

號誌化路口行人早開時相與控制策略之研究

范俊海 符人懿

(淡江大學運輸管理系 台灣 新北 25317)

摘要 以行人早開時相為切入點,嘗試讓部分行人流能夠安全地通過路口之人車衝突區域,以兼顧安全與效率。為了充分了解人車特性,針對行人步行速率,行人起動延滯與車輛右轉與行人衝突之特性進行研究調查。另外為了瞭解在實行人早開時相之過程中,不同早開長度影響衝突行人數多寡,故以行人在行人穿越道之擴散模式為基礎,推估綠燈時間行人穿越道衝突區衝突行人數之預測模式,以充分掌握行人可能受車輛衝突之狀況。在個案研究中,以成本之概念將延滯與衝突統一單位進行比較,發現行人早開時相在行人流每小時1000人以下之情境下,較行人專用時相之成本低。而在車流量接近道路容量的情形下,不適合使用長度較長之行人早開時相或行人專用時相,建議採用較短(4s)之行人早開時相。右轉轉向比小於0.1時,行人早開時相運作成本較低。當右轉比大於0.1時,由於右轉車輛將嚴重與行人流衝突,使得人車衝突成本增高,行人專用時相因無人車衝突成本,故適用於此情境。而在多車道環境下需採用行人早開控制,且右轉比小於0.4時,建議可以採用獨立之右轉專用車道與右轉專用號誌時相,以減少直行車無謂之延滯。

关键词 行人早開時相;行人專用時相;行人擴散;人車衝突;延滯成本

中图分类号:U491.5+4 **文献标志码:**A **DOI:**10.3963/j. ISSN 1674-4861. 2011.06.010

欲消除交叉路口處行人與車輛動線交織的問題,最有效的方法即為空間上的區隔,將行人與車輛動線以土木工程的手段予以完全隔離。亦可從管理面尋求減少路口人車交織的辦法,其中實行人專用時相(exclusive pedestrian phase)所造成的影響最大,行人專用時相可以從時間面完全分離人車動線,提供路口行車號誌全紅且行人綠燈之時相,增進安全效益又兼顧行人穿越路口的舒適與便利,營造優質行人步行環境。但行人專用時相增加一個時相數,影響道路效率,容易造成車輛壅塞。又實行人專用時相反而使得行人等候時間增加,行走時間變短,需審慎評估。

本研究不尋求人車動線之完全分隔,而能夠於時間面,部分(partial)分離人車動線,保障行人穿越路口之安全。在行人號誌設計中,行人早開時相(leading pedestrian interval, LPI)是一種可以考慮的控制型態,行人早開時相係同向之行人綠燈時相提前於行車綠燈時相若干秒前啟動,使行人能夠有足夠時間先行進入或提前離開衝突區域,以減少危險,但實際上路口並未增加時相,故實行人早開時相對於路口運轉績效之影響,相

較於行人專用時相較低。

1 文獻回顧

擴散(diffusion)係分子透過隨機分子運動從高濃度區域向低濃度區域的傳播,結果是完全混合或達到一種平衡狀態^[1]。行人的擴散現象係行人在行人號誌未開時,於路口緣石等候,此時在緣石之行人密度高,而行人穿越道由於無行人,故密度為0。行人號誌啟動後,行人從高密度之緣石進入低密度之行人穿越道範圍內,發生擴散現象^[2],直到行人流呈現均勻分布於行人穿越道或行人流離開行人穿越道為止。

行人號誌依時相設計方式,分為人車共用時相(即傳統控制),行人早開(leading pedestrian interval, LPI),行人遲開(lagging)與行人專用時相(exclusive pedestrian phases)等4種^[3,6-7,9]。

行人專用時相是一種為了保護行人的安全,在號誌化路口設置的一種號誌時制計畫。號誌運作有一段時間,對所有方向車輛顯示紅燈,禁止通行,對行人則顯示綠燈,可以行進,甚至能直接對角穿越,完全分離人車,確保行人安全。

收稿日期:2011-05-12 修回日期:2011-09-21

第一作者简介:范俊海(1958),副教授.研究方向:智慧執法系統(IES)的開發. E-mail:chunhai@mail.tku.edu.tw

其優點為消除了行人穿越道上的行人和同方向的右轉車輛互相爭道之衝突因子。但由於新增加了行人專用時相，導致車輛所獲得的綠燈時間減少，容易造成堵塞，且行人在完整的號誌週期中僅有行人專用時相允許穿越路口，亦造成行人等候過久的問題。

行人早開時相係指在行車號誌綠燈放行前若干秒，先行允許行人穿越路口，以避免潛在的人車衝突。國內外針對行人早開時相之相關研究相當

少見，其中以 Houten 等^[8]之研究屬詳盡，Houten 參考行人起動延滯之長度，將行人早開長度定為 3 s，其選擇美國佛州聖彼得堡

St. Petersburg 4 處路口進行實驗，比較實施長度 3 s 之行人早開時相前後之特性差異。實驗結果發現實施 3 s 行人早開時相後，行人與轉彎車輛的衝突有所減少，行人讓行轉彎車輛的發生率也同步下降，實施之成效如表 1 所示。

表 1 各衝突區域衝突行人量預測模式適用情境
 Tab. 1 The prediction models of pedestrian volume at conflict areas (人·h⁻¹)

行人流方向	公式	適用流量
右轉衝突區順向	$d=0.079x^3 - 3.795x^2 + 43.06x + 19.889$	1 000
	$d=0.019x^3 - 0.952x^2 + 11.794x - 6.142$	500
	$d=0.034x^3 - 1.567x^2 + 16.003x - 39.484$	600
	$d=0.021x^3 - 1.297x^2 + 14.485x + 11.258$	400
	$d=0.021x^3 - 1.297x^2 + 14.485x + 11.258$	200
	$d=0.043x^3 - 2.194x^2 + 28.536x - 31.644$	800
	$d=-0.016x^3 + 0.921x^2 - 11.896x + 30.889$	1 000
右轉衝突區逆向	$d=-0.008x^3 + 0.464x^2 - 6.218x + 16.7$	500
	$d=-0.021x^3 + 0.832x^2 - 6.507x + 9.729$	600
	$d=-0.01x^3 + 0.471x^2 - 4.953x + 10.744$	400
	$d=0.004x^3 + 0.21x^2 - 2.519x + 6.16$	200
	$d=-0.005x^3 + 0.359x^2 - 5.033x + 14.018$	800
	$d=0.039x^3 - 2.78x^2 + 52.593x - 141.833$	1 000
	$d=-0.006x^3 - 0.082x^2 + 8.437x - 31.210$	500
左轉衝突區順向	$d=0.026x^3 - 1.501x^2 + 23.831x - 54.76$	600
	$d=-0.01x^3 + 0.471x^2 - 4.953x + 10.744$	400
	$d=-0.002x^3 + 0.036x^2 + 1.153x - 5.427$	200
	$d=0.003x^3 - 0.418x^2 + 10.517x - 32.125$	800
	$d=-0.016x^3 + 0.921x^2 - 11.896x + 30.889$	1 000
	$d=-0.004x^3 - 0.094x^2 + 9.872x - 45.914$	500
	$d=0.004x^3 - 0.406x^2 + 9.268x - 26.656$	600
左轉衝突區順向	$d=-0.002x^3 + 0.102x^2 - 0.267x - 2.071$	400
	$d=-0.003x^3 + 0.090x^2 - 0.315x - 0.495$	200
	$d=-0.007x^3 + 0.364x^2 - 2.606x + 1.531$	800

2 模式構建

經本研究之觀察發現，行人穿越道上各衝突區域之行人擴散模型類似於多次曲線之型式，存在高峰，次高峰與反曲點，故本研究利用 SPSS 統計軟體，嘗試以多次曲線模式構建行人穿越道上各衝突區域之衝突行人量預測模式如表 1。

「衝突」本身定義與調查有其困難，其中以人車衝突最為複雜，本研究已推導出衝突區行人量預測模式。林良泰等^[4-5,10]建立的單車道期望交叉衝突量模式作為人車期望衝突模式，為便利後續分析之過程，本研究亦將利用式(1)之模式：

$$E(TC) = \frac{(N + X)!}{(X - 1)!(N + 1)!}$$

$$\times \frac{(0 + N)(N + 1)}{2} \times \frac{X!N!}{(N + X)!} = \frac{NX}{2} \quad (1)$$

式中： N 為被交叉的流動行人數； X 為欲交叉的流動車輛數； K 為車流路口交叉衝突量； TC 為總車流交叉衝突量。

3 模式應用

本章將針對台北市忠孝東路，昆陽街口與忠孝東路，復興南路口進行情境分析，本研究選定以忠孝東路，昆陽街口為背景進行行人流量，車流量，開放左轉之情境分析，另於忠孝東路，復興南路口為背景進行右轉比情境分析，其中行人流量將引用衝突區域行人數預測模式及人車期望衝突模式，假設從 200、400、600、800 及 1 000 人/h 共

5種情境；車流量以每車到單位小時車輛設定，假設每車道流量從100~400 pcu/(ln·h)共4種情境；開放左轉係設定從600人/h及800人/h共2種情境下，左右轉流量固定時各種控制策略之影響。

右轉比分析方面，以0.1~0.5分為5種情境予以分析。而控制策略依行人啟動延滯之調查成果定為4s及其倍數8、12、16s與20s以及早開0s(人車共用)與行人專用時相，合計7種策略運用。行人早開時相之設計以不更動號誌週期為原則，係以減少車輛綠燈長度，行人綠燈長度不變之情形下，達到早開的效果。

本研究假設等候車隊之第1輛車為右轉車輛，自綠燈開啟，經右轉時間約4s方能夠進入人車衝突區，故在估算時係以行人早開之長度再加上4s起計算衝突人數及期望衝突人數，舉例而言，早開4s即自第8s起算衝突區域內衝突人數至第30s為止，依次類推。

成本估算方面，本研究引用翁燕芬^[9]之研究成果，增加一個人車期望衝突成本為0.1531元；增加一單位(s/人)行人停等延滯成本為0.1092元；增加一單位(s/輛)車流停等延滯成本為0.0546元。在不同行人量情境中，北往南車流量定為200 pcu/(ln·h)，右轉轉向比依照臺北市交工處現況調查設為0.3。行人量假設從200、400、600、800及1000人/h共5種情境。

圖1(b)為不同行人量情境下之運轉成本單因子分析，本研究發現在行人量為800人/h以下時，行人早開20s之方案係總體成本最低之控制策略，而在行人量為800人/h以上時，成本最低之控制策略為早開16s，而超過800人/h時，成本最低之控制策略為實施行人專用時相，次低為行人早開20s時相，故800~1000人/h可視為行人專用時相與行人早開20s之臨界點，其後行人專用時相將取代行人早開20s為成本最低之控制策略。

在不同車流量情境中，行人穿越量設定為600人/h。車輛右轉轉向比依照臺北市交工處現況調查設為0.3，假設每車道流量從100~400 pcu/(ln·h)共4種情境。

圖1(a)為不同行人量情境下之運轉成本單因子分析，若不考慮道路服務水準下，行人早開20s之方案係總體成本最低之控制策略，次佳控制策略方面，在300 pcu/(ln·h)以下係以行人早

開16s之方案為次佳，而300 pcu/(ln·h)以上，行人早開16s與行人專用時相之總體運轉成本幾乎相等。

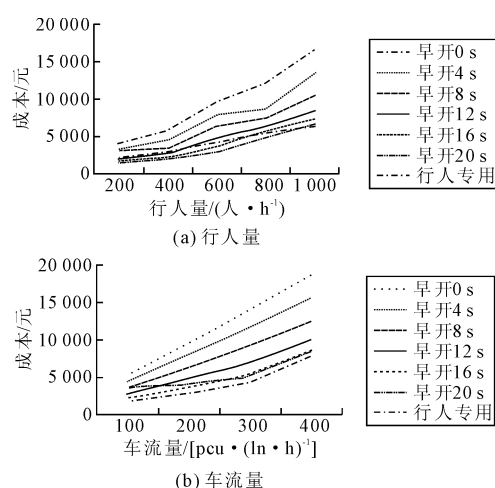


圖1 實施各類控制方案下運轉總成本單因子分析
Fig. 1 Cost comparison under different strategies

在車流量接近道路容量時，因車輛延滯對路口運轉成本造成的影響將大於人車衝突造成之影響，故在車流量大時，並不適用控制強度較強之長早開時相或行人專用時相。考慮路口服務水準之情形下，已達到F級劣等水之方案應剔除不予考慮，故車流量為300 pcu/(h·ln)建議採用行人早開12s，400 pcu/(h·ln)時建議採用行人早開4s。

4 結論與建議

1) 本研究利用現場調查資料建構每小時各區域之行人每秒擴散情形。其呈現多次曲線之型態。並依分區，行人流方向，行人流量等特性分別分析，推導共24組多次曲線多項式，作為各時間內行人穿越道線各區域衝突量之預測模式，且各模式均有不錯的相關係數(R-square)值，絕大多數可達中度相關，惟部份模式仍有低估之情況。

2) 在行人流量分析中，在未開放左轉時，本研究發現在行人量為800人/h以下時，成本最低之控制策略為行人早開20s，成本次低之控制方式為早開16s，而超過800人/h時，成本最低之控制策略為行人專用時相，次低為行人早開20s，故800人/h可視為行人專用時相與行人早開20s之方案臨界點。故行人早開時相建議使用於每小時行人量低於1000人之環境，大於每小時1000人之環境則建議優先採用行人專用時相。

3) 在車流量接近道路容量時，因車輛延滯對路口運轉成本造成的影響將大於人車衝突造成之

影響,故在車流量大時,並不適用控制強度較強之長早開時相或行人專用時相。在流量接近容量之300 pcu/(ln·h)建議採用行人早開12 s,400 pcu/(ln·h)時建議採用行人早開4 s,以求減少人車衝突。

4) 本研究已針對北市多處不同區位與不同幾何設計之路口進行調查與分析,但仍力有未逮。後續相關研究可針對多種道路幾何設計,路口寬度以及在其他縣市,地區進行調查與分析比較。

5) 擴散模式中,逆向行人流受到行人穿越道線半幅寬度之影響,抵達人車衝突區間之速度與距離均不盡相同,未來可針對此現象進行研究,包括進行不同路寬之擴散模型比較,或針對不同路寬之狀況設定修正因子(factor)。

參考文獻

- [1] Bejan A, Merkkx G W. Constructal theory of social dynamics[M]. New York: Springer Science + Business Media, 2007.
- [2] 黃厚淳. 設置行人專用時相對車輛與行人延滯影響之研究[D]. 台北: 台灣交通大學交通運輸研究所, 2004.
- [3] Abrams C M, Smith S A. Selection of Pedestrian Signal Phasing[J]. Transportation Research Report, 1977(629):1-6.
- [4] Zeeger C V, Randolph D A, Flak M A, et al. Use of Pedestrian Conflicts Analyses for Hazard Assessment in School Zones[J]. Transportation Research Report, 1980(743):4-11.
- [5] 詹丙源. 以交通衝突理論分析交叉路口及研擬改善策略之研究[D]. 台灣: 台灣中央警察大學警政研究所, 1990.
- [6] U S. Department of Transportation, Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)[R]. Washington D. C, US: Federal Highway Administration, 2001.
- [7] 陳俊堯. 行人專用時相設置準則之研究[D]. 台北: 台灣交通大學, 2006.
- [8] Houten R V, Retting R A, Farmer C M, et al. Field Evaluation of leading pedestrian interval single phase at three urban intersections[J]. Transportation Research Report, 2000(743):86-92.
- [9] 翁燕芬. 獨立路口行人專用時相之研究[D]. 台北: 台灣大學, 2002.
- [10] 林良泰, 朱純孝, 吳淵展. 以期望值觀點推導路口衝突量[J]. 運輸學刊, 1996, 10(3):21-38.

Pedestrian Leading Phase Interval and Control Strategy of the Traffic Signal at Intersections

FAN Chunhai FU Renyi

(Department of Transportation Management, Tamkang University, New Taipei City 25317, Taiwan, China)

Abstract: This study, based on leading pedestrian interval (LPI), tries to make part of the pedestrian flow safely through the intersection of the conflict zone by taking the safety and efficiency into account. In the case studies, the paper finds out that the LPI is useful when there are less than 1000 per hour on the crosswalk, and the cost of LPI is lower than pedestrian phase. When the traffic is close to the road capacity in the case, it is not suitable for long length LPI or pedestrian phase. In this case, a shorter (4 seconds) LPI for pedestrian is recommended. When the right turning ratio is less than 0.1, the LPI will lower operating costs. When the right turning ratio is greater than 0.1, there will be a serious conflict for the right turning vehicles with the pedestrian flow, which makes the costs of conflict higher. It is applicable to pedestrian phase due to the low cost of conflict. In the multi-lane environments the use of LPI control is required. When the right turning ratio of less than 0.4, the exclusive right turning lanes and exclusive right turning signal phase can be used in order to reduce unnecessary travel delay.

Key words: leading pedestrian interval; pedestrian phase; pedestrian diffusion; conflict between vehicles and pedestrians; delay cost