

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 路網旅行時間預測模型之比較研究(1)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-032-019-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：淡江大學運輸管理學系

計畫主持人：董啟崇

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫進度報告

路網旅行時間預測模式之比較研究 (I)

本計畫全程為三年期計畫經於 91 年度申請後核定第一年度計畫如下：

計畫編號：NCS91-2211-E-032-019

執行期限：91/08/01-92/07/31

計畫主持人：董啟崇

執行單位：私立淡江大學

第一部份：旅行時間預估與預測之方法論探討

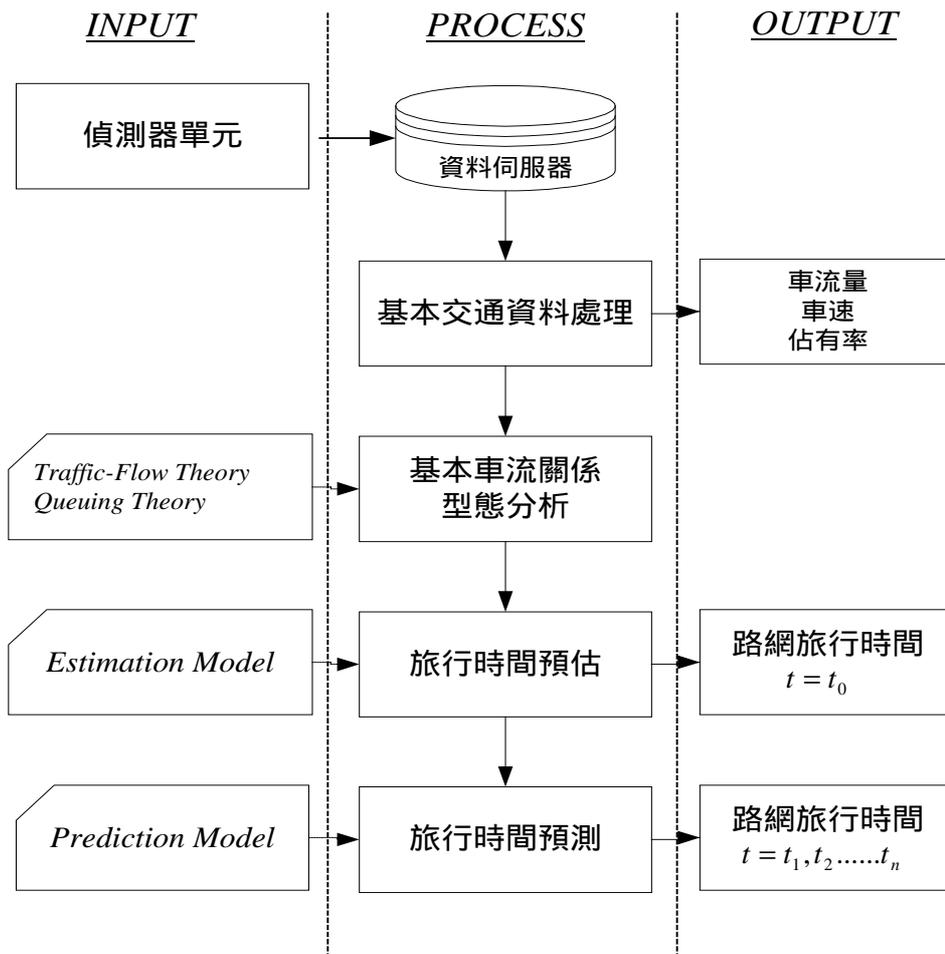
旅行時間預估與預測之文獻回顧中，主要針對 WITS (World Congress on Intelligent Transport Systems) 4<sup>th</sup> 至 7<sup>th</sup> 之相關文獻進行回顧，並將 4 至 7 屆之相關文獻依標題、目的及方法等，進行彙整。(如表 1-表 4)

另外，於旅行時間預估與預測相關作業中，如圖一所示，因為其作業流程從交通偵測器之運作、交通資料之蒐集與分析、路網旅行時間之預估與網路旅行時間預測，主要可分為四個部分，包括交通資料蒐集、旅行時間預估、旅行時間預測及旅行時間模式之校估與驗證等。

經由以上之敘述，本研究想更清楚得知偵測器相關特性對於旅行時間預測準確性之影響、不同的交通特性及路網結構下，具有代表性之旅行時間預估模式、旅行時間預測之模式以及運用交通模擬方式校估並驗證不同交通環境下的旅行時間模式。因此，於文獻回顧中共分為五個大部分來進行歸納(如表 5-表 9)：

1. 旅行時間預估結合預測
2. 旅行時間推估
3. 旅行時間預測
4. Pattern Matching
5. 旅行時間架構

而然，為了想更加詳細了解在過去當中，有哪些方法可用於旅行時間預估與預測中，所以，在未來後續工作中，預計將參考之文獻依據演算法之概念、輸入項、處理方法、輸出項、偵測器之數量、種類、資料處理時間、蒐集交通特性參數、網路之範圍、特性、結構以及演算法績效之指標 等進行歸納，以更能清楚得知每個演算法適用之路網以及其績效指標，以利於往後研究中作為明確之參考指標。



圖一、旅行時間預測模式關係圖

表 1 文獻回顧(Proc. Of 4<sup>th</sup> ITS World Congress)

屆數	編號	標題	目的	方法
4th	1	CLEOPATRA PROJECT: Application of Traffic Monitoring to City of Lyon	架構	
4th	2	Collection and Use of Floating Car Data Experiences from Berlin	偵測器功能	
4th	3	Methods for Predicting Bus Travel Times Using a Signpost Position System	預測	車輛定位
4th	4	Classification of Historical Mean Speed Patterns on a Motorway for Prediction of Near-Future Traffic Flow States	預測	Historical data Kalman-filter
4th	5	Assessing the Potential Short-Term Prediction in a Dynamic Route Guidance System by Evaluation its Floating Car Data	預測	Historical data Floating car data

資料來源：本研究整理

表 2 文獻回顧(Proc. Of 5<sup>th</sup> ITS World Congress)

屆數	編號	標題	目的	方法
5th	1	Evaluation of Route Comparison Information Boards on HANSHIN Expressway	資訊提供	
5th	2	Verification of OD Matrix Estimation Model Using AVI Data on the HANSHIN Expressway Network	OD Estimation	車流推進關係
5th	3	Estimation of Link Travel Time Using Vehicular Detection Devices in TRACS (Traffic Adaptive Control System)	預估	Fuzzy and Neural Network
5th	4	Estimation Arterial Link Travel Time Using Loop Detector Output	預估	車輛軌跡
5th	5	A Study on Travel Time Prediction Method on Inter-City Expressways Using Traffic Capacity at the Bottleneck	預測	Capacity Analysis
5th	6	Development of a Link Travel Time Prediction Algorithm for Urban Expressway	預測	Kalman-Filtering
5th	7	Experimental Verification of Travel Time Prediction Method	預測	AVI
5th	11	Toward Developing an Expert GIS-based Travel Time Forecasting Model with Congestion Pattern Analysis	預測	Pattern Matching GIS+ES

5th	12	Travel Time Prediction Based on Pattern Extraction from Database	預測	Pattern Matching AVI
-----	----	--	----	-------------------------

資料來源：本研究整理

表 3 文獻回顧(Proc. Of 6<sup>th</sup> ITS World Congress)

屆數	編號	標題	目的	方法
6th	1	DACCORD: On-Line Travel Time Estimation/Prediction Results	預估結合預測	Simply method Test-bed
6th	2	Development of Travel Time Estimation System Combining License Plate Recognition AVI and Ultrasonic Vehicle Detector	預估結合預測	Relative Ranking
6th	3	Melbourne ' s Arterial Travel Time System	架構	Test-bed
6th	4	Dynamic Travel Time Estimation on Instrumented Freeways	預估	車流關係
6th	6	Short-Term Prediction of Speed Fluctuations on a Motorway Using Historical Patterns	預測	AR+Kalman Filter+Histori cal
6th	7	Estimating Confidence Interval for Freeway Corridor Travel Time Forecasts	預測	Spectral basis neural networks

6th	8	Application of a Neural-Kalman Filter (NKF) Technique for Dynamic Estimation of OD Travel Time and Flow	預估	Neural-Kalman Filter
6th	9	Randomness of De-noised Time Series Data for Travel Time Forecasting	預測	Auto-regression
6th	10	Real-time Estimation of Travel Time and Queue-Lengths: A Practical Study	預估	排隊理論

資料來源：本研究整理

表 4 文獻回顧(Proc. Of 7<sup>th</sup> ITS World Congress)

屆數	編號	標題	目的	方法
7th	1	Providing Information of Predicted Travel Time for Use of Travel Planning Stage	預測	Pattern Matching
7th	2	On-Line Traffic Condition Forecasting Using On-Line Measurements and a Historical Database	預測	Historical Database
7th	3	Prediction of Vehicle Travel Time Using Ancillary Information Sources	預測	結合號誌時制推演
7th	4	Network Status Estimation and Traffic Prediction in Urban and Sub-urban Areas	預估結合預測	Kalman-Filtering
7th	5	Travel Time Prediction Method for Expressway Using Toll Collection System Data	預測	Pattern Matching
7th	6	Congestion Prediction on Motorways: A Comparative Analysis	預測	綜合性分析比較

7th	7	Travel Time Measurement Using the Automated Vehicle Location System	預估	AVL
7th	8	Automatic Measurement of Travel Time for Motorized Individual Traffic Inside Cities	預估	Floating Car
7th	9	Cellular Phone Position and Travel Time Estimates	預估	車輛定位
7th	10	Effectiveness of License Plate Recognition Based Journey Time Monitoring in the Demanding NORDIC Environment	預估	AVI

資料來源：本研究整理

表 4 (續) 文獻回顧(Proc. Of 7<sup>th</sup> ITS World Congress)

屆數	編號	標題	目的	方法
7th	11	State-of-Art, Perspectives, and Research Needs in Matter of Road Traffic Sensors	偵測器功能	
7th	12	An Evaluation on Effect of Travel Time Information from Real-time Origin-Destination Matrices Estimation Model	Dynamic OD 推 Travel Time	數學規劃
7th	13	Delivery of Real-time and Predictive Travel Time Information: Experiences from a Melbourne Trial	Information Provide Services	
7th	14	The Development of Travel Time Optimized Estimation System for ITS and SCM	預估最佳化之旅行 時間	
7th	15	Variations in Behavior of Vehicles Traveling on Roads by Providing Travel Time Information	資訊提供與路徑變 換關係	
7th	16	Integrated ITS in the City of Rome	架構	

資料來源：本研究整理

表 5 文獻回顧 I (旅行時間預估結合預測)

屆數	編號	標題	目的	預估/預測方法
6th	2	Development of Travel Time Estimation System Combining License Plate Recognition AVI and Ultrasonic Vehicle Detector	旅行時間預估結合預測	Relative Ranking

7th	4	Network Status Estimation and Traffic Prediction in Urban and Sub-urban Areas	旅行時間預估結合預測	Kalman-Filtering
6th	1	DACCORD: On-Line Travel Time Estimation/Prediction Results	旅行時間預估結合預測	簡單車流關係運算
6th	3	Melbourne ' s Arterial Travel Time System	旅行時間傳輸與資料處理架構	-
5th	1	Evaluation of Route Comparison Information Boards on HANSHIN Expressway	旅行時間資訊提供對選線行為影響	偵測車流速度加以運算

資料來源：本研究整理

表 6 文獻回顧 II (旅行時間推估)

屆數	編號	標題	目的	方法
5th	3	Estimation of Link Travel Time Using Vehicular Detection Devices in TRACS (Traffic Adaptive Control System)	旅行時間預估	Fuzzy and Neural Network

7th	12	An Evaluation on Effect of Travel Time Information from Real-time Origin-Destination Matrices Estimation Model	Dynamic OD 推旅行時間	數學規劃
7th	9	Cellular Phone Position and Travel Time Estimates	驗證手機 probe 對旅行時間預估影響	利用手機 probe 進行車輛定位
7th	10	Effectiveness of License Plate Recognition Based Journey Time Monitoring in the Demanding NORDIC Environment	探討 AVI 對旅行時間預估之影響	AVI
5th	4	Estimation Arterial Link Travel Time Using Loop Detector Output	市區號誌化交叉路口旅行時間預估	車輛軌跡移動
7th	7	Travel Time Measurement Using the Automated Vehicle Location System	透過車輛定位系統進行旅行時間預估	AVL
6th	4	Dynamic Travel Time Estimation on Instrumented Freeways	旅行時間預估	巨觀車流關係與確定性排隊理論
6th	8	Application of a Neural-Kalman Filter (NKF) Technique for Dynamic Estimation of OD Travel Time and Flow	估計動態 O-D 旅行時間與流量	Neural-Kalman Filter
6th	10	Real-time Estimation of Travel Time and Queue-Lengths: A Practical Study	旅行時間預估	巨觀車流關係與排隊理論
7th	8	Automatic Measurement of Travel Time for Motorized Individual Traffic Inside Cities	旅行時間預估	Floating Car

資料來源：本研究整理

表 7 文獻回顧 III (旅行時間預測)

屆數	編號	標題	目的	方法
7th	6	Congestion Prediction on Motorways: A Comparative Analysis	評估旅行時間預測方法	綜合性分析比較

5th	6	Development of a Link Travel Time Prediction Algorithm for Urban Expressway	旅行時間預測	Kalman-Filtering
4th	3	Methods for Predicting Bus Travel Times Using a Signpost Position System	公車旅行時間預測	公車車輛定位系統結合線性方程
6th	9	Randomness of De-noised Time Series Data for Travel Time Forecasting	處理旅行時間序列資料之的隨機項	Auto-regression
5th	5	A Study on Travel Time Prediction Method on Inter-City Expressways Using Traffic Capacity at the Bottleneck	預測壅塞車流旅行時間	Capacity Analysis
5th	7	Experimental Verification of Travel Time Prediction Method	旅行時間預測	結合歷史資料與 AVI 資料之比對
7th	3	Prediction of Vehicle Travel Time Using Ancillary Information Sources	車輛行進時間與速度預測	利用時空圖結合號誌時制推演
6th	7	Estimating Confidence Interval for Freeway Corridor Travel Time Forecasts	估計預測旅行時間之信賴區間	Spectral basis neural networks

資料來源：本研究整理

表 8 文獻回顧 IV (Pattern Matching)

屆數	編號	標題	目的	方法
7th	5	Travel Time Prediction Method for Expressway Using Toll Collection System Data	旅行時間預測	利用 Toll Collection 與

				Pattern Matching
7th	2	On-Line Traffic Condition Forecasting Using On-Line Measurements and a Historical Database	旅行時間預測	結合即時偵測資料對歷史資料進行調整
4th	4	Classification of Historical Mean Speed Patterns on a Motorway for Prediction of Near-Future Traffic Flow States	進行旅行時間預測並加以分類	Historical data Kalman-filter
6th	6	Short-Term Prediction of Speed Fluctuations on a Motorway Using Historical Patterns	速度波動預測	AR+Kalman Filter+Historical
7th	1	Providing Information of Predicted Travel Time for Use of Travel Planning Stage	旅行時間分類	Pattern Matching
5th	12	Travel Time Prediction Based on Pattern Extraction from Database	旅行時間預測	Pattern Matching 結合 AVI
4th	5	Assessing the Potential Short-Term Prediction in a Dynamic Route Guidance System by Evaluation its Floating Car Data	旅行時間預測	Historical data Floating car data
5th	11	Toward Developing an Expert GIS-based Travel Time Forecasting Model with Congestion Pattern Analysis	旅行時間預測	Pattern Matching GIS+ES

資料來源：本研究整理

表 9 文獻回顧 V ( 旅行時間架構 )

屆數	編號	標題	目的	方法
7th	13	Delivery of Real-time and Predictive Travel Time Information: Experiences from a Melbourne Trial	Information Provide Services	
7th	14	The Development of Travel Time Optimized Estimation System for ITS and SCM		
7th	15	Variations in Behavior of Vehicles Traveling on Roads by Providing Travel Time Information	資訊提供與路徑變換關係	
7th	16	Integrated ITS in the City of Rome	ITS 架構	
7th	11	State-of-Art, Perspectives, and Research Needs in Matter of Road Traffic Sensors	偵測器功能比較	
4th	1	CLEOPATRA PROJECT: Application of Traffic Monitoring to City of Lyon	旅行時間提供架構	
4th	2	Collection and Use of Floating Car Data Experiences from Berlin	偵測器功能	
5th	2	Verification of OD Matrix Estimation Model Using AVI Data on the HANSHIN Expressway Network	動態 OD 推估	車流推進關係

資料來源：本研究整理

## 第二部份：旅行時間成本函數相關研究之探討

### 一、前言

本研究於第一部分已先對旅行時間預估與預測之方法論作個簡單的探討，而於第二部分中。由於藉由道路績效函數可以反映旅行時間，因此，本研究想得知其於道路績效函數之應用，以及整體之架構、適用範圍等，以供後續研究之參考指標，因此，我們引用都市道路路段績效函數之發展與應用（鄭堅中）及道路績效函數之回顧（李治綱、鄭堅中）兩篇文章，彙整如下。

從文獻中我們得知道路績效函數（performance function）可用以描述一運輸路網中各路段上每單位時間流量與旅行時間間之關係，加上其功能主要在於作為將流量指派至各路段時容量的限制，故道路績效函數（Link Performance Function）又常被稱為路段容量函數（Link Capacity Function）、容量函數（Capacity Function）、擁擠函數（Congestion Function）或路段成本函數（Link Cost Function）。

在傳統運輸規劃之交通量指派步驟或是路網設計等運輸分析工作中，為反映出道路擁擠狀況對行車之影響，均需使用道路績效函數於網路均衡模式中，以進行分析的工作。

道路績效函數的發展，依據都市道路路段績效函數之發展與應用（鄭堅中）之彙整主要有兩個方向。在一般的運輸規劃中，所使用的道路績效函數大多僅為流量與旅行時間的函數關係，其中在國內及美國常用的為美國公路局（U.S Bureau of Public Roads, BPR）建立的公式，稱為 BPR 公式：

$$T = T_0 \left[ 1 + \alpha (Q/C)^\beta \right]$$

其中，T：在流量 Q 時之路段平均旅行時間

$T_0$ ：自由車流速率之路段旅行時間

Q：路段流量

C：實際容量（Practical Capacity）

、 $\alpha$ 、 $\beta$ ：參數值

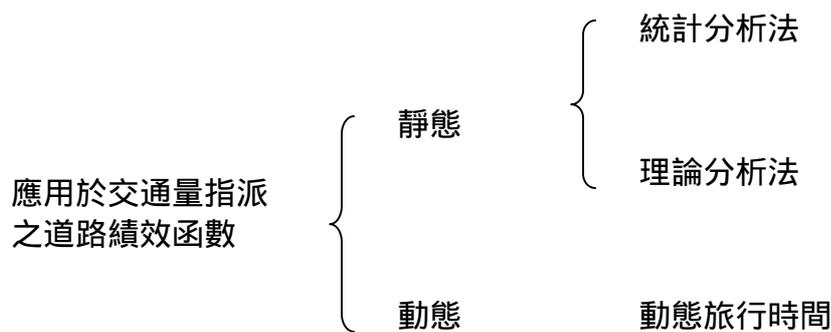
而 BPR（Bureau of Public Roads）函數為一於 1950 年代，美國所構建之路段成本函數，其主要是以路段流量與路段旅行時間為主之函數關係式，因此函數較簡單，廣為多數國家規劃運輸旅運需求時所採用，然國內亦是如此。但因其所採之參數值多為 1964 年 BPR 所建議的值，分別是  $\alpha = 0.15$ 、 $\beta = 4$ ，甚少有研究對其重新進行校估，便直接引用，而未慮及各個國家之文化背景、地理環境、經濟與駕駛人特性可能有顯著差異，導致不適用。

此種道路績效函數雖然使用容易，然而卻無法精確地反映出車流行為，如在路口時左轉車與對向直行車之交互影響、交控號誌時制的改變對車流旅行時間或在路段中車流之行為的影響等，因此常僅應用於整體區域性路網之綱要計劃分析過程中，卻不適宜應用地區性交通改善計劃之分析。

此外，交通工程師為了研究道路上的各種車流現象，因而發展出具體車流行為性之函數或模擬模式。並且將一般街道系統之模擬模式分為兩部分來探討：一為模擬路口之路口延滯模式（Intersection Delay Model），如 Webster 延滯模式；另一則為模擬路段之路段旅行時間模式，如 TRANSYT 中之路段車隊疏散函數。

## 二、應用於交通量指派之道路績效函數

應用於交通量指派之道路績效函數一般而言可分為靜態與動態兩方面（如圖二），因其動、靜態之不同，又可分統計分析方法、理論分析方法及動態旅行時間這三方面來探討，而我們也將引用道路績效函數之回顧（李治綱、鄭堅中）中所彙整，以不同方法所得到之路段容量函數編排成表格，除了可清楚得知道路績效函數之發展外，更可，試分述如下：



圖二

由於運輸規劃師在執行靜態交通量指派時，常必須利用道路績效函數來反映路網在穩定車流狀態（steady state）下之旅行成本。加上其所要探討的重點並不在於個別車輛或車流之狀況，故其不將交通車流中微觀與隨機特性之穩定車流狀態納入觀察。又因靜態交通量指派應用之主要目的常在於評估運輸系統改善之效果，因此道路績效函數所定義之路段並不需要很精確地反映路口車流狀況；為了簡化與加速靜態交通量指派之分析，使用的道路績效函數之型態常十分簡單，且必須為嚴格增函數。此類得道路績效函數發展的方法，可分為兩種：

### 1.1 統計分析法：

使用統計分析法得到之道路績效函數，優點在於其可保證產生符合所觀察的流量-旅行時間關係。從表 11 中可知，不論函數型態是由線性組成或是曲線型函數，所使用的變數常常只包含路段流量一種變數，並且假設自由旅行時間與容量為常數；因此，此種道路績效函數最大的缺點即在於其太過於簡單，故導致無法廣泛地應用至所有真實路網上，但由表 11 可知，仍有一些學者，如 Irwin、Dodd 以及 Von Cube，試圖利用一些路網特性，如速限、路口數，將函數加以分類，但考慮之路網特性仍舊有限，因此此種函數常常只適用於產生資料的區域，因而造成函數缺乏可移轉性。

### 1.2 理論分析法：

使用理論分析得到之路段容量函數，在概念上常將旅行時間分成兩部分探討：分別是車輛於路段之平均行駛時間與車輛在路口處於等候車隊中所花費的平均旅行時間，此種函數如表 12 所示。

此種函數由於其函數型態較統計分析法所得到之績效函數複雜，不再是簡單的流量-旅行時間關係，因此當應用於交通量指派模式時，需花費較多之運算時間；另外，其較統計分析法所得到之績效函數需要更多的路網特性資料作為輸入，如號誌之有無或路寬。

此類函數的優點，也因其放入路網特性變數，因此能較統計分析法得到之績效函數更具一般化型態且具行為基礎，如 Davision 函數，即由等候理論導出；故其可藉由參數簡單反映出某些路網特性，以及藉由參數  $J$  反映出不同路段的擁擠狀態。雖然如此，此類函數仍顯粗略，如 Wardrop 函數中，僅放入了路口數目  $n$  的路網特性變數，故當有交通改善策略實施時，如號誌時制改變等，其仍然無法因此在應用上仍有限制。

由上述兩種道路績效函數發展之方法可知，不論是統計分析或是理論分析皆有其優點，為了更能清楚了解其差別，本研究彙整如下表 10 所示：

表 10. 統計與理論分析方法之比較

統計分析法	理論分析法
<p>簡單之流量-旅行時間關係</p> <p>參數與網路特性之關聯不甚清楚</p> <p>使用之變數常僅有路段流量一種變數，且假設自由旅行時間與容量為常數，因此，期道路績效函數過於簡單</p>	<p>非簡單之流量-旅行時間關係</p> <p>參數可簡單反應出某些路網特性</p> <p>可放入網路特性變數，因此，叫統計分析法得到之績效函數更具一般化型態且具行為基礎</p>

資料來源：本研究整理

表 11 以統計方法所得到之路段容量函數

年代	提出者	模式型態	備註
1	1961 N.A. Irwin N. Dodd H.G Von Cube	$T = T_a + \alpha(Q' - C_p')$ for $Q' < C_p'$ $T = T_a + \beta(Q' - C_p')$ $Q' > C_p'$ $T_a = T_o + \alpha C_p'$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 依速限與路口數加以分類校估參考</li> <li>· 分為二線段</li> </ul>
2	1962 同上	$T = T_a + \alpha(Q' - C_p')$ for $Q' < C_p'$ $T = T_a + \beta(Q' - C_p')$ $C_p' < Q' < C_s'$ $T = T_b + \gamma(Q' - C_s')$ $Q' > C_s'$ $T_a = T_o + \alpha C_p'$ $T_b = T_a + \beta(C_s' - C_p')$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 依速限、號誌化路口數與不同型態的大眾運輸車輛存在的情形加以分類、校估參數</li> <li>· 分為三線段</li> </ul>
3	1962 R. J Smock	$T = T_o \exp(Q / C_s')$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 應用底特律區域運輸研究中</li> </ul>
4	1965 T. J. Soltman	$T = T_o \cdot 2^{(Q/C_p)}$ $Q/C_p > 2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 與模式 3 同屬於曲線性函數</li> </ul>
5	1967 K. R. Overgaard	$T = T_o \cdot \alpha^{(Q/C_p)^\beta}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 為模式 3、4 之一般式</li> <li>· 花費大量電腦運算時間</li> </ul>

6 7	1963	W.W. Mosher	$T = T_o + \ln(\alpha) - \ln(\alpha - Q)$ $T = \beta - \frac{\alpha(T_o - \beta)}{Q - \alpha}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 對數型函數</li> <li>· 雙曲線型函數</li> <li>· Q = 時，旅行時間 指派時會有問題</li> </ul>
--------	------	-------------	--	---

表 11 以統計方法所得之路段容量函數 (續)

8 9	1976	D. Branston	$T = T_o + \beta \ln(\alpha) - \beta \ln(\alpha - Q) \quad Q < C_s$ $T = T_c + SQ \quad Q < C_s$ $T_c = T_o + \beta \ln(\alpha) - \beta \ln(\alpha - C_s)$ $S = \beta / (\alpha - C_s) \quad C_s$ $T = T_c + Sq \quad Q > C_s$ $T_c = \beta - \frac{\alpha(T_o - \beta)}{C_s - \alpha}$ $S = \alpha(T_o - \beta) / (C_s - \alpha)^2 \quad > C_s \quad T_o >$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 為模式 6、7 之修正，避免旅行時間</li> </ul>
10	1964	BPR	$T = T_o [1 + \alpha(Q/C)^\beta]$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· BPR 建議 =0.15、 =4</li> </ul>
11	1974	P.A. Steenbrink	$T = T_o [1 + \alpha(Q/C)^\beta]$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 得到 =2.62、 =5</li> </ul>
12	1966	TRC	$T = \alpha + \beta(Q' - \gamma) \sqrt{[\beta^2(Q' - \gamma)^2 + \delta]}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 參數略多，且與路段特性沒有明顯的關係</li> </ul>
13	1974	M.A. Florian	$T = D \left[ \delta + \alpha \left( \frac{Q}{N} \gamma \right) + \sqrt{\alpha^2 (Q/N - \gamma)^2 + \beta} \right]$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 依不同轉向與美車道容量的範圍不同校估參數</li> <li>· N 為路段之車道數，D 為路段長</li> <li>· 利用 Winnipeg 市的起迄資料</li> </ul>

14	1982	K.S. Chon	$ACOST = (8.9142 - 5.3725V + 1.8829V^2 - 0.2339V^3 + 0.0121V^4)D$ $V = \frac{1}{\alpha + \beta Q^4}$ $\alpha = \frac{T_o}{4D}$ $\beta = \frac{0.15T_o}{4DC_p^4}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· ACOST 為小汽車營運成本</li> <li>· D 為路段長</li> </ul>
----	------	-----------	--	--

資料來源：(李治綱.鄭堅中)

表 12 以理論分析法所發展的路段容量函數

年代	提出者	模式型態	備註
15	1959 E.W. Campbell L.E. Keeter R.W. Adams sube	$T = T_o \left[ \frac{Q/C_s}{0.6} + (Q'/C_s - 0.6) \right]$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 應用於芝加哥地區運輸研究 (CATS) 中</li> <li>· 與模式 1 類似</li> </ul>
16	1966 K.B. Davidson	$T = T_o [1 + JQ / (S - Q)]$ $J > 0$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· J 為延滯參數</li> <li>· 適用於擁擠狀況之指派</li> <li>· 當 Q = S 時, T 指派會有問題</li> </ul>
17	1962 R.J. Smock	$T = T_o [1 + JQ / (S - Q)] \quad Q \leq US$ $= T_u + K_u (Q - US) \quad Q > US$ $T_u = T(US) = T_o [1 + JU / (1 + U)]$ $K_u = \frac{dT}{dQ}(US) = JT_o / [S(1 - U)^2]$ $0 < U < 1$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· <math>K_u</math> 為 Q = US 之臨界流量</li> <li>· 為模式 14 之修正, 避免計算的困難</li> </ul>

18			$T = \frac{1}{V_r} + nt_q$	· 路網容量函數 · n 為每單位距離號誌化路口數目 · $V_o$ 為速限 · 將模式 16 之 $n = 1/D$ 轉換成路段容量函數
19		$nt_q = \frac{n\alpha}{(1-Q/\lambda S)}$		
20	1968	J.W. Wardrop	$V_r = \min\{V_o, \beta(1-\gamma Q)\}$	
21			$T = \frac{T_o}{(1-\gamma Q)} + \frac{\alpha\beta}{(\alpha-Q)/D}$ $> C_s \quad < 1/C_s$	
22	1990	H. Spiess	$T = 2\sqrt{\alpha^2(1-Q/C_s) + \beta^2} - \alpha(1-Q/C_s) - \beta$ $\beta = \frac{2\alpha-1}{2\alpha-2} > 1$	· 圓錐的路段容量 · 模式 12 類似
符號說明：				
Q：路段流量 T：流量 Q 時每單位距離的旅行時間 T <sub>o</sub> ：零流量時每單位距離的旅行時間 C <sub>p</sub> ：路段的實際容量 (Practical Capacity) C <sub>s</sub> ：路段於穩定車流狀態下之容量				
Q'：路段單一車道之流量 C <sub>p</sub> '：路段單一車道之實際容量 C <sub>s</sub> '：路段單一車道穩定車流狀態下之容量 μ：參數 : 誤差項				

資料來源：(李治綱.鄭堅中)

此外，交通量指派模式為了更能反應地區性交通改善措施之效果，如交叉路口控制型態之改變、增加左轉專用道、停車管制之改變、公車專用道之建立、單行道之設置等。故吾人可以此文獻(李治綱.鄭堅中)得知，於 1967 年，美國運輸部即著手發展微觀指派 (Micro Assignment) 之方法與道路績效函數。如表 13 所示，

表 13 Creighton 與 Hamburg 公司之零流量延滯

控制型態	公 式
號誌 (直行)	$r[(R/2)+A_1]$
號誌 (右轉)	$A_2 + r[(R/2)+A_3]$
號誌 (左轉)	$A_2 + r[(R/2)+A_3]$
停 (二方向)	$A_1 + E$
先行	0, 直行; $A_2$ , 轉向
停 (四方向)	$A_1 + E$
讓	$A_2$
快速道路	0

A <sub>1</sub> : 直行車停等所造成之延滯		
A <sub>2</sub> : 轉向車因加減速所造成之延滯		
= [(V - v) <sup>2</sup> / (2V)][(1 / a <sub>1</sub> ) + (1 / a <sub>2</sub> )]		
A <sub>3</sub> = A <sub>2</sub> - A <sub>1</sub> = [(v / 2V)(2V - v)][(1 / a <sub>1</sub> ) + (1 / a <sub>2</sub> )]		
E : 車輛到達「停」標誌後所花費之偵測路口時間		
r = G / C		
R : 紅燈時間	G : 綠燈時間	C : 週期時間
V : 自由流速率	v : 轉彎速率	
a <sub>1</sub> : 減速率	a <sub>2</sub> : 加速度	

表 13 (續) Creighton 與 Hamburg 公司之零流量延滯

控制型態	公式
號誌 (執行 - 無障礙) L <sub>1</sub>	$L(n) = (R / C)[d(nR / C)] + [(nRG) / C^2K_1] \{ [(nRG) / (2CK_1)] + A_1 + d[(n_1RG) / (C^2K)] \}$ $n \quad K_1$ <p>K<sub>1</sub> : 直行車流容量 d(n) : 在 n 部車之車隊中, 因反應時間所造成之平均損失時間</p>
停 (二方向) L <sub>5</sub>	$L_5 = \begin{cases} b + [V / (\gamma^2 - \gamma W)] & V \leq V' \\ b + \phi + \{ [300(V - \gamma)] / \gamma \} & V > V' \end{cases}$ $b = 1(F) [\exp(FT) - 1] - T$ $\phi = [(20\sqrt{3\gamma}) / \sqrt{\gamma}] - (1 / \gamma)$ $V' = \gamma - (\sqrt{3\gamma} / 30)$

先行 L <sub>6</sub>	A <sub>2</sub> : 和沒有受阻礙之轉向車共用車道之直行車流 L <sub>6</sub> : 左轉車流 0 : 為沒有受阻礙之各轉向車流
停 (四方向) L <sub>7</sub>	$L_7 = \begin{cases} \sum V(i) / [K_7^2 - K_7 \sum V(i)] & \sum V(i) < V' \\ \phi + [300(\sum V(i) - K_7) / K_7] & \sum V(i) > V' \end{cases}$ $\phi = (20\sqrt{3} / \sqrt{K_7}) - (1 / K_7)$
讓, L <sub>8</sub>	同 L <sub>7</sub>
快速道路 L <sub>10</sub>	$L_{10} = \begin{cases} [IV_{10}] / [v(2K_{10} - V_{10})] & V_{10} \leq 2K_{10} \\ \infty & V_{10} \geq 2K_{10} \end{cases}$ V : 速限                      l : 路段長
$F = \sum_i F(i)$ F(i) : 第 i 車道之平均到達率 $T = [\sum_i F(i)T(i)] / \sum_i F(i)$ T(i) : 第 i 車道之可接受車間空程時間 K <sub>j</sub> : 容量 (constant)      V <sub>j</sub> : 需求量      V(i) : 第 i 車道之需求量	

資料來源 : (李治綱, 鄭堅中)

微觀指派對個別轉向車流分別處理, 其道路績效函數發展之依據主要是物理學中速率與加減速公式。

### 1.3 動態旅行時間

關於動態模式推估旅行時間的方式, Ran 在其 1993 年的博士論文中提出, 大部分動態旅行時間都是修改靜態旅行時間的方法來計算動態旅行時間, 或用擴充 Wardrop's 1'st Principle 的方法, 來設計所需要的「最佳化路網」(Ran, 1993)。但這類方法大都採用巨觀的流量—速度—密度曲線為計算基礎, 在微觀的動態模式中很容易產生「早出發晚到達」的不合理現象。雖不合理, 然而大多數的動態車流模式仍以此種方法估算動態旅行時間。另外, 一般以最佳化控制理論構建之動態旅行時間成本函數, 都將旅行時間成本函數表示為路段車輛數、到達流量與離開流量的函數, Daganzo 指出 (1995), 動態旅行時間不可與進出流量有關, 應該只是路段車輛數的函數, 若路段旅行時間與進出的流量有關, 則會有不合理再進出流量二者之間產生函數關係。

卓訓榮 (1995) 等利用等候理論 (Queueing Theory) 的方法建立動態路段旅行時間模型, 不利用流量—速度曲線, 而利用先進先出 (FIFO) 假設及流量守衡的觀念, 推算出每輛車在路段上的旅行時間, 其關係式如下所示:

$$\tau(t) = \left\{ s - t : q(0) + \sum_{k=1}^{\left[ \frac{t}{T} \right]} U[k] + \frac{t - \left[ \frac{t}{T} \right] T}{T} U\left[ \left[ \frac{t}{T} \right] + 1 \right] = \sum_{k=1}^{\left[ \frac{s}{T} \right]} V[k] + \frac{s - \left[ \frac{s}{T} \right] T}{T} V\left[ \left[ \frac{s}{T} \right] + 1 \right] \right\}$$

其中：

t：時間；

k：時段；

T：測量流量之時段長度；

U[k]：第 k 個時段內在路段入口所測得之車輛數；

V[k]：第 k 個時段內在路段出口所測得之車輛數；

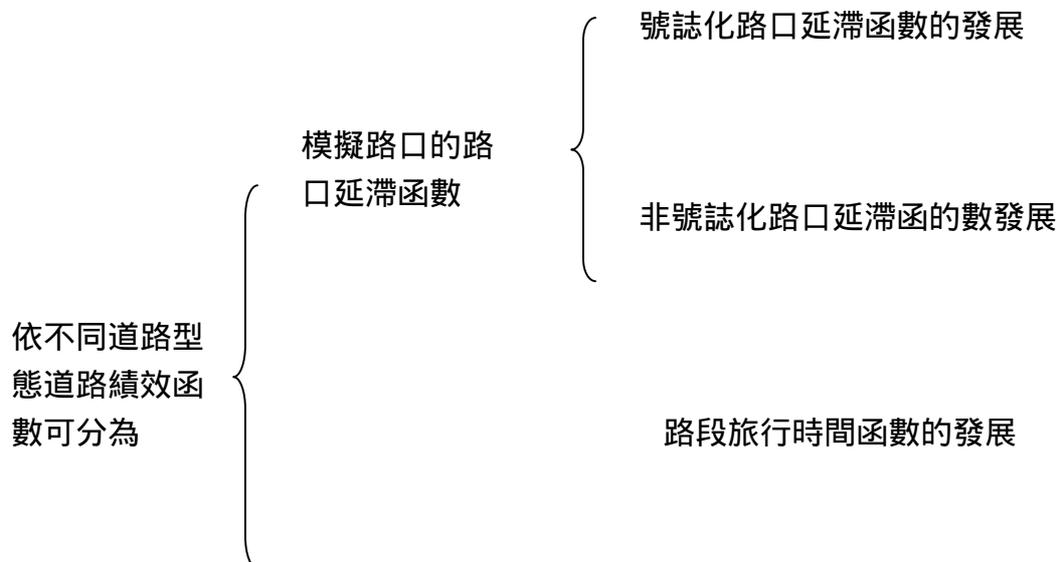
q(t)：時間 t 在路段上的車輛數；

(t)：時間 t 進入車輛的路段旅行時間；

該研究最後以高速公路的路段為對象，並以部分旅行時間為輸入資料。結果發現該研究的模式在動態 OD 模式與動態路網指派中都是必要的，可用來修正傳統模式上的誤差。

### 三、分析交通控制策略之道路績效函數

，以往交通工程師為能在不同道路系統情況下，模擬出短時間之車流運行變化時，對道路績效之影響，因此大多以車流理論為發展道路績效函數之基礎。然而，依據不同道路型態，道路績效函數的發展主要可分為兩個方向：(1)為模擬路口的路口延滯函數，(2)為模擬路段的路段旅行時間函數，主要發展架構可參考圖三所示。



模擬路段的路段  
旅行時間函數



車流模擬模式的發展

圖三

### 3.1 號誌化路口延滯函數的發展

號誌化路口依其號誌控制方式可分為固定時制 (fixed-time) 與觸動式號誌控制 (Traffic-Actuated Signal Controls) 兩種。而目前所發展出的號誌化路口延滯函數大部分為固定時誌之路口延滯函數, 其主要原因是由於觸動式號誌控制發展較晚且較為複雜。目前所發展出的號誌化路口延滯函數如表 14 所示。

表 14 號誌化路口延滯模式

年代	提出者	車輛到達型態	模式型態	備註
1941	A.J.H Clayton	· 均勻到達型態	$d = C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y)$	· 其缺點為到達假設過於簡化且容易低估真實的延滯 · 未考慮段動的情形
1956	C.B. Winsten	· Binominal 分配	$d = r[E(Q_0) / y + (r + 1) / 2] \Delta t / (1 - y)$	· 僅適用於低流量的狀況
1958	F.V. Webster	· Poisson 分配	$d = [C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y)] + [x^2 / 2q(1 - x)] - 0.65(C / q^2)^{1/3} x^{2+5}$	· 其中第一項係到達率為 q 的假設下，所產生的平均延滯；第二項則是隨機延滯或超過容量知延滯，為 Poisson 到達之隨機變動之影響；第三項為模擬而得之延滯修正值。 · 適用於未飽和狀態
1963	A.J. Miller	未假設任何車輛到達分配	$d = (1 - \lambda) \{ C(1 - \lambda) + [(2x - 1)I / q(1 - x)] + (I + y - 1) / s \} / 2(1 - y)$	· 應用 Winsten 函數 · 分別計算紅燈時相與綠燈時相的延滯 · $x \geq 1$ ，函數與 Webster 之函數相近 · $x < 0.5$ 時， $E(Q_0) = 0$ ，模式第二項為 0，可能會造成 $E(Q_0) = 0$ 低估
1968		Poisson 分配	$d = (1 - \lambda) \{ C(1 - \lambda) + \exp[(-4/3)(\lambda C_s)^{1/2} / x] / q(1 - x) \} / 2(1 - y)$	· 皮爾森到達型態 · $x \geq 1$ ， $d = (1/2)q(1 - x)$
1965	G.F. Newell		$d = [C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y)] + [IH(u)x / 2q(1 - x)] + [I(1 - \lambda) / 2s(1 - y)^2]$ $H(u) = \exp[-u - (u^2 / 2)]$ $u = (1 - x)(sG / I)^{1/2}$	· 引用流體模式與隨機程序觀念建立 · 引用數值的例子說明其函數在飽和度 3%~4% 範圍時，符合 Webster 的函數 · 除了需要為 H(u) 特別誌表或圖外，此函數可直接於實務上應用
1968	D.R. McNeil	· 結合的皮爾森到達型態	$d = (1 - \lambda) \{ C(1 - \lambda) + 2E(Q_0) / q + s[1 + I / (1 - y)] \} / 2(1 - y)$	

表 14 號誌化路口延滯模式 (續)

1972	R.E. Allsop	· 均勻到達型態	$d = \{(R - 1/2s)^2 + [y(2 - y) + Q(1 - y)^2] / 12q^2\} / 2C(1 - y)$ <p>其中 <math>-1/3\sqrt{3} \leq Q \leq 2/3\sqrt{3}</math></p>	· 適用於未飽和的狀況
1972	T.P. Hutchinson	· $l = 1$ , 皮爾森到達型態	$d = 0.9[C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y) + Ix^2 / 2q(1 - x)]$	· Webster + l - ratio
1978	K. Ohno	· 皮爾森到達型態	$d = (1 - \lambda)[C(1 - \lambda) + 2E(Q_0) / q + (1/s) + (1/s)(1 - y)] / 2(1 - y)$	
1980	P. Akcelik		$d = C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y) + T[(x - 1) + (x - 1)^2] + \sqrt{12(x - x_0) / QT} / 4 \quad \text{if } x > x_0$ $d = C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y)^2 \quad \text{if } x < x_0$ <p>其中 <math>x_0 = 0.67 + SG / 600</math></p>	
1982	F.B Lin F. Mazdeyasno		$d = 0.9[c(1 - A\lambda)^2 / 2(1 - A\lambda B_x) + (B_x)^2 / 2q(1 - B_x)]$	· 觸動式號誌控制延滯模式, 並使用模擬資料
1983	TRANSY		$d = C \sum_t m_t / N^2 + [(B_n / B_d)^2 + (x^2 / B_d)]^{1/2} - B_n / B_d$ <p>其中 <math>B_n = 2(1 - x) + xZ</math>, <math>Z = 60(2x / q) / T</math>  <math>B_d = 4Z - Z^2</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1983FHWA</li> <li>· <math>m_t</math> 為時階之等候線長度</li> <li>· <math>N</math> 為週期內總時階數</li> </ul>

表 14 號誌化路口延滯模式 (續)

1984	SOAP		$d = C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y) + [(B_n / B_d)^2 + x^2 / B_d] + x^2 / B_d^{1/2} - B_n / B_d$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1984FHWA</li> <li>· Webser + TRANSYT</li> </ul>
1984	PASSER-11-84		$d = C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y) + 225Fx^2[(x - 1) + (I + y - 1) / \sqrt{(x - 1)^2 + 16x / qF}]$ <p>其中 F 為修正係數，當 T=1/4hr，F=1 T=1hr，F=4</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 改良之 HCHRP 延滯公式</li> <li>· 適用於過飽和狀況</li> <li>· 考慮續進之延滯模式</li> <li>· 未飽和狀況用 Webster</li> </ul>
1985	H.C.M.		$d = 0.38C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y) + 173x^2 \times [(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + 16x / Q}]$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 此 d 為平均之停等延滯</li> <li>· 根據車道群建立函數</li> </ul>
1988	R. Akcelik		$d = C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y) + 900Tx^n \times [(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + m(x - x_0) / QT}]$ <p>其中 <math>x_0 = a + b_sG</math> a, b 為常數</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Generalize HCM</li> <li>· 澳洲及加拿大模式</li> <li>· 根據車道群建立函數</li> </ul>
1988	R. Akcelik		$d = 0.38C(1 - \lambda)^2 / 2(1 - y) + 173[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + m(x - x_0) / Q}]$ <p>其中 <math>x_0 = a + b_sG</math> a, b 為常數</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 此模式解決 HCM 高估過飽和延滯的問題</li> <li>· Alternative HCM Formula</li> </ul>

表 14 號誌化路口延滯模式 (續)

1989	A. Ceder		$d = r(R^2C + q/2) / [2(1 - RC)(1 - RC - q/s)]$ <p>其中 R : 平均紅燈時間</p> <p><math>\bar{C}</math> : 平均時制週期長</p> <p><math>r = aC^b</math></p>	觸動式號誌控制延滯模式
<p>使用變數說明：</p> <p>d : 平均每車延滯 (sec)      x : 飽和度 qc/sG      r : R/ t</p> <p>C : 號誌週期長度 (sec)      y : q/s = x = Q t      : G/C</p> <p>G : 有效綠燈時間 (sec)      l : 每週其到達車輛的變異數與平均數之比</p> <p>R : 紅燈時間 (sec)      Q<sub>0</sub> : 超過容量之等候車輛數      t : 時間間隔 (sec) = 1/s</p> <p>s : 飽和流率 (pcu/sec)      Q : 容量 (pcu/H)      q : 到達率 (pcu/sec)</p> <p>T : 流率 q 之時間長度 (hr)</p>				

資料來源 : (李治綱, 鄭堅中) 與本研究整理

### 3.2 非號誌化路口延滯函數的發展

非號誌化路口可分為先行路口 (priority intersection) 與停標誌 (Stop-sign) 路口。因過去研究中，極少有研究對停標誌、路口作探討，故在此，本研究對其不多加以敘述。因此，吾人將僅就李治綱、鄭堅中文中提到的先行路口之相關文獻作歸納與彙整。然而，非號誌化路口延滯所使用之理論分析方法，主要是基於「等候理論」與「可接受車間空程法則」加以推導，因此，以下將依等候理論、車輛到達型態與其平均延滯模式型態等，彙整集結成表，即如表 15 所示。

### 3.3 路段旅行時間函數的發展

相關文獻中，大多僅考慮未飽和車流之路段車流行為建立函數，且其相關研究並不多，僅有少數人在進行相關研究，如 Hodgson (1967) 和 Cowan (1971、1975、1980) 等。其所使用的理論係對單一車道車流考量假設當車流進入一路段後，每一車輛有其所期望的旅行時間或速度，當前車之期望速度較慢而必須跟隨前進時，則此車及產生延滯，並且據此而形成車隊；平均旅行時間的獲得則是依據某一固定的到達率下，到達車輛的車間距型態與自由流旅行時間分配來決定。

在 1980 年，Cowan 推導的單一車流旅行時間函數中，就先假設在單一車道路段上，車輛於行進中沒有超車行為的發生，而車輛的到達是以車隊與車間距組成的方式，車隊中的車輛數為一隨機變數  $M$ ，其機率密度函數 (p.d.f) 定義成  $a_m = p(M = m)$ ，並且平均車隊大小為  $u$  車隊中的車間空程設為一固定值  $\tau + x$ ，其中  $x$  為一隨機變數，其機率密度函數定義為指數型態  $\lambda \exp(-\lambda x)$  流入  $\lambda$  則可以下式表示：

$$\lambda = \gamma \phi / (1 + \beta_{1, \gamma \phi})$$

假設每一進入路段的車輛有其期望的旅行時間  $T$ ，所有車的期望旅行時間假設一機率密度函數  $G(t)$ ，假如就兩輛車 A、B 兩車，當  $T_a > T_b$  時，則假設在路段上任一點  $S_a > S_b$ ， $S$  為期望旅行速度，當一車輛依其期望速度行接近前面的車輛時，則以  $\tau$  的車間空程，以前車的速度跟隨前車。如果  $F(t)$  為實際旅行時間之累積密度函數，依據上述之假設 Cowan (1980) 導出下式：

$$F(t) = \frac{G(t)\{1 - \eta[G(t)]\}}{\phi[1 - G(t)]} \exp(-r \int_t^\infty \{[1 - G(u)]\} du)$$

此處  $\eta[x]$  為到達車隊大小分配的機率產生函數，如  $\eta[x] = \sum_{m=1}^{\infty} a_m X^m$  則平均旅行時間即可利用下式算出，為  $\bar{t}$  的函數：

$$\bar{t} = \int_t^\infty t \{dF(t) / dt\} dt$$

Cowan 所導出之路段旅行時間函數，由於其假設過於強烈，所以會造成許多限制，如在無超車行為的情況下，並且為一單一車道之績效函數時，其對應用於多車道時即發生限制情況，且其函數過於複雜，難以直接應用於交通量指派模式中；直到 1991 年，Fisk 所使用之路段旅行時間函數，便將上述方式推導過程予以簡化，並利用線性近似處理而得。此外，巨觀網路系統時制設計軟體亦有運用路段旅行時間函數以計算路網總旅行時間，如 TRANSTY-7F；路段上之總旅行時間，包括在該路段之實際行車時間及其他因延滯所需花費在路段上之時間。

曾莉莉（1994）利用車流模擬的方法探討不同高速公路動態旅行時間函數定評估其實用性。以 FRESIM 模擬軟體模擬路段上車輛數、流入與流出車輛數，經計算得到路段平均交通速率，並由平均速率換得子路段旅行時間，經由統計方法進行檢定與迴歸分析已確定統計迴歸配湊結果之正確性。

Bin Ran 等人（1997）利用流量守恆、路段車輛流出入率的觀念建構號誌化道路之績效函數，將路段分為抽象性的兩個區域—車輛排隊等候區及車輛巡行區，因此旅行時間成本函數為車輛巡行時間（cruise time）及車輛排隊等候延滯時間（queuing delay time）的總和。其將旅行時間成本函數分為隨機性與確定性兩類，其表示下：

$$\tau_a(k) = D_{a1}(k) + \alpha_a d_{a1}(k) + \beta_a d_{a2}(k)$$

其中，

$$D_{a1} \text{ 為巡行時間， } D_{a1} = 1800 \frac{2l_a e_{am} - [x_{a2}(k) + x_{a2}(k+1)]}{w_{a1}(k) e_{am}}$$

$$d_{a1} \text{ 為停等延滯， } d_{a1} = \frac{0.5c[1 - g(k)/c(k)]^2}{1 - \rho_a(k)g(k)/c(k)}$$

$d_{a2}$  為車輛停等候欲再重新啟動之紓解延滯，此研究及在此項將旅行時間成本函數作隨機性以及確定性的區別。

隨機性，

$$d_{a2}(k) = 3600 \frac{x_{a2}(k)}{\mu_a(k)} + 900\Delta k [\rho(k)]^n \{ [\rho_a(k) - 1] + \sqrt{[\rho_a(k) - 1]^2 + \frac{m\rho_a(k)}{\mu_a(k)\Delta k}} \}$$

確定性，

$$d_{a2}(k) = 3600 \frac{[u_a(k) - v_{a2}(k)]\Delta k / 2 + x_{a2}(k)}{\mu_a(k)} = 1800 \frac{[u_{a2}(k) - v_{a2}(k)]\Delta k + 2x_{a2}(k)}{\mu_a(k)}$$

伍靜怡（2002）基於此一概念，利用其確定性模式，在旅行時間之計算中，加入事故發生時之考慮，分一般車流狀況及路段上有事故發生兩部分作探討。利用 Paramics 車流套裝軟體產生事故之車流資料，驗證單一路段單車道事故之狀況，證實模擬結果卻能有效反應事故發生對車流造成的衝擊及路段旅行時間的變化。

表 15 先行路口延滯函數

年代	提出者	車輛到達型態	等候理論模式	模式型態	備註
1962	J.C Tanner	Poisson 分配	· M/G/1	$d = q_1 e^{\beta_2 q_1} (e^{\gamma_1} - J_{q_1} - 1) + q_2 e^{\gamma_1}$ $(e^{\beta_2 q_1} - \beta_{2q_1} - 1) / q_1 [q_1 e^{\beta_2 q_1} - q_2 e^{\gamma_1}$ $(e^{\beta_2 q_1} - 1)]$	· $\beta_2$ 通常需要 7 秒
1978	Peterson2 等 學者	負指數分配	· M/M/1	$d = 1 / (1 - p)^\mu$ $\mu = q_1 e^{-q_1 \gamma / (1 - e^{-q_1 / 2})}$ $\rho = q^2 / \mu$	· 使用 Pollaczek 之 等候公式
1985	Semmens	負指數分配	· 動態 M/M/1	$d = d_q + 1 / \mu$ $d_q = \{ -(2 + \mu t - \rho \mu t) + [2 + \mu t -$ $\rho \mu t)^2 + 8 \mu \rho t]^{1/2} \}$	· $\mu$ 由迴歸求出
1985	Y. Sheffi	Poisson 分配	· M/G/1	$d = q_2 E(W^2) / [2(1 - q_2 E(W))] + E(W)$ $E(W) = (1/q) e^{\gamma_1} - (1/q_1) - J$ $E(W^2) = E(N^2) E(T   T < J)^2 +$ $E(N) \text{Var}(T   T < J)$	· 丁字路口

表 15 先行路口延滯函數 (續)

1989	C. S. Fisk	負指數分配	動態 M/M/1	$d_i = d_q + \mu_i^{-1}$ $d_q = [-V + (V^2 - 4\mu W)^{1/2}] / 2\mu$ $\mu = 2\mu_1\mu_2(1+a)$ $v = \mu_1\mu_2t(1+a) + 2\delta - \rho_2t\mu_1\mu_2$ $(1+a)^2$ $W = -\rho_2t(1+a)\delta$ $\delta = \mu_1 + a\mu_2$ $a = \rho_1 / \rho_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 考慮轉向</li> <li>· 此假設僅有二個移動方向</li> </ul>
<p>d : 次要道路車輛平均延滯</p> <p><math>q_1</math> : 主要道路流率      <math>q_2</math> : 次要道路流率      <math>\mu</math> : 服務流率      : 交通密度</p> <p><math>q_a</math> : 次要道路車輛平均等候時間      J : 臨界間距      <math>t_2</math> : 次要道路前進時間</p>					

資料來源 : (李治綱. 鄭堅中) 與本研究整理

### 3.4 車流模擬模式的發展

車流模擬模式中就模擬對象而言，主要可分為巨觀車流模擬模式與微觀車流模擬模式，而不論以何種方式，其皆為在一時段內，描述出車流在道路上複雜的真實行為。其中，車流模擬模式中還包含許多數學模式。

巨觀車流模擬模式主要是將重點放於整體車流狀況，即將車流以密度、流率與平均行駛速率等特性來表示之；許多交通號誌控制軟體的車流模擬部分皆採用此法，如 SOAP-84、PASSER-II 和 TRANSTY-7F 等。而微觀車流模擬模式一般係以每部車輛之移動情形為模擬的重點，其並無巨觀之延滯函數，模擬時由前導車開始往後逐輛掃描；由於此類模式需計算每輛車之移動情形，在電腦上執行時往往受到記憶體容量的限制，而無法處理較大的路網。微觀車流模擬模式之發展為了補足巨觀函數真實程度上的欠缺，其運用上主要的目的在於能更精確的描述複雜、隨機變化的車流行為，以目前發展來說，較完整之微觀車流模擬模式有 TEXAS 與 NETSIM 等。微觀車流在理論部分，對於路段中車輛行為的處理方式，主要以傳統跟車理論為主的車流推進方式；及針對國內特有的混合車流特性所發展的二維座標車流模式等兩種。對於路口行為之處理方式，基本上路口車輛行為較為關注於左右轉向，一般來說，皆以接受間距作為左右轉車運行判斷的主要原則，而由於運行軌跡難以量測，大多是以固定軌跡固定衝突點的方式處理；至於行人衝突的考量，由於樣本之不易蒐集，一般可予忽略不計；而直行車則大多沿用路段推進行為，頂多是考量衝突限制，一般在處理上較為簡單。

## 四、應用於真實路網之路段旅行成本函數

BPR( Bureau of Public Roads )函數為一於 1950 年代，美國所構建之路段成本函數，其主要是以路段流量與路段旅行時間為主之函數關係式，因此函數較簡單，廣為多數國家規劃運輸旅運需求時所採用，然國內亦是如此。但因其所採之參數值多為 1964 年 BPR 所建議的值，分別是  $\alpha = 0.15$ 、 $\beta = 4$ ，甚少有研究對其重新進行校估，便直接引用，而未慮及各個國家之文化背景、地理環境、經濟與駕駛人特性可能有顯著差異，導致不適用。故本研究想藉由文獻的整理中得知，

BPR 函數於真實路網中是否真能一體適用？是否真的適用於各個國家？

綜上所述，本研究將先回顧 BPR 函數目前被應用於真實路網之相關文獻，以了解國內外運用 BPR 函數以真實路網中相關情形（如表 16、表 17）。

表 16 應用於真實路網之路段旅行成本函數<國外>

作者	問題類型	路段旅行成本函數	輸入	輸出	路網特性	備註
Sunduck Suh etc. (1990)	校估公路 容量函數	$T = T_0 [1 + \alpha (\frac{Q}{C_p})^\beta]$			公路系統 (路段)	韓國(郊區)
A. T. CHronopoulos etc. (1996)	車流模擬	$T = t_0 (1 + \frac{rk}{k_{jam} - rk})$			高速公路 路段(18mils)	Minnesota
David E. Boyce etc. (1997)	動態路徑 選擇	號誌路口： $d = \frac{0.5C(1-u)^2}{1-ux} + 90\gamma\gamma[x-1 + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8(x-0.5)}{cT}}]$ 無號誌路口 $d = d_0 [1 + 0.15(\frac{V}{C})^4]$	0-D 矩陣 依時出發率 起初路段流量	路段旅行時間	小路網 (路段)	芝加哥西北城郊 (只取一部分))
D. M. Levinson etc. (1997)	運輸規劃 (路徑 指派)	$T_c = T_f [1 + A \exp(\frac{Q}{Q_0}) + B(\frac{Q}{Q_0})^c]$ (BPR+路口延滯)			大路網 (路段)	應用於 Montgomery County 中之 4 個區域
C. M. Benedek etc. (1998)	交通量 指派	$T_a = T_{a0} [1 + \alpha (\frac{V_a}{C_a})^\beta]$			小路網 (主要為幹道與 街道) (路段)	University Network, Edmonton, Alberta, Canada
V. Krishnan etc. (1998)	交通量指派 (貨物運輸)	$t = t_f [1 + 0.15(\frac{v}{c})^4]$			公路 (路段)	Massachusetts(郊區)

表 16 應用於真實路網之路段旅行成本函數<國外> (續)

W. H. K. Lam etc. (2000)	交通量 指派	$c_a(v_a) = c_a^0 [1 + \beta (\frac{v_a}{Ts_a})^\alpha]$	Queue-delayed flow	路段旅行時間	中路網 (幹道) (路段)	應用於 Sious Falls, South Dakota 之尖峰(考慮容量限制與殘餘流量)
M. K. Hasan etc. (2000)	路網均衡	$C_a = C_{a0} [1 + 0.15 (\frac{f_a}{cap_a})^4]$	家工作旅次 家非工作旅次 非家旅次 卡車和計程車 local/external external/ external	路段旅行時間	大路網 (路段)	應用於德州 Tyler 的都市運輸路網

資料來源：本研究整理

表 17 應用於真實路網之路段旅行成本函數<國內>

作者	問題類型	路段旅行成本函數	輸入	輸出	路網特性	備註
何東波等人 (1986)	交通量指派	$T_l = T_l^f [\alpha + \beta (\frac{X_l}{C_l})^n]$			大路網	台南市
曾莉莉 (1994)	動態路段旅行 時間函數				高速公路路段	1. 中山高速公路內壢交流道 至中壢交流道中間路段 2. 應 用車流模擬 (FRESIM)
王中允、胡守任 (2000)		$T = T_0 [1 + 0.15 (\frac{Q}{C_p})^4]$			高速公路路網	北部
張修榕 (2001)	旅行時間預測				高速公路	應用車流模擬與倒傳遞演算 法

資料來源：本研究整理

## 四、小結

道路績效函數（或稱旅行時間成本函數），不論在交通量指派或在交通工程領域中皆為一項重要且極具研究意味的問題。從以上所述之發展看來，可以對其作以下幾點相關見解：

1. 在交通量指派方面，現行學者皆致力於動態交通量指派，然在其所構建之使用者均衡模式中，旅行時間項並未多加著墨，而動態旅行時間之預估，對於動態交通量指派佔一定的比例，故動態旅行時間成本函數的發展在未來極具重要。
2. 模擬模式對於旅行時間的推估以佔相當重要的地位，不難發現，不論是交通量指派，延滯的推估，許多學者皆利用不同的套裝模擬模式來分析他們所研究的相關課題。利用經過各種驗證之車流模擬模式，可在適當的實驗設計下產生發展道路績效函數之資料，再據之依應用之目的建立函數，這種方法使得資料之取得十分有彈性；若能配合理論分析之經驗，此法確實提供了討論道路績效函數相關問題的舞台。

## 參考文獻

1. Allsop, R.E. (1972), "Delay at a Fixed Time Traffic Signal-I: Theoretical Analysis", *Transportation Science* 6, pp.260-285.
2. Brown, G.J.H. and Scott, R.S. (1970), "Micro-Assignment: a New Tool for Small-area Planning", *Highway Research Record* 322, pp.149-161.
3. Ceder, A. and Rossi, T.T. (1988), "Signalized Intersections with Variable Flow Rates: I Analysis and Simulation", *Journal of Advanced Transportation* 22, pp.153-168.
4. Chon, K.S. (1982), *Testing of Combined Urban Location and Travel Choice Models*, Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana & Champaign.
5. Cowan R. (1971), "A Road with No Overtaking", *Austral. J. Statist.* 13, pp94-116.
6. Cowan R. (1975), "Useful Headway Models", *Transportation Research* 9B, pp.371-375.
7. Cowan R. (1980), "Further Results on Single Lane Traffic Flow", *Journal of Applied Probability* 17, pp.523-531.
8. Creighton, Hamburg, Inc. (1969), Micro Assignment-Final Report, Bureau of Public Roads Contract FH 11-6755, Washinton D.C..
9. Fisk, C.S. and Nguyen, S. (1982), "solution Algorithms for Network Equilibrium Models with Asymmetric User Costs", *Transportation Science* 16, pp.361-381.
10. Fisk, C.S. and Tan, H.H. (1989), "Delay Analysis for Priority Intersections", *Transportation Research* 24B, pp.453-469.
11. Friesz, T.R. (1985), "Transportation Network Equilibrium, design and Aggregation", *Transportation Research* V 19A, N.5/6, pp.413-427.
12. Hodsdon, V. (1968). "The Time to Drive Through a No-Passing Zone", *Transportation Science* 2, pp.252-264.
13. Hutchinson, T.P. (1972), "Delay at a Fixed Time Traffic Signal-II: Numerical Comparison of Some Theoretical Expression", *Transportation Science* 6, pp.286-305.
14. Kim, Y.G. and Mahmassani, H.S. (1987), "Link Performance Function for Urban Freeway with Asymmetric Car-Truck Intersections", *Transportation Research Record* 1120, pp.32-39.
15. Lin, F.B. and Mazdelasna F. (1983), "Delay Models of Traffic Actuated Signal Controls", *Transportation Research* 905, pp.33-36.
16. Miller, A.J. (1963), "Settings for Fixed-Cycle Traffic Signals", *Operationa; Research Quarterly* 14, pp.373-386.
17. Newell, G.F. (1965), "Approximation Methods for Queues with Application to the Fixed-Cycle Traffic Light", *SLAM Review* 7, pp.223-239.
18. Ohno, K. (1978), "Computational Algorithm for a Fixed Cycle Traffic Signal and New Approximation Expressions for Average Delay", *Transportation Science* 12, pp.29-47.

19. Potts, R.B. and Oliver, R.M. (1972), "Flows in Transportation Networks", pp.16  
Academic, New York.
20. Spiess, H. (1990), Conical Volume-Delay Function, Transportation Science 24,  
pp.153-158.
21. Tanner, J.C. (1962), "A Theoretical Analysis of Delays at An Uncontrolled Intersection",  
Biometrika 49, pp.163-170.
22. Urban Mass Transportation Administration (1984), UTPS Transportation Network  
Analysis: Intersection Analysis Users' Guide, Washington, D.C.
23. U.S.DOT (1973), Traffic Assignment-Methods, Applications, and Product.
24. Webster, F.V. (1958), Traffic Signal Settings, Road Research Technical No.39, Her  
Majesty's Stationery Office, London.
25. Daganzo, C.C. (1995), "Properties of Link Travel Time Functions under Dynamic  
Loads", Transportation Research Part B, Vol.29, No.2, pp.95-92
26. Bin Ran, Poupail, N. M., Tarko, A.P., Boyce, D.E. (1997) "Toward a Class of Link  
Travel Time Functions for Dynamic Assignment Models on Signalized Networks",  
Transportation Research Part B, Vol.31, No.4, pp.277-290.
27. Ran, N. (1993), Dynamic Transportation Network Models for Advanced Traveler  
Information System, Ph.D. thesis, University of Illinois, Chicago, IL.
28. 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 2 月。
29. 何美瑩，號誌化交叉路口車輛延滯模式之研究，國立交通大學運輸工程研究所碩士  
論文，民國 78 年 6 月。
30. 李英慈，SOAP-84 模式理論及其功能之改良研究，國立成功大學交通管理科學研  
究所碩士論文，民國 78 年。
31. 國立成功大學交通管理研究所，網路及幹道號誌軟體程式 T7F-T88，民國 77 年 12  
月。
32. 鄭堅中，都市道路路段績效函數之發展與應用，國立成功大學交通管理科學研究所  
碩士論文，民國 81 年。
33. 李治綱、鄭堅中，「道路績效函數之回顧」，運輸，第 18 期，pp.7-26，民國 81 年  
12 月。
34. 曾莉莉，高速公路動態路段旅行時間函數研究，國立中央大學土木工程學研究所碩  
士論文，民國 83 年 6 月。
35. 卓訓榮、王日昌、江勁毅，「動態旅行時間之估算」，中華民國運輸學會第十屆論文  
研討會，民國 84 年 10 月。
36. 伍靜怡，即時應變事故之動態交通量指派方法論，國立台灣大學土木工程學研究所  
碩士論文，民國 91 年 6 月。