

大客車污染排放及耗能之關鍵因素分析

李克聰¹ 張慈芸²

摘要

因應全球暖化，政府倡導節能減碳，鼓勵多搭乘大眾運輸。運輸工具對污染占有極大的貢獻，其中，公路運輸尤為嚴重，在公路運輸中，大客車為隨處可見的大眾運輸工具，多屬長時間使用之營業車輛且行駛里程較長，其平均耗油率為 0.35 位居公路運輸中各運具第二，因此對於大客車能源損耗與污染排放之影響亦不容小覷。但過去對於影響大客車能源消耗與污染排放之因子卻鮮少研究，是故本研究以大客車為研究對象，針對污染排放及耗能之議題進行探討。

本研究首先藉由文獻彙整理出影響車輛污染排放及耗能之因子；再透過產、官、學界專家學者對之深入訪談，進一步了解大客車污染排放及耗能相關議題之現況，並蒐集其影響因子，與文獻所得之因子作一整合後，以人、車、環境三構面彙整萃取出大客車污染排放及耗能之影響因素。接著採用決策實驗室分析法(DEMATEL)進行分析，發放專家問卷，篩選出關鍵影響因子。分析結果得知，政策法令、駕駛個性、駕駛教育訓練、車流特性、道路幾何特性及車輛設計與性能為大客車污染排放及耗能之關鍵影響因子。本研究更進一步以集群分析法(Cluster Analysis)針對篩選出的關鍵影響因子分群並作影響路徑分析，考量社會公平、財務永續、環保節能、政策永續原則，提出大客車污染排放及耗能之改善方法。政策法令面包含：建立檢測/維護制度，制定符合台灣產業環境的檢驗標準，徹底落實大客車檢測管理，成立專責機構，逐步落實保檢合一，改善業者經營體質；業者管理面為建立完善的駕駛教育訓練；車輛性能與設計方面有：車輛相關技術創新與改進、鼓勵業者使用替代能源車。車流性性和道路幾何設計方面為大眾運輸優先。本研究研擬改善方法係根據關鍵影響因子，同時提出配合相關配套措施，將有效改善大客車污染排放及耗能問題。

關鍵詞：大客車、污染排放、耗能、決策實驗室分析法(DEMATEL)

1逢甲大學運輸科技與管理學系副教授(聯絡地址：臺中市 407 西屯區文華路 100 號，電話：04-24517250 轉 4660，E-mail: ktleefcu.edu.tw)。

2逢甲大學運輸科技與管理學系碩士班研究生(聯絡地址：臺中市 407 西屯區文華路 100 號，電話：04-24517250 轉 4660，E-mail: yes.maruko825@gmail.com.)。

一、前言

全球暖化已是世界各國公認的事實，為緩和氣候變遷所帶來的負面衝擊，減少溫室氣體排放及能源消耗已成為各國當前與未來的發展及施政重點，相關部門積極研擬因應策略。自民國 87 年起運輸部門在能源消費中佔有比率有攀升的趨勢，民國 98 年之能源消費結構，運輸部門能源消耗之比例占總能源消費量 13.16%，位居第二。鑒於運輸部門為各國溫室氣體最主要排放來源之一，近年來各國政府均積極調整國家相關之節能政策，而政策之修正方向主要可區分為兩大類：第一類為鼓勵替代能源車輛之開發與使用，另一類則為降低行駛在道路上車輛之能源損耗與空氣污染，如積極汰換老舊車輛、提倡節能駕駛觀念。

由於柴油引擎熱效率高、省油、且燃料成本低、可靠性及耐用性高、高動力/重量比等優點，是海陸運輸之主要動力來源，使得柴油車的應用範圍日漸增加，尤其是行駛里程較長的公共汽車及大型貨車、卡車都是使用柴油引擎。柴油車輛基本上可分為大客車、大貨車及小貨車，根據資料顯示在各車速下大客車平均每公里之耗油 0.35 公升，僅次於每公里油耗最多的大貨車，柴油車的數量占機動車輛總數約 3% 的比例不高，但由於多屬長時間使用之職業用車輛，因此對於能源損耗與空氣污染之影響亦不容小覷。有鑑於此，本研究針對「大客車」為研究對象，希望找出大客車輛污染排放及耗能之關鍵影響因素，並加入政府法令觀點、業者營運管理層面，來提出有效改善之建議供相關人士或後續研究參考。

二、文獻回顧及評析

環顧國外關於 CMS 之規劃設計，各國針對 CMS 規劃設計此課題，多年來已累積許多實務經驗，舉凡靜態之道路指示標誌系統與動態之資訊可變標誌系統(CMS)均有其應用之績效。以下將分別回顧日本、美國之實施情形並針對台灣 CMS 建置現況做簡要問題探討。

2.1 車輛污染與耗能之衡量

陳君杰(1997)曾於研究中定義代表性行車型態為：「代表性行車型態系一個描述行駛過程每一秒鐘行車速率的函數，用以代表某一特定時段、地區或道路、駕駛人、車輛與天候環境時之行車特性，以作為評估車輛污染排放、油耗或車流特性之依據」。依其定義所建立之理論架構可為影響污染排放及油耗之因素作一說明。基本上交通之三要素包括人、車、路三面向，但分析影響行車型態之因素時除了此三要素之外，當時的天候、氣溫等環境因素也會影響。另外，Milkins & Watson(1983)研究中也發現行車型態的主要應用與可能之應用範圍在於評估或預測車輛污染排放、油耗或車流特性上。

影響行車型態之因素間接影響了車輛污染排放及耗能，影響因素除了交通基本人、車、路三要素之外，旅次發生之時間與當時的天候環境也會影響，也可通稱為環境因素。依據

圖2.1-1舉例來說明：(1)假設職業駕駛人常常屬於積極型之駕駛行為，為了爭取時間多載客而常常借著較大的加速率或減速率來超車或使得與前車之距離為最短或常常維持較高之行駛速率，自然使得在其他條件維持不變下，其行車型態與一般自用小客車駕駛人之行車型態不同；(2)性能較好之車輛在必須急加速或急減速時之性能表現自然比性能較差之車輛好，因此其他條件維持不變下，其行車型態自然可能與性能較差之車輛之行車型態不同；(3)幾何條件或路面或路型不同之道路，所反映之行車型態自然會有不同，例如面臨路面坑坑洞洞之道路時，駕駛人常須維持較低之速率以避免較大之顛簸，並且常需較大之加速率來克服坑洞所造成之阻力，因此其行車型態自然與路面良好之道路不同；(4)尖峰時段車流擁擠或行駛於擁擠的市區道路，車輛無法維持高速行駛，且需常常加減速，以維持速率或避免碰撞，其行車型態自然與離峰時段時不同；(5)雨天時視線不佳，路面較為濕滑，一般車輛會較晴天時降低速率，以維持安全，其行車型態自然與晴天時不同。因此，影響行車型態之因素應包括產生一個行車型態時之時間、地區或道路、駕駛人、車輛與天候環境，而行車型態影響了車輛污染排放及耗能。

2.2 影響車輛污染排放及耗能因素

2.2.1 駕駛者對污染排放及耗能之影響

Chang(1980)研究中將駕駛行為特性分為三種：1.積極型，駕駛者經常急加速或急減速，盡可能地保持最快車速，與前車保持較近的車距且經常變換車道；2.正常型，駕駛者依車流狀況變化而改變車速，並遵守交通號志；3.保守型，駕駛者小心謹慎行駛，不會突然急加速或急減速，加減速較和緩，且極少變換車道。積極型駕駛較保守型駕駛要求節省時間，因此也車輛較耗油。

潘偉南(2006)利用結構方程模式探討影響駕駛績效與油耗之影響因素，以期找出關鍵因素。依據數位式行車記錄器所記載之變數，依其定義歸納出耗時指標、速度指標、油耗指標及異常駕駛行為所造成之不良駕駛績效指標等四個構面，再加入車況指標及駕駛員指標兩構面，形成 SEM 模式之研究架構。研究結果發現車況、耗時指標及速度指標對於油耗有顯著影響。車齡愈老且累積行駛里程愈長等車況情形愈差，對油耗有顯著影響；耗時指標裡的怠速時間過久、怠速次數與熱車時間等變數均會對油耗產生顯著影響在速度指標方面，當車輛處於速度離異過大與急加速、急減速時對於油耗影響顯著。

Maria(2007)之研究中指出節能駕駛可達成三個目標—減少能源消耗、減少溫室氣體(greenhouse gas)排放及減少事故發生，研究指出在希臘的市區公車駕駛人透過節能駕駛(Eco-driving)的教育訓練後，將可大幅減少車輛之能源消耗。由當地的公車業者進行試辦計畫，結果顯示每一年可以減少 4.35%的燃油消耗，節省 2,610 升/年的柴油使用，替公司省下 2,884,900 歐元之油耗成本，相當於降低了新台幣 115,492,403 元的成本。

蔡宗憲(2008)擷取數位行車紀錄器的動態行車資料，包含日期、時間、氣候、車牌號碼、行車每秒速度、加速度、經緯度、怠速時間、旅行時間，並紀錄車次行駛該路線期間的加油時間、公升數及每車每天的里程數。建構多變線性模型找出顯著影響油耗之因數，依速度大小將加速行為與煞車行為分別作累計合併產生新的變數，再使用向前逐步選取法與所有可能回歸法來選取變數。研究結果顯示平均時速高、低速時的煞車行為、高速時加速與煞車均會對油耗造成影響。

Barth,M.& Boriboonsomsin, K. (2009)研究中以實車模擬方式及即時監控技術來進行污

染排放及油耗減量效果之分析，結果發現透過節能駕駛(eco-driving)後，至少可以減少10%~20%的污染排放量及油耗，且在車流愈擁擠或道路服務水準愈低的情況下進行監控並建議行駛速率，其節能效果愈明顯，在自由車流下之節能效果較為有限。除此之外，在實車測試中發現，在同一行駛距離下，eco-driving 之行駛速率較 non-eco-driving 平穩，表示平穩的行駛速率對於燃油消耗與污染排放有明顯的影響。

林國顯等人(2009)將車輛污染排放影響因數分為靜態影響因素、動態影響因素。其中有關「人」的因素--駕駛行為、駕駛心理等因素與能耗排放特性之關聯性如下表 1 所示。該研究指出駕駛行為會影響車輛污染排放及耗能，其影響因素中，激進型駕駛行為、惰轉因素皆會增加能源消耗及污染排放；而暖車會降低能源消耗及污染排放。

表 1 車輛能耗排放特性之影響因素與關聯性

影響因素		能源消耗	排放
駕駛行為	1.激進型駕駛行為	較油耗	CO 與 HC 排放較高
	2.惰轉	增加能耗	增加排放
	3.暖車	降低能耗	降低排放

資料來源：本研究整理自林國顯等人(2009)

2.2.2 車輛特性對污染排放及耗能之影響

Chan & Ning (2005)延伸 Chan et al. (2004)對於汽油車輛污染移動污染源排放之研究，亦根據香港九個遙測觀測位置所搜集到的資料分析柴油車輛之 NO、HC、CO 排放情形，利用回歸分析建立各年度(1990~2001)與各車種之車輛污染排放系數模式，並與汽油車輛比較。結果顯示，車齡、排氣量、車型與駕駛特性對於排放系數皆有顯著的關聯性。CO、HC 與 NO 會隨著行駛速度的增加而減少，分別在速度為 60 公里/小時、60 公里/小時與 55 公里/小時後趨近平穩。當速度為 10、30、50、70 公里/小時時，在 CO 方面，汽油車輛所排放之廢氣量較柴油車輛高，；HC 則相反，柴油車輛之污染量較汽油車輛高。

林國顯等人(2009)研究指出，車輛設計與技術應用、車輛持有與使用、運輸系統供需特性等會影響車輛污染排放及耗能。車輛設計與技術應用因素方面，油品影響污染排放種類，新技術之應用影響能耗；廢氣後處理淨化裝置減少排放；引擎容量與車重愈大，則能源消耗及污染排放更多。車輛持有與使用方面，輪胎形式及胎壓不同皆會影響能源消耗；車齡與累積行駛里程數愈長，能源消耗及污染排放愈多；車輛在保養前後對於污染排放影響較大。此外，在運輸系統供需特性方面，平均車速與其車速變異程度、暫態車速與加減速、車輛運輸狀態、車輛載重皆會影響能源消耗及污染排放。如表 2 所示。

表 2 車輛能耗排放特性之影響因素與關聯性

影響因素		能源消耗	排放	
靜態影響因素	車輛設計與技術應用	油品與新技術應用	新技術之應用影響能耗	油品影響排放種類
		廢氣後處理淨化裝置	N/A	可減少排放
		引擎容量與車重	正相關	正相關
	車輛持有與使用	輪胎形式、胎壓	非輻射胎：能耗較低 胎壓減少：增加能耗	非輻射胎：N/A 胎壓減少：N/A
		車齡與累積行駛里程數	正相關	正相關
		保養前後	商用車：影響不大 小客車：無明顯差異	商用車：影響不大 小客車：減少排放
		平均車速與其他車速變異程度	受車速變異程度影響	與 CO ₂ 呈負相，但隨車速變異程度影響
動態影響因素	運輸系統供需特性	瞬態車速與加減車速	正相關	除 NOX 以外，正相關
		車輛運轉狀態	啟動階段與加減速時較耗油	啟動與加減速時排放較多
		車輛載重	正相關	正相關

資料來源：本研究整理自林國顯等人(2009)

2.2.3 環境對污染排放及耗能之影響

環境除了指天候、氣溫因素外，還包含道路交通狀況等特性。通常環境因素直接影響了駕駛行為，進而影響污染排放及耗能。Johnston & Trayford (1982)發現號誌時制--主要影響停車等次數對油耗會有顯著影響。

Ko & Cho (2006)在台中地區挑選 20 個地點，包含了國道收費站、市區道路與郊區道路觀測不同車流型態對於污染排放之關聯性，利用遙測儀器所得到的排放資料(HC、NO、CO)，藉由回歸分析方法分析車齡、觀測位置、速度、加速度等因素與車輛排放濃度之關聯性。結果顯示，觀測的位置、速度與加速度對於移動污染源亦有顯著的影響。在市區與郊區道路之污染排放濃度較高；速度對於 CO、HC 與 NO 呈非線性關係，但加速度對於 CO、HC 則呈線性關係，加速度愈高，污染排放濃度則愈低。此外，較老舊之車輛為高污染源，並不會隨著觀測位置不同而改變。而針對高承載車道與一般車道污染排放關係研究中，Rilett(2004)比較 HOV 車道與一般車道的 NOX 排放率差異，研究結果指出排放量與車速與加速度的變化對排放之影響顯著，而 HOV 車道之 NOX 排放量低於一般車道約 40%。

林國顯等人(2009)研究指出，車輛污染排放及能耗會受到外部環境影響，包含溫度、風速、使用空調與否、使用除冰裝置。其關聯性如表 3 所示。溫度愈高能源消耗愈低，尾

氣排放與溫度呈負相關，蒸氣排放則與溫度成呈正相關；使用空調及除冰裝置皆會增加能源消耗。

表 3 車輛能耗排放特性之影響因素與關聯性

影響因素		能源消耗	排放
外部環境	溫度	負相關	尾氣排放與溫度呈負相關，蒸氣排放則與溫度成呈正相關
	風速	正相關	N/A
	使用空調與否	使用空調時耗油	N/A
	使用除冰裝置	使用時較耗油	N/A

資料來源：本研究整理自林國顯等人(2009)

2.3 文獻評述

本研究彙整相關文獻後，發現衡量構面可以歸納為政策法令、駕駛管理制度、駕駛心理特性、車輛設計與性能、車輛運轉狀態、車輛使用情況、天候環境、道路幾何設計及車流狀況等九大類，此九大類可以有效涵蓋評估車輛污染排放及能耗因素之方法，達到評估構面完整性之要件，因此本研究將這些衡量構面用人、車及環境來歸納。

許多文獻皆指駕駛行為與車輛污染排放及能耗有直接性的影響關係，其中駕駛行為特徵包含了急加/減速、換檔時機、平和/衝動性駕駛、違規行為，而駕駛行為特徵又會受到駕駛心理因素或駕駛習性之不同而改變，若駕駛個性較為溫和較不容易出現異常的駕駛行為，而屬於衝動性駕駛較容易有異常駕駛行為，導致車輛污染排放及耗能增加若改變駕駛行為，則可以有效減低污染排放及能耗(Chang, 1980；潘偉南，2006；Maria, 2007；蔡宗憲，2008，Barth, M. & Boriboonsomsin, K., 2009)。

影響車輛污染排放及能耗與車輛本身設計及性能有直接影響之關係，如引擎設計、汽缸數、排氣量、廠牌、車種、車重、輪胎型式與胎壓、後處理裝置、新技術之應用等，不同廠牌對油耗之影響不同，而汽缸愈大、車體愈重、胎壓過大或過小皆會使油耗增加，這些車輛出廠後之有不同的車輛性能，所造成之污染排放及能耗也有所不同。車輛在行駛中之運作特性，例如平均行駛速度不穩、引擎轉速異常、怠速空轉等皆會使污染排放及能耗增加，而車輛在行駛時又受到車況不同的影響，如車齡、累積行駛里程、油料的使用、定期維修保養與否，車輛會隨著車齡或行駛里程之增加而污染排放也隨之增加，車輛在起步階段最為耗油，冷起動較熱起動之污染排放多，車輛若有定期保養維修，污染排放與燃油效率均可改善 (Chan & Ning, 2005；林國顯等人，2009)。

車輛污染排放及能耗也會受到不可抗力之環境因素影響，包含天候環境、道路幾何設計及車流狀況等。其中天候環境中，天氣、溫度、風速會影響駕駛行為、車況、車輛運轉狀況，進而使污染排放及能耗增加，如天候不佳的情況下，會影響行車視距、車速或者容易打滑等不同的駕駛操作。車輛在行駛過程中會受到道路幾何設計之影響，例如：道路幾何線型、坡度、鋪面狀況等，若坡度愈大或路面情況愈惡劣通常會造成更多的油耗及污染排放，另外車輛若行駛於不同道路等級或高承載車道、一般車道，會受到不同的車流特性

所影響，例如號誌停等次數愈多或交通愈擁擠的情況下，車輛污染排放及能耗就愈多。(Johnston & Trayford, 1982)；Ko & Cho, 2006；Rilett, 2004；林國顯等人，2009)。

由過去文獻可以看到，探討車輛污染排放及能耗大多以小客車為研究對象，其分析車輛污染排放及能耗之資料來源大部分為定檢資料、實車模擬數據或者實務上實際數據等，透過相關統計之量化分析工具來探討，較缺乏質性方面的研究，以較全面性完整地來探究污染排放及能耗之因素，根據能源局及環保署資料可知大客車污染排放及耗能嚴重程度在道路車輛—大貨車、大客車、柴油小貨車、汽油小貨車、小客車、機車六大種類中位居第二，不論在不同車速下其能源消耗為3.5公升/公里，僅次於大貨車。故本研究以大客車為研究對象，提出人、車、環境三個評估構面來探討大客車污染排放及耗能之因素。

三、研究方法

本研究選擇決策實驗室分析法(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)找出影響大客車污染排放及耗能之關鍵因素。DEMATEL 方法源自於 1973 年瑞士日內瓦研究中心喬治亞大學 Battelle 協會，當時用於研究能源、環保、種族、饑餓等世界複雜、困難的問題，此方法可有效地瞭解複雜的因果關係結構，藉由察看元素間兩兩因果影響程度，結合線性代數與專家問卷的一種應用方法，利用矩陣及相關數學理論計算出全體元素間的因果關係及影響強度。可有效建構因子間之因果關係、方案評估架構與因子權重等。

依據 Battelle 研究中心指出，DEMATEL 模式主要目的為能夠釐清元素因果關連，篩選出重要元素，其應用流程及運算步驟說明如下(陳育生，2008)：

瞭解問題並定義元素

深入了解問題，列出系統中的元素並加以定義，其元素可經由文獻回顧、深入訪談、腦力激盪…等方式獲得。

決定元素關連

決定元素間之直接關連，其關連呈線性規劃型態，目標函數為關連最大化。關連決定則根據專家主觀的心智模型判斷元素兩兩之關係。其語意值及語意操作定義分為 0、1、2、3、4 等代表不同的影響程度，影響程度可分為「無影響(0)」、「低度影響(1)」、「中度影響(2)」、「高度影響(3)」、「極高度影響(4)」。

建置直接關係矩陣

若元素個數為 n ，將準則依其影響關係與程度兩兩比較，得到 $n \times n$ 矩陣，稱為直接關係矩陣，以 T 表示，矩陣中 T_{ij} 的數字代表元素 i 影響元素 j 的程度，並將其對角元素 T_{ij} 設為 0(如圖 3.2-1)。

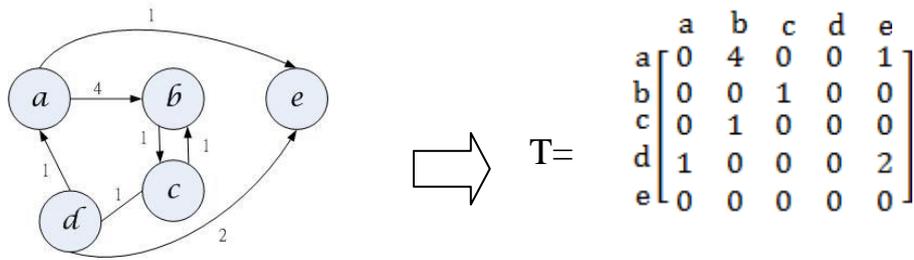


圖 1 直接關係圖轉換成直接關係矩陣示意圖

1. 計算標準化之直接相關矩陣

目的為在不扭曲元素之線型關係下，將原直接矩陣以相對機率表達，因此先令 $\lambda = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n T_{ij}$ ，再將整個 T 矩陣中的元素除以 λ ，即 $X = T/\lambda$ ，即可得到標準化之直接關係矩陣 X(如圖 2)。

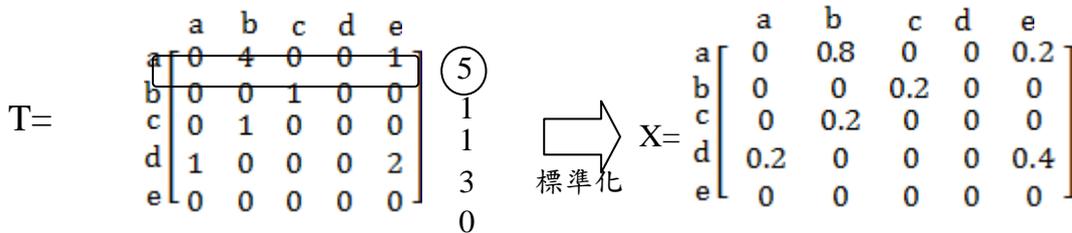


圖 2 標準化直接關係矩陣過程

2. 計算總影響(直接/間接)關係矩陣

算出初始元素對最末元素之所有之綜效和，顯示出元素間互相影響的所有可能關係。因 $\lim_{k \rightarrow \infty} X^k = 0$ 因此總影響(直接/間接)關係矩陣 Z(圖 3)可從公式 1 獲得：
($X \dots k2$)

$$Z = (X + X^2 + \dots + X^k) = 0 \dots \dots \dots (1)$$

其中，O：表零矩陣 Z：表總影響關係矩陣 X：表直接關係矩陣 I：表單位矩陣

$$Z = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & c & d & e \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

圖 3 總影響關係矩陣

3. 計算總影響度(D+R)及影響度(D-R)

計算方式為令為 $Z_{ij} (i, j=1, 2, \dots, n)$ 為 Z 中元素， D_i 表示元素 i 影響其他因素之

總和(列總和)，包含了直接影響及間接影響，為「因」； R_j 表示元素j被其他元素影響之總和(行總和)，為「果」。如公式2及公式3所示：

$$D_i = \sum_{j=1}^n Z_{ij} (i = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(2)$$

$$R_j = \sum_{i=1}^n Z_{ij} (j = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(3)$$

(D+R)稱為中心度(Prominence)，表示通過此元素影響及被影響的總程度，可顯現出該元素在問題群中的關連強度；(D-R)稱為原因度，表示元素之影響及被影響程度， (D_k-R_k) 若為正，此元素偏向為影響因子， (D_k-R_k) 若為負，此元素偏向為被影響因子，依上述步驟計算出總影響矩陣之結果如下表4所示。

表4 總影響矩陣之總影響度(D+R)及影響度(D-R)

行之和(D)		列之和(R)		行列之和(D+R)		行列之差(D-R)	
各因素順序	數值	各因素順序	數值	各因素順序	數值	各因素順序	數值
d	1.8	b	1.5	d	2.1	d	1.5
a	1.2	c	0.8	b	1.7	a	0.9
b	0.2	e	0.5	a	1.5	e	-0.5
c	0.2	a	0.3	c	1	c	-0.6
e	0	d	0.3	e	0.5	b	-1.7

4. 繪製因果關連圖(causal diagram)

將得知的中心度及原因度分別以 (D_k+R_k, D_k-R_k) 為橫座標和縱座標，橫軸為(D+R)，縱軸為(D-R)，如圖4所示。將各元素以座標形式表現之因果圖可以將複雜的因果關連簡化為易懂的結構，得出每個元素對其他元素之影響關係，能深入瞭解問題以提供解決方向，並可藉此重新檢視欲解決之問題。

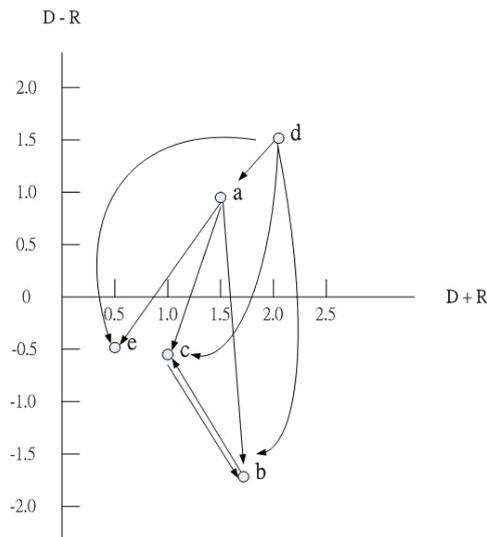


圖4 因果關連圖

5. 篩選重要元素

藉由因果圖協助，決策者可以根據元素中影響類或被影響類來研擬合適的決策，可以透篩選出的重要元素，爭取解決問題的時間，當問題現象隨時間推移發生變化時，則應重新解問題及定義元素。在圖 3 五個問題間因果關連圖顯示，元素 a 和 d 為元素群中為最主要關鍵之因素。

四、關鍵因子篩選

4.1 訪談結果

本研究所歸納之影響因子除了透過文獻回顧之外，為能夠更深入了解大客車污染排放及耗能之影響因素相關之議題，且彌補文獻回顧之不足，進行了產、官、學界專家學者之深入訪談，訪談對象包含產業界—客運業者管理階層、顧問公司管理階層；政府單位—監理單位、環保署、能源局、ARTC；學術界—交通領域、機械領域等專家學者共16位，訪談方式採半結構式之深入訪談法，主要內容為造成大客車污染排放及耗能之因素有哪些、是否有改善措施、目前相關之政策法令制度與業者經營管理之問題探討等課題，產官學各專家對目前大客車污染排放及耗能議題有許多異同之處，茲將訪談內容歸納整理如表5所示。由深入訪談結果得知，造成現今大客車污染排放、耗能的原因，除了駕駛行為、車況等因素，尚包含整個大環境問題、產業現況問題、相關政策法令問題等因素歸納為：駕駛行為是決定大客車污染排放及耗能之重要因素、車輛汰舊及保養維修應同時並重、車輛設計及性能是影響大客車污染排放及耗能之先天因素、台灣缺乏核心技術需仰賴進口、車齡限制須有配套措施以協助業者車輛汰舊換新、購車成本太高導致業者購車意願降低、污染排放標準制定後無續稽核制度、大客車污染排放檢驗制度未落實、現行檢驗多直接移植美國經驗，未能符合台灣產業環境、學校課程與考照制度未能與實務結合、加強駕駛者管理制度可有效改善大客車的污染排放及耗能、向國外學習節能駕駛經驗、道路品質欠佳是影響大客車污染排放及耗能之因素、油品的使用與選擇是影響大客車污染排放及耗能之因素、客運評鑑制度可以增加優良業者之優惠措施、柴油車排放標準逐年提高及車輛日益符合環保等16點。

表 5 大客車污染排放及耗能產官學訪談結果歸納

	內部環境	外在環境
產業界	<ol style="list-style-type: none"> 1. 購車成本太高，導致業者購買新車意願降低。 2. 政府鼓勵業者老舊車輛汰舊換新，一方面購車成本過高，靠政府補貼也是治標不治本，政府應有配套措施。 3. 運輸業管理當局之評鑑制度應保護評為優等的業者，發揮其真正的效用。 4. 公司響應環保，推動節能計畫透過相關的電腦系統設備來管理駕駛人及進行駕駛者教育訓練。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 台灣無相關技術，大客車輛全仰賴外進口。 2. 現行環保法規制度過於盲從。 3. 大客車污染排放檢驗制度中，委外之方式不合理。 4. 排放標準制定後無後續稽核制度。
政府單位	<ol style="list-style-type: none"> 1. 柴油車排放標準逐年加嚴，愈後期車之污染排放量應愈少。 2. 有關大客車污染排放問題，主要應為車輛並無定期維修保養之習慣、超載情況普遍及駕駛習慣欠佳等原因所致。 3. 國內車輛使用年限普遍較久，老舊車輛之污染情況較嚴重，係原始設計之限制，各項污管制措施均無法改變其污染排放較高之事實，根本解決方法為鼓勵車輛汰舊換新。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國內道路品質欠佳詬病已久，施工品質有待提昇。 2. 油品好壞為車輛排放污染之元凶。 3. 「車輛之使用頻率」宜列入考量，研究如何降低車輛使用頻率後如何配套，亦為重要之議題。
學術界	<ol style="list-style-type: none"> 1. 駕駛者管理制度與教育訓練為影響大客車污染排放及耗能之重要因素。 2. 國外推動Eco-Driving已證實駕駛行為對車輛污染減量及能源消耗有相當程度的影響。 3. 駕駛者情緒、個性會反應在駕駛行為上，個性較衝動的駕駛者相對較平和型的駕駛者在開車時，容易出現重踩油門或者加速、違規超車等較耗油的行為。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 汽車工程專業技術之教育未深根、技術士考照制度未落實。 2. 車齡隨著期別早與期別晚的價差大之特性，業者因車齡限制與成本考量，而不會選擇購入性能好、較環保的車子，例如目前公認較環保節能的車輛--歐系車和日系車。久而久之，普遍的車種皆較不是這麼環保。 3. 交通量愈多，甚至造成塞車時，車輛走走停停次數多且行駛里程短時間長，甚至怠速情況下，皆會造成能源消耗及污染排放增加。

4.2 因子萃取及研擬

根據以上歸納文獻及訪談所得因子之初步結果，透過比對的方式，考量其重覆性及互相包含的特性，選出現次數最多的因子作為萃取對象，在影響大客車污染排放及耗能因素中，本研究萃取出13個較為重要之因子，如表6所示。人的因素中，駕駛心理特質和駕駛行為最為重要，心理特質即為個性所影響，不同的駕駛個性在不同的外在環境情境刺激下，會誘發駕駛表現出不同的情緒或駕駛反應。在駕駛行為中，對於污染排放和油耗最直接影響的為急加速、急減速、換檔時機及違規行為最為重要。車的因素中，車輛先天於車廠的設計及性能直接決定了車輛在道路行駛中的狀況，不同的車輛使用情況則直接影響了車輛組成零件的損壞程度，同時直接影響車輛行駛時的運轉狀態；在車輛設計中，引擎設計對污染排放和耗能有明顯直接影響，其中油品的選擇與使用則決定污染排放及耗能多寡的重要因子。車輛運轉狀態乃表示在不同天候環境和道路車流行駛條件下，車輛當下的運轉情形，而車輛運輸狀態不同，所造成的污染排放以及能源消耗也隨之不同。在影響污染排放及耗能的環境因素構面中，其中天候等不可抗拒的先天自然環境因素明顯會對駕駛心理產生影響，造成駕駛情緒波動，誘發出不同的駕駛行為，甚至引起不當的車輛操作反應。在不同車流狀況下，駕駛者會有不同的車輛操縱行為，造成不同的污染排放及耗能。駕駛教育訓練及完善的管理制度則可以透過經驗學習和技術訓練來改善駕駛習慣，減少耗能之駕駛行為及污染排放。政策法令及相關配套制度可以協助業者經營管理，提昇業者進行車輛汰舊換新的意願，並促進節能駕駛之落實。

表 6 萃取因子結果

構面	因子	說明
人	a. 駕駛個性	根據研究顯示駕駛行為和駕駛情緒是影響大客車污染排放及耗能的因素，改善駕駛行為將可節省 15% 的油耗。駕駛行為包括是否重踩油門或煞車、檔位控制不當、任意變換車道或超速行為等，駕駛情緒為影響駕駛行為的主要原因，而駕駛個性為判別駕駛情緒的方法之一。
	b. 急加/減速	
	c. 換檔時機	
	d. 違規行為	
車	e. 車輛設計與性能	車輛本身設計、使用狀態與狀況及車輛附屬料件是影響大客車污染排放及耗能的因素，車輛本身設計受到車輛廠牌、車種、後處理裝置等的不同會影響其性能，而車況包含了靜態的車輛使用情況，例如車輛行駛累積里程、車齡、保養維修狀況，與動態的車輛運轉狀態，例如車輛在起步、暖車及怠速狀態等。柴油為大客車主要的附屬料件，而油品的選擇與使用為影響車況重要因素。
	f. 車輛使用情況	
	g. 油品使用與選擇	
	h. 車輛運轉狀態	
環境	i. 道路幾何設計	天候、道路交通狀況為影響大客車污染排放及耗能之先天因素，而業者的管理制度及政策法令是後天影響因素。天候、道路交通狀況不同會影響駕駛行為及車況，業者的駕駛管理制度也會影響駕駛行為的改變，而相關的政策法令會影響業者的營運管理。
	j. 車流特性	
	k. 自然環境	
	l. 駕駛教育訓練	
	m. 政策法令	

4.3 DEMATEL 問卷設計

經過文獻回顧及專家深入訪談結果，已獲悉各專家對目前「大客車污染排放及耗能因素」之意見，惟其意見十分多元且彼此間之關係相互牽連，因此透過因子萃取的結果來設計DEMATEL之專家問卷(附錄A)，將萃取出之13個因子依序與其他12個因子做因果影響之比較，希望透過專家問卷方式獲得因子之間的因果影響關係並利用DEMATEL方法進行計算分析篩選出關鍵影響因素。參考Hsu (2007)的建議，將專家問卷填答尺度採用0~4 代表問題A 對問題B 的影響，「0」表示無影響，「1」表示低度影響，「2」表示中度影響、「3」表示高度影響，「4」表示極高度影響，問卷設計範例如表7所示。

表 7 應用 DEMATEL 之問卷範例

影響	被影響		間接影響 或 無影響	直接因果影響			
				1	2	3	4
駕駛 個性	人	急加/減速	0	1	2	3	4
		換檔時機	0	1	2	3	4
		違規行為	0	1	2	3	4
	車	車輛設計與性能	0	1	2	3	4
		車輛使用情況	0	1	2	3	4

專家選擇為對大客車污染排放及耗能相關議題了解之人員包括：車輛工程、環保、交通事業等領域之產、官、學界之專家。本研究以車輛污染與耗能之主管機關、檢測及審驗機構等執行單位作為政府單位問卷發放對象之依據，如表4.3-1所示，包括主管機關的行政院環保署及經濟部能源局、檢測審驗機構的車輛研究測試中心、環保檢驗單位，以及交通部運輸研究所、監理單位；產業界包括國道客運業者、遊覽車業者、市區公路客運業者、交通工程顧問公司；學術界包括運輸、機械工程相關科系之學者共計21位，其中政府單位發放了7份，產業界發放了7份，學術單位發放了7份。

五、關鍵改善因素分析

5.1 建立直接關係矩陣

通過有效性及一致性檢定後，依DEMATEL計算直接關係矩陣，如表8。a~m分別為依序代表人、車、環境三大構面之13項評估因素。

表 8 直接關係矩陣

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
a	0.000	3.813	3.625	3.313	0.250	2.063	1.125	2.188	0.125	0.375	0.313	0.938	0.563
b	1.500	0.000	2.125	1.688	0.250	1.875	0.313	1.938	0.313	1.125	0.375	1.125	0.375
c	1.063	1.750	0.000	0.688	0.688	1.625	0.313	2.063	1.000	1.125	0.500	0.875	0.125
d	1.235	1.000	0.529	0.000	0.118	0.529	0.118	1.000	0.294	0.706	0.000	1.176	0.941
e	0.563	1.375	1.813	0.813	0.000	2.125	1.875	2.500	0.188	0.188	0.125	0.438	0.438
f	1.188	1.250	1.250	0.750	0.750	0.000	2.000	2.063	0.063	0.188	0.063	0.313	0.313
g	0.125	0.188	0.250	0.063	0.875	1.688	0.000	1.750	0.000	0.063	0.000	0.188	0.500
h	0.688	1.188	1.563	0.750	0.875	1.813	1.500	0.000	0.188	0.750	0.375	0.438	0.063
i	0.313	1.688	2.125	1.313	0.500	1.000	0.000	1.375	0.000	2.313	0.375	0.563	0.313
j	1.188	2.188	2.313	1.813	0.250	1.375	0.250	1.750	0.500	0.000	0.063	0.250	0.250
k	0.688	1.250	1.063	0.938	0.500	1.000	0.188	1.500	1.875	1.688	0.000	0.375	0.313
l	2.063	2.938	3.000	3.188	0.313	1.563	1.188	1.938	0.000	0.688	0.000	0.000	0.688
m	0.750	1.250	1.063	2.438	2.125	1.438	1.375	1.438	1.188	1.063	0.375	2.063	0.000

5.2 計算直接/間接矩陣

計算出標準直接關係矩陣後，下一步為計算總影響(直接/間接)關係矩陣，透過公式(1)計算結果如表9所示，由表可得所有因子之所有可能影響關係

表 9 直接/間接關係矩陣

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
a	0.14	0.39	0.39	0.34	0.09	0.30	0.17	0.34	0.06	0.12	0.05	0.15	0.08
b	0.18	0.16	0.27	0.22	0.07	0.24	0.10	0.26	0.05	0.13	0.04	0.13	0.06
c	0.15	0.23	0.15	0.16	0.09	0.22	0.10	0.26	0.08	0.13	0.05	0.11	0.04
d	0.13	0.16	0.14	0.10	0.04	0.12	0.06	0.16	0.04	0.08	0.02	0.11	0.07
e	0.11	0.20	0.22	0.15	0.05	0.24	0.18	0.27	0.04	0.07	0.03	0.08	0.06
f	0.13	0.17	0.18	0.13	0.08	0.11	0.17	0.23	0.03	0.06	0.02	0.07	0.05

g	0.05	0.07	0.08	0.05	0.07	0.15	0.05	0.16	0.01	0.03	0.01	0.04	0.04
h	0.11	0.17	0.19	0.13	0.09	0.20	0.14	0.13	0.04	0.09	0.04	0.07	0.03
i	0.11	0.22	0.25	0.18	0.07	0.18	0.07	0.22	0.04	0.19	0.04	0.09	0.05
j	0.15	0.25	0.26	0.21	0.06	0.20	0.09	0.24	0.06	0.07	0.03	0.08	0.05
k	0.12	0.20	0.20	0.16	0.07	0.18	0.08	0.22	0.13	0.16	0.02	0.08	0.05
l	0.24	0.35	0.36	0.33	0.09	0.27	0.17	0.32	0.05	0.13	0.03	0.10	0.09
m	0.16	0.25	0.25	0.28	0.18	0.25	0.18	0.28	0.10	0.14	0.05	0.19	0.05

5.3 計算中心度與原因度

將直接/間接關係矩陣表以公式(2)和(3)計算，可得到影響權重D 和被影響權重R。其中，D 表示某元素影響其他元素的總和，顯示該元素影響其他元素的總程度，R 表示某元素被其他元素影響的總和，顯示該元素被影響的總程度。D+R 為中心度，表示此元素與其他元素的關係強度，即是通過此元素影響及被影響的總程度。D-R 稱原因度，表示元素的影響及被影響程度，D-R 若為正，此元素屬於影響因子，(D-R)若為負，此元素屬於受影響因子，如表10所示。

表 10 各因子之中心度(D+R)和原因度(D-R)

因子	D	因子	R	因子	(D+R)	因子	(D-R)
a	2.62	h	3.10	b	4.72	m	1.65
l	2.52	c	2.93	c	4.68	k	1.25
m	2.37	b	2.81	h	4.53	l	1.22
b	1.91	f	2.66	a	4.39	i	1.00
j	1.77	d	2.43	f	4.09	a	0.84
c	1.74	a	1.78	l	3.82	e	0.64
i	1.73	g	1.57	d	3.67	j	0.36
e	1.70	j	1.41	j	3.18	g	-0.76
k	1.66	l	1.30	m	3.10	b	-0.90
h	1.43	e	1.06	e	2.77	c	-1.19
f	1.43	i	0.74	i	2.47	d	-1.20
d	1.24	m	0.72	g	2.37	f	-1.23
g	0.81	k	0.41	k	2.08	h	-1.67
平均數	1.76	平均數	1.76	平均數	3.53	平均數	0.00

標準差	0.49	標準差	0.89	標準差	0.89	標準差	1.13
-----	------	-----	------	-----	------	-----	------

5.4 因果關連

依上述之計算結果，D+R及D-R分別為橫軸與縱軸，將其數據繪製成因果座標圖，如圖11所示，可得出每個因子對其他因子之影響關係，藉此重新檢視欲解決之問題，提供解決問題的方向。中心度(D+R)為通過此元素影響及被影響的總程度，原因度(D-R)表元素為影響類，由圖11可知，政策法令(m)、駕駛者教育訓練(l)、駕駛個性(a)三者落於D+R之平均值之上或接近平均值，且D-R值也落在平均值以上，這三個因子不僅關係強度大，更為影響因子，此結果顯示大客車污染排放及耗能之問題癥結在於政策法令、駕駛者教育訓練及駕駛個性上。而自然環境(k)、道路幾何設計(i)、車輛性能與設計(e)、車流特性(j)四個因子雖不在中心度平均之上，但其原因度皆落於原因度平均值之上，表示此四個因子為重要影響類之因素。另外急加/減速(b)、換檔時機(c)、違規行為(d)、車輛使用情況(f)、車輛運輸狀態(h)等五個因子落於中心度平均之上，但其原因度為負值，表示此五個因子之關係強度大，且為被影響類之因子。

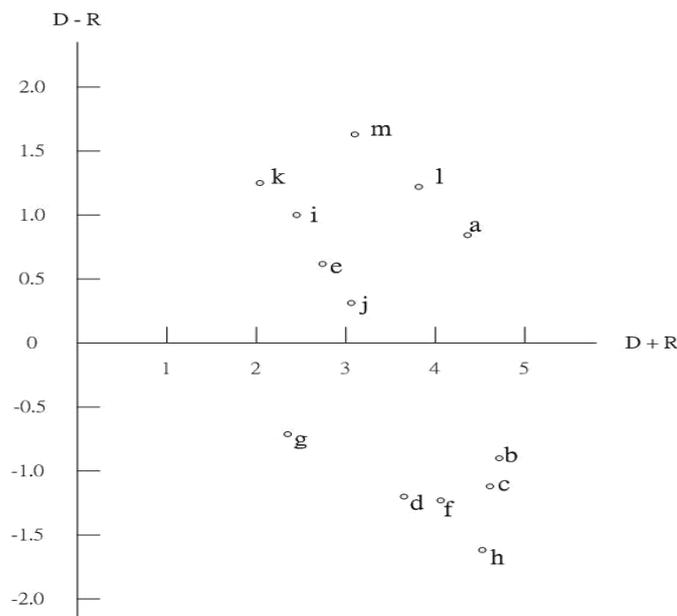


圖 5 因果座標圖

5.5 分群比較

本研究進一步將關鍵因子分類，採用集群分析法來協助本研究判斷各因素之集群關係，藉由集群組合找出具有相似特性的因素，使本研究能夠更有系統地判斷各集群之因果關連，有效提出改善方法，解決大客車污染排放及耗能的問題。本研究採用K平均法(K-mean method)、華德法(Ward method)及階層式集群分析法進行比較分析。包含均連法、組內變異連結法及最鄰近法。各類集群分析方法之分群結果如表12所示，表內數值代表分群後出現之

順序，相同數值表示該因子歸在同一群體。除了最鄰近法之分群結果與其他方法稍有不同，其餘分群結果呈現一致，表示分群具有穩健性。其中，華德法和K平均法的分群出現順序上有些許不同，但其分群的結果是一致的。華德法集群凝聚的計算過程中，以集群數為橫軸，變異度係數為縱軸繪製的陡坡圖顯示，如圖6所示，當分群數為小於4時，變異度係數開始急遽增加；當分群數開始大於4時，變異度係數則是緩慢減少，此表示將因素分為4群是合理的結果。依圖5納入分群結果標示出來，並繪製成圖7。

各類集群分析法分類結果大致上一致，本研究以華德法和K平均法的分群結果為依據，將大客車污染排放及耗能之影響因素分成四大群。而在研擬改善建議時，針對 $D_k-R_k > 0$ 的因素來制訂的政策，效果必定優於 $D_k+R_k < 0$ 之政策，因此影響類之因素比被影響類之因素更顯重要，依分群結果，第一群和第二群的重要性大於第三群與第四群，如表13所示。

表 12 集群分析法結果

	均連法	組內連結	最鄰近法	華德法	K 平均法
a	1	1	1	1	1
b	2	2	2	2	3
c	2	2	2	2	3
d	2	2	2	2	3
e	3	3	3	3	2
f	2	2	2	2	3
g	4	4	4	4	4
h	2	2	2	2	3
i	3	3	3	3	2
j	3	3	3	3	2
k	3	3	3	3	2
l	1	1	1	1	1
m	3	3	1	3	2

註：1,2,3,4 表示集群出現的優先順序，相同數字表示在同一群內

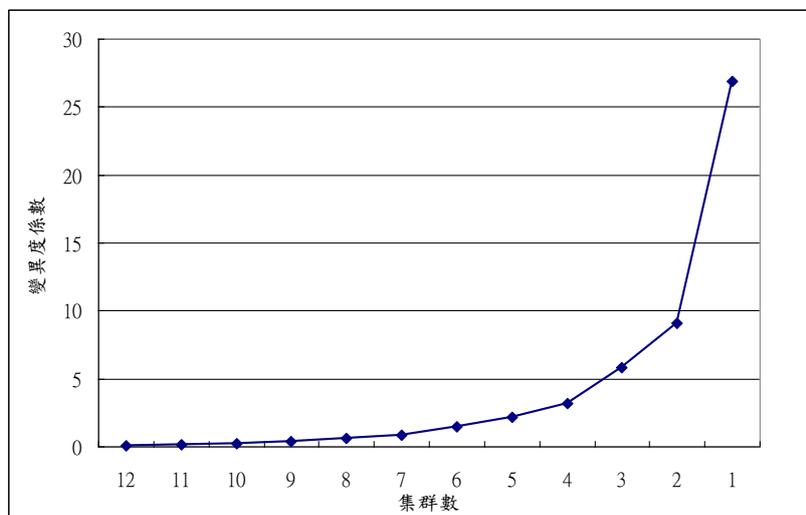


圖 6 華德法下集群數與變異度係數之關連

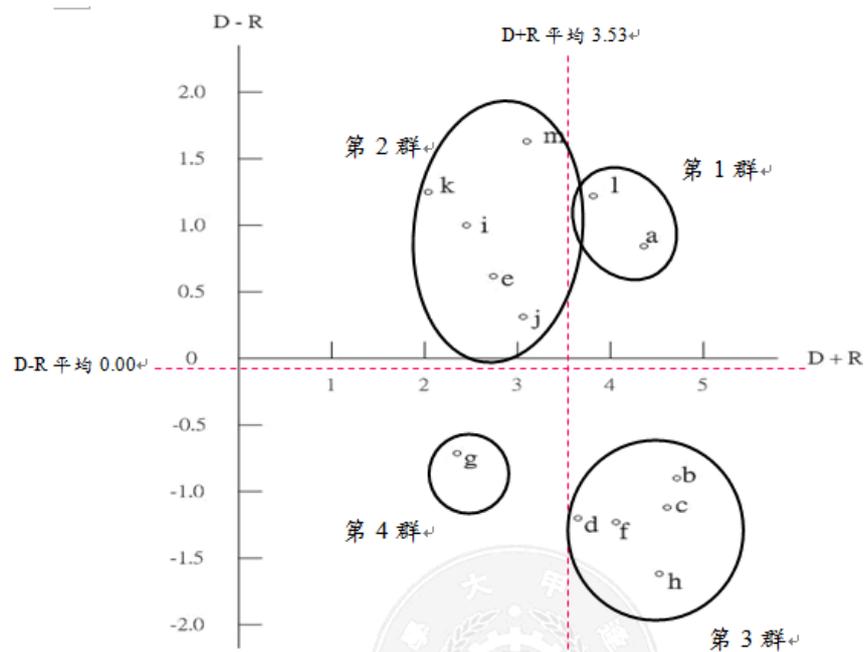


圖 7 因素分析結果

表 13 集群分析法結果

分群		集群中心座標		因子
		(D_k+R_k)	(D_k-R_k)	
影響因素	第 1 群	4.1	1.03	a. 駕駛個性 l. 駕駛教育訓練
	第 2 群	2.72	0.98	e. 車輛設計與性能 i. 道路幾何設計 j. 車流特性 k. 自然環境 m. 政策法令
被影響因素	第 3 群	4.34	-1.24	b. 急加/減速 c. 換檔時機 d. 違規行為 f. 車輛使用情況 h. 車輛運轉狀態
	第 4 群	2.37	-0.76	g. 油品使用與選擇

第1群為大客車污染排放及耗能的關鍵影響因素，在於駕駛教育訓練(l)及駕駛個性(a)。第2群為次要之關鍵影響因素，為政策法令(m)、自然環境(k)、道路幾何設計(i)、車輛設計與性能(e)及車流特性(j)，其中政策法令(m)在最鄰近法中被分為第1群最關鍵影響因素中，其影響度(D-R)高於被歸納至第1群的兩個因素之(D-R)，表示除了第1類中的駕駛教育訓練(l)及

駕駛個性(a)之外，政策法令(m)也為值得深入探討的關鍵影響因素之一。因此若要針對大客車污染排放及耗能擬定改善建議及政策時，應優先考量第1群及第2群中的因素，並優先解決關鍵問題，其他次要因素因此而得以改善。

第3群為急加/減速(b)、換檔時機(c)、違規行為(d)、車輛使用狀況(f)及車輛運轉狀態(h)為被影響因素，但關係強度大，表示有完善駕駛者教育訓練與公平賞罰制度、良好的駕駛個性、或不同的車輛本身設計性能、道路幾何及交通運行條件等，可以使油門控制、檔位控制、違規行為及車輛運轉狀態等駕駛行為及車況獲得改善；也表示若有良好健全的政策法令及相關配套措施，加上業者的管理制度，能使車輛使用狀況得以改善。第4群的油品使用及選擇(g)為被影響因素，但其關係強度較弱，表示在進行大客車污染排放及耗能議題提出改善建議時，針對油品使用及選擇(g)問題改善之效益較不明顯。

5.6 路徑影響分析

依DEMATEL計算出之的總關係(直接/間接)矩陣，繪製出影響因素之影響路徑圖，粗黑實線表示影響程度為0.25以上，細實線表示影響強度為0.1~0.25，虛線則表示影響強度為0.1以下，如圖14及15所示。

在圖14影響路徑中，顯示駕駛個性(a)與駕駛教育訓練(l)之間有中高度的相互影響關係。第1群中駕駛個性(a)及駕駛教育訓練(l)皆對第3群中的急加/減速(b)、換檔時機(c)、違規行為(d)、車輛使用狀況(f)及車輛運轉狀態(h)有高度的影響；且對油品使用與選擇(g)和車流特性(j)有中度的影響；另外，對車輛設計與性能(e)、道路幾何設計(i)、自然環境(k)及政策法令(m)則為低度影響。

在圖15影響路徑中，原因度(D-R)最高之因子—政策法令(m)，對第三群有高度的影響關係，分別為：車輛使用狀況(f)、車輛運輸狀態(h)、急加/減速(b)、換檔時機(c)及違規行為(d)；而對駕駛個性(a)、車輛設計與性能(e)、油品使用與選擇(g)、道路幾何設計(i)、車流特性(j)及駕駛教育訓練(l)有中度的影響；對自然環境(k)則為低度影響。

車流特性(j)對急加/減速(b)及換檔時機(c)有高度之影響；對駕駛個性(a)、違規行為(d)、車輛使用狀況(f)及車輛運轉狀態(h)有中度之影響，其中，對車輛運轉狀態之影響接近高度影響；車流特性對車輛設計與性能(e)、油品使用與選擇(g)、道路幾何設計(i)、自然環境(k)、駕駛教育訓練(l)及政策法令(m)為低度之影響。

道路幾何設計(i)對換檔時機(c)有高度之影響；對駕駛個性(a)、急加/減速(b)、違規行為(d)、車輛使用狀況(f)、車輛運轉狀態(h)及車流特性(j)為中度影響；對車輛設計與性能(e)、油品使用與選擇(g)、自然環境(k)、駕駛教育訓練(l)及政策法令(m)為低度之影響。

車輛設計與性能(e)對車輛運轉狀態(h)有高度之影響；對駕駛個性(a)、急加/減速(b)、換檔時機(c)、違規行為(d)、車輛使用狀況(f)及油品使用與選擇(g)為中度之影響；對道路幾何設計(i)、車流特性(j)、自然環境(k)、駕駛教育訓練(l)及政策法令(m)為低度之影響。

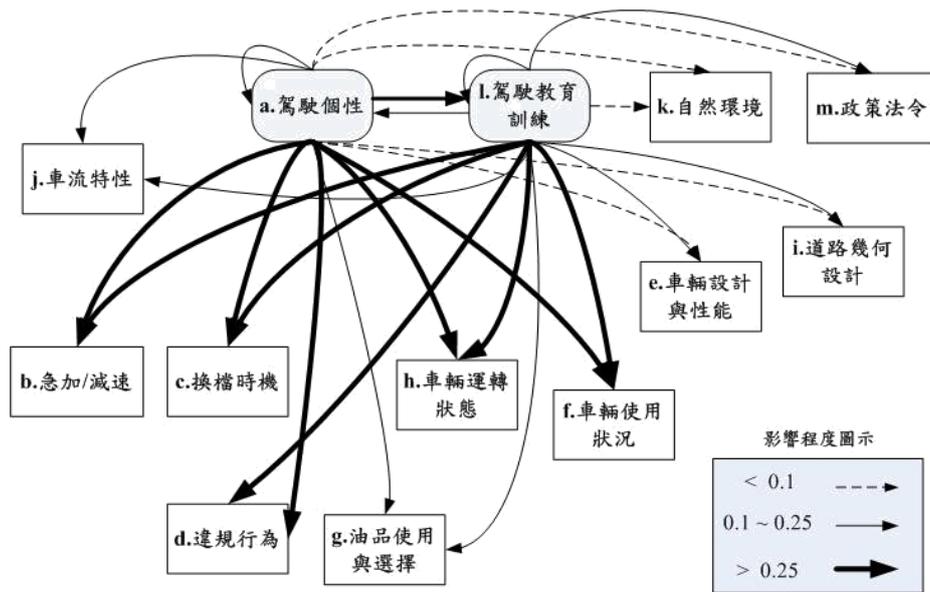


圖 14 駕駛個性和駕駛教育訓練影響路徑架構

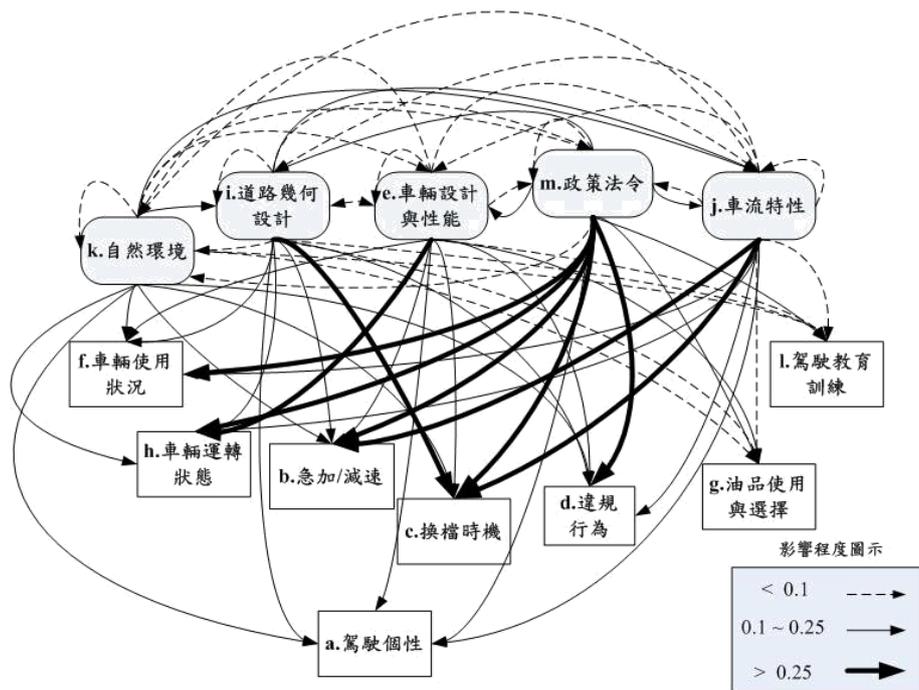


圖 15 車輛與環境影響路徑架構

六、大客車節能改善方法

本研究經過上述分析，針對大客車污染排放及耗能之關鍵影響因素提出改善方法及相關配套措施，整理如表 14。

表 14 關鍵因素改善方法及配套措施

關鍵因素	改善方法	相關配套說明
政策法令	<ul style="list-style-type: none"> ■ 結合保修制度放寬車齡限制 ■ 逐步落實保檢合一 ■ 檢驗標準符合台灣產業環境 ■ 徹底落實大客車檢測管理 ■ 成立檢測/維護專責機構 ■ 改善業者經營體質 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 建立完善的保修制度，以維持良好車況，減低污染排放。 ■ 推行車齡分級及退場機制，建檔控管轉手車輛。 ■ 有實施特定保養項目，視同完成年度排氣檢驗。 ■ 檢測、維修業務由一專責機構執行，以達環保監理事權統一。 ■ 強制規定使用中車輛定期檢測，並對故障之車輛進行強制性維修。 ■ 由評鑑制度督促客運業者建立完善經營制度。 ■ 實施獎勵措施，提供誘因鼓勵業者自主管理。
駕駛教育訓練	<ul style="list-style-type: none"> ■ 建立完善駕駛教育訓練制度 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 依據不同駕駛個性設計駕駛教育訓練制度，讓駕駛者更能接受。 ■ 讓駕駛具節能駕駛之觀念與習慣。
駕駛個性	<ul style="list-style-type: none"> ■ 透過駕駛教育訓練同時改善。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 透過獎懲制度管理駕駛者並定期考核，對於獎勵表現較好或較差的，予以賞罰。

七、結論與建議

本研究依據產官學深入訪談結果得知，造成現今大客車污染排放及耗能的問題為駕駛行為不當、車輛老舊缺乏保養、車齡限制不符合產業實際需求、大客車污染排放無稽核制度、檢驗制度未能落實、學校課程與考照制度未能與實務結合導致專業技師專業不足、道路品質欠佳、國內缺乏核心技術需仰賴進口導致購車成本高昂降低業者購車意願。

依決策實驗室分析法之分析結果，本研究篩選出大客車污染排放及耗能之關鍵影響因素主要為政策法令、駕駛教育訓練及駕駛個性，且為最主要的關鍵問題，若解決這三個主要關鍵問題，則其他影響能耗與污染排放問題也隨之迎刃而解。；次要關鍵因素包括道路

幾何設計、車流特性、車輛性能與設計及自然環境，其中自然環境為人為不可控制之因素，本研究並未針對自然環境提出改善方法。

本研究針對大客車污染排放及耗能之關鍵影響因素提出改善方法，其中，政策法令面主要為建立檢測/維護制度，制定符合台灣產業環境的檢驗標準，徹底落實大客車檢測管理，成立專責機構，環保監理單位應落實定期稽核及檢測制度，進一步鼓勵業者自主管理，逐步落實保檢合一，另一方面，政府可持續推動客運評鑑制度，輔導業者改善經營體質，獎勵優良業者，給予路線特許營運權或稅費減免，亦配合退場機制淘汰不良業者。大客車業者應建立完善的駕駛教育訓練制度，並考量駕駛個性對駕駛者進行駕駛教育訓練，使車輛駕駛員減低耗能的駕駛行為，減輕大客車輛零件和裝置耗損，消弭不必要的有害氣體排放及燃油損耗。針對車輛性能與設計方面，本研究認為國內應著重於車輛相關技術創新與改進，發展新式污染控制技術、後處理技術、車輛污染監控系統等。而另一方面，政府應鼓勵業者使用低污染、低耗能的車輛。對於車流特性和道路幾何設計方面，本研究建議政府單位以「大眾運輸優先」為改善方法主要目標，例如，興建公車捷運系統(Bus Rapid Transit, BRT)、高承載專用車道(High-occupancy vehicle lane, HOV)、匝道優先或電子收費系統等，使車輛行駛順暢，車輛運轉狀態穩定，有效減少大客車所排出的廢氣及耗油量。

參考文獻

- Barth, M.& Boriboonsomsin, K. (2009), "Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system", *Transportation Research*, Vol. 14, pp.400-410.
- Chan, T.L.& Ning, Z. (2005), "On-road remote sensing of diesel vehicle emissions measurement and emission factors estimation in Hong Kong", *Atmospheric Environment*, Vol. 39, pp. 6843-6856.
- Chang, M. F.& Horowitz, A. J. (1980), "Estimates of Fuel Saving through Improved Traffic Flow in Seven U.S. Cities", *Traffic Engineering and Control*.
- Johnston, R. R. M.& Trayford, R. S. (1982), "Fuel Consumption in Urban Traffic: A Twenty Car Designed Experiment", *Transportation Research*, Vol. 16A, No. 3, pp.173-184.
- Ko, Y. W.& Cho, C. H. (2006), "Characterization of large fleets of vehicle exhaust emissions in middle Taiwan by remote sensing", *Science of the Total Environment*, Vol. 354, pp. 75-82.
- Milkins, E.& Watson, H. (1983), "Comparison of Urban Driving Cycle", SAE paper 830939.
- Rilett, L.R., Zietsman, J., Kim, S.& Tydlacka, J. (2004), *Portable Emission Measurement Systems: Lessons Learned*, the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C..
- 林國顯等人(2009)，「能源消耗、污染排放與運輸規劃作業關聯分析之研究(2/2)」，交通部運輸研究所。
- 陳君杰(1997)汽機車行車型態與其污染排放及油耗之研究：以台北都會區為例，交通大學交通運輸研究所碩士論文。

陳育生(2008),「計程車牌照管制策略之研究」,台灣大學土木工程學系研究所碩士論文。

潘偉南(2006),「影響國道客運駕駛績效與油耗因素之探討」,國立成功大學交通運輸研究所碩士論文。

蔡宗憲(2008),「應用數位行車資訊結合駕駛行為與人格特質之油耗因子關聯研究」,國立台北大學統計研究所碩士論文。

高速公路電子收費交通工程規劃設計之評析

莊弼昌¹

摘要

台灣地區的高速公路收費系統，由於電子收費(*electronic toll collection; ETC*)技術的逐步研發測試與建置，已邁向另一個嶄新的新紀元。然而，隨著收費技術的進步及多樣化，卻也帶來許多交通工程及交通安全上潛在的危險與問題。因為當駕駛人臨近、通過或駛離收費站時，都會面臨許多的決策點(*decision points*)，進一步造成車流產生併流(*merging*)、交織(*weaving*)、等候車隊(*queuing*)、分流(*diverging*)以及速差(*differential speeds*)等現象，同時也增加側撞、追撞等事故型態肇事的風險。統計研究發現，實施電子收費的確會增加收費站整體肇事的機率及風險，而電子收費車輛在某些條件下，發生事故的風險機率也比其他車輛高，若同時併有其他因素，如超速、酒醉駕車或未繫安全帶等違規情況，則電子收費車道上事故之嚴重程度亦將明顯加重。然檢視現有 ETC 車道規劃、幾何設計與相關的標誌、標線、槽化或緩撞設施等，不論位置、顏色、型式、數量或表示方法等，仍欠缺專業上的考量。本研究即針對收費站在進行電子收費相關設施建置時之整體安全設計提出研議，考量車流運作之安全與效率，透過系統性的分析，協助建立統一化、標準化的交通工程設計規範，期由適宜的規劃設計，達到合理車道配置、控制速差、標示車道使用特性、降低車道變換率及防止車輛的誤闖等目的，更希望配合電子收費車道識別標示系統的建立，構建一套真正符合用路者需求的智慧化、人性化的收費環境。同時為有效且客觀評估交通工程改善效果，本研究從安全與效率的觀點，透過適當的評估指標及統計分析模式，構建交通工程改善效果評估模式，並利用實例數值分析結果，以證實交通工程改善的具體成效。

關鍵詞：電子收費、交通安全分析、交通工程、收費站

一、前言

電子收費系統為使高速公路用路人可在不停車、不用現金與更有效率及安全環境下完成繳交通行費，推動電子收費系統，主要目的即希望達成增加收費站容

¹ 中央警察大學交通學系講師 (聯絡地址：桃園縣龜山鄉大崗村樹人路 56 號，電話：03-3281991，E-mail:una050@mail.cpu.edu.tw)。

量、縮短繳費時間、提高用路人便利及安全性、降低空氣污染等目標，並期藉由電子收費系統之建置營運，轉換實施計程電子收費，以實現使用者付費之公平計程收費宗旨。展望未來，台灣地區的高速公路收費系統，隨著電子收費技術的逐步研發與建置，已即將邁向另一個嶄新的新紀元。然而，隨著收費技術的進步及多樣化，卻也帶來許多交通工程及交通安全上潛在的危險與問題。因為當駕駛人臨近、通過或駛離收費站時，都會面臨許多的決策點(decision points)，進一步造成車流產生併流(merging)、交織(weaving)、等候車隊(queuing)、分流(diverging)以及速差(differential speeds)等現象，同時也增加側撞、追撞等事故型態肇事的風險。

整體而言，交通工程是國道設施中最具多樣性，但工程經費卻是最少的一部份，而實務上又與交通安全息息相關，故常成為高速公路在通車前爭議最多也是通車後用路人反映交通設施不足最為頻繁之國道設施(國道新建工程局，2000)。目前國內交通工程設計標準主要係依交通部頒之交通工程類之準則及手冊，如「道路交通標誌標線號誌設置規則」、「交通工程手冊」(交通部，2004)等，另再參酌交通部台灣區國道高速公路局編印之高速公路交通工程規範及標準圖以及相關委託研究計畫成果並參考美國 MUTCD、AASHTO 及 Roadside Design Guide 等常用之設計參考書，擬訂交通工程規劃設計準則及標準。雖然有上述相關法令、規範或手冊可援以引用或參考，然實務做法上卻仍常趕不上交通環境的變化及滿足用路人的需求，以電子收費而言，由於採 BOO 的建置方案辦理，加上許多外在客觀因素的限制及影響，對於建置過程中有關交通工程上的專業考量，也相對地被忽略。

統計資料發現，實施電子收費的確會增加收費站整體肇事的機率及風險，而電子收費車輛在某些條件下，發生事故的風險機率也比其他車輛高，若同時併有其他因素，如超速、酒醉駕車或未繫安全帶等違規情況，則電子收費車道上事故之嚴重程度亦將明顯加重(張學孔、莊弼昌，2006)。然檢視現有 ETC 車道相關的標誌、標線、槽化或緩撞設施等，不論位置、顏色、型式、數量或表示方法等，仍欠缺專業上的考量。因此，為了因應電子收費的實施，提昇高速公路收費站的行車安全，道路主管單位除了要重視收費站合理而完善的規劃設計外，另一方面也必須建立嚴謹的安全管理回饋機制。

有鑑於此，本研究即以收費站區在交通安全的一些潛在影響因素為探討課題。其次，以分析資料為基礎比較評估相關交通安全分析模式以研究收費站之安全影響因子與事故風險。最後，本研究綜合歸納上述分析結果，針對收費站在進行電子收費相關設施建置時之整體安全設計提出研議，考量車流運作之安全與效率，協助建立標準化的交通工程設計規範，期由適宜的規劃設計，達到合理車道配置、控制速差、標示車道使用特性、降低車道變換率及防止車輛的誤闖等目的，構建一套符合用路者需求的智慧化、人性化的收費環境。

二、電子收費系統技術發展現況與文獻探討

2.1 電子收費系統技術發展現況與交通工程設計案例

歐美先進國家現階段對於電子收費技術之應用進展，歸納而言，概以系統佈設、前端系統通信技術、系統發展及整合方向分述如次：

(1) 系統佈設

- 1.既有人工收費系統轉換建置電子收費系統：此類既成已收費之道路，均興建有人工收費作業之收費站設施，電子收費系統概均建置架設於既有之收費車道，因此多屬於單車道（Lane-base）電子收費系統，且目前仍多屬人工與電子收費方式並存，逐漸轉換建置電子收費系統。
- 2.原無收費之既有道路建置電子收費系統：此類既成原無收費之道路，可能於匝道入口或主線路段以門架來裝置電子收費系統，多屬多車道（multilane）系統。德國高速公路目前規劃採衛星定位收費技術之載重車電子收費系統，其虛擬收費區係規劃於主線路段。
- 3.新建道路建置電子收費系統：此類典型的代表為加拿大407公路ETR 電子收費系統及澳洲墨爾本電子收費系統，於道路規劃設計時已將電子收費系統納入，係於匝道或主線路段上建置多車道自由車流（Multilane Free-flow）電子收費系統。

(2) 前端系統通信技術

- 1.特定短距離通信技術（DSRC）：微波、紅外線等。
- 2.長距離通信技術：主要係以GPS、GSM通信方式，目前有德國規劃使用GPS結合DSRC做為電子收費之通信技術。

(3) 系統發展及整合方向

- 1.多車道自由車流電子收費系統。
- 2.車上單元朝向與智慧型IC卡結合應用。
- 3.結合交通管理提升為電子收費暨交通管理（ETTM）系統。
- 4.智慧型運輸（ITS）整合性服務，如道路定價（Road Pricing）、特定地區進出管理（Zone Access Control System）、車隊管理、即時交通訊息或緊急求救傳送與接收、加油或停車付費等。

至於電子收費之車道佈設與交通工程設計，因各國收費方式與相關規定之不同目前標準不一，以美國E-Zpass系統之設計案例為例說明如下(高公局,2003):

(1) 人工與電子收費轉換階段:

由原來的人工收費轉換至電子收費，E-ZPASS 採取漸近式轉換，希望用路人能接受使用電子收費後，再開放電子收費專用車道，以期減少對收費作業的衝擊。E-ZPASS 採取4 階段轉換步驟。

(2)車道佈設：

為便利用路人繳費方便，E-Zpass 設置多種不同收費方式之專用車道，如：E-Zpass專用車道、E-Zpass與投幣兩用車道，E-Zpass與現金專用車道、不找零車道及混用車道（現金、投幣、E-Zpass），另最內側兩車道亦規劃為調撥車道，供上下班尖峰時刻調度使用。

(3)交通工程：

為清楚標示各收費車道之使用方式，各收費車道均有以下各種交通工程設施，讓駕駛人清楚辨識選用通過之車道：

- 1.屋簷上方紅綠燈號：顯示該車道之開啟或關閉狀況。
- 2.車道內之顯示燈號：告知駕駛人收費作業運作情形，如：是否完成正常扣款。
- 3.屋簷下方黃色標誌牌：告知該車道為不找零車道。
- 4.收費車道告示牌：告知該車道之收費方式。
- 5.綠色收費車道告示牌：其他車輛共用。

2.2 電子收費交通工程設施相關文獻探討

台灣地區國道電子收費系統自95年2月10日正式開通後，初期係採人工與電子收費並行，按計畫初期各開放一大、小型車道作為電子收費車道使用，再視電子收費使用率，採「階段漸進」方式增開電子收費車道。交通工程設施攸關電子收費運作效率與行車安全，對於整體營運之成功與否，關係重大。由於本案係委由民間建置營運，因此更有必要加以具體規範，以約束監督建置營運廠商，維護用路人之權益與安全。然依規劃報告書內容，其僅就一般注意事項以及在計次與計程階段之交通工程需求，略作原則性說明，對於規範效力及指導功能，助益不大。有關其交通工程設施規範事項，整理如下：

(1)一般注意事項

1. 建置營運公司應依照「交通工程手冊」、「道路交通標誌標線號誌設置規則」、「台灣區高速公路交通工程規範」及其他相關交通工程設置規定，配合電子收費系統設置地點、系統轉換因素，設計、設置、遷移、改建相關交通工程設施。
2. 建置營運公司應依電子收費需求設計號誌、標誌、標線等相關設施，送經高公局審核後施作。若為電子收費系統特別設計之交通工程設施，則需依

規定呈報相關主管機關核定後施作。

3. 建置營運公司應負責整體交通工程設施一致性問題，新設置之號誌、標誌、標線等設施與現有交通工程設施應協調一致，避免誤導駕駛人，設計成果須經高公局審核後施作。

(2)計次電子收費階段:營運公司應設計配合電子收費系統運作所需之交通工程設施。交通工程設施設計考量要點如下：

1. 收費站區內及前方適當位置視實際需要設置、繪製相關導引指示之交通工程設施，如：標誌、標線(含標字、標記)、號誌、導標(含可回復式導標)等，引導電子收費車輛進入電子收費專用車道及引導非電子收費車輛避免駛入電子收費車道。
2. 電子收費車道上方及前方需設置指示標誌，標示電子收費車道與運作狀態。

(3)計程電子收費階段:建置營運公司應配合電子收費系統運作需求，於收費區內及其前方適當位置設置必要之交通工程設施。

從上述之整理分析可發現，在實務上對於電子收費交通工程之規劃設計規定仍顯粗造。至於國內相關研究，不論就學理或實務而言，亦仍多所不足。例如在收費站區之行車路權與交通安全分析設計方面，陳友新(2004)以收費站區路權相關規定，探討分流區之錯行與爭道行駛以及匯流區之爭道與載重小貨車站後過磅等路權問題，分別從法規面、執法面及工程面等觀點分析高速公路收費站汽車行駛路權與行車安全之關係，其研究認為分流、併流之問題，在於良好之標誌、標線、號誌系統規設，以規範站區行車秩序與安全，不過由於其內容在有關工程面的設計方面，尚缺乏具體之檢討及規範，在實務應用上仍嫌不足。

交通部國道高速公路局(1991)為提升高速公路收費站之行車安全，曾以中山高速公路收費站增設防撞設施之效益為例進行研究。該研究建議應從交通工程與交通管理手段上著手，另外為避免車輛動線交織所引發之擦撞或追撞事故，該研究亦建議將大小型車變換車道之路段加以分離，並將標誌設置進行調整。交通部統計處(1991)進行台灣地區高速公路肇事車輛與車種關係之研究中，以品管法等危險指標求得前10處易肇事路段中發現，泰山收費站位居榜首，另外，岡山收費站及員林收費站亦均榜上有名，顯見收費站對於行車安全所造成之影響，仍不可忽視。研究中並透過績效評估法解釋評估交通安全改善措施之績效，因此，可進行相關交通工程或設施改善之事前事後之評估比較。

在地磅設施績效影響研究方面，王俊成(2001)調查發現，目前國內高速公路地磅站的設置型態並無一定標準，而設置型態上的差異，對於地磅站之服務時間確實有所影響。張建彥(2003)等人則進一步建立電子收費(ETC)與電子式超載篩選(ES)結合應用之整合績效模式，分別從效率與安全的角度探討其整合績效。研究結果顯示，ETC與ES整合後，對於節省旅行時間之成本效益及降低重車與小客車之

衝突情形，效益顯著。

至於在國外的研究文獻部分，其不論在質或量等方面亦或是實施之成效均較國內豐碩。美國伊利諾大學為增進電子收費收費站標誌系統之效率與安全，曾進行一項有關新的收費站標誌之電腦模擬實驗(Hilkevitch, Jon;2007)，目的是希望設計發明更易於辨識理解的收費標誌。Abdel-Aty等人(2001)分析研究有關規劃設計電子收費站時，如何考慮其安全上的需求。該研究調查記錄奧蘭多橘郡(Orlando-Orange County)在電子收費建置前後3年，共4個不同建置階段時期，在交通安全上的表現及差異。研究建議將電子收費車道從中間車道移到最左側車道，並適度延長收費站區之漸變段與分流區之長度，配合設置相關引導指示標誌以及資訊可變標誌(VMS)系統，明確區分車道使用性質與狀態，並繪設標線與槽化設施，以適當引導指揮車輛正確使用車道。McDonald, Jr.(2000)等人蒐集分析比較現有收費站之交通管制設施與設置規範(MUTCD)，同時進一步探討有關電子收費型態之收費站對於交通管制設施之需求標準。透過專家討論與比較研究，希望建立收費站相關設計因子之標準規範，例如：標線(pavement marking)、車道槽化(lane channelization)設計、收費島(plaza island)長度尺寸、標字(word)與圖樣(symbol)及相關之標誌(signage)等。Robert E.(2001)探討有關收費站之相關設計因子，尤其是如何有效配合電子收費之運作，提供更有效率之收費設計。其蒐集並回顧許多收費站設計因子，包括：車道配置(lane configurations)、等候區(queue area)、漸變率(taper rates)、漸變段長度(transition length)設計等。透過比較歸納，研擬初步設計規範。

近來，開放式道路收費系統(open road tolling (ORT))的建置已證實其實務應用價值。一般認為其可以提供較一般傳統式收費站更好的運作績效，例如減少收費時間、降低延誤等。Al-Deek (2007)等人，分別蒐集調查美國佛州奧蘭多的主線收費站系統建置前、建置中與建置後等不同階段的交通資料進行分析。其結論認為，不論是從效率或安全性等評估指標，ORT相較於傳統式收費站的設計更安全、更有效，未來應更進一步加以推廣應用。

2.3 電子收費交通工程改善案例與成效

(1)美國聯邦公路總署 E-Z Pass Lanes 設置紫色點狀標線實驗(Purple Dot Markings for E-Z Pass Lanes at Tollbooth (MD)), (FHWA Experimentation #3-181)

西元2008年，美國聯邦公路總署(FHWA) 根據一份建議修改MUTCD的備忘錄開始進行研擬有關收費站以及開放式收費設施相關交通管制設施規範的研究工作。該計畫主要目的係為了改善混合車流使用型態收費站(mixed mode plazas)，尤其是那一些位於彎道上收費站的電子收費車輛能迅速有效找到應行駛之正確車道，避免在近進入車道前產生混淆或因誤行駛人工收費車道而衍生延誤，其整體

車道配置與設施之設置如圖1所示。研究單位利用車道變換(lane changes)；流量分配(volume distribution)；違規率(violations)等評估結果，具體達成以下目標：(1)減少臨近收費站之車道變換率。(2)改善平衡電子收費車道之利用率。(3)改善高速公路收費站前主線路段與收費車道之車流分佈之平衡。(4)用路人普遍都能查覺注意到點狀標線的存在並且也認為的確有用。

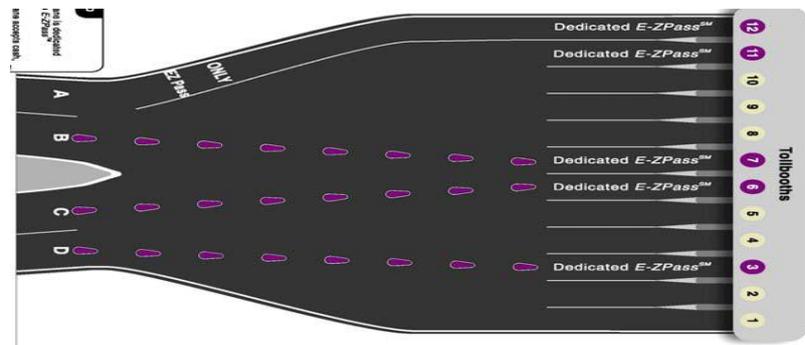


圖 1 E-ZPass 車道設置紫色點狀標線相關設施及車道配置示意圖

資料來源：FHWA Experimentation #3-181(2008)

(2)香港收費站前標誌標線改善效果分析

香港在過去十年間積極進行多項道路安全改善計畫及評估工作，其中，改善電子收費站之安全問題也是其中一項計畫。為有效達成上述目標，香港政府乃選定最複雜繁忙，也是最危險的收費站(Lion Rock Tunnel; LRT)，進行一項電子收費車道相關標誌、標線之交通導引指示改善試驗計畫，其主要是藉由新加入一種特殊設計類似“A”字母的紅底白邊標字取代原有傳統文字標示，將電子收費車道予以明顯標示，同時也將此一新型符號之使用，透過標誌系統強化指示引導之功能。此外，在分流點前也繪設50條連續之黃色減速標線，提醒駕駛人減速慢行。一組標示正確ETC車道的導引標誌分別設置於收費島前及收費亭上方，並於電子收費車道加劃雙白實線及障礙物警告標線等設施。有鑑於在收費站區，其行車安全主要受到分流、併流及減速停等車隊以及選擇繳費車道的影響，導致交織變換車道及衝突行為的增加，連帶影響事故的發生。因此，為評估改善成效，其分別選擇效率及安全性評估指標進行比較。分析結果發現，平均旅行時間減少18%、事故減少38% (Wong, 2006)，顯示該試驗不論對於電子收費效率或安全之提昇，均有顯著效益。

三、電子收費站區交通安全分析與防護

收費站區的交通特性本較高速公路一般基本路段複雜，因此，收費站區的交通事故發生率也比其他一般基本路段為高。實施電子收費，其主要訴求即為避免車輛停等、縮短過站繳費時間、增進使用者之便利與安全為考量，但在實施過程

中，若因規劃設計不當，則亦可能未蒙其利已先受其害，交通安全課題與衝擊當不容忽視。本研究蒐集整理台灣地區高速公路收費站區交通事故資料統計發現，92~95年國道全線23處收費站，在各收費站區附近（指收費亭前後1公里的範圍）共發生包括A1、A2、A3類交通事故多達1132件，並造成102人傷亡，因其所衍生之道路交通事故成本，以國內相關研究（陳高村、曾昭雄，2000）所建立之成本效益與風險補償分析模式代入計算：

$$AC=9,548NF+16,904NSJ+5,832NJ+151IV\dots\dots\dots(1)$$

式中，(AC為每件事故成本，單位：仟元/件，NF為死亡人數，NSJ為永久性傷害人數，NJ為非永久性傷害人數，IV為財損車輛數)，初步估算，95年全年收費站區之交通事故成本約有4億6仟萬元，較94年約多出1億1仟萬元，較93年更多出約2億6仟5百萬元。至於其肇事原因則以未保持行車安全距離、變換車道不當以及未注意前車狀況等為主要肇事因素，其詳細比較如表1所示。

表1 92~95年收費站交通事故發生件數與種類

	92年	93年	94年	95年	合計
總件數	256	271	276	329	1132
A1類	3	2	2	4	11
A2類	11	11	11	17	50
A3類	242	258	263	308	1071
傷亡人數	19	14	31	38	102

本研究整理統計自去年2月10日電子收費全面開通至6月30日期間事故發生情形並與去年同期比較發現，肇事次數增加28件(29%)、受傷人數增加7人，各主要肇事類型均呈明顯增加，其詳細比較如表2所示。

表2 電子收費對交通事故發生影響比較表

	追撞	同向擦撞	倒車撞	撞固定物	其他	合計	受傷人數
94.2.10~94.6.30	57	22	1	8	10	98	4
95.2.10~95.6.30	71	33	3	12	9	126	11
增減數(增減率)	14(25%)	11(50%)	2(200%)	4(50%)	-1(-10%)	28(29%)	7(175%)

此外，美國佛羅里達州的實施經驗為例，對於是否使用ETC與事故發生率比較發現，非ETC車輛其平均肇事率為3.375件/月-百萬車次，ETC車輛其平均肇事率則為7.53件/月-百萬車次；顯示電子收費的實施對交通安全有相當程度的負面影響(McDonald, Jr.,2001)。從各種統計資料可發現，電子收費對於嚴重肇事的發生比例也有相當顯著的影響，而且在肇因方面，追撞、違規以及不當變換車道等是其主要肇因，對於肇事防制策略的強化應列為參考因素。

3.1 建立收費站事故預測分析模式

從以上相關的討論分析中，可以清楚發現不同國家或地區的電子收費建置經驗中，不論從肇事的發生率或是肇事的嚴重度似乎都造成部分程度負面的影響。為更深入分析電子收費的實施等相關變因對於肇事發生率的影響，本節擬以前述交通事故資料為基礎，建立收費站交通事故發生預測模式，俾提供更為直接有效的預測分析工具，作為研擬相關改善措施或防制策略之參考。本節所進行高速公路肇事分析模式之構建，其主要步驟包括：1.模式構想及模式建立步驟說明；2.模式設定；3.模式變數說明；4.模式校估及檢定；5.模式優劣比較。在交通事故發生預測模式方面，本研究比較發現，各比較項目中，包括殘差值、AIC值、變異係數及離散性檢定等，卜瓦松迴歸模式均較負二項迴歸模式為佳，故本研究將以卜瓦松迴歸模式建立收費站事故分析模式，其分析資料則以94年、95年之事故資料為基礎，自變數為各種與事故發生有關的因子，如駕駛人、車輛、環境狀態等。經分析結果，其相關變數以收費車道數、是否為下坡路段、發生時間(94年或95年)地磅站設計型式、重車比例、漸變段之漸變率以及通過之交通量等變數具有相關，因此以上述變數納入迴歸式中進行迴歸分析，其迴歸模式如下：

$$N = \exp(-8.28 + 0.72X_1 + 0.56X_2 + 0.12X_3 + 0.32X_4 + 0.22X_5 - 0.15X_{6A} + 0.12X_{6B} + 1.43\ln X_7) \dots\dots\dots(1)$$

- X_1 ：十車道虛擬變數(1 表收費車道為十車道；0 為非)
- X_2 ：前方路段為下坡虛擬變數(1 表前方路段為下坡；0 為非)
- X_3 ：路段重型車比例(%)
- X_4 ：地磅站型式(1 表地磅站為靜態地磅站後過磅；0 為非)
- X_5 ：漸變段漸變率(1 表漸變率為 1:10；0 為非)
- X_{6A} ：民國 94 年虛擬變數(1 表時間為民國 94 年；0 為非)
- X_{6B} ：民國 95 年虛擬變數(1 表時間為民國 95 年；0 為非)
- X_7 ：通過交通量(單位：車公里/車道)

從模式中可發現，比較多的收費車道，因駕駛人必須選擇及變換車道之頻次增加，致使肇事次數增加；而地磅站之設計亦與肇事之發生有相當程度之影響，新式的篩選式動態地磅對於行車安全有較正面的改善效果。此外，漸變段的漸變率應採比較大的設計值，1:10的漸變率對安全有不良之影響，再其次，以發生時間而言，95年由於實施電子收費，因此，其肇事次數明顯高於94年，而收費站通過的交通量多寡或其尖峰特性更與肇事的發生息息相關，上述現象均可提供作為改善收費站行車安全，降低事故風險的重要參考。

3.2 電子收費交通安全管理與事故防制策略

透過上述的分析，我們可以了解因收費設施或型態的變動，所造成對行車安全的影響。其肇事的原因，包括因併流（merging）、停等車隊（queuing）、超速（speeding）等車流型態的影響，具體歸納而言，1.收費車道的型態（toll lane type）、2.車輛的減速率（deceleration rate）、3.進站的末速度（final velocity）、4.收費車道數（number of toll lanes）以及 5.車道間的穿越車流量（volume of cross traffic between the lanes）等五項因素應是決定收費站是否安全的主要關鍵。

針對上述影響收費站運作安全的幾項主要關鍵因素，比較具體有效的改善措施應是如何減少併流衝突點、降低速率差異、增加分流區的長度、設置適量的車道選擇引導標誌以及規劃良好的車道槽化線等。歸納而言，一個收費站若能具備良好的幾何設計、充足的照明、完善的交通管制設施，同時搭配現代化的自動偵測執法儀器，即使實施電子收費也能兼具效率及安全，其因果關係如圖 2 所示。

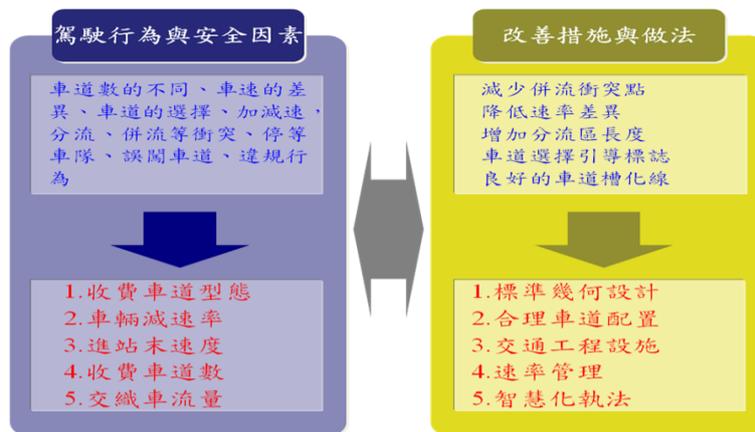


圖 2 收費站安全影響因子與相關建議改善措施

四、電子收費交通工程功能需求與規劃

以道路安全防護階層而言，自規劃以至通車運作，在安全防護工作上可歸納為四大階段，從運輸規劃、道路幾何設計、交通工程以及最終之管理執法，各階段環環相扣、密不可分。以電子收費而言，其安全維護仍應依循此一流程，在各階段作業時，從規劃(Planning)、設計(Design)到運作管理(Operation)皆應有良好且正確之設計理念。例如在系統規劃設置之初，即應充分考量駕駛人之駕駛期望，避免營運後，設計標準與駕駛人之習性或期望落差過大，以至於易造成違規或疏忽駕駛而肇事。在設計階段則主要分為幾何設計與交通工程設施設計二項工

作。幾何設計工作除了應切實符合應有之設計標準外，也必須因時因地制宜，適時調整或檢討設計標準，同時也要考慮實際道路環境，對於可能誤導駕駛人產生錯誤判斷之因素，一併調整或變更。交通工程設施則著重於配合或導引駕駛人之期望方向，順應道路設施環境條件，以引導車輛安全通行或補強規劃與幾何設計之不足，透過交通工程設施，從導引、凸顯、警告、阻滯、管制、禁制、防護及清除視障等理念與手法，進行交通工程設施之設置與設計，以謀求事故之防制或減輕(湯儒彥，1998)。具體而言，即是如何透過警示、導引、區隔與緩衝等作為，達到指示與規範的雙重目的。最後一道防線則是透過執法與管理，以有效嚇阻違規行為及不當之操作疏失，確保駕駛人均能在前述之規劃設計理念下依序安全通行。有關電子收費安全防護階層架構與各工作要項關係，整理如圖 3 所示。

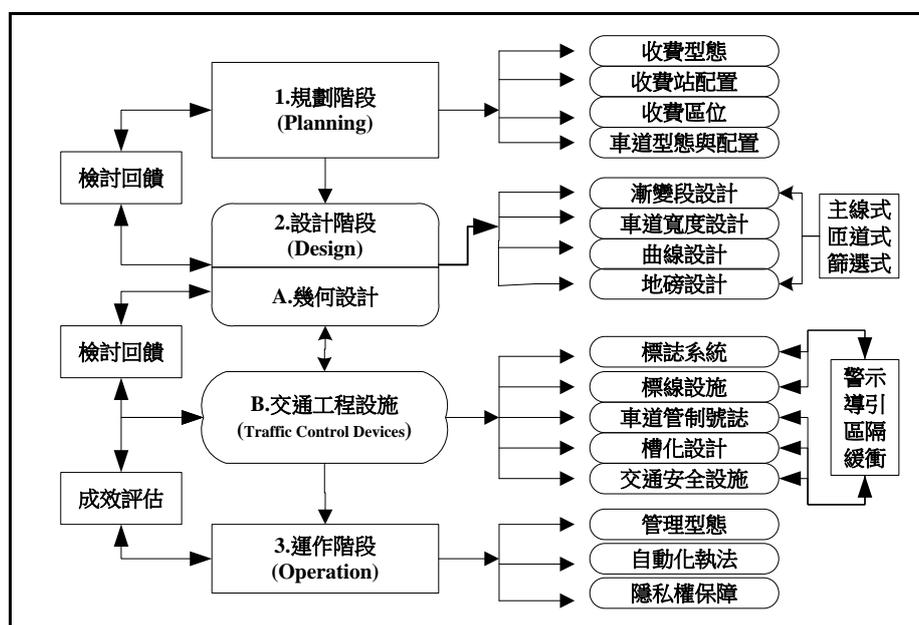


圖 3 電子收費設計安全防護階層與工作要項架構

後續將針對交通工程規劃設計功能之需求與架構進行分析探討，以提供建構標準化的規劃流程與設計準則之參考。

4.1 收費系統型式與收費站配置分析

傳統上，高速公路的收費型式大抵可分為以下三種基本型式：1. 按路段均等收費型式(Open Barrier Concept)，簡稱開放式；2. 按不同路段(交流道區段)收費型式(Closed Barrier Concept)，簡稱封閉式；3. 全線均等收費型式(Closed Ticket Concept)，簡稱均一式。事實上，除了上述三種基本型式外，單一的佈設方式也可以進行有機結合，形成一種聯合的收費方式，其因將原單一收費方式進行優勢互補，收費制度也將更為合理。上述各種收費站的佈設型式，除了影響使用效率及

公平性外，對於交通安全也有不同程度的影響。因此，在決定佈設何種型式之收費站前，進行相關交通安全分析的工作是必要的。

至於收費站之配置(toll plaza configurations)往往受到許多因素的影響，例如：設置位址的實質條件與環境限制、通過的交通量多寡與交通型態、收費系統型式與收費方法以及收費費率與機制等。以主線式收費站(main lane toll plaza)而言，其常見之配置包括：雙向式(Two-Way Main Lane Plaza)、分離式 Split Main Lane Plaza (橫向或縱向分離)以及搭配電子收費快速車道或特定管理目的之專用車道，如高承載專用車道(HOV)之分離式收費站。

4.2 電子收費車道交通工程安全設計功能需求

依據交通特性及相關交通工程理論，交通管制設施設置目的包括：維持車流的均一性、彈性的管理、減少衝突點、減少干擾性、固定車流方向與提高道路使用效率等。交通工程設施所需費用不大，但若設置得宜，常可發揮相當的成效，是一極具成本效益的方法，國道5號頭城收費站設置收費之初，即因車道配置不當、幾何設計不良以及欠缺合理適宜的交通導引指示設施，以致險象環生，招致許多用路人的批評與抱怨。因此，為維護收費站能安全且有效率之運作，相關交通工程與設施之設置，便顯得格外重要。

有關電子收費車道上之相關設施及佈設，基本上包括以下三大類：車道之指示引導設施(Lane Guidance (roadside antenna for advance notice, variable road sign))、車道之控制管制設施(Traffic Lane Control)以及執法設備(Enforcement Equipments)。因此，對於基本的電子收費車道之項目功能需求，可歸納如下：

(1)車道設置形式：對於電子收費車道之佈設型態，其首要之務為決定車道之設置型式，例如單車道或多車道、人工與電子收費分開或混合式車道等，一旦車道設置形式決定後，方能進一步探討各種相關設施與其佈設。目前電子收費車道大約有三種基本型式：

- 1.固定式電子收費車道(Dedicated ETC lanes):將電子收費車道固定於收費站之一側，與其他收費方式並存使用收費站，通過速度一般均有設限。
- 2.快速電子收費車道(Express ETC lanes):與傳統式收費車道部分或完全隔離，因此可以接近或與主線車道相同速率通過，如設計速率與主線車道相同，因已將收費設備門架化，同於一般路段，又稱開放式道路收費。
- 3.混合式收費車道(Mixed mode lanes):收費車道除設有電子收費設施提供電子收費車輛使用外，亦准許其他收費方式車輛使用，在車道使用上較具彈性。

(2)車道佈設：各種車道之數目、配置區位以及相互間之關係位置，均會連帶影響許多後續建置的需求，故而應從實際需求與相關理論求得。

- (3)車道寬度：不同的收費型態有不同的收費車道寬度需求，而不同的車種也應分別設計不同的車道寬度，以符合安全、經濟與效率之需求，對於車道的寬度設計，人工與電子收費以及實施多車道收費之差異以及不同的速限規定，其車道寬度之基本需求亦將有所不同。
- (4)上、下喇叭口長度：由於行近收費站之速度上的差異，對於其上下喇叭口之長度亦應視接近速度之大小或車流交織運作情形，予以配置諸如前置警示區、前漸變區段、緩衝區段、前測試區段、後測試區段及後漸變區段等不同區域之長度，俾使車流運作更安全順暢。
- (5)車道管制：對於各種車道之管制措施，如柵欄、顯示號誌等，均應予以明確規範，以避免因不熟悉而滋生危險，尤其實施電子收費後因不同收費車輛停等方式不同，且車道使用更為複雜，在車道管制作業上，其重要性更為提高。
- (6)安全島與緩撞設施：收費站區由於加減速及車流之交織，往往為易肇事之區段，尤其實施電子收費初期，由於收費型態複雜、用路人不熟悉等因素，更容易肇事，因此，對於站區附近之安全島及緩撞設施等，應依相關規範加以考量設置。
- (7)標線與標字：各種車道線、車道專用標字及各種警告、禁制或指示性質之標線，應依實際需求及設置規則予以檢討設置，尤其槽化引導標線的運用，對於電子收費車輛通過收費站時的幫助，更加顯著。
- (8)標誌與號誌：目前對於收費站區之交通管制設施，均沿用以往之設置種類及設施，基本上已不符合實際需求，未來應依實施現況及使用者之需求，進行全面性之通盤檢討與重新佈設。對於車道分派指示導引標誌的設置，尤其重要。
- (9)執法設備與執法區：
- (10)監控中心：

五、電子收費交通工程設計管制策略

收費站的配置傳統上受到許多因素的影響，一般可將其簡單區分成主線式(main lane toll plazas)與匝道式(ramp toll plazas)收費兩種，若再考慮不同的收費功能導向(如開放式、封閉式等)與搭配方法，便有各種不同組合型式的收費站。惟不論何種型式的收費站，其運作績效主要受到收費方法與收費車道配置等的影響。不論是哪一種型式的收費站或是哪一種的車道配置，其運作的效率與安全的維護則有賴於合理的交通工程設計、標準化的交通工程設施與完善的交通管制策略。制定一套較為完整的道路設計運作規範及設施標準，如道路規劃與交通工程設計以及交通工程設施之設置與維護標準等，不僅可以提供設置管理人員一套可資遵循及釐清責任之規範，同時也能保障用路人的用路權益與行車安全。

5.1 收費站規劃設計程序與模組

規劃實施電子收費應有明確的目標與推動期程，從而搭配不同的交通工程設計與設施，透過相關法令的規範與指導，建立統一化與標準化的收費環境，以樹立管制設施的權威並發揮充分引導指示的積極功能。本研究針對收費站在進行電子收費相關設施建置時之整體安全設計進行研議，包括：幾何設計（例如各種收費車道之配置、車道寬度、速率管制、臨近路段與分流區段之漸變段長度等）、交通工程設施（標誌、標線、號誌與槽化設計等）等。為有效整合各項設計與設施，建立一套完整的電子收費交通工程規劃設計程序與模組，便顯得格外重要。

綜合國內外相關發展案例與國內特殊之收費環境需求，經綜合各項考慮因素，本研究研擬電子收費站設計流程如圖 4 所示。其主要包含以下八大模組，分別為：基本設計輸入參數、收費區位的決定與配置、地磅站配置、水平線型設計、縱向線型設計、收費車道平面佈設、交通管制設施以及其他考慮因素等。

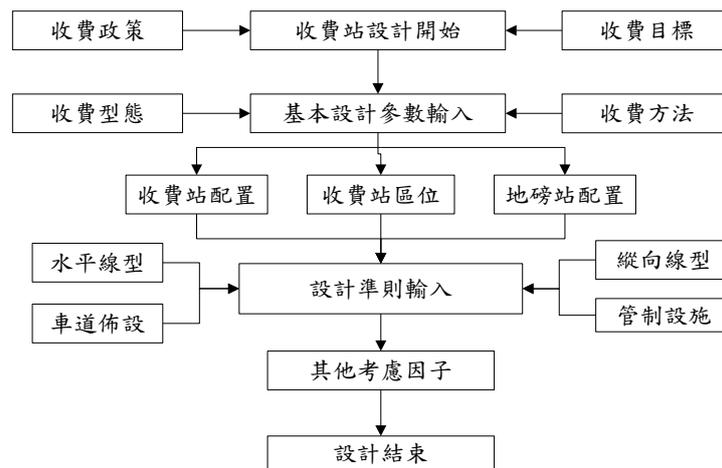


圖 4 電子收費站設計流程

(1) 規劃設計程序與考慮因素：

各模組在進行相關設計規範研擬所應考慮之設計因子，其基本考慮要項如下：

1. 水平線型幾何 (Horizontal Geometrics)

- ✓ 收費站前漸變段(Toll Plaza Approach Tapers)
- ✓ 收費站後漸變段 Toll Plaza Departure Tapers)
- ✓ 收費站等候區長度(Toll Plaza queue Length)
- ✓ 收費站後恢復區長度(Toll Plaza Recovery Length)

- ✓ 收費站車道寬度(Toll Plaza Lane Widths)
- ✓ 收費站車道配置(數量)(Toll Plaza Lane Configurations)

2.縱向線型幾何 (Vertical Geometrics)

- ✓ 橫斷面坡度、縱斷面坡度(Profile Grades)、視距(Sight Distance)

3.標線 (Pavement Markings)

- ✓ 車道標線與槽化設計斜率(Lane Channelization Slopes)
- ✓ 收費島臨近端延伸標線(Plaza Island Extensions)
- ✓ 標字及圖樣符號 (Word and Symbol Markings)

4.標誌 (Tollway Signs)

- ✓ 主線(匝道)前方指示導引標誌(Mainline (Ramp) Advance)
- ✓ 車道上方指示標誌(Canopy)、收費站標誌(Plaza)

5.收費島配置 (Toll Island Configuration)

- ✓ 收費島的尺寸大小(Toll Island Size)、收費島保護設施(Toll Island Protection)
- ✓ 減緩車速的方法(Speed Reduction Techniques)
- ✓ 收費人員的進出(Employee Access)

以上各項模組及各設計考慮要項，對於規劃實施電子收費的運作成效而言，具有關鍵性的影響，因此，在考慮時應特別注重其邏輯性與程序性，例如，規劃之初，首先應先確立具體的收費政策，亦即收費目標必須明確，接著考慮收費系統所需之收費型態與收費方法，再依不同的收費型態與方法，進一步決定收費站的設置區位與配置型式，一旦收費站設置區位與配置型式確定後，便可依據其區位與型式，決定各不同收費車道之型式、數量及配置。當收費車道設計確定後，即可依相關模組各設計要項之設計準則，進行後續之規劃設計流程。

5.2 電子收費交通工程管制策略

前文中已就電子收費車道設計之相關功能需求加以分析說明，本節擬進一步針對收費站配合電子收費進行交通管制策略及其相關設施之重點規範課題進行分析。根據實務運作經驗及實際需求，交通管制策略首重警示及導引之功能，然後是區隔與緩衝的設計。本研究將依警示、導引、區隔以及緩衝等不同之功能需求與設計，將重要規範內容分成下列幾項重點課題：前置預告標誌(Advance Signing)設計--警示功能、車道分派指示導引(Lane Assignment)標誌、標線(字)(Pavement Markings)設計--導引功能、收費標誌顏色(Color of Toll Signs)設計、標線 (Pavement Markings)槽化(Channelization)與車道使用號誌(Lane-Use

Signals)—區隔功能以及緩撞設施(Crash Cushions)的設置等—緩衝功能，分別說明探討如下。

(1)前置預告標誌：

當電子收費與其他收費並存之收費站，此類標示不僅必須而且相當重要，應以漸進且連續之方式預告，如位於匝道收費，則亦應設置於有足夠之視距處。除上述主要設施外，也包括規範收費型態車道及車輛管制之相關禁制標誌。如果必要也可預告收費費率即告知駕駛人付費訊息支附加標誌等。

(2)車道分派指示導引(Lane Assignment guidance)：

對於駕駛人臨近通過收費站時，提供清晰而一致的前方訊息，幫助駕駛人及早做出車道選擇之決策，對於收費站運作之安全平穩及順暢，是相當重要的。其規劃原則應將相同型態放置於同一群組，再依通過速度之差異分別設置。如有其他特殊收費方式或緊鄰上下匝道等情形，最好與主線加以隔離，必要時實體分隔。

(3)收費標誌顏色(Color of Toll Signs)設計：

有關收費標誌顏色之設計，除了依照相關「道路交通標誌標線號誌設置規則」之規定辦理外，由於電子收費(ETC)的加入，除了該識別標識應合乎專業設計外，藉由擺放位置以及顏色的搭配，也能更加提昇其可見度及辨識性。

(4)標線(字)(Pavement Markings)、槽化與緩撞設施(Crash Cushions)：

有效的標線(槽化)設計，可以減緩收費站上下游漸變段加減速區，因變換車道所導致的交通事故。尤其是固定式電子收費車道，因未與其他收費車道實體分隔且又有相當之速率差異，在交通尖峰時間因交通量激增或在夜間及其他天候不良、視線受影響之情形，若未能以標線有效導引車流，極有可能因反應時間不足或頻繁變換車道導致事故發生。

(5)收費站前緩撞設計

高速公路因行車速度快，且收費站通行車道較窄，若用路人於夜間或視線不良行駛時，若未注意收費站前道路線型之變化，恐有撞擊收費站端點之疑慮。有鑑於實施電子收費後速限的提高，通過收費站的行車效率將會提高，但由於現行收費站硬體設施仍是採行以往設計，並未做改變，在通過收費車道時，其車道寬度並未增加，尤其是大型車輛；雖然速限的放寬，可以符合人民的期待，然而也要重新思考相關設施對車輛的危險性，若經費許可，應透過相關研究與設計，在收費站前端加設緩撞設施。

(6)車道使用號誌(Lane-Use Signals)及資訊可變標誌(CMS)：

車道使用號誌係用以標示各收費車道開放使用或封閉管制之狀態，因此，如果是開放式收費系統(ORT)之 ETC 車道則將不適用。一般車道管制號誌有箭頭綠燈及紅色『X』分別表示車道開放及封閉。為因應固定式電子收費車道之需求，建議可增加黃色斜 45 度之箭頭表示車道即將封閉或縮減，提醒駕駛人及早變換

車道，可將原消極性之禁止變為積極性之引導。另外，因應電子收費環境需求，為增加資訊傳遞之時效性及多樣性，亦可強化「資訊可變標誌」之設計運用或將「資訊可變標誌」搭配「車道使用標誌」使用。

5.3 案例設計與分析

就主線式收費而言，分離式的快速電子收費車道設計，不僅可提昇收費效率、增進收費安全，更是目前的趨勢與潮流。但是實施分離式快速電子收費車道之規劃設計有一先決條件，其相關之指示導引設施務必充分、有效且確實，因為車流必須在高速行駛狀況下進行分流以及隨後之併流行為，因此，交通管制設施必須能確實達到指示導引、區隔緩衝之效果，方能確保不同車道車流之安全

採分離式快速電子收費車道佈設之收費站，一般而言，電子收費車道均位於主線穿越車道上，在人工繳費車道區則必須設置前漸變段之臨近區(approach zone)、等候區(queue zone)、繳費完成後加速至主線車道之後漸變段駛離區(departure zone)，並運用相關槽化標線設計，進行實體區隔，以增進安全及使用效率。

有關分離式快速電子收費站交通工程與幾何設計準則，依前述說明之要項與需求，歸納匯整如下：

- (1)主線收費站的臨近端與駛離端區域應儘量設在直線區段，以確保有足夠的視距辨識收費站的位置。至於收費區則必須設於直線區段。如果主線收費站的臨近端與駛離端或收費區區域設在彎道區段，轉彎半徑應大於 3,600 公尺。
- (2)收費站區(含收費島、收費系統設備)最大坡度 0.5%、最好不大於 0.3%，臨近端與駛離端區段最大坡度 1.0%，收費站區不應該有豎曲線之配置。臨近端與駛離端區段可設置於豎曲線段，但應保有足夠視距(至少 450 公尺)。
- (3)收費站區的 ETC 車道橫斷面坡度 2% ，人工收費車道 2.5%，必須確保收費車道不會積水或造成水患。
- (4)臨近區段到收費區的長度主要考慮決策視距，決策視距取決於兩項因素：臨近設計速率(approach design speed)與收費區之收費車道數。
- (5)決策視距的量測是從決策點，一般是位於電子收費與人工收費車道之槽化島端之分流點起算，到停等區段(queue zone)的起始點。停等區段應設置於直線路段，長度約 120~150 公尺，約可容納 10 到 12 輛自小客車。
- (6)駛離區段的長度決定於自離開收費區到電子收費與人工收費車道槽化島端之併流點，其加速至主線行駛速率值所需之長度，因此，高速公路主線路段設計速

率將決定其所需之長度。

(7)車道寬度：有關車道寬度需求應依不同使用特性加以區分：

- 電子收費車道(快速或固定式) ((ETC) Only Lanes) –3.3 m~3.6 m
- 人工收費車道(Attendant (ATT)/ (ACM) Lanes) – 3.0 m~3.2 m
- 超長(超寬或超高)車輛車道– 4.2 m

(8)收費島尺寸：在收費區的車道與車道間係以約 2 公尺寬且高起於路面的混凝土收費島所隔離，其上會有收費亭或其他收費設施。收費島的高度約 15 到 20 公分。

(9)路肩寬度(Shoulder width)：電子收費車道不論是在臨近端、收費區或駛離端須配置兩側各約 3 公尺寬之路肩。人工收費車道在臨近端與駛離端區可設置內側 1 公尺、外側 2 公尺之路肩，收費區則無需設置。

5.3 交通工程設施種類與設置準則

主線收費站區臨近端之標誌主要係用來警告通知駕駛人前方有收費站準備繳費通過。第一面標誌為距電子收費車道與人工繳費車道分流點約 2 公里處設置大型路側豎立式標誌提醒駕駛人準備繳費。在電子收費車道與人工繳費車道分流點前至少應設置兩處門架式標誌(overhead sign bridges)系統引導非電子收費車輛行駛右側車道準備離開主線車道進入人工收費區、電子收費車輛靠左側車道通過主線快速穿越車道 (through lanes)。

此外，尚有說明收費費率、引導指示超大型車輛(oversized vehicles)使用最外側超寬車道以及警告駕駛人違規自動監控設備使用中等警示說明之相關標誌，有關快速電子收費車道收費站之標誌設施與佈設位置整理如表 6 所示。另外在收費站區也須預留適當空間及位置，提供辦公廳舍、人員通行進出通道、停車空間以及相關收費設備之保安區域(secure zone)等設施使用。

表 6 快速電子收費車道收費站之交通管制計畫訊息/標誌內容

標誌位置	前有收費站	收費車道類型	費率	車種限制	使用車道	速率限制
距分流點(gore)距離						
3 公里	~(以門架式為宜)		選擇性			
2 公里	~(門架式)		選擇性			
1 公里	~(門架式)		選擇性			
分流三角頂點(gore)						
距篷架(canopy)約 250 公尺		選擇性				選擇性
篷架(canopy)(人工收費車道上)						
費率表(Toll Schedule)						
(距收費站約 30~60 公尺)						

六、結論與建議

為了因應電子收費的實施，提昇高速公路收費站的行車安全，道路主管單位除了要重視收費站合理而完善的規劃設計外，另一方面也應建立嚴格的安全管理機制。本研究從電子收費相關資料的蒐集、調查與分析中發掘問題，再透過功能需求規劃、研擬交通工程與幾何設計準則，其具體結論歸納如下：

- (1) 本研究針對進行電子收費相關設施建置時之整體安全設計進行研議，包括：幾何設計、交通工程設施（標誌、標線、號誌與槽化設計等）等。為有效整合各項設計與設施，研擬設計流程包含：基本設計參數、收費區位的決定與配置、地磅站配置、水平線型設計、縱向線型設計、收費車道平面佈設、交通管制設施以及其他考慮因素等。
- (2) 進行電子收費規劃設計時，應先確立具體的收費政策，接著考慮收費型態與收費方法，再進一步決定設置區位與配置型式，一旦確定後，便可依據其區位與型式，決定各不同收費車道之型式、數量及配置。當收費車道設計確定後，即可依相關模組各設計要項之設計準則，進行後續之規劃設計流程。
- (3) 電子收費交通管制策略應首重警示及導引功能，其次是區隔與緩衝的設計。本研究依警示、導引、區隔及緩衝等不同之功能需求與設計，將重要規範分成下列幾項課題：前置預告標誌設計—警示功能、車道分派指示導引標誌、標線(字)設計—導引功能、收費標誌顏色設計、標線、槽化與車道使用號誌—區隔功能以及緩衝設施的設置等—緩衝功能。透過上述設施與管制策略的強化，可有效提昇電子收費的安全。
- (4) 本研究以主線分離式的快速電子收費車道設計為例，進行案例的規劃設計。其電子收費車道位於主線穿越車道上，在人工繳費車道區必須設置前漸變段之臨近區、等候區後漸變段駛離區，必須運用相關槽化標線設計，進行實體區隔，以增進安全及使用效率，亦即相關交通工程設施種類與設置準則必須強化，方能有效因應。

另外，針對未來實施電子收費的相關需求及研究方向，提出以下幾點建議：

- (1) 法源問題：為因應電子收費之實施，對於以往針對傳統人工收費所研擬之相關法令，包括法源依據、收費站使用規定、裁罰規定、道路交通管制設施之使用規定等，應視相關法理與實際需求重新檢討增（修）訂。
- (2) 在電子收費的實施過程中，不論從安全或效率的角度，交通管制設施均扮演了相當重要的角色，但卻也易於被忽視。因此，為有效建立其規範及制度，透過有系統的規劃分析，並進而從法規面、執行面及制度面建構一套符合本土化需求的交通管制策略，應是當務之急。

(3)近年來由於公路收費管理逐漸走向多元化與精緻化，對於收費車道管理越來越重視，例如配合電子收費實施車道管理(Bus Lane, HOV Lane, Car Pool Lane...)與動態費率管理，收費車道管理的發展，使電子收費運作功能更加具有彈性及主動積極。

參考文獻

- 交通部國道高速公路局 (2002)，高速公路電子收費計畫資訊徵求書。
- 交通部統計處 (1993)，中山高速公路收費站對車流影響之研究。
- 潼口正始 (2001)，ETC の試行運用結果と今後の對應，月刊交通。
- 陳友新 (2004)，台灣地區高速公路汽車運行路權之研究，中央警察大學交通管理研究所碩士論文。
- 亞聯工程顧問股份有限公司 (1991)，中山高速公路收費站增設防撞設施之研究，國道高速公路局委託專題研究報告。
- 王俊成 (2001)，高速公路收費站地磅作業服務績效之研究-TPS 模式之應用，中央警察大學交通管理研究所碩士論文。
- 國道新建工程局 (2000)，國道交通工程規劃設計準則及標準。
- 交通部、內政部 (2008)，道路交通標誌標線號誌設置規則。
- 張學孔等 (2000)，高速公路電子收費系統經營與發展策略之研究，財團法人中華顧問工程司專題研究報告。
- 張學孔、莊弼昌、黃宗仁 (2006)，高速公路電子收費交通安全特性與肇事模式分析，九十五年道路交通安全與執法國際研討會。
- 交通部國道高速公路局 (1992)，中山高速公路匝道收費系統規劃研究報告。
- Abdel, H. T. and Abdel-Aty, M. A. (2004)“ Artificial Neural Networks and Logit Models for Traffic Safety Analysis of Toll Plazas.”Transportation Research Record 1784: Paper No. 02-2270 .
- Al-Deek, H. M., Mohamed, A. A. and Radwan, E. A.. (2002), “New Model for Evaluation of Traffic Operations at Electronic Toll Collection Plazas” , Transportation Research Record 1710: Paper No. 00-1519 .
- McDonald, Jr D. R. and Myers, E. J. (2006), “Developing Traffic Control Strategies at Toll Plazas”, Institute of Transportation Engineers, ITE Journal Oct 31, 2006
- FHWA (2008), “Purple Dot Markings for E-Z Pass Lanes at Tollbooth”, Experimentation #3-181.

- FHWA (2006), "State of the Practice and Recommendations on Traffic Control Strategies at Toll Plazas",
- Kockelman, K. M. and Kweon, Y. J. (2002), Driver Injury Severity: An Application of Order Probit Models, *Accident Analysis and Prevention*, 34, pp313-753.
- Lieberman, E.; Chang, J. and Andrews, B. (2004), "Applying Microsimulation to Evaluate, Plan, Design and Manage Toll Plazas",. TRB 2004 Annual Meeting CD-ROM.
- Mohamed, A., Abdel-Aty, M., and Klodzinski, J. (2001), Safety Considerations in Designing Electronic Toll Plazas: Case Study, *ITE Journal*, pp.21-24.
- McDonald, Jr. D. R., and Stammer, Jr. R. E. (2001), "Contribution to The Development of Guidelines for Toll Plaza Design", *Journal of Transportation Engineering/May/June*, 2001.
- Schaufler, A. E.(1997). "Toll Plaza Design", National Cooperative Highway Research Program, transportation Research Board, Synthesis of Highway Practice 240, Washington, D. C.
- Wong, S. C., Sze, N. N. , Hung, W. T., Loo, B. P. Y., Lo, H. K. (2006) "The Effects of a Traffic Guidance Scheme for Auto-Toll Lanes on Traffic Safety at Toll Plaza", *Safety Science* 44 , p p.753-770.

