

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告
交通環境與旅運需求變異特性對國道客運排班策略之影響研究
**An Impact Study on Highway Transit Scheduling with Travel
Demand Patterns and On-route Traffic Variation**

計畫編號：NSC 89 - 2416 - H - 009 - 030

執行期限：89年08月01日至90年07月31日

主持人：林貴璽 gslin@cc.nctu.edu.tw 國立交通大學運輸科技與管理學系

一、中文摘要

過去有關大眾運輸排班問題最佳化的研究，大都以整體系統的觀點來衡量，較少站在純營業者的角度來討論；前者可在旅運需求固定的前提下，以追求營運者的營運成本與乘客的旅行成本最小化為目標；而當考量彈性旅運需求時，則以營業者的獲利與消費者剩餘最大化為目標。

就營運者而言，其營業利潤的高低與實際所載運的乘客數以及營運成本有關，一般在處理乘客的旅行成本或消費者剩餘時，大都將乘客的車外等候時間、車內旅行時間與步行距離以時間價值換算為金錢成本來分析，此法對於追求營業獲利最大的營運者而言並不實際；且自國道客運市場經營權開放後，同一路線已不限一家經營，業者在班距排程上，除了要考量對乘客服務品質外，尚需將競爭運具的服務特性納入考量。因此，傳統分析方式已不完全適用於目前的經營環境。

本研究採用解析方法論，以營運者利潤最大化為目標，在考量競爭運具對乘客的吸引因素與車輛容量限制等的前提下，探討交通環境變異程度與旅運需求的尖離峰特性對於班距策略、業者獲利與車隊規模的影響。

在交通環境變異特性方面，本研究係以迴車時間變異程度所造成的影響為主，探討為因應交通環境的變異性，業者所需的車隊規模；而在處理旅運需求尖峰與離峰特性方面，本研究採行多時段班距

的排班作業方式，針對整個營運時段的切割方法、不同的時段長度、以及個別時段內乘客的抵達率進行討論。基於整體系統架構中對車隊成本的考量，為因應旅運需求與經營者的異動，業者必須檢討與調整現有服務班距與車隊規模，本研究依照是否增購車隊與是否完全滿足需求提出四種服務調整計畫，以達到業者獲利最大的目標，提供營運者對變動現有車隊規模的決策依據。

關鍵詞：國道客運、排班作業、班距、車隊規模、消費者剩餘。

Abstract

Previous research on public transport fields has focused much more on scheduling optimization problems from a system-wide viewpoint than from an operator side. The former would set a goal of either minimizing the total system cost based on a fixed travel demand or maximizing the social welfare as the demand variability is taken into account. As for the latter, unfortunately, there were few studies concerning the issue of ways toward the goal of maximizing earning benefit for transit operators under a competitive market environment.

The earned benefit for transit operators is deeply relevant to ridership and some operating costs. For simplifying cases, most studies in the past years would presume some associated time values to estimate riders' travel costs (e.g. waiting cost,

in-vehicle cost, and walking time cost) or consumer's surplus. However, this is quite impractical to transit operators, as they should evaluate not only the riders' costs but the variability of market share due to an uncertain strategy from any competitor or an inadvisable service decision. Plus, the recent freeway deregulation policy has allowed many common carriers to share the freeway transit market with less restriction. Thus the previous studies were found not well applicable to the existing operation environment.

A series of formulation that analytically sets an objective of maximizing benefit for transit operators was developed in this study. With the consideration of rider's mode preferences among market competitors and capacity constraints to transit buses, this study explores the corresponding headway settings, operators' benefit, and fleet size etc. based upon the temporal variation of travel demand and the variance of bus circulation times.

With regard to the variability of circulation time for feeder buses, this study mainly focuses on the way of renewing fleet size timely in order to maintain a higher bus schedule adherence. As for the temporal variation of travel demand, a multi-headway approach seeking to concurrently optimize the cutting periods and the service headways via the arrival information for each specified interval is proposed. The excessive fleet costs are also considered in the formulation so that the transit operators can make an optimum fleet decision that meets different requirements. Finally, the conclusions and recommendations were induced in the text.

Keywords: Intercity freeway transit services, Bus headways, Fleet size, Bus scheduling, Consumer's surplus.

二、緣由與目的

基於現有公路系統的擴建計畫普遍趕不上需求量的增長，發展與鼓勵使用大眾

運輸系統便成為因應運輸設施快速飽和的重要對策。現今台灣的城際大眾運輸體系主要有航空、鐵路與公路系統，其中國道客運為公路客運系統中最高等級的服務型態，交通部自 84 年正式開放多條國道客運路線的經營權後，參與經營的客運業者可就核定的路線需求預測，據以研訂營運計劃。

規劃階段的旅運需求與班車迴車時間多為預估，營運班距與車隊規模亦屬粗略概算，事後經營常需檢討修正。就特定路線而言，基於旅運需求與迴車時間均具有時間與空間變異的特性，為因應這些變異狀況下的車輛調度與排班作業，目前常採行的作法主要包括接駁轉運（藍武王等 1997）、混合車隊（周義華等 1993、許文達 1995）與多時段班距（Lee 等 1995）等；過去有關客運排班問題的研究大都由系統的角度，以追求總系統成本（業者、乘客、社會成本）最小或總社會福利最大為目標（Newell 1971；Salzborn 1972；Hurdle 1973；藍武王等 1990、1997；Friedman 1976；韓復華 1977，張學孔 1980），此種規劃方式適用於由政府管制或獨營的情況，較不適用於今日的營運環境；而對競爭運具的影響，亦多以競爭班距為主（Tapiero 與 Zuckerman 1979，Han 與 Wilson 1982，周義華等 1994），至於車隊規模的計算，多以符合最小系統成本或最大社會福利的最佳班距為基礎，來推算最佳車隊規模，此種方式較適合在初期路線規劃時採用，但對於營運期間的班次與車隊規模的調整則無法作為決策依據；在多時段排班作業方面，大都以「已知」或「假設」時段的切割方式、時段長度與時段乘客抵達率等予以簡化。

本研究係由特定營運者的角度為出發點，探討單一路線直達式國道客運營運班

次調整的問題，主要研究課題包括：1) 以最大化營業利潤為目標，探討國道客運業者的排班作業，提供業者因應市場變化時班距調整的參考；2) 考慮競爭運具對業者的影響，將班距、票價、行駛時間作為業者在排班作業時的考量依據；3) 因應旅運需求的時間變異特性，依單、多時段班距的發車方式，探討時段的切割、長度與特定時段下的乘客抵達率等；4) 因應迴車時間的變異特性，在系統架構中將車隊成本納入考量中，作為業者調整班距與建置車隊的決策依據。

三、結果與討論

(一) 系統架構與基本模式

本研究由業者利潤最大的角度探討服務班車調整的問題，獲利架構如圖一，各重要組成項目分述如后：

圖一 營運利潤結構圖

1. 營運利潤：主要包括期望收入、成本、乘客移轉的收入減損、以及未載運的收入減損等四項，即 $f = R - C - L - W$
2. 期望收入：根據乘客平均抵達率，票價與營運時間長度所估算的本業期望收入。
3. 成本：主要包含營運成本、車隊成本、以及行駛成本等三項。

$$C = C_0 \cdot T_T + [C_F \cdot T_C + C_V \cdot T_T - u_F \cdot D \cdot T_C] \cdot \frac{1}{H} + u_F \cdot F_0 \cdot D$$
4. 乘客流失的收入減損：由於系統定義假設乘客對於業者所訂班距的反應具立即性，故一旦業者訂定新的發車班距，就可能導致部份乘客流失，流失的比例可由業者本身與其他競爭者所提供的服務與價格來決定。本研究假設競爭者的吸引力 M 與業者、競爭者個別提供的服務（班距、票價、行駛時間等）有關。市

場營運者間的相對服務屬性對於 M 值有不同的效果，本研究對各相對服務屬性的影響效果係以乘冪參數來表示而，總影響效果則為各服務屬性比的乘積；即 $L = P \cdot \beta \cdot T_T \cdot u \cdot (H)^{S_1 \cdot H_m}$

5. 未載運乘客的收入損失：係受限於車隊規模、車隊成本、行駛成本，業者在獲取最大利潤的前提下，當提供的載運量小於實際旅運需求量時所造成的收入損失；即 $W = u_W \cdot (\beta \cdot H - K) \cdot P \cdot \frac{T_T}{H}$

由目標函數各組成項目與狀態變數分析，可得四種可能的組合狀態：1) 需增購車隊，且能滿足乘客需求；2) 需增購車隊，但未滿足乘客需求；3) 現有車隊充足，且能完全滿足乘客需求；4) 現有車隊充足，但未能完全滿足乘客需求。其中，狀態二與三互斥，兩者僅能唯一。根據與此四種組合狀態對應的函數關係，可據以求算調整的最佳班距 H^* 、最佳車隊規模 F^* 、以及全域最佳獲利 f^* 。

$$u_F = \begin{cases} 1 & F_0 \geq F_{(1, u_W)}^* \Rightarrow H_{(1, u_W)}^* \geq T_C / F_0 \\ 0 & F_0 < F_{(0, u_W)}^* \Rightarrow H_{(0, u_W)}^* < T_C / F_0 \end{cases}$$

$$u_W = \begin{cases} 1 & \beta \cdot H_{(u_F, 1)}^* > K \Rightarrow H_{(u_F, 1)}^* > K / \beta \\ 0 & \beta \cdot H_{(u_F, 0)}^* \leq K \Rightarrow H_{(u_F, 0)}^* \leq K / \beta \end{cases}$$

(二) 多時段營運模式

1. 需求變異下的時段切割方式：

由過去營運所蒐集的乘客抵達率，可以瞭解特定路線旅運需求的時間變異特性。多時段班距的排班作業中，首重乘客抵達率的掌握與營運時段內切割時點的界定，本研究對於時段的切割方式，係依據業者對於多重班距群組數已知與否，以及時段分割依據 - 以抵達率或時間順序 - 為基礎，列舉四類切割方式，並例示對應的六種切割時段法，即全天單一抵達率法、累計比例切割法、固定切割組距法、時間順序最小誤差切割法、統計顯著差異切割

法、時間順序容忍值切割法。

2. 迴車時間變異下的車隊規模

由迴車時間的歷史資料，可將迴車時間分佈配適成適當的機率密度函數與累積機率函數，以便計算各時刻 t 的期望迴車數，再計算欲使時刻 t 正常發車所需的車隊規模，其中對應的最大值即可代表該特定營運路線全日所需的最大車隊規模。

3. 多時段營運模式的構建

多時段班距的營運方式會使多項變數如期望收入、行駛成本、乘客流失數、未載運乘客數等因時間而異，不因營運時刻而變的變數僅含營運成本與車隊成本兩項。其中：

(1) 期望收入

期望收入為票價與單位營運時間內期望乘客到達數的乘積，其中不同時刻的乘客到達率可依據時段切割結果來界定。

(2) 行駛成本

由於業者在各時刻的發車班數不同，故行駛成本會隨營運時刻不同而變動。故總成本 C 為

$$C = C_V \cdot T_t \cdot \sum_{t=1}^T \frac{1}{H_t} + C_O \cdot T_t \cdot T_t + [C_F \cdot F_M + U_F \cdot (F_0 - F_M) \cdot D]$$

(3) 乘客流失的總獲利損失

在多時段班距營運方式下，所有營運者在各時段可採用不同的服務班距，因此，各個時段競爭吸引力會隨營運時刻不同而改變，各時刻乘客流失的收入損失亦隨著時間改變。

$$L = \sum_{t=1}^T L_t = P \cdot T_t \sum_{t=1}^T \lambda_t \cdot u_t \cdot H_t \cdot S_1 H_{mt}$$

(4) 未載運乘客的收入損失

由於不同時刻的客抵達率與發車班距均不同，故必須分別計算各時刻未載運乘客的收入損失，據以計算全日未載運乘客的總收入損失。

$$W = \sum_{t=1}^T W_t = P \cdot T_t \cdot \sum_{t=1}^T u_{W_t} (\lambda_t H_t - K) \cdot \frac{1}{H_t}$$

(5) 營業淨利 f

上述分析顯示期望收入、行駛成本、乘客流失損失、未載運乘客損失會因時間而異。本研究為進行各時段的最佳班距分析，定義一個別時段的獲利 G_t 函數，再予以加總得業者全日獲利函數。

4. 多時段班距模式的求解程序

求解程序主要包括六個步驟：在先不考慮車隊成本與固定成本之下，利用個別時段的獲利函數求解個別時刻最佳班距

H_t^* ，由於多時段營運方式常因時段切換而重複計算期望收入的問題，故有必要調整發車班距以產生對應的整數發車頻次。其次，根據各時刻的最佳可行發車班次，可推算全日最大車隊需求量 F_M ，再由 F_M 值計算車隊成本。整個求解程序係經由逐次縮減全日最大車隊需求量 F_M 所導致的減少車隊成本支出，以及延長班距所導致的減少行駛成本和期望收入的關係進行權衡取捨，來搜尋全日獲利最高的各時刻最佳可行班距 h_t^{**} 與對應的最佳可行車隊規模 F^{**} ，從而產生最大獲利值 f_{\max} 。

(三) 分析與討論

1. 單時段模式分析：

由系統分析架構可知乘客需求、迴車時間與競爭引力是調整服務班距與車隊規模的主要影響因素，原有車隊規模與班車容量則為設定參數，相關變數關係與變化趨勢要項如下：

就抵達率而言，當抵達率較低小時，較大的班車容量、較短的迴車時間、以及較大的原始車隊規模對獲利均顯現不出其優勢；但當抵達率漸高時，獲利值會逐漸增加。由圖二知原始車隊規模在接近滿足抵達率時的獲利值最大，在不同的抵達率之下，模式的四種狀況的最佳值皆發生在邊界點，故班距僅受邊界值的影響，因此迴車時間與原始車隊規模均不會改變最適

服務班距。

圖二 不同到達率下最適原始車隊區間圖

當原有車隊數等於最佳車隊規模時可產生最大獲利值；由原有車隊規模與班距關係分析可知若班距固定，當原有車隊規模由零漸增時，獲利值會隨原有車隊規模由一種狀態轉換到另一種狀態，每一狀態最佳解的落點與其對應可行解區間有關，每一狀態的最佳值皆發生在邊界點上，因此班距不隨著原有車隊規模而變化，班距固定，最佳車隊規模也不會改變。當迴車時間愈短，班車容量愈大，抵達率愈高，則獲利值愈大，而每一獲利曲線皆有一個獲利最高點來對映最大獲利時的原始車隊規模。過小的原始車隊規模會增加租購車成本，降低獲利；過大的車隊規模會導致閒置成本，亦會降低獲利。隨著乘客抵達率的增加，獲利最高點會延後發生，顯示原始車隊規模愈大，獲利值愈大。

班車容量增加可承載更多需求，班距加長，車隊規模可因而減少。由圖三可知隨著班車容量增加，獲利會漸增，但最後會趨近一定值。當乘客抵達率與班距固定時，在不同的班車容量之下，獲利值與原始車隊規模之間有替換關係。當班車容量較小時，須較大的原始車隊規模來滿足特定的乘客需求，反之，則對應的原始車隊規模較低，但獲利點較高。

圖三 不同到達率下容量與利潤關係圖

2. 多時段模式分析：

在已知發車班次下，本研究針對車隊規模進行數學推導。當迴車時間具變異特性時，以求算期望迴車數的方式來決定車隊規模。當全天各時刻發車班次均相同時，

本研究分別以迴車時間為指數分配與常態分配來推計車隊規模。

當全天旅運需求量均相同時，若乘客抵達率具有時間變異特性，相較於全天乘客抵達率均為固定數值所對應的營運方式，業者的最佳發車策略為因應乘客抵達率的尖離峰特性而採行多時段班距，所需的車隊規模較大，但班車的利用率與獲利卻較低。

當乘客抵達率為相同型態時，若迴車時間具有變異性，相較於全天迴車時間為固定時間長度，業者須以較大的車隊規模來因應，故班車的利用率與獲利均較低。

同時考慮迴車時間與乘客抵達率，若兩者均無變異性，所需車隊規模最小，每班次獲利能力最高，全天獲利最高；若兩者同時具有變異性，其所需的車隊規模最大，每班次獲利能力最低，全天獲利最低。

四、計畫成果自評

(一) 研究成果

1. 本研究由業者獲利最大的角度，同時考量市場競爭者對乘客吸引能力的衝擊，來探討業者營運服務的問題。
2. 在成本與車隊規模的計算上，將車隊成本從固定成本中分離出來，使業者在因應需求與環境變化時，能在最大獲利前提下，彈性增減特定路線的車隊規模。
3. 為因應需求的時間變異，提出採取單班距與多班距排班策略；依據是否增購車隊以及是否完全滿足需求等兩種策略，將營運作業區分成四種狀況來分析，並在獲利最大的前提下，制訂最佳服務班距與車隊規模。

(二) 評述

1. 本研究係針對單一路線（單點對單點）做探討，未來應針對輻射路線與網狀路線進行分析。

2. 本研究假設路線競爭對手僅有一家，且不考慮兩家業者相互影響的互動行為，未來應在乘客移轉函數型態上調整。
3. 未考慮迴車時間推擠性延滯對車隊規模之影響，在業者追求最大獲利的目標下，車隊規模越小越好，班車的重複使用率越高越好，因此，班車的閒置時間應盡量縮短。一旦班車迴車時間過長，導致延誤下次發車的時刻，將產生推擠性延滯，會拉大班距，降低服務水準。

本研究延伸兩項子題已經 90 年中華民國運輸年會審核接受刊登，另部分研究結果經整理已投稿於 Journal of Advanced Transportation，刻正進行審查中。

五、參考文獻

- [1] 周義華、周玉君，「公車系統最適車型及車輛之研究」，運輸，27 卷 3 期，9-34 頁，1995 年。
- [2] 周義華、吳宗憲，「公車路線間相互支援之排班專家系統」，運輸計劃季刊，26 卷 1 期，159-202 頁，1997 年。
- [3] 周義華、謝金玫，「專家系統應用於公車排班作業之研究」，運輸計劃季刊，23 卷 2 期，199-234 頁，1995 年。
- [4] 陳武正、蕭耀廷，「公車車輛調度模擬分析」，運輸計劃季刊，7 卷 4 期，10-20 頁，1978 年。
- [5] 許文達，「都市公車混合車型排班模擬之研究」，台灣大學土木工程系碩士論文，1995 年 6 月。
- [6] 張學孔，「最小社會成本與最大社會福利：兩個大眾運輸系統最佳化目標」，運輸，9 卷，133-142 頁，1980 年。
- [7] 游政霖，「城際客運轉車系統路線設計之研究」，台灣大學土木工程系碩士論文，1996 年 6 月。
- [8] 劉方旗，「市區公車排班與及時地動調度之研究—以新竹客運為例」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，1998 年 6 月。
- [9] 韓復華，「客運系統班次排定問題研究」，台灣大學土木工程系碩士論文，1977 年。
- [10] 藍武王、王丘明，「城際客運之排班與乘客等候時間分析」，交通運輸，12 卷 81-91 頁，1996 年。
- [11] 藍武王、林祥生，「均質環境下城際國道客運服務策略之最佳化分析」，運輸學刊，10 卷 3 期，39-78 頁，1997 年。
- [12] 藍武王、林祥生，「異質環境下城際國道客運服務策略之最佳化分析」，運輸學刊，10 卷 4 期，21-58 頁，1997 年。
- [13] Ceder, A., "Bus Frequency Determination Using Passenger Count Data", Transportation Research, Vol.18A, pp.439-453, 1984.
- [14] Chang, S.K. and P.M., Schonfeld "Multiple Period Optimization of Bus Transit Systems", Transportation Research, Vol.25B, pp.453-478, 1991.
- [15] Friedman, M., "A Mathematical Programming Model for Optimal Scheduling for Buses Departure Under Deterministic Condition", Transportation Research, Vol.10, No.2, pp.83-90, 1976.
- [16] Han, A.F. and N.H.M. Wilson, "The Allocation of Buses in Heavily Utilized Networks with Overlapping Routes", Transportation Research, Vol.16B, pp.221-232, 1982.
- [17] Hurdle, V.F., "Minimum Cost Schedules for a Public Transportation Route", Transportation Science, Vol.6, No.2, pp.109-137, 1973.
- [18] Lee, K.K.T., Kuo, S.H.F. and P.M.

- Shonfeld, "Optimal Mixed Bus Fleet for Urban Operations", Transportation Research Record 1503, pp.39-48, 1995.
- [19] Newell, G.F., "Dispatching Policies for a Transportation Route", Transportation Science, Vol.5, No.1, pp.91-105, 1971.
- [20] Salzborn, F.J.M., "Optimum Bus Scheduling", Transportation Science, Vol.6, No.2, pp.137-148, 1972.
- [21] Vuchic, V.R., Transit Operating Manual, Pennsylvania Department of Transportation, 1976.