C} \quad (4)$$

式(4)為政府負擔土地取得成本下，所推得  $PCCR$  之上下限，民間出資比上限會反映政府徵收土地成本。由於在一般財務理論中，NPV 係學理上最完備的評估指標（參見 Finnerty<sup>[8]</sup>）。假設民間以 WACC 加權平均資金成本方法評價 BOT 計畫，該價值為計畫總營收（含業內收入與業外收入）減去各項支出及期初投入成本之淨現值，定義為變數  $NPV_{p1}$ 。利用圖 4 與式(2)、(3)概念，得  $NPV_{p1}$  值為：

$$NPV_{p1} = NI - e - F \cdot factor_{p1} - PCCR \cdot C \quad (5)$$

$$\text{其中， } NI = \sum_{t=0}^N \frac{R_t - K_t - B_t - D_t}{(1+r)^t} ; factor_{p1} = \sum_{t=h}^N \frac{(1+\beta)^{t-h}}{(1+r)^t} ; r \text{ 為特許公司之 BOT 專案}$$

經風險調整稅後資金成本 (risk-adjusted discount rate)，且假設  $r > i$ 。

在有徵稅的情況下，BOT 專案稅後加權平均資金成本定義為：

$$r = r_B \times (1 - T_c) \times \left( \frac{B}{S + B} \right) + r_S \times \left( \frac{S}{S + B} \right) \quad (6)$$

上式中  $r_B$ ：BOT 專案長期負債資金成本； $r_S$ ：BOT 專案權益資金成本。 $B$ ：BOT 專案債權市值； $S$ ：BOT 專案權益市值。

一般研究多採用特許公司之加權平均資金成本作為特許公司計算 BOT 計畫淨現值時所使用的折現率。惟在特許公司尚有其他計畫進行時，特許公司整體加權平均資金成本僅能反映在特許公司所有計畫平均風險下所應要求的風險性報酬率；因此 BOT 計畫是否採用特許公司加權平均資金成本作為其計畫折現率，應視該計畫之風險是否為特許公司所承受之平均風險水準而定。本研究為求一般化，乃採用 BOT 專案經風險調整之稅後資金成本作為計算 BOT 計畫特許公司淨現值之折現率。



由於本研究採用 WACC 法評價 BOT 計畫，式(5)淨現值公式分子之淨現金流量不考慮利息費用，故可知分子之租稅  $D_t$  不需考慮利息費用的稅盾效果。

民間特許公司在評估投資財務計畫時係以  $NPV_{p1} \geq 0$  作為決策準則，但政府為追求自身的獲利最大化，會設定  $NPV_{p1} = 0$ ，利用出資比率及營運權利金之設計使計畫之利潤由民間公司轉移給政府，並使特許公司恰獲取其事先設定的風險調整報酬率，此概念即是黃明聖<sup>[15]</sup>訂定 BOT 計畫中民間投資規模比率的概念，也是 Chang 和 Chen<sup>[3]</sup>模型中 Check Index 設為 1.0 的初衷。因此，令式(5)  $NPV_{p1} = 0$ ，即  $NI - e - F^* \times factor_{p1} - PCCR \times C = 0$ ，此式移項運算，得政府可獲得最大的營運權利金現值總和為：

$$F^* \times factor_{p1} = NI - e - PCCR \times C$$

$$\text{得 } F^* = (NI - e - PCCR \times C) / factor_{p1} \quad (7)$$

由式(7)可看出  $F^*$  與  $PCCR$  成反比，推知  $F^*$  與  $GCCR$  成正比。亦即民間於興建期所投入成本愈多，在固定報酬率的考量下，所願意負擔的權利金就愈低。相對地，政府興建成本愈高，在政府財務考量下，政府所希望收取權利金愈高。由於分年營運權利金不為負，故式(7)之分子  $\geq 0$ ，即：

$$NI - e - PCCR \times C \geq 0 \quad (8)$$

將式(8)移項運算得  $PCCR$  之上限條件為：

$$PCCR \leq \frac{1}{C}(NI - e) \quad (9)$$

式(4)與(9)同時成立時，得民間出資比率區間為：

$$0 \leq PCCR \leq \min \left[ 1 - \frac{L}{C}, \frac{1}{C}(NI - e) \right] \quad (10)$$

式(10)顯示，受到政府事先承諾負擔部分建設成本、營運權利金不為負數兩個條件影響，民間出資比率區間受到限制。影響因素有政府事先承諾負擔之建設成本、興建成本、特許公司營運期收支、開發權利金等因素。另由式(10)知，為避免  $PCCR$  上下界互相矛盾使得  $PCCR$  無解，式(9)中之  $(NI - e) \geq 0$  需成立。若  $(NI - e) = 0$ ，則式(10)推得民間出資比  $PCCR = 0$ ，且由式(8)得知營運權利金  $F = 0$ ，如此該 BOT 計畫變成 OT 模式（政府興建，委由民間公司營運）。若  $(NI - e) < 0$  意即特許公司於營運期有虧損，非但無法以計畫營收負擔營運權利金，也無投入興建成本之利潤誘因。在這種情形下，該 BOT 計畫無法適用於權利金計收模型，政府反而應考慮補貼。

另由圖 4 現金流量知，BOT 計畫涉及政府支出與政府向 BOT 公司收取權利金，此權利金收取占政府出資之比即陳天賜 (1995) 所提「民營化之政府財務回收率」概念。在政府支出與政府財務回收概念下，產生 BOT 計畫政府財務回收率意義，此與交通部訂定之

自償率涵義有差異。

本文定義政府財務回收率  $GFRR$  (government finance recovery ratio) 為政府支出可由計畫本身回收的比率，實質上  $GFRR$  即為 BOT 計畫中政府應用獲利率指數評估自身財務所使用的指標。以圖 4 概念而言，得知  $GFRR$  為

$$GFRR = \frac{1}{C_g} [e + rental + F \times factor_{g1}] \quad (11)$$

其中， $rental = \sum_{t=0}^N \frac{B_t + D_t}{(1+i)^t}$ ； $factor_{g1} = \sum_{t=h}^N \frac{(1+\beta)^{t-h}}{(1+i)^t}$ ； $i$  為政府公債利率。

式(11)說明政府藉由向特許公司收取營運權利金、開發權利金與土地租金來支應政府出資成本。政府財務回收率與收取權利金現值總和成正比關係。換言之，當政府所訂財務回收率越高，需向民間特許公司收取更多開發權利金、地租、營運權利金。比較式(11)與式(1)，兩者差異在於式(1)係以政府獨資興建營運角度來分析政府財務自償能力，而式(11)是以 BOT 計畫政府與民間合資角度分析。式(11)顯示，政府財務回收率與政府出資率及權利金收取額度有關，政府財務回收率隨著權利金收取遞增而增加，隨著政府出資率增加而遞減。但式(1)則是單純效益與成本比，無法顯示政府出資與權利金及政府財務回收之間的關係；此說明，交通部所訂定之自償率 ( $SLR$ ) 並無法顯示民間參與公共建設政府的財務報償，因此，傳統自償率指標並不適用於 BOT 計畫。又政府財務回收必有部分或全部用以償還乙類公債，故  $GFRR \geq \frac{C_{g2}}{C_g}$  顯應成立。

要尋找政府財務回收率則可利用式(2)、(3)、(7)、(11)及  $GCCR + PCCR = 1$ ，計算得  $GFRR^*$  與  $PCCR$  之關係式為：

$$GFRR^* = \frac{1}{C \times (1 - PCCR)} \left[ e + rental + \left( \frac{factor_{g1}}{factor_{p1}} \right) (NI - e - PCCR \times C) \right] \quad (12)$$

式(12)之  $PCCR \neq 1$ ，若  $PCCR = 1$ ，則  $GFRR^*$  不可計算。換言之，當 BOT 計畫由民間完全出資興建營運時，政府出資為零，則不必計算其財務回收率。更進一步探究，政府雖未出資卻仍有現金流入，其意義為計畫有盈餘，故政府有課稅且政府利用營運權利金機制將民間超出合理報酬之利潤都收歸國有。

由式(12)可知，若  $PCCR$  決定， $GFRR^*$  即被動地決定。考量法規或政府對  $GFRR$  設有一個最低標準，因此，本定義  $GFRR_0$  為政府財務回收率下限，利用此  $GFRR_0$  來反映  $GFRR^*$  之限制條件，政府可預先決定  $GFRR_0$  值，使  $GFRR$  之解能落於此下限之上。實務上政府不會事先要求該  $GFRR_0$  必須大於 1。因政府所收取之開發權利金、營運權利金、租金、租稅等均不為負值，故政府財務回收率必大於等於零，因此設定  $GFRR_0 \in [0, 1]$  且

$GFRR^* \geq GFRR_0$ 。利用式(12)與  $GFRR_0 \in [0,1]$  關係式，得式(13)與式(14)。

$$\frac{1}{C \times (1 - PCCR)} \left[ e + rental + \left( \frac{factor_{g1}}{factor_{p1}} \right) (NI - e - PCCR \times C) \right] \geq GFRR_0 \quad (13)$$

$$PCCR \leq \frac{\left[ e + rental + \left( \frac{factor_{g1}}{factor_{p1}} \right) (NI - e) - GFRR_0 \times C \right]}{\left[ C \times \left( \frac{factor_{g1}}{factor_{p1}} - GFRR_0 \right) \right]} = X_1 \quad (14)$$

式(14)為在政府財務回收率有下限下所得到之  $PCCR$  上界。再利用式(10)與式(14)，運算得  $PCCR$  區間為：

$$0 \leq PCCR \leq \min \left[ 1 - \frac{L}{C}, \frac{1}{C} (NI - e), X_1 \right] \quad (15)$$

式(15)為在政府事先承諾負擔部分建設成本、營運權利金不為負及政府財務回收率有下限條件下之限制範圍。此  $PCCR$  上限條件最小範圍為式(4)、(9)與(14)三個上限條件中取最小者。但為確保  $PCCR$  不會產生無解情形，式(15)之  $X_3$  需  $\geq 0$ ，故該式分子

$$\left[ e + rental + \left( \frac{factor_{g1}}{factor_{p1}} \right) (NI - e) - GFRR_0 \times C \right] \text{ 需 } \geq 0 \text{。左右移項運算得：}$$

$$GFRR_0 \leq \frac{1}{C} \times \left[ e + rental + \left( \frac{factor_{g1}}{factor_{p1}} \right) (NI - e) \right] = X_2 \quad (16)$$

式(16)顯示，為確保  $PCCR$  有可行解，政府財務回收率下限受特許公司之營運收支、土地租金、租稅、開發權利金、建設成本等因素限制。利用式(16)與  $GFRR_0 \in [0,1]$  關係式，得式(17)。

$$0 \leq GFRR_0 \leq \min[1, X_2] \quad (17)$$

式(17)代表政府預先設定政府財務回收率下限時兼顧實務做法及民間出資比率之區間，故而有  $GFRR_0$  之限制範圍。至於  $GFRR_0$  究應如何設定，應與  $\frac{C_{g2}}{C_g}$  比率之決策有關。

倘若欲設定  $GFRR_0$  大於 1，則  $GFRR_0$  及  $PCCR$  之區間將會不同。

由式(15)知，若政府追求最大民間出資率，其  $PCCR$  最佳解  $PCCR^*$  為：

$$PCCR^* = \min \left[ 1 - \frac{L}{C}, \frac{1}{C} (NI - e), X_1 \right] \quad (18)$$

因  $GCCR^* + PCCR^* = 1$ ，當得式(18)之民間最大出資率  $PCCR^*$  時，政府最大出資率可由  $GCCR^* = 1 - PCCR^*$  求得，再將民間出資比率  $PCCR^*$  代入式(12)與(7)中，分別得在民間出資比率最大下的政府財務回收率  $GFRR^*$  與徵收起始年度名目分年營運權利金之值  $F^*$ ，如式(19)與(20)。

$$GFRR^* = \frac{1}{C \times (1 - PCCR^*)} \left[ e + rental + \left( \frac{factor_{g1}}{factor_{p1}} \right) (NI - e - PCCR^* \times C) \right] \quad (19)$$

$$F^* = (NI - e - PCCR^* \times C) / factor_{p1} \quad (20)$$

由模式一之推導可知，政府推動 BOT 計畫時，在設定合理政府財務回收率下限後，即可得民間出資率之上限，而政府財務回收率與名目分年營運權利金之解是民間出資比率的函數。若政府將  $PCCR$  設定於  $PCCR^*$  之下，名目分年營運權利金之最佳解會大於式(20)所求得之解。

## 4.2 以總營收之一定比率收取營運權利金

考慮政府對民間特許公司依營運期內自某一年度起按總營收之一定比率收取營運權利金。因此，原圖 4 之民間公司流到政府之流量項目改為  $B_t + \theta \times (1 + \alpha)^t \times R_t + D_t + e$ ，項目包含土地租金、營運權利金、租稅與開發權利金。其中，營運權利金係以總營收之某一比率計算，以  $\theta \times (1 + \alpha)^t \times R_t$  來表示，此現金流如圖 5 概念所示。

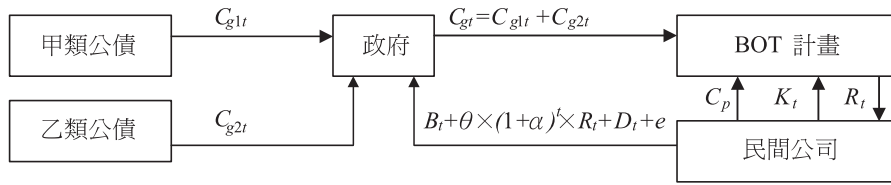


圖 5 BOT 計畫現金流量—分年營運權利金隨營收一定比率徵收

圖 5 之現金流量，除分年營運權利金計收方式與圖 4 不同外，其變數與假設條件、限制條件皆與 4.1 節相同。另外將變數  $\theta$  與  $\alpha$  定義如下：

- $\theta$ ：徵收營運權利金起始年度的分年營運權利金占總營收百分比；
- $\alpha$ ：分年營運權利金占營收百分比之年成長率， $\alpha > 0$  代表比率呈直線正成長；其中， $\alpha < 0$  表比率呈直線負成長， $\alpha = 0$  代表比率為固定值；為確保營運權利金不為負，故假設  $\alpha > -1$  與  $\theta \geq 0$ 。

依 4.1 節分析，仍假設 BOT 特許公司採 NPV 法則為投資評估基礎，計畫淨現值定義為  $NPV_{p2}$ ：

$$NPV_{p2} = NI - e - \theta \cdot factor_{p2} - PCCR \cdot C \quad (21)$$

$$\text{其中, } factor_{p2} = \sum_{t=h}^N \frac{(1+\alpha)^{t-h} \times R_t}{(1+r)^t}$$

令  $NPV_{p2} = 0$ ，該式左右運算，得最大的營運權利金現值總和為：

$$\theta \times factor_{p2} = NI - e - PCCR \cdot C$$

其次，我們根據式(11)概念，求政府財務回收率為：

$$GFRR = \frac{1}{C_g} [e + rental + \theta \times factor_{p2}] \quad (22)$$

運用與模式一相同計算過程，得到：

$$0 \leq PCCR \leq \min \left[ 1 - \frac{L}{C}, \frac{1}{C} (NI - e), Y_1 \right] \quad (23)$$

$$\text{其中, } Y_1 = \frac{e + rental + ratio_2 \times (NI - e) - GFRR_0 \times C}{C \times (ratio_2 - GFRR_0)} ; \quad ratio_2 = \left( \frac{\sum_{t=h}^N \frac{R_t \times (1+\alpha)^{t-h}}{(1+i)^t}}{\sum_{t=h}^N \frac{R_t \times (1+\alpha)^{t-h}}{(1+r)^t}} \right)$$

$$0 \leq GFRR_0 \leq \min[1, Y_2] \quad (24)$$

其中， $Y_2 = (e + rental + ratio_2 \cdot (NI - e)) / C$ ；

$$GFRR^* = \frac{1}{C \times (1 - PCCR)} [e + rental + ratio_2 \times (NI - e - PCCR \times C)] \quad (25)$$

$$\theta^* = \frac{NI - e - PCCR \times C}{factor_{p2}} \quad (26)$$

得  $PCCR$  的最大解為  $PCCR^*$ ：

$$PCCR^* = \min \left[ 1 - \frac{L}{C}, \frac{1}{C} (NI - e), Y_1 \right] \quad (27)$$

比較式(27)  $F^*$  與式(26)  $\theta^*$  之差異在於分母之  $factor_{p1}$  與  $factor_{p2}$ 。

### 4.3 以營運量收取權利金

前述 4.1 與 4.2 節係討論權利金以總營收為計算基礎，但某些 BOT 計畫亦可能以營運量為權利金收取之計算基礎，以下則討論以營運量為權利金計算基礎之情形。此種情形我們假設為名目分年營運權利金依計畫年營運量之一定乘數收取，此乘數年成長率為  $\phi$ ，現金流量架構概念如圖 6。圖 6 與圖 5 及圖 4 之差異在於將現金流量項目改為隨營運量收取，如  $B_t + (1 + \phi)^t \times g \times Q_t + D_t + e$ ，其變數與假設條件、限制條件皆與模式 4.1 節相同。

BOT 計畫現金流如圖 6，政府在營運期內自某一年度起每年按特許公司營運量之一定乘數收取營運權利金，除分年營運權利金計收方式外，本模式其餘假設、變數、限制條件皆與模式一相同。並定義變數  $g$ 、 $\phi$  與  $Q_t$  如下：

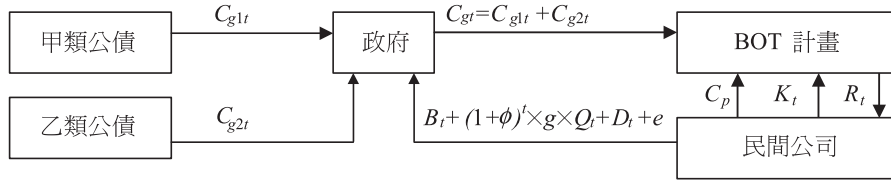


圖 6 BOT 計畫現金流量—分年營運權利金按營運量之一定乘數  $g$  徵收

$g$ ：徵收營運權利金起始年度的營運量所對應的乘數， $g \geq 0$ ；

$\phi$ ：乘數之年成長率， $\phi > 0$  代表乘數呈直線正成長， $\phi < 0$  代表乘數呈直線負成長為直線遞減， $\phi = 0$  代表乘數為固定值；同理，為確保權利金不為負，故假設  $\phi > -1$ 。

$Q_t$ ：第  $t$  年之營運量。

由 4.1 節之推導觀念，利用 NPV 法評估特許公司投資效益，故將式(5)計畫淨現值修改為：

$$NPV_{p3} = NI - e - g \times factor_{p3} - PCCR \times C \quad (28)$$

$$\text{其中，} factor_{p3} = \sum_{t=h}^N \frac{(1 + \phi)^{t-h} \times Q_t}{(1 + r)^t}$$

同理，運用模式一之運算過程可得最大的營運權利金現值總和為：

$$g^* \times factor_{p3} = NI - e - PCCR \times C \quad (29)$$

政府財務回收率  $GFRR^*$ ，分年營運權利金於徵收起始年度營運量乘數  $g^*$  的解，分別為式(30)與(31)。

$$GFRR^* = \frac{1}{C \times (1 - PCCR)} [e + rental + ratio_3 \times (NI - e - PCCR \times C)] \quad (30)$$

$$g^* = \frac{NI - e - PCCR \times C}{factor_{p3}} \quad (31)$$

政府財務回收率下限  $GFRR_0$  之區間為：

$$0 \leq GFRR_0 \leq \min \left[ 1, \frac{1}{C} [e + rental + ratio_3 \times (NI - e)] \right] \quad (32)$$

$$\text{其中, } ratio_3 = \left( \frac{\sum_{t=h}^N \frac{(1+\phi)^{t-h} \times Q_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=h}^N \frac{(1+\phi)^{t-h} \times Q_t}{(1+r)^t}} \right)$$

最大民間出資比率為：

$$PCCR^* = \min \left[ 1 - \frac{L}{C}, \frac{1}{C} (NI - e), Z_1 \right] \quad (33)$$

$$\text{其中, } Z_1 = \frac{e + rental + ratio_3 (NI - e) - GFRR_0 \times C}{C(ratio_3 - GFRR_0)}$$

由式(31)顯示， $g^*$  與  $Q_t$ 、 $\phi$  成反比。

經由 4.1、4.2 與 4.3 節之模式構建，本文將結果整理如表 1。

從三種權利金收取計算基礎上，可明顯了解固定金額、總營收比率與按營運量比率之差異在於  $(1+\beta)^{t-h}$ 、 $R_t \times (1+\alpha)^{t-h}$  與  $Q_t \times (1+\phi)^{t-h}$  變數，其餘之開發權利金、地租與租稅等項皆不變。從而可知，不同權利金計算方式之政府財務回收率  $GFRR^*$ ，差異亦在於  $(1+\beta)^{t-h}$ 、 $R_t \times (1+\alpha)^{t-h}$  與  $Q_t \times (1+\phi)^{t-h}$  變數。

上述模式之選擇可視 BOT 計畫性質而定，模式之  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\phi$  值可考慮特許公司之債權風險等特殊因素加以決定；模式一、二及模式三可搭配實施，產生較複雜之營運權利金收取方式，此營運權利金收取模式可分 9 種方式，至於選擇何種權利金模式，此為 BOT 合約談判議題之一。

表 1 BOT 計畫財務模型決策變數最佳解

模 式	變 數	公 式
模式一： 名目分年營運權利金為 固定金額	政府財務回收率下限的區間 $GFRR_0^*$	$0 \leq GFRR_0 \leq \min[1, X_2]$
	民間出資比率 $PCCR^*$	$\min \left[ 1 - \frac{L}{C}, \frac{1}{C} (NI - e), X_1 \right]$
	政府財務回收率 $GFRR^*$	$\frac{1}{C \times (1 - PCCR)} \left[ e + rental + \left( \frac{factor_{g1}}{factor_{p1}} \right) (NI - e - PCCR \times C) \right]$
	分年營運權利金 (名目) $F^* \times (1 + \beta)^{t-h}$	$(1 + \beta)^{t-h} \times [(NI - e - PCCR \times C) / factor_{p1}]$
模式二： 名目分年營運權利金隨 總營收一定 比率徵收	政府財務回收率下限的區間 $GFRR_0^*$	$0 \leq GFRR_0 \leq \min[1, Y_2]$
	民間出資比率 $PCCR^*$	$\min \left[ 1 - \frac{L}{C}, \frac{1}{C} (NI - e), Y_1 \right]$
	政府財務回收率 $GFRR^*$	$\frac{1}{C \times (1 - PCCR)} [e + rental + ratio_2 (NI - e - PCCR \times C)]$
	分年營運權利金 (名目) $(1 + \alpha)^{t-h} \times \theta^* \times R_t$	$(1 + \alpha)^{t-h} \times R_t \left( \frac{NI - e - PCCR \times C}{factor_{p2}} \right)$
模式三： 名目分年營運權利金按 年營運量乘 數徵收	政府財務回收率下限的可行 區間 $GFRR_0^*$	$0 \leq GFRR_0 \leq \min \left[ 1, \frac{1}{C} [e + rental + ratio_3 \times (NI - e)] \right]$
	民間出資比率 $PCCR^*$	$\min \left[ 1 - \frac{L}{C}, \frac{1}{C} (NI - e), Z_1 \right]$
	政府財務回收率 $GFRR^*$	$\frac{1}{C(1 - PCCR)} [e + rental + ratio_3 (NI - e - PCCR \times C)]$
	分年營運權利金 (名目) $(1 + \phi)^{t-h} \times g^* \times Q_t$	$(1 + \phi)^{t-h} \times Q_t \times \left( \frac{NI - e - PCCR \times C}{factor_{p3}} \right)$

資料來源：本研究整理。



## 五、簡例分析

本文以簡例方式說明模式之可用性。案例係選自於「北投 105K06 停車場—獎勵民間投資興建可行性及先期規劃」報告書（中華民國立體停車場協會，1999）。此計畫背景說明如下：

台北市政府為紓解北投溫泉觀光區之停車問題，釋出政府公有地，獎勵民間參與投資興建停車場，藉以改善停車問題及有效引進民間資金與經營效率。其中北投 105K06 停車場計畫即屬停車場 BOT 計畫之一。此計畫之基地座落於北投商業區，面積總數為 818 平方公尺，原為平面停車場，然為紓緩當地停車需求，擬開發為立體停車場，並採 BOT 方式辦理開發。依「北投 105K06 停車場—獎勵民間投資興建可行性及先期規劃」報告書所述，該立體停車場被規劃為升降機式立體停車塔，建築面積 405.74 平方公尺，設計建蔽率為 49.6%，建築物高度為 35.53 公尺，可容納停車數量為 240 輛，計畫開發時間為民國 89 年，興建期 10 個月。計畫財務分析基本假設如下：

假設折現率 10%，物價上漲率 3.5%，地價水準 51,100 元／平方公尺，土地租金為公告地價 3%，停車場使用率以 50% 計。又依規劃資料說明，市有土地如作停車場使用，依「台北市市有土地出租租金計收標準」規定，土地租金之年租金為公告地價之 6%，但合於「台北市獎勵投資興建公共設施辦法」之規定者租金再予減半為 3%。營利事業所得稅部分，營所稅為 25%，另「獎勵民間參與交通建設條例」第二十八條規定：「本條例所獎勵之民間機構得自該交通建設開始營運後有課稅所得之年度起，最長以五年為限，免納營利事業所得稅。」其他租稅方面的獎勵措施：第三十條「本條例所獎勵之民間機構，進口供其興建交通建設使用之營建機器、設備、施工用特殊運輸工具…免徵進口關稅。」第三十一條「本條例所獎勵之民間機構在興建或營運期間，供其直接使用之不動產應課徵之地價稅、房屋稅及取得時應課徵之契稅，得予適當減免。」；營運收入部分，停車場收費方式採計時收費，民國 90 年停車費為 30 元／小時／車，停車費以 6.6% 年成長率成長，停車率以 50% 計算，故第一年之年營運量為  $240 \times 50\% \times 24 \times 365 = 1,051,200$  車×小時／年會使用該停車場，同時 BOT 特許公司無經營該停車場附屬事業。

為簡化計算起見，將原計畫興建期 10 個月，調整為共 1 年；並假設特許營運期為 15 年（民國 90 年至民國 104 年），建設成本 151,967 千元，政府事先承諾負擔之成本（土地取得）41,800 千元，長期公債利率 8%，開發權利金 0 元，從營運期第一年開始徵收營運權利金。賦稅部分，由於資料取得不易，採用簡化方式處理，暫只以現金流量資料計算營所稅。最後假設於計畫執行期間存在一具代表性之特許公司加權平均資金成本，其值為 10%。茲將財務試算參數設定彙整如表 2 所示。

表 2 簡例分析之參數設定

參 數	參數設定值	參 數	參數設定值
折現率 ( $r$ )	$r = 10\%$	地價水準 (元/平方公尺)	51,100 元
政府公債利率	8%	土地租金	公告地價 6%
物價上漲率	3.5%	停車場使用率	50%
年營運量	1,051,200 輛	停車費為 (元/小時/車)	30 元
營運權利金收取年度 ( $h$ )	$h = 1$	停車費年成長率	6.6%
政府事先承諾負擔之成本 (土地取得) 折算至建設期起始年度現值總額 ( $L$ )	41,800 千元	建設成本 (含工程費用、土地取得成本, $C$ )	151,967 千元
特許年限 ( $N$ )	15 年	專案邊際稅率 ( $T_c$ )	$T_c = 25\%$

註：民國 89 年幣值。

資料來源：本研究整理。

利用表 2 之參數設定值代入表 2 中之模式一，並假設模式一之營運權利金成長率  $\beta = 0$ ，亦即分年營運權利金為固定值。另外，假設政府追求民間出資比率最大。如此，將表 2 中所給定變數值代入模式中即可得  $GFRR_0^*$ 、 $PCCR^*$ 、 $GFRR^*$  及分年營運權利金值，結果如表 3 之模式一所示。相關計算過程參見附錄之附表 1。

根據計算結果，政府財務回收率  $GFRR_0^*$  之下限為 0，上限值為 1 與 2.150，在  $GFRR_0^*$  上限中取最小值應為 1。考量政府或法規對財務回收率有其下限之規定或設限，因此，本研究假設  $GFRR_0^* = 0.75$ ，將  $GFRR_0^* = 0.75$  代入表 2 模式一之  $PCCR^*$  公式，得民間出資比  $PCCR^* = \min [0.725, 1.496, 3.730]$ ，取最小值 0.725，即  $PCCR^* = 0.725$ ，此表示在 BOT 計畫中，民間出資 72.5%，政府出資 27.5%。因得到  $PCCR^*$  與  $GCCR^*$  值，再將此  $PCCR^*$  與  $GCCR^*$  值與表 2 變數代入  $GFRR^*$  公式中，得政府財務回收率  $GFRR^* = 4.851$ ，分年營運權利金 15,402.17 (千元)，此表示政府可針對此 BOT 計畫向 BOT 公司每年收取固定權利金 15,402.17 (千元)。而值得注意的是，在本案例經過試算後之  $GFRR^* = 4.851$ ，此說明政府在此 BOT 計畫中，只要出資 BOT 計畫興建成本之 27.5%，即可獲得 4.851 倍之財務回收，如此來看，在此 BOT 計畫中，政府亦屬高獲利投資者。如果政府欲採遞增固定式權利金收取，只要設  $\beta > 0$  值，代入表 2 之公式即可得遞增固定式權利金，此方面計算不再贅述。

模式二之營運權利金係以營收一定比率來計算，設  $\alpha = 0$  表示分年營運權利金占營收百分比之年成長率為固定值。假設政府追求民間出資比率最大，同理，我們利用表 2 之參數設定值代入表 2 之模式二，分別得  $GFRR_0^*$ 、 $PCCR^*$ 、 $GFRR^*$  及分年營運權利金值，其解為  $GFRR_0^* \leq \min [1, 2.186]$ ； $PCCR^* = \min [0.725, 1.496, 3.596]$ ， $GFRR^* = 4.918$  及徵收起始年度名目分年營運權利金占營收比率  $\theta^* = 0.336$ ，結果如表 3 之模式二。對照圖 5 概念，現金流量項目為  $B_t + \theta \times (1 + \alpha)^t \times R_t + D_t + e$ ，將此  $\theta^* = 0.336$ 、 $\alpha = 0$  及分年之土地租金、營收與開發權利金等代入，得第一年之分年權利金為 10,601.77 千元。換言之，政府可於營運第一年向 BOT 公司按營收之 0.336 比率收取營運權利金 10,601.77 千元，其餘營

運期之營運權利金計算如附表 2 所示，依附表 2 試算結果，政府於營運期向 BOT 公司分年收取營運權利金介於 10,601.77 ~ 25,957.47 千元。在此分年權利金收取下，民間出資比 0.75，政府出資比 0.25，政府財務回收率可達 4.918。

如圖 6 概念，模式三係按年營運量乘數徵收分年營運權利金。令  $\phi = 0$ ，假設政府追求民間出資比率最大。同理，我們利用表 2 之參數代入表 1 中之模式三公式，得  $GFRR_0^*$ 、 $PCCR^*$ 、 $GFRR^*$  及營運權利金乘數  $g^*$ ，分別為  $0 \leq GFRR_0 \leq \min [1, 2.150]$ 、 $PCCR^* = \min [0.725, 1.496, 3.596] = 0.725$ 、 $GFRR^* = 4.851$  及  $g^* = 0.01465$ ，結果詳如表 3。其次，按圖 6 概念，再將此  $g^* = 0.01465$  與  $\phi = 0$  代入  $B_t + (1 + \phi)^t \times g \times Q_t + D_t + e$  中，得第一年營運權利金為 15,400.08 千元，因本文令  $\phi = 0$ ，表示無論營運量增減如何，皆以營運量之 0.01465 比率徵收權利金，故未來營運期內之權利金皆為 15,400.08 千元，試算過程如附表 3 所示。若要權利金乘數遞增，則可令  $\phi > 0$  值代入附表 3 計算；反之，若要權利金乘數遞減，則可令  $-1 < \phi < 0$  之間的值代入附表 3 中計算，即可得隨營運量乘數遞減之分年權利金。

表 3 簡例方式試算結果

模 式	變 數	公 式 解
模式一 名目分年營運權利金為固定金額	政府財務回收率下限 $GFRR_0^*$	$0 \leq GFRR_0 \leq \min [1, 2.150]$ 設定 $GFRR_0^* = 0.75$
	民間出資比率 $PCCR^*$	$\min [0.725, 1.496, 3.730] = 0.725$
	政府財務回收率 $GFRR^*$	4.851
	徵收起始年度名目分年營運權利金 $F^*$	15,402.17 (單位：千元)
模式二 名目分年營運權利金隨總營收一定比率徵收	政府財務回收率下限 $GFRR_0^*$	$0 \leq GFRR_0 \leq \min [1, 2.186]$ 設定 $GFRR_0^* = 0.75$
	民間出資比率 $PCCR^*$	$\min [0.725, 1.496, 3.596] = 0.725$
	政府財務回收率 $GFRR^*$	4.918
	徵收起始年度名目分年營運權利金占營收比率 $\theta^*$	0.336
模式三 名目分年營運權利金按年營運量乘數徵收	政府財務回收率下限 $GFRR_0^*$	$0 \leq GFRR_0 \leq \min [1, 2.150]$ 設定 $GFRR_0^* = 0.75$
	民間出資比率 $PCCR^*$	$\min [0.725, 1.496, 3.730] = 0.725$
	政府財務回收率 $GFRR^*$	4.851
	徵收起始年度名目分年營運權利金乘數 $g^*$	0.01465

資料來源：本研究整理。

比較附表 1 至附表 3，上述三種方式中以營運量之 0.01465 比率收取權利金方式較低，以總營收之 0.336 比率收取權利金金額較高，但此方式於營運前 5 期，權利金遠較其他 2 種方式較低，固定式之權利金則介於上述二者之間。若以民間角度而言，可能選擇以營運量比率方式繳交權利金對其較有利，以總營收比率方式對其較不利；反之，對政府而言，以總營收比率方式收取權利金對其較有利，以營運量比率方式收取權利金對其較不利，此結果亦反映於政府財務回收率值，模式二之  $GFRR^* = 4.918$  大於模式一與模式三之  $GFRR^*$  值，模式一與模式三之  $GFRR^*$  非常接近。至於採取何種權利金方式，則可於特許契約談判中討論決定。

由表 1 知，模式一～模式三之  $GFRR_0^*$  與  $PCCR^*$  雖有差異，但由於本文令  $\beta = 0$ 、 $\alpha = 0$  及  $\phi = 0$  時，亦即本文討論固定式，總營收固定比率及營運量固定比率方式來試算權利金，因此產生模式一至模式三之  $GFRR_0^*$  與  $PCCR^*$  變化不大情形。而從模式一至模式三試算顯示，當  $GFRR_0^*$  有預設值之下， $PCCR^*$  之求解會受到很大影響。就本案例而言，假設政府要求政府財務回收率之下限為 75%，得民間出資比 0.725，政府出資比 0.275，在此種情形下，以模式二之  $GFRR^*$  較高，此顯示，政府在參與此 BOT 計畫中可獲得高獲利之投資。

## 六、結論與建議

政府訂定自償率公式的初衷在於釐清政府獨資興建營運之公共建設資金來源及公債由計畫償還的比率，惟本研究詳細闡述政府獨資計畫與 BOT 計畫之資金流量結構不同，故自償率公式並不適用於 BOT 計畫。雖然過去少數研究曾探討自償率適用性問題，惟並未有深入分析與修正。本研究利用財務觀念，建構 BOT 計畫財務模式，解釋政府與特許公司雙方之建設期出資比率，營運權利金，與政府財務回收率之間的財務數學關係，並推導三種基本的營運權利金計收公式，供政府參考使用。文中以北投 105K06 停車場案例進行簡例分析，計算出該計畫之民間出資比率、營運權利金、與政府財務回收率之解，觀察各變數間相關影響並提供決策參考之用。本研究之主要目的在建立政府就 BOT 財務議題做決策之連續決策過程，並非提供唯一絕對之公式解，故政府仍可視個案對限制式作修改而得到不同之公式解。

經簡例分析顯示，本文所構建之權利金收取、政府財務回收率、民間出資率與政府出資率之財務數學式可充分反映彼此之間的關係架構；此顯示本文所發展之財務數學式具備可操作性，同時可改善自償率與權利金脫鉤之缺失。本模型求解出之 BOT 計畫政府財務回收率、民間出資比率、名目分年營運權利金之解，雖使特許公司恰好得到其預期的風險調整報酬率，計畫淨現值等於零；惟若民間特許公司發揮良善經營能力使實際營運結果較財測為佳，則實際報酬率必將大於期望之報酬率，故本模型實質上仍具有激勵民間經營績效之作用。

本文雖獲得財務數學推導之突破，惟對於風險性計畫之淨現值求算方法僅為諸多方法

之一種，建議後續研究者可採用其他方法為風險性計畫定價。另外，本研究假設民間特許公司之經風險調整資金成本為已知變數，尚未詳細討論經風險調整資金成本之求算；再者，BOT 計畫之財務計畫如何與風險相關課題作結合，也值得深入思考。模式中之政府財務回收率下限解究應如何設定；同時，PCCR 之決定與融資機構有關，亦與權利金收取有關，在確保 BOT 計畫可行條件下，如何將 PCCR 與融資條件放入討論，這些議題值得後續深入研究。除此之外，本研究所提出之財務模型隱含公共建設能於營運期產生利潤的假設，倘若此公共建設於營運期產生虧損且涉及補貼課題，則不適用於本模型，後續研究可考慮從補貼角度，思考無利潤計畫之民間出資比率、政府財務回收率、補貼金額與補貼相關課題。

## 參考文獻

1. 陳天賜、徐榮崇，「交通建設之財務自償率探究」，**中華民國運輸學會第九屆學術研討會論文集**，民國八十三年，頁 515-522。
2. 陳天賜、徐榮崇，「我國交通建設之財務自償率探究」，**台灣銀行季刊**，第 46 卷，第 1 期，民國八十四年，頁 1-14。
3. Chang, L. M. and Chen, P. H., 'BOT Financial Model: Taiwan High Speed Rail Case', *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 127, No. 3, 2001, pp. 214-222.
4. 馮正民、康熙宗，「BOT 計畫談判群體之風險衡量」，**運輸計劃季刊**，第二十九卷，第四期，民國八十九年，頁 709-738。
5. 馮正民、康熙宗，「在談判者效用互動下之風險衡量—以 BOT 計畫之用地徵收事件為例」，**運輸計劃季刊**，第三十卷，第三期，民國九十年，頁 481-512。
6. Walker, C. and Smith, A. J., *Privatized Infrastructure: The Build Operate Transfer Approach*, Thomas Telford Publication, London, 1995.
7. Wang, S. Q., Tiong, R. L. K., Ting, S. K., and Ashley, D., "Risk Management Framework for BOT Power Projects in China", *The Journal of Project Finance*, 1999, pp. 56-67.
8. Finnerty, J. D., *Project Financing: Asset-Based Financial Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.
9. 張大成、賴景昌，「BOT 放棄價值的評估—以台灣高速鐵路為例」，**管理學報**，第十七卷，第三期，民國八十九年，頁 441-460。
10. Trigeorgis, L., *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, MIT Press, New York, 1996.
11. 陳宥杉，「以實質選擇權評價模式評估台灣高鐵公司 BOT 案之等待價值」，國立政治大學企業管理研究所未出版碩士論文，民國八十八年。
12. 簡龍鳳，「政府對民間參與交通建設投資／補貼之研究—考慮建設未具完全自償能力之情況」，**台灣土地金融季刊**，第三十七卷，第三期，民國八十九年，頁 191-215。

13. 陳明吉、花敬群、張金鶚，「獎勵民間參與公共建設的新誘因—土地開發外部利益分配」，**公營事業評論**，第二卷，第三期，民國九十年，頁 45-67。
14. Sidney, M. L., *Build, Operate, Transfer: Paving the Way for Tomorrow's Infrastructure*, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
15. 黃明聖，「交通建設 BOT 之財務融資與財務調整」，**社經法制論叢**，第二十三期，民國八十八年，頁 113-133。
16. 交通部，**交通部辦理民間參與交通建設計畫作業手冊**，民國八十八年。
17. Asensio, J. and Roca, O., 'Evaluation of Transportation Infrastructure Projects Beyond Cost-Benefit Analysis, An Application to Barcelona's 4<sup>th</sup> Ring Road', *International Journal of Transport Economics*, Vol. XXVIII, No. 3, October 2001, pp. 387-402.
18. Lu, Y. C., Wu, Soushan, Chen, D. H., and Lin, Y. Y., 'BOT Projects in Taiwan: Financial Modeling Risk, Term Structure of Net Cash Flows, and Project at Risk Analysis', *The Journal of Project Finance*, 2000, pp. 53-63.
19. Daniel, J. I., 'Benefit-Cost Analysis of Airport Infrastructure: The Case of Taxiways', *Journal of Air Transportation Management*, Vol. 8, 2002, pp. 149-164.
20. Hanspeter, G., *Cost-Benefit Analysis and Public Investment in Transport: A Survey*, Butterworths, London, 1973.
21. Farrell, M., 'Financial Engineering in Project Management', *Project Management Journal*, Vol. 33, No. 1, 2001, pp. 27-36.
22. Windsperger, J., 'The Fee Structure in Franchising: A Property Rights View', *Economic Letters*, Vol. 73, 2001, pp. 219-226.
23. 吳善楹，「交通建設 BOT 計畫權利金計收模式之構建」，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國九十一年。
24. Musgrave, R. A., *The Theory of Public Financing — A Study in Public Economy*, John Wiley & Sons, Inc., 1959.
25. 公共工程委員會，**民間參與公共建設財務評估模式規劃**，公共工程委員會，民國九十一年一月。
26. Barzel, Y., *Economic Analysis of Property Rights*, Cambridge University Press, 1997.

## 附 錄

附表 1 模式一簡例試算表 ( $\beta = 0$  情形)

單位：千元

投資年	B 土地租金	K (含管理、維護、重置費)	D 租稅	R 營收	營運淨現金流	營運淨現金流現值	名目分年權利金
0	1254		—	—	-1254	-1254	—
1	1292	5168		31536	25076	22796.36	15402.17
2	1330	5323		33619	26966	22285.95	15402.17
3	1370	5483		35839	28986	21777.61	15402.17
4	1411	12179		38207	24617	16813.74	15402.17
5	1454	5817	8364.75	40730	25094.25	15581.55	15402.17
6	1497	5991	8983	43420	26949	15212.01	15402.17
7	1542	6171	9643.75	46288	28931.25	14846.31	15402.17
8	1589	6356	10350.25	49346	31050.75	14485.4	15402.17
9	1636	20652	7579.25	52605	22737.75	9643.026	15402.17
10	1685	6743	11913	56080	35739	13778.93	15402.17
11	1736	6946	12775.5	59784	38326.5	13433.2	15402.17
12	1788	7154	13697.5	63732	41092.5	13093.34	15402.17
13	1842	7369	14682.75	67942	44048.25	12759.21	15402.17
14	1897	20154	12594.5	72429	37783.5	9949.576	15402.17
15	1954	7817	16860.5	77213	50581.5	12108.81	15402.17
	$GFRR_0$	$PCCR$	$GFRR$	$F$ 徵收起始年度名目分年營運權利金			
	1	0.724940283					
	2.15014802	1.495792065					
		3.73027638					
最佳解	0.75	0.7249	4.850542		15402.17		

附表 2 模式二簡例試算表 ( $\alpha = 0$  情形)

單位：千元

投資年	B 土地租金	K (含管理、維護、重置費)	D 租稅	R 營收	營運淨現金流	營運淨現金流現值	名目分年權利金
0	1254		—	—	-1254	-1254	
1	1292	5168	—	31536	25076	22796.36	10601.77
2	1330	5323	—	33619	26966	22285.95	11302.04
3	1370	5483	—	35839	28986	21777.61	12048.36
4	1411	12179	—	38207	24617	16813.74	12844.43
5	1454	5817	8364.75	40730	25094.25	15581.55	13692.61
6	1497	5991	8983	43420	26949	15212.01	14596.94
7	1542	6171	9643.75	46288	28931.25	14846.31	15561.1
8	1589	6356	10350.25	49346	31050.75	14485.4	16589.14
9	1636	20652	7579.25	52605	22737.75	9643.026	17684.75
10	1685	6743	11913	56080	35739	13778.93	18852.97
11	1736	6946	12775.5	59784	38326.5	13433.2	20098.19
12	1788	7154	13697.5	63732	41092.5	13093.34	21425.42
13	1842	7369	14682.75	67942	44048.25	12759.21	22840.74
14	1897	20154	12594.5	72429	37783.5	9949.576	24349.18
15	1954	7817	16860.5	77213	50581.5	12108.81	25957.47
	$GFRR_0$	$PCCR$	$GFRR$	$\theta$ 徵收起始年度名目分年營運權利金占營收比率			
	1	0.72494					
	2.1860817	1.495792					
		3.595866					
最佳解	0.75	0.7249	4.91786		0.336177		



附表 3 模式三簡例試算表 ( $\phi = 0$  情形)

單位：千元

投資年( $T$ )	土地租金( $B$ )	$K$ (含管理、維護、重置費)	租稅( $D$ )	營收( $R$ )	營運量( $Q$ )	營運淨現金流	營運淨現金流現值	名目分年權利金
0	1254					-1254	-1254	
1	1292	5168		31536	1051200	25076	22796.36	15400.08
2	1330	5323		33619	1051200	26966	22285.95	15400.08
3	1370	5483		35839	1051200	28986	21777.61	15400.08
4	1411	12179		38207	1051200	24617	16813.74	15400.08
5	1454	5817	8364.75	40730	1051200	25094.25	15581.55	15400.08
6	1497	5991	8983	43420	1051200	26949	15212.01	15400.08
7	1542	6171	9643.75	46288	1051200	28931.25	14846.31	15400.08
8	1589	6356	10350.25	49346	1051200	31050.75	14485.4	15400.08
9	1636	20652	7579.25	52605	1051200	22737.75	9643.026	15400.08
10	1685	6743	11913	56080	1051200	35739	13778.93	15400.08
11	1736	6946	12775.5	59784	1051200	38326.5	13433.2	15400.08
12	1788	7154	13697.5	63732	1051200	41092.5	13093.34	15400.08
13	1842	7369	14682.75	67942	1051200	44048.25	12759.21	15400.08
14	1897	20154	12594.5	72429	1051200	37783.5	9949.576	15400.08
15	1954	7817	16860.5	77213	1051200	50581.5	12108.81	15400.08
g 徵收起始年度名目分年營運權利金乘數								
	$GFRR_0$	$PCCR$	$GFRR$					
	1	0.72494						
	2.150148	1.495792						
		3.730276						
最佳解	0.75	0.72	4.850542		0.014652			



# 高速公路電子收費系統之車道配置 及其成本效益分析

## LANE ALLOCATION AND COST-BENEFIT ANALYSIS OF HIGHWAY ELECTRONIC TOLL COLLECTION SYSTEM

張學孔 Shyue-Koong Chang<sup>1</sup>

賴禎秀 Chen-Hsiu Lai<sup>2</sup>

吳清慈 Ching-Tsyu Wu<sup>3</sup>

(91 年 12 月 6 日收稿，92 年 3 月 28 日修改，92 年 12 月 31 日定稿)

### 摘 要

本研究針對主線門架式高速公路電子收費之用路者車道選擇行為，建立一套成本效益評估的分析架構；並用以輔助決定適當的自動收費車道之配置數量，以及評估系統均衡時使用電子收費車道的車輛數。一般用路者選擇裝置電子收費設備的目的是為了減少通過收費站的延滯時間，而透過本研究之分析發現，當自動收費車道的擁擠增加時，有部分裝置電子收費設備的車輛將選擇由人工收費車道通過，根據本文數值分析之結果顯示，其比率約為 13.95%，顯示電子收費車道必須經由合理規劃以決定適當的車道配置。另外，以 5 車道皆為人工收費的配置方式作為分析基準，在流量、車道、收費等給定相關條件情況下，本研究推導出 4A1M (四組自動收費車道及一組人工收費車道) 是最佳之車道配置方式。

- 
1. 國立台灣大學土木工程學系教授 (聯絡地址：10617 台北市羅斯福路四段 1 號台灣大學土木系；電話：02-23625920；E-mail：skchang@ntu.edu.tw)。
  2. 國立台灣海洋大學商船學系副教授兼系主任 (聯絡地址：202 基隆市北寧路 2 號台灣海洋大學商船學系；電話：02-24622192 轉 3018)。
  3. 國立台灣海洋大學商船學系助教。

**關鍵詞：**電子收費；成本效益；高速公路收費站

## ABSTRACT

*This paper develops an analysis framework, which is based on various road users' choice behaviors, to evaluate cost-benefit on the highway electronic toll collection (ETC) system. The analysis framework also helps to determine the appropriate number of ETC lanes in a toll plaza. In addition, the equilibrium number of vehicles utilizing the ETC lanes can also be investigated. In general, road users choose to use the ETC lanes to shorten the delay time spent getting through the toll plaza. However, based on the numerical example proposed in this paper, approximately 13.95% of the ETC equipped vehicles used the manual charge lanes when the ETC lanes have become crowded. This result implies that analysis on lane arrangement in toll plaza is quite crucial for planning ETC system. Compared to the 5 manual charge lanes, this paper has also found that 4AIM (4 Automatic ETC VI lanes & 1 manual charge lane) is the optimal lane allocation under the condition of the permanent traffic flow, lanes numbers and tools.*

**Key Words :** *Electronic toll collection (ETC); Cost-benefit; Highway toll station*

## 一、前 言

賴禎秀等人<sup>[1]</sup>考慮存在平行替代道路之高速公路實施匝道電子收費方式時所應收取之最佳費率。該費率中除了包含計程之基本使用費外，尚包括對瓶頸路段所應實施之最佳階梯式擁擠收費架構，同時也計算出在該收費架構下所能帶來之排隊擁擠減少效果。高速公路的瓶頸路段除了因為交通事故之發生外，一般均發生在收費站，為提升瓶頸路段（例如高速公路收費站、匝道等）的運輸效率亦可藉由先進技術的引進而達成，但為求社會資源的最佳分配，並考量總投資之預算限制，各項先進技術之應用，必須先有詳實的成本效益分析。

應用「自動車輛辨識」(Automatic Vehicle Identification, AVI) 技術或結合無線通訊與衛星定位技術於公路收費站(Toll Plaza)的自動收費系統，可以增加收費站的服務容量(service capacity)，但並不一定增加單位時間收費站的通過車輛數(throughput)。基本上，單位時間通過收費站之車輛數與電子收費技術的使用率有關，而電子收費使用率與該項技術是否成熟且價格可否為駕駛者所接受有關。因此，在進行該項投資之前，必須了解該項技術的使用率、相關成本、及駕駛者屬性之間的相互關係。

過去許多相關研究（例如 Chang<sup>[2]</sup>、Chang<sup>[3]</sup>、Foote<sup>[4]</sup>、Nielsten<sup>[5]</sup>及 Kanaan<sup>[6]</sup>）均說明 AVI 或其他電子通訊技術應用在公路收費可以增加收費站的服務容量，綜合上述研究的分析結果顯示，在一般純人工收費方式之收費站，車道服務容量僅約 600 至 850 車／小

時／車道，而使用高速辨識能力之 AVI 技術的收費站每車道服務容量可以提高至 1,400 車／小時／車道。以五車道之收費站為例，若五車道皆為傳統人工收費，服務容量約 3,000 (600×5) 車／小時至 4,250 (850×5) 車／小時；若將收費方式改為二個電子自動收費車道與三個傳統人工收費車道的配置，則總服務容量可以提高至 4,600 (2×1,400+3×600) 車／小時至 5,350 (2×1,400+3×850)，增加約 53% 至 26% 的服務容量。

然而，應用電子自動收費系統雖然可以增加收費站的服務容量，但不一定保證可以增加實際通過收費車道之車輛數，此現象的發生與電子收費車道配置及車上設備 (On Board Equipment, OBE) 之使用率有關，其中可歸納為下列兩種情況：

1. 若電子收費設備之使用率不高，則因一般收費車道數之縮減，使一般車道的延滯大量增加，加上電子收費車道的使用率未提升，因此使得整個系統實際通過的車輛數未必會增加。
2. 若電子收費設備的使用率過高，而在收費車道的配置沒有隨之調整，導致電子收費車道的延滯反而高過人工收費車道；若裝設有電子收費 OBE 的車輛可以選擇改駛人工收費車道時，最後達到一均衡狀態時所增加的通過車輛數亦會較預期為低，因為未充分發揮裝設 AVI 設備的使用功能以增加通過的車輛數。

因此，若欲使 AVI 設備之應用發揮最大的效益，必須同時考慮車道配置與 AVI 設備的使用率，即所提供的電子自動收費車道數，必須能合理滿足使用電子收費設備的車輛使用。基本上，車上電子收費設備的使用率與用路者的設備成本、用路者選擇車道的相關屬性及其收費站整體服務績效有關。不同收費方式的組合，將顯著的影響該收費站的整體服務容量，而且在不同的設備占有率下，所導致的服務績效也有所差異。

假設所有駕駛者均為完全理性的依延滯高低選擇車道，則當具車上電子收費設備的車子在自動收費車道延滯高於人工收費車道時，可以改由一般人工收費車道通行，則此時之均衡狀況為二種車道之平均延滯皆相同，依據 Chang<sup>[3]</sup> 之研究，當考慮車道選擇為確定性 (deterministic) 時，其總平均延滯將會低於不使用電子收費設備的平均延滯，而此時使用率的增加並不會影響均衡狀態。若考慮駕駛者的車道選擇行為具一隨機誤差，則必須引進選擇理論 (Choice Theory)，以同時分析「設備選擇」與「車道選擇」行為。

本研究針對在公路收費站自動電子收費系統的應用建立一成本效益評估的分析架構，以評估公路電子收費系統的成本與效益，並可用以輔助決定自動收費車道適當的設置數量，以及估計系統均衡時使用電子收費車道的車輛數。使用自動電子收費技術的系統淨效益可經由本模式求得，並作為成本效益分析之基礎。此外，本模式並可透過敏感度分析來評估駕駛者屬性對於收費站整體效率之影響，以供經營者訂定公路自動收費系統的運作模式作為參考。本文除了本節背景以及以旅行延滯來說明電子收費設備使用對於收費站服務效率所產生的影響，以下將說明接著建立之評估架構，包括「設備選擇」、「車道選擇」、「交通績效」以及「成本分析」等四個模組；文中並假設一簡化的數值範例說明本模式的應用；最後提出具體結論與建議。

## 二、評估模式

本研究建立之評估架構包含「設備選擇」、「車道選擇」、「交通績效」及「成本分析」等四個模組。

1. 設備選擇模組，用以分析用路者之車上電子收費設備之選擇與用路者屬性、設備成本及服務品質等因素之關係，以決定車上電子收費設備的使用率。
2. 車道選擇模組，則分析用路者的車道選擇行為，考慮因素為平均延滯，其中一般用路者不具備車上電子收費設備，因此僅能使用一般人工收費車道。由於上述二模組具有相關性，根據 Luce<sup>[7]</sup>的個體選擇行為 (Individual Choice Behavior) 理論，實用的隨機效用函數，可以假設由一個非隨機函數及一個機率誤差項之和來表示，因此，當誤差項分配為獨立的標準韋伯分配 (Standard Weibull Distribution) 之假設時，應用巢式羅吉特模式 (Nested Logit Model) 可以簡化誤差項之積分問題來加以分析，若誤差項為常態分布時則可以應用普羅比模式 (Probit Model) 來求解，為使積分問題簡化，可假設機率誤差項為獨立的標準韋伯分配，此模式稱為羅吉特模式 (Logit Model)，普羅比模式與羅吉特模式在形式上並無太大差異，只是前者接近上限值較後者為快<sup>[8]</sup>。在實際模式選用上，後者是一閉函數式，計算較為方便，而前者則由於其自變數為積分之上限，不能以閉函數式表示，必須藉助於數值分析方法，因此在實際應用上較為困難。在 Chang<sup>[3]</sup>之研究中提出，若假設用路者之車道選擇行為誤差項為零時，則車道選擇為確定性，當電子收費車道之延滯小於一般人工收費車道時，不須考慮車道選擇行為，因為必定選擇電子收費車道；若電子收費車道之延滯大於一般人工收費車道時，則有部分裝置 OBE 之車輛改使用人工收費車道，一直到二種收費車道之平均延滯相等為止，也就是形成所謂用路者均衡狀態 (User Equilibrium)，此時任何擁有電子收費設備之車輛並不能由片面改變使用收費車道方式而減少其延滯。
3. 交通績效模組，用以確立收費站相關的服務績效函數，除說明車道配置方式對於服務績效的影響，並建立用路者相關的效用函數。
4. 成本分析模組，則分析應用電子收費設備於收費站自動收費的相關成本項目，並提供不同的決策目標及財務限制下所需的定價策略。

假設已知營運者以及用路者的社經屬性，透過上述四個模式的交互作用，可以求得最後的均衡結果，並進行成本與效益分析；以下逐一說明模式之內涵與架構。

### 2.1 績效模式

「績效函數」在本文中用以分析及量化車輛行駛延滯與車道容量、使用率、及車道配置間的關係。以下列出本文所使用之符號：

$Y$ ：設備選擇， $Y = \{\text{有 ETC 設備 (true)}, \text{無 ETC 設備 (false)}\} = \{t, f\}$ ；

$Z$ ：收費方式， $Z = \{\text{自動收費}, \text{人工收費}\} = \{a, m\}$ ；  
 $y$ ：設備選擇之項目， $y \in Y$ ；  
 $z$ ：收費方式之項目， $z \in Z$ ；  
 $Q_y$ ：有／無 OBE 之車輛數 (車／小時)；  
 $Q_z$ ：使用收費方式  $z$  的車輛數 (車／小時)；  
 $q_z$ ：收費方式  $z$  每車道流量 (車／小時／車道)；  
 $q_z(T)$ ：收費方式  $z$  於時間  $T$  之累積抵達車輛數；  
 $C_z(T)$ ：收費方式  $z$  於時間  $T$  之累積服務車輛數；  
 $L_z$ ：收費方式  $z$  收費車道數；  
 $Q$ ：總車流量 (車／小時)， $Q = Q_t + Q_f = Q_a + Q_m$ ；  
 $d_z$ ：收費方式  $z$  的每車道每車平均延滯時間 (小時／車)；  
 $d_z(T)$ ：收費方式  $z$  於時間  $T$  的每車道每車平均延滯時間 (小時／車)；  
 $D_z$ ：收費方式  $z$  的總延滯時間 (小時)， $D_z = d_z \times Q_z$ ；  
 $D_z(T)$ ：收費方式  $z$  於時間  $T$  的總延滯時間 (小時)；  
 $C_z$ ：收費車道之最大服務率 (車／小時／車道)；  
 $T$ ：時間點。

車道容量、旅行延滯、以及燃油消耗皆為一般常用之評估收費站服務績效的主要因子，Murthy<sup>[9]</sup> 曾對於收費站服務績效進行量化的分析，以下之績效模式分析將引用該研究之模式。收費站的系統平均延滯時間，係定義為通過該收費系統需花費之時間，其包含等候服務時間與接受服務之時間，計算方式如下：

$$\text{車道平均延滯： } d = (d_a \times Q_a + d_m \times Q_m) / Q \quad (1)$$

由(1)式中可知，平均延滯時間為最大服務率與車流量的函數，一般可利用下列公式求算：

(1) 當每車道流量小於每車道最大服務率時，依據 Wayne<sup>[10]</sup> 等候理論公式：

$$\text{每車道平均延滯 } d_z = 1 / (C_z - q_z) \quad (2)$$

$$\text{總延滯 } D_z = d_z \times q_z \times L_z \quad (3)$$

(2) 當每車道流量大於每車道最大服務率時：

$$\text{每車道平均延滯 } d_z(T) = \frac{\int_0^t q_z(T) dT - \int_0^t C_z(T) dT}{q_z(T)} \quad (4)$$

若抵達率與服務率皆為常數  $q_z$  與  $C_z$ ，則：

$$\text{每車道平均延滯 } d_z(T) = \frac{(q_z - C_z) \times T}{2q_z} \quad (5)$$

$$\text{總延滯時間 } D_z(T) = d_z(T) \times q_z \times L_z \quad (6)$$

當系統之車輛抵達率大於最大服務率時，即發生過飽和現象，而若此種現象持續發生時，則系統無法達到穩定均衡狀態，即系統延滯時間並非固定之常數，此將增加分析之複雜性。一般高速公路收費站的車輛抵達率係隨時間變化，往往依尖離峰時間不同而有高於或低於服務容量之現象，利用等候理論即可經由車隊長度而分析其延滯時間。本研究乃根據前述 Chang<sup>[2]</sup>、Chang<sup>[3]</sup>、Foote<sup>[4]</sup>、Nielsten<sup>[5]</sup> 及 Kanaan<sup>[6]</sup> 相關研究之綜合分析，在應用數值案例中將離峰時段 (0-6 及 14-24) 的到達流量假設為 2,800 (車/小時)，而在 6-10 的時段為早上上班的尖峰時段，假設其到達流量隨時間而成線性增加，其餘各時段之到達車流量之假設詳如表 1 及圖 1 所示 (為簡化分析，僅考慮上午尖峰)。

表 1 各時段模擬流量表

時 段	流量 (車/小時)
0-6	2,800
6-10	$2,800 + 800 \times (t - 6)$
10-12	6,000
12-14	5,400
14-24	2,800

資料來源：本研究綜合 [2]、[3]、[4]、[5] 及 [6] 等之分析案例。

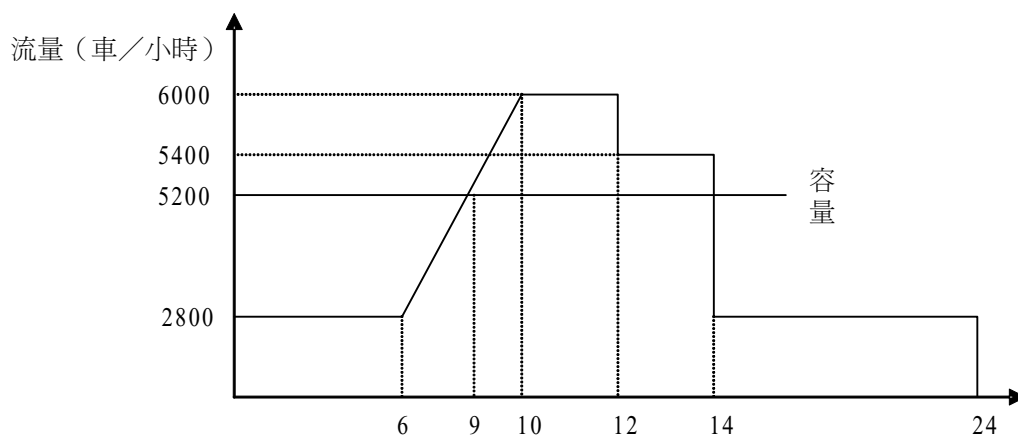


圖 1 各時段流量圖



本模式的架構擬以上述之假設情況，分析需求隨時段變動的情況，並且透過 (4) 式之使用，處理某自動收費車道或人工收費車道抵達率大於服務率之狀況，一般亦可以模擬方法來處理此一不確定且狀態隨時間變動之問題，請參閱 Murthy 等人之研究<sup>[9]</sup>。

## 2.2 成本分析模式

本研究中所考慮的經營者成本包括投資成本、營運成本及維修成本；用路者成本包括時間延滯、燃油消耗、以及裝置成本等因素，至於外部社會成本則是指污染成本。各類別中的成本項目請參考表 2。

表 2 各類別的成本結構

成本分析	成本項目	自動收費	人工收費
經營者	1.投資成本 2.營運成本 3.維修成本	$Ia$ $Oa$ $Ma$	$Im$ $Om$ $Mm$
用路者	1.延滯成本 2.燃油消耗成本 3.AVI 裝置成本	$Da \times Ve$ $ea \times Da \times Pl$ $Sa$	$Dm \times Ve$ $em \times Dm \times Pl$ $0$
外部社會	污染成本	$Ea$	$Em$

資料來源：本研究整理。

模式中使用之符號定義如下：

$Ia$  or  $Im$ ：投資成本 (元／年／車道)， $a$  = 自動收費車道， $m$  = 人工收費車道；

$Oa$  or  $Om$ ：營運成本 (元／年／車道)；

$Ma$  or  $Mm$ ：維修成本 (元／年／車道)；

$Da$ ：每車使用自動收費車道之延滯時間 (小時)；

$Dm$ ：每車使用人工收費車道之延滯時間 (小時)；

$Ve$ ：時間價值 (元／小時)；

$ea$ ：使用自動收費車道之耗油率 (公升／車小時)；

$em$ ：使用人工收費車道之耗油率 (公升／車小時)；

$Pl$ ：燃油成本 (元／公升)；

$Sa$ ：AVI 裝置成本 (元)；

$Ea$ ：使用自動收費車道之外部污染成本 (元／年／車)；

$Em$ ：使用人工收費車道之外部污染成本 (元／年／車)。

## 2.3 設備與車道選擇

關於自動收費車道的設置，用路者面臨兩個層次的選擇問題：

- (1) 是否配置 OBE 設備？
- (2) 一旦配置了 OBE 設備之後，是否選擇由電子收費車道通過？

上述選擇行為可以應用效用理論進行分析。由於該二項方案選擇之間具有共同的影響因素（例如：延滯），模式架構如圖 2 所示。

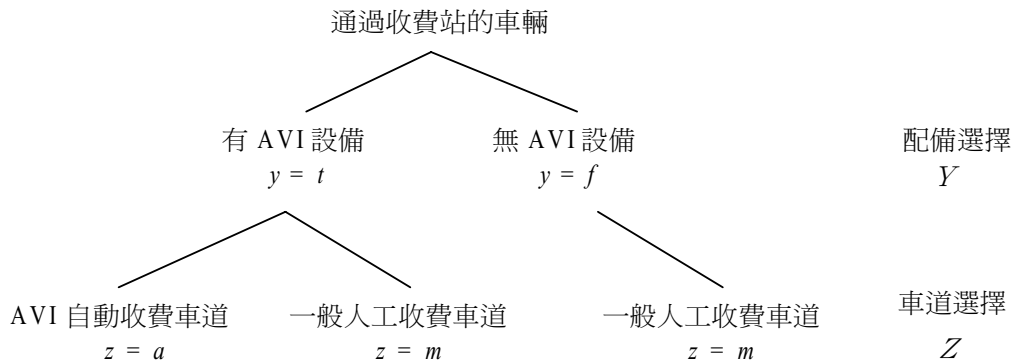


圖 2 ETC 技術與車道選擇模式

影響用路者是否裝配 AVI 設備的配備選擇因素，在本研究的分析模式中係考慮其中的收費服務時間、安裝成本、駕駛者所得與費率折扣等主要屬性。至於影響車道選擇的主要因素，在分析模式則考慮其中收費服務時間、費率折扣、車道數、與旅行時間。此外，對於模式之形式，為簡化誤差項之積分問題，本研究假設效用函數誤差項滿足獨立的標準韋伯分配，因而採用巢式羅吉特機率選擇模式。以下說明使用之選擇模式，首先定義模式中使用的符號：

- $S_y$ ：選擇設備方案  $y$  之駕駛者須負擔之 OBE 使用費（仟元）；
- $C_y$ ：選擇設備方案  $y$  之駕駛者年所得（萬元／年）；
- $T_z$ ：選擇收費方式  $z$  之駕駛者基本旅行時間（分）；
- $L_z$ ：選擇收費方式  $z$  之收費車道數（車道數）；
- $D_z$ ：選擇方案組合之收費車道服務時間（小時）＝總延滯時間（小時）；
- $F_{zy}$ ：選擇方案組合之費率折扣（%）；
- $Z_y$ ：使用設備  $y$  者所能使用之收費方式  $Z_t = \{a, m\}$ ， $Z_f = \{m\}$ ；
- $Y_z$ ：使用收費方式  $z$  者可能擁有之設備種類  $Y_a = \{t\}$ ， $Y_m = \{t, f\}$ 。

今有關設備選擇之效用函數期望值為  $V_y$ ，車道選擇之效用期望值為  $V_z$ ，二者共通的效用期望值為  $V_{yz}$ ，上述三項之誤差項分別為  $\varepsilon_y$ 、 $\varepsilon_z$ 、及  $\varepsilon_{yz}$ ，假設  $\varepsilon_y$  與  $\varepsilon_{yz}$  為統計獨立，

且  $\varepsilon_z$  與  $\varepsilon_{yz}$  為統計獨立，因此根據相關文獻 Ben-Akiva 等人<sup>[8]</sup>的推導可得效用函數  $U_{yz}$  為：

$$U_{yz} = V_y + V_z + V_{yz} + \varepsilon_y + \varepsilon_z + \varepsilon_{yz} \quad (7)$$

其中  $V_y = K_{10} + K_2 S_y + K_3 C_y \quad (8)$

$$V_z = K_{20} + K_4 TR_z + K_5 L_z \quad (9)$$

$$V_{yz} = V_{zy} = K_6 D_z + K_7 F_{zy} \quad (10)$$

前述(8)、(9)以及(10)式中之  $K_2 \sim K_7$  為各變數之參數，而常數  $K_{10}$  代表裝置車上電子設備之其他效益或成本之彙總，所謂效益包含可使用自動轉帳或信用卡等方式先行付費 (prepaid) 而不需在通過收費站另外再行收費、表示個人之地位與時髦之象徵等，而成本部分包含個人隱私之損失、遺失掛失之不便等因素。 $K_{20}$  代表使用 AVI 車道收費之其他效益或成本之彙總，所謂效益包含通過收費站之便利與快速，而成本部分包含使用人工收費方式時之車輛停等、車輛之耗損與空氣污染等因素。鑑於國內現今並未實際實施電子收費系統，因此各參數值乃引用 Chang<sup>[3]</sup>的合理校估結果假設如表 3 所示。其中因  $y \in Y = \{t, f\}$  且  $z \in Z = \{a, m\}$ ，因此必須先求解出個別的  $V_{yt}$ 、 $V_{yf}$ 、 $V_{za}$ 、 $V_{zm}$  及  $V_{zayt}$ 、 $V_{zmyf}$ 、 $V_{zayf}$ 、 $V_{zmyf}$  等值。

表 3 假設參數值

屬性變數	變數	參數	參數校估值
AVI 設備常數	—	$K_{10}$	0.800
AVI 安裝成本	$S_y$	$K_2$	-2.000 設備選擇
駕駛者所得	$C_y$	$K_3$	0.100
設備應用偏好	—	$K_{20}$	2.000
基本旅行時間	$TR_z$	$K_4$	-0.200 車道選擇
各收費方式車道數	$L_z$	$K_5$	0.500
收費服務時間 (延滯)	$D_z$	$K_6$	-15.000 上述二者之共通屬性
費率折扣	$F_{zy}$	$K_7$	0.300
模式參數	—	$\mu^z = 0.40$	$\mu^y = 0.40$

資料來源：本研究參酌 Chang 等人之研究<sup>[3]</sup>修正而得。

若假設  $\text{var}(\varepsilon_z) = 0$ ，則可以推導得到：

$$P(y) = \frac{e^{(V_y + V'_{y'})\mu^y}}{\sum_{y' \in Y} e^{(V_y + V'_{y'})\mu^y}} \quad (11)$$

$$V'_y = \frac{1}{\mu^z} \ln \sum_{z \in Z_y} e^{(V_z + V'_{zy})\mu^z} \quad (12)$$

其中(11)式之  $P(y)$  為機率值，表示配備選擇使用率之機率值，可求得有裝電子收費設備的使用率  $P_{yt}$  及未裝設備的使用率  $P_{yf}$ ，而在模式中加入  $v'_y$ ，由於該二項方案選擇之間具有共同的影響因素（例如：延滯），因此在考慮選擇設備時，也同時考慮其共同影響因素  $v_{zy}$ ，式中  $v'_y$  是由(8)、(9)以及(10)式的數值分別代入(12)式中，可分別求算出有裝電子收費設備的效用函數值  $V'_{yt}$  及未裝 AVI 設備的效用函數值  $V'_{yf}$ 。

同樣的，若假設  $\text{Var}(\varepsilon_y) = 0$ ，則可以推導得到

$$P(z) = \frac{e^{(V_z + V'_z)\mu^z}}{\sum_{z \in Z} e^{(V_z + V'_z)\mu^z}} \quad (13)$$

$$V'_z = \frac{1}{\mu^y} \ln \sum_{y \in Y_z} e^{(V_y + V'_{yz})\mu^y} \quad (14)$$

其計算過程相同如前所述，(13)式之  $P(z)$  為機率值，表示車道選擇使用率之機率值，可求得自動收費車道使用機率  $P_{za}$  及人工收費車道使用機率  $P_{zm}$ ，而在模式中加入  $v'_z$ ，由於該二項方案選擇之間具有共同的影響因素（例如：延滯），因此在考慮選擇設備時，也同時考慮其共同影響因素  $V_{zy}$ ，式中  $v'_z$  是由(8)、(9)以及(10)式的數值分別代入(14)式中，可分別求算出自動收費車道的效用函數值  $V'_{za}$  及人工收費車道的效用函數值  $V'_{zm}$ 。前述兩式中之  $\mu^y$  與  $\mu^z$  為 Weibull 分配之參數，可由效用函數之校估程序中求得。

由(11)式及(13)式可以推導得到有裝設 AVI 設備  $y$  之車輛其使用不同收費方式  $z$  之機率如下：

$$P_{zayt} = P(za|yt) = \frac{p_{za} \times P(yt|za)}{P_{yt}} = \frac{p_{za}}{P_{yt}} \quad (15)$$

本研究假設無特殊情形發生，即必須有裝置 AVI 設備之車輛始能通過自動收費車道，所以  $P(yt|za) = 1$ ，可以得到(15)式之結果。

$$p_{zmyt} = 1 - p_{zayt} = 1 - \left( \frac{p_{za}}{P_{yt}} \right) = \frac{P_{yt} - p_{za}}{P_{yt}} = \frac{(1 - p_{yf}) - (1 - p_{zm})}{P_{yt}} = \frac{(p_{zm} - p_{yf})}{P_{yt}} \quad (16)$$

式中  $p_{zayt}$  表示裝有 AVI 設備之車輛使用自動收費車道的機率，而  $p_{zmyt}$  表示裝有 AVI 設備之車輛使用人工收費車道的機率。

基於以上的分析，使用自動收費車道之平均每車道車流量 ( $q_a$ ) 以及使用一般人工收

費車道之平均每車道車流量 ( $q_m$ ) 分別為

$$q_a = \frac{Q \times P_{za}}{L_a} \quad (17)$$

$$q_m = \frac{Q \times P_{zm}}{L_m} \quad (18)$$

至於安裝與不安裝車上電子設備之車輛數則分別為：

$$Q_t = Q \times P_{yt} \quad (19)$$

$$Q_f = Q \times P_{yf} \quad (20)$$

其中安裝車上電子設備但又使用一般人工收費車道的車輛數有：

$$Q_{m|t} = Q \times P_{zmyt} \quad (21)$$

### 三、數值演算說明

本節應用合理假設之參數與屬性變數值，說明均衡分析之結果，並針對重要的各項參數及屬性變數值，進行敏感性分析，以說明自動收費技術之供需特性。本研究乃一理論性之探討，根據前述 Chang<sup>[2]</sup>、Chang<sup>[3]</sup>、Foote<sup>[4]</sup>、Nielsten<sup>[5]</sup> 及 Kanaan<sup>[6]</sup> 相關研究之綜合分析，假設各屬性變數的平均值如表 4 所示。

表 4 假設變數值

屬性變數	AVI 設備、自動收費車道	無 AVI、人工收費車道	單位
AVI 安裝使用費	$S_t = 2,000$	$S_f = 0$	仟元
駕駛者所得	$C_t = 60$	$C_f = 45$	萬元／年
基本旅行時間	$T_{Ra} = 45$	$T_{Rm} = 45$	分鐘
各收費方式車道數	$L_a = 2$	$L_m = 3$	車道
費率折扣	$F_{ta} = F_{tm} = 5.0$	$F_{fa} = F_{fm} = 0.0$	%
收費車道服務容量	$C_a = 1,400$	$C_m = 800$	車／小時／車道
總流量	$Q = 3,000$	$Q = 3,000$	車／小時

資料來源：本研究自相關研究如 [2]、[3]、[4]、[5] 及 [6] 等之分析案例綜合整理而得。

由於上述模式之演算過程相當複雜繁瑣，特以二個自動收費、三個人工收費（簡稱為 2A3M）及表 5 之 0-6 時段之數值作說明：

以(11)式之  $P_{yt}$  做為例子，由於  $z' \in Z = \{a, m\}$ ，所以求  $P_{yt}$  之分母僅包含二項，

$$P_{yt} = \frac{e^{(V_{yt} + V'_{yt})\mu^y}}{e^{(V_{yt} + V'_{yt})\mu^y} + e^{(V_{yf} + V'_{yf})\mu^y}} \quad (22)$$

由(12)式得知，因為  $Z_t = \{a, m\}$ ， $Z_f = \{m\}$ ，可求得：

$$V'_{yt} = \frac{1}{\mu^z} \ln[e^{(V_{za} + V_{zayt})\mu^z} + e^{(V_{zm} + V_{zmyt})\mu^z}] \quad (23)$$

$$V'_{yf} = \frac{1}{\mu^z} \ln[e^{(V_{zm} + V_{zmyt})\mu^z}] \quad (24)$$

將表 3、表 4 之資料代入(8)式，可求得：

$$\begin{aligned} V_{yt} &= K_{10} + K_2 \times S_t + K_3 \times C_t \\ &= 0.8 + (-2.0) \times 2,000 + (0.1) \times 600,000 \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} V_{yf} &= K_{10} + K_2 \times S_f + K_3 \times C_f \\ &= 0.8 + (-2.0) \times 0 + (0.1) \times 450,000 \end{aligned} \quad (26)$$

從(25)、(26)式可了解，安裝使用費 ( $S$ ) 愈高時，使用者愈不喜歡安裝車上電子設備 (負比率關係)；另外，駕駛者所得愈高者，愈偏向喜歡安裝 (正比率關係)，此與先驗知識是相符的，所以經由此效用函數模式便可得知駕駛者對於是否安裝車上電子設備之偏好程度。

同樣的將表 3 與表 4 資料代入(9)式，可求得：

$$\begin{aligned} V_{za} &= K_{20} + K_4 \times TR_a + K_5 \times L_a \\ &= 2 + (-0.2) \times (45/60) + (0.5) \times 2 \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} V_{zm} &= K_{20} + K_4 \times TR_m + K_5 \times L_m \\ &= 2 + (-0.2) \times (45/60) + (0.5) \times 3 \end{aligned} \quad (28)$$

從(27)、(28)式可了解，當旅行時間愈長，愈不喜歡使用該收費方式之車道 (負比率關係)；另外，當該種收費方式的車道數愈多時，愈偏向喜歡使用該收費方式之車道 (正比率關係)，與先驗知識也是符合的。因此，經由此效用函數模式便可得知駕駛者將選擇何種收費方式之車道通過。

同樣的經由(10)式，可求得：

$$\begin{aligned} V_{zayt} &= K_6 \times D_a + K_7 \times F_{ta} \\ &= (-15.0) \times (0.0015) + (0.3) \times (0.05) \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} V_{zmyf} &= K_6 \times D_m + K_7 \times F_{fm} \\ &= (-15.0) \times (0.0027) + (0.3) \times 0 \end{aligned} \quad (30)$$

從(29)、(30)式可了解，當收費服務時間（延滯）愈長時，愈不喜歡裝置車上電子設備及使用該收費方式之車道（負比率關係）；另外，亦考慮到費率折扣之問題，當折扣費率愈高，其使用偏好也愈高（正比率關係），與先驗知識比較也是合理的，因此，經由此效用函數模式便可得知使用者其採用方式之偏好程度。

將(27)、(28)、(29)及(30)式分別代入(23)、(24)式，可求得  $V'_{yt}$  及  $V'_{yf}$ ，再將(25)、(26)式代入(22)式，即可求得  $P_{yt}$  之值。

## 四、案例分析

本節進一步將一完整數值案例進行解析，並用以說明所建立模式在成本效益分析之應用分析結果。以下首先說明均衡狀態之求解流程，其次說明過飽和狀態的延滯分析方法，接著以敏感度分析探討各重要參數的影響，最後則是成本效益分析之結果。

### 4.1 均衡狀態求解

前述已說明各分析模式，假設總需求量固定，則設備和車道選擇模式兩者均與服務績效有互動關係，亦即服務績效影響設備與車道之選擇，而設備與車道選擇又將影響各收費車道的車輛數，進而影響車道服務績效，設備和車道選擇模式兩者有權衡取捨 (tradeoff) 的現象發生，因此可求得一均衡狀態。以下扼要說明應用前述各式的求解方式，使系統達到均衡狀態的收斂情形，其流程如圖 3 所示。

步驟 0：假設使用電子收費車道的流量為  $Qa^0$ ，則平均延滯為  $da^0$ ；而使用人工收費車道之車輛數為  $Qm^0 = Q - Qa^0$ ，則平均延滯為  $dm^0$ ，此時使用電子收費車道之車輛數為  $Q_a^l = Q \times P_{za}$  車／小時，而使用人工收費車道之流量為  $Q_m^l = Q - Q_a^l$  車／小時。

第  $K$  次運算之運算過程如下：

步驟 1：由使用 AVI 自動收費車道流量為  $Q_a^{k-l}$ ，求得使用自動收費車道的平均延滯為  $d_a^{k-l}$ ；同理，可求得使用人工收費車道之平均延滯為  $dm^{k-l}$ 。

步驟 2：由各收費車道之延滯值  $d_a^{k-l}$  與  $dm^{k-l}$ ，求得設備與車道選擇機率，此時使用電子收費車道之車輛數為  $Q_a^k = Q \times P_{za}$  車／小時，而使用人工收費車道之流量為  $Q_m^k = Q - Q_a^k$  車／小時。

步驟 3：若  $|Q_a^k - Q_a^{k-1}| < \lambda$ ，設定之收斂條件 ( $\lambda \leq 0.0001$ )，則達到均衡狀態，否則重複步驟 1 至步驟 3。

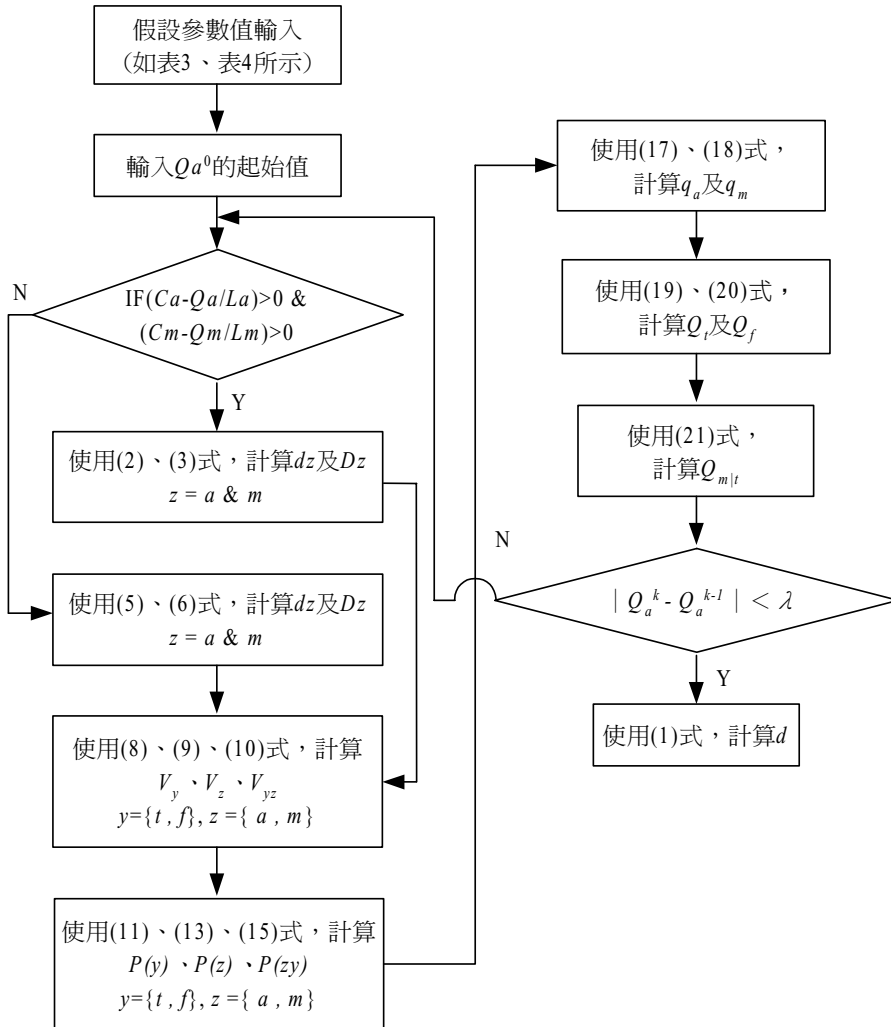


圖 3 求解均衡狀態之流程

上述的均衡狀態分析過程，在流程圖的第三個步驟，加入判斷式，以判斷電子自動收費車道的流量是否超過車道容量，作組合性之判斷，以決定採用何種模式計算延滯時間。

## 4.2 等候狀態求解

本研究嘗試以表 1 之情況進行均衡分析時發現，當抵達率之流量以動態情形發生時，如範例中的 6-10 時；若其系統車流量大於最大服務率時，如 9-10 時，因為此時段之車流



是以動態線性方式抵達，且在 10-15 時之時段，系統發生過飽和現象，所以在 9-15 時的時段，必須以等候理論來分析其延滯時間。

針對圖 1 的流量變化情況，其延滯時間及等候車輛數之分析求解過程如下：

1. 先分析何時開始發生等候現象，本範例之車道配置為二個自動收費、三個人工收費（簡稱為 2A3M），所以其最大服務率 =  $2 \times 1,400 + 3 \times 800 = 5,200$

因為  $2,800 + 8,00 \times (T-6) = 5,200$ ，可求得  $T = 9$ ，因此，上午 9 時開始發生等候現象。

2. 求解 9-10 時的等候線，

$$L1 = \int (2,800 + 800 \times (T - 6) - 5,200) dT = 400T^2 - 7,200T + k$$

$$L1(T = 9) = 400(9^2) - 7,200(9) + k = 0 \Rightarrow k = 32,400$$

$$\rightarrow L1(T = 10) = 400(10^2) - 7,200(10) + 32,400 = 400$$

因此，上午 10 時，所累積的車輛數 = 400 輛。

3. 求解 10-12 時的等候線，

$$L2 = \int (6,000 - 5,200) dT = 800T \rightarrow L2 = 800(T - 10) + 400$$

$$L2(T = 12) = 800(12 - 10) + 400 = 2,000$$

因此，中午 12 時，所累積的車輛數 = 2,000 輛。

4. 求解 12-14 時的等候線，

$$L3 = \int (5,400 - 5,200) dT = 200T \rightarrow L3 = 200(T - 12) + 2,000$$

$$L3(T = 14) = 200(14 - 12) + 2,000 = 2,400$$

因此，14 時，所累積的車輛數 = 2,400 輛。

5. 在 14 時，所累積的車輛數達最高峰，以後便開始進行紓解，其紓解時間：

$2,400 / (5,200 - 2,800) = 1$  (小時)，因此在下午 3 時，完全紓解，恢復正常車流。

上述分析結果如圖 4 所示。

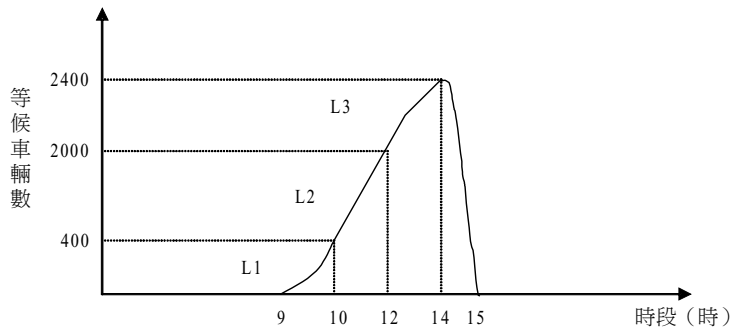


圖 4 等候車輛數分析

### 4.3 數值演算分析

#### 4.3.1 均衡狀態分析

經由均衡分析，在二個自動收費、三個人工收費（簡稱為 2A3M）車道配置情況下，求得各時段之變數值如表 5 所示。

表 5 各時段之變數值

變數 \ 時段	0-6	7	8	9-10	10-12	12-14	14-15	15-24
$d$	0.0021	0.0031	0.0062	0.0238	0.2	0.407	0.4286	0.0021
$D_a$	<b>0.0015</b>	0.0023	0.0047	none	none	none	none	0.0015
$D_m$	<b>0.0027</b>	0.0041	0.0081	none	none	none	none	0.0027
$P_{za}$	0.5355	0.5364	0.5389	none	none	none	none	0.5355
$P_{zm}$	0.4645	0.4636	0.4611	none	none	none	none	0.4645
$P_{yt}$	<b>0.6223</b>	0.6227	0.6235	none	none	none	none	0.6223
$Q_t$	1,058	1,358	1,656	none	none	none	none	1,058
$Q_f$	1,742	2,242	2,744	none	none	none	none	1,742
$P_{ytza}$	0.8605	0.8615	0.8642	none	none	none	none	0.8605
$P_{yztm}$	<b>0.1395</b>	0.1385	0.1358	none	none	none	none	0.1395

註：none 表示無數值。

在表 5 中我們舉 0-6 時之例來作說明。由於在這時段，車流量是以固定的方式抵達，每小時 2,800 輛，且未發生等候現象，因此系統會達均衡狀態，可依前述的均衡狀態求解，算出每輛車通過收費站所花費之時間約為 0.0021 小時，而在供需均衡狀況下車上電子設備的使用率約為 62.23%。由於本研究考慮用路者的社會經濟因素，因此有相當多的人選擇裝置車上電子設備，導致自動收費車道之平均延滯 (0.0015) 與人工收費之平均延滯 (0.0027) 差異不大，形成用路者均衡。由此案例亦顯示，由於自動收費車道的擁擠增加，所以有部分裝有電子設備的車輛在選擇車道時，選擇由人工收費車道通過，由此一實例分析結果顯示，具有車上電子設備之車輛而使用人工收費車道之比率約為 13.95%，此一現象間接說明 ETC 車道的配置必須妥善規劃的重要性，若自動收費車道不夠多時，便會有部分裝有車上電子設備的車輛轉移至人工收費車道。就整體車道使用而言，使用自動收費車道的車輛比率約為 53.55%。

在 6-10 時，此時段之流量由於以動態線性方式遞增，且在 6-9 時之間並未發生等候現象（未達到系統容量），所以在 6-9 時之時段，系統會達到均衡狀態，因此在表 5 中可以發

現， $P_{za}$ 、 $P_{zm}$  及  $P_{yt}$  並無明顯改變，僅些微變化；在 7 時，通過自動收費車道的延滯時間 (0.0023 小時) 僅增加少許，而通過人工收費車道的延滯時間 (0.0041 小時)，增加的幅度較大，尤其在 8 時，增加至 0.0081 小時，足足比 0-6 時的時段增加超過 3 倍；而此時段通過自動收費車道的延滯時間，也顯著的增為 0.0047 小時，也比 0-6 時的時段增加 3 倍，顯示此時的車道配置有必要作調撥性的調整，以減少系統的延滯。

### 4.3.2 等候狀態分析

在 9-10 時的時段，由於車流量是動態線性遞增，且產生等候現象，因此，在此時段系統為過飽和的狀態 (超過系統容量)，無法使系統達到均衡狀態，並不適合作均衡狀態分析，所以此時段可應用等候理論的方式進行分析其等候時間，其分析方式係採用(4)式來分析其每車道每車平均延滯，

$$d_{9-10} = \frac{\int_9^{10} (400T^2 - 7,200T + 32,400) dT}{\int_9^{10} \{(2,800 + 800(T - 6))\} dT} = \frac{133.333}{5,600} = 0.0238$$

$$d_{10-12} = \frac{\int_{10}^{12} (800 - 7,600) dT}{\int_{10}^{12} 6,000 dT} = \frac{2,400}{12,000} = 0.2$$

$$d_{12-14} = \frac{\int_{12}^{14} (200T - 400) dT}{\int_{12}^{14} 5,400 dT} = \frac{4,400}{10,800} = 0.407$$

$$d_{14-15} = \frac{2,400/2}{\int_{14}^{15} 2,800 dT} = \frac{1,200}{2,800} = 0.4286$$

從上述計算結果發現，在 9-10 時的時段中，車道平均延滯為 0.0238 小時，比起先前的各時段，均顯著的增加其延滯，在 10-12 時段中，每小時抵達的車流量為 6,000 輛，為一般時段的兩倍之多，所以系統的延滯也增加至 0.2 小時；在 12-14 時段中，因為在 14 時，等候線長度累積至 2,400 輛之高峰，因此延滯的現象更為嚴重，達到 0.407 小時；在 14 時以後，便開始進行紓解，必須紓解所累積的 2,400 輛之車輛，其所需紓解時間：2,400 / (5,200 - 2,800) = 1 (小時)，使其車道平均延滯情形達到最尖峰，高達 0.4286 小時。

在 10-12 時及 12-14 時兩時段的抵達率為常數，本研究嘗試著以(5)式分析當車流量大於最大服務率時，來求算車道平均延滯，但此兩時段因為均超過系統 (2A3M) 最大容量 (5,200 輛／小時)，整個系統呈現過飽和現象，經過本研究之模式的模擬，測出系統不可能達到均衡狀態，但此時若適當地調整車道配置，如改為 3A2M 的情形，便可改善車輛擁擠等候的現象。因此，在此兩時段，必須運用上述的分析方式，來求解各時段的平均延滯。

由於本研究的系統均衡狀態，是要求得自動收費車道與人工收費車道的延滯時間趨於某種程度的收斂，此時的車道選擇，不會因為車上電子設備市場使用率的高低而有所改變；因此，本研究另外嘗試使用此種收斂方式與前述之使用  $Q_a$  收斂方式作比較，經過測試之後，所產生之結果相同。

### 4.3.3 敏感度分析

在上述分析中，車流量、車道配置、安裝使用費、費率優惠、服務容量以及各屬性變數的相關參數，都會影響分析結果；以下逐一說明這些參數值的影響，並分析不同車上電子設備使用率下的系統平均延滯情形，進而討論推行自動收費系統應可採行之策略。

#### (1) 流量變動

本研究首先假設流量由 1,000 (車/小時) 開始，而每隔 500 (車/小時) 逐漸增加，變動至 4,500 (車/小時)，所得之分析結果如圖 5 與圖 6 所示，分析結果顯示，其車上電子設備使用率由 0.6221 開始，於流量 4,000 (車/小時) 達最高點 0.6230，其延滯增加之幅度相當小，此乃由於自動收費設備的效率相當穩定，因此，當流量越高時，吸引更多自動收費設備的用路者。但當流量達到接近飽和程度時，由於自動收費車道吸引過多用路者，導致延滯相對升高，因此車上電子設備的使用率於流量 4,500 (車/小時) 稍微降低至 0.6229。從圖 5 中可看出，其增加之幅度 (斜率) 隨著車流量呈曲線遞增。

從圖 6 顯示，當車流量增加時，裝置車上電子設備的車輛選擇自動收費車道的不轉移比率也逐漸增加，由 0.8596 增加至 0.8625 的最頂點，再下降至 0.8621，因此若車道配置不隨流量之成長作有效調整，則將迫使裝置車上電子設備的車輛再轉移到一般人工收費車道。相對地，裝置車上電子設備的車輛選擇人工收費車道的轉移比率將因流量之增加而逐漸減少。

各種收費車道的使用比率與車流量之關係 (如圖 7 所示)，使用自動收費車道的比率，也隨著車流量之增加而遞增，使用率由 0.5348 增至 0.5375 的巔峰，相同地，當流量過高時自動收費車道的使用率隨流量增加而有減緩趨勢，微降至 0.5369。相反地，使用人工收費車道的比率，隨著流量之增加而有下降的關係產生。

由以上分析可知，不管設備選擇使用率、轉移比率及車道選擇使用率，均隨著車流量而遞增，但增加幅度不大；另外，自動收費設備的配置數量在流量到達飽和時，若不隨流量而作調整，則該設施的使用率會有下降的趨勢。

#### (2) 變動車道配置

若維持總車道為五車道，變動自動與人工收費車道的配置組合方式，可以得到如圖 8 與圖 9 的分析結果。如前所述，圖 8 說明自動收費車道數增加 (由 1A 增至 4A)，則裝置電子收費設備的車輛選擇使用人工收費車道的轉移比率 (由 0.3639 降至 0.0392) 大幅降低，但其降低幅度的比率逐漸縮減，以減少設施閒置浪費的情形。

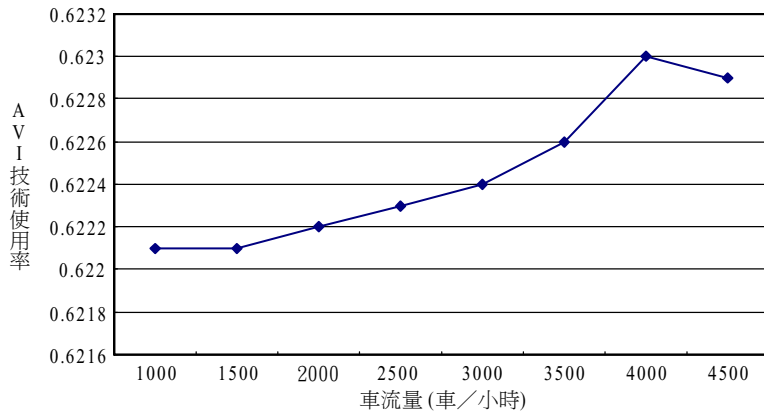


圖 5 車上電子設備使用率與車流量之關係 (2A3M)

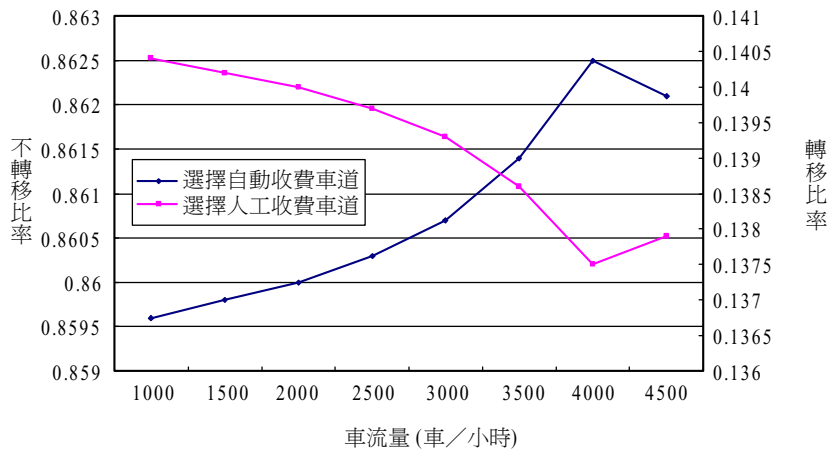


圖 6 裝置電子設備車輛之轉移比率與車流量之關係 (2A3M)

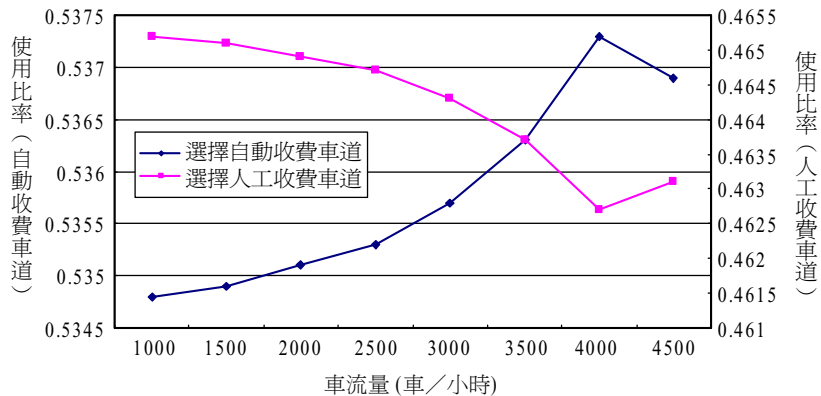


圖 7 收費車道使用率與車流量之關係 (2A3M)

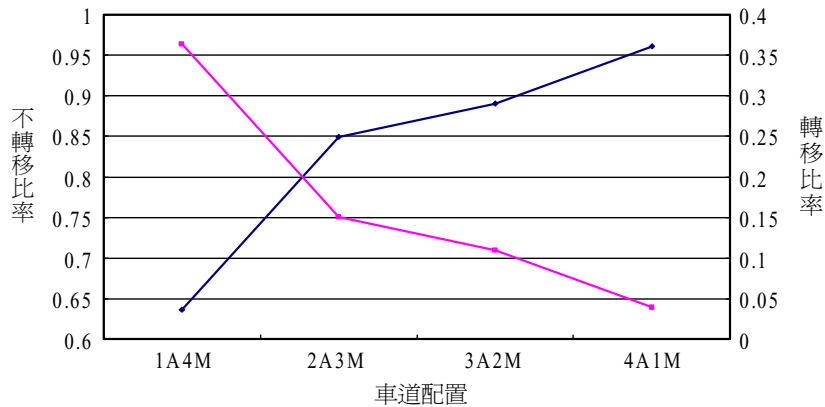


圖 8 裝置 AVI 設備車輛轉移比率與車道配置之關係 ( $K5 = 0.5$ , 2A3M)

圖 9 說明在流量固定狀況下，如果增加自動收費車道的數量，則車上電子設備的使用率有增加的情形（幾乎呈直線增加），圖中也顯示車道數之參數  $K5$  的變動對於車上電子設備的使用率影響不大。另外，電子收費市場使用率在車道配置的自動收費車道數在兩車道以下時，隨著參數  $K5$  的增加而微幅降低。但自動收費車道數在三車道以上時，電子收費市場使用率卻隨著參數  $K5$  的增加而微幅增加。

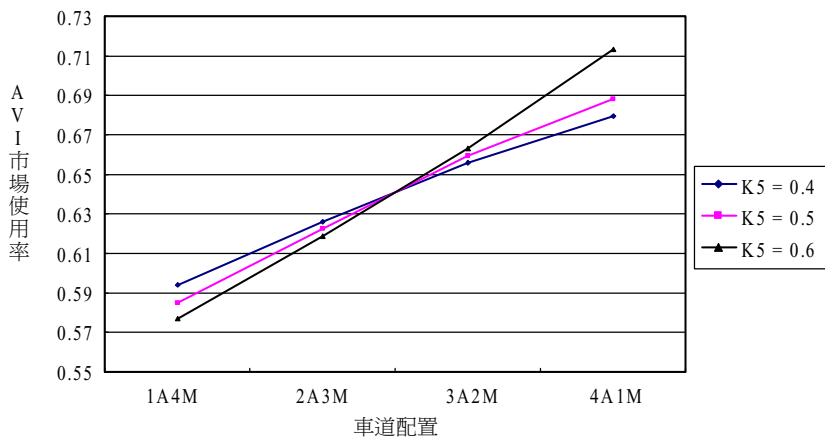


圖 9 電子收費市場使用率與車道配置之關係

### (3) 變動安裝使用費

安裝使用費主要為識別器、讀卡機、智慧卡、轉帳、預支利息、及資料處理等相關費用，如使用信用卡轉帳則此項費用為信用卡的年費加上少許跨行轉帳費用。本研究將安裝使用費由 250 元增加到 4,000 元（依新加坡的經驗，折合成台幣也是在 3,000 ~ 4,000），並變動其參數值，分析結果如圖 10 所示。以  $K2 = -1.0$  及  $K2 = -3.0$  說明，圖中顯示若安裝

使用費為 250 元的使用率分別是 77.82% ( $K2 = -1.0$ ) 及 76.02% ( $K2 = -3.0$ )，當使用費增加至 4,000 元，其使用率增為 62.24% ( $K2 = -1.0$ ) 及 24.85% ( $K2 = -3.0$ )；換言之，當安裝使用費增加由 250 元增加到 4,000 元時，會使電子收費的使用率降低，而且若安裝使用費增加至 4,000 元，用路者對該費用的重視程度 ( $K2$ ) 增加 ( $K2 = -1.0 \rightarrow K2 = -3.0$ )，則電子收費使用率的降低幅度相當可觀 (由 62.24% 降為 24.85%)。

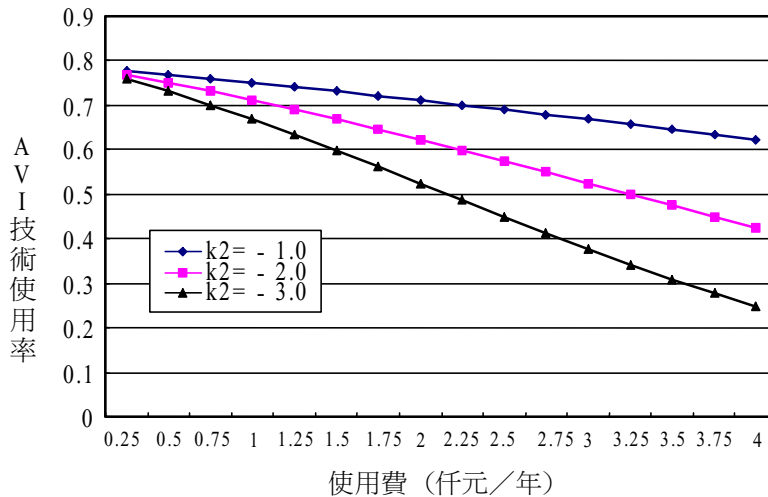


圖 10 使用費對車上電子設備使用之影響 (2A3M)

#### (4) 變動優惠費率

優惠的費率折扣會吸引更多的用路者，考慮裝置車上電子設備，也可作為政府主管機關或經營業者，為鼓勵使用自動收費車道來減少系統延滯及增加系統作業效率的一種補貼手段。

經由圖 11 的分析結果顯示，以  $K7 = 0.1$  及  $K7 = 0.5$  說明，當無費率折扣時，車上電子設備使用率均為 54.94%，當費率折扣增加至 15% 時，車上電子設備使用率分別增為 62.24% ( $K7 = 0.1$ ) 及 84.69% ( $K7 = 0.5$ )，因此若優惠費率增加時，則車上電子設備的使用率將會增加，並隨用路者的重視程度 ( $K7$ ) 的增加而增加。但是費率優惠的增加幅度如過大，則將吸引過多的車上電子設備用路者，可能會造成整體系統延滯增加，因而必須調整 ETC 車道的配置。

如圖 12 中所示，當  $K7 = 0.1$  時，其費率折扣增加，對系統的平均延滯變化幅度並不明顯，但是當  $K7 = 0.5$  時，在無費率折扣的情況，其平均延滯為 0.1318 (分鐘/車)，一旦費率折扣高達 15% 時，其系統平均延滯激增為 0.3050 (分鐘/車)，則系統平均延滯將大幅增加，因此該項補貼的費率折扣不宜過高，否則反而造成反效果，無法達到補貼應有的效益。

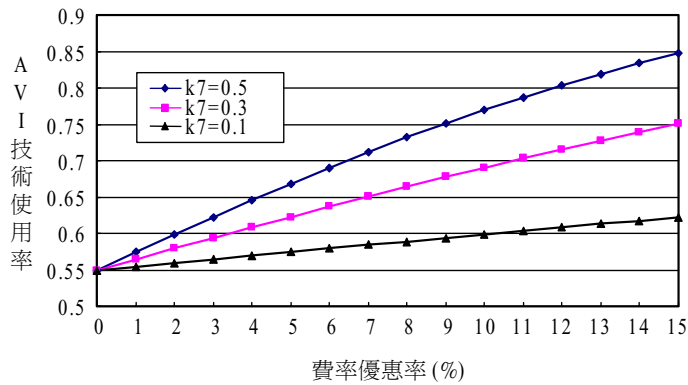


圖 11 費率優惠與車上電子設備使用率之關係 (2A3M)

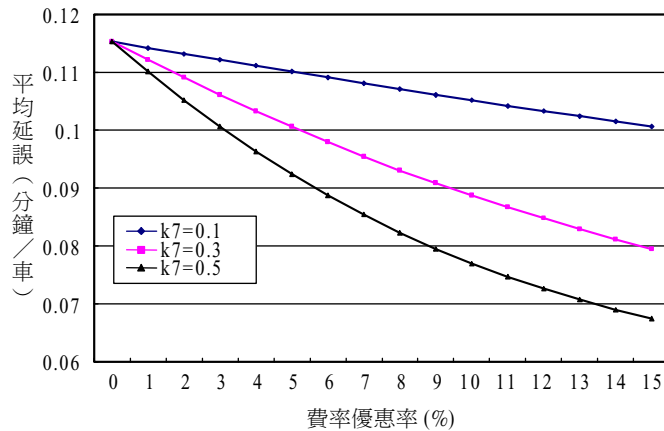


圖 12 費率優惠率與平均延滯之關係 (2A3M)

#### (5) 變動電子收費技術設備水準

本研究並未深入探討比較不同電子收費技術，僅是由技術績效分析其在收費在應用對於通過率及容量之影響。事實上，ETC 技術範圍由車牌辨識、短距通訊 (Dedicated Short Range Communication, DSRC) 技術之系統、乃至於結合無線通訊及車輛自動定位技術之 VPS (Vehicle Positioning System) 技術之應用<sup>[11]</sup>，本文著重在以車道為主體的 ETC 系統；然而，無論應用何種技術，這些不同技術之應用在建置與營運成本上均有差異，而其總體績效亦將受到影響。

當公路系統擁有高技術水準的 ETC 設備時，便容許車輛以較高的速率通過收費站，因此可以提升自動收費車道的服務容量。基於上述之原因，本研究若變動自動收費車道的服務容量，便可視為 ETC 設備水準的提升，分析結果如圖 13 與圖 14 所示。

圖 13 中，以  $K6 = -18$  來說明，自動收費車道的服務容量由 1,000 車／小時增至 1800



車／小時，增幅為 80%，但其電子收費設備使用率僅由 62.05% 增加至 62.30%，僅提升 0.8%，此意義代表雖投資大筆資金於電子收費設備的技術水準而提升收費車道的服務容量，但對於設備使用率並未相對的大幅提升，此現象呈現了本研究之重點之一，凸顯用路者對於系統延滯時間的重視，即使車輛裝置了昂貴的電子收費設備，仍有可能部分的用路者會考慮當時系統時間的延滯，而轉移至延滯時間較少的人工收費車道，導致設備使用率僅微幅提升；另外，本研究也考慮到用路者對延滯時間的重視 ( $K6 = -12 \sim -18$ )，當  $K6 = -12$  時，其設備使用率由 62.08% 增加至 62.25%，增加 0.17，但當  $K6 = -18$  時，其設備使用率由 62.05% 增加至 62.30%，增加了 0.25%， $K6$  之值負的愈大 (如  $K6 = -18$ ) 是表示系統的延滯情形愈嚴重，上述現象說明了當系統延滯情況愈嚴重時，用路者仍是會選擇自動收費車道，因此使用率增加幅度會些微增加 (0.17%→0.25%)，表示用路者仍信賴使用電子收費設備會減少延滯，但某些裝置車上電子收費設備的用路者會考慮當時延滯情況而作調整，使得增加幅度並不明顯。

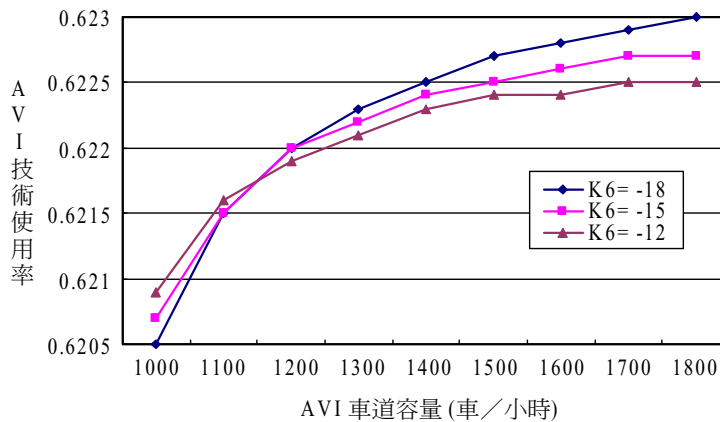


圖 13 AVI 車道容量與 AVI 設備使用率之關係

圖 14 中說明自動收費車道服務容量的增加，將使整體收費站的延滯降低，其中以自動收費車道的平均延滯降低幅度較高 (呈曲線)，而人工收費車道的變動較為平緩 (幾乎呈直線)，不過皆呈邊際遞減的變化關係。因此，未來電子收費設備的改良與使用，將對於此項設備的推廣有正面的效果，並可以降低系統延滯；而對於電子收費設備投資與技術提升之相關決策，亦可權衡其所需成本效益以及其他潛在功能與應用做一整體考量。

#### 4.4 成本效益分析之應用

由前述的分析可以決定供需均衡條件，但設施的投資應以社會資源的最佳利用為依據，亦即同時考慮經營者、用路者、與外部社會的成本與效益。本研究舉一簡例說明成本效益分析結果。考慮的成本項目如表 2 所示，參酌相關文獻<sup>[6,11,12]</sup>並考量通貨膨脹將其數值略作調整，假設之數值如表 6 所示。

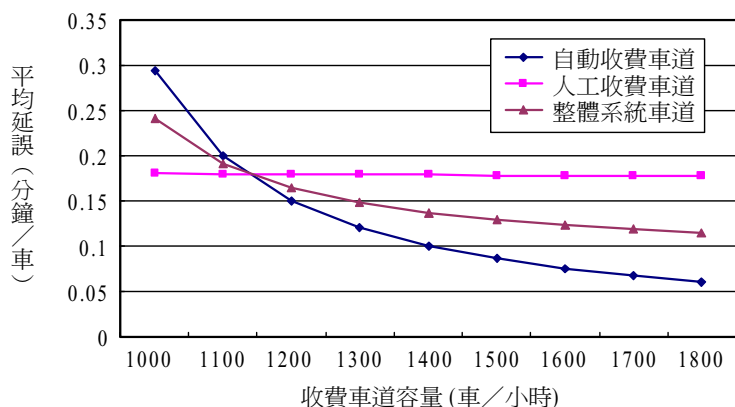


圖 14 車道容量與平均延滯之關係 (2A3M)

表 6 各項成本假設值

成本項目	自動收費車道	人工收費車道	單位
經營者投資成本	$Ia = 990,000$	$Im = 270,000$	元/年/車道
營運成本	$Oa = 195,000$	$Om = 105,000$	元/年/車道
維修成本	$Ma = 1,824,000$	$Mm = 300,000$	元/年/車道
用路者時間價值	$Vt = 240$		元/小時
燃油消耗率	$ea = 3.0$	$em = 5.0$	公升/車小時
油價	$Pl = 19.2$		元/公升
裝置使用費	$Sa = 1,200$		元/年/車
外部社會污染成本	$Ea = 2,400$	$Em = 4,800$	元/年/車

資料來源：本研究整理。

## 1. 成本分析

成本分析中係以系統總成本 (C) 及成本增量 (CK)，應用(31)~(35)式對於營運者與用路者進行分析：

$$Cao = (Ia + Oa + Ma) \times La \quad (31)$$

$$Cmo = (Im + Om + Mm) \times Lm \quad (32)$$

$$Catu = Sa \times Qt \quad (33)$$

$$C = Cao + Cmo + Catu \quad (34)$$

$$CK = C - ((Im + Om + Mm) \times (La + Lm)) \quad (35)$$

式中各變數參數之定義依營運者與使用者予以定義說明如下：

(1) 營運者部分：

a. 自動收費車道

$Cao$ ：設置自動收費車道之成本；

$La$ ：設置之自動收費車道數。

b. 人工收費車道

$Cmo$ ：設置人工收費車道之成本；

$Lm$ ：設置之自動收費車道數。

(2) 用路者部分：

$Catu$ ：裝置 AVI 設備之總車輛成本；

$Qt$ ：裝置 AVI 設備之車輛數。

其餘變數請參考表 2 所示。

2. 效益分析

效益分析中係以系統總效益 ( $Bt$ )，應用(36)~(42)式對於用路者與外部效益進行分析：

$$Cau = (Da \times Vt + ea \times Da \times Pl) \times Qa \quad (36)$$

$$Cmu = (Dm \times Vt + em \times Dm \times Pl) \times Qm \quad (37)$$

$$Btu = (D0 \times Vt + em \times D0 \times Pl) \times Q_{hr} - (Cau + Cmu) \quad (38)$$

$$Cas = Ea \times Qa \quad (39)$$

$$Cms = Em \times Qm \quad (40)$$

$$Bts = (Q_{hr} \times Em) - (Cas + Cms) \quad (41)$$

$$Bt = (Btu + Bts) \times 24 \times 365 \quad (42)$$

式中各變數參數之定義依使用者與社會外部效益予以定義說明如下：

(1) 用路者部分：

a. 自動收費車道

$Cau$ ：用路者選擇自動收費車道之成本；

$Da$ ：使用自動收費車道之延滯時間；

$Qa$ ：選擇自動收費車道的車輛數。

b. 人工收費車道

$Cmu$ ：用路者選擇人工收費車道之成本；

$Dm$ ：使用人工收費車道之延滯時間；

$Qm$ ：選擇人工收費車道的車輛數；

$Btu$ ：用路者之總效益；

$D0$ ：系統全部使用人工收費車道之延滯時間；

$Q_{hr}$ ：每小時抵達系統的車輛數。

## (2) 外部社會部分：

$Cas$ ：使用自動收費車道之車輛產生的外部污染成本；

$Cms$ ：使用人工收費車道之車輛產生的外部污染成本；

$Bts$ ：外部社會之總效益。

使用前述範例的 0-6 時，車流量為 2,800 車／小時的情況，以 5 車道皆為人工收費的設施配置方式作為比較基準，在流量、車道、稅費等相關條件不發生變化的情況下，可以求得各種車道配置的效益增量（ $B$ ）與成本增量（ $C$ ），如表 7 所示。

表 7 各種車道配置的成本與效益分析

車道配置	效益增量 $\Delta B$ (百萬元)	成本增量 $\Delta C$ (百萬元)
1A4M*	254.38	173.62
2A3M	315.78	183.91
3A2M	374.72	194.77
4A1M	431.18	207.79

\*A 表示自動收費車道、M 表示人工收費車道。

其各車道配置之成本效益分析方式如下：

(1) 首先將各方案之成本由小而大，依序排列，計算最前面兩方案之增量  $B/C$  值

$$\frac{\Delta B_2 - \Delta B_1}{\Delta C_2 - \Delta C_1} = \frac{315.78 - 254.38}{183.91 - 173.62} = 5.9669 > 1$$

因為  $B/C$  值  $> 1$ ，選擇成本較大之方案。

故  $\frac{\Delta B_2}{\Delta C_2}$  優於  $\frac{\Delta B_1}{\Delta C_1}$ ，因此不考慮 1A4M 的設置方式。

## (2) 將所選擇之方案，再與下一方案比較，其方法同步驟(1)

$$\frac{\Delta B_3 - \Delta B_2}{\Delta C_3 - \Delta C_2} = \frac{374.72 - 315.78}{194.77 - 183.91} = 5.4272 > 1$$

故  $\frac{\Delta B_3}{\Delta C_3}$  優於  $\frac{\Delta B_2}{\Delta C_2}$ ，因此不考慮 2A3M 的設置方式。

## (3) 重複上述步驟

$$\frac{\Delta B_4 - \Delta B_3}{\Delta C_4 - \Delta C_3} = \frac{431.18 - 374.72}{207.79 - 194.77} = 4.3364 > 1$$

故  $\frac{\Delta B_4}{\Delta C_4}$  優於  $\frac{\Delta B_3}{\Delta C_3}$ ，因此不考慮 3A2M 的設置方式。

- (4) 最後獲得經濟上最佳方案為 4A1M，此乃因為此方案的設置會使得外部社會污染成本大幅的較低，考慮社會資源的最佳運用。

經由上述分析可以獲知車道配置 4A1M 為該流量水準下的較佳方式，而其效益的大小可以透過市場策略的運作，改變使用率來更進一步提升。

## 五、結論與建議

本研究建立一套高速公路自動收費系統的分析模式，以評估應用自動收費設備之成本效益，並可輔助決定收費站自動收費車道設置數量。文中以數值例說明其操作方式，並分析各項系統供需因素對於自動收費系統績效的影響，以提供規劃者與經營業者評估策略績效，使其採取有效的電子收費設備方式、車道配置方式、以及市場經營管理策略。以下總括本研究得到之結論與建議。

### 5.1 結論

1. 一般用路者選擇裝置電子收費設備的目的是為了減少通過收費站的延滯時間，但透過本研究之分析發現，當自動收費車道的擁擠增加時，有部分裝置車上電子設備的車輛在選擇車道時，選擇由人工收費車道通過，分析結果顯示，具有車上電子設備之車輛而使用人工收費車道之比率約為 13.95%，此一現象說明電子收費車道的配置必須妥善規劃的重要性。
2. 本研究的系統均衡狀態，是要求得自動收費車道與人工收費車道的延滯時間趨於某種程度的收斂，此時的車道選擇，不會因為電子收費市場使用率的高低而有所改變。本研究另外嘗試使用此種收斂方式與本研究所採用之分析方式作比較，經過測試之後，所產生之結果相同。
3. 在本研究之敏感度分析中，包括車流量、車道配置、安裝使用費、費率優惠、服務容量，以及各屬性變數的相關參數，都會影響分析結果，其中較值得歸納的分析結果包括：
  - a. 車流量之變動：由本研究分析可知，不管設備選擇使用率、轉移比率及車道選擇使用率，均隨著車流量而呈曲線遞增，但增加幅度不大；另外，自動收費設備的配置數量在流量到達飽和時，若不隨流量而有所調整，則該設施的使用率會有微幅下降的趨勢。
  - b. 車道配置變動：自動收費車道數增加 (由 1A 增至 4A)，則裝置電子收費設備的車輛選擇使用人工收費車道的轉移比率大幅降低，但其降低幅度的比率逐漸縮減。
  - c. 安裝費用變動：當安裝使用費增加時，會降低電子收費技術的使用率，而且若用路

者對該費用的重視程度 (K2) 增加, 若其安裝費由 250 元增至 4,000 元, 則電子收費使用率的降低幅度相當可觀, 由 76.02% 降至 24.85%。

- d. 設備水準變動：自動收費車道服務容量的增加, 將使整體收費站的延滯降低, 其中以自動收費車道的平均延滯降低幅度較高 (呈曲線), 而人工收費車道的變動較為平緩 (幾乎呈直線), 不過皆呈邊際遞減的變化關係。因此, 未來電子收費技術的改良與使用, 將對於此項設備的推廣有正面的效果, 並可以降低系統延滯; 而對於電子收費設備改良之相關決策, 亦可權衡其所需成本效益以及潛在的其他應用功能做一整體考量。
4. 在本研究之成本效益分析中, 以 5 車道皆為人工收費的設施配置方式作為比較基準, 在流量、車道、稅費等相關條件不發生變化的情況下, 求得各種車道配置的效益增量與成本增量之比值, 獲知車道配置 4A1M (四組自動收費車道及一組人工收費車道) 為該流量水準下的較佳方式, 而其效益的大小可以透過市場策略的運作, 改變使用率來更進一步提升。
5. 在本研究之數值分析當中, 曾嘗試若合理改變表 4 中之假設變數之數值時, 發現曲線之改變趨勢並無明顯之變化, 可資證明本研究對於高速公路電子收費之車道配置與成本效益分析之穩定性, 可做為決策者之參考準則與依據。

## 5.2 建議

1. 本研究所建立的分析方法, 可以應用至需求隨時段變動的情況, 未來則須調查分析使用者的屬性資料, 以期能實際評估系統績效。
2. 由於用路者面對不同的系統績效, 其旅行路徑出發時刻也將有所變動, 因此未來可將模式結合 Chang 與 Cheng<sup>[13]</sup> 之研究, 擴展為考慮出發時間及路徑選擇行為的動態均衡模式, 如此當更能正確提供系統績效, 提高模式之應用能力。
3. 依據系統特性分析可知, 若干系統的服務特性與電子收費自動收費系統類似, 例如高乘載車道設置 (High Occupancy Vehicle Facilities)、公車專用道設置、及各項收費站系統等, 均可以利用本模式的架構與方法進行績效的評估。
4. 高速公路電子收費在技術發展具多樣性, 在應用功能上可以進一步思考其在整體智慧型運輸系統的角色, 而此一應用範圍的擴大, 將影響整體成本效益分析的結果, 是值得進一步研究的課題。

## 參考文獻

1. 賴禎秀、吳志仁, 「高速公路實施匝道電子收費下最佳費率與經濟效益評估之研究」, 運輸計劃季刊, 第三十一卷, 第一期, 民國九十一年三月。
2. Chang, E. C., "Assessment of AVI Toll Collection Technology", *Transportation Planning*

- Journal*, Vol. 20, No. 3, 1991, pp. 313-340.
3. Chang, S. K. and Chang, H., "Cost-Benefit Analysis on Application of AVI Technologies to Toll Services", Pacific Rim Transtech Conference and the ASCE Conference of Application of Advanced Technologies in Transportation Engineering, July 25-28, Seattle, U.S.A., 1992.
  4. Foote, R. S., "Projects for Non-Stop Toll Collection Using Automatic Vehicle Identification", *Traffic Quarterly*, Vol. 35, No. 3, 1981, pp. 44-50.
  5. Nielsten, G. V., "ETTM: Effects on Capacity and Throughput", *ETTM Forum*, Vol. 1, No. 1, 1992.
  6. Kanaan, A. Y., "The Economic Effects of Implementing Electronic Toll Collection and Traffic Management Systems", Presented at the 72nd Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1993.
  7. Luce, R. Duncan., *Individual Choice Behavior: A Theoretical Analysis*, New York, Wiley, 1959.
  8. Ben-Akiva, M. and Lerman, S. R., "Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand", MIT Press, 1985.
  9. Murthy, A. S. N., *et al.*, "A Case Study of Champlain Toll Station", *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 14, No. 6, 1987, pp. 732-738.
  10. Wayne, L. Winston, *Operations Research: Applications and Algorithms*, Duxbury Press, Boston, 1987, pp. 884-887.
  11. 張學孔、陳淵博等人，「高速公路電子收費系統營運策略之研究」，中華顧問工程司委託台大慶齡工業研究中心辦理專題研究報告，民國八十九年八月。
  12. Center for Urban Transportation Research, "Analysis of Automatic Vehicle Identification Technology and Its Potential Application on the Florida Turnpike", Technical Report, University of South Florida, College of Engineering, Tampa, Florida, 1990.
  13. Chang, S. K. and Cheng, C. C., "A Time-Varying Congestion Pricing Model for Optimization of Transportation Corridor", Proceedings of the 82nd Annual Meeting of Transportation Research Board, January 12~16, 2003.





# 因應臨時事件機場共用櫃檯即時指派 之研究<sup>1</sup>

## REAL-TIME REASSIGNMENTS OF COMMON-USE COUNTERS FOLLOWING AIRPORT INCIDENTS

顏上堯 Shangyao Yan<sup>2</sup>

杜宇平 Yu-Ping Tu<sup>3</sup>

陳怡妃 Yi-Fei Chen<sup>4</sup>

(91 年 9 月 28 日收稿，92 年 1 月 22 日第一次修改，92 年 2 月 21 日  
第二次修改，92 年 12 月 31 日定稿)

### 摘 要

一般而言，機場之共用櫃檯若受臨時事件影響，而發生無法按預定規劃內容營運之情形時，櫃檯租用情形需做重新調整，以維持機場正常之運作。若機場營運者指派櫃檯不當，則將造成使用者成本的增加或機場服務水準的降低。因此在遭遇臨時事件後，如何有效的即時指派班次至適當的共用櫃檯，以維持機場服務水準及降低使用者成本，對機場當局而言，甚為重要。本研究針對機場發生臨時事件時進行共用櫃檯之指派作業，以班次櫃檯指派之擾亂值最小為目標，並考量相關營運限制，發展二個即時性共用櫃檯指派模式，以幫助機場當局規劃適

- 
1. 本研究承行政院國家科學委員會專題研究補助 (NSC90-2416-H-366-009)，特此致謝。作者亦感謝二位審查委員寶貴的修正意見，使本文更為完整與嚴謹。
  2. 國立中央大學土木工程學系教授(聯絡地址：320 中壢市中大路 300 號中央大學土木工程學系；電話：03-4227151 轉 4141；E-mail：t320002@cc.ncu.edu.tw)。
  3. 樹德科技大學工業管理學系助理教授 (聯絡地址：824 高雄縣燕巢鄉橫山村橫山路 59 號樹德科技大學工業管理系；電話：07-6158000 轉 4517；E-mail：yupingtu@mail.stu.edu.tw)。
  4. 國立中央大學土木工程學系碩士。

宜的暫時共用櫃檯指派組合。此二模式可定式為零壹整數規劃問題，本研究並利用數學規劃軟體 CPLEX 求解問題。為測試模式的實用績效，本研究以國內一國際機場之現況營運為例，進行範例測試，結果顯示本研究模式應可為實際營運之參考。

**關鍵詞：**臨時事件；共用櫃檯；即時指派；擾動值；零壹整數規劃問題

## ABSTRACT

*In general, when the normal operations of airport common-use counters are affected by incidents, the airport staff usually have to reassign some departure flights to some common-use counters in real-time to keep on the operations. When such reassignments are improperly performed, it would result in increased cost on the users or decreased level of service of the airport. Therefore, it is important for airport authorities to efficiently and effectively reassign flights to common-use counters in real-time following airport incidents to maintain the airport service quality and to reduce the user cost. Hence, in this research we examined the objective of minimizing the total inconsistency of flights to common-use counters with related operating constraints. Two models were developed to help the airport authority properly reassign flights to common-use counters in real-time following incidents. These two models are formulated as zero-one integer programs, which are solved using the mathematical programming solver, CPLEX. To test how well the proposed models may be applied in real world, we performed a case study concerning the operations of an international airport in Taiwan. The results show that the proposed models are useful for actual operations.*

**Key Words:** Airport incident; Common-use counter; Real-time assignment; Inconsistency; Zero-one integer program

## 一、前言

由於機場營運的績效與整個航空站作業效率息息相關，而現實生活中機場管理者經常要面對營運時許多非預期性的突發事件，因此若無法因應當時情況有效率地即時調整，其結果將降低機場之服務水準，並間接影響減少航空公司之營運利潤。一般而言，影響機場共用櫃檯預定營運指派之臨時事件，可分為櫃檯外部擾動之空邊 (air-side) 事件及內部擾動之地邊 (ground-side) 事件兩者。空邊臨時事件如跑道封閉、機門受天候影響而關閉等，通常直接影響班次的起降，造成飛航班表重新調整，進而間接影響櫃檯租用情形，並視班次變動程度，即時調整租用櫃檯之指派。地邊臨時事件如櫃檯電腦當機、機場臨時斷電、行李輸送帶無法運轉等，係指機場內的服務設施發生臨時事件，通常直接影響櫃檯使用情形，造成櫃檯部分或全面性無法提供服務，而需即時調整租用櫃檯之指派。然而，無論何種型態之臨時事件，均使得櫃檯事前規劃之租用表適用性降低。臨時事件所造成正常營運

狀況之擾動，皆對機場或航空公司之經營有所影響。然而，由於機場係屬大眾運輸系統中之場站，影響旅客甚鉅，故一般而言，降低事件之擾動應為機場管理當局所需積極面對之問題，而航空公司應扮演協助之角色。

事實上，櫃檯即時指派過程中除了需考量班次本身租用櫃檯的限制之外，如：租用櫃檯數量、租用時間長度、櫃檯實際使用狀況等，尚需考量臨時事件發生相關之時點、調整班次、櫃檯擾動時窗等因素，實屬複雜之問題。若機場營運者不當或低效率的調整共用櫃檯指派，將因而減少營利及降低服務水準。因此，如何於短時間內同時考慮機場營運當局、旅客、航空業者成本，並有效地調整櫃檯指派，使系統擾動狀態能儘速地恢復至正常營運，實乃機場當局所關切之課題。

近來，有少數研究曾探討共用櫃檯指派之營運規劃問題，如 Chun<sup>[1]</sup> 曾以機場營運者角度針對航空公司提出租用機場櫃檯之時間與數量進行一排程研究，主要探討在機場櫃檯數有限情況下，如何滿足航空公司的需求。該研究中將此問題構建為 CSP (Constraint-Satisfaction Problems)，並發展 MDA (Multi-Dimension Scheduling Algorithm) 演算法求解。之後，Chun<sup>[2]</sup> 又發展智慧化資源模擬系統 (IRSS, Intelligent Resource Simulation System) 並應用於機場櫃檯分配系統 (CCAS, Check in Counter Allocation System)。湯慶輝<sup>[3]</sup> 曾針對目前共用櫃檯以人工指派方式缺乏系統性之考量，發展一整數規劃模式，求解最佳化共用櫃檯指派組合。該篇研究首度以擾亂度定義不同單天櫃檯指派結果下之差異，並以旅客步行距離最小為目標，利用單體法 (simplex method) 配合分枝界限法 (branch and bound) 求解該數學模式。上述文獻均屬規劃面之共用櫃檯指派研究，至於因應臨時事件之共用櫃檯即時指派之研究，則尚未發現有文獻探討。

與航空即時營運擾動問題相關之研究中，Etschmaier 和 Rothstein<sup>[4]</sup> 曾考量飛機短缺而造成排程擾動的情形，構建一模擬模式，以評估飛機是否準時，其在排程調整的處理上是以負效用最小為目標，配合局部搜尋的方法求解。Etschmaier 和 Mathaisel<sup>[5]</sup> 曾說明排程擾動的主要因素有機件故障、人員排程問題、需求變動等因素。Teodorovic 和 Guberinic<sup>[6]</sup> 則根據 Etschmaier 和 Rothstein 的觀念，以旅客總延滯時間最小為目標。構建一非線性整數規劃模式。Deckwitz<sup>[7]</sup> 曾提出調派飛行 (positioning flight) 及滑移 (sliding) 航次觀念，以因應擾動調整排程。Teodorovic 和 Stojkovic<sup>[8]</sup> 針對擾動之飛航排程構建一模式，以取消的班次為最小為主要目標，及以旅客總延滯最小為次目標，並發展一 greedy 啟發解法求解。Krishnamurthy<sup>[9]</sup> 以含額外限制之最小成本網路流動模式探討飛機不足時，如何即時調整飛航排程。顏上堯與羅智騰<sup>[10]</sup> 針對單機種於營運時因應預測性飛機維修調整之事件，利用時空網路技巧，建立一維修排程模式。Yan 和 Yang<sup>[11]</sup> 針對單機種直達航次的營運，當飛機突然故障時，以時空網路構建數種事件擾動的飛航排程模式。Yan 和 Lin<sup>[12]</sup> 針對單機種之營運，在機場突然關閉之情況下，發展不同之策略模式。Yan 和 Tu<sup>[13]</sup> 則進一步發展出多機種多停靠之飛航排程模式，以處理飛機暫時短缺時之擾動排程。

由上述可知，目前國內外文獻尚無針對在機場發生臨時事件下，共用櫃檯指派作業問題的研究，故本研究即針對此一問題，並考量機場櫃檯實際營運之情況，如班次時間表、

臨時事件發生時點與結束時點、櫃檯擾動與指派時點，透過系統化分析以電腦快速求解，其主要目的為改善目前國內實務界缺乏效率的人工調整方式，考慮共用櫃檯靜態指派之原則以及針對旅客與航空公司實際面臨此狀況之問題特性，建立共用櫃檯即時性指派模式，期能幫助機場營運者，有效解決櫃檯面臨機場發生不同型態臨時事件之即時指派，使指派作業更具實用性。本文其餘內容如下：第二節建立模式，第三節發展模式求解方法，第四節進行範例測試與結果分析，第五節提出結論與建議。

## 二、模式建立與求解方法

一般而言，在空邊性臨時事件中，當班表重新調整後部分班次延誤或取消時，櫃檯便無法依原租用表提供服務。此種櫃檯本身設施仍可正常運作下，但受臨時事件因素而需重新調整櫃檯分派之情況，主要為櫃檯受事件間接影響，故屬於外部擾動下的即時指派。在地邊性臨時事件中，事件通常對櫃檯造成立即地影響而使得部分或全部櫃檯無法正常作業。此種臨時事件造成櫃檯必須重新調整之情況，主要為櫃檯本身直接受臨時事件影響，因此屬於櫃檯內部擾動下的即時指派。值得說明的是，在櫃檯外部擾動事件中，櫃檯依據航務組排定的新飛航班表進行即時指派，而在櫃檯內部擾動事件中，櫃檯乃依據原始的班表進行即時指派，指派後的結果則進一步作為航務組調整班表的依據。

無論何種型態之臨時事件，其結果均使得櫃檯直接或間接受影響，導致原先指派的結果適用性降低，造成使用者不便，機場服務品質降低。臨時事件所造成正常營運狀況之擾動，皆對機場或航空公司之經營有所影響。然而，由於臨時事件引發的使用者擾動成本與機場櫃檯指派的營運方式密切相關，且機場係屬大眾運輸系統中之場站，其服務水準影響大眾旅客權益甚鉅，因此降低事件之擾動應為機場管理當局所需積極面對之問題，而航空公司亦應扮演協助之角色。目前國內機場對於臨時事件下櫃檯即時指派作業，其方式仍採用人工指派。指派的方法為重新將班次指派至可使用的櫃檯上，只考慮櫃檯是否提供足夠的數量，然而，整個機場作業流程環環相扣，若僅考慮櫃檯數目，實難為機場營運系統最佳化之方式。因此，在櫃檯即時指派過程中，如何兼顧使用者感受程度及機場營運績效，於一定時間之內將班次重新分派至可使用的共用櫃檯上，使櫃檯租用情形能夠於短時間內回到與原預定的情況相同，實為一重要課題。

為了有效利用櫃檯資源使旅客能夠依預期時間完成報到手續、航空公司櫃檯人員照常服務等，當局可考量目前可使用櫃檯、受影響之班次重新進行指派。而臨時事件造成班次起飛時間異動之數量、延後起飛時間、事件結束時間等均是櫃檯即時指派考量之重要因素。

一般機場對於航空公司租用之報到線數有最小數量之限制，因此本研究參考湯慶輝<sup>[3]</sup>將櫃檯依報到線數劃分成不同區塊 (block) 之方式作為指派的單位。各班次則依據其報到線數及時段，分派至其所屬之區塊中。圖 1 為一區塊劃分之示意圖。圖中之橫線代表各報到線 L1、L2、L3...L13，有箭頭之直線代表各區塊之範圍及編號，如圖中 B1、B2 及 B3。

茲以圖中左邊之櫃檯為例，各區塊包含 5 條報到線，例如區塊 B1 包含 L1 至 L5 之報到線，B2 包含 L2 至 L6 之報到線，B3 則包含 L3 至 L7 之報到線。如此，含五條報到線之區塊數為 9 個，右邊櫃檯則表示包含 6 條報到線之區塊，其總區塊數為 8 個。此方式的優點在於符合實際機場櫃檯租用規定，且在指派上將櫃檯所包含的報到線均納入考量。

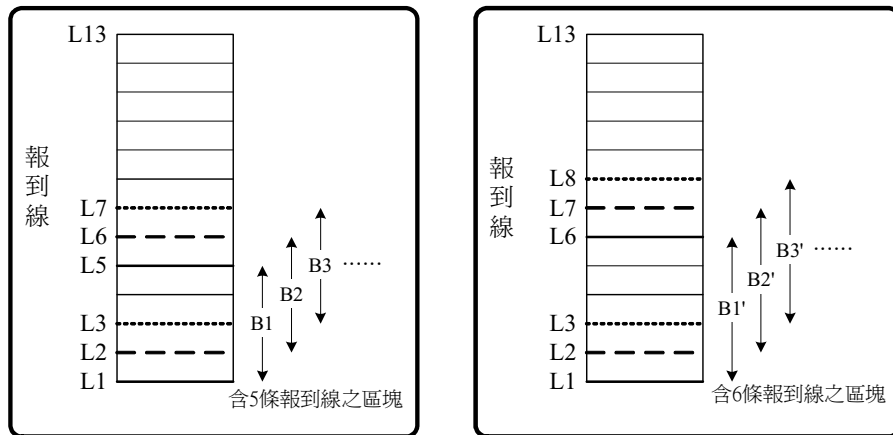


圖 1 櫃檯區塊劃分示意圖

本研究針對機場櫃檯受臨時事件影響下，考量臨時事件發生當時班次租用櫃檯情形、櫃檯使用狀況、預期事件結束時間等因素，建立櫃檯即時指派系統中相關時點。再利用確定之時點界定出櫃檯擾動時窗、調整時窗，進而決定調整班次、指派時窗以進行櫃檯即時指派作業。對於櫃檯即時指派中相關時點之定義，分述如下：

事件發生時點：為機場臨時事件發生的時間點。

事件結束時點：為臨時事件處理結束，機場能夠再次正常營運的時間點。

櫃檯擾動時點：為臨時事件造成櫃檯可能無法按原租用表正常租用的最早時間點。

櫃檯指派時點：為可進行櫃檯即時指派之最早時點。

櫃檯穩定時點：自此時點開始櫃檯可依原有的租用表服務之時間點。

指派櫃檯：為臨時事件影響下，可供航空公司租用以進行旅客報到作業的櫃檯。

調整班次：為需重新指派櫃檯之班次。

櫃檯指派時窗：為進行櫃檯即時指派之時間區段；意即將調整班次重新分派至指派櫃檯之時間帶。

虛擬櫃檯：當機場發生臨時事件造成櫃檯原租用表不適用而需重新進行指派時，若欲在短時間內處理櫃檯擾動情形使其儘速恢復至規劃，極有可能出現櫃檯數不敷使用情形。此時為了使櫃檯能在預期時間內回到穩定狀態，本研究在模式中以虛擬櫃檯方式以避免無法求解的情況。然而，實際應用上虛擬櫃檯的作用相當於設

立臨時櫃檯，而模式求解結果中，虛擬櫃檯數目可作為營運者在處理櫃檯即時指派中，設立臨時櫃檯數目一個參考的依據。臨時櫃檯因屬於非規劃內之設備，在使用成本上較一般櫃檯高出很多。

延後租用時間：當臨時事件發生在機場尖峰時段中，可能無法在櫃檯指派時窗內將調整班次指派完畢。若採用設立臨時櫃檯之做法，又將帶來高成本的支出，因此本研究建立一允許班次延後租用櫃檯時間之模式。機場營運者基於班次所屬之航空公司、班次旅客數、櫃檯目前使用狀況等因素，可對任一調整班次制定最大容許延後時間。在最大容許延後時間內皆為可接受之指派時間。此種方法的優點為可避免櫃檯數不足的情形，減少臨時櫃檯的使用數量，使班次在租用櫃檯時間上較具有彈性。站在機場營運者或是航空公司的角度上，此種方式能夠節省額外的成本支出。但就旅客角度而言，原本預定之報到時間受延遲，旅客反而增加了等待時間成本，因此可以系統角度權衡選擇系統最佳的做法。

擾動值：站在系統的角度，實際營運時受臨時事件影響，導致真正營運內容與規劃內容有差異者，對系統而言即屬於擾動 (perturbation)。為了反應櫃檯指派受臨時事件之變動程度以及指派結果對系統造成的影響，本研究將與櫃檯系統所包含之相關人員因櫃檯指派前後所產生的成本做為衡量櫃檯擾動值 (inconsistency value) 的標準。此處所指之櫃檯系統內之相關人員包括機場營運者、航空公司櫃檯作業人員、該班次的旅客等。櫃檯擾動造成的成本主要可分為兩種，分別為空間成本與時間成本。對於同一班次因臨時事件重新指派至不同的櫃檯，區位上的差異所產生的相關成本即屬於空間成本；而同一班次無法依預定租用時間使用櫃檯，時間上差異產生的相關成本即屬於時間成本。本研究將使用者的空間成本與時間成本分別定義為空間擾動值與時間擾動值。指派結果與原本預定之櫃檯距離愈近的即代表空間擾動值愈小，反之則愈大；指派結果與原本預定之櫃檯時間愈近的，即代表時間擾動值愈小，反之與原本預定之櫃檯時間點愈遠的，即代表時間擾動值愈大。

為說明機場臨時事件與共用櫃檯即時指派時點之關係，以下以兩個假設性例子及圖例說明之。首先，假設中正國際機場在某日上午十時因臨時事件使得機場需暫時關閉一條跑道，此為一櫃檯外部擾動事件。為了機場營運上考量，機場營運者決定重新調整班次的起降。當班機時刻表需重新安排時，原櫃檯租用表即不適用，故需進行櫃檯即時指派求得新租用表。圖 2 表示共用櫃檯在上述空邊臨時事件中即時指派之相關時點圖。在原共用櫃檯租用班表上，臨時事件發生後第一個租用區塊開始租用時間為櫃檯擾動時點。而櫃檯指派時點則需視新班表產生時點而定。若新班表的產生時間早於櫃檯擾動時點的情況下，則櫃檯指派時點等於櫃檯擾動時點 (即圖 2 中櫃檯擾動時點，上午十一時)。若新班表完成排定時間晚於櫃檯擾動時點之情況下，由於班表確定之前，櫃檯無法決定服務的班次，因此櫃檯最早可以進行指派時間需待至新班表產生 (即圖 2 中櫃檯指派時點 2，十二時)。

假設當局預測跑道可重新使用之時間為下午一時，而在新飛航班表中最後一個與原飛航班表起飛時間不同之班次為編號 7 之班次。因此櫃檯穩定時點即為原櫃檯租用表中班次編號 7 之結束租用櫃檯之時間點，即下午三時三十分。

依上述時點之定義，我們可界定出櫃檯擾動時窗為上午十一時至下午三時三十分；指派時窗為十一時至下午三時三十分（若櫃檯指派時點為上午十二時，則其指派時窗為十二時至下午三時三十分）；調整班次為編號 3~7 之班次；指派之櫃檯則為所有可正常使用之櫃檯。

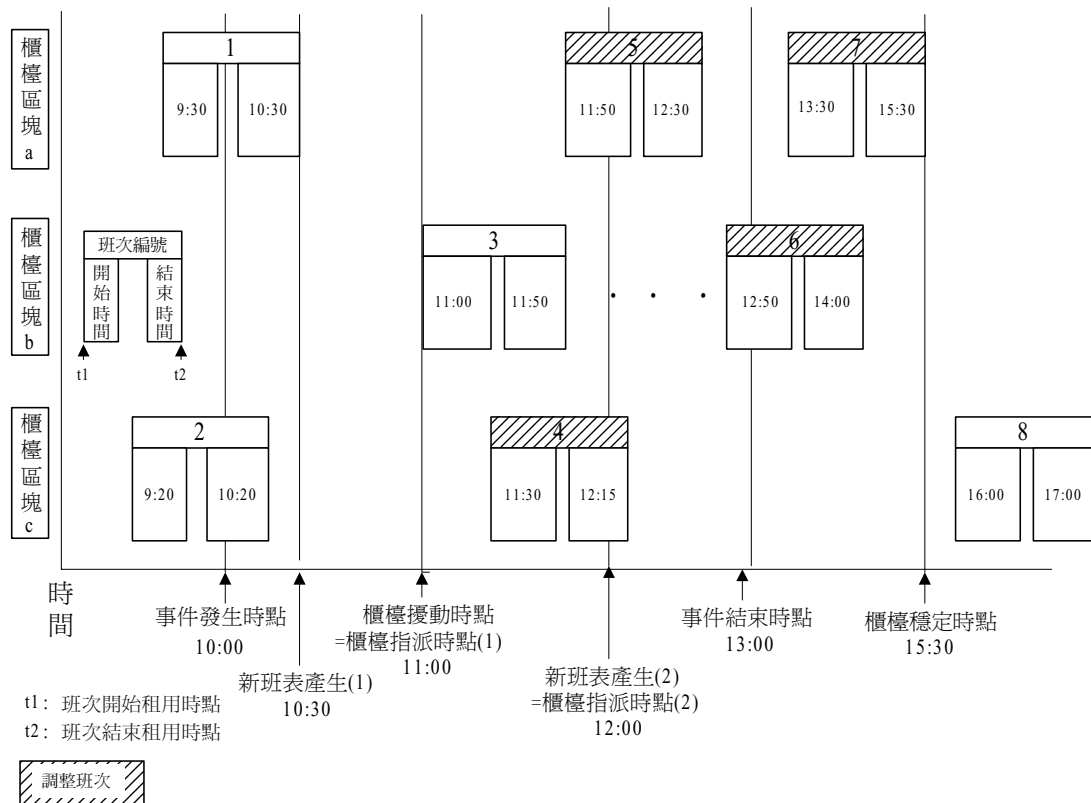


圖 2 共用櫃檯外部擾動即時指派示意圖

接下來說明當共用櫃檯本身發生臨時事件時，造成櫃檯部分或全面暫停使用的情況，共用櫃檯即時指派之相關時點。假設中正國際機場於某日上午十時櫃檯發生當機，造成某邊櫃檯無法使用，其中包括櫃檯區塊 a (櫃檯區塊 b 與 c 位於其他作業正常之櫃檯)。

班次 1 原預定於上午九時三十分租用櫃檯區塊 a，此時受臨時事件影響無法繼續進行旅客報到作業。相同地，該時點之後原租用櫃檯區塊 a 的班次，亦無法提供旅客於該櫃檯進行報到作業。此情況下的櫃檯擾動時點為事件發生時點，櫃檯指派時點亦為櫃檯擾動時點，即等於上午十時（如圖 3 所示，櫃檯指派時點 1）。假設當局預測櫃檯於下午一時可修

復完畢正常使用，由櫃檯原租用表上可發現事件結束時點上恰有編號 6 班次與編號 7 班次。此時，櫃檯穩定時點為兩個班次中較晚之結束租用櫃檯之時間點，意即圖 3 中班次編號 7 之結束租用櫃檯時間。值得說明的是，當臨時事件為共用櫃檯全面性無法使用時，櫃檯指派時點為事件結束時點，即等於下午一時（如圖 3 所示，櫃檯指派時點 2）。

因此，依照上述之定義，即可界定出櫃檯擾動時窗為上午十時至下午二時，指派時窗為十時至下午二時（當櫃檯指派時點為下午一時，則其指派時窗為下午一時至下午二時）；調整班次為編號 3~7 之班次；指派櫃檯則為所有可正常使用之櫃檯。

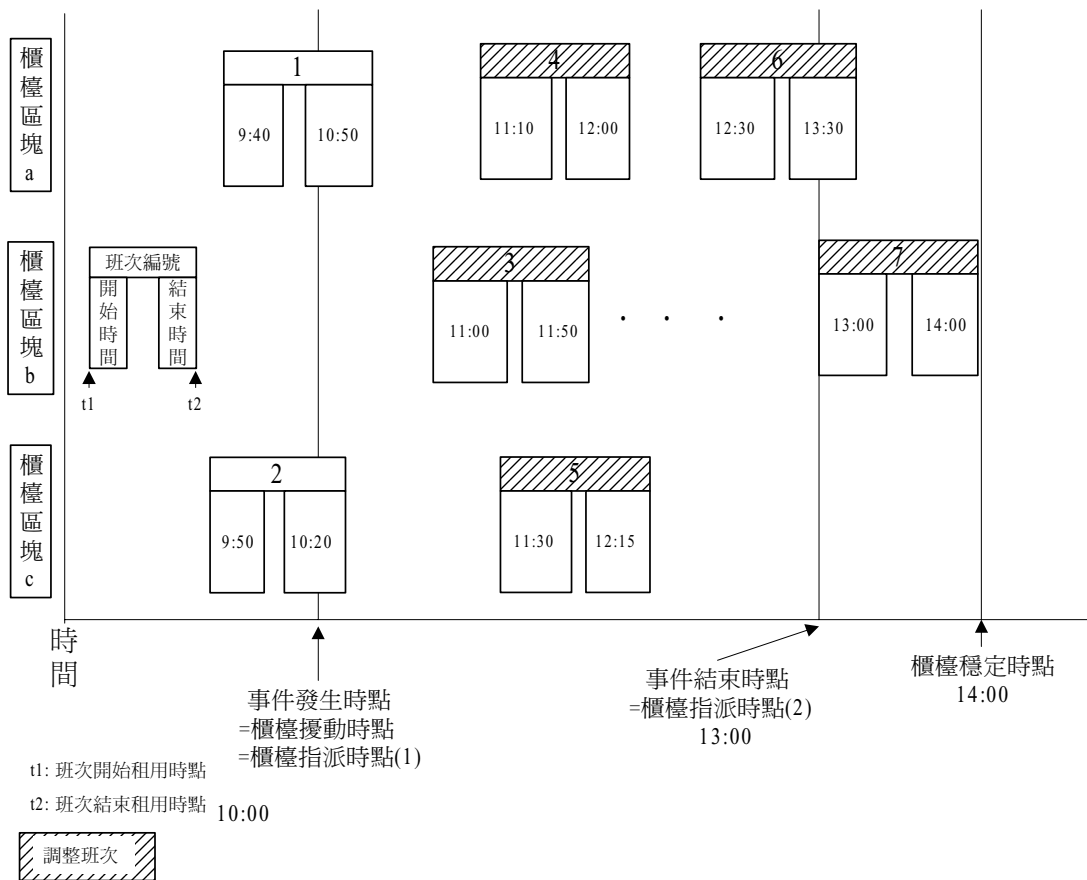


圖 3 共用櫃檯內部擾動即時指派示意圖

本研究根據上述相關定義，以機場營運者的立場，針對機場臨時事件下櫃檯作業發展兩個即時指派模式，並定式為零壹整數規劃問題。模式一為不考慮允許班次延後租用的前提下，在指派時窗內進行系統最小擾動值之櫃檯指派模式。模式二為允許班次延後租用櫃檯之方式，進行系統最小化系統擾動值之數學模式。



## 2.1 模式一

由於影響櫃檯指派作業之因素頗多，其重要性與困難度亦各異，故為確立使用之範圍，並適當簡化模式之複雜度，茲作以下之假設或假設下面資料已知：

1. 已知各班次之出境旅客數及班次所屬之航空公司。
2. 已知所有櫃檯位置與相關設施間距離。
3. 不考慮優先指派制度。
4. 不考慮航空公司對櫃檯之偏好。
5. 已知各班次申請時段，含開始與結束使用櫃檯時間。
6. 二連續班次使用同一櫃檯的緩衝時間為半小時。此緩衝時間設置的目的在吸收即時營運上可能產生的小延誤。
7. 臨時事件發生前後的班次數目相同，不會因櫃檯指派導致取消班次的情況。
8. 櫃檯空間擾動值定義為同一班次於櫃檯指派前後租用櫃檯區塊所屬櫃檯邊之相對位置差異值。

假設條件中前六項為有關班次、櫃檯、旅客的基本資料及租用櫃檯之規定。第七項假設為確保臨時事件前後櫃檯指派之班次一致。第八項假設為簡化模式之作法，實際應用時機場營運者可適時調整擾動值之估算方式。此數學式如下所示：

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in M} P_i \sum_{j \in N_i} A_{ij} X_{ij} \quad (1-1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in D_i} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in M \quad (1-2) \quad (1)$$

$$\sum_{i \in F_t} \sum_{j \in R_h^i} X_{ij} \leq 1 \quad \forall t \in T, \forall h \in H \quad (1-3)$$

$$X_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall ij \quad (1-4)$$

其中，

$I$  : 第  $i$  班次；

$j$  : 第  $j$  區塊；

$t$  : 第  $t$  時段；

$P_i$  : 第  $i$  班次旅客人數；此處應注意的是，雖然櫃檯擾動值會影響機場營運當局、航空公司作業人員及旅客，但以各班次旅客人數為權重，仍可適當反應各班次受擾動的相對重要性；

$H$  : 可用報到線之集合；

$M$  : 調整班次；

$T$  : 所有時段之集合；

$D_i$  : 班次  $i$  可指派之區塊集合 (包括虛擬櫃檯) ;

$A_{ij}$  : 班次  $i$  相對於區塊  $j$  之擾動值 ;

$F_t$  : 第  $t$  個時段中可指派之班次集合 ;

$R_h^i$  : 第  $i$  班次可指派之區塊中, 包含第  $h$  條報到線之區塊集合 ;

$X_{ij}$  : 為指派變數 ;  $X_{ij} = 1$ , 表示班次  $i$  被指派至  $j$  櫃檯區塊 ;  $X_{ij} = 0$ , 其他。

目標函數 (1-1) 為所有指派班次之總擾動值。擾動值為櫃檯重新指派之系統總空間成本, 本研究以櫃檯指派前後的相對步行距離視為空間成本, 此步行距離單位經旅客平均步行速率可轉換成時間單位。對於模式中虛擬櫃檯所造成之擾動值, 則以一個極大值表示, 以區別於一般櫃檯成本之差異。限制式 (1-2) 為班次限制式, 其意義為「每一班次必須在一時間點被指派且只能被指派至一個共用櫃檯區塊」。限制式 (1-3) 為區塊限制式, 其意義為「同時間包含同一條報到線之共用櫃檯區塊不能指派一個以上的班次」。限制式 (1-4) 為變數的零壹限制。

## 2.2 模式二

在本模式中採用允許班次延後租用櫃檯時間以及設立臨時櫃檯之方式, 機場營運者可考量當時實際情況, 針對指派時窗內的調整班次, 分別制定不同的延後租用櫃檯之時間帶, 而班次在最大容許延後時間內皆為可被指派之時間。但須注意的是, 延後租用時間的班次其結束租用時間, 不得晚於模式一中所制定之櫃檯穩定時點。其原因乃是由於櫃檯穩定時點代表該時點之後櫃檯租用情形可按原租表營運, 因此若有調整班次其租用時段超過櫃檯穩定時點, 則勢必會影響到其他班次租用情形。如此一來, 櫃檯即無法依照原租用表營運, 櫃檯穩定時點亦失去其功能。

班次延後租用櫃檯時間將對旅客及櫃檯服務人員造成時間上的成本。由於在擾動值及相關成本參數設定上需精確校估, 為避免模式過於複雜, 故我們適度簡化模式而建立以下基本假設 :

1~8. 同模式一。

9. 所有調整班次之最大延後時間為固定。

10. 所有調整班次延後租用櫃檯時間間距為固定。

11. 最大延後時間內可指派之時間定義為延後時點。延後時點計算方式為最大延後時間除以延後時間間距。例如, 若最大容許延後時間為 2 小時且延後時間間距為 30 分鐘, 則延後時點為 4。而每一個調整班次可變化增加為 5 個班次, 第一個班次為原班次、第二個班次為延後 30 分鐘的班次、第三個班次為延後一小時的班次, 其餘依此類推。

12. 旅客或櫃檯服務人員對於班次延後租用櫃檯時間感受程度相同。

13. 班次租用櫃檯時間長度不受延後租用時間影響, 亦即各班次租用櫃檯租用時間長度固定。

模式二中考慮櫃檯使用者，包括旅客、櫃檯服務人員、機場營運者在班次延後租用櫃檯時間下所產生的總成本，建構一單目標之數學模式。值得一提的是，此處仍以旅客人數為相對權重之考量，故以總旅客之擾動值表示。其總擾動值可分為空間與時間擾動成本。其數學式如下所示：

$$\text{Min} \quad \alpha \sum_{i \in M} P_i \sum_{j \in N_i} \sum_{k=E_i}^{L_i} A_{ij} X_{ijk} + \beta \sum_{i \in M} P_i \sum_{j \in N_i} \sum_{k=E_i}^{L_i} B_{ik} X_{ijk} \quad (2-1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in D_i} \sum_{k=E_i}^{L_i} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in M \quad (2-2) \quad (2)$$

$$\sum_{i^k \in F_t} \sum_{j \in R_h^i} X_{ijk} \leq 1 \quad \forall t \in T, \forall h \in H \quad (2-3)$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall ijk \quad (2-4)$$

其中，

$i$  : 第  $i$  班次；

$j$  : 第  $j$  區塊；

$k$  : 第  $k$  時點；

$t$  : 第  $t$  時段；

$P_i$  : 第  $i$  班次旅客人數；

$H$  : 可用報到線之集合；

$M$  : 調整班次；

$T$  : 所有時段之集合；

$D_i$  : 班次  $i$  可指派之區塊集合 (包括虛擬櫃檯)；

$\alpha$  : 空間擾動權重值；

$\beta$  : 時間擾動權重值；

$A_{ij}$  : 班次  $i$  相對於區塊  $j$  之擾動值；

$B_{ik}$  : 班次  $i$  相對於時間點  $k$  之擾動值；

$F_t$  : 第  $t$  個時段中可指派之班次 (含延後班次) 集合；各班次以  $i^k$  表示，代表第  $i$  班次之第  $k$  時點延後班次；

$R_h^i$  : 第  $i$  班次可指派之區塊中，包含第  $h$  條報到線之區塊集合；

$E_i$  : 班次  $i$  開始租用櫃檯之時點；

$L_i$  : 班次  $i$  最晚開始租用櫃檯之時點；

$X_{ijk}$  : 為指派變數； $X_{ijk} = 1$ ，表示班次  $i$  於  $k$  時點被指派至  $j$  櫃檯區塊； $X_{ijk} = 0$ ，其他。

目標函數(2-1)中第一項與第二項代表調整班次於櫃檯重新指派前後對使用者產生的

總擾動值。總擾動值為空間擾動值與時間擾動值之加權總和。其意義為同一班次重新指派後的櫃檯相對於原租用櫃檯之空間與時間變化，對使用者所造成的成本。對於模式中虛擬櫃檯所造成之擾動值，則以一個極大值表示，以區別於一般櫃檯成本之差異。其中， $\alpha$  與  $\beta$  值為機場營運者分別考量空間擾動與時間擾動之重要性所設定的權重值。

限制式 (2-2) 為班次限制式，其意義為「每一班次均需被指派，且在所有可選擇時點上只能被指派至一個共用櫃檯區塊」。限制式 (2-3) 為區塊限制式，其意義為「同時間包含同一條報到線之共用櫃檯區塊不能指派一個以上的班次」。限制式 (2-4) 為變數的零壹限制。

值得一提的是，模式一與模式二之使用時機，在於機場管理當局實務考量上，是否允許班機可延遲之狀況。若機場櫃檯之使用不允許班機延遲，亦即必需遵照模式一之限制，則機場設施必須有足夠之空間以設置臨時櫃檯，才可確保實務上模式的可行性。此時若因櫃檯數不夠，而需要設置臨時櫃檯，則此設置臨時櫃檯所產生的額外成本，在維持場站的服務水準及大眾旅客的權益下，一般應由機場管理當局負擔。

## 2.3 區塊限制式

限制式(1-3)及(2-3)為區塊限制式，其涵蓋求取同一租用時段班次與包含同一條以上報到線之區塊限制式。由於此區塊限制式的設計頗為複雜，故為利讀者了解此等限制式的設計，茲分述區塊限制式的構建如下：

### 2.3.1 限制式 (1-3)

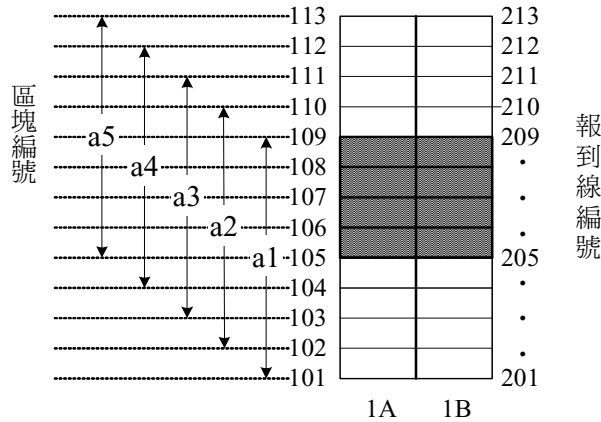
由於共用櫃檯租用的特性為一次需租用特定數量且連續的報到線數（即以櫃檯區塊表示之），因此在指派過程中，需確定各櫃檯區塊在同一時段不會包含同一報到線，其意義為在同一時間點，特定之一報到線僅能服務一航班。舉例來說，如圖 4 所示，櫃檯座 1A 之報到櫃檯中，包含報到線數為 9 條之櫃檯區塊，其編號 a1 至 a5。其中包含編號 101 至 108 號 8 條報到線之區塊，其必定包含第 9 條即編號 109 號之報到線，同理，包含編號 105 至 112 號 8 條報到線之區塊，其必定包含第 13 條即編號 113 號之報到線。對於特定之一報到線而言，由於其在同一時間點只能服務一航班，即包含此一報到線之櫃檯區塊的總和，最多不能超過一次。經由上述說明，以第  $t$  時段為例，可將各報到線之區塊限制式列舉如下列方程式所示：

$$\text{報到線編號 101 : } \sum_{i \in F_t} X_{ia1} \leq 1$$

$$\text{報到線編號 102 : } \sum_{i \in F_t} (X_{ia1} + X_{ia2}) \leq 1$$

$$\text{報到線編號 103 : } \sum_{i \in F_t} (X_{ia1} + X_{ia2} + X_{ia3}) \leq 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{報到線編號 104 : } & \sum_{i \in F_t} (X_{ia1} + X_{ia2} + X_{ia3} + X_{ia4}) \leq 1 \\
 \text{報到線編號 105 : } & \sum_{i \in F_t} (X_{ia1} + X_{ia2} + X_{ia3} + X_{ia4} + X_{ia5}) \leq 1 \\
 \text{報到線編號 106 : } & \sum_{i \in F_t} (X_{ia1} + X_{ia2} + X_{ia3} + X_{ia4} + X_{ia5}) \leq 1 \\
 \text{報到線編號 107 : } & \sum_{i \in F_t} (X_{ia1} + X_{ia2} + X_{ia3} + X_{ia4} + X_{ia5}) \leq 1 \\
 \text{報到線編號 108 : } & \sum_{i \in F_t} (X_{ia1} + X_{ia2} + X_{ia3} + X_{ia4} + X_{ia5}) \leq 1 \\
 \text{報到線編號 109 : } & \sum_{i \in F_t} (X_{ia1} + X_{ia2} + X_{ia3} + X_{ia4} + X_{ia5}) \leq 1 \\
 \text{報到線編號 110 : } & \sum_{i \in F_t} (X_{ia2} + X_{ia3} + X_{ia4} + X_{ia5}) \leq 1 \\
 \text{報到線編號 111 : } & \sum_{i \in F_t} (X_{ia3} + X_{ia4} + X_{ia5}) \leq 1 \\
 \text{報到線編號 112 : } & \sum_{i \in F_t} (X_{ia4} + X_{ia5}) \leq 1 \\
 \text{報到線編號 113 : } & \sum_{i \in F_t} X_{ia5} \leq 1
 \end{aligned}$$



由於編號 5 至編號 9 之報到線區塊限制式皆相同，且涵蓋其他限制式，故圖 4 之報到線區塊限制式可簡化為(3-1)式：

$$\sum_{i \in F_t} (X_{ia1} + X_{ia2} + X_{ia3} + X_{ia4} + X_{ia5}) \leq 1 \quad (3-1)$$

假設此時發生一臨時事件，櫃檯須重新指派。經計算後，假設櫃檯擾動時點為 6:00，櫃檯穩定時點為 10:30，共分 8 個時段，另在擾動時窗共有 5 個調整班次，且此 5 航班皆租用 9 條報到線，其租用櫃檯之時間如圖 5 所示。經由上述區塊的分析，若  $i$  為 1、2、3、4 或 5， $h$  為 105、106、107、108 或 109，則  $R_h^i = \{a1, a2, a3, a4, a5\}$ 。另為減少限制式的數量，而僅列出有效限制式上，則  $h$  可取 105、106、107、108、109 中之一報到線即可。

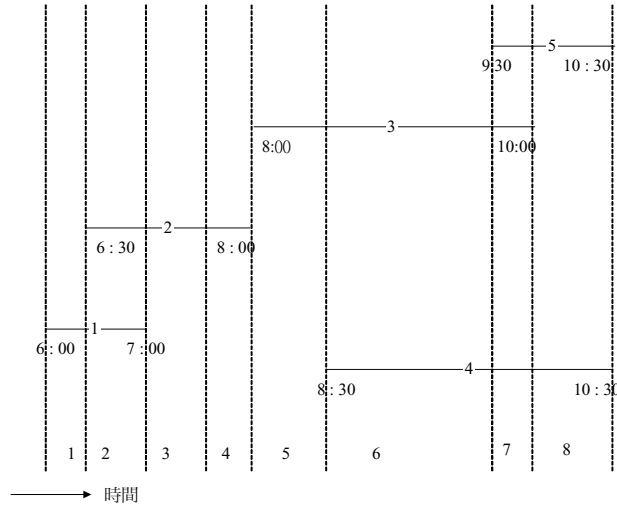


圖 5 班次租用櫃檯之時間圖

根據上述，並參考謝志遠<sup>[14]</sup>所發展求取有效限制式之做法，我們可列出各時段之限制式如下：

第 1 時段： $\sum_{j \in R_h^1} X_{1j} \leq 1$	被第 2 時段限制式涵蓋
第 2 時段： $\sum_{j \in R_h^1} X_{1j} + \sum_{j \in R_h^2} X_{2j} \leq 1$	$F_t = \{1, 2\}$
第 3 時段： $\sum_{j \in R_h^2} X_{2j} \leq 1$	被第 2 時段限制式涵蓋
第 4 時段： $\sum_{j \in R_h^2} X_{2j} \leq 1$	被第 2 時段限制式涵蓋
第 5 時段： $\sum_{j \in R_h^3} X_{3j} \leq 1$	被第 7 時段限制式涵蓋

$$\text{第 6 時段：} \sum_{j \in R_h^3} X_{3j} + \sum_{j \in R_h^4} X_{4j} \leq 1 \quad \text{被第 7 時段限制式涵蓋}$$

$$\text{第 7 時段：} \sum_{j \in R_h^3} X_{3j} + \sum_{j \in R_h^4} X_{4j} + \sum_{j \in R_h^5} X_{5j} \leq 1 \quad F_t = \{3, 4, 5\}$$

$$\text{第 8 時段：} \sum_{j \in R_h^5} X_{5j} \leq 1 \quad \text{被第 7 時段限制式涵蓋}$$

由上可知，在 8 個櫃檯租用限制式中，有效的限制式只有 2 個，其餘限制式均被此二式所涵蓋。此二時段對應之  $F_t$  集合分別為  $\{1, 2\}$  與  $\{3, 4, 5\}$ ，其數學式的符號，如式(3-2)及(3-3)所示。注意，此二式中， $h$  為 105、106、107、108、109 中之一報到線。

$$\sum_{i \in F_t} \sum_{j \in R_h^i} X_{ij} \leq 1, \quad t: 06:30-07:00, F_t = \{1, 2\}, R_h^i = \{a1, a2, a3, a4, a5\} \quad (3-2)(3)$$

$$\sum_{i \in F_t} \sum_{j \in R_h^i} X_{ij} \leq 1, \quad t: 09:30-10:00, F_t = \{3, 4, 5\}, R_h^i = \{a1, a2, a3, a4, a5\} \quad (3-3)$$

### 2.3.2 限制式 (2-3)

在模式二中，由於班次允許延後櫃檯租用時間，故可將同一班次於不同延後時點租用櫃檯情況視為新的班次。假設最大容許延後時間為一小時，而假設以 30 分鐘為一個延後時間間距。值得說明的是，由於櫃檯穩定時點為 10:30，因此編號 5 及編號 4 之班次無法再延後租用時間，而編號 3 的班次僅能延後一個時點 (30 分鐘)，其餘班次皆可延後 1 小時。同 3.2.1 節之範例，班次允許延後櫃檯租用時間之櫃檯租用時間如圖 6 所示。注意， $2^0$  為原第二班次， $2^1$  為原第二班次延後 30 分鐘之延後班次，其餘依此類推。為方便此圖例的說明，以下原變數符號  $X_{ijk}$  以  $X_{i^k j}$  表示之。

根據圖 6，可列出之限制式如下：

$$\text{第 1 時段：} \sum_{j \in R_h^0} X_{1^0 j} \leq 1 \quad \text{被第 2 時段限制式涵蓋}$$

$$\text{第 2 時段：} \sum_{j \in R_h^0} X_{1^0 j} + \sum_{j \in R_h^1} X_{1^1 j} + \sum_{j \in R_h^2} X_{2^0 j} \leq 1 \quad F_t = \{1^0, 1^1, 2^0\}$$

$$\text{第 3 時段：} \sum_{j \in R_h^1} X_{1^1 j} + \sum_{j \in R_h^2} X_{1^2 j} + \sum_{j \in R_h^0} X_{2^0 j} + \sum_{j \in R_h^1} X_{2^1 j} \leq 1 \quad F_t = \{1^1, 1^2, 2^0, 2^1\}$$

$$\text{第 4 時段：} \sum_{j \in R_h^2} X_{1^2 j} + \sum_{j \in R_h^0} X_{2^0 j} + \sum_{j \in R_h^1} X_{2^1 j} + \sum_{j \in R_h^2} X_{2^2 j} \leq 1 \quad F_t = \{1^2, 2^0, 2^1, 2^2\}$$

$$\text{第 5 時段：} \sum_{j \in R_h^1} X_{2^1 j} + \sum_{j \in R_h^2} X_{2^2 j} + \sum_{j \in R_h^0} X_{3^0 j} \leq 1 \quad F_t = \{2^1, 2^2, 3^0\}$$

$$\text{第 6 時段：} \sum_{j \in R_h^{2^2}} X_{2^2 j} + \sum_{j \in R_h^{3^0}} X_{3^0 j} + \sum_{j \in R_h^{3^1}} X_{3^1 j} + \sum_{j \in R_h^{4^0}} X_{4^0 j} \leq 1 \quad F_t = \{2^2, 3^0, 3^1, 4^0\}$$

$$\text{第 7 時段：} \sum_{j \in R_h^{3^0}} X_{3^0 j} + \sum_{j \in R_h^{3^1}} X_{3^1 j} + \sum_{j \in R_h^{4^0}} X_{4^0 j} \leq 1 \quad \text{被第 6 及第 8 時段限制式涵蓋}$$

$$\text{第 8 時段：} \sum_{j \in R_h^{3^0}} X_{3^0 j} + \sum_{j \in R_h^{3^1}} X_{3^1 j} + \sum_{j \in R_h^{4^0}} X_{4^0 j} + \sum_{j \in R_h^{5^0}} X_{5^0 j} \leq 1 \quad F_t = \{3^0, 3^1, 4^0, 5^0\}$$

$$\text{第 9 時段：} \sum_{j \in R_h^{3^1}} X_{3^1 j} + \sum_{j \in R_h^{4^0}} X_{4^0 j} + \sum_{j \in R_h^{5^0}} X_{5^0 j} \leq 1 \quad \text{被第 8 時段限制式涵蓋}$$

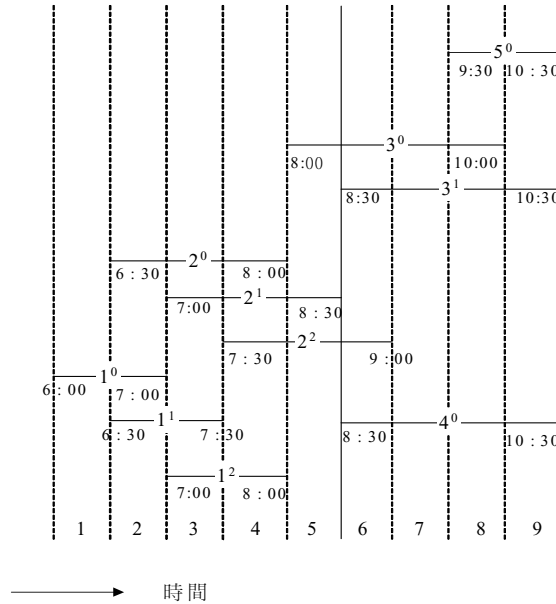


圖 6 延後租用時點下班次租用櫃檯之時間圖

由上可知，在 9 個櫃檯租用區塊限制式中，有效的限制式只有 6 個，亦即式(3-4)、(3-5)、(3-6)、(3-7)、(3-8)與(3-9)。注意，此六式中， $h$  為 105、106、107、108、109 中之一報到線。

$$\sum_{i^k \in F_t} \sum_{j \in R_h^i} X_{ijk} \leq 1, \quad t: 06:30-07:00, \quad F_t = \{1^0, 1^1, 2^0\}, \quad R_h^i = \{a1, a2, a3, a4, a5\} \quad (3-4)$$

$$\sum_{i^k \in F_t} \sum_{j \in R_h^i} X_{ijk} \leq 1, \quad t: 07:00-07:30, \quad F_t = \{1^1, 1^2, 2^0, 2^1\}, \quad R_h^i = \{a1, a2, a3, a4, a5\} \quad (3-5)$$



$$\sum_{i^k \in F_t} \sum_{j \in R_h^i} X_{ijk} \leq 1, \quad t: 07:30-08:00, \quad F_t = \{1^2, 2^0, 2^1, 2^2\}, \quad R_h^i = \{a1, a2, a3, a4, a5\} \quad (3-6)$$

$$\sum_{i^k \in F_t} \sum_{j \in R_h^i} X_{ijk} \leq 1, \quad t: 08:00-08:30, \quad F_t = \{2^1, 2^2, 3^0\}, \quad R_h^i = \{a1, a2, a3, a4, a5\} \quad (3-7)$$

$$\sum_{i^k \in F_t} \sum_{j \in R_h^i} X_{ijk} \leq 1, \quad t: 08:30-09:00, \quad F_t = \{2^2, 3^1, 4^0\}, \quad R_h^i = \{a1, a2, a3, a4, a5\} \quad (3-8)$$

$$\sum_{i^k \in F_t} \sum_{j \in R_h^i} X_{ijk} \leq 1, \quad t: 09:30-10:00, \quad F_t = \{3^0, 3^1, 4^0, 5^0\}, \quad R_h^i = \{a1, a2, a3, a4, a5\} \quad (3-9)$$

## 2.4 求解方法

本研究利用 CPLEX 軟體進行模式求解。CPLEX 係先以單體法求得線性最佳解，若線性最佳解不為整數解時，再利用分枝界限法 (branch and bound) 進行整數解的求取。在分枝界限法的求解過程中，為避免問題規模太大導致運算時間過長時，使用者可依其本身電腦設備及其面臨的問題特性，適時降低求解的精度。本研究在進行求解過程中，因現況電腦運算能力有限，因此嘗試了兩種與線性最佳解誤差值的參數設定。分別為容忍值設定中的 MIPGAP 與 RELOBJDIFFERENCE 兩項參數。MIPGAP 所指的是目前所求得的整數最佳解與整數限制鬆弛下之整數最佳解的差距，RELOBJDIFFERENCE 則是指各個子問題 cut off 的收斂容忍度，本研究在範例測試中分別設為 0.0001 及 0.0 進行求解。適當設定上述之兩項求解參數，可有效改善 CPLEX 的求解效率，但相對地，亦可能造成對最佳解值的誤差，因此使用者在使用上應就問題特性使用其適用之參數值。

## 三、範例測試與結果分析

本研究以 Microsoft Windows 2000 為作業平台，在 Borland C++ Builder 5.0 軟體之開發環境，以 C 電腦程式語言自行撰寫模式之數學式，結合 CPLEX 線性最佳化軟體進行模式構建與求解。所採用的硬體設備為 AMD K6-III 400、256MB RAM 之個人電腦執行運算。本研究模式驗證所需的資料主要可分為三大項。

1. 現況櫃檯之資料：包括櫃檯布設方式、櫃檯距離。本研究參考中正機場一期航站大廈設施，以 14 條共用櫃檯數進行範例測試，共計有 7 個報到櫃檯島，14 條櫃檯邊，182 條報到線。
2. 班次租用櫃檯資料：包括航空公司申請開始租用時間、結束租用時間、租用時間長度、租用報到線數、旅客數等。申請租用的時間為 1 小時、1.5 小時及 2 個小時三種。租用的報到線數介於 5 到 9 條之間。

由於航空公司班表以一個禮拜為週期，故本研究調查一個禮拜各天各時段從中正國際機場一期航站飛離之班次當作範例測試中班次表隨機產生的依據。本研究調查的時間範圍

為 2001 年 3 月 1 日至 2001 年 3 月 7 日，其調查資料整理如表 1 所示。

本研究根據表 1 各時段的班次比率產生建立測試範例單天班次數量分布資料，共計有 18 個時段。另外，在申請租用時段部分，經由訪談得知，航空公司大都於班機起飛前 45 分鐘停止辦理報到手續，另外考量櫃檯人員作業上之需要，因此櫃檯結束租用之時間應較班機起飛前 45 分鐘為晚，故本研究假設各櫃檯結束租用之時間為該班機起飛時間的前 30 分鐘。得到各班機結束租用櫃檯之時刻後，再配合前述三種之租用時間，即可設計出各班機申請租用櫃檯之時段。例如假設 A 班機之起飛時間為 12：50，該班機租用櫃檯時間為 2 小時，依上述方式計算，其租用櫃檯之時段即為 10：20 至 12：20。具體的設計流程如圖 7 所示。

表 1 中正機場一期航廈一星期起飛班次數表 (2001 年 3 月 1 日至 3 月 7 日)

時段 日期	00:00 ~ 07:00	07:00 ~ 08:00	08:00 ~ 09:00	09:00 ~ 10:00	10:00 ~ 11:00	11:00 ~ 12:00	12:00 ~ 13:00	13:00 ~ 14:00	14:00 ~ 15:00	15:00 ~ 16:00	16:00 ~ 17:00	17:00 ~ 18:00	18:00 ~ 19:00	19:00 ~ 20:00	20:00 ~ 21:00	21:00 ~ 22:00	22:00 ~ 23:00	23:00 ~ 24:00	總計 (班/天)
	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	
3/1(四)	0	9	13	16	10	8	9	9	5	9	5	6	7	5	4	5	3		132
3/2(五)	1	9	15	16	6	7	10	8	11	6	10	6	6	8	5	6	4	4	137
3/3(六)	1	8	14	17	7	7	8	7	11	5	9	5	10	8	4	3	4	4	133
3/4(日)	0	9	15	17	11	7	7	8	10	4	11	5	6	9	5	6	5	3	140
3/5(一)	0	11	14	17	6	6	6	8	10	6	10	5	7	6	3	5	6	4	127
3/6(二)	1	8	14	17	8	7	11	7	11	7	8	4	5	9	5	5	6	3	138
3/7(三)	1	10	14	16	8	6	8	8	11	6	12	4	7	7	4	5	4	5	135
總 計	4	64	99	116	56	48	59	55	73	39	69	34	47	54	31	34	34	26	942
平 均 (班/天)	1	9	14	17	8	7	8	8	10	6	10	5	7	8	4	5	5	4	135
百 分 比	0%	7%	11%	12%	6%	5%	6%	6%	8%	4%	7%	4%	5%	6%	3%	4%	4%	3%	100%

資料來源：本研究整理。

另外，各櫃檯結束租用之時間為該班機起飛時間前 30 分鐘。本研究依據上述櫃檯使用之現況，考慮模式大小及現有電腦配備執行效率因素，產生一較為符合目前共用櫃檯使用現況之租用資料以進行模式測試。故本研究以 14 條共用櫃檯 65 個租用班次進行範例測試分析。至於此等班次租用櫃檯的細部內容頗多，因限於篇幅，故請讀者參考陳怡妃<sup>[15]</sup>一文之附錄一、二。

3. 臨時事件發生資料：包括臨時事件發生型態、臨時事件發生時點、臨時事件結束時點、可指派櫃檯。

本研究以一假設性地邊臨時事件為例，進行範例測試。臨時事件發生資料如下：某周三上午 11：20 共用櫃檯行李輸送帶發生故障，造成 9 邊共用櫃檯無法使用，經預測需 8.5 個小時進行修復，因此櫃檯預計於下午 7：50 始能恢復正常使用。櫃檯即時指派各相關時

點分述如下：

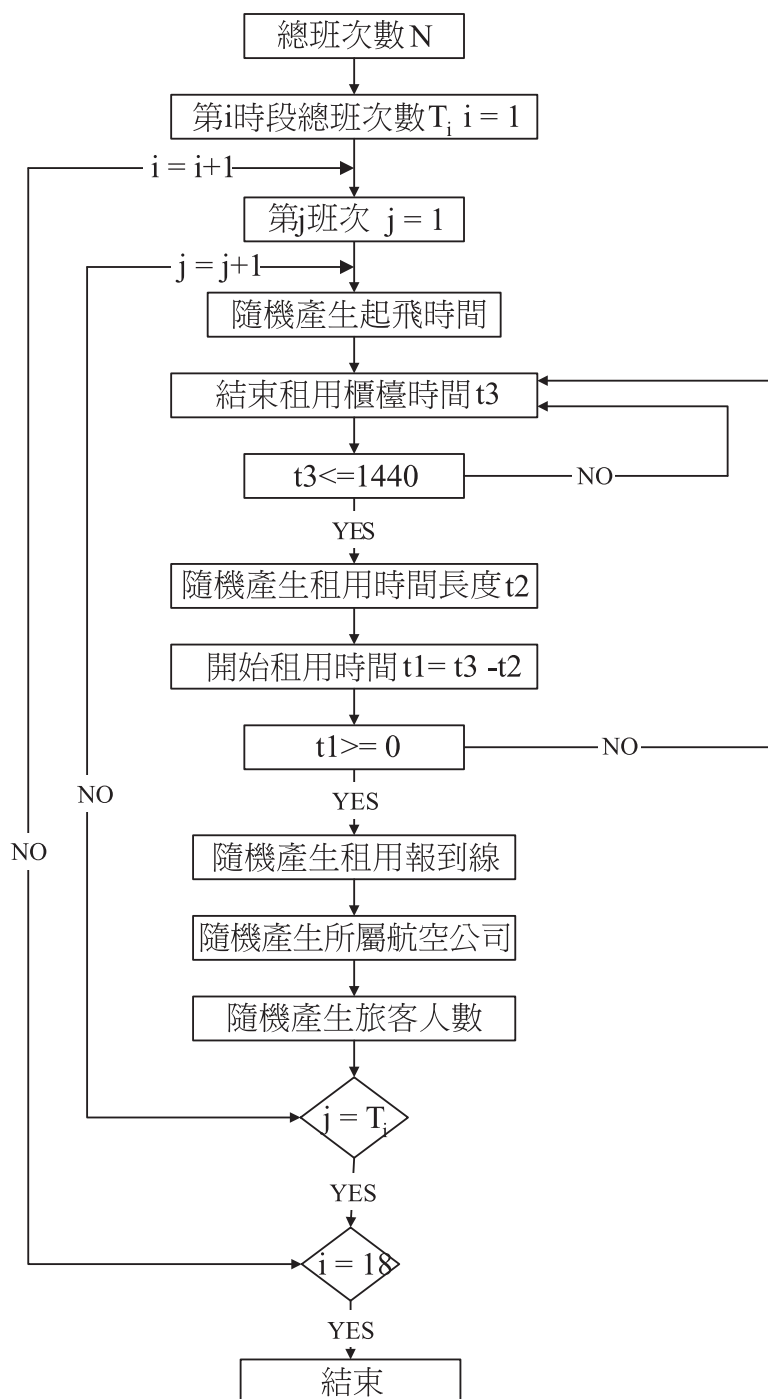


圖 7 租用資料產生流程圖

1. 臨時事件發生時點：上午 11：20。
2. 櫃檯擾動時點：同臨時事件發生時點，上午 11：20。
3. 櫃檯指派時點：上午 11：20，等於櫃檯擾動時點。
4. 事件結束時點：下午 7：50。經驗判斷櫃檯需約八小時修復時間，故機場營運者預期櫃檯最快於下午 7：50 恢復使用。
5. 櫃檯穩定時點：下午 9：00。由原櫃檯租用班表中找出臨時事件結束時點上正在使用櫃檯的所有班次，共有 5 個班次，分別為編號 56、59、61、54、60 班次。而這些班次中，又屬編號 60 班次其最晚結束櫃檯租用時間（下午 9：00），故其時間即為櫃檯穩定時點。
6. 調整班次：33 個班次。
7. 櫃檯指派時窗：上午 11：20 至下午 9：00。
8. 指派櫃檯：2A、2B、4B、6A、7B。

值得注意的是，若為外部擾動事件時，可依第二節針對櫃檯外部擾動事件各時點設置方式加以處理。至於 CPLEX 參數設定值，本研究在範例測試中分別將 MIPGAP 與 RELOBJDIFFERENCE 兩項參數，設為 0.0001 及 0.0 進行求解。

本模式執行完畢後，輸出結果包括：(a)機場臨時事件下，櫃檯即時指派最佳組合；(b)櫃檯即時指派下之最小擾動值；(c)求解時間。首先以模式一進行情境一求解。表 2 為模式一的問題規模，共有 1,736 個變數，175 個（共 5 個櫃檯邊，其中 5 條報到線之區塊有 9 個，6 條報到線之區塊有 8 個，7 條報到線之區塊有 7 個，8 條報到線之區塊有 6 個，9 條報到線之區塊有 5 個）可使用櫃檯區塊。表 3 為模式一執行的結果。輸出結果中發現，有 30 個班次租用櫃檯與原租用櫃檯不同，占 90.91% (= 30/33)。其中，有 23 個班次是因為原指派的櫃檯受臨時事件影響無法使用，占 69.70% (= 23/33)，以及 7 個原分派至正常櫃檯上，但在系統全面考量下，經重新指派後改變租用櫃檯的班次，占 21.21% (= 7/33)。剩餘 3 個班次皆被指派至與原先租用櫃檯相同的櫃檯上，占 9.09% (= 3/33)。至於模式一各班次指派之詳細結果與內容頗多，因限於篇幅，故請讀者參考陳怡妃<sup>[15]</sup>一文之附錄三。

表 2 模式一問題規模

班次數目	可指派櫃檯區塊	變數數目	班次限制式數目	區塊有效限制式數目
33	175	1,736	33	543

表 3 模式一求解結果

目標值 (分鐘)	執行時間 (秒)	回合數	使用虛擬櫃檯班次數
9,134,715	0.11	695	1

在模式二之測試中，此範例設定班次最大容許延後時間為 40 分鐘，以每十分鐘為一

時間間隔，故一個班次最多有 5 ( $= 1 + 4$ ) 個可選擇的租用時點。而空間擾動與時間擾動權重值皆假設為 1，此設定值的意義為將櫃檯重新指派之結果對櫃檯空間與時間變化的重要性視為相同，實務上可依決策者偏好或相關統計資料採用其他權重值。此外，為將目標式中的空間擾動與時間擾動值單位統一，代表櫃檯擾動的櫃檯距離（單位：公尺）一律除以旅客平均速率（60.0 公尺／分鐘），轉換成旅客步行時間（單位：分鐘）。

表 4 為模式二的問題規模及使用 CPLEX 中的相關參數設定。共有 5,630 個變數，175 ( $= 35 \times 5$ ) 個可使用櫃檯區塊。表 5 為模式二執行的結果。輸出結果中發現，有 30 個班次租用櫃檯與原租用櫃檯不同，有 1 個班次選擇延後 40 分鐘，共占 93.94% ( $= 31/33$ )。其中有 22 個班次是由於原租用的櫃檯受臨時事件影響，無法繼續使用，因此必須租用其他櫃檯，占 66.67% ( $= 22/33$ )，以及 9 個原分派至正常櫃檯上，但在系統全面考量下，經重新指派後改變租用櫃檯的班次，占 27.27% ( $= 9/33$ )。剩餘 2 個班次皆被指派至與原先租用櫃檯相同的櫃檯上，占 6.06% ( $= 2/33$ )。

值得一提的是，9 個原分派至正常櫃檯但經重新指派後改變租用櫃檯的班次中，有 2 個班次原租用櫃檯不受事件的影響，在可正常使用下經即時指派後卻被分派至其他櫃檯上。由此亦顯示，為了使系統的總擾動值最小，可能使某些班次增加了空間擾動，而使得其他部分班次得以較小的空間擾動租用其他櫃檯，而此結果對櫃檯整體而言乃為最佳的指派組合。至於模式二各班次指派之詳細結果與內容頗多，因限於篇幅，故請讀者參考陳怡妃<sup>[15]</sup>研究中之附錄四。

表 4 模式二問題規模

班次數目	可指派櫃檯區塊	變數數目	班次限制式數目	區塊有效限制式數目
157	175	5,630	33	1,273

表 5 模式二求解參數設定與結果

目標值 (分鐘)					執行時間 (秒)	回合數	MIPGAP	RELOBJDIFFRECE
59,085					10.61	5,293	0.0001	0
延後時間 (分鐘)					空間擾動 (分鐘)	時間擾動 (分鐘)		總擾動值 (分鐘)
10	20	30	40					
0	0	0	1		58,721	364		59,085

在此範例測試中，模式一所求解出的擾動值 9,134,715 (分鐘) 明顯大於模式二的擾動值 104,178 (分鐘)。其主要原因乃是因為模式一不考慮允許班次延後租用櫃檯，為了將班次依預定時間在指派時窗內分派完畢，現有的櫃檯不夠使用，因此造成一個班次必須使用臨時櫃檯。由於臨時櫃檯成本極高，因此造成模式一會有極大的目標值。模式二考慮允許

班次延後租用，各班次租用櫃檯時間具有選擇性。因此在櫃檯指派組合最佳化過程中，班次間彼此互相調整其租用時間及櫃檯區塊，因此無需設立臨時櫃檯。

對於整個櫃檯系統重新指派，內部班次前後租用櫃檯的變化情形可由租用櫃檯位置變化情況得知。租用櫃檯位置變化為班次重新指派後相對於原租用櫃檯的移動距離，為表示出租用櫃檯的變化，茲以相距幾個櫃檯島表示其移動的距離。值得說明的是，根據中正機場一期航站大廈的實地調查結果發現，相鄰的櫃檯島中心距離約有 15 公尺，除了第三座與第四座櫃檯島以及第七座與第八座相距約 30 公尺 (2 個櫃檯島)，同一櫃檯島不同的櫃檯邊中心距離則相距約 3.75 公尺 (0.25 個櫃檯島)。

對於整個櫃檯系統重新指派，無論是在模式一或模式二，內部班次前後租用櫃檯改變的相對距離，以相距 1 個櫃檯島的距離，發生情況最多，分別有 8 個及 9 個班次；其次則為相距 0.25 個櫃檯島的距離，發生情況次多，分別有 4 個及 7 個班次。值得注意的是，模式一中出現最遠的距離為差距 8 個櫃檯島以上的班次，而模式二最遠的距離差距只有 5 個櫃檯島。其原因乃是受模式一班次無法改變租用時間之緣故，因此班次只要在該時段中有空櫃檯可供使用，即使改變距離較大，但在可行性的限制下，系統仍將此櫃檯分派給該班次租用。

就總運算時間而言，模式一僅需 0.11 秒，而模式二則費時 232.27 秒。其原因主要受問題的規模差異影響，模式二的變數約為模式一之 3 倍，因此可能造成求解時間的大量增加。然而無論模式一或模式二，兩者均能在 4 分鐘之內求解完畢，顯示本研究所構建之模式在處理問題上極具有時效性，應有助於機場管理者在面對突發事件時，有效處理機場櫃檯重新指派的問題。

## 四、結論與建議

一般而言，規劃的目的在於提供實際營運時執行之依據，然而真正營運時卻常會遇到非規劃時所考量的因素。因此本研究針對機場櫃檯實際營運受機場臨時事件發生擾動因素，並考量事件發生時間、原櫃檯租用表、飛航班表等因素，建立櫃檯即時指派相關之時間點，並作為模式輸入資料。本研究針對機場共用櫃檯實際營運中於臨時事件發生下如何有效率、系統性地重新進行櫃檯即時指派，發展出兩個系統性共用櫃檯指派模式，並提出有效的求解方法，以進行櫃檯即時指派作業，期能提供機場營運者面對相同問題時之決策參考，進而提升機場營運績效。

在實際應用上，當機場發生臨時事件時各相關單位之配合情形，為影響整個機場緊急應變能力之重要因素。因此，建議未來可同時考量櫃檯與機門、飛航班表等整合之櫃檯即時指派研究。至於機場中對於特定航空公司若有租用特定專屬櫃檯上的方式，建議可在模式中加入限制式方式處理，或以劃分不同的租用班次與櫃檯區塊集合方式進行研究。最後，本研究為主要探討短期班次使用現有共用櫃檯之指派，在未來可針對機場長期營運下

規劃所需之櫃檯數量進行研究。

## 參考文獻

1. Chun, H., "Scheduling as a Multi-Dimensional Placement Problem", *Engineering Application and Artificial Intelligence*, Vol. 9, No. 3, 1996, pp. 264-273.
2. Chun, H., "Intelligent Resource Simulation for an Airport Check-in Counter Allocation System", *IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetic, Part C: Application and Reviews*, Vol. 29, No. 3, 1999, pp. 325-335.
3. 湯慶輝, 「機場共用櫃檯指派之研究」, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文, 民國八十九年。
4. Etschmaier, M. M. and Rothstein, M., "Estimating the Punctuality Rate Inherent in an Airline Schedule", *Technical Report*, No. 19, Department of Industrial Engineering, University of Pittsburgh, 1973.
5. Etschmaier, M. M. and Mathaisel, D. F. X., "Aircraft Scheduling the State of the Art", *AGIFORS*, Vol. 24, 1984.
6. Teodorovic, D. and Guberinic, S., "Optimal Dispatching Strategy on an Airline Network after a Schedule Perturbation", *European Journal of Operational Research*, Vol. 15, 1984, pp. 178-182.
7. Deckwitz, T. A., "Interactive Dynamic Aircraft Scheduling", Flight Transportation Laboratory, Report R-84-5, Massachusetts Institute of Technology, 1984.
8. Teodorovic, D. and Stojkovic, G., "Model for Operational Daily Airline Scheduling", *Transportation Planning and Technology*, Vol. 14, 1990, pp. 273-285.
9. Krishnamurthy, N., "Models for Irregular Operation at United Airlines", *AGIFORS*, Vol. 31, 1991.
10. 顏上堯、羅智騰, 「因應預期性航具維修之系統飛航排程」, *中國土木水利工程學刊*, 第八卷, 第三期, 民國八十五年, 頁 447-456。
11. Yan, S. and Yang, D., "A Decision Support Framework for Handling Schedule Perturbation", *Transportation Research*, Vol. 30B, No. 6, 1996, pp. 405-419.
12. Yan, S. and Lin, C., "Airline Scheduling for the Temporary Closure of Airports", *Transportation Science*, Vol. 31, 1997, pp. 72-82.
13. Yan, S. and Tu, Y., "Multi-Fleet Routing and Multi-Stop Flight Scheduling for Schedule Perturbation", *European Journal of Operational Research*, Vol. 103, 1997, pp. 155-169.
14. 謝志遠, 「機門指派規劃與即時營運擾動間相關性之研究」, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文, 民國八十八年。
15. 陳怡妃, 「因應臨時事件機場共用櫃檯即時指派之研究」, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文, 民國九十年。





# 家戶機動車輛持有狀態與使用需求模式 之研究<sup>1</sup>

## HOUSEHOLD JOINT DECISION ON CAR/MOTORBIKE OWNERSHIP STATUS AND USE

周榮昌 Rong-Chang Jou<sup>2</sup>

劉祐興 Yu-Hsin Liu<sup>3</sup>

王薇晴 Wei-Ching Wang<sup>4</sup>

(91 年 5 月 16 日收稿，91 年 10 月 8 日第一次修改，92 年 1 月 2 日第二次修改，  
92 年 2 月 19 日第三次修改，92 年 12 月 31 日定稿)

### 摘 要

本研究之目的在於建立家計單位機動車輛 (包括汽車與機車) 之持有與使用聯合決策模式，主要係以個體經濟學之消費者行為理論為基礎，考慮家計單位在特定之預算限制條件下 (受汽機車之固定成本及變動成本所影響)，使家計單位之效用最大化，並藉由雙對數需求函數、直接效用與間接效用的轉換與比較，求得家計單位汽機車持有組合之機率。實證方面，本研究將以實際調查所得之台中市家戶持有機動車輛之資料代入本研究所構建之模式，以基因演算法進行參數的校估。應用模式校估所求得之參數值，進一步探討在所得、固定成本及變動成

- 
1. 本研究非常感謝審查委員提供之寶貴意見；另對國科會之經費補助亦一併致謝 (編號 NSC 90-2415-H-035-009-SSS)。
  2. 國立暨南國際大學土木工程學系教授 (聯絡地址：545 南投縣埔里鎮大學路 1 號暨南國際大學土木工程學系；電話：049-2910960 轉 4956；傳真：049-2918679；E-mail：rcjou@ncnu.edu.tw)。
  3. 國立暨南國際大學土木工程學系助理教授。
  4. 逢甲大學交通工程與管理研究所碩士。

本改變的情況下，對家計單位機動車輛之持有與使用的影響程度。經由敏感度分析結果顯示，機動車輛持有數在兩部以上者，其汽車之變動成本對里程數的影響最大，機車則是以所得對里程數影響最大，此結果說明當家計單位機動車輛持有數達某一水準時，若欲控制汽機車之使用量，則應分別針對不同車種制訂不同的策略始能收其效果。

**關鍵詞：**持有與使用；直接效用；間接效用；基因演算法；彈性

## ABSTRACT

*In this study, a model for the household decision on car/motorbike ownership and use is developed, estimated, and applied. The model takes both cars and motorbikes into account. It is mainly based on the microeconomic theory of consumer behavior, in which the fixed and variable car/motorbike costs are two main components of budget restriction. The probabilities of car/motorbike ownership are derived and calculated by comparing direct and indirect utilities. A disaggregate data set at the level of individual households was obtained based on the household interviews conducted in Taichung City in 2000. Genetic Algorithm is applied to calibrate the parameters and further figure out the impact of changes in variable car/motorbikes, fixed car/motorbike costs, household income, and combinations of these on the household car/motorbike ownership and use. In general, the long-term income elasticity is greater than the variable cost elasticity and the fixed cost elasticity. The policy analysis also indicates that variable costs have more effects on reducing vehicle use. It is, therefore, a good direction for authorities to consider such strategies to improve transportation environment.*

**Key Words:** *Ownership and use; Direct and indirect utilities; Genetic Algorithm; Elasticity*

## 一、前言

由於都市人口急遽增加及家計單位所得水準提高，汽機車之持有比率也隨之不斷攀升，此結果不僅造成各大都市之交通嚴重阻塞、肇事事故增加及汽機車排放廢氣引起的環境污染外，亦對社經及實質環境之結構造成相當大的衝擊，因此研擬適當的因應對策，一方面抑制私人運具之持有及使用，另一方面改善大眾運輸系統，兩者雙管齊下應能部分改善日益惡化的交通環境。本研究將著重於私人運具之持有與使用的探討，有關大眾運輸系統方面則不是本研究之重點。

一般而言，歐美國家之私人運具皆以小汽車為主，然而台灣地區則又包括機車此一運具。由於汽機車之持有與使用是因應家庭中每位成員之旅運需求而產生之共同決策，因此，應以家計單位為分析單元。另外，汽機車之持有與使用問題應彼此相關且互為因果關

係，亦即，當持有選擇改變，則使用選擇亦會隨著改變，反之亦然。有鑑於此，小汽車與機車之持有與使用不宜單獨分析，應同時對這兩者作深入的探討，始能評估真正有效之策略以因應日益惡化的交通及其所產生之相關問題。

過去國內外大多分別獨立考慮小汽車單一運具之持有或使用，直到最近兩者之聯合分析才開始受到重視且在方法上有所突破。由於汽機車之持有為一間斷性 (discrete) 選擇，而其使用量則為一連續性 (continuous) 選擇，故汽機車之持有與使用問題為一混合間斷性與連續性之選擇問題。在台灣地區，汽機車之持有與使用在每家計單位中是一明顯之固定支出，根據交通部運研所統計<sup>[1]</sup>，民國 88 年台灣地區家戶數為 6,513,324 戶，小汽車持有為 4,509,430 輛，機車持有為 10,958,469 輛，亦即，台灣地區平均每戶人家就有 0.7 輛小汽車及 1.7 部機車，每一家計單位擁有的機動車輛數即超過兩部。然而，國內外對於機車之持有與使用分析之文獻，卻不常見，de Jong<sup>[2]</sup> 及周榮昌與翁美娟<sup>[3]</sup> 雖以消費者行為理論推導出家計單位購買及使用汽車之決策機率，研究成果亦提供相當寶貴見解，然而該研究僅針對擁有一部汽車之家計單位為分析對象。為更能符合台灣地區汽機車混合持有現象，本研究乃同時考慮到汽、機車之持有與使用模式的建構，隨機調查台中市家戶之汽機車持有與使用資料，進而構建家計單位零至三部機動車輛之持有與使用聯合決策模式，最後透過彈性分析進一步了解外生變數（如：政府政策）對於家戶汽機車持有與使用的影響，所得結果可供政策制訂之參考。

本研究之章節安排如下，第二節針對國內外家戶車輛之持有與使用之相關研究作一回顧，第三節為模式之設定及推導。第四節說明本研究調查蒐集之資料特性，第五節以蒐集之家戶汽機車持有及使用資料為輸入，進行模式之實證分析，最後提出結論與建議。

## 二、文獻回顧

### 2.1 汽車持有之相關研究

Berkovec 和 Rust<sup>[4]</sup> 構建家戶對小汽車持有偏好之選擇模式；其主要假設小汽車之款式之可觀察特性具有相似性，則其未可觀測部分亦將呈相當程度之相似；因此其以車齡大小定義小汽車車輛種類成三個巢 (nest)，每巢之下再依車輛大小分成五個方案，依此分類共有十五個替選方案組合。Berkovec<sup>[5]</sup> 則先以巢式羅吉特建構小汽車持有、款式之選擇模式，進一步將二手車汰換率 (scrapage) 及新車供給加入模式中，以同步處理個體模式與存量模式，其透過模擬 (simulation) 的方式預測不同消費群體對汽車持有之意願 (機率)，最後依此對個體消費者所預測之需求加總而預測總體之汽車存量、新車銷售及二手車汰換率等。

Jansson<sup>[6]</sup> 以汽車持有之增減傾向 (entry propensity; exit propensity) 作為主要的相關變數，並利用橫斷面 (cross-section) 與縱斷面 (longitudinal cohort) 分析，比較不同群體其生

命週期 (life-cycle) 之汽車持有情形，以達成動態的汽車成長之預測。文中分別探討不同所得層組之汽車持有率及不同年齡層及不同性別間其汽車持有之增加與減少，最後以模擬的方式預測出未來 (1990, 2000, 及 2050 年) 之汽車持有率。

Said<sup>[7]</sup> 研究科威特的汽車持有率，認為由於國情特殊，如科威特人因極高的所得因素，而完全倚賴私人運具，且在科國境內的非科威特人家戶，其所得雖較低，但因其二手車價、油價、道路規費及保險費等均十分低廉，故亦有 90% 以上之非科威特人家庭亦持有一部以上的車輛，因此以一般線性迴歸模式估計在科威特之本國人與外國人家戶之汽車持有率。而 Chin 和 Smith<sup>[8]</sup> 則以新加坡為對象，利用總體模式估計影響小汽車需求量的因素，其發現可支配所得、車價、財政稅捐及車輛操作成本等為影響小汽車持有的顯著變數。其進一步以迴歸模式分析新加坡政府的交通政策對汽車持有的影響。實證結果顯示，新加坡在 1989 年以前的財政手段中以增加道路收費效果最為顯著，而 1990 年後，由於實施小汽車配額制及擁車證 (certificate of entitlement; COE) 等措施使得小汽車的持有大幅地降低。

陳賓權<sup>[9]</sup> 為探討買車自備停車位策略對抑制小汽車數量成長之功效，利用敘述性偏好建立車輛持有與車位的聯合選擇模式。

## 2.2 汽車使用之相關研究

Mannering<sup>[10]</sup> 以 simultaneous equation system 設定家戶持有多部車之使用模式，並以持有兩部車之家戶為樣本進行調查分析。模式僅探討家戶多部車使用量之分派，相較於一般總體或個體模式中往往忽略個別汽車使用情形下，其構建家戶中個別小汽車之使用模式則能將之考慮。

Golob 等人<sup>[11]</sup> 將影響汽車使用的因素歸納為三類：家戶特性、汽車主要使用人特性及汽車本身之特性，並以 additional equations 來描述家戶中每部汽車的主要使用人的特性。該研究以顯示性偏好 (RP) 及敘述性偏好 (SP) 來估計一部車及兩部車以上的家戶汽車使用情形，利用 RP 之實驗設計來描述目前擁有的車輛，以 SP 實驗預測未來新車型式之需求。其模式率先採用 RP-SP 之聯合估計，較能同時反映出內、外生變數的同時影響效果，這些影響為單純 RP 實驗時無法捕捉到的。由實證結果顯示，電動車將比傳統燃油車較少被使用。另外，在擁有兩部車以上的家戶中，使用量將因車齡、操作成本及動力 (燃料) 型態不同而有所改變。

## 2.3 汽車持有與使用之相關研究

Train<sup>[12]</sup> 應用序列模式 (sequential model) 分析汽車之持有與使用，模式中混合了汽車持有之離散資料及汽車使用之連續資料，採用 Heckman 二階段校估法，即先利用 Logit 或 Probit 模式來校估家戶對選擇持有汽車之機率，然後透過自我選擇項之修正，再運用迴歸模式校估汽車的使用量。

Hensher 等人<sup>[13]</sup>對汽車使用與車輛款式選擇作出聯合估計，de Jong<sup>[2]</sup>則發展出汽車持有與使用之聯合估計模式；前者以非線性條件效用函數的方式設定車輛款式選擇，再利用 Roy's Identity 推導出汽車使用量之需求函數，並以選擇修正項連接連續性的使用選擇與間斷性的汽車選擇。後者利用個體經濟學中之效用模式，將小汽車的固定成本及變動成本納入預算限制式中，並模擬當這些成本增加所帶來的影響。實證結果顯示，增加固定成本及變動成本對於抑制小汽車的成長是有效的。固定成本增加會減低小汽車的持有，而變動成本的增加對抑制小汽車的使用有較直接的效果。

Button 等人<sup>[14]</sup>則檢視低所得國家中影響汽車持有與使用的因素，以汽車持有率及國民生產毛額 (GNP) 為標準，將低所得國家分成五類，並分別利用 Log-Linear 模式及 Quasi-Logistic 模式設定車輛持有，以迴歸模式估計車輛使用，並區分出私人車輛與商用車輛之持有數與使用量。林裕清<sup>[15]</sup>則是在間斷性選擇問題時使用 logit 模式與 probit 模式，而連續性選擇則使用迴歸模式，來探討小汽車持有與使用的聯合選擇問題，由其在連續性選擇方面，利用選擇修正項來修正小汽車使用量模式的選擇偏誤，方法上與 Hensher 等人的作法類似。

廖仁哲<sup>[16]</sup>雖然是透過對家戶為同一效用函數的設定來建立小汽車持有數量、工作者工作運具選擇、與小汽車使用量之混合需求模式，由於其中小汽車持有數量與工作運具選擇為間斷性之選擇，小汽車使用量則為連續性之選擇，所以研究對象與上述研究之類型相似；其以台南地區之家戶個體資料從事實證分析，研究結果顯示小汽車持有數量、工作者工作運具選擇、與小汽車使用量間有相關性存在。賴文泰<sup>[17]</sup>以台灣地區之家戶資料，針對家戶小汽車持有、使用需求與工作者通勤距離、工作運具等決策行為之特性進行研究。該研究建構一聯立方程式模型，以反映工作者通勤距離與小汽車持有決策之雙向影響關係；其次，使用間斷性／連續性選擇模式來描述小汽車持有、工作運具選擇、使用需求間彼此相關且相互影響之關係。實證結果顯示工作者之通勤距離與家戶小汽車持有之決策確實具有雙向影響關係；小汽車持有、使用與工作運具選擇亦存有相關性與聯立性。

周榮昌及翁美娟<sup>[3]</sup>在延伸 de Jong<sup>[2]</sup>之方法下，探討消費者在面臨所得預算限制下，將購車之固定成本和汽車使用的變動成本納入汽車持有與使用的聯立決策模式中，以達成效用最大，並模擬當固定成本、變動成本及所得變動時，對汽車持有及使用之影響程度。

## 2.4 其他相關研究

Jorgensen 和 Tore<sup>[18]</sup>透過時間序列資料的運用，以計量經濟模式預測汽車持有、汽車存量之車齡分布、汽車汰換率及新車購買率，並估計了汽車持有及新車購買之所得彈性與汽車成本彈性 (包括短期與長期彈性)。其不同之處在於估計汽車持有模式時，是以每一個年紀在 18 至 75 歲而實際所得超過某一門檻值之成年人為研究對象，而非一般研究中以家戶為研究單位；結果發現長期之所得及價格彈性均較短期高，表示汽車之短期市場較長期市場不熱絡。

de Jong<sup>[19]</sup> 利用存活模式 (duration model) 來估計汽車持有時間、以羅吉特模式來構建汽車款式之選擇、而以迴歸模式來推估汽車每年使用里程數及燃油效率。

Yamamoto 和 Kitamura<sup>[20]</sup> 利用 hazard-based duration model 構建出家戶小汽車的實際持有時間與預期持有時間模式，並將實際與預期兩者間之誤差項以 mass point 模式加以銜接。

閻潔<sup>[21]</sup> 應用存活理論之持續時程模式探討消費者運具持有時程，透過 Cox 等比例危險模式建立消費者運具轉換行為模式，研究結果顯示受訪者的人口統計變數在消費者的運具持有時程模式上有較佳的解釋能力。

## 2.5 小結

經由以上文獻回顧可知，國內外對於小汽車之相關研究已相當豐富，有關小汽車持有與使用聯合選擇模式之研究則是近幾年來才加以探討的，且大多數研究主要針對小汽車持有與使用之模式。然而在實際生活中，家計單位應是將汽機車的持有與使用同時考慮在內的，亦即，只有在汽機車的預期使用量超過一定水準後，家計單位才會去購買汽機車。因此，以上文獻模式並無法有效反映出家計單位機動車輛持有與使用決策行為之同時性 (simultaneity)。而台灣地區特有的機車文化未包含在模式中，亦使上述模式分析結果應用在台灣地區的重要性相對降低。

為此，本研究擴充 de Jong<sup>[2]</sup> 與周榮昌及翁美娟<sup>[3]</sup> 的模式，同時考慮到家計單位三部汽、機車之持有與使用模式的建構，以符合台灣社會特殊運具結構及其對於家計單位購車決策之影響。至於本研究與前述兩研究之差異則整理如表 1 所示。

表 1 本研究與 de Jong 及周榮昌與翁美娟之相異處

項 目	de Jong <sup>[2]</sup> 及 周榮昌與翁美娟 <sup>[3]</sup>	本研究
機動車輛數	一部 (汽車)	三部 (汽機車)
參數數目	9 個	200 餘個
參數限制	—	依持有情況不同 而設不同之 $\alpha$ 值
使用人與里程數 相關性之考量	無	有
校估方法	GRMAX <sup>[3]</sup> 、TSP	GA
起始值的給定	—	由迴歸模式得

### 三、研究方法

本研究係以個體經濟理論為出發點，來探討持有三輛車輛（含汽機車）以下，家計單位在面對特定限制條件下，其追求效用最大化的選擇問題。第 3.1 節為模式之設定，第 3.2 節則為模式之推導。

#### 3.1 模式設定

##### 1. 效用函數之設定

由於本研究考慮家計單位在特定限制條件下之效用最大化的選擇問題，因此本研究必須先針對家戶單位的效用函數加以設定。假設家計單位之直接效用函數可簡化成三件財貨，第一件是汽車使用的里程數  $A$ ，第二件是機車使用之里程數  $B$ ，第三件是花費於其他財貨或勞務的支出  $X$ 。汽車（機車）使用里程數的價格由固定成本  $C(F)$  和變動成本  $v(u)$  二者所組成；至於其他財貨或勞務的價格則將之標準化為 1，並以貨幣單位表示之。直接效用模式表示如下：

$$\text{Maximize : } U = U(A, B, X) \quad (1)$$

$$\text{s.t. : } Y \geq X \quad \text{持有零部汽（機）車}$$

$$Y \geq \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^i [\omega_{ij}(v_{ij}A_{ij} + C_{ij}) + \Omega_{ij}(u_{ij}B_{ij} + F_{ij})] + X \quad \text{持有一至三部汽機車}$$

其中，

$\omega_{ij}$ ：家計單位汽車指標；= 1，若家計單位持有  $i$  部機動車輛，且汽車之持有順序為  $j$  時；  
= 0，其他。

$\Omega_{ij}$ ：家計單位機車指標；= 1，若家計單位持有  $i$  部機動車輛，且機車之持有順序為  $j$  時；  
= 0，其他。

$i$ ：家計單位持有汽機車車輛總數（ $i = 1, 2, 3$ ）。

$j$ ：家計單位持有之車輛順序（ $j = 1, 2, 3$ ）。

$Y$ ：家計單位所有成員一年所得之總和（單位：千元）。

$X$ ：每年支付於汽機車以外之其他財貨的總支出（單位：千元），其價格已標準化為 1。

$A$ ：每年私人用途（含上下班）之汽車使用里程數（單位：千公里）。

$B$ ：每年私人用途（含上下班）之機車使用里程數（單位：千公里）。

$C$ ：每年汽車固定成本，由固定折舊、保險費、牌照稅、固定停車費和固定貸款額所組成；

即是在使用汽車時與里程數無關的必要支出 (單位：千元)。

$F$ ：每年機車固定成本，由固定折舊、保險費、牌照稅和固定貸款額所組成；即是在使用機車時與里程數無關的必要支出 (單位：千元)。

$v$ ：每年汽車變動成本，即每年使用汽車所需的支出，含燃油成本、臨時停車費、臨時過路費和保養維修費，但絕大部分是燃油成本 (單位：元／公里)。

$u$ ：每年機車變動成本，即每年使用機車所需的支出，含燃油成本和保養維修費，但絕大部分是燃油成本 (單位：元／公里)。

由 Roy's Identity 可知需求函數與間接效用函數間之關係如式(2)所示：

$$\frac{\partial I / \partial v}{\partial I / \partial Y} = -A, \quad \frac{\partial I / \partial u}{\partial I / \partial Y} = -B \quad (2)$$

其中  $I$  為間接效用函數。 $A$  與  $B$  為直接效用模式中之變數，惟為進一步求得其需求函數，本研究乃採用雙對數型態，因為對數需求函數之適合性及校估參數之顯著性均較其他函數型態為佳<sup>[11]</sup>，因此進一步將  $A$  與  $B$  轉換為  $\ln A$  與  $\ln B$  (因為對數函數為一非遞減 (non-decreasing) 函數，因此如此轉換將不失真)，因此兩者之定義一致且均代表預期之使用里程。持有一至三部機動車輛之家計單位其機動車輛需求函數整理如表 2 所示。

表中第二欄為家計單位所持有機動車輛之種類與順序，如 (汽，機，機) 表示持有順序為汽車，機車，機車之家計單位，其汽車使用量之需求函數為第三欄所示： $\ln A_{31} = \alpha_8 \ln(Y - C_{31} - F_{32} - F_{33}) + Z_{31} - \beta v_{31}$ 。 $Y$ 、 $C$ 、 $F$ 、 $v$ 、 $u$  之定義請詳見式(1)。 $Z$  表示家計單位汽車主要使用者之社經特性變數， $J$  表示家計單位機車主要使用者之社經特性變數， $\alpha_1 \sim \alpha_9$  及  $\beta$  則為欲校估之參數。 $\alpha$  所代表的意義為家計單位機動車輛使用里程之所得彈性與固定成本彈性，由於各個家計單位對於汽機車購買數量與組合不盡相同，本研究將  $\alpha$  依家計單位購買汽機車組合之不同分別設定參數值為  $\alpha_1 \sim \alpha_9$ 。例如以 (汽，機) 與 (機，汽) 為例，先持有一部汽車再持有一部機車的家計單位與先持有一部機車再持有一部汽車之家計單位，其差異僅在於持有順序不同，而其持有成本則相差不多，因此所得減去汽機車成本之對數參數值均設為  $\alpha_5$ 。至於  $\beta$  值，則為變動成本之係數。透過 Roy's Identity (式(2)) 及需求函數 (表 2) 可進一步求得持有一部、兩部及三部車輛 (含汽機車) 之間接效用函數，整理如表 3 所示。為避免混淆，本研究進一步將車輛持有種類之定義說明敘述如后：假設當家計單位之持有種類為 (汽，機) 時，表示家計單位之購車決策包括有二種情況，(a) 家計單位目前已持有二部車輛 (持有次序為汽→機)，不再購置汽車或機車，(b) 家計單位目前已持有一部汽車，預定再持有一部機車。有關表 2 及表 3 家計單位機動車輛使用需求函數及間接效用函數，係引用 Hausman 的非線性預算限制<sup>[22]</sup> 及採用 Train 雙對數需求函數型態<sup>[12]</sup>，來設定本研究需求函數，再經由 Roy's Identity 轉換，求得間接效用函數。



表 2 家計單位機動車輛使用需求函數一覽表

持有總數	持有種類與順序	需求函數
一 部	(汽)	$\ln A_{11} = \alpha_1 \ln (Y - C_{11}) + Z_{11} - \beta v_{11}$
	(機)	$\ln B_{11} = \alpha_2 \ln (Y - F_{11}) + J_{11} - \beta u_{11}$
兩 部	(汽, 汽)	$\ln A_{21} = \alpha_3 \ln (Y - C_{21} - C_{22}) + Z_{21} - \beta v_{21}$
	(汽, 汽)	$\ln A_{22} = \alpha_3 \ln (Y - C_{21} - C_{22}) + Z_{22} - \beta v_{22}$
	(機, 機)	$\ln B_{21} = \alpha_4 \ln (Y - F_{21} - F_{22}) + J_{21} - \beta u_{21}$
	(機, 機)	$\ln B_{22} = \alpha_4 \ln (Y - F_{21} - F_{22}) + J_{22} - \beta u_{22}$
	(汽, 機)	$\ln A_{21} = \alpha_5 \ln (Y - C_{21} - C_{22}) + Z_{21} - \beta v_{21}$
	(汽, 機)	$\ln B_{22} = \alpha_5 \ln (Y - C_{21} - C_{22}) + J_{22} - \beta v_{22}$
	(機, 汽)	$\ln B_{21} = \alpha_5 \ln (Y - F_{21} - C_{22}) + J_{21} - \beta u_{21}$
	(機, 汽)	$\ln A_{22} = \alpha_5 \ln (Y - F_{21} - C_{22}) + Z_{22} - \beta v_{22}$
三 部	(汽, 汽, 汽)	$\ln A_{31} = \alpha_6 \ln (Y - C_{31} - C_{32} - C_{33}) + Z_{31} - \beta v_{31}$
	(汽, 汽, 汽)	$\ln A_{32} = \alpha_6 \ln (Y - C_{31} - C_{32} - C_{33}) + Z_{32} - \beta v_{32}$
	(汽, 汽, 汽)	$\ln A_{33} = \alpha_6 \ln (Y - C_{31} - C_{32} - C_{33}) + Z_{33} - \beta v_{33}$
	(機, 機, 機)	$\ln B_{31} = \alpha_7 \ln (Y - F_{31} - F_{32} - F_{33}) + J_{31} - \beta u_{31}$
	(機, 機, 機)	$\ln B_{32} = \alpha_7 \ln (Y - F_{31} - F_{32} - F_{33}) + J_{32} - \beta u_{32}$
	(機, 機, 機)	$\ln B_{33} = \alpha_7 \ln (Y - F_{31} - F_{32} - F_{33}) + J_{33} - \beta u_{33}$
	(汽, 機, 機)	$\ln A_{31} = \alpha_8 \ln (Y - C_{31} - F_{32} - F_{33}) + Z_{31} - \beta v_{31}$
	(汽, 機, 機)	$\ln B_{32} = \alpha_8 \ln (Y - C_{31} - F_{32} - F_{33}) + J_{32} - \beta u_{32}$
	(汽, 機, 機)	$\ln B_{33} = \alpha_8 \ln (Y - C_{31} - F_{32} - F_{33}) + J_{33} - \beta u_{33}$
	(機, 汽, 機)	$\ln B_{31} = \alpha_8 \ln (Y - F_{31} - C_{32} - F_{33}) + J_{31} - \beta u_{31}$
	(機, 汽, 機)	$\ln A_{32} = \alpha_8 \ln (Y - F_{31} - C_{32} - F_{33}) + Z_{32} - \beta v_{32}$
	(機, 汽, 機)	$\ln B_{33} = \alpha_8 \ln (Y - F_{31} - C_{32} - F_{33}) + J_{33} - \beta u_{33}$
	(機, 機, 汽)	$\ln B_{31} = \alpha_8 \ln (Y - F_{31} - F_{32} - C_{33}) + J_{31} - \beta u_{31}$
	(機, 機, 汽)	$\ln B_{32} = \alpha_8 \ln (Y - F_{31} - F_{32} - C_{33}) + J_{32} - \beta u_{32}$
	(機, 機, 汽)	$\ln A_{33} = \alpha_8 \ln (Y - F_{31} - F_{32} - C_{33}) + Z_{33} - \beta v_{33}$
	(汽, 汽, 機)	$\ln A_{31} = \alpha_9 \ln (Y - C_{31} - C_{32} - F_{33}) + Z_{31} - \beta v_{31}$
	(汽, 汽, 機)	$\ln A_{32} = \alpha_9 \ln (Y - C_{31} - C_{32} - F_{33}) + Z_{32} - \beta v_{32}$
	(汽, 汽, 機)	$\ln B_{33} = \alpha_9 \ln (Y - C_{31} - C_{32} - F_{33}) + J_{33} - \beta u_{33}$
	(汽, 機, 汽)	$\ln A_{31} = \alpha_9 \ln (Y - C_{31} - F_{32} - C_{33}) + Z_{31} - \beta v_{31}$
	(汽, 機, 汽)	$\ln B_{32} = \alpha_9 \ln (Y - C_{31} - F_{32} - C_{33}) + J_{32} - \beta u_{32}$
	(汽, 機, 汽)	$\ln A_{33} = \alpha_9 \ln (Y - C_{31} - F_{32} - C_{33}) + Z_{33} - \beta v_{33}$
	(機, 汽, 汽)	$\ln B_{31} = \alpha_9 \ln (Y - F_{31} - C_{32} - C_{33}) + J_{31} - \beta u_{31}$
	(機, 汽, 汽)	$\ln A_{32} = \alpha_9 \ln (Y - F_{31} - C_{32} - C_{33}) + Z_{32} - \beta v_{32}$
	(機, 汽, 汽)	$\ln A_{33} = \alpha_9 \ln (Y - F_{31} - C_{32} - C_{33}) + Z_{33} - \beta v_{33}$

表 3 機動車輛持有組合順序間接效用函數一覽表

持有種類	間接效用函數
(汽)	$I_1 = \frac{1}{1-\alpha_1}(Y-C_{11})^{1-\alpha_1} + \frac{1}{\beta}\exp(Z_{11}-\beta v_{11})$
(機)	$I_2 = \frac{1}{1-\alpha_2}(Y-F_{11})^{1-\alpha_2} + \frac{1}{\beta}\exp(J_{11}-\beta u_{11})$
(汽，汽)	$I_3 = \frac{1}{1-\alpha_3}(Y-C_{21}-C_{22})^{1-\alpha_3} + \frac{1}{\beta}[\exp(Z_{21}-\beta v_{21}) + \exp(Z_{22}-\beta v_{22})]$
(機，機)	$I_4 = \frac{1}{1-\alpha_4}(Y-F_{21}-F_{22})^{1-\alpha_4} + \frac{1}{\beta}[\exp(J_{21}-\beta u_{21}) + \exp(J_{22}-\beta u_{22})]$
(汽，機)	$I_5 = \frac{1}{1-\alpha_5}(Y-C_{21}-F_{22})^{1-\alpha_5} + \frac{1}{\beta}[\exp(Z_{21}-\beta v_{21}) + \exp(J_{22}-\beta u_{22})]$
(機，汽)	$I_6 = \frac{1}{1-\alpha_6}(Y-F_{21}-C_{22})^{1-\alpha_6} + \frac{1}{\beta}[\exp(J_{21}-\beta u_{21}) + \exp(Z_{22}-\beta v_{22})]$
(汽，汽，汽)	$I_7 = \frac{1}{1-\alpha_6}(Y-C_{31}-F_{32}-F_{33})^{1-\alpha_6} + \frac{1}{\beta}[\exp(Z_{31}-\beta v_{31}) + \exp(Z_{32}-\beta v_{32}) + \exp(Z_{33}-\beta v_{33})]$
(機，機，機)	$I_8 = \frac{1}{1-\alpha_7}(Y-F_{31}-F_{32}-F_{33})^{1-\alpha_7} + \frac{1}{\beta}[\exp(J_{31}-\beta u_{31}) + \exp(J_{32}-\beta u_{32}) + \exp(J_{33}-\beta u_{33})]$
(汽，機，機)	$I_9 = \frac{1}{1-\alpha_8}(Y-C_{31}-F_{32}-F_{33})^{1-\alpha_8} + \frac{1}{\beta}[\exp(Z_{31}-\beta v_{31}) + \exp(J_{32}-\beta u_{32}) + \exp(J_{33}-\beta u_{33})]$
(機，汽，機)	$I_{10} = \frac{1}{1-\alpha_8}(Y-F_{31}-C_{32}-F_{33})^{1-\alpha_8} + \frac{1}{\beta}[\exp(J_{31}-\beta u_{31}) + \exp(Z_{32}-\beta v_{32}) + \exp(J_{33}-\beta u_{33})]$
(機，機，汽)	$I_{11} = \frac{1}{1-\alpha_8}(Y-F_{31}-F_{32}-C_{33})^{1-\alpha_8} + \frac{1}{\beta}[\exp(J_{31}-\beta u_{31}) + \exp(J_{32}-\beta u_{32}) + \exp(Z_{33}-\beta v_{33})]$
(汽，汽，機)	$I_{12} = \frac{1}{1-\alpha_9}(Y-C_{31}-C_{32}-F_{33})^{1-\alpha_9} + \frac{1}{\beta}[\exp(Z_{31}-\beta v_{31}) + \exp(Z_{32}-\beta v_{32}) + \exp(J_{33}-\beta u_{33})]$

表 3 機動車輛持有組合順序間接效用函數一覽表 (續)

持有種類	間接效用函數
(汽, 機, 汽)	$I_{13} = \frac{1}{1-\alpha_9} (Y - C_{31} - F_{32} - C_{33})^{1-\alpha_9} +$ $\frac{1}{\beta} [\exp(Z_{31} - \beta v_{31}) + \exp(J_{32} - \beta u_{32}) + \exp(Z_{33} - \beta v_{33})]$
(機, 汽, 汽)	$I_{14} = \frac{1}{1-\alpha_9} (Y - F_{31} - C_{32} - C_{33})^{1-\alpha_9} +$ $\frac{1}{\beta} [\exp(J_{31} - \beta u_{31}) + \exp(Z_{32} - \beta v_{32}) + \exp(Z_{33} - \beta v_{33})]$

透過表3之間接效用，本研究可進一步求得無持有汽機車之直接效用分別為：

$$U_1(0, Y) = \frac{1}{(1-\alpha_1)} Y^{1-\alpha_1} ; U_2(0, Y) = \frac{1}{(1-\alpha_2)} Y^{1-\alpha_2} .$$

## 2. 隨機項之設定

假設家計單位的汽機車持有和使用之決策行為除了受到固定成本 ( $C, F$ ) 和變動成本 ( $u, v$ ) 兩個經濟變數影響外，也會隨著不同家計單位中的社經特性變數 ( $Z, J$ ) 而有所差異。

$$Z_{ij} = \delta_{ij} S_{ij} + e_{ij}$$

$$J_{ij} = \zeta_{ij} R_{ij} + f_{ij}$$

其中  $S$  為觀測家計單位汽車使用者之社會經濟特性； $R$  為觀測家計單位機車使用者之社會經濟特性； $\delta, \zeta$  為欲校估之參數； $e, f$  為個別家計單位汽機車使用者之特徵， $i$  為家計單位持有汽機車車輛總數 ( $i = 1, 2, 3$ )， $j$  為家計單位持有之車輛順序 ( $j = 1, 2, 3$ )。為簡化模式之推導，本研究假設家計單位之購車行為係一部車輛接續一部車輛，因此針對同一家計單位，可假設  $Z_{21} = Z_{11}$ ， $J_{21} = J_{11}$ ， $Z_{31} = Z_{21}$ ， $Z_{32} = Z_{22}$ ， $J_{31} = J_{21}$ ， $J_{32} = J_{22}$  而模式推導結果亦不至於相差太多。

為了區分家計單位汽機車之實際使用里程數與預期使用里程數間之差異，本研究另外介紹一干擾項  $w(m)$ 。

$$K_{ij} = \ln A_{ij} + w_{ij}$$

$$L_{ij} = \ln B_{ij} + m_{ij}$$

$K$  為觀測家計單位之汽車使用里程數； $L$  為觀測家計單位之機車使用里程數； $\ln A$  則是代表了家計單位決定買汽車時，預期使用的里程數； $\ln B$  則是代表了家計單位決定買機

車時，預期使用的里程數；兩者間的差異分別為  $w$  及  $m$ 。 $w$  與  $m$  包括了衡量誤差和無法預期的汽機車使用之供給面因素，如道路設施之可用程度。

$e$ 、 $f$ 、 $w$ 、 $m$  均假設為常態分配，且平均數均為零，變異及共變異矩陣  $\Sigma$  則如下式所示：

$$\Sigma_{\text{一部車}} = \begin{bmatrix} \sigma_{e_{11}}^2 & 0 & \gamma_{e_{11}w_{11}} & 0 \\ 0 & \sigma_{f_{11}}^2 & 0 & \gamma_{f_{11}m_{11}} \\ \gamma_{w_{11}e_{11}} & 0 & \sigma_{w_{11}}^2 & 0 \\ 0 & \gamma_{m_{11}f_{11}} & 0 & \sigma_{m_{11}}^2 \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_{\text{兩部車}} = \begin{bmatrix} \sigma_{e_{21}}^2 & \gamma_{e_{21}e_{22}} & 0 & \gamma_{e_{21}f_{22}} & \gamma_{e_{21}w_{21}} & \gamma_{e_{21}w_{22}} & 0 & \gamma_{e_{21}m_{22}} \\ \gamma_{e_{22}e_{21}} & \sigma_{e_{22}}^2 & \gamma_{e_{22}f_{21}} & 0 & \gamma_{e_{22}w_{21}} & \gamma_{e_{22}w_{22}} & \gamma_{e_{22}m_{21}} & 0 \\ 0 & \gamma_{f_{21}e_{22}} & \sigma_{f_{21}}^2 & \gamma_{f_{21}f_{22}} & 0 & \gamma_{f_{21}w_{22}} & \gamma_{f_{21}m_{21}} & \gamma_{f_{21}m_{22}} \\ \gamma_{f_{22}e_{21}} & 0 & \gamma_{f_{22}f_{21}} & \sigma_{f_{22}}^2 & \gamma_{f_{22}w_{21}} & 0 & \gamma_{f_{22}m_{21}} & \gamma_{f_{22}m_{22}} \\ \gamma_{w_{21}e_{21}} & \gamma_{w_{21}e_{22}} & 0 & \gamma_{w_{21}f_{22}} & \sigma_{w_{21}}^2 & \gamma_{w_{21}w_{22}} & 0 & \gamma_{w_{21}m_{22}} \\ \gamma_{w_{22}e_{21}} & \gamma_{w_{22}e_{22}} & \gamma_{w_{22}f_{21}} & 0 & \gamma_{w_{22}w_{21}} & \sigma_{w_{22}}^2 & \gamma_{w_{22}m_{21}} & 0 \\ 0 & \gamma_{m_{21}e_{22}} & \gamma_{m_{21}f_{21}} & \gamma_{m_{21}f_{22}} & 0 & \gamma_{m_{21}w_{22}} & \sigma_{m_{21}}^2 & \gamma_{m_{21}m_{22}} \\ \gamma_{m_{22}e_{21}} & 0 & \gamma_{m_{22}f_{21}} & \gamma_{m_{22}f_{22}} & \gamma_{m_{22}w_{21}} & 0 & \gamma_{m_{22}m_{21}} & \sigma_{m_{22}}^2 \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_{\text{三部車}} = \begin{bmatrix} \sigma_{e_{31}}^2 & \gamma_{e_{31}e_{32}} & \gamma_{e_{31}e_{33}} & 0 & \gamma_{e_{31}f_{32}} & \gamma_{e_{31}f_{33}} & \gamma_{e_{31}w_{31}} & \gamma_{e_{31}w_{32}} & \gamma_{e_{31}w_{33}} & 0 & \gamma_{e_{31}m_{32}} & \gamma_{e_{31}m_{33}} \\ \gamma_{e_{32}e_{31}} & \sigma_{e_{32}}^2 & \gamma_{e_{32}e_{33}} & \gamma_{e_{32}f_{31}} & 0 & \gamma_{e_{32}f_{33}} & \gamma_{e_{32}w_{31}} & \gamma_{e_{32}w_{32}} & \gamma_{e_{32}w_{33}} & \gamma_{e_{32}m_{31}} & 0 & \gamma_{e_{32}m_{33}} \\ \gamma_{e_{33}e_{31}} & \gamma_{e_{33}e_{32}} & \sigma_{e_{33}}^2 & \gamma_{e_{33}f_{31}} & \gamma_{e_{33}f_{32}} & 0 & \gamma_{e_{33}w_{31}} & \gamma_{e_{33}w_{32}} & \gamma_{e_{33}w_{33}} & \gamma_{e_{33}m_{31}} & \gamma_{e_{33}m_{32}} & 0 \\ 0 & \gamma_{f_{31}e_{32}} & \gamma_{f_{31}e_{33}} & \sigma_{f_{31}}^2 & \gamma_{f_{31}f_{32}} & \gamma_{f_{31}f_{33}} & 0 & \gamma_{f_{31}w_{32}} & \gamma_{f_{31}w_{33}} & \gamma_{f_{31}m_{31}} & \gamma_{f_{31}m_{32}} & \gamma_{f_{31}m_{33}} \\ \gamma_{f_{32}e_{31}} & 0 & \gamma_{f_{32}e_{33}} & \gamma_{f_{32}f_{31}} & \sigma_{f_{32}}^2 & \gamma_{f_{32}f_{33}} & \gamma_{f_{32}w_{31}} & 0 & \gamma_{f_{32}w_{33}} & \gamma_{f_{32}m_{31}} & \gamma_{f_{32}m_{32}} & \gamma_{f_{32}m_{33}} \\ \gamma_{f_{33}e_{31}} & \gamma_{f_{33}e_{32}} & 0 & \gamma_{f_{33}f_{31}} & \gamma_{f_{33}f_{32}} & \sigma_{f_{33}}^2 & \gamma_{f_{33}w_{31}} & \gamma_{f_{33}w_{32}} & 0 & \gamma_{f_{33}m_{31}} & \gamma_{f_{33}m_{32}} & \gamma_{f_{33}m_{33}} \\ \gamma_{w_{31}e_{31}} & \gamma_{w_{31}e_{32}} & \gamma_{w_{31}e_{33}} & 0 & \gamma_{w_{31}f_{32}} & \gamma_{w_{31}f_{33}} & \sigma_{w_{31}}^2 & \gamma_{w_{31}w_{32}} & \gamma_{w_{31}w_{33}} & 0 & \gamma_{w_{31}m_{32}} & \gamma_{w_{31}m_{33}} \\ \gamma_{w_{32}e_{31}} & \gamma_{w_{32}e_{32}} & \gamma_{w_{32}e_{33}} & \gamma_{w_{32}f_{31}} & 0 & \gamma_{w_{32}f_{33}} & \gamma_{w_{32}w_{31}} & \sigma_{w_{32}}^2 & \gamma_{w_{32}w_{33}} & \gamma_{w_{32}m_{31}} & 0 & \gamma_{w_{32}m_{33}} \\ \gamma_{w_{33}e_{31}} & \gamma_{w_{33}e_{32}} & \gamma_{w_{33}e_{33}} & \gamma_{w_{33}f_{31}} & \gamma_{w_{33}f_{32}} & 0 & \gamma_{w_{33}w_{31}} & \gamma_{w_{33}w_{32}} & \sigma_{w_{33}}^2 & \gamma_{w_{33}m_{31}} & \gamma_{w_{33}m_{32}} & 0 \\ 0 & \gamma_{m_{31}e_{32}} & \gamma_{m_{31}e_{33}} & \gamma_{m_{31}f_{31}} & \gamma_{m_{31}f_{32}} & \gamma_{m_{31}f_{33}} & 0 & \gamma_{m_{31}w_{32}} & \gamma_{m_{31}w_{33}} & \sigma_{m_{31}}^2 & \gamma_{m_{31}m_{32}} & \gamma_{m_{31}m_{33}} \\ \gamma_{m_{32}e_{31}} & 0 & \gamma_{m_{32}e_{33}} & \gamma_{m_{32}f_{31}} & \gamma_{m_{32}f_{32}} & \gamma_{m_{32}f_{33}} & \gamma_{m_{32}w_{31}} & 0 & \gamma_{m_{32}w_{32}} & \gamma_{m_{32}m_{31}} & \sigma_{m_{32}}^2 & \gamma_{m_{32}m_{33}} \\ \gamma_{m_{33}e_{31}} & \gamma_{m_{33}e_{32}} & 0 & \gamma_{m_{33}f_{31}} & \gamma_{m_{33}f_{32}} & \gamma_{m_{33}f_{33}} & \gamma_{m_{33}w_{31}} & \gamma_{m_{33}w_{32}} & 0 & \gamma_{m_{33}m_{31}} & \gamma_{m_{33}m_{32}} & \sigma_{m_{33}}^2 \end{bmatrix}$$

其中：

$$\sigma_{e_i}^2 = E(e_i^2), \quad i = 11, 21, 22, 31, 32, 33$$

$$\sigma_{f_i}^2 = E(f_i^2), \quad i = 11, 21, 22, 31, 32, 33$$

$$\sigma_{w_i}^2 = E(w_i^2), \quad i = 11, 21, 22, 31, 32, 33$$

$$\sigma_{m_i}^2 = E(m_i^2), \quad i = 11, 21, 22, 31, 32, 33 \quad (3)$$

由式(3)可知，不同家計單位間無相關性存在；然而，同一家計單位中，若持有兩部車以上（包括汽機車），則其間將產生相關性（無論是社經特性或里程數；式(3)中之 $\gamma$ 值）。

### 3.2 模式推導

如前所述，為簡化機率模式之推導，本研究需作以下之幾點假設：

- 一、家計單位購車行為屬一部車輛接續一部車輛之方式，不會同時購置兩部機車、或兩部汽車、或一部機車一部汽車。
- 二、暫不考慮換車的情況，如 (a)增購一部機車以汰換原持有的汽車；或 (b)增購一部汽車以汰換原持有的機車；或 (c)增購一部汽車以汰換原持有的汽車；或 (d)增購一部機車以汰換原持有的機車等情形。因為以台灣的現況而言，(a)、(b)之情形罕見，但(c)、(d)之情形對家計單位之持有水準並無影響，因此不考慮汰換車輛之情形對本研究之影響不大。
- 三、當家計單位所購入之第一輛車（無論其為汽車或機車）時，其使用者均為同一人，即  $Z_{11} = J_{11}$ （圖 1 中之菱形 1-3）；當家計單位購入第二部車輛時，第一部車輛之使用者仍維持不變，即  $Z_{11} = Z_{21}$ （圖 1 中之菱形 4, 5）， $J_{11} = J_{21}$ （圖 1 中之菱形 7, 8）；且第二輛車（無論其為汽車或機車）之使用者均為同一人，即  $Z_{22} = J_{22}$ （圖 1 中之菱形 6, 9）。同理可知，當家計單位購入第三部車輛時  $Z_{21} = Z_{31}$ ， $Z_{22} = Z_{32}$ ， $J_{21} = J_{31}$ ， $J_{22} = J_{32}$  且第三輛車（無論其為汽車或機車）之使用人均為同一人，即  $Z_{33} = J_{33}$ 。

圖 1 為家計單位之購車決策流程，由圖可知，家計單位決定購車數量與種類之決策流程共分  $a \sim z$ ， $A \sim J$  等 42 種狀況，各種狀況下家計單位之選擇機率整理如表 4 所示。

依據家計單位購車機率可進一步求得所有家計單位樣本之最大概似函數，如式(4)所示。藉由此最大概似函數即可校估各參數之估計值。

$$L = \prod_{a1} P(0,0) \prod_{a2} P(1,0) \prod_{a3} P(2,0) \prod_{a4} P(0,1) \prod_{a5} P(0,2) \prod_{a6} P(1,1) \prod_{a7} P(3,0) \prod_{a8} P(2,1) \prod_{a9} P(1,2) \prod_{a10} P(0,3) \quad (4)$$

其中， $P(m, n)$ ：家計單位擁有  $m$  部汽車及  $n$  部機車之機率；

- $a1$ ：無持有機動車輛之家計單位樣本數目（包括 a, b 等情形）；
- $a2$ ：持有一部汽車之家計單位樣本數目（包括 c, d, g, h 等情形）；
- $a3$ ：持有兩部汽車之家計單位樣本數目（包括 k, l, s, t 等情形）；
- $a4$ ：持有一部機車之家計單位樣本數目（包括 e, f, i, j 等情形）；
- $a5$ ：持有兩部機車之家計單位樣本數目（包括 m, n, y, z 等情形）；

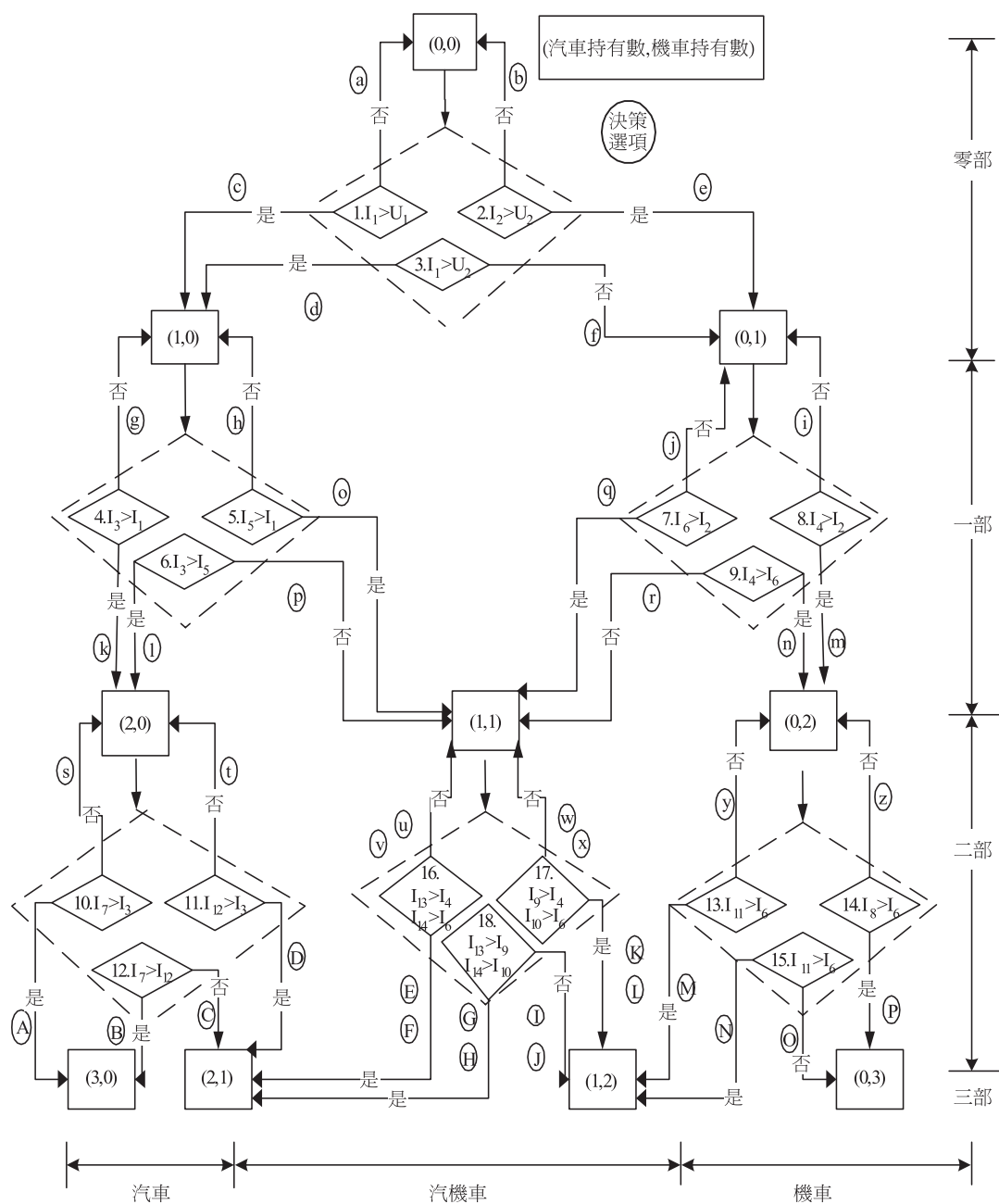


圖 1 家計單位購車決策圖

表 4 購車決策選擇機率彙整表

購車決策情況	決策選項	選擇機率型態	購車決策情況	決策選項	選擇機率型態
a	(0, 0)*	$\Phi_1$	b	(0, 0)	$\Phi_2$
c	(1, 0)	$(1 - \Phi_3) \times \frac{1}{\sigma_{q_1}} \times Z_1$	d	(1, 0)	$\Phi_4 \times \frac{1}{\sigma_{q_1}} \times Z_1$
e	(0, 1)	$(1 - \Phi_5) \times \frac{1}{\sigma_{q_2}} \times Z_2$	f	(0, 1)	$\Phi_6 \times \frac{1}{\sigma_{q_2}} \times Z_2$
g	(1, 0)	$\Phi_7 \times \frac{1}{\sigma_{q_1}} \times Z_1$	h	(1, 0)	$\Phi_8 \times \frac{1}{\sigma_{q_1}} \times Z_1$
i	(0, 1)	$\Phi_9 \times \frac{1}{\sigma_{q_2}} \times Z_2$	j	(0, 1)	$\Phi_{10} \times \frac{1}{\sigma_{q_2}} \times Z_2$
k	(2, 0)	$(1 - \Phi_{11}) \times \frac{1}{\sigma_{q_3}} \times Z_3$	l	(2, 0)	$\Phi_{12} \times \frac{1}{\sigma_{q_3}} \times Z_3$
m	(0, 2)	$(1 - \Phi_{13}) \times \frac{1}{\sigma_{q_4}} \times Z_4$	n	(0, 2)	$\Phi_{14} \times \frac{1}{\sigma_{q_4}} \times Z_4$
o	(1, 1)	$(1 - \Phi_{15}) \times \frac{1}{\sigma_{q_5}} \times Z_5$	p	(1, 1)	$(1 - \Phi_{16}) \times \frac{1}{\sigma_{q_5}} \times Z_5$
q	(1, 1)	$(1 - \Phi_{17}) \times \frac{1}{\sigma_{q_6}} \times Z_6$	r	(1, 1)	$(1 - \Phi_{18}) \times \frac{1}{\sigma_{q_6}} \times Z_6$
s	(2, 0)	$\Phi_{19} \times \frac{1}{\sigma_{q_3}} \times Z_3$	t	(2, 0)	$\Phi_{20} \times \frac{1}{\sigma_{q_3}} \times Z_3$
u	(1, 1)	$\Phi_{21} \times \frac{1}{\sigma_{q_5}} \times Z_5$	v	(1, 1)	$\Phi_{22} \times \frac{1}{\sigma_{q_6}} \times Z_6$
w	(1, 1)	$\Phi_{23} \times \frac{1}{\sigma_{q_5}} \times Z_5$	x	(1, 1)	$\Phi_{24} \times \frac{1}{\sigma_{q_6}} \times Z_6$
y	(0, 2)	$\Phi_{25} \times \frac{1}{\sigma_{q_4}} \times Z_4$	z	(0, 2)	$\Phi_{26} \times \frac{1}{\sigma_{q_4}} \times Z_4$
A	(3, 0)	$(1 - \Phi_{27}) \times \frac{1}{\sigma_{q_7}} \times Z_7$	B	(3, 0)	$\Phi_{28} \times \frac{1}{\sigma_{q_7}} \times Z_7$
C	(2, 1)	$(1 - \Phi_{27}) \times \frac{1}{\sigma_{q_8}} \times Z_8$	D	(2, 1)	$(1 - \Phi_{30}) \times \frac{1}{\sigma_{q_8}} \times Z_8$
E	(2, 1)	$(1 - \Phi_{31}) \times \frac{1}{\sigma_{q_9}} \times Z_9$	F	(2, 1)	$(1 - \Phi_{32}) \times \frac{1}{\sigma_{q_{10}}} \times Z_{10}$

表 4 購車決策選擇機率彙整表 (續)

購車決策情況	決策選項	選擇機率型態	購車決策情況	決策選項	選擇機率型態
G	(2, 1)	$\Phi_{33} \times \frac{1}{\sigma_{q_9}} \times Z_9$	H	(2, 1)	$\Phi_{34} \times \frac{1}{\sigma_{q_{10}}} \times Z_{10}$
I	(1, 2)	$(1 - \Phi_{35}) \times \frac{1}{\sigma_{q_{11}}} \times Z_{11}$	J	(1, 2)	$(1 - \Phi_{36}) \times \frac{1}{\sigma_{q_{12}}} \times Z_{12}$
K	(1, 2)	$(1 - \Phi_{37}) \times \frac{1}{\sigma_{q_{11}}} \times Z_{11}$	L	(1, 2)	$(1 - \Phi_{38}) \times \frac{1}{\sigma_{q_{12}}} \times Z_{12}$
M	(1, 2)	$(1 - \Phi_{39}) \times \frac{1}{\sigma_{q_{13}}} \times Z_{13}$	N	(1, 2)	$\Phi_{40} \times \frac{1}{\sigma_{q_8}} \times Z_8$
O	(0, 3)	$(1 - \Phi_{41}) \times \frac{1}{\sigma_{q_{14}}} \times Z_{14}$	P	(0, 3)	$(1 - \Phi_{42}) \times \frac{1}{\sigma_{q_{14}}} \times Z_{14}$

\*(汽車持有數，機車持有數)。

a6：持有一部汽車及一部機車之家計單位樣本數目 (包括 o, p, q, r, u, v, w, x 等情形)；

a7：持有三部汽車之家計單位樣本數目 (包括 A, B 等情形)；

a8：持有兩部汽車及一部機車之家計單位樣本數目 (包括 C, D, E, F, G, H 等情形)；

a9：持有一部汽車及兩部機車之家計單位樣本數目 (包括 I, J, K, L, M, N 等情形)；

a10：持有三部機車之家計單位樣本數目 (包括 O, P 等情形)。

#### 四、資料蒐集與初步分析

本研究探討家計單位機動車輛持有與使用行為，在實證所需資料包括家計單位基本特性資料及家計單位汽機車數量之持有及使用特性等資料。以下將簡單說明本研究之問卷項目。

##### (一) 家計單位基本資料

此部分資料包括家計單位戶長年齡與性別、家計單位人口數、家計單位工作人口數、家計單位十八歲以下人口數、家計單位主要工作者職業、家計單位小汽車及機車駕照持有數、家計單位每年總收入、家計單位機動車輛持有數及持有順序以及未來擬增購機動車輛之計畫等。

##### (二) 家計單位機動車輛持有及使用資料

此部分資料包括 (1) 機動車輛基本特性資料：機動車輛廠牌、型號、汽缸數、購車金額、平均每公升汽油行駛公里數、出廠至今車齡、預期使用總年數與購買時為新車或中古



車；(2) 含汽油與機油之每月燃油成本；(3) 過去一年車輛行駛里程；(4) 過去一年車輛使用費用：保養維修費、平均每月停車費（含工作地點與住家）、平均每月過路費、保險費、每年償付貸款金額與貸款負擔者；(5) 機動車輛之購入原因；(6) 機動車輛主要使用者特性：主要使用者職業、性別、年齡與月收入；(7) 機動車輛停放特性：住家與工作地點停車位特性與平均尋找停車位時間；(8) 機動車輛主要用途。

#### 4.1 調查方式

本研究以分層隨機抽樣調查方式，將台中市依行政區分成東、西、南、北、中、北屯、西屯及南屯等八群，以各區人口數為比率估算抽樣之家計單位數，並設定本研究之調查對象為汽機車持有總數不超過三部的家計單位。本研究共計抽樣 320 個家計單位（含其居住地點位址），其中，中區 8 個家計單位、東區 24 個家計單位、西區 38 個家計單位、南區 32 個家計單位、北區 50 個家計單位、西屯區 57 個家計單位、南屯區 40 個家計單位及北屯區 72 個家計單位。本研究以調查員親自至受訪之家計單位住處進行面對面家庭訪問，扣除無效樣本 25 份，可供本研究分析之有效樣本共為 295 個家計單位，樣本有效率為 92%。其中 2 個家計單位持有零部汽機車，18 個家計單位持有一部汽車，29 個家計單位持有一部機車，9 個家計單位持有兩部汽車，44 個家計單位持有兩部機車，102 個家計單位持有一部汽車與一部機車，4 個家計單位持有三部汽車，5 個家計單位持有三部機車、27 個家計單位持有兩部汽車與一部機車、55 個家計單位持有一部汽車與兩部機車。本研究之調查日期自民國九十年一月起至當年二月止。

#### 4.2 基本資料分析

本研究受訪家計單位之基本社經特性包括戶長性別、戶長年齡、家戶人口數、家戶工作人數、未成年子女數、家戶月總所得、小汽車駕照數及機車駕照數等，經初步整理後，家計單位基本社經資料統計如表 5 所示，並進一步說明如后。值得注意的是本研究雖然共調查 320 個家計單位，但真正用於模式之建立及校估則只有 295 個家計單位，惟基本資料分析時係以有填寫之資料即加以統計，因此會有不一致之處。另外，由於本研究採用之模式中與汽機車持有與使用相關的變數分別有汽機車之固定成本（ $C$  與  $F$ ）、汽機車之變動成本（ $v$  與  $u$ ）以及汽機車之行駛里程數（ $K$  與  $L$ ），茲將其平均數彙整如表 6 所示。

表 5 家計單位社會經濟特性統計表

項目	組別	次數	百分比	項目	組別	次數	百分比
戶長性別	男	235	79.7	未 成 年 子 女 數	0	129	43.7
	女	60	20.3		1	71	24.1
戶長年齡	30 以下	25	8.5		2	69	23.4
	31~40	75	25.4		3	28	9.5
	41~50	110	37.3		4	8	2.7
	51~60	54	18.3	家戶所得	3 萬以下	18	6.1
	61 以上	31	10.5		3~6 萬	92	31.2
家 戶 人 口 數	2	43	14.6		6~9 萬	84	28.5
	3	53	18.0		9~12 萬	50	16.9
	4	87	29.5	汽 車 駕 照 數	12 萬以上	53	18.0
	5	91	30.8		0	10	3.4
	6 以上	39	13.2		1	72	24.4
工作人數	1	73	24.7		2	147	49.8
	2	144	48.8		3	46	15.6
	3	54	18.3		4 及以上	30	10.2
	4	21	7.1	機 車 駕 照 數	0	4	1.4
	5	18	6.1		1	49	16.6
					2	116	39.3
					3	71	24.1
					4 及以上	66	22.4

表 6 汽機車相關變數之平均值

車種	持有順序	固定成本 (元／年)	變動成本 (元／公里)	里程數 (公里)
汽車	1	97,000	10.47	26,890
	2	93,681	9.14	17,831
	3	101,844	15.52	15,180
	平均值	96,089	10.57	20,650
機車	1	8,260	4.22	4,613
	2	10,630	3.94	4,280
	3	6,461	3.92	5,045
	平均值	8,761	4.09	4,567

## 五、校估結果與分析

### 5.1 校估程序與結果

由於本研究一般化模式之參數個數多達百餘個，然而在樣本數不多的情形下，若不加

以限制，便無法有效校估模式之參數值。為克服此一困難，本研究在校估程序方面採以下的步驟進行：首先，將參數加以簡化，其次，以迴歸模式校估出汽機車之使用量，最後，將使用量迴歸模式中所校估出的參數值作為以基因演算法校估汽機車持有與使用混合模式之起始值，估計程序整理如圖 2 所示。使用量模式之結果如表 7 所示，而以基因演算法校估汽機車持有與使用混合模式則如表 8 所示。

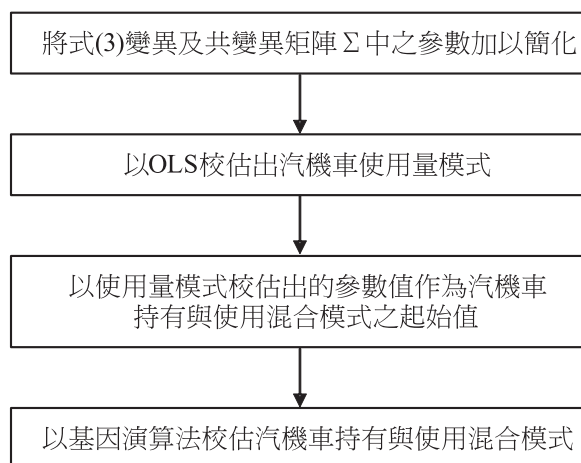


圖 2 模式估計程序之步驟

由表 7 可知，各估計係數之符號均符合預期。小汽車使用量迴歸模式  $R^2$  為 0.34，調整後之  $R^2$  為 0.33；機車使用量迴歸模式  $R^2$  為 0.36，調整後之  $R^2$  為 0.35，模式之配適情形尚可接受。家戶所得減汽機車的固定成本變數採自然對數方式處理，以符合模式推導與設定之需求函數型態互相一致，校估結果其係數為正，顯示在相同的汽機車成本下，所得愈高的家計單位，汽機車使用量的需求愈多。變動成本代表直接影響汽機車使用量需求的價格變數，其估計係數為負，意謂汽機車使用之變動成本愈高，則其使用量減少，符合需求法則之價格與需求量之關係。戶長年紀與工作人數／戶量之估計係數均為正，代表戶長年紀較大與工作人數比率愈高的家計單位，對汽機車的使用量愈多。而家中平均每人擁有之機動車輛座位數愈多，則相對的汽機車的使用量愈高。

由表 8 中可知，家計單位總所得減機動車輛固定成本之對數係數值均為正數 ( $\alpha_1 \sim \alpha_9$ ) 介於 0.037~0.2，其亦為所得與固定成本之短期彈性；變動成本係數為 0.01，藉此可計算出里程數之汽車變動成本彈性於  $v = 10.57$  時，為 -0.1；機車變動成本彈性於  $u = 4.09$  時，則為 -0.04。而不同車輛間之相關性（包括使用人與里程數）則是正負相關互見，其值介於 -0.5~0.6。以社經特性而言，汽車持有人之相關性有正有負，機車持有人之社經特性關係亦如此，相關性為正者，可能係由於車輛使用人同時使用兩輛以上的機動車輛，同理，相關性為負者則車輛為不同使用人之可能性較高。以使用里程相關性而言，汽車間之使用

表 7 汽機車使用量需求模式校估結果

	小汽車	機車
常數	0.938(2.02)	0.922(2.48)
ln (家戶所得-固定成本)	0.177(2.50)	0.113(1.99)
變動成本 (元/公里)	-0.026(-13.26)	-0.029(-9.80)
戶長年紀	0.004(1.28)	0.006(1.61)
工作人數/戶量	0.445(1.38)	0.201(1.13)
平均每人擁有座位數	0.182(2.74)	0.097(1.68)
$R^2$	0.34	0.36
$\bar{R}^2$	0.33	0.35
樣本數	383	580

註：依變數：ln (每年行駛千公里數)。

表 8 模式校估結果

校估項	校估值	校估項	校估值	校估項	校估值
$\alpha_1$	0.064	$\gamma_{e_{32}e_{33}}$	-0.186	$\gamma_{f_{22}m_{22}}$	0.129
$\alpha_2$	0.146	$\gamma_{f_{21}f_{22}}$	0.286	$\gamma_{f_{31}m_{31}}$	0.443
$\alpha_3$	0.037	$\gamma_{f_{31}f_{32}}$	-0.343	$\gamma_{f_{32}m_{32}}$	-0.029
$\alpha_4$	0.091	$\gamma_{f_{31}f_{33}}$	0.443	$\gamma_{f_{33}m_{33}}$	-0.186
$\alpha_5$	0.091	$\gamma_{f_{33}f_{33}}$	0.186	$\gamma_{w_{21}w_{22}}$	-0.186
$\alpha_6$	0.200	$\gamma_{e_{11}w_{11}}$	0.029	$\gamma_{w_{31}w_{32}}$	-0.343
$\alpha_7$	0.091	$\gamma_{e_{21}w_{21}}$	0.286	$\gamma_{w_{31}w_{33}}$	-0.500
$\alpha_8$	0.146	$\gamma_{e_{22}w_{22}}$	0.129	$\gamma_{w_{32}w_{33}}$	-0.186
$\alpha_9$	0.064	$\gamma_{e_{31}w_{31}}$	-0.343	$\gamma_{m_{21}m_{22}}$	-0.343
$\beta$	0.01	$\gamma_{e_{32}w_{32}}$	-0.029	$\gamma_{m_{31}m_{32}}$	0.600
$\gamma_{e_{21}e_{22}}$	-0.029	$\gamma_{e_{33}w_{33}}$	-0.029	$\gamma_{m_{31}m_{33}}$	0.129
$\gamma_{e_{31}e_{32}}$	-0.343	$\gamma_{f_{11}m_{11}}$	-0.343	$\gamma_{m_{32}m_{33}}$	-0.500
$\gamma_{e_{31}e_{33}}$	0.443	$\gamma_{f_{21}m_{21}}$	-0.343		
對數概似函數值			-1172		
有效觀測樣本			295		
GA 之設定	族群數目 = 200				
	世代數目 = 100				
	字串長度 = 3				

註：GA 基本程式係以 Liu 及 Mahmassani<sup>[23]</sup>為主體，另行因應需要撰寫本研究模式之子程式，程式撰寫語言為 FORTRAN，compiler 版本為 6.0，操作環境為 Windows 98。

里程均成負相關 (如  $\gamma_{w_{21}w_{22}}$ ,  $\gamma_{w_{31}w_{32}}$ ,  $\gamma_{w_{31}w_{33}}$ ), 表示同一家計單位內之汽車為替代性財貨, 此應與汽車之座位數較多有關, 因汽車所承載的人數較機車多, 故單一汽車之使用容易受到家計單位成員集中使用時 (如家庭旅遊) 影響。兩部機車之家計單位及三部機車中之第二部與第三部之關係亦屬替代 ( $\gamma_{m_{21}m_{22}}$ ,  $\gamma_{m_{32}m_{33}}$ ), 而  $\gamma_{m_{21}m_{22}}$  及  $\gamma_{m_{32}m_{33}}$  係數為正, 表示第一部機車分別與第二、三部機車之使用量呈互補的關係。

## 5.2 敏感度分析

本節將進一步探討各種持有順序之家計單位及其所行駛之里程數, 藉以分析所得、固定與變動成本對家計單位購車決策之影響程度。本研究將分析以下十四種情況之汽機車持有與使用變動程度:

情況一: 持有一輛汽車, 亦即 (汽)。

情況二: 持有一輛機車, 亦即 (機)。

情況三: 已持有一輛汽車, 再持有一輛汽車, 亦即 (汽, 汽)。

情況四: 已持有一輛機車, 再持有一輛機車, 亦即 (機, 機)。

情況五: 已持有一輛汽車, 再持有一輛機車, 亦即 (汽, 機)。

情況六: 已持有一輛機車, 再持有一輛汽車, 亦即 (機, 汽)。

情況七: 已持有兩輛汽車, 再持有一輛汽車, 亦即 (汽, 汽, 汽)。

情況八: 已持有兩輛汽車, 再持有一輛機車, 亦即 (汽, 汽, 機)。

情況九: 已持有兩輛機車, 再持有一輛機車, 亦即 (機, 機, 機)。

情況十: 已持有兩輛機車, 再持有一輛汽車, 亦即 (機, 機, 汽)。

情況十一: 持有之機動車輛順序為汽車, 機車, 汽車, 亦即 (汽, 機, 汽)。

情況十二: 持有之機動車輛順序為機車, 汽車, 汽車, 亦即 (機, 汽, 汽)。

情況十三: 持有之機動車輛順序為汽車, 機車, 機車, 亦即 (汽, 機, 機)。

情況十四: 持有之機動車輛順序為機車, 汽車, 機車, 亦即 (機, 汽, 機)。

在上述十四種情形下, 本研究擬定以下幾種情境來加以分析, 情境 1: 所得增加 10%; 情境 2: 固定成本增加 10%; 及情境 3: 變動成本增加 10%。情境 2 及 3 可視為政策改變之下對汽機車持有及使用之影響分析。例如固定成本增加 10% 可能係由於進口關稅增加或提高牌照稅、燃料費所致; 而變動成本增加 10% 可能係油價每公升增加 2.00 元或課徵空氣污染防治費等措施所造成的結果。至於所得增加雖然不是政策影響所致, 但可透過里程數之所得彈性來預測未來不同所得成長情境下家計單位之汽機車使用情形。

持有車輛數下之家計單位個數可由估計之車輛持有機率值求得, 而使用量之估計則將校估出的參數值代入表 2 即可求得家計單位機動車輛各種持有情況下之使用量。

應用以上方式可求得在現有外生變數值下之情況, 並以此為基準情境。此情境中各種

車輛持有下之家計單位個數與年行駛里程數估計值與實際調查樣本值整理如表 9 所示，由表可知，各種車輛持有下之家計單位數估計值與實際值之間相當接近，經檢定後顯示兩者間無顯著差異 ( $\chi^2 = 4.94 < \chi^2_{0.05}(14) = 23.68$ )。

表 9 各種車輛持有下之家計單位數與平均年行駛里程數

車 輛 持 有 情 況		家計單位數		年行駛里程數	
		估計值 (戶)	實際值 (戶)	估計值 (千公里)	實際值 (千公里)
無持有	無汽機車	2	2	0	0
情況一	(汽)	16	15	12.6	15.7
情況二	(機)	26	24	5.8	5.4
情況三	(汽，汽)	11	10	22.3	29.4
情況四	(機，機)	29	31	6.4	8.4
情況五	(汽，機)	28	25	16.8	26.6
情況六	(機，汽)	74	63	16.2	23.2
情況七	(汽，汽，汽)	4	5	59.8	89.4
情況八	(汽，汽，機)	8	8	24.5	38.7
情況九	(機，機，機)	5	5	10.7	14.7
情況十	(機，機，汽)	31	31	26.4	19.7
情況十一	(汽，機，汽)	9	13	23.6	25.0
情況十二	(機，汽，汽)	6	13	26.8	29.3
情況十三	(汽，機，機)	15	15	26.4	17.7
情況十四	(機，汽，機)	31	35	27.8	25.2

表 10 為各種車輛持有下，各情境之家計單位數及每年行駛里程數之預測結果，由表中可知，所得、固定成本及變動成本的改變對持有情形影響均有限，甚至無影響，究其原因可能為台中市之大眾運輸系統較不發達，民眾除私人運具外鮮少有其他選擇，故不論其他變數如何變化，私人運具的持有已成一固定的趨勢，而欲以如增加機動車輛持有與使用成本等價格手段來抑制機動車輛的成長，除非大幅增加該成本，否則其影響效果將十分有限。另外，從表中可以計算里程數之變動百分比，藉著除以外生變數的改變便可求得弧彈性（長期彈性），如表 11 所示。

表 10 各種車輛持有下各情境之家計單位數及每年行駛里程數

車輛持有情況 \ 情境類別		基礎 情境	所得 +10%	固定成本 +10%	變動成本 +10%
無持有	家計單位數 (戶)	2	2	2	2
	年平均行駛里程數 (千公里)	0	0	0	0
情況一 (汽)	家計單位數	16	15	17	17
	年平均行駛里程數	12.65	12.69	12.59	12.56
情況二 (機)	家計單位數	26	27	27	27
	年平均行駛里程數	5.84	5.98	5.84	5.82
情況三 (汽, 汽)	家計單位數	11	10	10	10
	年平均行駛里程數	22.27	22.37	22.24	22.18
情況四 (機, 機)	家計單位數	29	29	29	29
	年平均行駛里程數	6.44	6.62	6.43	6.35
情況五 (汽, 機)	家計單位數	28	29	28	28
	年平均行駛里程數	16.80	17.05	16.75	16.70
情況六 (機, 汽)	家計單位數	74	75	73	73
	年平均行駛里程數	16.19	16.43	16.14	16.02
情況七 (汽, 汽, 汽)	家計單位數	4	5	4	4
	年平均行駛里程數	59.77	61.92	59.03	59.62
情況八 (汽, 汽, 機)	家計單位數	8	8	8	9
	年平均行駛里程數	24.51	24.89	24.26	24.22
情況九 (機, 機, 機)	家計單位數	5	5	5	5
	年平均行駛里程數	10.68	10.95	10.67	10.62
情況十 (機, 機, 汽)	家計單位數	31	31	31	31
	年平均行駛里程數	26.37	26.98	26.24	26.15
情況十一 (汽, 機, 汽)	家計單位數	9	9	9	9
	年平均行駛里程數	23.64	23.92	23.54	23.47
情況十二 (機, 汽, 汽)	家計單位數	6	5	6	5
	年平均行駛里程數	26.81	27.11	26.69	26.73
情況十三 (汽, 機, 機)	家計單位數	15	15	15	15
	年平均行駛里程數	26.41	27.01	26.28	26.15
情況十四 (機, 汽, 機)	家計單位數	31	30	31	31
	年平均行駛里程數	27.73	28.37	27.60	27.60

表 11 中之彈性平均值計算係依車種之不同，考慮其總里程數之結果，以兩部車輛之汽車為例，即將情況三～六中於各外生變數變動前後之汽車總里程數變動率除以外生變數的變動率。以車輛總數作區隔，持有車輛總數為一部之家計單位其里程數之彈性值（以絕

對值來看)，汽車之變動成本彈性最大，固定成本次之，所得彈性最小 ( $0.068 > 0.047 > 0.034$ )，機車之所得彈性最大，變動成本次之，固定成本彈性最小 ( $0.241 > 0.032 > 0.003$ )。持有車輛總數為兩部之家計單位其里程數之平均彈性值 (以絕對值來看)，汽車之變動成本彈性最大，固定成本次之，所得彈性最小 ( $0.283 > 0.238 > 0.126$ )，機車之所得彈性最大，變動成本次之，固定成本彈性最小 ( $0.435 > 0.243 > 0.122$ )。持有車輛總數為三部之家計單位其里程數之平均彈性值 (以絕對值來看)，汽車之變動成本彈性最大，所得成本彈性次之，固定成本彈性最小 ( $0.189 > 0.160 > 0.120$ )，機車則以所得彈性最大，變動彈性次之，固定成本彈性最小 ( $0.179 > 0.091 > 0.074$ )。

表 11 外生變數對里程數影響程度彙整表

車輛數	情況別	持有車種順序	所得彈性	固定成本彈性	變動成本彈性
一部	情況一	(汽)	0.034	-0.047	-0.068
	情況二	(機)	0.241	-0.003	-0.032
兩部	情況三	(汽，汽)	0.046	-0.012	-0.042
	情況四	(機，機)	0.285	-0.018	-0.140
	情況五	(汽，機)	0.149	-0.032	-0.060
	情況六	(機，汽)	0.151	-0.031	-0.103
	汽車平均		0.126	-0.238	-0.283
	機車平均		0.435	-0.122	-0.243
三部	情況七	(汽，汽，汽)	0.359	-0.124	-0.026
	情況八	(汽，汽，機)	0.152	-0.106	-0.122
	情況九	(機，機，機)	0.255	-0.013	-0.062
	情況十	(機，機，汽)	0.232	-0.050	-0.085
	情況十一	(汽，機，汽)	0.119	-0.042	-0.074
	情況十二	(機，汽，汽)	0.115	-0.043	-0.027
	情況十三	(汽，機，機)	0.230	-0.049	-0.096
	情況十四	(機，汽，機)	0.229	-0.050	-0.047
	汽車平均		0.160	-0.120	-0.189
	機車平均		0.179	-0.074	-0.091

由以上的數據顯示，汽車之變動成本對里程數的影響最大，機車則是以所得對里程數影響最大，此結果說明，若欲控制汽機車之使用量，則應分別針對不同車種制訂不同的策略始能收其效果。茲將上述之大小關係整理如表 12 所示。

就里程數之所得彈性而言，各種車輛持有下，機車里程數之平均所得彈性均高於汽車 ( $0.214 > 0.034$ ,  $0.435 > 0.126$ ,  $0.179 > 0.160$ )，此乃因家計單位購買機車之成本遠低於汽車之購買成本所致。就固定成本彈性而言，無論持有車輛數為何，汽車之固定成本彈性值均



高於機車 ( $0.047 > 0.03$ ,  $0.238 > 0.122$ ,  $0.120 > 0.074$ )；變動成本亦有相同的結果 ( $0.068 > 0.032$ ,  $0.283 > 0.243$ ,  $0.189 > 0.091$ )。顯示增加固定或變動成本對於抑制汽車之使用量成效較為顯著。

表 12 各種車輛持有下三種彈性之關係彙整表

車數	彈性大小關係		所得彈性	固定及變動成本彈性
一部	汽車	變動成本 > 固定成本 > 所得	機車 > 汽車	汽車 > 機車
	機車	所得 > 變動成本 > 固定成本		
兩部	汽車	變動成本 > 固定成本 > 所得		
	機車	所得 > 變動成本 > 固定成本		
三部	汽車	變動成本 > 所得 > 固定成本		
	機車	所得 > 變動成本 > 固定成本		

汽車之變動成本對里程數的影響最大，機車則是以所得對里程數影響最大，此結果說明，若欲控制汽機車之使用量，則應分別針對不同車種制訂不同的策略始能收其效果。

### 5.3 小結

由彈性分析之結果則顯示汽機車持有與使用成本的價格彈性甚低，除非汽機車持有與使用成本有大幅度的變動，否則對其使用影響並不顯著。在上述之行為特性下，過去大都偏重在基於稅收為目的汽車相關稅費的消極管理，如牌照稅（約占汽車持有成本的 5%）、隨車徵收之燃料使用費（約占汽車持有成本的 4%）等，在這些成本占家計單位所得比率不高的情況下，當可預期其對汽機車持有控制相當有限。

在現今社會中，若直接且硬性地管制汽機車之持有，常被視為有違自由民主之精神，或對人類追求易行性及可及性之目標似有開倒車之虞，因此，在汽機車持有管理方面，由於價格手段之效果有限，或許可著重在合理數量之適當控制等非價格手段上，惟此尚須進一步分析與評估。

## 六、結論與建議

針對國人購車決策行為，本研究嘗試發展並構建家計單位機動車輛持有及使用之聯合決策模式。於決策模式校估完成後，藉由各影響變數之直接彈性及間接彈性之敏感度分析，可進一步了解經濟變數對汽機車持有數及使用量的影響。在國民生活水準不斷提高且我國已加入 WTO 情況下，本研究結果可提供政府對於小汽車、機車管制政策上一個參考依據，以利政府制訂有效的交通政策。茲將本研究獲致之相關結果與建議歸納說明如后。

## 6.1 結論

本研究之結果包含以下幾點：

1. 本研究乃延續周榮昌等人<sup>[3]</sup>之研究，進一步構建家計單位三部機動車輛持有與使用聯合決策模式，並放鬆其原有的假設及限制（包括參數的設定及校估程式的突破），進一步建立一較符合台灣地區機動車輛持有與使用之聯合決策模式。以消費者行為之個體經濟理論為基礎，以建立家計單位機動車輛持有及使用之混合需求模式。
2. 本研究購車決策架構可分為以下十四種情況：(一) 持有一輛汽車、(二) 持有一輛機車、(三) 已持有一輛汽車，再持有一輛汽車、(四) 已持有一輛機車，再持有一輛機車、(五) 已持有一輛汽車，再持有一輛機車、(六) 已持有一輛機車，再持有一輛汽車、(七) 已持有兩輛汽車，再持有一輛汽車、(八) 已有兩輛汽車，再持有一輛機車、(九) 已持有兩輛機車，再持有一輛機車、(十) 已持有兩輛機車，再持有一輛汽車、(十一) 持有之機動車輛順序為汽車，機車，汽車、(十二) 持有之機動車輛順序為機車，汽車，汽車、(十三) 持有之機動車輛順序為汽車，機車，機車、(十四) 持有之機動車輛順序為機車，汽車，機車。
3. 本研究以基因演算法 (Genetic Algorithms; GA) 求解之。由於 GA 在校估為數眾多的參數時較其他軟體要有效率，但缺點為無法求得 Hessian 矩陣，因而無法得知各參數之相關統計量，鑑此，為能有效校估模式之參數值，本研究先將參數簡化，以 OLS 校估出汽機車使用量模式，此一參數校估之目的係為取得 GA 所需之起始值，以改善 GA 校估過程之收斂速度，雖然以 OLS 校估結果之  $R^2$  值皆小於 0.4，為其中所校估  $\ln$  (家戶所得-固定成本) 及變動成本之參數於統計上均相當顯著 ( $|t| > 1.96$ )。就目前之模式而言，此兩項變數為有效之解釋變數。
4. 由模式校估結果所估計之各種車輛持有下之家計單位數與年行駛里程數，經由卡方檢定，結果顯示估計值與實際值間並無明顯差異，可見本模式的完整性。
5. 經由敏感度分析結果顯示，汽車之變動成本對里程數的影響最大，機車則是以所得對里程數影響最大，此結果說明若欲控制汽機車之使用量，則應分別針對不同車種制訂不同的策略始能收其效果。
6. 就里程數之所得彈性而言，機車里程數之平均所得彈性均高於汽車，此乃因家計單位購買機車之成本遠低於汽車之購買成本所致。就固定成本彈性而言，汽車之固定成本彈性值均高於機車；變動成本亦有相同的結果。
7. 由於橫斷面資料之限制，本研究之結果未能有效描述 (預測) 汽機車持有之決策行為，而僅偏重於使用量之詮釋，因此建議後續研究可針對此一情形加以深入討論。

## 6.2 建議

以下針對本研所得結論及研究過程提出幾點建議，以供後續研究之參考方向：

1. 由於目前資料並無每受訪家計單位之階段性循序決策的 panel data，因此並無法反映家計單位「車輛持有決策」之行為，惟本研究之架構仍可視為一相當通用之形式，建議後續研究可於 panel data 取得後，進一步驗證本研究模式「車輛持有決策」行為之一致性。
2. 本研究受限於模式推導之困難度與複雜性，僅探討家計單位機動持有車輛總數在三部以下的情形，而四部以上所有可能之持有順序則無法加以分析。若欲更真實地反映所有持有情況的選擇決策行為，則應建立此模式之通式，以改進本模式複雜的推演過程。
3. 本研究之模式設定之參數眾多，一般之校估軟體恐難勝任，為提高求解效率及校估的準確性，本研究採用基因演算法校估，然而其缺失為無法得知參數之相關統計量，因此在求解效率與得知參數統計量間存在一抵換 (trade-off) 關係。本研究選擇求解效率，而參數的代表性方面則另行以迴歸模式進行測試，如此的校估方式雖可彌補基因演算法之不足，但用此估計順序之理由仍稍嫌薄弱，建議後續研究能以更具統計原理的演算法估計方式，以克服此一缺點。
4. 本研究並無考慮汽機車汰換 (trade-in) 的情況，亦即家計單位之決策僅考慮欲購買下一部車與否的情形，如此在整體預測方面將與實際情況略有出入，建議後續研究能將汽機車汰換的問題納入研究。
5. 為推導模式方便起見，本研究假設家計單位欲購買下一部車輛之使用人將不與原有車輛之使用人重複，亦即主要使用人之順序不變，然此假設將不滿足所有的家計單位情況，建議後續研究能放寬此一假設。
6. 為校估方便，假設家計單位汽機車之變動成本係數 ( $\beta$ ) 相同，然此假設仍過於強烈，並無法真正反映不同車種持有之家計單位間之差異，建議未來的研究可將此一係數依照不同運具加以區分，以更真實反映實際情況。
7. 我國目前已加入世界貿易組織 (WTO)，入會後之汽車關稅配額逐年調降 (100 年後取消關稅配額)，將使得持有汽車之固定成本隨之調降，預期汽車需求勢將逐漸增加，此情況政府須加以重視，並可參酌本研究結果及早規劃因應之交通政策。

## 參考文獻

1. [http://www.iot.gov.tw/chinese/lib/trans\\_1.htm](http://www.iot.gov.tw/chinese/lib/trans_1.htm)
2. de Jong, G. C., "An Indirect Utility Model of Car Ownership and Private Car Use", *European Economic Review*, 34, 1990, pp. 971-985.
3. 周榮昌、翁美娟，「家計單位小客車持有及使用模式之建立」，*運輸學刊*，第 13 卷，第 3 期，民國九十年。
4. Berkovec, J. and Rust, J., "A Nested Logit Model of Automobile Holdings for One Vehicle Households", *Transportation Research*, 19B, 1985, pp. 275-285.
5. Berkovec, J., "Forecasting Automobile Demand Using Disaggregate Choice Models", *Transportation Research*, 19B, 1985, pp. 315-329.

6. Jansson, J. O., "Car Demand Modeling and Forecasting: A New Approach", *Journal of Transport Economics and Policy*, 1989, pp. 125-139.
7. Said, G. M., "Modelling Household Car Ownership in the Gulf States: The Case of Kuwait", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 26, Iss. 2, 1992, pp. 121-138.
8. Chin, A. and P. Smith, "Automobile Ownership and Government Policy: The Economics of Singapore's Vehicle Quota Scheme", *Transportation Research*, 31A, 1997, pp. 129-140.
9. 陳賓權, 「買車自備停車位策略對抑制我國小客車數量成長功效之研究」, 交通大學土木工程研究所碩士論文, 民國八十三年。
10. Mannering, F. L., "An Econometric Analysis of Vehicle Use in Multivehicle Households", *Transportation Research*, 17A, 1983, pp. 183-189.
11. Golob, T. F., David S. B., and David B., "A Vehicle Use Forecasting Model Based on Revealed and Stated Vehicle Type Choice and Utilisation Data", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 31, Iss. 1, 1997, pp. 69-92.
12. Train, K., *Qualitative Choice Analysis: Theory, Econometrics and an Application to Automobile Demand*, Cambridge, M.I.T. Press, 1986.
13. Hensher, D. A. and Milthorpe F. W., "Selectivity Correction in Discrete-Continuous Choice Analysis: With Empirical Evidence for Vehicle Choice and Use", *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 17, Iss.1, 1987, pp. 123-150.
14. Button, K., Ndoh N., and John H., "Modelling Vehicle Ownership and Use in Low Income Countries", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 27, Iss. 1, 1993, pp. 51-67.
15. 林裕清, 「小汽車持有數與使用量之間斷性／連續性混合需求模型之研究」, 成功大學都市計劃研究所碩士論文, 民國八十三年。
16. 廖仁哲, 「小汽車持有與使用、工作運具選擇混合需求模型之研究」, 成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國八十五年。
17. 賴文泰, 「家戶通勤行為：小客車持有與使用混合需求模型之研究」, 成功大學交通管理科學研究所博士論文, 民國八十七年。
18. Jorgensen, F. and Tore, W. L., "Forecasting Car Holding, Sc rapping and New Car Purchase in Norway", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 24, Iss. 2, 1990, pp. 139-146.
19. De Jong, G. C., "A Disaggregate Model System of Vehicle Holding Duration, Type Choice and Use", *Transportation Research*, 30B, 1996, pp. 263-276.
20. Yamamoto, T. and R. Kitamura, "An Analysis of Household Vehicle Holding Durations Considering Intended Holding Durations", *Transportation Research*, 34A, 2000, pp. 339-351.
21. 閻潔, 「消費者運具持有時程與轉換行為之研究」, 成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國八十七年。
22. Hausman, J. A., "The Econometrics of Non-Linear Budget Sets", *Econometrica*, 53, 1985, pp. 1255-1282.
23. Liu, Y. H. and Mahmassani, H. S., "Global Maximum Likelihood Estimation Procedure for Multinomial Probit (MNP) Model Parameters", *Transportation Research*, 34B, 2000, pp. 419-449.

## 附 錄

以下將以情況 a~f 為例，詳細推導其家計單位機動車輛持有與使用機率（其中  $\Phi_i$  代表累積常態分配， $Z_i$  代表標準常態分配）。

- a. 若購買汽車之間接效用低於不購買汽車之直接效用時，則家計單位將不持有小汽車，因此家計單位不持有汽車之機率  $P(a)$  為：

$$\begin{aligned}
 & P\{I_1(v_{11}, Y - C_{11}) \leq U_1(0, Y)\} \\
 &= P\left\{\frac{1}{1-\alpha_1}(Y - C_{11})^{1-\alpha_1} + \frac{1}{\beta} \exp(\delta_{11}S_{11} + e_{11} - \beta v_{11}) \leq \frac{1}{1-\alpha_1} Y^{1-\alpha_1}\right\} \\
 &= P\{e_{11} \leq \ln[Y^{1-\alpha_1} - (Y - C_{11})^{1-\alpha_1}] - \ln(1-\alpha_1) + \ln \beta - \delta_{11}S_{11} + \beta v_{11}\} \\
 &= \Phi\left\{\frac{\ln[Y^{1-\alpha_1} - (Y - C_{11})^{1-\alpha_1}] - \ln(1-\alpha_1) + \ln \beta - \delta_{11}S_{11} + \beta v_{11}}{\sigma_{e_{11}}}\right\} \\
 &= \Phi\left(\frac{N_1}{\sigma_{e_{11}}}\right) \\
 &= \Phi_1
 \end{aligned} \tag{5}$$

- b. 若購買機車之間接效用低於不購買機車之直接效用時，則家計單位將不持有機車，因此家計單位不持有機車之機率  $P(b)$  為：

$$\begin{aligned}
 & P\{I_2(u_{11}, Y - F_{11}) \leq U_2(0, Y)\} \\
 &= P\left\{\frac{1}{1-\alpha_2}(Y - F_{11})^{1-\alpha_2} + \frac{1}{\beta} \exp(\xi_{11}R_{11} + f_{11} - \beta u_{11}) \leq \frac{1}{1-\alpha_2} Y^{1-\alpha_2}\right\} \\
 &= P\{f_{11} \leq \ln[Y^{1-\alpha_2} - (Y - F_{11})^{1-\alpha_2}] - \ln(1-\alpha_2) + \ln \beta - \xi_{11}R_{11} + \beta u_{11}\} \\
 &= \Phi\left\{\frac{\ln[Y^{1-\alpha_2} - (Y - F_{11})^{1-\alpha_2}] - \ln(1-\alpha_2) + \ln \beta - \xi_{11}R_{11} + \beta u_{11}}{\sigma_{f_{11}}}\right\} \\
 &= \Phi\left(\frac{N_2}{\sigma_{f_{11}}}\right) \\
 &= \Phi_2
 \end{aligned} \tag{6}$$

- c. 若持有一部汽車之間接效用大於不購買汽車之直接效用，則家計單位會選擇持有一部汽車並實際使用  $K_{11}$  之里程數，其機率  $P(c)$  為：

$$P\{K_{11}, I_1(v_{11}, Y - C_{11}) > U_1(0, Y)\} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
&= P\{K_{11} = \ln A_{11} + w_{11}, e_{11} > N_1\} \\
&= P(e_{11} + w_{11} = K_{11} - M_1, e_{11} > N_1) \\
&= P(e_{11} > N_1 | q_1 = K_{11} - M_1) \times P(q_1 = K_{11} - M_1) \\
&= \int_{N_1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{e_{11}}\sqrt{(1-\rho_{e_{11},q_1}^2)}} \\
&\quad \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_{e_{11}}^2(1-\rho_{e_{11},q_1}^2)}\left[e_{11}-\mu_{e_{11}}-\rho_{e_{11},q_1}\frac{\sigma_{e_{11}}}{\sigma_{q_1}}(K_{11}-M_1-\mu_{q_1})\right]^2\right\}de_{11} \\
&\quad \times \frac{1}{\sigma_{q_1}} \times Z\left[\frac{K_{11}-M_1}{\sigma_{q_1}}\right] \\
&= \left\{1-\Phi\left[\frac{N_1-\rho_{e_{11},q_1}\frac{\sigma_{e_{11}}}{\sigma_{q_1}}(K_{11}-M_1)}{\sigma_{e_{11}}(1-\rho_{e_{11},q_1}^2)^{1/2}}\right]\right\} \times \frac{1}{\sigma_{q_1}} \times Z\left[\frac{K_{11}-M_1}{\sigma_{q_1}}\right] \\
&= (1-\Phi_3) \times \frac{1}{\sigma_{q_1}} \times Z_1
\end{aligned}$$

$$q_1 = e_{11} + w_{11}, \quad q_1 \sim \text{iid } N(0, \sigma_{q_1}^2), \quad \sigma_{q_1}^2 = \sigma_{e_{11}}^2 + \sigma_{w_{11}}^2 + 2\gamma_{e_{11}w_{11}}; \quad \rho_{e_{11},q_1} = \frac{\sigma_{e_{11}}}{\sigma_{q_1}} + \frac{\gamma_{e_{11}w_{11}}}{\sigma_{q_1}\sigma_{e_{11}}}$$

- d. 若持有汽車之間接效用大於持有機車之間接效用，則家計單位會選擇持有一部汽車並實際使用  $K_{11}$  之里程數，其機率  $P(d)$  為：

$$P(K_{11}, I_1(v_{11}, Y - C_{11}) > I_2(u_{11}, Y - F_{11}))$$

由於

$$\begin{aligned}
&P\{I_1(v_{11}, Y - C_{11}) > I_2(u_{11}, Y - F_{11})\} \\
&= P\left\{\frac{1}{1-\alpha_1}(Y - C_{11})^{1-\alpha_1} + \frac{1}{\beta}\exp(Z_{11} - \beta v_{11}) > \frac{1}{1-\alpha_2}(Y - F_{11})^{1-\alpha_2} + \frac{1}{\beta}\exp(J_{11} - \beta u_{11})\right\}
\end{aligned}$$

若家計單位中車輛之持有及使用順序固定，則可令  $Z_{11} = J_{11}$ ，則上式可改成：

$$\begin{aligned}
&= P\left\{\frac{1}{\beta}[\exp(Z_{11} - \beta u_{11}) - \exp(Z_{11} - \beta v_{11})] < \left[\frac{1}{1-\alpha_1}(Y - C_{11})^{1-\alpha_1} - \frac{1}{1-\alpha_2}(Y - F_{11})^{1-\alpha_2}\right]\right\} \\
&= P\left\{e_{11} < \ln\left[\frac{1}{1-\alpha_1}(Y - C_{11})^{1-\alpha_1} - \frac{1}{1-\alpha_2}(Y - F_{11})^{1-\alpha_2}\right] + \ln\beta - \ln[e^{-\beta u_{11}} - e^{-\beta v_{11}}] - \delta_{11}S_{11}\right\}
\end{aligned}$$

進一步推導成式(8)：

$$\begin{aligned}
 & P\{K_{11} = \ln A_{11} + w_{11}, e_{11} < N_3\} \\
 & = P(e_{11} < N_3 | q_1 = K_{11} - M_1) \times P(q_1 = K_{11} - M_1) \\
 & = \Phi \left( \frac{N_3 - \rho_{e_{11}, q_1} \frac{\sigma_{e_{11}}}{\sigma_{q_1}} (K_{11} - M_1)}{\sigma_{e_{11}} (1 - \rho_{e_{11}, q_1}^2)^{1/2}} \right) \times \frac{1}{\sigma_{q_1}} \times Z_1 \\
 & = \Phi_4 \times \frac{1}{\sigma_{q_1}} \times Z_1
 \end{aligned} \tag{8}$$

其中， $q_1$ ， $\sigma_{q_1}$ ， $\rho_{e_{11}, q_1}$ 之定義請詳見式(7)。

- e. 若持有機車之間接效用大於不購買機車之直接效用，則家計單位會選擇持有一部機車並實際使用  $L_{11}$  之里程數，其機率  $P(e)$  為：

$$\begin{aligned}
 & P\{L_{11}, I_2(u_{11}, Y - F_{11}) > U_2(0, Y)\} \\
 & = P\{L_{11} = \ln B_{11} + m_{11}, f_{11} > N_2\} \\
 & = P(f_{11} + m_{11} = L_{11} - M_2, f_{11} > N_2) \\
 & = P(f_{11} > N_2 | q_2 = L_{11} - M_2) \times P(q_2 = L_{11} - M_2) \\
 & = \left\{ 1 - \Phi \left[ \frac{N_2 - \rho_{f_{11}, q_2} \frac{\sigma_{f_{11}}}{\sigma_{q_2}} (L_{11} - M_2)}{\sigma_{f_{11}} (1 - \rho_{f_{11}, q_2}^2)^{1/2}} \right] \right\} \times Z \left[ \frac{L_{11} - M_2}{\sigma_{q_2}} \right] \times \frac{1}{\sigma_{q_2}} \\
 & = (1 - \Phi_5) \times Z_2 \times \frac{1}{\sigma_{q_2}}
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$q_2 = f_{11} + m_{11}; \quad q_2 \sim \text{iidN}(0, \sigma_{q_2}^2); \quad \sigma_{q_2}^2 = \sigma_{f_{11}}^2 + \sigma_{m_{11}}^2 + 2\gamma_{f_{11}m_{11}};$$

$$\rho_{f_{11}, q_2} = \frac{\sigma_{f_{11}}}{\sigma_{q_2}} + \frac{\gamma_{f_{11}m_{11}}}{\sigma_{q_2} \sigma_{f_{11}}}$$

- f. 若持有機車之間接效用大於持有汽車之間接效用，則家計單位會選擇持有一部機車並實際使用  $L_{11}$  之里程數，其機率  $P(f)$  為：

$$P(L_{11}, I_2(u_{11}, Y - F_{11}) > I_1(v_{11}, Y - C_{11}))$$

由於

$$\begin{aligned}
 & P\{I_2(u_{11}, Y - F_{11}) > I_1(v_{11}, Y - C_{11})\} \\
 & = P\left\{ \frac{1}{1 - \alpha_2} (Y - F_{11})^{1 - \alpha_2} + \frac{1}{\beta} \exp(J_{11} - \beta u_{11}) > \frac{1}{1 - \alpha_1} (Y - C_{11})^{1 - \alpha_1} + \frac{1}{\beta} \exp(Z_{11} - \beta v_{11}) \right\}
 \end{aligned}$$

假設  $Z_{11} = J_{11}$ ，則上式可改成：

$$P\left\{\frac{1}{\beta}[\exp(J_{11} - \beta v_{11}) - \exp(J_{11} - \beta u_{11})] < \left[\frac{1}{1-\alpha_2}(Y - F_{11})^{1-\alpha_2} - \frac{1}{1-\alpha_1}(Y - C_{11})^{1-\alpha_1}\right]\right\}$$

$$= P\left\{f_{11} < \ln\left[\frac{1}{1-\alpha_2}(Y - F_{11})^{1-\alpha_2} - \frac{1}{1-\alpha_1}(Y - C_{11})^{1-\alpha_1}\right] + \ln\beta - \ln[e^{-\beta v_{11}} - e^{-\beta u_{11}}] - \zeta_{11}R_{11}\right\}$$

進一步推導成式(10)：

$$P\{L_{11} = \ln B_{11} + m_{11}, f_{11} < N_4\}$$

$$= P(f_{11} < N_4 | q_2 = L_{11} - M_2) \times P(q_2 = L_{11} - M_2) \quad (10)$$

$$= \Phi\left(\frac{N_4 - \rho_{f_{11}, q_2} \frac{\sigma_{f_{11}}}{\sigma_{q_2}} (L_{11} - M_2)}{\sigma_{f_{11}} (1 - \rho_{f_{11}, q_2}^2)^{\frac{1}{2}}}\right) \times \frac{1}{\sigma_{q_2}} \times Z_2$$

$$= \Phi_6 \times \frac{1}{\sigma_{q_2}} \times Z_2$$

其中， $\sigma_{q_2}$ ， $\rho_{f_{11}, q_2}$  之定義請詳見式(9)。



實 務 篇

APPLICATIONS

# 流量管制雛型系統之建立與測試<sup>1</sup>

## PRELIMINARY DEVELOPMENT AND TESTING OF A FLOW CONTROL SYSTEM

戴佐敏 Melody D. M. Dai<sup>2</sup>

張淳智 Cheng-Chih Chang<sup>3</sup>

劉仲祥 Jong-Shyang Liou<sup>4</sup>

(91 年 7 月 30 日收稿，92 年 1 月 20 日第一次修改，92 年 3 月 20 日  
第二次修改，92 年 12 月 31 日定稿)

### 摘 要

本研究根據國內特性，針對流量管制系統進行規劃，建立一即時流量管制系統雛形，此系統可預測及顯示松山、小港、馬公機場未來二小時內之航機離到場架次與機場容量，預測的時段乃根據台灣地區國內航線之飛行時間，將之訂為二個小時。此系統包含四個資料庫及五個模組，資料庫分別為靜態飛航資料庫、動態飛航資料庫、飛行時間資料庫、機場容量資料庫，模組則包括資料解讀系統、動態流量預測、機場容量預測、相關機場之離場班機時間間隔以及人機介面。本研究利用由台北區域管制中心實際錄回之電報資料，對本系統進行測試。其結果顯示，若輸入資料正確，本系統之運作效率良好，然而，電報輸入資料偶有不確實或錯誤產生，對於台灣地區航程短之飛行環境而言，將造成相當大之誤差，影響所及甚至無法以輸入資料進行精確的控制。因此未來若欲進行流量管理，如

- 
1. 本研究為交通部民用航空局研究計畫「建立流量管制過渡系統之規劃」。
  2. 國立成功大學交通管理科學研究所副教授（聯絡地址：701 台南市大學路 1 號成功大學交通管理科學研究所）。
  3. 台中技術學院流通管理系副教授。
  4. 國立成功大學交通管理科學研究所博士班候選人。

何取得即時且精確之飛航資料，尤其是起飛前之航機資訊，將是一重要課題。因此未來航機離場許可若採資料鏈結方式，或許將可局部改善此一問題。此外本研究建議發展一系統模擬模式對相關機場之離場班機時間間隔進行進一步之探討。另可就本研究所建立之流量管制系統進一步發展，以提供航空公司進行實際班機調度及制定班表之用。

**關鍵詞：**即時流量管理；空中交通管制；人機介面

### ABSTRACT

*This study tries to develop an on-line flow control preliminary system for the Taiwan CAA (Civil Aeronautics Administration). This system can predict and display the estimated flight arrivals and departures in selected airports and the associated available airport capacities during the next two hours. The two-hour time window is determined based on the flight time duration of domestic flights in Taiwan. This system includes four databases and five modules: (1) static flow distribution database, (2) dynamic flow distribution database, (3) flight times database, (4) capacities database, (5) input, (6) flow estimation, (7) available capacities estimation, (8) suggested departure time intervals for each associated airport, and (9) user interface. This system has gone through a thorough field test. The results show that the overall system performs quite well with good quality of input data. However, the available input data is not precise enough and makes it difficult to conduct tight control. This problem is especially acute in Taiwan due to its short domestic flight times. A flow control system is still needed in the future, thus how to obtain real time and accurate flight data especially for pre flight information will be an important task. If pre-departure clearance is via datalink, it may be helpful for improving the data quality partially. Due to the constraints of the real world, it is suggested to develop a simulation model for further evaluating the performance of departure sequencing algorithm. This system could be extended to provide information for the airline to make decisions regarding real time flight dispatching and scheduling.*

**Key Words:** *On-line flow management; Air traffic control; User interface*

## 一、前言

國內航線因應旅次需求，自民國七十六年天空開放政策以來，飛航流量不斷大幅成長，造成機場及飛航管制單位極大的負荷，近來飛航流量雖因航空公司減班而稍有減緩，然未來航空運量仍有持續增加的趨勢。機場在高負荷使用狀態下，為符合航機起降隔離要求、停機坪使用限制等，往往造成班機延誤，尤其當氣象異變，導致容量縮減時，更將造成空中秩序大亂、班機嚴重誤點，增加旅客不便，此外，班機的延誤，往往增加航機在空

中等待之機率，一方面增加管制員負荷，一方面由於額外油料耗損，增加航空公司成本，甚至影響飛航安全。有鑑於此，飛航流量管制系統實有其存在之必要性，所謂飛航流量管制系統係指當機場或空域由於壅塞、天候或其他因素導致容量不足時，有效地確保空中交通順暢的管理方式。

早期國內對於各機場或空域航行量之預估並沒有一輔助工具，全憑資深班務督導經驗決定，此外管制單位或空域之負荷標準仍未有定論，且此負荷標準往往因當地之軍事演習、裝備故障或天候等因素而有所變異，因此流量管制實施時機及方式之決策實際上需整合相當多之資訊，然而由於並沒有良好的流量管制決策輔助系統，造成外界認為整個決策過程相當模糊，缺乏一明確客觀之標準，因此導致輿論交相攻擊，而忽略了實施流量管制之必要性。

本研究之目的在於根據國內特性，針對流量管制系統進行規劃，建立一流量管制系統雛形。此一流量管制系統雛形包含四個資料庫及五個模組，資料庫分別為靜態飛航資料庫、動態飛航資料庫、飛行時間資料庫、機場容量資料庫，模組則包括資料解讀系統、動態流量預測、機場容量預測、相關機場之離場班機時間間隔以及人機介面。本系統接收飛航報告與氣象報告，並以資料解讀系統負責民航電報與氣象資訊之接收與解釋；系統接收到即時資訊後，立即更新資料庫，其中航機動態資訊傳至動態流量預測模組，配合靜態飛航資料庫、飛行時間資料庫，用以更新航機起飛時間，並將更新後之資訊儲存於動態飛航資料庫；氣象資訊則傳入機場容量預測模組，此模組根據目前氣象預報資料，並由機場容量資料庫，即可估算可用容量；當需求高於容量時，此一系統即評估壅塞的嚴重程度，並推算相關機場之離場班機時間間隔；另以人機介面模組，將台北飛航情報區內重要機場與交管點之流量與容量以圖形及顏色方式顯示，可向航管單位發出警示，以作為流量管制作業實施之參考。

此外，本研究利用由台北區域管制中心實際錄回之電報資料，進行系統測試，除驗證所構建模組之功能外，亦探討輸入資料之正確性，以及台灣地區短航程之飛行環境下，在發展流量管制系統時應注意的問題。

以下首先探討國外之流量管制系統、國內流量管制之實施以及流量管理策略，而後說明本研究所提出之流量管制系統雛形，再由實際蒐集所得之資料，對此流量管制系統雛形進行測試，最後提出結論與建議。

## 二、流量管制系統與流量管理策略

### 2.1 國外流量管制簡介

「流量管制」為未來航管提供飛航服務作業方式之一，並為世界趨勢，在世界先進國家航管單位及國際航管組織如國際民航組織 (ICAO)、美國航管協會 (ATCA) 等均設有專

責機構做長期性之研究。以下就針對國外流量管制加以介紹：

### 1. 美國流量管理系統

美國在 Herdon 設有一流量管理中心 (Air Traffic Control System Command Center, ATCSCC)，負責美國境內所有航機之流量管理等問題。ATCSCC 有獲取即時資訊之能力，包括鄰近區域及當地之氣象資料、未來之氣象預測資料、及美國空域之即時交通狀況資料，並且推算每個機場在未來幾小時的需求交通量。ATCSCC 根據上述這些資訊，在飛機離場前數小時告知班機是否需做地面等候及地面等候之時間。

雖然 ATCSCC 應用電腦獲取資訊以分析航情並事先發出警告，儘量使空中交通在擁擠發生之前就能先得到紓解。然而 ATCSCC 也僅由資深管制員根據電腦所蒐集的最新飛行量資訊情報，以其專業知識來實施地面等候策略，而不是根據決策支援系統或最佳化模式運算結果來實施地面等候策略<sup>[1]</sup>。

### 2. 歐洲流量管理系統<sup>[2,3]</sup>

歐洲早在 1970 年代初期即實施流量管制，其方法是以地面等待取代空中等待，然而由於牽涉太多國家 (40 國) 與航管中心 (60 餘個)，流量管制措施或限制過於複雜，因此成效不彰，後期減為由 5 個航管中心負責 (倫敦、巴黎、法蘭克福、馬德里、羅馬) 但仍不理想。因此目前將所有流量管理作業集中至比利時布魯塞爾新成立之中央流量管理局 (CFMU)，中央流量管理局將依據收到之飛航計畫評估出確切之需要，並要求各航管中心須將其容量報給中央流量管理局，而後以電腦計算出時間帶 (slot times) 並自動傳送至航空公司，塔台即依據時間帶准許航空器開車。其重點在於蒐集飛行計畫資料，以預測飛航需求量，並將需求量與容量 (供給量) 作一整合，以計算時間帶之分配或航機配合改道，在整個過程中，需對整體空域現況作持續的監控與預測，並與各管制單位進行協調。

### 3. 日本流量管理系統<sup>[2,3]</sup>

日本體認到流量管理之必要性，因此於 1994 年於福岡成立流量管理中心，其流量管理之優先次序亦是以航機地面等待為優先考慮，萬不得已才要求空中航機等待。其實施係依據飛航資料處理系統每 30 分鐘列印出之管制區預計航行量，當航行量持續超過 20 架時，即開始流量管制，如當航行量持續超過 25 架時，不僅實施流量管制，且加大航機之隔離。其重點在於從飛航資料處理系統 (FDP) 擷取飛行計畫資料；從輸入資料處理系統 (IDP) 所接收之國內外飛航業務電報中選取其中之飛行計畫及相關之起飛、落地、交管、修改、取消等資訊；並由雷達資料處理系統 (RDP) 擷取航機所在位置、高度、呼號等資訊，以完全掌握航機動態及空域現況。將上述資訊整合，以計算航機流量現狀，並預測未來航機需求量，且將這些資訊顯示出來，以供流量管理單位參考，此外並整合空域資訊、空域中各點容量 (即可接受交通量, Operational Acceptable Level of Traffic, OALT)，使流量管理單位可據以決定流量管制之方式，並將其決策傳輸至各管制單位。基本上日本的流量管理系統與歐洲的系統並無太大差異，主要重點皆在於需求量的預測，以及供給量的掌握，以能作出有效之決策。

#### 4. 其他國家流量管理系統<sup>[2]</sup>

加拿大亦實施流量管制，並獲得相當不錯之成果。其建議有效之流量管理系統應儘所有可能及早取得精準之航空器預計時間以作正確處置。

澳洲雪梨航管單位採用決策支援系統，並發展出兩套流量管理系統。包括人工智慧安排到場航機順序及航管單位與航空公司共用規劃系統以減少空中等待。

### 2.2 國內流量管制介紹

自民國 76 年天空開放後，國內航行量激增，因而遂有流量管制之實施。其實施時機為「當航行量已呈飽和狀態或軍事演習、裝備故障、天氣低於起降標準、跑道關閉時。以中正近場台為主導單位，為避免各機場起飛航機過度集中於近場空域，將限制所有以松山機場為目的地之到場航機需有一定之隔離。當預估航行量超過管制單位之負荷，且判斷此一情況於三十分鐘內無法獲得改善時，視為開始實施流量管制之時機」。此一原則雖與國外實施流量管制之原則不相悖離，然而在執行上卻有相當困難存在。例如各機場或空域航行量之預估並沒有一輔助工具，全憑資深班務督導經驗決定，此外管制單位或空域之負荷標準仍未有定論，且此負荷標準往往因當地之軍事演習、裝備故障或天候等因素而有所變異，因此流量管制實施時機之決策實際上需整合相當多之資訊，然而由於並沒有此一決策輔助系統，因此整個決策過程相當模糊，缺乏一明確客觀之標準，因此導致輿論之交相攻擊，而忽略了實施流量管制之必要性。此外民航局對於實施流量管制之方式，僅指出「視航行量增加情況管制後龍到場航機為每四分鐘一架，宜蘭到場航機為每五分鐘一架」，「若須較大時間隔離以管制流量時，應先獲單位主管或副主管同意後方得實施」，以及「流量管制應視當時航行量實際情況彈性調整」，並未明定何時該採取何種方式，因此整個管制方式之決策十分曖昧，有流於自由心證之嫌，易招致外界非議。近來飛航流量因航空公司減班而稍有減緩，而停止流量管制之實施。

美國麥特機構 (MITRE) 曾就國內的流量管理系統作一分析，並提出改善建議<sup>[4]</sup>。在短期改善策略方面，強調對需求量的預測，以決定實施或解除流量管制之時機，此外，並需加強氣象資料的整合，以掌握容量的變化；在中期改善策略方面，則建議改善對系統狀況的監控、預測與評估；在長期改善策略方面，仍然強調對整體系統進行全面的容量與需求量更精確的預測與監控。總之麥特機構認為一良好的流量管理系統之先決條件是對需求量與容量的監控與預測，並將此一資訊顯示出來，以求有效的掌握系統的現況與未來變化，至於對未來的預測，在考量國內飛航特性，麥特機構建議以 2 小時為時窗，以進行預測之分析。

近來飛航流量雖因航空公司減班而稍有減緩，然未來航空運量仍有持續增加的趨勢，因此仍需及早發展適合台灣地區之流量管制系統。若欲充分發揮流量管制之功能並減少民怨，亟需建立一客觀明確之實施標準，且需發展一決策輔助系統，以預測未來各機場之起降架次，並整合氣象資料，隨時更新機場容量資訊，以提供班務督導實施流量管制決策之

參考。

## 2.3 地面等候策略

綜合以上敘述，可知「流量管理」已為飛航管制之世界趨勢，一般而言，若航行量未達壅塞標準卻實施流量管制，或雖達實施流量管制之標準，但卻採用較大之隔離策略時，將導致空域或機場未充分利用，以及班機不必要之延誤。然而若空域已過度壅塞卻未實施流量管制，或採用較小之隔離策略時，將使空域內航機架次過多，增加管制員負荷，造成航機空中等待，增加業者成本，甚至影響飛航安全。因此可知，一有效之流量管理系統，一定要能儘早取得管制區預計航行流量之資料，以做正確處置，包含流量管制實施之時機與方式，以及解除流量管制之時機。在流量管理策略方面，包括以地面等候 (ground holding) 取代空中等候 (airborne holding)、隔離策略、改道、速度控制與以高空程空中等候 (high-altitude holding) 取代低空程空中等候 (low-altitude holding)<sup>[5]</sup>，其他還包括到場航機排序及航管單位與航空公司共用規劃系統等。這些策略中以地面等候之效益最佳，因其能有效的降低業者營運成本並改善飛航安全。

地面等候策略 (ground holding policy) 在流量管理中之所以為一重要的改善措施，乃在於其能有效的降低延滯成本，亦即以低成本的地面延滯取代高成本的空中延滯。此乃由於空中延滯較地面延滯需負擔額外之燃油成本且較不安全。因此地面等候策略問題之研究係嘗試在滿足容量與其他運作特性等限制下，發展一最適化模式，以決定那些航機需延遲起飛、延遲多久、其降落目的地機場之時刻，使其之延滯成本最低。

有關於地面等候策略問題之研究，可依其對問題特性之界定為靜態與動態、確定性與機率性等模式<sup>[6]</sup>；如依問題之對象，則又可分為機場型網路與空域型網路。靜態意指地面等候策略僅在研究時段一開始時（如一天機場開始營運之時）決定<sup>[6-8]</sup>；而動態則考量稍後有更準確之容量預測結果，因此將依據最新資訊調整地面等候策略，使其更能配合實際需求<sup>[9]</sup>。確定性之地面等候問題則假設容量之預測為百分之百的準確；至於機率性之地面等候問題則考量在現實世界裡，實在無法完全掌握容量之預測，因此列出幾種未來可能之容量，並以機率表示其發生之可能性<sup>[6-8]</sup>。事實上，在現實世界中，地面等候策略為一動態且隨機之問題。機場型網路假設容量不足點僅發生於機場；空域型網路則假設容量不足點可能發生於空域中<sup>[10,11]</sup>，如航道交會處等。一般而言，美國所面臨的多為機場型網路問題，歐洲則還包括空域型網路問題。

地面等候策略之主要目的在於以低成本的地面延滯取代高成本的空中延滯，並進而促進飛航安全，其實施之策略若過於保守，使用過多之地面等候，將導致空域容量的流失，此外，亦將造成停機坪壅塞，動線不良等後果，然而若地面等候策略過於樂觀，將導致空域中有過多航機而產生大量的空中延滯並進而影響飛安。由於國內航線航程極短，因此相當適合機動使用地面等候策略，然而若欲地面等候策略充分發揮其績效，需求與供給預測之準確性及停機坪使用之安排等皆為相當重要之環節。此外，地面等候策略之擬定不能僅

針對單一機場進行分析，需由整體系統、多機場、甚至整體空域一併考量。

### 三、系統程式之發展

此一流量管制系統包含四個資料庫（靜態飛航資料庫、動態飛航資料庫、飛行時間資料庫、以及機場容量資料庫）及五個模組（電報解讀模組、動態流量預測、機場容量預測、相關機場之離場班機時間間隔以及人機介面），其運作流程如圖 1 所示。

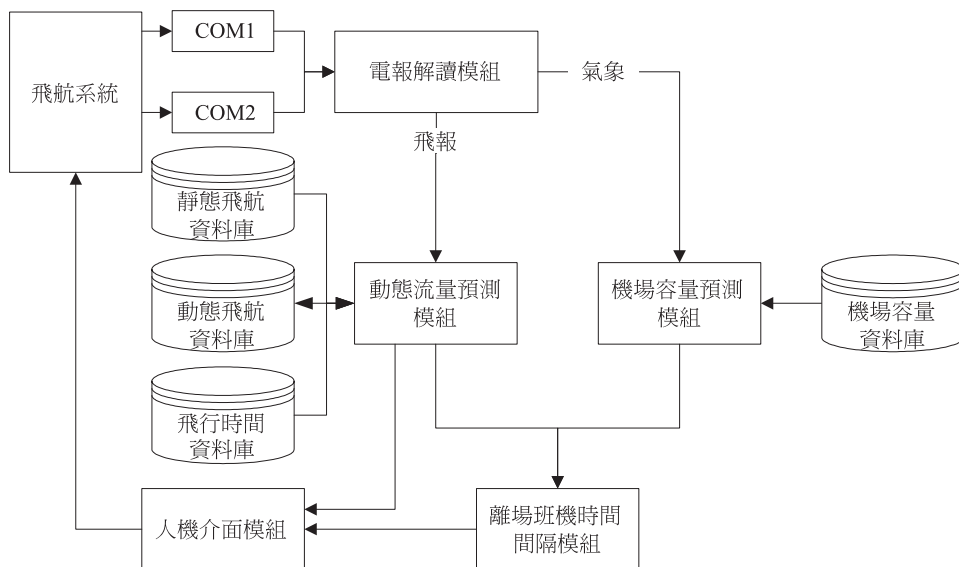


圖 1 本系統運作流程圖

在本研究中需要動態即時接收的資料為起飛航報資料與氣象資料。本研究係透過 RS232-C 介面（即圖 1 中的 COM1 與 COM2 兩個電腦上的通訊埠）來接收此兩項資料，為了增進架構上的彈性，本研究利用兩個執行緒 (thread) 同時監督 COM1 與 COM2 的通信狀態，故這兩項資料可以混合在一起只由其中一個通訊埠接收，也可以分散在兩條不同的線路中，個別由 COM1 與 COM2 接收。接收到的飛報與氣象報告，交由電報解讀模組負責民航電報與氣象資訊之接收與解譯；系統接收到即時資訊後，立即更新資料庫，其中航機動態資訊傳至動態流量預測模組，配合靜態飛航資料庫、飛行時間資料庫，用以更新航機起飛時間，並將更新後之資訊儲存於動態飛航資料庫；氣象資訊則傳入機場容量預測模組，此模組根據目前氣象預報資料，並由機場容量資料庫，即可估算可用容量；當需求高於容量時，此一系統即評估壅塞的嚴重程度，並透過「人機介面模組」以音效與顏色向航管單位發出警示，航管人員收到警示後可以向系統要求提供建議的管制措施，此時系統



會呼叫「離場班機時間間隔」模組，計算並提出各機場離場班機時間間隔的建議，並藉由「人機介面模組」展示此建議的管制結果，以提供航管人員作為實施流量管制作業之參考。以下為各資料庫及模組之詳細說明。

### 3.1 資料庫

資料庫共計有四個，包括靜態飛航資料庫、動態飛航資料庫、飛行時間資料庫、以及機場容量資料庫，茲說明如下：

#### 1. 靜態飛航資料庫

此資料庫記載各班機之使用機型、預計起飛時間、起迄點、預計之總飛行時間及飛行航路等資料。本研究由長期飛航計畫書 (RPL) 得知上述資料。

#### 2. 飛行時間資料庫

本研究利用記錄於系統分析磁帶 (System Analysis Record Tape, SAR Tape) 中之資料，建立班機飛行時間資料庫，分別依目前之航線，分別計算出經過大林、馬公、後龍、西港、TINHO 及到達目的地機場之平均飛行時間。

SAR Tape 之資料分為 pending (尚在機場等待起飛之班機) 與 active (已起飛之班機) 兩類，本研究在研究之初，先行比較此二類資料所求算之飛行時間，發現 active 之飛行時間較 pending 之飛行時間為長，其差異範圍由 -25% 至 3%，推測此原因為航機於進場時受管制員引導而增加了飛行距離，或為擁擠時段航機於空中等候之故，由於 active 之資料較能反映現況，故 active 以計算飛行時間較為準確可靠。此處所計算之時間為飛行時間，僅計算航機在空中飛行之時間，不為整個旅行過程包括後推、滑行、起飛、降落之旅行時間。因此在計算飛機落地時間時，除了飛行時間外仍須再加上一個起飛與落地時間，由於 SAR Tape 上無法得到此一部分資訊，經諮詢民航局之意見後，除松山機場此一時間差距為 2 分鐘外，其餘機場均可忽略不計。

將航線經過本研究之管制點之時間依各航空公司之類別加以整理。以金門—高雄航線而言，途中所經之管制點依次為馬公固定通報點 (MKG)、西港 (TNN) 最後抵達高雄 (RCKH)。表 1 即針對所有金門—高雄之班機，依其航空公司分類，計算其飛行時間，並算出平均值、最大值、最小值與標準差。

由表 1 遠航與瑞聯之飛行時間相對接近且標準差相當小，經檢視班機時刻表發現二者使用之機型相近，此外立榮之標準差相當大，係由於其當時使用兩種以上之機型，因此確有必要蒐集機型資料，以對飛行時間作更進一步之分析。表 2 為金門高雄航線使用不同機型之飛行時間，由表可知飛行於此航線之機型包括：MD80、BA46、EA32、AT72 等，而 MD80 由金門至馬公通報點 (MKG) 之飛行時間為 12.53 分鐘，飛至西港 (TNN) 之飛行時間為 17.63 分鐘，飛至高雄之飛行時間為 22.43 分鐘，此外，本研究並將飛行時間相近之機型歸為同一類，以金門高雄航線而言共分為兩大類，其飛行時間見 I、II 兩列。結果發現所得各類機型之飛行時間的標準差小，表示機型確為影響飛行時間之一重要因素，故

本研究採用以機型分類所得之飛行時間為構建模組之數據。

### 3. 機場容量資料庫

流量管理的重點在於管理需求與容量，因此了解飛航系統中的設施容量是相當重要的工作，容量為某設施在一段時間內所能處理的航機數量，一般以單位小時的起降架次表示。此外，機場的容量並非固定之值，而具有高度的變動性，其中又以氣候因素對機場容量的影響最大。

表 1 金門－高雄航線經過各管制點之飛行時間

單位：分鐘

金門－高雄					
金門－馬公固定通報點 飛行時間統計資料					
	平均	最大值	最小值	標準差	架數
遠東航空	12.8	13.7	12.4	0.3	26
立榮航空	18.6	27.9	12.3	6.1	18
復興航空	21.3	22.6	20.6	0.6	24
瑞聯航空 <sup>註1</sup>	12.7	13.2	12.4	0.3	24
所有航空公司之平均	16.1	27.9	12.3	4.6	92
金門－西港固定通報點 飛行時間統計資料					
	平均	最大值	最小值	標準差	架數
遠東航空	18.3	19.2	17.7	0.5	12
立榮航空	26.8	40.7	18.6	9.2	9
復興航空	30.6	32.2	29.7	0.8	12
瑞聯航空 <sup>註1</sup>	18.1	18.6	17.7	0.3	12
所有航空公司之平均	23.2	40.7	17.7	6.9	45
金門－高雄 飛行時間統計資料					
	平均	最大值	最小值	標準差	架數
遠東航空	23.3	24.2	22.6	0.5	12
立榮航空	34.4	52.8	24.4	12.1	9
復興航空	39.4	41.2	38.2	1.0	12
瑞聯航空 <sup>註1</sup>	23.1	23.6	22.6	0.4	12
所有航空公司之平均	29.7	52.8	22.6	8.9	45

註 1：此為民國 86 年之資料，瑞聯航空現已停航。

表 2 金門高雄航線使用不同機型之飛行時間

單位：分鐘

起點—通報點時間			
機型	馬公固定通報點	西港固定通報點	高雄
MD80	12.53	17.63	22.43
BA46	14.33	20.14	25.70
EA32	13.43	19.17	24.60
AT72	20.40	29.20	37.45
所有機型之平均	15.02	21.86	27.99
I	17.36	24.67	31.58
II	12.98	18.40	23.52

在不同的天候條件下，跑道的使用方向與航機之離到場程序、隔離標準不盡相同，因此單位時間內可起降的最大航機數亦不相同。此機場容量資料庫，在於記錄不同天候狀況下機場容量，由於此一資料相當複雜，限於時間因素，本研究採諮詢方式，由民航局提供各機場在不同的風向、風速、起飛能見度、落地能見度及雲幕高之氣候條件下，各機場跑道之使用方向與起降容量限制，如表 3、表 4 所示。本研究根據所接到之氣象資訊，即可由此機場容量資料庫，得知各機場之容量，並於離場班機時間間隔模組中比較預計之需求與容量，預先安排航機起飛間隔，以避免可能之壅塞。

表 3 機場容量資料庫

	使用之跑道	風向 風速	容量 架次／小時	起飛 能見度	落地 能見度
松山機場	10 跑道		40	500 公尺	800 公尺
	28 跑道	170° ~ 350° 大於 10 海浬	如表 4 所示		
高雄機場	09 左跑道		32	500 公尺	600 公尺
	27 右跑道	170° ~ 350° 大於 10 海浬	22	500 公尺	3600 公尺
馬公機場	02 跑道		20	500 公尺	800 公尺
	20 跑道	170° ~ 350° 大於 10 海浬	20	500 公尺	1600 公尺

表 4 松山機場 28 跑道容量

雲幕高 能見度	3000 呎以上	3000 呎以下
大於 5000 公尺	40	20
4800 ~ 5000 公尺	20	20
小於 4800 公尺	0	0

#### 4. 動態飛航資料庫

此資料庫記錄航機之運作動態，包括目前航機呼號、起迄機場、目前所在位置、起飛時間、預計抵達目的地機場時間等。當系統接收到航機動態資訊後，動態流量預測模組即根據靜態飛航資料庫與飛行時間資料庫，推算判斷班機之起飛時間是否變更，若有所變更則從飛行時間資料庫依機型、航線之分類，讀出此班機之預計飛行時間，配合靜態資料庫之原始資料，修正其起飛時間及預計到達迄點時間，並加以預估到達各管制點之時間，如此便可建立一動態飛航資料庫。

### 3.2 系統模組

本系統共有五個模組，包括電報解讀、動態流量預測、機場容量預測、相關機場之離場班機時間間隔以及人機介面等。

#### 1. 電報解讀模組

本研究曾嘗試由雷達資料處理系統 (Radar Data Processing, RDP) 擷取航機動態資料，然而由雷達資料處理系統額外傳送資料，需更動原本系統的設定，而此可能會對飛安產生不良的影響，因而航管單位不敢貿然採用。故本研究無法由雷達資料處理系統擷取航機動態資料，而由飛行計畫、起飛航報、取消航報、修改航報、延遲航報等預測班機到場時間。由系統測試結果發現，電報偶有不確實之情形產生，但與接收 RDP 資料相較之下，其誤差僅有 2% 左右，故電報並非完全準確，然應仍有相當之可信度，不確實電報之探討，詳見第四節之說明。

本研究所構建之電報解讀模組係從民航電報中的飛行計畫、起飛航報、延遲航報、取消航報、修改航報及氣象電報中的飛行定時天氣報告與飛行選擇特別天氣報告中擷取所需資料，以動態更新飛航資料庫，預測未來兩小時內每 15 分鐘之機場供給及需求狀況。

本系統所參照之電報格式為 ICAO 之標準格式，但由於所擷取之電報資料中發現有些報文並不依 ICAO 之規格輸入，因此本研究為儘可能擷取資訊，因而提供除錯解讀邏輯，本研究可處理之報文，請見 4.1.1 節。

#### (1) 飛行計畫、起飛航報、延遲航報、取消航報、修改航報之解譯

本研究所撰寫之通訊介面程式先將所接收到的每一通電報利用物件導向的特性分別

予以封裝，再由此一民航電報解讀模組逐次讀取並解析其內容。民航電報內容包含項目繁多，本模組僅擷取起飛機場、降落機場、起飛時間等相關資料作為預測各機場流量的依據。此外，由於報文內容中僅班機呼號欄位具有唯一性，因此在更新飛航資料庫時將用其當作索引的鍵欄 (key field)。民航電報解讀之處理流程如圖 2。

因報文種類的不同或是某些資料屬於選擇性編報項目，故本模組可由程式自行判斷每一通電報所需顯示的資料。

## (2) 飛行定時天氣報告與飛行選擇特別天氣報告

其中飛行定時天氣報告以 METAR 起始；飛行選擇特別天氣報告以 SPECI 起始。這兩類的氣象電報格式完全相同，差別僅在於前者係定時發報，後者則在有特殊天氣變化時發報。報文內容則包括測站名稱組、觀測時刻組、風向風速組、能見度組、跑道視程組、現在天氣組、綜觀現在天氣組、雲組、溫度露點組、高度表撥定值組、低空風切與過去天氣現象組、天氣轉變組等數個組別。

由於氣象電報格式複雜，本研究依據研究需要僅擷取報文中之測站名稱、平均風向、平均風速、能見度及雲幕高度等資料，即可預測機場之起降供給狀況。茲舉一例說明如下：

<u>METAR</u>	<u>RCKH</u>	261130Z	<u>24006KT</u>	9999	FEW013	<u>SCT025</u>
報文種類	測站名稱		風向風速	能見度		雲量雲高

BKN060 27/20 Q1 006(A2971) NOSIG(I) =  
雲量雲高

1. 測站名稱以國際民航組織 (ICAO) 訂定之國際航用地名編報。
  2. 風向風速組之前三碼為風向，後兩碼為風速，KT 指風速單位以海裡表示。
  3. 能見度以公尺為單位，9999 表示能見度超過十公里。
  4. 雲量按照疏雲 (1/8 ~ 4/8)、裂雲 (5/8 ~ 7/8) 或密雲 (8/8) 分別以三個字母之簡字 SCT、BKN 或 OVC 表示之。其後以三碼表示雲高，單位為百呎。雲組可重複編報不同之雲層，除非有顯著性對流雲—積雨雲 (CB) 或塔狀積雲 (TCU)，否則不超過三組。詳細準則如下：
    - 第一組：最低之個別雲層，可編報為 SCT、BKN 或 OVC。
    - 第二組：次高之個別雲層，其雲量須超過 2/8 才予以編報，可編報為 SCT、BKN 或 OVC。
    - 第三組：更高之個別雲層，其雲量須超過 4/8 才予以編報，僅能編報為 BKN 或 OVC。
- 附加組：觀測到顯著性對流雲，且其尚未編報於上述任一雲組內時。

本研究所採用之「雲幕高度」資料係以報文中所出現最低層 BKN 雲之高度為準。飛行定時天氣報告與飛行選擇特別天氣報告之解譯流程見圖 3。

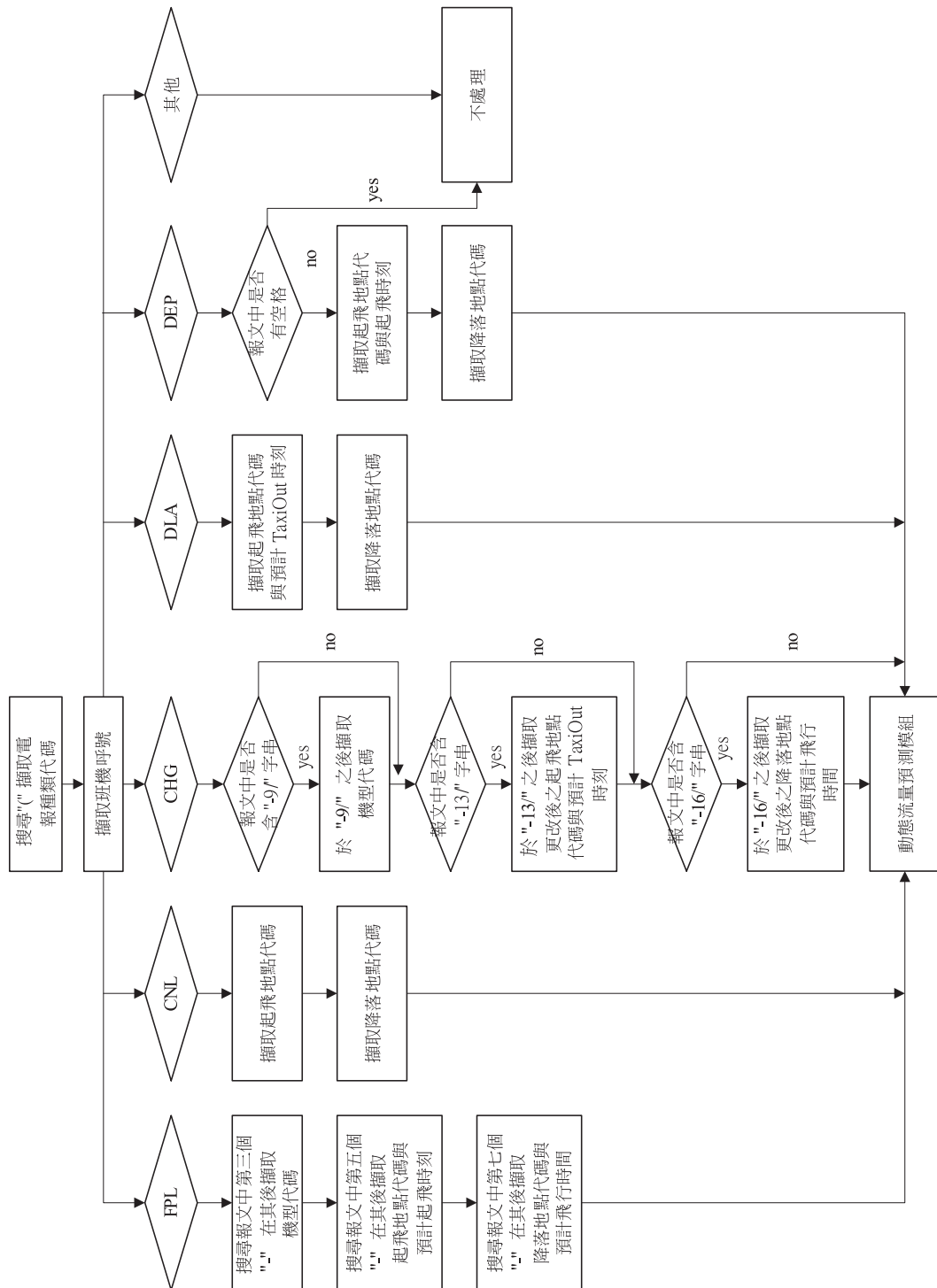


圖 2 民航電報解讀處理流程

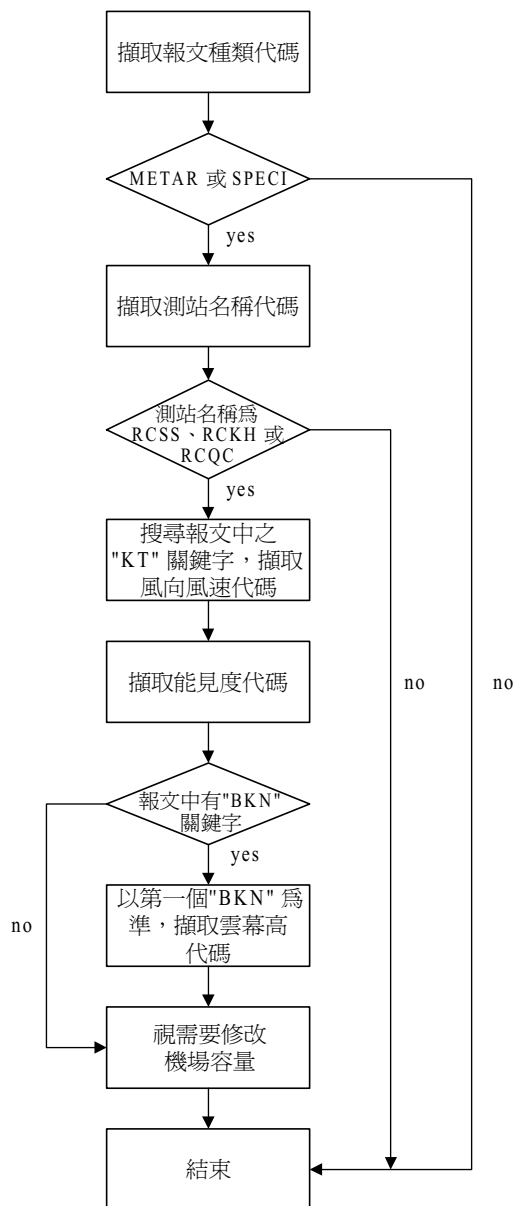


圖 3 飛行定時天氣報告與飛行選擇特別天氣報告之解譯流程

## 2. 動態流量預測模組

動態流量預測模組之流程如圖 4 所示，並說明如下：

- (1) 由電報碼所擷取之飛航計畫、起飛航報、修改航報、取消航報與延遲航報等，將靜態飛航資料庫予以更新。
- (2) 得知班機資訊：包括班機呼號、使用機型、起飛時間、起迄機場等。

- (3) 飛行時間之決定：依機型、航線之分類，由飛行時間資料庫得知此班機之飛至各管制點與目的地機場之預計飛行時間。
- (4) 預測抵達時間：若班機之起飛時間變更，則將更新後之起飛時間，加上該班機預計飛行時間，即可推算其抵達各管制點及目的地機場之時間，並將資訊存於動態飛航資料庫中。
- (5) 計算預計起降架次：由更正後之資料，推算 15 分鐘、30 分鐘…時段內，在欲觀察之管制點及機場的預計起降航機架次。

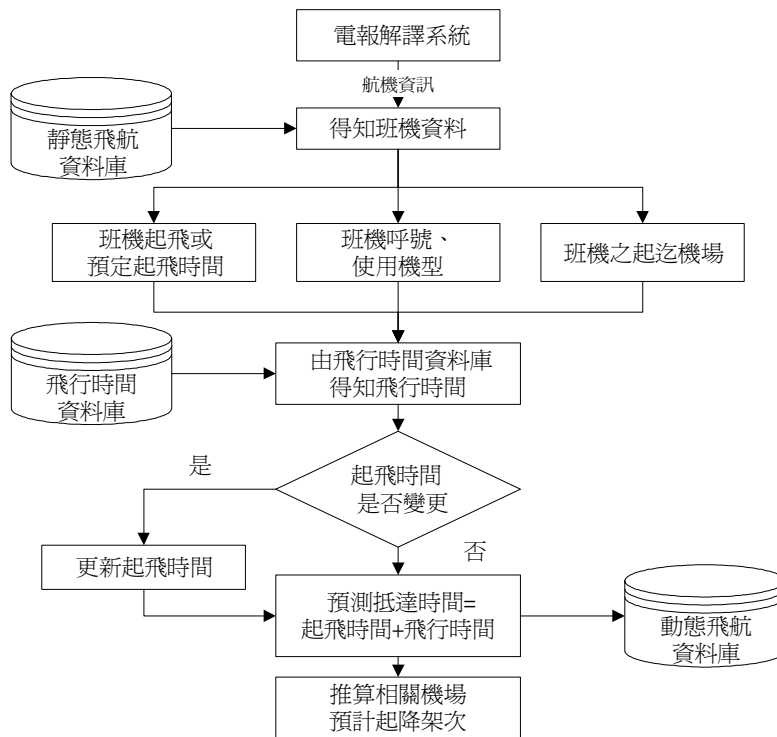


圖 4 動態流量預測模組流程

### 3. 機場容量預測模組

不同的天候狀況將導致使用不同的跑道與容量，這些天候因素中包括風向、風速、能見度與雲幕高等，本研究之機場容量資料庫即記錄跑道的使用方向、容量與其相對應之天候條件資料，而機場容量預測之流程則如圖 5 所示，並說明如下：

- (1) 由電報線讀取相關之氣象資料，如風向、風速、能見度與雲幕高等。
- (2) 根據所得之氣象資料，決定所使用之跑道，進而決定其容量。雖然由氣象狀況資料可以預測未來所使用之跑道與容量，然而在實務上，跑道轉換的確切時間係由管制員決定，為增加此一流量管制系統之準確性，建議由塔台透過電話或其他方式，告



知跑道轉換之確切時間，並以人工輸入。

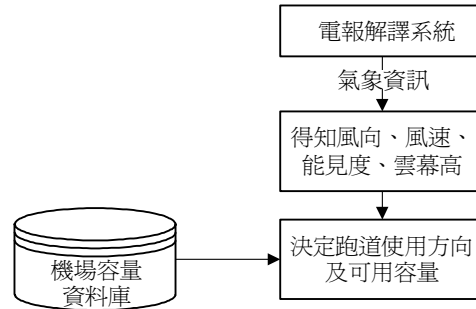


圖 5 機場容量預測模組流程

#### 4. 相關機場之離場班機時間間隔

本研究將依據機場容量及需求之相對關係，以地面等候策略之理論為基礎，彈性推算出台灣地區相關機場之離場班機時間間隔，使航管單位作為實施流量管制作業之參考。以下針對符號定義、處理原則、以及相關機場之離場班機時間間隔之流程加以說明。

##### (1) 符號定義

- $D_{at}^k$  : 預計在  $t$  時段由  $k$  機場離場且已起飛之班機架數；
- $D_{pt}^k$  : 預計在  $t$  時段由  $k$  機場離場仍未起飛之班機架數；
- $A_{at}^k$  : 預計在  $t$  時段降落於  $k$  機場且已起飛之班機架數；
- $A_{pt}^k$  : 預計在  $t$  時段降落於  $k$  機場仍未起飛之班機架數；
- $C_t^k$  :  $t$  時段  $k$  機場之起降容量；
- $TD_N^k$  :  $N$  時段起  $k$  機場之航機等候線消散時間；
- $Q_t^k$  :  $t$  時段  $k$  機場之等候線長度；
- $L_N^k$  :  $N$  時段起消散時間內  $k$  機場之最長等候線長度；
- $T_N^k$  :  $N$  時段起消散時間內起降於  $k$  機場航機之總等候時間；
- $\bar{T}_N^k$  :  $N$  時段起消散時間內起降於  $k$  機場航機之平均等候時間；
- $I$  : 各時段之長度，例如 15 分鐘。

##### (2) 處理原則

使負效用最小化為原則安排離場班機時間間隔，並考慮離到場航機與機場狀況間之調配，發展出一演算法以建議流量管制實施之時機。本模組所界定之事件如下說明：

##### a. 壅塞情況發生

當機場之起降需求量大於機場容量，表示機場已發生擁擠之情形，則必須以地面等候或其他策略加以處理。式(1)表示  $t$  時段  $k$  機場之已起降以及預計起降之總架次大於其容量，因此表示將有壅塞發生。

$$D_{at}^k + D_{pt}^k + A_{at}^k + A_{pt}^k > C_t^k \quad (1)$$

b. 等候線長度  $Q_t^k$

機場於擁擠時段，未能於該時段起降，而需留待下一時段處理之航機總數。式(2)表示若有壅塞發生，已起降以及預計起降之總架次與容量的差值，即為等候線長度。

$$Q_t^k = \max(D_{at}^K + D_{pt}^K + A_{at}^K + A_{pt}^K - C_t^K, 0) \quad (2)$$

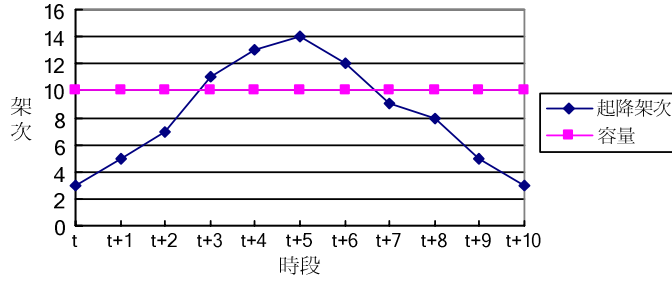
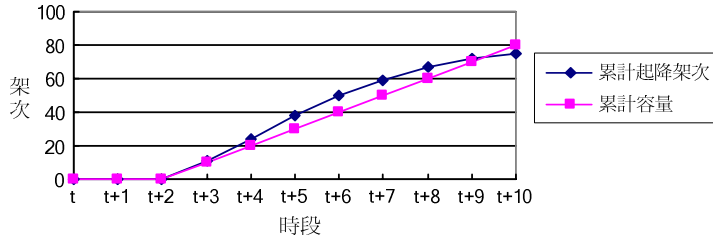
c. 壅塞情形之消散時間  $TD_N^k$

機場發生擁擠，因限於機場之起降容量限制，則有班機必須延誤起飛或降落之時間，當所有受延滯班機均疏解完畢，其所花用之時間訂為消散時間。假設  $k$  機場由  $t$  時段至  $t+10$  時段之預計架次分布如表 5 所示，並繪圖如圖 6。由表 5 可知， $k$  機場將於  $t+3$  時段開始產生壅塞，此時段之等候線長度為 1 架次，表示有一架班機至少必須等到  $t+4$  時段才能運作，且由  $t+3$  時段起至  $t+7$  時段，連續四個時段之預計起降架次皆超過容量，而壅塞情形之消散時間，可由壅塞時段起，將其後各時段之起降架次與容量分別加以累計之，如圖 7 所示。

表 5  $k$  機場由  $t$  時段至  $t+10$  時段之預計架次分布表

時段	起降架次	容量	累計起降架次	累計容量	等候線長度
$t$	3	10			
$t+1$	5	10			
$t+2$	7	10			
$t+3$	11	10	11	10	1
$t+4$	13	10	24	20	4
$t+5$	14	10	38	30	8
$t+6$	12	10	50	40	10
$t+7$	9	10	59	50	9
$t+8$	8	10	67	60	7
$t+9$	5	10	72	70	2
$t+10$	3	10	75	80	0

由  $t+3$  時段開始，即有航機必須延後起降，而  $t+4$  時段原本即預計有 13 架次，再加上前一時段無法處理的航機，表示  $t+4$  時段需處理 14 架次，而容量為 10 架次的情形下，因此將有 4 架次必須延後，以此類推， $k$  機場必須等到  $t+10$  時段才能將所有受延滯的航機處理完畢，因此其消散時間共 7 個時段。


 圖 6  $k$  機場由  $t$  時段至  $t+10$  時段之預計架次分布

 圖 7  $k$  機場由  $t+3$  時段至  $t+10$  時段之累計預計架次分布

消散時間可以式(3)表示之，其中  $N$  表示壅塞開始之時段，而由  $N$  時段起，累積起降架次於  $N+TD_N^k$  時段恰小於累積容量，則消散時間為  $TD_N^k$  個時段。而自壅塞開始時段  $N$  至消散時間  $TD_N^k$  結束前，皆為擁擠時段。

$$\sum_{t=N}^{N+TD_N^k} A_{at}^k + A_{pt}^k + D_{at}^k + D_{pt}^k \leq \sum_{t=N}^{N+TD_N^k} C_t^k \quad (3)$$

#### d. 最長等候線 $L_N^k$

表示在擁擠時段中必須延滯起飛或降落時間班機總數最長者。式(4)中之  $m$  為由壅塞開始時段  $N$  起，其後之時段，因此式(4)即為比較由壅塞開始  $N$  至壅塞結束  $N+TD_N^k$  各時段之等候線長度，其中等候線長度最大者即為最長等候線。

$$L_N^k = \max_m \left[ \sum_{t=N}^{N+m} (A_{at}^k + A_{pt}^k + D_{at}^k + D_{pt}^k - C_t^k) \right] \quad m = 1, 2, \dots, TD_N^k \quad (4)$$

#### e. 總等候時間 $T_N^k$

表示在擁擠時段中，必須延滯起飛或降落時間班機延滯時間之加總。

$$T_N^k = \sum_{t=N}^{N+TD_N^k} (A_{at}^k + A_{pt}^k + D_{at}^k + D_{pt}^k - C_t^k) \times I \quad (5)$$

f. 平均等候時間  $\bar{T}_N^k$

表示在擁擠時段中，每架必須延滯起飛或降落時間班機之平均延滯時間。

$$\bar{T}_N^k = T_N^k \div \sum_{t=N}^{N+TD_N^k} (A_{at}^k + A_{pt}^k + D_{at}^k + D_{pt}^k) \quad (6)$$

g. 負效用最小化

當機場產生壅塞，即產生等候線，而等候線越長，航機等候之時間亦隨之增加，因此班機即可能發生誤點，增加旅客不便。此外，班機的延誤，往往增加航機在空中等待之機率，一方面增加管制員負荷，一方面由於額外油料耗損，增加航空公司成本，甚至影響飛航安全。如上所述，機場產生壅塞之負效用為造成班機誤點、增加旅客不便、增加管制員負荷、增加航空公司成本、影響飛行安全等，而等候線越長，所導致的負效用越大，因此本研究在進行相關機場之離場班機時間間隔計算時，以等候線長度為主要考量。

(3) 相關機場之離場班機時間間隔模組流程

首先得知各機場於各時段之容量與預計起降架次，搜尋各機場起降需求大於機場容量之時段，分別計算超額需求時段之消散時間及等候線長度，當某一時段之需求大於容量時，則該時段將以紅色顯示，倘若壅塞之情形達連續 3 個時段以上，則啟動超額需求警示模組。此處以連續 3 個時段做為啟動超額需求警示模組之門檻值，此乃考量若壅塞在 2 個時段 (30 分鐘) 內即可疏解完畢，此時多數之航機僅有一個時段的延滯，表示壅塞之情形並不是十分嚴重，因此無須進行管制；若壅塞已達 3 個時段 (45 分鐘) 以上，部分航機可能需進行較長之等候，因此本研究在此情況之下，乃進行進一步之管制。為增加系統之彈性，此一啟動警示之門檻值可於人機介面模組進行設定，使用者可依需要加以變更。

當超額需求警示模組啟動後，此時於人機介面之畫面上，該機場會以紅色顯示。此時本系統亦將計算相關機場之離場班機時間間隔以供參考，其計算方式首先係針對擁擠時段內尚未起飛之航機，依序計算每一航機若延後一時段起飛所導致之負效用，而後選擇負效用最小之航機予以延後一個時段，此所謂之負效用最小之航機，為延後一個時段後，對其起飛機場及降落機場之等候線長度增加幅度最小者。若所有尚未起飛之航機皆予以延後一個時段而需求仍大於容量時，則以起飛之航機依先到先服務之原則予以落地優先權，其餘航機則以空中等候方式予以延後一個時段，並重複此步驟，直至各時段各機場之需求均在容量限制之下。將所得需延後起飛時間之班機資料更新，並依此資料計算相關機場離場時間間隔，離場班機時間間隔模組流程見圖 8。

本系統亦將模擬依據所建議之離場時間間隔進行管制後各時段之預計離到場架次供管制員參考，管制員若對建議方式不滿意，可自行輸入所欲施行之管制方式，本系統亦將

模擬其結果以供參考。此一功能可減輕管制員評估管制方式成效之負擔，協助管制員迅速的決定一適當之管制方式。

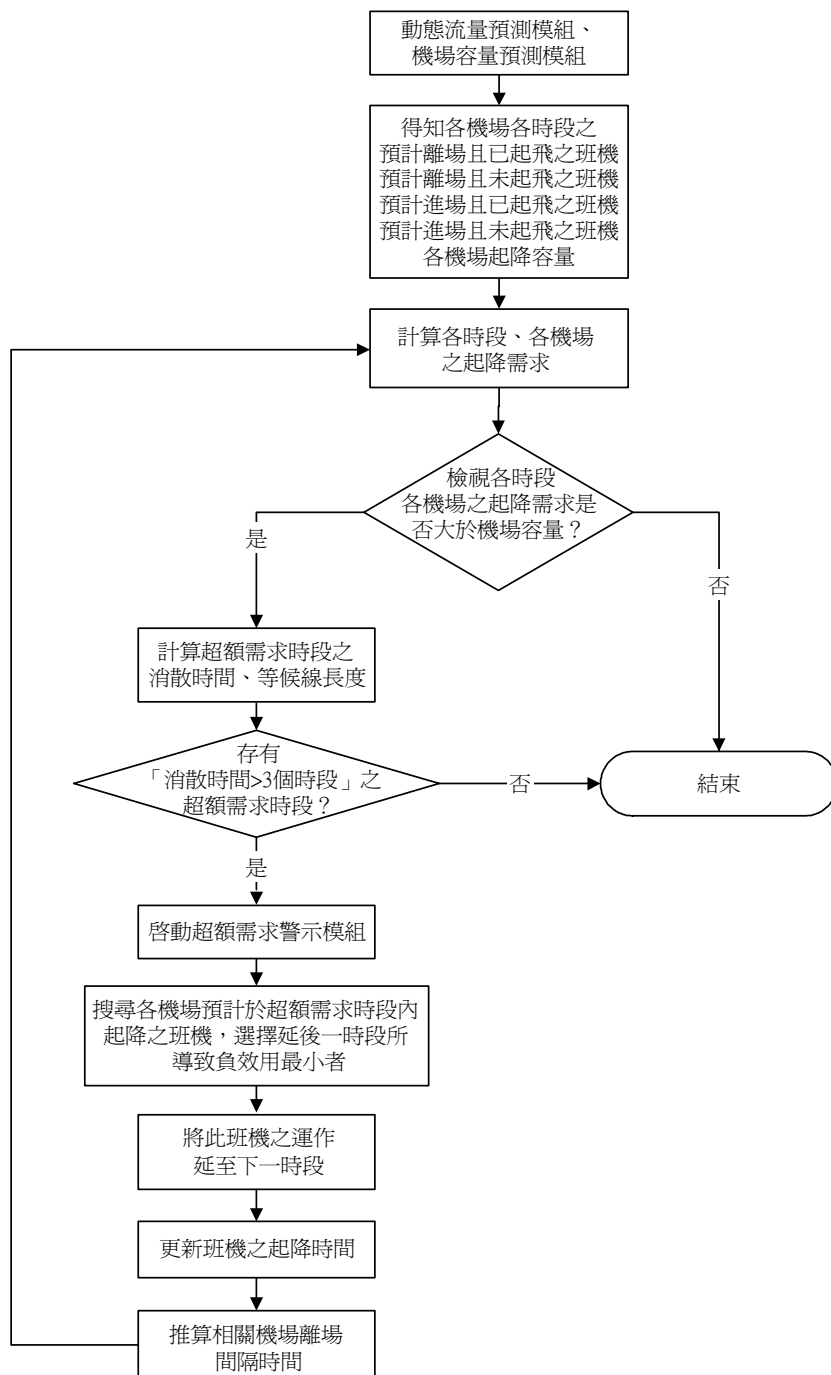


圖 8 離場班機時間間隔模組流程圖

## 5. 人機介面控制模組

本研究應用 VISUAL C++ 程式語言發展此一人機介面模組，模組之主要功能如下：

- (1) 顯示重要機場與管制點之流量預測：建立台北松山、高雄、馬公等三機場之流量預測分析顯示系統，預先顯示此三機場未來二小時之航機離到場架次，並配合氣象資料，隨時更新機場可使用容量資訊，以提供管制員實施流量管制之客觀參考依據。基於國內飛航管制作業特性，後龍、西港、馬公、大林、TINHO 等各管制點之飛行量攸關流量管制之方式，故而本研究將一併預測此五管制點之飛行量，以供流量管制作業參考。
- (2) 參數設定：包括更換監督視窗、基本容量設定、使用者介面（設定音效、顯示之效果）、控制參數（壅塞時段門檻值、起飛時間、氣象等參數）、修改動態容量等功能，可依使用者之需要逐項修改上述參數。

圖 9 中 RCSS、RCKH 等為各機場之代碼，按下按鈕便會顯示此機場於某時段內班機起降情形，並可依尚未起飛或已起飛之分類，以不同顏色顯示班機為何種狀態，包括：尚未起飛之進場班機（黃色）、已起飛之進場班機（紅色）、已起飛之離場班機（淺藍色）以及尚未起飛之離場班機（藍色）等四類。並且可以看到一水平線，此線為此機場在此時段內之起降容量。起降架次超出此線表示需求超出容量，此時該時間長條圖下方所顯示該一時段之起始時間將以紅色顯示，當需求超過容量且於連續 3 時段內無法消散完畢，則此機場之按鈕將以紅色顯示，用以警告。

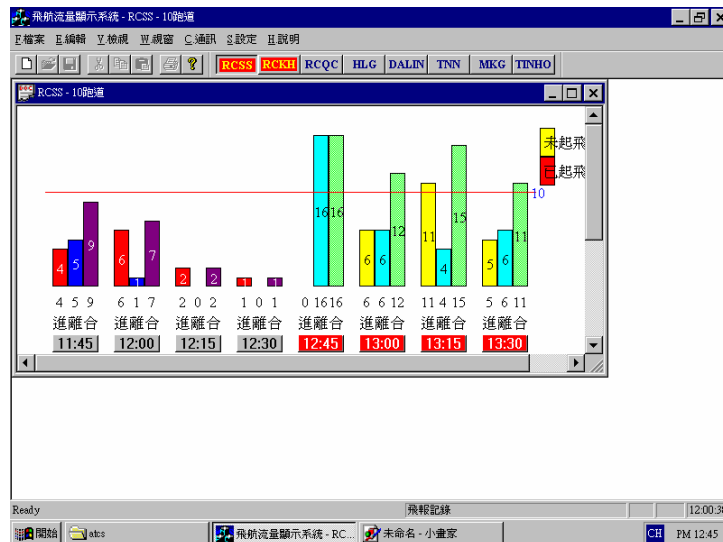


圖 9 松山機場 (RCSS) 每 15 分鐘之起降情形



AID	起點	迄點	機型	離場	進場	事件	時間	延遲
TNA561	RCSS	RCKH	EA32	12:45	13:13	離場	12:45	0
TNA560	RCKH	RCSS	EA32	12:20	12:46	進場	12:46	10
FEA120	RCKH	RCSS	B757	12:20	12:47	進場	12:47	10
ULA892	RCBS	RCSS	MD90	12:15	12:48	進場	12:48	0
FAL265	RCSS	RCKH	FK10	12:50	13:21	離場	12:50	0
CAL264	RCKH	RCSS	B73F	12:25	12:53	進場	12:53	10
ULA381	RCSS	RCBS	MD80	12:55	13:18	離場	12:55	0
GCA9555	RCSS	RCKU	BA46	12:55	13:07	離場	12:55	0
FEA123	RCSS	RCKH	B757	12:55	13:23	離場	12:55	0
GCA9554	RCKU	RCSS	DH8	12:30	12:57	進場	12:57	0

圖 10 於 12：45 時段內欲起降之航機資料

若按下每個時間長條圖下顯示每一時段起始時間之按鈕時，會出現此時段內起降班機之資料，包括起飛機場、落地機場、機型、預計起飛或降落之時間。圖 10 是按下『12：45』所產生之視窗。若有特殊事件發生，例如班機將延後起飛或將進行流量管制等，而使原訂班表發生變化，可在圖 10 之視窗內欲做變更之欄位處進行編輯。

當有機場發生壅塞情形時，除了於顯示畫面上機場名稱會以紅色顯示之外，尚可選擇功能表中之「管制」項目，此項目下有人工控制與自動控制兩個選擇，當選擇人工控制時，可選擇發生壅塞機場之控制時段、每分鐘起降架次，亦可直接套用本研究所計算之建議值。而管制下的各機場流量變化，可按下「模擬」鍵，本系統則依據所輸入之控制時段長度、每分鐘起降架次數等資訊，將班機起降之時間重新調整，鍵入機場名稱後於畫面上可顯示出未來各時段在受管制下之情形，如圖 11。此外，此一功能為模擬未來時段於管制下之情形，並不為未來時段之實際起降情形。

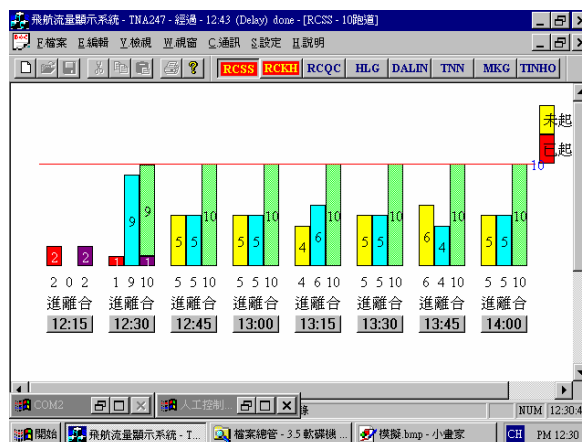


圖 11 模擬未來各時段受管制之起降情形

## 四、系統測試結果分析

本系統為避免於測試過程中，對實際管制作業造成影響，並考量使實驗之測試結果具有重現性，以方便進行各種不同測試項目及結果之深入分析，因此本研究係利用由台北區域管制中心實際錄回之電報資料（民國八十六年八月八日與九月十四日），而後本研究利用另一部電腦模擬電報資料之傳送，以進行系統測試。以下將就此二次內部測試結果於本章後續兩小節予以詳述之。

### 4.1 測試結果一（民國 86 年 8 月 8 日之資料）

利用民國 86 年 8 月 8 日之電報資料與管制條進行分析，分析項目包括檢視電報之格式、電報與管制條資料比對、松山機場容量與實際起降架次比對等，由測試結果發現以下問題：

#### 4.1.1 電報輸入資料不確實或錯誤

電報輸入之資料是否確實與正確，攸關系統運作績效甚大，假若輸入資料與實際狀況不吻合，將會導致系統無法即時反映實際狀況，而於測試過程中發現電報報文中會有不確實與錯誤之資料，故本研究將電報不確實與錯誤之電報輸入資料均概分成三類，並詳述如下：

##### 1. 電報不確實之輸入

若電報輸入資料與實際狀況不符合，將導致系統無法有效反映現況，以下將電報不確實之輸入概分成三類並加以詳述之：

- (1) 第一類：航機確實已起飛，卻未發起飛航報 (DEP) 報文。
- (2) 第二類：於長期班表中排定航機起飛，然而，實際上卻無任何起降資料，亦未發取消航報 (CNL) 報文。
- (3) 第三類：當日測試時段實際起飛時間與預定起飛時間差超過六十分鐘，卻未發延誤航報 (DLA) 報文。

經整理後，此方面之測試結果如表 6 所示。其中若接收 RDP 資料，可避免第一類之錯誤，然而第二類與第三類之不確實資訊，並無法由 RDP 中取得。RDP 為航機行經雷達所記錄之資料，因此航機確實已起飛，在 RDP 中必定有紀錄，對於未起飛之航機，無法由 RDP 中獲得資訊。因此電報資料雖有不確實之情形，然比較與接收 RDP 之情形，其誤差僅有 2.10%，因此電報仍具相當的可信度。



表 6 不確實電報輸入資料測試結果

資料類型 \ 測試結果		數量	比率
確實資料		242	84.62%
不確實資料	第一類	6	2.10%
	第二類	24	8.39%
	第三類	14	4.90%

## 2. 錯誤之電報輸入

由於本系統需接收民航電報，故發展一電報解讀模組，所參照之電報格式為 ICAO 之標準格式。但由所擷取之電報資料中發現有些報文並不依 ICAO 之規格輸入，本研究所發展之電報解讀模組雖亦致力於發展除錯解讀邏輯，然由於錯誤方式眾多，類型不一，電報解讀模組無法完全涵蓋於內，以下依本系統處理之方式將此類輸入錯誤概分為三類：

- (1) 第 A 類：系統可處理之電報。
- (2) 第 B 類：系統可利用程式自動刪除。
- (3) 第 C 類：系統無法處理之電報 (可能含有重要資訊)。

經整理後，此方面之測試結果詳述如下：

### (1) 可處理之電報

- a. 將多種資訊於同一電報發出，例如：

BZD227 260717  
 FF RCTPZRZX  
 260716 RCKHZTZ  
 (DEP-TNA228-RCKH0709-RCQC)  
 (DEP-FEA1063-RCKH0713-RCBS)

- b. 依 ICAO 規定電報種類代碼欄為應由 3 個字元所組成，故 VFRFPL 僅需鍵入 FPL 即可。

(VFRFPL-FAL7316-VS  
 -DO82/L-SD/C  
 -RCGI0950  
 -N0180VFR C14  
 -RCFN0010 RCYU  
 -REG/B12252 RMK/RCGI RCFN)

### (2) 程式自動刪除

- a. 機場代碼應由四個字母組成，當僅鍵入兩個字母時系統將無法辨識，例如：

(DEP AP016 QC/KH 0648)

- b. 未含完整之電報資料，則程式將這些電報視為錯誤而予以刪除。報文是由數種不同的欄位所組成，每個欄位由‘-’符號分隔，而通常此類資料欄位間不以‘-’符號分隔。

(DEP-FAL722-RFCLG E E E

DEP BH1903 AY-SS CR-71 0831Z

- c. 無法處理之電報 (可能含有重要資訊)

(CHG-TAC679-B11152-RCFN0710-18 REG/B11118-RCGI)

(CNL-FAL768/FAL7818/FAL7822)

(QTAFPL-CR71-I

-BE02/M-SD/C

-RCAY0820

-N01 QTA QTA)

#### 4.1.2 結果整合分析

本節利用松山機場 8 月 8 日 10:50 至 15:50 之氣象電報資料求得之機場容量與當時之管制條資料加以比對，發現實際起降架次低於容量，如表 7 所示。

表 7 松山機場容量與實際起降架次之比較

時間	使用跑道	容量	實際起降架次	班表預計起降架次
11:00	28	40	27	36
12:00	28	40	35	36
13:00	28	40	29	35
14:00	28	40	26	41
15:00	28	40	27	37

經整理後，實際起降架次低於容量之可能原因詳述如下：

1. 航班延滯使實際起降架次與預計起降架次之型態不一致

由實際起飛時間與班表預計起飛時間比較，發現實際起飛時間通常較班表之時間為晚，並幾已呈常態，因此造成實際起降架次與預計起降架次之型態並不一致。故本研究將馬公機場起飛航機之起飛時間由班表預計起飛時間加 10 分鐘，台北松山機場與高雄小港機場則加 15 分鐘。

2. 班機延誤時間於一小時內航空公司並不需發延遲航報，因此將造成預測的不準，其最大誤差為 59 分鐘。

### 3. 天氣預報的限制

在機場容量方面，因天氣預報為 30 分鐘定時更新，然其中並未提供長時間之氣象預測資訊，也並未說明此 30 分鐘定時更新之天氣預報資料適用時間，在資訊不足之情況下，本系統在未接收到新的氣象資料時，假設在 30 分鐘內之氣象依天氣預報資料設定機場容量，30 分鐘之後的氣象狀況則使用系統內定之正常天候，因此，當天氣變化多端時，即可能產生誤差。

### 4. 機場容量資料庫之準確性

實際起降架次低於容量之結果，可能為實際起降之需求即是如此，或為機場實際可供使用之容量不足 40，故有必要檢討機場容量資料庫準確性，亦即容量 (capacity) 與產量 (throughput) 之間之關係。

## 4.2 測試結果二 (民國 86 年 9 月 14 日之資料)

### 4.2.1 系統測試項目

此次測試之項目包括：

1. 電報是否依照航管系統規定之格式輸入資料。
2. 測試流量管制系統是否依照系統原先之設計邏輯運作。
3. 系統於不同時點預測同一時段之預測起降架次需求是否穩定。

### 4.2.2 測試流程

由上述所蒐集之各項資料，進行系統模擬測試，詳述如下：

#### 1. 更新靜態班表

由於長期班表每月更新兩次，為符合實際運作情況，系統於重新啟動時必須更新靜態資料庫，以防止系統一開始之內部資料錯誤。

#### 2. 錄製測試資料

將台北區域管制中心所錄製電報資料，送入傳訊之電腦中。

#### 3. 輸入與輸出電腦連線

將 RT 線一端連接裝置有流量管制系統之電腦，另一端則連接電傳之電腦。

#### 4. 輸入與輸出系統時間對時

為實際模擬系統之運作，即電報資料為其發報之時間逐一傳送入流量管制系統，故必須使裝置有流量管制系統之電腦時間與電傳電腦之系統時間一致。

#### 5. 資料傳送

當上述步驟一一完成後，即可進行測試。

### 4.2.3 結果整合分析

利用電腦模擬資料之傳送並依據上述流程進行測試，並將其結果分述如下。

#### 1. 電報輸入資料不確實或錯誤

##### (1) 電報不確實之輸入

依照 4.1.1 節中對於電報不確實之輸入經整理後之分類，此方面之測試結果如表 8 所示。由於本系統之模式邏輯為當航機於預定起飛時間尚未收到起飛航報時，系統便自行將預定起飛時間延後十分鐘，並偵測延滯是否超過九十分鐘，假若此架航機延滯超過九十分鐘仍未收到起飛航報時，系統方才自動刪除此架航機，故此法將會導致每架不確實輸入電報之航機於系統中保留多達六個時段（本研究採用十五分鐘為一時段）。本研究將此三類不確實之電報報文所造成系統預測能力之影響整理如表 9 所示，可知因輸入不確實所造成系統於運作時共高估 58 航機・時段，如此將導致於所有測試時段（四小時：16 個時段）中平均每一時段高估 3.6 架航機。由於一時段之容量最多 10 個起降，因此，不確定的電報將造成系統相當大的誤差。

有鑑於此，本研究乃針對實際運作狀況進行資料分析，發現大多數之飛機於實際運作過程中至多延遲 30 分鐘起飛，故於後續之系統測試時，本研究採用之改善方法係將原本內定之延滯容忍限度由九十分鐘改為六十分鐘，如此將可減少因電報報文輸入之缺失所影響系統之準確性與穩定性。

表 8 不確實電報輸入資料測試結果

不確實資料類型 \ 測試結果	數量 (架)	缺失資料 (AID)
第一類	6	1. CAL257 2. FAL259 3. TNA013 4. FEA115 5. FEA055 6. FAL265
第二類	1	1. TNA201
第三類	3	1. FEA183 2. GCA9483 3. TNA559

##### (2) 錯誤之電報輸入

於此次測試中所擷取之電報資料中發現共有 11 個電報報文並非依 ICAO 之規格，均屬於第二類，可利用程式之修正即可處理之電報格式。

表 9 不確實電報輸入資料之影響

不確實資料類型 \ 測試結果	增加系統高估航機・時段數 (架・時段)
第一類	36 (6×6)
第二類	6 (1×6)
第三類	FEA183 : 4 GCA9483 : 8 TNA559 : 4
總 計	58

## 2. 長期班表輸入資料錯誤

此種錯誤多為航機之起迄點為同一機場，而於航路經過點資料中之起迄點卻為不同機場，因此判斷可能為資料錯誤，表 10 即為此種輸入錯誤之一範例。

表 10 長期班表輸入資料錯誤範例表

項目 \ 班機呼號	起點	迄點	經過點
FAL737	RCLG	RCLG	RCSS・W4・RCL
FAL7456	RCYU	RCYU	RCLG・W4・HLG

由於此種錯誤將導致系統搜尋飛行時間時，無法於飛行時間資料庫中找到同一起迄點之飛行時間，因此，本研究於進行長期班表之分析整理時，亦增加核對此種錯誤之功能，並提出警示，使航管單位及早發現並予以修正。

## 3. 班機實際運作延誤之影響

由於航管作業中之航機運作程序，若延誤十五分鐘視為正常，而此延誤情形將導致於測試結果中直接影響到系統之穩定性，故為增加系統運作之效率，本研究於測試結果分析與評估後，隨即進行輸入資料分析，發現班機預定起飛時間與實際起飛時間有一差距存在，松山機場大多數離場航機其實際起飛時間與長期班表之預定起飛時間相差十五分鐘，而高雄及馬公則相差十分鐘，加上實際航管系統運作時，航機延誤十五分鐘之內視為正常，故本研究考量於後續之系統測試時，修正原本長期班表之表定時間。本系統採用之修正方法為，若起飛機場為松山機場，將其長期班表之預定起飛時間增加十五分鐘，而高雄及馬公則增加十分鐘，其他機場則不改變原始資料。

### 4.3 電報資料正確下之預估起降架次

本研究以民國 89 年 8 月 24 日之 SAR Tape 分析航機各時段之實際起降架次，並假設電報輸入皆正確無誤，包括起飛航報於起飛時準時發送，修改航報與取消航報皆能在航機起飛前取得，以及延遲航報之延遲時間能夠準確預估。因此在起飛時間能正確掌握的情況下，各時段之預估起飛架次與實際起飛架次可視為相同，另由預估起飛時間加上飛行時間，則可預估其降落時間。

以松山機場為例，其每 15 分鐘之實際起降架次與預計起降架次相當接近，如圖 12 所示。由於航機在飛行途中仍有許多不確定性因素影響其飛行速度與飛行時間，事實上即使是同機型之航機，其性能未必完全相同，且依駕駛員操作的習慣，亦可能造成些微的差異，此亦造成實際起降架次與預估起降架次之差異。

由上述之分析可知，當電報輸入正確時，預估流量與實際流量相當接近，因此人機介面模組可顯示正確之離到場航機資訊，且離場班機時間間隔模組亦能提供良好之建議。事實上，電報輸入資料不確實之現象為現有系統設施與作業程序之限制，圖 12 之結果為一理想狀況，現階段之系統不易達成。對於電報輸入資料不確實之現象非本研究所能克服，因此本研究建議必要時針對其特性，調整離場時間間隔演算法及其輸出格式。

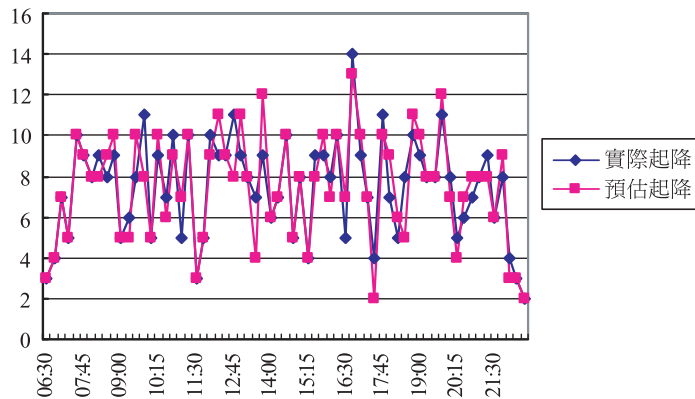


圖 12 松山機場每 15 分鐘實際起降架次與預估起降架次圖

### 4.4 小結

測試之結果可歸納以下幾點：

電報輸入資料不確實或錯誤：電報輸入之資料是否確實與正確，攸關系統運作績效甚大，由測試結果發現航空公司有時並不依照規定發電報文，這種狀況包括航機已起飛，卻未發起飛報、航機已取消卻未發取消報以及航機延誤超過六十分鐘，卻未發延誤報。此外，

航空公司所發電報文中亦有不遵照規定格式填寫，造成流量管制系統無法處理之情形。雖然現階段遭遇輸入資料不確實或錯誤之困擾，然由於流量管制乃潮流趨勢，因此建議一方面積極呼籲並要求航空公司配合，一方面發展一電報輸入軟體，以提高航空公司輸入資料之正確性。

容量與產量之關係確認：現階段所使用之容量資料係諮詢民航局而得，然實際上，實際起降架次卻未必與容量一致，因此有必要加以澄清，並檢討機場容量資料庫之準確性。

未來天氣預報資料不足，僅提供未來 30 分鐘之氣象資訊，缺乏長期（至少未來兩小時）之氣象預測資料。

長期班表輸入錯誤：此種錯誤主要是起迄點為同一機場，為避免因此種錯誤導致系統無法運作，本研究於進行長期班表分析整理時，將主動偵測此種錯誤，並將之顯示以提醒管制單位及早處理。

班機實際運作延誤現象之影響：經由實驗中發現班機預定起飛時間與實際起飛時間有一差距存在，加上實際航管系統運作時，航機延誤十五分鐘之內視為正常，故本研究將馬公機場起飛航機之起飛時間由班表預計起飛時間加 10 分鐘，台北松山機場與高雄小港機場則加 15 分鐘，使系統運作時可以符合實際運作狀態。

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

1. 良好的流量管理系統將有以下效益：

- (1) 減輕航管人員之工作負荷：可提供航管人員未來預計之流量與機場容量，可得知未來時段可能產生的問題，並提供建議策略，可供航管人員及早準備、調整休息時間、調派人手或實施流量管理，可減輕其精神壓力與工作負荷。
- (2) 提供實施流量管理之客觀依據：本研究之即時流量管理系統，乃根據即時資訊，事先對壅塞時段之航機運作提出建議，因此有助於決策過程透明化，建立一實施流量管理之公信力。
- (3) 改善飛航安全：本系統事先對壅塞時段之航機運作提出建議，因此可使空域不致湧入過多航機而產生擁擠，造成航管人員心理壓力。如此可使管制作業在安全、有序的情況下進行。
- (4) 增進效率：有效的流量管理，將可充分運用空域及機場容量，盡可能減少航機等候時間，可增加航機之運轉率，並減少旅客等候成本。
- (5) 降低航空公司營運成本：以地面等候取代部分之空中等候，由於空中等候需消耗額外之燃油，若以地面等候取代空中等候，則可減少燃油消耗，降低營運成本。

## 2. 本研究已建構一流量管制系統雛形

此流量管制系統雛形包括飛航資料庫、機場容量資料庫、班機飛行時間資料庫、資料解讀系統、動態流量預測模組、相關機場之離場班機時間間隔、以及人機介面控制模組等。可接收與解譯民航電報與氣象資訊，預測未來之流量與容量，當需求高於容量時，此一系統即計算相關機場之離場班機時間間隔以及壅塞結束時間的預測，可作為流量管制作業實施之參考；另以人機介面模組，將台北飛航情報區內重要機場與交管點之流量與容量以圖形及顏色方式顯示。

## 3. 本研究蒐集電報資訊，測試此流量管制系統

本研究利用由台北區域管制中心實際錄回之電報資料，進行系統測試。由測試結果顯示，此系統可接收即時電報資訊，並顯示台灣地區重要機場與交管點未來時段之流量預測情形，並可預先對壅塞時段提出流量管制策略，供管制單位實施流量管制之參考。

## 4. 國內航線航程短，流量管制系統對於航機起飛時間之正確性要求較高

由於台灣地區國內航線航程短，此特性與國外有相當大的不同。在國外之飛航環境下，即使航機在起飛前已產生延誤，然而其航線航程較長，因此可在飛行途中及時修正其預定降落時段，對未來時段流量之估算影響較小，因此較易進行流量管制策略之研擬，對於起飛時間之正確性要求較低。

台灣地區國內航線航程短，航機起飛前之延誤時間占總飛行時間的比率很高，航機起飛後，不易修正起飛前的延誤。例如預計某班次應起飛而實際上卻未起飛，系統將視此班機已起飛，因而將高估未來時段流量；反之，某班次已起飛而卻未知其已起飛，系統因未知此班機已起飛，因而將低估未來時段流量。且因台灣地區國內航線航程短，航機於起飛後短至 30 分鐘，長至 60 分鐘即降落於目的地機場，若高估未來流量，將使航機離場間隔加大，實際流量偏低，致使飛航系統運作無效率，若低估之，則實際流量偏高，航機可能需進行空中等候。因此在航線航程短之運作環境下，對於航機起飛時間之正確性要求較高，此乃未來發展流量管制系統首應克服的課題。

## 5.2 建議

電報輸入之資料是否確實與正確，攸關系統運作績效甚大，由測試結果發現航空公司有時並不依照規定發電報文，這種狀況包括航機已起飛，卻未發起飛報、航機已取消卻未發取消報以及航機延誤超過六十分鐘，卻未發延誤報。此外，航空公司所發電報文中亦有不遵照規定格式填寫，造成流量管制系統無法處理之情形。建議一方面積極呼籲並要求航空公司配合，一方面發展一電報輸入軟體，以提高航空公司輸入資料之正確性。

本研究初步不擬由雷達資料處理系統 (RDP) 擷取航機動態資料，而由飛行計畫、起飛航報、取消航報、修改航報、延遲航報等預測班機到場時間。由系統測試結果發現，電報偶有不確實之情形產生，但與接收 RDP 資料相較之下，其誤差僅有 2% 左右，故電報並非完全準確，然應仍有相當之可信度。若能由 RDP 擷取航機動態資料，並加強民航電



報的正確性，將可使流量預測的精確性大幅提高。然因國內航線航程短，除採用 RDP 資訊外，亦應針對航機起飛時間之正確性進行研究。

由於氣象的變更直接影響到機場起降容量之限制，故確切轉換跑道之時間，有賴於塔台及時通知流量管制人員。

一般而言，班機延誤時間於一小時內並不需發延遲航報，因此將造成預測的不準，此一因素對系統之影響將視其發生頻率與差異而定，倘若其影響程度嚴重，將降低後續所計算之離場時間間隔的可信性。由於此一現象為現有系統設施與作業程序之限制，非本研究所能克服，因此本研究建議必要時針對其特性，調整離場時間間隔演算法及其輸出格式。

由測試結果顯示，若輸入資料正確，本系統之運作效率良好，然而，電報輸入資料偶有不確實或錯誤產生，對於台灣地區航程短之飛行環境而言，將造成相當大之誤差，影響所及甚至無法以輸入資料進行精確的控制。因此未來若欲進行流量管理，如何取得即時且精確之飛航資料，尤其是起飛前之航機資訊，將是一重要課題。因此未來航機離場許可若採資料鏈結方式，或許將可局部改善此一問題。

本研究建議發展一系統模擬模式對相關機場之離場班機時間間隔進行進一步之探討。另可就本研究所建立之流量管制系統進一步發展，以提供航空公司進行實際班機調度及制定班表之用。

## 參考文獻

1. Terrab, M. and A. R. Odoni, "Strategic Flow Management for Air Traffic Control", *Operations Research*, Vol. 41, No. 1, 1993, pp. 139-153.
2. "Air Traffic Flow Management Symposium", *The International Federation of Air Traffic Controllers' Associations*, Fukuoka, Japan, Feb. 1995.
3. 周光燦，「參加日本空中交通流量管理研討會報告書」，*飛航管制季刊*，15 卷，2 期，民國八十四年四月，頁 18-21。
4. Benel, R. A., "Taipei FIR Flow Management System Planning Report Summary", MITRE, March 1996.
5. Odoni, A. R., "Issues in Aircraft Flow Management", *Advanced Technologies for Air Traffic Flow Management*, 1994, pp. 41-63.
6. 周雅蕊，「流量管理之地面等候策略研究」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十五年六月。
7. Vranas, P. B., Bertsimas, D., and Odoni, A. R., "The Multi-Airport Ground-Holding Problem in Air Traffic Control", *Operations Research*, Vol. 42, No. 2, 1994, pp. 249-261.
8. Terrab, M. and Odoni, A. R., "Strategic Flow Management for Air Traffic Control", *Operations Research*, Vol. 41, No. 1, 1993, pp. 139-153.
9. Vranas, P. B., Bertsimas, D. J., and Odoni, A. R., "Dynamic Ground-Holding Policies for a

- Network of Airports”, *Transportation Science*, Vol. 28, No. 4, 1994, pp. 275-290.
10. Bertsimas, D. and Patterson, S. S., “The Air Traffic Flow Management Problem with Enroute Capacities”, *Transportation Science*, Vol. 46, No. 3, 1998, pp. 406-422.
  11. Bertsimas, D. and Patterson, S. S., “The Traffic Flow Management Rerouting Problem in Air Traffic Control: A Dynamic Network Flow Approach”, *Transportation Science*, Vol. 34, No. 3, 2000, pp. 239-255.



# 運輸系統安全檢核與評估作業之研究 ——以台北捷運公司為例<sup>1</sup>

## A SYSTEMATIC APPROACH TO EXPLORE AND EVALUATE THE TRANSPORTATION SAFETY ISSUES— A CASE STUDY OF TAIPEI RAPID TRANSIT CORPORATION

張新立 Hsin-Li Chang<sup>2</sup>

吳晉光 Jinn-Guang Wu<sup>3</sup>

(91 年 10 月 24 日收稿，92 年 3 月 6 日修改，92 年 12 月 31 日定稿)

### 摘 要

隨著運輸科技之迅速發展與民眾運輸需求之日益擴張，運輸系統無論在系統設備、操作環境及組織架構上均較以往複雜許多。如何維持此一龐大系統正常運作並保有一定之安全水準，確實需要一套有效率之系統安全檢核制度，隨時掌握系統之潛在安全問題，並作好事前之防範措施。本研究透過系統安全管理相關文獻之回顧與整理，嘗試為運作中之運輸系統建立一套如何檢核系統安全問題之作業流程，以引導運輸專業人員如何在錯綜複雜之運輸系統中蒐尋潛在之安全問題、評估其風險、分析其發生原因與時機、並研提改善之措施與建議。本研究並且以台北捷運公司為例進行實證之研究，研究結果顯示該公司所面臨之「高風險」系統安全問題計有「民眾臥軌自殺事件被媒體報導出來後，造成其他民眾仿效臥軌自殺」、「月台上乘客過多，發生人潮推擠情形」、「設備

- 
1. 本文之部分內容曾發表於中華民國第八屆運輸安全研討會，經主辦單位同意後改寫轉投。
  2. 國立交通大學運輸科技與管理學系教授（聯絡地址：300 新竹市大學路 1001 號交通大學運輸科技與管理學系；電話：03-5731908；E-mail：hlchang@cc.nctu.edu.tw）。
  3. 國立交通大學運輸科技與管理學系博士班研究生。

採購時間過長，導致短時間內無法維修」及「國內外材料短缺，導致無法進行維修」，值得台北捷運公司重視並加以注意改善。

**關鍵詞：**系統安全；安全管理；焦點團體法；捷運

## ABSTRACT

*With the rapid advances of transportation technology and rapid growth of demand in transportation, our transportation system has grown into a huge and complicated system. An efficient safety monitoring approach is then necessary to keep the transportation system operating with a high level of safety performance. This study aims to develop a systematic approach to explore the safety issues of transportation system and evaluate their corresponding risks individually. The focus group method was first used to collect the preliminary ideas about the safety issues of transportation system, and a questionnaire was then established based on those preliminary ideas to gather the opinions about the occurrence frequency and severity for each safety issue. The risk assessment was finally applied to determine the degree of danger for each safety issue. An empirical study of the Taipei Rapid Transit Corporation (TRTC) was conducted in this research. Some serious safety issues for TRTC are explored and several improvement suggestions are also raised in this study.*

**Key Words:** System safety; Safety management; Focus group method; Mass rapid transit

## 一、前言

科技發展雖為人類帶來福祉，但也給人類帶來許多的潛在傷害風險。現代化運輸系統裝備之設計日趨複雜，投資金額日漸提高，一旦發生事故，對於人員、裝備、及環境等均將造成極為重大之傷害。傳統之運輸安全管理多採「事後補救」之作法，即每當事故發生後，乃立即從事調查，找出事故發生之原因及改正之方法，以防止類似事故之再次發生。這種補救式之消極作法，往往需要付出極大之代價後才能發現安全問題。在「預防勝於治療」之認知下，世界各國對系統安全管理之作業，均已由「事後檢討」逐漸改為「事前防範」。而且隨著時代的演進，運輸業經營者及管理階層均越來越注意安全的重要性，並逐漸體會若能將安全管理理念融入營運中，不但能夠減少事故發生之成本損失，更能提升公司之營運效率、服務品質、及企業形象，對公司之永續經營具有相當正面之功效。

運輸系統之工程技術包含多種專業領域，對於安全之分析與研究，更需要有系統化與整合化之概念，因此「系統安全」概念之引入對運輸安全之研究與分析將有莫大之助益。而系統安全管理之目的即在利用分析、評估、及管理技術，對系統從設計到汰除之各個階段，分別蒐尋可能導致事故災害之危險因子，並嘗試將其風險減至最低，以確保人員無論在操作上、維護作業上，或運輸過程中均能安全無虞。

在抑制私人運具成長之政策目標下，發展大眾運輸已成為交通主管部門積極努力之方向。而台灣幾個都會型都市在發展大眾運輸系統之規劃上，均以軌道運輸為主要發展之方向。目前除已完工通車之台北捷運外，高雄、桃園、新竹、台中、台南等都市也都規劃有軌道式之大眾捷運系統，加上正在興建中之高速鐵路，很明顯地可以看出軌道運輸未來在我國整體運輸系統網路中之重要性。軌道運輸系統係由機務、車務、工務、電務、車輛、運務等部門組成，是一種規模龐大、組織複雜、作業項目繁多之系統，在營運過程中除了講求服務品質及經營效率之提升外，對於系統本身的安全性更是疏忽不得。因此如何預防軌道交通事故之發生，並降低軌道事故之傷亡嚴重程度，乃成為相當重要之研究課題。而國內外相關文獻也都一致地指出，意外事故的預防有賴於健全且系統化之安全管理，始能將事故風險加以有效控制。因此建立一套系統化安全之分析技術，對我國運輸科技之推動與發展實屬絕對之必要。本研究主要之目的即在建立一套運輸系統安全分析與管理之作業流程，運用系統化之分析技術來蒐尋並評估運輸系統之安全問題，而在實證研究上則以營運中之台北捷運公司為研究對象。

根據系統安全中事故預防之理論與執程序，系統安全之作業包含系統安全分析、系統安全評估及系統安全管理三大步驟。系統安全分析之主要目的在探索系統的安全問題、危害程度、及影響因素，以作為系統安全評估和系統安全管理之參考依據。系統安全評估則是按照一定之評估方法與指標，對系統之安全保障及防範效果所進行的總結性評估，以區別系統安全強弱之環節。而系統安全管理則是依據系統安全分析和系統安全評估之結果，按照「安全第一，預防為主」的原則，構建安全管理制度，強化並落實安全管理機制與措施。

本研究首先進行捷運系統安全分析，透過焦點團體法 (Focus group method)，發掘台北捷運潛在之安全問題，並藉由專家學者篩選適當之安全問題以構建系統安全管理檢核問卷後，再由台北捷運公司員工填答對系統安全管理檢核問卷中所列各安全問題之感認與意見。本研究繼而利用問卷調查之結果，進行捷運系統安全問題之風險評估，並對風險較高之少數幾個安全問題進行發生原因分析，且提出具體之改善措施，以防範該安全問題之發生。本研究不但為運輸系統安全建立一套完整之檢核作業流程，供實務界參考使用外，更透過實際案例之執行，為台北捷運公司檢驗目前在營運上所面臨之安全問題，以作為該公司未來改善營運安全之參考依據。

## 二、相關研究文獻回顧

系統安全最廣泛之應用領域為國防科技安全研究，而最早提出系統安全概念者，則可追溯至 1947 年 9 月美國航空科技研究院之一份研究報告，該報告曾提及『飛機設計應包括安全因素的考量，就如同對飛機性能、穩定性、以及完整結構的考量一樣。飛機之安全設計團隊應與飛機之應力、氣體動力、及重力平衡等設計團隊一樣重要』，該項主張至今

仍被認為是有關系統安全概念之最早文件<sup>[1]</sup>。系統安全理論直到 1960 年代才被正式引用，成為美國政府簽訂採購合約時之重要條款，理論中有關意外事故預防之觀念和方法，乃因此而受到廣泛重視並快速發展。以下將針對各國相關系統安全規範及國內外系統安全相關文獻進行回顧與探討。

## 2.1 各國相關系統安全規範之回顧

美國國防部為避免現代化科技系統意外事故之發生，以防止對人員、裝備、及環境之傷害，乃於 1979 年針對國防科技系統提出第一套系統安全作業需求規範，歷經多次修正後，在 1993 年提出軍事標準系統安全需求計畫書 (Military Standard System Safety Program Requirements, 簡稱 MIL-STD-882C)，並於 2000 年提出系統安全實施標準 (Standard Practice for System Safety, 簡稱 MIL-STD-882D)，藉以提升美國國防武器科技之系統安全<sup>[2]</sup>。實施標準大致將系統安全作業區分為系統安全規劃、系統安全分析、系統安全評估、系統安全管理等四大作業流程，內容包括研擬系統安全工作計畫書、系統安全部門整合、檢核系統安全工作計畫、危害與風險分類、系統安全進度管制、系統危害分析、安全與危害問題評估、安全測試與評估、安全與危害問題查核與驗證、研擬改善方案與評估、建立危害事故分類與資料庫等<sup>[2]</sup>。

英國國防部亦於 1996 年公布「國防系統安全管理規範(Safety Management Requirements for Defense System)」，其內容主要規範國防科技系統之安全目標及執行安全管理之指導方針。該規範強調各系統應透過設計分析與稽核技巧，來評估系統是否符合系統安全之要求<sup>[3]</sup>。

歐盟各國鑑於鐵路系統有別於其他科技系統，乃由歐盟電子技術標準委員會 (European Committee for Electrotechnical Standardisation) 針對軌道運輸系統制訂「軌道系統可靠度、妥善率、維護度及安全規範 (Railway Applications—The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability, and Safety；簡稱 EN50126)」，該規範強調軌道運輸系統可靠度、妥善率、維護度、及安全標準之擬定及相關作業流程之規範，並以摘要方式列出軌道運輸系統生命週期中應執行之系統安全驗證與作業方法<sup>[4]</sup>。

澳洲鐵路安全管理規範 (Railway Safety Management, 簡稱 AS4292) 則由澳洲鐵路委員會所制訂，作為鐵路主管機關執行安全管理之依據，其內容包括鐵路安全管理系統之研擬、鐵路系統安全相關介面之整合、鐵路安全獨立認證與驗證之執行、及鐵路系統安全品質之稽核準則等<sup>[5]</sup>。

回顧各國之系統安全相關規範，雖可了解相關系統安全架構與相關作業之執行內容，惟其內容均屬摘要式之概念規範，並未有如技術手冊般之詳細作業說明。各國對運輸系統安全管理作業之執行，也都在上述規範之原則性指導下，發展出適合其環境與組織之作業方式，而各國運輸機構(公司)在系統安全管理上也因此而發展出獨特之運作模式。國內不論在運輸系統安全規範及主管機關組織上均尚未建置完成，在國情與環境不同之情況下，

要一成不變地援引國外作業方式亦有實質之困難。因此本研究乃參考各國系統安全相關規範與執行步驟，嘗試為我國運輸系統建立一套可執行之系統化安全檢核與評估作業之流程，為我國推動運輸系統安全管理踏出第一步。

## 2.2 系統安全分析與評估之相關文獻回顧

工業界之核能電廠及化工產業由於具有高污染及高危險之特性，一旦發生安全事故都會造成嚴重之傷亡與損失，因此對於風險評估及安全管理技術之使用也最為先進與成熟<sup>[6]</sup>。大眾運輸產業繼核能及化工產業之後，逐漸體認安全風險是一項嚴肅且必須務實面對之課題，乃陸續使用安全管理之觀念與技術於日常之營運業務中<sup>[7]</sup>。頃近歐美國家也漸漸運用安全管理理論於航空、海運及鐵路等運輸業上<sup>[8,9]</sup>。

Reason<sup>[10]</sup>曾提出一套診斷暨評估企業組織系統安全的方法，透過事故因果關係架構(如圖 1 所示)之建立與分析，以達到預防組織內發生事故之目的，此套分析架構與方法稱之為「REVIEW」。「REVIEW」係一套結合風險管理、組織行為、人因工程、心理學等學域理論而成之安全評估及管理作業程序，曾被廣泛地使用或修改使用於多種研究領域上。例如 Reason<sup>[11]</sup>曾使用 Tripod-DELTA 進行貨運公司之企業風險評估，並為英國航空公司設計出 MESH (Managing Engineering Safety Health) 來發掘在營運上所存在的安全問題。

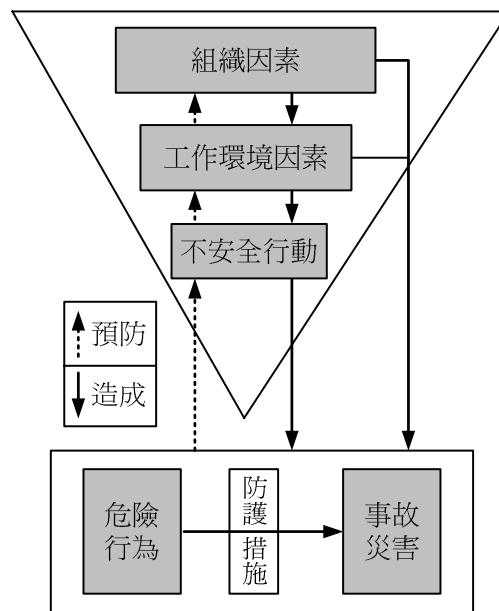


圖 1 事故因果架構圖<sup>[10]</sup>



Edkin 等<sup>[8]</sup>曾以 PASM (Pro-Active Safety Management) 及 REVIEW 等方法來檢核澳洲鐵路公司之安全管理問題，該研究透過對司機員及員工的焦點團體討論，得到 13 項影響澳洲軌道安全之因素，並透過因素分析法將該 13 項影響因素歸納成 (1) 政策之決定、(2) 組織及工作場所文化、及 (3) 營運狀況三大類。

張新立、陳家緯<sup>[12]</sup>曾以產業風險指標中之 ALARP (As Low As Reasonably Practical) 準則為基礎，利用事故頻次曲線 (FN-curves) 與相對風險概念作為評估運輸系統安全風險之指標，借助風險感認問卷之訪問調查，輔以模糊集合之理論，為我國各類運輸工具建立一個合理之社會可接受風險水準，提供研擬運輸安全管理政策之參考。

在軌道運輸安全管理研究方面，王隆昌<sup>[13]</sup>曾針對鐵路捷運系統災害發生原因與嚴重度衡量方法進行研究。交通部運輸研究所<sup>[14]</sup>曾在全國交通安全盲點掃描中，從法規、執行、及管理三大層面探討我國鐵路運輸安全之問題及改善對策。蔡明志與張新立<sup>[15]</sup>曾利用軌道運輸之安全管理技術，為我國軌道運輸勾勒出一套具共通性與一致性之安全管理架構。該研究根據風險管理理論及國際安全評估系統之技術，提出建立我國軌道安全管理制度之四項課題，分別為 (1) 建立軌道事故資料庫、(2) 衡量軌道營運安全風險、(3) 建立軌道營運安全風險評估架構及安全經濟分析方法、(4) 回顧國外民營化軌道安全管理經驗。而黃四昌與李文卿<sup>[16]</sup>之研究則建議軌道運輸風險管理工作應包含：設定可以客觀量度的系統安全目標、擬定安全計畫、建立系統危害登錄簿、選定風險接受準則、執行風險評估工作、及建立安全檔案等。

謝魁樹<sup>[17]</sup>曾對台鐵之安全衛生管理進行調查並分析其所面臨之問題，該研究發現聽力不良是多數台鐵行車員工所共有之現象，而列車長的手腕酸痛、司機員的血壓偏高、服務員的下背痛亦非常普遍。列車噪音除對行車員工會造成腸胃不適、食慾不佳、心跳加快、血壓升高及肌肉緊張、神經質等影響外，也會造成行車員工耳鳴、頭暈、焦慮及失眠等現象。

我國以往對於運輸系統安全之研究多屬「點」的探討，對於「面」之整體性檢討較少著墨，尤其是對「營運作業自成一體」之軌道運輸系統安全研究更形缺乏，即使有以系統工程概念審視軌道運輸安全之倡議，也未付諸實際行動。本研究因此乃嘗試以系統安全之觀點，審視軌道運輸系統之安全問題，以「事前預防」角度深入探討，而非舊有之「事後補救」方式，為我國軌道運輸系統設計一套安全檢核之方法。

### 三、捷運之系統安全分析

傳統運輸之系統安全概念大都著眼於營運安全，通常都在事故災害發生後，再來檢討事故發生之原因，謀求改善辦法以預防類似事故災害再發生。面對日趨複雜且精密之現代化運輸系統，歐美先進國家均已跳脫傳統這種亡羊補牢式的作法，而在系統概念設計之初就已將「安全概念」納入，隨後更在系統生命週期內之各階段執行必要的分析、評估、檢

核、驗證、改正、監測等工作，以確保從規劃、設計、興建、營運、維修、以至汰除之任何階段中，安全風險均能控制在合理之範圍內，以確保整個系統處於安全之運轉狀態。本研究基於系統化分析捷運系統安全之需要，也從捷運系統生命週期架構著手，透過捷運員工之焦點團體討論以發掘營運中之捷運系統安全問題與危害因子。

### 3.1 捷運員工焦點團體研究方法

焦點團體討論係集合具有不同經驗與知識之專業人員，針對所研擬之相關討論議題發表個人之意見，並與研究者進行互動式之討論，以達到腦力激盪之功效。由於討論係採開放問答方式進行，受訪者可以充分發表自己之意見，其他參與討論之人員亦可順勢提出更多問題或澄清別人所提之問題。因此有機會讓研究人員獲取更廣泛且豐富之資料，以發掘個別訪談中可能無法發現之問題與想法。

Edkin 等<sup>[8]</sup>曾使用焦點團體討論法蒐尋影響澳洲鐵路安全之管理因素，並認為焦點團體討論法是一種適合探索軌道運輸系統安全管理問題之方法。而 Stewart<sup>[18]</sup>與 Greenbaum<sup>[19]</sup>更認為焦點團體討論法最適合應用於：(1) 要獲得一項研究主題的背景資料；(2) 要產生可量化資料的方法；(3) 要調查新方案的潛在性；及 (4) 協助設計可被用於量化研究之問卷等方面。本研究在蒐尋捷運系統安全問題之階段，確實相當符合焦點團體討論法之研究背景條件，頗值加以借鏡使用。

本研究在進行焦點團體討論之前，為使討論之議題具有系統性與周延性，乃嘗試依據 Hale<sup>[20]</sup>所提之安全管理系統理論 (Safety Management System, SMS) 制訂出討論議題。Hale 提及安全管理系統應融入系統之整個生命週期，包括從設計到淘汰的所有階段，才能夠完整且周延地解決系統內各種不同且複雜之安全活動問題；而系統安全管理分析工作則應先從結構分析和設計技術 (Structure Analysis and Design Technique, SADT) 中切入，包含「輸入 (Input)」、「活動轉移 (Activity Transformation)」、與「輸出管理 (Output)」等三個系統生命週期重要過程，而其中在「活動轉移 (Activity Transformation)」更必須包含系統所需之安全資源及控制關鍵因素。

因此本研究乃遵循捷運系統之生命週期架構，分析捷運系統安全管理問題，從輸入管理 (系統安全規劃、系統安全設計、系統安全興建)、活動轉移管理 (運轉安全管理、工作環境安全管理、員工安全訓練管理、維修安全管理)、及輸出管理 (緊急事故預防處理、監督檢核管理) 等制訂出捷運系統九大安全管理項目，分別訂出焦點團體討論之議題，並以這些議題發展討論題目。

理論上進行焦點團體討論時應盡可能將相關之人員納入一起討論，以達到腦力激盪之目標。惟在實際進行大系統或大組織之安全問題蒐尋時，要將各部門之相關人員全部集結在一起討論，所需時間可能極為冗長，而討論之議題也不易集中收斂。本研究基於有效執行焦點團體討論之需要，乃依據捷運公司之組織架構與任務功能，將相關從業人員分成車務人員組、站務人員組、及維修人員組三組，各組分別進行焦點討論。各組所討論之議題係由研究人員透過專家訪談及文獻回顧整理而得，其中如有涉及跨組之安全問題，則由研

究人員整理後提到相關分組作為討論之議題。

分組焦點討論之過程可分成三個階段進行，首先由參與討論者針對本研究事先擬好之討論題綱發表意見，繼而由參與討論者對九大安全管理項目所遭遇之安全問題提出個人之經驗與看法，最後則開放讓所有參與者自由討論與問答。三組之焦點團體討論分別於民國九十年一月至二月間進行，其中車務人員組計有四人參與討論（車務副段長、領班、助管員、及司機員各一人），站務人員組亦有四人參與討論（站務段長、站務副段長、站長、站務員各一人），而維修人員組則有七人參與討論（車輛廠副工程師、電機廠技術員、通訊工廠領班、電子廠助理工程師、副工程師、支援課工程員、土木廠助理工程員各一人），每場焦點團體討論會議均約進行三個小時，並由工作人員全程錄音，以作為蒐尋整理安全問題之依據。

### 3.2 捷運系統安全問題及管理因素分析

焦點團體討論會議錄音經逐字作成文字之發言紀錄後，乃由研究人員反覆閱讀文字紀錄，從中找尋捷運安全管理上所面臨之問題及其相對應之安全管理概念，對不同之安全問題及安全管理概念並分別給予編號、整理歸納、且統計其出現之次數，再依據本研究所制訂之相似概念歸納原則審視各概念後，最後轉換成具體之安全問題與安全管理因素。例如發言紀錄中所記載之「許多安全問題之發生大都由於電腦失靈、號誌故障、或轉轍器失靈等原因」，先被歸納為「機械設備問題」之安全問題概念，給予編號後並計數此類安全問題及安全管理概念在討論紀錄中出現之次數，再依據本研究制定之相似概念歸納原則「凡提及機械設備問題、設備材料過期等概念歸納為『設備材料因素』，予以歸納為『設備材料因素』，作為隨後進行安全問題篩選作業之參考依據。

焦點團體討論紀錄經分析、歸類、統計與整理後，乃逐漸形成較為具體之安全問題。本研究經仔細審閱及分析會議紀錄後，總計整理出捷運系統安全管理上可能發生之安全問題概念 124 則，並將這些概念歸納成 19 個安全管理因素，分別為：(1) 乘客問題、(2) 設備材料、(3) 外在環境因素、(4) 公司管理方式及政策、(5) 經驗及教導方式、(6) 維修技術、(7) 設備設計、(8) 整體系統問題、(9) 員工個人特性、(10) 備品採購、(11) 部門介面溝通、(12) 監督、(13) 標示、(14) 保養檢查、(15) 規範／程序／規章、(16) 工程技術、(17) 興建承包商、(18) 興建／營運單位、(19) 工作環境。

## 四、捷運系統安全管理檢核問卷之建立與調查

### 4.1 捷運系統安全管理檢核問卷初稿之編製

在完成捷運系統安全問題概念之初步篩選工作後，本研究乃進一步以這些萃取之安全問題概念為基礎，發展、設計較為具體之捷運系統安全管理檢核問卷，協助蒐集捷運從業

員工對系統安全問題之感認資料，以作為檢核與評估捷運系統安全之依據。

在發展捷運系統安全管理檢核問卷初稿之始，本研究即發現從焦點團體討論所萃取出之 124 個安全問題概念中，有些概念所陳述之安全問題彼此具有相當高之因果關係，另有一些安全問題則涉及數個安全管理因素。因此，如果在問卷設計之初，不對這些安全問題加以歸類釐清，可能極易產生答卷者與問卷設計者間之認知落差，而讓調查所得之資訊無法滿足研究之需要。基於上述理由，本研究乃嘗試將前節所整理出之 19 個捷運系統安全管理因素，進一步歸納成「內外在環境」、「設備」、「公司管理制度」及「員工特性」等四大主因構面 (如表 1 所示)，並讓安全檢核問卷之設計能依照主因構面、安全管理因素、及安全問題之層級關係逐步設計，既有利於受調查者之閱讀與填答，亦方便於未來安全問題之分析與改善方案之研擬。

表 1 主因構面與相關安全管理因素一覽表

主因構面	安全管理因素
內外在環境構面	乘客問題、外在環境、承包商、工作環境。
設備構面	設備材料、維修技術、設備設計、整體系統問題、備品採購、標示、工程技術。
公司管理制度構面	公司管理方式及政策、部門介面溝通、監督、規範／程序／規章、興建／營運單位、保養檢查。
員工特性構面	經驗及教導方式、員工個人特性。

在確定捷運系統安全管理檢核問卷編製之特性與原則後，本研究乃依據焦點團體討論所整理出之系統安全問題概念、國內外軌道事故之發生經驗、及相關之研究與文獻報導，竭盡所能地羅列出各種安全問題概念之可量測問題。歷經多次檢討及反覆討論修正後，本研究最後所完成之捷運系統安全管理檢核問卷初稿總計包含了四大主因構面、19 個安全管理因素、及 98 個安全問題。

## 4.2 捷運系統安全管理檢核問卷之專家審查

由於捷運系統安全管理檢核問卷之內容包含了各類之安全問題，其中可能涉及頗為深入之專業知識與技術議題，確實需要專業之問題設計始能適當地捕捉捷運員工的經驗與感受。本研究為使安全管理檢核問卷調查所得之結果能夠確實反映現實並滿足研究之需要，乃安排在檢核問卷付諸調查之前，先由十一位軌道運輸安全專家共同進行檢核問題適宜性之審核。此項審核工作係由受邀之專家學者對每一個安全問題「是否適合由捷運員工作答」進行評估，評估之選項係採五尺度之指標，分別代表「非常適合」、「適合」、「無意見」、「不適合」及「非常不適合」。專家學者如果對檢核問題有所建議，亦可透過審查表提出必要之修正建議。本研究在完成專家學者對檢核問題之評估工作後，乃利用

Lawshe<sup>[21]</sup>所提出之 CVR (Content Validity Ration) 專業人員問卷評估模式，來建立專家問卷之評估值，以篩選合適之捷運安全檢核問題。CVR 評估模式之設計目的，在協助問卷設計者於問卷設計完成時，透過此一評估模式以建立「問卷內容與調查目的是否切合」之量化指標，提供問卷設計者再度審視問卷內容之參考，俾讓問卷之內容更為嚴謹與正確，以符合調查之目的。其評估方法如下所示：

$$C_i = \frac{N_{ei} - N_i/2}{N_i/2} \quad (1)$$

其中  $C_i$ ：檢核問題之專家評估值。

$N_{ei}$ ：對檢核問題填答「非常適合」及「適合」之專家人數。

$N_i$ ：對檢核問題填答「非常適合」、「適合」、「不適合」及「非常不適合」之專家人數。

CVR 專業人員問卷評估法乃是透過線性轉換，正確算出「填答該檢核問題合適」之專家學者人數所占比率，亦可直接反映出專家學者對該問題之認同度。上述公式 (1) 所計算出來之  $C_i$  值如果大於最小接受門檻值，則表示問題  $i$  獲得專家學者之認同，可以納入問卷作為蒐集資料之問題。最小接受門檻之  $C_i$  值係隨評估專家人數之多寡而變 (如表 2 所示)，在本研究擁有 11 位專家學者參與評估之情況下， $C_i$  值需大於 0.59，該問題始能通過評估。本研究所草擬之檢核表初稿中，19 個安全管理因素之 98 道安全問題，僅有 15 個安全管理因素，共 50 道檢核之安全問題通過檢定，正式被納入捷運系統安全檢核之問卷中 (如表 3 所示)，成為本研究對捷運公司員工蒐集相關資料之主要依據。

表 2 評估專家人數與最小接受門檻  $C_i$  值對照表

評估專家人數	最小接受門檻 $C_i$ 值
7	0.99
8	0.78
9	0.75
10	0.60
11	0.59

資料來源：Lawshe<sup>[21]</sup>。

#### 4.3 捷運系統安全管理檢核問卷之調查內容

通過 CVR 審核之安全問題所構成之捷運系統安全管理檢核問卷之調查內容共計包含三大部分，第一部分為受訪捷運公司員工之基本資料，其調查內容包括年齡、工作年資等；第二部分為安全問題發生頻率之意見調查；而第三部分則為安全問題發生後可能造成之傷害嚴重度之意見調查。捷運系統安全問題發生頻率計有五種選項，其中各選項之定義與權

表 3 捷運系統安全管理檢核問卷內容

構面	因素	捷運系統安全管理檢核表問題	構面	因素	捷運系統安全管理檢核表問題
內外環境	乘客問題	1. 老弱婦孺乘客因行動不便或電扶梯速度太快，在上下樓梯時摔倒。	管理政策		27.公司未持續推動營運安全政策。
		2. 民眾臥軌自殺事件被媒體報導出來後，造成其他民眾仿效臥軌自殺。			
	外在環境因素	3. 車廂內乘客過多，超過車廂內限定搭乘人數。	監督		28.員工厭煩「行前指示」的實施方式。
		4. 月台上乘客過多，發生人潮推擠情形。			29.上級主管未落實員工監督檢查工作。
		5. 發生無法預防的緊急突發狀況，員工不知如何處理。	規範程序規章		30.捷運規劃手冊內容不夠周詳。
	承包商	6. 外包工程的承包商施工興建疏忽，導致發生事故。			31.規劃人員對於法令規章了解不足。
		7. 工作輪班時間難以適應。			32.手冊內規範前後說法不一。
	工作環境	8. 工作時噪音太大，員工無法專心工作。			33.運轉規章內容不夠周詳。
		9. 工作安全空間狹小。			34.列車規劃調度出現問題。
		10.地下段工作環境不佳。			35.員工溫故訓練內容不足。
		11.在夜晚工作視線不良。			36.維修及事故通報系統失誤，導致搶修時間延後。
		12.下段空氣和空調不良。			37.維修計畫制度規劃不周詳。
規劃與設備	設備材料	13.車廂內消防設備未定期檢查或超過期限未更新。	保養檢查		38.公司主管對於保養檢查工作不重視。
		14.使用無線通訊設備時發生收訊不良情況，影響系統緊急通信。			39.員工對於預防保養工作不重視。
		15.車輛機械設備發生故障，導致無法由行控中心控制。	經驗及教導方式		40.維修人員的維修技術經驗不足。
	設備設計	16.月台與列車門間隙過大，導致殘障乘客上下列車不便。			41.維修技術人員無法傳承吸收國外維修技術。
		17.隧道設施配置缺乏整體規劃。			42.新進人員無法承傳資深人員的經驗。
		18.車站內緊急逃生裝置不足夠。			43.設備故障時，現場員工無法完整及正確描述設備故障情況，導致維修工作難以進行。
		19.隧道內緊急逃生裝置不足夠。			44.設備故障時，現場員工無法立即排除故障狀況，導致發生列車延誤。
		20.車廂內緊急逃生裝置不足夠。			45.員工無法熟記運轉規章內容。
		21.設施規劃缺乏整體設計，導致營運後才發現需加裝安全設施。			46.員工對周遭危險感覺及認知程度不足。
		22.當初設計不當，導致月台設計及配置不良。	員工個人特性		47.員工遇到事故時慌張失措，不知如何處理。
	系統問題	23.捷運系統整體設備種類多且複雜，導致員工難以熟記。			48.基層員工遭遇事故時，不敢先行處理或自行作決策。
	備品採購	24.國內外材料短缺，導致無法進行維修。			49.員工工作時發生態度懶散疏忽。
		25.設備採購時間過長，導致短時間內無法維修。			50.各部門間因本位主義，出現協調不良問題。
	標示	26.隧道內乘客逃生方向標示不清楚。			

重配分如表 4 所示；而捷運系統安全問題嚴重程度亦分成五尺度之選項，各選項之定義與權重配分如表 5 所示。

表 4 捷運系統安全問題發生頻率選項之定義及其權重配分

問題發生頻率選項	選項定義	權重配分 $W_i$
(1)經常發生	大約每星期內都會發生一次以上。	5
(2)偶爾發生	大約每半年內都會發生一次以上。	4
(3)不常發生	捷運運轉到現在曾經發生過，但次數很少。	3
(4)不太可能發生	捷運運轉到現在不曾發生過，但有可能發生。	2
(5)不可能發生	捷運不可能發生此類問題。	1

表 5 捷運系統安全問題嚴重程度選項之定義及其權重配分

問題嚴重度選項	選項定義	權重配分 $W_i$
(1)非常嚴重問題	可能造成多人死亡或嚴重傷亡，或捷運系統嚴重損壞造成一天以上暫停運轉。	5
(2)嚴重問題	可能造成一人死亡或多人嚴重受傷，或造成捷運系統停止運轉一天以內。	4
(3)輕微問題	可能造成多人輕度傷害，或造成捷運系統某一裝備損壞，或造成捷運系統停止運轉一小時以內。	3
(4)非常輕微問題	可能造成一人輕度傷害，或造成捷運系統某一裝備輕度損壞，但不影響營運。	2
(5)完全沒有問題	將不會造成任何捷運事故。	1

#### 4.4 捷運系統安全管理檢核問卷調查之實施

本研究在完成安全管理檢核問卷之設計後，乃由捷運公司員工進行檢核問卷之填答，藉以了解捷運同仁對於捷運系統安全問題之發生頻率與嚴重程度之看法。由於捷運系統安全管理檢核問卷之內容對專業性技術之要求頗高，因此對調查對象之篩選更顯重要，本研究在樣本代表性、調查有效性、及成本效益之考量下，最後選定捷運公司運務部之車務及站務人員，維修部之電子、電機、車輛、土木各廠、以及工安室員工等 825 位捷運員工作為調查對象。捷運系統安全管理檢核問卷係於民國 90 年 4 月間透過台北捷運公司之行政管道發放給相關員工，並委請專人負責收回。

系統安全管理檢核問卷之調查，計收回 462 份受調樣本，經本研究仔細檢視問卷填答情況，刪除「缺漏太多」、「草率填答」、及「不盡合理」之樣本後，總計剩下 439 份有效樣本，有效回收比率為 53.21%。在有效調查樣本中，計有站務人員 81 位 (占 18.46%)，

車務人員 157 位 (占 35.76%)，維修人員 196 位 (占 44.64%)，及工安室員工 5 位 (占 1.14%)。有效樣本員工之平均年齡為 28 歲，進入捷運公司之平均年資為 2.76 年。在安全檢核問卷之信度分析方面，問題為「問題發生頻率」之 Cronbach  $\alpha$  值為 0.97，而問題為「問題嚴重程度」之 Cronbach  $\alpha$  值為 0.98，兩者皆大於 0.9，顯示兩類問題之量表信度均相當良好。

## 五、捷運系統安全問題之風險評估與管理

### 5.1 捷運系統安全問題之發生頻率與嚴重程度分析

捷運系統安全管理檢核問卷之部分調查內容頗具專業性，宜由具相關專業背景與經驗之從業人員回答始能反映真實之情況。因此本研究在計算部分專業問題之評分時，僅採計對該問題具有相關專業知識之人員評分，而將非相關專業人員之評分給予剔除。例如在第 1 題問題中，考量該問題與站務人員較為相關，因此僅採計站務人員之評分，以作為風險評估之依據；在第 13、28 題中，考量該問題與車務人員較為相關，因此僅採計車務人員之評分；在第 2、4、16、33、34、45 題中，考量該問題與站務及車務人員較為相關，因此僅採計站務及車務人員之評分；在第 24、40、41 題中，考量該問題與維修人員較為相關，因此僅採計維修人員之評分。其他未涉及特定專業之問題，則採計全部填答人員之評分。

在確認有效樣本評分之採計原則後，本研究乃進行受訪者對「安全問題發生頻率」及「安全問題嚴重程度」評分之統計分析，其統計結果顯示在 50 個問題中，「安全問題發生頻率」之平均評分值均落於 2.08~3.89 之間 (如表 6 所示)。進一步將各問題之評分平均值採四捨五入法化成整數，並依表 4 之權重配分歸類後，則將發現有 10 個問題屬於「不太可能發生」、31 個問題屬於「不常發生」、另有 9 個問題屬於「偶爾發生」。員工認為「發生頻率」最高的五大安全問題依序為：「月台上乘客過多，發生人潮推擠情形」、「使用無線通訊設備時發生收訊不良情況，影響系統緊急通信」、「車廂內乘客過多，超過車廂內限定搭乘人數」、「地下段空氣和空調不良」、及「老弱婦孺乘客因行動不便或電扶梯速度太快，在上下樓梯時摔倒」。

而「安全問題嚴重程度」之平均評分值則集中於 2.67~4.02 之間 (如表 6 所示)，採四捨五入法化成整數，並依表 5 之權重配分歸類後，計有 45 個問題屬「輕微問題」、5 個問題為「嚴重問題」。員工認為「問題嚴重程度」最高之五個安全問題依序為：「民眾臥軌自殺事件被媒體報導出來後，造成其他民眾仿效臥軌自殺」、「月台上乘客過多，發生人潮推擠情形」、「設備採購時間過長，導致短時間內無法維修」、「車輛機械設備發生故障，導致無法由行控中心控制」、及「國內外材料短缺，導致無法進行維修」。



表 6 捷運系統安全問題與風險評估結果一覽表

構面	因素	安全問題	發生頻率 評分之 平均值	嚴重程度 評分之 平均值	風險 等級	風險評 估等級	管理因 素風險 評估值	管理因素 風險評估 等級	主因構 面風險 評估值	主因構面 風險評估 等級
內 外 在 環 境	乘客問題	1. 老弱婦孺乘客因行動不便或電扶梯速度太快，在上下樓梯時摔倒。	3.63	3.12	3B	中風險	3.50	高風險	3.17	中風險
		2. 民眾臥軌自殺事件被媒體報導出來後，造成其他民眾仿效臥軌自殺。	3.57	4.02	4B	高風險				
	外在環境因素	3. 車廂內乘客過多，超過車廂內限定搭乘人數。	3.68	3.19	3B	中風險	3.33	中風險		
		4. 月台上乘客過多，發生人潮推擠情形。	3.89	3.59	4B	高風險				
		5. 發生無法預防的緊急突發狀況，員工不知如何處理。	2.57	3.12	3C	中風險				
	承包商	6. 外包工程的承包商施工興建疏忽，導致發生事故。	2.89	3.47	3C	中風險	3.00	中風險		
	工作環境	7. 員工工作輪班時間難以適應。	3.29	3.16	3C	中風險	3.00	中風險		
		8. 工作時噪音太大，員工無法專心工作。	3.33	3.20	3C	中風險				
		9. 工作安全空間狹小。	3.10	3.26	3C	中風險				
		10.地下段工作環境不佳。	3.60	3.38	3B	中風險				
		11.在夜晚工作視線不良。	3.29	3.32	3C	中風險				
		12.地下段空氣和空調不良。	3.67	3.47	3B	中風險				
規 劃 與 設 計	設備材料	13.車廂內消防設備未定期檢查或超過期限未更新。	2.08	2.99	3D	低風險	2.67	中風險	2.86	中風險
		14.使用無線通訊設備時發生收訊不良情況，影響系統緊急通信。	3.74	3.37	3B	中風險				
		15.車輛機械設備發生故障，導致無法由行控中心控制。	2.92	3.53	4C	中風險				
	設備設計	16.月台與列車門間隙過大，導致殘障乘客上下列車不便。	3.06	3.06	3C	中風險	2.57	中風險		
		17.隧道設施配置缺乏整體規劃。	2.57	3.10	3C	中風險				
		18.車站內緊急逃生裝置不足夠。	2.23	3.14	3D	低風險				
		19.隧道內緊急逃生裝置不足夠。	2.35	3.32	3D	低風險				

表 6 捷運系統安全問題與風險評估結果一覽表 (續 1)

構面	因素	安全問題	發生頻率 評分之 平均值	嚴重程度 評分之 平均值	風險 等級	風險評 估等級	管理因 素風險 評估值	管理因素 風險評估 等級	主因構 面風險 評估值	主因構面 風險評估 等級
規劃與設計	設備設計	20.車廂內緊急逃生裝置不足夠。	2.36	3.17	3D	低風險				
		21.設施規劃缺乏整體設計，導致營運後才發現需加裝安全設施。	3.25	3.38	3C	中風險				
		22.當初設計不當，導致月台設計及配置不良。	3.09	3.22	3C	中風險				
	系統	23.捷運系統整體設備種類多且複雜，導致員工難以熟記。	2.95	3.16	3C	中風險	3.00	中風險		
	備品採購	24.國內外材料短缺，導致無法進行維修。	3.52	3.51	4B	高風險	4.00	高風險		
		25.設備採購時間過長，導致短時間內無法維修。	3.53	3.56	4B	高風險				
	標示	26.隧道內乘客逃生方向標示不清楚。	2.56	3.32	3C	中風險	3.00	中風險		
公司管理制度	管理	27.公司未持續推動營運安全政策。	2.10	2.91	3D	低風險	2.00	低風險	2.54	中風險
	監督	28.員工厭煩「行前指示」的實施方式。	2.51	2.73	3C	中風險	2.50	中風險		
		29.上級主管未落實員工監督检查工作。	2.19	2.67	3D	低風險				
	規範程序規章	30.捷運規劃手冊內容不夠周詳。	2.50	2.82	3D	低風險	2.75	中風險		
		31.規劃人員對於法令規章了解不足。	2.55	2.90	3C	中風險				
		32.手冊內規範前後說法不一。	2.60	2.93	3C	中風險				
		33.運轉規章內容不夠周詳。	2.59	2.93	3C	中風險				
		34.列車規劃調度出現問題。	2.76	3.11	3C	中風險				
		35.員工溫故訓練內容不足。	2.45	2.84	3D	低風險				
		36.維修及事故通報系統失誤，導致搶修時間延後。	2.56	3.18	3C	中風險				
		37.維修計畫制度規劃不周詳。	2.64	3.10	3C	中風險				
	保養檢查	38.公司主管對於保養检查工作不重視。	2.16	3.01	3D	低風險	2.00	低風險		
		39.員工對於預防保養工作不重視。	2.18	2.88	3D	低風險				

表 6 捷運系統安全問題與風險評估結果一覽表 (續 2)

構面	因素	安全問題	發生頻率 評分之 平均值	嚴重程度 評分之 平均值	風險 等級	風險評 估等級	管理因 素風險 評估值	管理因素 風險評估 等級	主因構 面風險 評估值	主因構面 風險評估 等級
員工特性	經驗及教導方式	40.維修人員的維修技術經驗不足。	2.84	3.21	3C	中風險	3.00	中風險	2.91	中風險
		41.維修技術人員無法傳承吸收國外維修技術。	2.96	3.25	3C	中風險				
		42.新進人員無法承傳資深人員的經驗。	2.93	3.10	3C	中風險				
		43.設備故障時，現場員工無法完整及正確描述設備故障情況，導致維修工作難以進行。	2.75	3.05	3C	中風險				
		44.設備故障時，現場員工無法立即排除故障狀況，導致發生列車延誤。	2.87	3.24	3C	中風險				
		45.員工無法熟記運轉規章內容。	2.58	2.80	3C	中風險				
		46.員工對周遭危險感覺及認知程度不足。	2.52	3.04	3C	中風險				
	員工個人特性	47.員工遇到事故時慌張失措，不知如何處理。	2.54	3.10	3C	中風險	2.75	中風險		
		48.基層員工遭遇事故時，不敢先行處理或自行作決策。	3.03	3.26	3C	中風險				
		49.員工工作時發生態度懶散疏忽。	2.36	2.83	3D	低風險				
		50.各部門間因本位主義，出現協調不良問題。	3.17	3.23	3C	中風險				

## 5.2 捷運系統安全問題之風險評估

在檢視過捷運系統安全問題之「發生頻率」與「嚴重程度」後，緊接著乃是如何結合上述兩項指標，以評估各安全問題之風險等級。風險矩陣評估法是一種簡便易行，且在系統安全研究領域中廣被使用之風險評估方法。它主要係對問題本身及周圍環境之潛在情況加以分級，透過逐項之評估與分析後，再將問題劃分成不同之風險等級。本研究經審慎分析與評估後，認為在當前我國軌道運輸系統安全資料尚不健全之階段，風險矩陣評估法是一種可行且簡單之風險評估方法，中山科學研究院在其研究中亦建議交通部引進該評估方法，以落實我國軌道運輸系統之安全檢核工作<sup>[22]</sup>。

在使用風險矩陣評估法中，首先面臨之問題乃是如何結合「發生頻率等級」與「嚴重程度等級」以決定其「風險等級」。基本上，「風險等級」之劃分級數、及「發生頻率等

級」與「嚴重程度等級」組合後之風險等級歸屬均可能對風險評估結果造成影響。理想之作法應視研究系統之特性，審視考量後制訂相關之「發生頻率、嚴重程度、及風險」之等級指標，必要時並可進行等級劃分對風險評估之敏感度分析以求研究之完整性。由於我國目前尚無相關之風險等級指標可用，而所探討之台北捷運系統安全風險評估議題又缺乏先前文獻可供參考，因此本研究乃暫行使用美國國防部軍事系統安全標準規範 (MIL-STD-882C) 之「風險矩陣評估法」之風險分類。

美國國防部軍事系統安全標準規範 (MIL-STD-882C)<sup>[2]</sup>中之「風險矩陣評估法」係將系統安全問題中「發生頻率之五個等級」與「嚴重程度之五個等級」，構建成一個含有二十五種組合情況之風險矩陣如表 7 所示。繼而將風險矩陣內之二十五種組合情況劃分成「無風險」、「低風險」、「中風險」、及「高風險」等四個風險等級，其中有八種情況被劃為「無風險」、七種情況為「低風險」、六種情況為「中風險」，而僅有四種情況被劃為「高風險」，有關各級風險之敘述與定義如表 8 所示。

表 7 風險矩陣之風險等級劃分表

嚴重程度等級區分 發生機率等級		非常嚴重問題 5	嚴重問題 4	輕微問題 3	非常輕微問題 2	完全沒有問題 1
經常發生	A	5A	4A	3A	2A	1A
偶爾發生	B	5B	4B	3B	2B	1B
不常發生	C	5C	4C	3C	2C	1C
不太可能發生	D	5D	4D	3D	2D	1D
不可能發生	E	5E	4E	4E	2E	1E

表 8 風險等級之評價表

風險程度等級範圍	敘述	定義	風險等級	權重配分
5E、4E、3E、2E、1B、1C、1D、1E	可忽略風險	安全處於合理風險下，不需採取任何措施即可接受。	無風險	$W_1 = 1$
5D、4D、3D、2B、2C、2D、1A	可接受風險	安全處於合理風險下，只要決策層級同意即可接受。	低風險	$W_2 = 2$
5C、4C、3A、3B、3C、2A	不期望存在風險	在採取適當的控制且獲得決策層級同意即可接受。	中風險	$W_3 = 3$
5A、5B、4A、4B	不可接受風險	須加以消除避免其發生。	高風險	$W_4 = 4$

在建立好風險等級劃分表後，本研究乃進一步將表 6 中之 50 個問題之「安全問題發生頻率」與「安全問題嚴重程度」之平均評分值，以四捨五入方式取其整數值，並依表 7

與表 8 之風險等級劃分準則，得出各安全問題之風險評估等級如表 6 所示。風險評估結果顯示，在 50 個安全問題中計有 4 個被評為「高風險」，11 個被評為「中風險」，其餘 35 個則被評為「低風險」。被評為「高風險」之捷運系統安全問題計有「民眾臥軌自殺事件被媒體報導出來後，造成其他民眾仿效臥軌自殺」、「月台上乘客過多，發生人潮推擠情形」、「設備採購時間過長，導致短時間內無法維修」、及「國內外材料短缺，導致無法進行維修」。

### 5.3 捷運系統安全管理因素與主因構面之風險評估

在完成各安全問題之風險評估後，本研究更進一步利用趙吉山等<sup>[23]</sup>所提出之「風險因素加權評估法」進行各項安全管理因素及主因構面之風險評估，藉以了解與這些安全問題所對應之安全管理因素及主因構面之風險程度。「風險因素加權評估法」係對不同風險等級之安全問題賦予不同之權重配分，同一安全管理因素下之所有安全問題之風險等級權重配分的平均值即為該管理因素之風險評估值，而同一主因構面下之所有安全問題之風險等級權重配分的平均值也就是該主因構面之風險評估值。本研究在進行「風險因素加權評估法」時，分別對「無風險」、「低風險」、「中風險」、及「高風險」之安全問題給予  $W_1=1$ 、 $W_2=2$ 、 $W_3=3$ 、及  $W_4=4$  之風險權重配分 (如表 8 所示)。透過風險因素加權平均法，求得各因素與主因構面之風險評估值如表 6 所示，本研究最後並以四捨五入法將風險評估值給予整數化，再按 1、2、3、4 分別賦予「無風險」、「低風險」、「中風險」、及「高風險」等四個風險等級。

在十五個被評估之安全管理因素中，計有八項安全管理因素之風險評估值高 (等) 於 3.0，其中「乘客問題」與「備品採購」兩個安全管理因素更被評為高風險。「公司管理方式及政策」與「保養檢查」兩個安全管理因素被評為低風險；其餘之另十一個安全管理因素則均被評為中風險。而在主因構面之風險評估方面，雖然四個主因構面均被評為「中風險」，惟在「構面風險評估值」上仍然存在些許之落差。「內外在環境構面」之風險評估值為 3.17，遠較其他三個構面為高，屬偏高之「中風險」；「員工特性構面 (2.91)」與「規劃與設備構面 (2.86)」之風險評估值極為接近，屬偏低之「中風險」；而「公司管理制度構面」之風險評估值則僅為 2.54，幾近於低風險等級之範圍。

「內外在環境構面」中所包含之四個因素，即「乘客問題」、「外在環境」、「承包商」、與「工作環境」，其風險評估值均超過 (或等於) 3.0，也是台北捷運公司員工在營運過程中，咸認影響捷運系統安全最為嚴重之問題構面，究其原因可能與捷運公司內部員工較不易掌控有關，是台北捷運未來改善系統安全之方向與重點。「規劃與設備構面」中備品採購因素之風險評估值高居本研究所列十五項安全管理因素之榜首，是台北捷運公司務必迅速改善之系統安全問題。另整體系統之銜接問題、標示與指示系統、及員工之經驗傳承與指導也是台北捷運未來亟待努力、力求改善之安全課題。

## 5.4 捷運系統之安全管理

捷運系統安全問題風險評估之目的旨在確認問題之風險高低，以作為規劃系統安全管理作業之依據。因此，風險高之安全問題乃成為捷運公司必須優先安排人力與資源進行改善之課題。惟在發現安全問題後，更重要的則是如何剖析問題之發生原因，研擬有效之安全改善措施及執行程序，始能防範問題之發生於未然。美軍在執行系統安全之過程中，最為強調的乃是系統安全管理的手段，認為系統安全管理是集眾之智，對已發掘確認之安全問題所採取之一系列管理作為<sup>[2]</sup>。

本研究認為台北捷運系統安全問題經風險評估並確認後，應進一步深究其安全問題發生之原因、發生後可能影響、發生及暴露時機、防護設施、並研提改善措施與建議，始能達成系統安全管理之目的。本研究為證實所提之作業程序可落實執行，在研究資料、時間與經費均顯不足之情況下，乃先選擇捷運公司風險最高之四個安全問題進行安全管理分析如表 9 所示，提供一套執行之示範程序以供參考。未來實務單位可參考此作業模式，選派一組專責人員深入研究探討，針對各種相關安全問題，進行完整之危害分析，並提出具體可行之改善措施，俾讓潛在之安全問題均能事先加以防範。

表 9 捷運系統安全管理分析一覽表

安全問題	原因	發生後可能影響	發生及暴露時機	防護設施	建議措施
民眾臥軌自殺事件被媒體報導出來後，造成其他民眾仿效臥軌自殺。	1. 媒體刻意渲染自殺事件。 2. 乘客具有精神方面疾病。	1. 全線暫停營運，列車暫停行駛。 2. 自殺乘客死亡或受傷。 3. 嚴重影響肇事司機員之心理及精神狀況。	1. 民眾自殺事件，遭媒體報導。 2. 媒體過分報導自殺事件。 3. 未設置月台門之月台。	1. 月台門。 2. 站務員隨時注意行動異常乘客。 3. 提醒司機員的預警裝置。	1. 加裝月台門或其他防範措施。 2. 訓練站務員具備高度警覺性。 3. 要求媒體不要刻意渲染自殺事件。 4. 增設預警裝置。
月台上乘客過多，發生人潮推擠情形。	1. 月台供乘客等待空間不足。 2. 月台規劃設計不當。 3. 乘客間發生不當的推擠行為。	1. 乘客跌倒或跌落軌道，造成死亡或受傷。 2. 全線暫停營運，列車暫停行駛。	1. 尖峰時間，或乘客過多時段。 2. 人潮較密集之車站月台。 3. 出口或手扶梯數太少。	1. 月台門。 2. 控制進站乘客人數。 3. 月台上劃設乘客排隊等待區域。 4. 規劃乘客路線動向。	1. 考慮加裝月台門。 2. 隨時注意控制進站或進入月台人數。 3. 勸導乘客排隊等待。 4. 增加出口及手扶梯數。

表 9 捷運系統安全管理分析一覽表 (續)

安全問題	原因	發生後可能影響	發生及暴露時機	防護設施	建議措施
設備採購時間過長，導致短時間內無法維修。	1. 遭採購法規限制。 2. 需採購設備缺貨或停產。 3. 無替代品或備份品可供採購。	1. 全線暫停營運，列車暫停行駛。 2. 部分設備停止運作。	1. 裝備供應商已停產。 2. 無替代品或備份之零件材料。 3. 特殊性之裝備故障。 4. 需向國外採購之裝備。	1. 裝備採購時考量替代品或備份材料。 2. 建立物料管理系統。 3. 彈性化採購法規。 4. 定期檢測裝備之備份零件材料。	1. 規劃有效率裝備材料之產品資料或物管系統。 2. 制定有效率之採購法規。 3. 提升倉庫與備份材料之管理。 4. 提早提出需長時間採購之裝備材料需求。
國內外材料短缺，導致無法進行維修。	1. 需採購設備缺貨或停產。 2. 無替代品或備份品可供採購。	1. 全線暫停營運，列車暫停行駛。 2. 部分設備停止運作。	1. 裝備供應商已停產。 2. 無替代品或備份之零件材料。 3. 材料具特殊性或不易採購。	1. 裝備採購時就考量替代品或備份材料。 2. 定期檢測裝備之備份零件材料。	1. 規劃有效率裝備材料之產品資料或物管系統。 2. 提早提出易短缺之裝備材料需求。

## 六、結論與建議

隨著運輸科技之迅速發展與民眾運輸需求之日益擴張，運輸系統無論在系統設備、操作環境及組織架構上均較以往複雜許多，某些環節之疏忽與故障均可能造成系統之癱瘓，甚至帶來極大之災害。因此如何讓此龐大且複雜之系統能夠維持正常運作並保有一定之安全水準，除有賴於事前之妥善規劃與設計外，更需要在系統運作中隨時進行安全檢核，掌握系統潛在之安全問題，設法加以改善，以防事故之發生於未然。

系統安全管理理論之應用及管理制度之建立，在對系統安全水準要求極高之國防部門、核能與化工產業已行之有年，然而在運輸系統之應用則尚屬萌芽階段。本研究透過系統安全管理相關文獻之回顧與整理，嘗試為運作中之運輸系統建立一套如何檢核系統安全問題作業流程，引導運輸專業人員如何在錯綜複雜運輸系統中蒐尋潛在之安全問題、評估其風險、分析其發生原因與時機、並研提改善之措施與建議。本研究為證實所規劃作業程序可行，更以台北捷運公司作為實證研究之對象，嘗試協助台北捷運公司蒐尋所潛存之安全問題，並提出相對應之安全改善建議。本研究完成之成果及對未來繼續推動運輸系統安全管理之建議分別敘述如后。

## 6.1 結論

- (1) 本研究經由系統安全管理相關文獻之回顧、運輸系統安全分析、安全問題檢核流程設計、及實際操作演練，原則上已為我國運輸系統之安全管理檢核制度完成一套可行之作業雛型。運輸業者可依此雛型自我檢核系統內所潛存之安全問題，而學術界亦可據此發展延伸研究課題。
- (2) 本研究以軌道運輸系統生命週期中所面臨之安全管理課題，作為捷運員工進行焦點團體討論之議題，計蒐集台北捷運公司 124 個安全問題概念。這些安全問題概念經本研究分析彙整後，轉化成 98 道安全問題以作為安全檢核問卷之草稿，再經專家學者審核問題之適合度，最後通過審核之 50 道安全問題乃被編製成正式之安全檢核問卷，且分別隸屬於 15 個安全管理因素及 4 個主因構面。
- (3) 安全檢核問卷之各安全問題經台北捷運公司員工填答「發生頻率」及「問題嚴重程度」之評分後，乃利用美國國防部軍事系統安全規範及風險矩陣評估法進行安全問題、安全管理因素、及主因構面之風險評估。
- (4) 在 50 個安全問題中計有 4 個被評為「高風險」，11 個被評為「中風險」，其餘 35 個則被評為「低風險」。被評為「高風險」之捷運系統安全問題計有「民眾臥軌自殺事件被媒體報導出來後，造成其他民眾仿效臥軌自殺」、「月台上乘客過多，發生人潮推擠情形」、「設備採購時間過長，導致短時間內無法維修」、及「國內外材料短缺，導致無法進行維修」。
- (5) 在 15 個安全管理因素中，計有「乘客問題」與「備品採購」兩個安全管理因素更被評為高風險；有 11 個安全管理因素被評為中風險；而僅有「公司管理方式及政策」與「保養檢查」兩個安全管理因素被評為低風險。
- (6) 雖然 4 個主因構面均被評為「中風險」，惟在「構面風險評估值」上仍然存在些許之差異。「內外環境構面」之風險評估值遠較其他三個構面為高，屬偏高之「中風險」；「員工特性構面」與「規劃與設備構面」之風險評估值極為接近，屬偏低之「中風險」；而「公司管理制度構面」之風險評估值則幾近於低風險等級之範圍。

## 6.2 建議

- (1) 建立完整的系統安全管理檢核機制是國際安全管理的趨勢，交通主管單位宜儘早建立我國運輸系統之安全管理組織及檢核制度，參考國外運輸系統安全檢核之內容，結合台灣本土運輸系統可能遭遇之問題，制訂各類運輸工具之安全管理檢核表、各類系統安全認證之法規、規範與標準，有效督促管理各類運輸工具之安全。
- (2) 本研究在時間、經費與人力等資源條件之限制下，所舉辦之焦點團體討論會議不論在會議時間、場次數目、及參與人員數目上均有不足之嫌，因此本研究所檢核出之安全問題仍難免有遺漏之憾。未來在進行焦點團體討論時，除了不同單位之人員分開討論外，建議增加不同單位人員共同討論之機會，期望透過不同專業人員之腦力激盪，以



增加安全問題概念蒐集之廣度。另在安全因素之歸納作業上，亦建議邀請具相關實務經驗之專家學者參與討論，以便讓完成之研究成果能更符合實務之應用需要。

- (3) 在系統各元件故障資料並不完整之情況下，本研究在風險評估時所選用之「風險矩陣評估法」仍屬質化之評估。建議交通主管單位及運輸營運單位應積極建立運輸系統安全資料庫，例如「營運延滯」及「事故傷亡件數」，俾讓未來運輸系統安全之風險評估能夠使用較具客觀基礎之量化評估模式。此外，運輸系統安全資料庫亦能提供系統安全相關議題之研究，增加研究人員對基本安全問題特性之認知，以便深入討論安全問題之癥結與關連結構。
- (4) 本研究各安全問題之風險評估結果，大都集中於「低風險」與「中風險」間，風險等級之鑑別度並不特別明顯。此種現象可能與捷運通車時間尚短，捷運員工之服務年資與經驗尚淺有關。另外在風險等級之歸類上，本研究係採評分平均值四捨五入之作法歸類，是否因此而讓個別之差異被稀釋，導致風險等級之鑑別度不易凸顯。上述兩種可能之原因，均值得日後之研究加以深入探討。
- (5) 安全問題之風險評估只是確認問題之工作，更重要的任務則是如何分析安全問題之發生原因，研擬並執行防範措施，以避免潛在安全問題之發生。本研究為台北捷運公司所研擬之系統安全管理措施，值得台北捷運公司參考使用，並建議可進一步進行其有效性與經濟性之探討。
- (6) 系統安全之問題不但會隨著外在環境之變化而改變，亦會隨著系統之老化而出現不同之問題。因此，運輸系統安全檢核工作是一項必須長期且持續進行之工作，是以健全之運輸系統安全管理制度才是維繫運輸系統永續安全之最根本辦法。
- (7) 本研究係屬國內首度對運輸系統安全管理檢核作業之研究，不論參與研究之工作人員或受訪之捷運員工，對焦點團體討論方法之進行仍多處於學習與實驗之狀況，難免在安全問題概念之蒐尋上多所疏漏。建議未來交通主管機關及運輸營運單位能多辦理類似之安全問題蒐尋研討，既能加強從業人員對安全問題之認知與體驗，亦能協助未來學術界從事運輸系統安全管理之研發。

## 參考文獻

1. 中山科學研究院系統維護中心，**系統安全簡介**，中山科學研究院，民國九十年。
2. USA Department of Defense, *Standard Practice for System Safety* (MIL-STD-882C), 1993.
3. United Kingdom Ministry of Defense, *Defense Standard: Safety Management Requirements for Defense System*, 1996.
4. British Standards Institution, *Railway Applications —The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability, and Safety*, EN50126, 1999.
5. Railway of Australian Committee, *Australian Standard: Railway Safety Management*, AS4292, 1995.

6. Papazoglou, Ioannis A. and Aneziris, Olga, ‘On the Quantification of the Effects of Organizational and Management Factors in Chemical Installations’, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 63, 1999, pp. 33-45.
7. 蔡明志, 「風險管理在大眾運輸安全管理管制課題之發展應用」, **運輸計劃季刊**, 第二十九卷, 第一期, 民國八十九年, 頁 181-212。
8. Edkins, G. D. and Pollock, C. M., ‘Pro-Active Safety Management: Application and Evaluation within a Rail Context’, *Safety Science*, Vol. 24, No. 2, 1996, pp. 83-93.
9. Edkins, G. D., ‘The INDICATE Safety Program: Evaluation of a Method to Proactively Improve Airline Safety Performance’, *Safety Science*, Vol. 30, 1998, pp. 275-295.
10. Reason, J., ‘A System Approach to Organizational Error’, *Ergonomics*, Vol. 38, 1995, pp. 1708-1721.
11. Reason, J., *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Ashgate Publishing Company, 1997.
12. 張新立、陳家緯, 「城際運輸系統之可忍受風險與可接受風險水準量測之研究」, 中華民國運輸學會第十五屆學術論文研討會, 台北市, 民國八十九年, 頁 569-578。
13. 王隆昌, 「鐵路捷運系統災害之研究」, 國立交通大學交通運輸研究所碩士論文, 民國七十七年。
14. 交通部運輸研究所, **全國交通安全盲點掃描行動—鐵路安全計畫**, 民國八十二年。
15. 蔡明志、張新立, 「軌道運輸營運安全管理技術之研究」, 民國八十八年海峽兩岸交通大學跨世紀科技與教育研討會—軌道工程與運輸, 民國八十八年, 頁 13-31。
16. 黃四昌、李文卿, 「軌道運輸之風險管理設計」, 新世紀軌道運輸國際學術研討會, 民國八十九年, 頁 203-218。
17. 謝魁樹, 「台灣地區鐵路運輸安全衛生管理之研究」, 私立中國文化大學勞工研究所碩士論文, 民國八十五年。
18. Stewart, D. W. and Shamdasani, P. N., *Focus Group: Theory and Practice*, Sage Publications Inc., 1990.
19. Greenbaum, Thomas L., *The Handbook for Focus Group Research*, SAGE Publications, Inc., 1998.
20. Hale, A. R., Heming, B. H. J., Carthey, J., and Kirwan, B., ‘Modeling of Safety Management System’, *Safety Science*, Vol. 26, 1997, pp. 121-140.
21. Lawshe, C. H., ‘A Quantitative Approach to Content Validity’, *Personal Psychology*, Vol. 28, 1975, pp. 563-575.
22. 中山科學研究院, **交通部軍民通用科技計畫—發展軌道運輸工程系統安全之獨立驗證與確認技術總結報告**, 交通部委託辦理, 民國八十七年。
23. 趙吉山、肖貴平, **鐵路運輸安全管理**, 中國鐵路出版社, 1999 年。



# 考慮屬性門檻的多屬性效用方案 評選模式

## MULTI-ATTRIBUTE UTILITY PROJECT EVALUATION MODELS WITH ATTRIBUTE THRESHOLDS

周宏彥 Hung-Yen Chou<sup>1</sup>  
段良雄 Liang-Shyong Duann<sup>2</sup>

(91 年 10 月 24 日收稿，92 年 1 月 20 日第一次修改，92 年 4 月 15 日  
第二次修改，92 年 12 月 31 日定稿)

### 摘 要

本研究利用敘述偏好數據建立多屬性效用模式進行運輸替選方案之評選，在模式的構建過程同時探討屬性的可接受門檻與無異門檻問題。研究結果發現利用線性羅機模式所建立之多屬性效用函數解釋能力尚可，大部分屬性均相當顯著。此結果表示利用敘述偏好數據建立多屬性效用模式確實可找出各屬性間的交互損益關係。在考慮同一決策者之決策具一致性，而不同決策者間具異質性之假設下，所建立的可接受門檻或無異門檻模式均可大幅增加模式的解釋能力，由於大部分的屬性都有適用於部分決策者的可接受門檻或無異門檻，故對各屬性間的交互損益關係有相當大的影響。無異門檻模式的解釋能力優於可接受門檻模式。同時考慮兩種門檻的整合模式的解釋能力最佳，所有係數均相當顯著且符號正確，各屬性係數值間之交互損益關係也相當合理。

- 
1. 私立長榮大學航運管理系助理教授 (聯絡地址：711 台南縣歸仁鄉長榮路一段 396 號長榮大學航運管理系；電話：06-2785123 轉 2254；E-mail：chou9611@mail.cju.edu.tw)。
  2. 國立成功大學交通管理科學系教授 (聯絡地址：701 台南市大學路 1 號成功大學交通管理科學系；電話：06-2757575 轉 53222；E-mail：lsduann@mail.ncku.edu.tw)。

**關鍵詞：**方案評選；多屬性效用；敘述性偏好；可接受門檻；無異門檻

## ABSTRACT

*This research established multi-attribute utility models with stated preference data to evaluate transportation projects. We discussed the attribute thresholds of acceptance and indifference. The results showed that the multi-attribute utility function of linear logit model had relatively good explanatory ability and most attributes were significant. This means that multi-attribute utility model established with stated preference data can indeed find the tradeoff between attributes. Assuming that an individual should behave consistently and different individuals may behave heterogeneously, we found that the threshold models could greatly increase explanatory power. Due to the fact that most attributes had threshold of acceptance and/or indifference, the tradeoff between attributes were greatly affected. Of the two threshold models, the threshold of indifference model had better explanatory power. The integrated model with both thresholds had best explanatory power. Its coefficients of all attributes were significant and had the correct signs. The tradeoffs between attributes were reasonable.*

**Key Words:** *Project evaluation; Multi-attribute utility; Stated preference; Threshold of acceptance; Threshold of indifference*

## 一、緒 論

方案評選方法是一種評定方案等級或選擇最佳方案的技術，也就是比較許多方案中間的優劣關係，據以評斷及選擇。常用的方案評選方法有成本效益分析法、多準則評估法、與多屬性效用法。

成本效益分析法將所有的成本與效益項目貨幣化。效用貨幣化之理論源自於新古典體經濟理論中的消費者理論，以相等變量 (equivalent variation)、補償變量 (compensating variation) 或消費者剩餘等方法求得<sup>[1,2]</sup>。運輸計畫除了產出使用者效益外，一般而言亦會製造外部性問題。經濟學者提出一些直接與間接的方法來衡量這些外部性影響，如防治成本法、損害成本法、生產率法、特徵價格法、直接評價法、與條件評價法等<sup>[3]</sup>。最常應用於外部性或非市場財貨的估價方法是條件評價法 (contingent valuation)<sup>[4,5]</sup>。所謂條件評價法係安排與設計若干假設性問題，以問卷調查方式，就環境資源供給量的部分，詢問受訪者所願支付或接受補償之價格，藉以導出個人對某種非市場財貨的偏好與評價。條件評價法因為是在假設性的市場情況下，由調查者提供之願付價格詢問受訪者，受訪者為維護本身利益可能不願顯示出真正之偏好，或者因資訊不足無法正確填答。

成本效益分析法在運輸計畫評估方面之應用相當多。如 Odeck<sup>[6]</sup>，Souza 等人<sup>[7,8]</sup> 等。Hayashi 和 Morisugi<sup>[9]</sup> 彙整英國、法國、日本、美國與德國等五個國家運輸計畫評估之相

關資料後，發現各國在計算成本效益時所採用之時間價值、生命安全價值、環境影響或區域經濟之貨幣化價值有很大之差異。亦即成本效益分析時，貨幣化價值並無一致性或客觀性之尺度轉換基準。

多準則評估法可改進成本效益分析法無法處理非貨幣化因素之缺點。其評估決策程序的主要內容為構建決策問題，評估方案的可能影響，找出決策者的偏好與權重，與進行方案評估比較<sup>[10,11,12]</sup>。多準則評估法使用許多不同的方法進行評估。其中預期值列等法<sup>[13]</sup>在進行評估時，首先給予準則權重，再將各方案對準則之達成程度給予等級。將各方案在各準則之等級值乘以該準則之權重值，加總後再乘上該方案之實現機率，即可得到各方案的評估分數。此方法操作簡單，但方案影響程度與權重值均由決策者主觀給定。簡單加權法<sup>[10]</sup>利用標準化的各準則值與其相對權數乘積之和來表示各替選方案之分數。此標準化數值可以反映出方案影響程度之基準，但相對權重仍由決策者主觀給定。

目標達成矩陣法<sup>[14]</sup>將方案的影響效果以序分方式表現，亦即當某方案屬性之影響效果較現況為佳時，以 +1 表示，無差異時為 0，較現況為差為 -1。此法將方案屬性之影響效果在同等級內之影響程度視為相同，處理方式過於簡化，且序分處理方式過於主觀。滿足法、滿意分析法或一般化滿意法等方法<sup>[15,16]</sup>以滿意指標作為衡量方案優劣之依據。滿足法假設決策者對每一個準則均設定滿意水準值，並作為方案評選之依據。某方案之屬性值必須優於滿意水準，才可列入評選。此方法之滿意水準值由決策者主觀認定。滿意分析法或一般化滿意法，則假設決策者對每一個準則會設定滿意或不滿意水準值作為比較衡量基準，以成對比較方式計算滿意與不滿意分數，作為方案評選之依據。此滿意水準值亦由決策者主觀決定。

多準則評估方法在計算綜合評分時，權重值代表準則或目標之加權重要程度。求取權重常用的方法有直接評分、加權最小平方法、分派方式、階層程序分析法 (analytic hierarchy process) 等方法<sup>[17,18]</sup>。權重值之獲得，除了階層程序分析法利用決策偏好，以成對比較方式求取外，其他方法多由決策者主觀給定後，以統計原理或數學計算方式求得。階層程序分析法<sup>[19,20]</sup>利用目標層級結構關係，將複雜問題由高層次往低層次逐步分解，由專家或有關決策人員進行評估。但運用階層程序分析法時，在訂定目標、標的、準則與衡量標準的過程中，有些準則可能被遺漏，有些相關性高的準則可能會重複列舉。由於 AHP 法在評估過程中並無統計指標或統計檢定可反映準則間之相關性，當規劃者設計不當時，可能會產生人為因素之疏失而不自知。

多屬性效用理論是由期望效用觀念發展而來，也就是將效用函數以效用之期望值來表示<sup>[21]</sup>。當決策者的偏好結構滿足偏好獨立性與效用獨立性時，多屬性效用函數可表示為單維屬性效用之函數組合。此函數組合一般假設為加法型或乘法型，當方案整體效用與屬性的偏好效用具單調性時，加法型較乘法型簡單有效<sup>[21,22]</sup>。

建立多屬性效用函數最簡單的方法是直接問卷法<sup>[21,23]</sup>，此法以問卷直接詢問受訪者對於方案偏好之主觀評價與權重認定。Morisugi<sup>[24]</sup>利用問卷調查衡量道路使用者之效益，以評估各投資方案之優劣。Pearman 等人<sup>[25]</sup>則以評點方式構建單一屬性效用函數，並以線

性可加成方式建立多屬性效用函數，應用在公路投資計畫評估。但此法所獲得之評價與權重皆由決策者主觀認定。

Keeney 和 Raiffa<sup>[26]</sup>在評估墨西哥市機場之最佳區位時，利用機率測度聯立求解法求取多屬性效用函數。此法先決定某屬性的最低與最高水準值，將最高水準值時之效用訂為 1，最低水準值時之效用訂為 0。然後找出效用值為 1/2 之主觀中點屬性水準值，再依序求得 1/4, 3/4 等值之屬性水準值，再利用曲線近似法構建出該屬性之偏好函數。在計算各屬性之權重時，係利用成對比較的方式，不斷改變各屬性不同組合之水準值，並詢問受訪者在效用感受度相同下，各屬性效用水準之機率值。求解多屬性效用函數之聯立方程式，即可獲得各屬性之權重值。鄧振源、曾國雄<sup>[23]</sup>對單屬性效用函數之構建方法及多屬性效用分解之條件與方式有深入的討論。此法直接調查受訪者對屬性之評價與偏好感受（即效用），受訪者較難填答，且屬性多時有操作上的困難<sup>[27]</sup>。

敘述偏好法的應用在文獻中已有多年的歷史，早期所使用的較知名方法有聯合分析 (conjoint analysis)、函數衡量 (functional measurement)、交互損益分析 (trade-off analysis)、與移轉價格法 (the transfer price method) 等。早期的敘述偏好法之應用受限於研究工具，多採用評分或排序的方法來蒐集數據，其共同缺點為數據的精確度受到懷疑<sup>[28,29]</sup>。前述多屬性效用函數的相關研究亦屬敘述偏好法之研究領域，這些研究的主要困難同樣是決策者的偏好（效用值）蒐集困難，係數值（權重）求取不易。

隨著機率選擇模式的廣泛應用，近期利用敘述偏好法的相關研究在蒐集決策偏好時，皆僅要求決策者在不同方案中選取其最偏好的方案，不需回答其對各屬性或方案之主觀評價或對各屬性之權重感受，受訪者較為容易填答。這種做法解決了前述研究無法客觀決定效用的問題。部分學者<sup>[30,31]</sup>利用多項羅機模式<sup>[32]</sup>與敘述偏好數據進行運輸方案的評選。以多項羅機模式為基礎建立多屬性效用函數，具有完備之理論基礎，可以利用最大概似法校估參數，實務操作非常簡易。鄒克萬<sup>[22]</sup>利用多項羅機模式所構建之評估模式於效用函數屬性上導入了門檻值的觀念，但其模式中之門檻值為決策認知屬性，需事先給定，並非由模式內生校估。

屬性門檻的觀念在文獻中有相當多的討論<sup>[33-40]</sup>。門檻可分為兩類。一類是可接受門檻，即決策者在方案評選時會有一個可接受水準值，當某方案的屬性水準值劣於該水準值時，該方案即不會被選取。另一類是屬性無異門檻，即決策者在評估方案時，當兩方案間某屬性水準值之差落於某範圍內時，決策者會認為該屬性在兩方案間並無差異，其對決策者之效用相同。但相關文獻中並無於同一模式中同時處理兩種門檻者。在運輸計畫評估所使用的目標、標的、準則、標準中，標準之定義為準則的最低可接受水準，此水準值即為可接受門檻。但在前述運輸評估文獻中，僅有少數<sup>[15,16]</sup>將可接受門檻或滿意水準值列入考慮，且此值係由主觀決定。在運輸評估中所使用的許多屬性亦可能存有無異門檻。例如，屬性之水準值係由模式預測而得，因此並非定值，而僅係某一分配之平均值。此外，尚有預測不確定的問題。在考慮信賴區間與預測不確定性之影響後，當兩方案某屬性值之差落入某一範圍時，決策者可能判斷兩者間並無差異，此時即表示該屬性之差值落入無異門檻

內。當某些決策者未將某屬性視為決策屬性時，該屬性在不同替選方案間水準值之差異對決策者之決策並不發生作用，此時亦可視為所有方案間之差值均落入無異門檻中。前述文獻中之目標達成矩陣法將方案影響效果在同等級內之影響程度視為相同，事實上即假設屬性間存在有無異門檻。但此法之屬性無異門檻值之設定過於主觀與簡化，並不理想。

古典決策理論<sup>[21,26]</sup>對兩效用間比較之假設有兩種情形，即決策者對兩方案無差異，或一方案較另一方案有絕對之偏好。而 Roy 和 Vincke<sup>[41]</sup>則認為效用間之比較關係有無差異、絕對偏好、弱偏好、無法比較等四種。成對方案比較的五種偏好組合狀況為無偏好（無差異與無法比較）、偏好（絕對偏好與弱偏好）、推測偏好（弱偏好與無差異）、k 偏好（絕對偏好與無法比較）、優勢偏好（絕對偏好、弱偏好與無差異）等五種。多項羅機模式之方案選擇係以第一偏好法之偏好關係所發展而成，基本上是採取偏好的觀念，對絕對偏好與弱偏好並不加以區別。而無異門檻的觀念則係採取兩效用在某範圍內無偏好的做法，即對無差異與無法比較並不加以區分。此種做法可減少實務上將無偏好與偏好進一步區分的困難。推測偏好、k 偏好、與優勢偏好在實務處理上有其困難，本研究並不採用。

本研究利用多屬性效用函數進行方案之評選。建立效用函數時同時考慮可接受門檻與無異門檻。這在方案評選與運輸研究中均屬新的嘗試，因此必須自行設計由模式內生校估兩種門檻的程式。一般的評估方法（如 PROMETHEE 法<sup>[42]</sup>）在考慮各屬性具有不同的偏好時，如線性偏好、階層偏好等，雖已將偏好與無差異的情形納入，但每一屬性只能適用一種偏好狀況。此種做法並未考慮決策者對同一屬性的異質性，即其決策規則未必相同的問題。處理決策者的決策規則具有異質性的標準做法是以市場區隔處理，常用的方法是以社經特性做外生處理。本研究則以內生市場區隔的方式對每一屬性均將可能的決策者分為適用可接受門檻者、適用無異門檻者、兩種門檻皆適用者、與兩種門檻皆不適用者四類。這種方法並無類似研究可供參考，故須自行設計演算法來處理。

由於方案評選的實證機會相當少，故不易取得實際的評估數據。本研究利用敘述偏好數據進行。設計一個可以同時處理可接受門檻與無異門檻的敘述偏好數據是本研究的重點工作之一。本研究利用二擇一羅機模式進行台南都會區捷運系統方案之評選工作。

本文的主要內容如下：第二節以數學式說明本研究所採用的可接受門檻與無異門檻的概念，接著說明校估各類的門檻模式的演算法。第三節對問卷設計的內容與方法做詳細的說明，重點放在水準值及替選方案組合的設計，並說明調查方式與調查對象。第四節對模式的校估結果進行比較分析，除解釋能力與參數顯著水準的比較外，對屬性間的交互損益關係有深入的討論。最後，提出本研究的結論以及可進一步研究的課題。

## 二、門檻模式與演算法

利用 Keeney 和 Raiffa<sup>[26]</sup>所提出之機率測度聯立求解法為基礎來求取多屬性效用函數時，當決策者的偏好結構滿足偏好獨立性與效用獨立性時，多屬性效用函數可表示為單維



屬性效用之函數組合，此函數組合大多假設為加法型或乘法型。當偏好獨立性不存在時，利用機率測度聯立求解法時，因屬性間的偏好感受互相影響，使得加法型之係數值總和不會等於 1，因此無法利用係數值間之聯立方程式求解。Mollaghasemi 和 Pet<sup>[11]</sup> 指出在實際應用時，由於乘法型之效用函數結構較為複雜，有附加尺度常數存在，操作較為困難。因此當方案整體效用與屬性的偏好效用具單調性時，加法型較乘法型更為簡單有效。本研究以二擇一羅機為基礎建立方案評選之效用函數。利用羅機模式校估效用函數時，並無機率測度聯立法所遭遇的問題，相關文獻中的效用函數基本上都是由屬性以線性可加成的方式組成，幾無採用乘法型處理者。本研究的效用函數亦由屬性以線性可加成的方式組成，但函數中加入無異門檻與可接受門檻的概念。以下說明本研究採用的門檻模式及其演算法。

## 2.1 可接受門檻模式<sup>[33]</sup>

可接受門檻模式係由決策者對替選方案的各屬性依次進行評估，當某替選方案之各屬性之水準值均達到決策者設定之臨界容忍值時方列入評選之考慮，否則即拒絕該替選方案。因此本研究的可接受門檻的觀念即為拒絕門檻。可接受門檻可用相對值（即相對於該屬性最優方案之水準值）與絕對值（即直接求出門檻值，與各替選方式之屬性水準值並無直接關係）兩種方式表示。本研究利用敘述偏好數據建立模式，每一決策者均面對多種不同的屬性水準組合，故以絕對水準值（即定值）的方式表示。

當屬性  $i$  產生正效用，且決策者對該屬性存在可接受水準值  $\chi_i^{(Ath)}$  時，若某替選方案該屬性之水準值大於或等於可接受水準值時，其屬性效用由線性效用函數表示。當某替選方案該屬性之水準值小於可接受水準值時，其屬性效用為負無窮大。數學式為：

$$\text{若 } \chi_{im} \geq \chi_i^{(Ath)}, \text{ 則 } V_{im} = \beta_i \chi_{im}; \quad (1)$$

$$\text{其他情形時, } V_{im} = -\infty。 \quad (2)$$

式中  $V_{im}$  = 方案  $m$  之第  $i$  個屬性之效用；

$\chi_{im}$  = 替選方案  $m$  的第  $i$  個屬性之水準值；

$\beta_i$  = 屬性  $i$  之參數（待校估）；

$\chi_i^{(Ath)}$  = 決策者對屬性  $i$  的可接受門檻（待校估）。

同理，當屬性產生負效用，且決策者對該屬性存在可接受水準值時，若某替選方案該屬性之水準值小於或等於可接受水準值時，其屬性效用由線性效用函數表示。當某替選方案該屬性之水準值大於可接受水準值時，屬性效用為負無窮大。當替選方案有任一屬性之效用為負無窮大時，其選擇機率為零。

## 2.2 無異門檻模式<sup>[34]</sup>

無異門檻模式假設當兩替選方案某屬性之差值在某一範圍內時，決策者會認為此屬性

在兩替選方案間並無差異。無異門檻值亦可分為相對值與絕對值兩種表示方式。本研究利用敘述偏好數據建立模式，故以絕對水準值的方式表示。此時無異門檻為一定值，不隨屬性效用大小而改變。數學式為：

$$\text{若 } |\chi_{im} - \chi_{in}| \leq \delta_i, \text{ 則 } V_{im} = V_{in}; \quad (3)$$

$$\text{其他情形時, } V_{im} = \beta_i \chi_{im}, \quad V_{in} = \beta_i \chi_{in}. \quad (4)$$

式中  $\delta_i$  = 決策者對屬性  $i$  的無異門檻，為正值。其餘變數之定義同前。

(3)式的意義為當兩替選方案某屬性水準值之差小於無異門檻時，該屬性之效用在兩替選方案中並無差異。為計算方便，將該屬性之效用以平均值表示。無異門檻對屬性水準值較差的替選方案較為有利，因可增加其被選擇的機率。

## 2.3 門檻模式校估的演算法

本研究對門檻模式有兩個假設。第一個假設是同一決策者的決策具有一致性。由於本研究採用敘述偏好數據，同一決策者會面對同一屬性多種不同水準值的組合，一致性指的是若某決策者對某一屬性有可接受（或無異）門檻，則此門檻值必須適用於該決策者所有可行的替選方案組合。第二個假設是不同決策者的決策具有異質性。異質性指的是對某一屬性而言，有些決策者會有屬性門檻（可接受與／或無異），另一些決策者則沒有屬性門檻。為求簡單化，本研究假設有可接受（無異）門檻的決策者的屬性可接受（無異）門檻的水準值相同。這種方式可將決策者分為沒有門檻者、僅適用可接受門檻者、僅適用無異門檻者、與同時適用兩類門檻者等四種市場區隔。

由於屬性可接受門檻與無異門檻在效用函數中均是以隱函數的形式存在，故無法直接由目標函數中求得。本研究先利用試誤法設定各屬性之門檻值，再校估線性效用函數之參數值。為避免屬性選取之順序影響校估結果，必須利用往復的方式求解。以下說明各類門檻模式校估的演算法。

### 2.3.1 可接受門檻模式校估的演算法

可接受門檻模式的校估步驟如下：

1. 列出所有屬性與水準值。
2. 隨機選取某一屬性，以該屬性相鄰水準值之中間值作為可接受門檻值之設定依據。
3. 由小至大依序選取該屬性之可接受門檻水準值。
4. 依次檢視每一決策者之所有二擇一替選方案組合是否適用於該門檻水準值。當某一替選方案組合中，一替選方案該屬性之水準值優於門檻水準值，而另一替選方案該屬性之水準值劣於門檻水準值，則此替選方案組合可能適用該門檻水準值。若同一決策者在其所有可能適用此可接受門檻水準值之替選方案組合均選擇該屬性的水準值較優的替選方

案，則該決策者在此門檻水準值時適用門檻模式。在其他情形下，該決策者均適用線性羅機模式。分別記錄之。

5. 已指定可接受門檻值之屬性以上述方式處理，尚未指定門檻值之屬性以線性羅機模式處理。利用最大概似法進行模式之校估，算出模式之對數概似函數值，並記錄之。
6. 重複第 3、4、5 步驟，當該屬性的所有替選可接受門檻值均已被選取時，進入步驟 7。
7. 比較該屬性在不同可接受門檻值時的對數概似函數值，函數值最大的門檻水準值即為該屬性的可接受門檻值。
8. 回到步驟 2，當所有屬性均已被選取時，進入步驟 9。
9. 記錄各屬性之可接受門檻值與目標函數值。重複第 2 至第 7 步驟，依序調整各屬性之可接受門檻水準值，計算並記錄最佳之對數概似函數值，直至對數概似函數值收斂為止。

### 2.3.2 無異門檻模式校估的演算法

無異門檻模式的校估步驟如下：

1. 列出所有屬性與水準值。
2. 隨機選取某一屬性，以該屬性各水準值間之差值作為該屬性無異門檻值之設定依據。
3. 由小至大依序選取該屬性之無異門檻水準值。
4. 依次計算每一決策者之所有二擇一替選方案組合中該屬性水準值之差值。若同一決策者在所有該屬性水準值之差值小於無異門檻值的替選方案組合中，均選擇水準值較差的替選方案，則該決策者在這些替選方案組合中適用無異門檻模式。在其他情形下，該決策者均適用線性羅機模式。分別記錄之。
5. 已指定無異門檻值之屬性以上述方式處理，尚未指定門檻值之屬性以線性羅機模式處理。利用最大概似法進行模式之校估，算出模式之對數概似函數值，並記錄之。
6. 重複第 3、4、5 步驟，當該屬性的所有替選無異門檻值均已被選取時，進入步驟 7。
7. 比較該屬性在不同無異門檻值時的對數概似函數值，函數值最大的門檻水準值即為該屬性的無異門檻值。
8. 回到步驟 2，當所有屬性均已被選取時，進入步驟 9。
9. 記錄各屬性之無異門檻值與對數概似函數值。重複第 2 至第 7 步驟，依序調整各屬性之無異門檻水準值，校估模式並記錄最佳之對數概似函數值，直至對數概似函數值收斂為止。

### 2.3.3 可接受門檻與無異門檻整合模式校估的演算法

此種模式校估的演算法可分為四種：

1. 先求出所有屬性的可接受門檻值，再求出所有屬性的無異門檻值，不斷往復直至收斂為止。

2. 先求出所有屬性的無異門檻值，再求出所有屬性的可接受門檻值，不斷往復直至收斂為止。
3. 先求出某一屬性的可接受門檻值，再求出該屬性的無異門檻值，如此依序求出所有屬性的可接受門檻與無異門檻值，不斷往復直至收斂為止。
4. 先求出某一屬性的無異門檻值，再求出該屬性的可接受門檻值，如此依序求出所有屬性的無異門檻與可接受門檻值，不斷往復直至收斂為止。

上述四種演算法均可利用可接受門檻模式與無異門檻模式所得出之門檻值做為起始值，以節省校估之時間。若四種演算法所得出之收斂值不同，則以最佳解為模式之校估結果。若四種演算法所得出的結果相同，則表示該收斂解為一穩定的最佳解。

### 三、問卷設計與調查

#### 3.1 評估屬性之選定

本研究考量交通建設評選之實用價值，以台南都會區捷運系統方案評選為例進行實證研究。以規劃者的立場，在路網方案研擬時，評估各種可行路網方案之優劣，並選出最佳路網方案供政府決策者之參考。本研究所界定的評估決策階段為捷運路網研擬與可行方案之評估階段。原規劃單位<sup>[43]</sup>係利用分析階層程序法處理，共訂出四項評選目標與 13 項評估屬性。本研究參考其目標與評估屬性，重新整理並加入執行可行性之考量後，以財務經濟、運輸效能、環境影響、與計畫執行等四個層面選定了 11 個評估屬性，各屬性及其定義如表 1 所示。為使不同年期之貨幣價值能有一致性之比較基準，與貨幣值有關之屬性值均以現值表示。Keeney 和 Raiffa<sup>[26]</sup>指出多屬性效用之屬性選取原則有完備性 (completely)、可操作性 (operationally)、可分解性 (decomposablely)、無重複性 (nonredundantly)、最小規模性 (minimal size) 等五項原則。上述評估屬性之選取以 4 個指標層級結構列舉 11 項影響屬性，此作法可將決策問題之重要特性涵蓋，符合完備性原則。所選定之屬性均有意義且能明確執行，符合可操作性原則。將複雜影響因素分解，使評估過程得以簡化，具有可分解性。選定之屬性對於偏好效用有不同之影響效果，沒有重複性。選定之屬性均具有代表性，沒有冗長過多，符合最小規模之原則。

本研究選定之評估屬性與原規劃報告所列之屬性有少許差異，說明如下：

1. 財務經濟指標由建造成本、營運成本、以及旅行時間與旅行成本節省的效益等屬性組成。財務指標是真實的貨幣價值感受，是投資者與經營者所需直接面對的投資與經營問題，因此以建造成本與營運成本代表。原規劃所使用之營運收入屬性僅是財務對象之轉移，且與乘客數高度相關，故未列入。旅行時間與旅行成本的節省則屬經濟效益，代替原規劃所列之節省旅行時間。

表 1 評估屬性與水準值設計說明

指標	屬性名稱	單位	屬性說明	水準值個數	最劣與最佳水準值	水準值最大與最小差距
財務經濟指標	建造成本	億元	土木、機電、車輛、土地建物拆遷補償成本	10	2100, 1700	400, 5
	營運成本	億元／年	每年維修與管理成本	6	35, 25	10, 1
	旅行時間與旅行成本節省的效益	億元／年	每年旅行時間與旅行成本節省所獲得的效益 (時間價值以每小時 150 元為計算基準)	6	85, 115	30, 2
運輸效能指標	承載旅客數	萬人次／日	捷運每日承載旅客數	6	40, 55	15, 1
	需轉車之比率	%	捷運轉車旅客數／捷運總旅客數	5	60, 30	30, 2
	服務人口數	萬人	捷運路網市區車站 500 公尺半徑及郊區車站 800 公尺半徑內服務之總人口數 (目標年台南都會區人口約為 258 萬人)	6	50, 70	20, 2
環境影響指標	噪音影響	公里	高架式之捷運列車輪軌噪音 (產生 84 分貝，類似煩躁喧嘩聲) 通過住宅、商業區之路線長度。(捷運全線長度約為 60 公里)	5	45, 20	25, 2
	古蹟景觀影響	個	路線經過一級、二級、三級古蹟會影響整體形貌或阻塞古蹟景點動線之加權個數。加權方式為：個數 * 古蹟類型之權重 (一級 3、二級 2、三級 1)。(規劃區內之古蹟一級有 7 個、二級有 7 個、三級有 40 個)	5	30, 3	27, 2
	施工交通干擾	處	明挖車站 (嚴重阻礙交通) 施工數目(捷運車站總數約為 45 個)	5	35, 5	30, 2
計畫執行指標	地下化程度	%	捷運地下化路線長度占捷運全部路線之百分比與地下車站數占捷運全部車站數百分比之加權平均	8	25, 70	45, 1
	民眾反對人數	人	民眾陳情反對的人數	4	1000, 0	1000, 100

- 運輸效能指標由承載旅客數、需轉車之比率、服務人口數等屬性組成。原規劃所列之吸引私人運具與服務重大建設地區兩屬性，因有定義模糊與數值相關兩問題，故捨棄不用。本研究選定之運輸效能指標係以能增進運輸服務之便利性與易行性的衡量指標為主。
- 環境影響指標由噪音影響、古蹟景觀影響、施工交通干擾等屬性組成。捷運對空氣污染

之減少有正面意義，因其可減少汽機車排放之污染量，但原規劃報告並未列入評估指標，因其假設捷運路線方案間對於空氣污染改善影響沒有太大差異，故不列入評估屬性。原規劃報告將環境影響指標之屬性值，均以質化準則給點，但此作法較為主觀且無共通性之認定標準。本研究檢討修正後以能客觀量化之數值來表示噪音影響、古蹟景觀影響、與施工交通干擾等屬性。

4. 計畫執行指標由工程地下化程度與民眾反對程度兩屬性組成。工程地下化程度為工程技術面之考量，其值高低直接影響捷運之造價成本，同時也對未來都市發展、土地利用、與環境衝擊有關。民眾陳情反對人數為執行面之考量，以陳情人數之多寡表示民眾反對之程度，此屬性可以反映出計畫執行之難易程度。

本文將屬性分成財務經濟、運輸效能、環境影響、計畫執行等四個層面的主要目的在於說明方便。各個屬性之歸類可有不同的做法。例如，評估指標的設計亦可由使用者效益（經濟）、營運者效益（財務）、非使用者效益（環境）、政府執行者（計畫執行）的四個層面來思考。但本研究的效用函數主要是以屬性為基礎所建立，屬性如何歸類並不影響多屬性效用函數的建立。在 3.3 節替選方案之組合設計中將說明如何處理相關性較高屬性之處理方法。

### 3.2 屬性水準值之設計

本研究以整合可接受門檻與無異門檻的多屬性效用函數進行運輸方案的評選，在設計評估屬性之水準值時，須滿足下列條件：

1. 每一屬性預設水準值之範圍需包含實際待評選替選方案之最大值與最小值，以確保方案評估結果位於可行區間內。
2. 每一屬性預設之水準值之數目須不小於實際待評選替選方案之數目，以增加效用函數區隔各替選方案之能力。
3. 設計屬性水準值時，各水準值間之差值應設計為不同的數值（但須考慮該屬性於實際待選方案間之差值），以提供更多的屬性間交互損益關係與屬性的門檻值供決策衡量。如此較能反映決策者對於方案評選時不同偏好程度之差異感受，並可增加模式校估參數之顯著程度。

依上述前兩個條件之設計原則，在最大與最低的水準值間配置不同尺度影響作用的水準值 2 個，使得每個屬性至少有 4 個水準值。由於某些屬性之最大與最小水準值之差距太大，若僅採用 4 個水準值將使各水準值的間距範圍過大，而導致無法得出該屬性之無異門檻。為了探討無異門檻對決策之影響，必須增列部分屬性之水準值。以建造成本為例，由於建造成本是效用函數的連結屬性，與其他屬性間之組合情形較多，且建造成本與其他屬性間的交互損益關係範圍相當廣，必須設計較多的水準值。例如，建造成本與環境屬性組合時之水準值之差距應與建造成本與運輸效能屬性組合時之水準值之差距有所不同。故將建造成本再細分並增列水準值，以獲取較正確的屬性間權衡關係。依此原則調整後，建造

成本之水準值個數增為 10 個，此過程同時決定了建造成本各水準值間的最小差距。其他各屬性水準值之個數與水準值最小差距均依上述原則同時決定，其結果列於表 1。

### 3.3 替選方案組合之設計

本研究採用了 11 個評估屬性進行大眾捷運路網方案的評選，當決策者同時面對如此眾多的屬性時，將難以有效且正確的評選出最佳方案，故必須簡化問題並以系統化的程序來處理。敘述偏好法之實驗設計可分為二因素法與整體輪廓法兩大類<sup>[44]</sup>。二因素法每次只對兩個屬性之不同水準值進行評估，本研究將面對替選方案組合過多的問題，故本研究以對所有屬性的不同水準值進行評估的整體輪廓法進行。本研究因評估屬性及水準值眾多，故實驗設計方法無法採用完整的整體輪廓法進行實驗設計，改以此法的部分要因設計進行<sup>[45]</sup>。採用敘述偏好法的相關文獻均指出受訪者一般僅能同時比較二至三個屬性之差異，故為了符合決策者在方案評選時判斷能力之限制，替選方案的個數與屬性變數均不宜太多<sup>[46]</sup>。本研究試調結果亦顯示三個屬性的方案組合較適合受訪者填答。故本研究以兩個替選方案，每個替選方案三個屬性之不同替選方案組合供決策者評選。

由於本研究的屬性眾多，故必須對部分要因設計做進一步的處理。其做法是將屬性分組進行替選方案之組合，但各屬性組合中均必須包括一共同的屬性，此共同屬性可做為不同屬性組合中各屬性之連結，如此便可得出效用函數中所有屬性間之交互損益關係<sup>[45]</sup>。依本研究之實證特性，此連結屬性以建造成本最為適宜，因其與其他屬性間的交互損益關係較能為決策者所了解。故本研究以建造成本作為連結屬性，在每個替選方案組合中均列入。

在設計方案組合時，為便於決策者得出對各替選方案之認知，以比較方案間整體效用之差異，故將較有關聯性或互有影響之屬性組合在一起。例如，財務經濟指標內之營運成本與旅行時間效益屬性與運輸效能指標之承載人數、轉車率、服務人口屬性之關聯性較高，屬性數值間互有影響且會影響決策者對於方案效用之整體偏好判斷。而此群組內的屬性特性與環境影響與計畫執行指標之關聯性較少。計畫執行指標之地下化程度與民眾反對人數之屬性會與環境影響屬性如噪音、古蹟景觀、施工交通干擾的屬性較有關聯。地下化的程度直接會影響環境之衝擊程度，環境之影響與民眾反對有關。但地下化與民眾反對人數之屬性與營運成本、投資效益、承載人數、轉車率、服務人口等屬性之關聯性較弱。故本研究依其特性將屬性分為四類，再依方案組合特性分成兩類加以組合，以將屬性相關性之問題內部化處理，有效分離屬性值間之效用貢獻，增進模式之解釋能力。

依上述原則將替選方案組合分成兩類，第一類由建造成本與財務經濟指標的營運成本與旅行時間與旅行成本節省的效益兩屬性，以及運輸效能指標的承載旅客數、需轉車的比率、服務人口數三屬性組成。每一替選方案組合均由建造成本與另五個屬性依序選取的兩個屬性組成。依序選取時係將財務經濟指標的兩屬性列為一組，運輸效能指標的三屬性列為一組，每次由兩組中各選取一個屬性，以產生六個不同屬性組合。第二類則由建造成本與環境影響指標的噪音、古蹟景觀、施工交通干擾三屬性，以及計畫執行指標的地下化程

度與民眾反對人數二屬性組成。替選方案組成的方式與第一類相同，亦產生六個不同屬性組合。這種作法可使相關性可能較高的屬性出現在同一替選方案組合中，可利用模式校估直接解決屬性相關的問題。本研究對每位受訪者均提供 12 個替選方案組合供其評選，故除建造成本外之各屬性均至少出現於二替選方案組合中。

屬性水準值之出現以隨機方式處理，先依屬性之水準個數平均分配各水準值位於亂數表之範圍，再由電腦隨機產生亂數，依此選取水準值。此過程由電腦程式處理。隨機組合過程須檢視替選方案組合中各屬性水準值之合理性，以使受訪者填答時能清楚明瞭替選方案組合之意義與屬性間之交互損益關係。替選方案組合中屬性水準值之設計須考慮屬性間交互損益關係的可能範圍。例如，建造成本與環境影響指標之屬性組合時，建造成本之屬性差值應較小，但建造成本與運輸效能指標之屬性組合時，建造成本之屬性差值則可較大。當屬性水準值有關聯性時，需考量方案組合時水準值大小之一致性。例如，地下化程度屬性水準值較高之替選方案，其建造成本之屬性水準值也應較高。此外，組合替選方案時需避免絕對優勢或絕對劣勢之現象，即同一組合中一替選方案三屬性之水準值均優於或劣於另一替選方案，此時將無法獲得各屬性間的交互損益關係。本研究在訂定規則後先由電腦程式選取屬性水準值與組合替選方案，並刪除不合理與無法判別屬性交互損益關係的替選方案組合。然後再以人工方式進行檢核。

### 3.4 問卷調查

本研究之實證對象是台南都會區捷運路網方案的評選，因此受訪者須具有交通方面之專業智能以及方案評選決策之能力，並對台南都會區的交通與都市建設有相當的了解。為了解專業人士與行政部門的意見，調查對象包括了中央與地方的行政部門以及交通與都市發展有關之專業領域人士。

調查對象為台南市政府（與交通及都市發展有關之市府局室首長、副首長、秘書、課長、區長、區級秘書）、中央單位（與交通部門有關之決策單位，如交通部路政司、運輸研究所、高速鐵路局捷運組、行政院經建會、研考會）、台南地區與都市發展及交通有關的學術團體（成功大學交通管理科學系、都市計劃系、長榮大學航運管理系、崑山科技大學不動產經濟系）、與曾在台南區域從事交通規劃業務的顧問公司（中華、鼎漢、康地、九宜）等。本研究之問卷調查以當面分送填答或以郵寄方式處理。調查與回收情形分別為台南市政府發出 30 份，回收 29 份，中央單位發出 30 份，回收 22 份，學者發出 20 份，回收 16 份，專家發出 20 份，回收 14 份，總計調查 100 份，回收有效問卷 81 份，占 81%。填答樣本數共計 972 筆。

受訪者以男士較多（男 68 份，女 13 份），主要為中年人（25 歲以下 1 份，26 至 35 歲 25 份，36 至 45 歲 28 份，46 至 55 歲 21 份，56 歲以上 6 份），且以高學歷居多（研究所以以上 52 份，大學 24 份，大專以下 5 份）。



## 四、模式校估結果分析

本研究首先建立作為比較基礎的線性羅機模式，再分別建立可接受門檻模式、無異門檻模式、可接受門檻與無異門檻的整合模式，並比較各模式之績效。各模式均利用 GAUSS 套裝軟體程式，以最大概似法進行校估。

### 4.1 線性羅機模式

線性羅機模式之校估結果如表 2 所示。模式中各屬性之係數符號均正確。除旅行時間與旅行成本節省的效益屬性之係數較不顯著外，其餘屬性均相當顯著。此結果表示利用敘述偏好數據建立多屬性效用函數確實可找出各屬性間的交互損益關係。但模式之概似比指標  $\rho^2$  值僅為 0.1197，表示該模式中並未考量許多重要的解釋變數。本研究的替選方案並非固定，故無法得出相對於市場占有率的概似比指標。

表 2 線性羅機模式之校估結果

屬 性	單位	係數值 (t 值)
建造成本	億元	-0.0051 (-4.9)
營運成本	億元／年	-0.0603 (-2.0)
旅行時間與旅行成本節省的效益	億元／年	0.0179 (1.3)
承載旅客數	萬人次／日	0.1048 (4.8)
需轉車之比率	%	-0.0276 (-2.5)
服務人口數	萬人	0.0667 (3.9)
噪音影響	公里	-0.0349 (-2.6)
古蹟景觀影響	個	-0.0570 (-4.7)
施工交通干擾	處	-0.0390 (-3.7)
地下化程度	%	0.0409 (3.4)
民眾反對人數	人	-0.0007 (-2.4)
樣本數		972
$LL(0)$		-673.7418
$LL(\beta)$		-593.1970
$\rho^2$		0.1197

### 4.2 可接受門檻模式

可接受門檻模式之校估結果如表 3 所示。由於各屬性的水準值均為離散值，故校估可

接受門檻值時僅能以相鄰二水準值間之某一值做為判斷的標準。表中之可接受門檻值為相鄰二水準值之邊界值。大於(小於)的符號表示當替選方案該屬性的水準值大於(小於)門檻值時，決策者將不會選取該替選方案。表中各屬性的係數值(t 值)係適用線性羅機模式替選方案組合之校估結果。由表中可看出在考慮可接受門檻後，模式的解釋能力有大幅的改進，概似比指標  $\rho^2$  由 0.1197 增加到 0.2572。線性羅機模式各屬性的係數值也有相當大的改變，大部分屬性的係數值變小，但也有部分屬性的係數值變大。各屬性的顯著程度(t 值)也有類似的改變。這表示考慮可接受門檻後，部分屬性間的交互損益關係有了相當大的改變。

在可接受門檻的校估過程中可能出現下列三種情況：某替選方案組合中之所有屬性對某受訪者均無可接受門檻；某替選方案組合中僅有一屬性對某受訪者有可接受門檻；與某替選方案組合中有兩個以上屬性對某受訪者有可接受門檻。第一與第二兩種情況均不須另行處理。第三種情況時，必然是替選方案組合中被選方案適用可接受門檻屬性之水準值均優於另一方案(如此方能滿足可接受門檻之判定準則)。此時屬性校估的先後次序並不影響模式之校估結果，但可能影響受訪者是否適用某一屬性為可接受門檻之判斷。為解決此問題，本研究在校估出最佳模式後，再將各屬性之可接受門檻值一一代入各受訪者的替選方案組合中，以找出是否存在第三種情況。若有此情況，則將相關屬性均列為該受訪者的可接受門檻。

在 11 個屬性中，除營運成本、旅行時間與旅行成本節省的效益、噪音影響三屬性外，其餘各屬性均可得出可接受門檻。將門檻值代入各受訪者之敘述偏好數據後，可得出適用各屬性可接受門檻的受訪者。各屬性適用可接受門檻的受訪者在 4 人至 17 人之間。學者、專家、市府、中央單位四群體中平均每人有可接受門檻的屬性數比率相當接近，均為略高於 1。有可接受門檻的各屬性中，建造成本與需轉車之比率以中央單位比率最高，承載旅客數、施工交通干擾、地下化程度以市府比率最高，服務人口數以學者比率最低，古蹟景觀影響以學者比率最高，民眾反對人數則適用人數較少。

對適用可接受門檻屬性之門檻值深入觀察後可發現，需轉車之比率、古蹟景觀影響、施工交通干擾、民眾反對人數等四屬性之門檻值均為可能門檻值中之最小值，此結果表示適用這些屬性門檻的受訪者可能是以這些屬性做為決定性的選擇屬性。他們不能容忍過高的轉車比率、對古蹟景觀的影響、施工對交通的干擾、以及任何的民眾反對。

### 4.3 無異門檻模式

無異門檻模式之校估結果如表 4 所示。由表中可看出在考慮無異門檻後，模式的解釋能力有大幅的改進，概似比指標  $\rho^2$  由 0.1197 增加到 0.2967。無異門檻模式之解釋能力顯然優於可接受門檻模式。模式各屬性的係數值有相當大的改變，所有屬性的係數值均變大，但增加的比率並不相同。所有屬性的顯著程度(t 值)也都增加。這表示考慮無異門檻後，部分屬性間的交互損益關係有了相當大的改變。

在無異門檻模式的校估過程中，某替選方案組合中適用無異門檻屬性之數目對適用屬性之判斷並無影響，可由模式校估過程處理。將門檻值代入各受訪者之敘述偏好數據後，可得出適用各屬性無異門檻的受訪者。各屬性適用無異門檻的受訪者在 8 人至 27 人之間。學者、專家、市府、中央單位四群體中平均每人有無異門檻的屬性數比率有相當差異，前兩群體約為 1.5，而後兩群體則約為 2。有無異門檻的各屬性中，營運成本、需轉車之比率、古蹟景觀影響、地下化程度等屬性以市府比率最高，服務人口數、民眾反對人數以中央單位比率最高，其餘各屬性在不同群體間則無太大差異。

最重要的屬性建造成本之無異門檻值為 30 億元，表示替選方案建造成本之差異在 30 億元內時，某些受訪者會認為並無差異。就一個高達 2,000 億的計畫而言，這個數字應屬合理。民眾反對人數之無異門檻值為 900 人，表示適用的受訪者僅對該屬性水準值差異最大的替選方案間有所區別。其餘各屬性之無異門檻值均為本研究所設計的最大可能無異門檻值，此結果表示這些屬性在個別適用的受訪者之替選方案決策中並未被列入考慮。一般的評估研究大都假設決策者在評估時會將所有的評估屬性均列入考慮，上述發現則指出可能有部分決策者並未將某些屬性列入評估之考量中。

#### 4.4 可接受門檻與無異門檻整合模式

整合模式利用不同演算法所得出之校估結果完全相同，其結果如表 5 所示。由表中可看出各屬性係數之符號均正確，且均相當顯著。比較線性羅機模式與三門檻模式各屬性之  $t$  值後，可發現考慮可接受門檻雖可增加模式之解釋能力，但適用此門檻之替選方案組合在校估線性效用函數時均遭剔除，在樣本數減少的情形下，屬性之顯著水準可能降低。而無異門檻可增加模式之解釋能力，且樣本數並未改變，故屬性之顯著水準因而增加。整合模式的概似比指標  $\rho^2$  值為 0.3784，較前述三模式均高出很多，表示模式的解釋能力非常好。

比較表 3、4、5 之門檻值後，可發現整合模式各屬性的可接受（無異）門檻值與可接受（無異）門檻模式並無不同，而且適用各屬性門檻值的受訪者亦無不同。這結果表示可接受門檻與無異門檻的校估互為獨立，並不會彼此影響。以下對此加以說明。

就某一屬性而言，受訪者的決策規則可分成不適用門檻、僅適用可接受門檻、僅適用無異門檻、同時適用可接受門檻及無異門檻四種類型。前三種類型的受訪者的可接受門檻值與無異門檻值之校估互不影響。當受訪者同時採用兩種門檻做決策時，則須由門檻決策規則加以說明。由第二節各門檻模式的說明可知，若某替選方案組合之某屬性適用可接受門檻，則受訪者必須是選擇該屬性水準值較優之替選方案。反之，若某替選方案組合之某屬性適用無異門檻，則受訪者必須是選擇該屬性水準值較劣之替選方案。也就是說，就同一受訪者而言，其適用可接受門檻之替選組合與適用無異門檻之替選組合乃互斥，故校估時彼此獨立互不影響。此結果表示整合模式的校估將相當有效率。

表 3 可接受門檻模式之校估結果

屬 性	單 位	係數值 (t 值)	可接受 門檻值	適用門 檻受訪 者個數	適用門檻受訪者之 群體人數 (學者、專 家、市府、中央單位)
建造成本	億元	-0.0040 (-3.5)	> 1900	12	(1, 3, 3, 5)
營運成本	億元／年	-0.0478 (-1.5)	—	—	—
旅行時間與旅行成本 節省的效益	億元／年	0.0323 (2.0)	—	—	—
承載旅客數	萬人次／日	0.0483 (2.0)	< 52	17	(5, 2, 8, 2)
需轉車之比率	%	-0.0227 (-1.9)	> 30	8	(1, 1, 2, 4)
服務人口數	萬人	0.0311 (1.7)	< 65	11	(1, 3, 4, 3)
噪音影響	公里	-0.0268 (-1.9)	—	—	—
古蹟景觀影響	個	-0.0308 (-2.3)	> 3	12	(5, 3, 2, 2)
施工交通干擾	處	-0.0269 (-2.4)	> 5	14	(2, 2, 7, 3)
地下化程度	%	0.0247 (1.8)	< 59	16	(3, 3, 7, 3)
民眾反對人數	人	-0.0007 (-2.6)	> 0	4	(2, 0, 1, 1)
樣本數 $LL(0)$ $LL(\beta)$ $\rho^2$		972 -673.7418 -500.4478 0.2572	註：受訪者人數 81 人。其中學者 16 人， 專家 14 人，市府 29 人，中央 22 人。		

表 4 無異門檻模式之校估結果

屬 性	單 位	係數值 (t 值)	無異門檻 之水準值	適用門 檻受訪 者個數	適用門檻受訪者之 群體人數 (學者、專 家、市府、中央單位)
建造成本	億元	-0.0106 (-8.5)	30	27	(5, 5, 10, 7)
營運成本	億元／年	-0.1451 (-4.4)	10	17	(2, 2, 10, 3)
旅行時間與旅行成本節 省的效益	億元／年	0.1165 (5.9)	30	27	(5, 4, 8, 10)
承載旅客數	萬人次／日	0.1770 (7.2)	15	8	(3, 0, 1, 4)
需轉車之比率	%	-0.0645 (-4.4)	30	13	(2, 2, 6, 3)
服務人口數	萬人	0.1165 (6.0)	20	9	(2, 1, 1, 5)
噪音影響	公里	-0.0752 (-4.0)	25	9	(1, 2, 2, 4)
古蹟景觀影響	個	-0.0861 (-5.2)	27	8	(1, 0, 6, 1)
施工交通干擾	處	-0.0607 (-4.2)	30	10	(1, 2, 3, 4)
地下化程度	%	0.0964 (6.6)	45	11	(1, 1, 6, 3)
民眾反對人數	人	-0.0010 (-2.8)	900	13	(1, 2, 4, 6)
樣本數 $LL(0)$ $LL(\beta)$ $\rho^2$		972 -673.7418 -473.8228 0.2967	註：受訪者人數 81 人。其中學者 16 人， 專家 14 人，市府 29 人，中央 22 人。		

表 5 可接受門檻與無異門檻整合模式之校估結果

屬性別	單位	係數值 (t 值)	可接受 門檻值	無異 門檻值	適用各類型模式之受訪者個數 (學者、專家、市府、中央)		
					僅適用可 接受門檻	僅適用 無異門檻	同時適用 可接受與 無異門檻
建造成本	億元	-0.0088 (-6.7)	> 1900	30	7 (1, 2, 2, 2)	22 (5, 4, 9, 4)	5 (0, 1, 1, 3)
營運成本	億元／ 年	-0.1396 (-4.0)	—	10	0	17 (2, 2, 10, 3)	0
旅行時間與旅行成本 節省的效益	億元／ 年	0.1031 (5.0)	—	30	0	27 (5, 4, 8, 10)	0
承載旅客數	萬人次 ／日	0.1294 (4.9)	<52	15	17 (5, 2, 8, 2)	8 (3, 0, 1, 4)	0
需轉車之比率	%	-0.0554 (-3.7)	> 30	30	8 (1, 1, 2, 4)	13 (2, 2, 6, 3)	0
服務人口數	萬人	0.0811 (4.0)	< 65	20	11 (1, 3, 4, 3)	9 (2, 1, 1, 5)	0
噪音影響	公里	-0.0684 (-3.5)	—	25	0	9 (1, 2, 2, 4)	0
古蹟景觀影響	個	-0.0624 (-3.6)	> 3	27	12 (5, 3, 2, 2)	8 (1, 0, 6, 1)	0
施工交通干擾	處	-0.0467 (-3.2)	> 5	30	14 (2, 2, 7, 3)	10 (1, 2, 3, 4)	0
地下化程度	%	0.0815 (4.9)	< 59	45	16 (3, 3, 7, 3)	11 (1, 1, 6, 3)	0
民眾反對人數	人	-0.0010 (-2.9)	> 0	900	4 (2, 0, 1, 1)	13 (1, 2, 4, 6)	0
樣本數 $LL(0)$ $LL(\beta)$ $\rho^2$		972 -673.7418 -418.7872 0.3784	註：受訪者人數 81 人。其中學者 16 人，專家 14 人，市府 29 人，中央 22 人。				

由表 5 可看出，除建造成本屬性外，其他屬性均無同時採用兩種門檻做決策的受訪者。其可能原因為建造成本出現於替選方案組合的次數較多，每位受訪者均有 12 次，而其餘屬性則僅出現二至三次，故無法有足夠的樣本來反映受訪者所有的決策行為。個別受訪者所適用的各類門檻屬性如附表 1 所示。

表 6 為門檻整合模式（線性效用函數部分）與線性羅機模式各屬性間之交互損益關係，表中之標準誤乃依下式<sup>[47]</sup>求出：

兩隨機變數  $\mu$  與  $\lambda$  比值之變異數為：

$$\text{var}(\mu/\lambda) = \mu^2/\lambda^2 * (\text{var}(\mu)/\mu^2 + \text{var}(\lambda)/\lambda^2 - 2\text{cov}(\mu, \lambda)/(\mu * \lambda)) \quad (5)$$

表 6 可接受門檻與無異門檻整合模式與線性羅機模式之比較

屬性間之比值	可接受門檻與無異門檻整合模式		線性羅機模式	
	平均值 (標準誤)	95% 信賴區間	平均值 (標準誤)	95% 信賴區間
旅行時間與旅行成本節省的效益／營運成本	0.7 (0.5)	0~1.7	0.3 (0.4)	0~1.1
承載旅客數／營運成本	0.9 (0.9)	0~2.7	1.7 (1.9)	0~5.5
營運成本／建造成本	15.9 (5.9)	4.1~27.7	11.8 (6.7)	0~25.2
需轉車之比率／建造成本	6.3 (3.1)	0.1~12.5	5.4 (3.0)	0~11.4
服務人口數／建造成本	9.2 (8.5)	0~26.2	13.1 (11.5)	0~36.1
服務人口數／承載旅客數	0.63 (0.6)	0~1.83	0.64 (0.8)	0~2.24
噪音影響／建造成本	7.8 (3.2)	1.4~14.2	6.8 (3.5)	0~13.8
古蹟景觀影響／建造成本	7.1 (2.5)	2.1~12.1	11.2 (3.3)	4.6~17.8
施工交通干擾／建造成本	5.3 (2.2)	0.9~9.7	7.6 (3.4)	0.8~14.4
地下化程度／建造成本	9.3 (9.8)	0~28.9	8.0 (8.7)	0~25.4
民眾反對程度／建造成本	0.11 (0.05)	0.01~0.21	0.13 (0.07)	0~0.27

由表 6 可得出以下較重要的屬性間之交互損益關係之比較：

1. 整合模式與線性羅機模式在信賴水準為 95% 時均無法拒絕旅行時間與旅行成本節省的效益與營運成本兩屬性間係數之比值為一假設。表示決策認知中效益貨幣價值與財務支出之營運成本貨幣價值無顯著差異，此結果與預期相符。但由係數比值的平均值與信賴區間可看出整合模式之結果顯然較佳。
2. 整合模式承載旅客數與營運成本兩屬性係數之比值為 0.9，表示決策者願意每年增加 0.9 億元的營運成本，來每日多服務 1 萬人的旅客。此表示票價約為 25 元，營運收支才會平衡。線性羅機模式所推估之票價約為 47 元。由標準誤可看出整合模式比值之精確度較線性羅機模式高出甚多。
3. 營運成本與建造成本兩屬性係數之比值為 15.9。依建造成本與營運成本之現金流量關係，可以推計兩者係數比值的倒數為決策認知的折現率與折舊率之和<sup>[48]</sup>。本研究營運成本與建造成本均以現值表示，已將折現率列入考慮，故此值應為平均折舊率之決策認知。兩屬性比值的倒數為 0.06 (標準誤為 0.02，信賴區間為 0.02~0.10)。假設營運期為 30 年，依直線法方式所求之折舊率為 0.03，落入上述之信賴區間內，表示整合模式之結果相當合理。線性羅機模式之結果則偏高 (折舊率平均值為 0.09)，且精確度較差 (信賴區間為 0~0.19)。
4. 需轉車之比率與建造成本間兩屬性係數之比值為 6.3，表示決策者願意增加 6.3 億元的建造成本，來減少 1% 的旅客轉車比率。此數字與當每日有 65 萬人旅客量，1% 旅客的轉車時間平均為 7.5 分鐘時，30 年的時間價值相近。線性羅機模式之結果與此相近。

5. 服務人口數與建造成本兩屬性係數之比值為 9.2，表示決策者願意增加 9.2 億元的建造成本，來增加 1 萬人的服務人口。此值較線性羅機模式為低，且精確度較高。
6. 服務人口數與承載旅客數之比值為 0.63，與應小於 1 之預期相符。此值與線性羅機模式之結果相近，但精確度較佳。
7. 環境指標中的噪音影響與建造成本兩屬性係數之比值為 7.8 (標準誤為 3.2，信賴區間為 1.4~14.2)。古蹟景觀與建造成本之係數比值為 7.1 (標準誤為 2.5，信賴區間為 2.1~12.1)。施工交通干擾與建造成本之係數比值為 5.3 (標準誤為 2.2，信賴區間為 0.9~9.7)。三種環境指標之價值認知似乎都偏高，可能是受到龐大的建造經費成本影響，決策者對環境價值的感受相對的增多。一般而言，線性羅機模式之結果偏高程度較大。
8. 地下化程度與建造成本兩屬性係數之比值為 9.3 (標準誤為 9.8，信賴區間為 0~28.9)，表示決策者願意增加 9.3 億元之建造成本，來增加地下化程度 1%。以 60 公里規模之捷運系統而言，表示每增加 1 公里之地下化工程需增加 15.5 億元。依據台南都會區大眾捷運系統規劃報告<sup>[43]</sup>內容所列，每公里路線實際造價地下成本較高架成本約多出 11 億元，1 個地下車站之造價成本較高架車站約多 5.5 億元 (1.2 至 1.5 公里約有 1 個車站)。上述決策認知價值與實際之造價成本相近。線性羅機模式之每公里地下化工程成本之推估值約為 13.3 億元。
9. 民眾反對人數與建造成本兩屬性係數之比值為 0.11 (標準誤為 0.05，信賴區間為 0.01~0.21)。本比值反映因民眾反對而使工程延誤所需增加的機會成本的決策認知。0.11 表示有 1000 人嚴重反對時，需增加 110 億元之成本。此成本相近於年利率為 6%，建造經費為 1800 至 2000 億元時，一年之利息或機會成本。線性羅機模式之結果較高。

由以上分析可看出整合模式的校估結果相當良好，各屬性間的交互損益關係也相當合理，表示加入可接受與無異門檻的整合模式可大幅增進線性羅機模式的解釋能力，且屬性係數值也較為合理。

## 五、路網方案之評選

由第二節所述可知本研究所假設之決策者對第  $i$  個路網方案的線性效用函數型態可表示為：

$$U_i = \sum_{j=1}^n \beta_j \chi_{ij} \quad (6)$$

其中  $n$  為屬性之數目，本研究共採用 11 個屬性依序為建造成本、營運成本、旅行時間與旅行成本節省的效益、承載旅客數、需轉車之比率、服務人口數、噪音影響、古蹟景觀影響、施工交通干擾、地下化程度、民眾反對人數。 $\beta_j$  為第  $j$  個屬性待校估之參數，其係數值如表 5 所示。 $\chi_{ij}$  為第  $i$  個方案第  $j$  個屬性之水準值。

當決策者對所有評估屬性均無可接受門檻或無異門檻時，(6)式即為其對第  $i$  個路網方案之效用。但當決策者對某些屬性有門檻時即須對效用函數加以修正。以下依可接受門檻與無異門檻分別說明。首先討論可接受門檻的情況。當決策者對某些屬性有可接受門檻，而某一路網方案這些屬性的水準值中有任何一個劣於該屬性的可接受門檻值時，此屬性與該方案對決策者的效用均為負無窮大，此時決策者選擇該方案的機率為零。若某路網方案的所有屬性均優於該決策者的可接受門檻時，該方案對決策者之效用如(6)式所示。

當決策者對某些屬性有無異門檻，且面對的是多方案的選擇情境時，處理的方法則較為複雜。以下分別就各種情況說明。第一種情況是當決策者對某些屬性有無異門檻，但各方案間屬性水準值之差均大於無異門檻值時，此時無異門檻並不發生作用，各方案各屬性之效用值均如(6)式所示，不須做任何修正。第二種情況是當決策者對某些屬性有無異門檻，而所有各方案間屬性水準值之差均小於無異門檻值時，此時須將所有方案有無異門檻屬性的水準值依(3)式修正為相同，此時這些屬性在評估時將不發生作用。第三種則是其他情況，此時須面對可能的矛盾現象。例如，可能出現甲乙兩方案間某屬性之水準值並無差異（水準值之差小於無異門檻），乙丙兩方案間某屬性之水準值亦無差異，但甲丙兩方案間某屬性之水準值則有差異之矛盾現象。本研究假設決策者之目的在於評選出最佳的路網方案，故採用下述方法處理。首先在多個路網方案中任意選取兩方案，依(3)式與(4)式得出此兩方案中有無異門檻之屬性之水準值，並計算出兩方案在考慮各屬性無異門檻下的個別選擇機率。再由此兩方案中選取選擇機率較高的方案與尚未選取的另一路網方案進行評選，如此不斷進行至評選出最佳方案為止。然後再以最佳方案為基準，依次得出其他路網方案有無異門檻之屬性之水準值，再依此修正後之屬性水準值代入多項羅機模式，得出各路網方案的被選機率。若決策者對各屬性均無無異門檻，或雖有無異門檻，但各方案間屬性水準值之差均大於無異門檻值時，該方案各屬性之效用值如(6)式所示。

本研究利用上述方法所建立的多屬性效用方案評選模式，進行台南都會區捷運路網方案之評選。原規劃單位<sup>[43]</sup>規劃捷運路網時，考量旅次分布狀況、路線服務範圍、建造方式、環境影響干擾等因素研擬出 4 個可行路網方案。其中 A 方案之捷運路線有 4 條，紅線以穿越式路線銜接台南安平區和高速鐵路台南站，綠線聯結安定鄉和台南市南區，並布設一支線連接永康交流道，藍線則以環狀線圍繞台南市中心區，黃線以輻射線聯結台南市中心和安南區。全長 61 公里，其中高架段 25.5 公里，地下段 35.5 公里。車站有 46 座，其中高架車站為 17 座。B 方案是由三條路線組合而成的路網，紅線服務台南市安南區至高速鐵路台南站，綠線聯結新化鎮和台南市南區，藍線則聯結安定鄉至台南市安平區。全長 60.4 公里，其中高架段 38 公里，地下段 22.4 公里。車站有 45 座，其中高架車站為 24 座，因轉運需要，另設置 4 座轉車站。C 方案亦係由三條路線組合而成的路網，紅線、綠線、藍線起迄關係與方案 B 相同，此方案與 A、B 方案之不同點在於路線的穿越方式與外環線聯結方式的差異。全長 62.6 公里，其中高架段 45 公里，地下段 17.6 公里。車站有 44 座，其中高架車站為 29 座。D 方案亦係由三條路線組合而成的路網，紅線、綠線、藍線之規劃起迄關係與方案 B 與 C 相同，但路線繞行與興建方式有些差異。全長 64.6 公里，



其中高架段 38.9 公里，地下段 25.7 公里。車站有 45 座，其中高架車站為 24 座。依據四個方案特性，規劃報告列舉了建造成本、營運成本、載客人數、服務人口、環境影響等多個屬性供決策評估參考。

4 個路網方案之屬性特性互有優劣，不易判定最佳之方案。如 A 方案的地下化程度最高、噪音的影響最小、但建造成本最多。B 方案具有營運成本最少、服務人口最多等特性。C 方案具有建造成本最少、承載旅客數最多、地下化程度最少等特性。D 方案則具有轉車比率最高等特性。故須利用方案評選方法進行最佳方案的評選。

本研究利用表 5 之結果與前述之效用函數修正原則，依規劃單位之規劃數據，依次計算每一位受訪者對 4 個路網方案的選擇機率。將每個決策者對各路網方案之選擇機率加總平均，即可得出各路網方案總計的平均選擇機率。機率加總的方式有兩種，一種是機率和，即將決策者各路網方案之選擇機率值直接加總。另一種是單位加權，即將各受訪者對各路網方案之選擇機率值最大者之機率定為 1，其餘路網方案之機率定為零。各路網方案之選擇機率與選擇人數如表 7 所示。由表中可看出不論是依機率和或單位加權方式，各決策群體之選擇均有相同的結果，依序為方案 C、方案 B、方案 A、方案 D。其中方案 C 亦為原規劃單位利用 AHP 法評選出之最佳方案。

表 7 各替選方案之選擇機率與人數表

		機 率				人 數			
		A 方案	B 方案	C 方案	D 方案	A 方案	B 方案	C 方案	D 方案
單 位 加 權	學者 (16 人)	0.063	0.313	0.625	0	1	5	10	0
	專家 (14 人)	0.071	0.214	0.714	0	1	3	10	0
	市府 (29 人)	0.103	0.138	0.759	0	3	4	22	0
	中央 (22 人)	0.045	0.318	0.636	0	1	7	14	0
	合計 (81 人)	0.074	0.235	0.691	0	6	19	56	0
機 率 和	學者 (16 人)	0.072	0.339	0.573	0.016	1.2	5.4	9.2	0.2
	專家 (14 人)	0.074	0.367	0.551	0.008	1.0	5.1	7.7	0.1
	市府 (29 人)	0.110	0.309	0.573	0.008	3.2	9.0	16.6	0.2
	中央 (22 人)	0.056	0.396	0.538	0.010	1.2	8.7	11.8	0.2
	合計 (81 人)	0.082	0.349	0.559	0.010	6.6	28.2	45.3	0.8

本研究之評估結果與原規劃報告之評估結果相同，部分原因是原規劃報告所列的 4 個路網方案之優劣特性太明顯，即最佳方案明顯優於次佳方案。大體而言，本研究採用的方法有幾個優點。首先，本研究採用效用函數的觀念，並非對固定水準值的路網方案進行評估。當評估過程中出現新的路網方案時，只要該新路網方案各屬性的水準值位於該屬性原設計最大與最小水準值之範圍內時，可直接利用所校估的效用函數與原有路網方案進行

比較，不必重新進行調查。當新方案的屬性水準值超出原設計範圍時（此時可能產生較大的預測誤差），或出現新的評估屬性時，僅須針對新的水準值與屬性進行小規則的補調，即可與原調查數據合併進行模式之校估與方案之評估。因此，採用本研究的方法可大幅減少評估所需的時間與成本。

其次，本研究的方法可針對不同的需要進行評估。例如，若決策者僅重視財務，則在評估路網方案時可僅考慮與財務有關的屬性。此時相當於將其他屬性的無異門檻視為無窮大。另外，本研究所提供之決策資訊亦較其他的評估方法多。例如，屬性間之交互損益關係可界定決策價值認知之範圍；個體決策判斷之思考層面與偏好感受可作為不同決策群組間對方案意見溝通協調之依據；屬性門檻與無異門檻可作為決策接受程度與偏好的分析依據。

## 六、結論與建議

本研究利用台南都會區捷運系統路網方案之數據進行實證分析，以敘述性偏好法蒐集可能決策者的偏好數據，並建立多屬性效用模式以進行路網方案之評選，在模式的構建過程同時探討評估屬性的可接受門檻與無異門檻問題。研究結果發現利用線性羅機模式所建立之多屬性效用函數解釋能力尚可，大部分屬性均相當顯著，此結果表示利用敘述偏好數據建立多屬性效用函數確實可找出各屬性間的交互損益關係。在考慮同一決策者之決策具一致性，而不同決策者間具異質性之假設下所建立的可接受門檻或無異門檻模式均可大幅增加模式的解釋能力，由於大部分的屬性都有適用於部分決策者的可接受門檻或無異門檻，故對各屬性間的交互損益關係有相當大的影響。無異門檻模式的解釋能力優於可接受門檻模式。同時考慮兩種門檻的整合模式則大幅增加了模式的解釋能力，所有係數均相當顯著且符號正確，各屬性係數值間之交互損益關係也相當合理。本研究亦發現可接受門檻與無異門檻的校估互為獨立，並不會彼此影響，這也大幅減少了校估的困難。

本研究的結果顯示考慮了可接受門檻與無異門檻的多屬性效用模式在方案評選上有相當大的潛力，但本研究也發現了一些有待進一步研究的課題。首先，本研究由於面對多屬性的方案評選問題，在考慮受訪者填答容易的因素下，大部分屬性均僅出現在每一受訪者的兩至三個路網方案組合中。這可能造成無法得出部分受訪者在某些屬性上的門檻值。如何在多屬性的方案評選問題上，利用適當的實驗設計方法（例如路網方案組合中放入更多的屬性或更多的路網方案），使每一屬性的不同水準值均能出現在路網方案組合中，且不會造成受訪者的填答困難，值得進一步的研究。

其次，在最佳方案的評選上，本研究發現各屬性的無異門檻值均為該屬性水準值間的最大差距，此表示對某屬性有無異門檻的決策者並不重視該屬性，在計算路網方案的選擇機率時並未考慮該屬性。但若研究發現無異門檻值較屬性水準值間之最大差距為小時，在計算兩個以上路網方案之選擇機率時即須特別處理。因為此時可能出現甲乙兩方案間某屬

性之水準值並無差異(水準值之差小於無異門檻),乙丙兩方案間某屬性之水準值亦無差異,但甲丙兩方案間某屬性之水準值則有差異之矛盾現象。本研究假設決策者之目的在於評選出最佳的路網方案,故建議可採下述方法處理。首先在多個路網方案中任意選取兩方案,算出兩方案在考慮無異門檻下的個別選擇機率。再由此兩方案中選取選擇機率較高的方案與尚未選取的另一路網方案進行評選,如此不斷進行至評選出最佳方案為止。然後再以最佳方案為基準,算出各路網方案的被選機率。除上述方法外,有無其他更佳的方法可解決多方案無異門檻模式的選擇機率問題,有待進一步的研究。

第三,本研究假設決策者具異質性,即部分決策者對某屬性有門檻,部分決策者則對該屬性沒有門檻。基本上,這是將決策者區隔為兩個市場。若能將決策者區隔為多個市場(例如將決策者分為無門檻者、高門檻者、低門檻者),應更能反映決策者的決策行為。這種做法對模式的解釋能力、模式校估的演算法、與數據的要求之影響也相當值得進一步研究。

最後,本研究在替選方案組合水準值的設計時,並未直接採用實際路網方案的水準值,而係以其為參考數據重新設計水準值。此種做法的優點是水準值的組合較多,較能找出決策者的決策偏好與可能的門檻值。且在面對評估過程所產生的新替選方案時,可直接適用。其缺點則為替選方案組合並非實際的路網方案,可能影響決策者的決策偏好。何種評估情境較適合採用本研究的水準值設計方法,何種評估情境較適合採用實際路網方案的水準值,亦值得進一步的研究。

## 參考文獻

1. Mishan, E. J., *Cost-Benefit Analysis: An Informal Introduction*, 4th ed., Unwin Hyman, London, 1988.
2. Brent, R. J., *Applied Cost-Benefit Analysis*, Edward Elgar, Brookfield, 1996.
3. Gastaldi, M., Pradayrol, J. P., Quinet, E., and Rega, M., "Valuation of Environmental Externalities: From Theory to Decision-Making", *Transportation Planning and Technology*, Vol. 19, 1996, pp. 207-219.
4. Bennett, R. and Tranter, R., "The Dilemma Concerning Choice of Contingent Valuation Willingness-to-Pay Elicitation Format", *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 41, 1998, pp. 253-257.
5. 林元興、劉文棚,「地下水資源價值之研究—條件評價法之應用」,臺灣土地金融季刊,第三十五卷,第三期,民國八十七年,頁 33-67。
6. Odeck, J., "Ranking of Regional Road Investment in Norway", *Transportation*, Vol. 23, 1996, pp. 123-140.
7. Souza, P. D., Everett, J., Gardner, B., and Culp, M., "Total Cost Analysis: An Alternative to Benefit-Cost Analysis in Evaluating Transportation Alternatives", *Transportation*, Vol. 24, 1997, pp. 107-123.

8. Souza, P. D., Cohen, H., Haling, D., and Hunt, J., "Using STEAM for Benefit-Cost Analysis of Transportation Alternatives", *Transportation Research Record*, No. 1649, 1998, pp. 63-71.
9. Hayashi, Y. and Morisugi, H., "International Comparison of Background Concept and Methodology of Transportation Project Appraisal", *Transport Policy*, Vol. 7, 2000, pp. 73-88.
10. Hwang, C. L. and Yoon, K., *Multiple Attribute Decision Making Methods and Application*, Springer-Verlag, New York, 1981.
11. Mollaghasemi, M. and Pet, E. J., *Making Multiple-Objective Decision*, IEEE Computer Society Press, California, 1997.
12. 鄧振源, **計畫評估—方法與應用**, 運籌規劃與管理研究中心, 民國九十一年。
13. Schlager, K., "The Rank Based Expected Value Method of Plan Evaluation", *Highway Research Record*, No. 238, 1968.
14. Hill, M., "A Goal Achievement Matrix for Evaluating Alternative Plans", *Journal of the American Institute of Planners*, Vol. 44, No. 1, 1968.
15. Roy, B., "Problems and Methods with Multiple Objective Functions", *Mathematical Programming*, Vol. 1, No. 2, 1971, pp. 239-266.
16. 馮正民、江俊良, 「計畫評估方法之評述」, **規劃學報**, 第十五期, 民國七十七年, 頁 65-86。
17. Schoemaker, P. J. H. and Waid, C., "An Experimental Comparison of Different Approaches to Determining Weights in Additive Utility Models", *Management Science*, Vol. 28, No. 2, 1982, pp. 182-196.
18. Zhu, S. H. and Anderson, N. H., "Self-Estimation of Weight Parameter in Multiattribute Analysis", *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol. 48, 1991, pp. 36-54.
19. Saaty, T. L., "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure", *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, 1977, pp. 234-281.
20. Zahedi, F., "The Analytic Hierarchy Process—A Survey of the Method and Its Applications", *Interfaces*, Vol. 16, No. 4, 1986, pp. 96-108.
21. Fishburn, P. C., *Utility Theory for Decision Making*, John Wiley & Sons, New York, 1970.
22. 鄒克萬, 「屬性效用評估模式 (EBAU) 之發展」, **規劃學報**, 第十五期, 民國七十七年, 頁 117-134。
23. 鄧振源、曾國雄, 「多屬性效用理論之回顧及其在運輸投資規劃之應用」, **交通運輸**, 第十三期, 民國八十年, 頁 173-200。
24. Morisugi, H., Miyatake, N., and Katoh, A., "Measurement of Road User Benefits by Means of Multi-Attribute Utility Function", *Papers of the Regional Association*, Vol. 46, 1981, pp. 31-34.
25. Pearman, A. D., Mackie, P. J., May, A. D., and Simon, D., "The Use of Multicriteria Techniques to Rank Highway Investment Proposals", in: Lockett, A. G. and Idlei, G., (eds.) *Improving Decision Making in Organizations*, Springer-Verlag, London, 1989, pp. 157-165.
26. Keeney, R. L. and Raiffa, H., *Decision with Multiple Objectives: Preference and Value Trade Offs*, John Wiley & Sons, New York, 1976.

27. 曾國雄、蕭再安，「運輸路線選擇行為之研究—多屬性效用理論之應用」，*地理學研究*，第十二期，民國七十七年，頁 173-188。
28. Kroes, E. P. and Sheldon, R. J. 'Stated Preference Methods: An Introduction', *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 22, 1988, pp. 11-25.
29. Hensher, D. A., 'Stated Preference Analysis of Travel Choice: The State of Practice', *Transportation*, Vol. 21, 1994, pp. 107-133.
30. Daniels, R. F. and Hensher, D. A., 'Valuation of Environmental Impacts of Transport Projects', *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 34, No. 2, 2000, pp. 189-214.
31. Adamowicz, W., Swait, J., Louviere, J., and Williams, M., 'Perceptions Versus Objective Measures of Environmental Quality in Combined Revealed and Stated Preference Models of Environmental Valuation', *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 32, 1997, pp. 65-84.
32. Ben-Akiva, M. E. and Lerman, S. R., *Discrete Choice Analysis Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, Cambridge, 1985.
33. Tversky, A., 'Elimination by Aspects: A Theory of Choice', *Psychological Review*, Vol. 79, No. 4, 1972, pp. 281-299.
34. Krishnan, K. S., 'Incorporating Thresholds of Indifference in Probabilistic Choice Models', *Management Science*, Vol. 23, No. 11, 1977, pp. 1224-1233.
35. Lioukas, S., 'Threshold and Transitivity in Stochastic Consumer Choice: A Multinomial Logit Analysis', *Management Science*, Vol. 30, 1984, pp. 110-122.
36. 段良雄、吳英亮，「不可補償性運具選擇模式之研究」，*運輸計劃季刊*，第十四卷，第二期，民國七十四年，頁 169-186。
37. Young, W. and Bertran, D., 'Attribute Thresholds and Logit Mode Choice Models', *Transportation Research Record*, Vol. 1037, 1985, pp. 153-170.
38. Young, W., 'The Role of Thresholds in Transport Choice', *Behavioural Research for Transport Policy*, VNU Science Press, Utrecht, The Netherlands, 1986, pp. 153-170.
39. 張新立、鍾志成，「屬性門檻多項羅吉特模式之研究」，*運輸計劃季刊*，第二十卷，第二期，民國八十年，頁 103-126。
40. 段良雄、張淳智、胡琬珮、劉怡慧，「運具選擇無異門檻模式」，*運輸計劃季刊*，第二十五卷，第四期，民國八十五年，頁 565-595。
41. Roy, B. and Vincke, P., 'Relational Systems of Preference with One or More Pseudo-Criteria: Some New Concepts and Results', *Management Science*, Vol. 30, 1984, pp. 1325-1335.
42. Brans, J. P. and Vincke, P., 'A Preference Ranking Organization Method, the PROMETHEE Method', *Management Science*, Vol. 31, 1985, pp. 647-656.
43. 臺灣省政府住宅及都市發展局，*台南都會區大眾捷運系統規劃報告*，民國八十二年。
44. 段良雄、劉慧燕，「敘述偏好設計之實驗設計與校估方法」，*運輸計劃季刊*，第二十五卷，第一期，民國八十五年，頁 1-44。

45. Kroes, E. P. and Sheldon, R. J., 'Stated Preference Methods: An Introduction', *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 22, 1988, pp. 11-25.
46. Bradley, M., 'Realism and Adaptation in Designing Hypothetical Travel Choice Concepts', *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 22, 1988, pp. 121-137.
47. Fowkes, T. and Wardman, M., 'Non-Orthogonal Stated Preference Design', Proceedings of PTRC 21st Summer Annual Meeting, Seminar D, 1993, pp. 91-97.
48. Beggs, S. D. and Cardell, N. S., 'Choice of Smallest Car by Multi-Vehicle Households and the Demand for Electric Vehicles', *Transportation Research*, 14A, 1980, pp. 389-404.

附表 1 適用可接受門檻與無異門檻之受訪者分類

受訪者		可接受門檻		無異門檻	
序號	群體	個數	適用屬性	個數	適用屬性
1	學者	1	交通干擾	2	古蹟影響、地下程度
2	學者	1	古蹟影響	0	—
3	學者	2	承載旅客、古蹟影響	2	建造成本、營運成本
4	學者	0	—	0	—
5	學者	3	轉車比率、服務人口、反對人數	0	—
6	學者	0	—	2	建造成本、節省效益
7	學者	2	承載旅客、反對人數	1	建造成本
8	學者	2	承載旅客、地下程度	0	—
9	學者	2	建造成本、古蹟影響	6	節省效益、承載旅客、轉車比率、服務人口、噪音影響、交通干擾
10	學者	2	承載旅客、地下程度	3	建造成本、營運成本、節省效益
11	學者	0	—	2	節省效益、服務人口
12	學者	2	承載旅客、古蹟影響	0	—
13	學者	2	古蹟影響、地下程度	2	節省效益、承載旅客
14	學者	1	交通干擾	1	建造成本
15	學者	0	—	3	承載旅客、轉車比率、反對人數
16	學者	0	—	0	—
17	專家	1	建造成本	2	節省效益、服務人口
18	專家	2	服務人口、古蹟影響	1	反對人數
19	專家	2	建造成本、地下程度	3	節省效益、噪音影響、交通干擾
20	專家	2	承載旅客、服務人口	1	建造成本
21	專家	0	—	0	—
22	專家	0	—	4	轉車比率、噪音影響、交通干擾、反對人數
23	專家	1	轉車比率	0	—
24	專家	0	—	1	建造成本
25	專家	0	—	2	轉車比率、地下程度
26	專家	2	建造成本、交通干擾	2	建造成本、節省效益
27	專家	3	服務人口、古蹟影響、地下程度	1	營運成本
28	專家	1	古蹟影響	1	建造成本
29	專家	2	交通干擾、地下程度	1	節省效益

附表 1 適用可接受門檻與無異門檻之受訪者分類 (續 1)

受訪者		可接受門檻		無異門檻	
序號	群體	個數	適用屬性	個數	適用屬性
30	專家	1	承載旅客	2	建造成本、營運成本
31	市府	3	承載旅客、服務人口、地下程度	0	—
32	市府	1	交通干擾	1	建造成本
33	市府	0	—	3	轉車比率、古蹟影響、地下程度
34	市府	3	轉車比率、古蹟影響、交通干擾	1	建造成本
35	市府	0	—	1	地下程度
36	市府	3	承載旅客、交通干擾、地下程度	2	建造成本、營運成本
37	市府	0	—	3	建造成本、營運成本、節省效益
38	市府	3	承載旅客、轉車比率、服務人口	1	建造成本
39	市府	0	—	2	營運成本、節省效益
40	市府	1	承載旅客	2	建造成本、營運成本
41	市府	0	—	1	交通干擾
42	市府	0	—	0	—
43	市府	1	建造成本	3	節省效益、噪音影響、反對人數
44	市府	0	—	1	古蹟影響
45	市府	1	地下程度	2	營運成本、節省效益
46	市府	0	—	2	古蹟影響、地下程度
47	市府	1	建造成本	2	建造成本、節省效益
48	市府	0	—	9	節省效益、承載旅客、轉車比率、服務人口、噪音影響、古蹟影響、交通干擾、地下程度、反對人數
49	市府	3	承載旅客、古蹟影響、交通干擾	1	建造成本
50	市府	2	交通干擾、地下程度	3	營運成本、節省效益、轉車比率
51	市府	3	承載旅客、交通干擾、地下程度	1	營運成本
52	市府	1	承載旅客	2	營運成本、轉車比率
53	市府	1	服務人口	1	建造成本
54	市府	1	承載旅客	0	—
55	市府	2	地下程度、反對人數	3	建造成本、營運成本、轉車比率
56	市府	3	服務人口、交通干擾、地下程度	1	營運成本
57	市府	0	—	1	轉車比率
58	市府	1	建造成本	5	節省效益、古蹟影響、交通干擾、地下程度、反對人數
59	市府	0	—	3	古蹟影響、地下程度、反對人數
60	中央	2	承載旅客、交通干擾	0	—
61	中央	0	—	4	轉車比率、交通干擾、地下程度、反對人數
62	中央	0	—	1	服務人口
63	中央	1	轉車比率	2	節省效益、地下程度
64	中央	2	轉車比率、服務人口	1	建造成本
65	中央	1	轉車比率	1	建造成本
66	中央	2	建造成本、古蹟影響	2	建造成本、節省效益
67	中央	3	建造成本、古蹟影響、交通干擾	2	建造成本、節省效益
68	中央	2	建造成本、反對人數	2	節省效益、承載旅客

附表 1 適用可接受門檻與無異門檻之受訪者分類 (續 2)

受訪者		可接受門檻		無異門檻	
序號	群體	個數	適用屬性	個數	適用屬性
69	中央	0	—	4	營運成本、節省效益、噪音影響、反對人數
70	中央	0	—	1	節省效益
71	中央	2	服務人口、地下程度	3	噪音影響、交通干擾、反對人數
72	中央	1	地下程度	7	節省效益、承載旅客、轉車比率、服務人口、噪音影響、交通干擾、反對人數
73	中央	4	建造成本、轉車比率、服務人口、地下程度	1	建造成本
74	中央	0	—	4	服務人口、噪音影響、交通干擾、反對人數
75	中央	0	—	3	節省效益、承載旅客、反對人數
76	中央	0	—	2	營運成本、節省效益
77	中央	0	—	1	服務人口
78	中央	0	—	0	—
79	中央	2	建造成本、交通干擾	6	節省效益、承載旅客、轉車比率、服務人口、古蹟影響、地下程度
80	中央	0	—	1	建造成本
81	中央	1	承載旅客	2	建造成本、營運成本

註：受訪者人數 81 人。其中學者 16 人，專家 14 人，市府 29 人，中央 22 人。

1. 同時適用於可接受門檻與無異門檻模式者有 43 人 (學者 7 人，專家 9 人，市府 16 人，中央 11 人)。
2. 僅適用於可接受門檻模式者有 8 人 (學者 4 人，專家 1 人，市府 2 人，中央 1 人)。
3. 僅適用於無異門檻模式者有 25 人 (學者 3 人，專家 3 人，市府 10 人，中央 9 人)。
4. 不適用門檻模式者有 5 人 (學者 2 人，專家 1 人，市府 1 人，中央 1 人)。





# 應用智慧型號誌控制器執行適應性 交通控制之研究

## ADAPTIVE SIGNAL CONTROL VIA AN INTELLIGENT TRAFFIC CONTROLLER

張堂賢 Tang-Hsien Chang<sup>1</sup>

張智華 Zhi-Hua Chang<sup>2</sup>

(91 年 7 月 31 日收稿，91 年 12 月 19 日第一次修改，92 年 1 月 20 日  
第二次修改，92 年 12 月 31 日定稿)

### 摘 要

本研究為 TCIS (Traffic Communication and Information Station) 控制器發展出適應性交通號誌控制邏輯。本法係採兩階段水平推移法改良 OPAC (Optimization Policies for Adaptive Control) 模式的缺失。所提模式之優點在於縮短決策時段長度，減少偵測器誤差對系統績效計算之影響。本研究利用 Java 程式語言成功開發出 TCIS 控制器實用與模擬系統。決策模式採路口總延滯為績效指標，係以各臨近路段之等候線長度總和為系統的延滯值基準。經分析發現，當臨近路段未達飽和車流量時，路口績效取決於最小綠燈時間的限制，在 V/C 值 0.7 以下時，本研究之適應性號誌控制邏輯可以明顯降低路口總延滯，在 V/C 為 0.5 時有最佳控制效果。但當車流量增多 V/C 值達 0.8 時，此適應性號誌控制模式卻與定時控制效果相當。

**關鍵詞：**交通控制；適應性交通控制；交通號誌系統

- 
1. 國立台灣大學土木工程學系所交通組教授 (聯絡地址：106 台北市羅斯福路四段 1 號台灣大學土木工程學系)。
  2. 國立台灣大學土木工程研究所交通組碩士。

## ABSTRACT

*This study develops an adaptive signal control logic for an intelligent traffic controller 'TCIS' (Traffic Communication and Information Station). The method uses two stages rolling on the projection horizon for vehicle estimation and phase-changing decision, which modifies the OPAC (Optimization Policies for Adaptive Control) model. The proposed method can save time for decision-making, and reduce errors from detectors. A system for application and simulation of the proposed model is built. The performance criteria guiding the decision model is the total delay time, estimated on the basis of queue lengths for all the approaches. For the simulations of the study, the model works well in conditions of under saturation. The delay observed is reduced when V/C is lower than 0.7. This constitutes an improvement compared to a pretime system. The optimal effect occurs when V/C has a value of 0.5. However, when V/C approaches 0.8, the proposed model gradually becomes equivalent to a pretime system.*

**Key Words:** Traffic control; Adaptive traffic control; Traffic signal system

## 一、前言

交通號誌在管理控制道路車輛、行人扮演著重要的角色，它在智慧型運輸系統中是最前端的交通控制設施，其功能為提供交通號誌燈號顯示適當的燈相，使行駛路權可藉由號誌燈的指示功能得到公平的分配，並改善人車的交通安全與效率。發展 ITS 即應配以號誌控制系統同步精進，傳統固定時制控制的方法已經不能滿足實際的交通控制需求，國內外皆有許多學者投入適應性號誌控制方法之研究<sup>[1,2,3,4,5,6,7,8,9]</sup>，但在過去國內由於軟硬體缺乏配合，施行尚難。近來國內已有先進控制器 TCIS<sup>[10,11,12]</sup>之研發，其功能十分強大，對國內推展適應性控制已是不遠。本研究之目的係藉由運用最佳控制理論的基礎於適應性號誌控制之演算邏輯模式中，並設計應用程式，配合 TCIS 以執行適應性控制。

本研究的內容主要有四部分如下：(1) 適應性號誌之邏輯模式構建。(2) 適應性號誌邏輯之最佳控制求解。(3) 控制邏輯程式撰寫及測試。(4) 適應性號誌控制適用時機分析。研究範圍設定為獨立路口之適應性號誌控制，並不考慮連鎖控制。針對獨立路口臨近路段，布設車輛偵測器來蒐集車流資料，然後輸入於所建構之模式中，進行控制最佳化計算。本研究利用開放性架構且跨平台的程式語言來撰寫控制程式，目標為路口控制績效最佳，亦即是路口總延滯最小的控制策略。

## 二、OPAC 模式回顧

目前各種適應性號誌邏輯中，主要有兩種決策邏輯，一是二元決策邏輯，MOVA、SAST

及 COMDYCS-III 屬於此類型的邏輯；另一種是程序性決策邏輯，OPAC 模式則是此種判斷決策邏輯。這兩種邏輯各有其優缺點，其判斷架構分述如後：

二元決策邏輯其控制時段以先期交通資訊量為範圍，作為各種時制轉換判斷之基礎。在判斷過程中，先將控制時段切割成許多決策時段，其長度為單位時間  $\Delta t$ ， $\Delta t$  範圍在 2 ~ 5 秒間，在每一個決策時段中，皆採用二元決策邏輯來進行判斷是否延長現行綠燈一個  $\Delta t$  時間，或者結束現行綠燈進行分相轉換之得失比較，並逕行系統延滯值之評估計算。決策結果將在下一個  $\Delta t$  時段進行，而控制時段將會往後推一個  $\Delta t$  單位時間，重複以上判斷邏輯之工作。

程序性決策邏輯則是以一控制階段約 50 ~ 100 秒，為其控制長度範圍，並將控制長度範圍切割成許多單位時段  $\Delta t$ ，與二元決策邏輯不同的是其控制範圍包含了先期交通資訊量長度以及預測交通資訊量長度。在產生了最適化時制決策後，先執行此決策時制（頭區），其長度即為先期資訊長度，並且控制長度向後推移一個先期資訊長度。程序性決策邏輯之步驟，用水平投射區來代表控制時段之時間長度，而頭區即代表先期交通資訊量，尾區代表預測交通資訊量，在每次最適化的決策過程中，皆是以控制時段內所有交通資訊量，作為各種時制轉換的判斷依據。經由其最適化決策邏輯決定最佳時制轉換時間點，再向後推移一個頭區長度時間，重複進行最適化決策判斷。

本研究設計應用強大的電腦號誌控制器 TCIS 來進行適應性控制，在控制邏輯多半參考 OPAC 模式的精神，因為 OPAC 為程序性之判斷邏輯，適合電腦進行運算，利用其近似動態規劃的技術為基礎，來設計無固定週期之即時需求感應式的交通號誌決策邏輯。以下就 OPAC 模式詳加說明。

OPAC (Optimization Policies for Adaptive Control) 模式係由 Gartner<sup>[6,7]</sup> 針對獨立路口所提出之無固定週期之即時需求感應式的交通號誌決策邏輯。第一代的 OPAC 最佳化演算法（簡稱為 OPAC-1），為一種動態規劃演算法，係多階段決策過程的全域最佳解策略。其設計概念是由偵測器取得車隊預測、分相流量等資料經處理，預測未來數個週期之週期流量表、平均車速及占有率之資料，加上現場燈號狀態，傳入路口最佳化邏輯計算（動態規劃法），考慮路口最長綠燈與最短綠燈限制及網路同步問題，產生號誌時制，估計等候長度、停等及延滯參數作為績效指標。

由於 OPAC-1 需掌握控制時段內完整的車輛到達資訊，且要在極短的時間內計算所有方案，因此 OPAC-1 本身並不符合時效性，在當時電腦技術尚未發達，應用上有其困難和缺失存在。於是有了第二代最佳化演算法（OPAC-2）的加入以取代 OPAC-1 動態規劃法，OPAC-2 的運作為：

1. 將控制時段  $T$  劃分為若干階段 (stages)， $T$  之長度近似於傳統的週期長度或稍長（約 50 至 100 秒），每個階段皆分為整數個 ( $K$  個)  $\Delta T$  的時段 (intervals)，通常設為 4 或 5 秒（黃燈加全紅的清道時間長度）。
2. 每個階段中至少包含一次的號誌轉換，最多可容許至三次，而其目的乃是為了使最佳化的需求感應策略較具彈性。

3. OPAC-2 計算最佳化時制轉換順序所使用的方法稱「最佳化序列限制搜尋法」(Optimal Sequential Constrained Search Method, OSCO)。目標函數為各路口績效指標之總和，在逐次比較各可行方案之績效指標，可行方案即為在階段  $n$  時轉換順序，若此一方案的績效指標值較上一方案為佳，則可取代上一方案，否則即繼續進行下一方案的比較，最後即可獲得最小績效指標值之方案組合。其績效指標 (performance function) 即為階段內的起始等候車隊長度，加上了到達車輛數後再減去離開車輛數的總和：

$$P_n(t_1, t_2, t_3) = \sum_i (Q_0 + A_i - D_i) \quad (1)$$

其中

$Q_0$ ：起始等候線長度；

$A_i$ ：每個步驟  $i$  所到達的車輛數；

$D_i$ ：每個步驟  $i$  所離開的車輛數；

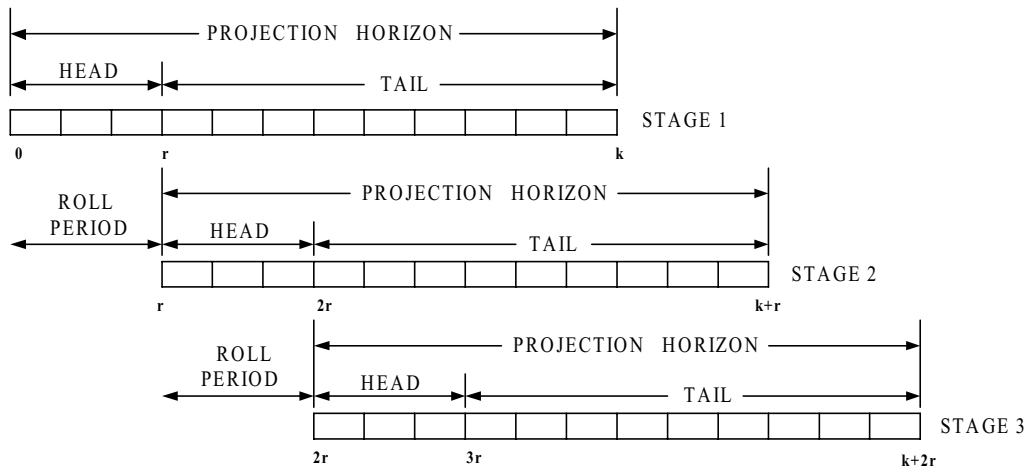
$t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ ：時相轉換之時點。

OPAC-2 在執行上已較 OPAC-1 更具即時性，但仍須具有整個階段的車輛到達資訊才能運作，因此，在不影響最佳化過程之績效演算，對流量推估方面作改進，即僅使用上游偵測器所提供之資訊，以水平推移法 (ROPAC) 來推估流量。水平推移法係將一個階段 (stage) 的長度分成  $K$  個時段，該階段長度乃相當於一個平均週期長度。由各臨近路段之上游偵測器所獲得前  $r$  個時段的實際車流資訊 (稱為頭區)，而剩下的  $k-r$  個時段 (尾區) 則由適當的模式推導獲知。基本作業是將偵測器埋設於距路口停止線上游 10 至 15 秒自由流旅行時間處，頭區長度即為車輛自上游偵測器至停止線的自由流旅行時間長度。其運作程序為 (參見圖 1)：

1. 決定水平投射區  $k$ ，及推移期間  $r$ 。
2. 由偵測器獲得前一個  $r$  個時段 (頭區) 之流量資料，在由尾端模式推算後  $k-r$  個時段 (尾區) 之車流資訊。
3. 利用 OSCO 法計算最佳時序轉換策略。
4. 執行推移期間 (頭區) 的時序轉換策略。
5. 推移  $r$  個投射水平面 (projection horizon)，產生出新的階段；重複步驟 2 至 5。

OPAC 決定尾區的模式有三種：

1. 尾端固定模式 (Fixed Tail, FT)：尾端的每一步驟等於控制時段平均流量的常數。
2. 靜態尾端模式 (Static Tail, ST)：階段內的每一步驟使用一不同值，其值為控制時段車輛到達之週期性平均值。
3. 動態尾端模式 (Dynamic Tail, DT)：類似於靜態尾端模式，即將控制時段內的每一步驟內之實際車輛到達數，透過指數平滑法來推得。

圖 1 水平推移法示意圖<sup>[7]</sup>

OPAC 模式非常適合應用在分散式控制之獨立路口微處理機中執行。偵測器設置於停止線及上游處各一個，只要蒐集流量及占有率。然 OPAC 之設計準則中，採用系統延滯最小為其績效指標。OPAC 為程序性的決策邏輯，先期車輛資訊的內容必須完整了解控制時段內之車輛到達資訊，才能有效掌握並控制路口績效，但是可能由於偵測器之誤差而影響到先期資訊的正確性，加上控制時段較長，若產生誤差，將對系統有較大的影響，產生路口績效降低，或者是未達原先預期之水準。因此本研究將以降低先期車輛資訊的誤差為方向，利用 OPAC 之計算延滯流程，以及水平推移法，並且加入競爭時相之計算，縮短控制時段長度，利用二元決策邏輯，減少偵測器誤差而對系統績效計算之影響。並且採用 Java 程式語言來撰寫適應性號誌控制程式。

### 三、適應性控制最佳化模式構建

路口的交通量隨時間、地點而不斷變動，在均勻流量時適用定時號誌控制，但是在變動情形較大的情況下，就會使得路口各時相有效綠燈時段的使用效率降低，因此設計適應性號誌控制邏輯，就必須掌握此一目標，在執行上必須配合偵測器之設置，包含停止線與上游偵測器，利用偵測器來蒐集即時的車流量資料，也就是先期交通資訊量 (advance traffic information)，利用交通流量預測模式，將先期交通資訊量轉換成預期抵達路口停止線之預期交通量 (expected traffic data)。在本研究之模式中將產生的預期交通量包含兩部分，一是獨立路口臨近路段上停止線前之等候線長度，另一為下一階段抵達停止線之預期車輛到達量。

考量我國都市街廓長度較短且車流變動較大，要蒐集較長時段且完整（如考慮機車等）的先期交通資訊又比較困難下，本研究提出「兩階段水平推移法」（參見圖 2）作為快速反

應實際交通的變化，達到適應性控制的目的。本法即擬混以二元決策邏輯改進 OPAC 之最佳化決策流程，即採縮短 ROPAC 頭區與尾區之長度各為  $\Delta t$ ，設定  $\Delta t$  為 5 秒，縮短控制時段為兩個  $\Delta t$  階段，即為 10 秒鐘，其中  $\Delta t$  長度等於先期交通資訊長度。縮短尾區長度之優點係不需取得太長時間之完整先期交通資訊，決策時間縮短，因此若先期交通資訊量產生誤差，在下一個決策單位時間中可以即時反應，加以修正，避免先期交通資訊量之誤差被放大，對控制績效影響程度較小。

本研究之路口績效值亦採用路口總延滯為績效指標，但與 OPAC 所不同在於本研究考量的是競爭時相的延滯值。亦即本研究之模式以各臨近路段之等候線長度總和為系統的延滯值，考慮兩時相之各路段的等候線車輛數，以作為獲得綠燈權之參考依據。

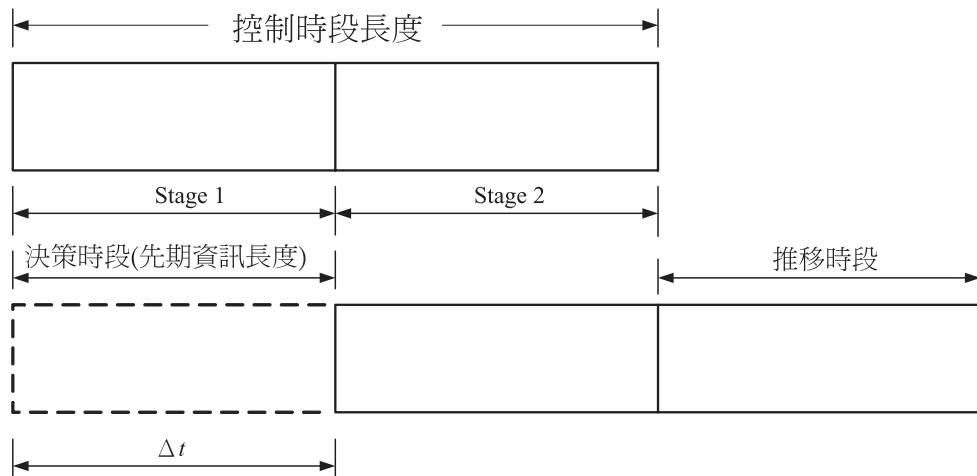


圖 2 兩階段水平推移圖

### 3.1 建模基本假設

對於本研究之系統，設定為獨立路口，而模式基本假設為：

1. 先期交通資訊不考慮機車影響。
2. 黃燈加上全紅時段合計為清道時間共為 5 秒，其假設根據雙車道獨立路口的路口大小來設計，黃燈 3 秒，全紅 2 秒。
3. 無固定週期限制，最大綠燈時間為 120 秒，最小綠燈時間為 15 秒。
4. 先期交通資訊長度總共為 10 秒，若以平均速率 36km/hr 計算，上游偵測器埋設位置需在 80~90 公尺處。
5. 獨立路口有四個臨近路段，採取二時相的號誌時相設計，路段編號為 1、2、3、4。路段 1、2 為第一時相；路段 3、4 為第二時相。

### 3.2 模式概念

本研究之模式採用 OPAC 之流程加以修改，加入競爭時相的延滯計算，而目標式及限制式係引用邱素文君「最適化控制理論應用於構建獨立路口適應性號誌時制決策邏輯之分析研究」<sup>[5]</sup>中之限制式加以修改，其模式基礎在於獨立路口雙向路段中取一臨界延滯值，作為計算基礎。但在本研究中並非取臨界延滯值做為計算值，而是將每一路段之延滯都納入計算，以求得較正確之路口延滯值。模式開始時，系統初置階段為全紅時段 5 秒，之後設定方向 1、2 為起始綠燈分相 1，並且開始進行第一次計算總延滯，分別為 Pn1 與 Pn2。Pn1 為系統延長綠燈之總延滯值，Pn2 為系統結束綠燈之總延滯，計算方式包含階段 1 與階段 2。

在階段 1 中，進行延長綠燈時間，長度為  $\Delta t$ ，或者是結束綠燈進行分相轉換之延滯值計算，再往後推移一個階段，即計算階段 2 之延滯值，加總兩階段之延滯值，則為判斷系統績效之總延滯值，藉以判斷是否延長或結束目前分相，進行燈號轉換。

在轉換順序  $k < i < j$  時，進行兩時段之 Pn1 與 Pn2 之比較，若決定延長綠燈時間，則推移一個時段  $\Delta t$ ，再進行下一階段之比較，如圖 3 所示。當轉換順序  $i < k$  時 ( $k$ : Min GreenTime/ $\Delta t$ ; Min GreenTime = 30 sec;  $\Delta t$  = 5 sec)，則表示尚未達最小綠燈時間限制，將不進行燈號轉換，或者是當轉換順序  $i = j$  時 ( $j$ : Max GreenTime/ $\Delta t$ ; Max GreenTime = 120 sec、 $\Delta t$  = 5 sec)，表示已達最大綠燈時間限制，無論系統總延滯是否判斷要延長或結束現行綠燈，必須無條件進入分相轉換。

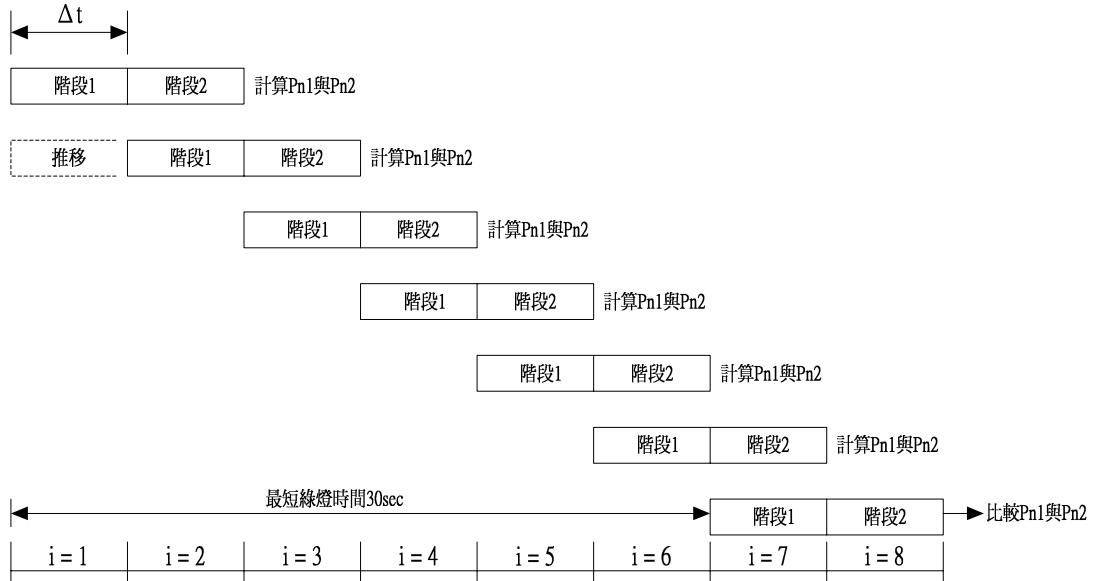


圖 3 推移過程範例



本研究之模式演算流程如圖 4 所示。符號說明如下：

$Pn1(i)$ ：第  $i$  個轉換順序，第一時相綠燈繼續延長之總延滯；

$Pn2(i)$ ：第  $i$  個轉換順序，第一時相綠燈轉換第二時相綠燈之總延滯；

$Pn\ min$ ：最小總延滯；

$T_0$ ：最小總延滯之轉換順序；

$T_i$ ：第  $i$  個轉換順序；

$j$ ： $\text{Max GreenTime} / \Delta T$ ；

最長綠燈時間：120 sec；

最短綠燈時間：30 sec。

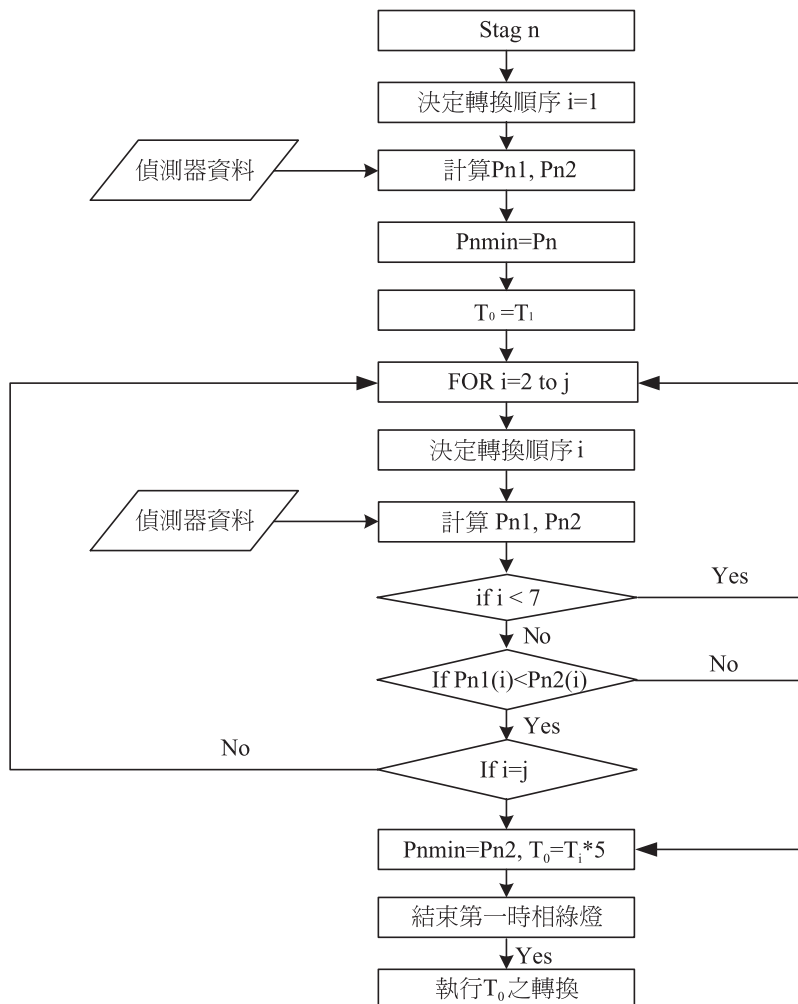


圖 4 模式演算流程圖

### 3.3 目標函數與限制式

本研究係以各臨近路段之等候線為系統的延滯值，考慮兩時相之各路段的等候線車輛數，以作為獲得綠燈權之參考依據。因此本研究之模式是以發生於獨立路口的臨近路段停止線上，其車輛臨近延滯值的最小化，來做為離散時間下，獨立路口最適化適應性號誌時制分析之目標函數。

目標函數：

$$\text{Min } J = \sum_{k=k_0}^{k_1} (P_1(k) + P_2(k) + P_3(k) + P_4(k)) \quad (2)$$

限制式：

$$P_0(k+1) = P_0(k) + P_1(k+1) + P_2(k+1) + P_3(k+1) + P_4(k+1) \quad (3)$$

$$P_1(k+1) = SWL_1(k) + FA_1(k) - (1 - x_5(k)) \times (EL_1(k) \times (1 - u(k)) + CL_1(k) \times u(k)) \quad (4)$$

$$P_2(k+1) = SWL_2(k) + FA_2(k) - (1 - x_5(k)) \times (EL_2(k) \times (1 - u(k)) + CL_2(k) \times u(k)) \quad (5)$$

$$P_3(k+1) = SWL_3(k) + FA_3(k) - x_5(k) \times (EL_3(k) \times (1 - u(k)) + CL_3(k) \times u(k)) \quad (6)$$

$$P_4(k+1) = SWL_4(k) + FA_4(k) - x_5(k) \times (EL_4(k) \times (1 - u(k)) + CL_4(k) \times u(k)) \quad (7)$$

$$x_5(k+1) = x_5(k) + u(k) - 2x_5(k) \times u(k) \quad (8)$$

$$SWL_i(k+1) = P_i(k+1) \quad (9)$$

變數定義：

$P_0(k)$ ：表示在  $k$  時段下，獨立路口之系統總延滯值；

$P_i(k), i = 1 \sim 4$ ：表示在  $k$  時段下，獨立路口於各臨近路段上之延滯值；

$SWL_i(k)$ ：表示在  $k$  時段下，獨立路口於各臨近路段上，起始車輛等候線長度；

$x_5(k)$ ：表示在  $k$  時段下，獨立路口的起始燈號狀態。當  $x_5(k) = 0$ ，表示第一時相處於綠燈狀態；當  $x_5(k) = 1$ ，表示第二時相處於綠燈狀態；

$u(k)$ ：表示  $k$  時段下，是否進行燈態轉換動作。當  $u(k) = 0$ ，表示不進行燈態轉換；當  $u(k) = 1$ ，表示進行燈態轉換；

$FA_i(k)$ ：表示  $k$  時段下，獨立路口各臨近路段之車輛到達量；

$CL_i(k)$ ：表示  $k$  時段下，於清道時間內，獨立路口各臨近路段上之車輛紓解量；

$EL_i(k)$ ：表示  $k$  時段下，於有效綠燈時段內，獨立路口各臨近路段上之車輛紓解量。

### 3.4 模式求解程序

本研究之運算流程如圖 4 所示，當進入計算 Pn1 與 Pn2 步驟時，起始燈號為第一時相

綠燈狀態，即  $x_3(k) = 0$ ，有以下兩種情形討論：

(1) 若不改變燈號，即  $u(k) = 0$ ，則第一階段四個臨近路段之延滯值為：

$$P_1(1) = SWL_1 + FA_1 - EL_1 \quad (10)$$

$$P_2(1) = SWL_2 + FA_2 - EL_2 \quad (11)$$

$$P_3(1) = SWL_3 + FA_3 \quad (12)$$

$$P_4(1) = SWL_4 + FA_4 \quad (13)$$

因此第一階段路口延滯值  $P(1)$  為：

$$P(1) = P_1(1) + P_2(1) + P_3(1) + P_4(1) \quad (14)$$

接著計算第二階段各臨近路段之延滯值如下列四式：

$$P_1(2) = P_1(1) + SA_1 - EL_1 \quad (15)$$

$$P_2(2) = P_2(1) + SA_2 - EL_2 \quad (16)$$

$$P_3(2) = P_3(1) + SA_3 \quad (17)$$

$$P_4(2) = P_4(1) + SA_4 \quad (18)$$

可得到第二階段路口延滯值  $P(2)$  為：

$$P(2) = P_1(2) + P_2(2) + P_3(2) + P_4(2) \quad (19)$$

經由兩階段計算，可以得到第一時相綠燈且不改變燈號之路口總延滯  $Pn1$  即等於第二階段路口延滯值  $P(2)$ 。

$$Pn1 = P(2) \quad (20)$$

接著計算若改變燈號之路口延滯值  $Pn2$ ，並與不改變燈號之延滯值  $Pn1$  比較。

(2) 若改變燈號，即  $u(k) = 1$ ，第一階段四個臨近路段之延滯值為：

$$P_1(1) = SWL_1 + FA_1 - CL_1 \quad (21)$$

$$P_2(1) = SWL_2 + FA_2 - CL_2 \quad (22)$$

$$P_3(1) = SWL_3 + FA_3 \quad (23)$$

$$P_4(1) = SWL_4 + FA_4 \quad (24)$$

因此第一階段路口延滯值  $P(1)$  為：

$$P(1) = P_1(1) + P_2(1) + P_3(1) + P_4(1) \quad (25)$$

接著計算第二階段各臨近路段之延滯值如下列四式：

$$P_1(2) = P_1(1) + SA_1 \quad (26)$$

$$P_2(2) = P_2(1) + SA_2 \quad (27)$$

$$P_3(2) = P_3(1) + SA_3 - EL_3 \quad (28)$$

$$P_4(2) = P_4(1) + SA_4 - EL_4 \quad (29)$$

可得到第二階段路口延滯值  $P(2)$  為：

$$P(2) = P_1(2) + P_2(2) + P_3(2) + P_4(2) \quad (30)$$

經由兩階段計算，可以得到第一時相綠燈且改變燈號之路口總延滯  $Pn2$  即等於第二階段路口延滯值  $P(2)$ 。

$$Pn2 = P(2) \quad (31)$$

由以上改變燈號與不改變燈號之路口延滯值計算，可以得到  $Pn1$  與  $Pn2$ ，如圖 5，進行比較有兩種情形：

- (1) 當  $Pn1 < Pn2$ ，則表示延長綠燈之路口延滯值小於綠燈轉換之路口延滯值，於是進行延長綠燈一個  $\Delta t$  長度，並向後推移一個時段也就是一個  $\Delta t$  長度，重複進行計算。
- (2) 若  $Pn1 > Pn2$ ，則表示延長綠燈之路口延滯值會大於綠燈轉換之路口延滯值，於是進行燈態轉換，進入清道時間，並向後推移一個時段也就是一個  $\Delta t$  長度，重複進行計算。

往後推移一個  $\Delta t$  長度，則推移前之第二階段車輛到達量等於推移後第一階段車輛到達量，如下式：

$$FA_i = SA_i \quad (32)$$

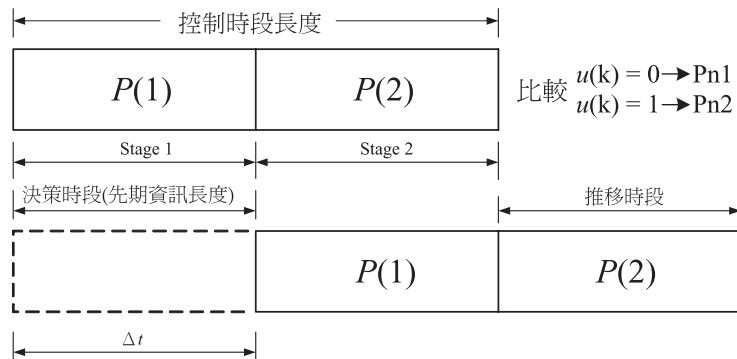


圖 5 延滯值比較圖

而推移後第一階段起始等候線長度為推移前第一階段之各臨近路段之延滯值如下式：

$$SWL_i = P_i(1) \quad (33)$$

## 四、系統開發

本研究在選擇開發程式的電腦語言時，有很多種電腦語言工具可以供我們做系統開發的選擇，但在選擇時考慮到軟硬體的限制：

- (1) 應用程式必須是開放性架構可以跨平台設置；
- (2) 控制器硬體足以負擔。

因此在這兩項因素的考量下，選擇使用 Java 語言作為本模式的系統開發工具，因為 Java 語言是一種具有物件導向的概念，而且可以跨平台執行的程式語言，對於號誌控制器必須在嚴苛的室外環境下工作，Java 正適合在這平台上作業。因此，利用 Java 語言來開發，是最好的選擇。

因為本研究必須利用布設偵測器的方式取得車流資料，才能進行演算，然而在實際上要應用車輛偵測器取得資料有困難，因此關於車流量資料亦即先期車輛資訊將利用 Java 程式來模擬偵測器產生車輛，並且所模擬產生的車輛到達分配符合普瓦松 (Poisson) 分配。

本適應性號誌控制邏輯主程式架構包含接收車輛偵測器資料後，進行延滯值的計算，再經由延滯值比較的步驟，決定路口績效最佳之執行策略，最後程式輸出是否改變燈態之訊號。主程式之架構如圖 6 所示，其中有關變數定義如下：

- Pn1(i)：第  $i$  個階段綠燈繼續延長之總延滯；
- Pn2(i)：第  $i$  個階段綠燈轉換之總延滯；
- $T_0$ ：綠燈時間；
- $T_i$ ：第  $i$  個轉換順序；
- Max\_Green：最大綠燈時間 120 sec；
- Min\_Green：最小綠燈時間 30 sec；
- SOSTC：時相轉換之等候線長度；
- SWL：等候線長度；
- SSS：時相狀態，0：第一時相綠燈、1：第二時相綠燈。

在畫面設計上，主畫面可以設定起始四個路段等候線長度、最大綠燈以及最短綠燈之時間、紀錄區包括累計每一週期時間、偵測器傳入之資料、不改變燈號延滯值 Pn1、改變燈號延滯值 Pn2。主畫面尚有建立、啟動、暫停以及停止四個按鈕，及記錄系統運作週期，包含第一時相以及第二時相的轉換階段，推移了幾個  $\Delta t$ ，以及記錄第一時相及第二時相

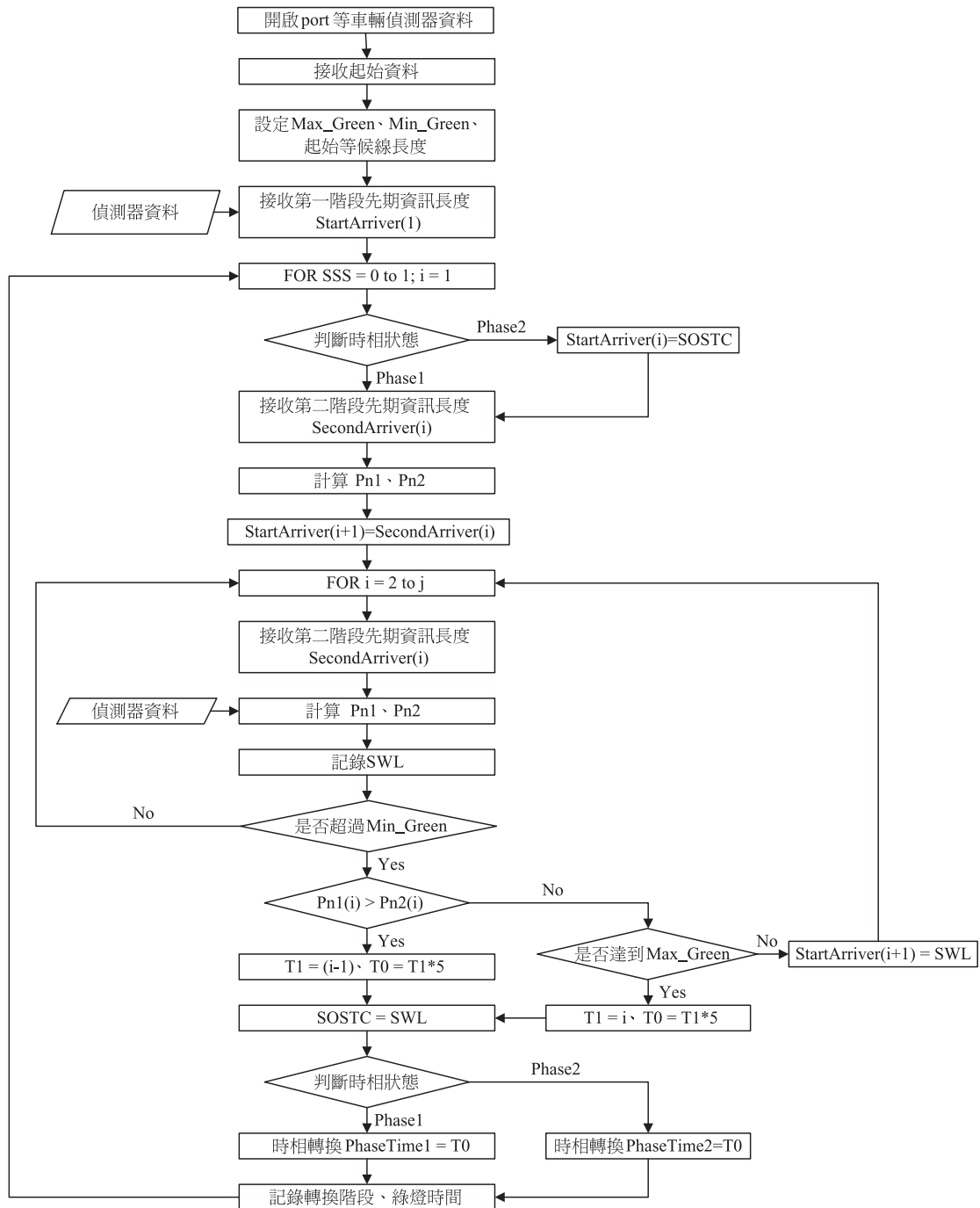


圖 6 程式架構流程圖

之總時間。畫面下方為路口燈態示意圖區，當系統執行時，顯示路口號誌燈態的狀態。因所設計之適應性號誌控制邏輯，必須與車輛偵測器連接，將車輛偵測器傳回之資料轉成先期資訊長度，因此另有模擬車輛產生的畫面，顯示每五秒產生之車流量，傳給主程式進行尋優計算。圖 7 為程式開始執行後之主畫面樣式。

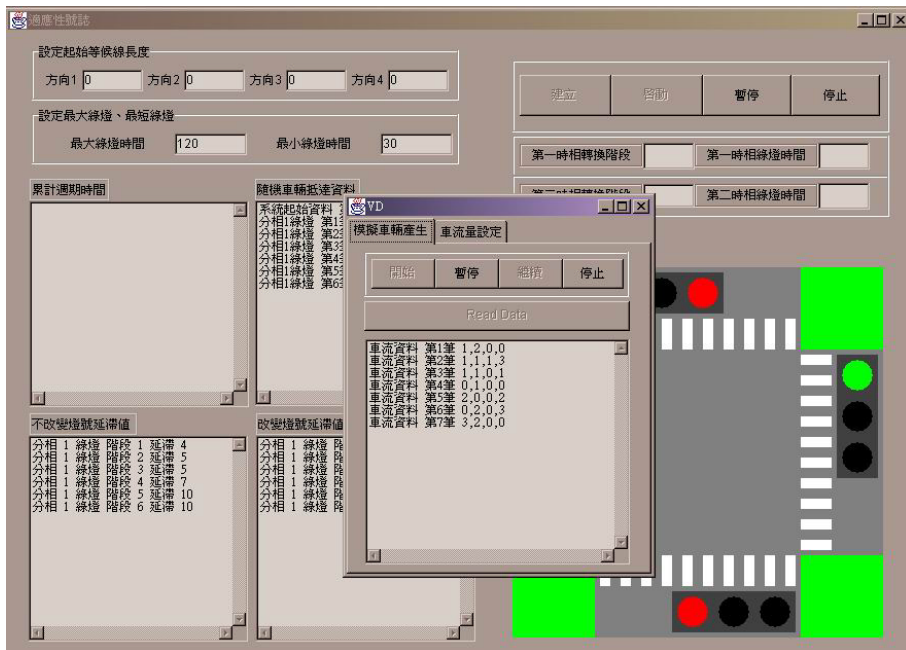


圖 7 起始執行圖例

圖 8 為一讀圖例，當中顯示當第一時相綠燈執行到第 7 階段時，不改變燈號之總延滯為 14，而改變燈號之總延滯為 11，改變燈號之總延滯較小，所以經判斷後，進入清道時間階段，並進行時相轉換。因此總計第一時相綠燈總共執行 7 個階段，綠燈時間總共 35 秒。進入第二時相綠燈後，不改變燈號之總延滯一直大於改變燈號之總延滯，但因為最小綠燈時間限制為 30 秒，所以不進行時相轉換，執行到第 7 階段時，第二時相綠燈時改變燈號總延滯為 25 小於不改變燈號的總延滯 27，因此經判斷進入清道時間，進行時相轉換，因此可以得到第二時相綠燈共執行 6 個階段，綠燈時間總共 30 秒。所以得到第一個週期時間為第一時相綠燈時間加上第二週期綠燈時間再加上兩次清道時間 10 秒，總共週期長度為 75 秒。

經過以上步驟重複進行總延滯之計算與比較，可以得到每一階段的總延滯以及最佳時相設定，並記錄所有週期，如圖 9。

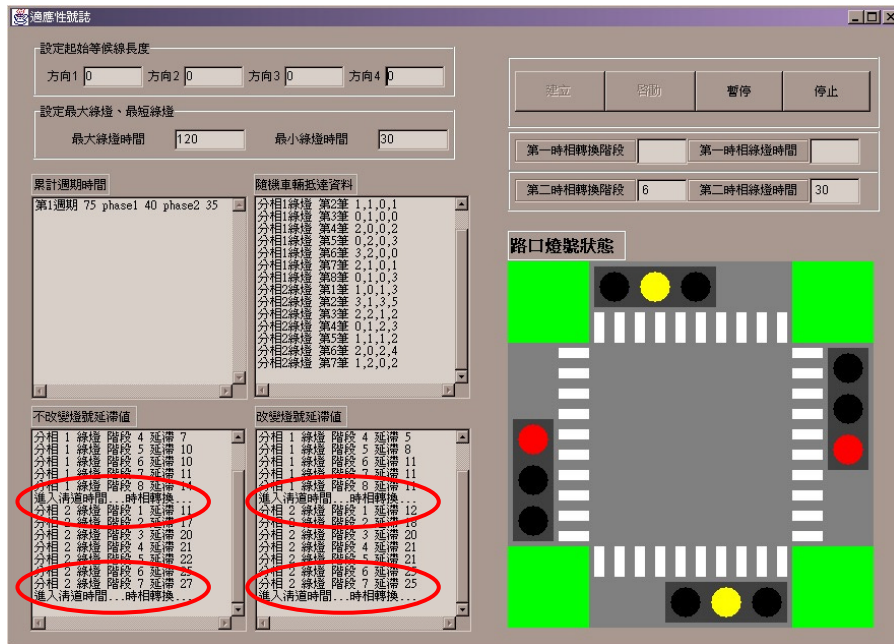


圖 8 時相變換決策例

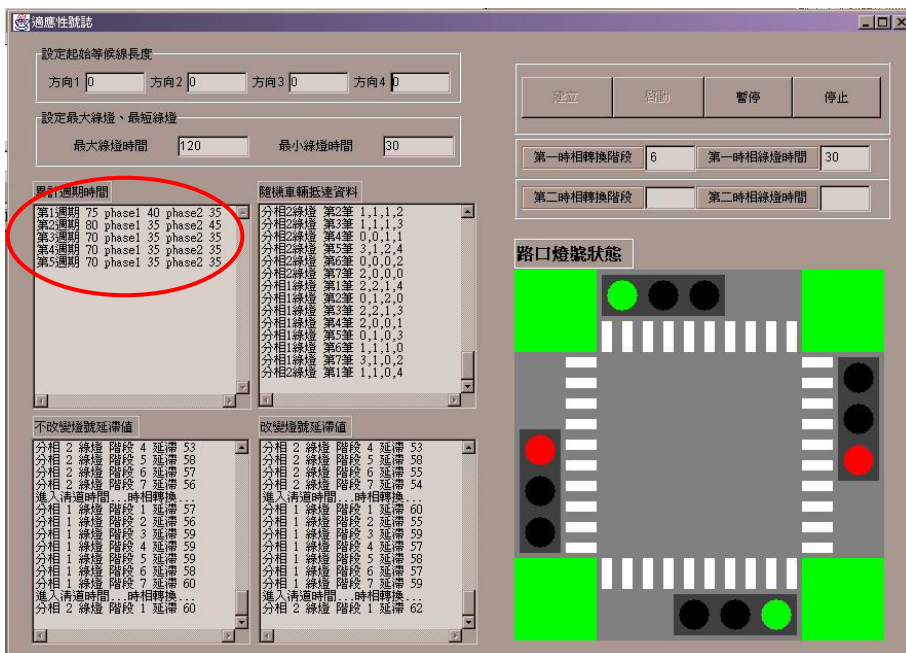


圖 9 週期記錄例



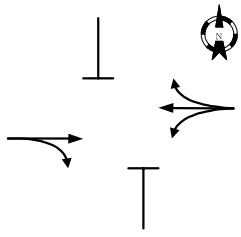
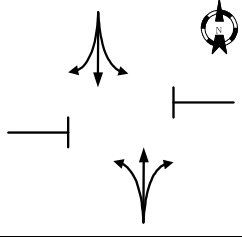
## 五、實例與評估

本研究選定以台北市長春路與林森北路交叉口為例，利用歷史調查資料與實際調查資料進行實際定時控制與模擬適應性控制之比較。

### 5.1 資料調查

台北市長春路和林森北路交叉口為簡單二時相控制之路口，長春路為雙車道配置，長春路東往西方向，設定為臨近路段 1，允許直行、右轉及左轉；長春路西往東方向，設定為臨近路段 2，允許直行及右轉，但是禁止左轉。林森北路在近路口處雙向皆配有左轉車道，設南往北方向設定為臨近路段 3，北往南方向設定為臨近路段 4。表 1 為該路口的流向及時制計畫表，其週期長度及各時相之綠燈時間分為尖峰和離峰兩種，在尖峰時間週期長度為 200 秒，離峰時間週期長度為 150 秒，其中包含各時相清道時間，黃燈加上全紅時間共 5 秒。

表 1 台北市長春路和林森北路交叉口流向與時制計畫

	流 動	尖峰綠燈長度	離峰綠燈長度
時 相 1		90 秒	60 秒
時 相 2		100 秒	80 秒

路口定時號誌控制的相關參數和路口績效，採錄影方式及計算求得。本研究總共錄影 45 分鐘，計算資料採其中 AM 08：02 到 AM 08：42 共 40 分鐘的十二個週期資料。因此可以求算每一階段各方向之紓解率，並推算出各方向於各階段之等候線長度，累加後可得路口延滯值之變化。圖 10 所示為路口總延滯變化曲線。

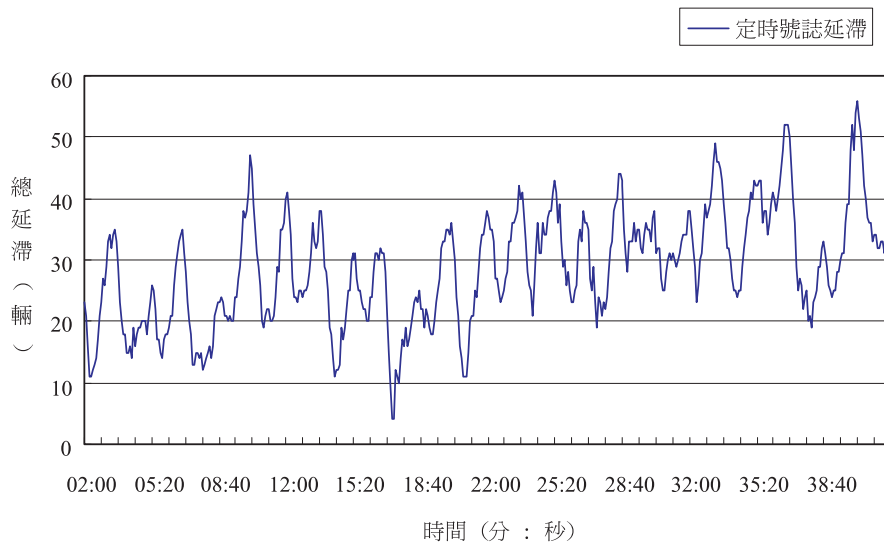


圖 10 實際調查之路口總延滯圖

本研究以電腦模擬方式，模擬各路段車輛到達分配，並以此車輛到達率，分別進行適應性號誌控制及定時號誌控制之路口延滯值演算，進行分析比較。在績效評估方面，將利用歷史資料和實際調查資料為例，進行四部分交叉分析，以驗證本適應性邏輯之可行性。

## 5.2 現況資料與模擬結果比較

根據調查，當等候車隊在有效綠燈時間以飽和紓解率紓解時，每五秒鐘之紓解量介於 2 到 5 輛之間。經本研究分別用不同有效綠燈時間飽和紓解率  $EL = 3$  和 4 來模擬分析。結果  $EL = 3$  之平均總延滯為每車 25.11 秒，較接近實際調查的平均總延滯每車 28.68 秒。依此將所調查之上游臨近路段車輛到達率資料代入程式中，進行適應性號誌控制之模擬，其中最大綠燈時間採 120 秒，最小綠燈時間採 15 秒。模擬結果與實際調查定時號誌及模擬定時號誌之總延滯比較，詳如圖 11 所示。

從圖中可以發現，本研究所提出之適應性號誌控制在大部分時間中可以將路口總延滯有效降低至 10 秒以下，其平均總延滯為每車 5.42 秒，較現況降低 81.1%。在週期變化上，原本定時號誌分為 12 個週期，經模擬適應性號誌邏輯控制則達 59 個週期，表 2 記錄有各週期及各時相的長度。從表中可以發現各時相幾乎在最小綠燈限制為時相長度下即進行時相轉換。

## 5.3 最大綠燈與最小綠燈限制問題

前節的模擬係在最大綠燈時間 120 秒與最小綠燈時間 15 秒所得之結果。本節將對於不同的最大綠燈及最小綠燈的限制進行交叉模擬分析。由於最大綠燈限制在這個分析例

中，並不會影響到週期變化，因為調查路段的車流量皆未達飽和流量，各路段的等候車隊皆能在一個週期內紓解完畢，所以並不會達到最大綠燈限制。為觀察適應性號誌控制績效變化程度，故僅分別模擬最小綠燈時間限制為 30 秒、45 秒、60 秒、75 秒之情形。

表 3 記錄各種最小綠燈限制情形的平均總延滯、與定時控制平均總延滯比較降低之百分比、及其控制時段之週期數。由表中發現當最小綠燈時間限制秒數增加時，平均總延滯隨之增加，週期數則減少。究其原委係因最小綠燈時間的限制增長將導致當等候車隊以飽和紓解率紓解完後，時相卻未即時更替，競爭時相之路段等候線繼續增加，延滯累積，使得路口總延滯擴增，導致路口績效降低。

從以上分析可以得到，長春路與林森北路交叉口在車流量未達飽和車流量時，若只考慮路口總延滯最小，從平均總延滯降低的幅度來看，最小綠燈時間的限制越小越能得到最小的平均總延滯，但是時相轉換將會過於頻繁。因此考量可忍受的路口總延滯以及行人通過路口時間，本研究認為最小綠燈限制在 30 到 60 秒間、平均總延滯降低 50% 到 70%，皆為可接受之範圍。

#### 5.4 臨近路段飽和度分析

根據朱松偉君<sup>[4]</sup>之研究，當  $V/C$  高於 0.4 時，定時控制之運作績效將會不佳，而適應性邏輯則適用於中、高流量，特別是  $V/C$  值介於 0.3~0.6 時。因此，以下將進行分析不同  $V/C$  值在本適應性號誌邏輯的路口總延滯變化。本研究進行 0.4、0.5、0.6、0.7、0.8 五個不同  $V/C$  值之模擬比較， $V/C$  值之計算，係依據交通部運輸研究所「2001 台灣地區公路容量手冊」<sup>[13]</sup>計算之，是以臨近路段容量為基準，所得結果如表 4 所示。

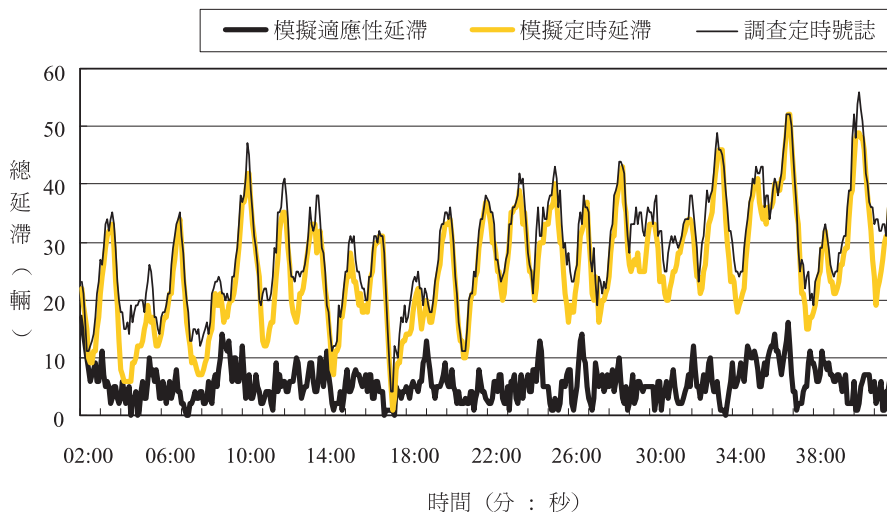


圖 11 實際資料與模擬結果之總延滯比較圖

表 2 模擬適應性號誌週期及時相時間表

單位：秒

	週期時間	時相 1 時間	時相 2 時間		週期時間	時相 1 時間	時相 2 時間
第 1 週期	45	25	20	第 30 週期	40	20	20
第 2 週期	40	20	20	第 31 週期	40	20	20
第 3 週期	40	20	20	第 32 週期	40	20	20
第 4 週期	40	20	20	第 33 週期	40	20	20
第 5 週期	40	20	20	第 34 週期	40	20	20
第 6 週期	40	20	20	第 35 週期	40	20	20
第 7 週期	40	20	20	第 36 週期	40	20	20
第 8 週期	55	20	35	第 37 週期	50	30	20
第 9 週期	40	20	20	第 38 週期	40	20	20
第 10 週期	40	20	20	第 39 週期	40	20	20
第 11 週期	40	20	20	第 40 週期	40	20	20
第 12 週期	40	20	20	第 41 週期	40	20	20
第 13 週期	40	20	20	第 42 週期	40	20	20
第 14 週期	40	20	20	第 43 週期	40	20	20
第 15 週期	40	20	20	第 44 週期	50	20	30
第 16 週期	40	20	20	第 45 週期	40	20	20
第 17 週期	50	20	30	第 46 週期	45	20	25
第 18 週期	40	20	20	第 47 週期	45	25	20
第 19 週期	40	20	20	第 48 週期	50	25	25
第 20 週期	45	25	20	第 49 週期	50	20	30
第 21 週期	40	20	20	第 50 週期	40	20	20
第 22 週期	50	20	30	第 51 週期	40	20	20
第 23 週期	40	20	20	第 52 週期	40	20	20
第 24 週期	40	20	20	第 53 週期	50	20	30
第 25 週期	55	20	35	第 54 週期	45	20	25
第 26 週期	40	20	20	第 55 週期	40	20	20
第 27 週期	40	20	20	第 56 週期	40	20	20
第 28 週期	40	20	20	第 57 週期	45	25	20
第 29 週期	40	20	20	第 58 週期	50	20	30

表 3 不同最小綠燈限制下之適應性控制績效

最小綠燈時間 (單位：秒)	15	30	45	60	75
平均總延滯 (單位：秒／輛)	5.42	7.93	12.63	14.61	17.65
平均總延滯降低百分比	81.10%	72.35%	55.96%	49.06%	38.46%
控制時段週期數	59	34	24	19	15

表 4 不同 V/C 下之平均總延滯變化表

最小綠燈限制 30 秒	V/C				
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
定時控制平均總延滯	18.11	25.31	33.28	42.65	125.47
適應性控制平均總延滯	7.20	9.25	14.61	21.10	125.50
降幅	60.24%	63.45%	56.10%	50.53%	-0.02%

表 4 顯示本研究之適應性號誌控制邏輯之延滯值會隨著 V/C 值的增加而增加。在 V/C 值為 0.4、0.5、0.6 時，路口績效都呈現相當穩定的狀態，控制績效也明顯的比定時號誌為佳，當 V/C 值達到 0.7 時，適應性號誌控制的績效開始如定時控制一般上下震盪加劇，並有逐漸升高之趨勢，但整體而言，路口績效仍然優於定時號誌控制。當 V/C = 0.8 時，定時號誌與本適應性控制邏輯的總延滯呈現發散狀態，在一小時之模擬後路口總延滯分別為 125.47 以及 125.5，皆相當不理想。表示在高需求下，定時號誌以及本研究之適應性號誌控制皆無法有效紓解此交通，因此造成總延滯激增，尤其適應性控制在後半段情況比定時控制更糟，總延滯超越定時控制，形成路口塞車的情形。

## 5.5 最小綠燈限制與 V/C 值交叉分析

本節將針對不同的最小綠燈限制 15、45、60、75 秒以及不同的 V/C 值 0.4、0.5、0.6、0.7、0.8，進行交叉分析。

表 5 紀錄上述各種情況模擬下之平均總延滯以及平均總延滯之降幅。從表 5 之降幅資料繪製成不同 V/C 值的比較如圖 12。從圖中可以發現在 V/C = 0.5 時，每一種最小綠燈限制都有較佳之路口平均總延滯降幅表現，其次是 0.4，再其次是 0.6。觀察不同最小綠燈時間限制的每一條曲線，皆是大致相同的走勢，從 V/C = 0.4 到 0.5，平均總延滯改善幅度增加，之後又下降，值得注意的是最小綠燈限制為 15 秒的曲線，當 V/C 值從 0.6 變成為 0.7 時，其減少平均總延滯之百分比下降很多，從圖中可以解釋為當車流量多時，頻繁的時相週期轉換並不能大幅減少路口平均總延滯。因此經過分析後可以發現本研究之適應性號誌控制邏輯在 V/C 為 0.5 時有最佳控制效果，可以大幅降低路口總延滯。

表 5 最小綠燈限制與 V/C 值交叉分析表

			V/C				
			0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
最小綠燈限制	15 秒	定時控制平均總延滯	18.11	25.31	33.28	42.65	125.47
		適應性控制平均總延滯	4.58	5.70	9.82	24.23	140.01
		平均總延滯降幅	74.71%	77.48%	70.49%	43.19%	-11.59%
	30 秒	定時控制平均總延滯	18.11	25.31	33.28	42.65	125.47
		適應性控制平均總延滯	7.20	9.25	14.61	21.10	125.50
		平均總延滯降幅	60.24%	63.45%	56.10%	50.53%	-0.02%
	45 秒	定時控制平均總延滯	18.11	25.31	33.28	42.65	125.47
		適應性控制平均總延滯	9.89	13.53	17.96	27.12	127.47
		平均總延滯降幅	45.39%	46.54%	46.03%	36.41%	-1.59%
	60 秒	定時控制平均總延滯	18.11	25.31	33.28	42.65	125.47
		適應性控制平均總延滯	12.23	15.75	23.87	32.06	138.51
		平均總延滯降幅	32.47%	37.77%	28.28%	24.83%	-10.39%
	75 秒	定時控制平均總延滯	18.11	25.31	33.28	42.65	125.47
		適應性控制平均總延滯	15.03	19.55	27.06	37.59	138.73
		平均總延滯降幅	17.01%	22.76%	18.69%	11.86%	-10.57%

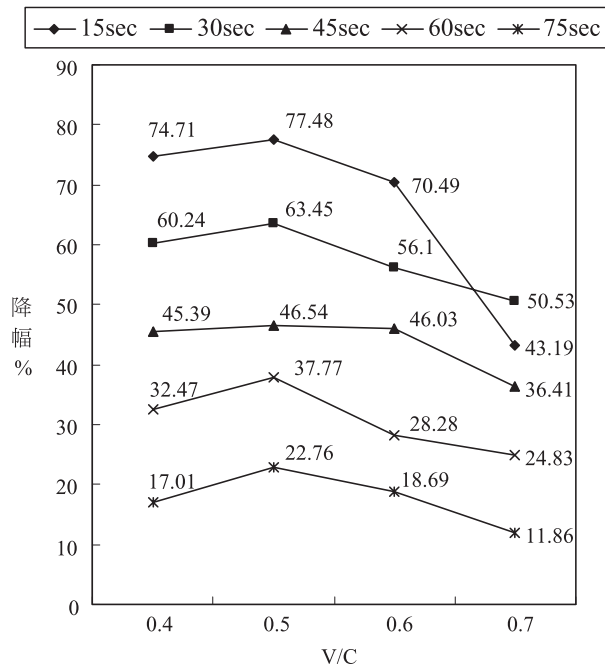


圖 12 最小綠燈限制與 V/C 值交叉分析平均總延滯降幅比較圖

## 六、結論與建議

本研究利用 OPAC 之計算延滯流程，以及水平推移法，並且加入競爭時相之計算，發展新的兩階段水平推移法，為本研究計算適應性控制邏輯之核心。本法之優點在於縮短控制時段長度，減少偵測器誤差對系統績效計算之影響。本研究之路口績效值係採用路口總延滯為績效指標以各臨近路段之等候線長度總和為系統的延滯值，考慮兩時相之各路段的等候線車輛數，以作為獲得綠燈權之參考依據。

本研究經模擬分析所提之適應性控制邏輯在當最小綠燈時間限制秒數增加時，平均總延滯隨之增加，週期數則減少。理由係當臨近路段未達飽和車流量時，路口績效決定於最小綠燈時間的限制。另外，隨著 V/C 值的增加，延滯值也隨之升高，在 V/C 值為 0.4、0.5、0.6 時，路口績效都呈現相當穩定的狀態，控制績效也明顯的比定時號誌為佳，平均總延滯改善的幅度也隨著 V/C 值之增加而下降。在 V/C 值 0.7 以下時，本適應性號誌控制邏輯可以明顯降低路口總延滯。但當車流量繼續增多時，頻繁的時相週期轉換並不能大幅減少路口平均總延滯，V/C 值達 0.8 時，此適應性號誌控制也將失效。此部分未來可針對固定時相下，研究考慮長週期或短週期對 V/C 值高時對路口壅塞之影響比較。在此高飽和車流狀態，本研究則建議改採 Bang-Bang 控制策略，詳細方法可參見 Chang 和 Lin 相關研究成果<sup>[14]</sup>。

本研究雖僅是電腦模擬的結果，但本程式已可在 TCIS 實際上運作，目前正尋求真正在路口進行實驗。另外，本研究並未考慮機車在路段與路口的實際影響，僅將機車數量換算成小汽車當量來計算。後續研究當加入台灣的機車車流特性於模式中，使得模式應用性提升，以符合台灣實際車流特性。

## 參考文獻

1. 張明惠，「四種現代化適應性號誌控制邏輯 (OPAC、MOVA、SAST、COMDYCS-III) 之比較研究」，成功大學交研所碩士論文，民國八十二年六月。
2. 黃泰林，「構建智慧型適應性網路號誌控制模式之研究」，成功大學交研所博士論文，民國八十三年六月。
3. 康志福，「路口等候線推估與適應性控制整合之研究」，台灣大學土木所交通組碩士論文，民國七十八年六月。
4. 朱松偉，「適應性號誌邏輯微觀分析」，台灣大學土木所交通組碩士論文，民國八十年六月。
5. 邱素文，「最適化控制理論應用於構建獨立路口適應性號誌時制決策邏輯之分析研究」，成功大學交研所碩士論文，民國八十一年六月。

6. Gartner, N. H., "A Prescription for Demand-Responsive Urban Traffic Control", *Transportation Research Record*, 881, TRB, 1982, pp. 73-76.
7. Gartner, N. H., "OPAC: A Demand-Responsive Strategy for Traffic Signal Control", *Transportation Research Record*, 906, TRB, 1983, pp. 75-81.
8. Vincent, R. A. and Young, J. R., "Self-Optimising Traffic Signal Control Using Microprocessors—The TRRL MOVA Strategy for Isolated Intersections", *Traffic Engineering and Control*, Vol. 27, No. 7, 1986, pp. 385-387.
9. Lin, F. B., "A Comparative Analysis of Two Logics for Adaptive Control of Isolated Intersections", presented at the 67<sup>th</sup> Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D. C., January 11-14, 1988.
10. 張堂賢，**電腦化交通號誌控制器進階功能之研發策略擬訂**，交通部委託中華智慧型運輸系統協會辦理，民國九十一年四月。
11. 吳榮煌、張堂賢等，**南港經貿園區 ITS 主題公園暨多功能之交通管理資訊中心規劃設計專案**，交通部委託中華智慧型運輸系統協會辦理，民國九十年四月。
12. 張堂賢，**台灣地區智慧型運輸系統實驗城計劃規畫(二)**，交通部委託中華智慧型運輸系統協會辦理，民國九十年四月。
13. 交通部運輸研究所，**2001 年台灣地區公路容量手冊**，民國九十年三月。
14. Chang, T.-H. and Lin, J.-T., "Optimal Signal Timing for an Oversaturated Intersection", *Transportation Research*, 34B(6), 2000, pp. 471-491.





# 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，並請從題目、作者介紹開始，往下連續編號，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，圖原則上不加框，表之框線均採細線。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，參考文獻必須是文稿所引用者始得列入，且必須完整無缺列入；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子檔。
- 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）：

## **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. Notes should be numbered consecutively in the order in which they first appear in the text and should be started with the title and the introduction of the author(s). References listed should be limited to all those mentioned and quoted in the text, and should be numbered consecutively in the order in which they have been mentioned 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 electronic file 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 changes 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., No. 240, Dunhua N. Rd.,  
Taipei City 105, Taiwan (R.O.C.)

---

### **LETTER OF GUARANTEE**

This letter serves to guarantee that my paper entitled ' \_\_\_\_\_ ' (which belongs to the category of ☐theory and methodology, ☐application), 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：黃德治

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：黃德治

副總編輯：鄭賜榮

主編：吳玉珍

副主編：曹瑞和、廖美容

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 6 樓

網址：[www.iot.gov.tw/chinese/lib/lib.htm](http://www.iot.gov.tw/chinese/lib/lib.htm) (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

重南店：台北市重慶南路 1 段 61 號 4 樓 • 電話：(02)23617511

復北店：台北市復興北路 386 號 4 樓 • 電話：(02)25006600

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

五南文化廣場

台中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

新進圖書廣場

彰化市中正路二段 5 號 • 電話：(04)7252792

劃撥儲金帳戶：22307031 鄭名秀

青年書局

高雄市青年一路 141 號 3 樓 • 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

截至 93 年 3 月 10 日運輸計劃季刊稿件處理統計：審查及修改中 24 件，待刊登 18 件。

Publisher：Transportation Planning Journal Quarterly

Editors：Editorial Board of Transportation Planning Journal Quarterly

Chairman：Mr. Huang, Der-Chyr

Address：Institute of Transportation

Ministry of Transportation and Communications

6F., No. 240, Dunhua N. Rd.,

Taipei City 105, Taiwan (R.O.C.)