

國立陽明交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

Department of Transportation and Logistics Management
National Yang Ming Chiao Tung University
Master Thesis

路邊臨時停車在混合車流環境下對交通安全的影響
The impact of temporary on-street parking on traffic
safety under mixed-traffic environment

研究生：蕭雅方（Hsiao, Ya-Fang）

指導教授：吳昆峯（Wu, Kun-Feng）

中華民國一一〇年七月
July 2021

路邊臨時停車在混合車流環境下對交通安全的影響

The impact of temporary on-street parking on traffic
safety under mixed-traffic environment

研究生：蕭雅方 Student：Ya-Fang Hsiao

指導教授：吳昆峯博士 Advisor：Dr. Kun-Feng Wu

國立陽明交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of Transportation and Logistics Management
College of Management
National Yang Ming Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in
Traffic and Transportation

July 2021
Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國一一〇年七月

國立陽明交通大學

博碩士論文紙本暨電子檔著作權授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之學位論文，為本人於國立陽明交通大學運輸與物流管理學系 交通運輸甲 組，
109 學年度第 二 學期取得碩士學位之論文。

論文題目：路邊臨時停車在混合車流環境下對交通安全的影響
指導教授：吳昆峯

一、紙本論文授權

紙本論文依著作權法第15條第2項第3款之規定辦理，「依學位授予法撰寫之碩士、博士論文，著作人已取得學位者…推定著作人同意公開發表其著作」。

二、論文電子檔授權

本人授權將本著作以非專屬、無償授權國立陽明交通大學、台灣聯合大學系統圖書館及國家圖書館。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：	
中英文摘要	必需公開
本校及台灣聯合大學系統區域網路	<input checked="" type="checkbox"/> 立即公開
校外網際網路及國家圖書館	<input checked="" type="checkbox"/> 立即公開

說明：基於推動「資源共享、互惠合作」之理念與回饋社會及學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟或數位化等各種方式收錄、重製與利用；於著作權法合理使用範圍內，讀者得進行線上檢索、閱覽、下載或列印。

授權人： 蕭雅子 (親筆簽名)

中華民國 110 年 08 月 30 日

國立陽明交通大學 碩士學位論文審定同意書

運輸與物流管理學系交通運輸碩士班 蕭雅方 君

所提之論文

題目：(中文) 路邊臨時停車在混合車流環境下對交通安全的影響

(英文) The impact of temporary on-street parking on traffic safety
under mixed-traffic environment

經學位考試委員會審查通過，特此證明。

學位考試委員會 (簽名)

口試委員：

張新立

(召集人)

邱新鈞

吳比峯

論文已完成修改

指導教授

吳比峯

(簽名)

系主任

盧宗成

(簽名)

中華民國 110 年 8 月 11 日

誌謝

從兩年前加入 KF LAB 的懵懂，一直到順利完成論文，如今收穫滿滿。首先要感謝我的指導教授 — 吳昆峯老師，在剛柔並濟的指導下，有試煉、有鼓勵、有磨合，也有共同的理念與實踐，除了能夠獨立思考並解決問題外，也培養了口語表達能力，而亦師亦友的相處中，也讓我打從心底的尊敬老師。同時也要謝謝我的口試委員張新立老師和邱裕鈞老師，無論是在學業、計畫案或是論文口試都給予我寶貴的指教和建議，鼓勵我繼續往前。

謝謝 KF LAB 的好夥伴，先維和家瑜，一起撐過了兩年有壓力卻又讓我們有所成長的無數個夜晚和咪聽，也謝謝雖然提前離我們而去但幫我們很多且碩一 carry 的 YD，大家一起出雷達的日子，很累很熱卻印象深刻。謝謝學長姐，彤彤、柳晴、婕茵、穎瑜，給了我們很多傳承和幫助，無條件且有耐心地解決我們的問題。要特別謝謝燁庭，做事讓人安心，也幫我分擔了很多計畫案的工作，還有荏晴、盛泳、涵鈞，除了在大大小小事情上的幫助，也因為你們的加入讓整個 KF LAB 變得更有活力。

謝謝參與我兩年碩班生活的朋友，說長不長說短不短，除了原本成大就認識，後來更加親近的玄、洋、家瑄、bren、身為室友且無話不談的采，雖然時隔一年才認識但相見恨晚的 77 和愛鬥嘴卻照顧人的宗翰，還有一起吃飯聊天、四處去玩的庭緯、威瑜、貞瑩、凱肉、敏聞、士軒、楚文等。不管是平常耍費閒聊、談心、唱歌、澎湖出遊、花蓮旅遊等，嘗試了很多新事物，經歷了許多第一次，也用照片、歡笑和淚水留下了最珍貴的回憶。希望大家未來一切順利，記得要開同學會，如果有人中頭彩也別忘了我們約定的馬爾地夫旅行團！

最後，我要感謝我的家人，不多說、不干涉、卻用實際行動給予我最有力的支持和鼓勵，讓我能夠無憂的度過這兩年且順利畢業，謝謝我的父母、阿公阿嬤、弟弟妹妹，讓我在求學的過程中，可以隨時回家耍費充電，享受飯來張口，茶來伸手的待遇。感謝之意溢於言表，辛苦你們了，我愛你們！

蕭雅方 謹誌

2021.08.26 於新竹陽明交大

路邊臨時停車在混合車流環境下對交通安全的影響

學生：蕭雅方

指導教授：吳昆峯

國立陽明交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

在台灣有限的道路空間及常見的混合車流環境下，路邊停車行為將導致其周圍車流因受到路側干擾而產生交織及衝突，進而降低路段之安全性及車輛通過速率。過去研究多針對路邊停車所造成之效率降低及容量減少進行巨觀討論，鮮少對於交通安全方面進行微觀研究。因此，本研究透過巨觀及微觀的角度，針對路邊停車對其周遭車流所造成之安全及速率影響進行討論，同時，利用毫米波雷達搭配影像辨識技術蒐集車輛軌跡資料，並萃取出路邊停車事件和無路邊停車事件各 540 件以進行分析。考慮不同車流環境及不同事件下，事件或車輛之間可能具有無法捕捉之異質性，因此使用固定效果、隨機效果及混和效果模型進行分析並量化路邊停車之影響。研究結果發現，路邊停車干擾將導致周圍車輛因減速、橫向位移及變換車道行為的增加，降低最外兩車道之整體車流行車效率並提高危險衝突的發生，進而降低路段最外二車道之整體安全性，且深入微觀探討後發現路邊停車其影響效果更甚。除此之外，當路段混合車流環境之交通量大於 1850 (veh./hr) 或者機車占比介於 55%~65% 的情況下，將加劇路邊停車對周遭車流所產生之負面影響。該結果也可以提供未來進行路段評估特定時段是否允許路邊停車或應該執行加強取締等措施作為參考。

關鍵字：路邊停車、混合車流、交通安全、車流速率、軌跡資料

The impact of temporary on-street parking on traffic safety under mixed-traffic environment

Student : Ya-Fang Hsiao

Advisor : Ken-Feng Wu

Department of Transportation and Logistics Management
National Yang Ming Chiao Tung University

Abstract

In Taiwan, the limitation of road space and common mixed-traffic environment, curb-parking behavior will lead to a roadside interference and then cause the surrounding traffic flow to be intertwined and bring in conflict, thereby reducing road safety and the speed of passing vehicle. Previous studies mostly focused on the reduction of efficiency and capacity caused by curb-parking, and there were few studies on the aspect of traffic safety. Thus, this study will discuss the impact on road safety and passing speed of surrounding traffic flow that caused by curb-parking, from both macro and micro perspectives. Simultaneously, this research uses millimeter wave radar and image recognition technology to collect vehicle trajectory data, also extract 540 curb-parking and non curb-parking event, separately. Considering different traffic environment and different events, there may exist uncapable heterogeneity between events or vehicles, therefore, fixed-effect, random-effect and mixed-effect models are used to analyze and quantify the impact of on-street parking. It was found that, the interference of roadside parking will increase the behavior of surrounding vehicles due to deceleration, lateral displacement, and lane changing, then reducing the overall traffic efficiency of the outermost two lanes and increasing the occurrence of dangerous conflicts. Moreover, after in-depth micro-aspect discussion, it is found that curb-parking has even cause more impact. In addition, when the traffic volume of the mixed-traffic environment on the road section is greater than 1850 (veh./hr) or the proportion of motorcycle is between 55% and 65%, the negative impact of roadside parking on the surrounding traffic flow will be aggravated. This result can also provide a reference for future road section assessments, about whether on-street parking is allowed or it should be strengthen the ban in a specific period of time.

Keywords: Curb-parking, Mixed-traffic flow, Traffic safety, Traffic flow speed, Trajectory data

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍與對象.....	3
1.4 研究架構與流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 路邊停車行為在混合車流環境下對交通安全之影響.....	6
2.2 交通安全衡量指標.....	8
2.3 過去研究路邊停車對車流影響的相關文獻.....	11
第三章 研究設計及方法.....	13
3.1 系統分析架構.....	14
3.2 路邊停車對周遭車流的影響及範圍.....	17
3.3 路邊停車對於周遭車流安全影響之評估模型.....	18
3.3.1 量化路邊停車影響.....	18
3.3.2 路邊停車事件 vs. 無路邊停車事件.....	19
第四章 研究資料.....	22
4.1 場域選擇.....	22
4.2 資料蒐集方式與項目.....	24
4.2.1 雷達資料蒐集方式與項目.....	25
4.2.2 影像辨識資料處理方式與項目.....	27
4.3 資料處理與整合.....	30
4.4 路邊停車影響範圍.....	33
4.5 整體分析計畫.....	38

4.6 敘述性統計分析	40
第五章 研究結果	42
5.1 路邊停車對最外二車道整體車流之巨觀影響分析	42
5.1.1 分析計畫	42
5.1.2 模型結果	43
5.2 路邊停車對最外二車道通過車輛之微觀影響分析	47
5.2.2 分析計畫	47
5.2.2 模型結果	49
5.3 路邊停車在不同車流環境下之影響分析	52
第六章 結論與建議	54
6.1 結論與研究應用	54
6.2 建議	56
參考文獻	57

圖目錄

圖 1.1 台灣歷年汽機車登記數量及機車占比.....	1
圖 1.2 歷年違規停車件數.....	2
圖 1.3 歷年違規停車涉入事故件數.....	2
圖 1.4 研究架構圖.....	4
圖 1.5 研究流程圖.....	5
圖 2.1 路邊停車對周遭車流空間及時間影響.....	7
圖 2.2 TTC 示意圖.....	9
圖 2.3 TET 和 TIT 指標示意圖.....	10
圖 3.1 分析架構圖.....	13
圖 3.2 本研究系統分析圖.....	14
圖 3.3 路邊停車車輛停靠過程之車流動態示意圖-1.....	15
圖 3.3 路邊停車車輛停靠過程之車流動態示意圖-2.....	15
圖 3.4 路邊停車車輛靜止後之車流動態示意圖.....	16
圖 3.5 實際路邊停車與其周遭車流影像.....	17
圖 3.6 路邊停車靜止一分鐘內之所有車輛軌跡.....	18
圖 4.1 資料處理流程.....	22
圖 4.2 場域選擇流程.....	23
圖 4.3 新竹市實作場域位置與現況街景.....	23
圖 4.4 新竹市實作場域車道配置圖.....	24
圖 4.5 實作場域設備架設位置及雷達偵測介面.....	26
圖 4.6 雷達與影像辨識資料串聯結合之流程圖.....	27
圖 4.7 影像辨識車種及車輛 ID 示意圖.....	28
圖 4.8 影像辨識之座標轉換矩陣圖.....	28
圖 4.9 FUSION 流程之 LOG 檔案格式示意圖.....	29
圖 4.10 影像邊框濾除處理示意圖.....	29
圖 4.11 平均橫向位移差示意圖.....	35
圖 4.12 路邊停車不同影響範圍事件定義之各指標表現-1.....	36
圖 4.12 路邊停車不同影響範圍事件定義之各指標表現-2.....	37
圖 4.13 路邊停車影響範圍定義.....	37
圖 4.14 巨觀及微觀分析範圍示意圖.....	38
圖 5.1 最外二車道整體車流巨觀分析計畫.....	42
圖 5.2 最外二車道通過車輛之微觀分析計畫.....	48
圖 5.3 最外二車道通過車輛對之微觀分析計畫.....	49

表目錄

表 3.1 各衝突情境相應交通安全衡量指標.....	17
表 4.1 實作場域路段資訊.....	23
表 4.2 實作場域與過去路邊停車相關文獻之路段資訊比較.....	24
表 4.3 微觀資料蒐集方法與限制.....	25
表 4.4 雷達資料輸出項目及說明.....	26
表 4.5 影像辨識新增欄位.....	30
表 4.6 路邊停車事件之操作型定義及訂定原由.....	33
表 4.7 巨觀衡量影響路邊停車範圍之指標及其計算方式.....	34
表 4.8 巨觀及微觀模型分析計畫.....	39
表 4.9 路邊停車事件之量化指標敘述統計.....	40
表 4.10 路邊停車相較無路邊停車之量化指標差異.....	41
表 5.1 固定效用模型之車流環境分群.....	43
表 5.2 巨觀模型分析結果-區間速率.....	44
表 5.2 巨觀模型分析結果-變換車道次數.....	45
表 5.2 巨觀模型分析結果-危險衝突件數.....	46
表 5.2 巨觀模型分析結果-危險衝突占比.....	47
表 5.3 微觀模型分析結果-區間速率.....	50
表 5.3 微觀模型分析結果-變換車道次數.....	51
表 5.4 微觀模型分析結果-是否發生危險衝突.....	52
表 5.5 不同車流環境組合之影響分析結果.....	53
表 6.1 本研究主要結果彙整表.....	55

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

混合車流為台灣市區道路最普遍之交通車流特徵，因為機車具備高機動、高效能及低成本等特性，使得大多數人以此做為私人代步運具。如圖 1.1 所示，汽機車為台灣用路人最常使用的交通工具，相較於國外的混合車流由大型車和小汽車所組成，台灣的混合車流主要是以汽車和機車所構成，此外，機車所占比例逐漸從過去的七成下降至六成左右，也代表著汽車與機車的混流情況將更加嚴重。再者，因為汽車和機車兩種不同車輛在體積大小、車輛特性、駕駛操作方式上有差異，尤其機車可以各種角度鑽行於車陣之中，不管是在自由車流情況下還是在壅塞路段。這導致汽車與機車之間互動容易產生複雜的駕駛行為及行車動態並大大的影響到行車秩序，舉例來說，因為車流交織所發生之變換車道、超車、鑽行、循行等行為，會提升駕駛難度，可能導致車輛移動速率的下降，加上機車多以橫向位移的方式加速前進，也會提升發生衝突的可能性，且 A1 事故涉入車種以機車為最大宗，其次為汽車。同時，道路屬性如車道寬度、以及路邊停車或路旁設施的數量和路側活動等，也會加劇該混合車流環境的複雜程度，從而更大幅度的影響到道路整體行車安全及速率。

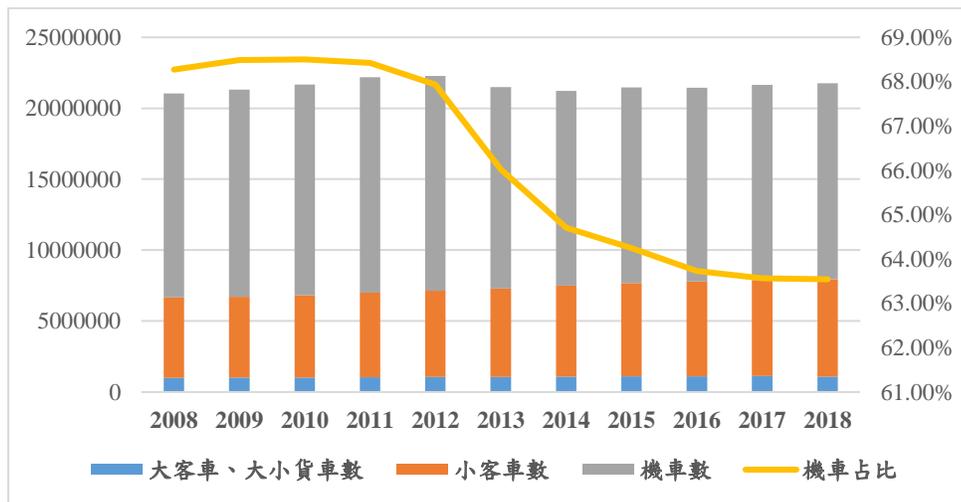


圖 1.1 台灣歷年汽機車登記數量及機車占比

由於台灣地狹人稠，加上私人運具的高使用率，在有限的道路空間下使得路邊停車現象變的很普遍，它有可以提供駕駛人到達某些目的地的便利性、減少步行距離、且車輛的進出相較於路外停車場更方便等優點。然而，路邊停車會因占用道路面積而造成路面有效寬度的縮減，限制了車輛可以行駛或轉彎的活動空間，同時，欲路邊停車之車輛自車道駛入路邊停車時，整個過程涉及減速、轉彎或停止倒車等相關駕駛行為，又或者從路邊停車位置駛入車道時亦須要合併進入動態的行駛車流中，這樣的動作執行會對周遭車流造成干擾，而且也容易發生交通事故如追撞或同向擦撞等。除此之外，由於路邊停車有可能會

阻礙駕駛或行人的視線，也容易造成行人與汽機車之間的衝突進而引發交通事故。而路邊停車對於動態車流干擾的嚴重程度則會因其停車頻率以及交通流量大小而有所不同。

在台灣，除了有路邊停車格，也會透過畫設道路標線的方式提供可以臨時停車的空間，以黃色實線設置於路邊，代表禁止停車但可以臨時停車。依照「道路交通管理處罰條例」第3條第1項第9款規定，「臨時停車係指車輛因上、下人、客，裝卸物品，其停止時間未滿三分鐘，保持立即行駛之狀態」，再加上「道路交通標誌標線號誌設置規則」第168條規定，該標線禁止時間為每日上午七時至晚間八時。也就是黃線可以臨時停車但要保持立即行駛之狀態，且晚上8點到翌日上午7點黃線是開放停車的。雖然有關於路邊停車的明確規定，但駕駛更容易因為規定嚴格或自身方便而產生路邊違規停車行為，如圖1.2所示，汽車相較於機車更容易產生違規行為，且違規件數在近幾年有明顯上升的趨勢，除了影響道路的車流順暢，也可能造成安全隱患。於此同時，可以看到圖1.3所呈現，在過去十年間，因為路邊停車所造成的交通事故居高不下，人們因為貪圖方便而產生的違規停車行為不僅僅是占用可行的道路空間，更是提高了其周圍車輛發生事故的可能性，也因此該議題也受到了長期關注。

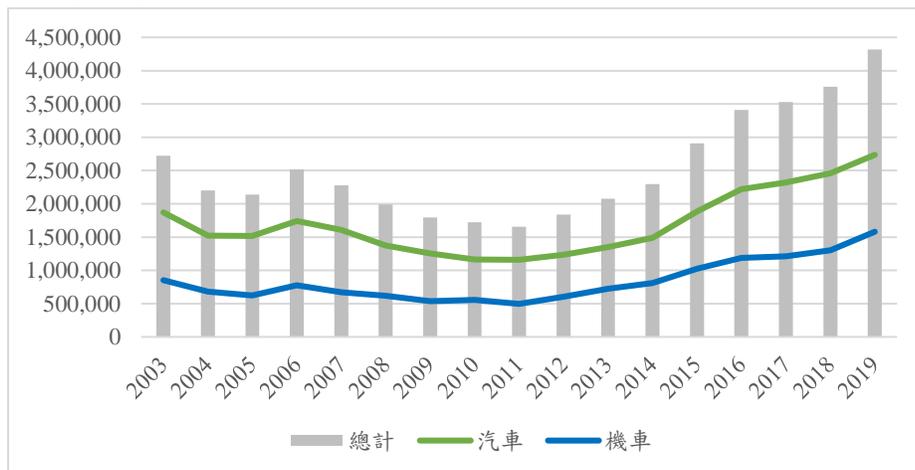


圖 1.2 歷年違規停車件數



圖 1.3 歷年違規停車涉入事故件數

近年來，微觀分析技術的發展使得許多研究能探討車輛與車輛彼此間的互動行為及其事故風險，根據不同的觀察對象、數量和範圍，可選擇不同設備進行資料蒐集，主要透過兩種方式，包括自然駕駛研究(Naturalistic Driving Study)、以及場域實作測試(Field Operational Test)。前者針對受試者長時間不間斷地蒐集車輛運行狀況和駕駛人之行為變化，後者則會根據設備的不同而有不同觀察角度和範疇，例如駕駛模擬器(Driving Simulator)、毫米波雷達(Radar)、攝影機等等。其中毫米波雷達可針對整體路段的所有車輛進行相關交通數據蒐集與監測，適合檢測路段上安全事件。

誠如上述說明，本研究希望以較微觀的角度，蒐集路邊臨時停車行為之特性，觀察其如何對周遭車流產生影響，並著重於安全角度並搭配速率方面進行探討；接著納入道路混合車流環境的變化，了解其對於路邊停車行為所造成之交通安全影響。

1.2 研究目的

本研究的重點在於路邊臨時停車對於混和車流情況下交通安全的影響。在混合車流相關的研究和討論中，路邊設置停車位和不足的車輛停放空間已經開始受到重視，但是在過去對於汽機混流的情況，路邊停車所造成的安全方面影響尚未得到充分考慮。這些影響顯而易見但並非總是直接，尤其是路邊停車所造成的。因此本研究將針對路邊臨時停車對道路交通安全及速率的影響，透過整體巨觀及個體微觀的方式進行更深入的分析 and 探討。研究之目的如下述所列。

- (1) 定義路邊臨時停車過程中，可能影響範圍與周遭車流彼此之間的行車動態。
- (2) 以巨觀及微觀的角度，觀察路邊停車行為對其周遭車流之影響，著重於安全角度並搭配速率方面進行探討。
- (3) 納入道路混合車流環境的變化，量化路邊停車所造成之交通安全的影響，並找出應該加強管制或禁止路邊停車行為之車流環境。

1.3 研究範圍與對象

根據本研究之背景動機和目的，並考慮資料可得性和適宜性，本研究將以市區路段之駕駛行為和道路環境作為探討對象，選取新竹市之路段，以毫米波雷達搭配攝影機全天候蒐集該場域完整一個月之資料，處理雷達所蒐集之微觀資料，搭配影像辨識技術，並定義不同混合車流情況以及汽車路邊臨時停車行為之型態、特性，同時蒐集道路環境資料，並就研究目的進行探討。

1.4 研究架構與流程

根據本研究之背景動機和目的，規劃出研究架構與流程。本研究主要分五大部分，並以圖 1.4 表示，第一部份為透過實作場域之影片資料觀察路邊臨時停車及道路混和車流的型態；第二部份則著手處理微觀雷達資料，經過資料清洗和整理後，發展出演算法定義路邊臨時停車的情況下不同車輛之行車動態和特性；第三部份則選定評估各種行車動態危

險性之交通安全衡量指標及整體道路通行速率之指標；第四部份蒐集路段車流環境因素諸如當下車流量、車種混合情況等，並定義不同混合車流情境；第五部份則是將臨時停車行為、特性、混合車流環境因素和各式行車動態之風險及速率作連結，建構出統計模型以量化並找出在不同混合車流情況下，路邊臨時停車對於道路交通安全之影響。

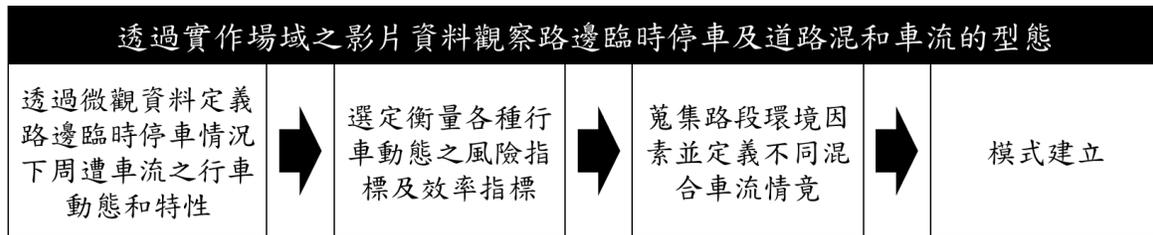


圖 1.4 研究架構圖

研究流程圖如圖 1.5 所示。首先第一部分確立研究動機，欲了解路邊臨時停車在不同混合車流環境下對交通安全及速率的影響；接著第二部分確立研究目的和範圍，透過市區路段之微觀資料定義出路邊臨時停車行為及其周遭車流之行為特徵，並找出具有較高事故風險者，接著探討道路之混合車流環境因素對其影響為何；第三部分進行文獻回顧及探討，彙整在混合車流環境下路邊停車對交通安全之影響、交通安全衡量指標、微觀資料蒐集方式之相關文獻；第四部份蒐集微觀資料並處理，說明本研究所蒐集之資料項目、資料本身特性，並且為了彌補設備技術上的限制，需藉由影像辨識技術及相關資料處理來保留有效樣本；第五部分則是建立分析模式，彙整所需駕駛行為和環境因素等資料進行分析模式建構，包括巨觀整體車流和微觀個別車輛受到路邊停車之影響；第六部分針對模式進行結果分析與解釋，並依照分析模式結果解釋路邊停車對周遭車流所造成的安全及速率影響以及道路混合車流環境對於路邊停車行為之影響；最後第七部分提出結論與建議，將本研究結果整理後，提出結論與建議，以期了解路邊停車行為在不同混合車流情況下對周遭車流之安全及速率影響，並提供道路管制及工程設施設計之參考。

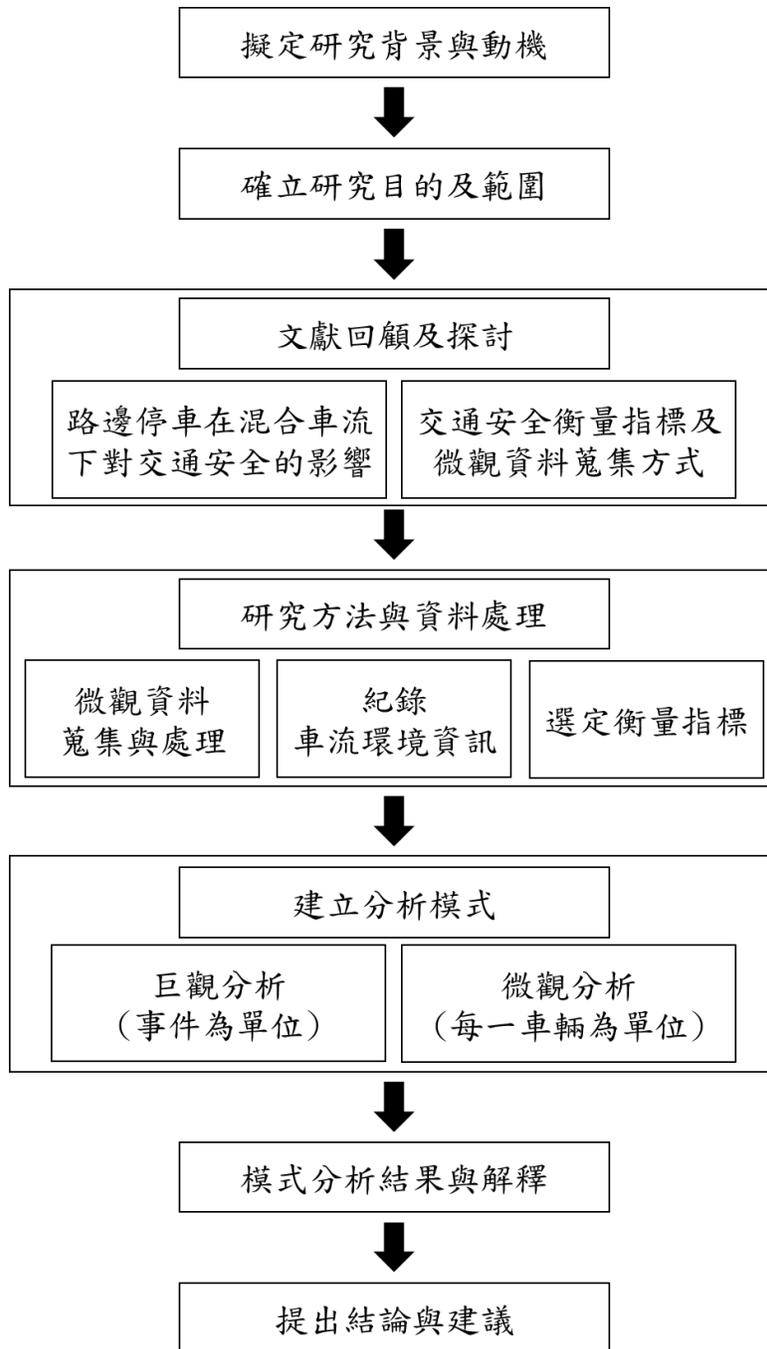


圖 1.5 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究重點以市區路段上混合車流中，路邊臨時停車對周遭車流所造成之不同安全影響為核心，透過蒐集微觀角度之資料，欲分析其行車動態與特性，並藉由安全衡量指標輔以效率指標連結至不同危險衝突事件及行駛速率。在研究過程中，也將納入道路設施的屬性，了解其對路邊臨時停車行為之影響，如圖 2.1 所示。因此文獻回顧內容可分為四大部分。2.1 節研究路邊停車行為在混合車流環境下對交通安全之影響。2.2 節進一步針對評估安全的交通安全衡量指標進行相關文獻回顧。2.3 節則是針對過去文獻研究路邊停車對車流的影響進行回顧，包括巨觀及微觀、資料收集方式、模式等進行探討。

2.1 路邊停車行為在混合車流環境下對交通安全之影響

台灣道路設計的概念主要來自美國，但機車仍然與汽車、大客車等四輪以上車輛在同一道路行駛。這樣的混合車流環境將導致在路段及路口處行駛的車輛因為相互交織而提高發生衝突的風險，而車輛與車輛之間的衝突在公車站附近或路邊有停車車輛時將變得更加嚴重。

路邊停車的問題長期存在且越發嚴重，主要因為路邊停車有可以提高駕駛的效率和便利性，以及縮短步行距離方面的很大優勢，除此之外，因市區道路交通變得越來越密集，但可用於道路上停車的空間和數量並沒有隨著車輛數的增加而增加，因此將導致事故和擁擠的問題發生。由於路邊停車將佔用道路空間資源，可能會直接影響周遭的動態交通車流，且路旁的停車活動也會增加車輛間彼此的衝突和摩擦。此外，當路邊停車位於號誌路口的影響範圍時，動態車流和周圍靜態交通間的相互作用變得更加複雜。因此，了解與路邊停車相關的各種問題以及其對周遭車流安全及速率的影響顯得更加重要。因此，本小節將針對路邊停車對於安全及速率之影響進行相關文獻探討。

Box (2004) 針對路邊停車問題進行了整體性的探討，發現路邊停車會增加事故並減少交通容量。且路邊停車主要通過兩種方式減少交通流量，包括占用車流潛在的行車路線，以及路邊停車和離開時的行車操作會減少內側相鄰車道的容量，此外，也提出路邊停車對公共道路空間的占用將產生潛在的危險和擁塞。如果可以都應限制路邊停車這種行為，尤其是在主要幹道上。Hong-Wei, Guo, et al. (2011) 提出有效流量的概念來描述非機動車輛的橫跨車道行為發生機率與車流量之間的關係，用以衡量路內停車對非機動車交通行為的影響，研究發現，路內停車對非機動車跨線行為有顯著影響且會降低非機動車道的有效流量、增加跨線行為的發生機率，此外，有效流量分佈與非機動車道寬度具有正相關。Tang & Lu (2018) 則針對路邊停車影響區域範圍內的混合車流運行特徵進行研究，並指出路邊停車會降低交通運行效率，且隨著道路寬度縮減，運行效率會下降，此外，隨著非機動車輛混合程度的增加，路邊停車區域的效率會降低。Malecki (2018) 則透過對駕駛行為的模擬來描述路邊停車對交通量、速度和旅行時間的影響，同時考慮駕駛行為和停車位標線的影響去評估每個路邊停車行為對行車效率的影響，包括旅行時間和平均速度。

多數的研究在探討路邊停車對周遭車流影響時，都著重於路邊停車對道路空間資源的占用以及對交通所造成的延滯，分別針對這兩個面向進行探討。首先，對於道路空間占用的部分，許多研究都將路邊停車視為是車道寬度的固定損失，因此建立飽和流率與有效車道寬度的關連性以反映路邊停車對於動態交通流的影響（Arnott & Inci, 2006；Box, 2004）。先前已有研究證實，路邊停車會減少交通容量並干擾周遭的自由車流。Valleley (1997) 建立了停放的車輛數與道路寬度和容量下降之間的關係。Cao et al. (2017) 則基於車道橫向剩餘寬度和間距接受理論，提出兩個可以用來描述路邊停車和道路容量的效應模型，並指出有路邊停車的路段的車道有效寬度會顯著影響道路容量，也會影響停車車道及其內側相鄰車道的車流量。而 Yousif & Purnawan (2004) 指出路邊停車位的設計顯著地影響駕駛停車和非停車行為且路邊停車會減少車道的容量。

雖然上述方法提出了路邊停車車輛對周遭車流的影響，但這些方法忽略了在車輛停放時的動態效果。一些研究考慮了這項因素，對於車輛停靠路邊以及離開的過程進行探討，因此，除了車輛停靠於路邊時所造成的空間損失之外，整個路邊停車的前後動態過程會因為車輛的加減速而對其他周圍車流產生影響，導致延滯的發生，另外，不同混流程度也會導致在類似的路邊停車情況下，其交通容量有所不同。(Ye & Chen, 2011；Prakash et al., 2020)。Mei & Chen (2012) 在考慮路邊停車的影響後，提出由路邊停車類型引起的空間影響，以及駕駛在停車位內或駛出時所造成的時間影響。如圖 2.1(a)所示，空間影響是非機動車輛在受到路邊停車影響後，被迫進入相鄰車道的機動車流時會降低機動車的速度，同時也影響道路容量。如圖 2.1(b)所示，時間影響則是當車輛從路邊停車區離開時，這些車輛會對周遭車流產生干擾，特別是在交通量大的情況下容易產生壅塞。同時，透過所計算之總延滯時間作為衡量整體效率的指標。

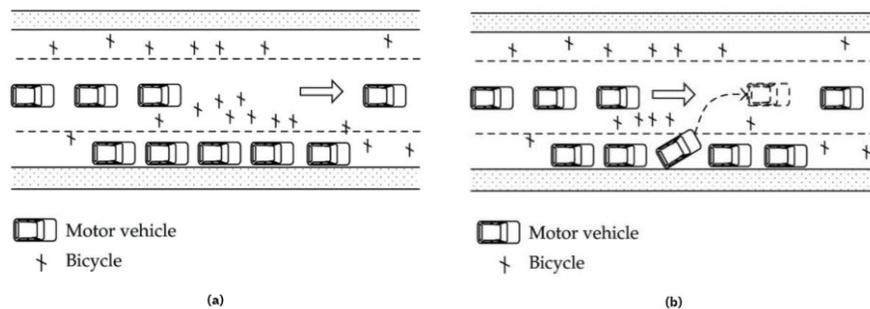


圖 2.1 路邊停車對周遭車流空間及時間影響

資料來源：Mei & Chen, 2012

除了上述提到路邊停車對空間、時間上效率的影響之外，該行為對周遭車流的安全性也會有一定程度的影響。Humphreys et al. (1978) 發現事故率會隨著土地使用和停車位的使用而產生變化，此外，設置禁止停車可以將道路中間路段的事故率從 75% 降低到 19%，相當於將路內總事故率降低 8% 至 30%。另外，Cao et al. (2017) 考慮機動車衝突所涉及的相關因素，例如非機動車道的分佈和停車視距等，探討路邊停車對機動車、非機動車和行人過路的交通安全影響，同時也指出當路段上外車道有設置停車格時，行駛於該車道

之車輛為避開停車格而變換至相鄰車道之行為會造成不少事故發生。Tang & Lu (2018) 則以變換車道頻率作為評估交通安全的指標，並發現路邊停車位會導致交通效率和安全性下降，也指出車流密度高、車道寬度小和高比例的非機動車輛將提高路邊停車的負面影響。

路邊停車是指將道路的空間資源（如路肩或車道）用來。這是停車設施提供的模式的重要組成部分。顯然，與路外停車相比，它具有靈活，節省空間和方便的優勢。然而，路邊停車佔據道路空間，這直接影響周圍機動車輛行駛特性。關於在何種情況下應使用路邊停車位一直存在許多爭議。然而，一直缺乏關於該主題的研究，尤其是考慮到混合交通流量下的機動車輛。

根據上述文獻的綜合描述，提出了許多不同的經驗方法和數學模式來研究混合車流和路邊停車如何對周遭車流的交通安全及速率造成影響。指出路邊停車是對道路空間資源的占用，雖然與路外停車相比，路邊停車它更方便，靈活，且節省空間。但路邊停車對道路空間資源的占用會直接影響到周遭車流，包括機車、大小客車、大卡車等不同車輛之間的交互作用和駕駛特性。不僅對整體道路的營運效率造成影響，也提升了衝突風險並形成了對交通安全的隱患。但是，現有的研究大多針對路邊停車所造成的效率影響，包括行駛速度、道路容量跟車流的延滯等，較少探討路邊停車對交通安全方面的影響。除此之外，尚未充分考慮一些包括路段上的混合車流環境、汽機車間彼此的交互作用對交通流量和危險衝突所產生的影響等。本文旨在通過考慮路邊停車的綜合影響，除了在過去研究常被提到的對效率影響外，同時也考慮在不同混合車流環境下，路邊臨時停車對交通安全造成的衝擊。因此，透過這些研究，我們將對路邊停車進行更深入的研究和探討，並蒐集中介指標，以微觀角度探討路邊停車對周遭車流的影響機制。

2.2 交通安全衡量指標

事故本身因為有隨機性，所以很少發生，因此透過替代性指標來進行事前的風險評估是提高事故預測的有效方法，且對交通安全衡量指標的研究也可以改善微觀安全模擬的模式。所有替代性指標都是基於衝突的發生來蒐集，而衝突定義為兩個或多個道路使用者在時間和空間上彼此接近，且如果其當下運動模式保持不變則有發生碰撞的風險。一些研究透過對駕駛行為的分析來檢測衝突發生的可能性（Dozza & González, 2012；Wu & Jovanis, 2013），而另一些研究則顯示衝突與碰撞之間存在著顯著的比例關係，也提出以交通衝突作為事故發生的安全替代指標（El-Basyouny & Sayed, 2013；Zheng et al., 2014；Tarko, 2018）。有許多研究針對交通衝突與交通事故的關聯性進行探討，舉例來說，SHRP2 計劃在將近一年的時間內部署了 2,000 多輛汽車以蒐集安全相關數據。但期間內只有不到 200 起事故的發生，因此必須利用其他相關替代性指標以更好地了解道路交通安全狀況。Johnsson et al. (2018) 指出各種交通安全衡量指標及其組合可以反映交通事故的不同面相，但似乎沒有單一指標可以涵蓋所有方面，因此建議選擇合適的指標時應考慮各個指標的相關背景。以下將提出不同安全中介指標並進行說明。

過去研究中，前後跟車之車輛常以即將碰撞時間(Time-to-Collision, TTC)、時間車距(headway)、加速率、減速率、最大速度以及速度差等量化指標作為事故前兆的預測。

即將碰撞時間、後侵入時間和減速率可用於衡量潛在衝突的發生，而最大速度和速度差可用於衡量碰撞的嚴重程度(Gettman & Head, 2003)。TTC 計算方式如下所示：

$$TTC_i = \frac{X_{i-1}(t) - X_i(t) - l_i}{\dot{X}_i(t) - \dot{X}_{i-1}(t)} \quad \forall \dot{X}_i(t) > \dot{X}_{i-1}(t)$$

其中 \dot{X}_{i-1} 表示前車速率， \dot{X}_i 則為後車速率，而 l_i 代表前車之車身長度。如圖 2.2 所示，TTC 是指某一瞬間且其速度及方向保持不變的情況下，兩輛車在 xy 平面上的距離除以當下瞬時速度絕對值差異的值(Hayward, 1971; Hydén, 1987)。因此在跟車模式的情況下，TTC 可以衡量車輛間在時間與空間上的互動與變異是否危險，當 TTC 越小，代表碰撞風險較高(Svensson, 1998)。即將碰撞時間的分佈以在各式研究中被用來識別交通安全方面的影響，廖家慧 & 黃家耀 (2017)也採用事故指標法，並以交通衝擊為事故指標，探討 TTC 是否適合評估混合車流的安全。

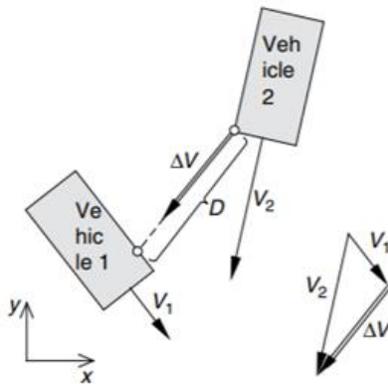


圖 2.2 TTC 示意圖

資料來源：Hayward, 1971

另外，Minderhoud & Bovy (2001) 在即將碰撞時間的概念上提出了兩個新衡量安全的指標，跟傳統 TTC 中介指標相反，這些延伸指標可以考慮車輛在行駛期間的整體空間和時間。如圖 2.3 所示，提出的時間曝光 TTC(Time Exposed Time-to-Collision, TET)指標表示曝光在低於 TTC 門檻值下的時間，而時間整合 TTC(Time Integrated Time-to-Collision, TIT)指標則額外考慮了在低於 TTC 門檻值期間的所有 TTC 值。TET 和 TIT 這兩個指標的優勢在於其包含了駕駛在一段時間內所有低於 TTC 門檻值的時間以及所有低於 TTC 門檻值的總和，而這很難在傳統 TTC 指標中被捕捉到。

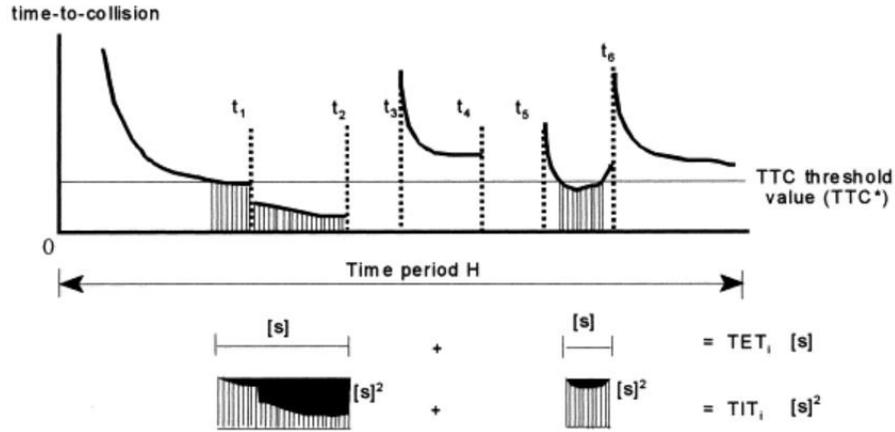


圖 2.3 TET 和 TIT 指標示意圖

資料來源：Minderhoud & Bovy, 2001

時間車距(headway)為前後兩台車抵達同一個參考點的時間差，如下所示：

$$H = t_i - t_{i-1}$$

Vogel (2003) 針對時間車距(headway)和即將碰撞時間 (TTC) 這兩個指標進行了討論和比較，建議透過時間車距來執法，因為較小的時間車距會產生潛在危險。而在要對某種交通環境進行安全性評估時則建議使用 TTC，因為該指標表示實際危險情況的發生。

Vedagiri & Killi (2015) 透過所提出的一種後侵入時間 (Post Encroachment Time, PET) 算法來提高碰撞預測的準確性，而後侵入時間 (PET) 的概念為兩個駕駛通過同一區域，前車離開與後車進入該區域範圍的時間差。除此之外，也常利用車輛的減速行為做為潛在風險的評估。減速行為是車輛駕駛為避免在道路發生碰撞所採取的最常見的迴避行為 (Hydén, 1987)。Shi et al. (2018) 提出了關鍵性交通安全衡量指標 (Key Risk Indicators, KRI) 的概念，透過混合指標的方式來評估可能發生之風險。發現時間整合碰撞時間 (TIT) 適合用來預測事故發生前風險；而潛在事故發生指標 (Crash Potential Index, CPI) 則有助於進一步挑選出最嚴重的類事故(near-crash)。

在使用相關的安全替代性指標時，應該定義一個臨界值或門檻值以區分相對安全和關鍵事件，在此以 TTC 門檻值的設定為例。Hirst (1997) 提出以 4 秒的即將碰撞時間來區分駕駛處於危險狀態和可控制狀態的情況。該研究進一步說明碰撞預警系統設計的實驗，發現 TTC 警告標準為 4 或 5 秒時會導致過多的錯誤警示，且 3 秒以下 TTC 值所產生的警示數量最少。此外，由美國運輸研究委員會 (Transportation Research Board, TRB) 主導的自然人駕駛研究計畫 (SHRP2 NDS)，透過詳盡的駕駛人與車輛資訊紀錄以及影像資料，使事故與類事故(near crash)之發生原因、過程與結果可被研究探討，該計畫亦訂定不同事故前兆之觸發門檻值。其中，該計畫在縱向與側向加速度的門檻值設定，前者定義縱向加速度大於等於 0.50g，縱向減速度大於等於 0.65g，且超過門檻值的時間至少 0.001 秒，而在 2 秒內發生將算成同一個事件；後者則定義橫向加(減)速大於等於 0.75g，且超過門檻值的時間至少 0.2 秒，而在 2 秒內發生將算成同一個事件。

除此之外，過去大多數研究也發現，車輛平均速度、道路容量及延滯，是用來評估路口及路段整體效率的重要衡量指標。Shatnawi & Khelifat (2018) 提出並檢視了自動車輛延滯評估技術 (Automated Vehicle Delay Estimation Technique, AVDET)，透過感測器偵測的數據和現有的號誌控制時相資訊結合可以自動估計號誌化交叉路口的延滯時間。而在研究號誌化路口時，大多數研究會將車輛在路口所遭遇到的延滯及飽和流量納入考量，這兩項都是在評估效率上重要的指標。飽和流量的概念跟路段容量相似，但僅考慮綠燈時段，因此若號誌一直保持綠色燈號，則飽和流量定義為通過停止線的最大等效車輛單位，常以車當量 (Passenger Car Equivalent, PCE) 或機車當量加總表示 (MotorCycle Equivalent, MCE)。此外，容量指標則可透過飽和流量乘以綠燈時間與號誌週期的比值。

Webster (1958) 提出了以排隊理論為基礎的延滯模型。一些研究針對 Webster 所提出的模型的進行修改，以提高該模型之輸出結果的準確度並嘗試解決混合車流所產生的變異。Thamizh Arasan & Jagadeesh (1995) 將混合車流中不同車輛類型之間的交互作用納入延滯模型做探討。Minh et al. (2010) 也提出了一種分析方法，用於評估延滯的評均值和變異數，發現與傳統的 Webster 模型相比，提出的方法更接近實際數據。

2.3 過去研究路邊停車對車流影響的相關文獻

過去針對路邊停車對其周圍車流影響之研究，多數透過巨觀車流表現，如車流速率、道路容量、飽和流率、平均旅行時間、車流總延滯時間等來探討路邊停車所造成之影響 (Arnott & Inci, 2006; Cao et al., 2017; Malecki, K., 2018; Mei & Chen, 2012; Tang & Lu, 2018; Ye & Chen, 2011)，較少利用微觀角度針對路邊停車之影響進行討論。然而，因為多數研究僅探討路邊停車對效率之影響，因此大多擴展車流速率模型，或者以軟體模擬方式進行探討。Cao et al. (2017) 透過間距接受模式 (Gap Acceptance model) 以進行道路容量估計。Mei & Chen (2012) 則是發展市區道路啟發式速度函數，使用飽和度 (流容比, v/c) 來修改機動車輛之行駛速度模型。Malecki, K. (2018) & Tang & Lu (2018) 則是使用細胞自動機車流模式，針對路邊停車行為及其周圍車輛行車動態進行模擬，以探討路邊停車所造成之速率、流量之影響。

除此之外，過去多以巨觀角度進行研究，對於微觀混合車流下的研究多受限於資料的蒐集不易，然而，近年來隨著影片拍攝設備不斷的進步，許多配合數位化的資料蒐集軟體也開始蓬勃發展，也讓我們有更多機會可以去研究微觀車流的運作模式。以微觀角度分析混合車流中車輛間的互動行為時，為了充分記錄車輛資訊和車流動態，應選取適當的資料蒐集方式。許多研究皆透過影像資料蒐集車輛軌跡以進行車流模擬及分析車輛間交互作用 (Malecki, 2018; Kanagaraj et al., 2015; Asaithambi et al., 2012; Su et al., 2009; Minh et al., 2005; Matsushashi et al., 2005; 廖家慧 & 黃家耀, 2017)。另有一些研究則輔以雷達或相關感測器資料以提高整體車流資訊精確度 (Lee et al., 2009; Cao et al., 2017; Shatnawi & Khelifat, 2018)。

影像資料優勢在於能透過圖像處理技術蒐集車輛運行數據以及較精確之車種辨識能力，另外，也能透過雷達蒐集其他車輛之動態，包括橫向及縱向速度、加速度、位置等資訊。然而由於雷達裝設於車輛上，其偵測範圍隨車輛位置而改變，無法長時間觀察周遭車輛之動態資訊，且由於雷達是透過相對運動進行偵測，若本車與相鄰車輛距離非常近，或是速差非常小，則可能有其偵測限制。因此，若欲蒐集車輛在路邊停車時本車與周遭車流之實際駕駛行為，亦可採用固定式雷達蒐集資料，惟其偵測範圍不隨時間而改變，然須固定於某地點，且無法蒐集駕駛人資料。

綜合上述，過去研究多數針對路邊停車對巨觀車流效率進行探討而忽略路邊停車對周為車流所產生之安全影響，因此，本研究將著重探討路邊停車對微觀交通安全之影響，利用影像資料搭配雷達設備進行巨觀車流及微觀資料蒐集，並透過計量統計模式以量化路邊停車對其周圍車輛所產生之影響。

第三章 研究設計及方法

本研究的目標是希望能夠透過巨觀及微觀的角度，探討並量化路邊停車行為對於其周遭環境車流的影響，以路邊臨時停車為主要目標，挑選市區主要幹道路邊設有黃線且具有混合車流特徵之路段，觀察路邊停車車輛及其周圍車流的交互行車動態。當車輛因種種原因欲減速並停靠於路邊時，將和其他附近的車輛產生互動及交織，而在路邊停車執行的過程中，因為路邊停車車輛本身及其周遭車輛的相對位置、速率等時間及空間的變化，可能導致路段整體運行效率的下降，甚至發生潛在衝突。是以將上述概念整理為以下研究議題和方法：

1. 透過實際場域影片觀察，搭配微觀資料找出路邊停車車輛，並蒐集路邊停車(停止位置、是否變換車道)及路段車流量與道路環境(道路屬性)相關資訊
2. 透過繪製軌跡圖，用以輔助選定合適的中介指標以探討路邊停車對於周遭車流整體巨觀及微觀的影響
3. 透過選定指標以定義路邊停車影響範圍及每一(無)路邊停車事件
4. 探討路邊停車對於其周圍車流行車速率及安全的巨觀及微觀影響

本研究之分析架構圖如下圖 3.1 所示，首先從影像及微觀資料觀察並定義找出路邊停車車輛；接著透過軌跡圖的繪製及影片的交叉比對，選定合適指標以量化路邊停車之影響；緊接著定義路邊停車事件及無路邊停車事件之時間和空間影響範圍；最後則是在考慮車流和道路環境下，分析路邊停車事件相較於沒有路邊停車事件對其周遭車流的影響，進一步從巨觀及微觀的角度去量化呈現。

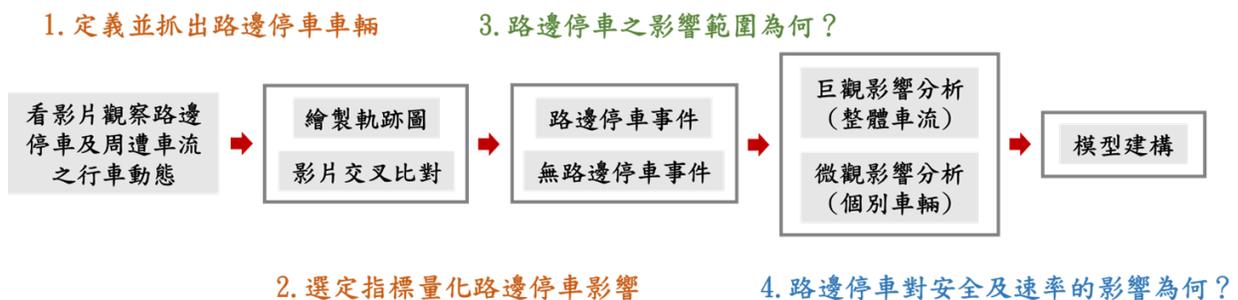


圖 3.1 分析架構圖

其中，第一步驟主要透過影像觀察搭配微觀資料，同時參考部分文獻，反覆驗證後篩選出目標車輛；第二部分主要透過軌跡資料的繪製及影片對照，以選定時間及空間相關的量化指標；第三部分藉由選定指標去做敘述統計並搭配顯著性檢定以定義路邊停車之影響範圍；最後一部分則是以每一事件、每一車輛為單位，並藉由多元線性回歸分析模型

(Multiple Linear Regression Model)進行巨觀效率及微觀安全的初步探討，分析造成車流速率下降及潛在衝突發生的原因，以下將進行更詳細的說明。

3.1 系統分析架構

為了研究市區道路在混車流環境下路邊停車行為對周遭車流動態之安全及速率的影響，本研究主要透過實際道路影像資訊觀察，參考相關文獻並結合研究目的和方法，提出系統性分析圖，如下圖 3.2 所示。因為路邊停車為一隨時間移動的動態過程，從車輛進入路段開始，路邊停車車輛可能變換車道或者直接於最外車道減速後停下，移動過程中會對其右方和後方車輛產生直接或間接影響，同時，在車輛靜止於路邊後，也會影響到左方及後方來車，而周圍車輛則因收到路邊停車的影響，可能產生減速、橫向位移等，交織等情況，進而產生衝突或影響行車效率。因此，本研究將透過平均速率該指標來探討路邊臨停對周遭車流效率的影響，同時也透過車輛減速、橫向位移、變換車道、潛在衝突的發生等，車流交織會發生的情況來衡量路邊停車對交通安全的影響。為了衡量危險衝突的發生，本研究利用後侵入時間(PET)的衝突區概念進行即將碰撞時間(TTC)的計算，並以此定義潛在衝突跟危險衝突，做為可能發生事故之替代性指標以進行分析。另外，受到雷達資料蒐集之限制，當車輛於路邊停止三分鐘以上將無法被偵測，而影像資料也顯示駕駛大多在車流量較少或周圍沒有車輛經過的情況下駛離停止位置，也因此本研究並不考慮路邊停車離開的過程。

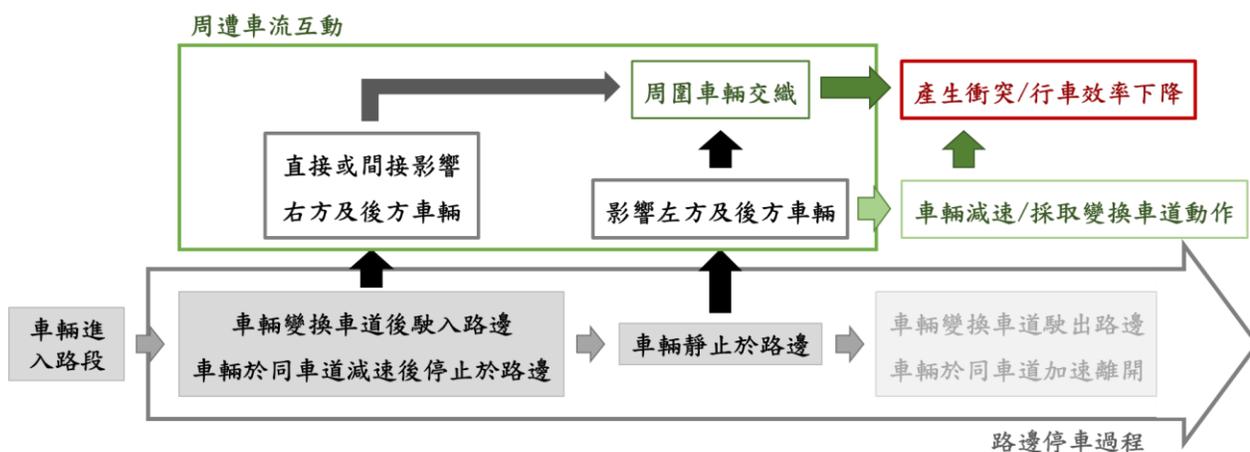


圖 3.2 本研究系統分析圖

以下將進一步提供路邊停車對其他周圍車輛影響之完整的車流互動示意圖，透過影像資料搭配微觀資料可以篩選出路邊停車車輛，並將其對周遭車流影響區分為車輛減速停靠及車輛靜止停靠路邊兩部分，而在路邊停車車輛離開的部分，根據影像及微觀資料觀察其對周圍車輛影響並不明顯且難以捕捉(通常挑選周圍車流量低或無車經過時離開)，因此本研究將不納入探討。首先針對變換車道至路邊停車和同車到減速停車進行探討，如圖 3.3 所示，以虛線作為每輛車可能之移動軌跡，而每條軌跡線的交點抑或是軌跡線與其他車輛的接觸點均代表潛在衝突的發生，此外以藍虛線代表車輛與車輛之間的衝突，以紅虛線代表機車與其他車輛可能發生的衝突，可以看出在混合車流環境，尤其是在路

邊停車的干擾下，發現行駛於最外兩車道之車輛受影響最大，車流擾動導致汽機車之間存在大量潛在衝突。

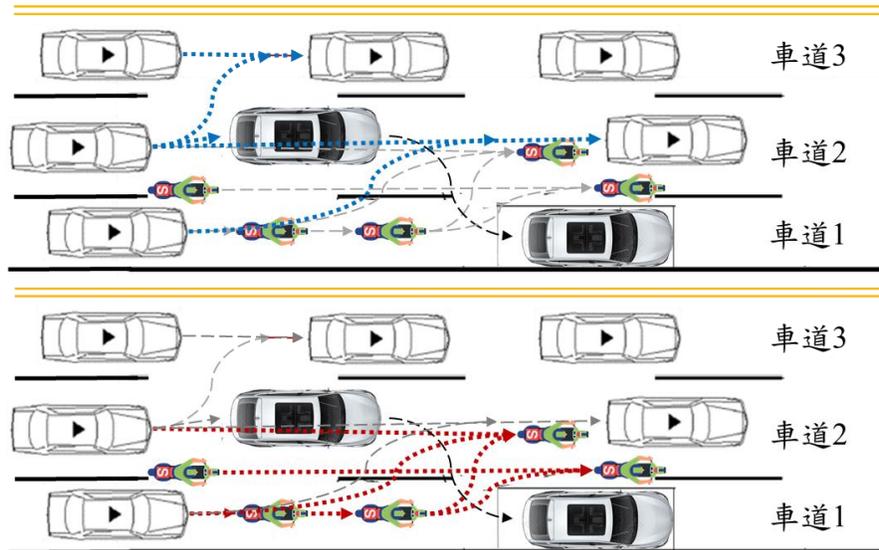


圖 3.3 路邊停車車輛停靠過程之車流動態示意圖-1

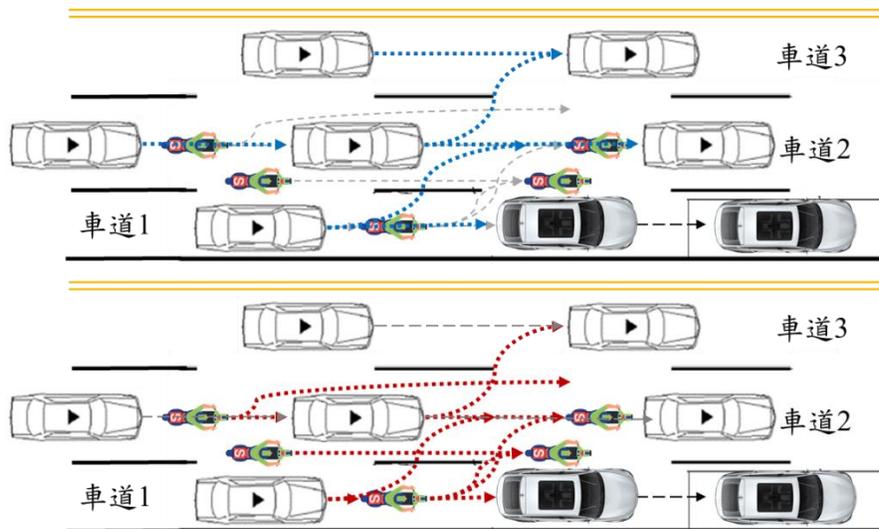


圖 3.3 路邊停車車輛停靠過程之車流動態示意圖-2

接著，針對路邊停車車輛靜止於路邊時的情況做說明，如圖 3.4 所示，同樣以虛線作為每輛車可能之移動軌跡，而每條軌跡線的交點抑或是軌跡線與其他車輛的接觸點均代表潛在衝突的發生，此外以藍虛線代表車輛與車輛之間的衝突，以紅虛線代表機車與其他車輛可能發生的衝突，可以看出在車輛靜止於路邊的情況下，其他周遭車輛為閃避前方車輛而需變換車道或減速移動至隔壁相鄰車道，車流交織情形嚴重，從而降低行車效率同時也引發更多潛在危險。

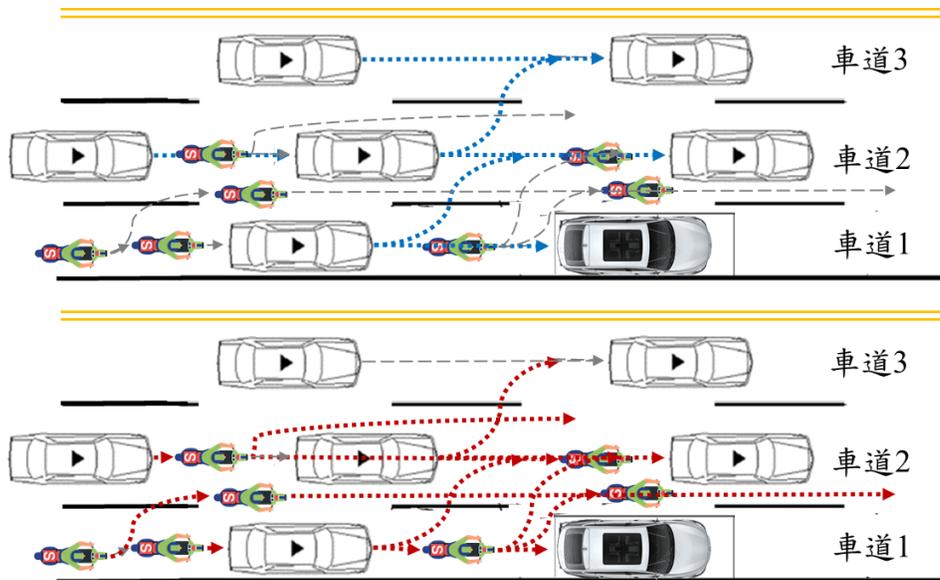


圖 3.4 路邊停車車輛靜止後之車流動態示意圖

針對上述所呈現之路邊停車影響其周遭車流動態進行整理並歸納出五種常見衝突型態，如表 3.1 所呈現，包括不同衝突情境之情境示意圖，以及可以用來衡量各情境所對應之相關交通安全衡量指標。即將碰撞時間(TTC)代表車輛在維持同樣速度與角度的情況下會發生碰撞的時間，可以用來衡量每一秒所有可能潛在衝突之危險程度；後侵入時間則是捕捉到所有車輛進入衝突區的時間差，而不僅限於衝突的發生；時間車距(headway)為前後兩台車抵達同一個參考點的時間差，因為其概念與後侵入時間相似且後侵入時間更能考慮到車輛本身車身大小的影響而非一個點，因此本研究並不採用該指標；變換車道可以用來衡量受路邊停車影響之周圍車輛是否有橫向位移的變化，從而加劇車流交織的情況；最後，車輛加減速的情況不僅影響其本身通過路段時的效率，同時也會影響其後方整體車流的行車速率，是以用平均區間速率做探討。

總體來說，本研究將使用即將碰撞時間(TTC)來衡量路邊停車所造成之潛在衝突、使用變換車道次數和橫向位移來衡量安全相關影響、並使用區間速率來探討後方車輛在通過有路邊停車車輛道路的情況下，其行車速率的影響。

表 3.1 各衝突情境相應交通安全衡量指標

衝突指標 衝突情境	情境示意 ● Before ● After	即將碰撞時間 (Hayward, 1971)	時間車距 (Vogel, 2003)	後侵入時間 (Vedagiri & Killi, 2015)	變換車道 (Tang & Lu, 2018)	加/減速率 (Hydén, 1987)	平均速度 (Mei & Chen, 2012)
中間車道車輛欲往外車道行駛與外車道欲往中間或內車道行駛之車輛發生衝突		✓	✓	✓	✓	✓	✓
同車道車輛後車與前車發生衝突		✓	✓	✓		✓	✓
外車道欲往相鄰內車道行駛與相鄰內車道車輛發生衝突		✓	✓	✓	✓	✓	✓
內車道欲往相鄰外車道行駛與相鄰外車道車輛發生衝突		✓	✓	✓	✓	✓	✓
外車道欲往相鄰內車道行駛因減速而與後方車輛發生衝突		✓	✓	✓		✓	✓

3.2 路邊停車對周遭車流的影響及範圍

本研究欲了解並量化路邊停車對周圍車輛所造成之安全影響，除了探討其影響機制外，更重要的是能夠找出其具體影響之空間及時間範圍，以期透過實際的量化數據來呈現路邊停車對周遭車流所產生之影響。是以根據實際道路影像及微觀資料篩選出路邊停車車輛及其周圍車輛後，本研究試圖利用影像搭配畫軌跡圖的方式量化並找出合適指標以衡量路邊停車對路段車流的影響。舉例來說，下圖 3.5 為實際道路路邊停車車輛靜止後，影像資料所呈現其他周圍車輛之行車動態，發現位於最外側二車道之車輛更容易受到路邊停車干擾，車流交錯及橫向位移情況嚴重，而行駛於內車道之車輛則相對不受影響。



圖 3.5 實際路邊停車與其周遭車流影像

圖 3.6 則是透過微觀資料所繪製之車輛移動軌跡圖，圖中顯示路邊停車車輛在其靜止往後累計一分鐘內通過該路段所有汽機車之移動軌跡，每一條虛線代表一台機車從上游往下游移動之軌跡，而每一條實線則表示一輛小客車自上游到下游的行動變化，可以明顯看出在最外二車道，路邊停車車輛周圍其車流交織情形嚴重，車輛為了通過該路段必須閃避通過路邊停車車輛，從而導致變換車道、鑽行或減速的情況發生，不僅降低行車效率，同時也提高跟其他車輛發生碰撞衝突的機會，是以作為本研究進行後續量化事件範圍之參考。

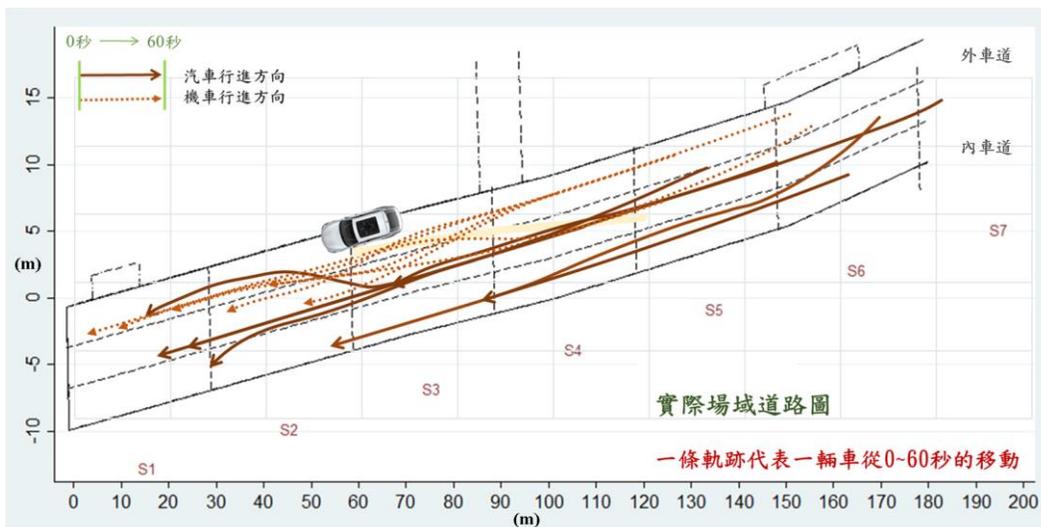


圖 3.6 路邊停車靜止一分鐘內之所有車輛軌跡

3.3 路邊停車對於周遭車流安全影響之評估模型

3.3.1 量化路邊停車影響

承 3.2 節所述，本研究為提出路邊停車所引起的實際數值之量化影響，勢必要有明確之分析單位以便進行後續討論，也因為要同時探討巨觀車流及微觀車輛所受到的影響，因此本研究希望以每一路邊停車事件為單位來探討巨觀車流，同時透過事件內所包含之每一通過車輛進行微觀分析。

透過多個路邊停車事件軌跡圖及實際路段影像的交叉比對和觀察，從車輛隨時間的位置變化及速率隨時間的變化，本研究將參考相關文獻，搭配影像及車輛軌跡資料的輔助，挑選相關安全指標用以衡量路邊停車對周圍車流之影響，並透過所選指標訂定出路邊停車其影響範圍，且作為模型之因變數以進行後續分析。舉例來說，從圖 3.6 所呈現之車輛移動軌跡圖可以觀察到車輛為通過路段，在行經路邊停車車輛時其橫向位移將產生變化，同時其速度、加減速及變換車道頻率也將改變，因此選擇與空間位置相關，如橫向位移變化、橫向位移變異程度和變換車道次數，以及與車輛動力學相關，如速度、速度差、減速度等作為衡量路邊停車影響範圍之整體巨觀指標，詳細說明見 4.4 節。

3.3.2 路邊停車事件 vs. 無路邊停車事件

為量化路邊停車對後方車流或周圍車輛所產生之影響，單獨地探討路邊停車事件並不能完全知道其影響是否嚴重或顯著，然而，如果能在相同道路及車流環境下與沒有路邊停車情況進行比較，則更可以了解是否因為路邊停車的影響而導致路段安全性的降低。因此，本研究將針對路邊停車相較於沒有路邊停車的情況下，探討其對周圍車流的影響，透過所篩選出之路邊停車車輛及其影響範圍，定義路邊停車事件和無路邊停車事件，並蒐集該路邊停車車輛其周遭所有車流及道路環境相關資訊。

本研究為探討路邊停車事件對安全及速率的影響，蒐集路邊停車車輛本身及其與周遭車輛之速度、縱向與橫向位置，以及路段行駛過程中是否有急加速和急減速等相關資訊；此外，為了解有路邊停車相較於沒有路邊停車的情況對周圍車流的影響，本研究透過路邊停車影響範圍同時來定義無路邊停車事件，以每一路邊停車車輛駛入該路段之前，往前推算取同樣路邊停車影響範圍的時間段作為無路邊停車事件，在後續分析作為路邊停車事件之對照組以進行比較和分析。接著進一步計算每件路邊停車事件和無路邊停車事件中，各車輛與車輛之間的橫向及縱向速率差、縱向距離差、橫向間距差等，並觀察過程中之加減速率，用以紀錄車輛是否有急煞行為。紀錄完各式車輛資訊後，再計算路邊停車事件及無路邊停車事件的即將碰撞時間(TTC)、時間車距(Headway)及其他中介指標，蒐集完所有資料後再進行分析，以事故風險之觀點了解路邊臨時停車行為對周遭車流動態之安全影響。同時，探討經過路邊停車區間之周遭車流的旅行時間、平均速率等相關指標，用以評估路邊臨時停車對周遭車流效率的影響。

在估計是否路邊停車等各項影響因子對安全及速率指標的影響時，在過去通常以事件數和是否發生衝突為主要探討目標，因此在評估前者時多利用計數型統計模型進行校估，過去根據資料型態和分布狀況，發展出不同模型以滿足資料限制或假設，一般情況下常見為多元線性回歸分析模型(Multiple Linear Regression Model)，倘若欲估計發生頻率較低且為正整數之事故、衝突等因變數時，一般會建立卜瓦松回歸模型(Poisson Model)；然而由於事故或衝突數量具有非負、離散的特性，因此目前研究普遍以負二項回歸模型(Negative Binomial Regression Model)來減少因事件在時空間上可能過度離散而導致的偏誤。在評估後者時則因為以是與否做為應變數，因此多使用二項羅吉斯回歸模型(Binary Logistic Regression Model)進行校估，而羅吉斯回歸模型屬於個體選擇理論之應用模型，用以解釋或預測行為與現象，可了解某因變數和多個自變數之間的關係，透過此回歸模型可了解各項自變數的勝算比(Odds Ratio)，可代表其對發生衝突與否的影響機率。

綜觀上述，結合研究目的和方法，本研究以每一路邊停車事件及每一無路邊停車事件為分析單位進行巨觀模型分析，因每一事件均包含多輛車的複雜交互作用，因此大多以總平均值及比例做為事件分析之輸出，因而本研究將以多元線性回歸分析模型(Multiple Linear Regression Model)進行分析，用以探討路邊停車該因素對於效率指標，如區間速

率，以及安全指標，如衝突數(占比)、變換車道次數的影響。除此之外，本研究也將以事件危險與否做為因變數，並以二項羅吉斯回歸模型(Binary Logistic Regression Model)來進行校估，了解事件危險與否和路邊停車、道路車流環境之關聯性。羅吉斯回歸模型屬於個體選擇理論之應用模型，用以解釋或預測行為與現象，可了解某因變數和多個自變數之間的關係，其假設誤差項服從二項分配而不是服從常態分配，此模型用以估計選擇某方案*i*的機率 $Pr(i)$ ，如式 3.1。其中 μ 通常設為 1。在本研究中，由於事件僅區分為危險與不危險，因此可視為二元變數(binary variable)，因此透過二元羅吉斯回歸模型(Binary Logistics)來建立模型，如式 3.2。

$$Pr(i) = \Pr(U_{in} \geq U_{jn}) = \frac{e^{\mu V_{in}}}{e^{\mu V_{in}} + e^{\mu V_{jn}}} \quad (3.1)$$

$$\text{logit } Pr(y_i|X_i) = \ln\left(\frac{\Pr(y_i = 1|X_i)}{1 - \Pr(y_i = 1|X_i)}\right) = \alpha + \beta X_i \quad (3.2)$$

在式 3.2 中， $Pr(y_i|X_i)$ 代表車輛之間發生危險衝突與否的機率，而本研究所定義之危險衝突為取 TTC 小於 1 秒的事件作為衝突事件， y_i 為二元變數，代表發生危險衝突與否， X_i 則為解釋變數(自變數)，如兩車之間相對運動資料和其周圍車流環境。透過此回歸模型可了解各項自變數的勝算比(Odds Ratio)，可代表其對發生危險衝突與否的影響機率。

在巨觀分析跟微觀分析模型，除了一般回歸模型之外，為同時考慮路邊停車在不同車流環境下，事件及個別車輛間可能具有無法捕捉之異質性，因此也將在模型中納入固定效果(fixed-effect)、隨機效果(random-effect)和混合效果(mixed-effect)模式來進行影響評估，比較各模型配適度後，再選定最適當的最終模型。固定效果模式常搭配面板數據(panel data)做使用，在更廣泛的背景下也可用於任何類型的多層級數據，較低層級的單元歸納在較高級別的集群中。使用此模型可以利用特定群組的固定效果以消除組內未觀察到的異質性，反映研究群組內不隨時間或個體改變的特徵。基本模型假設 N 觀察值(群組)和 T 時間段(個體)，其中 $i=1, \dots, N$ 且 $t=1, \dots, T$ ，如式 3.3。

$$y_{it} = X_{it}\beta + \alpha_i + \epsilon_{it} \quad (3.3)$$

在式 3.3 中， y_{it} 表示觀察值 i 在時間 t 的觀察結果， X_{it} 為隨著的 t 變動的解釋變數， β 是自變數的估計參數，該模型的誤差項分為兩部分， α_i 捕捉觀察值(群組)內不隨 t 變動的個別影響， ϵ_{it} 則是其它難以觀察之誤差項。在此，固定效果假設每個體(群組)的特定效果與自變數相關，隨機效果假設個體未觀察到的異質性與自變數相互獨立，混合效果模型則同時包含了固定效果及隨機效果。

根據上述，巨觀分析部分，由於本研究透過每一路邊停車事件，分析不同交通量和混合車流程度下路邊停車對衝突、變換車道次數及區間速率的變化，是以假設在不同交通量中不同混合車流情況下，可能具有無法捕捉之異質性(unobserved heterogeneity)，也使得各交通量和各混合車流程度的組合之間可能存在關聯性(correlation)，考量此關聯性後可建立固定效果模式(fixed-effect model)或隨機效果模式(random-effect model)，前者透過設定

一固定參數來捕捉不同車流環境下的事件關聯性，且此參數和解釋變數有相關，但可能會損失部分樣本導致標準誤變大；後者則假設各種車流環境的特性服從某一分布，且其和解釋變數為獨立關係，雖然比起固定效果模式更有效率，但前述假設較不合理。對此，過去研究也發展了一種同時保有上述兩種模型優勢的混合效果模式(mixed-effect model)，其概念為允許每個體除了有各自的前測分數(截距項)外，也能有獨特的時間或事件趨勢。微觀分析部分，由於本研究透過每一路邊停車事件內所包含之全部個別車輛作為分析單位，用以分析在不同路邊停車事件下路邊停車行為對通過路段之個別車輛是否發生危險衝突、變換車道次數及區間速率的影響，是以假設在不同事件中，因為不一樣的車流環境及涵蓋車輛數可能產生無法捕捉之異質性(unobserved heterogeneity)，也使得各個事件之間可能存在關聯性，因此，建立固定效果模式(fixed-effect model)、隨機效果模式(random-effect model)或混合效果模式(mixed-effect model)，將此關聯性納入考量，比較各模型配適度後，再選定最適當的最終模型。

第四章 研究資料

本章節根據研究目的和第三章所提出之研究設計，主要介紹研究場域的選取、所需要的資料項目及蒐集方式、資料處理方式以及資料庫建立的流程。首先根據研究目的選定適合的觀測路段，接著為分析路邊停車對周遭車流所造成之巨觀及微觀安全影響，必須在實作場域安裝毫米波雷達和攝影機，以利蒐集目標路段車流軌跡相關資料。除了車輛資訊外，也記錄路段之道路屬性，包括車道寬度、車道數、道路長度等等。資料蒐集回來後將對資料進行清洗與處理，並且發展演算法以萃取出路邊停車事件，記錄該事件之整體車流特性和微觀互動情境。由於毫米波雷達設備有其偵測上的限制，尤其是在車流量較大的情況需搭配影像資料進行交叉比對，因此導入影像辨識技術以提高車種及物件偵測的辨識準確率，經過資料整合與處理後將其分成整體巨觀及深入微觀兩部分做分析。最後，將所有資訊建置為資料庫，爾後即可進行模式分析。流程如圖 4.1 所示，以下各章節將對各部分進行說明。

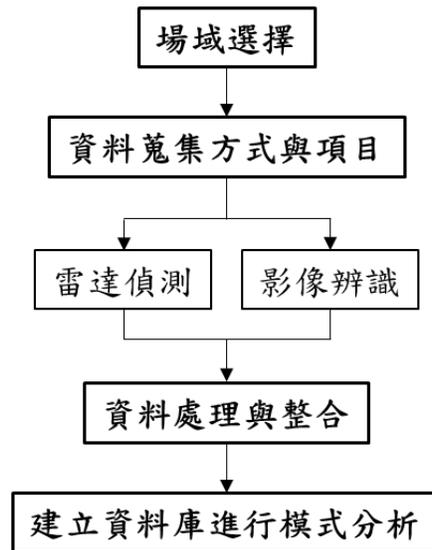


圖 4.1 資料處理流程

4.1 場域選擇

本研究所選定之資料蒐集路段須滿足幾項必要條件，如車流型態、道路等級以及是否具備道路標線、設施等，如路邊黃線、停車格等。車流型態必須為汽機混合車流環境，而在道路等級方面，則需選擇具有備足夠交通量之市區幹道來進行觀測，且所觀測之路段長度須至少約 100 公尺方能觀測到較為完整之連續且完整之駕駛行為。因此，本研究預計使用新竹市路段之資料，並以毫米波雷達和攝影機來紀錄車輛軌跡資料與影像。有關場域選擇之流程如圖 4.2 所示。首先考量實務面向問題為縣市配合度與工程期程是否能與計畫時程配合；第二部分為實作場域所具備之必要條件如道路條件，以市區幹道或省道較具有足夠交通流量及代表性之路段作為觀測對象，以利進行後續分析車流變化對於安全與效率

之影響，且研究結果可以應用至其他相似條件之路段；第三部分則為是否具備優先選取條件，如優先選取無路內停車格但滿足有劃設路邊黃線僅提供臨時停車之路段。

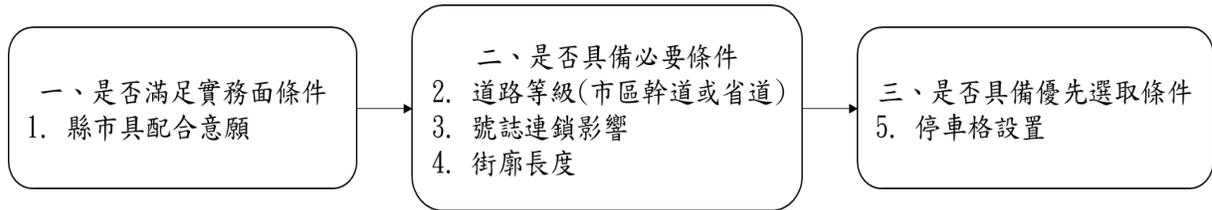


圖 4.2 場域選擇流程

以下表 4.1 詳細介紹新竹市實作場域之路段資訊，新竹市實作場域以「東光路(東勝路-忠孝路)」作為觀測路段，路段區域位置與現況街景請參考圖 4.3，而東光路場域之車道配置圖參考圖 4.4，其場域皆符合本研究所需必要條件，因此以該路段作為本研究分析討論之範圍。此外也將本研究之實際場域資料與過去探討路邊停車之相關文獻，其所採用之實際場域或模擬道路進行比較，如表 4.2 所示，可以發現本研究所選取的研究路段街廓長度大於過去文獻所採用之範圍，且單一方向車道數參考過去研究落在 2~3 車道，車道寬度也落在 2~4.5 公尺內，因此是以確定使用新竹市東光路路段作為研究路段。

表 4.1 實作場域路段資訊

場域位置	新竹市東光路
道路等級	市區幹道
號誌連鎖	有
街廓長度	182 公尺
交通工程設施	路外機車停車格 一處公車停靠站
單一方向車道數	3
車道寬度	皆 3.0 公尺
是否劃設路邊黃線	有



圖 4.3 新竹市實作場域位置與現況街景

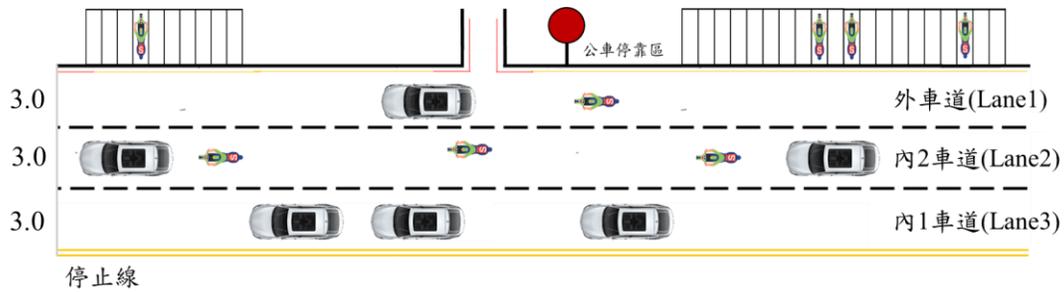


圖 4.4 新竹市實作場域車道配置圖

表 4.2 實作場域與過去路邊停車相關文獻之路段資訊比較

過去研究	道路等級	街廓長度	單一方向車道數	車道寬度
Cao et al., 2017	主/次要道路	取30m路段	1~3	2.0~4.6
Tang & Lu, 2018	車流模擬	90m~120m	2~3	2.7~3.8
Mei, Z., & Chen, J. 2012	市區主要幹道	取60m路段	3~4	2.65~4.5
Prakash et al., 2020	主/次要道路	取30m路段	2	3.0~3.5
本研究	市區幹道	180m	3	3.0

4.2 資料蒐集方式與項目

由於本研究欲同時以巨觀及微觀角度分析市區道路路邊停車在混合車流環境下對交通安全及速率之影響，爰此須以相關觀測設備蒐集車種、速率、車流軌跡、行車動態等資料。各式資料蒐集方式如表 4.3 所示，毫米波雷達可用於車輛檢測、交通量調查、交通事件檢測等，具有體積小、空間分辨率高等特點，且固定式雷達蒐集之資料與自然駕駛資料相比，前者可蒐集偵測範圍內所有車輛之軌跡與速率，因此能同時觀察整體路邊停車周遭車流之動態及深入觀察每一路邊停車事件內之車流互動型態；然而後者的偵測範圍受本車視角影響，因此所能蒐集之駕駛人及周圍環境資訊相較侷限。影像資料可以輔助各式偵測資料的判斷及準確性，而影像辨識技術也可用於車輛之車種檢測、交通流量調查、車流動態觀察等。因此本研究選擇以固定式雷達蒐集之資料，搭配影像辨識技術以進行研究，用以彌補雷達資料在車種偵測上的不穩定性。

表 4.3 微觀資料蒐集方法與限制

資料	資料類型	限制
自然駕駛研究 (Naturalistic Driving Study)	針對受試者長時間不間斷地蒐集車輛運行狀況和駕駛人之行為變化	偵測範圍受本車視角影響。
毫米波雷達 (Radar)	蒐集偵測範圍內所有車輛之軌跡與速率，具有體積小、空間分辨率高等特點。	若本車與相鄰車輛距離非常接近或速差非常小，則可能有其偵測限制，且無法蒐集駕駛人資料。
影像資料 (Video)	蒐集實際道路車流影像，可用於車輛之車種檢測、交通流量調查、車流動態觀察等。	無法得知車速，且根據攝影機擺放位置，將影響影片中車輛轉換成實際道路位置的準確性。
軟體模擬 (Simulators)	可透過不同參數設定模擬不同情境。	結果相較實際場域可能較理想化

4.2.1 雷達資料蒐集方式與項目

為了有效觀測車流狀況，本研究之實作場域設備架設位置及實際雷達軟體介面如圖 4.5 所示。根據雷達代理商(SmartMicro)之官方資訊，固定式毫米波雷達需架設高度約為 5.4 公尺，俯仰角則為-6 度(俯角 6 度)，始能測得較準確之觀測結果，因此將其附掛於號誌燈桿上，並將雷達面向車流來向；另外為了後續驗證雷達資料之準確度，亦於雷達旁裝設攝影機以蒐集影像資料。架設完硬體設備後，雷達連結之軟體可讀取雷達實際經緯度座標，並利用 google map 軟體擷取地圖呈現於軟體畫面上，接著在畫面上調整車道寬度、長度及數量後，便可在偵測介面上同步查看偵測範圍內的車流狀況，而雷達偵測介面中顯示之紅色長方形代表小客車，藍色長方形則代表大型車，水藍色正方形是為機踏車，軟體本身可辨識之車種僅有三種：機踏車、小型車以及大型車；而綠色、淺藍及紅線為雷達偵測範圍，距離雷達越遠則誤判率越大，且依不同車種有不同最佳偵測範圍，機車為距離雷達 100 公尺內，小型車則遠至 170 公尺，大型車遠至 280 公尺，範圍以外之車輛無法觀察。



圖 4.5 實作場域設備架設位置及雷達偵測介面

完成雷達軟體部分參數設定後便可開始蒐集資料，其資料蒐集頻率為一秒 13 至 17Hz，該資料透過工研院協助輸出為適當格式。表 4.4 呈現詳細的雷達蒐集資料項目及相關說明，包括時間、偵測車輛 ID 編號、位置、速率、車輛車身長度等資訊。藉由上述所蒐集之資料以及道路資訊，可描繪出車輛在路段上的行駛軌跡圖，蒐集行車動態資訊，並可計算交通量、微觀衝突事件數。

表 4.4 雷達資料輸出項目及說明

資料參數名稱	說明	單位
time	車輛被偵測時之日期和時間	毫秒(ms)
radar_id	雷達本身的 ID	
obj_no	雷達在當下時間所偵測到的車輛個數	輛
objectid	被偵測到的車輛其 ID	
x	相對雷達 x 方向距離	公尺(m)
y	相對雷達 y 方向距離	公尺(m)
velocity_x	x 方向速率	公尺/秒(m/s)
velocity_y	y 方向速率	公尺/秒(m/s)
speed	速率	公尺/秒(m/s)
objlength	被偵測車輛的車身長度	公尺(m)

儘管與雷達所在位置、被偵測車輛車種皆會影響其偵測能力，但仍有其他狀況會影響其偵測和準確程度。舉例來說，若有大型車涉入，除大型車本身可能被辨識為兩個平行軌跡點外，其附近車輛車種也容易被誤判，而車輛與車輛間彼此有部分車身被擋住或過近的情形，像是機車車隊可能被判斷為一輛小型車，也可能誤判車種或軌跡。因此，為彌補

雷達偵測本身所可能產生之誤差，本研究加入影像辨識作為輔助以提高車種判別率及車輛 ID 正確率。

4.2.2 影像辨識資料處理方式與項目

在混合車流情境下，微觀資料中偵測車種的能力顯得更加重要，而為使得研究成果具有更高之可信度，本研究將搭配影像辨識技術，並委託財團法人工業技術研究院進行協助，將研究場域所錄製之影像進行車種及 ID 的影像辨識後，將影像資料及雷達的輸出資料進行串聯和融合(fusion)，透過影像的高車種辨識準確度來精進雷達所輸出資料的正確性。影像辨識及資料整合之主要流程架構圖如下圖 4.6 所示，首先，透過實際道路的影像將影片進行切割與偵測，萃取出每時間單位之切割影像中出現的所有車輛，之後將每一張切割影像之偵測車輛透過座標轉換成實際道路的座標位置，同時也將車輛進行編號以追蹤車輛移動軌跡，最後再將影像辨識資訊與雷達資料進行融合串聯以提高車種判別，以下將針對流程圖中用黃線所框設之 4 個項目進行簡略說明。

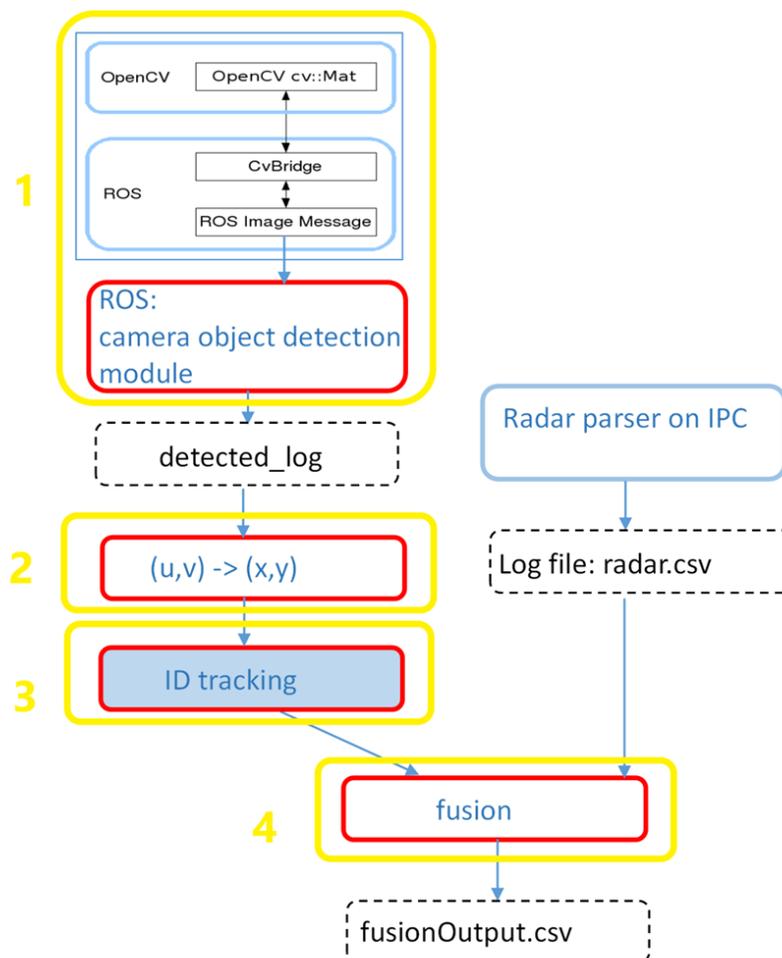


圖 4.6 雷達與影像辨識資料串聯結合之流程圖

資料來源：工業技術研究院

1. 影像辨識

將本研究實際場域路段之影片錄像取出以進行後續影像辨識處理，影像資料涵蓋範圍約距離實際道路停止線後三十公尺至一百公尺左右。首先，將影片檔傳輸至 nvidia 電腦之處理介面，而影像辨識的整個過程跑在 ROS (機器人作業系統) 架構上，在這邊將影片透過 FFmpeg 以 10Hz 的頻率切割成一張張照片 (FRAMES)，之後在 ROS 架構建立一個 Frame 的發佈節點，並透過 CvBridge (CvBridge 為一個 ROS 庫，提供 ROS 和 OpenCV 之間的介面) 將 OpenCV 影像轉換為 ROS 格式 (ROS Image message) 後丟進影像偵測模組進行車種及車輛 ID 的偵測，以每一外框之底線中點作為其物件位置且利用不同顏色框選不同車種進行辨識，如下圖 4.7 所示，並產出 detected_log 檔案以進行下一步分析。

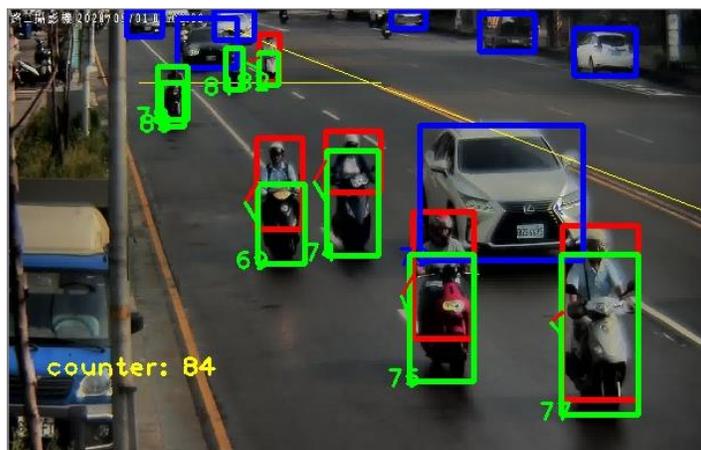


圖 4.7 影像辨識車種及車輛 ID 示意圖

2. 座標轉換

將影片透過影像辨識所產出之偵測檔內的影像座標，透過實際場域座標及影像偵測範圍內的座標進行轉換，將車輛座標轉換成實際的路段座標，主要利用棋盤格將影片畫面進行路段車道及偵測範圍劃分並計算每一區塊的座標轉換矩陣，如圖 4.8 所示。



圖 4.8 影像辨識之座標轉換矩陣圖

資料來源：工業技術研究院

3. 物件 ID 的追蹤(ID tracking)

影像中車輛的 ID 追蹤使用 Hungarian Algorithm 來判斷切割出來的前後 frames 其各物件(車輛)的關聯，主要概念為將前後照片中車輛移動位置最接近的兩台車視為同一物件，進而追蹤其在偵測範圍內整個移動過程的 ID，而演算法中的 cost matrix 則使用 IOU (Intersection over Union)。

4. 雷達資料串聯影像資料(fusion)

當影像辨識資料輸出後，為了能與雷達資料進行整合以提高整體車種判別率，必須進行 fusion 的動作，將影像辨識及雷達輸出之資料進行合併，而 FUSION 的流程 LOG 檔案格式如下圖 4.9 所示。除此之外將所偵測之影像邊框做濾除處理，目的是希望與雷達資料做更匹配的 FUSION，如下圖 4.10 所呈現，當影像所框出的物件從物件前頭接觸邊界到物件前頭超出邊界，這段時間影像辨識所轉換出的 x 值不會變動，但雷達偵測的 x 值仍會持續遞減。

```
#===== camera-detected-log
YYYYMMDD_frameIndex label id feet_u feet_v box_u1 box_v1 box_u2 box_v2 prob motoP_u motoP_v
#00000000_frameIndex: skip

#===== converted-log
YYYYMMDD,HHMMSS.MS index label id feet_u feet_v x y box_u1 box_v1 box_u2 box_v2 prob array

#===== fusion-log
radarLog #index label id feet_u feet_v x y box_u1 box_v1 box_u2 box_v2 prob array
```

圖 4.9 FUSION 流程之 LOG 檔案格式示意圖

資料來源：工業技術研究院

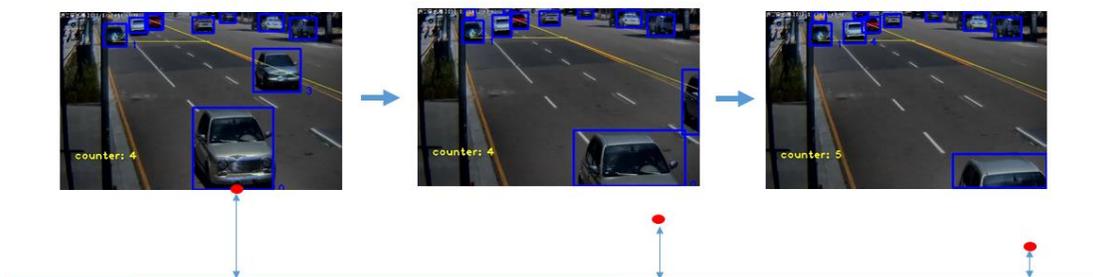


圖 4.10 影像邊框濾除處理示意圖

資料來源：工業技術研究院

最後 fusion 完成的檔案除了原先的雷達資料欄位以外，同時新增了包括影像的物件追蹤 ID、車種、轉換後物件之實際道路位置等，詳見下表 4.5。

表 4.5 影像辨識新增欄位

資料參數名稱	說明
video_obj_no	照片當下時間所偵測到的車輛個數
day	車輛被偵測時之日期
video_time	車輛被偵測時之時間
picture ID	被偵測到的車輛其所在之照片 ID
video_objlength	車輛車種
video_objectid	從照片被偵測到的車輛其 ID
u	影片 u 方向位置
v	影片 v 方向位置
x	轉換後之實際路段 x 位置
y	轉換後之實際路段 y 位置

4.3 資料處理與整合

為了從微觀車輛資料中篩選出路邊停車及其周遭車輛以建立路邊停車事件，同時紀錄所有車輛之駕駛行為特性，因此需要針對原始資料進行一連串的處理和整合。整體程序可分為 7 步驟：

1. 產生唯一車輛 ID
2. 影像辨識資料串聯
3. 計算個別車輛資訊
4. 車輛軌跡平滑處理
5. 萃取路邊停車以及無路邊停車事件
6. 針對每一事件產生兩車資料庫
7. 紀錄事件特性和駕駛情境

1. 產生唯一車輛 ID

雷達偵測到車輛後會指派一 ID 給予該車輛，此 ID 編碼為 0 至 256，其資料欄為「radar_id」，依據偵測到車輛的順序，由小到大指派編碼。若第 257 台車輛出現時，其車輛 ID 會重新以 0 開始計數。因此，為了避免同一份資料中出現相同 ID 但為不同車輛

之情況，因此將車輛 ID 與時間戳記欄位(time)進行合併從而得出具有唯一性之數值，視為每一車輛的獨特 ID。

2. 影像辨識資料串聯

將第一步驟所產生之新車輛 ID 的原始檔，以及透過 4.2.2 小節所述之方法所輸出之影像辨識資料，透過 fusion 的方式進行串聯，並將影像辨識之車種欄位資料覆蓋於原始雷達資料之車身長度欄位(objlength)後，刪除其他影像辨識資訊用以建立新的雷達資料檔案。

3. 計算個別車輛資訊

在雷達有限的資料欄位中，為深入了解車輛彼此之間以及車輛與道路間的關係，因此透過新的原始檔資料與道路資訊，例如車道線座標來計算其他有關車輛的動態資訊，如速率、加減速率之最大最小值、平均值、標準差、車種、車長與車寬、與車道線和車道中心之距離、與停止線之距離等，所有車輛資訊數值均透過道路實際的白色停止線和實際道路車道線座標所計算得出。

在車種辨識方面，已經透過影像辨識進行覆蓋，而部分沒有被影像捕捉到的車輛資訊則需要額外處理，主要透過原始資料中車輛長度(objlength)欄位進行判斷，因為雷達在判斷車輛長度時會受實際車流密度影響而將鄰近車輛誤判為同一車輛，進而在車輛行駛的過程中出現相同車輛 ID 卻有不同車身長度之狀況；因此，在考量雷達本身偵測能力的情況下，機車之偵測範圍約距雷達 100 公尺，本研究參考林彤(2020)取距離雷達 60 至 100 公尺之範圍內之車身長作判斷，將車輛於此範圍內的車身長度取平均值，並訂定門檻值以判別車種，定義如下：車身長度於 4.2 公尺以下視為機車；介於 4.3 至 5.9 公尺視為小型車；而車長大於 6 公尺則視為大型車。在確認車種以後將統一車長與車寬之數據，機車車長為 1 公尺，車寬 0.8 公尺；小型車車長 4.8 公尺，車寬 2 公尺；大型車由於包羅萬象，除了一般大客車與大貨車外更包括工程車、垃圾車、部分廂型車等特殊車種，因此以雷達所偵測之車身長為主，車寬則訂定為 2.5 公尺。除此之外，計算車輛與車道線和車道中心之距離、與停止線之距離，同時可確認其是否位於目標路段內而非路段外。

4. 車輛軌跡平滑處理

由於雷達偵測能力有限，導致其所蒐集之車輛軌跡無法真實或完整呈現該車輛通過路段時之車輛動態，有時會出現軌跡消失或跳動之情形，因此本研究以局部加權回歸方法(Locally Weighted Scatterplot Smoothing, LOWESS)建立車輛軌跡之平滑曲線予以修正，改變原始資料 Y 座標。此法直觀、計算方便且普遍被使用於建立散佈圖(scatter plot)之平滑曲線，其概念為取一定比例的區域性資料後模擬出多項式回歸曲線，如此便可觀察資料在該區域展現的規律和趨勢。

5. 萃取路邊停車以及無路邊停車事件

a. 篩選路邊停車車輛及其周圍受影響車輛

當計算並處理完車輛相關資訊後，便發展演算法以從雷達資料中萃取出路邊停車事件以及無路邊停車事件。根據本研究目的，首先必須先篩選出通過路段之路邊停車車輛，透過文獻回顧及實際影像觀察可以發現車輛在執行路邊停車動作時主要透過兩種方式，包括從原本車道變換至外側相鄰車道後減速停下，以及從原本所行駛之最外車道減速停靠路邊，而受到影響之旁邊車輛則主要透過變換車道和減速以通過路邊停車車輛或避免與其他車輛的碰撞。因此，須建立篩選路邊停車車輛以及受到路邊停車影響之周圍車輛的操作型定義，且以滿足操作型定義條件之車輛作為本研究所欲探討之事件範疇，詳見 4.4 節。

b. 定義路邊停車車輛事件之影響範圍

透過已經篩選出之路邊停車車輛及其周圍可能受影響之車輛，接著需定義本研究所欲探討之路邊停車事件。然而每一路邊停車事件其執行過程及其影響範圍卻不盡相同，透過大量的實際影像觀察發現當路段出現路邊停車時，隨著停止時間的拉長，通過路段之車輛因為可以事先感知觀察到前方車流狀態而及早做出反應，包括事先變換車道或減速等，因此路邊停車所造成的影響可能隨著時間演進而下降甚至消失。

因此本研究首先針對所篩選之路邊停車，範圍選取路邊停車車輛進入路段前 300 秒及路邊停車後 300 秒作為優先考慮，同時，路邊停車車輛進入路段前 300 秒沒有任何其他路邊停車車輛的情況下，以進行本研究之路邊停車事件、無路邊停車事件之篩選。於此同時，透過各項交通安全指標，包括車流整體之平均橫向位移差、平均橫向位移變異、平均區間速率、平均速差、平均危險減速度持續時間、平均最大減速度、平均變換車道次數等，其隨著選取範圍不同之數值變化，以進行事件定義並進行後續模式分析，詳見 4.4 節。

6. 針對每一事件產生兩車資料庫

為了後續進行深入的微觀分析，本研究針對每一路邊停車事件及每一無路邊停車事件，將同時出現在路段上的車輛進行兩兩配對，並記錄兩車之速率、位置等車輛資訊，形成以兩車為單位的微觀資料庫，透過所建立之資料庫即可進行微觀安全分析，包括即將碰撞時間(TTC)、後侵入時間(PET)、時間車距(Headway)等相關交通安全衡量指標的計算。除此之外，因為雷達偵測能力上的限制，尤其在交通量大時相較容易因車輛相互遮蔽而產生誤判或漏報等，因此部分資料無法捕捉完整軌跡，若僅以部分軌跡進行計算或判斷，可能導致事件結果的偏差，故本研究以軌跡長度大於 30 公尺以上作為門檻值將低於門檻值之樣本排除，同時也排除逆向行駛之車輛。

7. 紀錄事件特性和駕駛情境

從資料篩選出路邊停車及無路邊停車事件後，主要先記錄巨觀車流之整體車流量、平均速率、最大加減速、橫向位移、旅行時間等資訊；接著，透過後續所建立之兩車資料庫蒐集每一路邊停車事件內之微觀車流互動資訊，包括車輛彼此之間相對速率、相對縱向與橫向位置，以及過程中是否有急加速和急減速、是否會產生潛在衝突等，以探討路邊停車對整體路段行車速率及安全的影響。除此之外，為量化路邊停車之影響，本研究將在分

析模型中納入並控制車流環境因素，包括當下車流量、車流前方速率及密度、不同車種所占比例、以及紅燈號誌影響等。

其中，路邊停車事件和無路邊停車事件在本研究所定義之 110 秒事件範圍內均受到號誌紅燈的影響，且影響之時間占比約 4.54% ~ 27.27%，因此為降低模型估計之誤差，故將納入紅燈號誌之影響，然而受到研究資料上的限制，除了將路段之號誌時制計畫合併到研究資料進行考慮外，也透過影像觀察及雷達資料進行驗證與推算，本研究將透過微觀資料中個別車輛通過路段之每秒行車速率進行處理，當路段上每秒當下有 50% 以上的車輛速率低於 15(km/hr)，則將這些車輛視為可能受到前方紅燈號誌的影響，進行紅燈秒數的推估，並納入後續模型做為控制變數進行分析。

4.4 路邊停車影響範圍

本研究以路邊劃設黃線且沒有路邊停車格的市區道路路段為研究對象，且經影像觀察，平均一台路邊停車從變換車道或打方向燈開始直至靜止於路邊(最外車道中線之外)的時間約 5 至 10 秒左右，且皆為順向停車並無倒車後停止之情況。根據過去文獻及實際道路影響觀察，本研究將以最外兩車道作為主要研究範圍，同時考慮路邊停車靜止前後對其他車流的整體安全及速率影響，利用雷達與影像辨識之整合資料中的軌跡和速率資料，搭配路段資訊可以得知所有車輛隨著時間其空間位置的變化，並計算出每輛車在每時間點距離道路邊線的橫向距離、距離停止線的縱向距離、以及判斷是否有變換車道、急減速等行為，發展出判斷能力最好之操作型定義來篩選出路邊停車車輛及受其影響之其他周遭車輛，詳細概念及定義如下表 4.6 所示。

表 4.6 路邊停車事件之操作型定義及訂定原由

路邊停車車輛	
訂定原由	操作型定義
確認屬於研究對象，且為一般路邊停車之行車動態	1. 路邊停車車輛為小客車
	2. 車輛從上游行駛至下游過程中其速度逐漸轉變為零且速度零的狀態持續 2 分鐘以上
	3. 確保該車輛最後被偵測到之速度為零且停止位置沒有改變
	4. 車輛靜止位置需落在最外車道中線之外
確認路邊停車車輛之影響範圍符合本研究所要探討之事件定義	5. 該車輛於路邊停止前之行動範圍主要落在最外兩車道
	6. 該車輛在路段行駛之縱向距離超過 30 公尺
受路邊停車影響之周遭所有車輛	
訂定原由	操作型定義

為最大程度滿足所選取之周圍車輛在時間及空間方面皆為受到路邊停車影響之車輛	1. 以路邊停車車輛進入該路段之時間為基準，該時間後出現的所有車輛
	2. 以路邊停車車輛進入該路段之位置為基準，位於後方之所有車輛
	3. 車輛通過該路段之主要所在車道為最外兩車道

除此之外，因受到資料處理上的限制，所以本研究在滿足能夠量化路邊停車其時間影響範圍的前提下，將其影響範圍定義為從路邊停車車輛進入研究路段起開始計算，直到其停下靜止於路邊後往後推算 10 秒、20 秒、30 秒、...、250 秒、300 秒，作為本研究所要探討之路邊停車可能影響範圍，並透過所選定之巨觀衡量影響路邊停車範圍之指標針對每一事件進行 30 個不同影響範圍情境之評估，如下表 4.7 所示，紀錄各項指標之詳細計算方式。針對平均橫向位移差，為使其更容易了解也將該指標之計算示意圖於圖 4.11 做呈現，以車輛通過路邊停車前 30 公尺平均橫向位移和車輛通過後 30 公尺平均橫向位移的差異來做衡量。

在路邊停車的影響之下，周圍車輛之駕駛行為表現將產生改變，不管是受到附近車輛的行為影響，或是本身車種大小與操作性能的限制，因此為捕捉車輛在研究路段之行車動態表現，透過微觀車輛通過之平均移動的區間速率可以了解到駕駛在通過路段時是否因受到外部干擾而導致其原本應該順暢且不需改變行駛速度的狀態有所改變；而駕駛的變換車道行為則可以了解其是否受到了路邊停車的干擾，因為在正常情況下駕駛會維持在同一車道上行駛，如果有多次的變換車道行為則表示其可能受到外在因素的影響；除此之外，駕駛行車過程中的減速情況也可以間接去捕捉到駕駛是否遭遇突然的狀況而導致需要踩煞車以閃避或避免與前方發生衝突，當減速越大則代表可能遭遇到更緊急或更危險的事件。

表 4.7 巨觀衡量影響路邊停車範圍之指標及其計算方式

巨觀影響範圍衡量指標	來源依據	計算方式
平均橫向位移差	Cho & Wu (2004)概念延伸搭配影像及微觀資料觀察	每一輛車通過該路段，在路邊停車車輛靜止後，以路邊停車車輛末端位置為基準，往路段上游延伸 30m 之平均橫向位移減去往下游延伸 30m 之平均橫向位移的差值
平均橫向位移變異(標準差)	Cho & Wu (2004)概念延伸搭配影像及微觀資料觀察	每一輛車行經該路段所有橫向位移的標準差
平均速度(區間速率)	Małeckki (2018)& Jilla (1974)	每一輛車通過該路段之行駛位移除以其通過時間
平均速差	Mei, Z., & Chen, J. (2012)概念延伸搭配影像及微觀資料觀察	每一輛車行經該路段之最大速率減去其通過之最小速率

平均危險減速度持續時間	(TRB)SHRP2 NDS 概念延伸搭配影像觀察	每一輛車行經該路段，其減速度大於 0.65g 以上之所有時間總和
平均最大減速度	(TRB)SHRP2 NDS 概念延伸	每一輛車行經該路段所經歷之最大減速度值
平均變換車道次數	Tang & Lu (2018) 搭配影像觀察	每一輛車行經該路段之變換車道次數

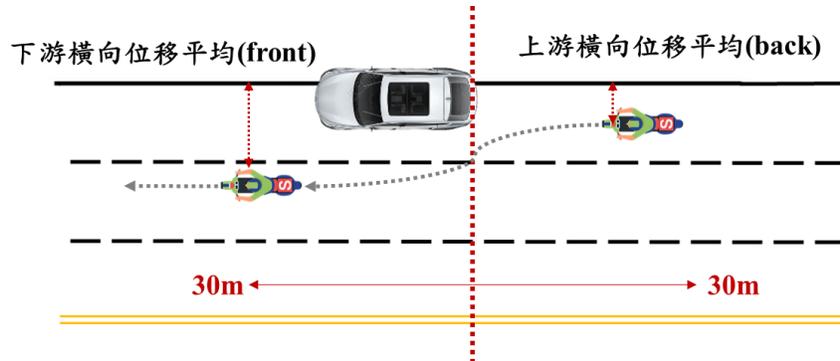


圖 4.11 平均橫向位移差示意圖

本研究利用 540 件路邊停車事件進行敏感度分析作業，每一路邊停車事件皆根據不同影響範圍，從路邊停車後 10 秒至 300 秒，分為共 30 種事件範圍進行探討，結果如圖 4.12 所呈現。橫軸代表不同時間範圍定義的路邊停車事件，縱軸則代表各項指標，而不同顏色代表不同路邊停車事件，發現在路邊停車影響範圍所定義之時間增加後，其各指標計算所獲得的數值趨於穩定，且透過顯著性檢定所選取之各指標影響範圍如圖 4.13 作呈現，可以發現路邊停車車輛在其靜止於路邊後經過 100 至 120 秒，其對於周圍車輛之影響將逐漸減弱且車流表現趨於穩定。

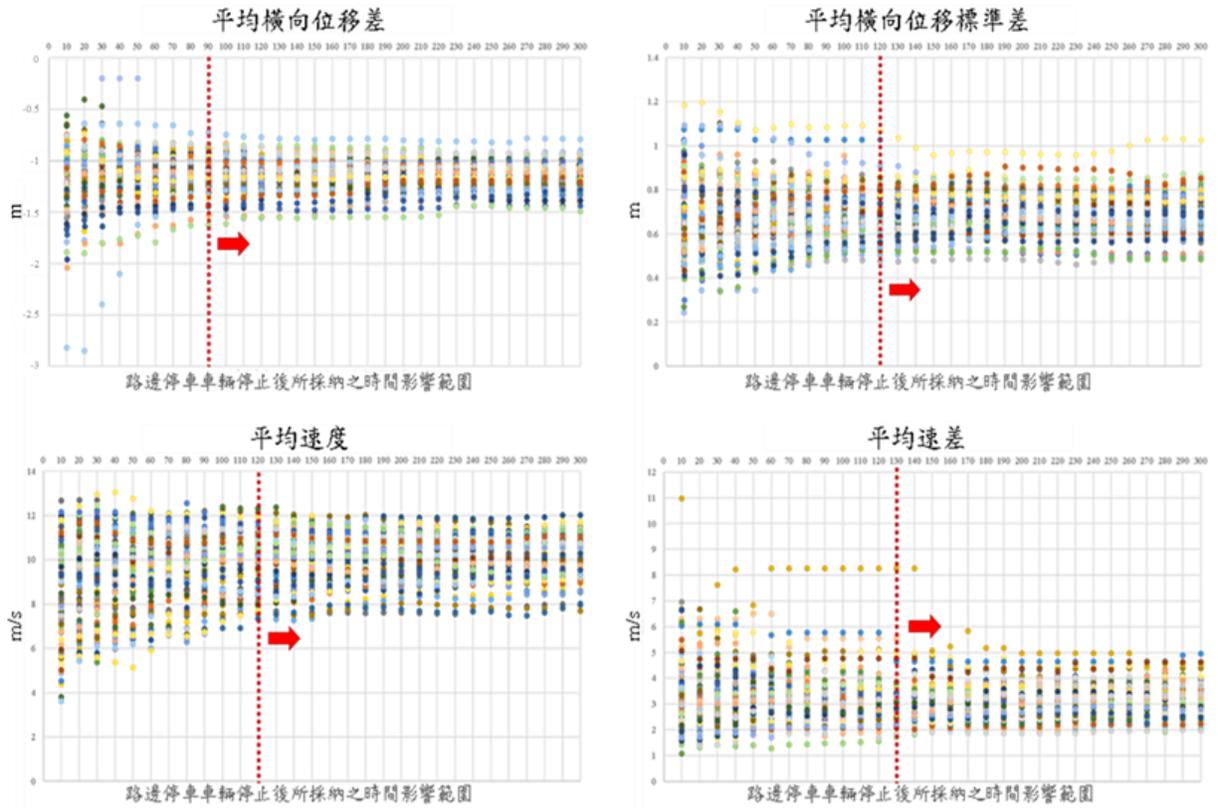


圖 4.12 路邊停車不同影響範圍事件定義之各指標表現-1

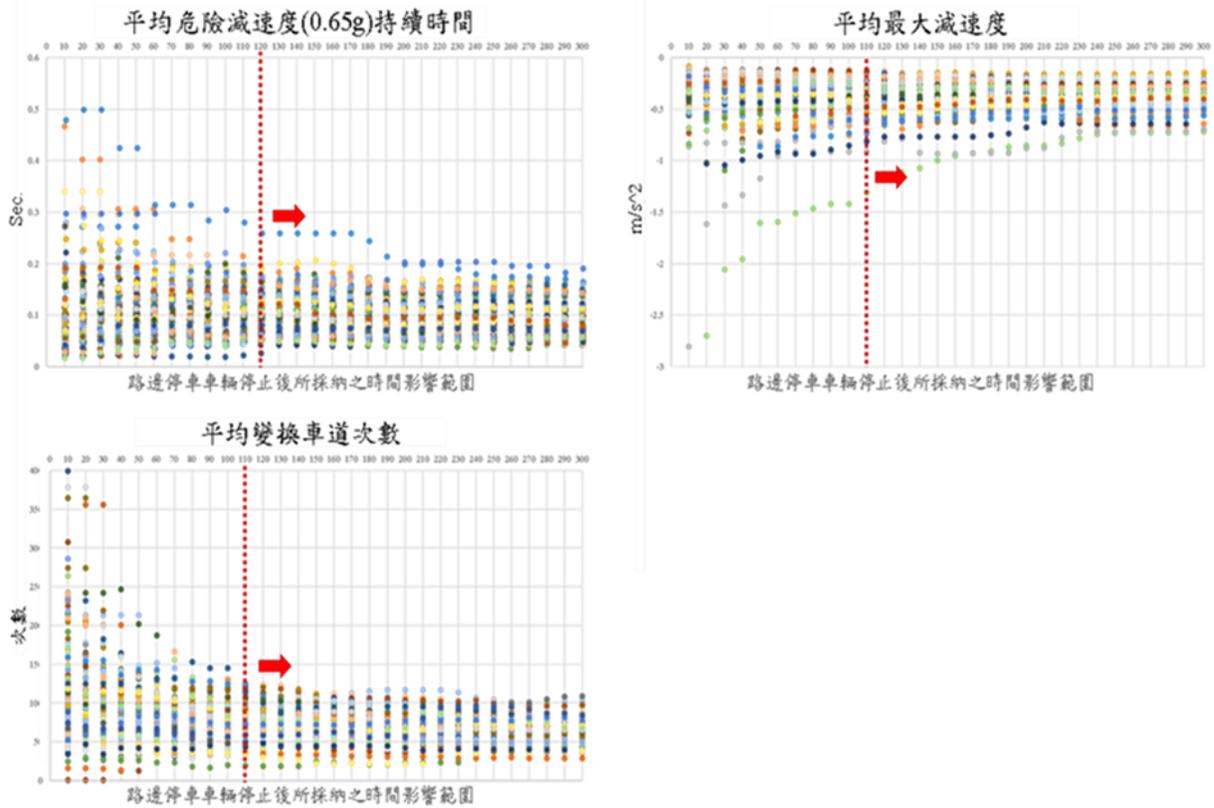


圖 4.12 路邊停車不同影響範圍事件定義之各指標表現-2

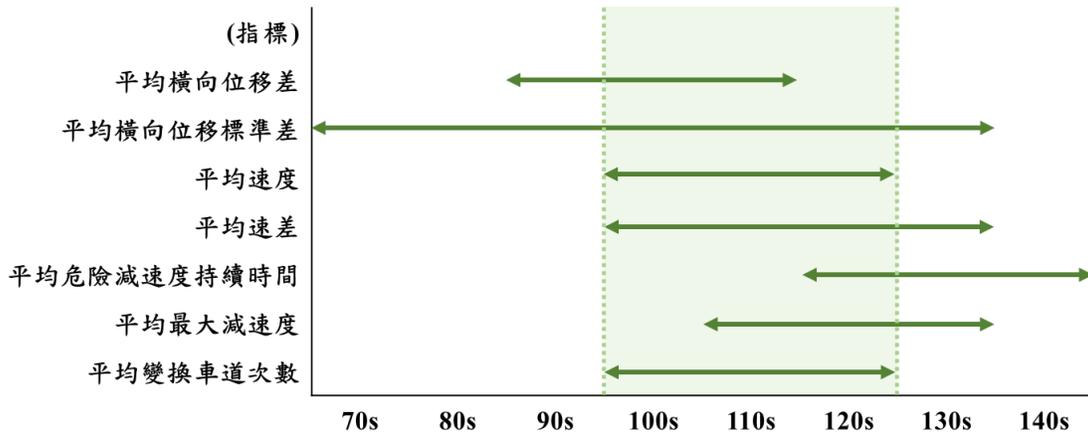


圖 4.13 路邊停車影響範圍定義

因此本研究選定從路邊停車車輛進入路段起開始觀察直到路邊停車車輛靜止於路邊，往後推算 110 秒作為本研究路邊停車之時間影響範圍、最外二車道之空間範圍，定義出每一路邊停車事件；於此同時，為了解路邊停車對交通速率及安全的影響，也就是在道路及交通環境類似的條件下，如果沒有路邊停車，其整體車流之行車速率及安全性是否會不同。因此，本研究也將根據所選定之路邊停車影響範圍的 110 秒間距來定義每一路

邊停車事件之對照組，其定義為在路邊停車車輛進入研究路段之前，時間範圍往前推算 110 秒且沒有路邊停車車輛的情況下最外二車道作為一無路邊停車事件。

4.5 整體分析計畫

為了要能量化如圖 3.6 所示之路邊臨時停車對周圍車流，乃至安全之影響，並以實際數據佐證。本研究收集路邊停車前(未受影響之車流)及路邊停車後(受影響之車流)之車流軌跡資料，利用毫米波雷達及錄製影像的方式蒐集路段車輛軌跡、速率及車種相關資訊，再經過資料的清洗和處理，搭配影像辨識的輔助後，透過部分文獻及實際道路影像的觀察，在微觀資料中篩選出路邊停車事件及無路邊停車事件以進行後續分析。

為了考慮路邊停車對整體車流及個別車輛之行車動態的影響，可能因為探討範圍或當下車流環境的不同而產生量化估計的差異，所以本研究的分析計畫如下圖 4.14 所示，本研究將針對整體車流進行巨觀分析以探討路邊停車對最外側二車道整體車流之影響效果為何；之後再進一步就微觀角度去看事件內個別車輛及車輛之間的行為表現和互動衝突；最後，也透過模型結果提出在不同車流環境下之實際應用方向。

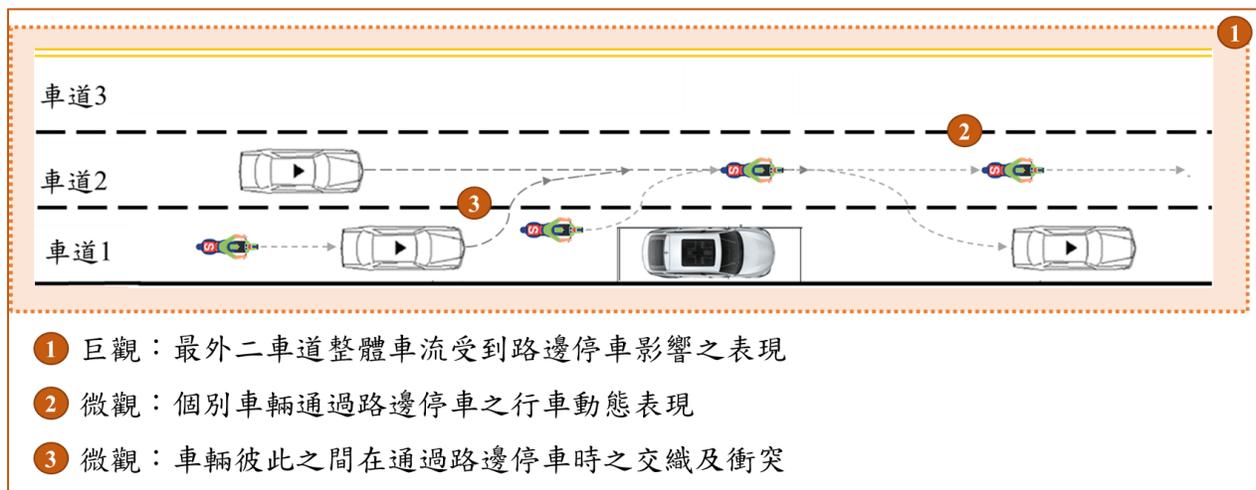


圖 4.14 巨觀及微觀分析範圍示意圖

本研究之整體分析計劃如表 4.8 所示，最外側二車道整體車流之巨觀模型分析，以每一路邊停車事件與無路邊停車事件為單位，將道路環境因素，包括車流環境、號誌影響等一併納入考量以更明確地去量化路邊停車影響；微觀模型分析則是以更微觀的角度去探討路邊停車所造成之交通安全影響，以每一事件內之個別車輛或車輛對為單位進行分析，同時找出道路環境影響因素，包括前方車流環境變化、不同車種、號誌影響等，且考慮到不同車輛其操作特性和車身大小的不同，不同組合之間其行車動態及衝突發生機制也有所不同，因此本研究也將不同的車種組合納入模型考慮，包括機車間、機車與小客車、機車與大客車、小客車間、小客車與大客車、大客車間，以控制其影響效果。

在巨觀模型分析以及微觀個別車輛模型分析的部分，因為所提出之量化指標多以連續數值與比例呈現，沒有發生頻率較低、皆為正整數、離散等可能造成估計誤差之顯著問題，但考慮到不同車流環境下之事件間、或者是不同事件內個別車輛間可能存在異質性問題，因此本研究將使用多元線性回歸分析模型(Multiple Linear Regression Model)搭配固定效果(Fixed-effects)、隨機效果(Random-effects)及混合效果(Mixed-effects)分別進行分析，且模型係數代表自變數每增加一單位所對應到因變數的數值變化。

在微觀車輛對(pair)的模型分析部分，為探討路邊停車是否增加或減少車輛因交織產生的衝突，因此本研究將以事件危險與否做為因變數，車輛對(pair)之相對運動資料和其周圍車流環境因素做為自變數，並考慮不同事件下車輛對之間可能存在關聯性的問題，使用二項羅吉斯回歸模型(Binary Logistic Regression Model) 搭配固定效果、隨機效果及混合效果分別進行模式分析，並選取合適模型以了解事件危險與否與路邊停車、道路車流環境之關聯性。該回歸模型結果將呈現各項自變數的勝算比(Odds Ratio)，代表其對發生危險衝突與否的影響機率。

表 4.8 巨觀及微觀模型分析計畫

	分析單位		因變數(Y)	自變數(X)	分析模型
巨觀分析 (最外二車道整體車流)	路邊停車事件 無路邊停車事件	1	<ul style="list-style-type: none"> 區間速率(m/s) 變換車道次數(次) 危險衝突件數(件) 危險衝突比例(%) 	X1: 是否路邊停車 X2: 交通量 X3: 機車占比 X4: 周圍車輛變換車道次數 X5: 紅燈推估秒數	<ul style="list-style-type: none"> Multiple regression analysis Fixed-effects Random-effects Mixed-effects
微觀分析 (事件內個別車輛)	事件內每一台車 (per vehicle)	2	<ul style="list-style-type: none"> 區間速率(m/s) 變換車道次數(次) 	X1: 是否有路邊停車 X2: 前方30m內是否有車輛變換車道 X3: 前方30m內是否有車輛 X4: 車輛通過當下之前方交通量 X5: 前方車流平均速率 X6: 前方車流密度 X7: 車種 X9: 車輛通過時是否經歷紅燈	<ul style="list-style-type: none"> Multiple regression analysis Fixed-effects Random-effects Mixed-effects
	事件內每一車輛對 (pair)	3	<ul style="list-style-type: none"> 是否發生危險衝突(0/1) 	X1: 是否有路邊停車(0/1) X2: 前車是否有變換車道行為(0/1) X3: 兩車之間最大速差(m/s) X4: 車輛通過時是否經歷紅燈 X5: 車輛組合(1/2/3/4/5)	<ul style="list-style-type: none"> Logistic regression analysis Fixed-effects logit Random-effects logit Mixed-effects logit

本研究進行路邊停車影響分析之模型選擇，除了觀察各模型變數係數的穩定性之外，也輔以變數顯著程度、概似程度(log likelihood)、Hausman 檢定比較各模型配適度，概似較大代表模型配適度較高，Hausman 檢定中 Prob>chi2 越小越說明固定效用模型優於隨機效用模型，且在固定及隨機效用模型中的 p 值越小越說明其優於混和效用模型。綜合判斷後，為了解路邊停車對其周遭車流的影響，同時考慮不同車流環境下，事件之間或個別車輛之間的關聯性，本研究將呈現所有模型結果，在所有模型其變數之顯著程度差不多的情況下，選擇以固定效用回歸模型(Fixed effects Regression Model) 校估數值來做說明。

4.6 敘述性統計分析

本章節將針對所萃取出之路邊停車事件及無路邊停車事件進行初步統計，主要分成兩個部分，包括路邊停車事件本身以及路邊停車相較無路邊停車情況下的差異，其量化指標包括所有路邊停車事件其整體車流速率、橫向位移、變換車道次數、減速度、微觀衝突件數、危險衝突比例、時間車距等，並以每一路邊停車事件為單位去了解最外二車道整體路段車流表現。

路段最外兩車道之整體車流在受到路邊停車的影響下，周圍車輛之行車動態將會受影響，表 4.9 針對路段車流受路邊停車干擾之行為表現，包括各量化指標之平均值、標準差、最大及最小值，在此，本研究將透過位置及動力學相關指標以進行量化影響之評估。研究結果發現，有路邊停車的情況下，路段整體車流速度主要維持在時速 30.6(km/hr)左右，且車輛在通過該路段時，其最大及最小速度差大約為 8.97(km/hr)，且因為受到路邊停車的影響將導致通過路段之車輛從上游移動到下游的過程中，為閃避路邊停車車輛將從外側車道往內側車道橫向移動約 1.97 公尺的距離，而大幅度橫向位移可能提高與其他車輛的碰撞風險，並增加安全方面的疑慮。

因此，為更深入去針對車輛之間的互動衝突進行探討，本研究將計算車輛彼此之間的即將碰撞時間(TTC)以作為潛在衝突事件的判斷指標，而在所有車輛配對之中，如果在整個路段行駛軌跡中沒有衝突點或者所計算之即將碰撞時間(TTC)小於 10 秒則視為沒有衝突發生的可能，也不列入衝突做計算。研究結果發現在路邊停車車輛靜止於路邊後，110 秒內平均產生 4.53 件危險衝突，以 TTC 小於 1 秒作為門檻值進行定義，且在所有潛在衝突裡面，危險衝突所占比例約為 17%。

表 4.9 路邊停車事件之量化指標敘述統計

衡量指標	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
平均速率 (m/s)	540	8.50	1.34	3.25	11.21
平均速差 (m/s)	540	2.99	0.68	1.52	8.08
平均橫向位移變化 (m)	540	-1.97	0.92	-3.82	-0.13
危險衝突件數 (TTC<1s, 件)	540	4.53	0.83	0	57
危險衝突占比 (TTC<1s, %)	540	0.17	0.18	0	0.9
平均車輛間最大速差 (m/s)	540	4.15	0.81	2.58	15.99

根據本研究之研究目的，為了解路邊停車是否對車流之安全產生影響，以下將針對前述所定義之路邊停車事件與道路環境相似之無路邊停車事件進行比較。如表 4.10 所呈

現，在有路邊停車的情況下相較於沒有路邊停車其整體車流表現的改變，並選取各項與交通安全效率相關的量化指標以進行探討。研究結果發現有路邊停車的情況下，相較於沒有路邊停車其整體車流速率下降約 4.75(km/hr)，而車輛行經該路段之速度差則增加了約 1.08(km/hr)，可能因為受到路邊停車的影響導致車輛必須有閃避或加減速行為，舉例來說，車輛邊換車道次數增加了約 2.69 次。為了更進一步了解路邊停車對駕駛人安全的影響，本研究也將透過計算每一事件之衝突來量化其影響，發現危險衝突在有路邊停車的情況下增加了約 3.61 件，且危險衝突的比例也增加了約 9%，於此同時，車輛之間的交互作用也將導致整體車流內的車輛間速度差異提高約 0.79(km/hr)，顯示有路邊停車的情況下，車輛可能容易因為踩剎車或轉向導致加減速的發生，也間接造成車輛之間速度不一致的情況而容易發生碰撞或潛在衝突。

表 4.10 路邊停車相較無路邊停車之量化指標差異

衡量指標 (差值)	樣本數	平均值	標準差	最小值	最大值
平均區間速率 (m/s)	540	-1.32	1.28	-5.30	2.60
平均速差 (m/s)	540	0.30	0.84	-4.34	4.53
平均變換車道次數 (次)	540	2.69	5.11	-2.47	4.33
平均最大減速度 (g)	540	-0.16	0.18	-1.49	0
危險衝突件數 (TTC<1s, 件)	540	3.61	6.31	-6	52
危險衝突占比 (TTC<1s, %)	540	0.09	0.24	-1	0.9
平均車輛間最大速差 (m/s)	540	0.22	0.75	-2.23	2.45

第五章 研究結果

為了以巨觀和微觀角度探討路邊停車對周遭車流的影響，本研究運用毫米波雷達蒐集市區路段車輛軌跡、速率資料以及影像資料，經過資料清洗及處理後，篩選路段上的路邊停車事件、無路邊停車事件，用以進行量化比較分析，首先於 5.1 節探討路邊停車對最外二車道整體車流之巨觀影響，5.2 節則深入以微觀角度探討路邊停車對最外二車道通過車輛之影響；5.3 節為進一步了解在何種情況下將加劇路邊停車之影響，本研究針對不同車流環境下之交通量和機車占比進行分類，並透過多元線性迴歸模型，以不同分群變數 (dummy) 估計混合車流環境特性因素對路邊停車下，周圍整體車流動態之影響。

5.1 路邊停車對最外二車道整體車流之巨觀影響分析

5.1.1 分析計畫

為了解路邊停車對最外兩車道之整體車流影響，本研究透過區間速率、變換車道次數、危險衝突數量和危險衝突占比，作為衡量指標以探討路邊停車之於無路邊停車情況下，對交通安全的影響。以每一路邊停車事件、無路邊停車事件為單位進行分析，考慮道路車流環境因素以量化探討有路邊停車情況相較於沒有路邊停車之影響，並透過一般多元迴歸和考慮不同車流環境(交通量、機車占比)下事件間異質性之固定效果、隨機效果及混合效果模式進行呈現，詳細因變數、自變數和模型使用如下圖 5.1 所示。

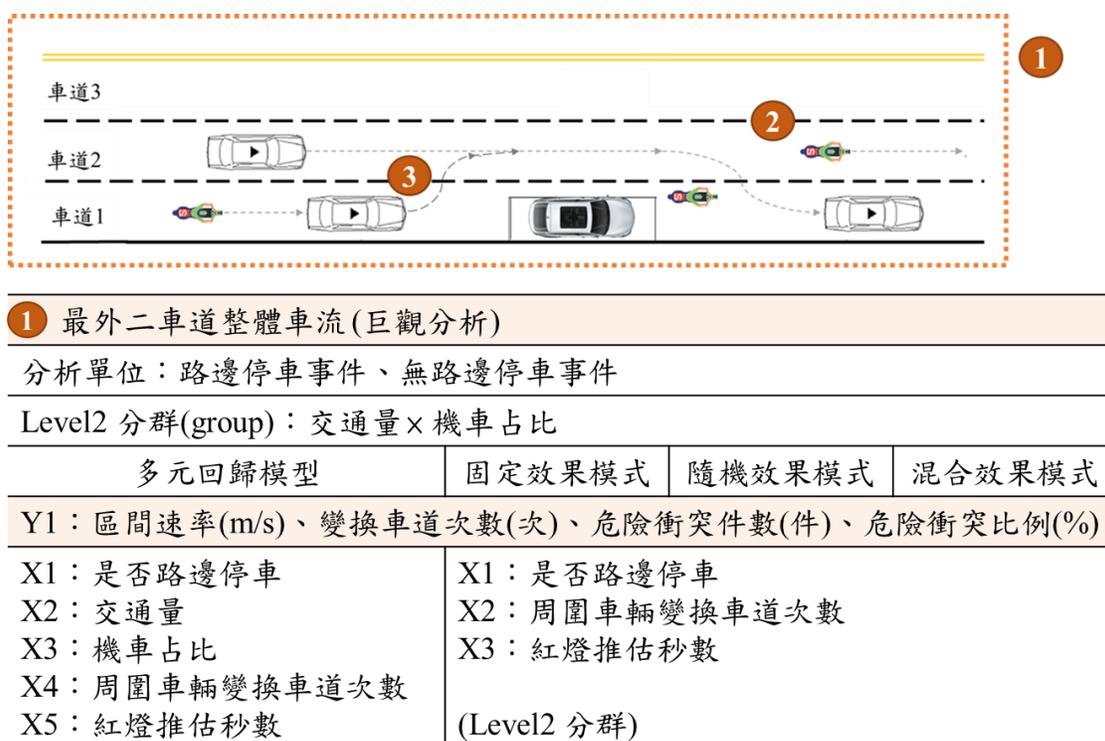


圖 5.1 最外二車道整體車流巨觀分析計畫

除此之外，為了考慮路邊停車在不同車流環境下事件之間的關聯性，本研究將模型納入固定效果、隨機效果和混合效果，並透過交通量和混合車流之機車占比進行分群。經過反覆嘗試與驗證，將交通量及機車占比分別利用平均上下兩倍標準差進行分群，並將個別 6 組進行排列組合，將其設定為 level2 變數並歸納出一共 36 組不同車流環境分群，如表 5.1 所示，包括每一個分群內的樣本數，因此在車流量較小的情況、機車占比較高的情況較少，且因為要同時滿足車流量和機車占比兩分類要素方能被納入做樣本數計算，所以沒有樣本數的車流環境分群在表格中以-表示，同時該情境不被納入考慮。除此之外，每一事件之當下之車流狀態因素也將被納入以進行後續分析。

表 5.1 固定效用模型之車流環境分群

車流量(veh./hr) / 機車占比(%)	0~270	270~665	665~1060	1060~1455	1455~1850	1850 以上
0~25.0	3	-	8	-	-	-
25.0~35.1	4	14	70	42	6	3
35.1~45.2	-	29	187	131	17	15
45.2~55.3	-	32	203	109	27	25
55.3~65.4	-	12	59	46	11	4
65.4~100	-	-	15	8	-	-

5.1.2 模型結果

根據 reg.、以及考慮異質性(不同車流環境分群下)之 FE、RE、ME 的模式分析，研究結果發現路邊停車對最外二車道之整體車流影響顯著且穩定。本研究將呈現所有模型結果，並透過配適度及顯著性進行比較後，選擇以固定效用回歸模型(Fixed effects Regression Model) 之結果做說明。

如表 5.2 所示，研究結果發現在路邊停車相較於沒有路邊停車的情況下，針對區間速率該項因變數取自然對數(Natural logarithm)以了解區間速率之下降幅度，發現整體車流會因為路邊停車的影響導致其行駛速率下降約 9.7%，除此之外，車流經歷的紅燈推估秒數也將顯著地影響整體駕駛的行車動態，且受到車輛之間變換車道行為的影響也將導致其他車輛的減速行為亦或是其位置的移動，從而影響到路邊停車事件的整體運行速率。表 5.4 中 rho 值代表在不同車流環境中(level2)，每一事件區間速率的差異大約為 33.6%。

表 5.2 巨觀模型分析結果-區間速率

模型比較								
			Level2 : Group (交通量×機車占比)					
多元回歸			固定效果 (Fixed-effects)		隨機效果 (Random-effects)		混和效果 (Mixed-effects)	
β係數 (標準誤 S.E.)		顯著程度	β係數 (標準誤 S.E.)		β係數 (標準誤 S.E.)		β係數 (標準誤 S.E.)	
			顯著程度		顯著程度		顯著程度	
因變數：ln(區間速率)(增加或下降%)								
是否路邊停車	-0.096 (0.012)	***	-0.097 (0.012)	***	-0.097 (0.012)	***	-0.100 (0.123)	***
交通量	-0.0001 (0.0001)	***	-	-	-	-	-	-
機車占比	-0.197 (0.059)	***	-	-	-	-	-	-
變換車道次數	-0.007 (0.001)	***	-0.007 (0.001)	***	-0.006 (0.001)	***	-0.006 (0.001)	***
紅燈秒數	-0.004 (0.001)	***	-0.003 (0.001)	***	-0.004 (0.001)	***	-0.003 (0.001)	***
常數	2.522 (0.034)	***	2.363 (0.016)	***	2.358 (0.016)	***	2.352 (0.019)	***
ρ (rho)	-		0.336		0.000			

***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1

本研究也將透過即將碰撞時間(TTC)搭配後侵入時間(PET)的概念，用以定義潛在衝突與危險衝突的發生，以 TTC 小於 10 秒做為可能發生潛在衝突的門檻值、TTC 小於 1 秒作為危險衝突的門檻值，並納入每一路邊停車事件與無路邊停車事件之整體車流環境來探討路邊停車對於安全方面的影響。如下表 5.2 所示，研究結果發現有路邊停車的情況下相較於沒有路邊停車的情況，其車輛的變換車道次數增加了約 1.64 次，也就是說，車輛在通過一路段時如果當時路邊有停車，則可能會讓駕駛增加其變換車道的次數，不管是受到路邊停車的影響或者是受到其他車輛變換車道的影響，同時其減速的情況也會相對較嚴重，因為周圍交織情況的增加會提高駕駛操作的難度與負荷，也會產生安全上的疑慮。

同時，路邊停車將導致危險衝突事件增加 3.59 件，並增加 9.6% 的危險衝突占比。針對模型所提出之研究結果也發現，在車流量上升、機車占比提高、經歷紅燈推估號誌秒數延長的情況下，將會增加路邊停車對周圍車流所造成的負面影響。

表 5.2 巨觀模型分析結果-變換車道次數

模型比較								
			Level2 : Group (交通量×機車占比)					
多元回歸			固定效果 (Fixed-effects)		隨機效果 (Random-effects)		混和效果 (Mixed-effects)	
β係數 (標準誤 S.E.) 顯著程度			β係數 (標準誤 S.E.) 顯著程度		β係數 (標準誤 S.E.) 顯著程度		β係數 (標準誤 S.E.) 顯著程度	
因變數：變換車道次數(次)								
是否路邊停車	1.581 (0.312)	***	1.640 (0.295)	***	1.644 (0.295)	***	1.644 (0.295)	***
交通量	-0.003 (0.0003)	***	-	-	-	-	-	-
機車占比	4.066 (1.517)	***	-	-	-	-	-	-
紅燈秒數	0.135 (0.015)	***	0.124 (0.014)	***	0.126 (0.014)	***	0.126 (0.014)	***
常數	8.048 (0.833)	***	6.29 (0.316)	***	8.551 (1.473)	***	8.531 (1.412)	***
ρ (rho)			0.819		0.764			

***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1

表 5.2 巨觀模型分析結果-危險衝突件數

模型比較								
			Level2 : Group (交通量×機車占比)					
多元回歸			固定效果 (Fixed-effects)		隨機效果 (Random-effects)		混和效果 (Mixed-effects)	
β係數 (標準誤 S.E.) 顯著程度			β係數 (標準誤 S.E.) 顯著程度		β係數 (標準誤 S.E.) 顯著程度		β係數 (標準誤 S.E.) 顯著程度	
因變數：危險衝突件數(TTC<1s, 件)								
是否路邊停車	3.512 (0.286)	***	3.593 (0.270)	***	3.604 (0.271)	***	3.600 (0.269)	***
交通量	0.008 (0.0003)	***	-	-	-	-	-	-
機車占比	-1.326 (1.378)		-	-	-	-	-	-
變換車道次數	0.026 (0.028)		-0.023 (0.028)		-0.036 (0.027)		-0.033 (0.027)	
紅燈秒數	0.007 (0.014)		0.014 (0.013)	*	0.015 (0.013)	*	0.015 (0.013)	*
常數	-6.932 (0.786)	***	0.774 (0.344)	**	2.211 (0.915)	**	2.179 (1.079)	***
ρ (rho)			0.694		0.556			

***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1

表 5.2 巨觀模型分析結果-危險衝突占比

模型比較								
Level2 : Group (交通量×機車占比)								
多元回歸			固定效果 (Fixed-effects)		隨機效果 (Random-effects)		混和效果 (Mixed-effects)	
	β係數 (標準誤 S.E.)	顯著程度	β係數 (標準誤 S.E.)	顯著程度	β係數 (標準誤 S.E.)	顯著程度	β係數 (標準誤 S.E.)	顯著程度
因變數：危險衝突占比(TTC<1s, %)								
是否路邊停車	0.098 (0.012)	***	0.096 (0.012)	***	0.098 (0.012)	***	0.098 (0.012)	***
交通量	0.00002 (0.00001)		-	-	-	-	-	-
機車占比	0.026 (0.058)		-	-	-	-	-	-
變換車道次數	-0.002 (0.001)	*	-0.021 (0.001)	*	-0.002 (0.001)	**	-0.002 (0.001)	**
紅燈秒數	0.0003 (0.0005)		0.0002 (0.001)		0.0003 (0.0006)		0.0002 (0.0005)	
常數	0.075 (0.033)	**	0.104 (0.016)	***	0.107 (0.150)	***	0.109 (0.016)	***
ρ (rho)			0.161		0.000			

***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1

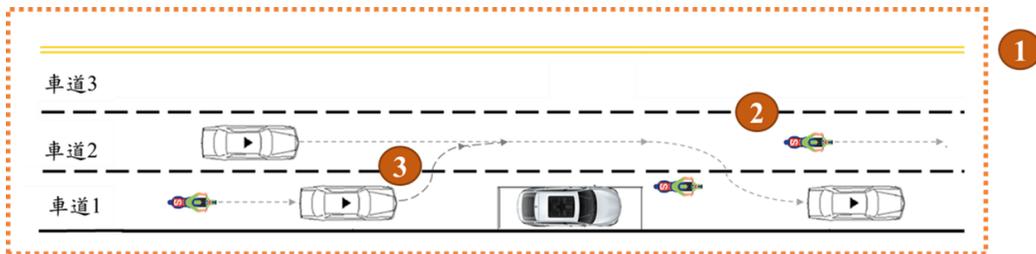
綜合上述，研究結果發現受到路邊停車的影響，周圍車輛在通過路段時將受到路側干擾，進而駕駛行為發生改變，不管是為了閃避或者是繞過路邊停車而採取減速動作、為順利通過路邊停車而不得不採取變換車道的行為、又或者因為車輛速度及位置的改變擾亂了原本的車流秩序，提高了跟後方與左側車輛發生潛在衝突的可能性等；除此之外，周圍車輛之行車動態的改變可能不僅僅只受到路邊停車的影響，也可能受到當下車流環境的影響，包括當時的交通量、車流之車種組成、號誌影響等之顯著影響。

5.2 路邊停車對最外二車道通過車輛之微觀影響分析

5.2.2 分析計畫

前述巨觀分析可能受到涵蓋範圍及事件內車輛數不同而影響估計效果，因此本章節將更深入討論事件內每一個別車輛所受到之路邊停車影響。透過區間速率、變換車道次數、是否發生危險衝突，作為衡量指標以探討路邊停車之於無路邊停車情況下，對車輛通過路段的安全影響。以巨觀事件內每一通過個別車輛為單位進行分析，考慮道路車流環境因素和車流動態以量化探討個別車輛在通過有路邊停車路段的情況下相較於沒有路邊停車之影響，並透過一般多元回歸和考慮不同路邊停車事件下車輛間異質性之固定效果、隨機效果及混合效果模式進行呈現，詳細因變數、自變數和模型使用如下圖 5.2 所示。為更仔

細的分析路邊停車對周圍個別車輛的影響，在考慮每一事件中車輛間關聯性的同時，也將納入個別車輛的車種、車輛通過路段時之路邊停車數量，車輛通過當下之周圍交通流量、前方車流狀況、混合車流情況等較微觀之因素進行討論。



2 最外二車道通過車輛(微觀分析)

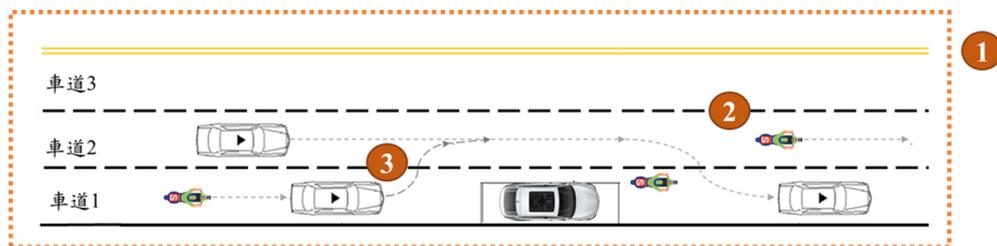
分析單位：事件內每一台通過車輛

Level2 分群(group)：每一路邊停車事件

多元回歸模型	固定效果模式	隨機效果模式	混合效果模式
Y2：區間速率(m/s)、變換車道次數(次)			
X1：是否有路邊停車 X2：前方30m內是否有車輛變換車道 X3：前方30m內是否有車輛 X4：車輛通過當下之交通流量 X5：前方車流平均速率 X6：前方車流密度 X7：車種 X8：車輛通過時是否經歷紅燈	X1：是否有路邊停車 X2：前方30m內是否有車輛變換車道 X3：前方30m內是否有車輛 X4：車輛通過當下之交通流量 X5：前方車流平均速率 X6：前方車流密度 X7：車種 X8：車輛通過時是否經歷紅燈		
(Level2 分群)			

圖 5.2 最外二車道通過車輛之微觀分析計畫

除了了解個別車輛通過之行車表現外，為進一步了解車輛之間在受到路邊停車影響後，是否增加其與周圍車輛發生衝突的風險，本研究也透過定義車輛對(pair)之間的危險衝突事件，用以討論路邊停車相較無路邊停車情況下是否增加周圍車輛通過路段時之安全疑慮。本研究將兩車通過路段之即將碰撞時間(TTC)小於一秒定義為危險衝突事件，並以是否發生危險衝突事件作為因變數進行模式分析。如下圖 5.3 所示，因為考慮到不同事件內車輛間可能具有無法觀察之異質性，因此除了透過羅吉斯回歸模型外，也搭配固定效果、隨機效果、和混合效果模式進行分析討論。詳細因變數、自變數和模型使用如下圖 5.3 所示。



3 最外二車道通過車輛對(微觀分析)

分析單位：事件內每一通過車輛對(pair)

Level2 分群(group)：每一路邊停車事件

多元回歸模型	固定效果模式	隨機效果模式	混合效果模式
Y3：是否發生危險衝突(0/1)			
X1：是否有路邊停車(0/1)	X1：是否有路邊停車(0/1)		
X2：前車是否有變換車道行為(0/1)	X2：前車是否有變換車道行為(0/1)		
X3：兩車之間最大速差(m/s)	X3：兩車之間最大速差(m/s)		
X4：車輛通過時是否經歷紅燈	X4：車輛通過時是否經歷紅燈		
X5：車輛組合	X5：車輛組合		
(Level2 分群)			

圖 5.3 最外二車道通過車輛對之微觀分析計畫

5.2.2 模型結果

根據 reg、以及考慮異質性(不同事件下)之 FE、RE、ME 的模式分析，研究結果發現路邊停車對最外二車道之個別車輛影響顯著且穩定。本研究將呈現所有模型結果，並透過配適度和顯著性進行比較後，選擇以固定效用回歸模型(Fixed effects Regression Model)之結果做說明。

研究結果如表 5.3 所示，針對區間速率該項因變數取自然對數(Natural logarithm)以了解區間速率之下降幅度，發現當車輛通過路段時會因為路邊停車的影響而導致速率降低 10.4%且變換車道次數也會增加約 1.78 次，可能因為路邊停車導致車道被占據部分空間，車輛為避開路邊停車需要有減速及變換車道的操作以順利通過該區間，因此需要與相鄰車道之車輛相互禮讓以交錯使用剩餘車道空間。於此同時，研究結果也發現小客車與大客車在路邊停車的影響下，其平均速度下降的幅度小於機車，可能是因為車輛駕駛特性的差異讓原本行駛於外側的機車在道路空間縮減的情況下必須藉由像是鑽車道縫隙或變換車道的方式來排隊通過路邊停車區間，而小客車則可能受到車身大小的限制，需要透過減速與變換車道的方式以避免與路邊停車車輛發生碰撞，因此變換車道次數相較於機車可能較多。表 5.3 中 rho 值代表在不同路邊停車事件中(level2)，每一個別車輛之區間速率的差異大約為 11.4%、變換車道次數差異約為 12.7%。

表 5.3 微觀模型分析結果-區間速率

模型比較								
			Level2 : Group (每一路邊停車事件)					
多元回歸			固定效果 (Fixed-effects)		隨機效果 (Random-effects)		混和效果 (Mixed-effects)	
β係數 (標準誤 S.E.)			β係數 (標準誤 S.E.)		β係數 (標準誤 S.E.)		β係數 (標準誤 S.E.)	
顯著程度			顯著程度		顯著程度		顯著程度	
因變數：ln(區間速率)(增加或下降%)								
是否有路邊停車	0.114 (0.017)	***	-0.104 (0.018)	***	-0.112 (0.017)	***	-0.113 (0.018)	***
前方是否有車輛變換車道	0.456 (0.213)	***	0.456 (0.022)	***	0.458 (0.021)	***	0.458 (0.021)	***
前方30m內是否有車輛	-0.244 (0.037)	***	-0.245 (0.038)	***	-0.244 (0.037)	***	-0.244 (0.037)	***
前方車流密度(veh./m ²)	1.881 (0.341)	**	-0.098 (0.038)	**	1.598 (0.351)	**	1.608 (0.351)	**
前方車流平均速率	0.151 (0.003)	***	0.165 (0.004)	***	0.155 (0.003)	***	0.155 (0.003)	***
車輛通過時是否經歷紅燈	-0.420 (0.026)	***	-0.399 (0.027)	***	-0.417 (0.026)	***	-0.417 (0.026)	***
車輛通過當下之交通量	-0.00001 (1.45e-06)	***	-1.39e-05 (1.51e-06)	***	-0.00001 (1.45e-06)	***	-0.00001 (1.45e-06)	***
車種								
機車	(base)	-	(base)	-	(base)	-	(base)	-
小客車	0.051 (0.017)	***	0.041 (0.018)	**	0.047 (0.017)	***	0.047 (0.017)	***
大客車	0.035 (0.017)		0.003 (0.041)		0.026 (0.040)		0.026 (0.040)	
常數	0.532 (0.052)	***	0.351 (0.085)	***	0.501 (0.053)	***	0.504 (0.053)	***
ρ (rho)			0.114		0.024			

***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1

表 5.3 微觀模型分析結果-變換車道次數

模型比較								
			Level2 : Group (每一路邊停車事件)					
多元回歸			固定效果 (Fixed-effects)		隨機效果 (Random-effects)		混和效果 (Mixed-effects)	
β係數 (標準誤 S.E.)		顯著程度	β係數 (標準誤 S.E.)		β係數 (標準誤 S.E.)		β係數 (標準誤 S.E.)	
因變數：變換車道次數(次)								
是否有路邊停車	1.829 (0.348)	***	1.778 (0.358)	***	1.829 (0.347)	***	1.869 (0.366)	***
前方是否有車輛變換車道	-8.937 (0.435)	***	-9.238 (0.443)	***	-9.107 (0.433)	***	-9.071 (0.433)	***
前方30m內是否有車輛	11.149 (0.764)	***	11.499 (0.781)	***	11.306 (0.761)	***	11.229 (0.761)	***
前方車流密度(veh./m ²)	-4.547 (6.969)		10.431 (7.825)		3.134 (7.302)		0.740 (7.212)	
前方車流平均速率	-0.481 (0.068)	***	-0.729 (0.079)	***	-0.591 (0.071)	***	-0.554 (0.070)	***
車輛通過時是否經歷紅燈	10.550 (0.521)	***	10.307 (0.555)	***	10.556 (0.529)	***	10.565 (0.526)	***
車輛通過當下之交通量	-0.0002 (0.00002)	***	-0.0002 (2.57e-05)	***	-0.0002 (0.00003)	***	-0.0002 (0.00002)	***
車種								
機車	(base)	-	(base)	-	(base)	-	(base)	-
小客車	0.769 (0.355)	**	1.022 (0.005)	***	0.884 (0.353)	**	0.857 (0.354)	**
大客車	0.009 (0.826)		0.203 (0.809)		0.115 (0.821)		0.072 (0.822)	
常數	4.468 (1.064)	***	7.131 (1.731)	***	5.335 (1.101)	***	5.039 (1.086)	***
ρ (rho)			0.127		0.050			

***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1

最後，為了解微觀車輛間之交織及互動行為是否會因為受到路邊停車的影響而改變，本研究也針對通過路段之每一車輛對進行探討，如表 5.4 所示，為探討路邊停車是否增加其周圍車輛發生事故的風險，以 TTC 小於一秒為門檻值定義每一車輛對之間在通過路段時有沒有可能發生危險衝突，並以固定效果羅吉斯回歸模型(Fixed effects Logistic Regression Model)來進行模式分析，以是否發生危險衝突作為因變數來討論。研究結果發現有路邊停車干擾的情況相較於沒有路側干擾將提高危險衝突發生的機率，其發生危險衝突的勝算比(Odds ratio)提高約 2.29 倍，也就是當路邊有停車的時候，會增加車輛在通過該路段時發生衝突與事故的機率。此外，車輛前方的車流波動以及是否經歷紅燈也將大大的影響車輛間發生衝突的可能性，尤其以小客車與小客車之間的互動最為危險，可能是因

為機車可以靈活的移動並閃避周圍車輛，相較於小客車其剎車距離較短操作也相對彈性，而大客車則可能因為本身的大小及視線死角等問題，周圍車輛更會去注意到並提前閃避或遠離，因此發生危險衝突的機率相對小客車較低。

表 5.4 微觀模型分析結果-是否發生危險衝突

模型比較(羅吉斯回歸模型, logistic regression model)									
Level2 : Group (每一路邊停車事件)									
二項羅吉斯回歸			固定效果 (Fixed-effects)		隨機效果 (Random-effects)		混和效果 (Mixed-effects)		
勝算比Odds Ratio (標準誤 S.E.)			勝算比Odds Ratio (標準誤 S.E.)		勝算比Odds Ratio (標準誤 S.E.)		勝算比Odds Ratio (標準誤 S.E.)		
顯著程度			顯著程度		顯著程度		顯著程度		
因變數：是否發生危險衝突(1/0)									
是否有路邊停車	2.238 (0.261)	***	2.289 (0.287)	***	2.224 (0.263)	***	2.224 (0.263)	***	***
前車是否有變換車道行為	22.049 (5.970)	***	20.644 (6.158)	***	22.751 (6.391)	***	22.751 (6.391)	***	***
兩車之間最大速差	1.169 (0.110)	*	1.480 (0.243)	**	1.268 (0.130)	**	1.268 (0.130)	**	**
車輛通過時是否經歷紅燈	2.863 (0.413)	***	3.925 (0.618)	***	3.342 (0.501)	***	3.342 (0.501)	***	***
車輛組合									
機車-機車			(base)	-					
機車-小客車	1.345 (0.219)	*	1.306 (0.218)		1.338 (0.219)	*	1.338 (0.219)	*	*
機車-大客車	1.139 (0.219)		1.075 (0.311)		1.125 (0.320)		1.125 (0.320)		
小客車-小客車	1.524 (0.256)	**	1.334 (0.234)	*	1.488 (0.253)	**	1.488 (0.253)	**	**
小客車-大客車	1.350 (0.330)		1.228 (0.310)		1.319 (0.325)		1.319 (0.325)		
大客車-大客車	1.525 (0.956)		1.137 (0.739)		1.467 (0.928)		1.467 (0.928)		
常數	0.003 (0.001)	***			0.002 (0.001)	***	0.002 (0.001)	***	***

***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1

綜觀上述，發現路邊停車對周圍通過車輛在速率降低和變換車道進而提高發生衝突的機率上，呈現出更大的影響效果。也就是說，本研究結果發現路邊停車讓最外兩車道之整體車流看起來速率及安全性降低，且深入微觀探討後發現路邊停車其影響效果更甚。

5.3 路邊停車在不同車流環境下之影響分析

欲了解在何種車流環境下路邊停車所造成的影響最為嚴重，本研究透過各種方式將交通量及機車占比這兩項混合車流環境自變數納入模型，包括連續變數搭配其平方項、亦

或是利用類別變數(dummy)的方式搭配交互項(interaction term)進行分析，經過多次大量的測試並根據係數穩定性及變數顯著程度來判斷，最後選擇利用類別變數(dummy)的方式將交通量及機車占比這兩項自變數分別納入多元回歸模型做考量，以進行後續分析判斷。

研究結果如表 5.5 所呈現，發現在路段最外兩車道整體交通量大於 1850 (veh./hr)、混合車流之機車占比介於 55%~65%的情況下，相對於其他組別其區間速率下降最多、危險衝突件數最多且所占比例最高，也就是在有路邊停車的情況下，如果其車流環境滿足以上其中一條件，或者是兩者皆滿足的情況下，將加劇路邊停車所造成的交通安全及速率問題。

表 5.5 不同車流環境組合之影響分析結果

模型：多元線性回歸分析模型(Multiple Linear Regression Model)								
因變數	ln(區間速率) (增加或下降%)		變換車道次數 (次)		危險衝突件數 (TTC<1s, 件)		危險衝突占比 (TTC<1s, %)	
	β係數(標準差)	顯著程度	β係數(標準差)	顯著程度	β係數(標準差)	顯著程度	β係數(標準差)	顯著程度
是否路邊停車	-0.097(0.012)	***	1.653(0.301)	***	3.622(0.274)	***	0.096(0.012)	***
尖離峰	0.063(0.012)	***	0.011(0.308)		0.29-(0.277)		-0.019(0.009)	*
變換車道次數	-0.007(0.001)	***	-		-0.023(0.028)		-0.001(0.001)	
紅燈秒數	-0.003(0.001)	***	0.123(0.014)	***	0.014(0.013)		0.0001(0.001)	
交通量 (veh./hr)								
0~270	(base)		(base)		(base)		(base)	
270~665	-0.163(0.076)	**	-17.170(1.803)	***	1.46(1.688)		0.116(0.074)	
665~1060	-0.170(0.075)	**	-18.510(1.754)	***	1.892(1.657)		0.146(0.073)	**
1060~1455	-0.174(0.076)	**	-19.610(1.767)	***	3.160(1.678)	*	0.159(0.074)	**
1455~1850	-0.160(0.080)	**	-21.270(1.856)	***	5.510(1.768)	***	0.148(0.078)	*
1850~	-0.303(0.081)	***	-20.720(1.894)	***	17.510(1.795)	***	0.163(0.079)	**
機車占比 (%)								
0.0~25.0	(base)		(base)		(base)		(base)	
25.0~35.1	-0.051(0.049)		1.377(1.214)		0.220(0.397)		-0.009(0.049)	
35.1~45.2	-0.065(0.048)		1.329(1.176)		0.259(0.306)		-0.031(0.046)	
45.2~55.3	-0.076(0.048)		2.063(1.173)	*	-0.383(0.156)	*	-0.041(0.026)	*
55.3~65.4	-0.122(0.050)	**	2.339(1.223)	*	0.310(0.110)	*	0.014(0.028)	
65.4~	-0.062(0.059)		3.357(1.440)	**	0.181(1.197)		-0.030(0.057)	
常數	2.607(0.084)	***	24.044(1.930)	***	-2.388(1.856)	*	-0.018(0.081)	

***p<0.01；**p<0.05；*p<0.1

第六章 結論與建議

在地狹人稠且混合車流情況普遍的台灣市區道路中，有限的道路空間使得路邊停車情況更加嚴重，而路邊停車會導致其周圍車流因受到干擾而產生橫向位移或加減速的行為，且這些行為又會因為混合車流特徵而加劇衝突的發生，不僅僅降低車輛的通行效率，也增加了安全方面的隱患。因此本研究希望能夠去探討路邊停車對於周圍車流的影響，在了解整體之巨觀車流表現的同時也進一步的去探討並分析微觀車輛本身和車輛之間的互動。本研究運用毫米波雷達蒐集市區路段車輛軌跡與速率資料，並從巨觀及微觀的角度建置兩種分析模式，首先探討路邊停車相較於沒有路邊停車的情境對於整體車流之安全效率的影響，接著進一步以微觀視角去了解車輛本身行經路邊停車所受到的影響，以及當受到路邊停車的影響後，車輛之間因交織所產生的衝突。本章 6.1 節針對上述分析結果進行彙整，並提出本研究結果之應用，6.2 節為對後續研究之建議。

6.1 結論與研究應用

本研究為了解路邊停車對交通安全效率的影響，首先透過路段整體車流狀況進行探討，利用過去文獻所提及之相關指標以及本研究利用影像及雷達微觀資料所觀察到的實際整體車流表現，選定橫向位移、區間速率、變換車道、交通衝突等作為衡量路邊停車之量化指標，主要研究結果如表 6.1 所呈現。

整體而言，研究結果發現路邊停車將導致最外二車道車輛產生平均 1.97 公尺的橫向位移，進而變換車道次數增加，更多的交織將導致速率的下降，也將產生更多的橫向以及縱向衝突，且透過回歸模型的分析發現，相較於沒有路邊停車的情況，路邊停車對於整體車流之行車速率的降低和交通衝突的提升皆有顯著影響。因為巨觀涵蓋範圍較廣，並以每一路邊停車事件為單位，每一事件僅一筆平均值資料，且事件內之車輛數不同 (ex. 尖峰時段車輛數較多且每台車輛的區間速率較低、減速及變換車道情況較嚴重) 的情況也將影響估計效果。因此，進一步以微觀角度去了解巨觀事件內每一車輛的行車表現，發現路邊停車對周圍通過車輛在速率降低和變換車道進而提高發生衝突的機率上，呈現出更大的影響效果。除此之外，車輛前方之車流狀態，如車流密度、速率、混合車流程度與號誌影響等，也都顯著影響到車輛於該路段之行車表現。也就是說，本研究結果發現路邊停車讓最外兩車道之整體車流看起來速率及安全性降低，且深入微觀探討後發現路邊停車其影響效果更甚。

除此之外，為提供未來交通安全工程設計和管制之相關參考，本研究也透過不同交通量及不同車流之機車占比進行分組來進行分析，詳見 5.2.3 小節，並提出在最外二車道交通量大於 1850 (veh./hr) 和混合車流之機車占比介於 55%~65% 的情況下，將會顯著地加劇路邊停車對其周圍車流之負面影響。因此，本研究建議當滿足最外二車道交通量大於 1850 (veh./hr)，或者混合車流之機車占比介於 55%~65% 其中一條件的情況下，應該加強取締該路段之路邊停車行為並進行交通管制或取締，如若同時滿足上述兩個條件，則應在該時段全面禁止路邊停車的行為，以避免對路段車流造成嚴重交織或提升潛在衝突的發生。

表 6.1 本研究主要結果彙整表

路邊停車對交通安全效率之影響分析			
項目	模型	結果	意義
最外二車道整體車流狀況 (巨觀分析)	固定效果回歸模型	最外二車道整體車流於路邊停車下相較於沒有路邊停車的情況之區間速率下降約 9.7%；變換車道次數增加約 1.64 次；危險衝突件數增加約 3.59 件；危險衝突所占比增加約 9.6%。	路邊停車干擾將導致周圍車輛因減速、橫向位移及變換車道行為的增加，降低最外兩車道之整體車流行車效率並提高危險衝突的發生，進而降低路段之整體安全性。
最外二車道個別車輛及車輛間互動行為 (微觀分析)	固定效果回歸模型	個別車輛通過路段時，有路邊停車相較於沒有路邊停車，其區間速率下降約 10.4%；變換車道次數增加約 1.78 次。	因為巨觀涵蓋範圍及單一事件內涵蓋車輛數的不同，發現路邊停車對周圍通過車輛在速率降低和變換車道進而提高發生衝突的機率上，呈現出更大的影響效果。
	固定效果羅吉回歸模型	在路邊停車情況下，周圍車輛發生衝突之勝算比增加 2.29 倍。	路邊停車將提高周圍車輛行經路段時，與他車發生危險衝突的可能性。
不同車流環境下之路邊停車影響	多元線性回歸模型	交通量大於 1850 (veh/hr) 和混合車流之機車占比介於 55%~65% 的情況下，將使得路邊停車之負面影響增加。	最外兩車道如果滿足任何一種情況之時間段應加強取締，同時滿足之時段則應該禁止路邊停車行為。

透過本研究之研究結果，能證實路邊停車對於市區道路路段最外二車道之整體安全性及行車效率有影響，車輛通過路邊停車時所產生之減速、橫向位移和變換車道等行為，提高了發生衝突的可能性，且在特定車流環境下該負面影響會加劇。本研究透過巨觀及微觀的角度深入去了解路邊停車對各量化安全效率指標的影響，在道路環境相似的條件下控制了可能影響駕駛行為表現的其他外在因素，量化出路邊停車所造成的影響，可提供用來評估之量化交通安全效率指標，包括車輛通過路段時之區間速率、變換車道次數和危險衝突等，幫助未來在不同路段進行規畫或評估是否設立路邊停車空間，或者是否加強取締路邊停車等，交通工程設施的設置或執法做參考。

6.2 建議

本研究歸納以下幾點，供後續相關研究參考。首先，關於路邊停車事件之定義，本研究透過單一研究路段之毫米波雷達搭配影像資料進行事件篩選，範圍從路邊停車靜止後推算 110 秒時間範圍，為各項安全指標數值穩定之門檻值，也就是在 110 秒之前路邊停車影響可能更嚴重，本研究為保守估計，建議後續可以針對前 110 秒分別進行分析；再者，每一路邊停車事件雖紀錄了路邊停車靜止前之行車動態，但為了與沒有路邊停車事件進行比較，較難全面考慮到像是路邊停車前之變換車道次數、停止位置等相關影響因素，因此如果後續能透過多個不同路段進行研究，或者是同一路段在允許路邊停車及禁止路邊停車前後進行分析，期望能夠捕捉到更多控制變因以量化路邊停車之影響；最後，本研究針對號誌影響雖然進行了初步的估計處理，但無法精確地驗證並判斷實際紅燈秒數及時間，是為本研究之限制。

參考文獻

- Arnott, R., & Inci, E. (2006). An integrated model of downtown parking and traffic congestion. *Journal of Urban Economics*, 60(3), 418-442.
- Asaithambi, G., Kanagaraj, V., Srinivasan, K. K., & Sivanandan, R. (2012). Characteristics of mixed traffic on urban arterials with significant volumes of motorized two-wheelers: role of composition, intraclass variability, and lack of lane discipline. *Transportation research record*, 2317(1), 51-59.
- Box, P. C. (2004). Curb-parking problems: Overview. *Journal of Transportation Engineering*, 130(1), 1-5.
- Cao, Y., Yang, Z. Z., & Zuo, Z. Y. (2017). The effect of curb parking on road capacity and traffic safety. *European transport research review*, 9(1), 4.
- Dozza, M., & Gonzalez, N. P. E. (2012). Recognizing Safetycritical Events from Naturalistic Driving Data. *Procedia-social and behavioral sciences*, 48, 505-515.
- El-Basyouny, K., & Sayed, T. (2013). Safety performance functions using traffic conflicts. *Safety science*, 51(1), 160-164.
- Gettman, D., & Head, L. (2003). Surrogate safety measures from traffic simulation models. *Transportation Research Record*, 1840(1), 104-115.
- Hirst, S. (1997). Of Collision Warnings. *Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces; Loughborough University: Loughborough, UK*, 203.
- Hongwei, G. U. O., Ziyou, G. A. O., Xiaomei, Z. H. A. O., & Xiaobao, Y. A. N. G. (2011). Traffic behavior analysis of non-motorized vehicle under influence of curb parking. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 11(1), 79-84.
- Hong-Wei, G., Zi-You, G., Xiao-Mei, Z., & Dong-Fan, X. (2011). Dynamics of motorized vehicle flow under mixed traffic circumstance. *Communications in Theoretical Physics*, 55(4), 719.
- Humphreys, J. B., Box, P. C., Sullivan, T. D., & Wheeler, D. J. (1978). *Safety aspects of curb parking* (No. FHWA-(RD-79-76 Final Rpt.).
- Hydén, C. (1987). The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique. *Bulletin Lund Institute of Technology, Department*, (70).
- Johnsson, C., Laureshyn, A., & De Ceunynck, T. (2018). In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. *Transport Reviews*, 38(6), 765-785.
- Kanagaraj, V., Asaithambi, G., Toledo, T., & Lee, T. C. (2015). Trajectory data and flow characteristics of mixed traffic. *Transportation Research Record*, 2491(1), 1-11.
- Lee, T. C., Polak, J. W., & Bell, M. G. (2009). New approach to modeling mixed traffic containing motorcycles in urban areas. *Transportation Research Record*, 2140(1), 195-205.

- Malecki, K. (2018). A computer simulation of traffic flow with on-street parking and drivers' behaviour based on cellular automata and a multi-agent system. *Journal of computational science*, 28, 32-42.
- Matsuhashi, N., Hyodo, T., & Takahashi, Y. (2005). Image processing analysis of motorcycle oriented mixed traffic flow in Vietnam. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* (Vol. 5, pp. 929-944).
- Mei, Z., & Chen, J. (2012). Modified motor vehicles travel speed models on the basis of curb parking setting under mixed traffic flow. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012.
- Minderhoud, M. M., & Bovy, P. H. (2001). Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment. *Accident Analysis & Prevention*, 33(1), 89-97.
- Minh, C. C., Binh, T. H., Mai, T. T., & Sano, K. (2010). The delay estimation under heterogeneous traffic conditions. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 8, 1583-1595.
- Minh, C. C., Sano, K., & Matsumoto, S. (2005). The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1496-1508.
- Prakash, P., Bandyopadhyaya, R., & Sinha, S. (2020). Study of Effect of On-Street Parking on Traffic Capacity. In *Transportation Research* (pp. 409-417). Springer, Singapore.
- Shatnawi, I., Yi, P., & Khelifat, I. (2018). Automated intersection delay estimation using the input-output principle and turning movement data. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 7(2), 137-150.
- Su, Y., Wei, Z., Cheng, S., Yao, D., Zhang, Y., & Li, L. (2009). Delay estimates of mixed traffic flow at signalized intersections in China. *Tsinghua Science and Technology*, 14(2), 157-160.
- Svensson, A. (1998). *A method for analysing the traffic process in a safety perspective*. Sweden: Lund Institute of Technology.
- Tang, J., & Lu, J. (2018). Mixed Traffic Flow Model Considering Curb Parking. In *CICTP 2018: Intelligence, Connectivity, and Mobility* (pp. 2554-2565). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Tarko, A. P. (2018). Surrogate measures of safety. In *Safe Mobility: Challenges, Methodology and Solutions*. Emerald Publishing Limited.
- Thamizh Arasan, V., & Jagadeesh, K. (1995). Effect of heterogeneity of traffic on delay at signalized intersections. *Journal of transportation engineering*, 121(5), 397-404.
- Valley, M. (1997). *PARKING PERSPECTIVES. A SOURCEBOOK FOR THE DEVELOPMENT OF PARKING POLICY*.
- Vedagiri, P., & Killi, D. V. (2015). Traffic safety evaluation of uncontrolled intersections using surrogate safety measures under mixed traffic conditions. *Transportation research record*, 2512(1), 81-89.
- Vogel, K. (2003). A comparison of headway and time to collision as safety indicators. *Accident analysis & prevention*, 35(3), 427-433.

- Webster, F. V. (1958). Traffic signal settings. Road Research Technical Paper No. 39, Road Research Laboratory. *Her Majesty Stationary Office, London, UK*.
- Wu, K. F., & Jovanis, P. P. (2013). Defining and screening crash surrogate events using naturalistic driving data. *Accident Analysis & Prevention, 61*, 10-22.
- Ye, X., & Chen, J. (2011). Traffic delay caused by curb parking set in the influenced area of signalized intersection. In *ICCTP 2011: Towards Sustainable Transportation Systems* (pp. 566-578).
- Yousif, S., & Purnawan. (2004, August). Traffic operations at on-street parking facilities. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport* (Vol. 157, No. 3, pp. 189-194). Thomas Telford Ltd.
- Zheng, L., Ismail, K., & Meng, X. (2014). Traffic conflict techniques for road safety analysis: open questions and some insights. *Canadian journal of civil engineering, 41*(7), 633-641.
- 廖家慧, & 黃家耀. (2017). 運用影像資料進行混合車流的安全評估方式 (Doctoral dissertation).
- 林彤(2020)。市區路段交通工程設施對機車超車和鑽車行為之安全影響分析，國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文。