

# 捷運路網最適營運路線設計之研究

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-132

執行期間：89/08/01~90/07/31

主持人：周義華 台灣大學土木工程學研究所教授

## 一、中文摘要 (關鍵詞：營運路線組合、啟發式求解、系統總成本)

由於捷運系統興建完成後，不像一般公路客運具有相當的路線選擇彈性，因此本研究依據既有路網軌道佈設、旅運量分佈情形，以及列車運行與營運之特性，在符合列車的服務水準及系統總列車數限制下，且以營運者成本及使用者成本之系統總成本最小化為目標，採用啟發式方法，依序發展出基本營運路線及可行營運路線組合，而獲取最適之營運路線組合。

在實例應用上，本研究以台北捷運路網為例，所求出之營運路線方案，以淡水—新店、石牌—南勢角及龍山寺—市政府站等三條之營運路線組合之系統總成本最小，較現行之營運路線組合方案（淡水—新店、北投—南勢角及龍山寺—市政府站）約可節省12767元之尖峰小時系統總成本。

英文摘要 (Keywords: route service pattern, Heuristic Algorithm, system cost)

Owing to the difference in operation characteristics about traveling route choices between transit system and highway transportation, This project takes advantage of the MRT track's layout and the passenger OD matrix to analyze the difference, adopting the heuristic algorithm to

design the logic procedure of "basic operation routes" and "feasible operation routes" in sequence.

The optimal route service pattern combination of the transit network are constructed to minimize the total cost consisted with operating cost and user cost under the operation services and the number of the trains.

In this project, we applies the design method to the Taipei Rapid Transit System. The minimize total cost of the route service pattern combination were "TAMSHUI TO HSINTIEN, TAIPEI CITY HALL TO LUNGSHAN TEMPLE, SHIHPAI TO NANSHIH CHIA". Comparing with the existing alternative, it will save N.T.\$12767 per peaked hour by adopting the optimal alternative derived from the above methods.

## 二、計畫緣由與目的

捷運營運路線之設計，係在軌道設備硬體架構已成形、短期間較難改變之際，就實際的旅運量分配來設計營運路線，如此才能符合營運者之經營效率及使用者之需求。然而從國內的捷運系統路網規劃報告及相關文獻 [1] 中可看出，大多僅於捷運路網尚未興建前進行線規劃設計，至於路網已興建完成後，營運路線組合之設計安排則甚少提

及。而目前在台北捷運之營運路線設計 [2] 上，係以預測運量為依據，就設計者本身之專業知識與經驗尋找出數種可能之營運路線組合後，相互比較以選取承載率最大之方案，作為最佳的營運路線組合。然而所評定路線方案係以營運者角度考量，對於營運路線間之旅客轉車不便並未列入。因此，本研究之首要工作在於參考國內外有關營運路線設計問題之研究方法 [3, 4]，再依據問題之實際內涵，擬定捷運營運路線之設計準則。而在路線設計方法方面，則利用啟發式求解法 [5, 6] 並透過系統總成本最小之總評估指標，選擇最適之營運路線組合方案。因此本研究之主要目的在於研擬捷運系統營運路線組合之設計準則與評估指標，並發展一套營運路線組合設計方法，最後，分析影響營運路線組合之控制變數與系統變數之間的相互關係，以提供營運者決策之參考。

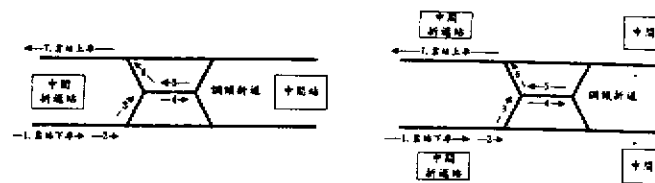
### 三、研究方法與成果

#### 研究方法

##### 3.1 營運路線端點站之選擇

營運路線的形成，其路線的兩端點必須具有供列車迴轉或折返的橫渡線設施。而營運路線的折返，又可分為終端站折返與中間站或交會站之折返。而搭配不同的站台型式（島式、側式及混合式站台）及橫渡線，列車之折返運行路徑及特性亦不同。基於系統安全上的考量，對於以中間站或交會站作為端點站之列車折返，本研究僅以具有儲車功能之袋狀儲車軌（如圖 1 所示）或能在列車折返時不影響另一方向列車運行之配置（如北投站）作為考量。

至於終端站除無法提供順暢的列車折返作業或容易造成旅客搭乘列車之不便外，任何型式之搭配均應被列入考慮。



(a) 島式站台 (b) 側式站  
圖 1 中間站或交會站之列車折返運行方式

##### 3.2 評估指標之建立

本研究採系統總成本作為總評估指標如(3-1)式所示：

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

式中：

$C_1$ ：營運者成本

$C_2$ ：使用者成本

$TC(L)$ ：營運路線組合方案  $L$  之系統總成本（元）， $L=1, 2, \dots, S$

$m$ ：方案之總營運路線數

$D_k$ ：路線  $k$  之路線長度（公里）其中， $k=1 \sim m$

$f_k$ ：路線  $k$  之班次數（班／小時）

$C$ ：單位營運成本（元／車公里）

$n$ ：車站數

$O_{ij}$ ： $i$  點至  $j$  點的旅客數（人／小時）

$WC$ ：等車時間成本（元／分）

$WT_{ij}$ ： $i$  點至  $j$  點的等車時間（分）

$N_{ij}$ ： $i$  點至  $j$  點的轉車次數（次）

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

##### 3.3 營運路線設計方法

###### 3.3.1 模式假設

1. 旅運量大小及分佈不因路線重新設計而轉移。
2. 僅考慮以「每站皆停」之營運型態來設計營運路線。
3. 各項軌道硬體設施不變，且僅考慮採雙線分上行和下行兩種方式之軌道系統。

###### 3.3.2 營運路線之設計程序

設計流程如圖 2 所示。主要設計程序包含四個部分，其內容說明如下：

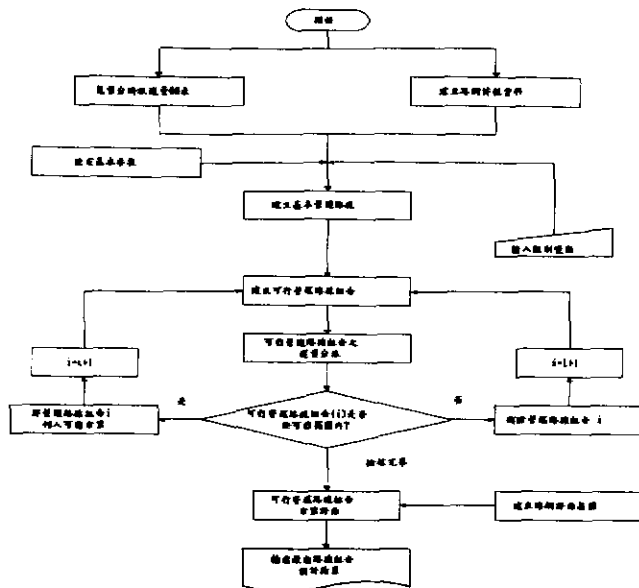


圖 2 營運路線組合之設計程序

### 1. 旅運資料之建立與分析

主要包括旅次起訖資料、路網及營運等特性資料之蒐集與分析。

### 2. 基本參數與控制變數之設定

找出影響營運路線設計之基本參數與控制變數並加以設定。決策者亦可依不同的設計要求，輸入不同的基本參數或控制變數，以產生不同設計要求下的營運路線組合方案。

### 3. 路網設計

營運路線之設計程序如下：

#### (1) 路線組成分類

根據捷運路網及營運特性資料加以分析，從而將路網分類成直形路線、環狀路線及合併路線。

#### (2) 基本營運路線之設計

從各分類路線中找出符合折返條件之車站或轉轍器作為折返點，在滿足最短營運路線長度  $A(1)$  之限制下，任選二折返點以構成一條基本營運路線。

#### (3) 可行營運路線組合之設計

將所有可能之基本營運路線按組合方式，任選出以 2、3、4... 組合方式之集合，但

為避免過多的營運路線數量，本研究以一營運路線組合數目之控制變數  $A(2)$  加以限制；並在滿足車站服務因子  $A(3)$ 、路線連通因子  $A(4)$  及轉車次數限制  $A(5)$  等控制變數下，所產生之基本營運路線組合的集合，即可成為可行營運路線組合。

#### (4) 可行營運路線組合之運量分派與篩選

將所篩選出之可行營運路線組合，按各營運路線間之路線重疊程度劃分為數個區段，並依各站間運量資料，找出非重疊區段之單一營運路線作為優先分派路線，求算所需之列車數及班距，然後再將已分派之營運路線及運量扣除，繼續找出優先分派路線以進行運量分派，直至運量全部分派完成且每條營運路線均有運量分派為止。若發生尚有營運路線未分派運量，但已無運量可分派者，則刪除此一可行營運路線組合。

此外，再以最小班次數  $A(6)$ 、路線最大容量因子  $A(7)$  及系統總列車數  $A(8)$  等三項為控制變數加以檢核，刪除不可行之營運路線組合，以獲得所有符合條件之可行營運路線組合方案。

### 4. 路網評估

將所有可行的營運路線組合方案透過 (3-1) 式之總指標加以評選，從而選出「最適」之捷運路網營運路線組合。

### 成果

依照本研究所建立營運路線設計方法，以民國 89 年 4 月份台北捷運系統之營運資料作為建立起訖需求矩陣之基礎[7]，並依表 1 之營運參數與控制變數設計之下，發現所求得結果與現有方案不同。本研究所輸出之最適方案—淡水至新店、石牌至南勢角、龍山寺至市政府，較台北捷運公司民國八十九年六月間所設計之營運路線方案—淡水至新店、北投至南勢角、龍山寺至市政府約可節

省尖峰小時 12767 元之系統總成本；其中營運者成本減少 24901 元，但使用者成本增加 12133 元。

表 1 基本營運參數及控制變數設定資料

營運參數	設計值	控制變數	設計值
營運成本	378.8 (元/每延車公里)	最短營運路線 長度 A(1)	捷運 6 個車站 之距離
列車最大承 載量	1936 (人/每列 車)	最多營運路線 組合數目 A(2)	3 條
等車及轉車 時間價值	1.66 (元/分)	轉車次數限制 A(5)	2 次
轉車不便成 本	6 (元/次)	系統服務班距 指標 A(6)	7 分
-	-	系統最小班距 A(7)	105 秒
-	-	系統總列車數 A(8)	46 列

此外，本研究透過敏感度分析之方式，僅變動班距一項因素發現，當班距設定值愈小，所需之班次數愈多，雖然旅客等候時間因而減少，但使業者所需提供之列車數相對地增加，造成延車公里數亦大增，故營運成本增加，此一輸出結果與先驗知識相符。再者，若各方案中之營運者成本及所需列車數相同，在不同之設計路線組合方案下，有可能造成轉車人次數不同，使得系統總成本亦不同。又若僅變動列車最大承載量設定值一項因素可發現，當列車最大承載量設定值愈小，所需之班次數愈多，業者需提供較多的列車數以維持正當營運，使得營運者成本亦因此增加；然而班次數的增加，將使班距降低，使得旅客等候時間因而減少，使用者成本也會因此而減少。

#### 四、結論與討論

本研究提出捷運營運後之路網設計方法，並透過營運參數與控制變數之檢核，提出基本營運路線與可行營運路線組合二種路線設計。又為兼顧使用者與營運者兩者，建立以系統總成本作為路網評選之總評估指標，以確保所尋求之營運路線組合方案為最適。從台北捷運之實例分析結果顯示，規劃階段與實際營運階段所設計而得之最適營運路線組合方案不盡然相同，主要原因係由於實際營運之旅運量大小及分佈亦有所不同所致。

由於本研究可透過決策者不同的經營需求，改變營運參數與控制變數之設定，以選取不同設計標準下之最適營運路線設計方案，因此顯示出本研究之設計方法具有相當之彈性，可作為捷運經營者在決定營運路線之參考。

#### 五、參考文獻

1. 中興工程顧問股份有限公司，台中都會區捷運路網細部規劃報告—第二冊路網規劃，民國 87 年 7 月。
2. 台北捷運工程局，台北都會區大眾捷運系統規劃手冊—第二冊營運及維修規劃，第十二版，1998 年 11 月。
3. 凌建勳，「營運規劃相關課題—列車服務計畫之探討」，台北捷運局十週年慶研討會，民國 86 年 9 月 11 日，PP.86~119。
4. 「地鐵公司一九九八年度年報」，香港地鐵公司，民國 88 年。
5. 周義華、邱榮川，「配合捷運系統公車路網設計方法之研究」，運輸計劃季刊，十六卷二期，民國 76 年 6 月，PP.319~344。
6. 周義華、游政霖，「城際客運轉運系統路線設計之研究」，運輸計劃季刊，二十九卷一期，民國 89 年 3 月，PP.143~180。
7. 「高運量系統行車運轉作業程序」，台北捷運公司，民國 87 年 9 月 1 日修訂。