

應用自動測速照相執法及速率管制策略於 公路施工區之行車安全影響分析

The Effects of Automatic Speed Photo Enforcement and Speed Management Strategies on Traffic Safety at Highway Work Zones

王銘亨 Ming-Heng Wang¹

摘要

依據道路交通事故資料分析，公路施工區路段的交通事故主因係為駕駛人超速和疏忽所引起。然而由於施工區路段路幅寬度的限縮，增加了警車攔停取締違規超速勤務的困難度與危險性。為了能有效遏止施工區路段車輛違規超速情形，美國伊利諾州政府立法允許執法單位於道路施工區路段，使用自動測速照相取締超速違規，其測試使用的行車管制策略包括：(I)車輛速率偵測與顯示標誌；(II)警車駐守（不執行取締）；(III)自動測速照相車輛；(IV)前述(I)和(II)組合。測試結果發現，除了單獨使用速率顯示標誌策略外，其它策略均可明顯降低管制路段上的行車速率約 4-8 英哩/小時(6.4-12.9 公里/小時)於一般車輛平均速率，及 3-7 英哩/小時(4.8-11.3 公里/小時)的大貨車平均速率，亦可降低車輛違規超速的比率。對於整體施工路段的行車速率，則以採自動測速照相策略時，有顯著影響，並降低車輛違規超速的比率，其中又以對大貨車的影響最為顯著，對於提升整體施工路段的行車安全，有顯著的效果。

關鍵詞：公路施工區（路段）、自動測速照相車輛、速率顯示標誌、行車速率管制

¹ 開南大學運輸科技與管理學系助理教授（聯絡地址：桃園縣蘆竹鄉開南路 1 號，電話：(03)3242500 轉 5012，E-Mail：mhwang@mail.knu.edu.tw）。

Abstract

According to traffic crash data analysis, speeding and driver distraction are the major contributors for traffic crashes at highway work zones. Due to the width limitation of road shoulders, implementation of personal enforcements at work zones becomes a risking and challenging task. To improve work zone safety and increase speed limit compliance, the Illinois Department of Transportation implemented automated speed photo-radar enforcement (SPE) in work zones for the first time in the United States. This paper presents the field evaluations of the SPE along with other speeding management devices and strategies being used, such as (I) speed active sign trailer; (II) police present; (III) automatic speed photo-radar enforcement; (IV) combination of the trailer and the police car, in two work zones. The results showed that near the SPE locations, speeds of free-flowing cars were reduced by 4 to 8 mph [6.4-12.9Km/Hr] and free-flowing heavy vehicles by 3 to 7 mph [4.8-11.3Km/Hr]. The cumulative percentile of the speed distributions showed that the implementation of the SPE can also reduce the percentage of speeding and narrow the dispersion ranges of the speed distributions. Particularly for heavy vehicles, the speed reductions were still significant at the 1.5 kilometers downstream from the speed management location. This finding indicates the effectiveness of the SPE on speed reduction and traffic safety was not only limited at the speed management segments, but also extended for the entire segments along the work zones.

Keywords: Highway work zone, Automated speed photo-radar enforcement, Speed display sign, Speed management

一、前言

為提昇道路交通安全，減少超速違規肇事，許多國家執法單位已採用自動測速照相執法系統，協助取締違規超速，相關的研究也證實自動測速照相可有效降低車輛行駛平均速率和變異數，降低違規超速比率 (Rouphail 等人, 1988; Elvik, 1997; Hess and Polak, 2003; Hess, 2004; 陳弘霖, 2005; Goldenbeld and Van Schagen, 2005; Traffic Safety Facts, 2005; 王銘亨等人, 2013) 不少文獻也針對過去有關的研究結果進行比較分析。Pilkington 和 Kinra(2005)回顧 14 個自動測速照相對於降低道路交通事故和傷亡的研究，發現幾近所有的自動照相成效研究結論均指出，自動測速照相執法可有效降低平均的行車速率，針對固定桿方式的測速照相，可有效降低 5 至 59% 的交通事故、12% 至 65 的交通事故受傷人數，以及 17% 至 71% 的交通事故死亡人數。Thomas 等人(2008)亦綜合 13 篇有關自動測速照相之研究，發現自動測速照相可降低 20% 至 25% 的受傷交通事故。Wilson 等人(2006; 2010)回顧超過 30 篇有關行車速率管制和執法的成效評估研究，包含使用不同的測速儀器，如雷達、自動照相、雷射等方式，也藉以確認自動測速照相設備可有效降低交通事故的發生次數和傷亡，但 Wilson 等人也指出，由於每一個研究在內容、地點和

測試方式都不相同，而難以具體且嚴謹的適用性，因此建議應該要較嚴謹與一致性的大範圍測試評估，方能確實了解測速照相具體的影響。

國內使用自動測速照相取締違規超速的情形甚為普遍，但並無嚴謹的設置準則，相關的評估研究亦甚為有限，最近，王銘亨等人(2013)針對高速公路固定測速照相的成效進行評估，發現在高車流量及低速限的路段上，車輛在行經自動測速照相固定桿後，速率有下降情形，在空間上，測速桿上游（約1公里前）路段的交通事故亦較測速下游路段為高；在時間上，固定測速桿設置後，該路段的交通事故亦明顯減少，然而在低流量和高速限路段，並無明顯的差異。關於行車速率管制策略，陳弘霖(2005)調查設有測速顯示器路段之車流下的汽車行駛速率，發現設置測速顯示器後，在測速顯示器與其下游自動測速照相系統之間的平均速率較設置前顯著減少，其超速比例亦明顯降低。

自動測速照相的執法策略已在世界各國行之有年，但將自動測速照相應用在道路施工區路段的情形並不多見，然而，依據美國道路交通事故統計資料顯示，在道路施工區段內發生的交通事故的死亡人數，由1997年的696人增加到2005年的1,074，死亡人數大約增加55%，且每年大約造成超過40,000人受傷(Traffic Safety Facts, 2005)。道路施工區段已成為增加交通事故的原因之一(Rouphail 等人, 1988; Garber 和 Woo, 1990)。再依道路交通事故資料分析，公路施工區路段的交通肇事主因為駕駛人超速和疏忽所引起(Speed and Accidents, 1974; Cerelli, 1981; Pisarski, 1986; Garber 和 Gadiraju, 1989)。因此，針對施工路段實施速率管制措施或增加違規取締強度，以期降低整體行車速率，應可有效減少施工路段的交通事故的發生。然而，由於施工區路段路幅寬度的限縮，增加了警車攔停取締違規超速勤務的困難度與危險性。

為了能有效遏止施工區路段車輛違規超速情形，美國伊利諾州政府研訂立法，允許執法單位於道路施工區路段，並於2006年開始，率先使用自動測速照相取締超速違規（一般道路未核准使用），同時擬訂各種可行的速率管制策略，進行實地測試評估，調查使用相關速率管制策略的前後，施工區段內行車速率的變化情形，以了解自動測速照相執法和其他管制策略對施工區路段行車速率和安全的影響(Benekohal 等人, 2009a)。Benekohal 等人 (2009b) 僅呈現該報告中部分自動測速照相的影響評估，比較設置自動測速照相與否的車輛行車速率分佈變化，本文乃加入該報告中其他行車管制策略的測試結果，並與自動測速照相進行比較分析，內容首先介紹美國伊利諾州於道路施工區段內，所使用的先進自動測速照相車輛與相關設備，以及測速照相取締違規超速的作業程序和處罰及裁決標準，再介紹實地測試的實驗設計與調查內容，包含行車速率的偵測地點及調查方式，同時依各偵測點調查所得的行車速率結果，進行分析，比較使用自動測速照相執法與其他速率管制策略的狀況下，施工區路段的行車速率變化情形，探討較佳的行車速率管制策略，期望提供國內執法及施工單位參考。

二、自動測速照相與其它行車管制策略

2.1 自動測速照相取締違規設備

為了有效遏止道路施工路段違規超速的情形，美國伊利諾州(Illinois)於2003年時，提高了施工區路段違規超速的罰鍰，並且立法授權執法單位採用照相機，於施工區段內取締違規超速。但由於施工路段內路幅寬度的限制，增加了警車攔停取締違規超速勤務的困難度與危險性，因此，伊利諾州執法當局率先引進配備自動測速照相(Speed Photo Enforcement, SPE)設備的執法車輛(如圖1)，於2006年開始於境內各主要公路施工路段，進行違規超速的取締工作。SPE車輛的車上裝備及取締違規步驟包括：



圖 1 自動測速照相取締超速違規車輛

- 1.遠端速率顯示測速雷達：設於車輛上方，偵測遠方靠近之車輛（雷達發射方向及角度如圖2），偵測距離約為4.5英哩（7.2公里），並將遠方所偵測到的車速顯示在上方的LED可變速率標誌，提醒駕駛人的臨近速率，是否有超速，並給予超速的駕駛人最後一次的警告。
- 2.近端執法使用雷達：設於車後端，雷達波方向及角度可涵蓋對向或內側車道，若近端的雷達偵測到的車速大於所設定的行車速限，則啟動車上的數位照相機，對超速車輛進行照相。

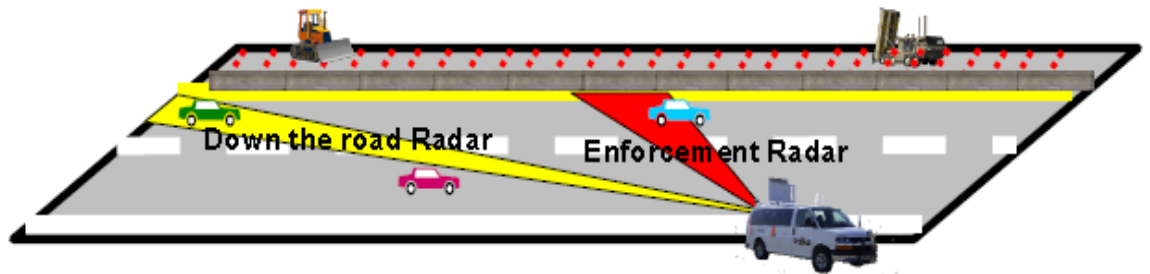


圖 2 自動測速照相取締超速違規雷達偵測範圍

3. 前後端數位相機：車上後端的照相機攝取車輛駕駛人的正面影像及違規車輛前面的車牌號（如圖 3），同時顯示違規的車速、時間與地點。車上前端照相機則攝取違規車輛的後端車牌。



圖 3 自動測速照相取締超速違規車輛

4. 車上行動工作站：車上配備即時違規取締工作站（如圖 4），由受過訓練的州警負責操作，工作系統除了電腦及監控螢幕外，並配置警告系統，當有超速車輛接近，則以警鈴方式，提醒執勤員警注意監看。
5. 違規罰單填製：違規的車牌一經照相後，由電腦內的車牌自動辨識系統，經前後比後，自動確認違規車輛車牌，再連結至車籍資料及駕照管理資料庫，調閱車輛持有人的駕照資料及其照片，提供執勤員警現場比對。若相片中所顯示的駕駛人與駕照資料上的影像相同，則由執勤員警決定即時以違規取締系統開立違規告發單。若違規人與車輛持有者不同時，則僅規定出租車輛公司及貨車公司有義務在 30 天內，提供當時駕駛人的身份資料，但車輛持有人並不須負違規之責任。

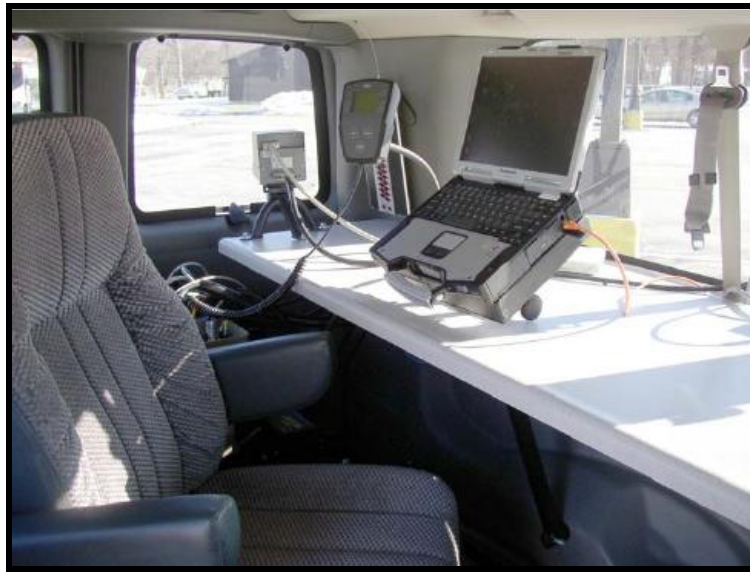


圖 4 自動測速照相取締超速違規車輛

即時所開立的違規罰單，必須於 14 個工作天內送達駕駛人的郵寄地址。第一次在施工區超速違規駕駛，將處以美金\$375 元的罰金，其中包含\$125 元的補償金，提供執勤員警加班費及購置於施工區執法設備之用，並且必須強制規定必須出席交通法庭。第二次違規者，則處以\$1,000 元罰金（含\$250 補償金），同時吊扣駕照 90 天。自動測試照相的專業車輛及設備是由州政府向私人公司租用，每一部車每月的租車金為\$2,950 美元，違規罰單除了由執勤的員警檢視開單外，後續的寄送工作亦委由該公司負責，每一張罰單的處理手續費為\$15 美元。

2.2 行車速率顯示標誌

除了增設自動測速照相取締違規專用車輛外，伊利諾州交通部亦規劃不同的速率管制策略，並委由本研究進行測試，其中包含設置於小型無動力拖車(Trailer)上方之行車速率顯示標誌。該標誌係設置於小型拖車上（如圖 5），該拖車除配置速限標誌外，並設有測速雷達和 LED 可變標誌，測試臨近車輛的速率，並顯示於可變標誌，以提醒駕駛人依規定速限行駛。測試時，由研究人員將拖車拖放至實驗測試路段的右側路肩。



圖 5 LED 速率顯示標誌拖車

2.3 配合警車駐守之策略組合

本策略係以實際的警車配合車上警示燈與速率顯示標誌的應用組合，總共分四種不同的控制策略進行測試：

1. 警車/不開警示燈 (Police w/ Light)。
2. 警車/開警示燈 (Police w/o Light)。
3. 速率顯示標誌+警車/不開警示燈 (Trailer +Police w/ Light)。
4. 速率顯示標誌+警車/開警示燈 (Trailer +Police w/o Light)。

實驗測試期間，由制服執勤員警駕駛警車停放測試路段右側路肩，於速率顯示標誌鄰近下游處，員警僅於車上待命，不進行取締違規工作。

三、測試實驗設計與資料蒐集

3.1 實驗測試路段

對自動測試照相執法的反應及效果影響，可能因地域不同而有差別，故本研究選擇伊利諾州南北各一處施工路段進行測試，南部路段以鄰近 St. Louis

的 I-64 州際公路東向車流為主，並分上、下午之離峰時段進行測試，北部以芝加哥郊區的 I-55 州際公路北向車流為主，測試調查下午離峰時段車流。兩處的施工路段均為拓寬工程，施工位置均在內側，加設車道，且均為雙向四車道，均有中央分隔護欄與施工區域分隔，路段上僅部分路段有路肩，可提供測試車輛停放。兩施工路段的行車速限均為 55 英哩/小時(88.5 公里/小時)。

3.2 資料蒐集及分析方法

每一個測試區域共有兩組速度及車輛行車間距調查點，其中一組設於速率管制車輛或器材（測速照相車、速率顯示標誌或警車）地點附近（下游 500 英尺），另一組為管制點的下游 1.5 英哩（2.4 公里）處，用以測試車輛通過速率管制路段後的行車速率變化，代表速率管制措施對於整體施工路段的影響情形。速率調查的方式係於路側設立兩參考桿，並以錄影機（隱蔽於路外）進行攝影，相關的管制及調查設備配置如圖 6。

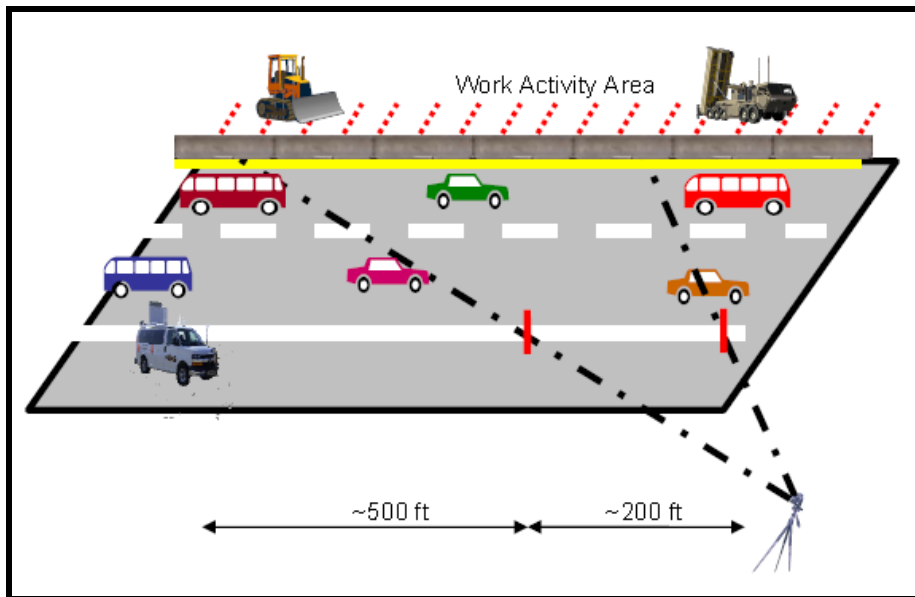


圖 6 速率管制設施調查設備相關位置圖

調查結果後，再觀看錄影帶（每格為 1/30 秒），記錄車輛種類和車輛前方保險桿通過參考桿的時間，配參考桿與攝影機的距離與角度，以及車道的寬度，推估車輛行車速率，並求算車輛間的時間間距，以判定該車輛是否在自由狀況下運行。若車輛的跟車間距超過 4 秒鐘，則該車判定為自由行駛車輛，即屬自由流，不受前車的速率干擾。

因此，總共有三組分析資料，每一個速率控制策略，依設置地點、車流量及執勤人員的時間不等，大約介於 60 到 90 分鐘。另部分以測速照相車及警車的管制策略時於管制車輛離開後，仍繼續蒐集速率資料約 40 到 60 分鐘，用以了解管制策略事後的影響程度。每一處的調查資料中，同時包含了一個時段為無任何管制車輛的空白實驗組，作為比對實施速率控制的效果分析。

資料分析的方式則以車種、行駛車道及自由車流與整體車流，分別進行分析，車種分為一般車輛與大貨車為主，一般車輛包含小汽車、小貨車與大客車，大貨車則以大貨車和各種聯結車。行駛車道則分為內、外側車道；整體的車流則以每第 5 部車輛隨機抽樣方式（不考慮其為自由車流與否，且不分車道）進行分析。

四、測試結果分析

測試資料乃依車種、行駛車道和自由流與否等類別，分別進行分析。由於篇幅的限制，本文僅僅呈現 I-64 公路上午及 I-55 公路下午兩筆資料中，針對管制路段上，自由車流之車輛在不同的速率管制策略下，平均速率的變化及速率分布情形，用以了解自動測速照相與其它相關速率管制措施，對於施工區行車安全的影響。並針對管制措施下游路段的整體車流的速率分布情形加以分析，了解行車管制策略對於整體施工路段的影響。

4.1 速率管制對平均行車速率的影響

調查所得資料，以費雪 LSD 法(Fisher Least Significant Difference)進行統計上的比對檢定，比較在不同的速率管制策略下的平均速率(Mean Speed)是否有顯著的差異（95%顯著水準），並依差異情形，劃分為速率群組，其結果如表 1 所示。不同的速率管制策略下，若平均速率落在同一個群組，代表其平均速率並無顯著差異，若在不同的速率群組，則代表平均速率在不同的管制在統計上，有顯著的差異。

針對伊利諾州南方的 I-64 公路施工區，採用所有的速率管制策略，基本上可明顯降低車輛的平均速率，但對一般車輛影響，以採用速率顯示標誌配合不開警示燈的警車效果最佳，可降低 8.4 英哩/小時（13.5 公里/小時）的平均速率，其它管制策略，除了單獨使用速率顯示標誌外，均可降低大均 6-7 英哩/小時（9.7-11.3 公里/小時）的平均速率。

表 1 行車速率管制策略下平均速率及 LSD 檢定結果

小汽車									
地點	行車管制策略	樣本數	Min	15%	平均速率	減少速率	85%	Max	速率群組
I-64 上午	空白組	119	43.9	52.9	57.0	-	61.3	70.3	A
	速率顯示標誌	136	48.2	52.1	55.9	1.1	60.2	71.3	B
	警車/開警示燈	108	41.3	47.1	50.3	6.6	53.7	62.4	C
	警車/不開警示燈	155	41.3	47.1	50.9	6.1	53.7	68.9	C
	速率標誌+警車/開警示燈	124	38.1	46.3	50.3	6.7	54.5	61.3	C
	速率標誌+警車/不開警示燈	113	40.4	45.1	48.6	8.4	52.1	65.9	D
	自動測速照相車	146	33.4	46.5	50.6	6.4	55.4	63.5	C
I-55 下午	空白組	106	50.7	57.7	63.7	-	69.8	80.7	A
	速率顯示標誌	103	49.2	56.5	61.7	2.0	66.9	77.1	B
	警車/不開警示燈	100	48.9	52.2	55.9	7.8	59.4	64.3	C
	速率標誌+警車/不開警示燈	81	47.6	53.0	56.4	7.2	60.5	68.5	C
	自動測速照相車	102	40.7	51.4	55.9	7.8	60.4	75.9	C
大貨車									
地點	行車管制策略	樣本數	Min	15%	平均速率	減少速率	85%	Max	速率群組
I-64 上午	空白組	40	45.1	50.2	53.7	-	56.9	60.7	A
	速率顯示標誌	43	46.9	49.4	52	1.7	55.0	57.5	B
	警車/開警示燈	41	35	44.5	47.9	5.8	52.5	55.9	E
	警車/不開警示燈	42	43.9	45.8	49.4	4.2	51.7	55.9	C
	速率標誌+警車/開警示燈	36	42.2	45.6	48.6	5.1	51.7	54.1	CD
	速率標誌+警車/不開警示燈	39	39.8	44.1	48	5.7	51.7	56.6	DE
	自動測速照相車	41	43.8	46.9	50.3	3.4	54.1	56.8	C
I-55 下午	空白組	119	40.9	52.7	56.2	-	59.9	65.8	A
	速率顯示標誌	91	48.6	54.3	57	-0.8	59.4	64.6	A
	警車/不開警示燈	95	45.6	51.7	54.1	2.1	56.5	60.3	B
	速率標誌+警車/不開警示燈	98	42.2	50.2	52.9	3.3	55.6	63.7	C
	自動測速照相車	99	43.3	48.6	52.3	3.9	55.3	63.8	C

採用速率 LED 顯示標誌，雖然在統計上可明顯降低行車速率，但僅減少約 1 英哩/小時 (1.6 公里/小時) 的平均速率，實際上的效果不大。對於大貨車的影響，在統計上也均有明顯的降低平均速率，其中以採取開警示燈的警車，以及速率標誌配合不開警示燈的警車速率管制策略，效果最為明顯。在北部的 I-55 施工路段上，各種速率管制對於一般車輛的行車速率均有顯著的影響，在統計上採用不開警示燈的警車、速率標誌配合警車、以及自動測速照相的策略均可達到同樣的降低速率效果。對於大貨車的影響則以自動測試照相的效果最大，可降低 3.9 英哩/小時 (6.3 公里/小時) 的平均速率。採用速率顯示標誌僅對一般車輛有影響，對於大貨車並無顯著的影響。

整體而言，在各種行車速率管制策略中，以採用速率顯示標誌配合不開警示燈的警車駐守策略，效果最佳，對一般車輛可減少大約 7-8 英哩/小時 (11.3-12.9 公里/小時)、大貨車約為 3-6 英哩/小時 (4.8-9.7 公里/小時) 的平均速率。採用自動測速照相車輛策略在此測試施工路段，則以明顯降低大約 6-8 英哩/小時 (9.7-12.9 公里/小時) 的一般車輛及 3-4 英哩/小時 (4.8-6.4 公里/小時) 的大貨車平均行駛速率。

4.2 速率管制對速率分布的影響

若將所有調查的速率資料，依速率及發生次數百分比加以累積，可求得速率累積百分比分布圖。圖 7 為 I-64 公路施工區上午內側車道一般車輛的自由流車輛累積速率分布圖，可明顯發現，在無任何速率管制或採速率顯示標誌策略下，超過 50% 的車輛行車速率均大於行車速限 (55 英哩/小時；88.5 公里/小時)。採用速率標誌配合不開警示燈的警車駐守策略，累積速率曲線座落在圖的最左邊，較低的速率範圍內，超過 90% 的一般車輛速率均低於行車速限，且其斜率也最為陡峭，代表在此控制策略下，大部分的車輛行車速率均明顯下降，且車流間的速差也較小，對行車安全的改善，有明顯的改善。

其它管制策略，除了單獨使用速率顯示標誌策略外，速率分布均非常類似，明顯較無任何管制策略的速率較低，超過 85% 的車輛速率均低於行車速限。採用速率顯示標誌策略，速率分布亦有左移情況，惟其差異並不明顯。

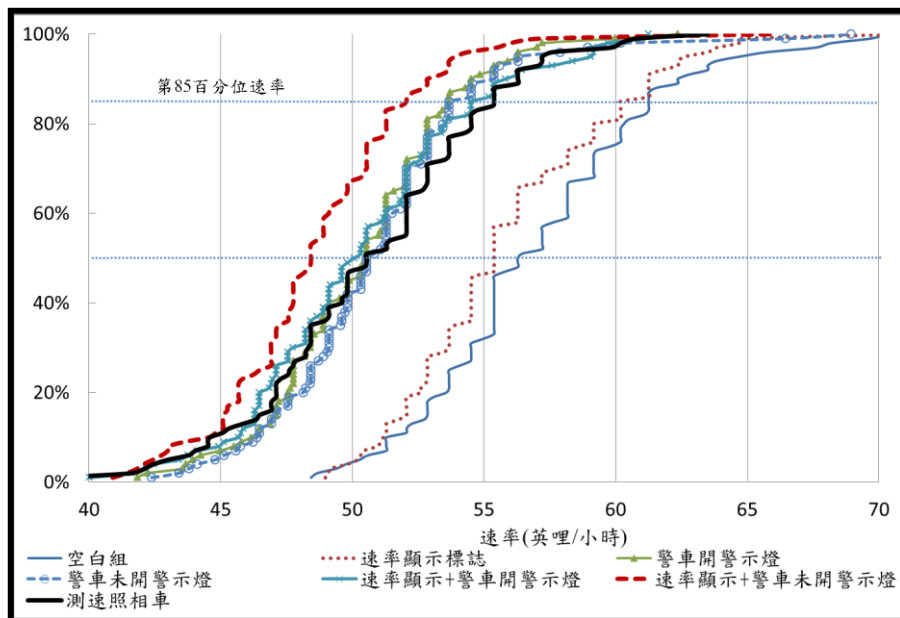


圖 7 各種速率管制策略下車輛速率分布 (I-64 上午內側車道自由流一般車輛)

由圖 8 中有關 I-55 公路的速率分布可明顯發現，在此施工路段的行車速率普遍偏高，在無任何速率的管制策略下，接近 100% 在內側車道的自由流一般車輛均速率均高於行車速限(55 英哩/小時；88.5 公里/小時)，在各種速率管制策略下，依舊有 50% 的車輛行駛速率行車速限。

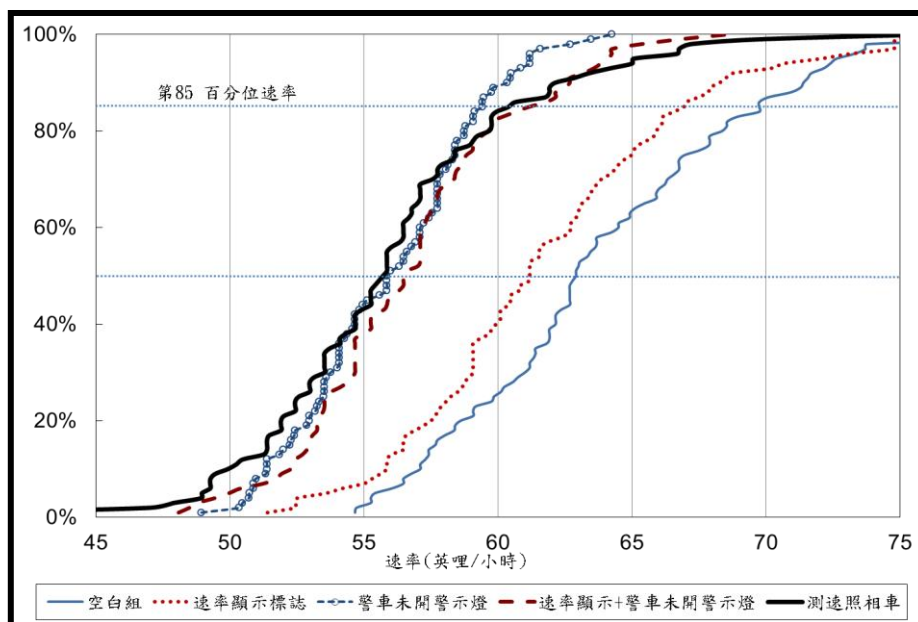


圖 8 各種速率管制策略下車輛速率分布(I-55 下午內側車道自由流一般車輛)

但除了單獨使用速率顯示標誌外，採用自動測速照相、警車駐守或警車配合速率標誌等策略，大部分(超過 85%)的車輛均行駛於 60 英哩/小時 (96.6 公里/小時) 速率以下，特別是採速率標誌配合警車駐守策略，超過 90%的車輛行駛速率均小於 60 英哩/小時 (96.6 公里/小時)。或許是大部分駕駛人對於超速的舉發有 5 英哩/小時 (8.0 公里/小時) 寬限的認知有關。

4.3 速率管制對整體施工路段的影響

除了速率管制器材設置地點的速率調查之外，本研究亦調查其管制措施 (器材) 地點下游施工路段內約 1.5 英哩 (2.4 公里) 的車輛整體行車速率，期以了解速率管制措施對於整體施工路段的平均速率的變化及其分布情形。表 2 列出在不同速率管制策略下，整體平均速率與 LSD 檢定速率群組結果，其中部分策略於測試期間，該路段施工因素影響車流，不列入分析。

表 2 速率管制器材設置地點下游平均速率與 LSD 檢定速率群組

地點	行車管制策略	小汽車				大貨車			
		樣本數	平均速率	減少速率	速率群組	樣本數	平均速率	減少速率	速率群組
I-64 上午	空白組	160	58.7	-	AB	43	58.2	-	A
	速率標誌+ 警車/開警示燈	200	59.2	-0.5	AB	38	57.7	0.4	A
	速率標誌+ 警車/不開警示燈	194	59.5	-0.7	A	28	57	1.2	AB
	自動測速照相車	222	58.0	0.7	BC	63	55.6	2.6	BC
I-55 下午	空白組	407	58.9	-	B	138	56.8	-	A
	速率顯示標誌	451	59.8	-0.9	A	133	57.3	-0.5	A
	警車/不開警示燈	377	59.2	-0.3	AB	127	57.4	-0.6	A
	速率標誌+ 警車/不開警示燈	420	58.9	0.0	B	164	56.5	0.3	A
	自動測速照相車	350	57.7	1.2	C	139	55.5	1.3	B

車輛在通過速率管制措施地點 1.5 英哩 (2.4 公里) 後，大部分的車輛行車速率都明顯的提高，在 I-64 公路施工路段，一般車輛的平均速率與在無管制策略下的平均速率並無顯著不同，對於大貨車，僅在採用自動測速照相時，平均速率有顯著的降低 2.6 英哩/小時(4.2 公里/小時)。在 I-55 公路施工路段，

則僅採用自動測速照相，可顯著降低一般車輛平均速率 1.2 英哩/小時 (1.9 公里/小時)、大貨車 1.3 英哩/小時 (2.1 公里/小時)。其它的管制策略，並無明顯的降低行車速率。

圖 9 至圖 12 分別顯示大、小車在兩個施工路段的整體行車速率分布。很明顯地可以發現，在 I-64 公路施工路段，幾乎 80% 的車輛行車速率都大於行車速限(55 英哩/小時；88.5 公里/小時)，但也可清楚看出，採用自動測速照相策略，整體的速率分布大部分在左邊，代表較低的行車速率，超過 70% 的一般車輛行車速率都維持在 60 英哩/小時 (96.6 公里/小時) 以內。特別是自動測速照相策略對於大貨車的影響，不僅平均速率降低，速率的分布也較為集中，且超過 90% 的大貨車均行駛於 60 英哩/小時 (96.6 公里/小時) 以內，高於採用其它管制或無管制策略的比率 (約 70%)。利用 Kolomogorov-Smirinov 法對速率分布累積曲線比對檢定結果，採用自動測速照相策略時，下游的車輛行車速率分布，與在無行車管制下的行車速率分布，有顯著的不同。採其它策略時的下游路段速率分布，基本上與無管制策略時無顯著差異。

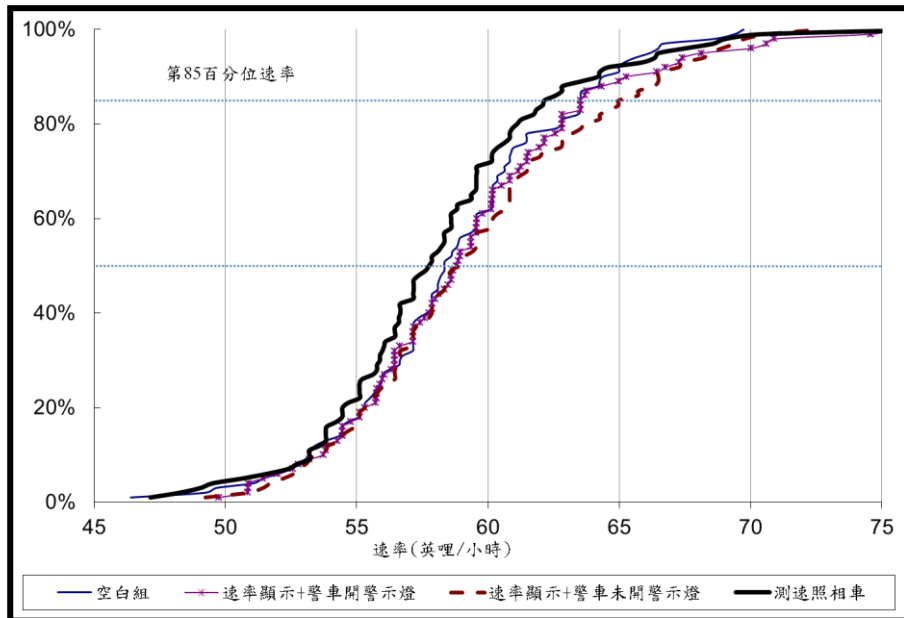


圖 9 I-64 管制策略路段下游一般車輛整體速率分布

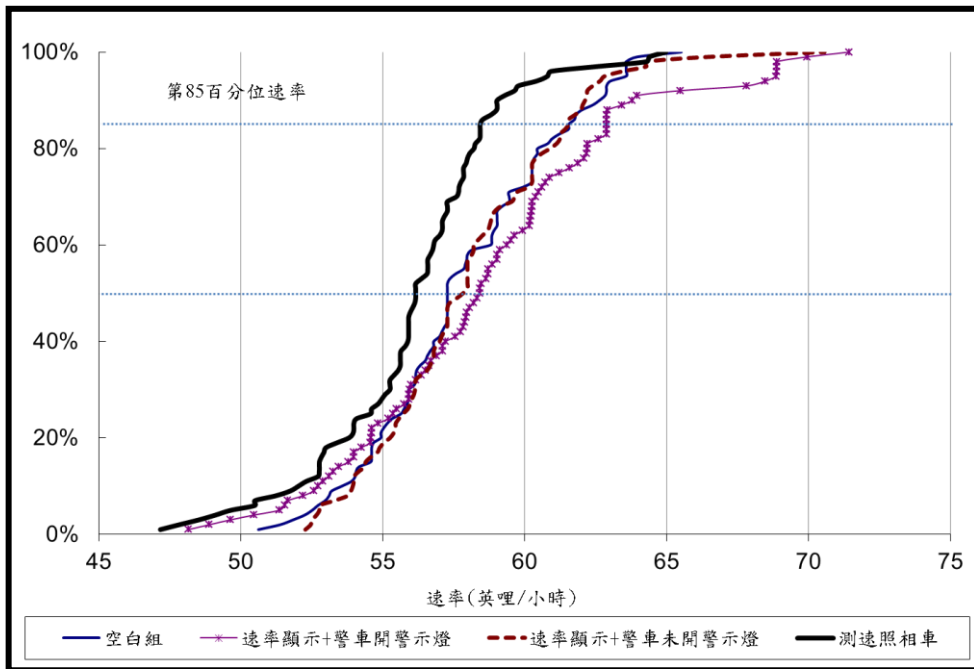


圖 10 I-64 管制策略路段下游大貨車整體速率分布

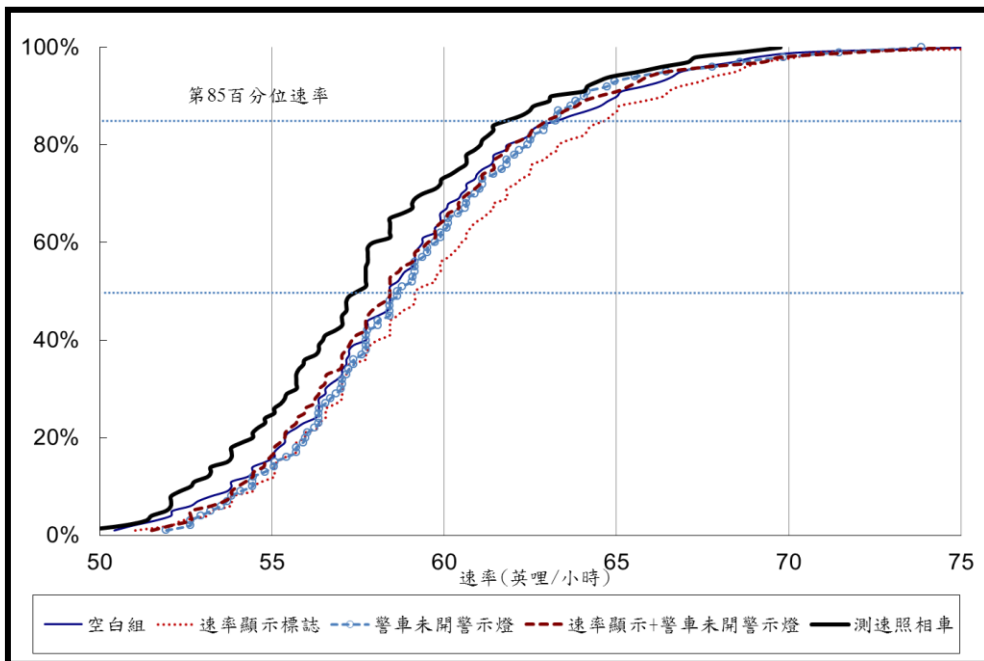


圖 11 I-55 管制策略路段下游一般車輛整體速率分布

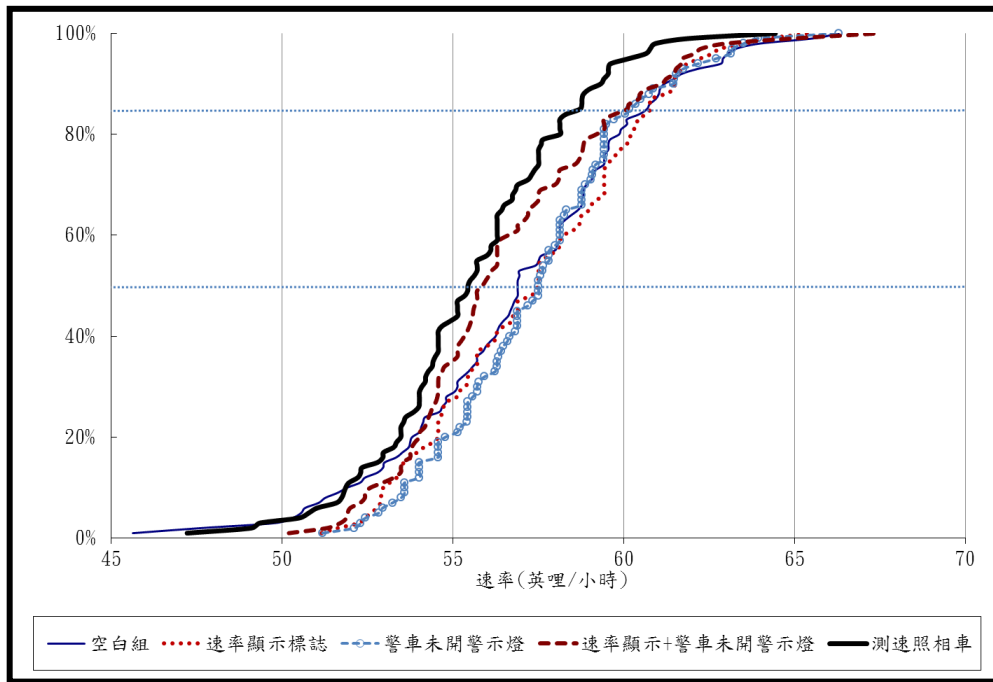


圖 12 I-55 管制策略路段下游大貨車整體速率分布

在 I-55 的施工路段，行車速率管制策略對於下游路段的小型車僅在採自動測速照相策略時，有較明顯的效果，速率分布很明顯地落在整體的左邊，速率超過行車速限(55 英哩/小時；88.5 公里/小時)的比率也降低約 10%。若以超過 60 英哩/小時為超速取締標準，則約有 30% 一般車輛行車速率大於 60 英哩/小時(96.6 公里/小時)，低於無管制策略的 40 英哩/小時的比率（約 60%）。自動測速照相策略對於大貨車的影響則更為顯著，大約 95% 的大貨車的行車速率，均能維持在 60 英哩/小時（96.6 公里/小時）。採用速率顯示標誌配合警車駐守策略，雖然在降低平均速率並不明顯，但卻大貨車的行車速率集中在 55 英哩/小時（88.5 公里/小時）與 60 英哩/小時（96.6 公里/小時）之間，有效減少車輛間速差間距，對增進交通安全有相當的助益。

綜合上述的結果分析，在施工路段採用自動測速照相策略，對於整體施工路段（管制器材地點下游）內一般車輛的平均行車速率影響並不特別明顯，但在整體的速率分布上，則可降低車輛超速的比率。特別是在對於大貨車的影響，除了可明顯降低約 1-3 英哩/小時（1.6-4.8 公里/小時）的平均速率外，亦可降低整體的速率分布，減少大貨車之間的速差，並明顯降低超速比率。其它的速率管制策略，基本上，對於管制設施地點以外的施工路段的行車速率，並無顯著的影響。

另比較兩個測試路段的速率差異影響，在無任何速率管制措施下，北部 I-55 路段的行車速率和超速比率均較南部的 I-64 施工區路段明顯高出許多，

然而兩處的施工區行車速限均為 55 英哩/小時 (88.5 公里/小時)，為原行駛速率均為 65 英哩/小時 (104.6 公里/小時)，顯示在訂定施工區的速限時，須考慮施工區的範圍、施工內容其他影響安全的可能因素，符合實際行車需求，確保行車安全。

其它針對應用自動測試照相對於施工區路段超速、後續時間、空間的影響，以及車輛行車間距，Ali *et al.* (2011)發現在施工區設置自動測速照相可降低 8.7% 的車輛，其行車速率超過速限 10 英哩/小時 (公里/小時)。Medina *et al.* (2009)則發現車輛在通過自動測速點後 1.5 英哩 (2.4 公里) 的下游路段，仍可降低 2 至 3.8 英哩/小時 (3.2-6.1 公里/小時) 的小汽車平均速率，以及 0.8-5.3 英哩/小時 (1.3-8.5 公里/小時) 的大貨車平均速率；Wang 等人(2011)則發現，自動測速照相的出現並不會明顯減少車輛的行駛間距(headway)，但會增加車輛變換車道的頻率。另外，根據伊利諾州交通局的新聞資料(Illinois Department of Transportation, 2009)，自從 2006 開始使用自動測速照相措施於施工區段取締超速違規至 2009 年，已經減少約 50% 的事故死亡率。

五、結論與建議

依據實地測試的結果，於公路施工路段上，採用各種行車速率管制策略，除了單獨使用速率顯示標誌策略外，均可明顯降低管制路段上約 4-8 英哩/小時 (6.4-12.9 公里/小時) 的一般車輛平均速率，及 3-7 英哩/小時 (4.8-11.3 公里/小時) 的大貨車平均速率，亦可降低車輛超速的比率，其中又以自動測試照相以及速率顯示標誌配合警車駐守的策略，效果較佳。但對於整體施工路段的行車速率，僅以採自動測速照相策略時，有顯著影響，特別是對於整體的行車速率分布，可降低車輛違規超速的比率，亦可縮小車輛間的速率差距，其中又以對大貨車的影響最為顯著，對於提昇整體施工路段的行車安全，有顯著的效果。

以自動測速照相舉發違規在臺灣已行之多年，然而在道路施工路段上執行的情形並不多見，包括採用何種行車速率管制策略，以及策略實施前後的相關測試與評估均甚為缺乏，故本文乃藉由美國伊利諾州對於採用自動測速照相的施設過程及其相關設備介紹，並且呈現各種行車速率管制策略的實地測試結果，期能提供國內執法及公路管理單位，在執行施工區行車管制及執法策略的參考依據。另施工區道路在訂定速限時，須考慮施工區的範圍、施工內容及其他影響安全的可能因素，以符合實際行車需求，確保行車安全，未來研究可針對國內道路施工區速限訂定準則及相關執法策略的效益評進行比較分析。

參考文獻

- 王銘亨、朱和貴、林志展(2013)，固定自動測速照相執法對高速公路行車速率與事故之影響分析，2013年道路交通安全與執法研討會論文集，頁251-262。
- 陳弘霖(2005)，測速顯示器之減速成效評估，交通大學運輸科技與管理學系碩士論文。
- Benekohal, R. F., Hajbabaie, A., Medina, J. C., Wang, M. H., and Chitturi, M. (2009a), "Speed Photo-Radar Enforcement evaluation in Illinois Work Zones," Final Report No. FHWA-ICT-10-064, Illinois Department of Transportation.
- Benekohal, R. F., Wang, M. H., Chitturi, M., Hajbabaie, A., and Medina, J. C. (2009b), "Speed Photo-Radar Enforcement and its Effects on Speeds in Work Zones." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2096, pp. 80-97.
- Cerelli, E.C. (1981), "Safety Consequences of Raising the National Speed Limit from 55 mph to 60 mph." NHTSA, U.S. Department of Transportation.
- Chen, G., Wilson, J., Meckle, M., and Cooper, P. (2000) "Evaluation of Photo Radar Program in British Columbia," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 32, No. 4, pp.517-526.
- Chen, G., Wilson, J., and Meckle, P. (2002) "Speed and Safety Effect of Photo Radar Enforcement on a Highway Corridor in British Columbia," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 34, No. 2, pp.129-138.
- Elvik, R. (1997) "Effects on Accidents of Automatic Speed Enforcement in Norway," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1595, pp.14-19.
- Garber, N. J. and Gadiraju, R. (1989) "Factors Affecting Speed Variance and its Influence on Accidents," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1213, pp. 64-71.

- Garber, N. J. and Woo, T. H. (1990), "Accident Characteristics at Construction and Maintenance Zones in Urban Areas," Report VTRC 90-R12, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, VA, USA.
- Goldenbeld, C. and Van Schagen, I. (2005) "The Effects of Speed Enforcement with Mobile Radar on Speed and Accidents: an Evaluation Study on Rural Roads in the Dutch Province Friesland," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 37, No. 6, pp.1135-1144.
- Hess, S. (2004) "Analysis of the Effects of Speed Limit Enforcement Cameras: Differentiation by Road Type and Catchment Area," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1865, pp.28-34.
- Hess, S. and Polak, J. (2003) "Effects of Speed Limit Enforcement Cameras on Accident Rates," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1830, pp.23-33.
- Hajbabaie, A., Wang, M. H., Medina, J. C., Chitturi, M. V., and Benekohal, R. F. (2011), "Sustained and Halo Effects of Various Speed Reduction Treatments in Highway Work Zones," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2265, pp.118-128.
- Illinois Department of Transportation (2009), Tollway and State Police Urge Drivers to Comply with Posted Speed Limits, Press, Restrieved June 24, 2009, <http://www.dot.state.il.us/press/r062409.html>.
- Keall, M. D., Povey, L. J., and Frith, W. J. (2001) "The Relative Effectiveness of a Hidden Versus a Visible Speed Camera Programme," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 33, Issue 2, pp.277-284.
- Keall, M. D., Povey, L. J., and Frith, W. J. (2002) "Further Results Fom a Trial Comparing a Hidden Speed Camera Programme with Visible Camera Operation," *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 34, No. 6, pp.773-777.
- Medina J. C., Benekohal, R. F., Chitturi, M., Wang, M. H., and Hajbabaie, A. (2009) "Downstream Effects of Speed Photo Enforcement and Other Speed Reduction Treatments on Work Zones." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2107, pp24-33.
- Pisarski, A. E. (1986), "Deep-Six 55." Reason Foundation, Vol. 17, No.6, pp. 32-35.

Pilkington, P. and Kinra, S. (2005) “Effectiveness of Speed Cameras in Preventing Road Traffic Collisions and Related Casualties: Systematic Review and Appendices,” *British Medical Journal*, Vol. 330, No. 7487, pp.331-334.

Rouphail, N. M., Yang, Z. S., and Frazio, J. (1988) “Comparative Study of Short- and Long-Term Urban Freeway Work Zones.” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1163, pp. 4-14.

Ministry of Transport and Communications (1974) *Speed and Accidents: A Preliminary Report*, Ontario, Canada.

Traffic Safety Facts (2005), “NHTSA, U.S. Department of Transportation,” Retrieved Dec 1 2013, website: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/TSF2005.PDF>.

Thomas, L. J., Srinivasan, R., Decina, L. E., and Staplin, L. (2008) “Safety Effects of Automated Speed Enforcement Programs Critical Review of International Literature,” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1213, pp.117-126.

Wilson, C., Willis, C., Hendrikz, J. K., and Bellamy, N. (2006) “Speed Enforcement Detection Devices for Preventing Road Traffic Injuries,” *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 2, Art. No. CD004607, DOI: 10.1002/14651858.CD004607.pub2.

Wilson, C., Willis, C., Hendrikz, J. K., Le Brocque, R., and Bellamy, N. (2010) “Speed Cameras for the Prevention of Road Traffic Injuries and Deaths,” *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 11, Art. No. CD004607, DOI: 10.1002/14651858.CD004607.pub4.

Wang, M. H., Benekohal, R. F., and Ramezani, H. (2011) “Safety and Headway Characteristics Analysis in Highway Work Zones with Automated Speed Enforcement,” *Advances of Transportation Studies— an International Journal*, issue XXIII, pp.67-76.

(收稿2013/12/14，第一次修改2014/11/11，定稿2015/3/28)