

第二章 國內外相關文獻回顧

有關公路投入成本暨服務績效評估之先期研究，於國內除數篇可斟酌參考的文獻外，本計畫相關研究可參考者甚少，在績效指標方面包括：周家禧等[民國 86 年]、交通部運輸研究所[民國 91 年]，在績效評估方法方面包括：唐富藏[民國 78 年]、吳壽山等[民國 82 年]、李得璋[民國 84 年]、游俊雄等[民國 85 年]、黃敏捷等[民國 88 年]、周榮昌等[民國 88 年]，在績效評估系統研究方面有：丁國樑[民國 80 年]，在道路交通事故研究方面有：交通部運研所[民國 89 年]，在公路養護與管理績效方面有：廖國行[民國 89 年]，上述國內文獻依出版年期先後說明於 2.1 節。

至於在國外相關文獻方面，對於運輸系統之績效評估以成本效益法進行者居多，相關回顧包括：Hill[1973]、Fielding[1987]、Keeney and Raiffa[1993]、Wan and Kang[1994]、Brand[1997,1998]、Wei and Schonfeld[1998]、Meyer and Miller[2001]；公路績效財源管理方面回顧了：Kant[1982]；公路養護與管理績效方面有：McMullen[1986]、Stivers[1999]；至於與公路相關的資訊系統建置，有美國的 HPMS[1978]、世界銀行發展的 HDM-III 套裝軟體[World Bank, 1994]、HDM-4[1999]等。本計畫收集之國外相關文獻依出版年期先後整理於 2.2 節。

除上述文獻回顧外，本章 2.3 節針對常用的績效評估方法進行探討與比較，並特別介紹 DEA 模式之基本理念，有關 DEA 模式於本計

畫之應用說明於第六章。

2.1 國內文獻回顧

1. 唐富藏，「系統動態模式在成本效益評估分析之應用」，運輸學會第四屆學術論文研討會，頁 629～650，民國 78 年 7 月。

系統動態模式具有因果關係之回饋環路，也可進行政策敏感度分析，當客觀環境發生異動時，參數及資料更新容易，可用於特定模式的處理與運作。此研究係以北部第二高速公路交控系統成本效益評估分析為例，構建成本效益評估系統動態因果關係回饋模式，共包含四個子系統，即影響評估子系統、效益因素子系統、成本因素子系統、效益評估子系統，組合了因果關係回饋環路整合模式，並考慮當政策環境變動時不同狀況(如利率、物價指數調整等)成本效益之影響。

2. 丁國樑，「公路系統設計標準與養護計畫最佳化之研究」，國立成功大學交通管理科學研究所，民國 80 年 7 月。

一般在進行公路規劃之路線與設計標準選擇時，所考慮的因素雖包括建造成本、使用者成本、非使用者成本等，但通常未能一併考慮長期與整體性的維修計畫與預算。事實上，道路損壞與維護、道路初期設計標準以及交通量三者之間有非常密切的交互作用，因此為使公路建設投資之最佳化，有必要考慮道路系統使用年限內，包括建造成本、維修成本、使用者成本以及非使用者成本之社會總成本。此研究旨在引進世界銀行發展的 HDM(Highway Design and Maintenance Standards Model)套裝軟體，將其各項模式參數加以校

估或變更模式，提供國內之公路單位使用。

- 3.吳壽山、許和鈞，「交通建設計畫執行評估方法之研究」，交通大學管理科學研究所，民國 82 年 5 月。

此研究以系統方法為主，提出以決策樹為基礎之績效評估決策支援系統，以適用不同層級或不同計畫之績效評估。此外並引進模糊理論之技巧，藉由此理論內涵與模擬作業，整合不同專家學者與主辦單位之自我評估意見，及主管機關之初步評估成果，納入績效評估決策支援系統。

- 4.李得璋，「公共工程執行績效評估之研究」，台灣工業技術學院營建工程技術系，民國 84 年 8 月。

此研究計畫乃以績效評估理論為基礎，探討評估模式、指標及方法，並就現行公共工程考核作業加以評析，探討評估方式及執行現況之問題癥結，藉由訪調與案例分析之實證，以建立公共工程執行績效評估模式。

研究中針對公共工程之特性與其執行績效評估之需要，建構了包含進度控制、預算執行、品質管理、行政作業、環境影響等內涵之績效評估系統，並就進度控制與預算執行兩重點課題，分別研訂其評估項目與相關基準。

- 5.游俊雄、黃國平，「都會地區交通環境監測方法之研究」，第七屆環境管理與都市發展研討會論文集，頁 (26) -16，民國 85 年 11 月。

此研究主要針對都會區整體交通環境監測方法提出相關模式

之架構與建立程序，並依模式所要反映之四大目標：交通設施架構、道路服務水準、公共運具服務水準及民眾滿意程度等，擬定相關指標與問卷，所建立之各指標大抵涵蓋一般都會區交通評鑑之內容，可量化指標皆可透過經常性交通調查而獲得。各指標值可依其評估等級轉換為評估等級積分，最後再整合為整體都會區交通環境監測指標值，並依指標值之範圍定義都會區整體交通環境之狀況。

6.周家蓓、牛文元，「柔性鋪面績效預測模式構建程序之研究」，運輸學刊，第十卷第三期，頁 97～122，民國 86 年 9 月。

鋪面績效預測模式乃為鋪面管理系統中最為重要之一環，其主要功能有：預測未來鋪面服務績效、安排適當養護整修策略、達成最佳預算編制、鋪面整體使用年限成本與效益分析等，與本計畫公路系統之投入成本與服務績效評估概念相近。

鋪面績效預測模式以鋪面績效指標及鋪面績效影響變數之關係式來表示：

$$\text{鋪面績效指標} = f(\text{鋪面績效影響變數})$$

其中鋪面績效指標包含鋪面現況服務力指標（Present Serviceability Index, PSI）、鋪面破壞指標、糙度指標等，而鋪面績效影響變數則有結構強度類變數、環境因素類變數、交通荷重類變數及養護整修類變數。

而鋪面績效預測模式構建型式分為構建種類與構建方法，在構建種類方面有單一鋪面績效預測模式、鋪面家族績效預測模式及綜合績效預測模式，構建方法則有決定論（Deterministic）模式的迴

歸分析法與機率論 (Probability) 模式的馬可夫鏈法 (Markov Chain Method) , 不過因馬可夫鏈法所需資料較為大量與繁複 , 因此以迴歸分析法作為預測模式之主要方法。此研究所建立本土化鋪面績效預測模式為鋪面家族迴歸分析法 , 模式如下 :

$$\text{鋪面績效指標 (鋪面強度 , 環境分區)} = f (\text{累積交通荷重})$$

其中「鋪面績效指標 (鋪面強度 , 環境分區)」意指在給定之某鋪面強度及環境分區家族內之鋪面績效指標值。而模式所採用之各項變數指標如表 2.1-1

表 2.1-1 本土化鋪面績效預測模式可採用之各項變數指標

| 鋪面績效指標 (鋪面強度 , 環境分區) = f (累積交通荷重) | |
|---------------------------------------|--------------------|
| 鋪面績效指標 | PSI 值、PSDI 值、MI 值 |
| 鋪面強度分類標準 | SNC 值、面積饒度指標、鋪面等級 |
| 環境分區分類標準 | 環境分區法 |
| 累積交通荷重 | 累積標準單軸軸重當量、累積重車交通量 |

上述模式利用歷史資料構建與經過實例分析之後 , 確能適合台灣地區採用作為鋪面績效預測模式。

7.黃敏捷、蕭再安、黃文吉 , 「區域道路系統建設計畫評估方法之研究」, 中華民國建築技術學會創會二十週年慶暨專題演講 , 民國 88 年 8 月。

此研究利用層級分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)進行區域道路系統建設投資計畫之評估，除建立評估架構與程序外，並以台灣北端之基隆地區道路系統建設計畫為例，進行實證研究。實證研究建立之 AHP 評估架構包含五層(Levels)、八評估準則(Criteria)及二十六項道路工程項目，其中，評估指標及準則間之權重由問卷調查得到，評估準則下各項道路工程之績效值(Performance)可量化部分(Quantitative)依統計資料填入，不可量化之質化部分(Qualitative)以等級填入。最後，經計算各道路工程之總績效值及優先順序(Priorities)，做為後續建設經費分配之依據。

- 8.周榮昌、李其灃、黃鋒樟、陳怡妃、林欣宜，「中小型交通建設計畫評估模式之研究」，運輸學會第十四屆學術論文研討會論文集，頁 438～447，民國 88 年 12 月。

中小型交通建設之審議流程分成以下四個階段，分別為(1)需求研擬(2)可行性分析(3)方案執行及(4)考核修正等階段。由於審議過程中均涉及計畫方案之排優及中央補助經費之估算，因此建立一套科學化及系統化之計畫投資評估模式將使中小型交通建設之審議結果更具公平性及完整性。有鑑於此，此研究以目標規劃法為主要之模式架構，分別進行縣市政府及交通部之方案排序及預算編列。模式中採用之評估指標共計五項，其中以熵值權重法求算指標之權重，另外則以兩階段模糊分類法來說明方案間之相關性。

- 9.廖國行，「公路養護及管理績效(養路比賽)之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國 89 年 6 月。

此研究針對國內路政單位之養路比賽，運用 DEA 模式之投入產出概念，將養護單位之效率值轉換成排名，並與路政單位傳統的排名與分數作比較。

此研究提及高速公路局及公路總局轄下各工務段的影響因素頗多，養護管理績效相關產出及投入之影響因素細項，一般可分「內在因素」及「外在因素」，不同程度的投入（對道路施加保養維護而付出的相關作業成本或影響因素），會有不同程度的產出（對道路施加保養維護的能量後獲得產生呈現、結果與程度）。舉例說明如下：

表 2.1-2 投入產出的選項

| 項目部分 | 選項部分 | 備註 |
|------|-------------------------------|---|
| 投入項 | 人力、雨量、預算經費、交通流量、重車的比率、晴雨天及雨量等 | 投入高對 DMU (Decision Making Units) 的表現同時可能具正面或負面的影響 |
| 產出項 | 道路、橋梁的長度、面積等 | 產出是針對 DMU 在工作能力範圍內照顧、養護產生的表現 |

1.內因的說明

內因的定義為：由組織內程序及可予以被安排的，並能影響其結果及結論的因素。如

(1)人力：工務段內人員編制，工程人員、職工或道工員額，職工總人數，薪資總額，編制內所屬公務人員的總年資等。各工務段的人力資源、經驗與素質不同，均會影響道路養護單

位的表現 (績效)。

(2)預算：每年平均每公里的養護經費 (預算或結算的部分，元/公里)，顯而易見，較充裕的養護經費直覺上能提高與維持所養護路段的品質。

(3)道路長度 (面積) 及橋梁數 (長度/面積/橋墩數等)。基本上為不變的產出項。如道路長度資料可以由各工程處或工務段取得，橋梁資料按照交通部公路總局民國 87 年與中央大學土木工程研究所橋梁中心的橋梁養護管理系統中基本資料統計累加得出。

2.外因的說明

外因定義為：非人力可予以控制的因素(人為因素不計入)。

(1)機具及設備的數量 (轉化成現值金額、油耗、折舊或剩值，及其維修經費等)，可從各機料處課取得。

(2)交通流量的多寡與重車 (及超載重車) 的比率對道路的使用狀況與壽年有相對的關係，包括未來累計標準軸重 (亦可由固定地磅及動能地磅 WIM 處取得之) 與道路剩餘壽年及結構強度 (由撓度儀得之)。

(3)晴雨天及雨量多寡等天候因素即為非人力可以控制。

此研究同時運用 AHP 法由專家訪談與文獻回顧所得具代表性績效項目中，求其相對權重後得出優良道路指標 GRI(Good Road Index)。說明如下：

1.建立一優良道路指標 (GRI)，可用於路政單位之養路效能評

估，具有績效之代表意義。

$$GRI=0.7T_r+0.3M_r$$

(其中：T 為技術面項，M：為管理面項，r 為路況種類)

$$(1) \text{省道 (} r=h \text{) : } T_h=0.27a+0.06b+0.32c+0.15d+0.2e$$

$$M_h=0.3f+0.15g+0.25h+0.3i$$

$$(2) \text{國道 (} r=f \text{) : } T_f=0.27a+0.05b+0.3c+0.15d+0.15e$$

$$M_f=0.2f+0.15g+0.25h+0.5i$$

(其中：a 路面、b 路容、c 撓度、d 排水、e 安全、f 計劃、g 資料、h 管理、i 經費)

2.GRI 對於路網型的公路總局工務段，與單純線型的高速公路局工務段，由於目標與功能不同，評估其 GRI 的要求與權重亦不同。

3.使用 DEA 得出效率排名與傳統的名次有所差別，為消弭人為的差別，以 AHP 方法建立之量化指標方式具可行性，可提供從另一角度檢視比較各工務單位效率。

上述優良道路指標 (GRI) 中部分考量因素，例如：撓度、計劃、資料、管理等，因本研究所收集之資料並未包括，故本研究針對公路之績效評估並未納入 GRI 指標進行考量。

10.交通部運研所，「道路交通事故相關資料庫連線系統分析與設計之研究」，民國 89 年 9 月

此計畫之研究目的在進行「交通事故資料庫系統」之分析與設計研究，初步設計出一個具有整合交通事故相關資料能力的資料庫

系統，以作為未來進一步實際建置該系統的基礎，預期此系統未來實際建置完成後，將可依據相關研究或決策人員之需求，彙整交通事故相關資料，作為研究或決策之重要參考資訊。

11.交通部運輸研究所，「都市地區運輸系統績效監測制度之推廣與績效指標合理值之檢討修訂」，民國 91 年 10 月。

此研究針對交通部運輸研究所「都市地區運輸系統績效監測制度之示範與檢討」(民國 87 年 10 月)研究成果之各項指標進行檢討修正，其中道路系統肇事嚴重性、平均旅行速率、每車平均享有之道路面積三項指標修正後內容如下：

(1)道路系統肇事嚴重性

- 1)定義：道路系統於一定時間內之各種肇事結果經加權後的嚴重程度與曝光次數之比值(以總登記車輛數為曝光次數)，即

$$\frac{9.5 \times \text{死亡人數} + 3.5 \times \text{受傷人數} + 1 \times \text{肇事件數}}{\text{總登記車輛數} / 1,000}$$

- 2)單位：肇事嚴重性/千輛車。
- 3)指標值應用特性：本指標為負面性指標，指標值愈小愈佳。即肇事嚴重性愈低，表示在道路系統上的運行愈安全。

(2)平均旅行速率

- 1)定義：試驗車在指定路段上起迄點間連續往返行駛平均行駛速率的加權值。

$$\sum_i \left(\frac{\text{抽樣路段 } i \text{ 起迄點間距離}}{\text{調查時段內抽樣路段 } i \text{ 之平均旅行時間}} \times W_i \right)$$

其中

$$W_i = \frac{\text{調查時間內抽樣路段 } i \text{ 之路段長度}}{\text{調查時段內各抽樣路段之路段長度總和}}$$

2)單位：公里 / 小時。

3)指標值應用特性：本指標為正面性指標，指標值愈大愈佳。即平均旅行速率愈高，則道路系統之服務水準愈高。

(3)每車平均享有之道路面積

1)定義：道路車道總面積與總登記車輛之小汽車當量數之比。即

$$\frac{\text{道路車道總面積}}{\text{該都市地區總登記車輛之小汽車當量數}}$$

2)單位：平方公尺 / 小客車單位。

3)指標值應用特性：本指標為正面性指標，指標值愈大愈佳。每車平均享有之道路面積愈大，表示道路供給量較充足，駕駛人使用道路系統較方便。

此研究也針對上述三項指標值分別制定出合理範圍與十個評等等級，詳細內容如表 2.1-3。

上述三項指標：道路系統肇事嚴重性、平均旅行速率、每車平均享有之道路面積，本研究納入公路投入成本與服務績效評估指標參考的為前兩項指標，第三項指標因本計畫未取得相關資料，故不納入考量。

表 2.1-3 指標合理範圍與評等等級

| 指標項目 | 合理範圍 | A1 級(10 分) | A2 級(9 分) | B1 級(8 分) | B2 級(7 分) | C1 級(6 分) | C2 級(5 分) | D1 級(4 分) | D2 級(3 分) | E1 級(2 分) | E2 級(1 分) |
|-------------|-------|------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| 道路系統肇事嚴重性 | 4~40 | $X \leq 4$ | $4 < X \leq 8.5$ | $8.5 < X \leq 13$ | $13 < X \leq 17.5$ | $17.5 < X \leq 22$ | $22 < X \leq 26.5$ | $26.5 < X \leq 31$ | $31 < X \leq 35.5$ | $35.5 < X \leq 40$ | $X > 40$ |
| 平均旅行速率 | 14~30 | $X > 30$ | $28 < X \leq 30$ | $26 < X \leq 28$ | $24 < X \leq 26$ | $22 < X \leq 24$ | $20 < X \leq 22$ | $18 < X \leq 20$ | $16 < X \leq 18$ | $14 < X \leq 16$ | $X \leq 14$ |
| 每車平均享有之道路面積 | 10~50 | $X > 50$ | $45 < X \leq 50$ | $40 < X \leq 45$ | $35 < X \leq 40$ | $30 < X \leq 35$ | $25 < X \leq 30$ | $20 < X \leq 25$ | $15 < X \leq 20$ | $10 < X \leq 15$ | $X \leq 10$ |

資料來源：交通部運輸研究所，「都市地區運輸系統績效監測制度之推廣與績效指標合理值之檢討修訂」，民國 91 年 10 月。

2.2 國外文獻回顧

1.Hill, M. “Planning for Multiple Objectives”, Regional Science Research Institute Monograph Series No. 5, Amherst MA, 1973

運輸系統績效評估中，若是存在多目標評斷，往往造成評估上的失真現象，Hill 提出目標達成矩陣法 (Goals-Achievement Matrix)，係指定相對權重於各目標當中，並可把無法以金錢量化表示的指標考慮進去，也因績效評估依不同目標加權，無法金錢量化之指標也就可以比較。此法並實地應用於多倫多易行性研究 (Toronto Mobility Study) 計畫中，其中在運輸準則、社會經濟準則及成本準則中各有多項評估指標，實證後有不錯的效果。

2.Highway Performance Monitoring System (HPMS), 1978

HPMS 於 1978 年被建置作為美國公路運輸系統之資料庫，此系統建置的主要目的在於提供相關資料給政府，以反應美國國家公路的現況、績效與運作特性等，此系統建置後美國各級政府之運輸單位 (包括 The Federal Highway Administration (FHWA), state highway agencies (SHAs), local governments, and metropolitan planning organizations (MPOs)) 皆協助 HPMS 所需資料的收集、整合與報告。HPMS 取代了許多原先由州政府出版的州年報資料 (uncoordinated annual state data reports), 以及每兩年由州政府舉辦一次的特別研究 (biennial special studies)。

TranStats 中所具備的資料即為 HPMS 資料集的一部份，其中關於公用道路 (public roads) 的資料較有限，主要幹道與集散道路功能

系統(arterial and collector functional systems)以及都市化地區與郊區(urbanized, small urban, and rural areas 之)摘要訊息資料則較為詳盡。

HPMS 之系統展示如圖 2.2.1 與圖 2.2.2 所示。其資料成果通常作為美國國會每兩年所進行分析報告之基礎，同時也可配合 FHWA 作為公路系統策略規劃評估之用，此外，此資料亦配合 TEA-21(the Transportation Equity Act for the 21st Century of 1998)法案，進行聯邦補助基金(Federal-aid Funds)之統籌分配。綜言之，HPMS 可滿足美國各級政府(包括：states, MPOs, local governments, and other customers) 在公路評估 (assessing highway condition)、績效 (performance)、空氣品質 (air quality trends) 與未來投資 (future investment requirements) 之需要。

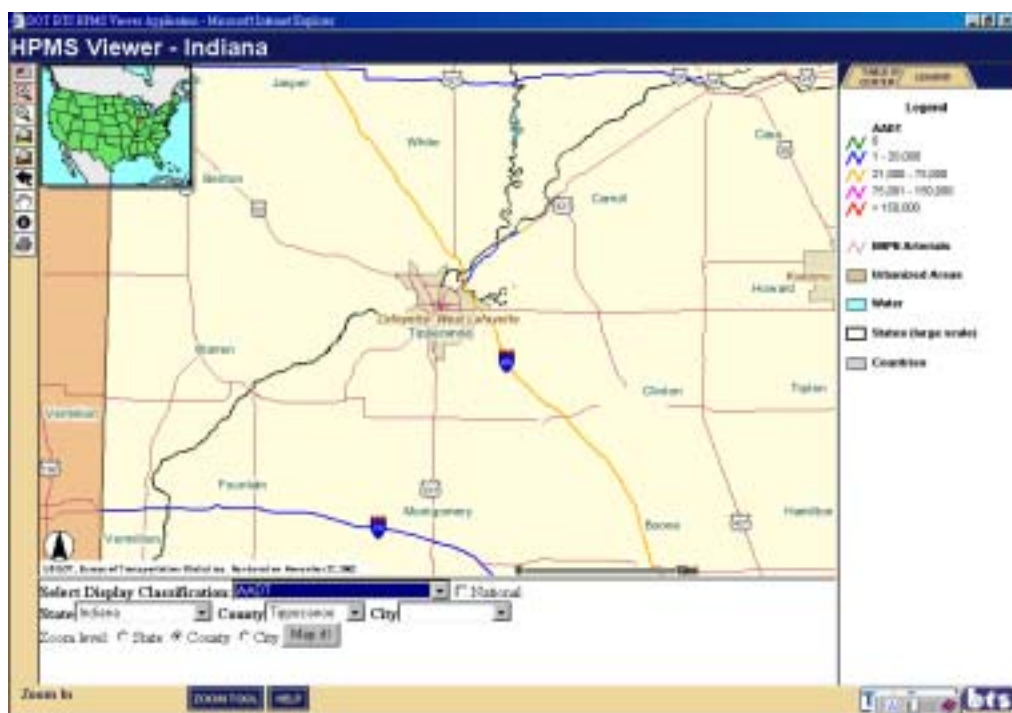




圖 2.2.2 Functional Class 資料查詢畫面(美國 Indiana 州)

3.Kant, Rao, “Managing State Highway Finance”, NCHRP Synthesis of Highway Practice 100, 1982

此研究提及財政限制(fiscal constraint)在公路績效(highway performance)所產生之作用，係依三個層面進行監測，包括：

- (1) 鋪面狀況(Pavement condition)
- (2) 擁擠程度(Congestion)
- (3) 安全(Safety)

由歷年資料之分析可知，道路之鋪面品質、交通擁擠程度、安全性會因使用而變差，但財政資源上之限制，無法使所有需改善之道路皆獲得足夠的財源，由於地方政府財政拮据，故美國州政府運輸管理單位必須藉助更有效率的資源運用、縮減運輸服務的範圍、以及找尋其他的財源管道等措施加以因應，因此有一個好的財源管理(good cash-flow management)是非常基本且重要的，除可使財源運

作穩定外，並避免增加額外的稅收。財源管理方式的增進包括：人員的妥善利用、資料資訊化運用、價值工程(Value Engineering)等，因此公路建設工作應著重於路面養護與改善(resurfacing、restoration、rehabilitation and reconstruction)，而分配較少的資源在道路之新建(new construction)，並鼓勵大眾運輸、車輛共乘(car-pool or van-pool)之使用。

4.McMullen, Clifford C., “Maintanance Activities Accomplished by Contract”, NCHRP Synthesis 125, 1986

此研究於 1983 年針對美國 50 個州、加拿大六個省、以及 29 個郡縣等級城市進行問卷調查，調查結果顯示美加各級政府較常發生的養護工程項目主要有 35 項，並統合為六大類包括：Pavement、Roadside、Traffic Service、Bridges、Drainage、Other。(參見表 2.2-1)

表 2.2-1 中最常以合約型式委託執行的養護工作包括：維護工程(maintenance overlay)、橋梁油漆工程(bridge painting)、橋梁維修工程(bridge repair)、鋪面維護工程(pavement sealing)、休息區維護工程(rest area maintenance)。表中六類養護工程於美加地區委外合約中，以鋪面養護類(Pavement)比例最高佔 37%，其次是橋梁養護(Bridge)17%，道路養護類(Roadside)15%，交通服務設施類(Traffic Service)15%，其他類(Other)12%，而排水設施類(Drainge)比例最少僅佔 4%。

表 2.2-1 美加地區養護工程分類與主要項目

| Pavement | Traffic Services |
|---------------------|--------------------------------|
| Pavement Sealing | Signal Maintenance |
| Maintenance Overlay | Lighting Maintenance |
| Patching and Repair | Pavement Striping (centerline) |

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Temporary Repair | Pavement Marking (Symbols) |
| Joint Repair | Sign Repair |
| Cracking Sealing | Sign Cleaning |
| Slab Jacking and Undersealing | Roadsides |
| Shoulder Maintenance | Rest Area Maintenance |
| Sidewalk Repair | Mowing |
| Emergency Repair | Chemical Application |
| Heater Planning and Scarification | Litter Control |
| Bridges | Unpaved Shoulders |
| Bridge Operation | Seeding and Mulching |
| Bridge Painting | Other |
| Bridge Repair | Sand or Deicing Chemical Application |
| Drainage | Snow and Ice Removal |
| Culvert Cleaning | Guardrail Removal |
| Sewer Cleaning | Attenuator Repair |
| Roadside and Outfall Ditches | Material Supply |
| | Management Activities |

而影響公路養護單位對於養護工程是否委外發包的重要考量因素包括 9 項：

- (1) 人員的充足性(Availability of personnel)
- (2) 專業工作之需求程度(Specialized work)
- (3) 特殊工作之裝備成本(Specialized equipment)
- (4) 成本 (Costs)
- (5) 委託單位人員能力之限制 (Staff limitations)
- (6) 可受委託廠商承接的可能性(Availability of Contractors)
- (7) 尖峰工作時程負荷程度(Peak workloads)
- (8) 委託單位之政策(Agency policy)
- (9) 受委託廠商的達成能力(Responsiveness)

對大多數美加公路養護單位而言，養護工程委託發包之決策程序會考量是否有此需要(need), 以及委託發包是否是可行的(feasible)與符合期望的(desirable)。

5.Fielding, G. I., Managing Public Transit Strategically: A Comprehensive Approach to Strengthening Service and Monitoring Performance, San Francisco: Jossey-bass publishers., 1987

運輸系統的服務績效包含服務投入 (如勞力、資本、維修費用等)、服務產出 (延車小時、延車公里等) 及服務消費 (延人公里、營收等) 三個基本要素，以及它們所構成的成本效率性 (Cost Efficiency)、服務有效性 (Service Effectiveness) 及成本有效性 (Cost Effectiveness) 三個評估面：

(1)成本效率性

成本效率性是指經營者為提供運輸服務所投入的各種資源與實際產出量之間的關係，以反映人員、車輛的生產力及後勤支援部門的管理效率等。此類指標可由產出量對投入量的比值加以衡量。

(2)成本有效性

成本有效性是指經營者為提供運輸服務所投入的各種資源與使用者實際消費狀況之間的關係，以反映人員、車輛的服務或營收力。此類指標可由乘客實際消費量對投入量的比值加以衡量。

(3)服務有效性

服務有效性是指經營者所提供運輸服務之產出量與使用者實際消費狀況之間的關係，以反映單位產出之服務或營收力。此類指標可由乘客實際消費量對產出量的比值加以衡量。

本研究計畫之公路路網投入成本與服務產出分析之評估概

念偏向於成本效率性之分析，不過也可另外選取適當指標評估分析公路系統之成本有效性與服務有效性。

6.Keeney, R. and Raiffa, H. “Decisions with Multiple Objectives”, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1993

Keeney 提出一種多目標評估方法，以期望效用理論為基礎建立一效用函數，包含方案各項所有可能產生之效用。此法應用於墨西哥市新機場之評估，計畫考量六個目標：總建造與維修成本最低、提供與航空運輸需求足夠之容量、進場時間最少、系統安全性最高、新機場之社會分裂最低及噪音影響最小等。

7.World Bank Working Paper, “The Highway Design and Maintenance Standards Model”, 1987

World Bank Working Paper, “HDM Manager Version 2.1”, 1994

HDM-III(Highway Design and Maintenance Standards Model)套裝軟體是由世界銀行運輸部門所發展，以滿足公路單位在政策(policies)、標準(standards)、以及道路新建與養護(construction and maintenance)評估之需要，特別是發展中的國家，HDM-III 所探討的成本項目包括道路新建(construction)、維護(maintenance)與車輛運作(vehicle operation)的年成本(annual costs)，此軟體可用於分析道路改善與維護策略之運輸總成本，也可提供公路單位在道路新建或維護策略的詳細模擬，並提出經濟決策準則，針對被分析道路欲採用的策略(新建、改善或維護)分別進行評估，其功能之一是在有限的資源限制下，針對道路新建與維護工程項目必須符合運輸成本最小的前提，提出適當的政策與標準以供參考。

8.Wan, Weiwu and Kang, Jun, “Highway Transportation Comprehensive Evaluation”, Computers ind. Engng Vol.27, Nos 1-4, 1994

此研究針對中國大陸之公路運輸系統(Highway Transportation System)綜合評估並構建一評估指標系統(index system，參閱圖 2.2.3)，此研究將公路運輸系統分為四個子系統：運輸路線 (Transportation lines)、運輸場站(Transportation station)、運輸服務 (Transportation tools)及運輸管理(Transportation management)，各子系統所納入指標包括：公路密度、公路路線品質、公路路線分佈合理性、車輛使用數量、運輸成本與嚴重肇事率等；在上述指標系統 (index system)基礎下，運用 AHP 設定各指標之權重值(weight)，指標中屬於定量的指標可分為利潤(benefit)與成本(cost)兩類，將此類指標利用線性公式(linear function)予以標準化，至於定性或部分定性指標(qualitative or half- qualitative index)則利用 IDS(Integrated Data Statistics)方法處理計算，例如以{非常滿意、滿意、普通、不滿意、非常不滿意}作為指標的區別尺度，最後透過 AHP 與 IDS 之整合進行公路運輸系統之綜合績效評估。

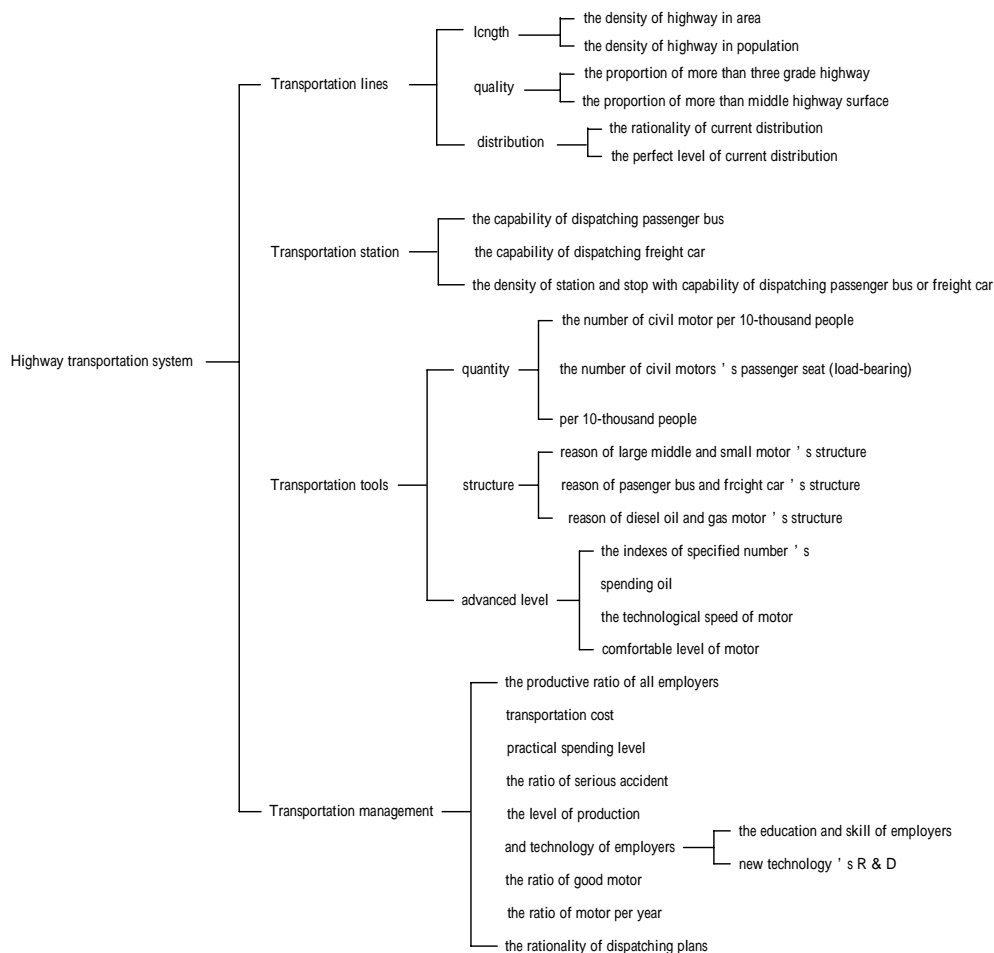


圖 2.2.3 評估指標系統

9.Brand, D. “Criteria and Methods for Evaluating Intelligent Transportation System Plans and Operational Tests”, Transportation Research Record 1453, 1997

ITS 計畫的發展往往需要投入大量經費，為了評估是否達成預期成效，其準則的建立與評估方法的選定尤其重要，此研究中先將評估方法訂定為短、中、長期的評估準則與指標，之後按程序一步一步校估，並利用成本效益分析 (Benefit-Cost Analysis) 評估 ITS 計畫，以提供一個運輸系統規劃中 ITS 計畫績效評估架構。

10.Wei, Chien-Hung and Schonfeld, Paul M. “A Research Framework for Cost-Effective Highway Maintenance Planning”, Public Works Management & Policy, Vol.2 No.4, April 1998

以往在公路養護維修的規劃方法或研究中，較著重在養護單位所需花費的成本(Maintenance Cost)，並未同時考量養護工作對道路使用者所造成的成本(delay, detour etc.)，遺漏了使用者成本(User Cost)與維修成本(Maintenance Cost)間所可能產生的相互影響，故此研究提出一研究架構，強調不同的養護維修計畫應考量使用者成本的影響與公路績效間之關係。此研究目的在提出一套比較有效的公路養護成本效用評估方法，同時考量使用者成本與養護維修成本，克服以往相關研究的主要缺點，協助決策者降低使用者成本並提昇公路養護維修作業的效率。

11.Brand, D. “Applying Benefit/Cost Analysis to Identify and Measure the Benefits of Intelligent Transportation Systems”, Transportation Research Record 1651, 1998

該研究係利用成本效益分析(Benefit-Cost Analysis)來評估 ITS 投資計畫之績效，並以傳統 ITS 的 5 個主要目標：效率(Efficiency)、機動可及性 (Mobility)、安全 (Safety)、生產力 (Productivity)、能源與環境 (Energy/Environment)，訂定其相對之評估指標，如肇事次數、節省之成本、旅行時間、噪音等。

12.Stivers, M.L., “Maintenance QA Program Implementation Manual”, NCHRP report 422, National Academy Press, 1999

NCHRP Project 14-12, “Highway Maintenance Quality Assurance”建置目的是為了研究目前品質管理的架構，評估現有的養護品質流程，進而建構養護 Quality Assurance(QA) program 之標準程序(state of the art)。

此手冊介紹之 Quality Assurance(QA) program 乃供公路設施養護評估之用，QA program 有二個執行階段，第一個階段目的是發展一 LOS 評等系統(LOS rating system)，包含 10 個單元，分別是：

- (1) Key Maintenance Activities & Features/Characteristics
- (2) Determine Customer Expectations
- (3) LOS Criteria & Target LOS
- (4) Weight or Factors
- (5) Roadway Segment Population
- (6) Sample Segment Selection
- (7) LOS Data Collection, Analysis, & Reporting Techniques
- (8) LOS Rating System Documentation
- (9) Maintenance Priorities
- (10) Agency Management Approval

第二個階段為實務運作(field implementation)部分，包含 14 個單元，分別是：

- (11) LOS Training
- (12) Pilot Field Study (Baselining Existing LOS)
- (13) Formal LOS Inspections
- (14) LOS Analysis & Reporting
- (15) QA/QC of LOS Rating Teams
- (16) QA/QC of Work Crews
- (17) Employee Training
- (18) Customer Satisfaction
- (19) Process Updating (using baseline, current, & target LOSs)
- (20) Workload Prediction
- (21) Activity Cost Determination
- (22) Estimate to Achieve Target LOS
- (23) Distribution of Resources
- (24) Redirection of Work

QA program 訂定了公路管理單位對公路服務品質要求之標

準，在所訂定的 LOS 評等系統(LOS rating system)下，能更精確的進行預算需求(budget requests)與資源分配之預測，例如：當公路管理單位設定一 LOS 水準，而所需之投入成本(如金錢與人力等)超過所能負荷的程度時，就必須將原先設定的 LOS 水準加以修正，使運用此 QA program 之單位能確保該公路系統維持一定的服務水準(LOS)。

13.HDM-4(Highway Development and Management Model), 1999

HDM-4 是由世界銀行發展的 HDM-III 套裝軟體加以改良而來，此軟體可由技術面(technical)、經濟面(economic)、環境面(environmental)進行道路管理(road management)與投資(investment)方案的評估分析，HDM-4 目前仍處於新開發完成之初期測試階段，曾被測試地區有歐洲、亞洲、非洲、大洋洲等地，其具體應用研究成果較少。

14.Meyer, Michael D. and Miller, Eric J., Urban Transportation Planning, 2nd Edition, McGraw-Hill International Edition, 2001

運輸系統與計畫的評估至為重要，其中方案績效評估的方法甚多，包括時間價值分析法(Value of Time)、社會成本分析法(Social Costs Analysis)、成本效益分析(Benefit/Cost Ratios)、事前事後比較分析(Comparative Assessment Methods)、MOE 分析、評估矩陣分析(Evaluation Matrix)、衝擊範圍矩陣分析(Impact-Incidence Matrix)等，其中若是應用在本計畫公路路網投入成本及產出關係上之分析，則以成本效益分析有較佳之效果，不過必須將產出效益定義清楚。

2.3 績效評估方法探討與比較

運輸系統方案評估與計畫績效評估，最主要的目的乃在評比各項替選方案，以便選取一最適切的投資計畫，及判斷計畫投入之成本與產出之間的績效差異，使有限的資源能作有效且公平合理的分配，因此計畫評估及績效分析乃是重要的決策及評估程序。而運輸系統的規劃與評估工作由於資訊取得與分析方法的限制，具有高度的不確定性 (Uncertainly)，其中在投入成本與產出效益上之分析，更是缺乏一套有效的分析工具。早期的評估方法多以「經濟評估方法」為基礎，將方案的成果效益以市場貨幣單位或效用單位衡量，如常見的成本效益分析法 (Cost-Benefit Method)、成本效用分析法 (Cost-Utility Method)；或是利用數學規劃 (Mathematical Programming) 及統計方法 (Statistic Analysis) 等求解評估，然而上述方法針對多項投入與多項產出之績效評估有其限制，故本研究利用 DEA 模式進行公路投入成本與服務產出之績效評估試作，以下將簡單比較上述各種方法之優缺點。

2.3.1 成本效益分析法 (Cost-Benefit Method)

成本效益分析法的評估方式是將方案的成果利用貨幣單位表示，並利用單一價值尺度比較評估交通運輸計畫的產出效益與績效，常見的成本效益分析法有年成本法、淨現值法、益本比法、內生報酬率法等，如表 2.3-1。

表 2.3-1 常見之成本利益分析法

| 名稱 | 方法 | 優缺點 |
|-------------------------------------|--|--|
| 年成本法 (Annual Cost Method) | 將方案之投入成本轉換為相同經濟年期及利率之年平均成本，再以此對照比較評估方案產出之績效。 | 1. 方案計畫的直接與間接影響，難以準確估計。 2. 成本利益分析無法考慮不同群體對方案的效應評估。 |
| 淨現值法 (Net Present Value Method) | 將投資計畫之總成本與總效益折合為現值，並利用淨現值之計算結果判斷方案之績效與進行投資方案之評選。 | 1. 貼現率隨年期的不同而變化，對年期較長的運輸系統計畫無法設定準確的貼現率。 |
| 益本比法 (Benefit/Cost Method) | 成本與效益均同時考慮計畫經濟使用年期的貼現率，可單獨計算方案的成本利益比值，亦可成對計算成本利益比值以進行分析。 | 2. 交通系統計畫的外部效果難以直接測度，因此在成本效益分析時無法加以估計。 3. 社會成本的估算因無適當的比較基礎而顯困難。 |
| 內生報酬率法 (Internal Rate of Return) | 將投資計畫總效益現值相等於總成本現值的折現率，對於單一投資計畫而言，內生報酬率大於社會之時間偏好率，則為績效較佳之投資計畫。 | |

資料來源：本計畫整理

2.3.2 成本效用分析法 (Cost-Utility Method)

成本效用分析法的評估方式是將計畫執行的正負成果以效用值表示，評估標準不是根據成本利益的貨幣比值表示，而是利用計畫目標之效用與成本之比值進行比較，此一方式可以改善環境效用之市場評定困難的問題，同時亦可將不易金錢量化之指標放入評估，常見之成本效用分析方法有目標達成矩陣法、計畫排序法、成本效果分析法等，整理如表 2.3-2。

表 2.3-2 常見之成本效用分析法

| 名稱 | 方法 | 優缺點 |
|---------------------------------------|---|---|
| 目標達成矩陣法 (Goals-Achievement Matrix) | 對不同的對象、地區與方案特性設定不同的加權值，將所有的成本設為負效用，並對目標欲達成的效果進行分類，利用方案的成本與利益資料的計算，以完成目標達成矩陣。 | 1. 效用值的決定及加權值的衡量均由專家完成，難免有主觀意識太過之情事。 2. 方案效果、外部效果轉換為相同的效用單位，其轉換過程難以確定。 |
| 計畫排序法 (Planning Ranking Scheme) | 計畫排序法是一種主觀排列等級的評估方法，可用於評比計畫所產生之無形效果、有形效果或相對效果。評估過程先由專家決定計畫方案的效果衡量項目，之後衡量目標達成程度，最後決定目標達成的相對權重，以便將各目標達成的效果轉為單維數值。 | 3. 對社會之不同團體效用值有差異，成本效用分析困難。 |

| | | |
|---|--|--|
| <p>成本效果分析法 (Cost-Effect Method)</p> | <p>成本效果分析可以針對系統目標提供完整達成目標的效果資訊。主要方式為將方案屬性分為成本與效果，成本是指運輸系統的設計、建造與維修等相關所需資源，效果則是計畫達成目標的程度，再建立一效果-成本圖，將方案依對應位置標示，以進行評估。</p> | |
|---|--|--|

資料來源：本計畫整理

2.3.3 數學規劃 (Mathematical Programming)

數學規劃方法種類眾多，大體而言可以分為線性規劃及非線性規劃法二類。應用數學規劃方法可以處理運輸系統建設與評估之多目標特性，如建設成本最小、環境影響最小、旅行時間最少、產出效益最大等，評估方法主要有層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)、整數規劃 (Integer Programming)、目標規劃 (Goal Programming)、資料包絡分析法 (Data Envelopment Analysis, DEA) 等，整理如表 2.3-3。

本研究將引用 AHP 法於績效評估指標因子權重值(weight)之計算，其流程參見第六章。

表 2.3-3 常見之數學規劃方法

| 名稱 | 方法 | 優缺點 |
|--|--|---|
| 線性規劃 (Linear Programming) | 線性規劃為應用在運輸規劃及評估中最基礎之數學規劃方法,以此方式所引伸之運輸系統規劃評估方法眾多,在應用前應先以現實情況定義各項變數及設計目標式與限制式,並求取整數解。 | 1.交通運輸系統的規劃為整數型態,利用線性規劃方式求得之最佳解往往為非整數解,若利用鬆弛解法,則不一定是最佳解。 2.數學規劃之限制式與目標式的設定,應對各項變數進行定義與校估,但在交通運輸系統之影響變數未能適當的設定。 |
| 層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) | 層級分析法之應用可使複雜之交通運輸系統問題,簡化為因素階層系統,經由學者專家以名目尺度對各因素配對進行比較,以建立配對比較之正倒值矩陣,求出特徵向量,以代表各因素間之優先順序或相對權重,並作為評估與判斷依據。 | 1.參與評估的專家學者人數與人選將影響評估結果的一致性。 2.不同背景之專家學者易因專業背景觀點之不同,而產生意見不同的問題。 |
| 目標規劃 (Goal Programming) | 目標規劃的基本概念為針對每一個目標建立一目標值,尋求一個滿意解,以滿足每一個目標與目標值之離差(deviation)總和為最小。 | 1.各評估準則的權重設定較為困難。 |
| 效用函數法 (Utility Function) | 效用函數法是利用效用函數評估各可能替選方案(alternative)之效用,一般採用效用最大的原則。 | 1.效用函數之數學關係不易建立。 2.每一個目標的效用值必須可以相加或相乘。 |

| | | |
|--------|---|--|
| DEA 模式 | <p>DEA 係藉由生產面來評估生產效率的方法，將欲評估的決策單位 (Decision Making Units, DMU) 選取若干觀測值，利用數學規劃模式以極大或極小得到效率前緣(Efficiency Frontier)連成所謂的包絡線。凡落在包絡線上的 DMU 即為相對有效率，落在包絡線以內者，即為相對無效率。</p> | <p>1.可同時進行多項投入與多項產出之績效評估</p> <p>2.DEA 的效率前緣是由評估對象中最有效率的組織所組成，不同於迴歸分析所得到的「平均邊界」。</p> <p>3.DEA 模式之效率為相對效率非絕對效率，不一定能得知真正最有效率之組合為何。</p> <p>4.由觀察 DMU 個數、投入產出變數改變對於效率值之影響情形，可明瞭選擇項目是否完備，以及各評估單位的強(弱)處何在，使評估結果更具可信性。</p> |
|--------|---|--|

資料來源：本計畫整理

2.3.4 統計分析 (Statistic Analysis)

在統計分析中，用來判斷輸入與產出之間的關係多以迴歸分析 (Regression Analysis) 居多，它利用不同變數間的相關性，建立變數間的數學函數關係，並藉此數學函數關係，建立預測與評估系統，方法包括簡單迴歸與多元迴歸、直線迴歸與非直線迴歸等。

本研究將引用簡單的統計方法來建立績效評估因子之得點值 (scores)，其流程說明參見第六章。

2.3.5 資料包絡分析(DEA)

為了進行公路投入成本與服務產出績效評估之試作，本計畫將引用資料包絡分析 (DEA) 法之概念進行投入與產出的綜合分析，故以下茲就 DEA 之內容方法進行說明。

2.3.5.1 基本概念

DEA(Data Envelopment Analysis)係藉由生產面來評估生產效率的方法，選取欲評估決策單元 (Decision Making Units, DMU) 的若干觀測值，利用數學規劃模式以極大或極小得到效率前緣 (Efficiency Frontier) 連成所謂的包絡線。凡落在包絡線上的 DMU 即為相對有效率，落在包絡線以內者，即為相對無效率。

所謂觀測值是指同質機構或廠商中欲進行投入與產出效率分析的對象，例如：銀行、醫院、超商等，利用 DEA 將該觀測值投射 (Map) 到空間中，以尋找最高產出或最低投入之邊界。若為一種投入要素、

兩種產出的生產行為，如圖 2.3.1 所示， Y_1 與 Y_2 表產出， X_1 表投入，DEA 將多個 DMU 換成同樣之產出水準 ($Y_1/X_1, Y_2/X_1, 1$)，再將最有效率的點以直線相連接成為相對有效率，此線即為包絡線，包絡線內之點則為無效率。任一觀測點效率值之衡量為原點與效率前緣的距離除以原點與該觀測點的距離。

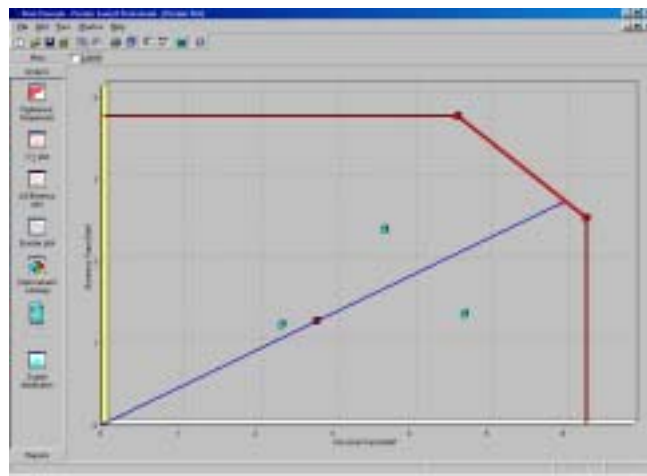


圖 2.3.1 單一投入、兩種產出構成之包絡線

2.3.5.2 DEA 模式之發展

Farrell 於 1957 年首先提出以非預設生產函數的方式來推估多項投入的效率值，經過學術界的多年研究，發展出 CCR 模式、CCSS 模式、BCC 模式、修正 CCR 模式等，以下就原始之 DEA 模式[Farrell, 1957]、CCR 模式[Charnes, Cooper and Rhodes, 1978]及 BCC 模式[Banker, Charnes and Cooper, 1984]作一介紹。

1. Farrell 模式

Farrell 模式之基本假設為：

(1) 生產前緣是由最有效率的組織所組成，較無效率的組織皆位於此
前緣之下。

(2) 固定規模報酬。

(3) 生產前緣凸向原點，因此每點斜率皆小於或等於零。

Farrell 將生產效率分為技術效率 (Technical Efficiency) 與價格
效率 (Price Efficiency)，技術效率講求在現有技術下，有效運用生
產要素，以達最大產出；價格效率或稱分配效率 (Allocation
Efficiency) 是指在既有技術及價格下，使生產要素投入量之比例分
配恰當，求得最低投入成本。

2.CCR 模式

Farrell 建立了衡量效率邊界之理論基礎，然而當生產行為係多
元產出時，較難表示產出及投入關係。Charnes, Cooper 及 Rhodes
等人[1978]根據 Farrell 的效率衡量理論基礎，結合以比例方式衡量
效率的概念，發展出數學規劃比例模式。假設 n 個評估單元各有 s
種產出、 m 種投入，若第 k 個評估單元為 DMU_k ，其計算模式為：

$$\begin{aligned} \text{Max } h_k &= \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ik}} & (1) \\ \text{s.t. } \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} &\leq 1 \quad \forall j \\ 0 &\leq \varepsilon \leq U_r \quad \forall r \end{aligned}$$

$$0 \leq \varepsilon \leq V_i \quad \forall i$$

式中，

h_k ：第 k 個 DMU 的相對效率

Y_{rj} ：第 j 個 DMU 的第 r 種產出

X_{ij} ：第 j 個 DMU 的第 i 種投入

U_r ：產出項 Y 的虛擬乘數(Virtual Multiplier)

V_i ：投入項 X 的虛擬乘數(Virtual Multiplier)

ε ：極小的正值（一般設定為 10^{-6} ）

由式(1)可知，DEA 是在符合所有限制條件下所能找到的最大效率，而虛擬乘數便是為使某個 DMU 效率值極大化($h_k=1$)所能找到對此 DMU 最有利的數值。其意義為：所對應的投入或產出項目對整體效率值的貢獻程度，具有加權的意義，加權值愈大，其貢獻愈大，因此加權值不得為負。又由於每個 DMU 都有其目標規劃式(共需建立 n 個目標規劃式)，這些規劃式所對應之限制條件都相同，因此所得到的效率值是建立於相同的比較基礎，顯示由 DEA 方法求出的效率值是公平的，也是相對的。

由於式(1)為分數規劃形式，求解不易，故 Charnes、Cooper 及 Rhodes 乃將該式轉換為線性問題。設 $u_r=tU_r, v_i=tV_i, 1/t=\sum_i V_i X_{ik}$ ，分子分母同時乘以 t ，再加入 $t\sum_i V_i X_{ik}=1$ 之一致性條件(Consistency Condition)，將式(1)轉換成線性模式如下：

$$\text{Max} \quad \sum_{r=1}^s U_r Y_{rk} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
\text{s.t.} \quad & t \sum_{i=1}^m V_i Y_{ik} = 1 \\
& \sum_{r=1}^s U_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m V_i X_{ij} \leq 0 \quad \forall j \\
& 0 \leq \varepsilon \leq U_r \quad \forall r \\
& 0 \leq \varepsilon \leq V_i \quad \forall i
\end{aligned}$$

式(2)之意義是在投入資源加權和等於 1 的情況下，使產出加權和最大。式中共有(m+s)個變數，(n+m+s)個限制式，對式(2)取對偶轉換，令各限制式之對偶變數為 $\theta, \lambda_j, S_r^+, S_i^-$ ，可以得到如式(3)之對偶形式：

$$\begin{aligned}
\text{Min} \quad & \theta - \varepsilon \left(\sum_{r=1}^s S_r^+ + \sum_{i=1}^m S_i^- \right) \quad (3) \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + S_i^- = \theta X_{ik} \quad \forall i \\
& \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{rj} + S_r^+ = Y_{rk} \quad \forall r \\
& \lambda_j, S_r^+, S_i^- \geq 0 \quad \forall i, r, j
\end{aligned}$$

式(3)中 S_r^+ 與 S_i^- 相當於對於投入 X 與產出 Y 之差額(slacks)， $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ 表示一個連結所有資料成一多面體之向量。CCR 模式並指出，唯有當 $\theta=1$ 且 $S_r^+=S_i^-=0$ 時，稱該 DMU 為有效率；否則表示相較於其它 DMU 為無效率，此時可將相對無效率 DMU 的投入產出調整為：

$$\begin{aligned}
X_{ik}^* &= \theta^* X_{ik} - S_i^{-*} \\
Y_{rk}^* &= Y_{rk} - S_r^{+*} \quad (4)
\end{aligned}$$

式中，

S_r^{+*} ：第 r 種產出變數之差額變數

S_i^{-*} ：第 i 種投入變數之差額變數

上標*表示最佳值

式(4)亦說明了投入減少或產出增加若干(差額)單位，即可使原來無效率的 DMU 變為有效率。

由上述分析知，DEA 具有下列特性：

- (1)是一種相對而非絕對的比較。
- (2)不須事先設定產出與投入之權重值(加權值係事後計算所得)。
- (3)具有以單一直值表示一個 DMU 相對效率的能力，此與經濟學上總要素生產力(Total Factor Productivity)觀念相類似。
- (4)可同時處理多種產出及多種投入要素的生產行為。
- (5)評估結果，可作為相對無效率的 DMU 應減少多少投入量或增加多少產出量即可變為相對有效率之依據。
- (6)單位不變性(Units Invariance)，例如以公尺或公分為單位都可以得到相同效率的評估結果，只要所有受評估單位使用相同的計量單位，即可進行效率評估。

此外，由於 DEA 為確定性(Deterministic)方法，不像計量經濟方法能容許誤差存在，因此每一生產要素及產出數量必須盡量避免測量誤差(Measurement Error)。

3.BCC 模式

為了處理 variable returns to scale 之問題，BCC 模式於 CCR 模式中引進了一個新變數，藉以量度技術效率(technical efficiency)且不

納入 scale efficiency 的考量，i.e. pure technical efficiency。BCC 模式為：

$$\begin{aligned} \text{Max } h_k &= \sum_{r=1}^s U_r Y_{rk} + C_o \\ \text{s.t. } \sum_i V_i X_{ik} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s U_r Y_{rk} - \sum_i V_i X_{ik} - C_o &\leq 0 \\ 0 \leq \varepsilon &\leq U_r \quad \forall r \\ 0 \leq \varepsilon &\leq V_i \quad \forall i \end{aligned}$$

2.3.5.3 DEA 之評估方法

完成 DEA 的初步執行後，可進一步進行效率分析、差額分析、敏感度分析，以對評估結果作更深入的分析探討，說明如下。

1. 效率分析

由 DEA 模式之推導，可知效率評估之軸心係建立於效率參考集合上，而效率參考集合是指對偶式(3)之執行結果中 $\lambda_j \neq 0$ 所對應 DMU_j 組成之集合。當一個 DMU 出現在其它 DMU 參考集合之數目愈多，表此 DMU 之強度(Robusness)愈強。

2. 差額分析

模式執行過程中，各投入產出之虛擬乘數分析可以觀察目前資源使用狀況等訊息，虛擬乘數愈大代表該變數對於生產效率之貢獻愈大；此外，亦可利用差額變數，透過式(4)求算相對無效率評估單位的改善方向與大小。

3. 敏感度分析

DEA 的效率前緣是由評估對象中最有效率的組織所組成，不同

於迴歸分析所得到的「平均邊界」。因此評估對象的變動、投入或產出項的選擇，以及所採用變數個數的變動或誤差，都有可能影響效率前緣的形狀或位置。

藉由觀察 DMU 個數及投入產出變數之變化對於效率值之影響情形，可明瞭選擇項目是否完備，以及各評估單位的強(弱)處何在，使評估結果更具可信性。

2.4 小結

從上述整理可以看出，運輸方案績效評估之方法眾多，而本計畫所要進行之「公路投入成本暨服務績效評估」，其重點在於探討並評估個案之投入成本（如道路建設或管理養護費用）與產出效益（如道路服務水準變化、旅行時間變化、交通量變化等）之成本效益關係，而產出效益間彼此存在衡量尺度不同與若干相關特性，因此本計畫嘗試利用簡單數學方法進行各評估因子績效值(scores)之計算，再運用 AHP 法計算各評估因子權重值(weight)，以求得公路運作之綜合績效值(aggregate scores)，最後並利用 DEA 模式分析評估投入成本所對應服務產出之績效。上述分析流程與作法說明於第六章。