

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

在市區道路的號誌化交叉路口，當行人交通量達到一定程度後，行人穿越路口與轉向車流將相互干擾；除影響道路容量及服務水準外，轉向車輛行車與行人動線交織，亦威脅行人安全及增加肇事率。有鑑於行人路權優先觀念的提昇，暨保護特殊弱勢行人如：學童、老年人及傷殘人士等，台北市政府近年來先後於市中心商業區、學校、醫院、公園及行人徒步區週邊等全市 88 個路口（截至 94 年 11 月 30 日止），設置行人專用時相 (exclusive pedestrian phases)。

行人專用時相雖可完全分離人車動線，提供全路口行人綠燈而行車號誌全紅之時相；允許包括路口對角方向之各個方向行人通行，創造安全、舒適及便利之行人步行環境，但由於多增加一個時相數，將提高路口整體車流之延滯時間，影響運行效率。目前台北市「行人專用時段」之設置雖訂有一些基本條件，原則以路口道路寬度及交通管制設施應符合必要條件，同時考量行人穿越量與車流轉向量、路口轉向比及路口服務水準等充分條件，但並非十分詳細與具體。

黃厚淳【1】現場調查台北市四個實行人專用時相之路口，以車輛、行人停等延滯調查及計算方法為分析比較基礎，構建有、無實行人專用時相下車輛及行人停等延滯模式，並推估適合實行人專用時相之人車交通量門檻值。惟該研究並未考量轉向車流之人車衝突所造成車輛運行效率之影響，以及安全方面之影響。

1.2 研究目的

基上述，本研究除了探討設置行人專用時相，對號誌化交叉路口交通運行效率所產生的影響，並蒐集台北市號誌化交叉路口人車衝突造成之交通事故資料分析，進而研議行人專用時相之設置準則，使該項措施除了保護行人通行安全，減少人車衝突外，並期望從車輛與行人延滯等運行效率觀點，研擬實施行人專用時相的門檻建議值，以提供參考。

1.3 研究範圍與限制

台北市目前實施「行人專用時相」之 88 個路口，以設置區位概分為中心商業區（36%）、學校（46%）、醫療院所（7%）、其他（11%）等，歸納路口幾何型式可分為十字型（51%）、T 或 Y 字型（46%）及圓環或多岔型（3%）路口，詳如表 1.1 所示。為探討行人專用時相實施之有無，對路口「效率」、「安全」績效之影響，本研究所界定之研究範圍與限制如下：

- (1) 為彰顯行人專用時相分離人、車衝突的具體效益，隔離其他因素影響，因此選擇行人穿越量與轉向車流較大之中心商業區的號誌化交叉路口為主要研究對象。暫不考慮轉向車流與對向車流之干擾，以禁止左轉簡化路口轉向車輛運行與同向行人衝突之影響。
- (2) 為彰顯行人專用時相能提高行人穿越路口安全，且配合台北市政府推行之「行人路權優先運動」，本研究假設相同路權下，行人有絕對的優先權，且行人與車輛均遵守交通號誌運行，亦即不考慮行人與車輛之違規行為。

表 1.1 台北市實施「行人專用時相」路口分類統計表

單位：處

幾何\區位	中心商業區	學校公園	醫療院所	其他	總計
十字型路口	16	23	0	6	45
Y 或 T 型路口	14	17	6	3	40
圓形或多岔路口	2	0	0	1	3
總計	32	40	6	10	88

*實行人專用時相地點詳附錄一

1.4 研究內容與方法

本研究將考量轉向車流與行人間之人車衝突所造成車輛運行效率之影響；一般而言在無實行人專用時相下，雖因時相數及週期減少能降低停等延滯，但另一方面，由於行人與轉向車流相互干擾將降低道路飽和流率，造成車輛停等延滯增加，其增減情形需同時分析。

本研究討論對象為獨立號誌化路口，除探討設置行人專用時相對路口車輛及行人之效率之影響，並考量安全方面之影響，進而研議行人專用時相之設置準則，使該項措施除了保護行人通行安全，減少人車衝突外，亦能將各臨近路口之車輛停等延滯維持在適當的服務水準內，以提供交通工程師參考。主要研究內容分為以下幾項：

一、文獻回顧

為探討行人專用時相設置與路口運行效率之影響，蒐集相關研究文獻；包括現有「行人專用時相」設置條件、號誌化路口車輛延滯模式、行人延滯模式、人車衝突對運行效率之影響及路口人車期望衝突模式等文

獻，據以選擇適宜的研究方法，研析實施行人專用時相的影響與設置條件門檻值。

二、現況分析

蒐集國內現行設置「行人專用時相」之路口資料，分析使用時機與功能，加以分類探討。為彰顯行人專用時相之實施對路口效率的影響，由現行實施專用時相的路口中，選擇車輛與行人交通量比較複雜的行政商業區路口，即選定台北市松壽松智路口與松壽市府路口為對象，以路口攝影方式獲得路口號誌時制與車輛、行人交通量。

三、資料調查與分析

為探討不同行人交通量情況下，以行人專用時相隔離人車衝突對車輛停等與行人延滯之影響，調查時間必需考量行人交通量尖峰與離峰時間之差異，故選擇於假日與平日上班時間針對同一路口分別攝影調查 90 分鐘或 26 個週期之車輛與行人交通量。

調查資料讀取：車流交通量方面，分別記錄機車、小客車及大型車之直行、左轉、右轉交通量。行人交通量方面，以週期為單位記錄於路口轉角之行人停等延滯及通過數。並調查行穿線上轉向車流之人車衝突區域內，有行人通過之行人佔有率，以線性迴歸方式構建人車衝突區內行佔率模式，藉以分析不同行人交通量之下，人車衝突對轉向車流之影響。

為量化「行人專用時相」之安全指標，蒐集台北市各路口歷年行人與車輛交通事故之資料。

四、模式構建與應用分析

實施行人專用時相其最大之效益在於隔離人車衝突，未實施行人專用

時相前，行人與車輛共用綠燈時相，行人穿越道路時將與轉向車流產生衝突，因此藉由現場個案調查資料，構建行人穿越交通量與人車衝突區之行人佔用率模式，並應用文獻相關研究建立有無實行人專用時相下，車輛與行人延滯模式，以系統化的分析探討在不同行人交通量與轉向車流量組合情形下，實行人專用時相對行人與車輛效率之影響情形。

五、 行人安全影響分析

蒐集近年來台北市號誌化路口之人車衝突肇事資料，研究分析行人專用時相之實施，對提昇穿越路口行人之安全效益，並比較行人專用時相實施前後，人車事故肇事率之降低與肇因形態之變化等對行人安全之影響。

六、 研擬實行人專用時相建議門檻值

行人專用時相設置目的在兼顧效率及安全，彙整本研究之成果，探討有、無實行人專用時相對車輛、行人以及整體路口延滯之影響，提出實行人專用時相之建議門檻值。

1.5 研究流程

綜合以上，本研究之流程如圖 1-1 所示。

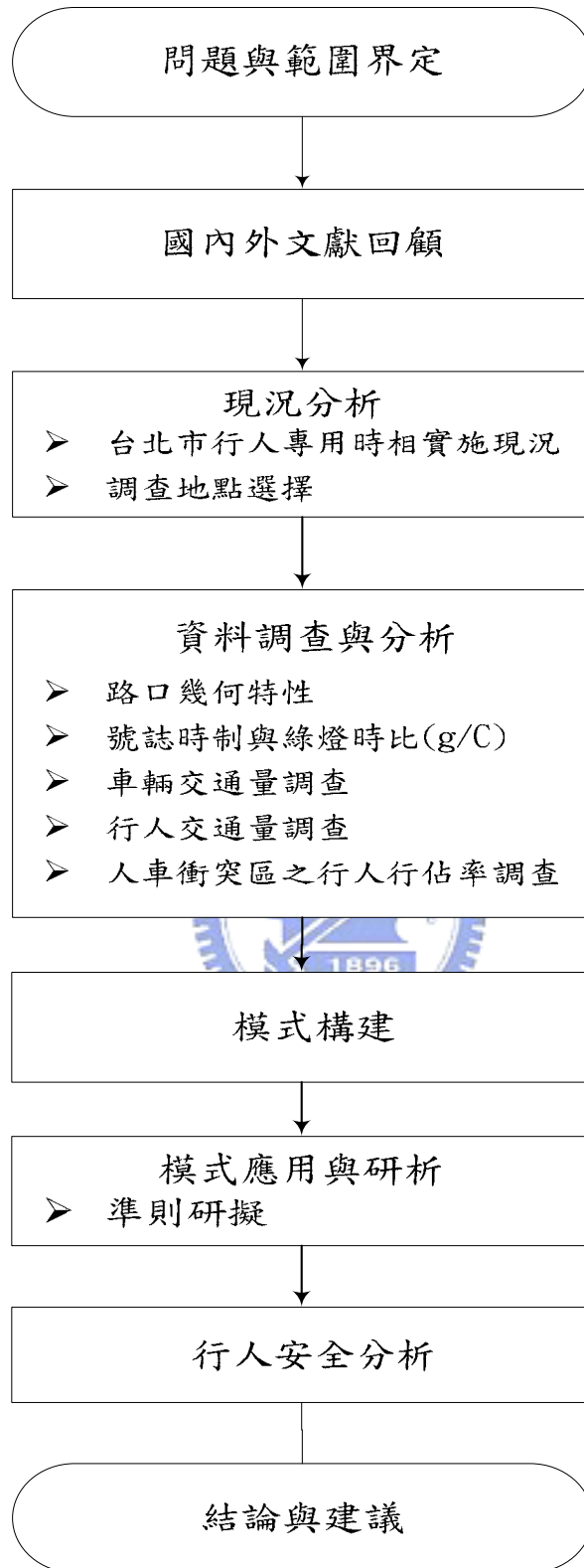


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

首先了解國內目前規劃及實行人專用時相之現況及設置準則，並回顧國內、外相關行人專用時相之研究，經由實施現況資料的研析，探討實行人專用時相對路口整體運行績效之影響。

2.1 「行人專用時相」實施條件

2.1.1 台北市政府「行人專用時相」設置準則

台北市政府交通局交通管制工程處於 90.8.6 修訂之準則【2】；其設置除應符合必要條件（交通管制設施及路口道路寬度）外，亦需同時考量各充分條件（包括最低行人穿越量與車流轉向量、路口轉向比及路口路段服務水準），以在安全合理狀況下設置。

(1) 必要條件

- i. 路口各側應有完整之「行人穿越道線」及「行人專用號誌燈箱」。
- ii. 路口道路寬度以未滿 20 公尺為佳，最大寬度亦不得超過 25 公尺。

(2) 充分條件

- i. 市區或郊區路口之行人尖峰及非尖峰時段每小時行人穿越量與車流轉向量，需同時高於下表之規定。

指標 時段 地區	行人穿越量 (人/小時)		車流轉向量 (輛/小時)	
	尖峰	非尖峰	尖峰	非尖峰
市區	300	200	250	200
郊區	200	150	150	120

- ii. 路口路段服務水準等級需在 D 級以上。

2.1.2 國外相關文獻研究

- (1) M. D. Fritter (1977) 【26】選擇澳洲一市中心路口(Alber&Queen streets)分析車輛停等延滯成本，認為在轉向比高、行人流量大、4車道路口等條件下比較適合行人專用時相。
- (2) C. V. Zegeer (1982) 等【27】收集美國15個城市、1297個號誌化路口相關行人事故資料，發現當行人量高於1,200~3,500人/天、車流量高於18,000~27,500輛/天時，實行人專用時相有較高的安全績效。
- (3) C. M. Abrams、S. A. Smith (1977) 【25】，研究指出行人專用時相可減少人車衝突，提高安全績效，並增加右轉車道容量，然而卻增加直行車輛延滯，因此應考量路寬不大及右轉車流量較大之路口設置，或用於高齡行人及中小學校區域。另行人專用時相將增加行人延滯時間約200%，造成行人違規情形增加。
- (4) D. M. Zaidel、I. Hocherman (1987) 【28】，於1977~1982間針對以色列三個大城市之路口肇事資料進行分析，發現當車流量及行人穿越量均相當高時，實行人專用時相較安全。

2.2 號誌化路口車輛延滯模式

2.2.1 美國公路容量手冊1985年版

美國公路容量手冊1985年版的延滯模式由實證基礎而來，包含Uniform delay(均一延滯)及為考慮因車流壅塞而變動的延滯量，如下式：

$$d = \frac{0.38C(1-\lambda)^2}{1-y} + 173x^2 \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{16x}{Q}} \right]$$

其中

d =平均停等延滯時間(秒/輛)

Q =容量(pcu/hr)

C =週期長度(秒)

λ =綠燈時比(有效綠燈時間/週期長度)

x =飽和度(車輛流量/車道容量)

此式乃估計每車平均停等延滯，路口延滯較停等延滯高出 30%，在 $0 < x < 1.0$ 時合理，但當 $x > 1.2$ 時便不適用。HCM 依照各種不同的因素，如號誌控制方式、車道群組成、流量比 v/c 值及車輛到達型式，分別制定其調整因子(Progression Adjustment Factor, PF)，在實際應用時將路口停等延滯值算出後，選定適合其路口狀態之調整因子，以作為調整此路口實際停等延滯值之「乘數」，相乘後得到更精確的路口停等延滯值。

2.2.2 美國公路容量手冊 2000 年版

美國公路容量手冊 2000 年版延滯模式中，第一項為假設均勻到達所產生之 Uniform delay(均一延滯)，第二項為考慮因隨機到達所增加之延滯量，第三項為因初始等候所造成之延滯，該公式與 1985 年版 HCM 延滯公式類似，選定適合其路口狀態之調整因子，以作為調整此路口實際停等延滯值之「乘數」，相乘後得到更精確的路口停等延滯值，公式如下：

$$d = d_1 * PF + d_2 + d_3$$

$$d_1 = 0.5 \frac{C(1-\lambda)^2}{1-\lambda \min(X, 1.0)}$$

$$d_2 = 900 \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right]$$

$$d_3 = \frac{1800 Q_b \left(2 - \frac{cT (1 - \min \{X, 1.0\})}{Q_b} \right) t}{cT}$$

2.2.3 台灣公路容量手冊 (2001)

台灣公路容量手冊 (2001) 採 1994 年版 HCM 延滯模式，該模式考量路口溢流與車道群問題，第一項為假設均勻到達所產生之 Uniform delay(均一延滯)，選定適合其路口狀態之調整因子，以作為調整此路口實際停等延滯值之「乘數」，第二項為漸增延滯，公式如下：

$$d = F \times d_1 + d_2$$

$$d_1 = \frac{0.38C(1-\lambda)^2}{1-\lambda \min(x, 1.0)}$$

$$d_2 = 173x^2 \left[x - 1 + \sqrt{(x-1)^2 + mx/C} \right]$$

其中

d = 平均停等延滯時間(秒/輛)

F = 車流續進及誌誌控制種類調整因素

λ = 綠燈時比(有效綠燈時間/週期長度)

x = 飽和度(車輛流量/車道容量)

$\text{Min}(x, 1.0)$: x 與 1 之較小值

M = 車輛到達型態之調整因素

2.2.4 Akcelik Generalized (1988)

總合 HCM、澳洲及加拿大等延滯模式的公式，利用不同的校估係數以代表不同的模式，如以下式子：

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-y)} + 900Tx^n \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{m(x-x_0)}{QT}} \right]$$

其中 $x_0 = a + bsG$ ， a 、 b 為常數， T =流率 q 之時間長度，參數的組合代表各種不同的模式。此延滯公式與上述公式最大的差異點是 d 為路口延滯值，而非停等延滯值。

2.2.5 國內研究構建延滯模式

黃厚淳 (2004)【1】以延滯角度為出發點，經由現場調查方式分別針對台北市四個實施「行人專用時相」之路口，建構人、車之延滯模式，並推估有、無實行人專用時相下，相對路口車輛所產生的延滯變化情形。運用現場調查資料以構建車輛延滯模式，提出 1985HCM 及 1988Akcelik 兩模式校估結果並無太大差異，但以 1988Akcelik 之延滯模式較佳。推估車輛延滯模式如下：

(1) 有行人專用時相：

$$d = 0.576 \frac{C(1-\lambda)^2}{1-\lambda x} + 49.035 \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{32(x-0.5)}{Q}} \right]$$

(2) 整合有、無行人專用時相：

$$d = 0.616 \frac{C(1-\lambda)^2}{1-\lambda x} + 113.982 \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{32(x-0.5)}{Q}} \right]$$

2.3 行人延滯模式

2.3.1 美國公路容量手冊 2000 年版

假設行人抵達路口為均勻到達 (uniform arrival) 型態，並且均遵守交通號誌通行，則行人平均停等延滯之理論公式為：

$$d = \frac{(C-g)^2}{2C}$$

其中：C 為號誌週期時間

g 為行人步行時間

2.3.2 Pretty's Method (1979)

假設行人為均勻到達，提出實行人專用時相之行人總停等延滯時間為：

$$d = \frac{P_1 + P_d}{2C} (C - g)^2$$

註：d 為實行人專用時相下之行人總延滯量 (ped-sec/hr)

P₁ 為穿越一街道之單位小時行人量

P_d 為穿越兩街道之單位小時行人量

C 為號誌週期時間(秒)

g 為綠燈通行時間(秒)

2.3.3 國內研究構建模式

黃厚淳 (2004)【1】運用現場調查資料構建行人延滯模式，校估結果與 2000HCM 之延滯模式差異不大。然該模式無法反應轉向交通量與行人穿越量之衝突與延滯間的關係，因此，另外以四個路口之調查資料為依據，以複迴歸分析方法構建實證式(empirical)的行人延滯模式。

(1) 無行人專用時相：

$$Y = 5.099 + 0.459 X_1 + 0.392 X_2$$

其中 X₁：轉向交通量(veh/cycle)

X₂：行人穿越量(ped/cycle)

(2) 有行人專用時相：

$$d = \frac{(C - 0.521G)^{1.971}}{2C}$$

在顯著水準 $\alpha=0.05$ 下，各別路口行人延滯個別參數均大於 t 檢定之臨界值，顯示轉向交通量及行人穿越量對行人延滯有顯著的影響力。路口有實行人專用時相情形下，行人需等候所有方向的車輛號誌時間，俟專供行人通行的專用時相出現方能通過，故有實行人專用時相情形下，行人延滯時間大幅高於無實施。且各方向車輛增加一個停等的行人專用時相，號誌週期亦增長，因此，相對於無實施專用時相，有實施專用時相較易產生壅塞現象，車輛延滯時間亦隨著上升。

2.4 人車衝突對號誌化路口運行效率之影響

Joseph S. Milazzo II, Nagui M. Roupail 等人 (1998) 【29】研究指出，在有效綠燈時間內，轉向車流之轉向路徑與穿越路口行人將產生人車衝突區間，該研究調查了九個路口、935 個週期，提出

- (1) 不同行人穿越量與對應之衝突區佔用率 (occupancy of the conflict zone) 之關係為分段線性模式：

$$OCC_{pedg} = V_{pedg} / 2000 \quad (V_{pedg} < 1000)$$

$$OCC_{pedg} = V_{pedg} / 10,000 + 0.4 \quad (V_{pedg} > 1000)$$

其中：

V_{pedg} = 每行人綠燈小時之行人穿越量

OCC_{pedg} = 行人綠燈時間內之衝突區佔用率

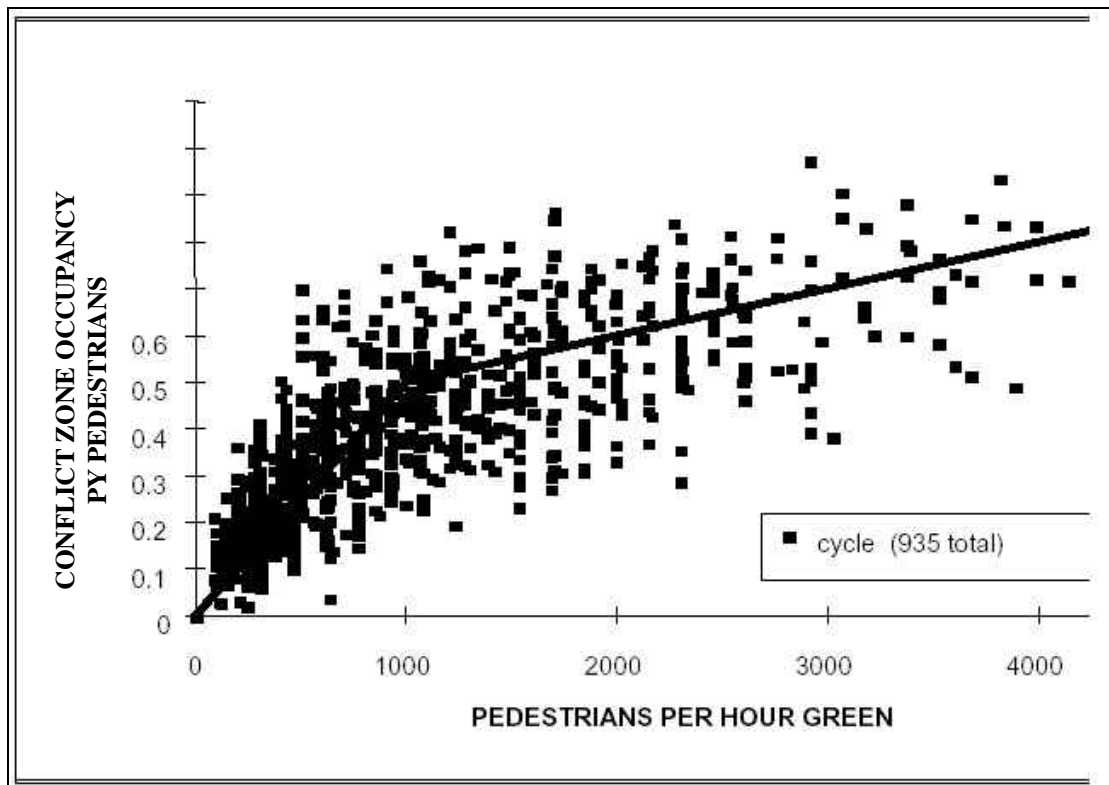


圖 2-1 行人穿越量與人車衝突區行人佔用率關係圖

- (2) 依據人車衝突區佔用率對對左轉車流與右轉車流不同之影響，換算為對應人車衝突區佔用率 OCC_r

*左轉車流部分：

$$OCC_r = OCC_{pedu} * P_{nscr}$$

其中：

OCC_{pedu} = 扣除對向車流停等車隊疏散時間後，人車衝突區之平均佔用率

P_{nscr} = 人車衝突區未被對向車流遮蔽之期望值（比例）

*右轉車流部分：

$$OCC_r = OCC_{pedg} + OCC_{bike} - (OCC_{pedg} * OCC_{bike})$$

其中：

OCC_{bike} = 每綠燈小時之腳踏車衝突區佔用率

- (3) 在目標車道數大於轉向車道數 ($N_{rec} > N_{turn}$) 時，人車衝突干擾影響轉向車流之飽和流量將大於車道數相等時 ($N_{rec} = N_{turn}$)，對應之

轉向車流之飽和流量調整因子 A_{pbT} 關係如圖 7.3

$$A_{pbT} = 1 - OCC_r \quad (N_{rec} = N_{turn})$$

$$A_{pbT} = 1 - 0.6 * OCC_r \quad (N_{rec} > N_{turn})$$

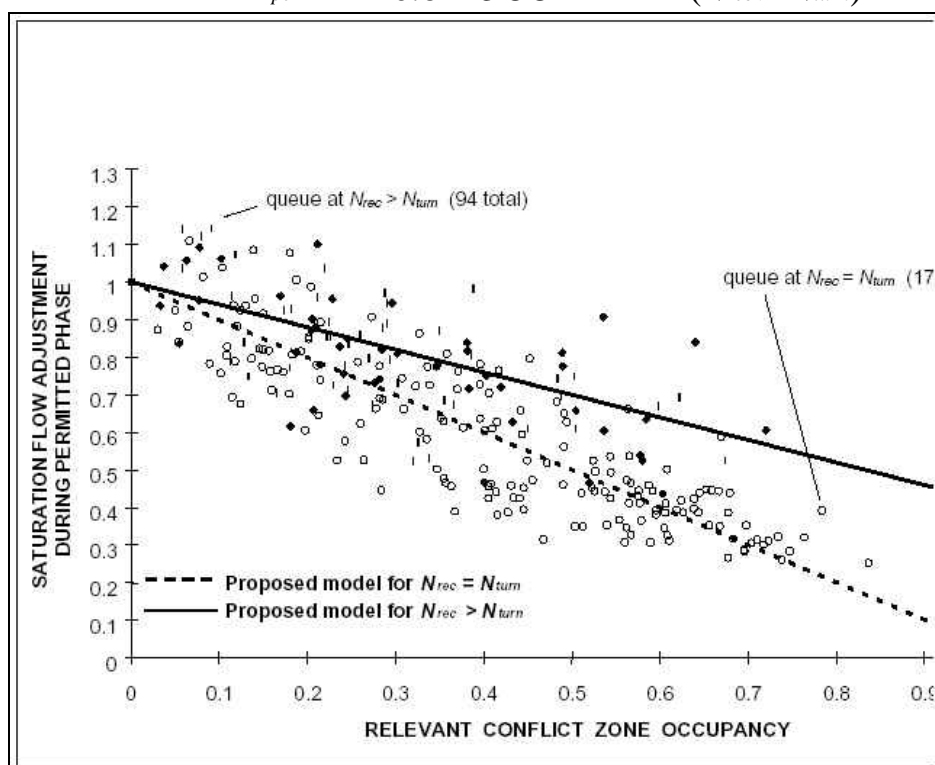


圖 2-2 轉向車流飽和流量與衝突區佔用率之關係圖

- (4) 歸納出在不同行人穿越量與轉向車流量下，對飽和流量之影響調整因子 f_{Rpb} (右轉)、 f_{Lpb} (左轉)，以右轉車流影響調整因子 f_{Rpb} 為例：

$$f_{Rpb} = 1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA})$$

其中：

P_{RT} = 右轉車流比

A_{pbT} = 轉向車流與行人穿越衝突對應之飽和流量調整因子

P_{RTA} = 轉向車流使用保護時相之比例

$$f_{Lpb} = 1.0 - P_{LT} * OCC_L$$

其中 OCC_L ：左轉車輛受行人干擾率

$$OCC_L = OCC_{pedg} \times (-0.5 \times (g_q / g_p) + 1) \times e^{-V_o \times (1/3600) \times tg}$$

g_a ：對向停等車隊疏解時間

g_b ：行人綠燈時間

t_g ：可左轉臨界間距(HCM 建議值為 5sec)

2.5 綜合評析

國內目前設置行人專用時相之準則，其必要條件為交通管制設施及路口道路寬度，其中相關設施可因設置之需要與否劃設及增設，因此不予討論。而道路之寬度影響行人穿越時間，以 20 公尺路寬為例，一般行人步行速度之下限值約為 0.6-1.0 m/s，則通過路口時間約需 35-20 秒，為免過長之行人專用時相長度影響路口行車效率，因此 20 公尺路寬應為建議之上限值。另外，20 公尺以上之道路寬度，原則上單向皆有三車道以上，依據相關研究，目標車道數大於轉向車道數之路口，人車干擾之影響將降低，因此 20 公尺以上路寬實施行人專用時相，將嚴重影響路口總體運行績效。

其次在充分條件上，依據國內外許多研究文獻【4】【9】【10】【21】【22】【24】，行人穿越量及車流轉向量雖尚無明確門檻值，但皆指出其為主要影響因子，另外，老年人與學童較多路口應優先實施專用時相。

對於號誌化路口效率之評估所採用的指標以延滯時間及停等數為主，1985 及 2000 版美國公路容量手冊 (Highway Capacity Manual, HCM) 均以延滯時間作為號誌化交叉路口服務水準評估的主要準則，而 2001 年版台灣公路容量手冊亦以延滯時間作為我國號誌化路口服務水準之評估基礎，因此在效率性指標方面乃以交叉路口延滯時間作為評估準則。

Joseph S. Milazzo II【29】以調查資料，應用迴歸分析方法建立行人穿越量與人車衝突區佔用率之關係模式，利用衝突區佔用率之觀念並納入車道數之影響，得到飽和流量的調整因子 (<1.0)。對於得到在未實行人專用時相前，行人穿越量與車流轉向量、路口轉向比等因子對路口運行效率之影響有極大的幫助。惟因調查資料來自於美國八個城市，而美國行人穿越路口之行為模式是否能適用於國內，尚有待探討。另外，在目標車道數大於轉向車道數時，飽和流量調整因子 A_{pBT} 之折減比率是否適用於國內之駕駛習慣，亦值得商榷。在文獻內亦考量了腳踏車對轉向車流的影響，惟與國內之交通組成最大之差異在於機車之影響，考量機車之駕駛行為與腳踏車有很大的差異，並不能將腳踏車對轉向車流之影響，套用在機車之上；另一方面，轉向機車與穿越行人之衝突影響，是否能與汽車一體適用，亦有待驗證。

以往有關交叉路口安全性衡量之研究，大多偏重以人車期望衝突及肇事率衡量路口之安全性，然而人車期望衝突僅能解釋路口交叉形式、車輛轉向行為與號誌時制設計對路口安全性之潛在影響。本研究將以實證方式，蒐集台北市號誌化路口歷年來人車衝突肇事資料，統計行人專用時相路口實施前後肇事率及事故型態，藉以推估實行人專用時相隔離人車衝突對行人安全之改善效果。

第三章 資料調查與分析

台北市目前實施「行人專用時相」之 88 個路口，以設置區位概分為中心商業區（36%）、學校（46%）、醫療院所（7%）、其他（11%）等，歸納路口幾何型式可分為十字型（51%）、T 或 Y 字型（46%）及圓環或多岔型（3%）路口。本研究選定台北市松壽松智路口與松壽市府路口，以路口攝影方式獲得路口號誌時制與車輛、行人交通量。

本研究分別於 93 年 12 月 12 日（星期日）及 93 年 12 月 14 日（星期二）下午 12：30～15：30 間，以現場路口攝影方式取得尖峰與平時時段之交通特性資料。其中 93 年 12 月 12 日（假日）調查尖峰時間之交通量，因交警機動延長部份時相綠燈時間，因此以調查期間之平均時相為依據。

3.1 路口幾何與號誌特性

一、松壽路與市府路口

1. 路口幾何狀況如圖 3-1



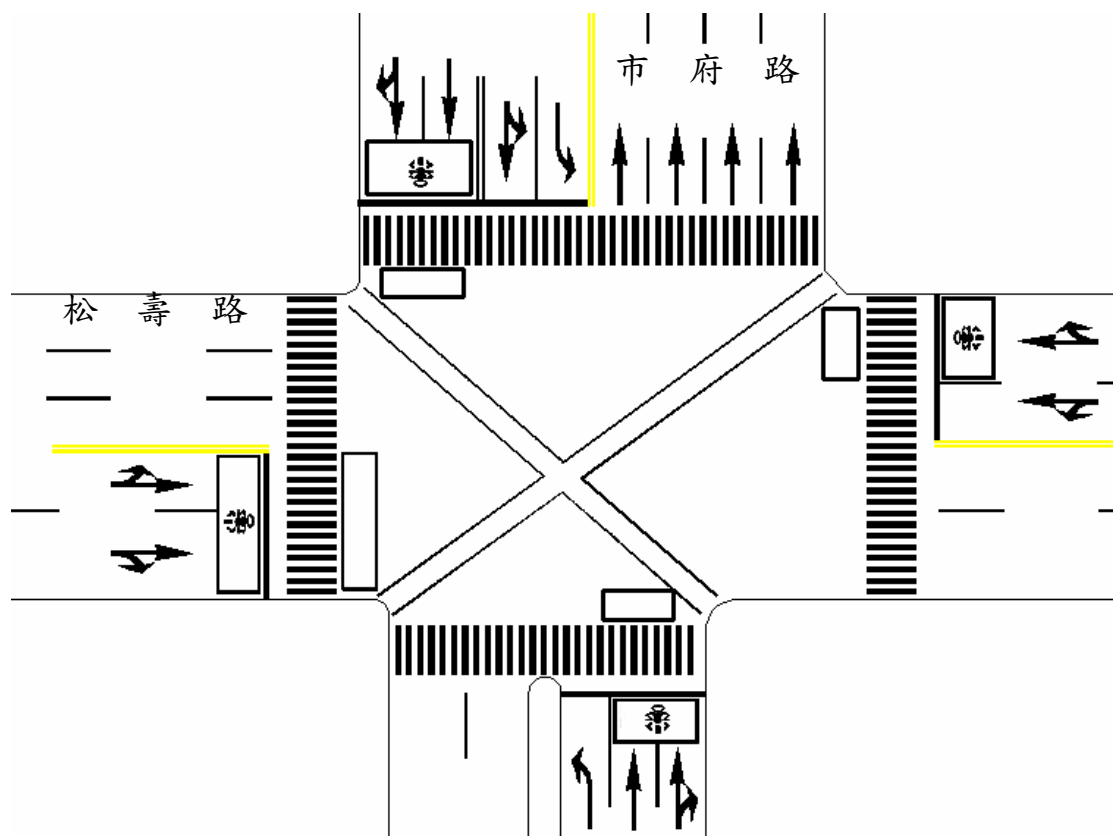


圖 3-1 台北市松壽路市府路口幾何示意圖

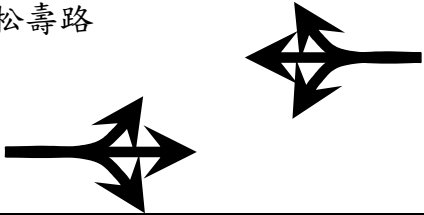
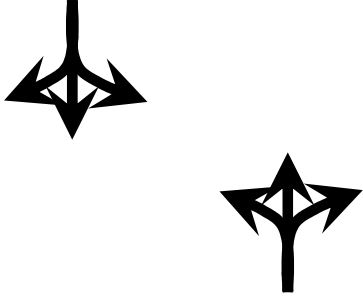
2. 道路幾何特性如表 3.1：

表 3.1 台北市松壽路市府路口道路幾何資料

	路寬(m)	車道數	中央分隔	行穿線寬	內/外側車道寬(m)
松壽路	18.8	2/2	無	3.0	4.0/6.5
市府路(北)	29.3	4/4	無	3.0	3.5/4.2
(南)	19.5	3/2	有(2m 分隔島)		3.6/4.8

3. 號誌時相如表 3.2：

表 3.2 台北市松壽路市府路口號誌時相

時相 1	<p>松壽路</p> 	<p>G=70</p> <p>Y=2</p> <p>AR=3</p>	<p>G/C=0.35</p>
時相 2	 <p>市府路</p>	<p>G=75</p> <p>Y=2</p> <p>AR=3</p>	<p>G/C=0.375</p>
時相 3	<p>行人專用時相</p>	<p>G=40</p> <p>AR=5</p>	<p>G/C=0.2</p>
<p>號誌週期長度</p>		<p>C=200</p>	

二、松壽路與松智路口

1. 路口幾何狀況如圖 3-2



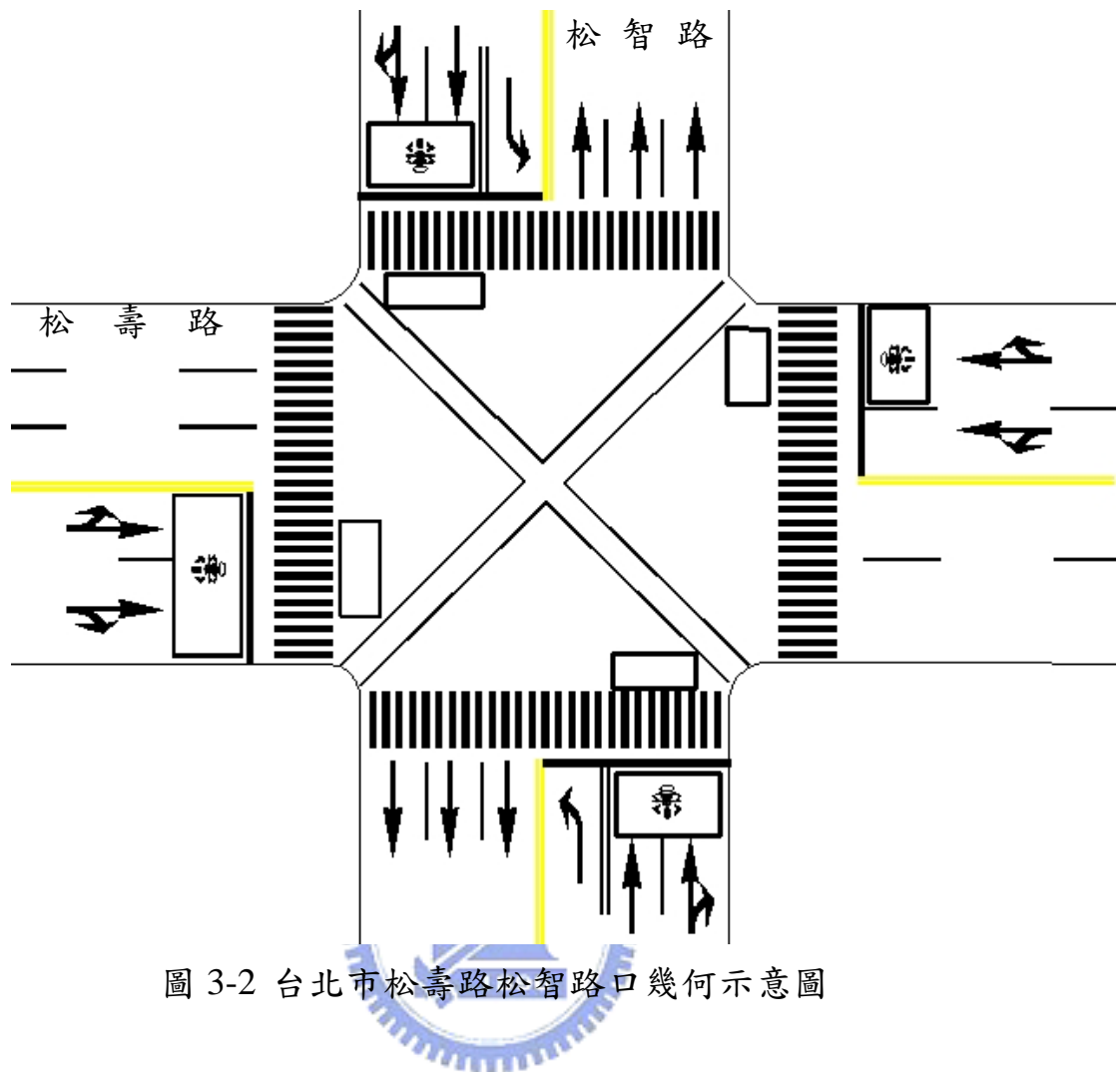


圖 3-2 台北市松壽路松智路口幾何示意圖

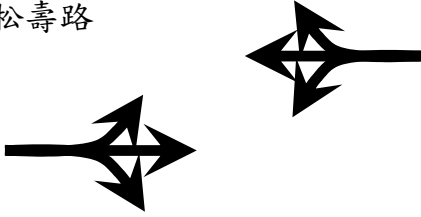
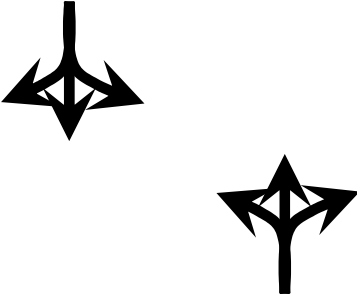

2. 道路幾何特性如表 3.3：

表 3.3 台北市松壽路松智路口道路幾何資料

	路寬(m)	車道數	中央分隔	行穿線寬(m)	內/外側車道寬(m)
松壽路	18.8	3/3	無	3.0	3.0/3.5
松智路	18.8	3/3	無	3.1	3.0/3.4

3. 號誌時相如表 3.4：

表 3.4 台北市松壽路松智路路口號誌時相

時相 1	松壽路 	G=70 ^註 Y=2 AR=3	G/C=0.35
時相 2	 松智路	G=75 Y=2 AR=3	G/C=0.375
時相 3	行人專用時相 	G=40 AR=5	G/C=0.2
號誌週期長度		C=200	

註：尖峰時間由交警機動調整為70~110秒。

3.2 交通特性調查

本研究以實行人專用時相路口現場調查方式，選擇單一方向進行車輛與行人之轉向交通量、交通組成以及延滯調查，其中車輛停等延滯係以定點樣本法 (Point Sample Method) 調查。調查方法係計算每一間隔時段 (在此以 15 秒為間隔)，計算停等於停止線前之車輛數，以所記錄之停等車數乘上每次記錄間隔之時段，再除以總通過車數，即得平均每車延滯時間(秒/車)。為簡化混合車流中大型車及機車的問題，乃將所有車輛統一以 pcu(passenger car unit) 為單位，以 2 為大型車之小客車當量值，

機車之小客車當量如表 3.5 所示：

表 3.5 直行機車之小客車當量 (取自 2001 年台灣地區公路容量手冊)

機車比例(%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
pcu	0.7	0.55	0.5	0.4	0.37	0.35	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25

一、 松壽市府路口西往東方向車流交通量：

松壽路西往東方向於市府路前為雙車道，內側車道為 3m 寬且允許 (permitted) 左轉，外側車道為 6.5m 寬。93.12.12(假日)下午 14:00-15:35 及 93.12.14(平時)下午 14:00-15:35 現場調查之車流交通狀況如表 3.6。

表 3.6 松壽市府路口 (松壽路西往東方向) 車流交通特性資料

調查時間	單位：pcu/cycle			轉向比	單位：sec		G/C
	左轉量	右轉量	直行量		週期	停等延滯	
93.12.12(假日)	5.50	5.18	27.24	0.28	240	66.87	0.46
93.12.14(平時)	5.29	5.01	25.91	0.28	200	72.28	0.35

二、 松壽松智路口東往西方向車流交通量

松壽路東往西方向於松智路前為三車道，內側及中間車道為 3m 寬，且允許(permitted)左轉，外側車道為 3.5m 寬。93.12.12 (假日) 下午 12:30-14:00 及 93.12.14 (平時) 下午 12:30-14:00 現場調查之車流交通狀況如表 3.7。

表 3.7 松壽松智路口（松壽路東往西方向）車流交通特性資料

調查時間	單位：pcu/cycle			轉向比	單位：sec		G/C
	左轉量	右轉量	直行量		週期	停等延滯	
93.12.12(假日) (12:30-13:00)	7.00	13.88	28.94	0.42	200	48.65	0.35
93.12.12(假日) (13:00-14:00)	12.91	20.44	39.37	0.46	240	38.10	0.29
93.12.14(平時)	5.15	12.51	34.19	0.34	200	45.30	0.46

3.3 行人停等延滯

一、行人延滯時間調查

行人延滯部分，以每隔一段時間(15 秒)記錄當時停等於路口各轉角之人數，以所記錄的停等人數乘上 15/2，再除以各角隅總穿越路口的人數，即得平均每人延滯時間(秒/人)。資料之調查與分析，係與車輛調查同步進行，並以號誌週期為依據，分別進行至少 80 分鐘或 25 個(以週期數為單位)以上的樣本資料。行人交通特性資料綜合彙整如表 3.8、表 3.9。

表 3.8 松壽市府路口調查行人交通特性資料

調查時間	行人量	斜穿量	斜穿比	週期 (sec)	停等延滯
	(pcu/cycle)				(sec/人)
93.12.12(假日)	382.57	111.29	0.29	200-320	108.66
93.12.14(平時)	23.71	7.36	0.31	200	52.79

表 3.9 松壽松智路口調查行人交通特性資料

調查時間	行人量	斜穿量	斜穿比	週期	停等延滯
	(pcu/cycle)			(sec)	(sec/人)
93.12.12(假日) (12:30-13:00)	299.83	92.67	0.31	200	68.08
93.12.12(假日) (13:00-14:00)	413.50	128.50	0.31	240	91.04
93.12.14(平時)	47.46	14.15	0.30	200	72.47

3.4 人車衝突對行車效率的影響

未實施行人專用時相時，行人與車輛共用綠燈時相，行人穿越道路時將與轉向車流產生衝突，因此藉由現場調查資料，可據以探討行人交通量與轉向車流之衝突對行車效率之影響，並構建適合之分析模式。

一、人車衝突區域之定義

轉向車流於轉向車道上行進時，通過行人穿越道上的區域定義為人車衝突區域，於該區域上有行人通行時，轉向車流將減速與停等至行人完全通過後方可繼續行進，人車衝突區域如圖 3-3 所示：

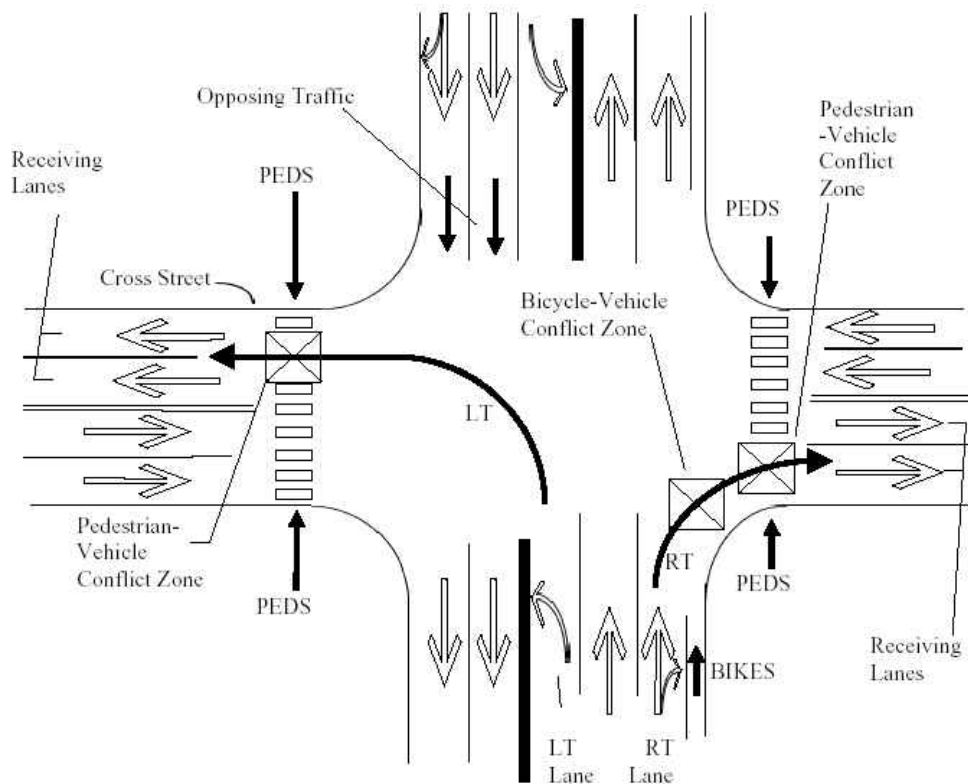


圖 3-3 行人與轉向車流人車衝突區示意圖

註：摘自 Joseph S. Milazzo II, Nagui M. Roupail, Effect of pedestrians on Capacity of signalized, TRR1646, pp39 【26】

二、人車衝突區域之行人佔用率

觀察二個路口各方向上之行人交通量，並統計人車衝突區域內有行人之累計時間 T_{occ} (秒)，除以行人綠燈時間 T_g (秒) 計算人車衝突區域內行人佔用率 Occ_{ped} ，統計所調查之 142 筆調查資料，行人綠燈小時交通量 V_{pedg} (人/綠燈小時) 與行人佔用率 Occ_{ped} 之關係如圖 3-4：

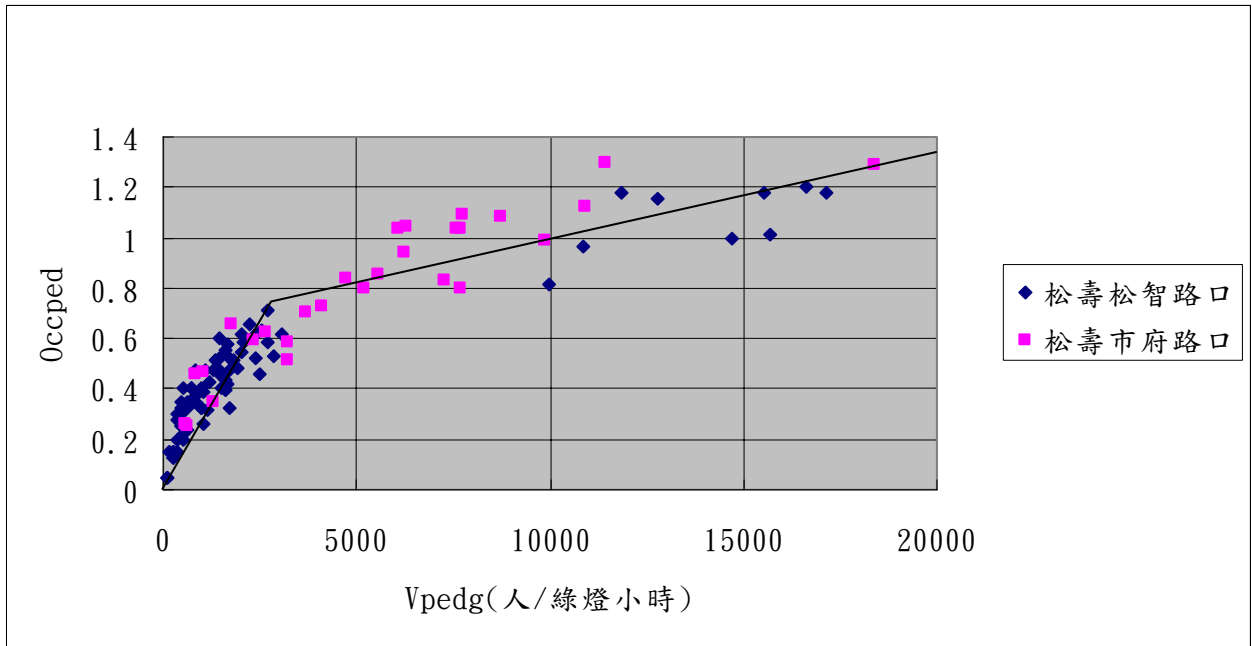


圖 3-4 人車衝突區之行人佔用率與行人交通量關係圖

利用 SAS 統計軟體以 OLS 方法進行分段 (Piecewise) 線性迴歸分析，結果如表 3.10，迴歸方程式如下所示：

$$\begin{cases} Occ_{ped} = 0.00028494 V_{pedg} & V_{pedg} \leq 3000 \\ Occ_{ped} = 0.00028494 V_{pedg} - 0.00026091 K & V_{pedg} > 3000 \end{cases} \quad (\text{式 3-3})$$

其中分段參數 $K = V_{pedg} - 3000$

表 3.10 人車衝突區之行人佔率迴歸模式分析

	係數	標準誤	t 值	P > t
行人綠燈小時交通量 (V_{pedg})	0.00028494	0.00000874	32.59	<.0001
分段參數 (K)	-0.00026091	0.00001201	-21.73	<.0001
$R^2=0.9417$		$Adj R^2=0.9409$		迴歸標準差=0.13889

由表 3.10 得知行人綠燈小時交通量 (V_{pedg}) 及分段參數 (K) 在顯著水準 $\alpha = 0.05$ 下，均明顯大於 t 檢定之臨界值，顯示變數均對行人佔率有顯著

影響。判定係數 $R^2=0.9417$ ，調整後之判定係數 $\bar{R}^2=0.9409$ ，表示整體迴歸模式具有良好的解釋能力。

將 $K=V_{pedg} - 3000$ 代入式 3-3，簡化為下式：

$$\begin{cases} OCC_{ped} = 0.00028494 V_{pedg} & V_{ped} \leq 3000 \\ OCC_{ped} = 0.00002403 V_{pedg} + 0.78273 & V_{ped} > 3000 \end{cases} \quad (\text{式 3-4})$$

三、步行速率與人車衝突區之行佔率

為探討不同行人之步行速率對行人行佔率之影響，利用路口攝影調查資料，記錄單一週期行穿線上每秒之行人數量，累計紀錄之行人數即為行人穿越路口之總時間（秒），除以行人穿越量即為該週期行人平均穿越時間，以路口寬度除以平均穿越時間得到單一週期平均行人步行速率。為避免行人步行間之相互干擾，故選擇行人離峰交通時間分析。依不同之行人交通量分析行人步行速率與人車衝突區域內行人佔用率之關係，分析如圖 3-5：



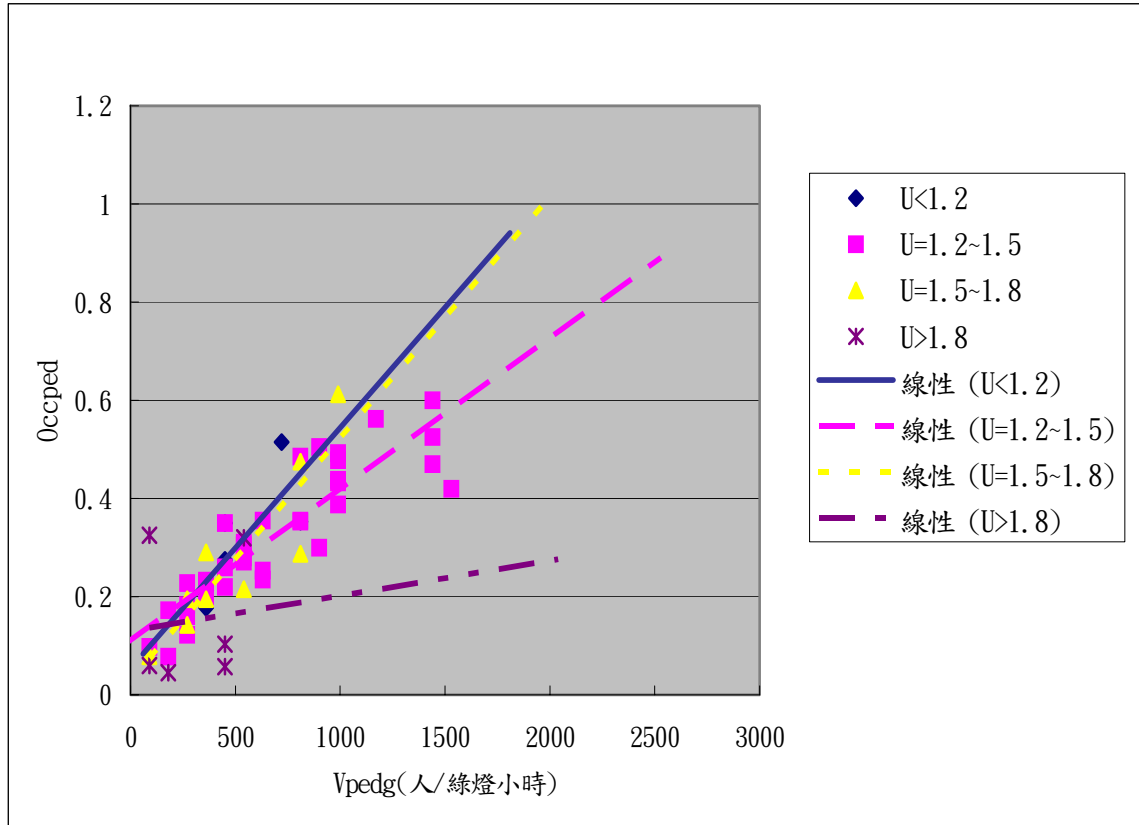


圖 3-5 行人步行速率與交通量對應行人佔用率關係圖

依據行人交通量離峰時間（非假日）之 57 筆調查資料，利用 SAS 統計軟體以 OLS 方法進行線性迴歸結果如表 3.11，迴歸方程式如下所示：

$$Occ_{ped} = 0.17757 + 0.0003275 V_{pedg} - 0.05201U \quad (\text{式 3-6})$$

其中 U：行人步行速率(m/s)

表 3.11 人車衝突區之行人佔用率與步行速率迴歸模式分析

	係數	標準誤	t 值	Pr > t
截距	0.17757	0.05571	3.19	0.0024
行人穿越量 (V_{pedg})	0.00032750	0.00002711	12.08	<.0001
平均步行速率 (m/s)	-0.05201	0.03271	-1.59	0.1176
$R^2=0.7772$		Adj $R^2=0.7690$		迴歸標準差=0.07018

迴歸式變數在顯著水準 $\alpha = 0.05$ 下，均明顯大於 t 檢定之臨界值，顯示變數均對行人佔率有顯著影響。判定係數 $R^2=0.7772$ ，調整後之判定係數 $\bar{R}^2=0.7690$ ，表示整體迴歸模式具有不錯的解釋能力。

由上可知行人步行速率與人車衝突區之行人佔用率成反比，亦即步行速率較慢之行人穿越路口時，其人車衝突區之行人佔用率較高。



第四章 模式構建

本研究旨在分析比較號誌化路口在有與無實施「行人專用時相」情況下，對車輛與行人之停等延滯的增減情形，從而歸納得出其門檻值，因此需借助適當的車輛與行人延滯模式進行分析。由於有與無「行人專用時相」對車輛與行人之延滯各不相同，因此需應用四種延滯模式。其中有些模式係直接引用近期文獻的研究成果，有些模式則係本研究所構建與修正而成，茲分述於以下各節。

4.1 車輛停等延滯模式

一、有行人專用時相

黃厚淳 (2004)【1】選擇台北市 4 個實施行人專用時相之路口，以現場調查方式，同步收集不同交通、號誌情況下之車輛停等延滯，並校估得到在實施行人專用時相下車輛延滯模式如下：

$$d = 0.576 \frac{C(1-\lambda)^2}{1-\lambda x} + 49.035 \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{32(x-0.5)}{Q}} \right] \quad (\text{式 4-1})$$

上式中，d：車輛停等延滯時間（秒）

C：週期長度（秒）

λ ：g/C，有效綠燈佔週期之比率

x：飽和度，車輛流率與車道容量之比值

Q：車道容量

實施行人專用時相能有效阻隔轉向車輛與同向行人間之人車衝突，因此該模式與行人交通量及車輛轉向比無關，本研究將採用上式為實施行人專用時相下車輛停等延滯模。

二、無行人專用時相

在無實施行人專用時相之路口，轉向車輛與同向行人將產生衝突，在此情況下行人交通量及車輛轉向比將影響車輛延滯。本研究對於上述人車衝突對於車輛延滯之影響，係以改變模式中飽和度 x 參數之方式處理如下。

車輛流率與道路容量之比值 (v/c) 為飽和度，表示如下：

$$x_i = \left(\frac{v}{c} \right)_i = \frac{v_i}{s_i \lambda_i}$$

其中 x_i ：飽和度

v_i ：車道群 (lane group) i 之車輛流率 (輛/小時)

s_i ：車道群 i 之飽和流率

C ：週期 (秒)

λ_i ：車道群 i 之有效綠燈時比 (g/C)

號誌化路口直行方向車輛與行人並無衝突，只有轉向車輛會與行人產生人車衝突，轉向專用或轉向共用車道之飽和流率將因行人與轉向車輛之干擾而降低。

美國 2000 年版公路容量手冊 (HCM) 提出影響車道群飽和容量的調整因子包括了車道數、車道寬度、車種、車道縱坡、路邊停車、公車站、車道使用配置、左轉車流與行人衝突及右轉車流與行人衝突等。其中許多因子的影響，均可隱含在現場調查之飽和流率中，本研究僅針對與主題最密切相關的右轉車流與行人衝突因子進行分析。

依據 Joseph S. Milazzo II, Nagui M. Roupail 等人 (1998)【25】

研究，右轉共用車道人車衝突調整因子 f_{pb} 表示如下：

$$f_{pb} = 1.0 - P_T (1 - A_{pbT})$$

$$\begin{cases} A_{pbT} = 1 - Occ_r & (N_{rec} = N_{turn}) \\ A_{pbT} = 1 - 0.6 \times Occ_r & (N_{rec} > N_{turn}) \end{cases}$$

A_{pbT} ：右轉車流之飽和流量調整因子

N_{rec} ：目標車道數

N_{turn} ：右轉車道數

P_r ：右轉車流比

Occ_r (右轉車輛受行人干擾率) = Occ_{ped} (行人綠燈時間內之衝突區佔用率)

其中 Occ_{ped} 採用第三章現場調查推估之人車衝突區域行人佔用率 (式 3-4)

$$\begin{cases} Occ_{ped} = 0.00028494 V_{pedg} & V_{pedg} \leq 3000 \\ Occ_{ped} = 0.00002403 V_{pedg} + 0.78273 & V_{pedg} > 3000 \end{cases}$$

故右轉共用車道之飽和流率 S 調整如式 4-2

$$s = s_0 f_{pb} = s_0 \times [1 - P_r (1 - A_{pbT})] = s_0 - s_0 \times P_r (1 - A_{pbT}) \quad (\text{式 4-2})$$

其中 s_0 為不考慮行人與轉向車流人車衝突情況下之飽和流率，依黃厚淳現場調查結果 $s_0 = 1900(\text{pcu/lane/hr of green})$

以黃厚淳 (2004) 推估實施行人專用時相下，車輛停等延滯模式為依據，考量取消行人專用時相後，轉向車流與行人衝突將降低飽和流率，且因時相數減少而提高車輛綠燈時比，修正之車輛停等延滯模式如式 4-2：

$$d' = 0.576 \times \frac{C'(1-\lambda')^2}{1-\lambda'X'} + 49.035 \left[(X'-1) + \sqrt{(X'-1)^2 + \frac{32(X'-0.5)}{Q}} \right] \quad (\text{式 4-2})$$

其中：

C' = 取消行人專用時相後之週期長度

λ' =取消行人專用時相後之有效綠燈時比(g/c)

$$X' = \sum x_i = \sum \frac{V_i}{s_i \lambda_i} = \frac{V}{\lambda \sum s_i}$$

$$\sum s_i = s_0 - s_0 \sum P_T (1 - A_{pbT})$$

4.2 行人停等延滯

有、無實施行人專用時相對行人穿越路口之影響，除了有效綠燈時比外，還包括實施行人專用時相下，需斜向穿越路口之行人，可以一次斜向穿越，毋需分階段穿越二個街道。本研究就單位小時內穿越一街道（直向穿越）及連續穿越二街道（斜向穿越）之行人量分別探討；為簡化問題，假設路口各方向上直向穿越之行人交通量皆為 P_1 （人/小時），斜向穿越之行人交通量為 P_d （人/小時），且無實施行人專用時相下十字路口二方向上綠燈時間皆相同，示意圖如圖 4-1 及圖 4-2。考量取消行人專用時相後，斜向穿越行人必需以二階段穿越路口，一般而言第一階段將優先選擇到達路口時綠燈方向穿越，因本研究假設行人到達路口之型態為均勻到達，在二方向時相長度相同之下，需斜向穿越之行人到達路口後，一般而言選擇二街道方向之機率應皆為 $1/2$ ，亦即二方向上之行人交通量皆為 $P_d/2$ 。

有實施行人專用時相下，穿越路口行人與右轉車流並無衝突，而無實施行人專用時相時，影響右轉車輛之行人量定義為穿越行人交通量 V_{ped} （人/小時）：

$$V_{ped} = P_1 + P_d/2 + P_d/2 = P_1 + P_d \quad (\text{式 4-3})$$

另定義斜穿比 ρ 為路口斜向穿越行人量與路口總行人交通量之比值

$$\rho = \frac{2P_d}{4P_1 + 2P_d} = \frac{P_d}{2P_1 + P_d}$$

$$\text{因此 } P_1 = \frac{1-\rho}{1+\rho} V_{ped}, \quad P_d = \frac{2\rho}{1+\rho} V_{ped}。$$

一、有行人專用時相之行人停等延滯

Pretty (1979) 假設行人為均勻到達，提出實行人專用時相之行人總停等延滯時間為：

$$d_t = \frac{P_1 + P_d}{2C} (C - g)^2 \quad (\text{式 4-4})$$

其中 d_t = 實行人專用時相下單位小時之行人總延滯量 (人秒/小時)

P_1 = 單位小時穿越一街道之行人量 (人)

P_d = 單位小時連續穿越二方向行穿線 (斜向穿越) 之行人量 (人)

C = 號誌週期時間 (秒)

g = 行人綠燈時間 (秒)

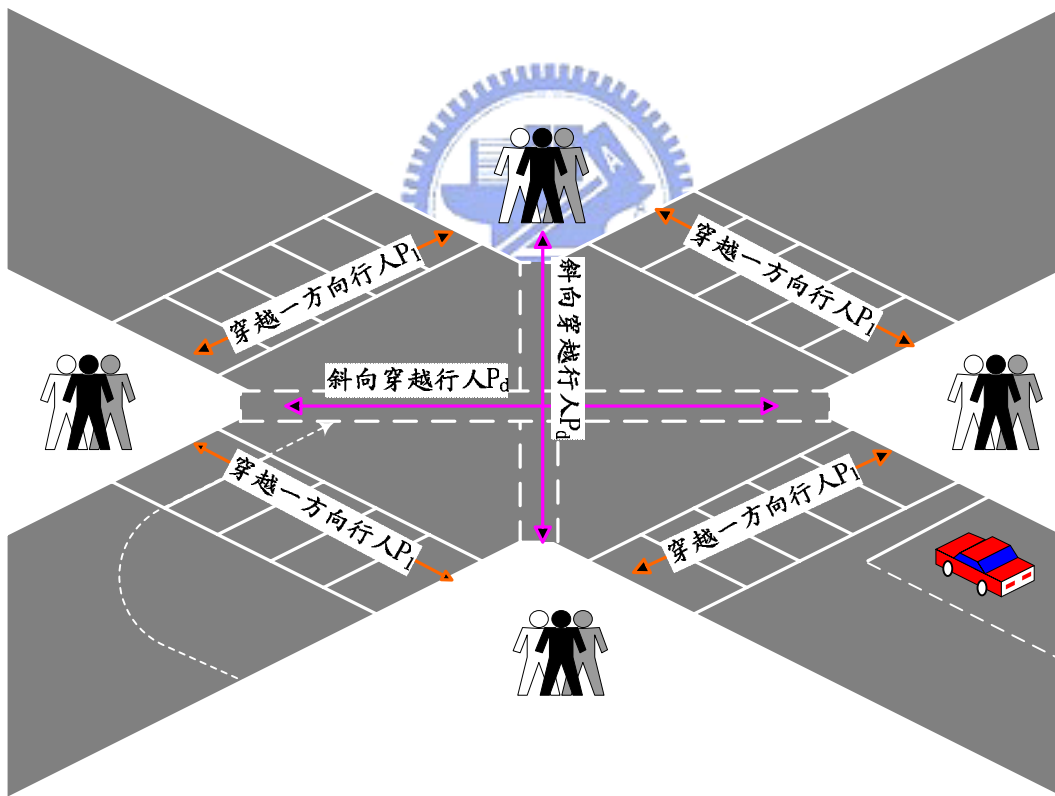


圖 4-1 實行人專用時相下行人穿越路口示意圖

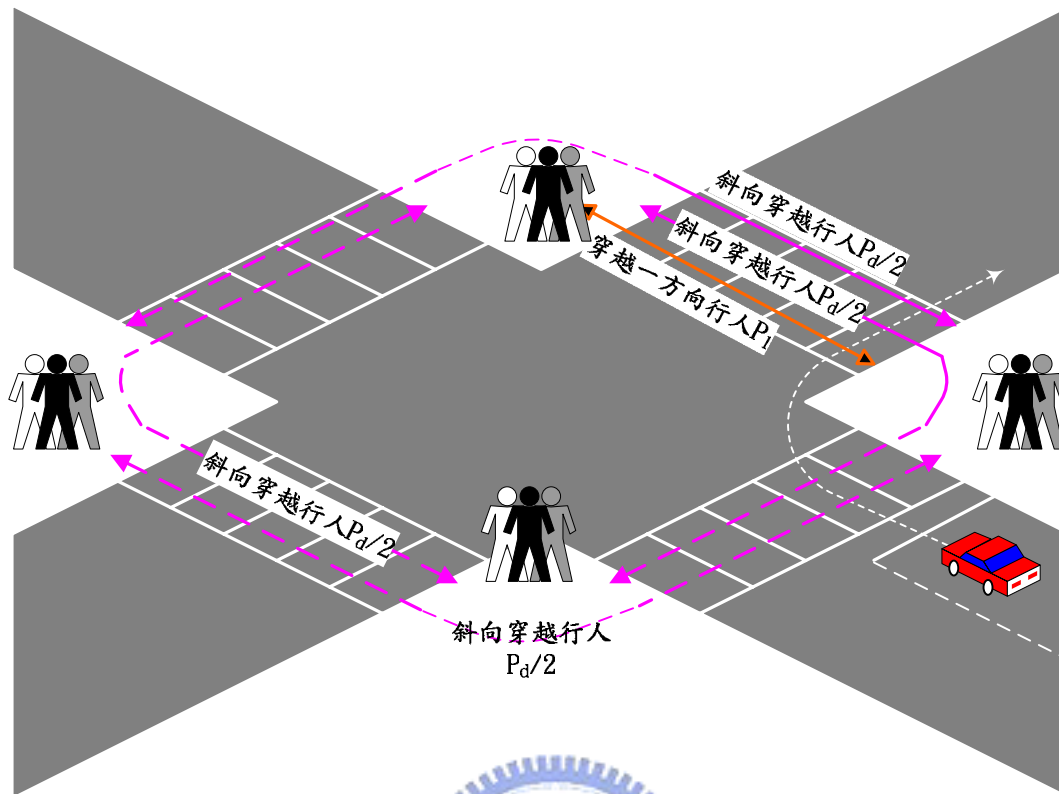


圖 4-2 無實行人專用時相下行人穿越路口示意圖

因此行人單位小時總延滯時間 d_r (秒) 為：

$$d = \frac{4P_1 + 2P_d}{2C} (C - g)^2 = \frac{4V_{ped}}{1 + \rho} \frac{(C - g)^2}{2C} \quad (\text{式 4-5})$$

二、無行人專用時相

無行人專用時相下，週期長度為 C' 秒，則穿越一街道行人之單位小時總延滯時間 d_1 (秒) 為：

$$d_1 = \frac{2P_1}{2C'} (C' - g_1')^2 + \frac{2P_1}{2C'} (C' - g_2')^2$$

其中 C' = 取消行人專用時相後之週期(秒)

g_1' , g_2' = 二方向綠燈時間(秒)

考量取消行人專用時相後，斜向穿越行人必需以二階段穿越路口，一般而言第一階段將優先選擇到達路口時綠燈方向穿越，第二階段則僅需等

待一個紅燈時段，因此連續穿越二街道行人之單位小時總延滯量 d_2 (秒)
為：

$$d_2 = \frac{P_d}{2C'}(C' - g_1')^2 + \frac{P_d}{2C'}(C' - g_2')^2$$

因此單位小時之行人總延滯時間 d' (秒) 為：

$$d' = d_1 + d_2 = \frac{2P_1 + P_d}{2C'}(C' - g_1')^2 + \frac{2P_1 + P_d}{2C'}(C' - g_2')^2 \quad (\text{式 4-6})$$



第五章 模式應用與分析

實行人專用時相能隔離轉向車流與穿越路口行人之人車衝突，將使路口運行效率更為順暢，惟增加了一個時相，將使週期增加及可通行之綠燈時比降低，增加行人與車輛之停等延滯，為比較行人專用時相之實施影響，本章將以右轉共用車道(shared lane)為對象，並用第四章構建之模式，分析右轉共用車道在不同交通量下，實行人專用時相對停等延滯之影響變化，據以研提實行人專用時相之建議門檻值。

5.1 路口條件

(1) 號誌時制

以調查路口之松壽路右轉車道為例，實行人專用時相下路口號誌週期長度為 200 秒，其中松壽路綠燈時間為 70 秒，行人綠燈為 40 秒。取消行人專用時相後，週期為 155 秒，車輛及行人綠燈時間皆為 70 秒。

(2) 交通量

車輛交通量假設每車道小時之飽和流率 $s_0 = 1905(\text{pcu}/\text{lane}/\text{hr of green})$ ，並分別討論每小時單方向車流量為 200~1000pcu/hr/lane，轉向比分別為 0.30~1.0 狀況。行人交通量部分，假設單一行穿線上行人穿越交通量為 250~1500 人/hr，行人斜穿率為 30%。

5.2 有行人專用時相之車輛停等延滯

實行人專用時相隔離人車衝突之後，行人交通量對車輛停等延滯並無影響，換算不同週期下車輛綠燈小時交通量除以飽和流率得出飽和度 x ，並依式 4-1 計算車輛停等延滯 d 如表 5.1。

$$d = 0.576 \frac{C(1-\lambda)^2}{1-\lambda x} + 49.035 \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{32(x-0.5)}{Q}} \right] \quad (\text{式 4-1})$$

表 5.1 實施行人專用時相下車輛停等延滯

週期 (1)	200								
單向綠燈時間(2)	70								
綠燈時比 (3)=(2)/(1)	0.35								
交通量 (pcu/hr)(4)	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
綠燈小時交通量 (pcu/lane/hr of green) (5)=(4)/(3)	571	857	1143	1429	1714	2000	2286	2571	2857
飽和度 x (5)/1905	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	1.05	1.20	1.35	1.50
車輛平均停等延滯 (秒)	54.3	57.7	61.7	66.4	72.5	84.7	104.9	127.5	152.3

5.3 無行人專用時相之車輛停等延滯

取消行人專用時相後，號誌週期為 155 秒，行人與車輛綠燈時間皆為 70 秒，綠燈時比為 0.452。藉由綠燈時比 λ 計算車輛及行人綠燈小時交通量，以換算各種交通量之下道路飽和流率之變化及停等延滯時間，

1. 行人穿越交通量與人車衝突區行人佔用率

取消行人專用時相後，為考量行穿線上行人穿越交通量對轉向車流行車效率之影響，經換算行人綠燈小時交通量並依式 3-4 計算人車衝突區之行人佔用率，及依式 4-3 計算轉向車流之飽和流量調整因子 A_{pbt} 如表 5.2。

$$\begin{cases} Occ_{ped} = 0.00028494 V_{pedg} & V_{pedg} \leq 3000 \\ Occ_{ped} = 0.00002403 V_{pedg} + 0.78273 & V_{pedg} > 3000 \end{cases} \quad (\text{式 3-4})$$

$$A_{pbT} = 1 - Occ_{ped} \quad (N_{rec} = N_{turn}) \quad (\text{式 4-3})$$

表 5.2 取消行人專用時相後行人交通量與行人佔用率

週期(秒)	155					
綠燈時比 (1)	0.452					
行人交通量(pcu/hr) (2)	250	500	750	1000	1250	1500
綠燈小時交通量 (peg/lane/hr of green) (2)/(1)	553	1107	1661	2214	2768	3321
行人佔用率 Occ_{ped}	0.16	0.32	0.47	0.63	0.79	0.86
轉向車流之飽和流量調整因子 A_{pbt}	0.84	0.68	0.53	0.37	0.21	0.14

2. 飽和流率調整

取消行人專用時相後，飽和流率按式 4-2 必須依行人交通量及轉向車輛交通量調整。

$$s = s_0 f_{pb} = s_0 - s_0 \times P_T (1 - A_{pbt}) \quad (\text{式 4-2})$$

每車道小時之飽和流率 $s_0 = 1905(\text{pcu/lane/hr of green})$ ，代入 0.30、0.50、0.75、1.0 等不同之轉向車流比 P_T 及表 5-5 內不同行人交通量對應之轉向車流之飽和流量調整因子 A_{pbt} ，即得到調整後之車道飽和流率 s' ，將車輛綠燈小時交通量除以調整後之車道飽和流率 s' ，即為飽和度 X' 。

3. 取消行人專用時相之車輛停等延滯

採用第四章構建之車輛停等延滯模式(式 4-4)，代入以上求得之飽和度 X' 及綠燈時比 λ' ，即可求出車輛停等時間 d' 。

$$d' = 0.576 \times \frac{C'(1-\lambda')^2}{1-\lambda'X'} + 49.035 \left[(X'-1) + \sqrt{(X'-1)^2 + \frac{32(X'-0.5)}{Q}} \right] \quad (\text{式 4-4})$$

計算不同行人交通量及車輛交通量對應之車輛停等延滯時間結果，茲將分析結果依車輛轉向比分為 0.30~1.0 等 8 種情況下之車輛停等延滯曲線綜合繪製如圖 5-1~圖 5-8：

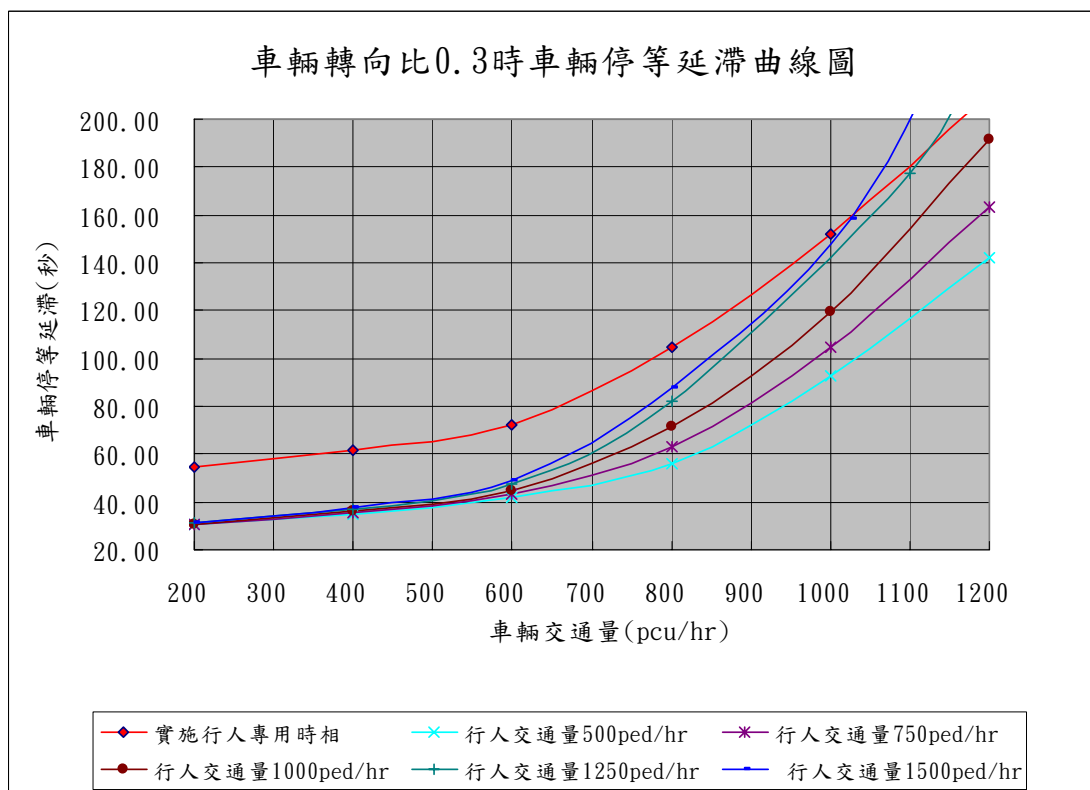


圖 5-1 轉向車流比 0.3 時車輛停等延滯曲線圖

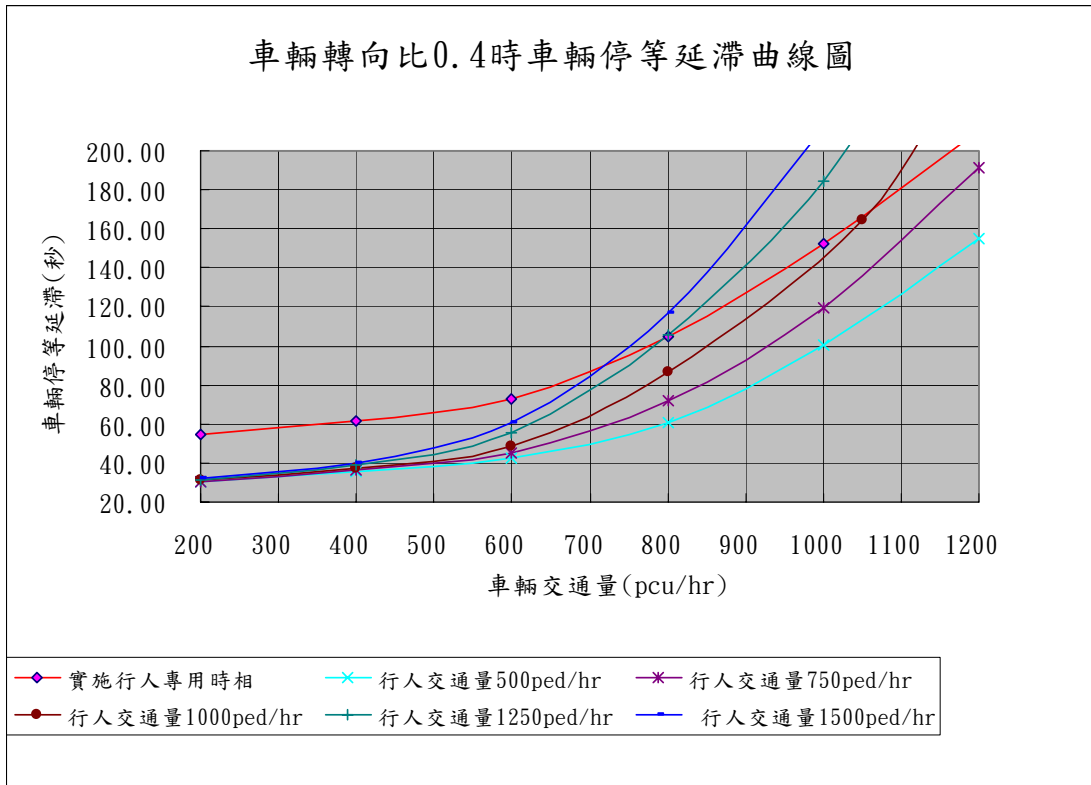


圖 5-2 轉向車流比 0.4 時車輛停等延滯曲線圖

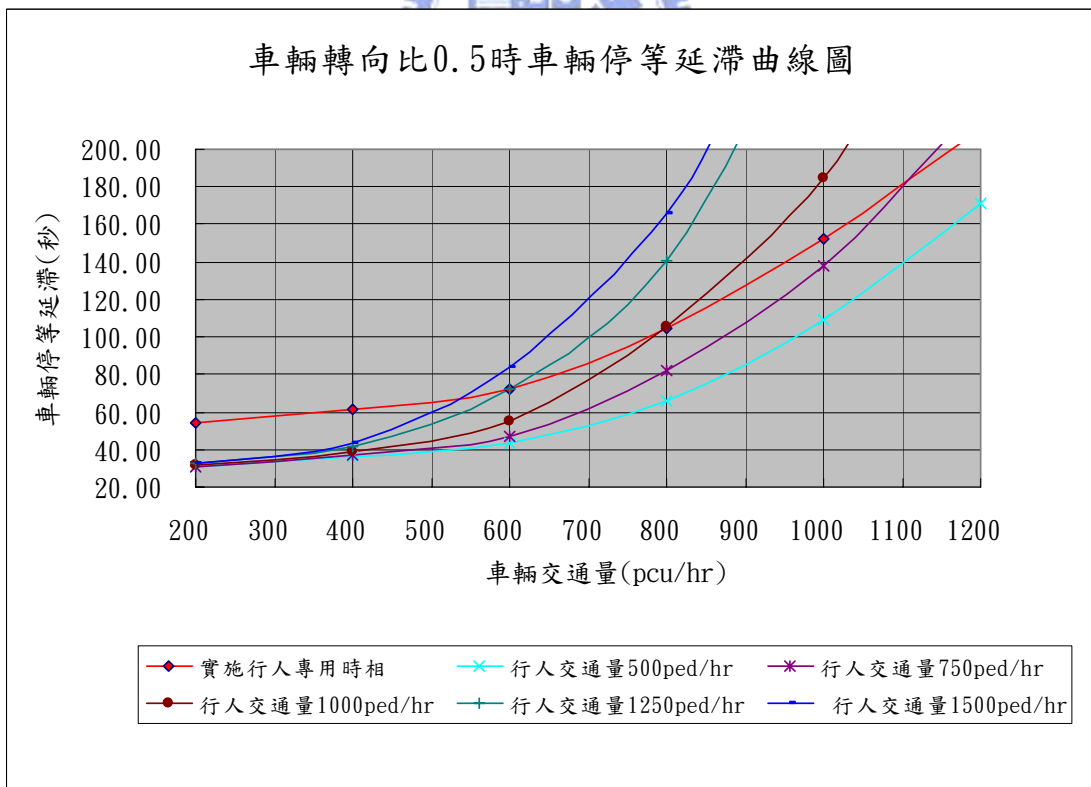


圖 5-3 轉向車流比 0.5 時車輛停等延滯曲線圖

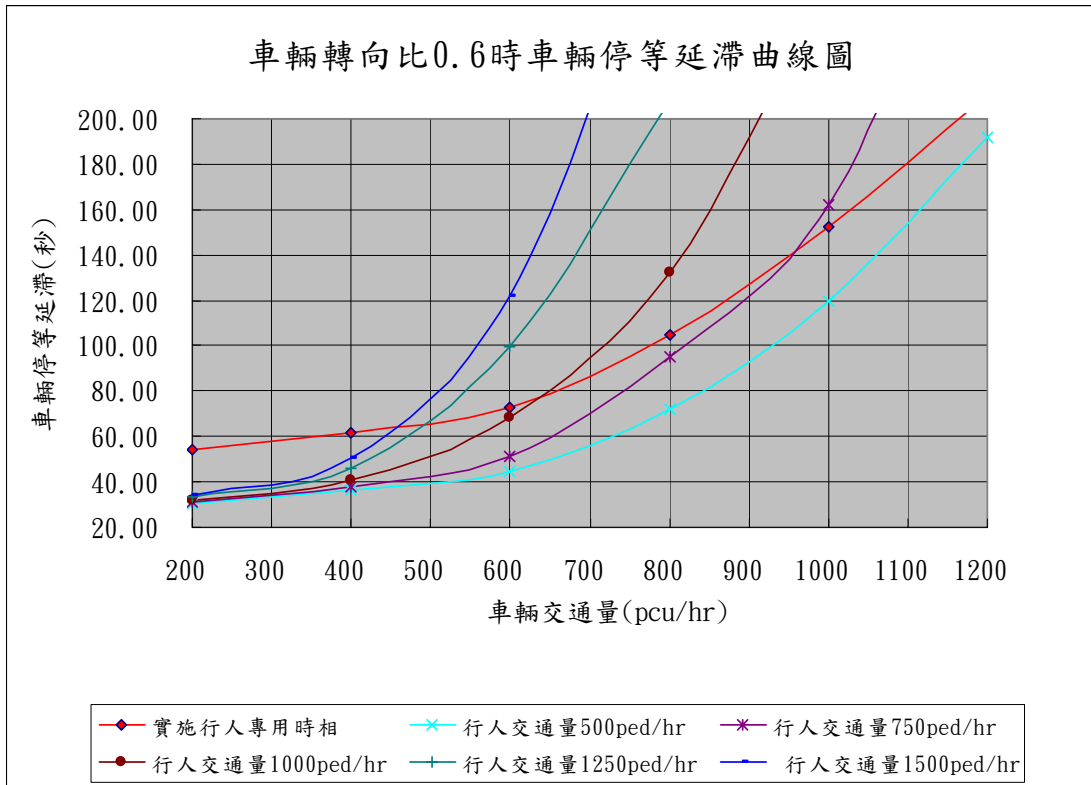


圖 5-4 轉向車流比 0.6 時車輛停等延滯曲線圖

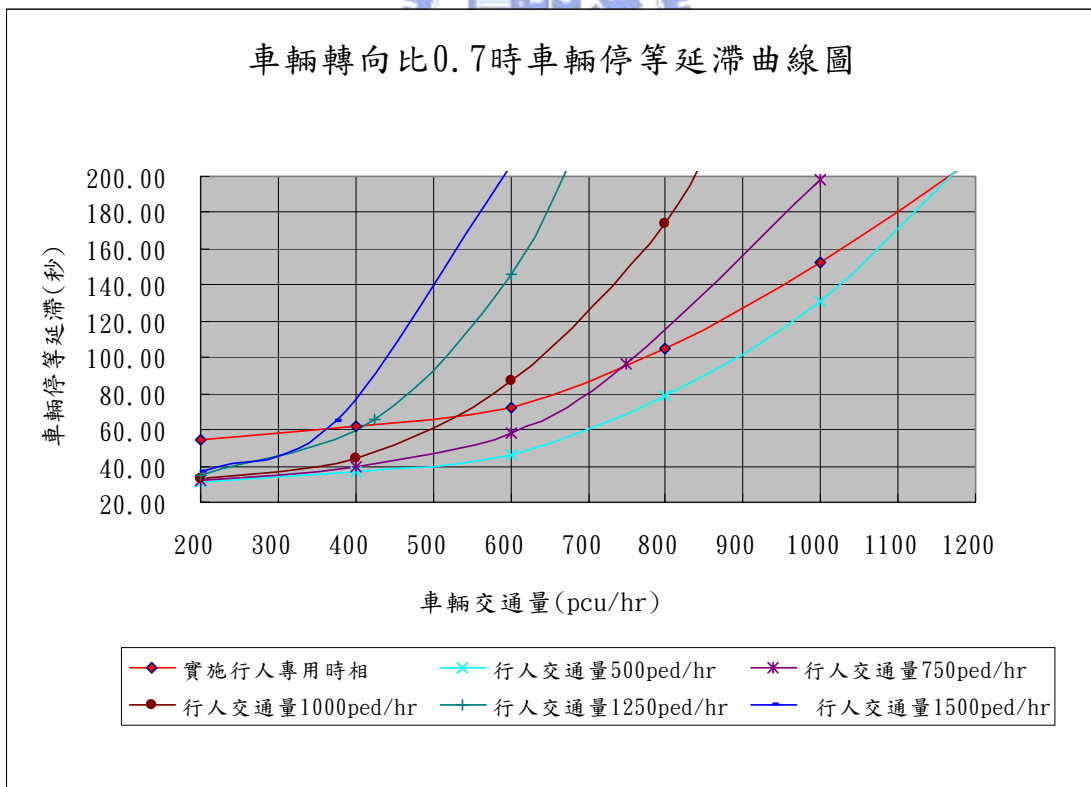


圖 5-5 轉向車流比 0.7 時車輛停等延滯曲線圖

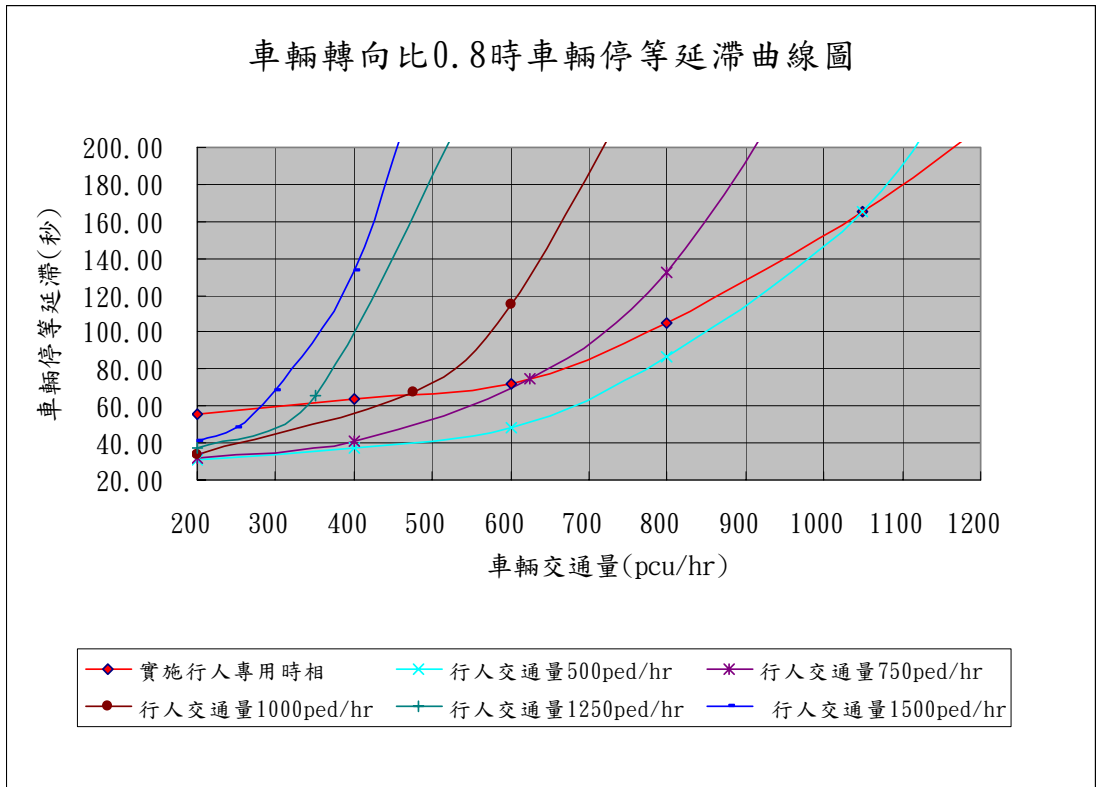


圖 5-6 轉向車流比 0.8 時車輛停等延滯曲線圖

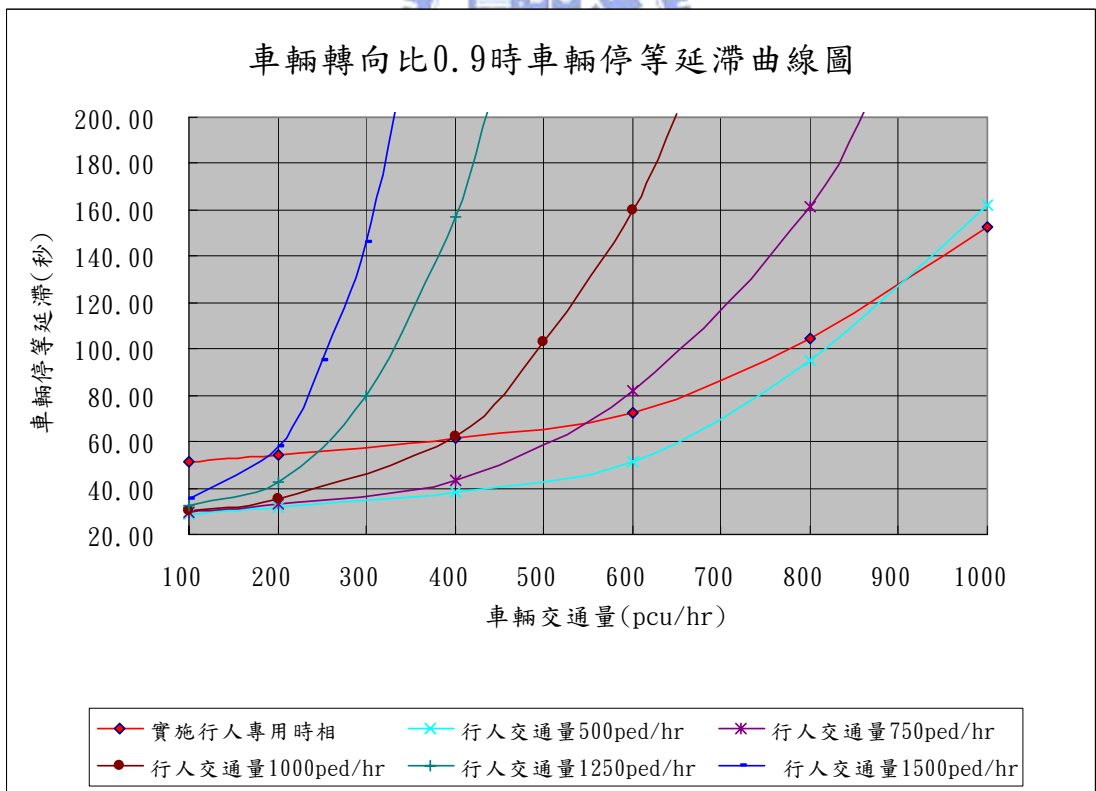


圖 5-7 轉向車流比 0.9 時車輛停等延滯曲線圖

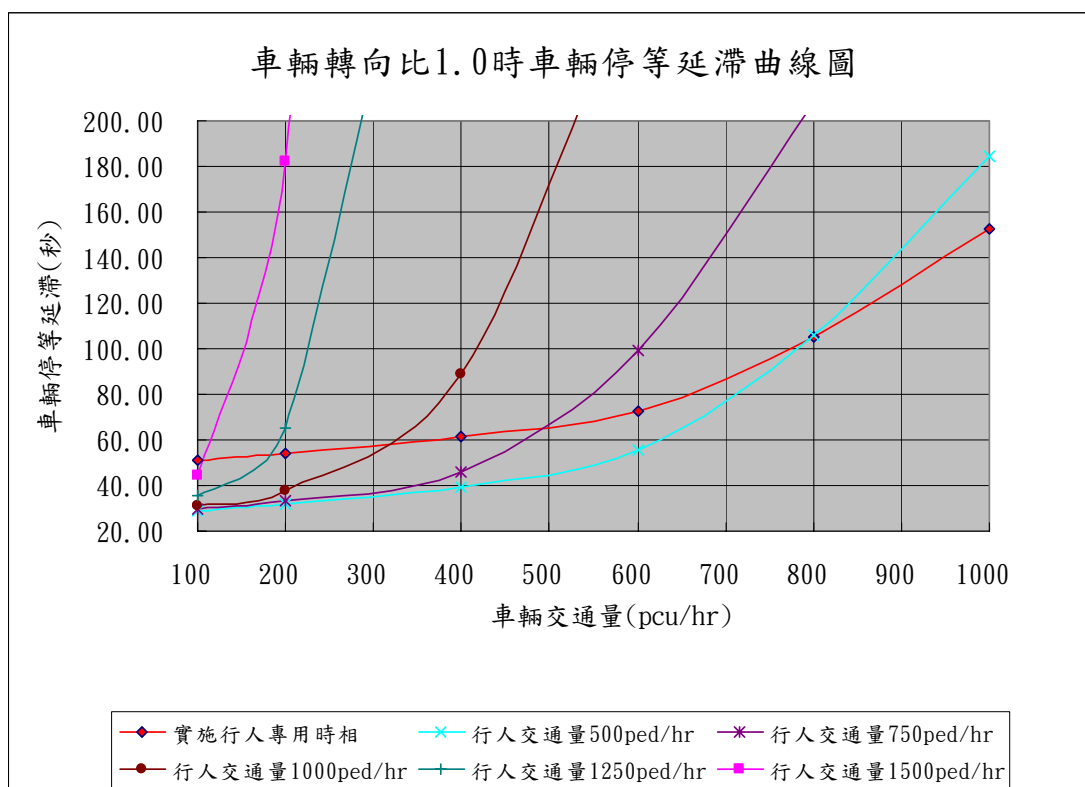


圖 5-8 轉向車流比 1.0 時車輛停等延滯曲線圖

比較實行人專用時相前後車輛停等延滯時間曲線，整理不同行人穿越量及車輛轉向比之下，實行人專用時相可以降低車輛停等延滯時間之車輛交通量(pcu/hr)門檻值如表 5.3。

表 5.3 行人專用時相可以降低車輛停等延滯之交通量門檻值

(單位：pcu/hour)

行人穿越量(人/hr)	轉向比							
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
500	-	-	-	-	1175	1050	900	800
750	-	-	1100	950	750	625	550	500
1000	-	1050	800	650	525	475	400	325
1250	1125	800	600	500	425	350	250	200
1500	1025	725	550	450	350	275	200	125

5.4 行人停等延滯

為比較行人專用時相實施前後，斜向穿越行人對路口行人與車輛總停等延滯之影響，依第四章未實施行人專用時相下單一行穿線上穿越之行人交通量為 V_{ped} ，而實際行人交通量包括穿越一方向行人(P_1)與需穿越二方向(斜向穿越)行人(P_d)，依行穿線上穿越行人交通量 V_{ped} ，換算路口行人交通量(P_1+P_d)如式 4-3。

專施行人專用時相下行人停等延滯如式 4-4，路口行人平均停等延滯時間為 $(C-g)^2/2C$ ，週期為 180 秒時，行人平均停等延滯時間為 65 秒。路口單位小時總行人停等延滯時間為 d 秒：

$$d = \frac{4P_1 + 2P_d}{2C} (C-g)^2 = \frac{4V_{ped}}{1+\rho} \frac{(C-g)^2}{2C}$$

取消行人專用時相後，因斜向穿越行人得選擇到達路口時為綠燈時相方向優先穿越，因此僅須等待一個時相，單位小時之行人總延滯時間 d' (秒) 為：

$$d' = d_1 + d_2 = \frac{4P_1 + 2P_d}{2C'} (C'-g')^2 = \frac{4V_{ped}}{1+\rho} \frac{(C'-g')^2}{2C'}$$

5.5 路口總停等延滯

以上分別計算了車輛及行人停等延滯時間，為整合二者以了解實施行人專用時相對總停等延滯的影響，本研究係將車輛平均延滯轉換為每人(包括駕駛及乘客)平均延滯，因此需先估計車輛之平均乘載率(人/pcu)，使得車輛延滯時間得以換算為以「人」為單位，並與行人延滯相加。各型車輛乘載率引用小客車 1.9 人/車、機車 1.14 人/車、大客車 29.94 人/車【23】，並以路口現場調查所得各車種之比例：小客車 62.3%、機車 32.8%、大客車 4.9%。得到車輛平均乘載人數為 3.55(人/pcu)。

表 5.4 小客車當量(PCU)平均乘載人數統計表

車種	小客車	機車	大客車
車種比例 R	62.3%	32.8%	4.9%
平均乘載率 L (人/車)	1.90	1.14	29.94
小客車當量 E (pcu/車)	1.0	0.4*	2.0
平均小客車承載率 $\Sigma RL / \Sigma RE$ (人/pcu)	3.55		

*本研究調查

將單位小時車輛交通量(pcu/hr)乘上平均乘載率(人/pcu)，與車輛平均停等延滯之乘積，即為車輛乘員（包括駕駛及乘客）平均停等延滯，加計行人平均停等延滯後，求得平均用路人停等延滯時間，比較行人專用時相實施前後之效益(詳如附錄二)，將行人穿越量與車輛交通量列表，比較實行人專用時相後停等延滯降低之車輛轉向比如表 5.5。

表 5.5 實行人專用時相可降低人車總停等延滯之車輛轉向比

行人穿越量 (人/hr)	500	750	1000	1250	1500
車輛交通量 (pcr/hr)					
200	-	-	-	-	1
400	-	-	1.0	0.9	0.8
600	-	1.0	0.8	0.6	0.6
800	-	0.8	0.6	0.5	0.4
1000	0.9	0.6	0.5	0.4	0.4

第六章 行人安全影響分析

本章蒐集台北市歷年來交通肇事資料，就有關行人事故資料分析探討「行人專用時相」之實施對行人穿越道路安全之影響。

6.1 事故資料蒐集分析

本研究蒐集台北市地區市區道路八十九年至九十四年二月共計 62 個月道路交通事故調查報告表，A1 及 A2 類交通事故共 69,580 筆肇事資料，統計如表 6.1：

表 6-1 台北市號誌化路口近年內 A1 及 A2 類交通事故調查表

	A1			A2		小計		
	件數	死亡(人)	受傷(人)	件數	受傷(人)	件數	死亡(人)	受傷(人)
89年	121	124	63	12101	15975	12222	124	16038
90年	94	98	37	12509	16543	12603	98	16580
91年	80	82	28	12230	16287	12310	82	16315
92年	87	87	43	15374	20592	15461	87	20635
93年	93	95	34	14898	19974	14991	95	20008
94年2月底止	18	21	8	1975	2621	1993	21	2629
總計	493	507	213	69087	91992	69580	507	92205

依「道路交通事故調查表(一)」各欄位登載項目及分類包括：

1. 交通事故類別：A1 類（24 小時內人員死亡事故）、A2 類（人員受傷）、A3 類（財物損失）。
2. 發生時間與發生地點。
3. 死傷人數。
4. 天候：暴雨、強風、風沙、霧或煙、雪、雨、陰、晴。
5. 光線：日間自然光線、晨或暮光、夜間有照明、夜間無照明。
6. 道路類別：國道、省道、縣道、鄉道、市區道路、村里道路、專用

道路、其他。

7. 速限。
8. 道路型態：平交道、交岔路、單路部分、圓環廣場。
9. 事故位置：交岔路口、路段、交流道、其他。
10. 路面狀況：包含路面鋪裝、路面狀態、路面缺陷。
11. 道路障礙：包含障礙物、視距。
12. 號誌：包含號誌種類、號誌動作。
13. 車道劃分設施：包含快車道或一般車道間、快慢車道間、路面邊緣。
14. 事故類型及型態：分為(1)人與汽(機)車、(2)車與車、(3)汽(機)車本身及(4)平交道事故。
15. 肇事主因：分為違規超車、爭道行駛等 43 項駕駛人因素，及煞車失靈、未依規定行走行人穿越道等 21 項非駕駛人因素。詳如表 6.2 肇事因素索引表。

表 6.2 道路交通事故調查肇事因素索引表

肇事因素索引表		
車輛駕駛人因素		非車輛駕駛人因素
(一) 駕駛人本身	(二) 燈光	(六) 機件
違規超車	未依規定使用燈光	煞車失靈
爭(搶)道行駛	暗處停車無燈光、標識	方向操縱系統故障
蛇行方向不定	(三) 裝載	燈光系統故障
逆向行駛	裝載貨不穩妥	車輪脫落或輪胎爆裂
未靠右行駛	載貨超重而失控	其他引起事故之故障
未依規定讓車	超載人員而失控	(七) 行人(或乘客)
轉向(或變換車道)不當	貨物超長、寬、高而肇事	未依規定走行人穿越道 地下道 天橋而 穿越馬路
左轉彎未依規定	裝卸貨不當	未依標誌 標線 號誌或手勢指揮穿越馬 路
右轉彎未依規定	裝載未盡安全措施	穿越道路未注意左右來車
迴轉換未依規定	未待乘客安全上下開車	在道路上嬉戲或奔走不定
橫越道路不慎	其他裝載不當肇事	未待車輛停妥而上下車
倒車未依規定	(四) 其他	上下車輛未注意安全
超速失控	違規停車或暫停不當而肇事	頭手伸出車外而肇事
未依規定減速	拋錨未採安全措施	乘坐不當而跌落
搶越行人穿越道	開啟車門不當而肇事	在路上工作未設適當標識
未保持行車安全距離	使用手持行動電話失控	其他引起事故之疏失
未保持行車安全間隔	駕駛疏忽	(八) 交通管制(設施)
停車操作時未注意其他車(人)安全	不明原因肇事	路況危險無安全(警告)設施
起步未注意他車(人)安全	(五) 不明(非車輛駕駛人因素)	交通管制設施失靈、損毀
吸食違禁物後駕駛失控	尚未發現肇事因素	交通指揮不當
酒醉(後)駕駛失控		平交道疏失或未放柵欄
疲勞(患病)駕駛失控		其他交通隊管制不當
未注意車前狀況		(九) 不明(非車輛駕駛人因素)
搶(闖)越平交道		尚未發現肇事因素
違反號誌管制		
違反標誌標線		

6.1.1 行人與汽(機)車事故資料分析

要探討實施行人專用時相隔離人車衝突後之安全效益，首先要了解行人穿越路口發生肇事之型態與原因。本研究就所蒐集之肇事資料中篩選有行車管制號誌且正常運作之路口，並針對事故類型及型態為行人與汽(機)車衝突(如圖 6-1)之肇事資料共 3,423 筆，加以統計結果，在 62 個月內人車衝突類型事故共造成 58 人死亡、4316 人受傷，詳如表 6.3。

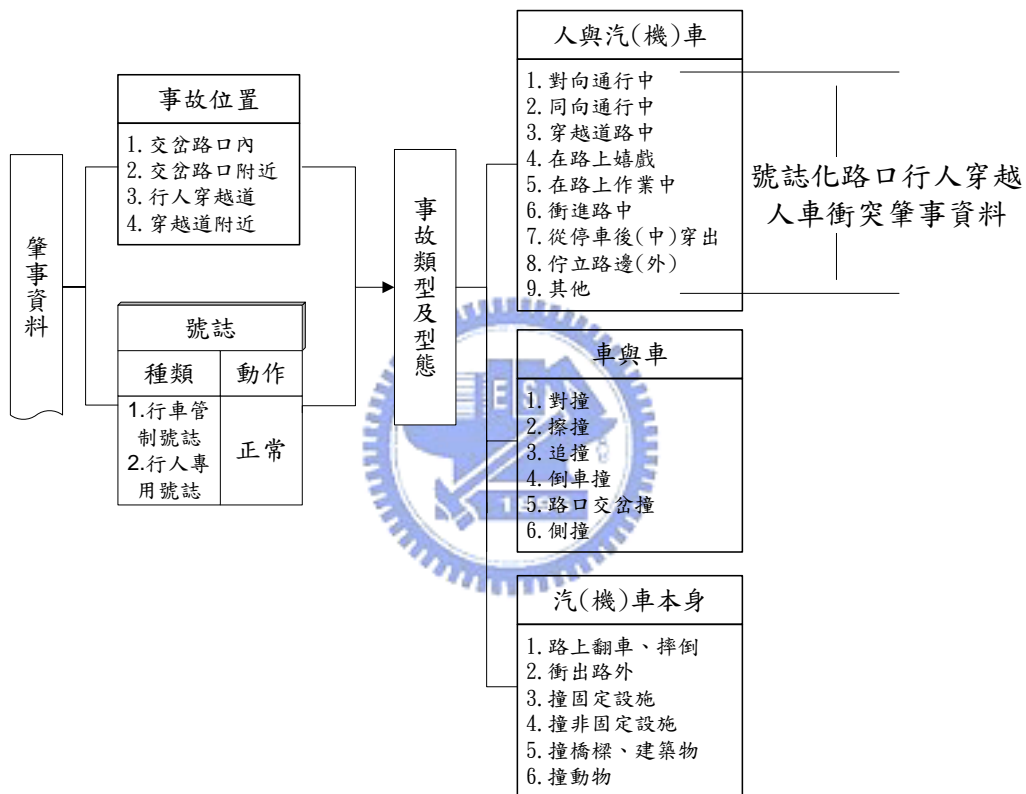


圖 6-1 行人穿越號誌化路口人車衝突肇事型態

表 6.3 台北市號誌化路口近年內行人與汽(機)車事故類型統計表

	A1			A2		小計	
	件數	死亡(人)	受傷(人)	件數	受傷(人)	死亡(人)	受傷(人)
89年	14	14	3	603	762	14	765
90年	8	8	1	560	722	8	723
91年	8	8	1	563	722	8	723
92年	15	15	3	776	1014	15	1017
93年	12	12	0	784	989	12	989
94年2月底止	1	1	0	79	99	1	99
總計	58	58	8	3365	4308	58	4316

分析「道路交通事故報告表」資料，「事故類型及型態」屬行人與汽(機)車事故區分為 9 項：對向通行中、同向通行中、穿越道路中、在路上嬉戲、在路上作業中、衝進路中、從停車後(或中)穿出、佇立路邊(外)及其他。各別事故型態肇事件數及死傷人數統計如表 6.4。

表 6.4 台北市號誌化路口近年內行人與汽(機)車事故型態之比例

事故類型	肇事件數	死亡(人)	受傷(人)	百分比	排序
對向通行中	147	2	189	4%	4
同向通行中	307	2	374	9%	3
穿越道路中	2500	45	3153	73%	1
在路上嬉戲	5	0	5	0%	
在路上作業中	34	1	40	1%	
衝進路中	24	1	35	1%	
從停車後(或中)穿出	13	1	15	0%	
佇立路邊(外)	81	1	99	2%	5
其他	312	5	406	9%	2
總計	3423	58	4316	100%	

統計資料中死亡及受傷人數依據事故型態分析如圖 5.2~圖 5.3；死亡事故發生於穿越道路中佔 77%、對向通行中佔 3%、同向通行中佔 3%、其他佔 9%，受傷人數發生於穿越道路中佔 73%、同向通行中佔 9%、對向通行中佔 4%、其他佔 9%。顯示行人於穿越道上發生事故之比例，無論死亡或受

傷均高達 73%以上。

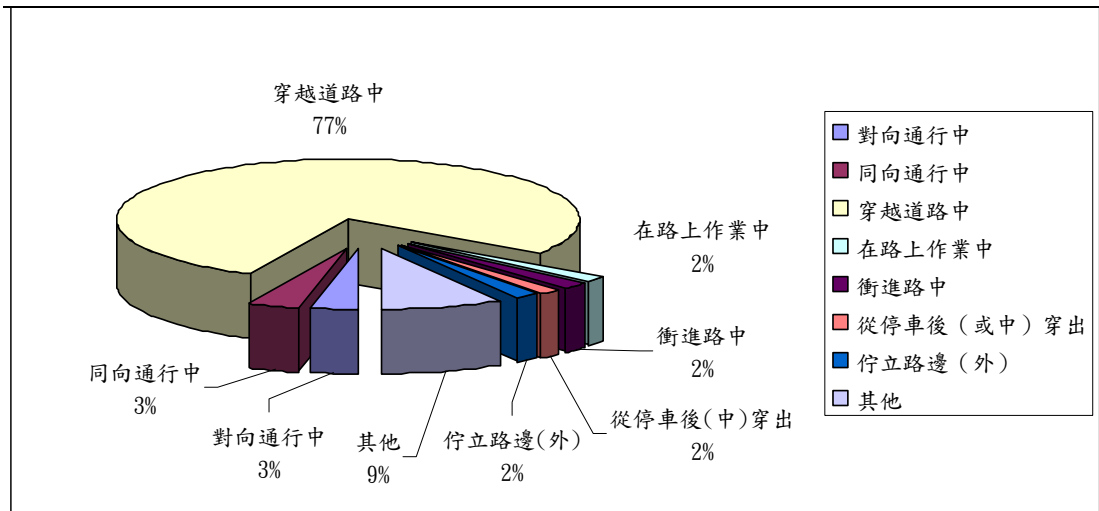


圖 6-2 台北市號誌化路口行人與汽（機）車死亡事故型態比例圖

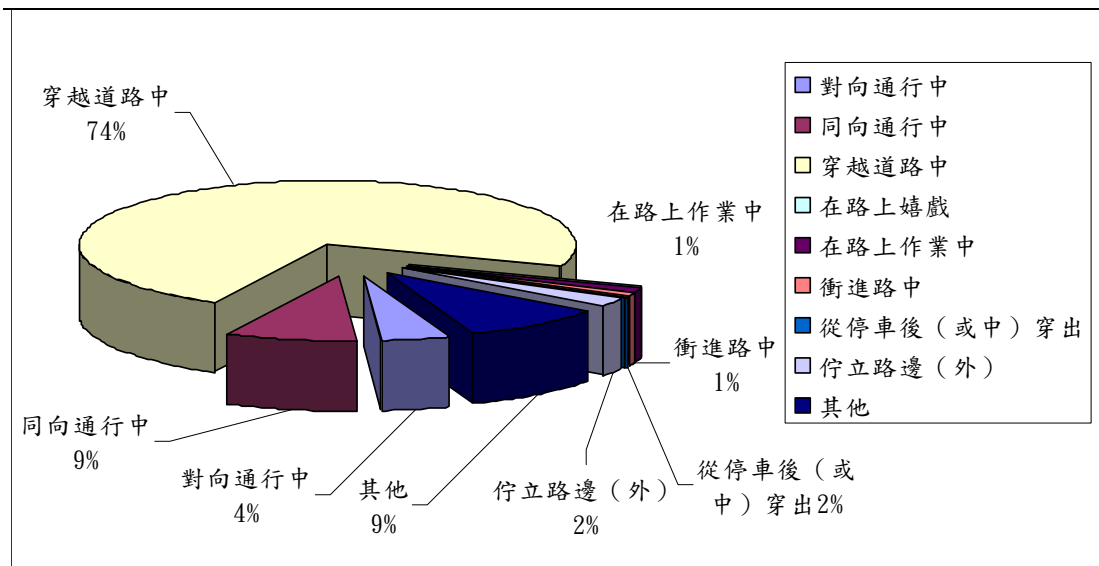


圖 6-3 台北市號誌化路口行人與汽（機）車受傷事故型態比例圖

6.2 肇事主因分析

為進一步分析號誌化路口人車衝突事故之原因，本研究就民國 92 年至 94 年 2 月底台北市號誌化路口 29,579 筆肇事資料中有關「人與汽(機)車」事故類型資料共 1667 筆，詳細分析其肇事原因。

該 1667 件事故，共造成 28 人死亡 2,068 人受傷。按肇事主因分類，並將累計事故次數前 15 項之肇事主因列表如表 6.5。由於所篩選之事故資料中，並未出現 A3 類事故資料，因此並未有無人員傷亡且僅財物損失之案件，亦即每筆人車衝突肇事事故，即為傷亡事故，且絕大部分皆為行人之傷亡。為進一步探討肇事主因對人員傷亡之嚴重性，將個別肇事主因案件造成之死亡人數除以該主因之總件數，即為每一事件之平均死亡率，藉以評估各項肇事主因的嚴重性。

表 6.5 台北市號誌化路口近年內行人與汽(機)車事故肇事主因分析表

事故分類		A1 事故			A2 事故		小計		百分比		每一事件 死亡率
肇事因素	肇事主因	件數	死亡	受傷	件數	受傷	死亡	受傷	死亡	受傷	
駕駛人	搶越行人穿越道	11	11	1	769	895	11	896	39.3%	43.3%	1.4%
駕駛人	違反號誌管制	7	7	1	304	451	7	452	25.0%	21.9%	2.3%
駕駛人	未注意車前狀況	7	7	1	145	196	7	197	25.0%	9.5%	4.6%
其他	不明原因肇事	1	1	0	116	126	1	126	3.6%	6.1%	0.9%
駕駛人	左轉彎未依規定	1	1	0	50	57	1	57	3.6%	2.8%	2.0%
駕駛人	駕駛疏忽	0	0	0	45	84	0	84	0.0%	4.1%	0.0%
行人	未依規定走行人穿越道等	0	0	0	32	50	0	50	0.0%	2.4%	0.0%
駕駛人	右轉彎未依規定	1	1	0	26	29	1	29	3.6%	1.4%	3.7%
駕駛人	倒車未依規定	0	0	0	25	26	0	26	0.0%	1.3%	0.0%
行人	未依標誌標線號誌穿越馬路	0	0	0	47	32	0	32	0.0%	1.5%	0.0%
駕駛人	超速失控	0	0	0	21	38	0	38	0.0%	1.8%	0.0%
駕駛人	未保持行車安全間隔	0	0	0	9	13	0	13	0.0%	0.6%	0.0%
駕駛人	未依規定讓車	0	0	0	7	13	0	13	0.0%	0.6%	0.0%
駕駛人	迴轉未依規定	0	0	0	7	10	0	10	0.0%	0.5%	0.0%
非駕駛人	尚未發現肇事因素	0	0	0	2	3	0	3	0.0%	0.1%	0.0%
其他		0	0	0	34	42	0	42	0.0%	2.0%	0.0%
總計		28	28	3	1639	2065	28	2068	100%	100%	1.7%

扣除肇事原因不明事故，肇事因素可歸責於車輛駕駛人為：搶越行人穿越道、違反號誌管制、未注意車前狀況、左轉彎未依規定、駕駛疏忽、右轉彎未依規定、超速失控等，而可歸責於行人違規肇事因素為：未依規定走行人穿越道、未依標誌標線號誌穿越馬路等。人員傷亡比例依肇事主因分如別詳示圖 6-4 及圖 6-5。各項死亡事故肇事主因之死亡人數依序為搶越行人穿越道 (39%)、違反號誌管制 (25%)、未注意車前狀況 (25%)、不明原因肇事 (3.6%)、轉彎未依規定 (7.2%)。各項肇事主因之受傷人數依序為搶越行人穿越道 (43.3%)、違反號誌管制 (21.9%)、未注意車前狀況 (9.5%)、不明原因肇事 (6.1%)、轉彎未依規定 (4.2%)、駕駛疏忽 (4.1%) 等。

就事故嚴重性而言，死亡率前五名之肇事主因依序為：未注意車前狀況 (4.6%)、右轉彎未依規定 (3.7%)、違反號誌管制 (2.3%)、左轉彎未依規定 (2.0%)、搶越行人穿越道 (1.4%)。

由上可知號誌化路口人車衝突事故，絕大部分皆為駕駛人因素，依調查資料內肇事原因之說明，可歸為轉向車流與行人衝突事件之肇事主因包括搶越行人穿越道、左(右)轉彎未依規定及未注意車前狀況等項，該部分肇事主因佔死亡人數的 71%，及受傷人數的 77%，且肇事嚴重性皆位於前五名中。可見在號誌化路口人車衝突事故中，肇事責任主要為駕駛人因素，而傷亡者皆為行人，因此實施行人專用時相確有提高行人穿越路口安全之效益，藉由完全隔絕人車衝突，提供行人擁有一段不受車輛干擾之通行時間。

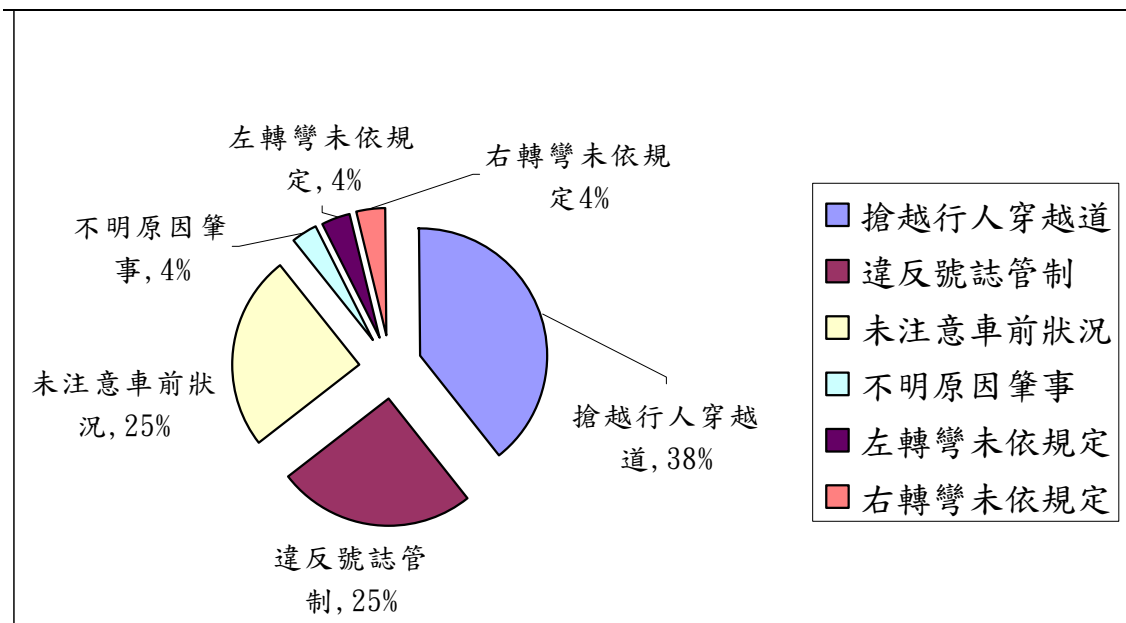


圖 6-4 台北市號誌化路口人車衝突死亡事故肇事主因分析圖

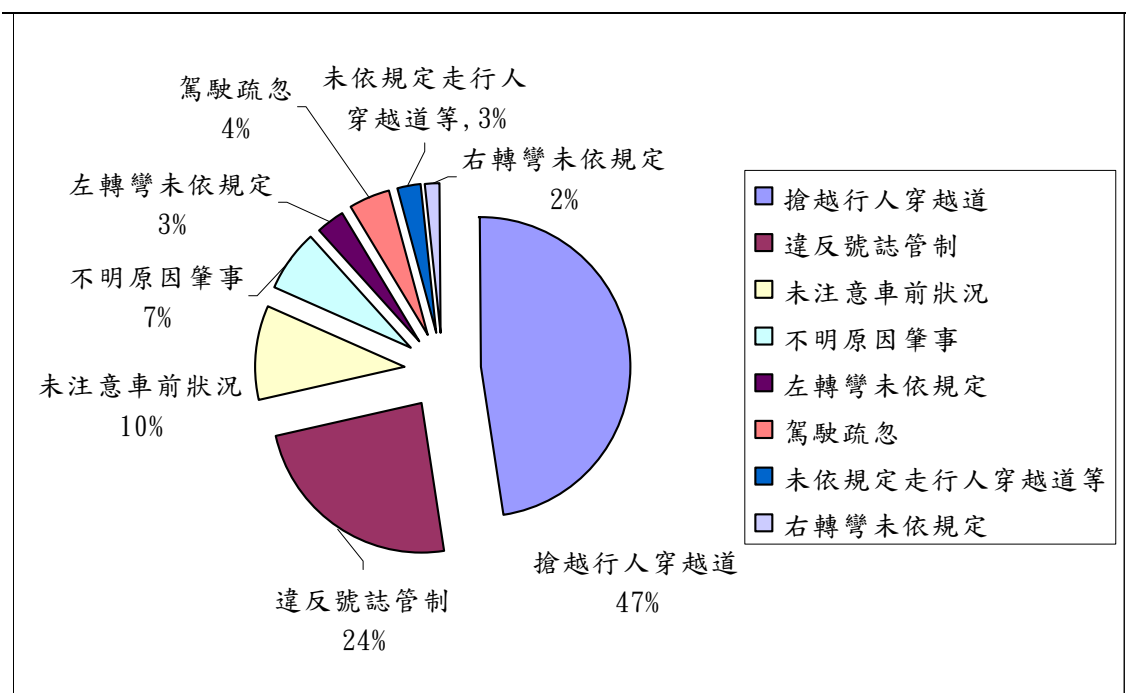


圖 6-5 台北市號誌化路口人車衝突受傷事故肇事主因分析圖

6.3 實施行人專用時相路口肇事資料分析

為進一步探討實施行人專用時相後，對行人安全效益之影響，本節另就所蒐集之台北市號誌化路口 92 年~93 年肇事資料中，篩選 93 年年底前已實施行人專用時相的 76 個路口，統計其人車衝突事故資料造成行人傷亡事故案件共計 42 件，總共造成 55 人受傷，如表 6.6。其中事故發生當時正實施行人專用時相事故共 15 件，造成 21 人受傷。為比較行人專用時相實施前後，對行人交通安全之影響，根據上述 76 個 93 年底已實施行人專用時相路口 89 年、90 年之人車衝突肇事資料，篩選該 76 個路口之肇事資料共 67 件，總共造成 2 人死亡 82 人受傷，如表 6.7。為比較實施行人專用時相前後之效益，若僅考量同一（實施行人專用時相）時段之肇事資料，則所發生之人車衝突肇事資料計 29 件，造成 2 人死亡、32 人受傷。

一、行人專用時相實施前後肇事資料分析

分析台北市目前實施行人專用時相之路口資料，個別路口實施日分為：平日（上班日）、假日、上課期間（非例假日及寒暑假），實施時段分為全日、尖峰時間、上下課時間等。為比較行人專用時相之實施對肇事率的影響，選定 76 個台北市政府 93 年年底前已實施行人專用時相之路口，計算個別路口每日實施行人專用時相之小時數，乘上該路口 92 年及 93 年累計實施行人專用時相之總實施日數，得出個別路口實施行人專用時相之時數，加總該 76 個路口之實施時數得出總累積實施行人專用時相小時數，並統計該 76 個路口於同時間發生於實施行人專用時相時之事故件數與傷亡人數，將兩者相除得出該 76 個路口於 92、93 年間實施行人專用時相後之總平均小時肇事率及傷亡率。

另計算個別路口每日實施行人專用時相之時數，乘上二年之實施日數，得出該 76 個路口之二年累積實施行人專用時相小時數，並統計於 89 年及 90 年間，對應實施行人專用時相之相同實施日、時段之肇事資料，以得出相同路口於相同條件（實施日及實施時段）下，未實施行人專用時相前總平均小時肇事率及傷亡率，藉以比較實施前後對肇事率的影響。相關統計資料如附錄三。

經由資料之統計；該 76 個路口分別於 92、93 年間實施行人專用時相之總時數為 441,946 小時（部分路口陸續於 92、93 年間開始實施），實施期間共發生 15 件人車肇事案件，造成 21 人受傷，總平均肇事率為每 10,000 小時 0.33943 次，總平均受傷率為每 10,000 小時 0.47520 人。

另統計該 76 個路口實施行人專用時相之總時數二年共計 466,856 小時，對比 89 年及 90 年兩年間相同條件下共發生了 29 件人車衝突肇事案件，造成 2 人死亡、32 人受傷；總平均肇事率為每 10,000 小時 0.62118 件，總平均死亡與受傷率分別為每 10,000 小時 0.04284 人與 0.68544 人。

二、行人專用時相實施前後肇事類型分析

比較相同時段下，行人專用時相實施前後人車衝突肇事案件，依肇事主因分析整理如表 6.8 及圖 6-6，顯示於實施行人專用時相後，未注意車前狀況及搶越行人穿越道肇事案件比例明顯降低，而違反號誌管制案件比例卻相對升高；可見行人專用時相之實施確實降低了該衝突類型的的肇事案件，惟違反號誌管制的肇事案件卻因而增加，分析原因主要可能因為駕駛人與行人未熟悉行人專用時相之措施，以及不良的駕駛行為，往往看到橫向號誌紅燈一亮即往前衝，未確認行進方向是否為綠燈因而肇事。

表 6.8 行人專用時相實施前後肇事類型比較表

肇事主因	實行人專用時相前		實行人專用時相後	
	事故件數	百分比	事故件數	百分比
轉彎及讓車未依規定	1	3.4%	1	6.7%
未注意車前狀況	4	13.8%	1	6.7%
搶越行人穿越道	18	62.1%	5	33.3%
違反號誌管制	3	10.3%	5	33.3%
超速及駕駛疏忽	1	3.4%	1	6.7%
穿越道路未注意左右來車	1	3.4%		0.0%
不明原因肇事	1	3.4%	2	13.3%
總計	29	100.0%	15	100.0%

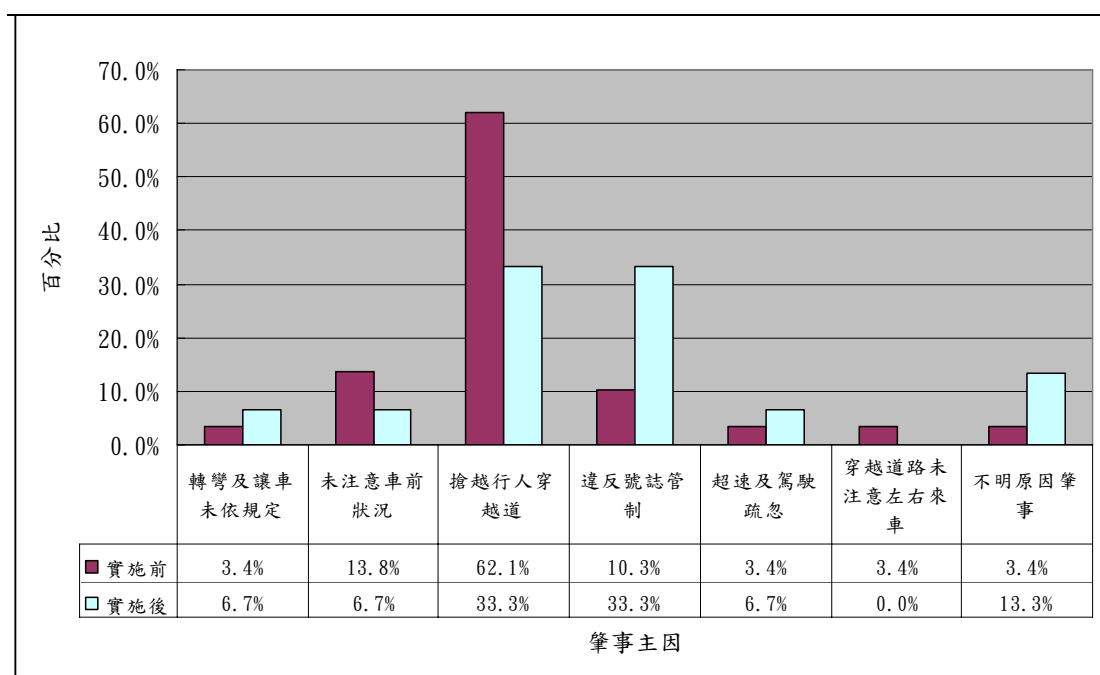


圖 6-6 行人專用時相實施前後肇事因素比較

表 6.6 調查路口 92 年~93 年人車衝突肇事資料表

項次	肇事地點	處理別	日期	時間	死亡	受傷	肇事主因	肇事原因	行專時相 實施別
1	臺北市三民路延壽街口	A2	0921003	0725	0	1	違反號誌管制	駕駛人	1
2	臺北市三民路延壽街口	A2	0920109	2240	0	2	未注意車前狀況	駕駛人	0
3	臺北市仁愛路建國南路	A2	0920404	1750	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
4	臺北市仁愛路建國南路	A2	0920920	1300	0	1	不明原因肇事	其他	1
5	臺北市天母北路與天玉街口	A2	0920209	1830	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
6	臺北市文林路與基河路口	A2	0920111	1240	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
7	臺北市文林路與基河路口	A2	0921218	1800	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人	0
8	臺北市民生西路寧夏路口	A2	0920715	0000	0	1	未注意車前狀況	駕駛人	0
9	臺北市玉門街、酒泉街口	A2	0920203	0840	0	1	未注意車前狀況	駕駛人	0
10	臺北市玉門街酒泉街口	A2	0920425	1815	0	2	駕駛疏忽	駕駛人	1
11	臺北市玉門街酒泉街口	A2	0920619	1945	0	1	未注意車前狀況	駕駛人	0
12	臺北市光復北路與延壽街口	A2	0920331	1230	0	1	違反號誌管制	駕駛人	0
13	臺北市成都路昆明街口	A2	0920605	0550	0	1	違反號誌管制	駕駛人	0
14	臺北市西安街與明德路口	A2	0921121	0820	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
15	臺北市西園路、西藏路口	A2	0920404	2210	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
16	臺北市西園路與西藏路口	A2	0920216	2220	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
17	臺北市杭州南路信義路口	A2	0920217	1150	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	1
18	臺北市東湖路康寧路	A2	0920221	0240	0	1	不明原因肇事	其他	0
19	臺北市東園街與萬大路口	A2	0921214	1810	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
20	臺北市松山路、松隆路口	A2	0920714	0925	0	1	右轉彎未依規定	駕駛人	1
21	臺北市信義路建國南路口	A2	0920323	0950	0	2	違反號誌管制	駕駛人	1
22	臺北市信義路建國南路口	A2	0920504	1035	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	1
23	臺北市建國南路信義路口	A2	0921210	1815	0	1	不明原因肇事	其他	0

表 6.6 調查路口 92 年~93 年人車衝突肇事資料表 (續)

項次	肇事地點	處理別	日期	時間	死亡	受傷	肇事主因	肇事原因	行專時相 實施別
24	臺北市重慶南路貴陽街	A2	0920227	0810	0	2	違反號誌管制	駕駛人	0
25	臺北市酒泉街玉門街口	A2	0921113	1410	0	1	右轉彎未依規定	駕駛人	0
26	臺北市興隆路福興路口	A2	0920630	1700	0	2	違反號誌管制	駕駛人	0
27	臺北市興隆路與萬盛街口	A2	0920126	2210	0	2	未依標誌標線號誌等穿越馬路	行人	0
28	臺北市士東路忠誠路口	A2	0930528	0730	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
29	臺北市仁愛路建國南路	A2	0930416	1910	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
30	臺北市文林路與基河路口	A2	0930526	1900	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人	1
31	臺北市市府路與松高路口	A2	0930107	1820	0	1	未注意車前狀況	駕駛人	1
32	臺北市玉門街酒泉街口	A2	0930206	0740	0	2	違反號誌管制	駕駛人	0
33	臺北市杭州南路、信義路口	A2	0930329	0840	0	2	違反號誌管制	駕駛人	1
34	臺北市杭州南路、信義路口	A2	0930506	1423	0	2	違反號誌管制	駕駛人	1
35	臺北市杭州南路信義路口	A2	0930405	2220	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人	1
36	臺北市東園街萬大路	A2	0930120	1300	0	1	違反號誌管制	駕駛人	0
37	臺北市信義路杭州南路	A2	0930907	1630	0	1	不明原因肇事	其他	1
38	臺北市信義路建國南路	A2	0930302	1900	0	2	違反號誌管制	駕駛人	0
39	臺北市建國南路、信義路口	A2	0930907	1930	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
40	臺北市建國南路與信義路口	A2	0930424	1210	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	1
41	臺北市重慶北路與南京西路口	A2	0930915	1650	0	1	違反號誌管制	駕駛人	1
42	臺北市德行西路磺溪街	A2	0930518	0655	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	0
總 計					0	55			15

註：行專時相實施別表示事故發生當時是否實施行人專用時相中，1 表示實施中，0 則為否。

表 6.7 調查路口 89 年~90 年人車衝突肇事資料表

項次	事故路口	處理別	日期	時間	死亡	受傷	肇事主因	肇事原因	93 年行人專用時相運作時段	實施時段內
1	八德路四段、東寧路口	A2	890420	900	0	1	駕駛疏忽	駕駛人	11:00~23:00	0
2	三民路、延壽街口	A2	900730	1903	0	1	左轉彎未依規定	駕駛人	07:00~08:00 12:00~12:30 16:00~16:30	0
3	士東路忠誠路二段	A2	890409	1950	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	平日 11:00~22:00	0
4	大直街北安路口	A2	890405	710	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	全日	1
5	小北街與文林路	A2	890409	1830	0	1	違反號誌管制	駕駛人	16:30~24:00	1
6	小北街與文林路	A2	900115	1545	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	16:30~24:00	1
7	公園路青島西路	A2	890628	1000	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	05:00~24:00	1
8	公園路青島西路	A2	891226	2100	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	05:00~24:00	1
9	公園路常德街口	A2	890221	1800	0	1	超速失控	駕駛人	07:00~19:00	1
10	文林路與基河路口	A2	901201	2245	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人	05:00~24:00	1
11	民生東路四段 80 巷 15 弄口	A2	901208	1900	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	07:00~08:00 12:00~13:00 15:50~16:30	0
12	玉門街與酒泉街	A2	890415	1350	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人	平日 07:00~09:00	0
13	玉門街與酒泉街	A2	891112	845	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	平日 07:00~09:00	1
14	伊通街長春路口	A2	890203	1710	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	07:00~07:40 12:00~12:30 16:00~17:30	1
15	光復北路與延壽街	A2	890117	1700	0	1	不明原因肇事	其他	07:00~08:00 16:00~17:00	0

表 6.7 調查路口 89 年~90 年人車衝突肇事資料表 (續 1)

項次	事故路口	處理別	日期	時間	死亡	受傷	肇事主因	肇事原因	93 年行人專用時相運作時段	實施時段內
16	光復北路與延壽街	A2	901224	1110	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	07:00~08:00 16:00~17:00	0
17	成功路三段陽光街	A2	900327	1830	0	1	不明原因肇事	其他	07:00~07:50 16:50~18:00	0
18	成美橋與新明路 298 巷交岔口	A2	891008	2137	0	1	違反號誌管制	駕駛人	07:00~19:00	0
19	成美橋與新明路 298 巷交岔口	A2	890526	810	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	07:00~19:00	1
20	成都路昆明街口	A2	900331	1240	0	3	違反標誌標線	駕駛人	平日 18:00~24:00	0
21	成都路昆明街口	A2	901030	850	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	平日 18:00~24:00	0
22	至善路故宮路口	A2	900715	1040	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人	09:30~16:30 19:00~24:00	1
23	西園路與西藏路口	A2	900201	1545	0	2	違反號誌管制	駕駛人	06:45~07:30 12:00~12:30 16:00~17:30	0
24	西園路與西藏路口	A2	890804	650	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人		0
25	西園路與西藏路口	A2	900507	1620	0	1	未依規定讓車	駕駛人		1
26	西園路與西藏路口	A2	890812	1915	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人		0
27	西寧南路成都路	A2	901210	735	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	平日 18:00~24:00	0
28	西寧南路成都路	A2	900603	1900	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	假日 11:00~24:00	0
29	吳興街 220 巷口	A2	891030	730	0	1	不明原因肇事	其他	07:00~22:00	1
30	和平西路與寧波西街	A2	901007	850	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	07:20~08:00 12:00~12:30 16:00~16:30	0
31	和平西路與寧波西街	A2	890229	740	0	1	未注意車前狀況	駕駛人		1
32	和平西路與寧波西街	A2	891031	2210	0	1	違反號誌管制	駕駛人		0

表 6.7 調查路口 89 年~90 年人車衝突肇事資料表 (續 2)

項次	事故路口	處理別	日期	時間	死亡	受傷	肇事主因	肇事原因	93 年行人專用時相運作時段	實施時段內
33	明德路與東華街	A2	900530	1000	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	06:30~07:30 16:00~17:00	0
34	明德路與東華街	A2	900911	1645	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人		1
35	明德路與東華街	A2	890915	2135	0	3	搶越行人穿越道	駕駛人		0
36	杭州南路與信義路	A2	900926	850	0	1	違反號誌管制	駕駛人	05:00~24:00	1
37	杭州南路與信義路	A2	890315	2215	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人		1
38	東湖路與康寧路	A2	891031	1040	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	09:00~22:00	1
39	東湖路與康寧路	A1	900602	1409	1	1	搶越行人穿越道	駕駛人		1
40	松山路與松隆路口	A2	890308	1815	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	07:00~22:00	1
41	松山路與松隆路口	A2	900216	750	0	1	未注意車前狀況	駕駛人		1
42	松山路與松隆路口	A2	901017	1655	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人		1
43	松仁路莊敬路口	A2	901009	1115	0	2	違反號誌管制	駕駛人	07:00~08:00 12:00~12:30 16:00~17:00	0
44	松仁路莊敬路口	A2	891202	2130	0	1	不明原因肇事	其他		0
45	松智路松壽路口	A2	891108	1920	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人	07:00~19:00	0
46	松壽路基隆路一段	A2	900911	630	0	2	穿越道路未注意左右來車	行人	全日	1
47	建國南路與仁愛路	A2	890920	1030	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	週六、日 09:00~ 18:00	0
48	建國南路與仁愛路	A2	900118	1900	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人		0
49	建國南路與仁愛路	A2	901217	645	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人		0
50	建國南路與仁愛路	A2	890203	1755	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人		0
51	建國南路與仁愛路	A2	900920	1800	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人		0

表 6.7 調查路口 89 年~90 年人車衝突肇事資料表 (續 3)

項次	事故路口	處理別	日期	時間	死亡	受傷	肇事主因	肇事原因	93 年行人專用時相運作時段	實施時段內
52	建國南路與信義路	A2	900214	1550	0	1	違反號誌管制	駕駛人		0
53	建國南路與信義路	A2	891027	605	0	1	違反號誌管制	駕駛人		0
54	重慶北路與南京西路口	A2	890301	1310	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	全日	1
55	重慶北路與南京西路口	A1	891210	1025	1	0	未注意車前狀況	駕駛人		1
56	重慶南路與貴陽街	A2	890407	1030	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	07:20~07:50 16:10~16:30 17:10~17:30	0
57	重慶南路與襄陽路	A2	891030	1300	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	05:00~24:00	1
58	重慶南路與襄陽路	A2	901220	1820	0	1	未注意車前狀況	駕駛人		1
59	景興路與興隆路	A2	890126	2150	0	2	違反號誌管制	駕駛人	07:00~22:00	1
60	萬大路與東園街	A2	900908	1130	0	1	未注意車前狀況	駕駛人	07:00~08:00 12:00~12:30 16:00~17:00	0
61	萬大路與東園街	A2	890709	15	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人		0
62	萬盛街興隆路一段	A2	890212	1850	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	05:00~22:00	1
63	德行西路磺溪街	A2	900902	2210	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人	07:00~08:00 12:00~12:30 16:00~17:00	0
64	羅斯福路五段 170 巷口	A2	890617	2150	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	07:00~08:00 12:00~12:30 16:00~17:00	0
65	羅斯福路五段 170 巷口	A2	891101	2215	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人		0
66	羅斯福路杭州南路口	A2	901018	1840	0	1	搶越行人穿越道	駕駛人	平日 09:00~16:00	0
67	羅斯福路杭州南路口	A2	890203	1940	0	2	搶越行人穿越道	駕駛人		0
總計					2	82				29

6.4 小結

經由歷年肇事資料分析，台北市號誌化路口平均每月發生人車衝突事故 55 件，造成 0.92 人死亡及 68.5 人受傷。交通設施的管理本應以人身安全為優先考量，實行人專用時相依據肇事資料分析確實可以改善行人安全，惟考量行車安全與效率往往難以兩全，綜合歸納實行人專用時相對行人安全與路口整體效率之影響，將二者均予以貨幣化似乎為可以考慮的方向之一，惟此一方法涉及生命價值的估計。相關研究對生命價值之推估有願付價值法、人力資本法、民法損害賠償等，本研究不擬探討及推估生命價值。若依據財團法人保險事業發展中心「中華民國 94 年度強制汽車責任險總保費賠款統計表」；統計 94 年度已發生賠款計 151,379 件共 13,249,809,778 元，概估平均每件事故賠償金額為 87,527 元，以每月平均人車事故 55 件而言，將直接產生至少新台幣 4,814,000 元/月之成本損失。

比較實行人專用時相前後之肇事資料，以選定台北市實行人專用時相的 76 個路口分析，該 76 個路口實行人專用時相後，平均每 10,000 小時的總肇事率降低了 0.28175 次，依強制汽車責任險平均每件賠償金額 87,527 元概估，該 76 個路口平均每 10,000 小時減少了新台幣 24,660 元的肇事成本，按每年實施總時數 233,428 小時計算，該 76 個路口實施一年至少節省新台幣 575,650 元的肇事成本。

駕駛人均無違規行為之下，實行人專用時相後，該部分肇事主因（搶越行人穿越道、左（右）轉彎未依規定及未注意車前狀況）之消除，推估可減少 71% 的死亡人數，及 77% 的受傷人數，按統計資料每月平均人車衝突事故 55 件造成 0.92 人死亡及 68.5 人受傷，概估每月將可減少約新台幣 366 萬元的社會成本。

第七章 結論與建議

茲將本研究所獲致之主要成果綜合說明如下。

7.1 結論

一、實施行人專用時相路口幾何及設施條件

1. 國內目前設置行人專用時相之準則，其必要條件為交通管制設施及道路寬度。為避免實施行人專用時相後造成週期增加大幅影響停等延滯，因此行人專用時相綠燈長度以 30~45 秒為宜，以一般行人步行速率之下限值約為 0.6 m/s，因此實施道路寬度應不得超過 25 公尺。
2. 依據相關研究，目標車道數大於轉向車道數之路口，行人與轉向車流之相互干擾將大為降低，因此，為彰顯實施行人專用時相降低人車衝突之具體效益，車道數應以單向三車道以下或轉向車道數較多之道路實施為宜。

二、人車衝突區域之行人佔用率

1. 為分析行人與轉向車輛之人車衝突對行車效率之影響，本研究現場調查路口各方向行穿線上行人交通量，並統計人車衝突區內有行人之累計時間 T，計算人車衝突區域內行人佔用率，藉以構建行人交通量與行人佔用率之迴歸方程式如下式。

$$\begin{cases} Occ_{ped} = 0.00028494 V_{pedg} & V_{ped} \leq 3000 \\ Occ_{ped} = 0.00002403 V_{pedg} + 0.78273 & V_{ped} > 3000 \end{cases}$$

2. 為探討不同行人之步行速率對行人佔用率之影響，利用路口攝影調查資料，並依不同之行人交通量分析行人步行速率與人車衝突區域內行人佔用率之關係，構建在行人綠燈小時交通量 $V_{pedg} < 2000$ (人/綠燈小時) 之下，行人佔用率與行人交通量及步行速率之迴歸方程

式如下。顯示步行速率較慢之行人穿越路口時，其人車衝突區之行人佔用率較高。

$$\text{Occ}_{\text{ped}} = 0.17757 + 0.0003275 V_{\text{pedg}} - 0.05201U$$

三、實施行人專用時相降低車輛停等延滯之門檻值

1. 實施行人專用時相在行政商業區中，其最大之效益在於隔離人車衝突，惟因增加時相數，造成行人及車輛之綠燈時比降低，使得停等延滯增加。但是在轉向共用車道部分，卻可以因行人與轉向車輛之衝突因素消失，使得車輛通過路口之效率提昇。本研究以實施行人專用時相之車輛停等延滯模式為基礎，考量取消行人專用時相後，轉向車流與行人衝突將降低飽和流率，且因時相數減少而提高車輛綠燈時比，修正上述之車輛停等延滯模式，藉以比較同一路口在相同條件下實施行人專用時相對車輛停等延滯之影響。
2. 經以調查路口個案分析的方式應用所構建之車輛停等延滯模式，比較右轉共用車道在有無實施行人專用時相下，停等延滯變化之情形，得出個案路口在行人穿越量及轉向交通量到達一定量之後，實施行人專用時相能降低該右轉車道之車輛停等延滯時間。故以車輛停等延滯分析，實施行人專用時相之門檻值如下表：

行人穿 越量(人/hr)	轉向比							
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
500	-	-	-	-	1175	1050	900	800
750	-	-	1100	950	750	625	550	500
1000	-	1050	800	650	525	475	400	325
1250	1125	800	600	500	425	350	250	200
1500	1025	725	550	450	350	275	200	125

四、實施行人專用時相對行人停等延滯之影響

實施行人專用時相下，斜向穿越之行人雖可直接斜向穿越路口，縮短步行距離，但無論穿越一方向或連續穿越二方向（斜向穿越）之行人皆需等候所有方向的車輛號誌時間，俟行人專用時相綠燈才能通過。而無實施行人專用時相下，行人穿越道路雖受轉向車流干擾，但行人僅需等候一個方向的號誌紅燈，而斜向穿越行人可配合到達路口當時綠燈方向，選擇優先順序穿越二個方向街道。因此實施行人專用時相反而增加行人之平均停等延滯。

五、實施行人專用時相對行人安全影響

1. 本研究蒐集台北市近年來號誌化路口肇事資料分析，號誌化路口人車衝突事故，絕大部分皆為駕駛人因素，其中轉向車流與行人衝突事件之肇事主因包括搶越行人穿越道、左（右）轉彎未依規定及未注意車前狀況等項，該部分肇事主因佔死亡人數的 71%，及受傷人數的 77%，且肇事嚴重性皆位於前五名中。可見在號誌化路口人車衝突事故中，肇事責任主要為駕駛人因素，而傷亡者皆為行人，因此實施行人專用時相確有提高行人穿越路口安全之效益。
2. 為進一步比較行人專用時相實施前後對肇事率的影響，經選定 76 個台北市政府 93 年底前已實施行人專用時相之路口，計算個別路口每日實施行人專用時相之小時數，並統計該 76 個路口於實施行人專用時相時發生之事故件數與傷亡人數，得出該 76 個路口於 92、93 年間實施行人專用時相後之總平均肇事率為每 10,000 小時 0.33943 次，總平均受傷率為每 10,000 小時 0.47520 人。另統計該 76 個路口 89 年及 90 年兩年間相同時段下總平均肇事率為每 10,000 小時 0.62118 件，總平均死亡與受傷率分別為每 10,000 小時 0.04284 人與 0.68544 人。故實施行人專用時相後肇事率減少約 45%，而平均

傷亡率亦有明顯下降。

3. 分析行人專用時相實施前後人車衝突事故肇事主因，顯示於實施行人專用時相後，未注意車前狀況及搶越行人穿越道肇事案件比例明顯降低，而違反號誌管制案件比例卻相對升高；可見行人專用時相之實施確實降低了該衝突類型的的肇事案件，惟違反號誌管制的肇事案件卻因而增加，分析原因主要可能因為駕駛人與行人未熟悉行人專用時相之措施，以及不良的違規駕駛行為。

7.2 建議

- 一、本研究僅討論右轉車流與路口穿越行人之人車衝突對車輛停等延滯之影響，而左轉車流部分因需考量對向車流與穿越行人之雙重影響，複雜度較高，囿於人力與時間的限制，未能一併考量，建議後續研究可繼續加以探討，以臻周延。
- 二、本研究以調查資料，應用迴歸分析方法建立行人穿越量與人車衝突區佔用率之關係模式，利用衝突區佔用率之觀念並納入車道數之影響，得到飽和流量的調整因子 (< 1.0)。對於了解未實施行人專用時相之情況下，行人穿越量與轉向車流量等因子對路口運行效率之影響有極大的幫助。惟因飽和流量調整因子 A_{pbT} 之折減比率係直接引用國外文獻，是否能適用於國內，尚有待進一步探討。
- 三、為簡化分析，於探討車輛停等延滯時，係採用國內 2001 年台灣地區公路容量手冊之小客車當量建議值，將車輛交通量統一換算為小客車當量 (pcu)，惟在轉向車流與行人之人車衝突分析上，轉向機車及大客車 (大貨車) 對人車干擾之行為模式與小客車不一定相同，後續研究亦可考慮以現場調查等實證方式建立穿越行人對該等車種轉向之影響模式。

參考文獻

(一) 中文部分

- 1、黃厚淳，設置行人專用時相對車輛與行人延滯影響之研究，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國九十三年六月
- 2、台北市交通局，行人專用時相設置準則，民國九十年八月
- 3、何美瑩，號誌化交叉路口車輛延滯模式之研究，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國七十九年六月
- 4、交通部運輸研究所，2001 台灣地區公路容量手冊，民國九十年六月
- 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，中央警察大學警政研究所碩士論文，民國七十九年六月
- 6、饒智平，號誌化岔路口風險分析及安全檢核評估方法之研究，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國八十四年六月
- 7、林良泰、顏秀吉、朱純孝、吳淵展，交叉路口整體安全水準分析架構之研究，中華民國運輸學會第十一屆論文研討會，民國八十五年十二月
- 8、林良泰、張建彥、朱純孝、吳淵展，以期望值觀點推導路口衝突量，運輸學刊第十卷第三期，民國八十六年九月
- 9、曾安麗，號誌交叉路口行人延滯及使用空間研究--以台南市中心交叉路口為例，成功大學交通管理研究所碩士論文，民國七十五年六月
- 10、翁燕芬，獨立路口行人專用時相之研究，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國九十二年六月
- 11、黃承傳、余水林，平面交叉路口行人與車輛延滯之模擬研究，運輸計劃季刊第十六卷第二期，民國七十六年六月
- 12、湯儒彥，路口號誌時相設計理念與方法之探討，中華民國運輸學

會第九屆論文研討會，民國八十三年十二月

- 13、張嘉男，交叉路口交通衝突之研究，成功大學土木工程研究所碩士論文，民國八十五年六月
- 14、蔡輝昇，交通控制理論與實務，民國七十九年四月初版
- 15、交通部，道路交通標誌標線號誌設置規則，民國八十七年九月
- 16、林茂龍，號誌化獨立交叉路口設計運轉績效分析方法之研究，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國七十三年六月
- 17、郭梅芬，混合車流下號誌化交叉路口車輛延滯估計模式之研究，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國八十二年六月
- 18、林良泰、張建彥、朱純孝、張嘉惠，考量安全與效率下號誌化路口整體績效評估之研究，運輸計劃季刊第二十九卷第二期，民國八十九年六月
- 19、許添本，號誌化交叉口容量分析及應用之研究—臨界流動方法之發展，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國六十九年六月
- 20、魏健宏，混合車流狀況下市區道路 V/C 比值與車流延滯之關係研究，臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國七十三年六月
- 21、吳水威、卓裕仁、謝錫鑪，號誌化文叉路口車輛延滯模式之發展與理論探討，交通運輸學刊第十二期，民國七十九年六月。
- 22、歐瑋明，睿智通勤：都會區多運具運輸成本分析，遠東學報第二十二卷第二期，民國九十四年六月。
- 23、羅永光、陳敦基，高速公路最適行車速限實用模式之研究，運輸計劃季刊，第十六卷第四期，民國七十六年十二月。
- 24、周文生、陳雯龍、鄭正雄，整合道路交通事故調查作業管理規範之研究，92 年道路交通安全與執法研討會論文集，民國九十二年十月十七日。

(二) 英文部分

- 25、C. M. Abrams and S. A. Smith, Selection of Pedestrian Signal Phasing, TRR629, pp. 1~6, 1977
- 26、M. D. Fritter, Exclusive Pedestrian Phases at Intersections, B. E. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Queensland, 1977
- 27、C. V. Zegeer, K. S. Opiela, M. J. Cynecki, Effect of Pedestrian Signals and Signal Timing on Pedestrian Accidents, TRR847, pp. 63~72, 1982
- 28、D. M. Zaidel, I. Hocherman, Safety of Pedestrian Crossing at Signalized Intersections, TRR1141, pp. 1~6, 1987
- 29、Joseph S. Milazzo II, Nagui M. Roupail, Effect of pedestrians on Capacity of signalized, TRR1646, pp37-46
- 30、Allen, P. P, J. E. Hurmmer, Effect of bicycles on Capacity of signalized, TRR1646, pp87-95
- 31、G. F. King, Pedestrian Delay and Pedestrian Signal Warrants, TRR629, pp. 7~13, 1977
- 32、R. L. Pretty, The Delay to Vehicles and Pedestrian at Signalized Intersections, ITE Journal pp. 20~23, May 1979
- 33、M. J. Cynecki, Department of a Conflicts Analysis Technique for Pedestrian Crossing, TRR743, pp. 12~20, 1980
- 34、S. Khasnabis, C. V. Zegeer, M. J. Cynecki, Effect of Pedestrian Signals on Safety, Operations and Pedestrian Behavior-Literature Review, TRR847, pp. 78~86, 1982
- 35、C. V. Zegeer, S. Khasnabis, J. C. Fegan, Development of Improved Pedestrian Warrant for Traffic Signals, TRR904, pp. 58~66, 1983

- 36、C. V. Zegeer、M. J. Cynecki、Determination of Motorist Violation and Pedestrian-Related Countermeasures Related to Right-Turn-on-Red、TRR1010、pp. 16~37、1985
- 37、F. M. Greenberg、Pedestrian Signal Usage in the Central Business District of Medium-Sized Cities、ITE Journal pp. 15~18、April 1995
- 38、R. B. Noland、Pedestrian Travel Times and Motor Vehicle Traffic Signals、TRR1553、pp. 28~33、1996
- 39、M. R. Virkler、Scramble and Crosswalk Signal Timing、TRR1636、pp. 83~87、1998
- 40、R. V. Houten、R. A. Retting、C. M. Farmer、J. V. Houten、Field Evaluation of a Leading Pedestrian Interval Signal Phase at Three Urban Intersections、TRR1734、pp. 86~91、2000
- 41、T. P. Hutchinson、Delay at a Fixed Time Traffic Signal、Transportation Science、Vol. 6、pp. 286~305、1972