

高速公路電子收費交通工程規範之規劃設計

張學孔¹、莊弼昌²、

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。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。

關鍵詞：電子收費、交通工程、收費站

壹、前言

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，已即將邁向另一個嶄新的新紀元。然而，隨著收費技術的

¹ 國立台灣大學土木工程系所教授

² 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）

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【2】。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。

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，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【3】。目前國內交通工程設計標準主要係依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」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。

以用路者的角度而言，安全與效率的提昇應是使用ETC最主要的兩大效益訴求，但以往大多著重於效率面的研究與分析，少有研究針對收費站尤其是實施電子收費後之交通安全與衝擊進行評估分析，忽視用路人可能因安全降低所付出的成本【2、10】。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，另一方面也應建立嚴格的安全管理機制。基於上述目標，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，構建一套符合用路者需求的智慧化、人性化的收費環境。

貳、收費站佈設與交通安全分析

收費系統關係高速公路車流順暢與否，是高速公路服務品質良窳之關鍵。高速公路收費系統一般係根據道路長度、道路性質以及與其他道路相連接的密度等不同，而採用不同的收費型式。傳統上，高速公路的收費型式大抵可分為以下三種較常見的基本型式：

1.按路段均等收費型式(Open Barrier Concept)，簡稱開放式(如圖 1-1 所示)：

將收費站設在高速公路主線上，以人為方式將高速公路區分幾個收費區段，車輛可自由進出。開放式收費標準單一，服務效率高，所需收費車道數量較少，收費系統整體規畫較小，投資及營運成本較省。其缺點為當兩個收費站間距較長，中間有兩個以上交流道時，會出現漏收通行費現象，較不公平且不能兼顧道路出口管理策略。

2.按不同路段(交流道區段)收費型式(Closed Barrier Concept)，簡稱封閉式(圖 1-2 所示)：

在所有高速公路匝道出入口都設置收費站，車輛在入口處領取一張已記錄該收費站訊息的通行證，駛離高速公路出口匝道時繳交相對應之里程行駛費。這種型式有利於高速公路的交通管理與控制，且收費合理，但因每個點及車道均須設置，所需收費車道數量多尤其是出口處，就整體上來說，收費站的規模較大，所需人力較多。

3.全線均等收費型式(Closed Ticket Concept)，簡稱均一式(如圖 1-3 所示)：

將收費站設在道路所有入口處(包括主線及匝道)，主線及出口處一般不設站收費。其收費標準主要係根據車型分類加以區分，不計里程長短，同一條道路每一個收費站的收費標準相同。因收費標準單一，手續簡便，服務水準較高，對道路影響較小。收費站所需收費設備較簡單，投資及維護成本較低，且易於進行交控，其缺點為無法針對車輛行駛里程不同而收取不同之通行費。

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，其因將原單一方式進行優勢互補，收費制度也將更為合理。目前台灣地區高速公路收費站佈設型式以開放式(Open Barrier Concept)為主，以至有將近55%的短程車輛未能有效收取通行費，更常導致鄰近北中南三大都會區之路段有擁塞現象，相當不合理。

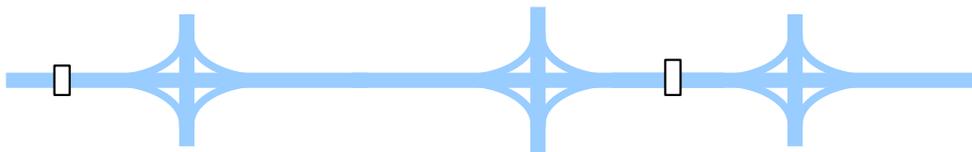


圖 1-1 開放式

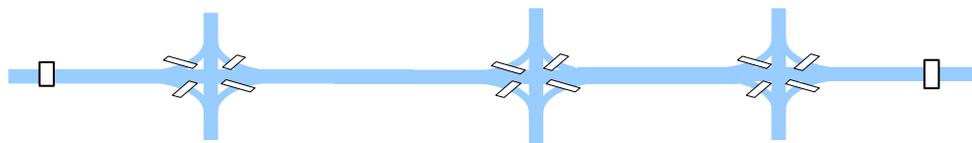


圖 1-2 封閉式

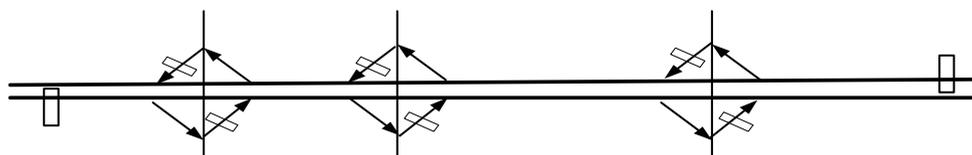


圖 1-3 均一式

至於收費站之作業則大致可分為傳統式收費及電子收費等二種，其中傳統式收費之作業多半利用人工或投幣機收費，車輛必須於收費亭前減速慢行或停下來，而電子收費方式則利用自動車輛識別（Automatic Vehicle Identification）的技術來收費，如設有專用道，電子收費可能讓車輛以較高的車速通過收費站。目前台灣地區的高速公路收費站，正從主線傳統式收費站逐步邁向電子收費，其主要的配置包括減速及停等區、收費亭、加速區、地磅、管理局辦公室及銜接地區之服務道路等，不過因為未將收費站整體設計進行改變，仍沿用原人工收費之規劃設計，對行車安全造成影響，一般收費站之佈設如圖2所示，其相關設計與設施說明如下：



圖 2 收費站佈設簡圖

一、收費站之幾何配置

目前收費站區內之幾何配置，區內之安全島全長約為 25 公尺，其中收費亭的長度約為 7.7 公尺，前、後端槽化島各長約 4.5 公尺。收費站區內收費車道之寬度（包括安全島）由內側向外計有 5.2 公尺、5.45 公尺及 5.8 公尺等三種。內側安全島之寬度為 2.2 公尺。較外側之安全島的寬度為 2.7 公尺。故扣除安全島之寬度之後，有效之車道寬度分別為不找零小型車 3.0 公尺，大型車及找零小型車車道為 3.1 公尺。加減速區之車道漸變率設計標準均為 1:12，但在拓寬或計畫拓寬部份，由於受到路權寬度限制，有時無法維持此標準。加減速區之長度，在汐止收費站，因地形關係，僅長約 270 公尺。泰山收費站規模

較大，北端約長 460 公尺，南端約長 650 公尺。其他收費站的加減速區長度約在 330~360 公尺間【5】。

二、收費站收費車道配置與交通管制設施

台灣地區高速公路收費車道數一般是上游主線車道數之2.5倍。目前收費車道數最多的收費站在國道三號之樹林站，其收費車道共有22個。中山高速公路之泰山站則有20個收費車道。目前多數收費站之收費作業係依車種及收費方式固定分派為4種收費車道，高速公路對於重型車輛行駛內側車道有較多之限制，且大貨車須在通過收費站後進行過磅以防超載，因此各收費站皆按行車方向由外向內設置大貨車、客聯車、找零小型車、不找零小型車收費車道。為因應電子收費的實施，目前在大型車及小型車收費車道之內側車道各配置一小型車及大型車電子收費車道，鄰側車道則提供為備用車道。

高速公路收費站設置於主線路段之間，車輛行經收費站因需停車繳費，致使其附近路段之行車特性與一般主線上之交通特性明顯不同，其主要差異包括：車道數的不同、車速限制的不同以及車道的選擇等。因此高速公路交通管制規則第二十二條規定：「汽車行駛高速公路，於駛近收費站前，應依標誌指示預為減速慢行，並依標誌、號誌指示或公路警察指揮順序駛入收費車道，停車繳費。」因此，有關收費站區之行車路權依該規定運行當無疑義。至於分流、併流等所產生之衝突問題，則有賴於良善的標誌、標線與號誌系統規設，以規範站區行車秩序與安全。【6】

現有國道收費站之交通管制設施，在未實施電子收費前，以國道3號沿線為例，在收費站區之交通管制設施整理如下：

(一)標誌工程

1.收費站區上游:

- (1).「收費站二公里」預告標誌:設於距收費站上游約二公里處，為收費站預告標誌，告知用路人前方二公里為收費站。
- (2).「限依指定車道繳費過站」標誌:原為「大型車靠右」標誌，配合交通管理與執法需求，自91年6月，將收費站進站前「大型車靠右」標誌修正為「限依指定車道繳費過站」標誌，設於距收費站漸變段起點上游約1200公尺處，用以指示車輛依指定車道繳費過站。
- (3).「速限」標誌:於距收費站漸變段起點上游設速限80、速限60、速限40標誌，引導進收費站車輛減速進站以利安全。
- (4).「路面顛簸」標誌:配合減速標線，設置路面顛簸標誌。
- (5).「持回數票小型車靠左」標誌:設於距收費站漸變段起點上游約400公尺處，指示持回數票之小型車靠左車道行駛，以進入持回數票可通行之收費車道。
- (6).收費站車道指示牌:原國道一號之車型指示牌之顯示方式係以收費亭女兒牆標示回數票(藍底白字)與找零車道(綠底白字)，並於站亭前之棚柱上附掛內照式收費車種顯示板，站亭上方以車道管制號誌(一紅一綠)顯示收費車道啟閉狀態；至九十年初為提高找零車道與回數票車道之辨識，將找零車道改成鑽石級螢光黃綠底藍字，以利駕駛人於晨昏能更清楚辨

識車道屬性。到了國道三號後續計畫時，因收費亭配合當地景觀及特色，採不同外型以提高站區整體美感，部分收費站無法適用傳統車道顯示板，且亦非每個收費車道皆有棚柱，乃改採用三面轉板標誌，而車道管制號誌則採LED顯示，以容納所有資訊。

- (7).資訊可變標誌:主要設置於主線交流道出口、收費站前、潛在危險路段上游及隧道入口前，主要功能包括:a.顯示下游路段事件訊息，如地點、里程、封閉車道數等，提醒用路人小心駕駛或改道行駛等。b.顯示下游路段有關壅塞及濃霧、豪雨強風等路況訊息，警告駕駛人小心減速慢行，避免事故發生。c.顯示下游路段實施管制訊息，如主線速率控制等，提醒用路人依管制措施行駛。

2.收費站區下游:

- (1).「速限」標誌:於距收費站漸變段終點下游約300公尺處，以恢復高速公路主線原有之速限。
 - (2).地名里程標誌:設於距收費站漸變段終點下游約600公尺處，用以告知用路人下游出口之地名及距哩，以二個地名為原則。
 - (3).主線旅行時間標誌板:主要設置於收費站出口處，用以顯示距收費站約60公里、30公里及最近具改道性之交流道旅行時間，以服務長途用路人掌握主線行車狀況及供作改道參考。
- (二)標線工程:在材質的部份，主要係以熱處理聚酯標線輔以反光標記作為車道線，以環氧砂漿標線作為減速標線(應用在主線收費站前，用以警告用路人減速慢行)。其標線種類大抵包括:減速標線、車道線、禁止變換車道線、調撥車道線、近障礙物線、槽化線及交通錐等，其配置關係詳如圖3所示。

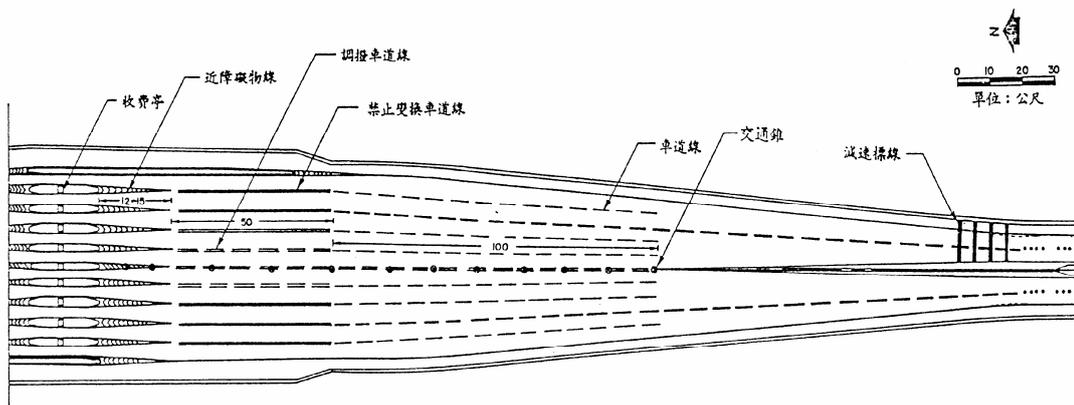


圖3 收費站區交通標線示意圖

- (三)號誌工程:主要設施為車道管制號誌，於每一收費車道上各有一組紅色燈面及綠色燈面之板面組成，紅色燈面顯示「X」形，綠色燈面則顯示「↓」垂直向下箭頭。藉以顯示車道使用狀態，包括:開放使用、管制封閉、實施調撥等。

三、收費站區地磅設置

台灣地區高速公路收費站之另一特色是有部分收費站設置有地磅站，其目的主要係防止載重車輛超載破壞路面影響行車安全，不過也因此造成收費站運作上的複雜度及危險。配置於收費站之地磅站，於國道一號皆採靜態地磅並以附設於收費站後外側為主，其主要係考量大貨車於收費亭停車繳費後在開置地磅站較為安全，但後來發現過磅車輛經常回堵至收費亭造成困擾及危險。到了國道三號設計時，因動態地磅技術已較為成熟，在加上過去經驗，乃將地磅站改提至站前外側，並採篩選式設計，即先使用動態地磅初步篩選載重車，有超載嫌疑再至靜態地磅複磅。惟篩選號誌在田寮地磅站啟用後，發現部分大貨車駕駛人無法理解該燈號使用意義，因此，其他地磅站乃改採車道管制號誌，並配合發光二極體(LED)顯示板，輔助大貨車駕駛使用篩選式動態地磅。

四、收費站區事故特性與肇事型態分析

提供用路人順暢、安全且即時性的服務，是高速公路主要的服務指標。以收費站的使用而言，如果駕駛人未有任意變換車道等違規行為，進入收費站區亦能遵守相關規定，當可有效避免事故之發生，然事實卻不然。根據台灣地區高速公路交通事故資料統計發現，92~94年國道1號及3號全線22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類交通事故仍多達803件，由於進站減速的影響，其比例仍以A3類居大多數，並造成8人死亡、58人受傷，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及表2所示。在事故類型特性方面，其主要事故類型整理如表7所示。追撞為主要事故類型，肇事次數比例高達62%，其次為同向擦撞（18.5%）、撞固定設施（如護欄、標誌桿、收費亭及交通島等）及倒車碰撞等。

在上述主要事故類型中，經交叉比較其事故嚴重程度發現，撞固定設施（如護欄、標誌桿、收費亭及交通島等）對事故當事人之損傷程度影響最大。以93年統計資料為例，全年發生271件事故，共造成2死、12傷，其中，撞固定設施雖僅有30件，卻造成2死、7傷，發生在夜間比例較多，其主要肇因為超速、酒醉駕車、機件失靈、超長（寬）及違規行為等。

綜合上述分析，顯見收費站區之行車安全仍存在許多盲點，究其主要原因包括：超速行駛、未依規定車道行駛、臨時變換車道、車輛臨時路邊停車或機件故障等，而在執法上則亦面臨了：舉證困難、執法區的安全顧慮以及錯行車道繳費逕行舉發的適法性問題等困境。如何合理而有效地規範速限變換區、強化收費站區交通安全設施與設計並配合完善的自動化執法，應是實施電子收費的重要課題。

表1 發生件數、種類與死傷人數

	92年	93年	94年	合計
總件數	251	271	276	803
A1類	3	2	2	7
A2類	11	11	11	33
A3類	242	258	263	763
死亡人數	4	2	2	8
受傷人數	15	12	31	58

表2 肇事因素統計比較

	未保安距	變換車道不當	未注意車前狀況	違規	酒醉	超速	未保間隔	倒車未依規定
92年	108	43	33	14	12	11	3	9
93年	118	32	32	16	17	9	6	4
94年	114	42	35	28	11	8	7	3
合計	340	117	100	58	40	28	16	16
佔整體事故比例	42.3%	14.6%	12.5%	7.2%	5.0%	3.5%	2.0%	2.0%

表3 事故類型統計比較

	追撞(rear-end)	同向擦撞(sideswipe)	撞固定物 (hit a fixed object)	倒車撞(backed-up)	其他
92年	161	42	26	13	9
93年	168	48	30	8	18
94年	169	58	32	3	14
合計	498	148	88	23	41
佔整體事故比	62.0%	18.5%	10.8%	3.0%	5.1%

參、電子收費規劃設計對交通安全之衝擊與檢討

台灣地區電子收費系統在歷經多年的延宕與爭議後，終於在95年2月10日正式上路，進行全面的營運測試，雖然目前其電子收費車道使用車次累計至今已突破億萬輛次，可是自開通上路後，仍然造成許多用路人的抱怨與質疑，例如車道的使用效率、電子收費車道的速率限制、車上單元(OBU)的安裝與價格等等問題，雖然這些問題後來也逐漸進行調整與改善，可是後續產生的安全問題，卻相對被忽視。本研究整理統計自去年2月10日電子收費子收費全面開通至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4所示。另外，在空間分布方面，也呈現顯著差異特性，例如泰山收費站即發生了38件(佔30.7%)，其中北上車道

有25件（佔66%），倒車撞事故3件中，有2件發生在泰山收費站。據此以觀，電子收費的實施，對於事故發生及嚴重程度似乎有顯著影響，這是值得我們注意的重要課題。因為台灣地區甫實施電子收費不久，且使用率不高，為深入比較其對安全之影響，以下並以日本及美國佛羅里達州的實施經驗為例，進行比較。

表 4 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%)

以日本為例，即使其事前規劃完善，設施齊全，其在首都高速公路與JH兩條主要公路試辦九個月期間亦發生了47件交通事故，肇事原因包括：倒車衝突、不當變換車道與突然停車衝突等（詳參見表5所示）。在千葉地區試辦九個月期間，電子收費車道上的違規狀況更是頻繁，其誤進入率平均高達13.2%【7】。以日本高度法制化的國家，其狀況尚且如此，面對台灣地區未來全面性實施電子收費，如何透過良善的工程規劃，搭配自動執法功能與設施的加強以及執法區的設置或執法技巧的提昇等，應是相當值得重視的課題。

表 5 日本電子收費試辦九個月期間肇事統計分析（2000.04~2001.01）

原因	(JH)一般車	(JH)ETC車	(首都高速)一般車	(首都高速)ETC車	合計
倒車衝突	8件	0	1	0	9
不當變換車道	2	1	2	0	5
突然停車衝突	9	11	12	1	33
合計	19	12	15	1	47

資料來源：【7】

此外，以美國佛州奧克蘭橘郡高速公路管理局（OOCEA）所轄SR408、SR417及SR528等3條高速公路為例，其共設有10個主線收費站、42個匝道收費站，年平均每日交通量（AADT）約為420,000輛，1999及2000年共發生1932件交通事故，其中有447件係發生在收費站附近，共有803車（人）涉及，有78件為肇事逃逸案件，因此，實際有效樣本為725筆資料。其事故類型依發生比例高低分別為追撞（40.1%）、同向擦撞（26.5%）、撞固定設施（21.3%）、倒車撞（6.4%）以及其他（5.7%）。以肇事嚴重程度而言，無人受傷（No injury）有442筆（61.0%）、可能受傷（Possible）有152筆（21.0%）、有受傷（Evident）有111筆（15.3%）、重傷或死亡（Severe/fatal）

有20筆(2.8%)。以發生地點而言，發生在收費站前(before plaza)有316件(43.6%)、收費站處(at plaza)有317件(43.6%)、過收費站後(after plaza)有92件(12.8%)。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(指有車上單元車輛或發生在ETC車道上之事故)其平均肇事率則為7.53 件/月-百萬車次，詳細比較請參見圖4。顯示電子收費的實施的確對交通安全有相當程度的負面影響【4】。

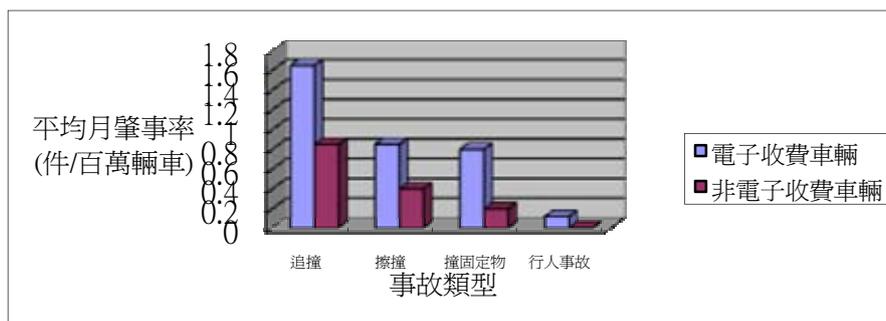


圖 4 電子收費車輛與非電子收費車輛平均月肇事率比較圖

為更進一步探討電子收費在不同建置階段對交通安全的影響，本研究特以前述OOCEA所轄10個主線收費站之一的Holland-East收費站為例(其為易肇事收費站地點，佔整體事故21.2%，其車道配置如圖5、圖6所示)。其建置過程共分為四階段，分別依照ETC車輛的使用比率決定車道的配置，第一階段採傳統收費方式(無ETC車輛)、第二階段自1995年開始引進使用ETC(使用率為15%)，採混合車道(Mixed AVI lanes)，第三階段自1997年開放一固定式ETC專用車道(Single dedicated AVI lane)(使用率為28%)，第四階段則擴充ETC專用車道為二個車道(Two dedicated AVI lanes)。不同建置階段之平均肇事率亦有顯著消長，四個階段分別為從1.48(件/月-百萬車)、1.68(件/月-百萬車)、2.57(件/月-百萬車)及2.19(件/月-百萬車)，比較參見表6所示【8】。

表 6 不同建置階段對肇事率的影響

階段(stage)	車道配置	ETC 使用比例	肇事率(件/月-百萬車)
1	傳統收費車道(Conventional lanes)	0%	1.48
2	混合車道(Mixed AVI lanes)	15%	1.68
3	單一固定電子收費車道 (Single dedicated AVI lanes)	28%	2.57
4	二個固定電子收費車道 (Two dedicated AVI lanes)	34%	2.19

從結果中可發現，顯然電子收費的建置初期的確可能因設施的不熟悉而造成肇事率的增加，隨著使用習慣的養成及設施的強化，可略為降低肇事率，然仍

比未開放使用電子收費時期為高。此外，在肇事時段方面，則主要集中在晨峰（7-9 a.m.）及昏峰（4-6 p.m.）兩個時段，其所佔比率高達50%以上，顯示隨著交通量的增加，電子收費的實施對於事故的發生，有明顯的影響，這是值得我們注意的現象。

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。因此，整體歸納而言，一個收費站若能具備有良好的幾何設計、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以及安全，其因果關係詳如圖5所示。

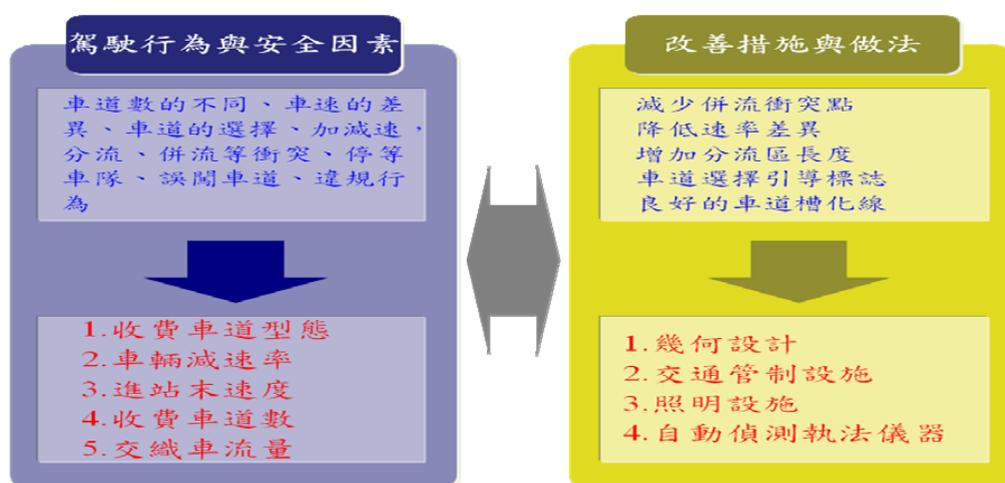


圖 5 收費站安全影響因子與相關建議改善措施

肆、電子收費車道交通工程配置功能規劃與課題分析

誠如前段所述，隨著電子收費系統的逐步建置與擴充，未來若未能及早妥善規劃因應，勢將面臨交通安全的問題，而實施電子收費的效益亦將折損。其實，

這些有關交通工程(Traffic Engineering)的課題，最早在龍潭及樹林收費站進行測試過程中，即有相關學者針對測試缺失及異常駕駛行為提出具體建議【2】，研議將ETC系統所需新增或編修之相關交通管制設施納入「道路交通標誌標線號誌設置規則」中，然至今仍僅處於研商階段，攸關民眾交通安全的相關管理法規與機制尚未能充分配合。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提出初步建議，包括：幾何設計（例如各種收費車道數量及配置、車道寬度、安全速率、臨近路段之漸變段長度等）、交通管制設施（適當的標誌及標線的佈設）以及照明設施等。因此，如何建立完整的收費站規劃設計程序與模組，便顯得格外重要。

一、電子收費車道交通工程規劃與設計分析

對於電子收費車道相關設施與配備之佈設，由於目前仍屬起步階段，相關規範尚付之闕如，同時由於世界各國收費方式與系統上的差異，標準化的設施或基本交通工程上的建構要求，仍有待進一步從實務面的實施經驗及交通工程或車流相關理論中互相印證，加以制訂及規範。本節將從國內外之實施經驗中，對於相關之車道型態、電子收費車道配置方式、電子收費車道佈設相關設施與配置之型態以及相關可能面臨之問題，加以分析討論，以提供參考。

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，可歸納整理說明如下：

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。圖 6 所示即為美國實施匝道收費與人工及電子收費車道之配置情形，圖 7-1、圖 7-2、圖 7-3 分別為台灣、日本與美國電子收費車道之佈設。一般而言，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，只是將該群車道提供電子收費車輛專用，並未與其他收費車道進行隔離，因此，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(Open Road Tolls;ORT)。
 - (3) 混合式收費車道(Mixed mode lanes): 收費車道除專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。圖 8-1、8-2 所示即為日本主線電子收費車道及匝道電子收費車道之佈設位置。
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，將更容易肇事，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，其相關檢討如前所述，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，透過合理且周詳的規劃設計，將有助於不同收費車輛更加迅速而明確了解如何正確使用車道，避免誤闖或緊急變換車道，滋生行車危險。
9. 執法設備與執法區：實施電子收費初期，由於用路者之誤闖、系統之錯誤、偵測上的問題或其他因素，可能會有許多違規情形發生，基於公平原則，對於交通執法的有效度，也就格外顯得重要，因此，對於相關之執法設備及執法區之設置，亦應在系統建置時一併考量。
10. 監控中心：對於監控中心之基本需求，其應為獨立空間、大小適中且可看到車道，目前中山高各收費站，符合需求之場地大致上有：作業室、值班室或會議室、站長室等場地。



圖 6 匝道式人工與電子收費車道設置型式



圖 7-1 台灣電子收費車道配置 圖 7-2 日本收費車道配置 圖 7-3 美國佛州收費車道配置

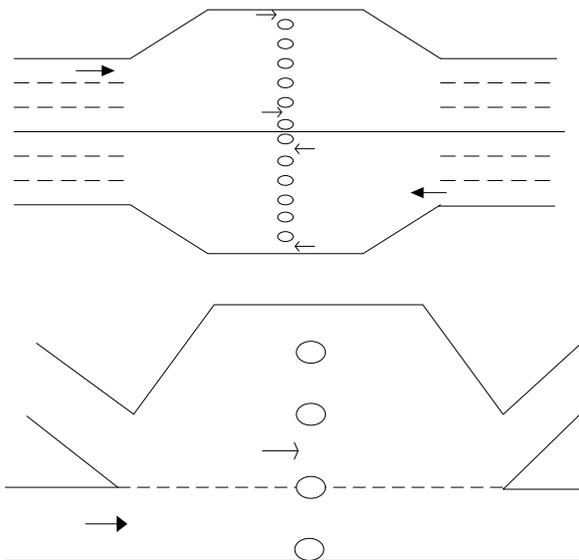


圖 8-1 日本主線收費電子收費車道配置圖

圖 8-2 日本匝道收費電子收費車道配置圖

二、收費站交通管制設施重點設計規範之課題分析

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，將重要規範內容分成以下五大課題:前置預告標誌(Advance Signing)設計、車道分派指示導引(Lane Assignment)標誌、收費標誌顏色(Color of Toll Signs)設計、標線(字)(Pavement Markings)與緩撞設施(Crash Cushions)以及車道使用號誌(Lane-Use Signals)等，分別探討如下。

(一)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，例如預告前方收費標誌應在距離收費站前方適當距離處，以漸進且連續之方式預告，如 2 英里、1 英里及 0.5 英里之設置間隔，如位於匝道收費，則亦應設置於有足夠之視距處。除上述設施外，也包括規範收費型態車道及車輛管制之相關禁制標誌。如必要也可預告收費費率、付費訊息等附加標誌。圖 9 所示即為日本在主線收費站前之預告標誌，共包括三面路側豎立式標誌以及一面門架式標誌，距收費站分別為:2.9 公里、1.3 公里、0.7 公里以及 0.5 公里。

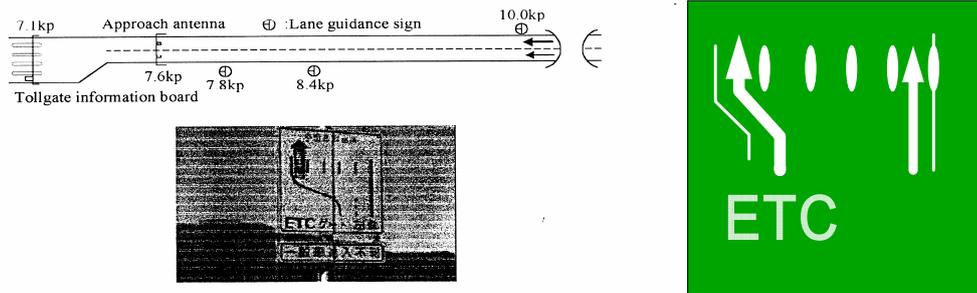


圖 9 日本電子收費車道車輛前置導引標誌

(二)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方向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。例如針對不同的收費型態，如電子收費(ETC)、自動投幣(ACM)或不找零(exact change)以及找零車道(cash transactions)等，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。一般而言，ETC 車道置於收費站之左側，自動投幣(ACM)或不找零(exact change)置於中間，找零車道(cash transactions)則設置於右側。另外如有其他特殊收費方式或緊鄰上下匝道等情形，則最好與主線車加以隔離，必要時以實體分隔。標誌的設計首重清晰以及一致，圖 10 為美國 SUNPASS 收費系統之車道指示標誌，具備簡單而清楚的設計特色【8】；圖 11 則為日本在測試期間針對各種不同管制及收費狀況所設計之車道導引標誌，同時搭配車道管制號誌之使用，更增加其實用性【7】。

車道型態	圖例	車道型態	圖例
SunPass Only Lanes		Change Provided/ SunPass Lanes	
SunPass Express Lanes		Change Provided Lanes	
Exact Change/ SunPass Lanes		Exact Change Lanes	

圖 10 美國 SUNPASS 收費系統車道指示標誌

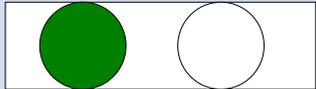
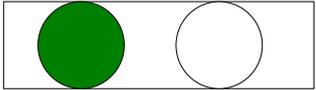
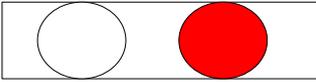
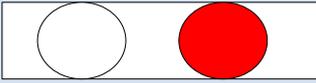
車道使用狀態	圖例	車道管制號誌
電子收費車道		
混合使用車道		
一般收費車道		
封閉管制車道		
電子收費測試車道		

圖 11 日本在測試期間針對各種不同狀況之車道導引標誌

(三)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。圖 12 中計有三類不同設計樣式,如何針對本土性需求,設計合乎國人使用之收費標識系統,是進一步努力的目標。



圖 12 三類不同收費標誌顏色設計樣式

(四)標線(字)(Pavement Markings)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，因反應時間不足或頻繁變換車道所導致的交通事故。圖13為日本針對電子收費車道所劃設之引導標線，相當具有醒目性及引導性【7】。另外，以國外設計案例為例，大部分之收費站在收費站前因行車速度快，且收費站通行車道較窄，若用路人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，因此於收費站前皆有裝設碰撞緩衝設施之案例，根據前面針對台灣地區收費站事故分析的結果，對於傷亡案例有很大之比例皆是因為撞擊固定設施導致，因此若能深入探討各種緩撞設施之功能以及成本效益，應有助於減少事故之傷亡比例。圖14-1 為挪威收費站前設置圖、圖14-2 為希臘收費站前設置圖

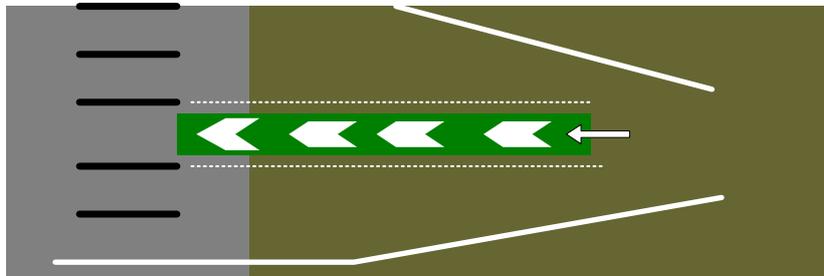


圖 5 電子收費車道標線繪製示意圖



圖14-1 挪威收費站前緩撞設置



圖14-2 希臘收費站前緩撞設置

(五)車道使用號誌(Lane-Use Signals)及資訊可變標誌(Changeable Message Signs;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，其設計圖例如圖15所示。另外，為增加資訊傳遞之時效性及多樣性，亦可將「資訊可變標誌」搭配「車道使用號誌」使用，則將更為便利有效。

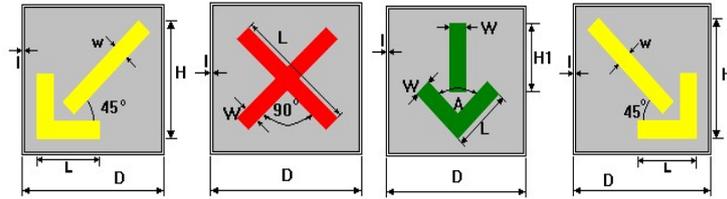


圖 15 具引導功能之車道管制號誌設計

伍、結論與建議

當駕駛人臨近、通過或駛離收費站時，會面臨許多的決策點，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。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。本研究透過收費站區事故資料的分析與比較，針對建置電子收費車道之基本功能需求及安全設計提出初步建議，同時根據實務運作經驗及實際需求，將重要規範內容分成五大課題進行分析。希望透過整體系統規劃流程，並充分結合重要之設計準則，設計兼具安全及效率的電子收費環境，可強化電子收費實施績效，創造多贏的勝局。最後，針對未來全面實施電子收費的相關需求，建議應積極建立法源規範、重視大型車輛的過磅問題以及電子收費車道從單車道到多車道、從主線收費到匝道收費的過渡合理性問題，同時對於交通工程及設施的評估，可進一步從成本效益的觀點，建立相關評估指標及程序，對實施成效將更客觀而具體。

參考文獻

1. 國道高速公路局，高速公路電子收費計畫資訊徵求書（TANFB-RFI-1），民國91年8月。
2. 張學孔、莊弼昌、黃宗仁，「高速公路電子收費交通安全特性與肇事模式分析」，道路交通安全與執法研討會，民國95年9月，pp.149-162。
3. 國道高速公路局，中山高速公路收費站增設防撞設施研究，1991。
4. Mohamed, A., Abdel-Aty, M., and Klodzinski, J., Safety Considerations in Designing Electronic Toll Plazas: Case Study, ITE Journal, 2001,pp.21-24.
5. 交通部運輸研究所，2001年台灣地區公路容量手冊，民國90年3月。
6. 陳友新，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，民國93年6月。
7. 瀧口正始，ETCの試行運用結果と今後の對應，月刊交通，2001年4月號。
8. Linda Brown,David R.Mcdonald JR.,Edward J.Myers,“Developing Traffic Control Strategies at Toll Plazas”,ITE JOURNAL/NOVEMBER,2006.
9. Schaufler, A. E.(1997). “Toll Plaza Design”, National Cooperative Highway Research Program, transportation Research Board, Synthesis of Highway Practice 240,Washington, D. C.
10. Hassan T. Abdelwahab, and Abdel-Aty, M.,Traffic Safety Analysis for Toll Plazas Using Artificial Neural Networks and Logit Models, TRB, 2001.
11. McDonald, D. R. Jr.,(2001), “Contribution to The Development of Guidelines for Toll Plaza Design”, Journal of Transportation Engineering/MAY/JUNE, 2001.