

# 大貨車五項駕訓科目之工作負荷及訓練 成效評估研究

## ASSESSMENT OF WORKLOAD AND TRAINING EFFECTIVENESS ON FIVE TRUCK DRIVING TRAINING TASKS

劉伯祥 Bor-Shong Liu<sup>1</sup>

石裕川 Yuh-Chuan Shih<sup>2</sup>

孫益生 I-Sheng Sun<sup>3</sup>

(99 年 1 月 18 日收稿，99 年 5 月 5 日第一次修改，99 年 6 月 15 日第二次修改，  
99 年 7 月 5 日第三次修改，99 年 9 月 8 日定稿)

### 摘 要

本研究以國軍大貨車駕駛訓練中心為例，探討比較大貨車的五項駕訓科目之工作負荷及訓練成效，計路邊停車、曲線進退、曲巷調頭、倒車入庫、上下坡道等五項科目，運用駕駛行車影像記錄器進行視覺搜尋頻率、眨眼率、駕駛績效等資料蒐集，運用心率量測儀即時記錄駕駛之心率變化，最後填寫 NASA-TLX 主觀評比量表等生理、心理指標的量測，評估不同駕訓科目之工作負荷，使駕駛者了解從事駕駛工作時不同操作方式其生理、心理的變化，以及提供駕駛訓練成效評估之參考。再者，使駕訓單位了解駕駛人於不同駕訓科目中各學習階段的表現與效果，作為修訂駕訓程序的

- 
1. 聖約翰科技大學工業工程與管理系副教授 (聯絡地址：25135 臺北縣淡水鎮淡金路 4 段 499 號聖約翰科技大學工業工程管理學系；E-mail：bsliu@mail.sju.edu.tw)。
  2. 國防大學運籌管理系教授 (聯絡地址：11258 臺北市北投區中央北路 2 段 70 號國防大學管理學院運籌管理學系；E-mail：river.amy@msa.hinet.net)。
  3. 國防大學國防管理教育訓練中心教官 (聯絡地址：11258 臺北市北投區中央北路 2 段 70 號國防大學國防管理教育訓練中心；E-mail：eason510678@gmail.com)。

參考。研究分析結果顯示，透過訓練能有效地提升駕駛者的績效，除「曲線進退」外，其餘各科目在訓練的第三週已能有與第四週正式測考時的相同表現，表示「曲線進退」應要有較長的訓練時間，本研究結果，可供國軍駕駛訓練中心修訂駕訓程序參考。

**關鍵詞：**大貨車；駕駛負荷；駕駛訓練；訓練成效

## ABSTRACT

*The objective of this study was to examine the workload and training effects on five truck driving training tasks (i.e. parallel parking, S-shape lane, T-lane, vertical parking and ramp tasks). The frequency of visual search, blinking rate, driving performance were recorded by a digital driving recording system. A polar electrode belt placed around the chest was utilized to continuously measure the driver's heart rate. In addition, the NASA-TLX questionnaire was completed after each trial. The duration of the training course was four- weeks. Results of analysis indicated that the performance of driving tasks for parallel parking, T-lane, vertical parking and ramp tasks in the third week of training were better as the same in the final examination. However, the task of S-shape lane was more difficult to learn and required more time to practice. Results of the present study may provide meaningful information applicable to driving training.*

**Key Words:** Truck; Driving workload; Driving training; Training effectiveness

## 一、前言

依據內政部警政署 2008 年道路交通事故統計顯示，總肇事件數為 170,127 件，肇事率 81.39 (件/萬輛)，A1 及 A2 類死傷案件共計為：死亡 2,224 人，受傷 227,423 人。肇事件數按肇事車種分析顯示大貨車為 3,039 件。若依衛生署機動車死亡人數統計資料，由 84 年的高峰 7,427 人逐年降低，至 91 年為 4,322 人，顯示近年來交通安全政策已具成效。惟我國交通事故死亡比率每十萬人口死亡 19.2 人 (2002 年)，仍較日本 6.6 人 (2002 年)、新加坡 5.2 人 (2000 年) 等為高，因此對交通安全之努力仍有進步空間。依據美國聯邦公路管理局 2008 年統計資料顯示<sup>[1]</sup>，全美註冊貨車 (trucks) 數高達 110,241,587 輛，約占全數車輛之 44%，其中大型貨車 (聯結車、大貨車) 數為 25,245,784 輛約占全數車輛之 10%，Lyman 與 Braver<sup>[2]</sup> 統計指出，1999 年大型車輛事故造成 4663 人死亡，而乘客車因大型車事故致死率 (每 10 萬人) 由 1975 年的 1.28 上升至 1999 年之 1.44。如此數量龐大的車隊，其交通運輸安全受到美國聯邦政府的重視。

本研究以國軍大貨車駕駛訓練中心為例，在大貨車的十個考驗項目中 (表 1)，擇其路邊停車、曲線進退、曲巷調頭、倒車入庫、上下坡道等五項駕訓科目，進行駕駛績效、視

覺搜尋頻率、眨眼率、心率變化及主觀評比等生理、心理指標的量測，評估不同駕訓科目之工作負荷，使駕駛者了解從事駕駛工作時不同操作方式其生理、心理的變化，以供提升駕駛訓練成效之參考。再者，使駕訓單位了解駕駛人於不同駕訓科目中各學習階段的表現與效果，作為修訂駕訓程序的參考。

表 1 駕訓中心大貨車術科考驗項目

車 種	術 科 考 驗 項 目
大貨車	1. 平行路邊停車 2. 曲線進退 3. 曲巷調頭 4. 倒車入庫 5. 上下坡道 6. 環場道路（紅綠燈、雙黃燈） 7. 狹橋 8. 斑馬線 9. 鐵路平交道 10. 交叉路口

## 二、文獻探討

### 2.1 駕駛工作負荷量測

工作負荷的高低受到作業需求及人員能力限制之影響<sup>[3]</sup>，若作業需求與人員能力限制間無法配合時，不管是工作負荷太高或是太低，均可能造成無法令人滿意的作業表現。因此，若駕駛時之工作負荷超過個人能力的界限，駕駛肇事機率將大為增加；因此量測與分析駕駛的心智負荷及其駕駛行為之表現，為探討交通安全之重要課題。

對於駕駛工作負荷之量測，主要有下列三種方式，分別為視覺搜尋、生理心理指標的量測以及主觀評比等方式，其如下說明。

#### (一) 視覺搜尋與眨眼率

視覺是駕駛工作最重要的資訊來源，在駕訓科目實施過程中，要操作車輛進入考驗科目所在位置，需透過後視鏡反射車後影像後，在腦中反映出車輛與地面的相對關係。Humphreys 與 Bruce<sup>[4]</sup>認為物體辨識的第一個層次是知覺分類層次（perceptual

classification)，指的是將當下刺激的形狀和記憶中儲存的物體表徵做正確的比對。因此本研究以駕駛視覺搜尋頻率，作為視覺工作負荷的指標之一。

視覺工作負荷的增加，會使眼睛凝視時間增長，眨眼率降低，Stern 與 Skelly<sup>[5]</sup> 研究發現，於飛行模擬的訓練中，正駕駛因為高度的視覺需求而使眨眼率明顯低於不負責飛行的副駕駛，若兩人的位置互換，負責飛行者的眨眼率仍然較低。Yaginuma 等人<sup>[6]</sup> 與 Sotoyama 等人<sup>[7]</sup> 研究均指出，在螢幕上專心工作時，眨眼率會隨之降低。因此眨眼率可作為判斷視覺工作負荷的指標之二。

## (二) 心率

從事不同駕訓科目操作時，駕駛者對於能否順利駛入標示位置，以及擔心壓觸管線響起的警鈴聲，會造成情緒的緊張，而影響自主神經的變化（羅彥宇<sup>[8]</sup>）。Akselrod<sup>[9]</sup> 與 Pomeranz<sup>[10]</sup> 研究出心跳速率（heart rate，簡稱心率）之改變與交感神經及副交感神經系統之交互作用息息相關。由於心率會因外在環境刺激（如姿勢改變）及內在生理機制而瞬間改變，因此利用此瞬變特性，將其發展成一種生理監測指標，以監視在不同狀況下自主神經系統受到刺激所引發的心率特性改變。

心率變異量（heart rate variability, HRV）是指心跳與心跳間距長短（interval）改變的情形（Cowan<sup>[11]</sup>）；人體每次心跳的頻率並非完全規則，在每次的心跳間隔時間均有幾十毫秒的差異，即使在平靜、穩定的狀態下，也會有相當程度的差異，此種差異謂之心率變異量。Liu 與 Tseng<sup>[12]</sup> 比較小客車四種停車方式之工作負荷，發現心率變異量指標，能敏感地反應出路邊停車之工作負荷較倒車入庫方式為高。

## (三) 主觀評估測量

駕駛者的心智負荷不僅會影響反應靈敏度，亦會影響到駕駛績效。在心智負荷的測量上，主觀評估測量法（subjective measures）公認是最能被接受、最容易實施，也是被最廣泛使用的方法。Sheridan<sup>[13]</sup> 指出，主觀測量法比其他測量法更能擷取心智負荷的本質（tapping the essence of mental workload）。

Hart 與 Staveland<sup>[14]</sup> 提出一套量測方法為 NASA-TLX（national aeronautics and space administration-task load index）量表，主要將工作負荷量分成六個因子，分別為心智負荷（mental demand）、體力負荷（physical demand）、時間負荷（temporal demand）、難易程度（effort）、挫折程度（frustration）以及績效與滿意度（performance）。

王珣琦<sup>[15]</sup> 以 NASA-TLX 量表，量測駕駛者操作改良後車用導航系統介面選單之主觀感受，並與現有車用導航系統選單之方式作分析比較，評估新的介面使用方式及應用於車用導航選單之可能性，結果顯示心智負荷、難易程度及績效與滿意度及挫折程度於兩者間沒有顯著差異存在；體力負荷、時間負荷於兩者間有顯著差異存在。董基良等人<sup>[16]</sup> 研究報告指出，有關評估心智負荷，國外研究多以 NASA-TLX 量表來衡量，並建議在進行

NASA-TLX 主觀評量問卷時，需將項目說明清楚，且使用受試者可以理解的方式說明內容，方可確實看出哪一指標影響較大，實驗數據才有比較基礎。本研究依駕訓特性來修改表格說明內容，以符合研究目標。

綜合上述各學者研究得知，當工作負荷愈大，平均心率會增加，眨眼率與心率變異量會降低。據此，本研究將其作為工作負荷之生理衡量指標。故對駕駛行為之研究，除了傳統上需探討駕駛表現 (driving performance) 外，更需使用心率及眨眼率等生理心理指標，進一步評估與量測駕駛者之工作負荷，並配合駕駛者主觀的評比 (subjective rating)，如此才能真正的了解各種實驗處理對駕駛者所造成的反應。

## 2.2 駕駛教育訓練之功能及訓練成效評估

Noe<sup>[17]</sup>認為教育訓練是一種暫時性的行為，目的在提升員工從事某項工作時所需具備的技術與能力。駕訓機構提供駕駛人經由駕駛教育與訓練習得相關駕駛技能，以提高自身素質確保行車安全。而理想的駕駛教育訓練功能應包括：車輛操作之技術、車輛結構與維護的認識、熟悉交通管理相關法規、了解緊急應變措施、認識行車安全、培養駕駛道德、肇事預防與處理等 (張新立等人<sup>[18]</sup>)。

訓練成效 (training effectiveness) 根據不同的觀點有不同的定義，Goldstein<sup>[19]</sup>指出，訓練成效係指以系統化的方式蒐集與訓練活動有關的訊息，以作為選擇、採行、評判及修正訓練活動等決定之依據。訓練成效評估主要目的，在於有系統地得知訓練活動的績效表現，了解訓練的差異與優劣，並獲知訓練活動與所設定之績效目標是否有差異。而訓練成效評估為訓練程序之末項，評估結果可回饋至教育訓練，作為修正訓練規劃與改善流程的依據，有助於提升訓練成效。本研究評估駕訓科目的困難度，以量測受試者從事不同駕訓科目操作時之工作負荷為數據，記錄受試者經過不同週數之駕駛訓練後數據變化之程度，分析訓練對不同駕訓科目之影響。

# 三、研究方法

## 3.1 受試者

本實驗樣本以國軍某駕訓中心接受民用大貨車駕駛訓練之國軍各單位志願、義務役士官兵為主，共徵求參與實驗的學員 20 名，其平均年齡 22 歲 (SD=2.32)，並符合下列要求：

1. 依交通部對申請大貨車駕駛執照應考人員均需取得自用手排小客車證照之規定，本研究對受測人員皆採相同標準。
2. 體格檢查方面：視力經矯正後可達 0.8 以上且無色盲，無精神耗弱、癲癇、心臟病或其他足以影響汽車駕駛之疾病者。

3. 受試者於實驗前需閱讀指導語並填寫實驗同意書，且於實驗期間不得熬夜、飲用酒精性飲料及從事過度體能活動。

### 3.2 實驗設備及場地

#### (一) 實驗設備

##### 1. 中華國瑞 10.5 噸大貨車：

國軍自 1995 年引進民用型貨車執行運輸任務迄今，陸續使用的大貨車車型分別為中華國瑞、FUSO (10.5 噸) 及賓士 (12 噸) 大貨車，考量各型車輛軸距相差甚小及駕訓中心車輛使用情形，本研究以中華國瑞 10.5 噸大貨車作為實驗車輛。

表 2 本研究實驗車輛型式

中華國瑞車型	長 (CM)	寬 (CM)	高 (CM)	軸距 (CM)
	822.5	217.5	247.5	482.0
	809.5	237.0	261.0	481.0

##### 2. 行車影像記錄器相關設備：

DVR 即時數位影像處理系統、2 部攝影機、液晶顯示器；架設位置說明如下：

- (1) DVR 即時數位影像處理系統置於駕駛座後方休息區 (如圖 1)，可避免行駛中震動影響效能。
- (2) 液晶顯示器：15 吋電腦液晶顯示器，連接 DVR 主機，可同步監看各攝影機的畫面 (如圖 1)。



圖 1 DVR 主機位置圖

- (3) 車內 2 部攝影機，設置於駕駛座左、右前方 (如圖 2)，分別記錄駕駛者的眨眼頻率及擺頭次數。



圖 2 車內攝影機位置圖

3. 心率量測儀器 (如圖 3)：

- (1) Polar 心率感應器與傳輸帶：受試者將心率感應器與傳輸帶結合穿戴在胸線下方 (如圖 4)，心率感應器負責發送脈衝訊號到監視器的接收器上。
  - (2) Polar 手錶型心跳率測定器：接收受試者 R-R 波訊號並記錄。
  - (3) 筆記型電腦與 Polar 心率接收器：心率接收器將 R-R 訊號傳輸至電腦，駕駛從事不同駕訓科目時之心率活動。
4. 發電機：使用 HONDA EP3000 型 5KW 汽油發電機，架設於大貨車後車廂，可供應 DVR 即時數位影像處理系統及各攝影機 110V 的電源。



圖 3 心率量測儀器



圖 4 心率感應器穿戴圖

## (二) 實驗場地

使用國軍某駕訓中心大貨車測考標準場地，包含路邊停車、曲線進退（S 形）、曲巷調頭、倒車入庫、上下坡道等五個項目。

## 3.3 實驗設計

### (一) 實驗環境

本研究協調借用國軍某駕訓中心的訓練場地，該中心於 2001 年依交通部對公、民營駕訓中心的要求，重新整建完成了標準測考場地；在大貨車訓練部分，區分內、外兩場地，內場（五座）駕訓科目為路邊停車、曲線進退、曲巷調頭、倒車入庫等四個科目；外場（一



座) 駕訓科目為換檔穩定測試、狹橋、環場道路、鐵路平交道、斑馬線、交岔路口及上下坡道等科目。本研究在外場部分僅使用上下坡道之科目場地，內場五座考量實驗流程則選用靠近上下坡道科目之內側場地。

## (二) 實驗情境

本研究配合駕訓中心大貨車駕駛專長年度訓練流程，以接受大貨車駕駛訓練的人員為研究對象，徵求志願參與實驗的受試者計 20 員。依據駕訓中心排定四週之訓練課程，其二、三、四週均為場地駕駛訓練，本實驗即配合受試者於二、三週訓練結束後模擬正式測考，連同第四週正式測考時機，量測各科目的工作負荷，並比較不同訓練時程各科目訓練成效之變化。

## (三) 自變項

五種駕訓科目，包含路邊停車、曲線進退、曲巷調頭、倒車入庫、上下坡道，其標準操作程序說明如後：

1. 路邊停車 (如圖 5)：於開始點出發至適當位置，將排檔桿打入倒退檔，不踩油門以離合器及煞車控制倒車速度，經適當距離後將方向盤右轉二圈，從左後視鏡看到車尾進入管線三分之一時，將方向盤回正，當左後輪進入停車格內，方向盤左打二圈，待車輛進入停車格內停止，後打入二檔將車輛駛出場地。

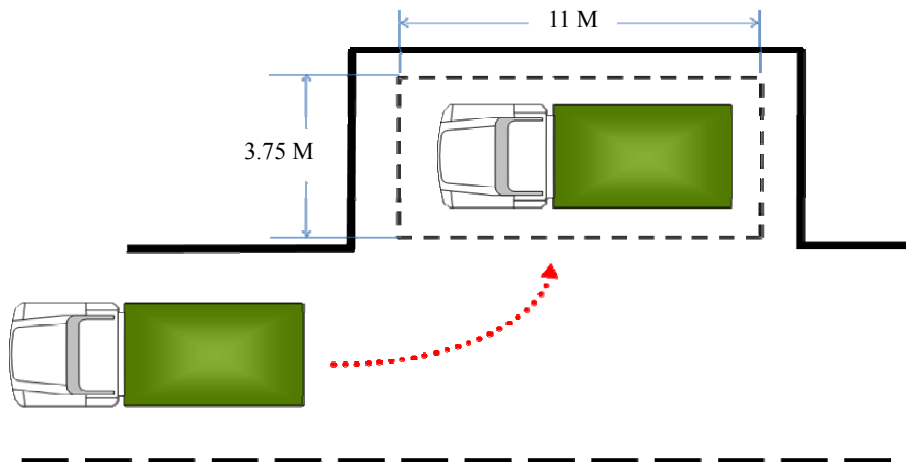


圖 5 路邊停車示意圖

2. 曲線進退 (如圖 6)：於開始點出發，沿 S 型標線修正方向盤前進，待車輛完全駛出 S 型管線後停止，打入倒退檔由後視鏡觀察 S 型標線，方向盤打左看左後視鏡，打右看右後視鏡，於鏡中標線與車身保持一指幅寬為原則，待車輛後退出 S 型管線後停止。

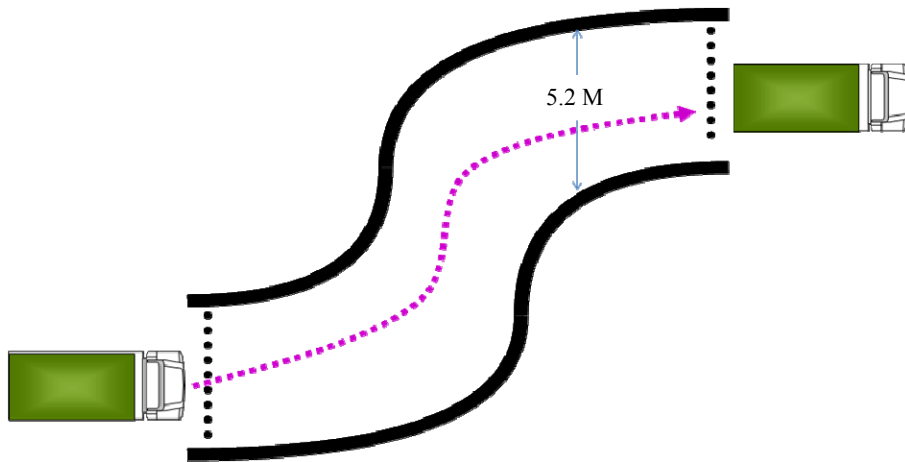


圖 6 曲線進退示意圖

3. 曲巷調頭 (如圖 7)：於開始點出發，以二檔右轉方向盤二圈半進入場地並逐步回正，待車身垂直後立即左轉方向盤二圈半，將車身停駐在標線前，後打入倒退檔，方向盤逐步回正並向右修，以後視鏡觀察車後標線，並於線前停止，打入二檔將車輛駛出場地。

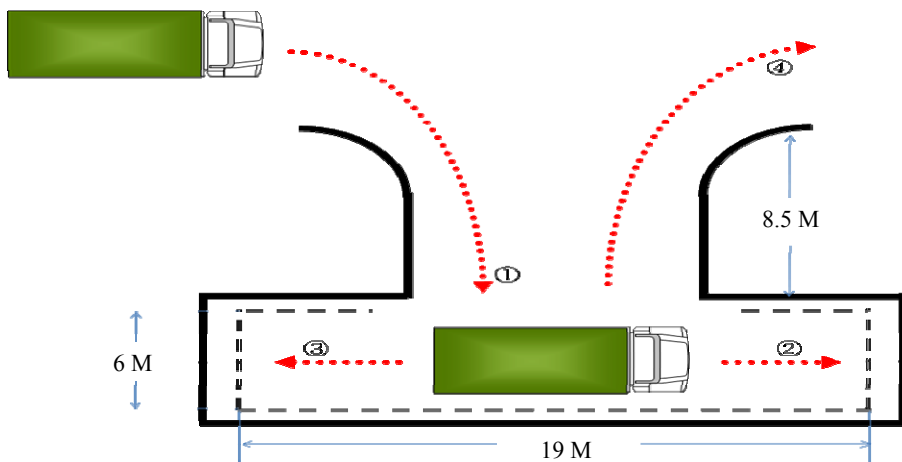


圖 7 曲巷調頭示意圖

4. 倒車入庫 (如圖 8)：於開始點出發至適當位置，將排檔桿打入倒退檔，不踩油門以離合器及煞車控制速度倒車，經過適當距離後方向盤右轉二圈半，看右後視鏡，當車身與管線即將平行時，方向盤回正，待車輛進入停車格內停止，後打入二檔將車輛駛出場地。

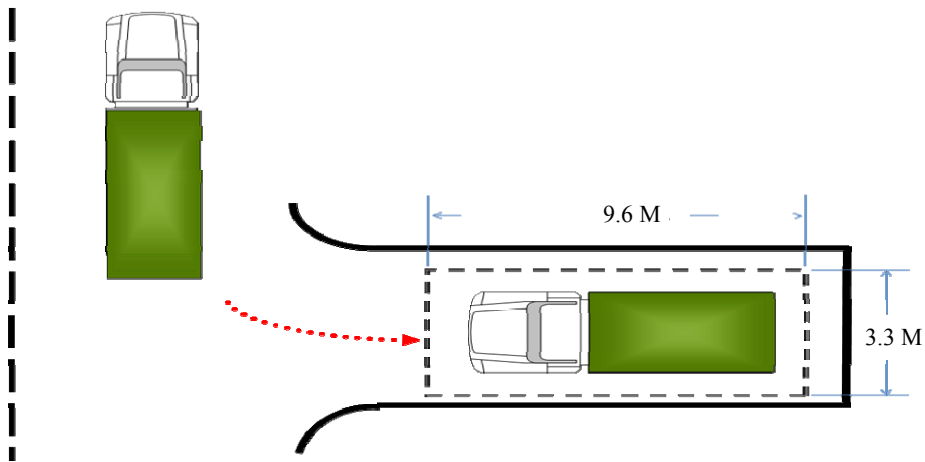


圖 8 倒車入庫示意圖

5. 上下坡道 (如圖 9)：車輛於起始點以二檔進入上坡路段，於停車範圍內將車停穩，拉手煞車，持續踩油門並緩慢放開離合器及手煞車，將車輛駛離坡道。

\*坡度不小於10% (即  $\frac{c}{a} \geq \frac{1}{10}$  , c=坡頂高度, a=坡道水平長度)

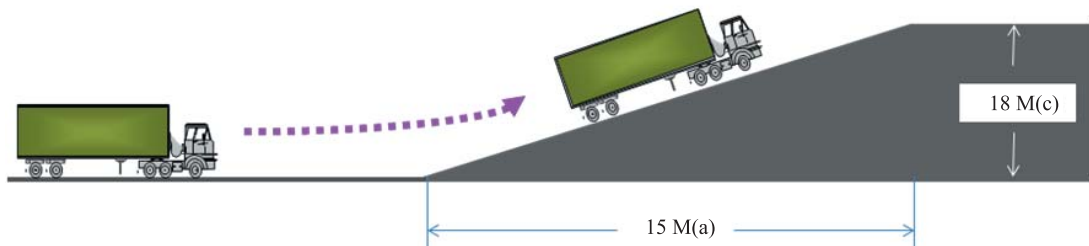


圖 9 上下坡道示意圖

#### (四) 依變項

1. 駕駛績效：本研究採用完成駕訓科目所需時間 (秒) 來衡量駕駛績效表現，各科目由實驗指導員依各科目場地規劃記錄作業的時間。
2. 視覺搜尋頻率：錄影資料使用定格分析，計算出受試者從事不同駕訓科目時之擺頭次數 (次/分)。
3. 眨眼率：錄影資料使用定格分析，計算受試者從事不同駕訓科目時之眨眼次數 (次/分)。

#### 4. 心率量測指標：

- (1) 心率增量：擷取駕訓科目操作時受試者 R-R 波，經計算轉換為平均心率，求算與休息時心率之差。
    - a. 休息心率 (resting heart rate)：受試者採用與駕駛時相同之坐姿休息五分鐘，並取其第五分鐘的平均心率值，作為心率增量之基礎值。
    - b. 平均心率：各駕訓科目操作期間內量測之心率平均數。
  - (2) R-R 波間距：由心率傳輸帶記錄在駕訓科目操作期間內每一次心臟收縮之電位變化，其中以心室去極化之 QRS 波振幅最大且最容易偵測到，因此每一次 QRS 波間之時間稱為 R-R 波間距。
  - (3) 心率變異量：各駕訓科目操作期間內 R-R 波間距之標準差。
5. 受測者主觀評比：本研究運用 NASA-TLX 主觀評量問卷 (NASA-task load index) 進行調查，在受試者所有科目操作完成後立即填寫，衡量心智負荷 (mental demand)、體力負荷 (physical demand)、時間負荷 (temporal demand)、績效與滿意度 (performance)、難易程度 (effort) 和挫折程度 (frustration)。量表填寫部分僅需於第二、四週實施。

綜合各指標之量測值與工作負荷高低的關係如表 3 所示：

表 3 指標與工作負荷之關係表

指標	指標觀測值	工作負荷
駕駛績效時間 視覺搜尋頻率 心率增量 主觀評比	愈長/愈高	愈高
眨眼率 RR 波間距 心率變異量	愈低	愈高

### 3.4 實驗流程及步驟

#### (一) 實驗流程

本研究流程區分三個階段：

1. 準備階段：研究方向確立後，即著手協調場地及設備相關事宜，並經實地勘查，將受試者統一集中於一個區隊便於管理及資料蒐集；相關儀器設備完成實際裝置與測試，並徵求第一批受試者實施前測，藉以改善實驗流程及調整設備的操作及位置。

2. 實驗階段：依駕訓中心訓練流程，於學員報到後徵選志願參與者，統一集中編隊管理，並配合場地訓練規劃，內、外場採分別量測方式實施，內場科目依順時針方向為路邊停車、曲線進退、曲巷調頭、倒車入庫，受試者施測前由四個科目中先行抽籤，決定起始順序，以符隨機化原則，外場部分僅量測上下坡道，不影響量測要求，其餘依實驗步驟正式開始。
3. 資料處理階段：所有實驗完成後，篩選無效資料，其餘資料彙整實施分析。

## (二) 實驗步驟

### 1. 實驗前準備

- (1) 向所有受試者說明實驗目的，請受試者閱讀實驗指導語後在同意書上簽名，並填寫基本資料，同時要求受試者於量測前二小時不得喝刺激性飲料或從事劇烈運動，以避免影響實驗結果。
- (2) 檢查實驗用大貨車已依規定保養時程進廠完成保養，油箱加滿油，教練用煞車輔助裝置作用良好。
- (3) 將 DVR 即時數位影像處理系統及液晶顯示器置於駕駛座後方，各攝影機完成架設連線，並將電源接上放置後車廂之 5KW 發電機。
- (4) 將心率測定器固定於心率接收器上，並與電腦連接置於駕駛座中央扶手。

### 2. 步驟

- (1) 量測休息心率：
  - a. 請受試者將心率感應器與傳輸帶結合後穿戴在胸前，開啟心率測定器，量測時遠離電子產品避免干擾。
  - b. 以輕鬆姿勢坐於椅子上五分鐘，期間不得說話或大動作改變姿勢。
  - c. 取第五分鐘之平均心率為受試者個人休息心率，量測結束後脫下心率傳輸帶。
- (2) 受試者平時接受內場科目訓練時即採隨機方式實施，避免正式量測時干擾受試者心情及影響測考程序；本步驟即依平時訓練以抽籤決定內場科目順序後上大貨車，向實驗指導員回報休息心率並由其記錄後，開始調整座椅及後照鏡。
- (3) 受試者配戴心率傳輸帶，指導員開啟心率測定器，檢查訊號是否與電腦連線。
- (4) 指導員檢查攝影機，確定訊號正常，並調整鏡頭焦距。
- (5) 開始測考並蒐集數據：受試者在量測各科目工作負荷前，均需至各科目設定之停等線前待命，由指導員監看受試者心率，待回復至休息心率（不超過正負每分鐘 5 次心率）時，由實驗指導員下令開始測考並記錄所有數據資料，期間駕駛者不得交談及配戴電子產品。
- (6) 測考結束後將資料存檔，更換下一位受試者依步驟 1-5 繼續量測。
- (7) 受試者下車填寫 NASA-TLX 量表。

### 3.5 資料處理與分析

實驗錄影資料採定格分析方法 (30 張/秒)，計算受試者從事不同駕訓科目時視覺搜尋頻率及眨眼次數；時間及心率的計算，則以心率感應器量得之 R-R 波間距實施換算。因每位受試者的生理心理反應有所不同，若在分析過程中未將受試者本身的差異加以考量，則實驗誤差將反應出隨機誤差與受試者間的變異。因此為降低實驗干擾因子與增加樣本代表性，將受試者劃分為集群 (blocking)，因此變異來源為已知且可控制，故可使用區集劃分技巧來消除其對實驗結果之影響 (Montgomery<sup>[20]</sup>)。故本研究採取二因子區集化重複實驗設計 (two factors blocking repeated design) 進行分析。探討因子共計二項，包括駕訓科目 (上下坡道、曲巷調頭、曲線進退、倒車入庫與路邊停車) 與訓練時程 (第一次、第二次與第三次)；除駕訓科目變項、訓練時程變項以及其交互作用外，另增設一個區集因素 (block factor)，用以反應受試者之差異，如此方可真正測量出實驗處理 (treatment) 的影響效果。最後以統計軟體 (SPSS 12.0) 對使用時間、眨眼次數、視覺搜尋頻率、心率增量、平均 R-R 波間距、心率變異量、主觀評量等指標，進行變異數分析 (analysis of variance) 於顯著水準 ( $\alpha$ ) 為 0.05 下探討其影響結果，在變異數分析發現有充分的統計證據拒絕母體平均數為相等的虛無假設後，以 Duncan's 多重全距比較 (multiple range test) 進行事後多重比較的程序，以探討各水準間之影響程度，其子集合通常使用 A, B, C 等英文字母標示。

## 四、研究結果

探討不同駕訓科目 (上下坡道、曲巷調頭、曲線進退、倒車入庫與路邊停車) 與訓練時程 (第一次、第二次與第三次) 對駕駛完成時間、視覺搜尋頻率、眨眼次數、心率增量、平均 R-R 波間距、心率變異量與主觀評量等指標，進行多變量變異數分析，詳細說明如下節所述。

### 4.1 不同駕訓科目對工作負荷之影響

多變量變異數分析結果顯示不同駕訓科目對各指標之影響，除眨眼次數無顯著差異外，其餘變項均有顯著影響 ( $p < 0.05$ )。再運用 Duncan 多重全距比較完成五種駕訓科目時時間顯示，曲線進退平均完成時間需耗費 132 秒顯著高於其他科目 (subset C)，而路邊停車則顯著較快完成只需耗費 53.3 秒 (subset A)，其餘上下坡道、曲巷調頭與倒車入庫等科目平均完成時間分別為 67.4 秒、71.4 秒與 65.6 秒，皆歸類為子群集 B。

探討不同駕訓科目對視覺搜尋頻率之影響，不同駕訓科目其視覺搜尋需求顯著不同，上下坡道視覺搜尋需求較低 (4.5 次/分)，其餘依次為倒車入庫 (9.2 次/分)，路邊停車 (10.2 次/分)、曲巷調頭 (10.5 次/分)，而曲線進退的視覺搜尋頻率最高 (11.6 次/分)。探討不同

駕訓科目對心率增量之影響，其中當受試者從事曲線進退科目時，心率增量顯著較高，最高達 30.9 次/分，而從事上下坡道時心率增量顯著較低，達 23.1 次/分。而平均 R-R 波間距顯示，從事曲線進退與路邊停車顯著較低，而心率變異量也顯示曲線進退與倒車入庫科目顯著較低。而主觀評量也顯示曲線進退負荷較高，而曲巷調頭相對負荷較低。

綜合各指標之量測值與工作負荷高低的關係，受試者對於曲線進退及曲巷調頭科目產生的工作負荷較高。

表 4 不同駕訓科目與訓練時程變異數分析結果

依變項	變異來源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
時間	受試者	31371.85	19	1651.2	9.79	<0.001
	駕訓科目	209537.9	4	52384.5	310.56	<0.001
	訓練時程	22145.89	2	11072.9	65.65	<0.001
	駕訓科目× 訓練時程	7169.36	8	896.2	5.31	<0.001
	誤差	44867.77	266	168.67		
	總和	315092.8	299			
視覺搜尋頻 率	受試者	4469.73	19	235.25	8.65	<0.001
	駕訓科目	13483.23	4	3370.81	123.94	<0.001
	訓練時程	2534.89	2	1267.44	46.60	<0.001
	駕訓科目× 訓練時程	2018.45	8	252.31	9.28	<0.001
	誤差	7234.37	266	27.20		
	總和	29740.67	299			
眨眼次數	受試者	3158.7	19	166.1	3.43	<0.001
	駕訓科目	309.4	4	77.3	1.6	0.175
	訓練時程	1646.6	2	822.4	17	<0.001
	駕訓科目× 訓練時程	373.4	8	46.6	0.96	0.465
	誤差	12876.6	266	48.4		
	總和	18349.0	299			
心率增量	受試者	24151.02	19	1271.11	25.28	<0.001
	駕訓科目	4112.03	4	1028.01	20.45	<0.001
	訓練時程	2018.96	2	1009.48	20.08	<0.001
	駕訓科目× 訓練時程	528.84	8	66.11	1.31	0.236
	誤差	13373.02	266	50.27		
	總和	44183.88	299			

表 4 不同駕訓科目與訓練時程變異數分析結果(續)

依變項	變異來源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
平均 R-R 波間距	受試者	1446921.30	19	76153.75	27.15	<0.001
	駕訓科目	171199.42	4	42799.85	15.26	<0.001
	訓練時程	187542.84	2	93771.42	33.43	<0.001
	駕訓科目×訓練時程	21870.34	8	2733.79	0.97	0.456
	誤差	746145.32	266	2805.06		
	總和	2573679.22	299			
心率變異量	受試者	58800.13	19	3094.74	13.27	<0.001
	駕訓科目	2295.03	4	573.76	2.46	0.046
	訓練時程	2967.23	2	1483.61	6.36	0.002
	駕訓科目×訓練時程	1449.20	8	181.15	0.78	0.623
	誤差	62029.89	266	233.20		
	總和	127541.48	299			
主觀評量	受試者	14334.77	19	754.46	9.83	<0.001
	駕訓科目	2770.15	4	692.54	9.02	<0.001
	訓練時程	1.54	1	1.54	0.02	0.888
	駕訓科目×訓練時程	323.06	4	80.77	1.05	0.382
	誤差	13128.22	171	76.77		
	總和	30557.74	199			

#### 4.2 訓練時程對工作負荷之影響

本實驗配合訓練時程，安排受試者進行第一次量測（受訓第二週）、第二次量測（受訓第三週）與第三次工作負荷量測（訓練第四週），並比較不同訓練時程下各科目之工作負荷變化。變異數分析結果顯示，時間、視覺搜尋頻率、眨眼次數、心率增量、平均 R-R 波間距、心率變異量等指標有顯著影響。經由訓練後，平均完成駕訓科目時間，由第一次施測時之 89.5 秒顯著減少至第三次施測之 69.1 秒完成。而據視覺搜尋頻率、心率增量指標顯示，經由訓練後顯著降低，且平均 R-R 波間距與心率變異量，隨著受訓時程增加，而呈現數值增加趨勢，表示心理的工作負荷有顯著地降低。綜合所有之指標結果，可發現經由訓練後有助提升駕駛績效與降低駕駛工作負荷。



表 5 五項駕訓科目之各指標平均數與標準差

依變項 (單位)	駕訓科目	平均數	標準差	Duncan 多重 全距分群
時間 (秒)	上下坡道	67.4	9.2	B
	曲巷調頭	71.4	13.0	B
	曲線進退	132.0	33.8	C
	倒車入庫	65.6	13.5	B
	路邊停車	53.3	15.4	A
視覺搜尋頻率 (次/分)	上下坡道	4.5	1.7	A
	曲巷調頭	10.5	3.2	C
	曲線進退	11.6	5.0	C
	倒車入庫	9.2	4.0	B
	路邊停車	10.2	3.8	B
眨眼次數	上下坡道	11.5	6.3	無顯著差異
	曲巷調頭	13.8	12.5	
	曲線進退	12.0	5.3	
	倒車入庫	11.0	5.0	
	路邊停車	12.4	5.9	
心率增量 (次/分)	上下坡道	23.1	11.5	A
	曲巷調頭	27.7	11.2	B
	曲線進退	30.9	12.4	C
	倒車入庫	27.6	12.2	B
	路邊停車	28.8	11.5	B
平均 R-R 波間距 (毫秒)	上下坡道	647.7	94.1	C
	曲巷調頭	620.2	101.6	B
	曲線進退	600.9	94.7	A
	倒車入庫	629.9	117.6	BC
	路邊停車	613.9	96.5	AB
心率變異量	上下坡道	57.7	16.0	B
	曲巷調頭	56	18.5	B
	曲線進退	51	17.7	A
	倒車入庫	54.3	15.7	A
	路邊停車	57.7	20.6	B
主觀評量 (分數)	上下坡道	52.9	9.9	B
	曲巷調頭	48.4	9.8	A
	曲線進退	57.8	10.5	C
	倒車入庫	52.9	11.6	B
	路邊停車	51.9	9.3	B

表 6 訓練時程之各指標平均數與標準差

依變項 (單位)	訓練時程	平均數	標準差	Duncan 多重全 距分群
時間 (秒)	1	89.5	39.1	C
	2	75.1	28.7	B
	3	69.1	24.5	A
視覺搜尋頻率 (次/分)	1	15.1	5.9	B
	2	11.5	10.5	A
	3	9.4	4.6	A
眨眼次數	1	16.3	12.3	C
	2	10.7	8.6	B
	3	9.7	6.8	A
心率增量 (次/分)	1	29.4	12.4	B
	2	23.1	11.7	A
	3	25.9	11.4	A
平均 R-R 波間距 (毫秒)	1	591.7	77.3	A
	2	652.1	89.2	B
	3	630.8	100.7	B
心率變異量	1	53.1	19.3	A
	2	51.2	22.6	A
	3	58.6	19.1	B

#### 4.3 訓練時程及駕訓科目之交互作用影響

圖 10 為駕訓科目與訓練時程對完成時間的交互作用，圖中顯示於第二次施測時，各科目的完成時間皆有顯著進步，其中以曲線進退及上下坡道科目進步程度較高。當第一次執行曲線進退科目時，平均需耗費 152 秒，經受訓第三週第二次施測時，平均完成時間降低為 120.5 秒，經由四週第三次施測時，平均完成時間為 110.9 秒，總訓練績效達 27%；當第一次執行上下坡道科目時，平均需耗費 87.9 秒，經受訓第三週第二次施測時，平均完成時間降低為 71.1 秒，經由四週第三次施測時，平均完成時間為 64.4 秒，總訓練績效達 26.7%。

探討對視覺搜尋績效之影響，圖 11 為駕訓科目與訓練時程對視覺搜尋績效的交互作用，圖中同樣顯示於第二次施測時，各科目的視覺搜尋次數皆有顯著進步，其中以曲線進退及路邊停車科目進步程度較高。當第一次執行曲線進退科目時，平均搜尋 35.6 次，經受訓第三週第二次施測時，平均搜尋降低為 20.6 次，經由四週第三次施測時，平均只需

視覺搜尋 17.9 次，總訓練績效達 27%。當第一次執行路邊停車科目時，平均視覺搜尋 13 次，經受訓第三週第二次施測時，平均視覺搜尋降低為 7.9 次，經由四週第三次施測時，平均視覺搜尋為 7.1 次，總訓練績效達 7.2%。

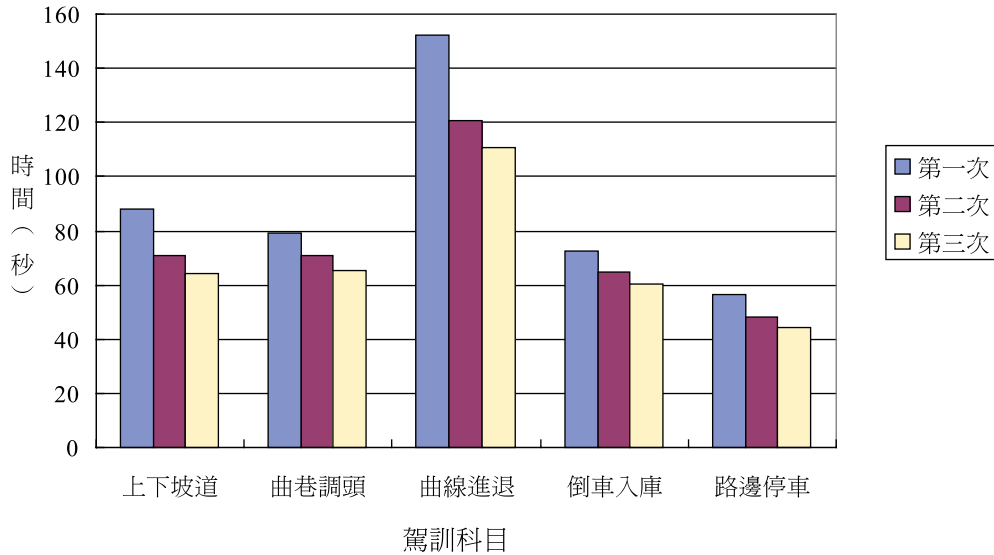


圖 10 訓練時程與駕訓科目交互作用對使用時間之影響

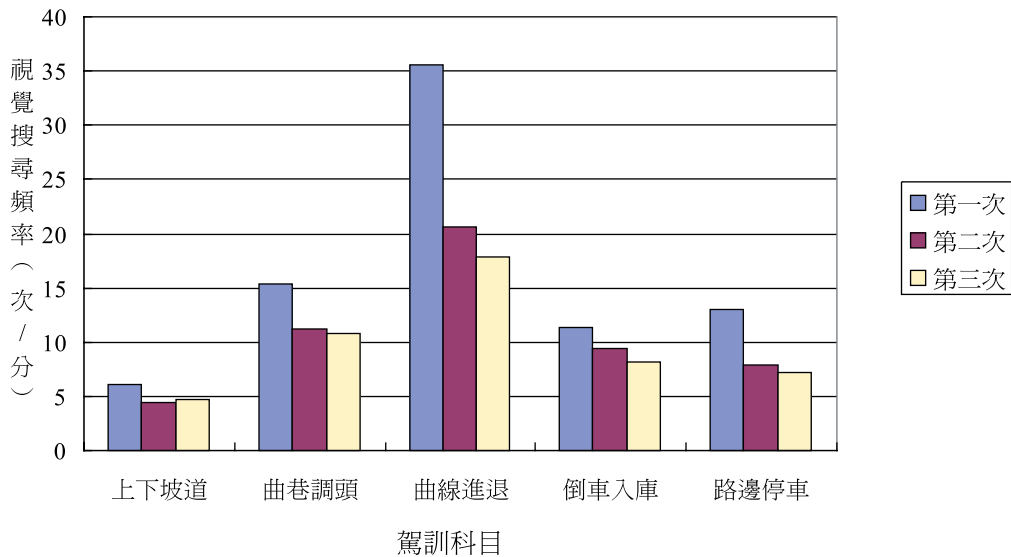


圖 11 訓練時程與駕訓科目交互作用對視覺搜尋頻率之影響

綜合述之，將不同訓練時程各駕訓科目工作負荷的變化趨勢彙整成表 5，由表 5 得知，在使用時間上顯示僅曲線進退各訓練時程有顯著差異，其餘各科目在第二、三時程無顯著差異，說明曲線進退的困難度較高，因此訓練時間增加能明顯看出科目操作時間縮短，其餘各科目在經過二週訓練後，已能達到與測考時相同的水準。在視覺搜尋頻率上，倒車入庫與上下坡道各訓練時程並無顯著差異，原因在於此兩項科目於操作程序中，需要擺頭搜尋場地及目標的次數較低，因此即便訓練時間增加也無明顯績效；而曲巷調頭、曲線進退及路邊停車均是第一次顯著大於二、三次，說明受試者經過二週訓練後，對場地及目標熟悉度已增加而減少了視覺搜尋頻率。駕駛人經訓練後，在不同訓練時程駕訓科目量測指標的表現上均有進步，只是各科目的進步程度有所不同，可依據不同的訓練成效調整訓練時數與課程內容。

受試者不同訓練時程的工作負荷彙整成表 7，由表得知受試者在第一次量測時，均顯示較高的工作負荷，隨著訓練時間增加，多項負荷指標均呈下降趨勢，說明受試者經訓練後確有進步。但從心率指標看出第三次的負荷反大於第二次，應是第三次量測為正式考照而造成受試者的壓力所致。

表 7 受試者不同訓練時程工作負荷分析結果

依變項 \ 訓練時程	第一次	第二次	第三次
時間	高	中	低
視覺搜尋頻率	高	無顯著差異	
眨眼次數	高	中	低
心率增量	高	低	中
平均 R-R 波間距	高	低	中
心率變異量	與第三次 無顯著差異	高	與第一次 無顯著差異

#### 4.4 訓練時程對主觀評量之影響

在不同駕訓科目下，探討訓練時程對主觀評量各構面的影響，經權重平均後得知，受試者在經過訓練後，上下坡道的主觀評量向度在時間負荷、難易程度、挫折程度上均下降，績效與滿意度及體力負荷上升，心智負荷則不變 (如圖 12)。在曲巷調頭科目中，主觀評量向度在時間負荷、難易程度、挫折程度上均下降，績效與滿意度、體力負荷及心智負荷均上升 (如圖 13)。在曲線進退科目中，主觀評量向度在難易程度、挫折程度上下降，其餘心智負荷、體力負荷、時間負荷、績效與滿意度均上升 (如圖 14)。倒車入庫 (如圖 15) 與路邊停車 (如圖 16) 的主觀評量向度在時間負荷、挫折程度上下降，體力負荷、績效與

滿意度、難易程度均上升，心智負荷則不變。

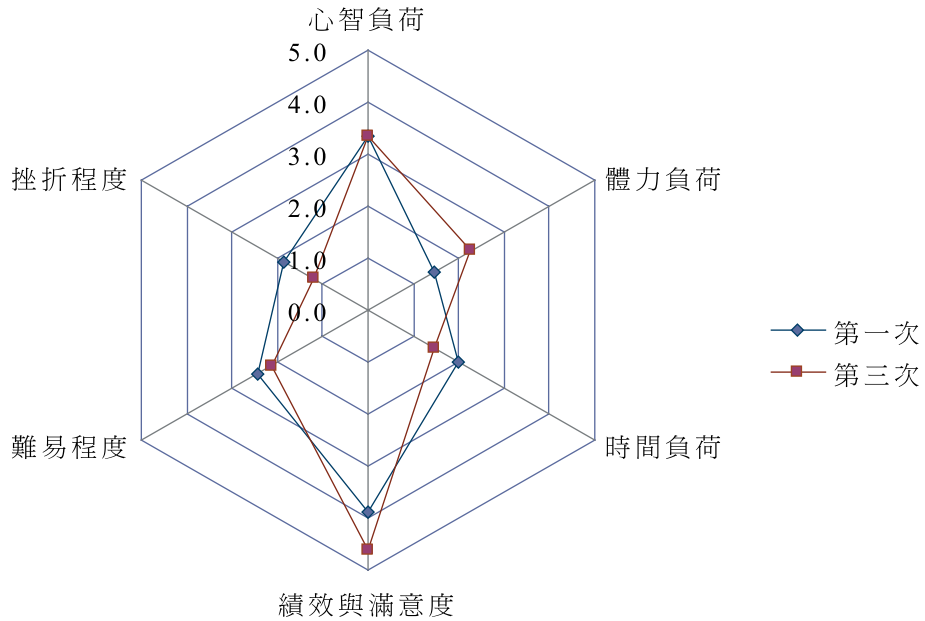


圖 12 上下坡道不同訓練時程主觀評量向度

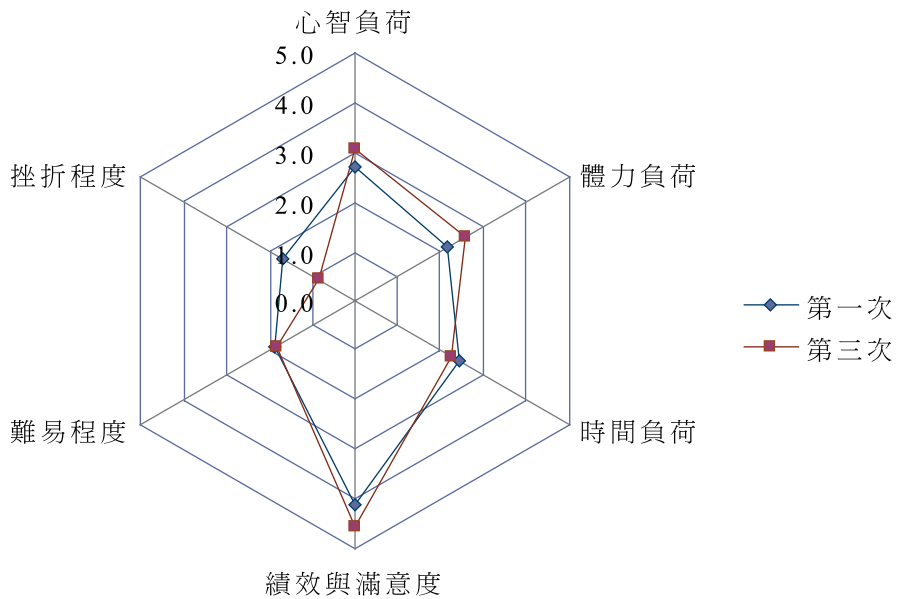


圖 13 曲巷調頭不同訓練時程主觀評量向度

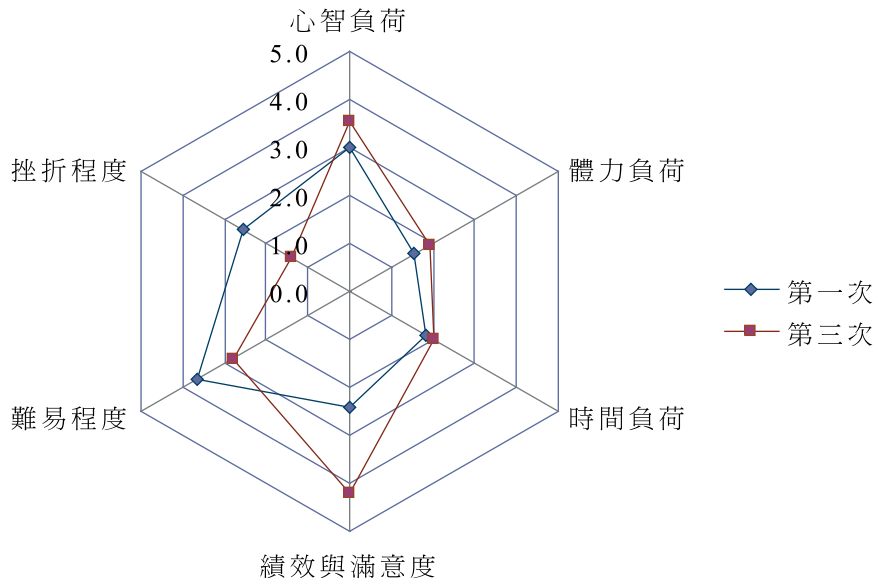


圖 14 曲線進退不同訓練時程主觀評量向度

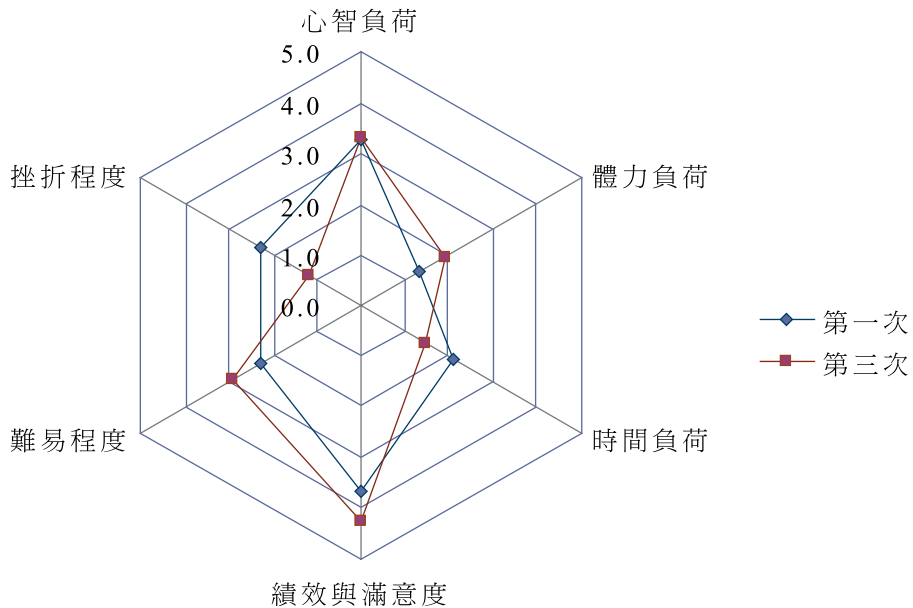


圖 15 倒車入庫不同訓練時程主觀評量向度

一般而言，駕駛人經訓練後在績效與滿意度方面均會上升，挫折程度會下降，部分科目在心智負荷方面則無變化。

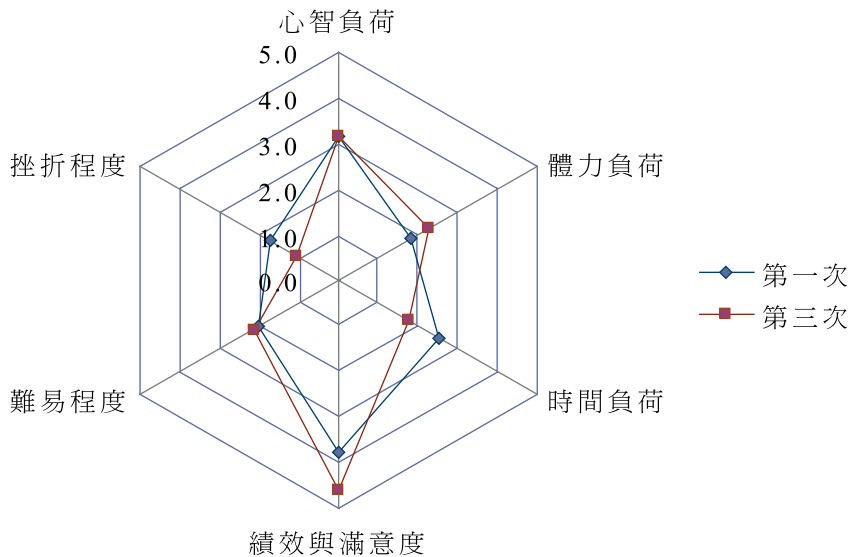


圖 16 路邊停車不同訓練時程主觀評量向度

綜所述之，受試者於各科目在績效與滿意度的評量向度變化上，第三次均比第一次上升，而挫折程度均下降，說明受試者經過訓練後，對於達成目標的滿意度增加，也顯示訓練的成效。在體力負荷上，各科目第三次比均第一次高，反應出正式測考時，的確帶給受試者心理壓力而造成身體負荷升高。在時間負荷變化上各科目均下降，僅曲線進退升高，由此看出曲線進退在受試者主觀認知上亦較困難。在心智負荷上各科目幾乎相等，意指即便受試者經過訓練，其不管操作何種科目，都會帶給受試者心理壓力及負擔。在難易程度上倒車入庫與路邊停車變化一致，可能是兩者同屬停車作業之故。

## 五、討論

人類的資訊處理模式 (information processing models)，可以分為資訊的感覺、知覺階段、認知階段和行動階段等三階段。汽車的操控駕駛行為亦是如此，當駕駛者於操控汽車時，主要是依賴視覺來獲取外界的資訊，其必須獲取車輛的狀態、道路的狀態等資訊，而進行一連串的心智活動最終完成駕駛作業。工作負荷的高低，受到作業需求及人員能力限制之影響，若作業需求與人員能力限制間無法配合時，不管是工作負荷太高或是太低，均可能造成無法令人滿意的作業表現。因此若駕駛時之工作負荷超過個人能力的界限，將使駕駛肇事機率大為增加。因此量測與分析駕駛的心智負荷及其駕駛行為之表現，為探討交通安全之重要課題，因此本研究運用多向度工作負荷量測指標，包括視覺搜尋頻率、眨眼次數、心率增量、平均 R-R 波間距、心率變異量與主觀評量等指標，以了解駕駛者在從事五種駕訓科目時的生理心理反應，並分析駕駛者進行不同科目時的工作量負荷，以供駕訓

單位了解駕駛人於不同駕訓科目中，各學習階段的表現與效果，作為修訂駕訓程序的參考。

Lee 與 Liu <sup>[21]</sup> 運用心電圖與 NASA-TLX 主觀評比，評估 10 位男性飛行員於 747-400 型飛行模擬器內，衡量執行飛航任務時（起飛、爬升及巡航、近場與降落）之工作負荷，並探討各指標間的敏感度。研究結果顯示，心率增量、心率變異量 (HRV) 及 NASA-TLX，主觀評比量表，皆能敏感地指出不同飛行階段的作業負荷。平均心率增量於起飛及降落時顯著增加，而心率變異量於近場與巡航時顯著較低。分析 NASA TLX，量表結果顯示，飛行員於降落、近場與起飛時有較大的工作負荷；而工作負荷結構分析顯示心智、表現與時間壓力為飛航時的關鍵因素。因此，飛行員需強調起飛、近場及降落之關鍵飛航階段之複訓，尤其是在具有時間壓力及不正常飛行狀態下。此研究結果表示心率增量、心率變異量 (HRV) 及 NASA TLX 能敏感地反應出不同飛航作業間的工作負荷。而劉仲祥與劉伯祥 <sup>[22]</sup> 以小客車測試探討不同停車方式時的工作負荷，及分析有無聽音樂對駕駛行為的影響，所測量之生理變數包括平均心率、心率增量 (heart rate increases)、R-R 波間距 (ECG R-R wave interval)、心率變異量，研究結果顯示路邊停車比倒車入庫之 R-R 波間距為低，說明路邊停車有較大的工作負荷。本研究綜合整理各項量測指標可發現駕訓科目之工作負荷有所差異，五項駕訓科目中以曲線進退與曲巷調頭科目工作負荷較大，其中曲線進退雖經四週訓練，其視覺搜尋及工作負荷仍高，應可增加訓練時數，使駕訓者更熟習曲線進退駕訓科目，且可加強視覺搜尋的訓練。

## 六、結論與建議

由不同訓練時程各科目工作負荷量測紀錄看出，透過訓練能有效地提升駕駛人的績效，除「曲線進退」外，其餘各科目在訓練的第三週，已能有與第四週正式測考時的相同表現，而「曲線進退」科目工作負荷仍高且仍有進步的空間，建議可排定較長的訓練時間。因此，場地駕駛訓練中各科目的訓練權重應予排定，且訓練週數可減少一週，各科目訓練時間配比則待日後研究驗證。在不同訓練時程的指標量測上，因第三次為正式測考時機，部分指標亦反應出測考的壓力；而不同的訓練方式是否會影響受試者測考的績效及有關壓力造成的影響，將可列入爾後研究方向。

本研究僅針對基礎駕駛訓練科目之工作負荷進行評估與量測，建議後續研究可持續探討戰術或救災特殊需求導向任務之工作負荷，期能加強訓練及複訓。本研究結果，可供國軍駕駛訓練中心。修訂駕訓程序參考。

## 參考文獻

1. Federal Highway Administration (FHWA), *Highway Statistics 2008*, US Department of Transportation, Washington DC, 2009.



2. Lyman, S. and Braver, E. R., "Occupant Deaths in Large Truck Crashes in the United States: 25 Years of Experience", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 35, No. 5, 2003, pp. 731-739.
3. Kantowitz, B. H. and Casper, P. A., "Human Workload in Aviation", *Human Factors in Aviation*, E. L. Wiener & D. C. Nagel (Eds.), Academic Press, San Diego, 1988.
4. Humphreys, G. W. and Bruce, V., *Visual Cognition: Computational, Experimental and Neuropsychological Perspective*, Lawrence Erlbaum, UK, 1989.
5. Stern, J. A. and Skelly, J. J., "The Eye Blink and Work Load Considerations", *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, Vol. 28, Santa Monica, 1984, pp. 942-944.
6. Yaginuma, Y., Yamada, H., and Nagai, H., "Study of the Relationship between Lacrimation and Blink in VDT Work", *Ergonomics*, Vol. 33, 1990, pp. 799-809.
7. Sotoyama, M., Saito, S., Tapagaporn, S., Suzuki, T., and Saito, S., "Gaze Direction and Ocular Surface Area in VDT Work", *Human-Computer Interaction: Applications and Case Studies*, M. J. Smith & G. Salvendy (Eds.), Elsevier, Amsterdam, 1993, pp. 750-755.
8. 羅彥宇, 「我們的自主神經」, *健康世界*, 第 238 期, 民國 88 年, 頁 9-11。
9. Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F. A., Shannon, D. C., Barger, A. C., and Cohen, R. J., "Power Spectrum Analysis of Heart Rate Fluctuation: A Quantitative Probe of Beat-to-Beat Cardiovascular Control", *Science*, Vol. 213, No.10, 1981, pp. 220-222.
10. Pomeranz, B. et al., "Assessment of Autonomic Function in Humans by Heart Rate Spectral Analysis", *American Journal of Physiology, Heart and Circulatory Physiology*, Vol. 248, 1985, pp. 151-153.
11. Cowan, M. J., "Measurement of Heart Rate Variability", *Western Journal of Nursing Research*, Vol. 17, No.1, 1995, pp. 32-48.
12. Liu, B. S. and Tseng, H. Y., "Assessment Performance, Subjective Rating and Workload on Various Parking Layouts", *ANIMA: Indonesian Psychological Journal*, Vol. 21, No. 2, 2006, pp. 176-184.
13. Sheridan, T., "Mental Workload: What Is It? Why Bother with It?", *Human Factors Society Bulletin*, Vol. 23, 1980, pp. 1-2.
14. Hart, S. G. and Staveland, L., "Development of NASA-TLX: Results of Empirical and Theoretical Research", *Human Mental Workload*, P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), North-Holland, New York, 1988, pp. 139-184.
15. 王珮琦, 「車用導航系統之使用者介面選單設計研究」, 大同大學工業設計研究所碩士論文, 民國 93 年。
16. 董基良等人, 「駕駛人生理功能、心理因素、行為特質與交通安全之關聯性研究(1/3)」, 交通部運輸研究所, 民國 96 年。
17. Noe, R. A., *Employee Training and Development*, 4th Ed., McGraw-Hill, New York, 2008.
18. 張新立、吳宗修等, 「現行駕駛訓練與考照制度之檢討與研究」, 交通部運輸研究所, 民國 82 年。
19. Goldstein, L. L., *Training in Organization: Needs Assessment, Development, and Evaluation*, 3rd.

- Ed., Brooks/Cole, Monterey, CA, 1993.
20. Montgomery, D. C., *Design and Analysis of Experiments*, 5th Ed., John Wiley & Sons, New Jersey, 2005.
  21. Lee, Y. H. and Liu, B. S., "In-Flight Workload Assessment: Comparison of Subjective and Physiological Measurements", *Aviation, Space and Environmental Medicine*, Vol. 74, No. 10, 2003, pp. 1078-1084.
  22. 劉仲祥、劉伯祥，「停車作業工作負荷量測及聽音樂對駕駛之影響」，*運輸計劃季刊*，第32卷，第4期，民國92年，頁801-821。

# 定期航運艙位超賣模式之研究

## A SLOT ALLOCATION MODEL WITH OVERBOOKING FOR LINER SHIPPING

李際偉 Vincent C. Li<sup>1</sup>  
咎延慶 Yen-Ching Tsan<sup>2</sup>

(98 年 9 月 8 日收稿，98 年 12 月 25 日第一次修改，  
99 年 2 月 10 日第二次修改，99 年 9 月 20 日定稿)

### 摘 要

定期航運業常因顧客臨時取消貨櫃運送或是減少艙位需求，造成空艙之損失。艙位是不可儲存之商品，船公司可運用收益管理之超賣策略，求取適當的超賣數量，將艙位做更有效的分配利用而提升利潤。再者，由於國際貨櫃流量之不平衡，船公司必須做好空櫃調度，以降低因貨櫃流量不平衡所帶來之龐大成本負擔。本文以銷售艙位之數量為著眼點，探討定期航運艙位超賣下單一航線之艙位分配模式，在考量各港口有其獨立之離散型顧客到達率情形下，提供船公司一套系統化的方式，藉以決定單一航次之艙位銷售數量以及空櫃調度，求取最大化利潤。經由案例顯示具超賣策略之模型，可帶給船公司更高之期望利潤，且其影響隨著顧客到達率之不確定性增高而更為顯著。

**關鍵詞：**定期航運；艙位分配；收益管理；超賣策略；空櫃調度

- 
1. 國立嘉義大學企業管理學系助理教授（聯絡地址：60054 嘉義市新民路 580 號嘉義大學企業管理學系；電話：05-2732845；E-mail：vincentcli@mail.ncyu.edu.tw）。
  2. 國立東華大學全球運籌管理研究所碩士。

## ABSTRACT

*The liner shipping industry often suffers from no-shows and cancelations that make some container slots empty for a voyage. Container slots are perishable assets and can not be stored for the next voyage. A liner shipping company can enhance the slot utilization and reduce unused capacity by properly adopting the overbooking strategy, an important element of revenue management. On the other hand, due to the unbalanced container flow caused by the international trade pattern, a liner shipping company has to reposition the containers efficiently and effectively to satisfy the container need while trimming the reposition cost. In this paper, we discuss slot allocation on a single route by considering slot overbooking. By assuming a discrete customer show-up rate at each port, we propose a systematic approach to determine the amount to sell and the way to reposition empty containers so as to maximize the profit of the liner shipping company. We use a numerical example to show that the proposed overbooking model can increase the expected profit of the company. Moreover, the influence of adopting overbooking becomes more pronounced when the uncertainty of the customer show-up rate increases.*

**Key Words:** *Liner shipping; Slot allocation; Revenue management; Overbooking strategy; Empty container reposition*

## 一、前言

定期航運業是一資本密集產業，船公司必須投資大量船舶與貨櫃等固定成本，對於航商而言，當船舶離港後，未能利用到之艙位都是無形的損失（機會成本），而隨著全球船舶漸趨大型，艙位分配對營收的影響自是不可小覷。此外，定期航運國際貨櫃流量長期以來由於全球進出口貿易的特性，使其雙向不易平衡，舉例來說，亞洲由於製造成本遠低於歐美各先進國家，貨櫃一向出多進少，在貨櫃流量不平衡下，航商為了降低租櫃及買櫃之成本，必須做合乎經濟效益的空櫃調度。

而船舶所能提供的艙位是固定的，但顧客可能取消預約或未出現造成航商之損失。倘若顧客取消預約，航商還有可能在船舶離港前再爭取一些貨源彌補，但若在最後一刻才被知會，則航商將措手不及而難以應變。有鑑於此，航商應該設法出售超過船舶容量之艙位，但是若實際出現的貨櫃超出船舶容量，則航商必須另行設法運送（儲放並延期到下一航次或委請其它航商運送），此舉除了會引起顧客抱怨，也會衍生實際相關的費用，所以超售數量多少之拿捏是非常重要的。

雖然超賣策略已廣為航空客運業採用，超賣艙位的情形也確實存在於定期航運業，但在定期航運相關文獻中，並未有將空櫃調度及超賣策略結合於多重航段艙位分配的研究。有鑑於此，本研究應用收益管理之概念，在各港口之顧客到達率呈離散型機率分布下，針對航商單一航線、單一航次、多重航段，建立包含超賣策略及空櫃調度之艙位分配數學模型，目的為使航商透過適當的艙位超賣策略，決定銷售艙位之數量（重櫃接單量）、空櫃調

度量以及重櫃因艙位不足造成的退關量（簡稱退關量），以提升總利潤。

本文後續之架構如下：第二節回顧收益管理及艙位分配之文獻，第三節提出研究假設並據以建構一數學模型，第四節探討一案例並分析其結果，第五節提出結論及對未來研究的建議。

## 二、文獻回顧

### 2.1 收益管理

1972 年 BOAC (現今的英國航空公司) 提出之折扣策略 (Littlewood's rule)<sup>[1,2]</sup> 開啟了收益管理 (revenue management) 的應用，美國航空公司 (American Airlines) 在 1977 年美國航空管制即將解除之際，實施超級折扣方案 (super saving fares) 也帶動了日後北美收益管理之蓬勃發展 (McGill 與 Van Ryzin)<sup>[3]</sup>。相關的文獻包羅了營收管理 (yield management)、超賣及定價等領域。Weatherford 與 Bodily<sup>[4]</sup> 將收益管理依照資源、容量、價格等 14 項要素予以分類，連結相互獨立發展之領域；該篇作者並歸納了應用收益管理的三項基本特性，包含商品不可儲存、商品短期供給量難以調整，以及有可能以價格區格市場的機制。McGill 與 Van Ryzin<sup>[3]</sup> 則彙整了自 60 年代開始至西元 2000 年間將收益管理運用在運輸業近二百篇學術著作，包含預測、超賣、艙位存貨控制與定價等四項主要領域。

繼航空客運業後，收益管理已陸續被運用在許多產業諸如：旅館、租車、郵輪、零售業、製造業等。定期航運適合運用收益管理因為其商品（艙位）無法儲存、必須符合載重量及艙位數之限制、商品可透過訂位系統預先出售、需求面對相當之不確定性。舉例來說在此領域，Kleywegt<sup>[5]</sup> 發表了合約規劃及訂位控制兩個模型，以決定最佳艙位分配策略。一般定期航運市場有兩種訂單，即合約型與臨時需求，前者比例較高，但後者邊際利潤較高，所以在已經接受前者時，是否要延後其運送，Lee 等人<sup>[6]</sup> 針對此問題提出一隨機動態規劃方法。

丁士展<sup>[7]</sup> 及 Ting 與 Tzeng<sup>[8]</sup> 提出了一定期航運收益管理之系統 (liner shipping revenue management)，並設計一艙位分配數學模型。有鑑於多數文獻僅探討遠洋航線，然而近洋航線艙位分配之複雜程度並不亞於遠洋航線，Feng 與 Chang<sup>[9]</sup> 運用收益管理建立一個模型來處理近洋航線之艙位分配，並應用此模型於臺灣的一個案例，獲得不錯之成效。

### 2.2 艙位分配

定期航運在給定訂價之下，船公司需考量各櫃種運送利潤之邊際貢獻，在有限的船舶艙位數量下，避免運送過多低邊際貢獻之櫃種以防排擠運送高邊際貢獻櫃種之機會，並且考量空艙位所造成之損失，透過安排不同類型艙位及起迄對之數量，以達到利潤最大化之

目的。

定期航運業除了需要艙位外，還需要貨櫃才可提供服務，而貨櫃流量在各區域之間（比如遠東到美西）不平衡的現象，衍生了空櫃調度問題，空櫃調度所產生的成本相當可觀，根據 Wang 與 Wang<sup>[10]</sup> 於 2007 年指出，全球海運及陸運空櫃調度年成本已達 250 億美元，並預測此成本將持續大幅上升，諸如空櫃的持有、存貨成本以及損失以重櫃服務賺取利潤的機會。當有重櫃運送需求時，貨櫃航商如果僅以運送重櫃之收益為考量，則可能導致其後運送空櫃成本之攀升而有可能收益不敷成本，所以空櫃調度的重要性不言可喻。

就空櫃調度而言，Crainic 等人<sup>[11]</sup> 將重櫃需求視為已知，提出兩個確定性動態規劃模型，來處理單種空櫃及多種空櫃之境況，另也針對單種空櫃面臨不確定性下提出一隨機模型。Cheung 與 Chen<sup>[12]</sup> 設計一個網路以兩階段隨機規劃決策空櫃調度問題。陳淑芬<sup>[13]</sup> 則以兩階段數學模式處理定期航運之空櫃調度問題，第一階段求取各港口在兩個航次間可產生的空櫃量；第二階段則判斷第一階段每一港口在航次間所產生之空櫃量，是否足以應付下一航次之出口貨櫃需求，如無法滿足需求或空櫃量太多，則調度空櫃或租櫃。

以下我們探討艙位分配的研究：丁士展<sup>[7]</sup> 於其博士論文中處理定期航運之收益管理模式，將其分為長期、短期規劃兩部分，長期包括顧客管理、成本管理、市場監控、航線規劃以及船隊排程；短期包括貨載需求預測、艙位分配、定價、貨櫃調度以及動態艙位控制。其中在艙位分配上，丁士展<sup>[7]</sup> 提出了多目標之數學模型，以利同時處理利潤最大化以及滿足代理商等兩種矛盾之目標，並配合模糊理論來處理貨運需求等不確定之限制式。許家瑋<sup>[14]</sup> 將租櫃、還櫃及各港口持有貨櫃以及空櫃調度納入加以考量，並提出以各區域貨櫃流量守恆取代各港口之貨櫃流量守恆，以表示各區域中貨櫃可互相流通之特性；同時為了突顯貨物運送需求之不確定性，以模糊數學規劃法處理重櫃之運送需求。Ang 等人<sup>[15]</sup> 討論多期之艙位分配問題的特性，提出一多維多重背包問題（multi-dimensional multiple knapsack problem）的模型，來求解如何在有限的船艙下最大化船商的利潤，由於此最佳化問題屬於 NP-Hard 的層級，該篇作者以啟發式演算法求近似解。Li<sup>[16]</sup> 運用一隨機動態模型來處理單一航段、多種貨櫃及多個訂艙時段的艙位接單問題，由於同時考慮載重及體積之限制，問題亦極為複雜，乃提出分解限制式方式並以啟發式演算法求解。

## 2.3 超賣策略

定期航運艙位容量固定且無法儲存，顧客可能取消預約、未出現或是變動所需艙位，若能正確的估計顧客訂艙之後貨物的到達率，而賣出超過艙位容量的適當數目，則可彌補因臨時取消或是減少艙位需求所造成的空艙損失，所以如何訂定超賣策略，是定期航運業不容忽視的課題。超賣策略在航空客運已行之有年，Rothstein<sup>[17]</sup> 將航空客運在此策略上的發展做了詳盡的描述。而航空貨運有諸多特性與航空客運不同，所以適用於航空客運之超賣策略勢有調整之必要（Bartodziej 等人<sup>[18]</sup>）。以航空客機之貨運而言，其（1）裝載容量會受到旅客托運行李之影響（若純粹是貨機則裝載容量為固定），（2）容量包含了三個維

度：體積、重量及可放置位子之數目，以及 (3) 航空貨運起迄港之外的行程是具有調整彈性（貨運顧客只要求在指定時間內由出發地運抵目的地）(Kasilingam)<sup>[19]</sup>。定期航運裝載容量雖為固定，但是其航程可包含許多港口，使得各港口之間裝載容量限制相互影響。定期航運與航空貨運有許多相似之特性，所以航空貨運之收益管理方法可提供很好的參考。

準確的顧客到達率是超賣策略是否奏效的關鍵，它可以降低空艙之浪費或是延後運輸的情形。航空客運常用常態分配估計顧客到達率，但 Popescu 等人<sup>[20]</sup>則以實証顯示常態分配未必較離散型機率分布估計航空貨運顧客到達率之結果為佳。目前探討超賣策略之文獻多應用於航空業，於處理定期航運業艙位分配問題上，仍少被加入考量，實際上艙位分配與超賣策略息息相關，超賣策略影響艙位供給進而影響艙位分配之結果。

本研究以離散型機率分布表達顧客到達率。我們可以根據 Phillips<sup>[21]</sup>定義超賣策略應用之環境特性與定期航運業之環境作一比較如下：

1. 商品不具可儲存性：定期航運業所提供之商品為提供載運服務之艙位與貨櫃，此兩項商品都不具儲存性，無法將其所載運之空間儲存下來，在下一航次時服務。
2. 商品預約不限於馬上使用，允許於未來使用：定期航運若預約艙位後因故未達，顧客或船公司則將艙位預約取消，若未來需使用，再行預約。
3. 延後服務已預約成功之客戶時，其相對成本較低：船公司採取超賣策略，當艙位不足以運送所有重櫃運輸時，船公司可能延後運送、或委託其他航運公司代為服務，實際耗費成本通常較空櫃造成之損失為低。

在擬定期航運超賣策略時，有三項核心要素，包含商品數上限、銷售之數量及顧客之實際出現率，最簡單的方式可以商品數上限除以顧客之實際出現率，來決定應銷售之數量 (Phillips)<sup>[21]</sup>。李冰川等人<sup>[22]</sup>針對單一航段，以一般連續機率分配的方式處理顧客之到達率，分別在有無空櫃調度需求的考量下，求得靜態之最佳艙位超賣量。

### 三、數學模型建構

定期航運實務上雖已有艙位超賣行為，但仍需一套較完善之管理科學方法，以協助船公司同時處理艙位分配、顧客之到達率以及超賣策略等問題，達到利潤最大化之目標。

在處理定期航運業艙位分配時，目的為決定各起迄港各櫃種合適之運輸量，以獲取最高利潤；別於以往以艙位分配量為決策變數，本研究改以接單量的角度，並考量各港口有其各別之顧客到達率、超賣策略。本節建構一考慮超賣策略之艙位分配數學模型，以期幫助航商處理超賣時之艙位分配。

#### 3.1 研究假設

茲概述本研究之假設及限制如下：

1. 處理單一航線、單次航程、多重航段之艙位分配。
2. 雖然實務上船公司會使用租櫃，但本研究僅針對船公司自有櫃探討，使研究重點更顯簡單明確。
3. 定期航運櫃種複雜，在不失普遍性下，本研究限定於 20 呎以及 40 呎之乾櫃與冷凍櫃（皆含空櫃），冷凍櫃必須放置於有冷凍櫃插座之處，乾櫃則無此限制。
4. 實務上，各航線所承載之貨櫃重量，依據其所承載貨物種類、櫃型以及託運量有所不同，本研究將各貨種之重量以平均重量代替。
5. 各起迄港運送貨櫃之相關成本、定價、顧客到達率之分布皆假設已知。
6. 各港口之顧客到達率假設呈離散型機率分布，各種不同到達率皆有一對應之機率，而所有不同到達率之機率和為 1。

### 3.2 數學模型之建構

本研究考量超賣策略、空櫃調度以及滿足重櫃載運之需求，據以分析艙位分配，以達到利潤最大化。各起迄港不同櫃種之接單量將視為決策變數，當重櫃接單量決定過高，導致實際運輸需求超過船艙位數上限，須決定將某部分之接單退關，以符合艙位數量限制，但必須負擔退關衍生之成本；反之，若接單量決定過低，則可能導致收益下降。

本研究以策略規劃之觀點，在艙位分配模式中同時處理船公司重櫃接單量、空櫃調度量以及面臨艙位供給不足時，重櫃之退關量等決策變數，提供船公司處理艙位超賣完整之決策，其決策變數間之關係為：決策各櫃種於各起迄港間之接單量，以及空櫃調度量後，根據接單量以及各港口到達率不同之組合下，產生其對應之實際重櫃運量需求，而後判斷實際之重櫃運量需求是否能負荷（船舶艙位、載重限制），如能負荷，則重櫃退關量為零，反之則需決定合適之重櫃退關量。

在介紹數學模式之前，先說明符號、定義變數及參數如下。

符號：

$i$ ：代表裝櫃港， $i \in I \equiv \{1, 2, \dots, n\}$ ；

$j$ ：代表卸櫃港， $j \in J \equiv \{1, 2, \dots, o\}$ ；

$g$ ：代表航段， $g \in G \equiv \{1, 2, \dots, p\}$ ；

$\theta$ ：代表各裝櫃港  $i$  以顧客到達率  $\pi_i$  出現時之組合， $\theta \in \Theta \equiv \{1, 2, \dots, \omega\}$ ，若裝櫃港  $i$  有  $\lambda_i$  種顧客到達率，則  $\omega = \prod_{i=1}^n \lambda_i$ ；

$k$ ：代表貨櫃種類代號， $k \in K \equiv \{1, 2, 3, 4\}$ ，分別代表 20 呎乾櫃、20 呎冷凍櫃、40 呎乾櫃及 40 呎冷凍櫃；

$e$ ：代表空櫃；



$f$ ：代表重櫃；

$v$ ：代表退關。

**決策變數（皆為非負之整數）：**

$s_{ijk}$ ：第  $k$  型貨櫃由裝櫃港  $i$  到卸櫃港  $j$  之重櫃接單量；

$x_{ijk}$ ：第  $k$  型貨櫃由裝櫃港  $i$  到卸櫃港  $j$  之空櫃接單量；

$O_{ijk}^{\theta}$ ：在裝櫃港  $i$  以顧客到達率  $\pi_i$  出現時之組合  $\theta$  之情況下，面臨艙位超賣時，第  $k$  型貨櫃由裝櫃港  $i$  到卸櫃港  $j$  之重櫃退關量。

**參數：**

$p_{ijk}$ ：第  $k$  型貨櫃由裝櫃港  $i$  到卸櫃港  $j$  之重櫃單位運送收入；

$c_{ijk}^f$ ：第  $k$  型貨櫃由裝櫃港  $i$  到卸櫃港  $j$  之重櫃單位運送成本；

$c_{ijk}^e$ ：第  $k$  型貨櫃由裝櫃港  $i$  到卸櫃港  $j$  之空櫃單位運送成本；

$c_{ijk}^v$ ：第  $k$  型貨櫃由裝櫃港  $i$  到卸櫃港  $j$  之重櫃退關處理成本；

$\pi_i$ ：裝櫃港  $i$  重櫃運輸服務購買顧客之到達率（本研究假設各港口擁有其各自之顧客到達率分布，其呈現離散型機率分布，例如港口  $i$  之顧客到達率有 40% 之機率為九成，30% 之機率為九成五，30% 之機率為十成，機率總和為 100%）；

$A(\theta)$ ：各裝櫃港以其顧客到達率出現之組合  $\theta$ ，其對應之機率；

$\alpha_{ij}^g$ ：判斷貨櫃由裝櫃港  $i$  到卸櫃港  $j$  之航程是否包含  $g$  航段，若包含則此參數為 1，反之則為 0；

$D_{ijk}$ ：第  $k$  型貨櫃由裝櫃港  $i$  到卸櫃港  $j$  船公司可接單量之上限；

$D_{ijk}^L$ ：第  $k$  型貨櫃由裝櫃港  $i$  到卸櫃港  $j$  船公司可接單量之下限；

$D_{jk}^e$ ：已由調櫃部計算後所決定第  $k$  型空櫃於卸櫃港  $j$  之需求量；

$q$ ：船舶艙位數量上限；

$u$ ：船舶載重上限；

$R$ ：船舶冷凍櫃插座數量；

$t_k$ ：代表第  $k$  型貨櫃所占之艙位數， $t_k = 1$  當  $k = 1$  or  $2$ ， $t_k = 2$  當  $k = 3$  or  $4$ ；

$w_k^f$ ：第  $k$  型重櫃之平均重量；

$w_k$ ：第  $k$  型空櫃之重量。

於艙位分配數學模型中，下列三項限制可預先處理：

1. 空櫃調度量限制：若裝櫃港  $i$  至卸櫃港  $j$  不屬於航線之行經順序，則無法載運空櫃以調節貨櫃流量，故於此情形時，空櫃調度量（ $x_{ijk}$ ）之值為零。

2. 遠洋航線通常不服務近洋區之需求：實務上基於利潤之考量，遠洋航線通常不服務近洋區之需求（特殊情形如淡季時以遠洋航線服務近洋區需求減少損失不在本研究考慮範圍），本研究之研究案例為東亞至歐洲之遠洋航線，則不服務東亞區、歐洲區之內部重櫃運輸需求，如上海至寧波之航運需求，即當裝櫃港  $i$  與卸櫃港  $j$  為同一區時，其重櫃接單量 ( $S_{ijk}$ ) 為 0。
3. 重櫃退關量限制：當各港口之顧客到達率皆處於最低顧客到達率之情況下，則應無艙位不足情形，（因即便超賣也無法服務，提高之接單量並無意義），故於此情況下，各櫃種於各起迄港間之重櫃退關量 ( $O_{ijk}^\theta$ ) 皆應為零。舉例來說，原有 1,000 個艙位，最差之到達率為 80%，則接單量不應超過 1,250 個艙位，此情況下也不應有任何起迄港間之退關量產生。假設接單量為 1,200 個，若實際到達率為 90%，則造成退關量為 80 個 ( $1,200 \times 90\% - 1,000 = 80$ )。

以下列出最佳化數學模式：

$$\begin{aligned} \max \sum_{\theta \in \Theta} A(\theta) [ & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k \in K} (\pi_i \cdot s_{ijk} - O_{ijk}^\theta) \cdot (p_{ijk} - c_{ijk}^f) ] \\ & - \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (x_{ijk} \cdot c_{ijk}^e) - \sum_{\theta \in \Theta} A(\theta) [ \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (O_{ijk}^\theta \cdot c_{ijk}^v) ] \end{aligned} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k \in K} (\pi_i s_{ijk} - O_{ijk}^\theta) \alpha_{ij}^g w_k^f + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k \in K} (\alpha_{ij}^g w_k^e x_{ijk}) \leq u, \forall g \in G, \theta \in \Theta \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k \in K} (\pi_i s_{ijk} - O_{ijk}^\theta) \alpha_{ij}^g t_k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k \in K} (\alpha_{ij}^g t_k x_{ijk}) \leq q, \forall g \in G, \theta \in \Theta \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J, j \neq i} \sum_{k=2,4} (\pi_i s_{ijk} - O_{ijk}^\theta) \alpha_{ij}^g \leq R, \forall g \in G, \theta \in \Theta \quad (4)$$

$$D_{ijk}^L \leq s_{ijk} \leq D_{ijk}^U, \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (5)$$

$$O_{ijk}^\theta \leq s_{ijk} \pi_i, \forall i \in I, j \in J, k \in K, \theta \in \Theta \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} \geq D_{jk}^e, \forall j \in J, k \in K \quad (7)$$

$$s_{ijk}, x_{ijk}, O_{ijk}^\theta \geq 0 \text{ 並為整數 } \forall i \in I, j \in J, k \in K, \theta \in \Theta \quad (8)$$

在此模型中，目標式 (1) 為最大化艙位分配後之淨利潤。對於船公司而言，其艙位分配主要之收益來源為重櫃運送之收入，而成本則包含運送重、空櫃以及退關處理成本。本研究將重櫃之接單量 ( $S_{ijk}$ ) 以及艙位超賣時重櫃之退關量 ( $O_{ijk}^\theta$ ) 皆視為決策變數，重櫃之實際運送量是由重櫃接單量乘以顧客之到達率 ( $\pi_i$ )，減去超賣艙位時之重櫃退關量所

求得。由於顧客之到達率呈現一離散型機率分布，故計算其期望成本。

限制式 (2) 說明重櫃之實際運輸量載重加上空櫃運輸量載重，不得超過船舶載重上限 ( $u$ )。此限制式以運輸網路之角度，將航線中起港口與終了港口之間，切割為  $p$  個航段，透過限制每一航段不可超過船舶最高載重，來達到船舶載重限制式之目的，其主要透過一 0-1 參數  $\alpha_{ij}^g$  表達各航段  $g$  是否有在港口  $i$  至港口  $j$  之航線中被經過，有被經過值為 1，未經過為零，以完成整條限制式。同理，限制式 (3) 說明艙位之限制，亦即各航段艙位之實際需求量（重櫃加上空櫃之運輸量），減去重櫃退關量所占之艙位數，須不大於船舶艙位上限。限制式 (4) 代表冷凍櫃供電插座數量，冷凍櫃專門用以裝載需冷凍之貨物，其內部具有隔熱裝置，並且每一冷凍櫃皆配備冷凍機，協助冷凍櫃保持適當低溫之狀態，船舶所能載運冷凍櫃重櫃運輸之多寡，受限於該船舶配備之冷凍貨櫃供電插座數 ( $R$ )；冷凍櫃重櫃之實際運輸量，是由冷凍櫃重櫃接單量乘上顧客之到達率，再減去艙位超賣時冷凍櫃之退關量所求得。限制式 (5) 的意義如下：船公司根據各起迄港之需求，各櫃種有其重櫃接單量上限 ( $D_{ijk}^U$ )，下限 ( $D_{ijk}^L$ ) 則是船公司已與代理行、貨主簽訂合約，所須履行之最低重櫃接單量。限制式 (6) 的意義如下：當船公司因超賣導致艙位不足時，其需從各起迄港各櫃種之實際重櫃運輸量中選擇適當之數量予以退關，故各起迄港各櫃種超賣時所能退關之數量，將受限於各起迄港各櫃種之實際重櫃運輸量。限制式 (7) 表示各港口運往卸櫃港之空櫃總量，必須滿足該卸櫃港之空櫃需求量 ( $D_{jk}^e$ )。限制式 (8) 表示本模型所有之決策變數皆為非負之整數。

## 四、案例探討與結果分析

本節之目的為驗證前章定期航運業艙位分配數學模式應用之正確性，透過選擇一東亞—歐洲遠洋航線作為研究案例，實際蒐集其運價以及船舶設備等相關資訊。

電腦配備之記憶體為 1.99GB，中央處理器 2.39GHz，以 ILOG OPL6.0 配合最佳化軟體 CPLEX11.0 予以求解，而後針對結果作出相關分析。

### 4.1 研究案例相關資料說明

本研究以某船公司東亞-歐洲遠洋航線為本研究之研究案例，於該遠洋航線，船公司每一星期發一班船，提供港口每週之貨櫃運輸服務；本研究之研究船舶規格為載重噸 68,834 噸，5,618 艙位容積數，並配備 500 個冷凍櫃插座數，以服務冷凍櫃之運輸需求。考量之貨櫃種類為 20 呎一般櫃、40 呎一般櫃、20 呎冷凍櫃、40 呎冷凍櫃等四種。本研究採該航線之 6 個港口，8 個航段，其港口行經順序為上海 (SHA) — 寧波 (NIN) — 廈門 (XIA) — [蘇伊士運河] — 漢堡 (HAM) — 鹿特丹 (ROT) — 利哈佛 (LEH) — [蘇伊士運河] — 廈門—寧波—上海 (蘇伊士運河為一通道而非港口)。

重櫃運送之價格時常變動，本研究假設重櫃運輸成本為運價之 25%；當船公司實行超

賣策略，面臨艙位供給不足時，需將本航次適量之重櫃需求量予以退關，以符合船舶艙位上限，而重櫃退關時，需要將其運輸需求延後航次服務。本研究假設船公司須負擔重櫃於此段期間之存放成本，並假設其為重櫃運輸成本之 50%。

艙位接單量之需求上限，則考量到現今國際貨櫃流量日趨不平衡之情形，可發現近五年來由東亞運往歐洲之貨櫃量通常為歐洲運往東亞之貨櫃量之兩倍以上<sup>3</sup>，以 2008 年東亞運往歐洲之貨櫃量為例，大約為歐洲運往東亞櫃量之 2.8 倍。

而顧客到達率之考量，經由業界訪談，確認其已會考慮顧客可能購買貨櫃運輸服務卻因故未到、取消服務等情形，進而實行艙位超賣之策略，最常用、簡單之方式便是假設顧客到達率為九成，作為艙位銷售時之考量，但仍缺乏有系統之方式同時處理艙位分配與超賣特性。本研究假設各港口之顧客到達率有 40%之機率為九成，30%之機率為九成五，30%之機率為十成。

## 4.2 結果分析

本研究案例適用於單一航次之規劃，案例模式包含 106,724 個之整數變數，124,531 條限制式，結果分析如下。

### 4.2.1 重櫃接單量分析

表 1 至 4 各起迄對分左右兩側：左側部分為重櫃接單量分配，重櫃接單量若等於可接單量之上限則數字上加橫線，若等於下限則數字下加底線，若位於上限與下限之間則無特別標記；右側斜體字之部分為該櫃種於該起迄港接單之邊際貢獻（接單之邊際貢獻等於重櫃運送之價格減去運輸成本，各櫃種於起迄港運輸之運價、運輸成本等資料，可參考附錄資料 A 及 B）。表 1 至 4 依序為 20 呎乾櫃、40 呎乾櫃、20 呎冷凍櫃及 40 呎冷凍櫃之重櫃接單量分配，結果顯示接單之邊際貢獻較高之重櫃，優先指派到艙位，如寧波港送往利哈佛港之 20 呎乾櫃、40 呎乾櫃以及 40 呎冷凍櫃，由於邊際貢獻最高，接單量皆達上限，冷凍櫃則由於有冷凍櫃插座數之限制，故集中邊際貢獻高之 40 呎冷凍櫃接單量，20 呎冷凍櫃則未達接單量之上限；在歐洲銷往東亞之重櫃接單量，由於船舶可用艙位數（載重上限）許可，故所有接單量皆達上限值；在東亞銷往歐洲之重櫃接單量，可看出廈門港銷往歐洲各港口之重櫃接單量大部分皆只達接單量之下限，其原因為邊際貢獻低，故由該港銷往其他卸櫃港之接單量只達下限，以避免造成艙位占用，排擠運送邊際貢獻高之櫃種的機會，並且將各航段所能利用之艙位數集中銷售於邊際貢獻最高之起迄對，如寧波港銷往歐洲各港口之重櫃接單量。

3. Reported by MDS Transmodal research group in Containerisation International Magazine published by Informa UK Ltd, England in October 2008.

#### 4.2.2 空櫃調度量分析

表 5 至 8 依序為 20 呎乾櫃、40 呎乾櫃、20 呎冷凍櫃及 40 呎冷凍櫃之空櫃調度量分配，表格中左側之部分為空櫃調度量分配，右側斜體之部分為該空櫃櫃種於該起迄港運送之成本（空櫃於各起迄港運輸成本之資料可參考附錄資料 D）。由空櫃調度結果可發現，各起迄港空櫃調度之成本，以及空櫃占去艙位數進而可能排擠運送高邊際貢獻櫃種之機會，

表 1 20 呎乾櫃之重櫃接單量及邊際貢獻

起\迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	—		—		—		<u>600</u>	282	<u>50</u>	244	<u>50</u>	244
NIN	—		—		—		391	263	<u>600</u>	263	<u>600</u>	300
XIA	—		—		—		<u>50</u>	225	<u>50</u>	225	<u>50</u>	225
HAM	<u>200</u>	366	<u>200</u>	342	<u>200</u>	293	—		—		—	
ROT	<u>200</u>	317	<u>200</u>	342	<u>200</u>	293	—		—		—	
LEH	<u>200</u>	317	<u>200</u>	390	<u>200</u>	293	—		—		—	

表 2 40 呎乾櫃之重櫃接單量及邊際貢獻

起\迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	—		—		—		<u>300</u>	488	<u>30</u>	413	56	413
NIN	—		—		—		<u>300</u>	450	<u>300</u>	450	<u>300</u>	525
XIA	—		—		—		<u>30</u>	300	<u>30</u>	300	<u>30</u>	263
HAM	<u>100</u>	634	<u>100</u>	585	<u>100</u>	390	—		—		—	
ROT	<u>100</u>	537	<u>100</u>	585	<u>100</u>	390	—		—		—	
LEH	<u>100</u>	537	<u>100</u>	683	<u>100</u>	342	—		—		—	

表 3 20 呎冷凍櫃之重櫃接單量及邊際貢獻

起\迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	—		—		—		35	366	<u>20</u>	317	<u>20</u>	317
NIN	—		—		—		<u>20</u>	342	<u>20</u>	342	90	390
XIA	—		—		—		<u>20</u>	293	<u>20</u>	293	<u>20</u>	293
HAM	<u>40</u>	475	<u>40</u>	444	<u>40</u>	381	—		—		—	
ROT	<u>40</u>	411	<u>40</u>	444	<u>40</u>	381	—		—		—	
LEH	<u>40</u>	411	<u>40</u>	507	<u>40</u>	381	—		—		—	

表 4 40 呎冷凍櫃之重櫃接單量及邊際貢獻

起\迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	—		—		—		50	634	50	537	10	537
NIN	—		—		—		50	585	50	585	50	683
XIA	—		—		—		10	390	10	390	10	342
HAM	16	815	16	761	16	507	—		—		—	
ROT	16	697	16	761	16	507	—		—		—	
LEH	16	697	16	888	16	444	—		—		—	

表 5 20 呎乾櫃之空櫃調度量及空櫃運送成本

起\迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	0	—	180	20	0	22	0	30	0	32	0	34
NIN	0	46	0	—	160	20	0	28	0	30	0	32
XIA	0	42	0	40	0	—	60	26	0	28	0	30
HAM	0	34	0	32	0	30	0	—	60	20	0	22
ROT	0	32	0	30	0	28	0	44	0	—	60	20
LEH	200	30	0	28	0	26	0	42	0	44	0	—

表 6 40 呎乾櫃之空櫃調度量及空櫃運送成本

起\迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	0	—	130	30	0	32	0	40	0	42	0	44
NIN	0	56	0	—	0	30	0	38	0	40	0	42
XIA	0	52	0	50	0	—	45	36	0	38	0	40
HAM	0	44	0	42	0	40	0	—	45	30	0	32
ROT	0	42	0	40	0	38	0	54	0	—	45	30
LEH	150	40	0	38	110	36	0	52	0	54	0	—

表 7 20 呎冷凍櫃之空櫃調度量及空櫃運送成本

起\迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	0	—	45	25	0	27	0	35	0	37	0	39
NIN	0	51	0	—	36	25	0	33	0	35	0	37
XIA	0	47	0	45	0	—	15	31	0	33	0	35
HAM	0	39	0	37	0	35	0	—	15	25	0	27
ROT	0	37	0	35	0	33	0	49	0	—	15	25
LEH	50	35	0	33	4	31	0	57	0	49	0	—

表 8 40 呎冷凍櫃之空櫃調度量及空櫃運送成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH	
SHA	0	—	25	35	0	37	0	45	0	47	0	49
NIN	0	61	0	—	0	35	0	43	0	45	0	47
XIA	0	57	0	55	0	—	9	41	0	43	0	45
HAM	0	49	0	47	0	45	0	—	9	35	0	37
ROT	0	47	0	45	0	43	0	59	0	—	9	35
LEH	30	45	0	43	20	41	0	57	0	59	0	—

皆會影響空櫃調度之決策，舉例來說，各櫃種之空櫃由上海港調度至寧波港之成本最低，空櫃調度之結果為寧波港各櫃種之空櫃需求皆由上海港滿足，但廈門港各櫃種之空櫃需求非全由最低運輸成本之寧波港滿足，如 20 呎冷凍櫃以及 40 呎冷凍櫃之空櫃需求有部分由利哈佛港滿足。

#### 4.2.3 重櫃退關量分析

本研究考量在各港口顧客之到達率獨立變動之情形下，船公司可採取艙位超賣之策略，故船公司可能面臨實際重櫃運輸需求過高，造成艙位需求超過船舶可用艙位上限，或是實際運輸需求之載重超過船舶之載重上限，無論是哪一種情形，此時便必須將合適數量之重櫃予以退關，以符合各航段船舶艙位及載重限制。

各港口擁有其各自彼此獨立之顧客到達率，本研究考量所有可能出現之到達率組合，於各組合皆提供一最佳之重櫃退關量分配，表 9 至 12 將所有顧客到達率組合下各櫃種於各起迄港之重櫃退關量乘以該顧客到達率組合發生之機率，算出各櫃種於各起迄對平均之重櫃退關量，表格中左側之部分為重櫃平均退關量分配，右側斜體之部分為該重櫃櫃種於該起迄港退關之邊際成本（退關之邊際成本等於重櫃運輸之收入減去運輸成本加上退關之成本，運輸價格、運輸成本以及退關成本等資料，可參考附錄資料 A、B 及 C）。

由表 9 至 12 可發現，20 呎乾櫃於廈門港運往各卸櫃港之重櫃平均退關總量為 80，約占 20 呎乾櫃平均退關總量 93 的 86%；40 呎乾櫃於廈門港運往各卸櫃港之重櫃平均退關總量為 59，約占 40 呎乾櫃平均退關總量 69 的 86%；20 呎冷凍櫃於廈門港運往各卸櫃港之重櫃平均退關總量為 10，約占 20 呎冷凍櫃平均退關總量 10 的 100%；40 呎冷凍櫃於廈門港運往各卸櫃港之重櫃平均退關總量為 15，約占 40 呎冷凍櫃平均退關總量 15 的 100%，由結果可看出，不論於任何一櫃種，皆有很大比例之平均退關量是由廈門港運往各卸櫃港之重櫃組成，其主因為退關之邊際成本較低，此外重櫃退關亦受限於各航段艙位、載重及冷凍櫃插座數。

表 9 20 呎乾櫃之重櫃平均退關量及退關之邊際成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH		退關 加總
SHA	—		—		—		0	328	8	284	5	284	13
NIN	—		—		—		0	306	0	306	0	350	0
XIA	—		—		—		35	262	25	262	20	262	80
HAM	0	426	0	398	0	441	—		—		—		0
ROT	0	369	0	398	0	441	—		—		—		0
LEH	0	369	0	455	0	441	—		—		—		0
加總	0		0		0		35		33		25		93

表 10 40 呎乾櫃之重櫃平均退關量及退關之邊際成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH		退關 加總
SHA	—		—		—		0	569	6	481	4	481	10
NIN	—		—		—		0	525	0	525	0	612	0
XIA	—		—		—		19	350	15	350	25	306	59
HAM	0	739	0	682	0	455	—		—		—		0
ROT	0	626	0	682	0	455	—		—		—		0
LEH	0	626	0	796	0	398	—		—		—		0
加總	0		0		0		19		21		29		69

表 11 20 呎冷凍櫃之重櫃平均退關量及退關之邊際成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH		退關 加總
SHA	—		—		—		0	426	0	369	0	369	0
NIN	—		—		—		0	398	0	398	0	455	0
XIA	—		—		—		5	441	1	441	4	441	10
HAM	0	554	0	517	0	444	—		—		—		0
ROT	0	479	0	517	0	444	—		—		—		0
LEH	0	479	0	591	0	444	—		—		—		0
加總	0		0		0		5		1		4		10



表 12 40 呎冷凍櫃之重櫃平均退關量及退關之邊際成本

起迄	SHA		NIN		XIA		HAM		ROT		LEH		退關 加總
SHA	-		-		-		0	739	0	626	0	626	0
NIN	-		-		-		0	682	0	682	0	796	0
XIA	-		-		-		4	455	3	455	8	398	15
HAM	0	952	0	887	0	591	-		-		-		0
ROT	0	813	0	887	0	591	-		-		-		0
LEH	0	813	0	1035	0	517	-		-		-		0
加總	0		0		0		4		3		8		15

### 4.3 敏感度分析

本節首先探討顧客到達率分布對目標值及重櫃平均退關總量之影響，其次討論重櫃退關成本對目標值及重櫃平均退關總量之影響。

#### 4.3.1 顧客到達率分布敏感度分析

本研究假設各港口之顧客到達率機率分布為獨立，對於超賣策略來說，此機率分布有其之重要影響，在此案例中，原假設有四成的機會百分之九十的顧客會到達，有三成的機會百分之九十五的顧客會到達，另有三成的機會所有的顧客皆會到達。本節首先調整各港口顧客到達率之機率分布，依照九種不同之情境(A, B, ..., I)，並觀察其對艙位超賣時，重櫃之平均退關總量以及總利潤之影響。這九種不同之情境可由表 13 顯示。

表 13 顧客到達率分布敏感度情境之一

情境	到達率 1	到達率 2	到達率 3	到達率 1 之機率	到達率 2 之機率	到達率 3 之機率
A	90%	95%	100%	10%	45%	45%
B	90%	95%	100%	20%	40%	40%
C	90%	95%	100%	30%	35%	35%
D	90%	95%	100%	40%	30%	30%
E	90%	95%	100%	50%	25%	25%
F	90%	95%	100%	60%	20%	20%
G	90%	95%	100%	70%	15%	15%
H	90%	95%	100%	80%	10%	10%
I	90%	95%	100%	90%	5%	5%

圖 1 顯示目標值（主縱座標軸，以美元表示）之部分，隨著最低之顧客到達率（90%）發生機會增加（如情境 A 變化為情境 I），目標值持續減少，此原因為顧客之到達率，直接影響實際重櫃運輸量，當顧客到達率呈現下降趨勢，船公司實際運輸的重櫃量也相對減少，進而對於總利潤帶來明顯之不利影響；其次，比較顧客到達率變動對於重櫃平均退關總量（副縱座標軸）影響之情形，可看出重櫃平均退關總量隨著最低顧客到達率機率發生機會增加，有逐漸降低之趨勢，其原因為低到達率發生機會增加時，實際重櫃運輸量降低，因實際重櫃運輸需求過高而需將適當數量之重櫃予以退關之風險也隨之降低。

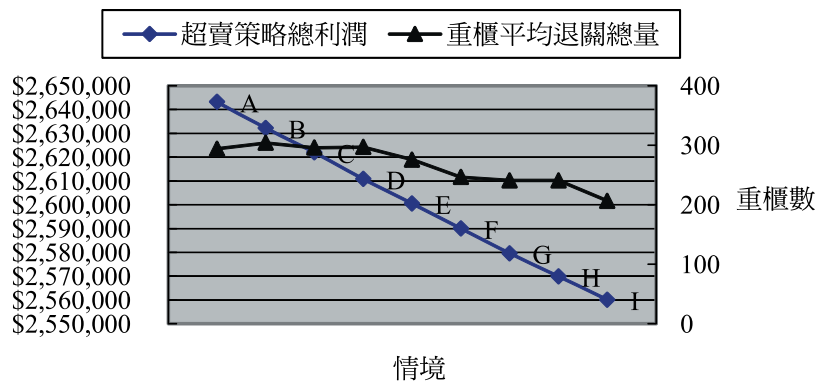


圖 1 顧客到達率機率分布對目標值及重櫃平均退關總量之影響

接下來我們以表 14 的五種情境 (J, K, L, M, D)，討論如果不同重櫃報到率下，對超賣策略以及重櫃平均退關總量的影響。圖 2 顯示在機率分布固定為 40%，30%及 30%情形下，目標值之部分（主縱座標軸），隨著顧客到達率增加而上升（如情境 J 變化為情境 D）；重櫃平均退關總量（副縱座標軸）則隨之下降，其原因為到達率增加時，超賣因而降低，重櫃退關機會也隨之降低。

表 14 顧客到達率分布敏感度情境之二

情境	到達率 1	到達率 2	到達率 3	到達率 1 之機率	到達率 2 之機率	到達率 3 之機率
J	50%	75%	100%	40%	30%	30%
K	60%	80%	100%	40%	30%	30%
L	70%	85%	100%	40%	30%	30%
M	80%	90%	100%	40%	30%	30%
D	90%	95%	100%	40%	30%	30%

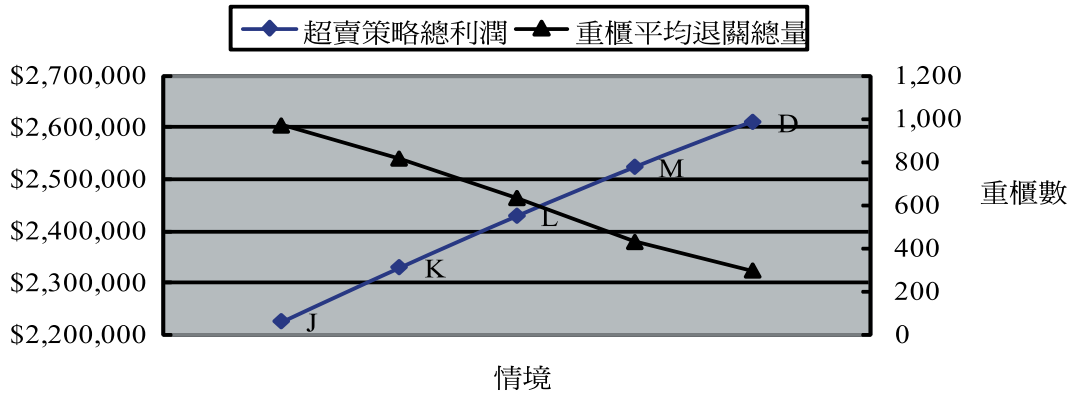


圖 2 顧客到達率對目標值及重櫃平均退關總量之影響

#### 4.3.2 重櫃退關成本敏感度分析

船公司實行艙位超賣，當面臨實際運輸需求過高時，則必須將適量之重櫃予以退關，以符合船舶艙位及載重限制，本節針對各櫃種於各起迄港之重櫃退關成本，以原成本作等比例或等倍數變化，觀察其對於艙位超賣時，重櫃之平均退關總量（副縱座標軸）以及目標值之影響（主縱座標軸），由圖 3（退關價格為重櫃運輸成本之 10%~100%）及圖 4（退關價格為重櫃運輸成本之一至四倍）可看出總利潤隨著重櫃退關成本提升而減少。另一方面，重櫃平均退關總量亦隨著重櫃退關成本提升而減少，此乃因此成本影響超賣利基之故。

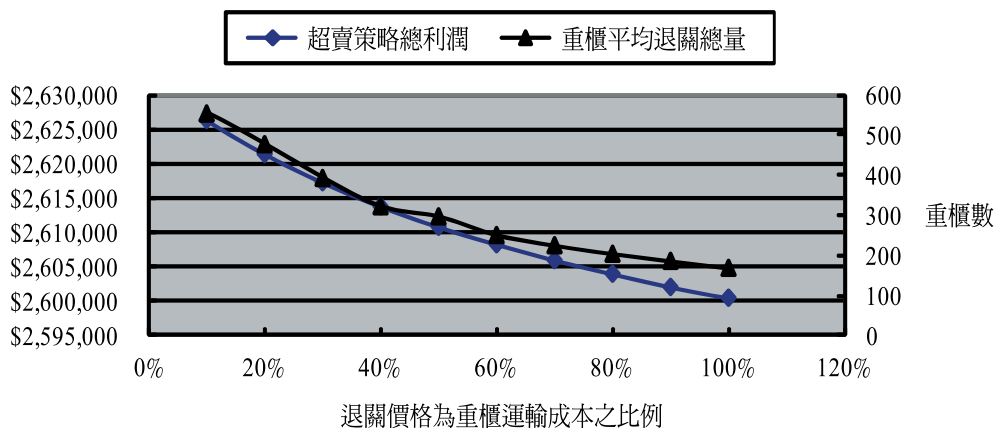


圖 3 較低重櫃退關成本對目標值及重櫃平均退關總量之影響

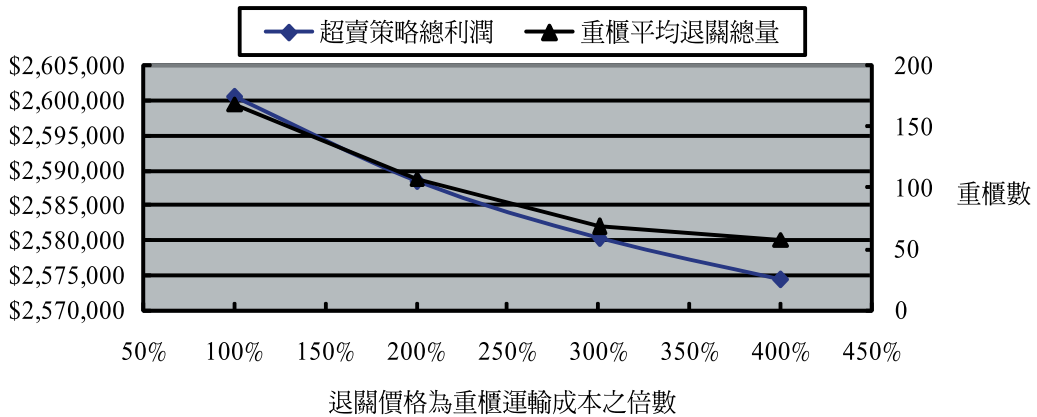


圖 4 較高重櫃退關成本對目標值及重櫃平均退關總量之影響

#### 4.4 超賣策略對利潤之影響

本研究別於以往文獻之處，主要為將艙位超賣策略納入艙位分配模型，本節探討超賣策略實行與否於不同顧客到達率下，對總利潤之影響。當不考慮超賣策略時，數學模式中的重櫃退關量 ( $O_{LK}^0$ ) 皆為 0。由圖 5 至圖 7 可觀察到以下數點：

1. 圖 5 顯示隨著最低之顧客到達率（本案例為九成）發生機率增加（如情境 A 變化為情境 I），實行超賣策略與不實行超賣策略目標值（主縱座標軸）皆下降，其原因為隨著顧客訂艙卻未出現之機率增加，重櫃之實際運量下滑，直接影響目標值，但實行超賣策略相較於不實行超賣策略明顯可減緩利潤下滑之趨勢，因其透過艙位超賣，降低顧客未出現

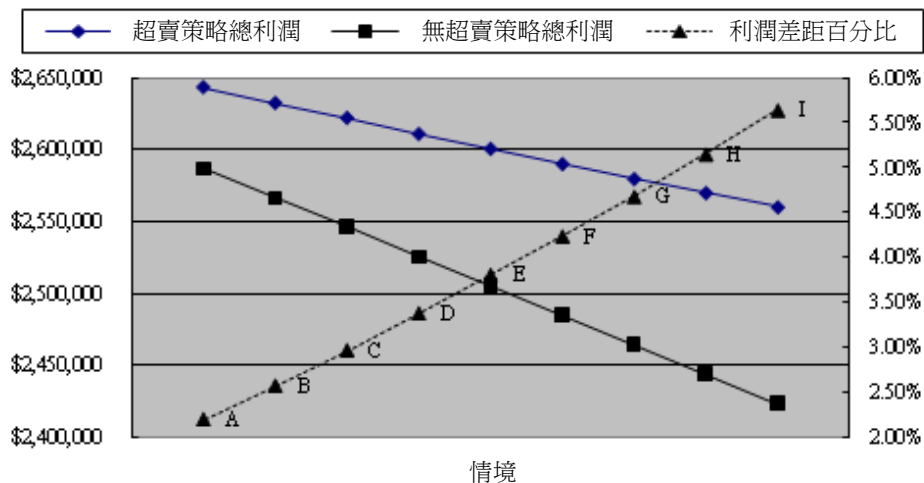


圖 5 超賣策略在不同顧客到達率機率分布下對目標值之影響

所帶來之風險，故目標值下降之比例（副縱座標軸）相較於不實行超賣策略時為低，舉例而言，超賣策略為情境 I 時可帶來約 5.64% 總利潤之提升，此提升比例優於情境 A。

- 圖 6 顯示隨著最低之顧客到達率增加（如情境 J 變化為情境 D），實行超賣策略與不實行超賣策略目標值（主縱座標軸）皆上升，但在情境 J 實行超賣策略比情境 D 益形重要，因為情境 J 顧客未出現所帶來之風險相較之下甚大，超賣策略為情境 J 可帶來約 15.51% 總利潤之提升（副縱座標軸）。
- 圖 7 顯示隨著退關價格增加，實行超賣策略總利潤將因而下降。

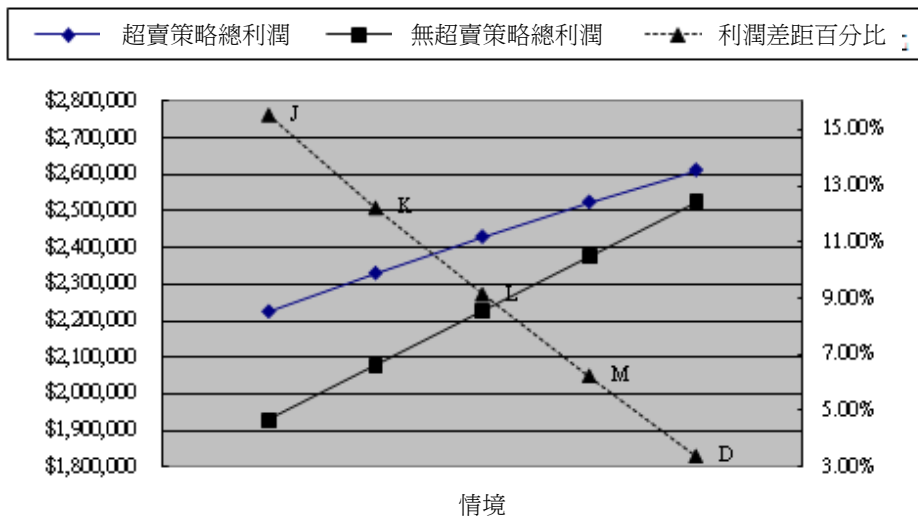


圖 6 超賣策略在不同顧客到達率下對目標值之影響

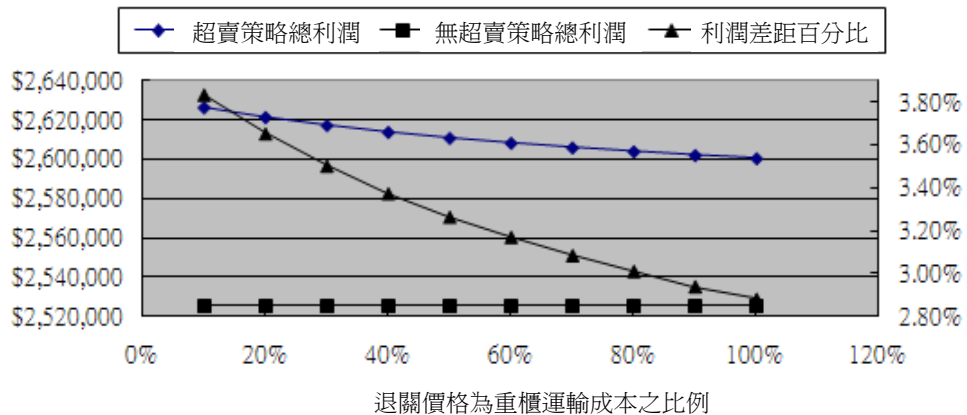


圖 7 超賣策略在不同退關價格下對目標值之影響

#### 4.5 不同接單量上限對利潤之影響

由圖 8 可看出，隨著接單量上限增加，實行超賣策略與不實行超賣策略目標值皆上升，其原因為接單量之上升可增加重櫃運輸量，帶來利潤之增加，值得注意的是，無論行使超賣策略與否，目標值上升之斜率皆呈現遞減之情形，其原因為船舶艙位數量以及載重之上限固定，其最佳之接單量有限。此外在不同接單量上限時，實行超賣策略之期望總利潤值，皆優於不實行超賣策略之期望總利潤，其目標值差距之百分比，隨著接單量上限增加而遞增。

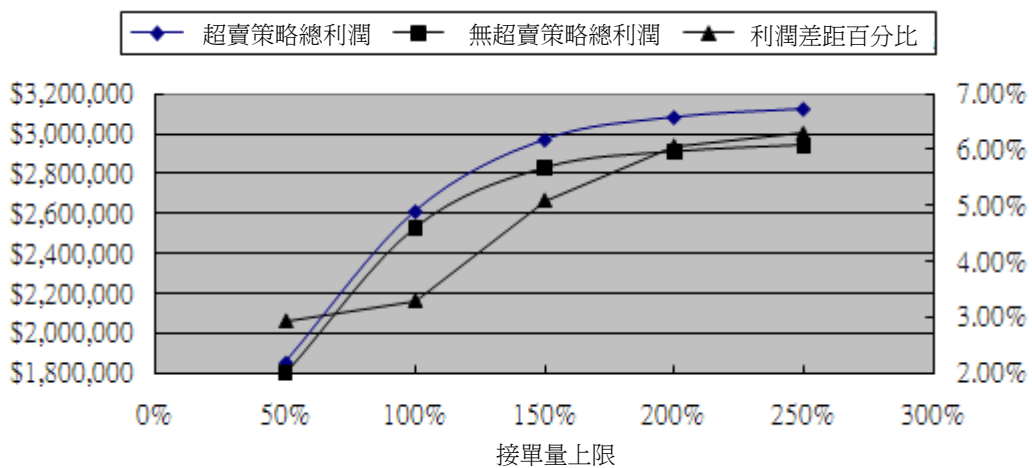


圖 8 不同接單量上限對目標值之影響

透過案例結果以及敏感度分析，可了解到艙位分配優先將艙位分配給邊際貢獻高之起迄對，在處理艙位超賣，重櫃實際運輸量大於船舶各項限制（艙位上限、載重上限、冷凍櫃插座數）時，需將合適數量之重櫃予以退關，重櫃之退關則優先選擇低退關邊際成本之起迄對。

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

本研究處理單一航線、單次航程、多重航段之艙位分配，並僅針對船公司自有櫃探討，各貨種之重量以平均重量代替。各起迄港運送貨櫃之相關成本、定價、顧客到達率之分布

皆假設已知。本研究得到以下四點結論：

1. 定期航運業之艙位分配問題考量之要素相當廣，本研究以收益管理之概念，探討定期航運公司單一航線、單一航次、多重航段之艙位分配及空櫃調度問題。與以往討論艙位分配文獻不同之處在於本研究加入超賣策略、接單量等偏向銷售層面之考量，以期能更接近實務，尋求進一步提升利潤之機會，最後透過案例驗證數學模型之成效。
2. 本研究提出一數學模型，提供船公司最佳之接單量、空櫃調度量以及於各顧客到達率組合下之退關量等重要決策，可供業界實務操作面之參考。
3. 經由案例顯示，船舶之艙位應優先分配給邊際貢獻高之起迄港，透過壓縮邊際貢獻低的起迄港之接單量，集中艙位給高邊際貢獻之起迄對，以達到最大利潤；而另一方面，船公司面臨艙位超賣時，在滿足各航段艙位數量、載重上限以及冷凍櫃插座數等船舶限制下，低邊際成本之起迄港運送之重櫃先予以優先退關。
4. 由於顧客可能訂購運輸服務卻未出現，造成空艙位之損失，本研究以系統化之方式處理艙位超賣策略，降低空艙位與後續重櫃退關量等決策之風險，由研究中發現，當最低之顧客到達率發生機率越高時(顧客訂艙卻未出現之機率增加)，總利潤值將隨之減少。而若船公司能提高接單量之上限，如旺季或是利用行銷策略，則能對於總利潤有提升之效果；相較於不實行超賣策略，提高接單量上限對於實行超賣策略所能帶來之利潤提升則更為顯著。本研究提出加入艙位超賣要素於傳統艙位分配數學模型中，以案例顯示實行艙位超賣策略之成效，可供實務上運作參考。

## 5.2 建議

本研究提出以下三個方向供未來延伸探討：

1. 可將顧客之到達率改以連續隨機分布之方式，考量平均數及變異數處理。
2. 越接近船舶離港之時間，船公司越能判斷出顧客到達率之情形，若在離港前之某一適當時間點，船公司能判斷顧客到達率，則可藉以修正其艙位超賣策略，以進一步增加其利潤。
3. 可包含定期航運公司多條相關航線，並以網路之型態通盤考量。

## 參考文獻

1. Littlewood, K., "Forecasting and Control of Passenger Bookings", Proceedings of the AGIFORS Symposium, Vol. 12, The Airline Group of the International Federation of Operational Research Societies, 1972, pp. 95-117.
2. Littlewood, K., "Special Issue Papers: Forecasting and Control of Passenger Bookings", *Journal of Revenue and Pricing Management*, Vol. 4, No. 2, 2005, pp. 111-123.
3. McGill, J. I. and Van Ryzin, G. J., "Revenue Management: Research Overview and Prospects", *Transportation Science*, Vol. 33, No. 2, 1999, pp. 233-256.

4. Weatherford, L. R. and Bodily, S. E., "A Taxonomy and Research Overview of Perishable-Asset Revenue Management: Yield Management, Overbooking, and Pricing", *Operations Research*, Vol. 40, No. 5, 1992, pp. 831-844.
5. Kleywegt, A. J., "New Approaches for Contract Planning and Booking Control for Container Carriers", Presented at the Asia-Pacific First TLI-APNTNU Workshop on Multimodal Logistics, The Logistics Institute, 2002.
6. Lee, L. H., Chew, E. P., and Sim, M. S., "A Revenue Management Model for Sea Cargo", *International Journal of Operational Research*, Vol. 6, No. 2, 2009, pp. 195-222.
7. 丁士展, 「定期航運航線規劃與收益管理之研究」, 國立交通大學交通運輸研究所博士論文, 民國 92 年。
8. Ting, S. C. and Tzeng, G. H., "An Optimal Containership Slot Allocation for Liner Shipping Revenue Management", *Maritime Policy and Management*, Vol. 31, No. 3, 2004, pp. 199-211.
9. Feng, C. M. and Chang, C. H., "Optimal Slot Allocation in Intra-Asia Service for Liner Shipping Companies", *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 10, No. 3, 2008, pp. 295-309.
10. Wang, B. and Wang, Z., "Research on the Optimization of Intermodal Empty Container Reposition of Land-Carriage", *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, Vol. 7, No. 3, 2007, pp. 29-33.
11. Crainic, T., Gendreau, M., and Dejax, P., "Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers", *Operations Research*, Vol. 41, No. 1, 1993, pp. 102-126.
12. Cheung, R. K. and Chen, C. Y., "A Two-Stage Stochastic Network Model and Solution Methods for the Dynamic Empty Container Allocation Problem", *Transportation Science*, Vol. 32, No. 2, 1998, pp. 142-162.
13. 陳淑芬, 「定期船運空櫃調度之研究—以越太平洋航線為例」, 國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文, 民國 91 年。
14. 許家璋, 「定期船運業艙位數量分配及空櫃調度問題之探討」, 國立東華大學全球運籌管理研究所碩士論文, 民國 95 年。
15. Ang, J. S. K., Cao, C. X., and Ye, H. Q., "Model and Algorithms for Multi-Period Sea Cargo Mix Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 180, No. 3, 2007, pp. 1381-1393.
16. Li, B., "A Stochastic Model for Dynamic Capacity Allocation of Container Shipping Two-Dimensional Revenue Management", International Conference on Service Systems and Service Management, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2008, pp. 1-7.
17. Rothstein, M., "OR and the Airline Overbooking Problem", *Operations Research*, Vol. 33, No. 2, 1985, pp. 237-248.
18. Bartodziej, P., Derigs, U., and Zils, M., "O&D Revenue Management in Cargo Airlines-A Mathematical Programming Approach", *OR Spectrum*, Vol. 29, No. 1, 2007, pp. 105-121.
19. Kasilingam, R. G., "Air Cargo Revenue Management: Characteristics and Complexities", *European Journal of Operational Research*, Vol. 96, No. 1, 1997, pp. 36-44.



20. Popescu, A., Keskinocak, P., Johnson, E., LaDue, M., and Kasilingam, R. G., "Estimating Air-Cargo Overbooking Based on a Discrete Show-Up-Rate Distribution", *Interfaces*, Vol. 36, No. 3, 2006, pp. 248-258.
21. Phillips, R. L., *Pricing and Revenue Optimization*, Stanford University Press, Palo Alto, CA, 2005.
22. 李冰川，武振並與卜祥智，「能力隨機的海運集裝箱收益管理超訂模式」，西南交通大學學報，刊 41 卷，第 4 期，2006，頁 501-506。

## 附 錄

資料 A 重櫃運送價格 (美金)

起迄	HAM				ROT				LEH			
櫃種	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
SHA	375	650	487	845	325	550	422	715	325	550	422	715
NIN	350	600	455	780	350	600	455	780	400	700	520	910
XIA	300	400	390	520	300	400	390	520	300	350	390	455

註：20D、40D、20R 及 40R 分別代表 20 呎乾櫃、40 呎乾櫃、20 呎冷凍櫃及 40 呎冷凍櫃

起迄	SHA				NIN				XIA			
櫃種	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
HAM	487	845	633	1089	455	780	591	1014	390	520	507	676
ROT	422	715	548	929	455	780	591	1014	390	520	507	676
LEH	422	715	548	929	520	910	676	1183	390	455	507	591

資料 B 重櫃運送成本 (美金)

起迄	HAM				ROT				LEH			
櫃種	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
SHA	93	162	121	211	81	137	105	178	81	137	105	178
NIN	87	150	113	195	87	150	113	195	100	175	130	227
XIA	75	100	97	130	75	100	97	130	75	87	97	113

起迄	SHA				NIN				XIA			
櫃種	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
HAM	121	211	158	274	113	195	147	253	97	130	126	169
ROT	105	178	137	232	113	195	147	253	97	130	126	169
LEH	105	178	137	232	130	227	169	295	97	113	126	147

資料 C 重櫃退關成本 (美金)

起\迄	HAM				ROT				LEH			
櫃種	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
SHA	46	81	60	105	40	68	52	89	40	68	52	89
NIN	43	75	56	97	43	75	56	97	50	87	65	113
XIA	37	50	48	65	37	50	48	65	37	43	48	56

起\迄	SHA				NIN				XIA			
櫃種	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R	20D	40D	20R	40R
HAM	60	105	79	137	56	97	73	126	48	65	63	84
ROT	52	89	68	116	56	97	73	126	48	65	63	84
LEH	52	89	68	116	65	113	84	147	48	56	63	73

資料 D 空櫃運送成本 (美金)

起\迄	SHA	NIN	XIA	HAM	ROT	LEH
SHA	-	20	22	30	32	34
NIN	46	-	20	28	30	32
XIA	42	40	-	26	28	30
HAM	34	32	30	-	20	22
ROT	32	30	28	44	-	20
LEH	30	28	26	42	44	-

20 呎乾櫃之空櫃運送成本(美金)

起\迄	SHA	NIN	XIA	HAM	ROT	LEH
SHA	-	30	32	40	42	44
NIN	56	-	30	38	40	42
XIA	52	50	-	36	38	40
HAM	44	42	40	-	30	32
ROT	42	40	38	54	-	30
LEH	40	38	36	52	54	-

40 呎乾櫃之空櫃運送成本(美金)

起\迄	SHA	NIN	XIA	HAM	ROT	LEH
SHA	-	25	27	35	37	39
NIN	51	-	25	33	35	37
XIA	47	45	-	31	33	35
HAM	39	37	35	-	25	27
ROT	37	35	33	49	-	25
LEH	35	33	31	57	49	-

20 呎冷凍櫃之空櫃運送成本 (美金)

起\迄	SHA	NIN	XIA	HAM	ROT	LEH
SHA	-	35	37	45	47	49
NIN	61	-	35	43	45	47
XIA	57	55	-	41	43	45
HAM	49	47	45	-	35	37
ROT	47	45	43	59	-	35
LEH	45	43	41	57	59	-

40 呎冷凍櫃之空櫃運送成本 (美金)

# 船舶在港口航行安全之研究

## THE NAVIGATION SAFTY OF SHIPS IN PORTS

許文楷 Wen-Kai K. Hsu<sup>1</sup>

(98 年 10 月 20 日收稿，99 年 2 月 10 日第一次修改，  
99 年 4 月 13 日第二次修改，99 年 9 月 28 日定稿)

### 摘 要

過去相關的研究顯示，港口及其鄰近水域是海事事故最容易發生之處所。本文主旨在探討船舶在港口之航行安全。本文由港口業者的觀點，應用品質機能展開法，將在港口航行的船長需求轉換為港口業者之服務作業特性需求，並藉以制定港口業者改善船舶航行安全的政策。為了驗證本研究模式的效度，本文並以進出高雄港船隻之實際作業為例，進行模式的實證研究。本文之結果顯示，高雄港務局須最優先改善的服務作業特性是：航道交通管制、作業人員的緊急應變能力、作業人員的身心狀況與作業人員的溝通能力等四項。本文的研究結果可提供港口業者，作為其提升船舶航行安全的參考。

**關鍵詞：**安全；船舶航行；港口；品質機能展開

### ABSTRACT

*Previous studies indicated that most marine accidents occur in ports and their vicinity. The purpose of this paper is to discuss the safety of ship navigation in ports. From the viewpoints of port operators, a QFD model*

---

1. 國立高雄海洋科技大學航運管理系暨研究所副教授（聯絡地址：811 高雄市楠梓區海專路 142 號高雄海洋科技大學航運管理系所；電話：07-3617141 轉 3164；E-mail：khsu@mail.nkmu.edu.tw）。

*(Quality Function Deployment) is constructed to determine the policy to improve the safety of ship navigation in ports by transferring the requirements of shipmasters navigating ships in ports into the characteristics of service operations of port operators. To validate the model, 81 shipmasters berthing their ships in Kaohsiung were sampled. The results indicate that vessel traffic, operator ability in an emergency, and physical and mental conditions of operators and operator ability for communication are listed as higher priorities of characteristics to be improved. The results can provide information for port operators to improve the navigation safety of ships in ports.*

**Key Words:** Safety; Ship navigation; Port; QFD

## 一、緒論

隨著經濟的繁榮與時代的進步，全球的貿易呈現快速發展。為了因應日益頻繁的貿易活動，全球航商不斷建造大型船隻投入海運市場，因此，近幾年來全球船舶除了快速化與大型化外，數量上更是呈現大幅成長。在航線不變的情況下，船舶數量大幅成長，常常伴隨著海事事故案件的日益增加。因此，有關船舶航行安全的議題探討，近年來更加受到重視。

就一般船隻在海上的航程而言，最容易發生海事事故的階段，就是在港口及其臨近海域<sup>[1]</sup>，特別是碰撞、觸礁與擱淺等意外<sup>[2]</sup>。因為船隻在港口航行時，其周遭船舶數量最多，交通最繁忙，加上靠近陸地，航道遠不如大海中寬廣有彈性，故最容易發生意外事故。因此，就船舶航行安全之研究而言，在港口航行的階段，應是最值得深入探討的課題之一，然而過去的相關研究對此部分的探討並不多。

其次，過去有關影響港口航行安全的因素研究，大多偏重在船舶的內部因素探討，如工作人員的疲勞、粗心、操作錯誤與訓練不足等。然而，在實務上，除了人員因素外，船舶的外部航行環境，也會影響船舶在海上航行的安全性<sup>[3]</sup>。一般就港口航行的船隻而言，影響船舶航行安全的外部環境因素，除了無法控制的天候外，最主要就是港口所提供之各項導航服務，例如港口的導航設施、航道的管制與引水人之領航技術等，過去相關研究對這些外部環境因素的探討也是不多。

再者，就港口的競爭力而言，港口之船舶航行安全，是一項無形的重要指標之一；對航運和港口的業者而言，港口之船舶航行安全，可以確保他們的多重競爭利益<sup>[4]</sup>。近年來，由於中國大陸的經濟興起，帶動其港口的快速發展，尤其是廈門港的崛起，更是使得國內港口面臨嚴峻的競爭壓力。高雄港近年來雖然船舶進出港的總噸位仍然有成長，但貨物的總吞吐量在世界港口的排名已有顯著的下滑。政府為了增加高雄港的競爭力，近年來積極加強港口的各項服務功能，例如推動「高雄港自由貿易港區」，以增加港口的廣度面服務；建設港區聯外的高架道路與高雄港洲際貨櫃中心，以增加港口的縱深面服務。以上的這些政策，其主要目的就是要藉由加速港區整體的物流作業，來提升港口的競爭力。然而，港

區物流速度的加快，將迫使船舶進出港與停靠碼頭的時間要縮短；另外，如再加上全球船舶大型化的發展趨勢，則在可預見的未來，高雄港之船舶航行的安全議題將會更加受到重視。因此，高雄港未來如能提升船隻在港口航行的安全品質，則其競爭力也將會更有效地提升。

本文主旨在探討船舶在港口航行之安全；本文將由港口業者的觀點，應用品質機能展開法 (quality function deployment, QFD) 來探討其如何改善船舶在港口航行之安全。QFD 為一系統性的方法，一般主要應用於生產或服務業者的服務品質改善，其強調每一個產品在開發與製造階段，皆應將顧客的需求轉換成生產者或服務者之技術或服務作業的特性需求，並以此來製定其生產或服務的相關政策。一般就船舶在港口航行的作業而言，其主要服務者就是港口業者，其主要的顧客就是航行的船隻，而其主要的服務或產品就是港口的導航作業。本文首先針對在港口航行船舶的船長，藉由其對港口業者所提供的各項導航服務作業的認知，來分析其在港口航行時之需求；其次，再依據船舶的進出港作業流程與各項導航作業的標準作業程序，來分析港口業者的服務作業特性；再者，依據此二者之分析結果來建立 QFD 模式，將船長的需求轉換為港口業者之服務作業特性的需求，並以此來製定港口業者改善其船舶航行安全的相關政策。最後，為了驗證本文模式在實務上的應用效度，本文並以高雄港航行船隻之實際進出港作業為例，來進行模式的實證研究。本文分六節，除了緒論外，還包括文獻探討、研究方法、研究結果、討論與結論等。

## 二、文獻探討

### 2.1 影響船舶在港口航行安全的因素

過去有關影響船舶在港口航行安全因素之研究，大多偏重在船上工作人員的因素探討，如疲勞、粗心、操作錯誤與訓練不足等<sup>[5-7]</sup>。然而，除了人員因素外，船舶機具設備的狀況及其航行船舶的外部環境等，也會影響其航行的安全性，前者如船舶本身操控機具的性能，而後者如港口的 VTC 導航設施、岸標設施、拖船的作業、引水人的技術與天候等，過去相關研究對這些因素的探討並不多。

#### (一) 船舶交通管理中心 (VTC)

船舶交通管理中心 (vessel traffic center, VTC) 起源於 1946 年，它是利用陸上的雷達攫取船舶回跡來辨識船隻位置，以維持港區與接近港區水域的海上交通安全與順暢。VTC 最重要的功能，就是可以提供港區動態即時資訊給航行中之船隻，這些資訊除了該區域裡所有船舶的船位、種類與船舶進出港順序外，還提供港口水域的天候、氣象、水文狀況與助航燈故障等狀況，對船隻在港口航行安全上有很大的助益<sup>[8]</sup>。VTC 雖然僅以無線電提供服務，但是其服務對象眾多，包括港區外二十海浬範圍內的所有船舶、作業中的引水人、

進出港船舶、工作船以及漁船等。

## (二) 港口岸標設施

航海人員在使用海圖與航器定位時，通常除了利用天然的地理地形如山峰、海岬或孤島外，也會利用港口所提供的岸標設施來定位航行，因此港口所提供的岸標設施是否完善，也會影響船隻的航行安全。以高雄港為例，第一港口有旗后山上的燈塔、南堤紅燈塔、北堤白燈塔與北堤的雷控標；第二港口則有 VTC 管制塔台、南堤紅燈塔、北堤白燈塔與北堤的雷控標等岸標設施。過去相關的研究顯示，港口的助航設施，是影響港口船舶在港口航行安全之潛在因素之一<sup>[1]</sup>。

## (三) 引水人

就船舶在港口航行的安全性而言，引水人扮演著相當關鍵的角色；引水人可以確保船舶有秩序並安全地過境領航區，此有助於確保港口設施保護與商業活動正常進行<sup>[4]</sup>。由於船上國際化的工作環境，引水人一上船可能就會面對來自不同國家所組成的船員，這些船員的個人語言和文化差異不同，如果溝通不良，可能會造成船員抗拒引水人命令，因而影響船舶航行的安全。因此，引水人的素質，除了專業能力外，語言與溝通能力對港口的航行安全也具有相當的影響性。過去相關的研究顯示，引水人溝通不良造成船長與船員的抗拒以及忽略港口的潮水環境與限制等，皆是港口海事事故發生原因之一<sup>[4]</sup>。

## (四) 漁船作業的影響

一般而言，港口為了多元的經濟發展，通常會有其它附屬的功能設計，例如附設漁船碼頭來發展漁業。以高雄港為例，在港區內於 67 與 68 號碼頭之間有前鎮漁港，它是遠洋漁船補給、整修和休息的地方，也是全國最大的漁業中心。在漁船作業實務上，有些漁船會為了一時方便，違反規定駛入主航道，造成進出港船舶的航行安全問題。過去相關研究顯示，小型漁船與漁民抗爭是影響港口航行安全之潛在因素之一<sup>[1]</sup>；而未落實航道安全管制與航行規則，則是港口海事事故發生的原因之一<sup>[4]</sup>。

## (五) 拖船

拖船主要功能在協助引水人引航船舶進出港與靠離碼頭，相較於 VTC 與引水人所提供的軟體面協助，拖船是直接提供船舶航行之硬體面助航。過去相關研究顯示，拖船故障也是港口海事事故發生的原因之一<sup>[4]</sup>。一般而言，影響拖船作業品質最主要的因素有拖船數量、拖船馬力與拖船駕駛人員的素質等，其中又以駕駛人員的因素影響最為顯著。

## (六) 作業人員的特性

有關服務船舶在港口航行的作業人員，包括引水人、VTC 工作人員、拖船駕駛與帶

纜艇上的人員等，這些人員的共同特性就是都必須以輪值方式上班。因此以上這些作業人員的特性，如身心狀況、工作態度或專業能力等，也是影響船舶能否安全進出港口的因素之一。

## (七) 船舶因素

有關船舶的因素，可由人員素質與航儀機具設備等兩方面來探討之，前者如船上人員的操作技術、工作態度與對引水人的配合度等；後者如船舶的自動辨識系統 (automatic identification system, AIS)，其可以讓船隻快速地與岸上的 VTC 系統連線，接收 VTC 即時資訊，有效提高其在港口航行的安全性；另外，又如舵機、帶纜機與錨泊機等機具設備，其性能與狀況則會直接影響船舶停靠碼頭的安全性，過去相關研究也指出船員不正確的設備操作、船舶設備故障<sup>[4]</sup>與船舶不適航性<sup>[1]</sup>等，也是港口海事事故發生的原因之一。

## (八) 天候及地理區域因素

相關的研究顯示，天候及地理區域因素也是造成港口海事事故的因素之一，例如劉中平等<sup>[3]</sup>探討港口水域之海事事故與天然因素的關聯性，其研究結果顯示，影響高雄港海事事故之前五名主要天然因素依次為：「平均雲量」、「 $\geq 10.0\text{mm}$  之降水日數」、「裂雲日數」、「平均風速」、「平均相對溼度」；徐國裕等<sup>[2]</sup>則以臺灣西岸三大港口（高雄、臺中與基隆）的資料，分析海事事故類型與事故發生地點的相關性，其研究結果顯示，碰撞是最常發生的海事事故，而船席與港口水域則與碰撞及擱淺事故有較高關聯性。

## 2.2 品質機能展開

品質機能展開 (quality function deployment, QFD) 為一整體性的觀念，乃指每一個產品在開發與製造階段，皆將顧客的需求轉換成生產者或服務者的技術特性需求。QFD 的主要工具為品質屋 (如圖 1) 所示，其展開步驟如下<sup>[9]</sup>：

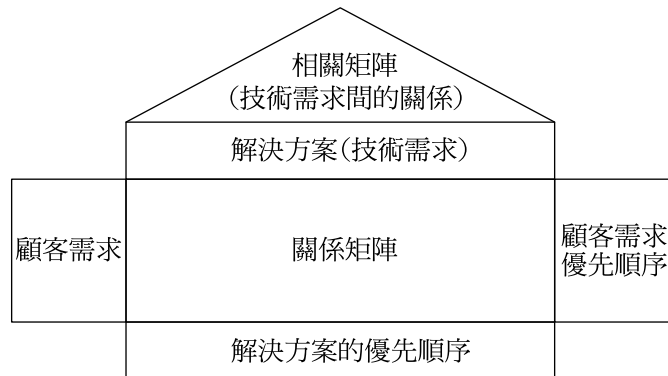


圖 1 品質屋之內容架構

### (一) 列出顧客需求

QFD 首先要提出顧客對產品之需求或期望，亦即是所謂「顧客的聲音」(voice of customer)，以作為 QFD 的目標，這些顧客的聲音又稱為顧客需求的屬性(customer's attributes, CAs)。在實務上，一般顧客的需求可以有系統地劃分層級，如主要層級需求與次要層級需求。主要層級需求一般較含糊與一般性，故通常需再展開為次要(secondary)層級需求或更細的第三層(tertiary)需求。

### (二) 列出生產或服務的工程特性需求

顧客的需求必須轉化為對應的生產或服務工程特性(engineer characteristics, ECs)，顧客的聲音才能付諸實現。如同顧客需求，工程特性也是可以有系統劃分層級，例如可先針對顧客的每層需求，列出一或多項的工程特性，然後再將每一工程特性展開為次要或更細的第三層特性，直至所有顧客需求之項目均可執行為止。

### (三) 發展顧客需求屬性與工程特性之關係矩陣 (relationship matrix)

關係矩陣是以符號或權重表示每一個工程特性(EC)對每一顧客需求屬性(CA)間之影響程度。關係矩陣通常極為複雜，為減少複雜度，關係矩陣通常採用「L-型圖」(L-shaped diagram)，亦即將 ECs 表轉為與 CAs 表的互相垂直表格，如此可較清楚地呈現其間的複雜關係。

### (四) 發展相關矩陣

相關矩陣(correlation matrix)主要目的，在建立所有工程特性(ECs)彼此之間的相關關係，亦即具體可行方案間之相關程度。

### (五) 發展顧客需求的優先順序

針對顧客對其各項需求之重要性、目標值或絕對權重等因素，來排定其優先順序。

### (六) 發展工程特性的優先順序

針對技術困難度、目標值及絕對與相對權重等指標，排定各工程特性(ECs)之優先發展順序。

QFD 最先的發展主要是應用於製造業的產品設計，其主要目的是以顧客的需求為依歸來設計產品。近年來，QFD 也開始廣泛應用於服務業，例如銀行業的服務<sup>[10,11]</sup>、物流業的策略規劃<sup>[12]</sup>、企業客訴服務<sup>[13]</sup>、海運承攬運送業的服務<sup>[14]</sup>、航空貨運業的服務<sup>[15]</sup>與製造業的供應商選擇<sup>[16]</sup>等。

QFD 雖有其實務應用上的優點，但也若干缺點<sup>[17]</sup>，例如 QFD 的資料收集太過於仰賴



專家，而這些專家通常難以發掘與培養<sup>[18]</sup>；專家對於衡量顧客需求所定義之各構面，因其個體因素的差異，常常會難以準確評估<sup>[19]</sup>；而且 QFD 在展開關係矩陣 (relationship matrix) 時，其最後技術作業發展之優先順序，也受各公司文化、組織氣氛與社會環境等外在因素影響，而使得 QFD 的導入困難度增加<sup>[20,21]</sup>。

### 三、研究方法

#### 3.1 研究架構

本文主旨在探討船舶在港口之航行安全，其研究架構如圖 2 所示。本文首先以在港口航行的船舶船長，其對港口業者所提供之各項導航服務需求，來分析其在港口航行時之顧客端的顧客需求屬性 (CAs)；其次，再由船舶進出港的作業流程與港口業者之標準作業程序，來分析港口業者 (服務者端) 的服務作業特性 (ECs) 需求；最後，再應用品質機能展開法 (quality function deployment, QFD)，將船長的需求轉換為港口業者之服務作業特性需求，並決定各項服務作業特性發展的重要性權重與順序，以作為港口業者制定提升船舶航行安全政策之依據。

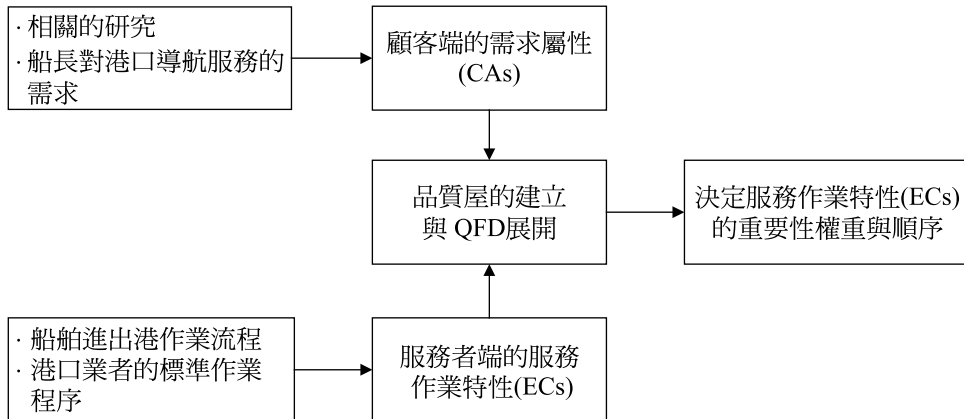


圖 2 研究架構

#### 3.2 顧客端的需求屬性 (CAs) 建立

本文除了參考前述影響船舶在港口航行安全的相關研究外，也實際訪談多位長期進出高雄港的船長來建立顧客端的需求屬性 (CAs)。本文經過多次的討論，最後確認了六個主要需求層級的構面，這些構面的操作型定義如下：

1. VTC 設備的功能：指受測者對 VTC 設備所提供之服務滿意度認知，如通訊品質、港口交通動態資訊、港口天候與地理等相關資訊。
2. VTC 人員的服務：指受測者對 VTC 人員的專業能力、服務態度與外語能力等程度的認知。
3. 助航設施的狀況：指受測者對港區的助航設施，如燈塔、航道燈標與錨泊區等設施之滿意度認知。
4. 引水人員的服務：指受測者對引水人員的專業能力、服務態度與溝通能力等程度的認知。
5. 航道的交通狀況：指受測者對港區內航道交通順暢程度的認知。
6. 船舶靠泊的服務：指受測者對協助船舶靠泊碼頭的拖船人員與設備情況的滿意度認知。

### (一) 問卷設計

本文依據上述六個主要需求層級構面，來建立顧客（船長）之次要需求層級 (CAs)，並分別設計出六個量表來個別衡量之。六個量表的設計皆對受測者施測兩次，一次為測量受測者對這些 CAs 的「重要度」認知，該表採用語意量表 (semantic differential) 來設計，區分為五個等距，重要度從「高」到「低」；另一次施測則量測受測者對高雄港所提供之 CAs 服務的「滿意度」認知，該表則是採用李克特量表 (Likert scale) 來設計，也是區分為五個等距，從「非常滿意」到「非常不滿意」。以上量表的量測，正面陳述的問題配分方式從 5 ~ 1 分，負面陳述的問題配分方式則是從 1 ~ 5 分。上述六個量表的設計皆經初稿設計、預試及修正等三個階段才完成。在預試階段中，本文是以 20 位停泊在高雄港的船舶船長為預試對象，本文經由其問卷之填答結果與初步的統計分析來修正問卷內容，除了避免問卷題目語意不清外，也參考受測者的意見來修正題目內容，以確保問卷之效度。最後，在刪除 1 題語意不清的題目後，最終問卷共有 23 個題項。

### (二) 調查對象

由於一艘船航行之安全與否，船長最為了解，故本研究是以船長為主要施測對象，藉由其對港口所提供之各項導航服務的認知，來量測其顧客端的需求屬性 (CAs)。其次，本文是以高雄港的進出港船隻為例來進行實証研究，故本文以所有停泊高雄港之船舶船長為主要研究母體。本文問卷調查期間是在 2008 年 5-7 月份，本文透過高雄港的協助，取得這段期間所有進出港的船舶資料，再由這些船舶中，隨機抽取 100 艘船，在其進港停泊期間進行問卷調查。本文問卷發放是採取透過船務代理行代發以及研究人員親自登船訪問等方式進行。在經過多次催促後，最後成功回收了 85 份的問卷，扣除回答不完整或回答不確實的問卷，有效問卷 81 份。在有效樣本中，受測者之基本背景資料統計如表 1 所示，大部分受測船長來自本國、大陸與東南亞國家 (合計 65.4%)，年齡以 51-60 歲者居多 (46.8%)；大部分為大學學歷 (39.5%)，有過半受測者之船長年資超過 10 年以上 (50.6%)。另外，曾經停靠過高雄港超過 10 次以上的受測者超過半數 (51.9%)，因此這些受測者對

高雄港的航行安全應有相當程度的認知，故本文的調查樣本具有一定的效度。

表 1 樣本的基本資料結構

類 別	範 圍	次 數	百 分 比
船長國籍	臺灣	17	21.0
	中國	15	18.5
	東南亞 (日、韓、菲、印)	21	25.9
	歐洲	20	24.7
	美洲	6	7.4
	非洲	2	2.5
船長年齡	40 歲以下	11	13.6
	41-50 歲	24	29.7
	51-60 歲	38	46.8
	60 歲以上	8	9.9
船長學歷	高職	18	22.2
	專科	12	14.8
	大學	32	39.5
	碩士以上	19	23.5
擔任船長年資	3 年以下	17	21.0
	3-5 年	11	13.6
	5-10 年	12	14.8
	10 年以上	41	50.6
靠泊高雄港 次數	1-2 次	18	22.2
	3-5 次	16	19.7
	6-10 次	5	6.2
	10 次以上	42	51.9

### (三) 問卷之效度與信度分析

本文首先以探索性因素分析，來對六個量表的「重要度」量測樣本，個別進行其主要需求層級之單一構面的效度檢測，其結果如表 2 所示。表 2 中顯示所有資料之各構面問項之因素負荷皆達 0.8 以上，各構面的解釋變異也都達 82% 以上，故本研究問卷與樣本資料具備一定程度的量測效度。其次，本文也以 Cronbach's  $\alpha$  值進行各構面的信度檢測，其結

果如表 2 之最右一欄所示，各構面量表之 Cronbach's  $\alpha$  值幾乎都達 90%，此結果顯示本文之問卷與樣本資料，也達到一定程度的測量信度。

表 2 問卷之效度與信度分析

編號	因素構面與問卷題目	因素負荷	解釋變異	$\alpha$
—	<b>VTC 設備的功能</b>	—	—	—
VH1	VTC 之通話品質。	0.881	83.71%	0.90
VH2	VTC 提供之天候及港口地理的相關資訊。	0.941		
VH3	VTC 提供的港口交通動態資訊。	0.922		
—	<b>VTC 人員的服務</b>	—	—	—
VP1	VTC 通知船舶接引水人的時間與位置。	0.902	86.59%	0.95
VP2	VTC 人員回答船舶各項問題的專業能力。	0.952		
VP3	VTC 人員的服務態度，如禮貌和回應時間。	0.935		
VP4	VTC 人員與船長之間的溝通情況。	0.934		
—	<b>助航設施的狀況</b>	—	—	—
PA1	錨區與航道的規劃。	0.852	82.52%	0.89
PA2	港區的燈塔設施。	0.944		
PA3	辨識進、出港航行巷道分道線的燈標。	0.926		
—	<b>引水人的服務</b>	—	—	—
PT1	引水人所指示的登輪位置是否恰當。	0.915	85.29%	0.95
PT2	引水人的專業能力。	0.951		
PT3	引水人與船長的溝通情況。	0.946		
PT4	引水人的服務態度。	0.921		
PT5	引水人引航作業後，下船的位置是否恰當。	0.882		
—	<b>航道的交通狀況</b>	—	—	—
WC1	漁具佔用錨區的狀況。	0.947	85.04%	0.94
WC2	航道上的交通秩序。	0.924		
WC3	航道上小船對進、出港船所採取的避讓措施。	0.914		
WC4	權責單位驅離航道上或錨區裡的漁船情況。	0.904		
—	<b>船舶靠泊的服務</b>	—	—	—
BT1	協助您靠、離碼頭的拖船艘數。	0.952	86.68%	0.95
BT2	協助您靠、離碼頭的拖船馬力。	0.958		
BT3	協助您靠、離碼頭的拖船駕駛之專業技術。	0.962		
BT4	帶纜艇協助您靠、離碼頭所採取的配合行動。	0.847		

註： $\alpha$  表示 Cronbach's  $\alpha$ 。

### 3.3 服務者端之服務作業特性 (ECs) 的建立

本文首先分析船舶進出港之作業流程，以及港口業者的標準作業程序 (standard operation procedure, SOP) 資料，再跟據這些資料來發展港口業者的服務作業特性 (ECs)。由於船舶從進港到停泊完成，其全程皆須由 VTC 監控與導航，因此 VTC 的作業影響船舶的航行安全最為直接，故本文以 VTC 相關的品質與性能來建立第一個 ECs 的主要層級構面。其次，任何服務作業要發揮功能，作業人員的能力與素質通常是最主要關鍵因素之一，故本文以作業人員的能力，建立第二個 ECs 構面。再者，就船舶在港口航行而言，港口的服務品質如航道交通秩序管制、導航標誌與拖船的作業等，這些服務作業與航安也是息息相關，故本文以此來建立第三個 ECs 構面。一般而言，上述三者 ECs 的構面，主要與港口業者的服務作業有關，然而就港口導航作業而言，除了港口業者的服務作業外，船舶本身的配合能力也很重要，故本文以被導航船舶本身的航行能力來定義最後一個 ECs 構面。

依據上述四個主要作業層級構面與船舶進出港作業流程的關係，本文進一步發展出 20 個次要層級的 ECs。為了確認這 20 個 ECs 的實務效度，本文設計一份船舶進出港作業流程與服務作業特性關係表，並邀請 6 位在高雄港務局相關部門任職的專家來確認，藉由他們的專業知識與經驗來決定這些 ECs，這些專家的相關基本資料如表 3 所示。本文整理 6 位專家的意見後，刪除了一個 EC，並合併了 4 個相類似的 ECs 成 2 個 ECs，故最後共有 17 個 ECs 產生，這 17 個服務作業特性 (ECs)，皆與船舶進出港流程作業有顯著的相關性 (如表 4 所示)。

表 3 專家的背景資料

專家	服務部門	經歷	年資(年)
A	航管科	科長	16
B	航管科	台長	5
C	航管科	台長	8
D	航管科	辦事員	20
E	引水公會	引水人	13
F	港勤科	拖船船長	19

### 3.4 品質機能展開

#### (一) 顧客端需求屬性 (CAs) 之權重

過去相關研究，大都以顧客對 CAs 之「重要度」認知，來決定 CAs 的個別權重<sup>[12]</sup>，亦即以本文第二部分專家問卷的量測結果來衡量之。然而，也有文獻建議以顧客對 CAs 服務之「不滿意態度」來衡量之<sup>[14]</sup>。「不滿意態度」是除了考慮「重要度」外，還考慮了顧客對 CAs 之「滿意度」認知 (即本文第一部分問卷的量測結果)，其計算步驟如下：

表 4 船舶進出港作業流程與服務作業特性關係表

服務作業特性要素 船舶進出港作業流程		VTC 的品質					作業人員特性				港口服務品質				船舶航行能力			
		無線電收發品質	雷達回跡品質	自動辨識系統	顯控系統品質	無線電測向儀	溝通能力	身心狀況	緊急應變	專業技術	拖船作業品質	提供諮詢品質	航道交通管制	導航設施品質	通訊系統品質	人員配合態度	人員操作技術	機具運轉性能
船舶進港流程	進入港區 20 浬範圍	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓
	進入港區 12 浬範圍	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓
	VTC 通知引水人登輪時間及位置	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓		
	進入錨區或分道航行巷道	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓
	到達引水人登輪區	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓
	等候引水人	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓
	引水人登輪	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓
	進入主航道	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓
	進入防波堤口	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓
	進入港口	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	港口內航行	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	拖船前來協助	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	靠碼頭或浮筒	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	引水人與拖船離船	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			
船舶出港流程	引水站通知引水人登輪	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓			✓			
	引水人登輪	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	✓
	拖船前來協助	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
	離開碼頭或浮筒	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
	港口內航行	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
	拖船離開	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
	出港口	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
	引水人離船	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	出堤口	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	離開航行巷道	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	離開港區 12 浬	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	離開港區 20 浬	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

V：表有相關。

1. 計算「不滿意度」：由於本文是以五點李克特尺度，來量測顧客對 CAs 服務之「滿意度」認知，故只要以 6 減去「滿意度」之量測值，即可得出「不滿意度」之量測值<sup>[14]</sup>。
2. 計算「不滿意態度」：「不滿意態度」則是由「重要程度」與「不滿意度」兩者相乘所得的加權值，一般為了方便比較，此加權值通常會再標準化為相對權重值，亦即將個別加權值除以所有加權值的總和。

## (二) 關係矩陣

關係矩陣 (relationship matrix) 是由每一項服務作業特性 (EC) 對每一項顧客需求屬性 (CA) 之影響程度所構成。關係矩陣中之係數產生方式，通常是由專家依其專業知識與經驗判斷而來，故在實務上，這些專家必須對船舶在港口航行的作業非常了解，才能決定出這些係數。本研究再次邀請上述表 3 中的六位專家，並以人員親訪的方式，與其討論決定關係矩陣中係數值。

過去相關研究對關係矩陣中的相關係數強度，通常是以無關、弱、中與強等級數來描述之，並量化為 0-1-3-9 或 0-1-5-9 等分數，不過在實務上這些係數的衡量並沒有特定標準<sup>[12]</sup>。本文是採用五點語意量表 (semantic differential) 尺度來量測關係矩陣中的係數值，從相關程度「高」到「低」，區分為五個等距，配分方式則從 5 ~ 1 分。

## (三) 品質屋的建立

本研究參考相關文獻 Liang 等人<sup>[14]</sup>與 Wang<sup>[15]</sup>之研究來建立品質屋表，以便將顧客端的需求屬性 (CAs) 轉換成服務者端之服務作業特性 (ECs)，再藉此來決定各項 ECs 之重要性權重與順序。

假設一品質屋有  $m$  個 CAs 與  $n$  個 ECs，若  $R_{ij}$  ( $i=1,2,\dots,m$ ,  $j=1,2,\dots,n$ ) 表關係矩陣 (relationships matrix) 中之  $CA_i$  and  $EC_j$  的係數，則  $R_{ij}$  可以標準化為相對權重  $R_{ij}^n$  (Lyman, 1990)：

$$R_{ij}^n = R_{ij} / \sum_{j=1}^n R_{ij}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \quad (1)$$

若  $W_i^{CA}$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) 表顧客端需求屬性的相對權重，則服務者端的第  $j$  個服務作業特性之權重可以計算如下：

$$W_j^{EC} = \sum_{i=1}^m W_i^{CA} \cdot R_{ij}^n, \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \quad (2)$$

由於  $W_i^{CA}$  與  $R_{ij}^n$  兩者皆是相對權重，故其所求出的  $W_j^{EC}$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) 也是相對權重，即  $\sum_j W_j^{EC} = 1$ 。其次，(2)式的結果也顯示出  $W_j^{EC}$  的大小取決於  $W_i^{CA}$  與  $R_{ij}^n$  兩者，亦即

對第  $j$  個服務作業特性而言，與其相對應的所有 CAs 的權重愈高或是關係矩陣之係數愈高，則其權重也愈高。最後將  $W_j^{EC}$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) 排序，即可決定出這些服務作業特性的重要性順序。

## 四、研究結果

### 4.1 顧客端的需求屬性分析

#### (一) 重要度分析

受測船長對顧客需求屬性的重要度調查結果如表 5 之「重要度」一欄所示，表中顯示 23 個項目之重要度的平均值為 4.145，此結果顯示，本文所調查這 23 項顧客需求屬性 (CAs)，皆是受測船長認為會顯著影響船舶航行安全的重要因素；其次，這些 CAs 之前五項重要度排名依序為：PT2 (引水人的專業能力)、PT3 (引水人與船長的溝通情況)、VH3 (VTC 提供的港口交通動態資訊)、VP1 (VTC 通知船舶接引水人的時間與位置) 與 BT3 (協助您靠、離碼頭的拖船駕駛之專業技術)；而如以主要需求層級的構面來看，則受測者認知最重要的前十項 CAs，大部分集中在「引水人的服務」、「VTC 設備的功能」與「VTC 人員的服務」等三個構面。

#### (二) 滿意度分析

受測船長對顧客需求屬性之滿意度調查結果如表 5 之「滿意度」一欄所示，表中顯示受測者對高雄港所提供之導航服務認知，其整體滿意度平均值為 3.518，此結果顯示，受測船長對港口所提供的導航服務大致上尚稱滿意。其次，在各項 CAs 服務的滿意度中，又以 VP3 (VTC 人員的服務態度)、VP4 (VTC 人員與船長之間的溝通情況)、PT2 (引水人的專業能力)、VH2 (VTC 提供天候及港口地理的相關資訊)。與 VP2 (VTC 人員回答船舶各項問題的專業能力) 等，其 CAs 的滿意度較高；而以 PA3 (辨識進、出港航行巷道分道線的燈標)、WC1 (漁具佔用錨區的狀況)、WC4 (權責單位驅離航道上或錨區裡的漁船情況)、WC3 (航道上小船對進、出港船所採取的避讓措施) 與 BT4 (帶纜艇協助您靠、離碼頭採取的配合行動) 等，其 CAs 服務最為不滿意。再者，如以主要需求層級的構面來看，則「VTC 人員的服務」是受測者認知較為滿意的構面，而「航道的交通狀況」則是較為不滿意的構面。

#### (三) 不滿意態度分析

本文是以受測者之「不滿意態度」來決定顧客端的需求屬性 (CAs) 權重。「不滿意態度」是同時考慮「重要度」與「滿意度」的指標，故一般而言較具客觀性。由表 5 之「相



對權重」一欄可看出，不滿意態度的前五項 CAs 分別為：PA3 (辨識進、出港航行巷道分道線的燈標)、WC1 (漁具佔用錨區的狀況)、WC4 (權責單位驅離航道上或錨區裡的漁船情況)、WC3 (航道上小船對進出港船採取的避讓措施) 與 PT5 (引水人引航作業後，下船的位置是否恰當)；而如以主要需求層級構面來看，則「航道的交通狀況」構面是受測者認知最為不滿意的構面，因此與此構面有關的服務作業特性 (ECs) 應是最須立即改善的，亦即只要改善與此構面有關的 ECs，則高雄港的船舶航行安全性應可顯著提升。

表 5 顧客需求屬性 (CAs) 之分析結果

主需求	次需求	重要度		滿意度		不滿意 態度	相對權重 (%)	排名	構面排名 (平均權重%)
		平均值	排名	平均值	排名				
VTC 設備 的功能	VH1	3.938	22	3.611	10	9.408	3.982	18	5 (4.011)
	VH2	4.173	9	3.784	4	9.247	3.914	21	
	VH3	4.247	3	3.698	8	9.778	4.138	14	
VTC 人員 的服務	VP1	4.222	4	3.722	7	9.617	4.070	17	6 (3.907)
	VP2	4.185	6	3.759	5	9.378	3.969	19	
	VP3	4.161	13	3.858	1	8.912	3.772	23	
	VP4	4.185	6	3.846	2	9.016	3.816	22	
助航設施的 狀況	PA1	4.136	17	3.611	10	9.880	4.181	12	2 (4.642)
	PA2	4.161	9	3.599	12	9.990	4.228	11	
	PA3	4.148	14	2.858	22	13.033	5.516	1	
引水人員的 服務	PT1	4.161	9	3.537	16	10.247	4.337	8	4 (4.215)
	PT2	4.321	1	3.833	3	9.362	3.962	20	
	PT3	4.284	2	3.747	6	9.652	4.085	15	
	PT4	4.185	6	3.698	8	9.636	4.078	16	
	PT5	3.988	21	3.265	19	10.905	4.615	5	
航道的交通 狀況	WC1	4.050	20	2.858	22	12.725	5.386	2	1 (5.064)
	WC2	4.148	14	3.500	17	10.370	4.389	6	
	WC3	4.148	14	3.080	20	12.112	5.126	4	
	WC4	4.124	18	2.932	21	12.650	5.354	3	
船舶靠泊的 服務	BT1	4.074	19	3.586	13	9.833	4.162	13	3 (4.270)
	BT2	4.161	10	3.586	13	10.042	4.250	10	
	BT3	4.198	5	3.562	15	10.235	4.332	9	
	BT4	3.926	23	3.389	18	10.251	4.338	7	
平均	—	4.145	—	3.518	—	10.273	4.348	—	— (4.352)

## 4.2 服務者端之服務作業特性分析

不滿意態度分析只能確認顧客（船長）的需求屬性（CAs），而如何滿足這些需求屬性，才是服務者（港務局）更重要的任務。基於表 5 之不滿意態度分析結果，本文進一步建立品質屋，並應用品質機能展開法，將船長的需求轉換為港口業者之服務作業特性（ECs）需求。品質屋的展開結果如表 6 所示，表中之最右第二欄，是由「不滿意態度」所算出之 CAs 的相對權重（該欄的數值是來自表 5 之最右第三欄），這些權重的平均值與變異數為  $(\mu, \sigma^2) = (4.348\%, 0.875\%^2)$ ；關係矩陣（relationships matrix）內之係數，是由方程式 (1) 所算出的標準化係數，這些係數的  $(\mu, \sigma^2) = (0.059, 0.036^2)$ ；倒數第三列的服務作業特性（ECs）權重，則是由方程式 (2) 所算出，這些權重的  $(\mu, \sigma^2) = (5.882\%, 2.096\%^2)$ ，將此權重排序，即可決定最須優先改善的 ECs，其結果如倒數第二列所示。表 6 的 ECs 排序結果顯示，航道交通管制（10.308%）與作業人員的緊急應變能力（9.615%）為最需優先改善的 ECs，其次為作業人員的身心狀況（7.791%）與作業人員的溝通能力（7.527%）等，其餘 ECs 的權重大都低於 7.000% 以下；其次，若由主要層級的構面來看（如表 6 之最後一列所示），則「作業人員特性」是影響船舶航行安全最顯著的構面（7.767%），其次為「港口服務品質」（6.990%）。以上結果可提供高雄港務局，作為制定提升船舶航行安全之政策參考。

## 五、討 論

本文之研究結果顯示，高雄港務局最應優先改善的前四項 ECs 為：航道交通管制、作業人員的緊急應變能力、作業人員的身心狀況與作業人員的溝通能力等，針對此項結果，本文再與前述表 3 中參與訪談的專家作事後討論，除了分析其原因，也提出具體的改善建議。

### （一）航道交通管制

此項結果明顯是由於受測者不滿意高雄港的航道交通所造成，在前述不滿意態度分析之結果已顯示出，「航道的交通狀況」是所有受測船長最不满意的 CAs 構面，本文分析其原因如下：

1. 檢查哨的位置不適：高雄港第二港口檢查哨的位置就在港口出入口的左側，所有引水艇、漁船及私營的工作船進出港都時，需要在此停俾或調頭靠岸接受檢查，故這些受檢的船隻常會佔用主航道而影響船舶的進出港航行。因此，本文建議將第二港口的檢查哨移至對岸的紅毛港，該地點位於出入口處，又有完整的防波堤，可防止待檢的船隻不自知的漂移航道而妨礙主航到交通，是理想的檢查哨地點。

表6 品質機能展開結果

服務作業特性(ECs)		VTC 的品質				作業人員特性				港口服務品質				船舶航行能力				CAs 不滿 意態度的 相對權重 (%)	CAs 構面排名 (平均相對 權重%)		
關係矩陣	顧客需求屬性(CAs)	無線電品質	雷達回跡品質	自動辨識系統	顯控系統品質	無線電測向儀	溝通能力	身心狀況	緊急應變	專業技術	拖船作業品質	提供諮詢品質	航道交通管制	助航設施品質	通訊系統品質	人員配合態度	人員操作技術	機具運轉性能	5 (4.011)		
		VH1	0.070	0.060	0.074	0.042	0.056	0.060	0.078	0.074	0.099	0.007	0.063	0.046	0.018	0.078	0.060	0.074		0.042	3.982
VTC 設備 的功能	VH2	0.076	0.068	0.057	0.054	0.065	0.062	0.071	0.062	0.076	0.019	0.065	0.057	0.022	0.076	0.068	0.052	0.049	3.914		
	VH3	0.061	0.066	0.069	0.066	0.055	0.061	0.074	0.066	0.066	0.016	0.066	0.066	0.021	0.066	0.061	0.074	0.047	4.138		
	VP1	0.065	0.065	0.042	0.065	0.059	0.065	0.073	0.059	0.073	0.017	0.079	0.079	0.045	0.059	0.065	0.048	0.040	4.070		
	VP2	0.067	0.061	0.043	0.061	0.043	0.067	0.081	0.081	0.081	0.032	0.081	0.073	0.023	0.067	0.052	0.041	0.046	3.969		
VTC 人員 的服務	VP3	0.081	0.053	0.046	0.053	0.039	0.081	0.077	0.060	0.091	0.014	0.084	0.088	0.028	0.067	0.049	0.049	0.042	3.772		
	VP4	0.062	0.043	0.036	0.062	0.043	0.069	0.092	0.075	0.092	0.023	0.092	0.069	0.033	0.075	0.046	0.046	0.046	3.816		
助航設施 的狀況	PA1	0.021	0.049	0.028	0.077	0.049	0.063	0.049	0.035	0.028	0.007	0.077	0.148	0.169	0.028	0.028	0.049	0.092	4.181		
	PA2	0.011	0.021	0.044	0.044	0.011	0.065	0.044	0.065	0.044	0.011	0.076	0.184	0.260	0.011	0.044	0.044	0.021	4.228		
	PA3	0.009	0.055	0.037	0.037	0.009	0.037	0.046	0.110	0.018	0.009	0.064	0.174	0.192	0.009	0.101	0.037	0.055	5.516		
引水人的 服務	PT1	0.072	0.040	0.040	0.049	0.027	0.076	0.067	0.085	0.072	0.005	0.054	0.135	0.076	0.036	0.045	0.040	0.081	4.337		
	PT2	0.042	0.017	0.017	0.025	0.025	0.067	0.117	0.117	0.100	0.037	0.092	0.083	0.058	0.054	0.037	0.037	0.075	3.962		
	PT3	0.065	0.025	0.025	0.025	0.039	0.076	0.093	0.101	0.108	0.036	0.079	0.090	0.043	0.083	0.036	0.025	0.050	4.085		
	PT4	0.063	0.014	0.014	0.007	0.014	0.125	0.104	0.118	0.118	0.063	0.132	0.076	0.028	0.070	0.014	0.014	0.028	4.078		
	PT5	0.036	0.010	0.010	0.041	0.010	0.108	0.067	0.123	0.067	0.010	0.072	0.144	0.082	0.072	0.041	0.036	0.072	4.615		
航道的交 通狀況	WC1	0.009	0.091	0.036	0.091	0.018	0.036	0.045	0.145	0.009	0.054	0.082	0.136	0.054	0.009	0.064	0.009	0.109	5.386		
	WC2	0.060	0.073	0.060	0.065	0.055	0.060	0.065	0.073	0.073	0.005	0.067	0.065	0.042	0.055	0.073	0.060	0.052	4.389		
	WC3	0.058	0.058	0.054	0.081	0.050	0.042	0.062	0.085	0.039	0.008	0.050	0.089	0.042	0.081	0.069	0.050	0.081	5.126		
	WC4	0.048	0.053	0.038	0.053	0.043	0.067	0.063	0.135	0.029	0.005	0.053	0.125	0.048	0.063	0.053	0.048	0.077	5.354		
船舶靠泊 的服務	BT1	0.073	0.028	0.011	0.045	0.028	0.101	0.078	0.128	0.039	0.168	0.056	0.112	0.039	0.022	0.006	0.011	0.056	4.162		
	BT2	0.047	0.035	0.024	0.035	0.006	0.105	0.082	0.111	0.053	0.175	0.047	0.094	0.041	0.024	0.024	0.012	0.088	4.250		
	BT3	0.069	0.010	0.010	0.010	0.010	0.123	0.148	0.128	0.049	0.098	0.059	0.113	0.044	0.059	0.010	0.010	0.049	4.332		
	BT4	0.051	0.011	0.006	0.023	0.011	0.141	0.146	0.135	0.045	0.101	0.056	0.073	0.067	0.056	0.011	0.011	0.056	4.338		
ECs 的相對權重 (%)		5.133	4.436	3.563	4.888	3.273	7.527	7.791	9.615	6.136	3.939	7.090	10.308	6.621	5.197	4.694	3.774	6.015	100.000		
ECs 的排名		10	13	16	11	17	4	3	2	7	14	5	1	6	9	12	15	8			
ECs 構面排名(平均權重)		4 (4.259%)				1 (7.767%)				2 (6.990%)				3 (4.920%)							

2. 港警機動性不足：漁船在航道捕魚影響船舶航行安全甚鉅，目前高雄港港警所的機動快艇駐守在中洲渡輪站，距第二港口主航道有 2～3 哩，如需要緊急驅離漁船時，機動小艇若以 18 節的速度也要費時 10 分鐘才能趕到，因此常造成引水人與船長抱怨漁船妨礙航行。因此，本文建議港警所指派機動快艇駐守於離港口最近的第一、二港口檢查哨，隨時待命驅逐妨礙進出港的漁船，以保持航道交通順暢。

## (二) 作業人員的緊急應變能力

由表 6 之關係矩陣內的係數可以看出，此項 EC 對「引水人的服務」與「船舶靠泊的服務」兩個構面的 CAs 之影響最為顯著，其係數幾乎皆高於 0.100 以上 (PT1 除外)，顯著地高於所有係數的平均值 ( $\mu = 0.059$ )。此結果顯示，加強作業人員的緊急應變能力，可以顯著地提高引水人與船舶靠泊等兩項服務的安全品質。一般就港口的導航作業而言，引水人與拖船駕駛是最直接的作業人員，他們是最能避免船舶碰撞或事故發生的關鍵人員，因此他們的緊急應變能力對顧客 (船長) 而言更顯重要。其次，除了上述兩個構面的 CAs 外，其餘四個構面的 CAs 係數也幾乎都高於平均值 ( $\mu = 0.059$ ) 以上，此結果也顯示，作業人員的緊急應變能力，對其他構面的 CAs 也具有相當的影響性，亦即它對船舶在港口航行安全的影響是全面性的。針對以上結果，本文提出以下建議：

1. 作業人員定期的訓練：本文建議引水人及拖船人員應有定期的訓練，訓練課程可包含經驗的傳承、應用電腦模擬或其他電腦輔助教學等，內容則至少應包括最近一次碰撞事故的原因檢討與預防措施。另外，在各種緊急情況下，當拖船數量或馬力不足時，要如何在港區內安全地導航船隻進出港以及靠離碼頭等，這些相關的訓練也需要加強。
2. 加強作業人員的外語能力：一般緊急應變的處理能力，除了人員的專業能力訓練與實務經驗外，語言的溝通能力常是被忽略的，事實上有部分的海事事故是因語言溝通誤解所造成，故加強服務人員的外語溝通能力，不僅能避免因誤解而產生的船舶交通事故，甚至可掌握發生事故船舶的詳細情形，有助於緊急事故的處理。

## (三) 作業人員的身心狀況

由表 6 之關係矩陣係數可以看出，此項 EC 對「引水人的服務」、「船舶靠泊的服務」、「VTC 設備的功能」與「VTC 人員的服務」等四個構面之 CAs 的影響最為顯著，其所有係數大都高於 0.070 以上，顯著的高於平均值 ( $\mu = 0.059$ )，因此與這些服務作業相關的人員，包括引水人、拖船駕駛與 VTC 人員等，他們工作時的身心狀況，對船舶的航行安全會有重大的影響性。一般而言，上述這三種作業人員在工作上有一個共同點就是都必須值夜班。一般值夜班的工作人員，最常發生的問題就是工作上的疲勞。工作人員的疲勞對航行中的船舶而言是非常危險的，過去相關的統計資料顯示，人為因素中的疲勞，是導致海難傷亡的主要因素之一。值夜班是 VTC 人員、引水人與拖船人員無法避免的工作環境，值夜班容易造成工作人員生理時鐘的失調而導致工作上的疲勞，故本文建議工作人員平常

需要以自律的方式來調整自己的生理時鐘，使自己有充分的睡眠，保持正常的身心狀況，如此在值夜班時才能發揮正常的工作能力；另外，適當的輪班制度與足夠的輪班人數，也是降低人員工作疲勞的有效方法之一。

#### (四) 作業人員的溝通能力

由表 6 之關係矩陣係數可以看出，此項 EC 對「船舶靠泊的服務」、「引水人的服務」、「VTC 設備的功能」與「VTC 人員的服務」等四個構面之 CAs 的影響較顯著，其所有係數皆高於平均值 ( $\mu = 0.059$ )，因此與這些服務作業相關的人員 (引水人、拖船駕駛與 VTC 人員)，其溝通能力對船舶在港口航行的安全也具有重要的影響性。

1. VTC 人員的溝通：VTC 人員雖然僅以無線電提供服務，但是其服務對象擴及港區所有作業中的引水人、進出港的船舶、工作船以及漁船等，除了一般例行性的導航工作外，還要隨時告知其他船舶的動態。一般 VTC 工作人員如發現有妨礙主航道交通的船隻時，常需立即高分貝制止或糾正其違規的行為，然而若措詞不當而導致對立，則對航行或導航作業皆是相當危險，特別是正在引導船舶進出港的引水人或是自行進出港的船長，若因對立含怒而失去判斷力，就可能造成航安事故發生。VTC 工作人員是協助引水人引航船隻安全進港以及裝卸貨物，使港區營運得以順利進行，雙方是相輔相成的，因此，VTC 人員的溝通能力有必要加強。
2. 引水人員與船長的溝通：有些船舶因故晚到或未依指定位置接引水人，導致引水人責怪船長，造成彼此間的嫌隙，而影響了後續引航與靠碼頭作業的正常進行。靠碼頭通常是船舶在港口航行最危險的作業，它需引水人、船長、三副、舵工、拖船與帶纜艇等密切的配合才能完成。雖然引水人登輪後就主導船舶的航行與靠泊的進行，但是引水法第 14 條規定：引水人登船執行領航作業時，仍須尊重船長之指揮權，亦即船長仍是全船的主要指揮者。一般而言，為了能安全的靠泊，引水人登輪後，船長會詢問其有關航道的航行與靠泊計畫，如碼頭位置、拖船的運用、拖船的特性、艘數及帶纜艇的狀況等；引水人也會詢問船長有關船舶本身的特性或索取引水卡，以掌握船舶的特性，順利的靠泊碼頭。此時如果引水人與船長彼此間的有嫌隙，則彼此間所提供的訊息可能不完全，因而造成引水人所下的俾令與現況不符，導致船舶碰撞碼頭的意外發生；其次，船長也可能因與引水人之間的溝通不良而抗拒其所下的俾令，以其了解本船性能的主觀意識，暗中指揮舵工減少或增加其船舶的舵角或俾速，如此也可能影響船舶的安全停靠作業。
3. 工作人員的服務態度：港口工作人員要順利安全地完成船舶進出港靠泊與裝卸作業，除了與船上人員充分溝通外，良好的服務態度也是需要的，例如 IMO RESOLUTION (2003) 規定引水人與船員以外的人員如拖船駕駛或帶纜工等，無法用英文或駕駛台聽得懂的語言溝通時，引水人應儘快向船長解釋其意，使船長得以觀察任何工作人員所採取的行動是否達到其預期的目標，這樣的服務再加上優良的操船技能，才能取得船長的信任，提昇港口的航行與靠、離碼頭的安全。

## 六、結 論

一般就船隻的整個航行路線而言，最容易發生海事事故的階段，就是在進出港口的時候，過去的研究對此部分的探討甚少。其次，過去有關影響港口航行安全的因素研究，大多偏重在船舶內部人員管理因素探討，較少觸及船舶航行的外部環境因素。一般就船舶於港口航行而言，其所面臨的外部環境主要就是港口業者所提供的導航服務作業。本文由港口業者的觀點，應用品質機能展開法 (QFD)，將港口航行的船長需求轉換為港口業者之服務作業特性需求，並藉以制定其改善船舶港口航行安全的政策，此 QFD 模式可以提供港口業者及其相關研究者，作為其理論與實務應用之研究參考。

其次，為了驗證模式的實務效度，本文也以高雄港航行船隻之實際進出港作業為例，來進行模式的實證研究，其研究結果顯示，就重要度而言，受測船長在港口航行時，最重視「引水人的服務」、「VTC 的設備功能」與「VTC 人員的服務」；就高雄港的導航服務滿意度而言，「VTC 人員的服務」是受測者認知較為滿意的構面，而「港口航道的交通」則是較為不滿意的構面。最後，品質機能展開結果則顯示，航道交通管制、作業人員的緊急應變能力、作業人員的身心狀況與作業人員的溝通能力等四項，是高雄港目前最需優先改善的服務作業特性；而就主要層級構面而言，「作業人員的特性」是影響船舶航行安全最顯著的服務作業特性構面，此項結果基本上與過去相關研究結果一致<sup>[5-7]</sup>。人為因素是影響船舶航行安全最主要的因素，因此，如何提升作業人員的素質與能力，這是高雄港港務要永續經營的最重要課題。以上結果可提供高雄港務局，作為制定提升航安政策的實務參考。

在傳統之 QFD 理論模式中，服務者的服務作業特性 (ECs) 權重是由顧客需求屬性 (CAs) 權重、關係矩陣 (relationships matrix) 與相關矩陣 (correlations matrix) 三者所決定的。在本文所建立船舶航行安全的 QFD 模式中，港口業者的 ECs 權重之決定，並未考慮相關矩陣的影響效果。相關矩陣是由所有 ECs 彼此間的相關係數所構成，也就是品質屋中的屋頂部分。理論上一個 EC 與其它 ECs 間的相關性愈高，則此 EC 的重要性權重也應該愈高。一般在實務上，ECs 彼此間的相關性是可能存在的，只是不易衡量。為了模式的完整性與模式的應用效度，未來研究可以考慮將相關矩陣納入本文的模式中。

## 參考文獻

1. 劉中平、梁金樹、蘇育玲、朱經武，「臺灣管轄水域航行安全性分析」，*航運季刊*，第 14 卷，第 1 期，民國 94 年，頁 1-20。
2. 徐國裕、張運杰、周和平，「臺灣西部國際商港水域海難事故之分析」，*航運季刊*，第 17 卷，第 1 期，民國 97 年，頁 45-62。

3. 劉中平、梁金樹、朱經武，「應用灰關聯分析於臺灣地區國際商港海事事故天然致因之研究」，*航運季刊*，第 13 卷，第 3 期，民國 95 年，頁 95-114。
4. Darbra, R. M., Crawford, J. F. E., Haley, C. W., and Morrison, R. J., "Safety Culture and Hazard Risk Perception of Australian and New Zealand Maritime Pilots", *Marine Policy*, Vol. 31, 2007, pp. 736-745.
5. 方信雄，「大型散裝船海難原因之探討」，*航運季刊*，第 3 卷，第 1 期，民國 83 年，頁 45-47。
6. 伍家志，「1998 年世界貨櫃港及臺灣地區海事統計分析」，*航運季刊*，第 10 卷，第 8 期，民國 88 年，頁 30-41。
7. Lu, C. S. and Tsai, C. L., "The Effects of Safety Climate on Vessel Accidents in Container Shipping Context", *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 40, No. 2, 2008, pp. 594-601.
8. Cahit, I., "Pilot, Ship and VTC", International Marine Pilots' Association, <http://www.internationalpilots.org>, 2007.
9. Hauser, J. R. and Clausing, D., "The House of Quality", *Harvard Business Review*, Vol. 66, 1988, pp. 66-73.
10. Gongalez, M. E, Mueller, R. D., and Mack, R. W., "An Alternative Approach in Service Quality: An E-Banking Case Study", *The Quality Management Journal*, Vol. 15, No. 1, 2008, pp. 41-58.
11. Gongalez, M. E, Quesada, G., Picado, F., and Eckelman, C. A., "Customer Satisfaction Using QFD an E-Banking Case", *Managing Service Quality*, Vol. 14, No. 4, 2004, pp. 317-330.
12. Bottani, E. and Rizzi, A., "Strategic Management of Logistics Service: A Fuzzy QFD Approach", *International Journal of Production Economics*, Vol. 103, 2006, pp. 585-599.
13. Bosch, V. G. and Enriquez, F. T., "TQM and QFD: Exploiting a Customer Complaint Management System", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 22, No. 1, 2005, pp. 30-37.
14. Liang, G. S., Chou, T. Y., and Kan, S. F., "Applying Fuzzy Quality Function Development to Identify Service Management Requirements for an Ocean Freight Forwarders", *The Quality Management*, Vol. 17, No. 5, 2006, pp. 539-554.
15. Wang, R. T., "Improving Service Quality Using Quality Function Deployment-The Air Cargo Sector of China Airlines", *Journal of Air Transport Management*, Vol. 13, 2007, pp. 221-228.
16. Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., and Giacchetta, G., "A Fuzzy-QFD Approach to Supplier Selection", *Journal of Purchasing & Supply Management*, Vol. 12, 2006, pp. 14-27.
17. Carnevalli, J. A. and Miguel, P. C., "Review, Analysis and Classification of the Literature on QFD: Types of Research, Difficulties and Benefits", *International Journal of Production Economics*, Vol. 114, 2008, pp. 737-754.
18. San, M., "Function Deployment (IQFD) for Discrete Assembly Environment", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 45, 2003, pp. 269-283.
19. Yan, W. Y., Khoo, L. P., and Chen, C. H., "A QFD-Enabled Product Conceptualization Approach via Design Knowledge Hierarchy and RCE Neural Network", *Knowledge-Based*

- Systems*, Vol. 18, No. 6, 2003, pp. 279-293.
20. Franceschini, F. and Rossetto, S., "Quality Function Deployment: How to Improve Its Use", *Total Quality Management*, Vol. 9, No. 6, 1998, pp. 491-555.
21. Cristiano, J. J., Liker, J. K., and White, C. C., "Key Factors in the Successful Application of Quality Function Deployment (QFD)", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 48, No. 1, 2001, pp. 81-95.



# 都市路網號誌連鎖策略改進之研究

## SIGNAL-COORDINATION IMPROVEMENT STRATEGIES FOR URBAN TRAFFIC NETWORKS

胡大瀛 Ta-Yin Hu<sup>1</sup>

黃秀雲 Hsiu Yun Huang<sup>2</sup>

許義宏 Yi-Hung Hsu<sup>2</sup>

吳東祐 Tung-Yu Wu<sup>2</sup>

(98 年 5 月 22 日收稿，98 年 12 月 3 日第一次修改，99 年 3 月 31 日第二次修改，  
99 年 5 月 15 日第三次修改，99 年 9 月 22 日定稿)

### 摘 要

先進交通管理系統 (advanced traffic management systems, ATMS) 之交通車流的偵測技術有許多的突破，如何利用相關的車流資料進行都市內連鎖系統的建立，已成為 ATMS 發展中重要的課題。本研究根據不同的車流資料，利用路段及路徑演算法選取幹道，採用以 PASSER II 模式概念建立號誌連鎖之最佳號誌時制設計。最後，研究利用 DynaTAIWAN 程式，針對虛擬與實際的路網進行模式數值測試與驗證分析。

**關鍵詞：**路段演算法；路徑演算法；號誌連鎖

### ABSTRACT

*How to improve signal efficiency in urban traffic networks is a critical*

- 
1. 國立成功大學交通管理科學系教授 (聯絡地址：70101 臺南市東區大學路 1 號成功大學交通管理科學系；電話：06-2757575 轉 53224；E-mail：tyhu@mail.ncku.edu.tw)。
  2. 國立成功大學交通管理科學系碩士。

*issue for the success of Advanced Traffic Management Systems (ATMS). Based on advanced traffic surveillance and management systems, link flow data and path flow data are available to traffic management centers to design efficient signal control strategies. This research aims at designing appropriate arterials for signal coordination, and associate signal strategies for these arterials. According to different data, link-based and path-based algorithms are developed for arterial selection, and the signal optimization algorithm is based on PASSER-based algorithms. Numerical experiments on different traffic networks are conducted based on DynaTAIWAN to illustrate the algorithm developed in this research.*

**Key Words:** *Link-based algorithms; Path-based algorithms; Signal-coordination*

## 一、緒論

在智慧型運輸系統 (intelligent transportation systems) 的發展下,尤其是先進交通管理系統 (advanced traffic management systems, ATMS),也持續有新的突破與發展。在先進交通管理系統發展中,最重要的突破為交通車流的即時性偵測,偵測系統穩定蒐集即時性車流資訊,配合車輛定位與通訊技術之穩定發展,提供用路人即時、穩定與可靠之旅行時間預測服務與路徑導引服務,提升運輸系統之效率與品質。如何利用相關的車流資訊進行都市內號誌連鎖系統的建立,已成為 ATMS 發展中重要的課題。

交通控制的範圍從獨立路口、幹道到整個路網,在求解路網號誌時制問題中,過去已發展許多適用的軟體,從單一路口 SOAP,解決幹道問題的 PASSER II、MAXBAND,到適用於整個網路的 Synchro、TRANSYT-7F 等。隨著路網複雜度增加,號誌時制計算所需的資訊亦是多且複雜,在連鎖號誌上構建需花費較多的時間,因此一般號誌連鎖是透過號誌軟體進行規劃。

號誌連鎖軟體提供最佳化的號誌時制設計,每一個號誌連鎖軟體都具有最佳化的程序,以期達到最佳的目標值。基本上,號誌連鎖最佳化的模式可以分成兩大類—最大帶寬模式 (bandwidth-based) 與最小延滯模式 (delay-based)。最大帶寬模式主要包括 PASSER II、MAXBAND (Little 等人)<sup>[1]</sup>、MULTI-BAND (Gartner 等人)<sup>[2]</sup>;最小延滯模式主要包括 TRANSYT-7F、Synchro (Husch 與 Albeck)<sup>[3]</sup>,除了這兩個分類外,也有許多研究者藉著兩者的合併使用希望達到最佳化。

儘管帶寬模式存在許多的缺點,但續進的帶寬大小仍被交通工程師視為一重要指標。Yang<sup>[4]</sup>的分析比較也指出最大帶寬模式所得到的號誌解,一般而言較延滯模式的號誌解為佳,但帶寬模式最大的問題為續進帶寬的大小,隨著號誌數量的增加而遞減,因此如何選擇適當的路口作為號誌連鎖的依據,成為重要的課題。Synchro 提出一個系統分割 (system partition) 的方式來計算連鎖係數 (coordination factor),此一係數目的在判定路口是否應該列為連鎖的考慮,計算主要的根據為路口距離、旅行時間、車流量等。Tian 等人

<sup>[5]</sup> 提出一啟發式演算法，利用人為號誌分群，建議使用 3 至 5 個號誌作為連鎖的依據，可達最佳的續進帶寬。

本研究主要目的為建立連鎖幹道選取的原則，比較分析不同幹道選取原則下之號誌連鎖系統的績效。研究中利用不同的車流資訊，構建連鎖幹道選取的演算法，演算法中透過車流的特性，來決定幹道連鎖的方向與路口數，研究中應用 PASSER II 最大帶寬模式，檢視幹道連鎖系統的績效。本研究所提出的幹道選取演算法，可根據即時性車流資料蒐集，透過車流方向與流量大小定義幹道，可反應需求分布、路網幾何特性與控制的設定。

本研究提出三種幹道選擇方式，包括經驗法則、路段流量法則與路徑流量法則。三種幹道選擇法則考慮的資料來源不同，經驗法則根據經驗選擇連鎖路段；路段流量法則利用路段流量資訊，選擇路網中流量高的幹道；路徑流量法則利用車輛軌跡資訊。三種法則所選出的幹道，透過研究發展的連鎖模式進行號誌連鎖，使幹道上車流得以續進，並探討連鎖後對整體路網車流的影響，採用車輛平均旅行時間作為評估指標，以期獲得較佳的號誌時制設計。

本文於第二節回顧號誌時制之文獻；第三節建構本模式架構；第四節進行虛擬路網實驗與數值結果分析；第五節進行臺中市路網實驗分析；第六節提出結論與建議。

## 二、文獻回顧

本研究針對路網號誌時制進行規劃，探討幹道選擇原則與對號誌連鎖效能的影響，文獻回顧主要目的為回顧號誌基本設計的概念與相關應用軟體。研究的文獻回顧分成幾個部分，第 2.1 節討論交通號誌控制問題與演算法，第 2.2 節介紹號誌時制最佳化軟體。

### 2.1 交通號誌控制問題與演算法

交通控制的範圍從獨立路口、幹道到整個路網，以下將針對此三方面探討號誌控制面臨的問題及求解方式。

#### (一)獨立路口號誌控制

Martin-Lof <sup>[6]</sup> 以動態規劃法 (dynamic programming) 發展交叉路口號誌最佳控制模式，此模式主要為等候車隊的紓解，使交叉路口的交通不致在尖峰時產生過飽和的現象。Michalopoulos 與 Stephanopolos <sup>[7]</sup> 文獻中的目標式為交叉路口最小延滯，車隊長度以及進出的車流量相等為其限制式，對過飽和交通狀況作號誌最佳化控制。蔡輝昇、邱大恭 <sup>[8]</sup> 提出以「車流流動之有效綠燈時間」為號誌設計依據的數學規劃模式，分析時，將交叉路口視為一個系統，考慮各車流衝突的影響，求出獨立路口號誌時制計畫。

## (二)幹道號誌控制

饒立國、曹壽民<sup>[9]</sup>討論時差遞移現象，主要由於號誌連鎖的相鄰群組間其週期長度不同，導致群組間的時差並非固定不變，而是隨時間呈現規則性的變動。研究以實例驗證，循環時間越短，群組間的時差對整體績效的影響程度有加大的現象。以最小化每一循環的總停等延滯為目標，求得最佳時差循環。林良泰<sup>[10]</sup>提出續進可能值 (progression possibility) 的觀念，續進可能值主要指上游路段車流以平均行駛速率行駛至下游路口時，仍為綠燈的可能性。研究中以兩週期長度最小公倍數作為評估的時段，透過逐秒微調的窮舉方式，求出在最小共同週期內，續進最大的時差循環。林良泰等人<sup>[11]</sup>探討群組間相鄰兩路口連鎖的問題，由於兩群組間相鄰兩路口連鎖不當時，易造成上游路段交通壅塞，嚴重影響整體路網績效，研究中並建立程序性的群組間時差制定流程，以最大續進可能值為績效指標，並考量最小總停等延滯。

## (三)路網號誌控制

Gartner 與 Stamatiadis<sup>[12]</sup>文獻中，將 MAXBAND 數學規劃模式進行修正，將上游車輛以正常速度行駛至下游路口時，依然獲得的綠燈時間加入模式中進行時制的計算，並依流量加入變數，表現幹道上不同路口的重要性，最後，利用演算法求解整體路網時制。演算法流程如圖 1 所示：

Step 1：定義子路網  $N_i \subset N$  (路網)。

Step 2：最佳化子路網問題，存取各路段變數  $K_\ell^*$ ， $\ell \subset N_i$ 。

Step 3：最佳化整體路網，存取各路段變數  $K_\ell^*$ ， $\ell \subset N_i$ 。

Step 4：評估最佳化後產生的績效指標，若優於前者則進行取代。

Step 5：檢視是否所有的方案皆進行評估，反覆操作 Step 2 到 Step 4，直到所有方案皆進行考慮後，停止評估。

其中次路網的選取呈樹狀，選取的準則為：

- (1) 選取的主要的幹道；
- (2) 包含最多幹道數量且不形成迴圈 (network loops)。

Chang 與 Sun<sup>[13]</sup>在文獻中主要將帶寬最大及負效用最小聯合作處理，內容將車輛續進依據不同情況，運用績效函數獲得較佳解。演算的過程則是利用 bang-bang like control model 先獲取每個交叉路口最小的績效值，再根據大部分擁擠的路口尋找續進的路徑，計算並調整時差以解決路網中路段過飽和的問題。

其中 bang-bang like control 的控制流程為：

- (1) 給有較大抵達率的路段最大的綠燈時間，較小抵達率的路段則相反；
- (2) 在 optimal switch over point (Michalopoulos 與 Stephanopolos)<sup>[7]</sup>作轉換，對較小流量的路段用最大的綠燈時間，較大流量的路段則改用最小的綠燈時間紓解車流。

Wey<sup>[14]</sup> 在文獻中主要是將車流的模型反映在號誌最佳化的公式中，演算法過程主要是運用分枝界限法 (branch and bound) 求解的步驟，考量每一個路口延長綠燈時間是否可獲得較好的績效。其中，分枝界限法主要是利用樹狀結構對可能的組合進行計算，並在過程中捨去較差的情況。

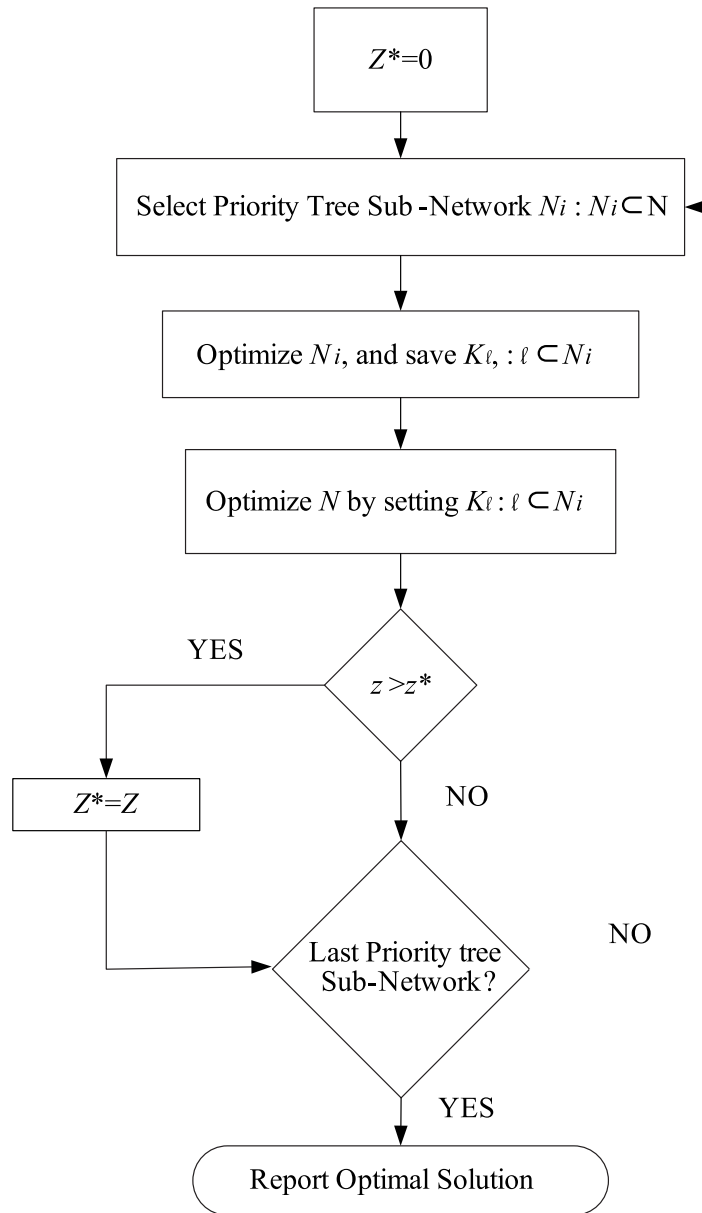


圖 1 路網求解演算

資料來源：Gartner 與 Stamatiadis<sup>[12]</sup> 及本研究整理。

## 2.2 號誌時制最佳化軟體

號誌控制軟體主要利用電腦程式，將時制計算過程作最有效的計算，本節將回顧許多相關號誌時制設計軟體並進行比較及討論。

### (一) 獨立路口號誌時制軟體

#### 1. SOAP (signal operations analysis package)

SOAP 是由美國佛羅里達大學運輸研究中心於 1984 年修訂完成，程式獲得美國聯邦公路局 (FHWA) 贊助，因此所有軟體程式與手冊完全公開。SOAP-84 主要提供獨立路口最佳週期、時比及時相，可以決定定時號誌以及固定容量觸動號誌的時制規劃。SOAP84 除可迅速求解外，最大優點在於擁有多種時相供選擇，計共有 196 種型態。賴靜慧<sup>[15]</sup>探討其缺點認為 SOAP84 缺乏時相選擇功能，因此研究以 SOAP84 進行模擬，利用路口流量在各種時相中找到延滯最小的最佳時相組合，為 SOAP84 建立一時相選擇系統。

### (二) 幹道號誌時制軟體

#### 1. MAXBAND (蔡輝昇<sup>[16]</sup>；黃月貞<sup>[17]</sup>)

MAXBAND (MAXimal BANDwidth traffic signal setting optimization program) 是由 Little 所發展，適用於幹道或迴路型網路的號誌設計。MAXBAND 以最大化綠燈帶寬為目標函數，採用 Land 與 Powel 的分支界限法求得幹道上各路口共同週期、時相順序、綠燈時間及時差。

相關的研究包含有 Chang 等人<sup>[18]</sup>發展 MAXBAND-86 處理多種幹道 (multiarterial) 的路網問題。Gartner 等人<sup>[2]</sup>則延伸幹道的混合整數線性規劃 (mixed Integer linear programming) 方程式加入多種帶寬的討論，取名為 MULTIBAND。Stamatiadis 與 Gartner<sup>[19]</sup>將模式作延伸去處理整個網路的問題，修改成 MULTIBAND-96。Chaudhary 等人<sup>[20]</sup>發展啟發式解法，能更有效率求解最佳化的號誌路網問題。

#### 2. PASSER II-84 (王筱如<sup>[21]</sup>；蔡輝昇<sup>[16]</sup>；交通部運輸研究所<sup>[22]</sup>)

PASSER II-84 (progressive analysis and signal system evaluation routine, version II) 是以帶寬法為時誌設計概念的軟體，其基本理論是由德州交通部與德州農工大學 (Texas A&M University) 聯合發展出來，適用於定時控制下的幹道系統及獨立路口時制設計。

後續的軟體發展，PASSER III 為菱形道路交匯處 (diamond interchanges) 的號誌最佳化模式，可以計算並且設定號誌策略以最小化每輛車的平均延滯，對每個單一的交匯處進行號誌時制規劃。PASSER IV 為最大化幹道續進和多幹道所形成的路網，使用數學規劃的技術最佳化號誌時制。PASSER V 則在模式中加入許多最佳化的演算，包含有窮舉搜尋 (exhaustive search)、阻礙最小化 (interference minimization) 及基因 (genetic) 演算法。

王筱如<sup>[21]</sup>研究比較 PASSER II-84、MAXBAND 與 TRANSYT-7F 三個模式基本理論

架構的異同，同時歸納出模式的適用條件並比較三者的優缺點。鄭銘興<sup>[23]</sup>對 PASSER II-84 進行修正，以流量為依據設計車輛續進速度，使得號誌時制能更符合實際的車流行進現象。提出等候線消散時間方法，避免設計的綠燈帶寬產生高估的情況，確保每一輛車在綠燈帶上皆能順利續進。石家豪<sup>[24]</sup>引入續進機會於 PASSER II-84 模式中，並以平均每車停等延滯作為比較標準，由於連鎖的幹道數量過為龐大時，可能會產生帶寬窄小和甚至不存在的情況產生，因此採用路口續進機會來加以改善。

### (三) 路網號誌時制軟體

#### 1. TRANSYT-7F (蔡輝昇<sup>[16]</sup>；毛啟明<sup>[25]</sup>)

TRANSYT-7F 為號誌時制設計程式，乃根據英國 TRRL (Transport and Road Research Laboratory) TRANSYT-7 版本修改而來，具有模擬、最適時制設計及評估的功能，適用於都市中之獨立路口、幹道及路網的時制設計。

國內的相關研究有陳昭宏<sup>[26]</sup>年提出的 FIBONACCI 尋優法、王國材<sup>[27]</sup>提出的三度空間共軛方向搜尋法 (conjugate directions search method in three dimensions)，兩者不但減少了電腦運算的時間，且使績效大幅增加，也對 TRANSYT-7F 中的缺點進行修正，後來有學者就將上述兩個研究整合，發展了 T7F-T88。林呂相<sup>[28]</sup>提出的基因演算法 (genetic algorithm)，取代 TRANSYT-7F 中的爬山尋優法，基因演算法主要是運用其隨機性及適用性的特點，對整個搜尋空間進行全面地搜索，主要為避免求解只落入區域最佳中，研究發展了 TRANSYT-GA，結果顯示績效能獲得改善，但由於基因演算法較為複雜，電腦執行運算的時間並不能獲得絕對的改善。

#### 2. Synchro (林良泰等<sup>[29]</sup>；何志宏<sup>[30]</sup>)

Synchro 在求解最大綠燈帶寬及最小負效用條件下，亦兼顧時差於求解模式中。幹道系統之時差分析是於幹道系統內，以週期範圍內每 1~4 秒為一時差間隔，算出對應不同的延滯值，再以最小延滯值設定幹道系統的最佳時差。如此即可對不同幹道系統所組成的路網及路口，先找出不同幹道之同步最佳化時差，再求得整體路網之最佳時差。

其求解的邏輯是將主控路口與相鄰路口所求出不同方案的延滯值與時差值進行分析比較；再考量幹道的合理綠燈帶寬，並依此與路網中各相鄰路口進行分析比較，再擴大之路網中各個路口，以求解幹道綠燈帶寬最大化及負效用最小化時的最佳時差。

### (四) 小結

在求解路網問題中，Synchro 與 TRANSYT-7F 主要以演算法搜尋較小的延滯時間，缺點為模式是以延滯最小作為連鎖的準則，往往無法考量兼顧到雙向綠燈帶寬，並且兩種軟體所需要的資料較多且繁雜，軟體應用於大範圍的路網問題時，在操作上也需花費較多的時間。

PASSER II 在求解幹道連鎖問題上，能最小化延滯且能兼顧最大化幹道的續進帶寬，

PASSER II 與 MAXBAND 兩相比較之下，又以 PASSER II 能更有效率求解幹道問題且有較多的績效指標進行評估。近年來，PASSER 的後續發展以路網號誌時制最佳化的演算法為主，但幹道號誌連鎖的演算法維持原有基本的精神。

本研究考慮幹道連鎖的建構，並希望配合所發展的演算法進行分析，在選擇幹道連鎖模式上，考慮效率與程式開發時程，因此選擇 PASSER II 號誌連鎖演算法，期望在路網中獲得較佳的號誌時制設計，並據以探討幹道連鎖對路網整體車流的影響。

### 三、號誌時制模型之建立

本節內容包括研究架構、路徑選取演算法與號誌連鎖模式的架構。

#### 3.1 研究架構

隨著路網複雜度增加，號誌時制設計所需的資訊亦是多且複雜，有些資訊更是難以取得，在構建時需花費許多時間。然而，透過智慧型運輸系統的發展，可獲得路段及車輛軌跡的資訊，研究將利用此資訊建構選取路網幹道的演算法，透過研究發展的模式進行號誌連鎖，藉由評估獲得最佳的路網號誌時制設計。

本研究模型主要架構如圖 2。首先利用路網中的路段資訊以及車輛軌跡資料，透過路徑及路段演算法選取適合的連鎖幹道，藉由號誌連鎖模式進行連鎖時制的運算，獲取新的號誌時制資料。連鎖幹道的選擇以路徑及路段演算法為主，分別於第 3.2 節與第 3.3 節中介紹。號誌連鎖模式以 PASEER II 的方式進行，考慮週期、綠燈帶寬與時差的計算，詳細演算流程於第 3.4 節中介紹。

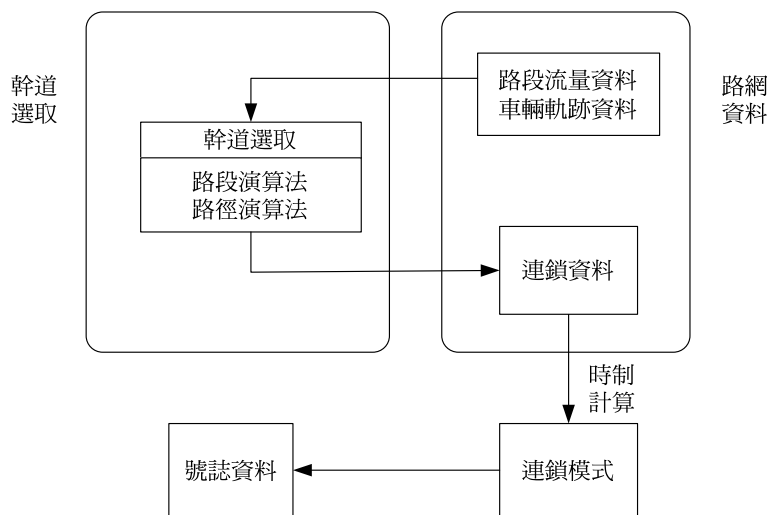


圖 2 號誌時制模型架構圖



### 3.2 路段演算法 (link-based arterial selection)

透過車輛偵測器可獲得路段流量資料，本研究將路段流量資料建構成一演算法，利用演算法挑選出路網中較多車輛行經的路徑視為幹道，研擬出幹道連鎖方案，根據連鎖模式修正路網中的時制進行號誌連鎖。路段演算法如圖 3 所示。首先假設一路網  $G = (V, A, L)$ ， $V$  為路網中的路口集合， $A$  為路網分區集合， $L$  為路網節線集合。

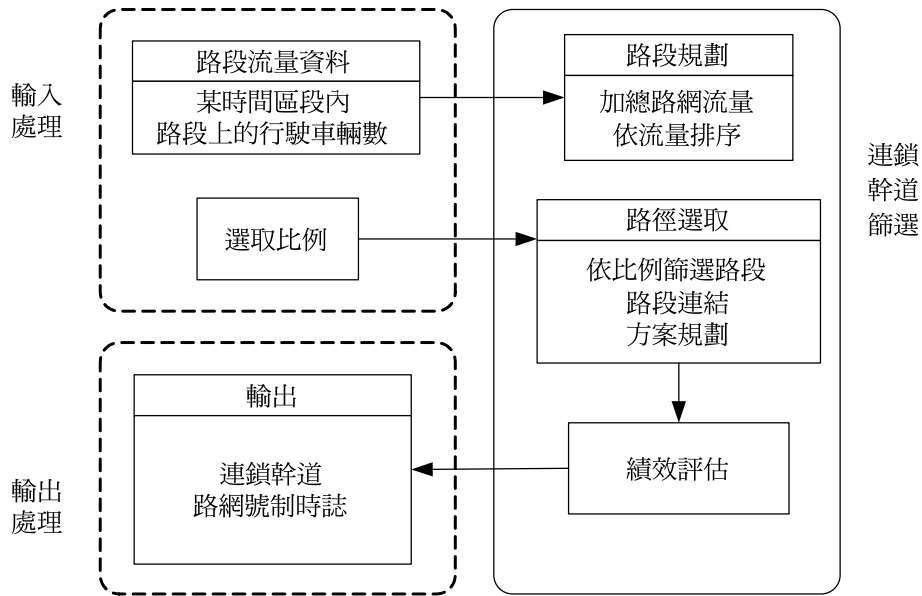


圖 3 路段演算法架構圖

- Step 1：取路段流量資料，定義所有路網節線的上下游端點為  $O_i, D_i$ ， $i \in L$ ，其中路段累積流量為  $Flow_i \geq 0$ 。
- Step 2：路段規劃，加總路網流量並且將流量依序排列。計算路網總流量  $\sum_{i=1}^L Flow_i = TotFlow$ ，並將路段由流量高至低進行排列。
- Step 3：輸入選取比例，設定門檻  $Ratio$  為挑選連鎖幹道的依據， $0 \leq Ratio \leq 1$ 。 $Ratio$  的大小反應考慮連鎖幹道的數量，此一數值可能隨著路網規模與流量大小相關，因  $Ratio$  數值並非理論推導出，數值實驗中以假設的數值進行分析。
- Step 4：依流量大小及選取比例選取  $O$  條路段，並將選取路段的進行連結，若  $O_\alpha = D_\beta$ ，則連結  $\alpha$  及  $\beta$ ，形成  $Arterial_K = \{\alpha, \beta, \dots\}$ ， $K = 1 \sim L$ ，其中  $\alpha, \beta \in L$ 。 $AddFlow = AddFlow + Flow_i$ ， $i \in L$ 。檢視  $AddFlow$  加總後的流量是否大於  $TotFlow \times Ratio$ ，若是，則捨去新加入的路段，進行到 Step 5；若否，則反覆執行 Step 4。

Step 5：檢視所有已形成的幹道，若有節點或路徑重疊的現象，則選取流量較高的幹道。

舉例說明：

幹道 1：29 → 23 → 17 → 18      路徑總流量 = 16,062 輛車。

幹道 2：8 → 2 → 44 → 5      路徑總流量 = 9,634 輛車。

幹道 3：1 → 2 → 44 → 5      路徑總流量 = 9,113 輛車。

透過路段連結產生三條幹道，其中幹道 2 與幹道 3 在路徑 2 → 44 → 5 形成重疊，研究中將挑選流量較高的幹道 2 而捨棄幹道 3 的選擇，最後由幹道 1 與幹道 2 組成各種模擬方案。

Step 6：方案規劃。將各幹道配對組合成各種可能的連鎖方案  $Case_p$ ，同上的例子可延擬成三個方案。Case1：幹道 1；Case2：幹道 2；Case3：幹道 1 + 幹道 2。

Step 7：根據各方案進行號誌時制修正，利用路網績效進行評估，若績效較佳則更新連鎖的幹道選擇。檢視是否所有的方案皆進行評估，獲得路網最佳號誌時制設計。

### 3.3 路徑演算法 (route-based arterial selection)

利用路網中車輛的軌跡資料作為演算法選取的資訊，此一資料可視為 AVI (automatic vehicle identification) 偵測的資料，路徑選取演算法流程如下圖 4 所示。利用軌跡資料希望能獲得路網中車輛的進入路網到離開路網的完整行進路線，可更準確選取幹道。首先假設有一路網  $G = (V, A, N)$ ， $V$  為路網中的路口集合， $A$  為路網分區集合， $N$  為路網車輛集合。

Step 0：假定所有車輛共使用  $R$  條車輛路徑，每車輛路徑資料為  $r_p$ ， $r_p \subset R$ ， $p = 1 \sim N$ 。

Step 1：利用起迄需求點 (origin-destination, OD) 進行車輛分群，每區車輛數為  $N_{ij}$ ，
$$\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^A N_{ij} = N$$
，比對各區內車輛完全相同路徑共  $K$  條，每路徑使用車流輛數為  $n_{ij}^\alpha$ ，
$$\sum_{\alpha=1}^K n_{ij}^\alpha = N_{ij}。$$

Step 2：比對部分相同的路徑並進行流量加總，依路徑上最大流量排列形成  $r_{ij}^\beta$ ， $\beta = 1 \sim K$ ，其中路徑車輛數  $n_{ij}^\beta \geq n_{ij}^{\beta+1} \geq n_{ij}^{\beta+2} \dots$ 。

Step 3：輸入選取比例，設定門檻  $Ratio$  為挑選連鎖幹道的依據，所有路徑中，依流量大小選取  $K \times Ratio$  條路徑為連鎖的幹道。

Step 4：依路徑流量決定連鎖幹道，將幹道組成各種可能的連鎖方案  $Case_p$ ， $p \subset L$ 。

Step 5：根據各方案進行號誌時制修正，利用路網績效進行評估，若績效較佳則更新連鎖的幹道選擇。

Step 6：檢視是否所有的方案皆進行評估，獲得路網最佳號誌時制設計。

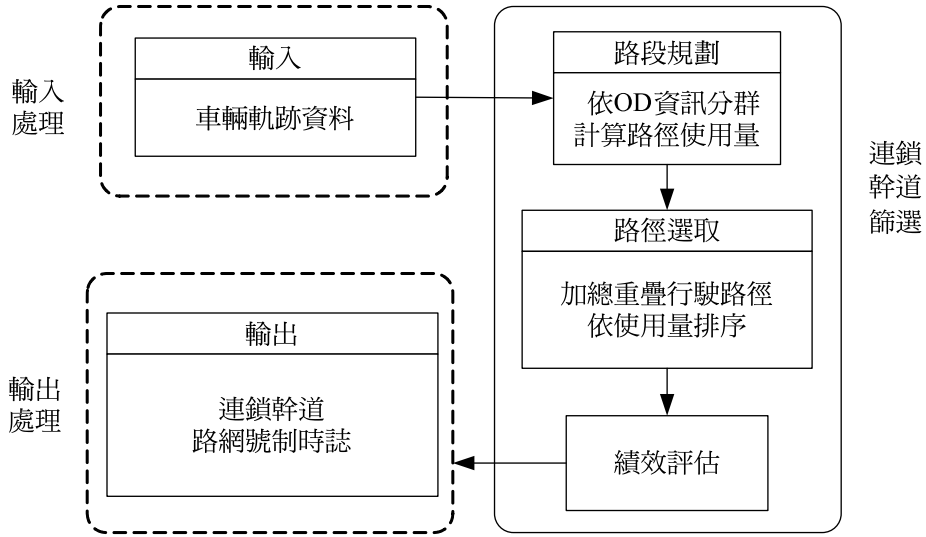


圖 4 車輛軌跡選取演算法架構圖

### 3.4 號誌連鎖模式

本研究主要以 Webster 進行週期計算，以 PASSER II-84 所應用的 Brook's 干擾綠帶演算法 (Brook's interference theory) 來決定時差 (offset) 以期求解最大綠燈帶寬，以路網延滯時間最小為目標式，次要兼顧連鎖幹道續進帶寬最大，模式整體架構如圖 5 所示：

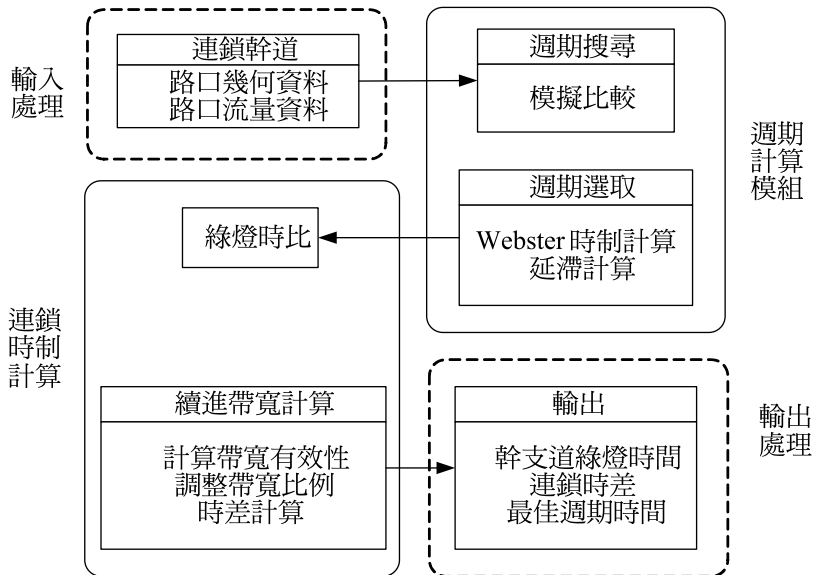


圖 5 幹道連鎖模式架構圖

- Step 1：針對欲進行連鎖的幹道，輸入其路口幾何與流量等資料。
- Step 2：進行週期計算，運用爬山尋優法進行搜尋，週期計算採用 Webster 進行時制計算以及延滯的計算。
- Step 3：利用交叉路口各方向流量計算綠燈時比，且在連鎖幹道的各路口間進行時差及帶寬比例的調整，利用帶寬有效性的計算獲取續進的績效，決定路口時差，其公式如下：

$$Eff = \frac{(B_a + B_b)}{2CYCLE}$$

*Eff*：雙向續進帶寬之有效性 (%)；

$B_a$ 、 $B_b$ ：分別為幹道雙向的續進帶寬 (秒)；

*CYCLE*：系統週期長度 (秒)。

- Step 4：輸入連鎖後的號誌時制資料，包含幹支道綠燈時間、時差、共同週期與雙向帶寬有效性的數值。

## 四、虛擬路網的模擬及測試

利用模擬指派軟體 DynaTAIWAN 進行數值實證分析，測試將以路網車輛的平均旅行時間作為評估績效指標，情境設定車流型態、車流量，觀察由演算法挑選的幹道進行號誌連鎖後，觀察路網車流的績效變化並進行數值分析。第 4.1 節探討幹道連鎖基本測試，觀察本研究所發展的連鎖模型連鎖前後的路網績效，並與 PASSER II 的結果相比。第 4.2 節探討 50 節點虛擬路網的模擬與測試，第 4.3 節針對結果進行分析及討論。

### 4.1 幹道連鎖基本測試

為測試研究所發展的連鎖模式之有效性，運用 DynaTAIWAN 建立一虛擬幹道進行模式的基本測試，比較定時號誌與經過連鎖模式計算調整後的時制，對幹道上車流的影響。此外，研究所發展的連鎖模式之結果也利用 PASSER II 程式進行比較。

模擬幹道由 28 條節線、15 個節點、12 個分區所組成。設定為市區道路長度 1000 公尺，道路速限 60 公里/小時，飽和流率 0.5veh/sec，流量需求連續產生 25 分鐘，幹道上各交叉路口設有定時號誌，共有 5 個定時號誌，原始週期時間假設為 120 秒，兩時相皆有 55 秒綠燈時間與 5 秒黃燈與全紅，測試幹道如圖 6。模擬後之流量，作為號誌連鎖模式的輸入，進行連鎖計算。

基本測試主要目的為觀察不同車輛數下，路網的平均旅行時間以及平均停等時間，並取三個車流量的數值劃分成三種流量情境 A、B 及 C，作為測試比較的基準。三種流量狀

態為相對應的狀態，顯示不同車流的狀態，情境 C 的流量較情境 A 與 B 高。

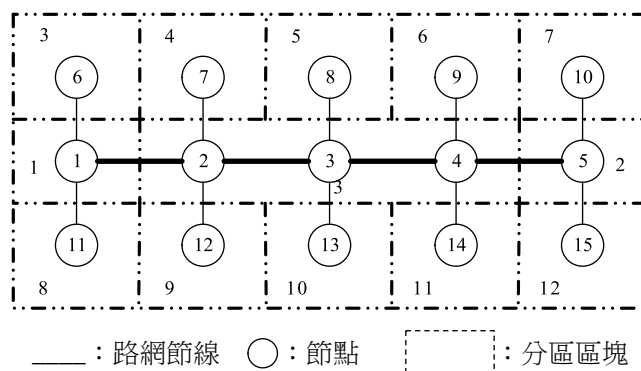


圖 6 基本測試幹道圖

結果如表 1 所示，車流數由 1,948 輛增加至 2,577 輛，整體平均旅行時間由 4.93 分鐘增加至 7.06 分鐘，整體平均停等時間由 1.65 分鐘增加至 3.87 分鐘，汽機車平均旅行時間與平均停等時間逐漸增加，顯示在虛擬幹道上，隨著車輛數增加，會增加整體的旅行時間及停等時間。

表 1 虛擬幹道車輛數量變化系統績效表

車輛數	平均旅行時間 (min/veh)	平均停等時間 (min/veh)	平均旅行距離 (m/veh)
流量情境 A	4.93	1.65	3,570.33
流量情境 B	7.06	3.87	3,572.76
流量情境 C	9.51	6.44	3,572.63

在原始週期假設為 120 秒的情境下，利用 DynaTAIWAN 所得到的流量資料進行幹道號誌連鎖計算，表 2 所顯示的資料為情境 C 下的新週期與時差，新週期為 125 秒。

表 2 情境 C 流量下連鎖模式時制

路口編號	週期 (秒)	時差 (秒)	時相長 (含黃燈及全紅) (秒)	
			主要幹道	次要幹道
1	125	0	64	51
2	125	124	77	38
3	125	1	80	35
4	125	123	78	37
5	125	0	64	51

為比較本研究的模式與 PASSER II 的結果差異，在三種流量情境下利用 PASSER II 及連鎖模式進行計算，並將號誌結果利用 DynaTAIWAN 模擬比較連鎖前與連鎖後的效果。

本研究利用平均旅行時間改善百分比，來作為結果的觀察數值，若改善百分比為正，則表示連鎖後有正向的改善，若改善百分比為負，則表示為負向的改善。改善百分比定義如下：

$$\text{改善百分比} = \frac{\text{連鎖前平均旅行時間} - \text{連鎖後平均旅行時間}}{\text{連鎖前平均旅行時間}} \times 100\%$$

測試結果的數值如下表 3 所示。在流量情境 A 時，定時號誌的平均旅行時間為 4.93 分鐘，利用 PASSER II 計算連鎖時制模擬的平均旅行時間為 4.89 分鐘，本研究的連鎖模式模擬後的平均旅行時間為 4.9 分鐘，改善比率為 1%。在流量情境 B 時，定時號誌的平均旅行時間為 7.06 分鐘，利用 PASSER II 計算連鎖時制模擬的平均旅行時間為 6.06 分鐘，本研究發展的連鎖模式模擬後的平均旅行時間為 5.76 分鐘，改善比率為 14%。在流量情境 C 時，定時號誌的平均旅行時間為 9.51 分鐘，利用 PASSER II 計算連鎖時制模擬的平均旅行時間為 7.31 分鐘，本研究發展的連鎖模式模擬後的平均旅行時間為 7.33 分鐘，改善比率為 23%。

從結果顯示，不論是 PASSER II 或連鎖模式，都能使得連鎖後的整體旅行時間獲得正向改善，連鎖模式與 PASSER II 所獲得的改善結果非常接近。在選定的三種流量下，由數值變化可以觀察到，流量情境 B 在連鎖後的改善比率，相較於流量情境 A、C 能獲得較佳的效果。透過數據實驗可顯示，本研究所發展之連鎖模式所得到的效果，和 PASSER II 軟體所得到的效果類似。

表 3 連鎖前後路網平均旅行時間與改善百分比

平均旅行時間 (min/veh)	PASSER II			本研究之連鎖模式		
	連鎖前	連鎖後	改善 百分比	連鎖前	連鎖後	改善 百分比
流量情境 A	4.93	4.89	1%	4.93	4.9	1%
流量情境 B	7.06	6.06	14%	7.06	5.76	18%
流量情境 C	9.51	7.31	23%	9.51	7.33	23%

#### 4.2 50 節點虛擬路網測試

使用虛擬 50 節點路網，針對模式及演算法進行功能測試，在第 4.2.1 節介紹研究使用的 50 節點虛擬路網的基本幾何資料；第 4.2.2 節進行路網的實驗設計、情境設定；第 4.2.3 節探討幹道連鎖數值測試一經驗法則；第 4.2.4 節利用路段演算法選取幹道進行數值測

試；第 4.2.5 節利用路徑演算法選取幹道進行數值測試。實驗結果，將透過經驗法則選取幹道與演算法選取的數值結果，進行比較與驗證。

#### 4.2.1 測試路網說明

50 節點路網為一虛擬路網，此路網為進行功能測試所設計。此路網由 172 條節線、50 個節點及 10 個分區所組成。除市區道路外，中間並設有高速公路以及上下匝道，亦設有定時號誌，路網的設定如表 4 所示。定時號誌的初始值假設為兩時相，週期時間均假設為 120 秒。

#### 4.2.2 路網測試實驗設計

在模式實驗測試前，首先針對虛擬 50 節點路網，透過不同的情境設定，以數值實驗進行演算法的績效評估。為避免路網隨機性的車輛需求影響研究的數值分析，假設車輛需求為固定數以利分析。

表 4 50 節點路網屬性設定值

屬性	項目	假設值
節線屬性	長度	高速公路：1,000 公尺 市區道路：500 公尺 匝道：500 公尺
	速限	高速道路：100 公里/小時 市區道路：50 公里/小時 匝道：40 公里/小時
	道路屬性	高速公路 上匝道 下匝道 市區道路（有中央無快慢分隔島）
	車道數	高速道路：3 線道 市區道路：2 線道 匝道：2 線道
	飽和流率	0.5veh/sec
號誌設定	號誌型態	34 個定時號誌 週期時間:120 sec 時相數：2 綠燈時間：55sec 黃燈時間：5sec

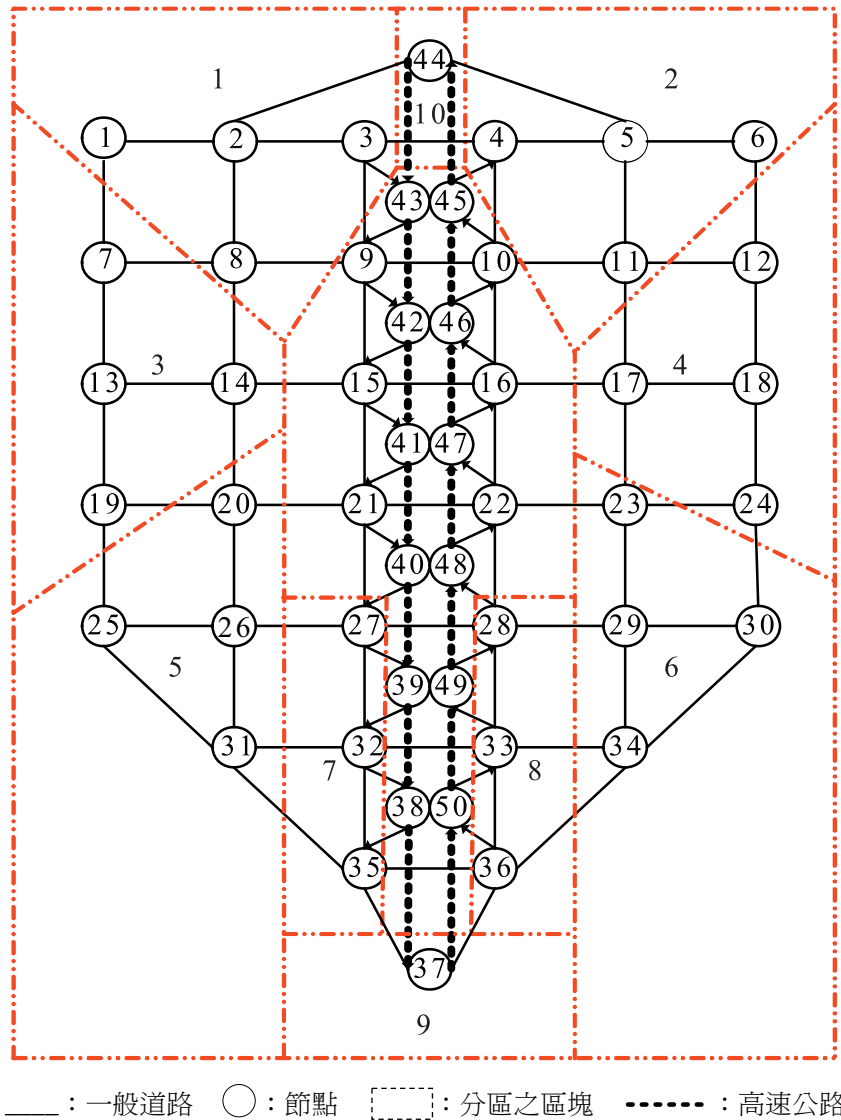


圖 7 50 節點路網圖

在車流型態的設定上，50 節點路網假定為常態型態，則主要假設車流分布有如常態分配，考慮在遇到交通壅塞情況下，連鎖後在路網中的績效變化。需求時段設為 10 個時段，共連續產生 50 分鐘。圖 8 為車輛需求型態為常態型態之示意圖，顯示常態車流的產生為近似常態分配。



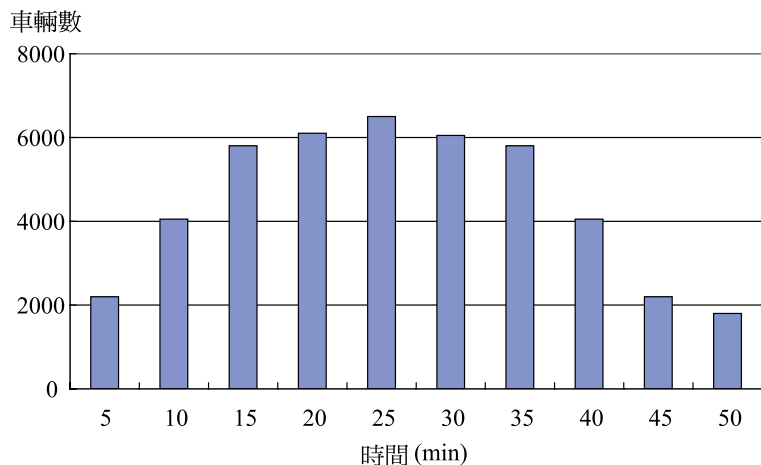


圖 8 車輛需求型態為常態型態示意圖

為探討演算法在不同車輛數下，路網績效的變化，利用 DynaTAIWAN 在欲進行實驗路網中進行模擬，逐步增加車輛數，觀察不同車輛數下，路網的平均旅行時間以及平均停等時間，並取三個具有代表性的車流數量，區分成流量情境 A、B 及 C 三種流量。

在 50 節點常態的車流型態下進行同樣的多次模擬，由表 5 觀察發現，在常態車流型態下，隨著車輛數的增加，路網車輛的平均旅行時間以及平均停等時間都會隨著增加，因此挑選出的三個對應平均旅行時間及平均停等時間，都有明顯差距的車輛數，區分為流量情境 A、B 及 C 三種流量，作為以下測試的情境設定。

表 5 常態型態下 50 節點路網車輛數量變化系統績效表

車輛數		平均旅行時間 (min/veh)	平均停等時間 (min/veh)	平均旅行距離 (m/veh)
	汽車	總平均	總平均	總平均
流量情境 A	32,627	13.16	10.3	2,769.04
流量情境 B	40,783	26.02	20.39	2,826.13
流量情境 C	48,922	34.22	24.55	2,827.89

#### 4.2.3 幹道連鎖數值測試—經驗法則

在 50 節點路網中選取四條幹道分別進行號誌連鎖，不考慮任何路網條件，選取幹道連鎖，幹道如下圖 9 所示。

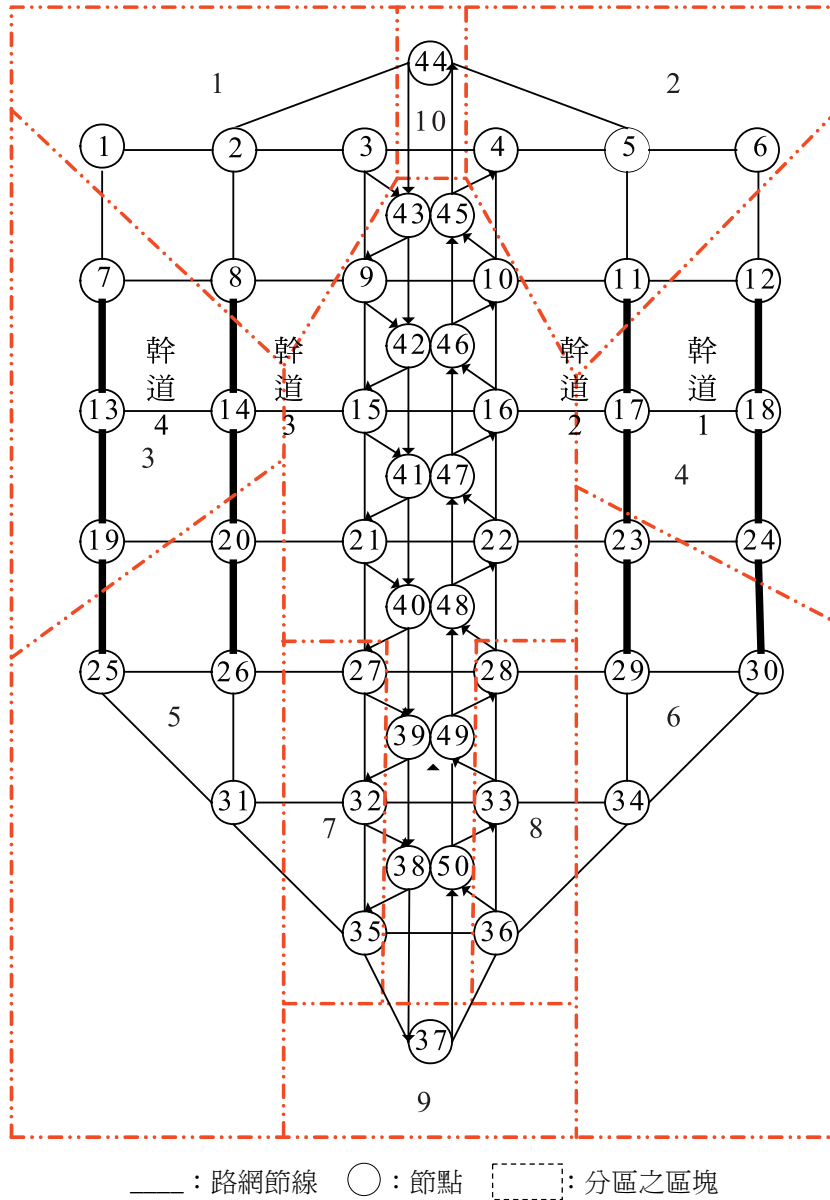


圖 9 50 節點路網幹道圖

根據以上的實驗假設，所要進行的實驗組成如下表 6：

表 6 50 節點路網經驗法則選取幹道實驗設計

選取路網	需求型態	車流量	幹道選取情境	實驗代號
50 節點 路網	常態 型態	情境 A	幹道一	50-N-A-1
			幹道二	50-N-A-2
			幹道三	50-N-A-3
			幹道四	50-N-A-4
		情境 B	幹道一	50-N-B-1
			幹道二	50-N-B-2
			幹道三	50-N-B-3
			幹道四	50-N-B-4
		情境 C	幹道一	50-N-C-1
			幹道二	50-N-C-2
			幹道三	50-N-C-3
			幹道四	50-N-C-4

利用 50 節點測試路網進行的實驗設計，在常態車流型態下，依經驗法則選取幹道對應流量情境 A、B 及 C 的車流量所作的模擬測試，數值結果如表 7。

表 7 50 節點經驗法則選取連鎖數值實驗分析結果（常態）

單位：min/veh

實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比
連鎖前	13.16		連鎖前	26.02		連鎖前	34.22	
50-N-A-1	12.42	6%	50-N-B-1	21.43	18%	50-N-C-1	37.16	-9%
50-N-A-2	13.27	-1%	50-N-B-2	20.46	21%	50-N-C-2	X	
50-N-A-3	12.7	3%	50-N-B-3	20.04	23%	50-N-C-3	34.4	-1%
50-N-A-4	13.86	-5%	50-N-B-4	20.76	20%	50-N-C-4	38.64	-13%

如表 7 所示，在常態的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。利用經驗法則選取幹道進行連鎖後，在情境 B 下最多能獲得 23% 的改善。在情境 C 下選取第二條幹道進行連鎖後，會造成車輛壅塞在路網中，無法獲得完全的紓解。整體看來在情境 C 時，經驗法則選取幹道皆呈現負效用。

#### 4.2.4 路段演算法數值測試

利用 DynaTAIWAN 模擬後產生路網各路段的車流量資訊，研究中路段選取的比例採用 50%，選用路網中占有 50%車流量的路段進行連結，形成選取連鎖的幹道。圖 10 顯示出由路段演算法挑選出的連鎖幹道，所要進行的實驗組成如下表 8 所示。

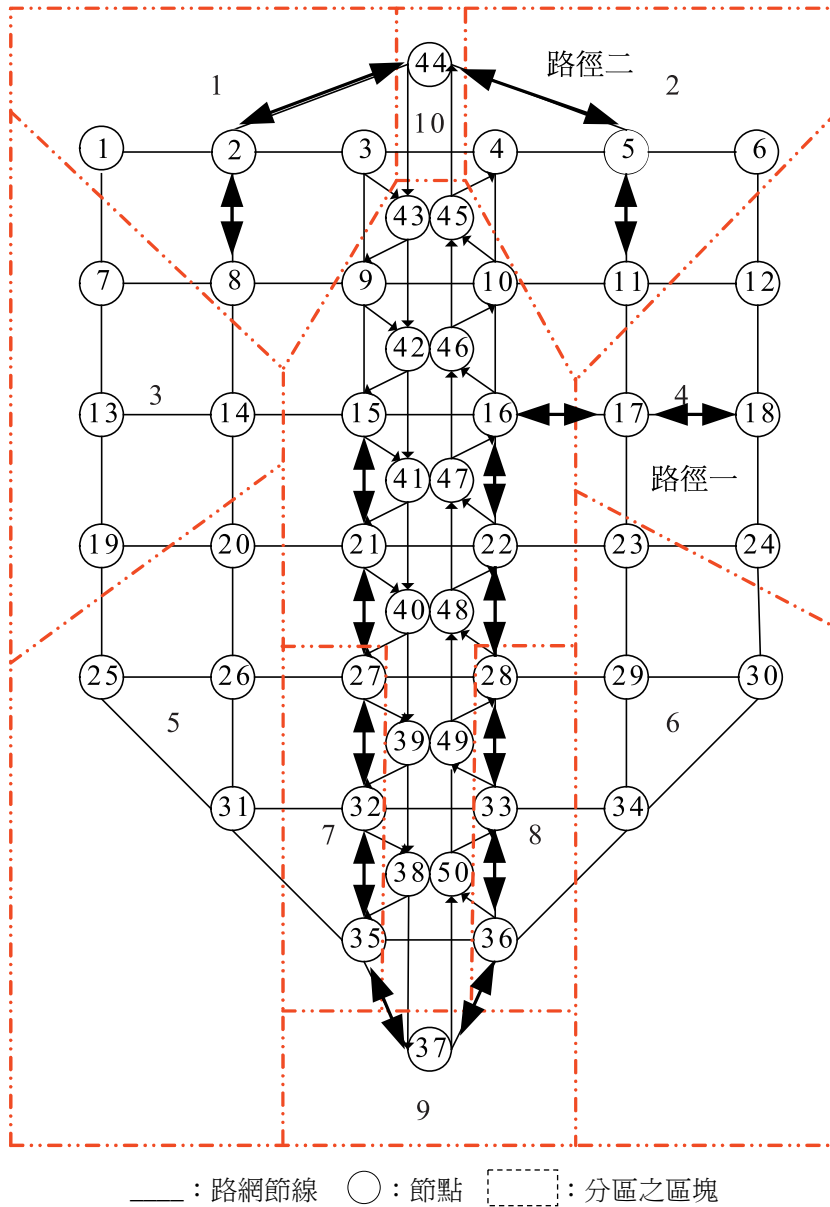


圖 10 50 節點路網幹道圖

表 8 50 節點路網路段演算法實驗設計

選取路網	需求型態	車流量	幹道選取情境	實驗代號
50 節點 路網	常態型態	流量情境 A	幹道一	50-N-A-L1
			幹道二	50-N-A-L2
			幹道一＋幹道二	50-N-A-L3
		流量情境 B	幹道一	50-N-B-L1
			幹道二	50-N-B-L2
			幹道一＋幹道二	50-N-B-L3
		流量情境 C	幹道一	50-N-C-L1
			幹道二	50-N-C-L2
			幹道一＋幹道二	50-N-C-L3

為利用 50 節點測試路網進行的實驗設計，在常態車流型態下，利用路段演算法選取幹道連鎖，對應流量情境 A、B 及 C 的車流量所作的模擬測試，數值結果如表 9：

表 9 50 節點路段演算法數值實驗分析結果（常態）

單位：min/veh

實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比
連鎖前	13.16		連鎖前	26.02		連鎖前	34.22	
50-N-A-L1	13.43	-2%	50-N-B-L1	19	27%	50-N-C-L1	32.85	4%
50-N-A-L2	13.56	-3%	50-N-B-L2	24.27	7%	50-N-C-L2	35.06	-2%
50-N-A-L3	13.71	-4%	50-N-B-L3	21.95	16%	50-N-C-L3	30.82	10%

如表 9 所示，在常態的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。利用路段選取演算法選取幹道連鎖後，在情境 A 下，皆無法獲得改善，在情境 B 下會產生較佳的效果，最多能獲得 27% 的改善，在情境 C 下雖可能產生負效用，但最佳亦可獲得 10% 的改善。

#### 4.2.5 路徑演算法數值測試

利用 DynaTAIWAN 進行模擬後，產生某時間內的車輛軌跡資訊，研究中將車輛軌跡資料進行 O-D 分群，由流量高至低挑選連鎖幹道。圖 11 顯示出由路徑演算法挑選出的連鎖幹道，所要進行的實驗組成如下表 10 所示。

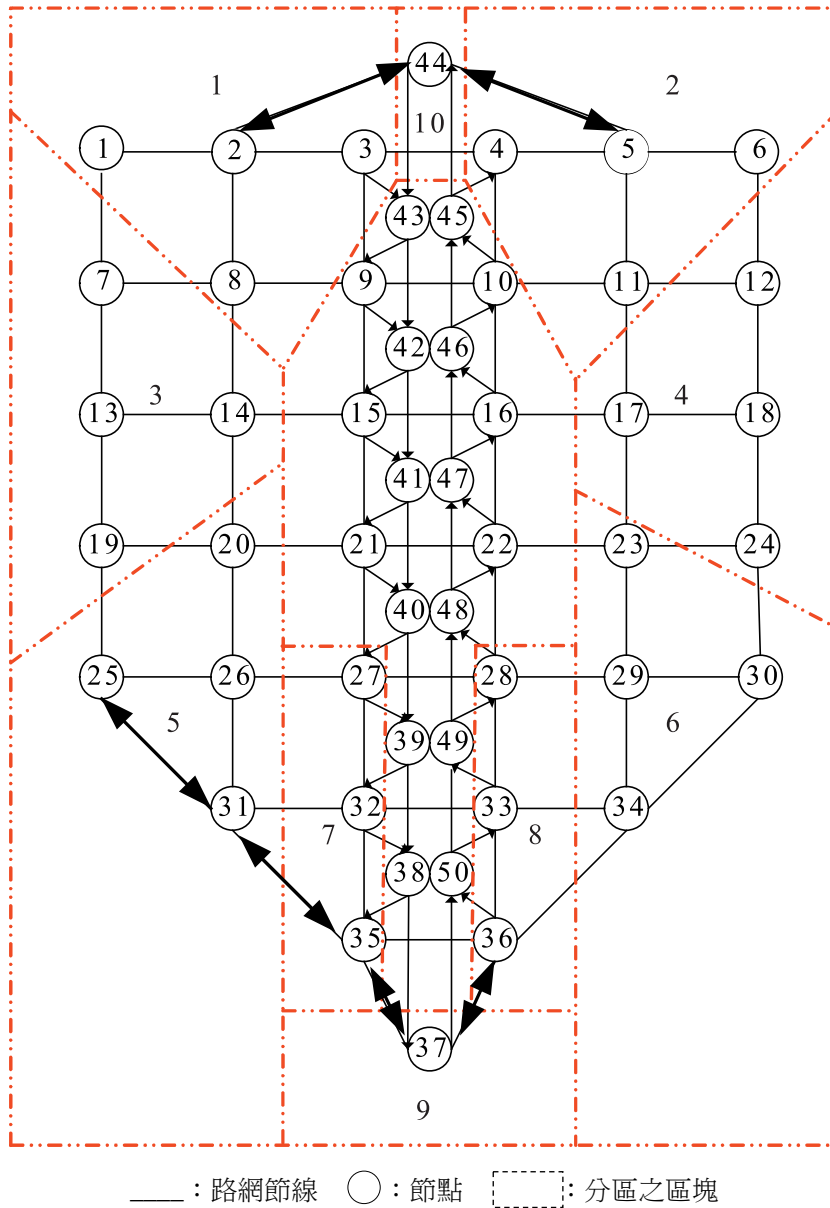


圖 11 50 節點路網幹道圖

在常態車流型態下，利用路徑演算法選取幹道連鎖，對應流量情境 A、B、C 的車流量所作的模擬測試，週期時間如表，數值結果如表 11。

表 10 50 節點路網路徑演算法實驗設計

選取路網	需求型態	車流量	幹道選取情境	實驗代號
50 節點 路網	常態型態	流量情境 A	幹道一	50-N-A-R1
			幹道二	50-N-A-R2
			幹道一+幹道二	50-N-A-R3
		流量情境 B	幹道一	50-N-B-R1
			幹道二	50-N-B-R2
			幹道一+幹道二	50-N-B-R3
		流量情境 C	幹道一	50-N-C-R1
			幹道二	50-N-C-R2
			幹道一+幹道二	50-N-C-R3

表 11 50 節點路徑演算法數值實驗分析結果（常態）

單位：min/veh

實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比
連鎖前	13.16		連鎖前	26.02		連鎖前	34.22	
50-N-A-R1	13.01	1%	50-N-B-R1	25.12	3%	50-N-C-R1	31.83	7%
50-N-A-R2	12.84	2%	50-N-B-R2	20.98	19%	50-N-C-R2	34.43	-1%
50-N-A-R3	12.23	7%	50-N-B-R3	21.23	18%	50-N-C-R3	32.37	5%

如表 11 所示，在常態的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。利用路徑演算法進行連鎖後，在情境 B 下最多能獲得 19% 的改善。在流量情境 A、C 下，最多能獲得 7% 的改善。

### 4.3 數值分析與討論

表 12 中將表 7、9、11 中最佳的方案結果進行綜合比較分析，主要呈現常態車流型態下不同車流量狀態與不同的幹道選取方式作比較。在經驗法則下，流量情境 A 最佳方案為幹道一的連鎖；流量情境 B、C 最佳方案為幹道三的連鎖。在路段演算法則下，流量情境 A、B 流量最佳方案為方案一（L1）的連鎖；流量情境 C 最佳方案為方案三（L3）的連鎖。在路徑演算法則下，流量情境 A 最佳方案為方案三（R3）的連鎖；流量情境 B 最佳方案為方案二（R2）；流量情境 C 最佳方案為方案一（R1）。

表 12 50 節點模擬數值最佳方案改善綜合比較表

車流型態	常 態		
	經驗法則	路段演算	路徑演算
車流量			
流量情境 A	6%	-2%	7%
流量情境 B	23%	27%	19%
流量情境 C	-1%	10%	7%

如表 12 所示，在常態車流型態下，依經驗法則選取幹道連鎖下，能獲得較高 23% 的改善。在路段演算法選取幹道連鎖下，最高 27% 的改善。在路徑演算法連鎖下，能獲得最高 19% 的改善。

利用數值測試推論在路網號誌設計時，採用演算法進行幹道連鎖所帶來的效益，可歸納以下結論：

1. 50 節點虛擬路網目的為基本驗證的測試，透過此路網探討演算法如何應用在路網上，包含路段流量與幹道連鎖的計算，並針對可能產生的問題，先加以探討與對程式進行基本的驗證。其分析結果僅為單一路網之說明，尚無法延伸至一般化之路網。
2. 根據數據顯示，在常態車流型態下，不論利用何種選取方式，幹道進行號誌連鎖幾乎都能獲得較明顯的改善。因此，在交通尖峰狀態下，號誌連鎖獲得的效益較為顯著。
3. 比較不同連鎖幹道選取法的績效，在 50 節點路網中，路段演算法優於經驗法則選取及路徑選取演算。探究其原因，經驗法則選取幹道由於並未以車流量作考量，因此，幹道連鎖後，未必能獲得路網績效的改善。路徑演算法在本研究中，是以 O-D 分區進行幹道挑選，跨區間的車輛軌跡重疊則未被考慮於其中。

## 五、實際路網的測試

本節介紹臺中市路網基本幾何資料、實驗設計與情境設定，及經驗法則數值測試結果、路段演算法測試結果以及路徑演算法測試結果。

### 5.1 路網說明

實驗所採用的臺中市路網為利用電子地圖加以數化而成，如圖 12 所示，共計有 128 個交通分區、729 個節點（含八個區外節點）、以及 2349 條節線。路網以臺中市為中心，範圍包含有沙鹿、大雅、潭子、豐原、太平、大里、烏日、大肚及龍井部分區域。另外市區與區外聯結的道路，包含為臺 3 省道、臺 10 省道、臺 12 省道、臺 63 省道、臺 74 省道以及中山高速公路。臺中區域路網之流量需求資料，係以民國 84 年臺中都會區的旅次資



料為基礎，並配合本研究交通分區之範圍考慮旅次資料的產生。在模擬實驗中，主要目的為觀察在實際路網結構下，幹道選取方式與可能效益間的關係。

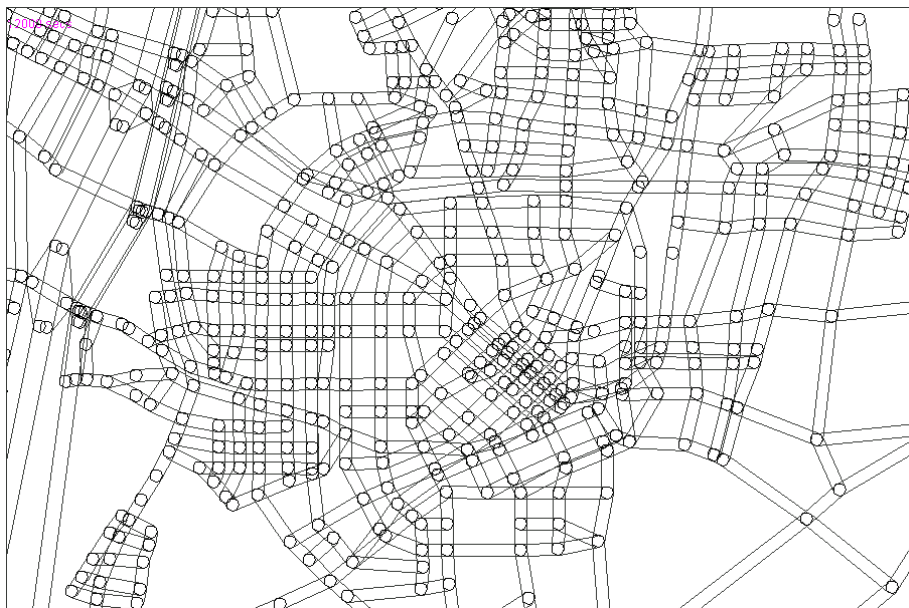


圖 12 臺中市路網圖

## 5.2 路網測試實驗設計

在連鎖號誌模式實驗測試前，針對臺中市路網透過不同的情境設定，進行數值實驗。為避免路網隨機性的車輛需求影響研究的數值分析，此研究將需求固定。臺中市路網車輛需求型態為實際路網的交通情況，因此車流型態具有尖離峰特性，將需求時段設為 5 個時段，共連續產生 50 分鐘。

為探討演算法在不同車輛數下路網績效的變化，逐步增加車輛數觀察不同車輛數下，路網的平均旅行時間以及平均停等時間，並取三個具有代表性的車流數量，區分成流量情境 A、B 及 C 三種流量進行模擬測試。

結果如表 13 所示，車輛總數由 25,365 輛增加到 69,643 輛時，平均旅行時間由 8.79 分鐘增加到 12.57 分鐘，平均停等時間由 3.1 分鐘增加到 7.03 分鐘，平均旅行距離由 5,672.55 公尺減少至 5,069.03 公尺。車輛總數由 69,643 輛增加到 105,383 輛時，平均旅行時間由 12.57 分鐘增加到 17.77 分鐘，平均停等時間由 7.03 分鐘增加到 11.97 分鐘，平均旅行距離由 5,069.03 公尺減少到 4,967 公尺。從數值當中發現在尖峰時段下，隨著車輛數的增加，路網車輛的平均旅行時間以及平均停等時間都會隨著增加。

表 13 臺中市路網車輛數量變化系統績效表

車輛數		平均旅行時間 (min/veh)	平均停等時間 (min/veh)	平均旅行距離 (m/veh)	平均行駛速度 (km/hr)
流量情境 A	25,365	8.79	3.1	5,672.55	38.72
流量情境 B	69,643	12.57	7.03	5,069.03	24.2
流量情境 C	105,383	17.77	11.97	4,967	16.77

### 5.3 幹道連鎖數值測試—經驗法則

臺中市路網選取的幹道為中港路及大雅路，其相關位置如圖 13 所示，中港路可通往市中心又可連接交流道，為臺中最重要的道路。大雅路則與中港路平行，同樣也是臺中市重要道路之一。因此，本實驗選擇此兩條幹道進行連鎖模擬測試，實驗組成包括低、中、高流量 (L、M、H)，幹道選擇編碼 1、2、3，分別代表中港路、大雅路與兩條幹道。表 14 為透過連鎖模式計算後，產生的連鎖號誌時制。

臺中市路網在具有尖峰的車流型態下，依經驗法則選取幹道連鎖，對應流量情境 A、B 及 C 的車流量所作的模擬測試，數值結果如表 15 所示，在具有尖峰的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。由數值實驗結果觀察，在流量情境 A、B 及 C 下，依經驗法則選取幹道進行連鎖幾乎無法獲得改善，探究其原因認為連鎖的幹道雖有許多車流，但或許連鎖的幹道過短或車流量占整體路網的比例小，因此連鎖後對整體車流並無明顯改善。

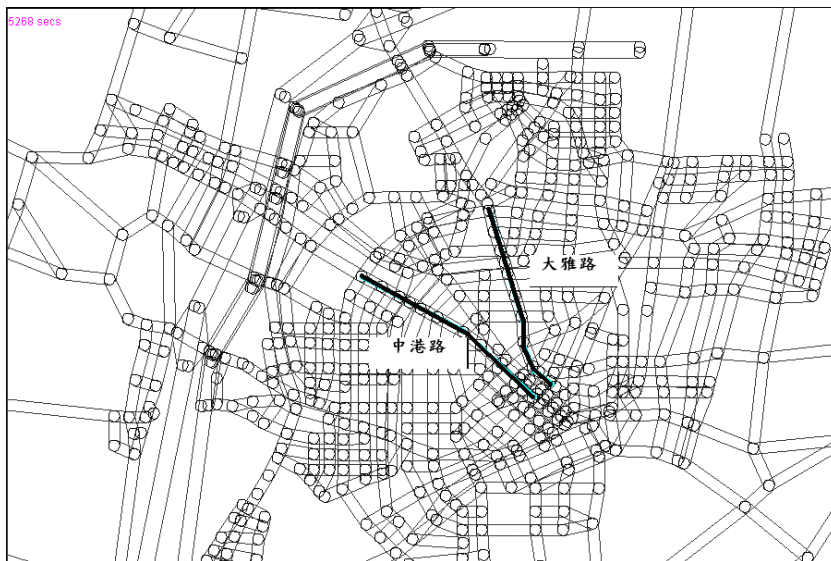


圖 13 臺中市路網幹道示意圖

表 14 臺中市路網經驗法則連鎖時制

單位：sec

實驗代號	週期 時間	路口時差													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T-A-L1	180	0	150	65	60	45	75	145	125	150	65	75	95	75	70
T-A-L2	95	0	65	30	10	10	50	30	80	55	50	45	5	15	
T-B-L1	175	0	145	40	50	15	35	135	110	145	60	45	50	45	60
T-B-L2	95	0	45	90	90	5	45	70	10	60	50	45	5	20	
T-C-L1	130	0	30	45	45	115	105	45	50	115	0	115	55	55	70
T-C-L2	95	0	40	90	85	0	35	60	90	60	50	45	5	20	

表 15 臺中市路網經驗法則連鎖數值結果

單位：min/veh

實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比
連鎖前	8.79		連鎖前	11.91		連鎖前	17.77	
T-A-1	8.78	0%	T-B-1	11.97	-1%	T-C-1	17.85	0%
T-A-2	8.78	0%	T-B-2	11.91	0%	T-C-2	17.65	1%
T-A-3	8.78	0%	T-B-3	12.01	-1%	T-C-3	17.56	1%

#### 5.4 路段演算法數值測試

利用首先利用路段的車流量資訊，將路段依流量進行排列，根據輸入的選取比例挑選出路段並連結形成幹道，幹道組合成各種可能的模擬方案。本節將針對所有可能的方案進行模擬，探討數值結果並進行比較。研究中路段選取的比例採用 50%，選用路網中占有 50%車流量的路段。圖 14 顯示出由路段演算法挑選出兩條連鎖幹道，形成的的實驗組成如下表 16 所示，表 17 為透過連鎖模式計算後，產生的連鎖號誌時制，包含幹道的連鎖週期以及時差。

在臺中市路網具有尖峰的車流型態下，利用路段選取驗算法連鎖，對應流量情境 A、B 及 C 所作的模擬測試，數值結果如下表 18 所示，在具有尖峰的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。由數值實驗結果觀察，在低、中、高流量下，依路

段演算法進行連鎖，在流量情境 A 會獲得些許改善，流量情境 C 時進行連鎖，整體路網的改善較為明顯，最多可獲得 4% 的改善。路段演算法相較於經驗法則連鎖後較能獲得正效用，在擁擠的高流量下，透過路段演算法選取幹道，連鎖後能紓解路網中大部分車流，降低整體路網中每部車輛的平均旅行時間。

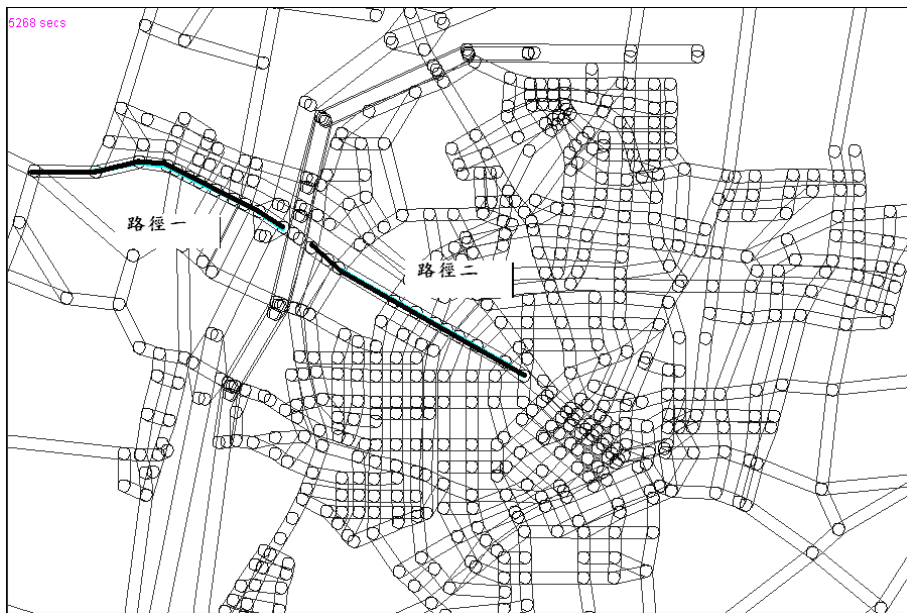


圖 14 臺中市路網幹道圖

表 16 臺中市路網尖離峰型態路段演算法實驗設計

車流量	幹道選取情境	實驗代號
流量情境 A	路徑一	T-A-L1
	路徑二	T-A-L2
	路徑一＋路徑二	T-A-L3
流量情境 B	路徑一	T-B-L1
	路徑二	T-B-L2
	路徑一＋路徑二	T-B-L3
流量情境 C	路徑一	T-C-L1
	路徑二	T-C-L2
	路徑一＋路徑二	T-C-L3

表 17 臺中市路網路段演算法連鎖時制

單位：sec

實驗代號	週期 時間	路口時差											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T-A-L1	120	0	115	50	45	55	115	100	105	110	40	105	75
T-A-L2	160	0	145	65	60	65	60	150	65	75	75		
T-B-L1	110	0	30	25	25	95	80	90	25	25	90	35	0
T-B-L2	165	0	155	65	80	65	65	155	75	85	75		
T-C-L1	110	0	35	20	20	95	80	90	30	20	90	35	0
T-C-L2	165	0	150	65	60	55	65	155	70	85	70		

表 18 臺中市路網路段演算法數值實驗分析結果

單位：min/veh

實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比	實驗代號	路網平均 旅行時間	改善 百分比
連鎖前	8.79		連鎖前	12.57		連鎖前	17.77	
T-A-L1	8.71	1%	T-B-L1	12.38	2%	T-C-L1	17.15	3%
T-A-L2	8.77	0%	T-B-L2	12.78	-2%	T-C-L2	17.82	0%
T-A-L3	8.73	1%	T-B-L3	12.7	-1%	T-C-L3	17.05	4%

## 5.5 路徑演算法數值測試

利用車輛軌跡資訊，將所有資訊依 OD 分群，在分群中找出車輛共同行駛路徑並作流量加總，輸入的篩選比例挑選出幹道，最後，將所有幹道組合成各種可能的模擬方案。研究中，路徑選取的比例採用 25%，選用路網中 25% 的路徑數。圖 15 顯示出由路徑演算法挑選出三條連鎖幹道，進行模擬的實驗組成如下表 19 所示，表 20 為透過連鎖模式計算後，產生的連鎖號誌時制。



圖 15 臺中市路網幹道圖

表 19 臺中市路網路徑演算法實驗設計

需求型態	車流量	幹道選取情境	實驗代號
尖離峰 型態	情境 A	路徑一	T-A-R1
		路徑二	T-A-R2
		路徑三	T-A-R3
		路徑一+路徑二	T-A-R4
		路徑一+路徑三	T-A-R5
		路徑二+路徑三	T-A-R6
		路徑一+路徑二+路徑三	T-A-R7
	情境 B	路徑一	T-B-R1
		路徑二	T-B-R2
		路徑三	T-B-R3
		路徑一+路徑二	T-B-R4
		路徑一+路徑三	T-B-R5
		路徑二+路徑三	T-B-R6
		路徑一+路徑二+路徑三	T-B-R7
	情境 C	路徑一	T-C-R1
		路徑二	T-C-R2
		路徑三	T-C-R3
		路徑一+路徑二	T-C-R4
		路徑一+路徑三	T-C-R5
		路徑二+路徑三	T-C-R6
		路徑一+路徑二+路徑三	T-C-R7

表 20 臺中市路網路徑演算法連鎖時制

單位：sec

實驗代號	週期時間	路口時差							
		1	2	3	4	5	6	7	8
T-A-R1	180	0	160	145	100				
T-A-R2	170	0	60	60	90	95	85	165	0
T-A-R3	130	0	125	120	50	60			
T-B-R1	165	0	5	35	100				
T-B-R2	115	0	5	100	110	60	50	105	55
T-B-R3	155	0	150	135	55	65			
T-C-R1	165	0	140	45	100				
T-C-R2	115	0	110	95	110	60	50	110	50
T-C-R3	155	0	150	135	55	70			

在臺中市路網在具有尖峰的車流型態下，利用路徑演算法連鎖，對應流量情境 A、B 及 C 所作的模擬測試，數值結果如下表 21 所示，在具有尖離峰的車流型態下，隨著流量的增加，平均旅行時間有增加的趨勢。由數值實驗結果觀察，在流量情境 A、B 及 C 下，依路徑演算法進行連鎖，由數據指出流量情境 A、B 及 C 皆能獲得改善，其中流量情境 B 及 C 都可獲得最多 9% 的改善。將路徑演算法與前兩種選取幹道方式進行比較，發現透過路徑演算法進行幹道連鎖，整體路網減少較多的旅行時間，且在流量情境 B 及 C 情況下，改善的幅度都相當顯著，意味路徑演算法能選取道路網中流量較高的幹道，路網中大部分的車輛獲得紓解後，整體路網的績效也較佳。

表 21 臺中市路網路徑演算法數值實驗分析結果

單位：min/veh

實驗代號	路網平均旅行時間	改善百分比	實驗代號	路網平均旅行時間	改善百分比	實驗代號	路網平均旅行時間	改善百分比
連鎖前	8.79		連鎖前	12.57		連鎖前	17.77	
T-A-R1	8.74	1%	T-B-R1	11.48	9%	T-C-R1	16.18	9%
T-A-R2	8.71	1%	T-B-R2	12.38	2%	T-C-R2	17.15	3%
T-A-R3	8.74	1%	T-B-R3	11.67	7%	T-C-R3	16.53	7%
T-A-R4	8.65	2%	T-B-R4	11.38	9%	T-C-R4	16.22	9%
T-A-R5	8.85	-1%	T-B-R5	12.07	4%	T-C-R5	17.3	3%
T-A-R6	8.67	1%	T-B-R6	11.53	8%	T-C-R6	16.37	8%
T-A-R7	8.73	1%	T-B-R7	11.92	5%	T-C-R7	17.2	3%

## 5.6 數值分析與討論

將流量情境 A、B 及 C 對應不同的幹道選取方式進行綜合比較，數值結果如表 22 所示，依經驗法則選取幹道連鎖下，可獲得最高 1% 的改善，在路段演算法進行幹道連鎖下，能獲得 4% 的改善，在路徑演算法幹道連鎖下能獲得最高 9% 的改善。兩演算法選取幹道，整體路網績效皆為正向改善，尤其當車流量提高時，效果則越明顯。

表 22 臺中市路網模擬數值綜合比較表

車流型態	尖離峰		
	經驗法則	路段演算	路徑演算
車流量			
流量情境 A	0%	1%	1%
流量情境 B	0%	2%	9%
流量情境 C	1%	4%	9%

利用臺中市路網進行實驗，透過數值測試推論在路網號誌設計時，採用研究發展模式進行路網時制設計所帶來的效益，可歸納出以下結論：

1. 臺中市路網目的為觀察實際路網下時制設計的測試，透過此路網探討演算法如何應用在實際路網上，包含路段流量與幹道連鎖的計算。然而在實際路網下仍有許多虛擬資料的使用，其分析結果僅為城市路網之應用探討說明，尚無法直接應用於實務時制設定，未來在實務應用上仍有許多待探討的課題。
2. 利用真實的路網資料進行數值模擬測試後發現，幹道連鎖對整體路網幾乎都能獲得改善，而研究發展的兩個演算法在實際運用上皆能使得路網獲得改善。
3. 整體比較不同選取法產生的績效，路徑演算法優於經驗法則及路段演算法，探究其原因，經驗法則選取幹道由於並未以車流量作考量，因此挑選幹道獲得的效益也較小。路段演算法並非由車輛軌跡進行連鎖，而單以流量來考慮，因此，連結成的連鎖幹道或許無法反應實際車流情況，導致效益較小。
4. 在臺中市路網中，透過路徑演算法選取的幹道產生轉彎連鎖，可能原因在於所蒐集到實際車流資訊，其大部分車輛為通勤車輛，因此連鎖的路徑皆環繞在高速公路附近，上下高速公路的行駛路徑湧入大部分車流。
5. 研究中，針對路網進行連鎖時，轉彎連鎖與直行連鎖並無差異，依據路口車流流向及流量作時制及時差的調整，研究暫無考量禁止左轉的交通策略。



## 六、結論與建議

本研究主要利用路段流量與車輛軌跡資料建立演算法並挑選出路網中的幹道，利用連鎖模式對幹道進行號誌連鎖，分析整體路網的績效變化，找出路網中最適的號誌時制設計。研究使用交通模擬指派軟體 DyanTAIWAN，進行 50 節點虛擬路網及臺中市路網的數值測試。本研究提出以下的結論及建議未來可行的研究方向：

1. 在路網中，利用流量較高的行駛路段進行路段連結，可簡單地找出連鎖的幹道，在運算上較為快速且資料易取得，連鎖後也能改善路網整體的績效。但由於並非由車輛軌跡進行連鎖，而單以流量來考慮，可能造成連鎖的幹道並非最佳。
2. 研究發現，利用路段及路徑演算法選取幹道連鎖後，路網中的車流能獲得明顯的改善，顯示路段流量、車輛軌跡皆可為號誌控制時，考量號誌連鎖的資料之一。
3. 路段及路徑等兩套演算法，在較低流量下連鎖績效並無明顯的改善。主要是因為整體路網的車流延滯較低，在整體路網的平均旅行時間觀察下，旅行時間並無有效的改善。
4. 利用路段演算法雖不一定能獲得較佳的路徑進行連鎖，但同樣能獲得路網績效的改善，相較於路徑演算法須獲得每筆車輛的 O-D 資訊，且很難提升程式運算效率，故其演算法有其實用的價值。
5. 路徑演算法由於必須記錄每一輛車的行駛路徑，在運算上所佔的電腦記憶體較大且運算時間較久，但能準確了解車輛行駛的路徑方向，可以避免路段演算法只有單一路段流量較高，選取的幹道連鎖後，阻礙了主要的車流行進。
6. 研究為避免過多的隨機性需求車輛影響演算的數值測試，在此研究中將其設定為固定值，未來可以使用統計方法進行檢定，評估演算法的適用性。
7. 研究中的幹道連鎖模式並未考慮本土的機車車流特性，未來可以加入適合的機車車流模式，使其更能反應現實交通狀況，以作為適當的號誌時制設計。
8. 研究中，號誌連鎖模式採用爬山尋優法進行最佳時制尋優，但此一演算法並不一定能獲得整體最佳解，未來可以加入其他演算法於模式中，改善路網績效及電腦運算時間。
9. 在 ITS 的發展下，車輛偵測技術雖然已有大幅的突破與實際應用，本研究所提出的路段演算法假設在路網的所有路段上布設車輛偵測器，路徑演算法假設交控系統能掌握車輛行駛軌跡，未來在應用上與理論上仍有許多待探討的課題。

## 參考文獻

1. Little, J. D. C., Kelson, M. D., and Gartner, N. H., "MAXBAND : A Program for Signals on Arterial and Triangular Network", *Transportation Research Record*, Vol. 795, 1981, pp. 40-46.
2. Gartner, N. H., Assmann, S. F., Lasaga, F. L., and Hou, D. L., "A Multi-Band Approach to

- Arterial Traffic Signal Optimization”, *Transportation Research Part B*, Vol. 25, No. 1, 1991, pp. 55-74.
3. Husch, D. and Albeck, J., “Synchro 6: Traffic Signal Software”, User Guide, Albany, Calif, 2003.
  4. Yang, X. K., “Comparison among Computer Packages in Providing Timing Plans for Iowa Arterial in Lawrence, Kansas”, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 127, No. 4, 2001, pp. 311-318.
  5. Tian, Z., Urbanik, T., and Gibby, R., “Application of Diamond Interchange Control Strategies at Closely-Spaced Intersections”, *Transportation Research Record*, Vol. 2035, 2007, pp. 32-39.
  6. Martin-Lof, A., “Computation of an Optimal Control for a Signalized Traffic Intersection”, *Transportation Science*, Vol. 1, No. 1, 1967, pp. 1-5.
  7. Michalopoulos, P. G. and Stephanopoulos, G., “Oversaturated Signal System with Queue Length Constraints-I.”, *Transportation Research*, Vol. 11, 1977, pp. 413-421.
  8. 蔡輝昇、邱大恭，「以數學規劃模式求解獨立交叉路口號誌時制計畫」，*運輸計劃季刊*，第 16 卷，第 3 期，民國 76 年，頁 485-496。
  9. 饒立國、曹壽民，「號誌群組間時差特性分析」，*中國土木水利工程學刊*，第 7 卷，第 2 期，民國 84 年，頁 247-252。
  10. 林良泰，「以續進為目標之號誌群組間時差連鎖設計」，*運輸計劃季刊*，第 16 卷，第 3 期，民國 76 年，頁 1-22。
  11. 林良泰、楊杰興、黃宏仁，「以續進最大化為主延滯最小化為輔之程序性群組間時差設計」，*運輸計劃季刊*，第 30 卷，第 4 期，民國 90 年，頁 795-822。
  12. Gartner, N. H. and Stamatiadis, C., “Arterial-Based Control of Traffic Flow in Urban Grid Networks”, *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 35, 2002, pp. 657-671.
  13. Chang, T. and Sun, G., “Modeling and Optimization of an Oversaturated Signalized Network”, *Transportation Research Part B*, Vol. 38, 2004, pp. 687-707.
  14. Wey, W. M., “Model Formulation and Solution Algorithm of Traffic Signal Control in an Urban Network”, *Computers Environment and Urban Systems*, Vol. 24, 2000, pp. 355-377.
  15. 賴靜慧，「SOAP84 時制設計套裝軟體之最佳時相選擇系統」，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國 77 年。
  16. 蔡輝昇，*交通控制理論與實務*，初版，生合成出版社，臺北市，民國 79 年。
  17. 黃月貞，「模擬微觀混合車流下幹道號誌連鎖策略之研究」，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，民國 91 年。
  18. Chang, E. C. P., Cohen, S. L., Liu, C., Chaudhary, N. A., and Messer, C., “MAXBAND-86: Program for Optimizing Left Turn Phase Sequence in Multiarterial Closed Networks”, *Transportation Research Record*, Vol. 1181, 1988, pp. 61-67.
  19. Stamatiadis, C. and Gartner, N. H., “MULTIBAND-96: A Program for Variable-Bandwidth Progression Optimization of Multiarterial Traffic Networks”, *Transportation Research Records*,

Vol. 1554, 1996, pp. 9-14.

20. Chaudhary, N. A., Pinnoi, A., and Messer, C. J., "Proposed Enhancements to MAXBAND-86 Program", *Transportation Research Record*, Vol. 1324, 1991, pp. 98-104.
21. 王筱如, 「PASSER-II 模式理論及其與 MAXBAND-TRANSYT-7F 應用於幹道號誌時制設計之比較研究」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 74 年。
22. 交通部運輸研究所, 微電腦在運輸規劃上之應用-PASSER-II 模式應用手冊, 民國 76 年。
23. 鄭銘興, 「帶寬極大化理論之探討與 PASSER II -84 模式之改良應用」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 77 年。
24. 石家豪, 「幹道號誌續進式時制設計模式之開發研究」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 90 年。
25. 毛啟明, 「美國式 TRANSYT 模式之理論與發展」, *運輸計劃季刊*, 第 11 卷, 第 1 期, 民國 71 年, 頁 1-33。
26. 陳昭宏, 「發展新 TRANSYT-7F 模式以加速程式運算之研究—配合國內動態電腦號誌之使用」, 國立成功大學碩士論文, 民國 76 年。
27. 王國材, 「發展新 TRANSYT-7F 模式以應用於國內動態電腦號誌系統時制設計之研究」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 77 年。
28. 林呂相, 「應用遺傳演算法於 TRANSYT 模式以求解網路最佳時制計畫」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 72 年。
29. 林良泰、許乃文、賴建宇、鄭秀綾, 「號誌時制設計軟體 Synchro 之評析與應用」, *都市交通季刊*, 第 17 卷, 第 1 期, 民國 91 年, 頁 16-30。
30. 何志宏, 「Synchro 時制分析軟體之教學與應用」, 93 年度交通工程人才培訓課程, 民國 93 年。



# 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。
- 四、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，且參考文獻內容必須依本刊規定格式完整無缺列入。參考文獻中，英文之逗點、句點均採英國式排於引號外。本刊參考文獻編排規定格式及範例如下：
  - 1.期刊論文：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。  
中文例：林楨家、李家儂，「用於都市地區活動分布之灰色 TOD 規劃模式」，**運輸計劃季刊**，第 34 卷，第 1 期，民國 94 年，頁 63-91。  
英文例：Cervero, R. and Kockelman, K., "Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design", *Transportation Research A*, Vol. 2, No. 3, 1997, pp.199-219.
  - 2.圖書單行本：作者姓名，書名，版次（無則免列），出版社，出版地，出版日期。  
中文例：黃芳銘，**結構方程模式：理論與應用**，第 5 版，五南圖書出版股份有限公司，臺北，民國 96 年。  
英文例：Nunnally, J. C., *Psychometric Theory*, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, 1978.
  - 3.研討會論文：作者姓名，論文篇名，研討會/論文集名稱，冊別（無則免列），舉辦單位，出版日期，起迄頁碼。  
中文例：溫傑華、藍武王、趙國婷，「國道客運車輛下層設置座位或臥鋪接受之研究」，中華民國運輸學會第 16 屆學術論文研討會論文集，第 1 冊，中華民國運輸學會，民國 90 年，頁 221-230。  
英文例：Eberhart, R. C. and Kennedy, J., "Particle Swarm Optimization", *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, Vol. IV, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995, pp.1942-1948.
  - 4.博、碩士論文：作者姓名，論文名稱，學校系所，出版日期。  
範 例：陳勝智，「以大眾運輸導向發展理念進行車站地區都市再發展之探討」，成功大學都市計劃研究所碩士論文，民國 90 年。
  - 5.政府出版圖書/規範：政府機關名，圖書/規範名，出版日期。  
範 例：交通部統計處，**中華民國交通統計年鑑**，民國 94 年。
  - 6.網頁資料：作者姓名/網頁機關名，文章篇名/連結主題名，網址，網頁下載日期。  
範 例：交通部運輸研究所，「全國路況資訊中心」，<http://e-traffic.iot.gov.tw/>，民國 97 年。
  - 7.與以上所列文獻格式不同者，請改以註解方式列出。
- 五、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；並請提供 Microsoft Word 97（含以上）版本可讀檔案格式之電子檔。
- 六、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。
- 七、來稿請附本刊保證及授權書寄：10548 臺北市敦化北路 240 號 6 樓交通部運輸研究所運輸計劃季刊編輯室。

## **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. 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. The guidelines of reference formats are as follows:
  - (1) Journal: authors (beginning with the last name), article title, journal title, volume number, publish date, and page numbers.
  - (2) Book: authors, book title, edition number, publisher, place of publication, publish date.
  - (3) Conference paper: authors, paper title, conference title, sponsor, publish date, and page numbers.
  - (4) Doctoral dissertation or master thesis: author, title of the dissertation/thesis, department, college, and publish date.
  - (5) Government publication: government authority, name of the publication, and publish date.
  - (6) Web page: author or authority, article title or related link, URL, date of downloading.
5. Papers should be submitted with three copies of manuscript typed in a clearly legible form and an electronic file accessible by the Microsoft Word 97 (and above). All graphs and photographs should be submitted in originals. No illegible submissions will be accepted.
6. 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.
7. 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 10548, Taiwan (R.O.C.)

## 保證及授權書

茲保證本人著作「  
符合運輸計劃季刊稿約之規定，刊登後並授權中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）得以任何方式利用本著作，且得授權第三人為相同之利用，本人並承諾對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）或其再授權利用之人不行使著作人格權。本人保證本著作無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情事負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。本人承諾本著作經貴刊刊登後，不再以同一稿件，或將題目更改，或將內容改編，轉投其他國內、外刊物登載，如有違反，同意貴所得公布本人姓名並永不再接受本人投稿。此致

中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

立保證及授權書人（所有作者均請簽章，姓名後註明身分證字號）：

中 華 民 國 年 月 日

---

## LETTER OF GUARANTEE

This letter serves to guarantee that my paper entitled ' \_\_\_\_\_ ', 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: \_\_\_\_\_

