

# 模擬微觀混合車流下幹道號誌連鎖策略之研究

學生：黃月貞

指導老師：張新立 林貴璽

國立交通大學運輸科技與管理學系

## 摘要

台灣地區每日尖峰或交通需求量高時道路上阻塞情形嚴重，汽機車數量龐大且夾雜行駛於道路上造成車流的混亂與交通安全的疑慮，造成行車秩序之混亂。過去國外對於車流問題之研究著重於純小客車流，惟台灣地區之車流行為屬於混合車流，是故車流模式需加入機車行為，而早期以純小客車流所設計的號誌系統亦需重新規劃。

本研究參考過去混合車流之相關研究，採用二維座標法及行為門檻模式建立車流推進模式，機車行為則以動態車間距、改良式行為門檻模式模擬汽機車於道路上之實際行為，以系統內車輛總旅行時間最小延滯，與幹道方向最大續進量兩目標作為系統號誌時制之績效值，並同時考慮幹道號誌連鎖系統之三因子：週期、幹道綠燈時比、時差，以窮舉法方式，遞增數值以求得最佳化的系統績效值。此外，為驗證模擬車流的正確性及號誌設計之有效性，本研究以台中市中區單向道系統作為實證範圍，進行車流狀況調查，包含車輛進入速率、期望速率、車輛組成、車道產生比例、轉向比等，並以韋布斯特(webster)延滯公式加以計算在不同的週期、時比及時差下之系統績效值，同時亦考慮不同流量水準及機汽車混合比的狀況下之建議最佳時制，供相關單位進行幹道號誌規劃時設定使用。

根據本研究驗證結果，在設計有機車停等區的狀況下，因可讓機車先行紓解，故可稍微提升車輛的續進率並使系統績效微量增加；幹道綠燈時比為影響系統績效值最重要因素，車流屬高流量水準的狀態下，需增加幹道的綠燈時比並週期、減少時差，促使車輛的停等延滯時間減少，若屬低流量水準，則建議可以短週期時間、長時差以增加績效值。機車混合比高時，短週期的設計將利於車輛的續進及延誤時間減少，將可促使幹道系統的車輛運行績效最佳。

關鍵字：行為門檻模式、混合車流、連鎖號誌、微觀模擬

# **A Microscopic Simulation for Arterial Signal Coordination with Mixed Traffic**

Student : Yueh-Chen Huang    Advisor : Dr. Hsin-Li Chang  
Dr. Guey-Shii Lin

Department of Transportation Technology and Management  
National Chiao Tung University

## **ABSTRACT**

Traffic congestion has long term been one of the major control problems during rush hours in many cities of Taiwan. Field investigation has shown that the variability of driving behaviors of autos and motorcycles along roadways may increase disturbance and instability in traffic flow. Unfortunately, most of the literature focused only on the operations of auto traffic. The traffic conditions and control environment concerned are quite different from those in most areas in Taiwan. Thus, coordinating the existing traffic studies with the native research on mixed traffic flow may help realistically reflect and capture more details of the traffic world in Taiwan.

With the inspiration from paper review, this study classifies the overall traffic behaviors along an urban arterial to three, i.e., intersection flow behaviors, inter-node link flow behaviors, and approach flow behaviors. Driving behaviors are modeled by referring to the behavioral threshold model and the two-dimensional coordinates model. Coordinated signal timing plans including cycle length, offset and phasing splits are designed using the exhausted searching algorithm in order to obtain the best performance value. To verify the accuracy of model development and the effectiveness of signal control, the characteristics of mixed traffic flow, such as approaching speeds, desired speeds, traffic composition, lane distribution, and turning ratio on a two-node one-way arterial in Taichung City were investigated and statistically analyzed. Initial signal cycle lengths were estimated by using the Webster's formula based on a variety of entering volumes and mixed flow ratios. System performance is evaluated by concurrently considering the indices of system delay minimization and throughput maximization.

The simulation results showed that the vehicle progression rate and system performance may be increased when an exclusive stopping area for motorcycles is installed. The phasing split design is found to be a key factor that may affecting the system control performance. When at high entering volume, stop delay time may be

reduced with increased cycle lengths and phasing splits, and decreased offsets. When at low entering volume, a combination of shorter cycles with longer offsets may lead to a better system performance. Also, as the proportion of motorcycles is high, a short cycle may have a higher advantage in increasing throughput and decreasing delays.

Keyword : Behavioral Threshold Model, mixed traffic, microscopic simulation, signal progression.

## 誌 謝

猶記六年前初來新竹時，交大還是一個只有生冷建築物、絕少植物、藝文氣息理工大學，而我亦是一個初至外地求學的大學新鮮人；六年後，當我即將離開時，交大儼然已成了一個綠意盎然的綜合型大學，而我，也在恩師 張新立老師及 林貴璽老師的教導下，學習到兩位老師治學態度與做人處事態度，在生活與學術各方面的歷練涵養上，有了長足的進步與成長。

論文口試與審查期間，承蒙本所 卓訓榮教授與本校交研所 黃承傳教授之撥冗細審，惠賜寶貴意見與殷切指正本論文之疏漏謬誤。論文研討期間，承蒙本所 陳光華老師 高凱老師詳加審閱，使得本論文得以即時斧正。研究計畫進行期間，亦蒙吳宗修老師之啟蒙與指導，使得學生獲益良多。六年交大求學的期間，系上許巧鶯老師、吳水威老師、韓復華老師、張隆憲老師、謝尚行老師、任維廉老師及郭秀貴老師給予學生課業上的指導及生活上的悉心照顧與關懷，使得遠在外地求學的我，六年中感受到運管系大家庭的溫暖與快樂，如同在新竹有了另外一個家的感覺，為此學生深感謝意。

此外，六年的交大求學生活中除了學業，最重要的還是來自身邊一同學習成長的學長姐、學弟妹的關懷與互動。感謝曾明德學長、吳育婷學姐、何佳娟學姐於老師不在台灣期間給予我等同於老師的指導，亦感謝實驗室的同窗學長姐楊政樺學長、葉祖宏學長、朱來順學長、葉公、葉嫂、舜丞學長、筑雅學姐、鴻文、承瑋、智仁學長，有您們在學業上及生活上的帶領與指正，讓我可以學習成長路上行走的更順更穩。建安、家銘、建仁、俊哲、大哥、小本和你們一同在實驗室中互相討論、吐槽的生活更是我在記憶中烙下十分深刻的痕跡。最棒的學弟妹惠玉、依潔、韻璇、起豪、百晉，一同歡笑的飯友家盛、鵬先、元劭、小 P，我的好姊妹依伶、詩芹、靖媛等，因為生活中有你們，讓我每天都笑口常開十分快樂。此外，語言中心書玉姐、系辦助理幸榮、秀蔭，感謝你們在我就學期間給予我許多方面的奧援及支持。

最後，謹將本論文獻給我最親愛的父母及弟弟，你們是全世界最棒的家人，賦予我生命，並給予我不於匱乏及幸福的家庭，才能讓我無後顧之憂的選擇我想要的生活，宗興給予我無微的關懷與鼓勵，並時常容忍我的無理取鬧，在此一併感謝。謹將此成果與榮耀與您們一起分享。

月貞 2003.7.21

于 風城交大

# 目錄

<b>第一章 緒論</b>	<b>1</b>
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究範圍及方法	3
1.3.1 研究範圍方面	3
1.3.2 號誌控制方面	4
1.3.3 目標函數方面	4
1.4 研究內容	5
1.5 研究流程圖	5
<b>第二章 文獻回顧</b>	<b>7</b>
2.1 混合車流模擬相關文獻	7
2.2 號誌設計相關文獻	12
2.2.1 方程式法	13
2.2.2 數學規劃法	15
2.2.3 搜尋程序法	16
2.2.4 模擬法	17
2.3 幹道連鎖號誌控制相關文獻	17
2.3.1 最大綠燈帶法	17
2.3.2 最小負效用法	17
2.3.3 最大綠燈帶與最小負效用混合法	18
2.4 國內外著名的套裝軟體	18
2.5 綜合評析	19
<b>第三章 系統架構與理論依據</b>	<b>21</b>
3.1 系統假設	21
3.2 系統架構	22
3.2.1 模擬系統的系統掃描方式	22
3.2.2 模擬系統的車輛產生與其車輛特性分析	23
3.3 混合車流理論	25
3.3.1 車流模組函數分析	25
3.3.2 車流資料蒐集整理分析	28

3.3.3 路段車輛推進邏輯建立 .....	28
3.4 路口車流推進邏輯建立 .....	35
3.4.1 進入路口車輛分類 .....	35
3.4.2 固定軌跡推進模式 .....	36
3.5 鄰近路口車流推進 .....	38
3.5.1 黃燈時段行為 .....	39
3.5.2 紅燈時段行為 .....	40
3.6 旅行時間、延誤及擴散現象 .....	40
3.7 模式績效指標值的決定 .....	41
3.8 模式的驗證方式 .....	42
<b>第四章 車流模擬模式之建立 .....</b>	<b>43</b>
4.1 系統的基本假設 .....	43
4.2 車流行為模式整體架構 .....	43
4.2.1 系統座標、掃描方式及車行軌跡制定 .....	44
4.2.2 模擬系統的車輛產生與其車輛特性分析 .....	45
4.3 混合車流模式的整體架構 .....	49
4.3.1. 路段車流行為 .....	50
4.3.2. 鄰近路口車輛推進行為 .....	56
4.3.3. 路口車輛推進行為 .....	58
<b>第五章 連鎖號誌策略之擬定 .....</b>	<b>62</b>
5.1 號誌控制策略的目標式及績效指標 .....	62
5.2 獨立路口號誌設計準則 .....	63
5.3 幹道連鎖號誌設計準則 .....	64
<b>第六章 模擬資料驗證與實例分析 .....</b>	<b>68</b>
6.1 實際道路及交控環境 .....	68
6.2 模擬程式驗證 .....	68
6.2.1 車流模式驗證 .....	69
6.2.3 輸入輸出資料檢定 .....	74
6.3 起始週期計算與現行號誌設定 .....	77
6.4 績效值計算 .....	81
6.5 流量表製作 .....	92
<b>第七章 結論與建議 .....</b>	<b>94</b>

7.1 結論 .....	94
7.2 建議 .....	95
<b>參 考 文 獻 .....</b>	<b>97</b>

# 表目錄

表 3.1 車輛實體尺寸.....	24
表 3.2 汽車變換車道準則.....	34
表 3.3 機車變換車道準則.....	34
表 4.1 車輛第一維屬性.....	49
表 4.2 車輛第二維屬性.....	49
表 6.1 起始號誌設定表.....	68
表 6.2 車輛到達率.....	75
表 6.3 模擬車輛產生間距.....	75
表 6.4 車輛到達速率.....	75
表 6.5 車輛期望速率.....	76
表 6.6 車輛組成比例.....	76
表 6.7 車道分配比例.....	76
表 6.8 車輛轉向比例.....	77
表 6.9 起始週期設定.....	80
表 6.10 起始設定與實際設定道路績效值.....	81
表 6.11 高流量前十大績效值.....	82
表 6.12 中流量前十大績效值.....	86
表 6.13 低流量前十大績效值.....	89
表 6.14 設置停等區與否績效表.....	92
表 6.15 時制對照表.....	93



# 圖目錄

圖 1.1 研究範圍.....	3
圖 1.2 研究流程圖.....	6
圖 2.1 車輛斜進縱向限制.....	10
圖 2.2 同一車道前後車之相對運動過程示意圖 .....	12
圖 3.1 系統圖 .....	22
圖 3.2 行為門檻關係圖 .....	25
圖 3.3 直進車流推進邏輯圖.....	29
圖 3.4 變換車道角度判斷 .....	33
圖 3.5 變換車道邏輯.....	33
圖 3.6 遇障礙物時最小安全通過距離 .....	35
圖 3.7 直角十字路口軌跡圖.....	36
圖 3.8 圓弧軌跡處理方式.....	38
圖 3.9 機車停等區劃設 .....	40
圖 3.10 一週期內車輛通過路口之時間 .....	41
圖 4.1 道路佈設狀況 .....	44
圖 4.2 車流整體模擬架構流程圖.....	47
圖 4.3 模擬模式之系統座標圖 .....	48
圖 4.4 動態車寬圖示.....	48
圖 4.5 車輛推進流程圖.....	53
圖 4.6 機車行為門檻模式 .....	54
圖 4.7 機車錯車型態.....	55
圖 4.8 變換車道流程圖.....	55
圖 4.9 變換車道方式.....	56
圖 4.10 遇障礙物的推進流程圖.....	57
圖 4.11 黃燈時段的車輛行為判定流程圖.....	59
圖 4.12 紅燈時段車輛行為模式.....	60
圖 4.13 路口車行軌跡與衝突圖 .....	61
圖 6.1 實證道路位置圖.....	70
圖 6.2 機車軌跡圖.....	70
圖 6.3 機車偏移軌跡圖.....	71
圖 6.4 汽車軌跡圖.....	71
圖 6.5 車輛軌跡圖.....	71
圖 6.6 車輛時空圖.....	72
圖 6.7 一般化車輛軌跡時空圖.....	72

圖 6.8 車輛遇障礙物軌跡圖.....	73
圖 6.9 機車停等區車輛軌跡圖.....	73
圖 6.10 機車停等區車輛時空圖.....	74
圖 6.11 道路車流量示意圖.....	78
圖 6.12 路口一時相設計示意圖.....	79
圖 6.13 路口二時相設計示意圖.....	79
圖 6.14 高流量週期-時比績效圖.....	83
圖 6.15 高流量週期-時差績效圖.....	83
圖 6.16 高流量時比-時差績效圖.....	83
圖 6.17 高流量水準週期-績效圖.....	84
圖 6.18 高流量水準時差-績效圖.....	84
圖 6.19 高流量水準時比-績效圖.....	84
圖 6.20 中流量週期-時差績效圖.....	86
圖 6.21 中流量週期-時比績效圖.....	87
圖 6.22 中流量時比-時差績效圖.....	87
圖 6.23 中流量水準週期-績效圖.....	87
圖 6.24 中流量水準時差-績效圖.....	88
圖 6.25 中流量水準時比-績效圖.....	88
圖 6.26 低流量週期-時比績效圖.....	90
圖 6.27 低流量週期-時差績效圖.....	90
圖 6.28 低流量時比-時差績效圖.....	91

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

台灣地區的機車數量自民國六十年代的八十二萬輛成長至九十年代的一千一百多萬輛，汽車數量由三點三萬輛激增至四百八十六萬輛[1]，較六十年代激增十倍至一百餘倍的汽機車持有數量，導致目前每日尖峰或假日交通需求高時道路上阻塞情形嚴重；且因汽車與機車在道路上不同的行駛速率、跟車間距以及機車無法完全依車道行駛等特性，夾雜行駛於道路上造成車流的混亂及交通安全的疑慮。同時，此類汽機車混合行駛的行為，與傳統交通工程處理純小客車流行為已有明顯的差異，若以傳統交通工程的理論設計道路設施，將會產生不適用的狀況。

一般而言，可供交通主管單位改善道路行車秩序的方式有兩類，一類為硬體交通設施的擴建或改善，另一類則為運輸系統管理策略的改良。硬體的建設通常會花費較多的時間及金錢，然施工期短、成本耗費不大的運輸系統管理策略多為交通工程師所採行，而其中以交通號誌的改善更具實際功效[6]。交通號誌為一電腦控制系統，以時間差異將路權平均分配至道路上的每一方向，可確保行經此處的車輛能有效率、安全的通過路口。傳統路權的劃分方式則依各方向的車流量給予不同的通行時間，不同種的車輛均與小汽車相比，換算為小汽車當量，如機車在直進時被認定為 0.3 小汽車當量(PCE)[33]，但機車具有集結行駛的特性及較好的啟動加速性能，若單純以小汽車的行駛方式轉換則不足以代表機車行駛之特性。

過去台灣地區相對於混合車流的研究，除了早期的當量轉換法外[11][14]，陸續有學者[2][3][4]等提出混合車流處理模擬模式，多以四大跟車限制、M-L 跟車模式、動態車長車寬和二維座標法做為車流推進模式，用以補足國外車流研究中對於機車較少著墨的部分。但由於時空背景的不同，政府於道路新設置機車停等區、公車專用道等，其標誌標線均重新規劃，以及車輛的加減速性能改良等，皆與過去研究產生差異。此外，近年來整合直進車流特性的「行為門檻模式」之利用[7][32]，使得車流模擬的方式與過去產生差異，因此混合車流模擬處理模式具有重新深入探討的契機。

當車輛行駛行為產生改變時，為使車流安全、效率通過所設計之號誌系統也需重新規劃。早期於都市規劃所設置的號誌系統，僅以純小汽車流作為設計對象，但於實際道路上行駛的機動車輛還有機車、大型車等，故依其號誌設計所運行

之績效並不佳；故針對混合車流的現象，陸續有學者[3][4]進行單一路口的號誌系統設計，推測路口、路段之容量，再以分配時相方式進行路口的交通指派及控制，以使車流順暢、安全，達成用路人的期望。

由實際道路行駛之經驗得知，若僅對單一路口之號誌時制加以控制，在號誌彼此獨立運作並無協調的情況下，易產生路口間綠燈時間不協調、使車輛發生過多的停等而造成延滯，不能達到車流順暢及有效率通過之目標，若佐以鄰近路口號誌的時制連鎖設計，如綠燈遞亮或同亮等策略，使多數車輛在綠燈時間通過第一個路口時，接連的數個路口也能產生綠燈而順利的通行，即意味產生續進及較佳的行駛績效。

而國內外過去關於車流行為與幹道號誌連鎖的研究多以傳統跟車理論與車道一維理論模擬為主，探討以小汽車為主的車流擴散狀況[5][34]，以及針對該擴散特性給予以的號誌連鎖控制等，均是以巨觀車流特性加以模擬；惟實際道路上車輛的運行行為相當精細，巨觀的模式未能展現單一車輛行為，屬於平均化的數值資料，且所用的理論多以純小客車流或換算為小客車當量進行計算，與台灣地區混合車流的情況不同，故實際道路上的號誌時制設計更需重新評估考量。但過去文獻中[5]表示，在巨觀混合車流的狀況下使幹道維持續進的方式，乃以獨立路口為主，連鎖其餘的路口僅計算與該獨立路口之時差，且限制範圍針對二時相及一快兩慢的車道佈設；其餘的研究多僅於討論混合車流行為或是如何制定連鎖號誌等兩項議題[7][35][36]，故本研究將整合此兩類研究，以微觀模擬觀點探討混合車流行為及連鎖號誌設計，建立在不同流量及機車混合比下，最佳化的混合車流幹道連鎖時制。

## 1.2 研究目的

過去國內外對於幹道車輛行為的續進，均是以巨觀的立場，先行探討車隊擴散的現象，待計算其平均行駛速率、擴散比例等特性後，再以時空圖的概念設計，假設車輛以設計速率前進，可以綠燈時間連續通過數個路口或是各方向的車輛延誤最小[6]，求解各方向的綠燈帶寬；但此類的研究僅考量到純小客車流的行駛狀態。惟有一研究以最小延誤為目標探討汽機車混合車流之狀況[5]，但其號誌續進之理論仍沿用國外巨觀車隊擴散模式，未能針對機車特殊的行駛特性加以考量，與台灣地區道路上實際運作之現況差異甚大，故將本研究的範圍將以微觀與混合車流的觀點，希望能同時考量整個連鎖系統的續進率及延誤，使其績效組合值最佳。

本研究為求一號誌時制連鎖策略的最佳化，使行駛於該幹道的車輛均可以最小延誤及最佳續進率的多目標方式通過，故將承續過去研究之成果，在部分推進邏輯更新下，設計最新之微觀混合車流模擬模式，模擬實際道路上汽機車混合行

駛之行為，並執行本研究所擬定之連鎖邏輯，產生本研究所開發之幹道號誌連鎖時制，其系統所產生的績效值將與現行的交通控制策略進行比較，最後並建議一有效率之號誌連鎖時制表。

## 1.3 研究範圍及方法

### 1.3.1 研究範圍方面

本研究為探討混合車流狀況下，連續路口的交通號誌連鎖策略。因研究篇幅限制，僅以兩個路口為研究範圍，並以兩單向道之交叉路口進行實驗及模擬。為了解車輛行進之特性及進行參數校估，本研究擬選擇一四線道寬之道路進行車輛行進特性調查，由於車輛在路段中行駛的行為可能包含直進、橫向移動等，且因汽機車輛的駕駛性能不同而產生差異；遭遇黃燈時，車輛可能於鄰近路口處產生進退兩難現象，需加入決策判斷因子；一旦通過進退兩難區抵達路口時則加入轉向因素，使得車輛在路口、路段及鄰近路口處產生不同的駕駛行為，故將一幹道劃分為路口、路段、及鄰近路口的車流行為等三類不同的車輛行為進行探討。整體研究範圍如圖 1.1 所示。

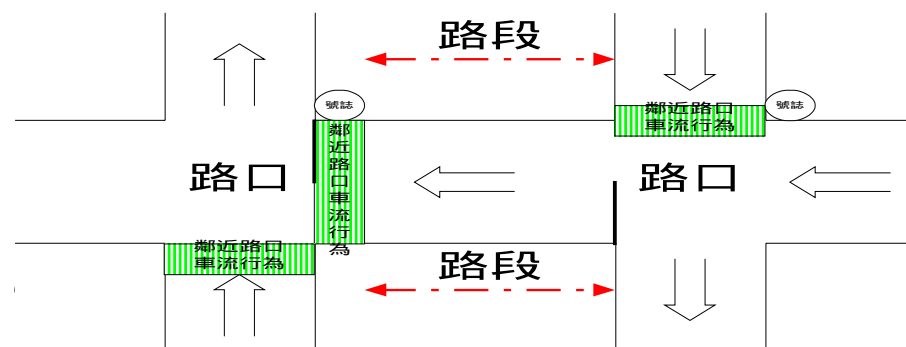


圖 1.1 研究範圍

鑒於台灣地區的车辆組成與國外有差異，屬汽機車交雜的混合車流狀態；而在混合車流中最難捕捉的行為則是汽機車行駛時的車輛特性，過去研究中[2]所發展之二維座標法則將汽車與機車視為不同特性的兩種個體，有其獨特之車輛特性與駕駛人性格，並以動態車長、車寬及最大偏向角等概念作為汽機車直進、橫向推進行為的準則；近年來的研究亦加入行為門檻模式作為車輛直進推進之準則，可將車輛的直進行為依照一定的門檻值進行量化歸類動作，惟對於橫向車流的推進行為尚有不足處；故本研究將採用二維座標法及行為門檻模式作為車輛主要行為架構，改良[29]研究中的機車行為，並參考後續[7][8]研究，將跟車對象不同而產生不同的車輛加減速特性等差異加入考量，亦將近一年才陸續設置的機車停等區，對於汽機車駕駛行為產生的變化納入模擬模式中。

### 1.3.2 號誌控制方面

傳統號誌化路口架設的號誌控制系統大致分為兩類[6]：一為利用現場監控設備傳回現場交通資訊，以該時該地的交通流量預測數分鐘後的車流狀況，以求得最適之燈號變換，稱為適應式號誌控制系統；另一類為事前調查現場的交通需求，以離線方式依據各時段的交通量，透過交控模擬軟體計算最適時制，在排定的時間按時啟動時制，稱為預設式的號誌控制系統。一般而言，因為適應式號誌控制系統會遭遇建構成本大、電腦易故障及號誌時制變動頻繁造成容量損失等問題，且僅適合在交通流量屬於中低流量時。是故在台灣多數的都市地區，為應付高流量的交通量，避免容量的損失，仍採取離線的預設式號誌控制系統。

獨立路口號誌設計的主要參數為週期與各車流流動方向所分配的綠燈時間，以該獨立路口的延滯最小、通過車輛最多為目標，計算特定時段內最佳週期及各時相之長度。在幹道連鎖號誌時制設計方面，乃將距離較近的數個路口視為連鎖群組，先求得各獨立路口之最適週期，再以該連鎖路口中流量最大的視為臨界路口，以其週期作為共同週期，並決定路口間最大續進量，以求得最適時比及時差，達到該路段最佳續進及最小延滯之控制。由於本研究之時間限制，僅以兩路口作為連鎖號誌之設計區間。

由於本研究將以微觀觀點探討車輛運行時的特性及產生的行為，但過去連鎖號誌系統皆採用巨觀車隊擴散比、平均旅行速度等概念，惟僅以車隊的平均數值代表車流，較適用於國外純小汽車流之情形，此類巨觀的車隊指標不適合於描述台灣地區車種複雜的車輛行為，勢必需採行替代指標，如單一車輛的續進成功與否、延誤值及行駛速率等，用於分析幹道因號誌時制系統的設置，所產生的績效值，並期望能以藉由號誌的週期、時比及時差的微調，以混合車流的微觀觀點設計產生最佳週期、時比及時差之時制，可最佳化幹道連鎖系統之總績效。

### 1.3.3 目標函數方面

為求幹道連鎖號誌最有效之設計，其號誌設置之目標函數通常有三類，一類為最大綠燈帶寬，另一類為最小負效用，最後一類則為綠燈帶寬與負效用混合法。綠燈帶寬法通常忽略次要道路的通行需要，對整體的幹道系統不易做客觀的評估，且綠燈帶寬法常限定需依據道路設計速率行駛，才能夠完成綠燈帶續進的目標，但於現實混合車流及快慢車道分布的狀況下，其車輛行駛速率不一定會滿足設計速率，且綠燈帶寬在特定交通狀態的求解下不一定會存在。

最小負效用法通常以停等延誤的多寡推算燃油的消耗及空氣污染，涵蓋範圍較廣，且可以獨立計算汽機車各自之負效用，再予以加總，可獲得較客觀的系統績效，缺點惟無法產生幹道的續進帶寬，使得車輛將產生過多的停等數。而兼顧兩種方式的綠燈帶寬與負效用聯合求解法則為近年來號誌時制設計之趨勢，既可

達到續進目標，亦可促使系統總延滯值最小，故本研究將採用此觀念，使系統的時制設計能兼顧具有續進功能且停等延滯等負效用最小之多目標。

## 1.4 研究內容

綜合上述各點，本研究之研究內容如下：

1. 了解車流模式之建立原則及幹道號誌連鎖策略的控制、執行現況，針對目前研究及實證不足處加以分析比較並界定本研究之範圍及目標。
2. 由文獻回顧中綜合歸納混合車流中，各車種在路口、路段及鄰近路口介面上的行為模式及運轉特性。並藉由了解國內外各知名的號誌軟體設計邏輯及限制，探討其設計原則及續進號誌的設計方式，。
3. 發展車輛行進速率、車輛產生的分配函數及號誌時制連鎖邏輯，規劃汽機車於幹道連鎖時制之邏輯，並選定一模擬範圍進行實地調查，包含車種比例、車輛到達率、車輛進入速率、車輛期望速率、轉向比及車道分配比例等參數之校估工作。
4. 掌握實際車流行為後，進行車流模式建立與程式開發，程式整體的輸入、輸出格式、架構的建立，車流運行之各項行為模式與實際車流加以驗證比較，並訂定系統目標函式，加入連鎖號誌控制策略，計算各條件下的系統目標值，隨後擬定不同機汽車混合比、不同高低流量水準下最佳化時制對照表。
5. 依據模擬程式之撰寫求解出一範例，說明所有的績效值，並擬定最佳的號誌連鎖時制。模擬的結果將與實際道路調查資料進行一致性檢定，並比較績效值。
6. 總結整篇論文，給予實證路段號誌時制之建議並提出建議提供後續研究之延伸及改進。

## 1.5 研究流程圖

本研究之研究流程圖如圖 1.2 所示：

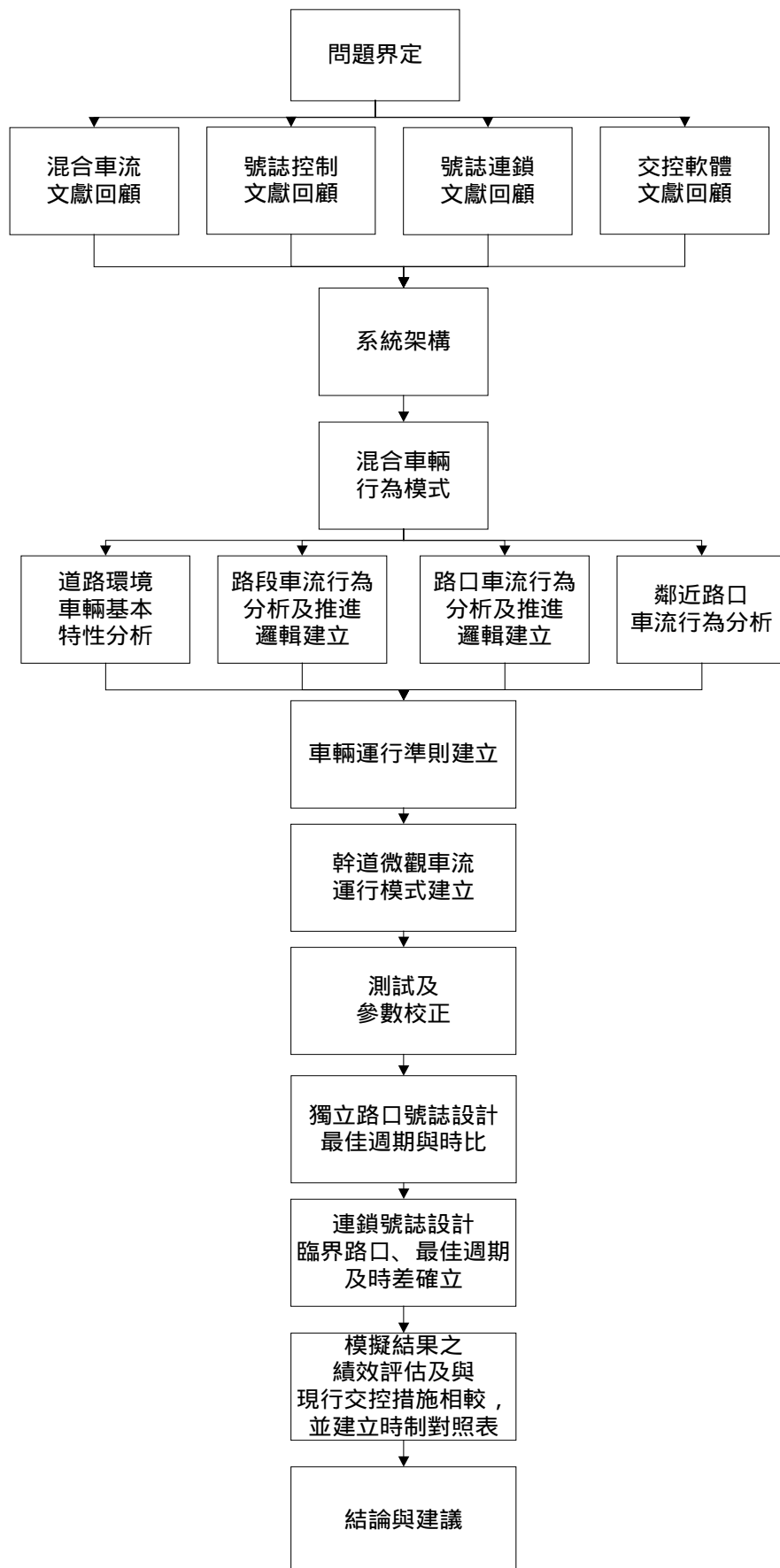


圖 1.2 研究流程圖



## 第二章 文獻回顧

本研究為探討混合車流下之幹道號誌連鎖策略，以建立一混合車流模擬平台，其模擬之績效值將與實際道路上的號誌執行績效相比，並利用各時制設計套裝軟體之邏輯發展本研究的連鎖號誌邏輯，故在本章將分為四部分進行文獻回顧：1. 混合車流模擬相關文獻 2. 號誌設計相關文獻 3. 連鎖號誌控制相關文獻 4. 國內外著名的套裝軟體，最後再針對回顧之文獻進行評析。

### 2.1 混合車流模擬相關文獻

早期國內對於國內的車流狀況研究，多以國外傳統車流模式直接沿用，以純小汽車流的車流推進方式設計國內的交通設施，直到趙清山[9]開始採用韋布斯特（Webster）延滯公式計算各類交叉路口的車輛延滯時間，開始考慮台灣地區混合車流狀況於交通工程上的設計，隨後阮聰義[10]引用 M-L 矩陣分析快車道的車流特性，亦了解道路最大流量、混合比及大型車當量值。蘇錦江[11]加入機車及重型車等不同的車種，建立一平面交叉路口混合車流模擬模式，在路口採用「路口軌跡座標法」，模擬不同種車輛在路口產生的行為差異，最後得出號誌化路口每方向每車道 1200 輛/小時，重型車的小汽車當量為 1.3PCE、機車當量為 0.5PCE、左轉當量為 1.5PCE 及右轉為 1.7PCE。

阮聰義[10]所應用的 M-L 矩陣跟車方程式為通用汽車公司所發展的模式，一旦 M、L 兩參數值被設定，即決定車輛之推進行為。其通式如式 2.1 所示：

$$\ddot{X}_{n+1}(T+1) = \alpha \frac{\dot{X}_{n+1}(T+1)^M}{(X_n(T) - X_{n+1}(T))^L} (\dot{X}_n(T) - \dot{X}_{n+1}(T)) \quad (2.1)$$

其中  $\ddot{X}_{n+1}(T+1)$ ：第 n+1 車在時間 T+1 時之加速度

$\dot{X}_{n+1}(T+1)$ ：第 n+1 車在時間 T+1 時之速度

$\dot{X}_n \quad \dot{X}_{n+1}$ ：前後兩車速率

$X_n \quad X_{n+1}$ ：前後兩車所在位置

：比例常數

M、L：模式係數

許添本[12]使用臨界流動的方式，探討混合車流下號誌路口的容量。根據錄影及現場調查，與國外的相關研究結果比較，認為流量是決定路口容量的關鍵因素，是故針對流動進行車流組成特性及飽和流率與當量有關諸因子加以分析。蔡佳霖[4]更深入分析車道配置及號誌設施對於交叉路口特性的影響，將車流模擬的環境可由二車道至五車道，且在固定時制下專用及非專用號誌設施皆可適用，並延用發展甚久的四大跟車模式取代早期德州模式之跟車理論。

隨後陸續開發混合車流於道路上之各轉向特性、當量、路口容量、道路佈設型態及跟車理論等，陳天賜[13]假設機車以正常加速率前進時，在周圍環境及前面車輛排列情況允許下儘可能的前進，故建立二維座標系統，黃國平[2]動態車長及車寬概念，解決混合車流在道路上以不規則的方式散布在道路上，且車輛行進受前後左右鄰車的影響、與過去跟車模式處理車輛推進之困難，用以取代跟車理論中的間隔限制，而其橫向的移動則以可前進的最大偏向角進行處理，但變換車道行為仍以傳統的可接受間距為主，且快車道上車輛以一維的方式推進。

二維座標法突破了車輛僅能一維推進的限制，更貼近現實交通狀況中機汽車不規則行進的行為，後續的魏健宏[14]修正車輛推進的行為，探討市區道路 V/C 值與車流延滯的關係，無快慢車道之分且均以二維座標法作為車輛推進之處理。李月仙[15]建立一全動態交通控制策略之微觀車流模式，李樑堅[8]建立微觀車流模擬模式以發展交通適應性號誌控制邏輯之研究，於原先二維座標模式中的跟車行為加入前車的車種限制、駕駛人冒險因子的特性等，何佳娟[7]修正機車跟車行為，認為機車會因鄰車道之前車車種不同而產生不同的動態側向間距，使汽、機車的跟車及變換車道行為自此產生差異。其中，二維座標法利用車輛的動態尺寸作為車流推進的主要概念，與決定最大可能前進範圍及方向的準則，其詳細的通式及定義如下所示：

#### 1. 車輛動態尺寸

所謂車輛動態尺寸是指車輛在道路上行進時，駕駛人感受其他車輛有效影響的長度與寬度，可視為車輛佔用道路之範圍[8][15]。

##### (A)動態車長

動態車長是依據跟車理論中「跟隨車輛在行駛過程中常常調整其行車速度，使其與前車保持一定安全間距」之概念引申而來，在二維座標車流模式中用以取代間隔限制，表現前後車的間距關係，其通式如下：

$$PLL=PL(TYPE)+K*V_t \quad (2.2)$$

其中，PLL：前車動態車長(m)

PL(TYPE)：前車靜態車長(依車種有所差異)(m)

K：後車駕駛者之反應時間(sec)

$V_t$ ：後車車速(m/s)

因在二維座標車流模式中，無法預知一秒末車輛實際推進速度，故動態車長僅能以前一秒末的速度表示：

$$PLL=PL(TYPE)+K*V_{t-1} \quad (2.3)$$

惟若以上述之動態車長作為車輛推進的依據時，常常會造成車輛在加入綠燈時段未紓解完全的車隊後方時，被迫以超過最大減速度的方式停車，與實際的車輛行為不同，故需在原有動態車長模式中加入一車長限制式：

在動態車長限制下，後車一秒內可推進最大距離為：

$$d-PLL=1/2(V_t+V_{t-1}) \quad (2.4)$$

其中，d：前車與後車間距(m)

將式 2.3 代入式 2.4 中，得：

$$d-(P+K*V_{t-1})=1/2(V_t+V_{t-1}) \quad (2.5)$$

後車 t 時的速度為：

$$V_t=V_{t-1}+APPL \quad (2.6)$$

其中，APPL：後車在動態車長限制下所能使用的最大動態加速度

將式 2.6 代入式 2.5 可得後車之動態加速度，

$$APPL=[d-P-(K+1)*V_{t-1}]/(K+0.5) \quad (2.7)$$

惟後車受限於  $V_{t-1}$  時，該車所能達到的最大加速度。

#### (B)動態車寬

動態車寬是指車輛在行駛時，相鄰車輛所必須保持的安全車寬，假設大型車在高速公路設計速率 33.3m/sec 時，其動態車寬為靜態車寬的 1.2 倍，再針對不同的速率，以線性內插法求得車輛在不同的速率下之動態車寬。

$$PWW=PW(TYPE)*(1.0+0.2*V/33.3) \quad (2.8)$$

其中，PWW：車輛動態車寬(m)

PW(TYPE)：車輛靜態車寬(依車種有所差異)(m)

V：本車車速(m/sec)

## 2. 車輛路段推進邏輯

在時間單位內，車輛考慮各種直進、斜進等條件，所能推進的最大距離。

### (A) 直進限制

所謂「直進限制」是指車輛在推進時，其直行方向的推進距離不得大於本車車頭與前車動態車尾之間的距離  $L$ 。若本車在自由行駛狀況下單位時間所能推進之距離大於  $L$  時，則需考慮減速或是以其他路線方向推進，反之則可以直進方向前進。

### (B) 最大偏向角限制

所謂「車輛最大偏向角」如第四點所述，指車輛行進時於單位時間內依其速度狀況所能偏轉的最大角度，而「車輛偏向角限制」則指車輛推進時，其偏向角不可大於當時速度下車輛最大偏向角。

### (C) 斜進縱向限制

所謂「斜進縱向限制」是指車輛在斜進時所能推進的最大縱向距離，如圖 2.1 所示，是指本車車頭中心與鄰車道前車動態車尾中心點間的縱向距離  $D$ 。

### (D) 路寬限制

所謂「路寬限制」是指車輛在行進時，不得超越道路邊線及中央分向線。

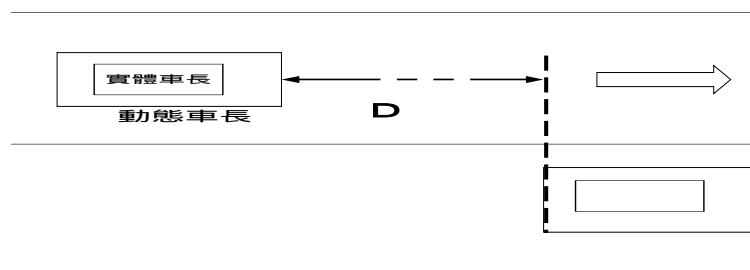


圖 2.1 車輛斜進縱向限制

## 3. 推進路線選擇

所謂「推進路線選擇」是指車輛若處於多車道狀態時，會往沿目標方向推進最遠的車道移動，模擬做法則依系統掃描順序推求出車輛在各路線之推進距

離後，駕駛人選擇一路線進行推進，一般考慮的因素如下：

(A) 當車速與願望速度相差 5m/sec 以上。

(B) 鄰方向推進距離不小於直進方向時，可由鄰方向沿 x 軸可推進最大距離之方向推進。此外，轉向車及靠站公車之路線選擇則需對鄰方向的選擇機率加以加權考慮。

#### 4. 最大偏向角限制

最大偏向角係指車輛在行駛時，單位時間內所能偏轉的最大角度。偏向角的資料，於實際道路的駕駛行為會因為車種、車速的差異，而產生不同的偏轉角度，由於蒐集的困難度及差異性相當高，故蔡嘉霖[4]以等速圓周運動的切線角取代偏向角，以等速率圓周運動之切線角度表示，用以求得車速與最大偏向角度的關係。傅耀南[3]則使用美國交通工程手冊的資料，以 LOTUS123 軟體求得車速與最大偏向角的關係，使在模擬時帶入車速，即可直接獲得偏向角資訊。但此關係式指出汽、機車最大偏向角會隨著車速的增加而遞減，故在車速過大時套用此公式將使最大偏向角  $\theta_m$ 、 $\theta_s$  出現負值，李樑堅[8]對於此現象加入了一假設條件，設定最大偏向角度不得小於  $10^\circ$  ( $0.174$  弧度)，公式列示如下：

$$\theta_m = 0.355038 - 0.001807 \times V \quad (2.9)$$

$$\theta_s = 0.361748 - 0.02925 \times V \quad (2.10)$$

其中，

$V$  = 速度(m/s)

$\theta_m$ ：機車最大偏向角(弧度)

$\theta_s$ ：汽車最大偏向角(弧度)

近年來，對於車流推進行為的模擬又加入了另一類行為門檻模式，可與原有的二維座標法相配合，何佳娟[8]即是結合二維座標法與行為門檻模式進行車輛的推進。行為門檻模式主要是由傳統的刺激—反應方程式改良而來，修正原方程式中的僅只考慮到前後兩車間的相對車速關係：1. 只要有速差，不論距離有多遠均有影響；2. 只要相對速差不變，跟車反應亦不變等兩項主要缺點。

車輛行駛時，後車若與前車距離超過一定的間距，實際上後車的加減速行為並不受前車所影響。而在跟車行為方面，前後車的關係不只是受速差的影響，也會因和前車的間距遠近產生不同的跟車行為；後車若與前車間距過大時會加快速度，減少兩車間的距離差；若後車察覺與前車距離太近或是速差太大時，會以減速的方式減緩接近的速度，因此車輛在系統中的加減速與間距差會呈現震盪現象

，並在各種不同的車輛反應方向呈現如拋物線的感知門檻，圖形如圖 2.2 所示。

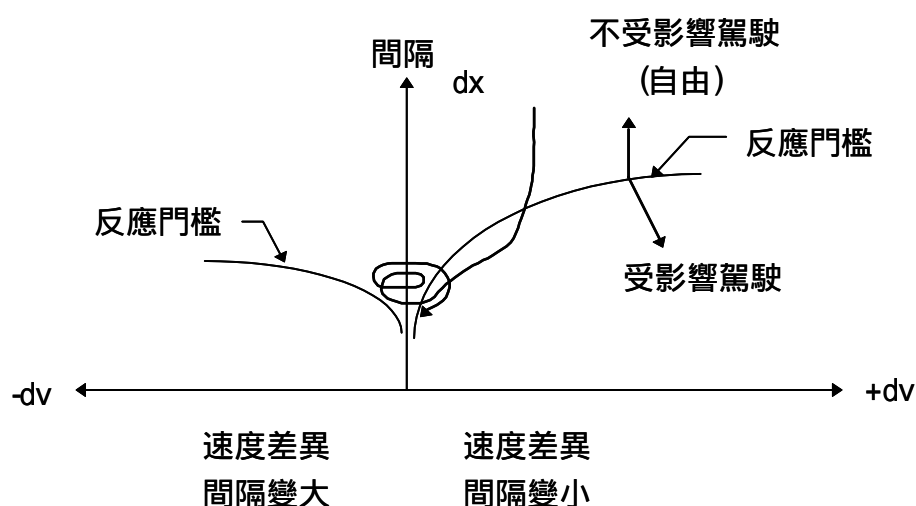


圖 2.2 同一車道前後車之相對運動過程示意圖

Wiedemann[30]將此「心理—物理間距模式」(Psycho-Physical Spacing Model)之觀念引進微觀車流模擬裡，構建數學化模式 (INTAC Model)，即為「行為門檻模式」(Behavioral Threshold Model)，亦可說是一種廣義車輛行為決策模式，包含了改良後的跟車決策模式(Car-Following Decision Model)，更有車輛的自由行駛、避禍煞停等實際道路上車輛行為。惟模式基本假設仍為單一車道，不考慮變換車道情形，將車流狀況分成三個反應區：

1. 感知反應區(Perceived Reaction)。
2. 無意識反應區(Unconscious Reaction)。
3. 無反應區(No Reaction)。

實驗並檢定過各感知門檻界限之區隔後，可再細分為各決策行為分區，共分為自由行駛區、跟車區、煞車避禍區及撞車危險區等四種不同車輛行為之分區。

## 2.2 號誌設計相關文獻

交叉路口匯集各方向的車流，為使各衝突方向的車流能安全、效率的通過，交通號誌設立便有其存在之必要性，惟號誌時制設計的優劣，更會影響一路口、路段甚至整體網路的績效；常見一主要幹道上的擁塞現象，多起因於單一路口的號誌時制設計失當所引起。如何分配路權於各方向上，且能使車流安全通過不發生衝突與避免過高的延誤，則是交通工程上一項挑戰。號誌時制若能依據實際交叉路口的流量與型態設計，才能達成有效的分配路權、確保車流的順暢及路網高服務品質的目標。故過去國內外學者開始以車輛流動作為交叉路口號誌時制設計之考量，而針對各車流方向所需的綠燈時間、週期長度等進行研究，在時制設計方法上，主要分為四大類：1. 方程式法(Formula)、2. 數學規劃法(Mathematical

Programming)、3.搜尋程序(Search Procedure)及 4.模擬法(Simulation)，分別詳述於下列各小節。

### 2.2.1 方程式法

以方程式計算各時相綠燈時間及週期公式，主要有三種：1.韋布斯特 (Webster) 時制計算公式、2.美國聯邦總署 (FHWA) 時制計算公式、3.公路容量手冊 (HCM) 建議方式。

#### (一) Webster 時制計算公式[16]

Webster 將交叉路口總延誤計算公式長度加以微分，得到最小延誤值的週期長度計算公式如下：

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - y_1 - y_2 - \dots - y_n} = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (2.11)$$

其中，

$C_o$ ：最佳週期長度(秒)

$y_i$ ：在時相  $i$  內最大流量對飽和流量之比值， $i=1 \dots n$

$Y$ ： $y_i$  的總和

$L$ ：每週期的全部損失時間(秒)

有效綠燈的計算可以以下式求得：

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{y_1}{y_2} \quad (2.12)$$

其中，

$g_1$ 、 $g_2$ ：時相 1 與時相 2 的有效綠燈時間(秒)

$y_1$ 、 $y_2$ ：同前式定義

式 2-11 可擴充至二時相以上的有效綠燈計算，若  $C_o - L$  表示整各週期內所有有效綠燈之總和，則各時相之有效綠燈時間可以以式 2-12 表示。

$$g_i = \frac{y_i}{Y} (C_o - L) \quad i=1 \dots n \quad (2.13)$$

運用 Webster 公式計算所得之時制，乃為交叉路口最小之延滯，且求解迅速，但在有重疊時相(Overlap)時，此方法並不易求解且易造成延誤較大的現象。此外，以此公式計算之週期，會較實際所需之週期為長，形成綠燈時間的浪費。

#### (二) FHWA 時制計算公式[17]

美國聯邦總署(FHWA)在 1983 年提出獨立號誌路口時制計算步驟，以總需

求(TD)與比例需求(CD)指標，指出一天需要多少套時制計劃：

$$TD = (N, S)_{\max} + (E, W)_{\max} \quad (2.14)$$

其中，

TD：交叉路口總需求

$(N, S)_{\max}$ ：往南或往北方向最高需求

$(E, W)_{\max}$ ：往東或往西最高需求

由上述之條件，可得到比例需求值為：

$$CD = \frac{(N, S)_{\max}}{TD} \quad (2.15)$$

由總需求(TD)可得知一天所需的週期時間，當 TD 小，則可考慮較短的週期時間。而比例需求(CD)則用以表示哪一方向的交通需求較大，需要較高的時比。且在時相變換的過渡時間內，為紓解來不及煞停的車輛，需加入一段黃燈及全紅時間作為清道時間，一般而言清道時間建議採 3 至 6 秒鐘，FHWA 亦有時相轉換的建議公式：

$$CP = t + \frac{V}{2a + 64.4g} + \frac{W + L}{V} \quad (2.16)$$

其中，

CP：黃燈加全紅時間(秒)

t：反應時間，取 1 秒

V：接近路口速度(英呎)

g：坡度，上坡取正，下坡採負(%)

a：減速率(英呎/秒<sup>2</sup>)，建議採 10 英呎/秒<sup>2</sup>

W：交叉路口寬度(英呎)

L：車長，一般取 20 英呎

號誌時制的週期為先計算最小綠燈時間乘上各時相臨界車道的流量比值，將各方向調整後之綠燈時間加總起來，便得一個週期應有的綠燈時間。而最小綠燈時間則是以行人綠燈時間為主，以行人能夠安全的通過為目標，其公式為：

$$GP_i = 7 + \frac{W_i}{4} - Y \quad i=1 \dots n \quad (2.17)$$

其中，

GP：最小綠燈時間

W：交叉路口該方向寬度(英呎)

Y：黃燈時間



i：第 i 時相，共 n 個

### (三) HCM 建議方式[18]

根據 1997 年出版的公路容量手冊(HCM)，採用臨界車道及臨界流動的概念計算週期。以週期內的損失時間應佔的比例反推最小需要週期時間，其中一時相綠燈時間的計算乃以臨界流動需要的最小綠燈時間為主，並在計算出期望週期後取整數週期，以利時制的設定。每時相的有效綠燈時間則以全週期的有效綠燈時間乘上臨界流動佔總流量之比值。其中  $S_0$  表示在某種服務水準下每車道每小時理想的流量。

$$C_{des} = \frac{3N}{1 - \frac{V_c}{0.85S_0PHF(v/c)}} \quad (2.18)$$

其中，

$C_{des}$ ：期望最小週期(秒)

N：時相數(個)

$V_c$ ：臨界流量(vpl)

PHF：尖峰小時因素

$v/c$ ：流量與容量比

$$g_i = (C - L) \times \frac{S_i}{V_c} \quad (2.19)$$

其中，

$g_i$ ：時相 i 內有效綠燈時間(秒)

C：一週期長度(秒)

L：全週期損失時間(秒)

$S_i/V_c$ ：臨界流量佔路口流量比

### 2.2.2 數學規劃法

若號誌系統擁有明確的目標及限制式，且希望在有限資源下做有效的利用，通常會採行數學歸納法。過去所從事之研究，多以週期最短、延誤最小等兩類作為目標式。限制式則為最小綠燈時間及滿足交通需求等。下面列出常用於時制設計的四項數學規劃法。

- (一) Martin-Löf[19]以動態規劃方式發展路口最佳化號誌控制，將紓解等候車隊作為模式的重點，並不需先行假設車隊抵達及疏散之統計分配型

態，但對於號誌時制計劃所產生的延滯、週期長度並未加以計算及評估。

- (二) Allsop[20]採用 Webster 延滯簡化公式，目標式為使系統之延滯最小，限制式則為週期時間限制、最短綠燈限制與容量限制三部份。本模式主要著重各方向之  $v/c$  不能大於或等於 1，並設立一階段矩陣(Stage Matrix)表示每一方向存在之車流方向，但此模式僅能應用於時相數固定、且時相出現順序不變的條件下。
- (三) Importa 和 Cantarella[21]發展一套二元混合整數線性規劃模式，涵蓋使交叉路口容量最大、週期時間最小及延滯最小等三項目標，亦利用各車流方向的  $v/c$  小於 1 的特性，並建立車流衝突矩陣，以判定該車流方向在各時相內是否存在，並將不衝突的方向歸入同一時相內，以縮短週期長度。
- (四) Sakita[22]以週期時間最短為目標，限制式則為要求各車流方向之  $v/c$  小於 1，類似於 Allsop 的模式，必須建立號誌時相與車流流動間之矩陣，但限制式無法避免選擇互相衝突之車流，故使用受到限制。

### 2.2.3 搜尋程序法

搜尋程序法乃依一連串的步驟以求出號誌時制計劃的方法，以事先設定之標準，對可能的產生的結果逐一進行比較，捨棄較差的評估值，最後擇出最佳的號誌時制計劃。搜尋程序大致包含下列七項：

- (一) 計算起始週期
- (二) 調整左轉車當量
- (三) 調整左轉容量
- (四) 指定時制數目
- (五) 決定每一控制策略流量
- (六) 在調整週期及左轉量
- (七) 綠燈時間微調

目前市面上之套裝軟體通常都內含搜尋近似最佳化的程序，包含著名的 SOAP、TRANSYT-7F 等，都賦予一起始週期、時比，在依其搜尋程序分別給予週期、時相、時比最佳化，使其目標式能達到最小延誤值。但其尋優的結果，得到的僅是在某種特定條件下的近似最佳解，並非為整個系統之最佳解。

#### 2.2.4 模擬法

模擬法為建構一近似真實系統的模式，觀察模式內各評估值之績效，選取當績效值最佳時的時制計劃作為最終計劃。模擬的方式分為兩類：

- (一) 事件掃描法：有事件發生時才進行處理，無事件發生則不處理，但系統每次掃描的時間並非固定，適合大範圍的系統處理。
- (二) 時間掃描法：將週期以單位時間的方式分為許多時階(steps)，每隔一時階則自動對系統進行掃描動作，並記錄該時階之系統整體狀況。通常會配合搜尋程序最佳化的方式進行模擬，當時階越小時，其計算量越大，但越貼近實體車流狀況。

而依據模擬的對象分為三類，巨觀、中觀及微觀：

- (一) 巨觀：著重在整體車流、車隊的移動及延滯狀況。對於車輛行為則以平均數值處理，並不模擬單一車輛狀況。
- (二) 中觀：模擬以車隊為主，對於車輛的推進，採事先調查或分析的平均數值處理，且不處理車與車之間的干擾行為，可節省空間並適用較大型的網路。
- (三) 微觀：以單一車輛作為模擬對象，紀錄車輛在路口、路段的軌跡及駕駛特性，並利用跟車模式進行車輛的模擬，但不易模擬大型網路。

### 2.3 幹道連鎖號誌控制相關文獻

幹道時制設計的問題遠較獨立路口複雜，時制的設計除與自身路口的幾何型態、交通特性相關外，亦需適當調配鄰近路口的號誌時制與綠燈開放時間，使主要車流得以不受阻礙的連續通過各路口，達到最小延滯或最大續進的目標。近年來以此概念設計的號誌時制目標通常有三類[6]，一為最大綠燈帶法、一為最小負效用法、一為帶寬與負效用聯合求解法。

#### 2.3.1 最大綠燈帶法

最大綠燈帶法乃以雙向綠燈帶寬和最大為設計目標，主要為希望在綠燈帶內的車輛能夠以最大續進的方式行駛於幹道上。依據此概念設計的軟體有 MAXBAND 及 PASSER- 等，但依這些號誌時制設計軟體所模擬之綠燈帶寬可能會有不存在的現象。

#### 2.3.2 最小負效用法

最小負效用法的目的在於使幹道系統內的負效用績效指標最小，此處的負效

用包含延滯、停等次數、等候線長度、燃油消耗及空氣污染等。以此概念設計之軟體有 TRANSYT-7F 及 SIGOP-，分別以「延滯及停等次數」及「最小化延滯、停等次數、路段溢流」等作為目標式。

### 2.3.3 最大綠燈帶與最小負效用混合法

綠燈帶法會使得支道產生過大的延滯，最小負效用法卻無法使幹道產生續進帶，為使幹道能同時滿足此兩項目標，林良泰[23]以最大續進化為主最小延誤值為輔之雙層規劃模型作為滿足此兩目標之方法，其餘有兩段式求解法，先利用最大續進軟體求出最佳時制在帶入求最小延滯的軟體中，重新計算出最佳時制，但以此混合求解方法卻不能確保得出的最佳時制能同時達到最大續進及最小延滯之目標。

## 2.4 國內外著名的套裝軟體

目前已發展完成的多套著名號誌控制程式，可分為適用於獨立路口(如 SOAP-84、TRANSYT-7F、PASSER、COMDYCS-、SIGOP-)、適用於幹道(如 TRANSYT-7F、PASSER、COMDYCS-、MAXBAND)以及適用於網路(如 TRANSYT-7F、COMDYCS-、SIGOP-)等各種不同狀況下，產生號誌最佳時制，其中網路號誌設計程式亦可設計幹道號誌時制系統。若以系統的但本研究討論的範圍限定為以微觀觀點探討號誌連鎖模式，諸多的模擬軟體中，僅有 PASSER、MAXBAND、COMDYCS- 能同時兼顧本研究之研究範圍，未來之研究工作項目中亦會將本研究所模擬之績效值與此三軟體做比較，故將該軟體設計之理念及程式功能分述如下：

### (一) PASSER[24]

PASSER 主要用於幹道號誌，不僅具有多時相設計，且能求解最佳週期、時比及時差，並評估各路口之服務品質，係為一巨觀最佳化之號誌時制求解軟體。

此模式主要以幹道雙向續進帶寬最大化為目標，次要兼顧幹道延滯最小化。其有效度指標代表相對的綠燈帶寬和，若值小表示幹道的車隊續進仍受阻於紅燈，所造成的延誤值亦大。PASSER 號誌設計的程序如下：

1. 先計算有效度最大時的共同週期
2. 利用 Webster 公式求得多時相設計所需的綠燈時比，再輸入最小綠燈時間調整已分配之綠燈時間
3. 依輸入之流量列出八種替選時相供作選擇
4. 進行時差微調

此模式未考慮車隊擴散之特性，且僅針對幹道的續進及延誤進行研究，對於支道的續進及延誤值並不重視，在程式最佳解部分受到輸入週期範圍極大的限制。

## (二) MAXBAND[25]

以混合整數線性規劃觀念，求出綠燈帶寬的最佳解，在時制設計上，適合於幹道及迴路型的網路系統。

MAXBAND 以幹道雙向最大「綠燈帶寬/週期比」之和為目標函數，以求得幹道上各路口共同週期、時相順序、綠燈時間及時差。其最適解則採用 Land and Powel 的分支定限法加以完成，僅有續進帶寬一項評估指標，因此 MAXBAND 僅有注重主要幹道之續進帶寬及缺乏延滯停等考量等缺點。其號誌設計之程序如下：

1. 輸入時制設計所需之資料
2. 依據流量及飽和流量之比值，計算各路口各時相的綠燈時比
3. 以此時比帶入模式求最佳綠燈帶寬、週期時間及時差

## (三) COMDYCS- [8]

COMDYCS- 為第三代電腦化適應性交通控制系統之簡稱，主要是參考 SAST 模式加以擴充，由原先的四級決策增為六級決策，其加入二元方案的最佳化決策模式，以考慮溢流保護、車隊續行、等候線長度及交通需求作為「得失比」判斷準則，在最短及最長綠燈的限制下，作為綠燈時間  $t$  是否延長或切斷的決策判斷。

## 2.5 綜合評析

- (一) 混合車流之研究自二維座標法發展至今已十餘年，具有相當程度之完整性，行為門檻模式亦是近年來較常用於車流模擬的模擬方式，可依據與前車的距離及速差進行車輛的推進行為，較早期的 M-L 跟車模式、四大跟車模式僅考慮與前車的距離，行為門檻模式考慮較為周詳。且部分汽機車駕駛行為及道路設施仍未被完全模化，如車輛在路段上遭遇障礙物的強迫性變換車道行為，及機車停等區的新佈設等，這些在車輛運行時可能發生的狀況均會劇烈的影響到原有單一模式的正確性，故原有混合車流模式有擴充及同時考量使用的必要性。本研究將針對機車行為門檻部分加以改良，增加橫向行為判斷準則，並加入新的道路幾何設計以求近於實際道路狀況。

- (二) 號誌路口時制的設計方式以模擬法包含最多的彈性，可以依據實際的人、車、路狀況給予不同的屬性，在一連串的實驗下得到近似最佳化的最佳時制解，但其餘求解最佳化時制的方式為求最佳解成立，必須簡化限制式，亦使該模式與實際狀況差異甚大。故本研究將採用可以符合實際道路狀況的模擬法作為本研究時制之求解方法。
- (三) 最大綠燈帶寬法通常僅考慮到主幹道的續進，最小負效用法則不能使得車輛在主幹道上產生續進的運行，故帶寬與負效用混合求解為近年來連鎖號誌研究所努力朝向的目標，同時能兼顧車流續進的效能及系統中的污染、延滯最小的雙重目標，其號誌時制決策邏輯發展甚多，但未有完整且成熟的理論出現。本研究將採用延誤值與續進率兩項指標作為系統績效值，將同時滿足續進最大與延誤最小等雙重目標。
- (四) PASSER 為一巨觀定性之最佳化時制設計軟體、MAXBAND 以幹道續進帶最大為目標、COMDYCS- 則為適應性號誌時制設計軟體，其時制設計邏輯均不相同，且這些套裝軟體並無法模擬出混合車流的行為，故本研究將應用所知軟體的各項控制邏輯，並加以改善及應用，發展本研究之號誌連鎖邏輯，本研究將以自行開發、且符合台灣地區車流特性的混合車流模式，並輔以號誌控制的策略邏輯，發展最適化時制設計模型。

## 第三章 系統架構與理論依據

### 3.1 系統假設

實際車流的運行行為及變化情形相當多，無法以單一車流模擬程式涵蓋所有的車輛行為，勢必需要對於複雜或精細的動作加以簡化，以利研究工作之進行。據過去的研究指出[6][7][8]，車流在道路上運行主要受到四種因素的影響，即人、車、路及交通控制設施等四項因素，這些因素密切的影響車輛在道路上行進及其所展現出的車流行為，且交互作用的結果更使得車輛行為產生瞬時變化；為求模擬之簡化，故本研究將針對此四項影響因素做一基本性的假設。

#### (一) 駕駛人因素方面

駕駛人特性不因性別、年齡、與反應時間等不同而產生差異，均視為同質駕駛者，並假設駕駛者之行為均為理性。惟駕駛人行為分為三類：非常積極型、積極型及保守型。汽車駕駛者具有兩類性格：積極型及保守型兩類，積極型的駕駛者變換車道的頻率較保守型駕駛人高；此外，機車駕駛人方面則分為非常積極型、積極型及保守型三類，除行駛車道位置的差異、及變換車道的頻率外，非常積極型的駕駛者變換車道的可接受間距將小於積極型及保守型駕駛者，此部份駕駛人駕駛特性之設定乃用一估計因子及安全因子控制

#### (二) 車輛特性方面

於實際道路上行駛的車輛繁多，為求簡化模式，於本研究中僅就機車與汽車兩種車輛進行模擬。且同種類的車輛其車體尺寸及加減速能力亦相同。

#### (三) 道路型態方面

本研究所假設的道路環境為路段平整無坡度、無公車專用道，路口為十字直交路口，此外，加入機車停等區及車輛遭遇障礙物之設計。

#### (四) 交通控制設施方面

路段上禁止車輛迴轉及逆向行駛，無車輛駛進駛出等路邊干擾行為，車輛皆遵守燈號管制。道路型態以兩車道為主，並可視實證情況擴充車道數；汽車具有車道概念，進入位置均在車道線中央，變換車道亦以抵達該車道中線為準。惟機車可行駛於任意車道位置，車流狀態屬於機汽車混合車流。連鎖號誌應成立於幹道系統，連接數個路口進行號誌控制。

## 3.2 系統架構

根據實際的車輛駕駛行為及過去的文獻研究，加入本研究欲擴充之車輛特性，車流模擬行為及連鎖系統整體架構圖如圖 3.1 所示。受到人、車及道路環境特性差異的影響，其汽機車駕駛特性也就不同，因而造成不同種車輛在路段上運行時之行駛速率與通過路口之時間產生差異，使得原先車輛期望的旅行時間應加入延誤值。為能使連續通過路口的車流量最大、延誤值最小，而必須訂定號誌的連鎖策略。模式中的各行為分析說明於以下數節。

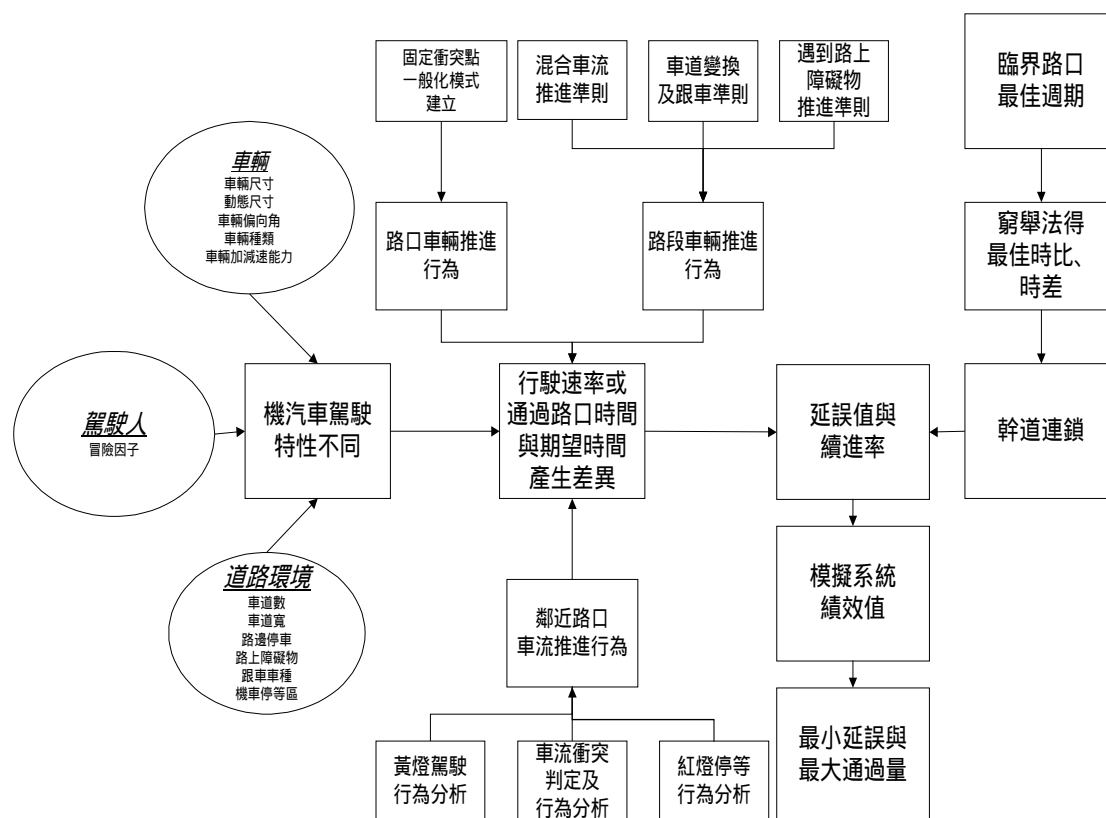


圖 3.1 系統圖

### 3.2.1 模擬系統的系統掃描方式

依過去文獻的模擬模式中，關於時間的掃描方式計有兩類，分為固定時間掃描法及變動時間掃描法。

#### (一) 固定時間掃描法

稱為時間掃描法；以某一固定長度時間進行系統的掃描，定期更新系統內車輛的各種屬性，通常適用於車輛在模擬系統內之推進。

#### (二) 變動時間掃描法



又稱為事件掃描法，指系統於某一事件產生後才進行系統的更新與處理，否則不處理，通常用於車輛的產生。

上述兩類的系統時間掃描方式應用廣泛，故本研究將併用此兩類方式，在系統內車輛的產生採變動時間掃描法，當車輛之起始時間等於系統時間時，方為啟動事件；而車輛於系統內的推進採固定時間掃描法，每隔一秒掃描全部系統一次以進行車輛屬性更新。

### 3.2.2 模擬系統的車輛產生與其車輛特性分析

#### (一)車輛產生

模擬系統的車輛產生通常以車輛的抵達率作為代表，一般分析車輛抵達的方法有間距法及計數法兩類：

##### 1. 間距法：

通常指相隔兩部車輛產生的時間間距，用以表示車輛抵達系統的確切時間依據。因車輛具有依序產生及依序行動的特性，適用於具有車道概念的汽車車輛抵達分析。而依據間距法所產生的車輛抵達型態可能有四類：負指數分配(Negative Exponential Distribution)、伽瑪分配(Gamma Distribution)、耳朗分配(Erlang Distribution)及對數常態分配(Lognormal Distribution)等四類。

##### 2. 計數法：

以一段時間內抵達系統的車輛數作為車輛抵達系統的依據，因機車行駛特性使然，其並無車道的概念，故不能以間距法配適出機車的抵達率，本研究便利用計數法配適車輛的抵達型態。主要有四種不同的抵達型態：普瓦松分配(Poisson Distribution)、二項分配(Binomial Distribution)、一般化普瓦松分配(Generalized Poisson Distribution)及負二項分配(Negative Binomial Distribution)等四類。

#### (二)車輛特性分析

為求車輛的模擬符合實際上的車流行駛特性，在車輛特性分析上分成三部份：1.車輛屬性、2.車輛於系統中的起始位置及 3.車輛型態分析。

##### 1. 車輛屬性

進行車輛模擬時，因每部車均具有獨特的屬性：如駕駛人因子、欲保持的動態間距、轉向需求、期望速率等，因屬性的差異可使每部車輛產生

不同的道路駕駛行為，以近實際車輛行為，故依據不同的分配型態給予車輛屬性。

## 2. 車輛於系統中的起始位置

本研究模擬的道路系統為兩車道和兩混合車道，汽車的產生不論於快慢車道上，均在車道線中央；機車產生的位置則為隨機，可任意出現於各個位置。

### (三)車輛實體車長、車寬與靜態車長、車寬研究

本研究中為簡化車種，車輛僅分為機車與汽車兩類，單一車種的實體車長、車寬特性相同，根據[8]研究的實際丈量，車輛的實體車長、車寬資料如表 3.1。

靜態車長為車輛在靜止時，希望與前車保持的車間距離，計算方式為實體車長加入一段安全停車間距。靜態車寬為車輛靜止時，希望與鄰車保持的最小側向間距。靜態車長、車寬大小通常與駕駛人特性相關，駕駛人的個性越積極(即估計因子及安全因子越小)，所需保持的間距越小。

表 3.1 車輛實體尺寸

項目 車種	實體車長 調查範圍(公尺)	平均數(公尺)	實體車寬 調查範圍(公尺)
機車	1.8~2.0	1.9	0.7~0.75
汽車	4.0~4.5	4.3	1.55

註：參考來源[8]

### (四)車輛最大偏向角

『最大偏向角』是指車輛在行進時，每單位時間所能偏轉的最大角度。本研究引用傅耀南[3]所提出的車速與偏向角關係式，於模擬進行時，代入車速可方便求得最大的偏向角。但在速率太高時，代入所得的最大偏向角會造成負值，故為避免負值，令最大偏向角的下限為 10 度(弧度為 0.174)。其公式列式如下：

$$\theta_m = 0.355038 - 0.01807 * v \quad \text{車速 } 0 \leq v \leq 10.018(\text{m/s}) \quad (3.1)$$

$$\theta_s = 0.361748 - 0.02925 * v \quad \text{車速 } 0 \leq v \leq 10.018(\text{m/s}) \quad (3.2)$$

$$\theta_m, \theta_s = 0.174 \quad \text{車速 } v > 10.018(\text{m/s}) \quad (3.3)$$

其中， $\theta_m$ ：機車最大偏向角(rad)

$\theta_s$ ：汽車最大偏向角(rad)

### 3.3 混合車流理論

本節欲建立混合車流模擬模式之規劃流程，包含初步的車流模組函數分析、車流資料的蒐集與分析、路段車輛推進邏輯建立、路口車輛推進行為邏輯建立及鄰近路口車流推進行為邏輯建立等數種混合車流在路段、路口上應有的特性與行為。

#### 3.3.1 車流模組函數分析

第二章曾針對國內外相關之車流推進理論，如 M-L 矩陣跟車方程式、動態車長、二維座標理論及行為門檻模式等進行比較分析，本研究於第二章的文獻評析中針對數種理論的優缺點進行分析，最後選用行為門檻模式作為車輛直進行為的推進、二維座標法模式補強車輛的橫向移動。

行為門檻模式中，利用實際觀測調查並檢定過各感知門檻界限之區隔後，細分為各決策行為分區，如圖 3.2 所示：共分為自由行駛區、跟車區、煞車避禍區及撞車危險區等四種不同車輛行為之分區。

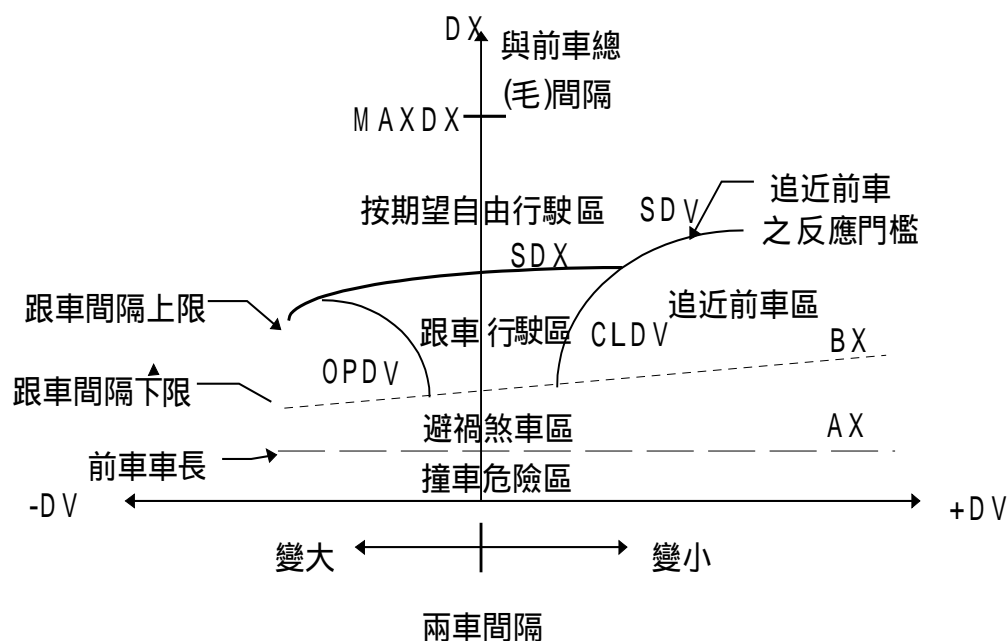


圖 3.2 行為門檻關係圖(參考來源：32)

其中，各區之行為門檻涵義如下：

#### 1. 靜態間距 (AX)

本車在靜止時希望與前車所保持之車頭距。

$$AX = L + K_1 + K_2 \times Z_1 = 4.3 + 0.5 \times Z_1 \quad (3.4)$$

## 2. 最小安全間距(BX)

本車車速與前車相近時，所欲維持之最小跟車間距。

$$BX = AX + (K_3 + K_4 \times Z_1) \times \sqrt{V} = AX + (0.5 + 0.5 \times Z_1) \times \sqrt{V} \quad (3.5)$$

## 3. 感知速差門檻(SDV)

為在一較大間距下，跟車駕駛者對於速度差異(後車車速減前車車速)之感知門檻；SDV 愈大，表示本車安全需求愈高。由本車目前間距 DX 與兩個隨機因子(安全因子及估計因子)計算而來。

$$SDV = \left( \frac{DX - AX}{CX} \right)^2 \quad (3.6)$$

$$CX = K_5 \times (1 + Z_1 + Z_2) = 3 \times (1 + Z_1 + Z_2) \quad (3.7)$$

## 4. 跟車間距上限(SDX)

為顧及駕駛者判斷間距能力之差異，SDX 約在 1.5~2.5 倍最小安全間距範圍內振盪。

$$SDX = AX + EX + (BX - AX) \quad (3.8)$$

$$EX = 2 - Z_2 + NZ \quad (3.9)$$

## 5. 間距漸減速差門檻(CLDV)

在一較小間距、間距漸減且速差為正之情況下，速度差異之門檻值，由 SDV 與隨機因子計算而得。

$$CLDV = SDV \times EX^2 \quad (3.10)$$

## 6. 間距漸增速差門檻(OPDV)

在一較小間距、間距漸增且速差為負之情況下，速度差異之門檻值，其值約為 1~3 倍 CLDV 值，此因駕駛者通常對正在遠離物比正在接近物反應較遲緩之因。

$$OPDV = CLDV \times (-1 - 2 \times NZ) \quad (3.11)$$

## 7. 靜態側向間距(AW)

AW 為機車駕駛人在靜止時，所希望與鄰車所保持的最小側向間距，因鄰車的車種不同，對於側相間距的要求也有所差異。惟汽車具有車道觀念、其車輛的移動皆以車道中央位置為主，故無靜態側向間距問題。

$$AW_{m/m} = SW_{m/m} + ZF_2 = 0.15 + ZF_2 \quad (3.12)$$

$$AW_{m/c} = SW_{m/c} + ZF_2 = 0.45 + ZF_2 \quad (3.13)$$

## 8. 動態側向間距(BW)

BW 表示機車在運動時，與鄰車所保持的最小側向間距。

$$BW_{m/m} = \begin{cases} AW_{m/m} & 0 \leq V_m < 9.74(m/s) \\ 2 \times (ZF_2 - 0.5) \times S_{m/m} + a_{m/m} + b_{m/m} \times V_m & 9.74 \leq V_m < 12.79 \\ 2 \times PW_m & V_m \geq 12.79 \end{cases}$$

(單位:m/s) (3.14)

$$BW_{m/s} = \begin{cases} AW_{m/c} & 0 \leq V_m < 9.74 \\ 2 \times (ZF_2 - 0.5) \times S_{m/c} + a_{m/c} + b_{m/c} \times V_m & 9.74 \leq V_m < 12.79 \\ PW_c + PW_m & V_m \geq 12.79 \end{cases}$$

(單位:m/s) (3.15)

其中，M:機車代號

C:汽車代號

S:估機標準差

a、b:迴歸估計參數

PW:靜態車寬(m)

SW<sub>m/m</sub>:機車與機車之側向淨寬(m)

SW<sub>m/s</sub>:機車與汽車之側向淨寬(m)

ZF<sub>2</sub>:駕駛人估計能力不同，考慮 0~1 間的常態分配隨機變數

Z<sub>1</sub>、Z<sub>2</sub>為符合 N(0.5, 0.15)常態分配之隨機變數

Z<sub>1</sub>:駕駛員的安全因子，數字越大表示駕駛員越保守

Z<sub>2</sub>:駕駛員對於跟車狀況的估計能力，越精明者 Z<sub>2</sub> 較小

NZ:標準常態分配值

L:汽車車長(m)

V:車速(m/s)

V<sub>m</sub>:機車車速(m/s)

$K_1 \sim K_4$ : 為調整因子、用以微調靜態間距與動態間距所用

據文獻[7][29]，假設機車在低速行駛時，僅保持靜態側向間距即可滿足駕駛者的安全需求，在高速時若高於某一門檻值後即不再產生變化，此門檻值假定為車輛間靜態車寬和。由於車速若越快，側向間距亦越大，故利用迴歸式推估機車與機車、機車與汽車之最小側向間距。此側向間距用於兩車在行駛時必須保持一定的側向寬度，若兩車過於接近時，會向兩側多餘的空間平移一些位置，以保持行車的安全側向間距。

### 3.3.2 車流資料蒐集整理分析

經由現場調查建立汽機車之產生間距、基本車輛屬性及其期望速率、車輛於路段上行駛速率分布情形等資料，並參考過去對於車輛加減速特性及汽機車駕駛人駕駛屬性之研究，供後續模擬運作使用。

### 3.3.3 路段車輛推進邏輯建立

車輛在路段上的推進，直進方向的推進採用行為門檻模式，在橫向方向的推進則利用二維座標法建立橫向推進模式。車輛與前車因速率與間距的差異，而產生了不同的推進行為：計分為自由行駛區、跟車行駛區、迫近前車區、避禍煞車、撞車危險區、變換車道、及遇到路上障礙物推進等七類行為。汽、機車在面對此七項行為時將會產生不同之反應，故將七類行為分為三個模組進行討論，此三類模組為：直進車流推進準則、車道變換準則、及遇到路上障礙物推進準則。

#### (一) 直進車流推進準則

在車輛直進模擬方面，採用行為門檻模式，根據車輛的車速與前車的間距，如 3.1 節敘述的門檻值判定現行的車輛行為，記共有五項車流行為：自由行駛區、跟車行駛區、迫近前車區、避禍煞車區及撞車危險區。分別詳述基本狀況如下，直進車流的推進邏輯如圖 3.3 所示：

#### 自由行駛區

車輛為首車或是與前車相距甚遠(小於 SDX)時，車輛可以依據其期望速率行駛，未達期望速率時，能以自由流加速度加速前進，若超過期望速率，則以自由流減速度進行減速。車輛依據車型、車速與道路坡度不同，其加速能力亦不同，當車速越快時，正常的加速能力會也逐漸減少，根據[7]所敘述，自由流加減速度與車速關係如式 3-16 至 3-19 所示，其中  $V$  與 ACC、DCC 等均為時間的函數。

$$ACC_m = 3.7318 - 0.00257 * V_t \quad (3.16)$$

$$ACC_c = 3.8562 - 0.00263 * V_t \quad (3.17)$$

$$DCC_m = 0.01823 - 0.00384 * V_t \quad (3.18)$$

$$DCC_s = 0.01487 - 0.00346 * V_t \quad (3.19)$$

其中， $V$ :速率(m/s)

$ACC_m$ : 機車自由流加速度(m/s<sup>2</sup>)

$ACC_c$ : 汽車自由流加速度(m/s<sup>2</sup>)

$DCC_m$ : 機車自由流減速度(m/s<sup>2</sup>)

$DCC_c$ : 汽車自由流減速度(m/s<sup>2</sup>)

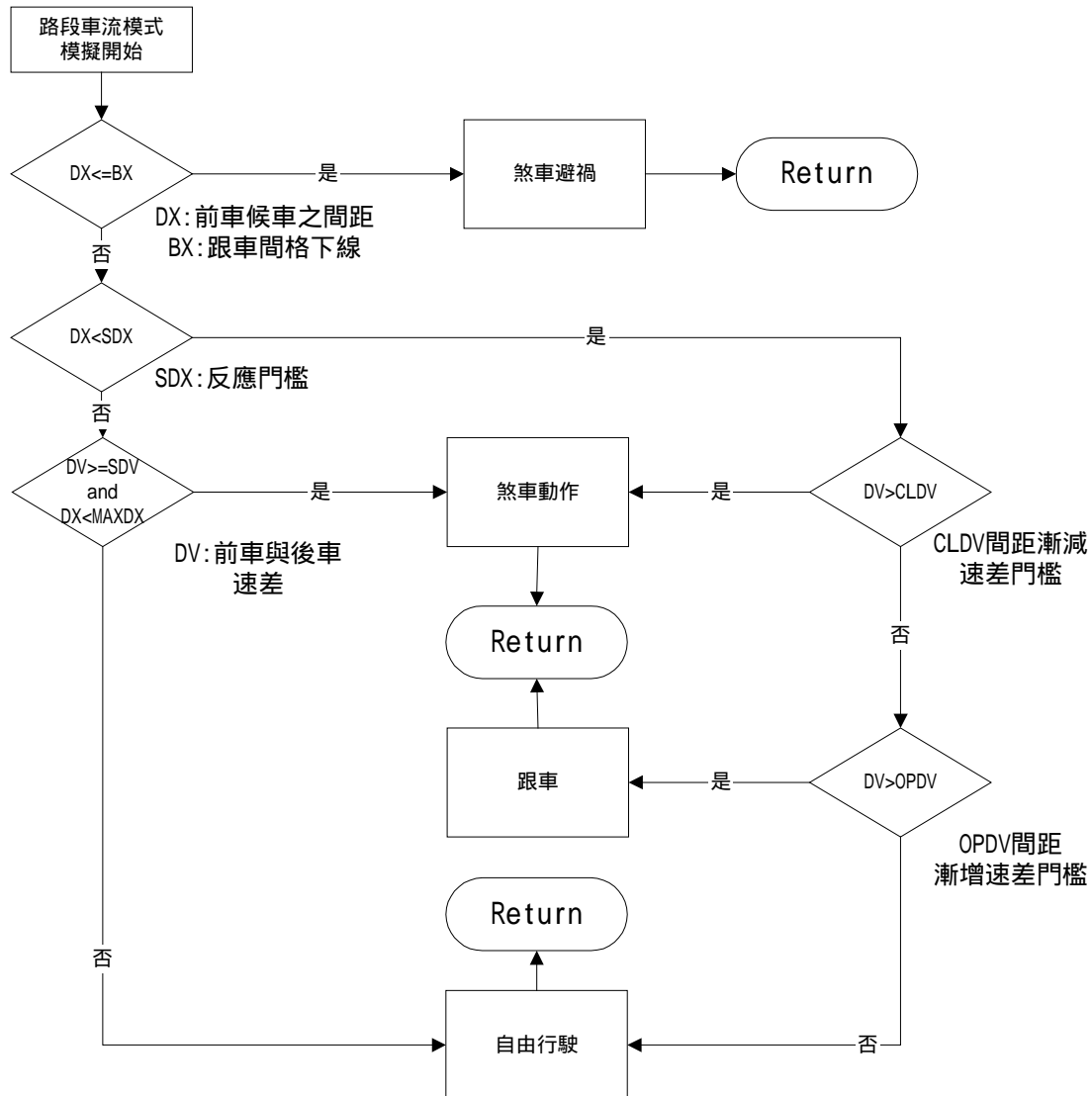


圖 3.3 直進車流推進邏輯圖

若車輛與前車在跟車間距上下限間，且兩車間速差為負(後車車速小於前車)，則依干擾流加減速進行與期望速率的加減速動作，且根據文獻[7]研究，因為前車的車種不同，對於加減速也會有不同的影響，公式如式 3-20 至 3-25 所示，其中  $ACC$ 、 $DCC$ 、 $V_t$ 、 $DX_t$  均為時間函數。

$$ACC_{m/m} = 0.013473 - 0.000548 * V_t + 0.000064 * DX_t \quad (3.20)$$

$$ACC_{c/m}=0.017372-0.000483*V_t+0.000064*DX_t \quad (3.21)$$

$$ACC_s=0.6926-0.00108*V_t+0.000127*DX_t \quad (3.22)$$

$$DCC_{m/m}=0.004980-0.000326*V_t+0.000527*DX_t \quad (3.23)$$

$$DCC_{c/m}=0.018641-0.000896*V_t-0.000527*DX_t \quad (3.24)$$

$$DCC_s=4.1253-0.0057*V_t-0.0031*DX_t \quad (3.25)$$

m:機車

s:汽車

$ACC_{m/m}$  : 前車為機車之機車自由流加速度( $m/s^2$ )

$ACC_{c/m}$  : 前車為汽車之機車自由流加速度( $m/s^2$ )

$ACC_c$  : 汽車干擾流加速度( $m/s^2$ )

$DCC_{m/m}$  : 前車為機車之機車干擾流減速度( $m/s^2$ )

$DCC_{c/m}$  : 前車為汽車之機車干擾流減速度( $m/s^2$ )

$DCC_c$  : 汽車干擾流減速度( $m/s^2$ )

### 跟車行駛區

當兩車的間距在最大跟車間距及最小安全跟車間距以內，前後車的速差不大，且依據自由性變換車道準則並不選擇變換車道時，則採用跟車行為。在此跟車行駛區內，車輛會因為前車的微量加減速行為而呈現間距震盪情形，直到幾秒後才能達到間距的平衡狀態，為表現此狀態，故採用M-L 模式呈現，公式計算如下：

$$\ddot{x}_2(t+1) = 1.0[\dot{x}_1(t) + \dot{x}_2(t)] \quad (3.26)$$

$$\dot{x}_2(t) = \dot{x}_2(t-1) + \frac{1}{2}[\ddot{x}_2(t-1) + \ddot{x}_2(t)] \quad (3.27)$$

$$x_2(t) = x_2(t-1) + \frac{1}{2}[\dot{x}_2(t-1) + \dot{x}_2(t)] \quad (3.28)$$

其中， $\ddot{x}_2(t+1)$  : 後車  $t+1$  秒加速度( $m/sec^2$ )

$\ddot{x}_2(t)$  : 後車  $t$  秒加速度( $m/sec^2$ )

$\dot{x}_2(t+1)$  : 後車  $t+1$  秒速度( $m/sec$ )

$\dot{x}_2(t)$  : 後車  $t$  秒速度( $m/sec$ )

$x_2(t+1)$  : 後車  $t+1$  秒位置( $m$ )

$x_2(t)$  : 後車  $t$  秒位置( $m$ )



$\dot{x}_1(t)$  : 前車  $t$  秒速度(m/sec)

### 追近前車區

當前後兩車的間距在最大跟車間距以內，且後車的速度大於前車時（有正速差），即處於追近前車區。後車若無法變換車道成功，則駕駛者被迫採行稍微煞車的動作，且若前車的加速度為負的時候，則必須以最大的減速度煞停，才能避免前後兩車過於接近。

$$bMin = -5.0 + 0.1V_i \quad (3.29)$$

$$b_i = \max \left( bMin, \begin{cases} b_{i-1} - \frac{(dV)^2}{2(dX - ax - dV \cdot \tau)}, b_{i-1} < 0 \\ -\frac{(dV)^2}{2(dX - ax - dV \cdot \tau)}, b_{i-1} > 0 \end{cases} \right) \quad (3.30)$$

bMin: 最大減速度(m/s)

$b_i$ : 本車應採用的加(減)速度(m/s<sup>2</sup>)

$b_{i-1}$ : 前車採用的加(減)速度(m/s<sup>2</sup>)

dV: 速差(m/s)

ax: 靜態車長(m)

dX: 兩車距離(m)

$V_i$ : 車輛車速(m/s) (包含汽車與機車)

$\tau$ : 該駕駛人反應時間，通常為 1 秒(s)

註: 參考來源[32]

### 避禍煞車區

車輛若與前車的間距小於動態安全間距，表示後車極有可能撞擊前車，故必須以最大的減速度進行減速，假設車輛最大的減速度為 bMin，公式如式 3.29 至 3.30

### 撞車危險區

在模擬程式中，並不模擬撞車的情形，故在本研究中並無撞車危險區的產生。

## (二) 橫向車輛推進準則

在車輛的橫向推進，通常是指車輛的變換車道行為；依據車輛的種類、駕駛者的積極性、與前車的速差和間距的差異，具有不同的推進距離，又車輛與前車及鄰前車的變換車道角度如圖 3.4 所示，其中的 A 車欲變換車道，需考量與前車 B 及鄰前車 C 的關係，亦需考慮變換車道成功後，是否能與後車 D 保持安全間距。

### 1. 橫向車輛推進準則的基本特性如下：

- (A) 本車車速大於前車車速。
- (B) 本車與前車間距在某個門檻值之間，使得車輛除非變換車道，否則即必須跟車行駛；機車可偏移一動態間距，進行錯置跟車行為。
- (C) 若左右兩邊車道均可以變換時，選擇速差大、可推進距離遠的鄰前車車道方向變換。
- (D) 變換車道的原因有三種：自由性變換車道、轉向性變換車道及強迫性變換車道。

### 2. 變換車道原因

#### (A) 自由性變換車道

本車的車速大於前車，且兩車間距在 15 公尺以內[8]，則可能進行變換車道動作，同時需確保變換車道完成後，能與前車保持動態安全間距，且後車不要撞擊本車，才准予進行自由性變換車道動作。

#### (B) 轉向性變換車道

若車輛未行駛於期望車道上，則會希望轉向該車道，且本車與前車的間距小於 10 公尺、本車加上 2m/s 大於前車車速，即進行變換車道動作。

#### (C) 強迫性變換車道

車輛未行駛於期望車道上，依據路段的長度及車輛的現行速率，大體上車輛位於近路口前一段距離時(過去研究為前 1/5 路段)，且變換車道後後車並不要撞擊本車，故必須即刻進行變換車道動作。汽機車駕駛者變換車道準則如表 3.2、3.3 所示。

### 3. 變換車道流程圖

綜合上述各種變換車道因素，可繪出車輛變換車道之流程圖如圖 3.5 所示。

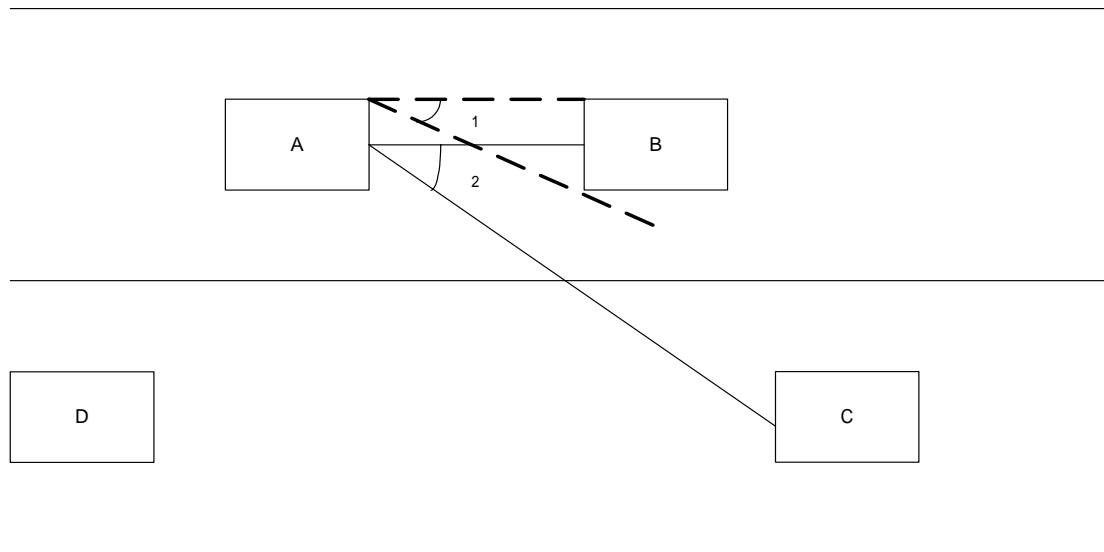


圖 3.4 變換車道角度判斷

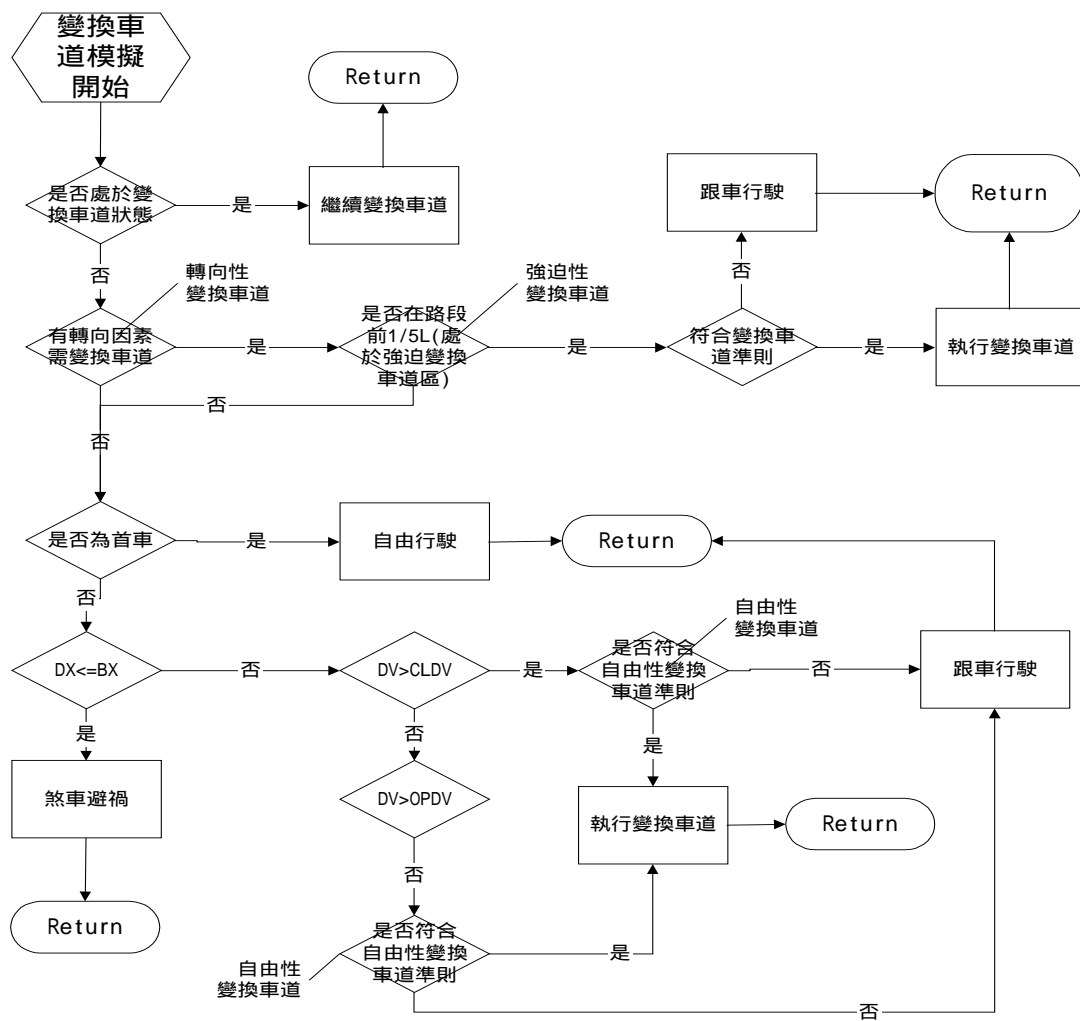


圖 3.5 變換車道邏輯

表 3.2 汽車變換車道準則(參考來源[8])

變換車道因素\駕駛者積極性	保守型	積極型
自由性變換車道	1. 本車的速度小於期望速度，且與前車有速差 2. 鄰車道後車在變換車道完成後不會撞擊本車 3. 變換到鄰車道的推進距離大於本車道的推進距離 4. 前車座標>鄰車道前車座標 5. $v_1, v_2 < MAX$ ，取 $\max(v_1, v_2)$	1. 與前車有速差 2. 若後車速度大於前車車速 3m/s 以上但前後車間距於 50m 以內 3. 其餘條件皆同左列
強迫性變換車道 (車輛行駛於路段 1/3 處)	1. 下一秒鄰車道後車以正常減速不會撞擊本車 2. $v_1, v_2 < MAX$	1. 下一秒鄰車道後車以最大減速率不會撞擊本車 2. $v_1, v_2 < MAX$

表 3.3 機車變換車道準則(參考來源[8])

駕駛者積極性\變換車道因素	保守型	積極型	非常積極型
自由性變換車道	1. 產生於靠路側的車道 2. 前後車距離大於 20m 以上不變換 3. 本車車速超過前車車速 3m/s 以上 4. 前車座標>鄰車道前車座標 5. 鄰車道後車下一秒不會撞擊本車 6. $v_1, v_2 < MAX$ ，取 $\max(v_1, v_2)$	1. 產生於任意位置 2. 可與旁車保持較小的側向間距 3. 前後車距離大於 15m 以上不變換 4. 本車車速>前車車速 5. 前車座標>鄰車道前車座標 6. 鄰車道後車下一秒不會撞擊本車 7. $v_1, v_2 < MAX$ ，取 $\max(v_1, v_2)$	1. 產生於任何位置 2. 可與旁車保持最小的側向間距 3. 前後車距離大於 15m 以上不變換 4. 本車車速>前車車速 5. 前車座標>鄰車道前車座標 6. 鄰車道後車下一秒以正常減速度不會撞擊本車 7. $v_1, v_2 < MAX$ ，取 $\max(v_1, v_2)$
強迫性變換車道 (車輛行駛於路段前 1/5 處)	1. 下一秒鄰車道後車以正常減速不會撞擊本車 2. $v_1, v_2 < MAX$	1. 下一秒鄰車道後車以最大減速率不會撞擊本車 2. $v_1, v_2 < MAX$	1. 下一秒鄰車道後車以正常減速率不會撞擊本車 2. $v_1, v_2 < MAX$

### (三)車輛遇障礙物推進準則

車輛在路段上行駛，可能會遭遇路面的障礙物或前方車輛突然停止等而產生減速及偏移行為，若駕駛人判斷有安全顧慮則會先採取煞車減速動作，隨後才會採取偏移動作以避開衝突障礙。如圖 3.6 車輛必須產生偏移才能安全的通過障礙物，其中所偏移的橫向距離大小乃依據駕駛人之危險感認而定。當感受到危險的機動車輛駕駛者比未感受到衝突危險的駕駛者需要較久的判斷思考及處理交通衝突之時間，且在進行偏移動作時也會與前車保持較為安全的時間間距。故根據上述之實際駕駛人行為加入反應時間及駕駛人對於危險認知因素[26]。

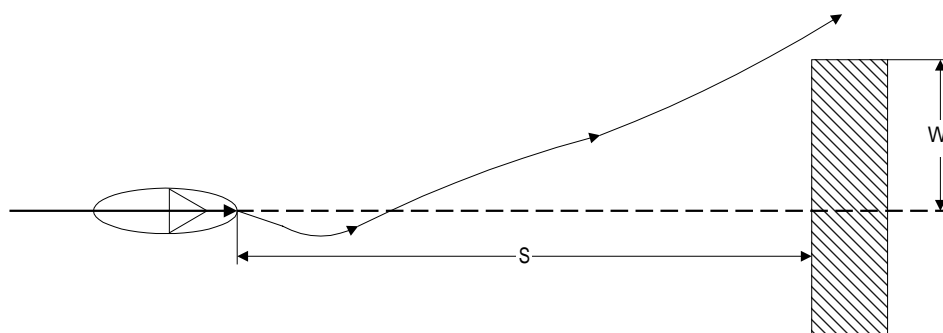


圖 3.6 遇障礙物時最小安全通過距離

$$\text{遇障礙物最小安全通過距離 } S = 0.45V \sqrt{\frac{W_c}{a_y}} \quad (3.31)$$

其中，

S:遇到障礙物時最小安全通過距離(m)

V:本身車速(v/s)

$W_c$ :障礙物寬度(m)

$a_y$ :最大偏向加速度( $m/s^2$ )

## 3.4 路口車流推進邏輯建立

本研究處理路口內的車流行進採用固定軌跡推進方式處理，對於路口內的衝突車流處理採用車輛優先順序及預期通過衝突區時間方式處理。

### 3.4.1 進入路口車輛分類

車輛由路段進入路口時，常常受到路段上同向車流及對向車流的影響，本研究為單向道車流之研究，故本研究進行路口車流推進邏輯時，進入路口的車輛僅有同向車流衝突情形。

#### (一)車輛位於車流衝突判斷區內

車輛面對衝突車流時需判斷是否可通過衝突區車流所在位置。衝突區的長度為車行方向衝突區之起點至車輛如需停於衝突區前之煞車決定點。

#### (二)車流不在變換車道區及車流衝突判斷區內

車輛不考慮同向或對向車流衝突的情形，僅進行原先的推進行為。

### 3.4.2 固定軌跡推進模式

機動車輛在路口所產生的推進行為，由於轉向關係，造成在路口衝突車流交織現象，加上機車軌跡的分布，使得車流在路口的軌跡型態十分複雜，如圖 3.7 所示，顯示在直交路口包含直行、左右轉等軌跡圖形。為便於模式的處理，並參照 TEXAS 模式之研究結果，乃採用固定軌跡方式處理路口車流運行。一般而言，直行的軌跡與實際車流運行軌跡相似，而根據研究顯示[8]研究所建之圓弧軌跡與實際軌跡相比則有 5%的誤差，由於誤差範圍並不大，乃忽略不計。故可建立一般化路口車流軌跡模式。

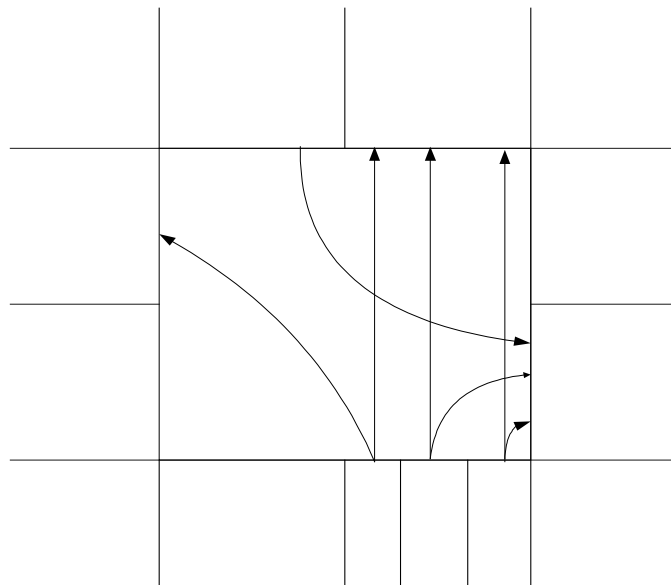


圖 3.7 直角十字路口軌跡圖(參考來源:[8])

一般而言，路口軌跡若轉換為幾何圖形可分為兩部分，一為直線軌跡，另一為圓弧軌跡，處理方式如下：

#### 1. 直行的幾何軌跡

直行的軌跡雖以直線段表示，惟電腦無法處理斜率為無限值的概念，故仍需分為兩部分加以討論。

(A) 直線斜率為有限值，可用下列公式加以表示：

$$Y=MX+Xb \quad (3.32)$$

$$M=(Y_2-Y_1)/(X_2-X_1) \quad (3.33)$$

其中，M 表示斜率， $(X_1, Y_1)$  及  $(X_2, Y_2)$  乃表示為直線上的兩點

$Xb$  表示為直線交於 Y 軸上的截距

(B) 直線為斜率無限大之直線，因  $X_2-X_1=0$ ，使得電腦無法計算斜率，乃將公式改為  $X=X_1$

## 2. 圓弧的幾何軌跡

左右轉向的軌跡雖以圓弧段表示，僅於路口為直交方式適用，路口若並非單純的十字直交，如兩鄰近方向不同寬度時，其轉彎的軌跡則需以一段圓弧及一段直線表示，分類的方式如圖 3.8 所示：

其中，ADX：進入路口及離開路口兩點間之 X 座標差距

ADY：進入路口及離開路口兩點間之 Y 座標差距

：進入路口及離開路口兩條切線所夾之外角，也是圓弧的角度

RC：臨界半徑，及 ADX 與圓弧角度所推算出之臨界虛擬半徑

R：實際車輛車行軌跡半徑

DY：為圓弧終點至離開路口點之距離

YC：為實際圓弧終點與進入路口兩點內之 X 座標之差距

### 3.4.3 衝突車流處理方式

過去國內外文獻對於衝突區內車流的處理方式有兩種：1. 接受間距法及 2. 時間優勢法。

#### (一) 接受間距法

當路口有衝突存在時，不同轉向的車輛各有其優先順序，優先權較小者須尋找適當的間距方能在綠燈時間內通過路口。以傅耀南[3]的處理方式說明接受間距的適用情形，步驟如下：

1. 先求得車輛的最大推進距離
2. 判斷若以最大推進距離推進後，是否會越過衝突點
3. 若車輛可能越過衝突點，需判斷車間距是否可接受，若車間距可接受，則視為車輛已通過路口，否則則必須在停止線前停止

#### (二) 時間優勢法

文獻中用以處理右轉汽車與直行機車衝突所使用的方式，其右轉車與直行機車交互作用下的『時間優勢』可定義為『右轉汽車預期到達衝突點的時間與直行機車預期到達衝突點時間之差』。即右轉汽車只要比直行機車早到  $t$  秒以上，

則右轉汽車即可通過路口。

過去對於路口內衝突車流的處理，均採用接受間距的方式處理，而接受間距法在運作上則依據實際的觀測值，配適予各車輛一接受間距與車輛遇到衝突車流時使用；然該接受間距往往大於車輛轉向所須之間距，且所能處理的衝突點僅有一個，並不符合實際狀況。時間優勢法與接受間距法相類似，兩種方法均無法保證直行車的優先權一定大於左、右轉車，並不合乎路權的概念，為避免模擬出違規狀態，故針對時間優勢法加以改進，使衝突車流的行進指標具有優先順序。

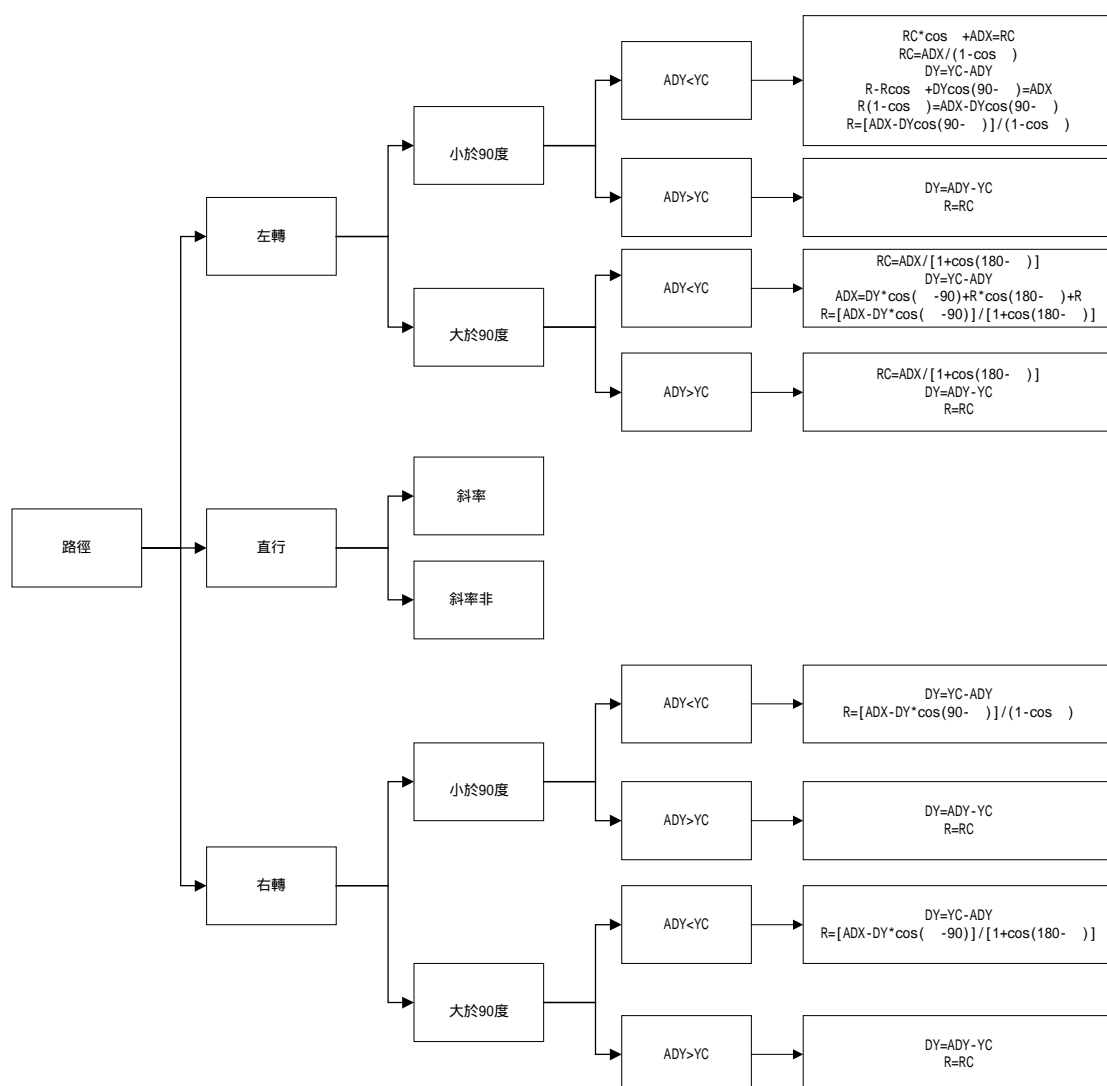


圖 3.8 圓弧軌跡處理方式(參考來源: [8])

本研究因屬於單向道系統，並無對向車流衝突的現象產生，僅有同向的車流衝突，如轉彎車和直進車的衝突，本研究將採用時間優勢法，先抵達路口的車輛先進行動作，符合一般道路上的車流運行行為，惟不合乎交通工程上的優先路權概念，無法確保直進車的優先順序大於轉彎車。

### 3.5 鄰近路口車流推進



鄰近路口的車流推進，主要是受到路口號誌燈號變換的影響，模擬的內容包含了黃燈時間的駕駛行為、紅燈時段車輛的停等行為。黃燈時段的推進判斷採用變動的進退兩難區邏輯，紅燈時段則依照台灣駕駛人的行為，多數的駕駛人會在車陣中盡量找空間前進之特性進行模擬。

### 3.5.1 黃燈時段行為

過去車輛在鄰近路口遇到號誌燈號的改變，在黃燈時必須決定要緊急煞停於停止線前或是加速通過路口，過去文獻中採行的模擬方式是以停止線前停車機率 15%至 85%作為固定進退兩難區，通常是距離路口 14 公尺至 34 公尺處[8]。但因各車輛鄰近路口速度不同、及不同車種具有不同的車長，使得各車種的進退兩難區位置會有所改變。亦有文獻採用黃燈時段強迫通過路口，但不足以代表全部的黃燈時段車輛行為，故本研究將採用變動進退兩難區的方式處理車輛黃燈時段行為。

車輛於進退兩難區主要是判斷是否可以安全的通過路口或是安全的煞停於停止線前，故以安全通過距離與安全煞停距離界定車輛遭遇黃段時的推進行為，基本的公式與定義如下所示：

#### (一) 安全通過距離

駕駛人若要在黃燈時段中以等速安全的通過路口，則必須滿足下式：

$$V_t * Y_t = D_c + (W + L) \quad (3.34)$$

$$\text{可得 } D_c = V_t * Y_t - (W + L) \quad (3.35)$$

#### (二) 安全煞停距離：

駕駛人若要在黃燈時間煞停於停止線前，必須滿足下式：

$$D_s = V_t * K + \frac{V_t^2}{2A} \quad (3.36)$$

其中， $D_s$ ：車輛於停止線前最短之安全煞停距離

$D_c$ ：車輛於停止線前最長之安全通過距離

$V_t$ ：車輛在  $t$  秒速率

$K$ ：反應時間

$A$ ：正常減速率

$\frac{V_t^2}{2A}$ ：車輛減速至停止所須之距離

$Y_t$ ：黃燈清道時間

$W$ ：路口寬度

$L$ ：車長

### 3.5.2 紅燈時段行為

根據過去文獻[7][37]及實際觀察，車輛在遭遇紅燈時，均會儘量向鄰近路口的地方鑽行，若有兩列停等線，後隨的車輛會往等候線短的方向移動。在機車停等區設置後，機車的停等模式又與未設置前產生差異，近停等區的機車均有傾向偏移至停等區，且汽車行駛於劃設有停等區的车道時，停等線會後退至停等區後，本研究假設的道路停等區圖形如圖 3.9 所示，將針對此項目進行模擬與研究。

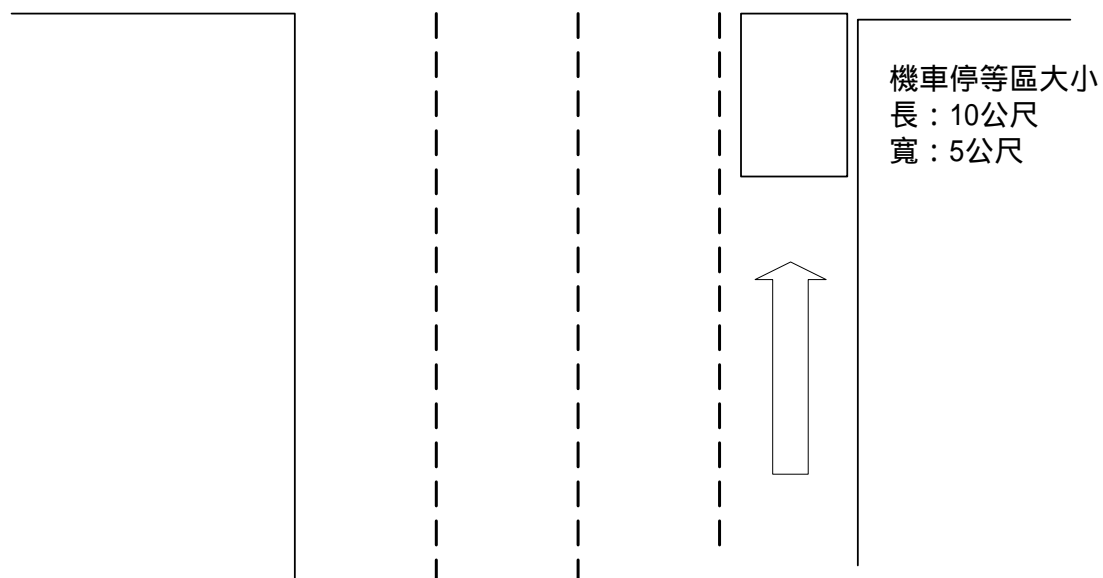


圖 3.9 機車停等區劃設

### 3.6 旅行時間、延誤及擴散現象

車輛在道路上運行若以其期望速率行駛，將可獲得期望的行駛時間，但因道路上的加減速、擁擠、障礙物、同向車流等待變換車道間距等行為干擾，車輛便產生延誤現象，使得該車所預期的行駛時間與實際運行的旅行時間產生差異，如圖 3.10 所示。且因為車輛在經過紅燈停等時間後，綠燈始亮時車輛亦因加速性能不同、轉向及轉向衝突等因素，造成所有車輛無法以同樣速度通過路口進入路段，導致該車與紅燈停等時之鄰車產生速差及間距不一現象，以巨觀觀點稱為擴散現象，以微觀觀點則認為是每車延誤值的差異。而旅行時間差異與車輛延誤值的大小將為影響連鎖號誌設計的時差值。

#### (一) 旅行時間與延誤

微觀的車流模擬模式因模擬單一車輛運行行為，故將可獲得道路上每部車輛的行駛速率、行駛時間及各類延誤值。在車輛進入系統時均賦予一期望速度及實

際行駛速度，經過路段上的各項行為推進，如變換車道、跟車或自由行駛後，每車均會產生各自的旅行時間，其中包含各種性質的延誤數值；且不同的號誌設計方式將會產生不同的旅行時間及延誤值，若與以期望速率行駛於道路上所得的行駛時間相比，可計算出各類的延誤值，本研究將利用此延誤值作為號誌策略績效的評估值，用以決定連鎖號誌之週期、時相及時比之設置。

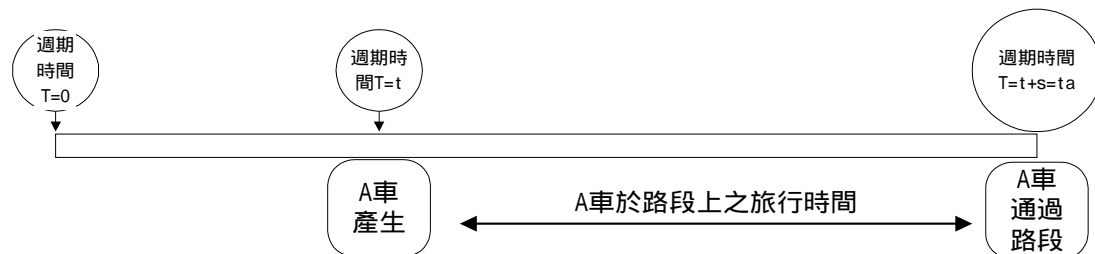


圖 3.10 一週期內車輛通過路口之時間

若一週期內車輛通過路口之時間繪製統計分配圖，大約會呈下列數個趨勢，因以微觀方式模擬車流狀況，故車輛的通過時間採用間斷式的統計分配，且與車輛產生的分布型態相關：

1. 普松分配(Poisson Distribution):在車輛不受干擾狀況下的隨機到達現象。
2. 二項分配(Binomial Distribution):適用於擁擠車流狀況。
3. 一般化普松分配(Generalized Poisson Distribution):與二項式分配適用狀況相同。
4. 負二項分配(Negative Binomial Distribution):適用於車輛受到上游號誌控制的影響，而呈現週期性變化的通過路口時間。

## (二)擴散的因素及行為

由於路口號誌的因素，使得原本在路段上車輛遭遇紅燈停等而形成車隊，當車隊於綠燈開放後，受到車輛加速性能的不同以及駕駛者欲保持安全間距等因素影響，原先集結之車隊將會慢慢擴散，擴散的情形依據車輛在道路上的位置、加速性能、駕駛人個性等產生差異。因本研究採用微觀模擬模式，故無法以過去研究中整體、巨觀的擴散方程式處理車流擴散情形，處理方式為將模擬系統依車流方向分為數個座標系統，進入路口及進行轉向行為後則變換座標系統與數值，以求可連續推移，車輛可在路段、路口間連續推進，避免因分處不同的模式處理而必須設計緩衝區。

## 3.7 模式績效指標值的決定

過去文獻中關於連鎖號誌模擬系統的績效指標值多分為兩類，一類以等候線長度、停等延誤、停車數等負效用為主，此方法可以考量到一區域上各方向路段的車輛通過狀態，但可能產生車輛走走停停等停等過多現象；另一類則以某一方向的續進最大化為主要目標，使車輛於主幹道上能以最大的比例通過該路段，但與幹道相接的道路並非僅有支道，亦可能為另一方向之幹道，若僅考慮續進，則可能造成相接支道上延誤值過大。故本研究為滿足續進及延誤值兩項目標，期採行車輛續進率最佳及延誤值最少為研究目標，將建立一個兼顧續進率及延誤值的目標函式。

將於第五章中利用公式解出該連鎖路口的共同週期、時比、時差等三項資料起始值，並進行三度空間之尋優程序，逐項進行週期、時比、時差的微調，求出相對應之目標值。當某組週期、時比及時差所對應出目標函數值為最佳時，該組數值即為最佳週期、時比及時差。

### 3.8 模式的驗證方式

車流模擬模式的驗證主要分為三部份：1. 程式的正確與驗證、2. 模式輸入資料驗證與 3. 模式輸出資料的驗證。程式的正確性驗證方面主要為程式的除錯，並根據輸出的車輛位置驗證邏輯的正確性；輸入資料方面主要為進行統計的配適度檢定及相關車輛推進公式的比較，輸出資料則針對指標值進行實地車流調查，調查結果與模式輸出結果進行卡方檢定。若檢定通過代表模擬模式與實際車流狀況具有一致性。

## 第四章 車流模擬模式之建立

### 4.1 系統的基本假設

本研究之模擬系統如第三章所述，有四大因素互相影響，包含駕駛人特性、車輛特性、道路型態特性及交通控制設施等，而形成道路上特有的車流狀態。

#### (一) 駕駛人屬性：

汽機車駕駛人依據常態分配機率函數產生不同的屬性值，將常態分配分割為汽車兩區間、機車三個區間，用以設定不同的行為狀態，使得駕駛者變換車道的可接受間距和與鄰車保持的動態側向安全間距產生差異。

#### (二) 車輛特性方面

分為機車與汽車兩類，汽車以小型車為主。

#### (三) 道路型態方面

道路型態以兩直交十字連續路口作為模擬系統，如圖 4.1 所示，幹道上包含兩快車道及兩混合車道，支道則為兩混合車道型態，且路段平整無坡度。

#### (四) 交通控制設施方面

禁止車輛迴轉及逆向行駛，並假設車輛均依燈號行車，機汽車可依模式賦予的屬性任意行駛時快慢車道，機車不受車道線限制，可行駛於任意位置，汽車則行駛於車道中線位置。

### 4.2 車流行為模式整體架構

在第三章中針對市區道路車流狀況進行完整分析，於本章將據此建立一完整市區幹道連鎖系統之車流模擬模式，考量兩連續路口的號誌連鎖系統。於本研究中連接兩路口及多個路段，故系統的座標掃描方式將影響系統績效甚大，於 4.2.1 節中敘述。圖 4.2 的整體系統分析包含在系統模擬初輸入的模擬資料、賦予的車輛屬性，其中車輛屬性的制定於 4.2.2 小節中詳述。車輛產生後隨即進入系統，依據該車所處的位置與其燈號狀況進行路段車流行為模擬、鄰近路口車流模擬或路口車流行為模擬。車輛在路段上除了車隊的首車受號誌控制的影響外，

其餘的跟隨車皆依前車的行為推進。鄰近路口的號誌控制則依紅、綠、黃燈順序依序更迭，且車輛在道路上的行為共受到機、汽車行為門檻判別模式、變換車道模式、有無前車判別模式、有無鄰前車判別模式、允許變換車道模式、動態安全間距判別模式、路口固定軌跡推進模式、遇障礙物模式及輸出模式等多個子程式影響。

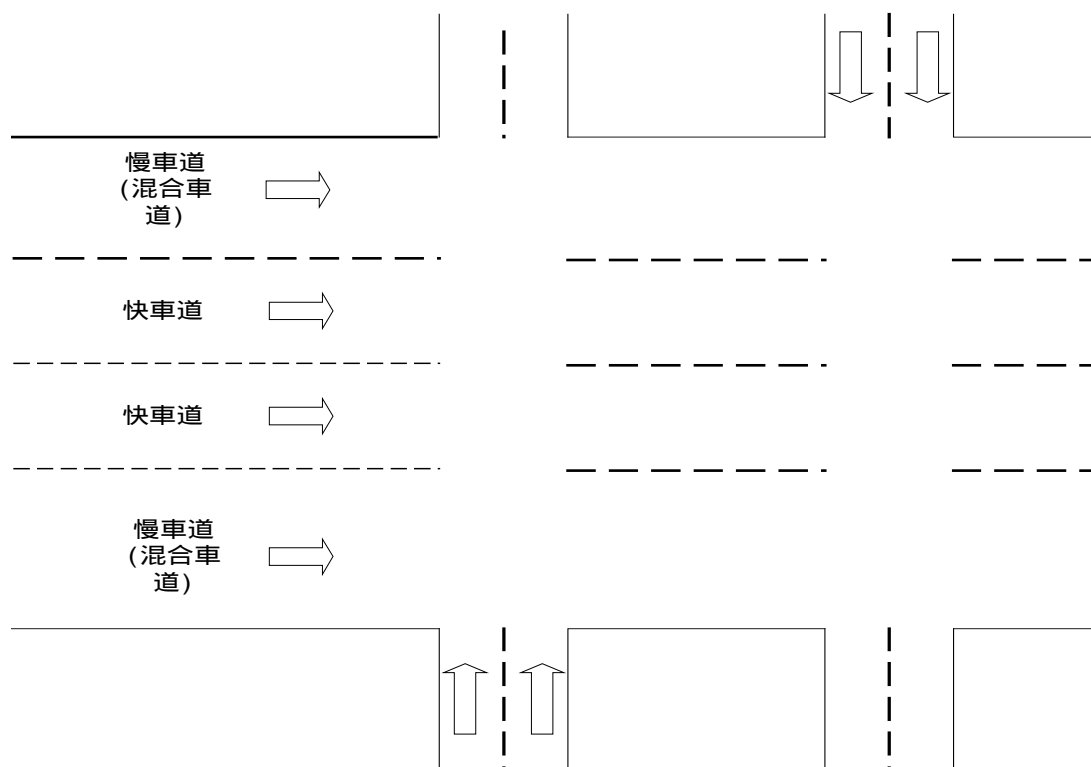


圖 4.1 道路佈設狀況

#### 4.2.1 系統座標、掃描方式及車行軌跡制定

##### (一) 系統座標制定

在微觀車流系統模擬中，為明白表現每一部車的位置及車流行為對於車輛推進的影響，須引入座標觀念。因本研究中具有車輛直行推進及橫向變換車道的現象，故於本系統中引用二維座標概念，直進方向以南方作為座標系統的原點，車輛向北推進則表 y 座標逐漸變大、車輛向西推進表 x 座標逐漸變小，以此類推；支道方向則以該車行方向之上游路口作為座標原點，車輛往下游推進 y 座標越大，x 座標則依據所屬車道判定，支道車輛行駛至路口時，轉向幹道車輛即進行座標變換，將 x、y 座標互換後並調整 y 座標值，使其與幹道方向座標一致。如圖 4.3 所示。

##### (二) 系統掃描方式

道路上每部車輛彼此互相影響及牽制形成不同的車流行為，為使車流運行狀況符合實際上的車流行為，故需將系統內的所有車輛加以串列並予以編號，以利

訂出系統內車輛的掃描順序。

### 1. 系統內車輛的編號

本研究所需的車輛編號順序將以各車行方向上游作為原點，各方向各路口的車輛依產生順序先給予一編號。進入系統後依據該車在道路上的 Y 座標位置再給予串列編號，越接近下游路口的車輛編號越小，亦表示越先掃描，三個座標系統計有三個串列值，車輛標號訂定準則如下所示：

(A)車行方向向北前進時，當 Y 座標數值越大時，其串列編號越小。

(B)車行方向向東的以 Y 座標數值越大，其串列編號越小。

(C)車行方向往西的以 Y 座標數值越大的，其串列編號越小。

### 2. 系統車輛掃描順序

在實際道路的車流行為中，後車的推進依據前車行為而定，故均需先行掃描串列值越小的車輛；當車輛由路段進入在鄰近路口、路口地區時，皆依據該時點、地點應進行的行為加以推進，每一秒鐘掃描系統一次。

## (三)車行軌跡制定

由於二維座標法無法確定該方向車流的衝突點位置，且因考量車輛有轉向的需求、其動態車長的使用限制在路口並不適用，故於路口的衝突車流模擬，為顧及路口車流運行的連續性，本研究在路口車輛軌跡將採用固定軌跡推進方式併簡化二維座標法進行處理。而汽機車在路段上的行為則採用二維座標法及行為門檻模式方式推進，隨單位時間更新每部車的座標屬性。

### 1. 汽車軌跡

汽車在路段時運行於快車道的中央，於慢車道上則任意運行在符合動態安全間距的位置。車輛於路口時，對於直進車則以直線連接所在車道及下一路段之對應車道；轉向車輛利用圓弧連接所在車道及期望車道，每部車輛進入支道的位置相同。

### 2. 機車軌跡

先行計算在該車時速下對應的動態車寬，並向左右兩方各延伸出一動態車寬的寬度作為鄰車道，計算方式如圖 4.4 所示，只要有任何一部機動車輛進入鄰車道區域，即視為鄰車道有車輛，並服從變換車道的所有判定準則，機車可在快慢車道上任意產生，並可任意進入快車道，形成機車在行駛時與其他車輛排列參差不齊的現象，且若與鄰車的間距小於應保持的安全間距，則適度的往另一有空隙的方向偏移，以確保動態安全行為。

## 4.2.2 模擬系統的車輛產生與其車輛特性分析

如第三章所述，本研究對於車輛的產生和屬性的處理，主要包含三部份：1.

車輛產生、2.車輛屬性資料、3.車輛進入系統位置。

#### （一）車輛產生

本研究根據各方向上游路段進行車輛產生，對於汽機車以不同的方式產生，機車採用計數法產生車輛、汽車採用間距法產生車輛，一旦產生車輛即進入模擬系統，而車輛的產生分配則依據實際調查及過去研究結果決定。過去研究中，汽車間距的產生以伽瑪分配為主、機車的產生則是符合負二項分配。

#### （二）車輛屬性資料

車輛進入系統時，必須賦予車輛進行模擬時的所有特性，包含車型、轉向及駕駛人特性等，稱為車輛屬性。而車輛屬性的賦予則是依本研究所假設的車輛屬性隨機函數隨機產生，並利用二維陣列儲存每部車輛的所有屬性，其中各屬性每秒鐘更新一次，其分類情況如表 4.1 及 4.2 所示。

#### （三）車輛進入系統位置

車輛進入系統的位置，南北方向上游路口的 Y 座標值相同，東西方向上游路口的 Y 座標值相同。至於南北方向的 X 座標及東西方向的 X 座標決定方式如下：

1. 汽車由快慢車道的中央進入
2. 機車位置則隨機產生於快慢車道上



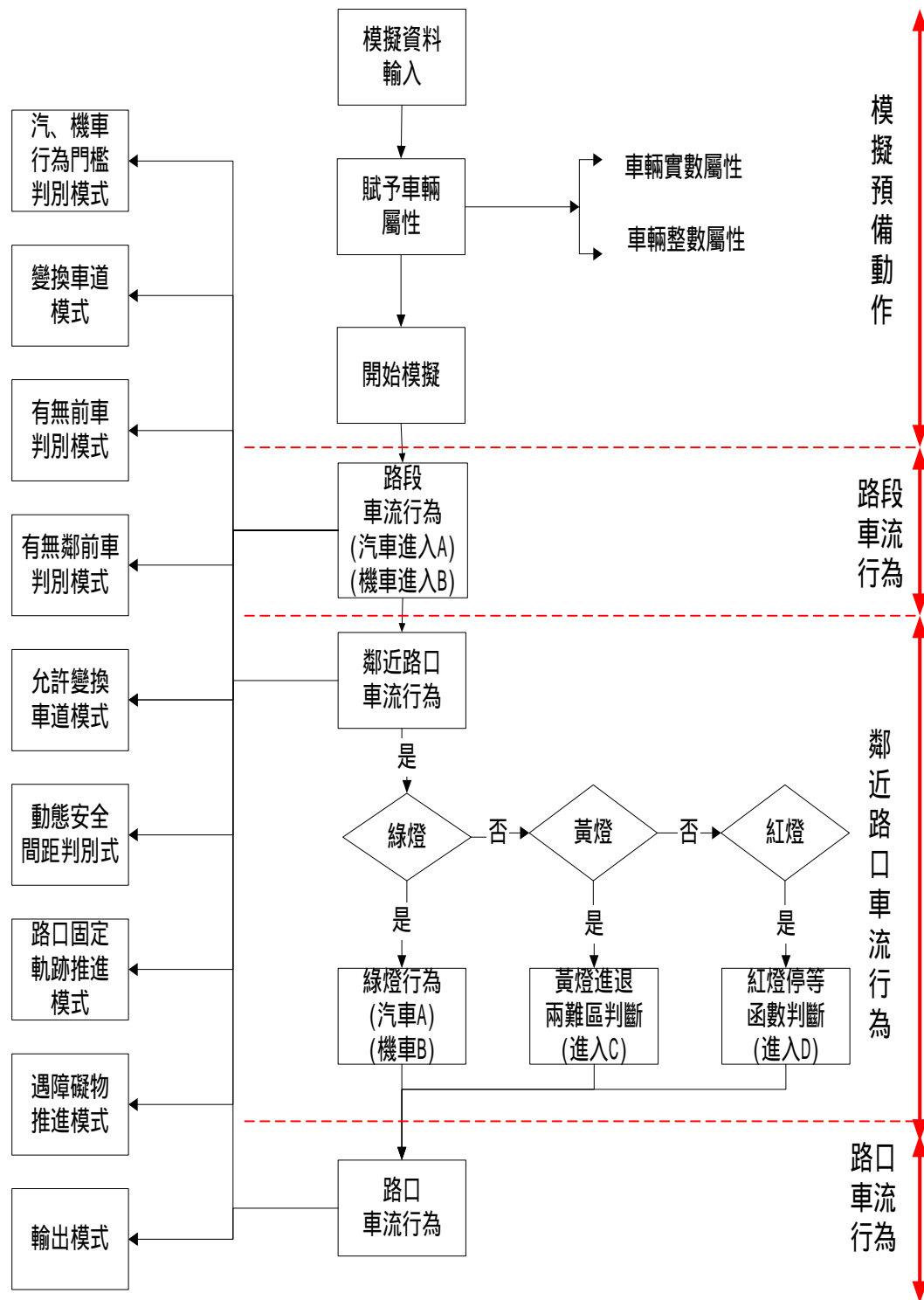


圖 4.2 車流整體模擬架構流程圖

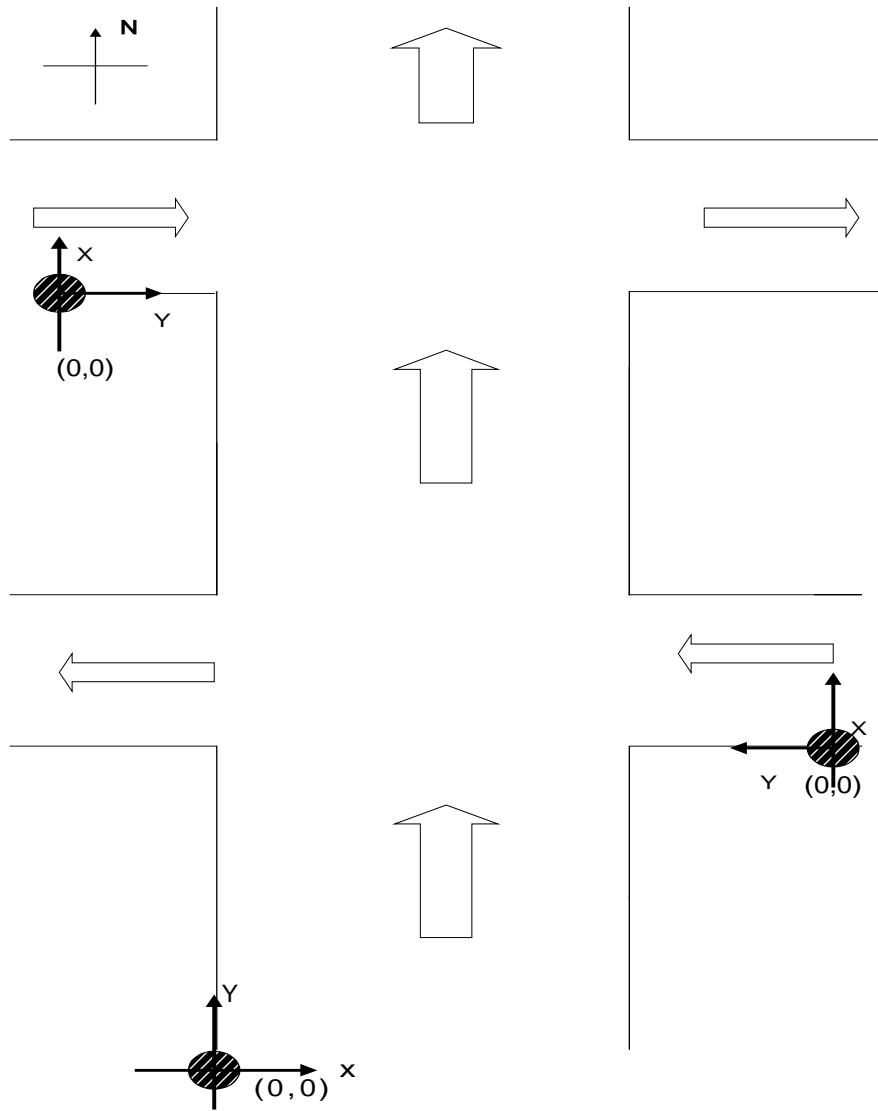


圖 4.3 模擬模式之系統座標圖

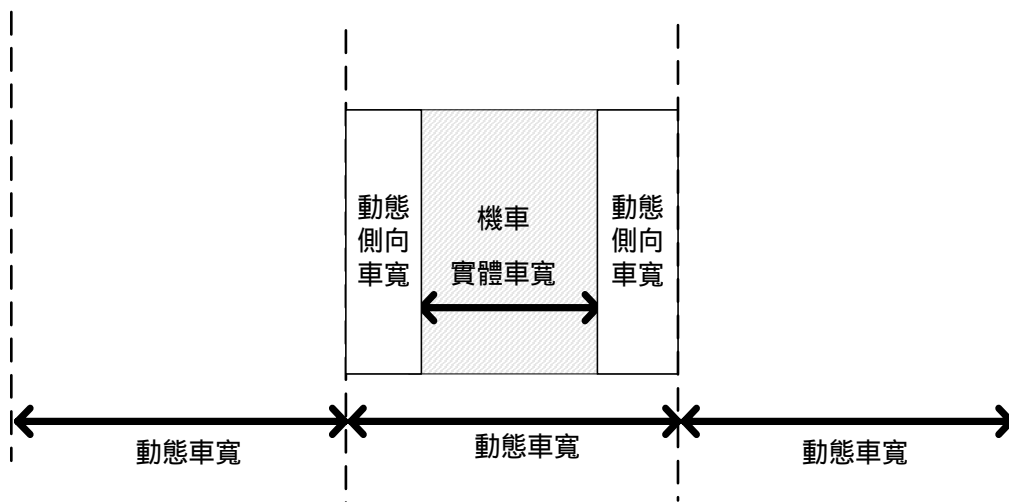


圖 4.4 動態車寬圖示

表 4.1 車輛第一維屬性

屬性標號	車輛屬性	屬性資料型態
1.	車輛串列產生編號	整數

表 4.2 車輛第二維屬性

屬性標號	車輛屬性	屬性資料型態
1.	車種	整數
2.	車輛路口轉向	整數
3.	車輛所在車道	整數
4.	車輛期望車道	整數
5.	路口衝突優先順序編號	整數
6.	車輛車頭中心點 X 座標	實數
7.	車輛車頭中心點 Y 座標	實數
8.	車輛現行速率	實數
9.	車輛期望速率	實數
10.	變換車道指標（正在變換為 1，否為 0）	整數
11.	是否正處於變換車道指標	整數
12.	剩餘變換車道時間	實數
13.	車輛加減速指標（有:1，無:0）	整數
14.	衝突判斷區指標（是:1，否:0）	整數
15.	是否已有煞車指令（有:1，無:0）	整數
16.	車輛產生時間	整數
17.	車輛離開系統時間	整數
18.	車輛是否續進（是:1，否:0）	整數
19.	車輛面臨黃燈燈號秒數	整數
20.	車輛面臨綠燈燈號秒數	整數
21.	車輛面臨紅燈燈號秒數	整數
22.	車輛直行方向排序	整數
23.	西向車輛排序	整數
24.	東向車輛排序	整數
25.	初見障礙物視距	實數
26.	是否有障礙物指標（有:1，無:0）	整數

### 4.3 混合車流模式的整體架構

本研究對於車流模式分為三部份，分別為路段車流模擬、鄰近路口車流模擬及路口車流模擬三部份，依序於下列各小節介紹。

#### 4.3.1. 路段車流行為

車輛在路段上的行為主要採用行為門檻模式，主要的推進行為可分為直進、橫向及遇障礙物的推進邏輯等三大類，其中，汽車與機車的推進行為略有差異，汽車主要的推進邏輯圖如圖 4.5 所示，機車的推進如圖 4.6 所示。機車的直進行為主要有跟車與錯車兩類，所謂的「錯車」行為是指機車在行駛的過程中，為了保持與鄰車的安全間距，避免發生擦撞的狀況，需要和鄰車保持一動態間距，故會時常依據與鄰車的間距調整其側向淨寬，使其車身與鄰車不在同一個維度上行駛的錯置行駛行為。與對向車輛發生的錯車行為不同，乃屬於「同向錯車」之行為，亦意指「錯開鄰車」。在機車所處的環境允許或是在車速較快的條件下，機車常傾向使用錯車行為，各種錯車型態本研究參考[29]繪製機車錯車型態如圖 4.7 所示。

汽車在直進時依據本車與前車的速差與距離作為路段行為的判別，橫向則依據本車與前車、以及鄰車道鄰車的速差、動態側向安全間距等特性作為變換車道的行為判定，惟機車在行駛過程中，根據過去的研究顯示，機車駕駛人會較偏好錯車行為，故會不斷的檢查與鄰車間的安全側向間距，一旦無法保持安全間距，則會向有空隙的一方進行偏移動作，產生錯車行為；否則才進行跟車行為。遇到道路有障礙物時會有繞行行為產生，繼而影響其他車道的車輛前進。

##### (一) 直進

車輛在道路上的直進行為依據行為門檻模式共有五大類行為，因為機車與汽車的行為在停止線煞車及跟車行駛區等有些許差異，並於機車行為門檻模式中加入迫近旁車區及錯置跟車區等，故以下針對機汽車行為共同部分及差異部分分別進行討論：

##### 1. 自由行駛

本車為所在車道的車首，或是與前車距離 20 公尺以上[8]，故本車的運行並不受前車所影響，且在綠燈時間內可順利抵達路口的車輛具有自由行駛的特性。

##### 2. 停止線煞車

停止線煞車之模式分為汽車及機車兩類進行分析。

##### (A) 汽車方面：

若本車為本車道前車，但若以現行速率在綠燈時間內並不能通過路口，則必須減速方以在停止線前煞停。若汽車產於前方劃設機車停等區的车道上，則必須在停等區後方停止，等同於車道線後退。

(B) 機車方面：

機車在靠近停止線時，雖前車已經停止，但鄰車道可供推進的距離比本車道長時，進行變換車道行為，直到無法再更接近停止線，表現出機車在車陣中鑽行的現象，並極力的往路口機車停等區集中，因此近停等區的其他車道車輛會產生變換車道行為。

3. 跟車行為

本車並非為本車道的前車，依據前方車隊與車輛的加減速行為、距離差等，以調整本車的加減速。

(A) 汽車方面：

在模擬車流行為時「跟車行為」常與「變換車道行為」同時考量，兩項行為的優先順序則為先行判斷是否有足夠的空間允以變換車道，若變換車道不能成功時，則進行跟車行為。

(B) 機車方面：

變換車道行為的優先順序高於跟車行為，以機車而言，若有前車時偏好進行變換車道行為，此行為代表車輛兩邊是否有足夠的空隙給予車輛進行偏移，通常是向左或右邊偏移一動態車寬間距，而與前車形成錯置現象，稱為「錯置跟車區」，機車將不受前車的影響，而呈現可自由行駛狀態，若無偏移的現象，則為一般的「跟車行為」。

4. 迫近前車區及迫近旁車區

迫近前車區為前後兩車有越來越大的正速差差距，若前後兩車的間距並未到達最大跟車間距，後車則進行減速率行為。

機車除了與前車產生迫近前車行為外，亦因為與鄰車的間距大小產生迫近旁車區行為，機車與鄰車的間距若小於最小動態安全間距，則機車需向有空隙的一方進行一個動態車寬的偏移，並以正常減速度推進。

5. 避禍煞車

前方車輛若與本車的間距小於動態車長，且動態車寬等於零時，則應該根據本車的現行速率，以最大減速度值進行減速，避免撞擊前車。

6. 超車加速區

此類行為為機車特有行為，機車若與鄰車之間距處於動態間距及靜態間距範圍內，能以最大減速率停止者，則採用迫近旁車行為，否則則加速

超車，避免過小的間距導致不安全的行駛狀況。

## (二) 橫向

橫向的車流主要為變換車道行為，本研究所採用的車輛變換車道原因為兩大類：1. 強迫性變換車道及 2. 自由性變換車道。

### 1. 強迫性變換車道

當路段長度較長時，車輛行駛至距路口前  $1/5$  路段長位置時，現行的車道與期望車道、未來轉向方向不合時所產生的變換車道行為。若長度不足，則需加以考量前方路口燈號，決定強迫性變換車道的起始位置，據本研究調查，在進入路段  $1/3$  位置時，即需要開始進行強迫性變換車道行為。在遇障礙物時，距障礙物最小安全通過距離前亦需強迫變換車道。

### 2. 自由性變換車道

車輛的期望速度與現行速度有差異時，所產生的變換車道行為。

本研究採行二維座標系統方式進行車輛變換車道模擬，其處理的方式計有四個步驟：(A) 先判別車輛是否已在變換車道途中、(B) 判別車輛是否需變換車道、(C) 判別變換車道是否成功及 (D) 變換車道。

#### (A) 判別車輛是否已在變換車道途中

先進行確認車輛是否已經在變換車道途中，如無進行變換車道指標則往下判別，若前一秒已判定需變換車道，此秒則繼續進行變換車道行為。

#### (B) 判別是否需要變換車道

判斷車輛是否有上述之需變換車道原因，並確認車輛所處位置是否大於兩車道以上允以進行變換車道。

#### (C) 判別變換車道是否成功

如圖 4.8 所示，車輛必須先行計算與前車及左右鄰車道前車之速差及車間距，本車會往與前車速差小且可推進距離較遠的一方移動。一旦判斷左右轉方向後，再判別變換車道過後是否可與前車保持一動態安全間距，且後車亦不會追撞及本車，若均能安全通過，則為「可變換車道成功」，並給與一指標。

#### (D) 變換車道

當車輛進行變換車道時，車輛會沿著變換車道之偏向角行進。以東西向

的車輛為例，圖 4.9 中的 A 車表現出以目前的車頭 y 座標作為起點，期望車道的中央點作為終點，所需行走的距離為 D。車輛沿著偏向角方向進行偏轉

$$t = \frac{D}{V \sin \theta_2}$$

，以等速方式往期望車道移動，變換車道所須之時間即為  $t$ ，若無法時間  $t$  在 2.5 秒內變換完成則採用最大偏向角方式進行偏轉[7]。在時間內所推進的 x 方向距離則為  $V \cos \theta_2$ 。若計算出的變換車道時間並非為整數時，表示車輛並非在整數個單位時間內完成變換車道動作，需加入一小段的等速直進時間，以更換至下一個單位時間。車輛在變換車道的過程中屬性並不會改變，直到完成變換車道行為的當秒，車輛屬性才進行移轉。

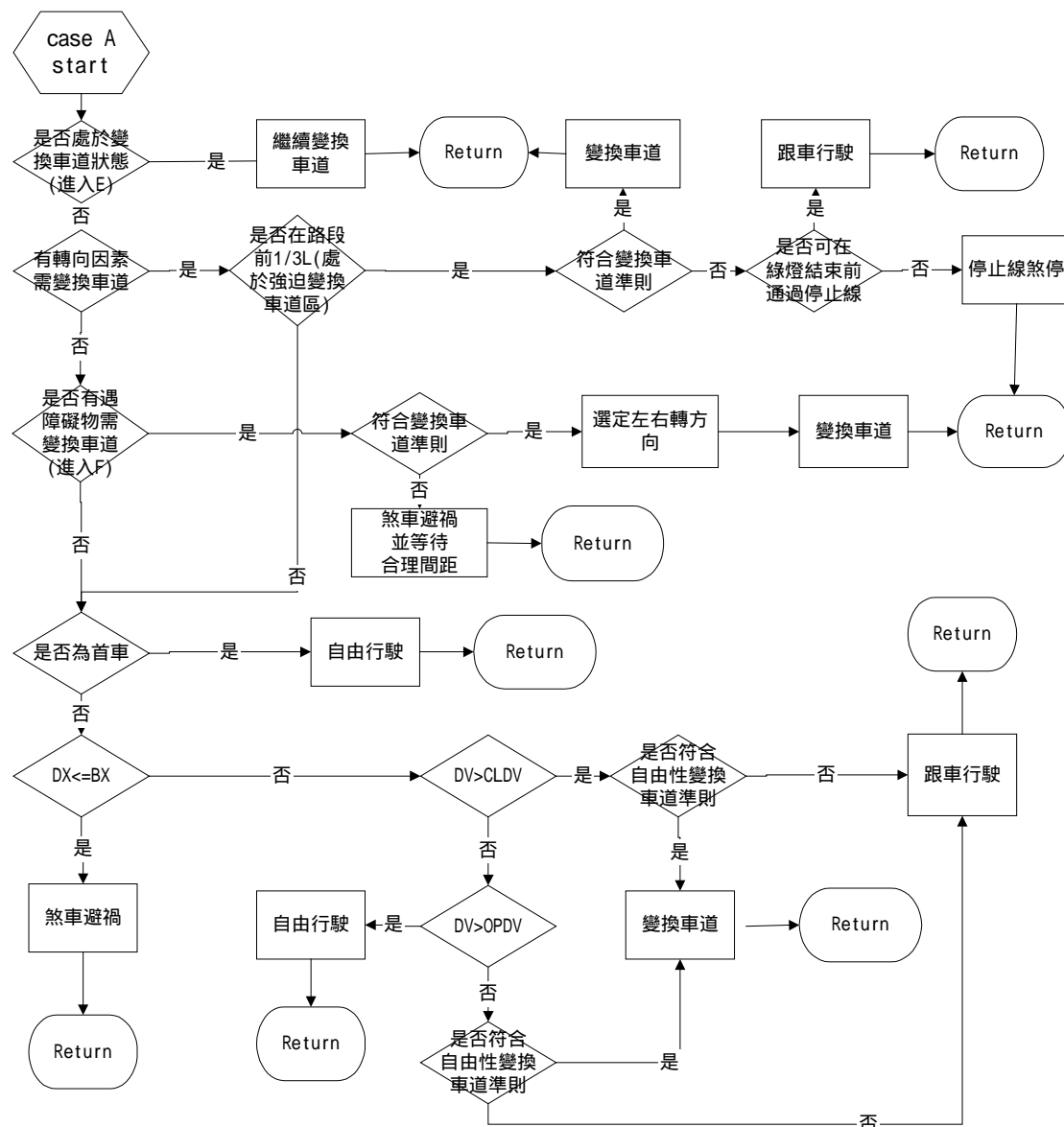


圖 4.5 車輛推進流程圖

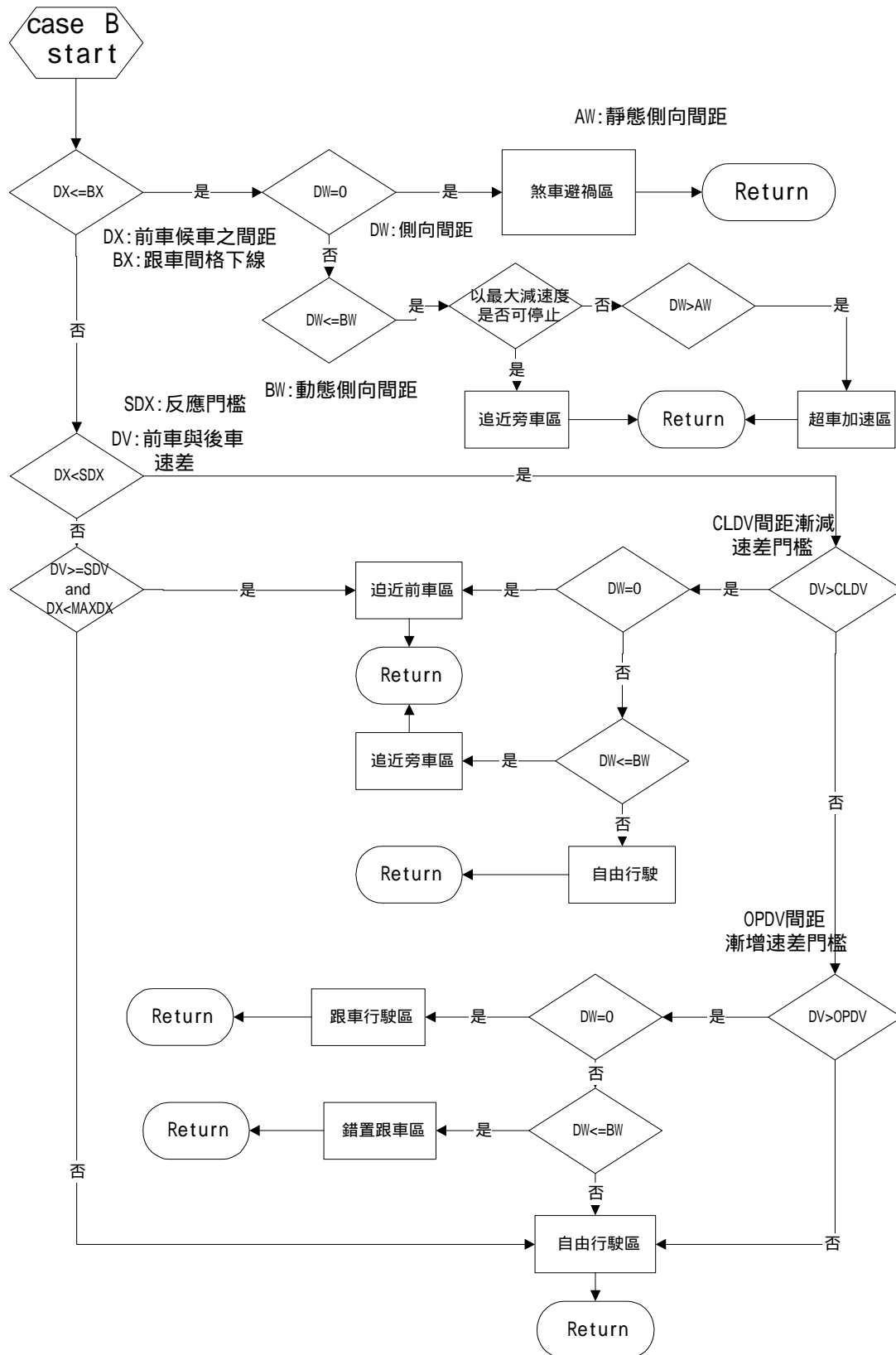


圖 4.6 機車行為門檻模式





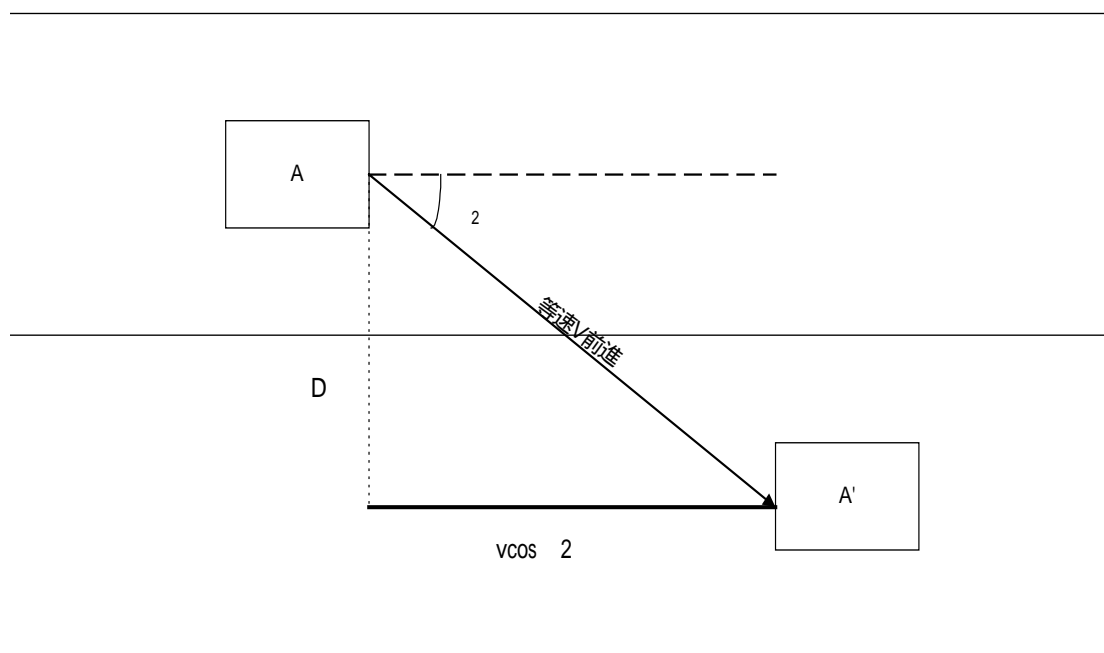


圖 4.9 變換車道方式

### (三) 遇障礙物推進邏輯

道路駕駛人在道路上駕駛遭遇障礙物將會進行橫向偏轉，駕駛人於初見障礙物時，必須先判斷是否有安全顧慮，以致於不能順利在障礙物前進行偏轉，所謂「有安全顧慮」即發現障礙物時當時之距離扣除反應時間後推進距離，小於最小安全通過距離。若無安全顧慮，則必須進入變換車道階段，處理的方式等同於一般變換車道之條件，若本車無法在第一時間偏轉成功，則必須採用減速行為，避免撞擊路上障礙物，以待下個時間單位再度進行變換車道判斷。若與障礙物之距離已有安全顧慮時，則需要採行最大減速度，以求在障礙物前能順利煞停。遇障礙物時的推進流程圖如圖 4.10 所示。因實際連鎖系統中並未有障礙物狀況，故另外以程式模擬與驗證。

#### 4.3.2. 鄰近路口車輛推進行為

車輛行經鄰近路口處，除了受前車的動作影響外，路口的號誌系統亦會與車輛產生關聯，不同的燈號將會影響到鄰近路口上車輛不同的推進行為。綠燈時因車輛可順利通過路口，故其車輛在鄰近路口的行為等同於路段上的車流行為，故於前小節討論過；黃燈時應考量到車輛是否可在黃燈時段結束前安全的通過路口或煞停於停止線前；遭遇紅燈時實際上車輛會盡量的向靠近停止線處移動，呈現出車輛鑽行的現象。此小節將針對黃、紅燈時的車輛推進行為加以深入討論。

##### (一) 黃燈時段行為

如第三章所述，車輛在鄰近交叉路口處遭遇黃燈燈號時，駕駛人必須判斷現

行速度與距離路口停止線的長短，是否需要加速通過路口、或是減速停止於停止線前，故在黃燈時段的車流行為採「動態進退兩難區」概念。其判定的邏輯大致如下：

1. 駕駛人在鄰近路口時需判斷燈號為黃燈始亮時，必須決定車輛的加減速行為。
2. 若前方車輛有加速指標時，表示本車亦需考慮進退兩難區的情況；反之，後車則採用跟車行為。其進退兩難區的定義判定如 3.5.1 小節中所敘述。
3. 決定車輛是否可在黃燈時段安全的煞停或是通過路口，而所需採用的加減速行為，其車輛行為判定流程圖如圖 4.11 所示。

故由車輛於黃燈時段的行為判定流程圖中發現，車輛唯有在首車及前車有加速指標時，才需考慮進退兩難區，其餘車輛均採跟車推進行為，此加速指標則端看駕駛人特性。

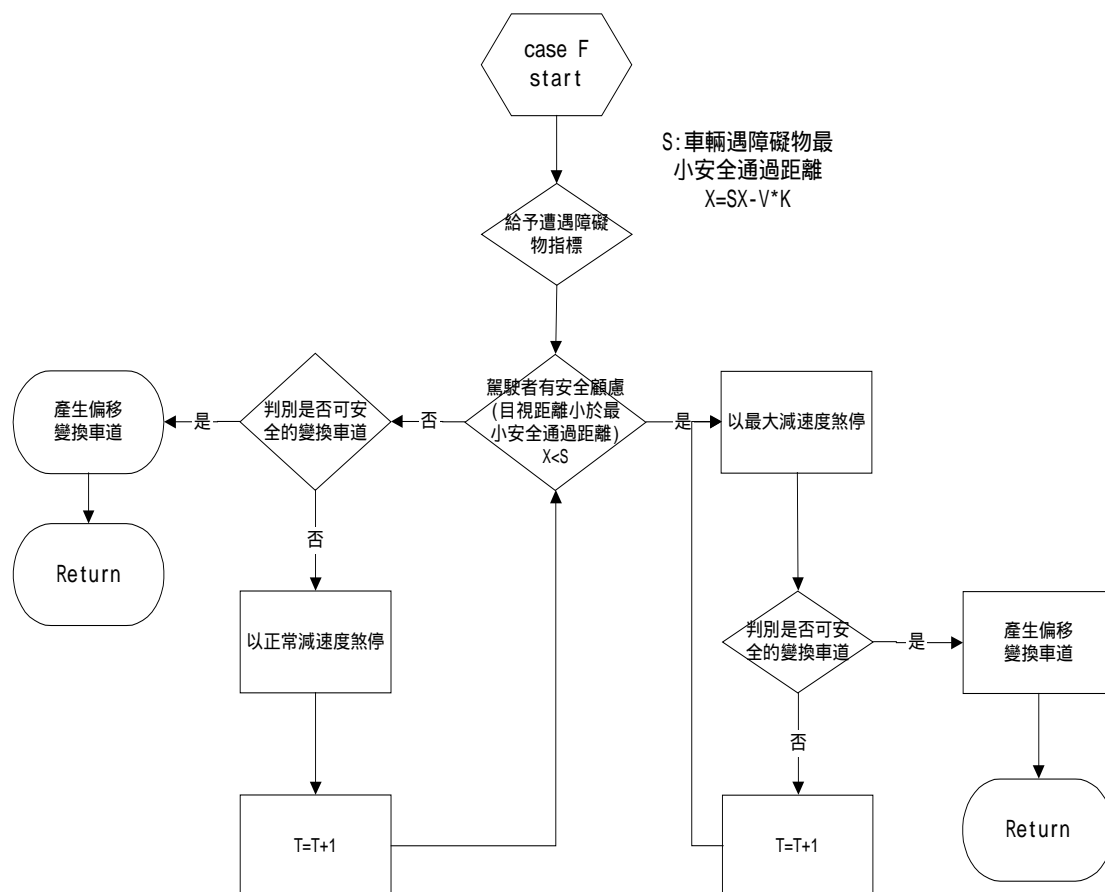


圖 4.10 遇障礙物的推進流程圖

## (二) 紅燈時段行為

根據文獻及前述研究，車輛在遭遇紅燈時，若與前方的車輛或車隊相距一定

的距離時，判定該車未受到前車及紅燈燈號的影響，仍採行自由行駛速路前進。若已經遭遇前車而需停車時，會儘量的向距離停止線最近的地方移動，這種車輛鑽行的現象，在機車停等區劃設之後更為嚴重，即使前方車輛已經停止，若仍有空隙可供機車鑽行，機車仍會向停等區設置方向推進，惟車陣中已較無汽機車參差的情形，且機車大量集中於停止線後方，有效的減少啟動延誤的現象，使得有效綠燈時間得以延長。車輛在紅燈時間的行為模式如圖 4.12 所示。本研究實證路段因屬於單向道系統，並未在路口劃設機車停等區，故另外以模擬程式模擬汽機車遭遇機車停等區產生之行為，於第六章的實證中驗證車輛行為。

#### 4.3.3. 路口車輛推進行為

本研究中，對於路口內車流的推進行為採行固定軌跡推進法及二維座標法並用，且屬於單向道系統，車流衝突情形較單純，僅需同時考量同向的衝突車流。在路口的所有車輛軌跡與車流衝突現象如圖 4.13 中所示。對於衝突車流的優先順序處理則採用車輛優先順序及預期通過衝突區時間的方式處理。一般而言，先抵達路口的車輛給予較高的優先順序通過衝突區。

## 黃燈行為模式

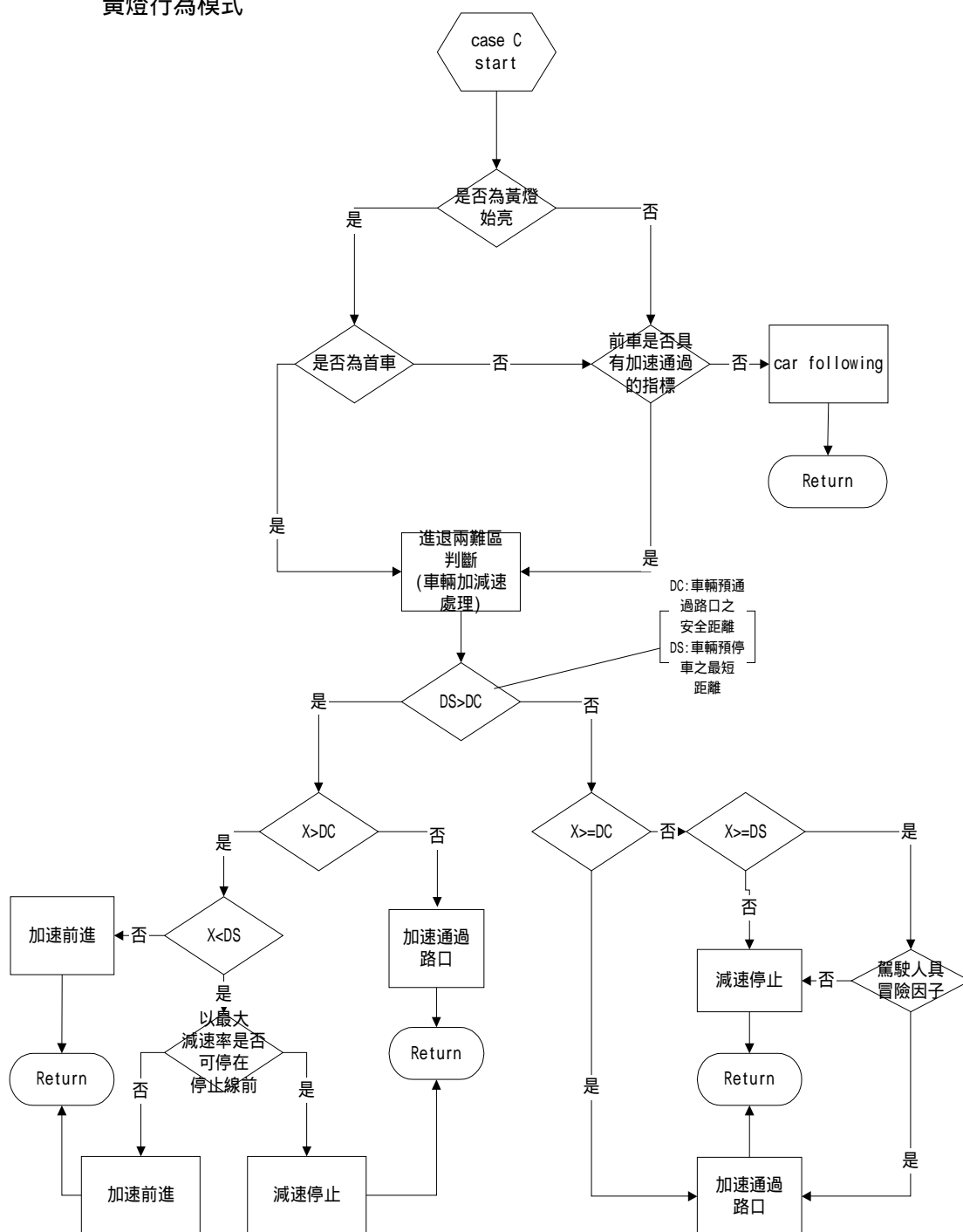


圖 4.11 黃燈時段的車輛行為判定流程圖

其中，  $D_s$  : 車輛距停止線最短的安全煞停距離(m)

$D_c$  : 車輛距停止線最長的安全通過距離(m)

$X$  : 車輛與停止線間之距離(m)

## 紅燈行為模式

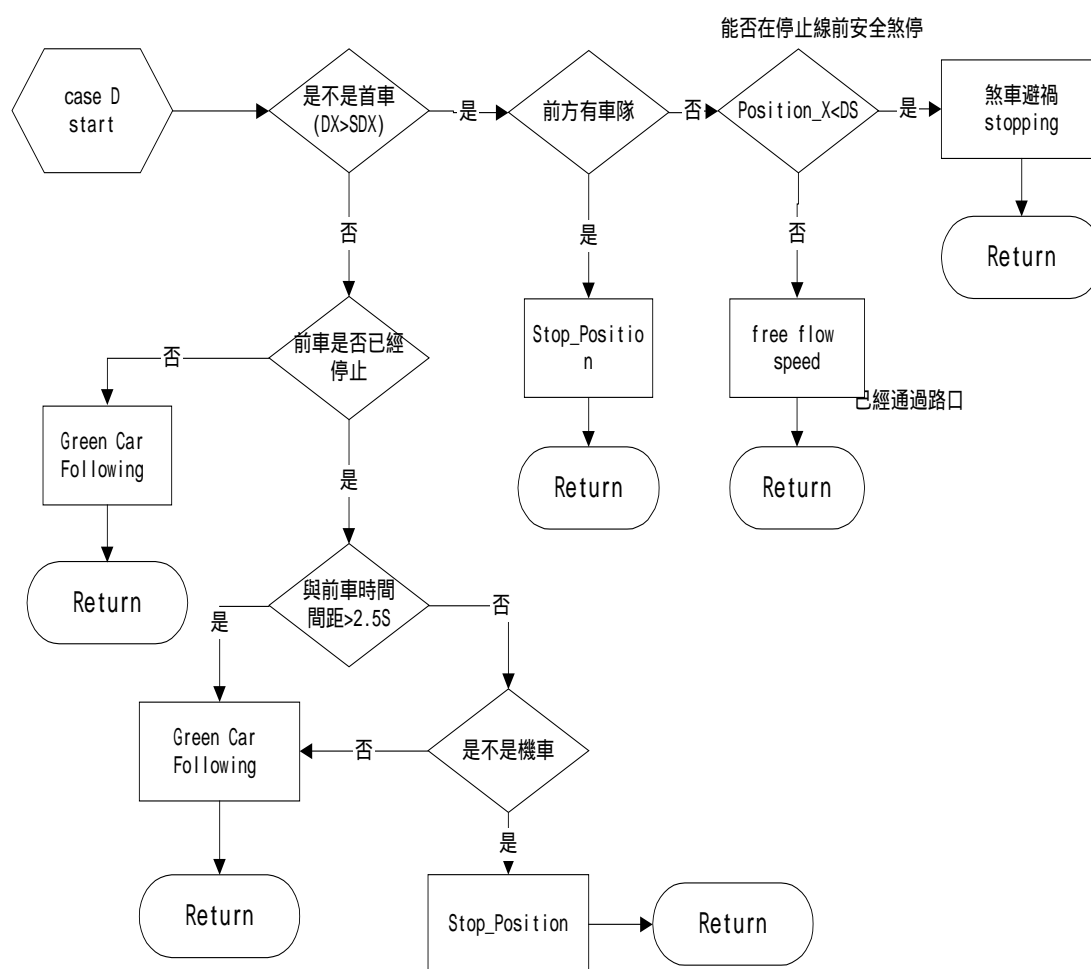


圖 4.12 紅燈時段車輛行為模式

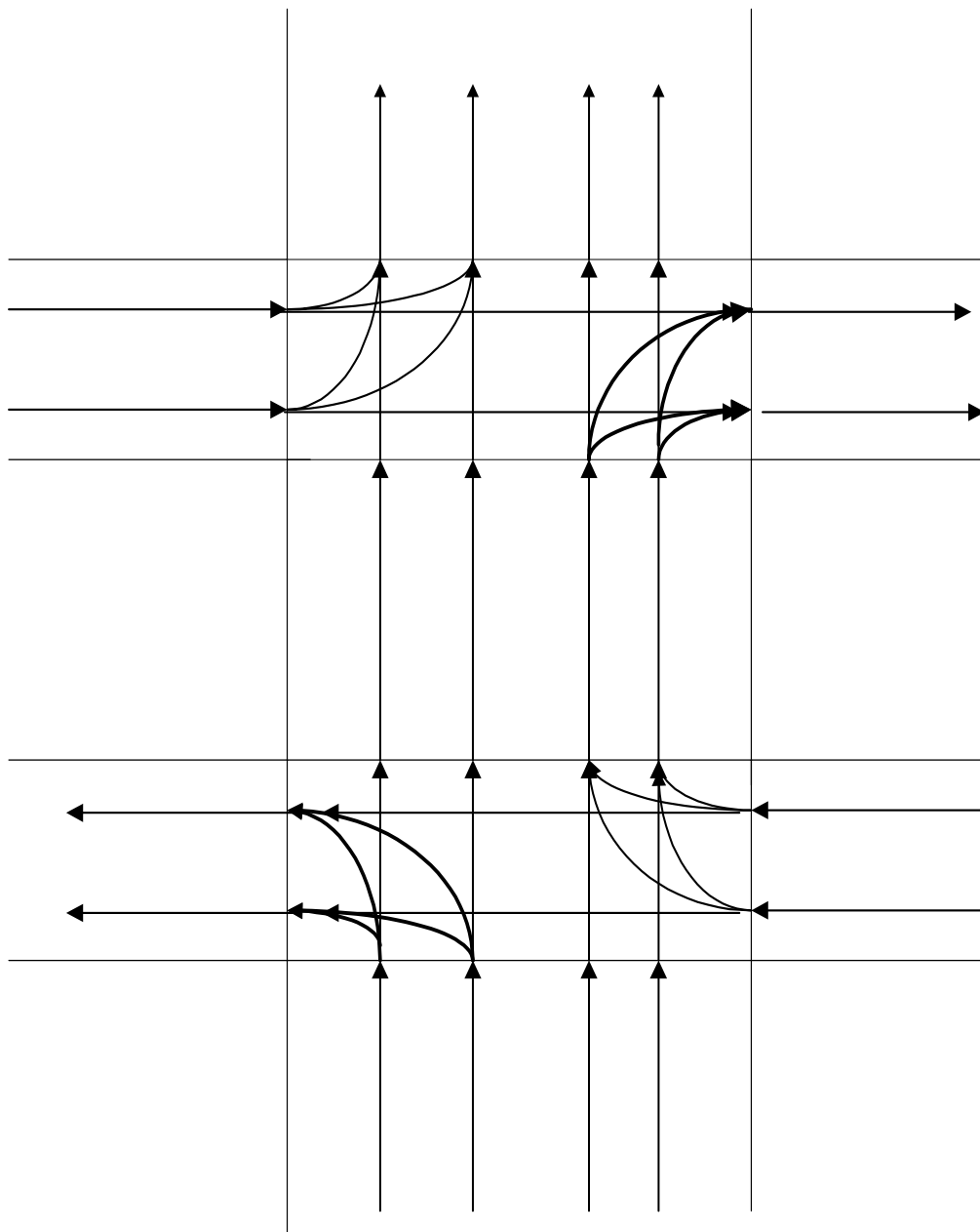


圖 4.13 路口車行軌跡與衝突圖

## 第五章 連鎖號誌策略之擬定

本研究於前述章節對道路車流實況進行分析與模擬後，本章將繼續針對不同時段的車流量及車輛混合比條件下，對其車流狀況制定績效最佳的路口號誌控制策略。路口號誌控制策略可分為獨立路口號誌控制及幹道連鎖路口號誌控制兩類，本章將規劃此兩類路口的控制邏輯，最後並提出在不同流量水準下最佳化幹道連鎖策略。

### 5.1 號誌控制策略的目標式及績效指標

路口號誌控制策略的績效優劣與否，通常有兩類衡量基準：一為主要方向的綠燈帶寬最大，另一類則為系統負效用最小，通常以「路口車輛總延誤值最小」表示。以主要方向綠燈帶寬最大之目標式為使車輛通過連續路口的量可達到最多，但會造成非主要方向的延誤值過大；反之，若以路口總延誤值最小為目標，則將造成車輛停等次數過多的現象；為兼顧此兩大目標之優點且避免其負面效用產生，故採用多目標方式，給予每個目標值不同的權重，將選定的績效指標作為主要因變數。

目標式

$$MaxPI = \alpha P + \beta E \quad (5-1)$$

其中， $\alpha, \beta > 0$ ，為各績效指標之權重值，表示系統規劃者對於每項指標的重視程度。

PI：目標式，以最大化為目標

P：續進率，定義為  $\frac{\text{連續通過路口成功的車輛數}}{\text{通過上游路口且完成模擬的總車輛數}}$

E：各路段車輛總延滯時間，定義為  $-\sum_{all} delay$ ，路段上車輛旅行時間

延滯，其中包含運行延滯、鄰近路段延滯與停等延滯之總和，為一負值

績效指標

本研究將採用兩個績效指標值，分別為續進率及系統車輛總延誤值。



## 續進率

連鎖號誌系統中為確保在主要臨界車流方向，其車行速度與流量均能在號誌綠燈時間內順利通過多個路口，以減少道路擁塞之現象，本研究採用續進率作為績效指標之一，定義為「在上游綠燈時間開放後通過的總車輛數中，亦能夠順利通過下游路口的比例」。權重值將採用 0.5。

## 路口車輛總延誤值

為避免衝突車流的產生，將衝突方向之車流以號誌控制予以分離，故造成未通行方向的車流產生停等或是旅行時間延滯等現象。總和路口各路段上車輛的停等延滯時間，作為一個負效用之績效指標值，該值越小對於目標式越佳。權重值亦採用 0.5，權重值與續進率同為 0.5，表示本系統在模擬初期將續進率與總延誤值之權重值視為相同。

## 5.2 獨立路口號誌設計準則

獨立路口的號誌設計主要依據交叉路口實際交通流量與型態進行規劃，亦即以流動為導向的設計方式，可根據車流量大小調整號誌週期的長短及各時相的綠燈時間。本研究對於獨立路口的號誌設計準則是以公式法計算出起始週期、時相長度後，再以微調方式使目標式最佳。

### (一)獨立路口起始週期、時制計算方式

本研究採用韋布斯特(Webster)時制計算公式計算號誌起始週期及各時相綠燈時間。Webster 計算公式是將交叉路口總延滯計算公式對週期長度加以微分，得到最小延滯值的週期長度計算公式如下：

$$Co = \frac{1.5L + 5}{1 - y_1 - y_2 - \dots - y_n} = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (5-2)$$

其中， $Co$ ：最佳週期長度(sec)

$y_i$ ：在時相  $i$  內最大流量對飽和流量之比值

$Y$ ： $y_i$  總和

$L$ ：每週期的全部損失時間(sec)

有效綠燈時間的計算，以式 5-3 作為計算：

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{y_1}{y_2} \quad (5-3)$$

其中， $g_1$ 、 $g_2$ ：時相 1 與時相 2 的有效綠燈時間(秒)

式 5-3 可擴充至兩時相以上的有效綠燈時間計算，若  $C_o-L$  表示整個週期內有效綠燈時間的總和，則各時相之有效綠燈時間，可以以式 5-4 求得：

$$g_i = \frac{y_i}{Y}(C_o - L) \quad (5-4)$$

## (二)最佳化週期、時相

利用韋布斯特週期計算公式計算之起始週期，綠燈時相時間代入模擬程式中，並計算目標值，且對週期與綠燈時相長度等兩變數分別進行微調，不斷以遞增方式代入目標式進行計算，每一組週期及綠燈時相對應出一個目標值，當目標值最大時之週期及綠燈時相即視為獨立路口之最佳化週期及時相。

## 5.3 幹道連鎖號誌設計準則

幹道號誌的連鎖時制設計必須考慮到三個因素：共同週期、時比及時差。本研究以文獻中之公式計算出起始週期、時比及時差後，以達目標式最大的方式進行號誌最佳化設計。以下說明設計準則：

### (一)共同週期

幹道系統的定時時制設計需考慮到共同週期，使得欲連鎖的各路口週期調整為一致，以便於號誌間有固定的時差值。共同週期的制定，是以連鎖路段中交通負荷量最繁忙的臨界路口週期作為各路口的共同週期。

### (二)時比

幹道決定共同週期後，臨界路口外的其他路口週期皆產生改變，各路口週期的分相長度亦需重新調整。

時比的調整原則以臨界路口的流動交通量為基準，據此較能反應轉向車輛對車流的影響及考慮混合車流中機車之干擾現象，計算公式如 5-5 所示：

$$g_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} (Co - \sum_{i=1}^n Li) \quad (5-5)$$

其中， $g_i$ ：第  $i$  時相有效綠燈時段

$y_i$ ：第  $i$  時相之臨界入口流動交通量

$Co$ ：號誌週期

$Li$ ：第  $i$  時相損失時間

綠燈時間必須考慮該時相損失時間及黃燈時間：

$$\overline{g_i} = g_i + Li - Y_i \quad (5-6)$$

其中， $\overline{g_i}$ ：第  $i$  時相之綠燈時間

$Y_i$ ：第  $i$  時相之黃燈時間

時間設計應有最小綠燈時間的限制，最小綠燈時間以行人步行通過路口所必須花費的時間作為計算，公式如下：

$$GiMin = Di + \frac{Wi}{V_p} - Y_i \quad (5-7)$$

其中， $GiMin$ ：最小綠燈時間

$Di$ ：通過該綠口之行人起步延滯

$Wi$ ：穿越路口的寬度

$V_p$ ：行人的步行速率

$Y_i$ ：黃燈清道時段，以秒為單位

### (三)時差

幹道上兩路口的車流續進成功與否，取決於各路口間時差值的建立，「時差」為交通號誌某一特定方向，綠燈始亮至下一交叉路口同一方向相同燈號始亮之時間差。時差的決定影響車輛在下游路口的停等和延誤時間，亦關

係著通過下游路口處車輛數的多寡。

一般的時空圖中，時差的建立皆在於以一固定行駛速率計算，可視為路段長  $L$  與車輛期望速率  $V$  的函數，計算公式如下：

$$\tau = \frac{L}{V} \quad (5-8)$$

其中， $\tau$ ：時差(秒)

$L$ ：路段長度(公尺)

$V$ ：車輛期望速度(公尺/每秒)

#### (四)最佳化週期、時比及時差

本章所建立之幹道號誌連鎖目標式乃是號誌週期、時比及時差三者相互影響下之結果，將利用週期、時比及時差之窮舉法，不斷以遞增值帶入目標式進行估算，每一組週期、時比及時差均可對應出一組目標值，目標值最佳的週期、時比及時差即為最佳化週期、時比及時差。

本研究列舉週期、時比及時差雖為窮舉法，惟需滿足各車行方向最小綠燈的限制，故週期的模擬範圍定為四分之三倍起始週期至一又四分之一倍起始週期之間，時差的模擬範圍為四分之三起始時差至一又四分之一起始時差，時比窮舉的模擬範圍則向上向下各延伸 10%之數值，以滿足最小綠燈時間之要求。

對於不同的道路交通流量及車輛混合比例的條件，應有不同的號誌控制策略，才能有效的紓解車流。一般而言，道路上的流量越大，需要越長的週期或是有效綠燈時間才能得以紓解車流；機車的混合比越高，因啟動延滯可以減少，故在同時間內的車輛紓解量會較高，所需的綠燈時間相對減少，惟週期長度與時比等差異均會影響幹道車輛的續進率及延誤值，故系統最佳的績效值仍須經由嚴密的計算方可得知；本研究時制的尋優邏輯如圖 5.1 所示，以公式法計算起始週期、時比與時差後，在判斷是否滿足最小綠燈需求的條件下，在與其他週期、時比、時差的排列組合進行績效值比較。除了探討週期、時比與時差之設定外，本研究亦針對不同流量比與機車混合比的條件下進行模擬，最後製作包含混合比與流量水準的時制表，可供不同的尖離峰流量條件下查表使用。

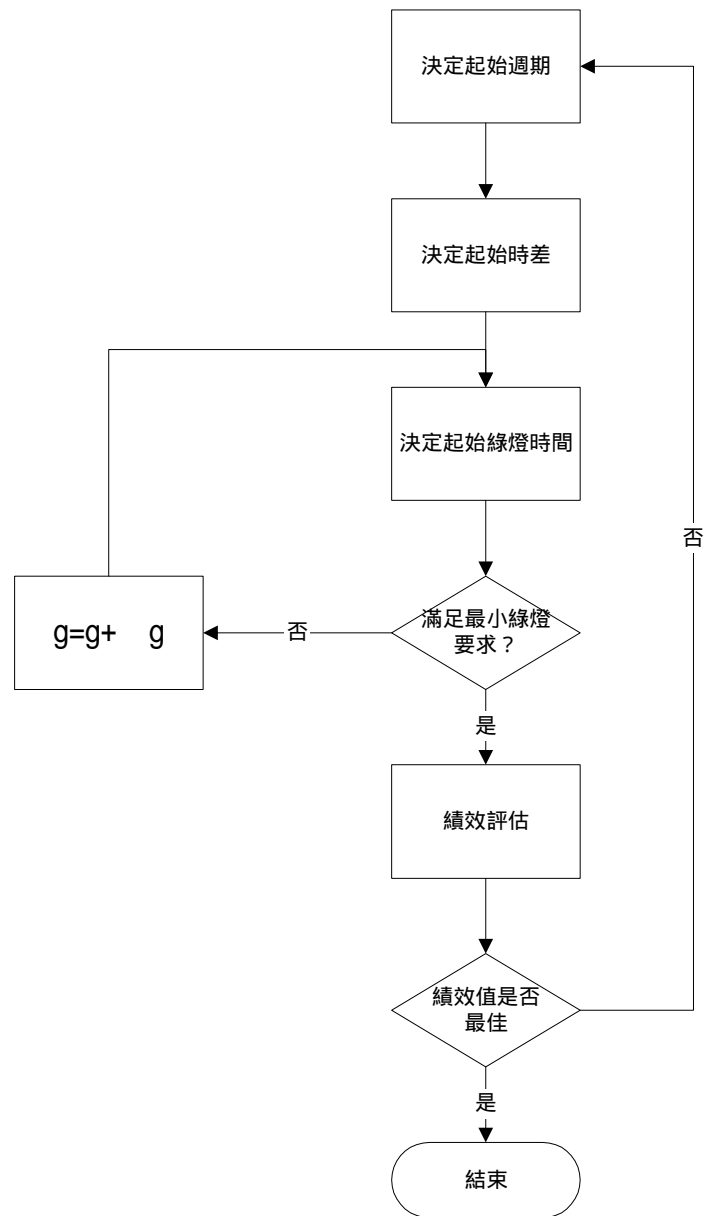


圖 5.1 本研究時制尋優流程

## 第六章 模擬資料驗證與實例分析

本章將針對實證路段號誌說明、模擬模式驗證、起始時制計算、績效值及時制表製作等四部分進行分析討論，其中模式驗證方面將說明車流模式行為驗證、輸入輸出資料檢定等，號誌時制的計算則依據民國 90 年 10 月的調查資料進行規劃、並與現行號誌設定進行比較。系統績效值方面則是依據低、中、高流量進行計算，並計算號誌設計時制表。

### 6.1 實際道路及交控環境

#### 1. 路口配置圖

本研究之模擬範圍以台中市中區單向道系統作為模擬區域，以自由路與民族路交叉口為第一個路口、自由路與中山路為第二個路口，模擬距離為全長 208 公尺，直行方向車輛由上游路口產生，在第一路口或第二路口轉向、或通過中山路即視為離開系統，詳細圖示如圖 6.1 所示。此外，橫向方向車流的產生，若直行通過該路口則視為離開系統，車輛進入幹道後依直行方向車流判定方法判別。

幹道上共有四個車道，包含兩個內側車道、兩個外側車道，汽機車車道分配情形則依實際調查之比例產生於各車道上，機車亦可產生於車道任意位置。橫向支道均為兩車道，車道寬度約為 3.5 公尺至 4 公尺。

#### 2. 號誌週期模擬與調查

模擬模式的起始輸入號誌時相以實際道路資料設定，根據民國 92 年 4 月 26 日於道路上實際調查結果，可列出如表 6.1 之時制表，將作為模擬模式之起始號制設定數據。

表 6.1 起始號誌設定表

共同週期	綠燈時間	綠燈時比	黃燈時間	時差
120 秒	72 秒	0.6	3 秒	0 秒

### 6.2 模擬程式驗證

模擬模式的驗證部分，分為三部分，第一部份是車流模式驗證，包含程式的

除錯(debug)工作，當程式能順利執行，並產生正確的車流行為後，此部份的確認工作即算完成。第二部分為蒐集實際道路環境及號誌控制之資料，包含起始週期、時比與時差的訂定等。

第三部分則為輸入及輸出資料之驗證，此部份資料將依據輸入的資料與實地調查結果，進行輸入資料的分配函數配適度檢定與模擬資料檢定是否一致等，包含的項目如下：1.車輛到達率、2.車輛進入速率、3.車輛期望速率、4.車種比例、5.車道分佈比例、6.轉向比例等。除比對調查資料外，亦以車流模擬產生的資料值，是否滿足其輸入的分配型態，此部分則使用卡方檢定進行適合度檢定。

### 6.2.1 車流模式驗證

根據本研究第四章所敘述之車輛前進邏輯，以 c++ 程式進行撰寫，並依二維座標法模式模擬出車輛位置，可繪出車輛移動之軌跡圖，如圖 6.1 至圖 6.10 所示，包含機車移動軌跡圖、汽車移動軌跡圖、車輛停等時空圖及車輛遭遇障礙物軌跡圖及一般化車輛時空圖等。

#### 1. 機車移動軌跡圖

圖 6.2 為機車移動軌跡圖，該輛機車正進行變換車道行為以便在路口二進行轉彎動作。機車依本研究所假設，可任意產生並行駛於各車道上，變換車道也以移動一動態車寬方式進行，且會因與旁車間距過於接近，進而產生往兩側有空隙位置偏移之現象，如圖 6.3 所示，機車 B 因和汽車 A 未保持安全間距，在第 2 點位置時向左方偏移，故均與旁邊保持一動態車間距之空間，並隨時調整與鄰車之間距。

#### 2. 汽車移動軌跡圖

汽車以車道作為移動的標的，故車輛產生均於車道中央，變換車道亦以變換至該車道的中央位置為主，若汽車變換車道至慢車道，則可依據當時的車輛分佈狀況行駛。相較於機車，由於汽車行進位置較固定，無機車的偏移現象，如圖 6.4 前 50 公尺車輛行駛軌跡所示，惟汽車在變換車道時仍以其最大偏向角度進行偏轉動作，最後偏轉至預期車道的中央。此外，自由路上游路段產生的機車與汽車混合軌跡圖如圖 6.5 所示，B 車為汽車，A 車為欲轉彎之機車，由圖中可發現，在第 6 秒時因 A 車為 B 車側向間距過小，而在第七秒後偏移且保持安全間距，A 車進行變換車道行為後離開本系統，圖 6.5 顯示出車輛在道路上應有的直進、橫向偏移行為，圖 6.6 則為圖 6.5 中 A 車與 B 車的軌跡時空圖。

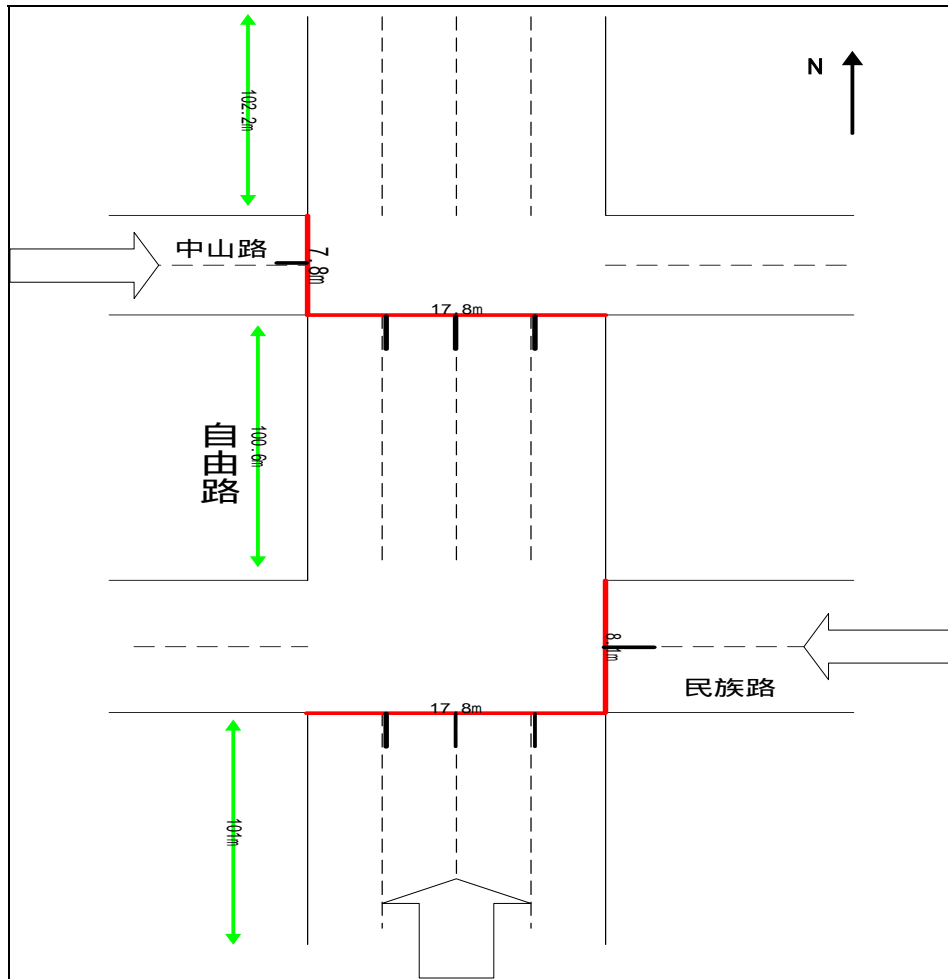


圖 6.1 實證道路位置圖

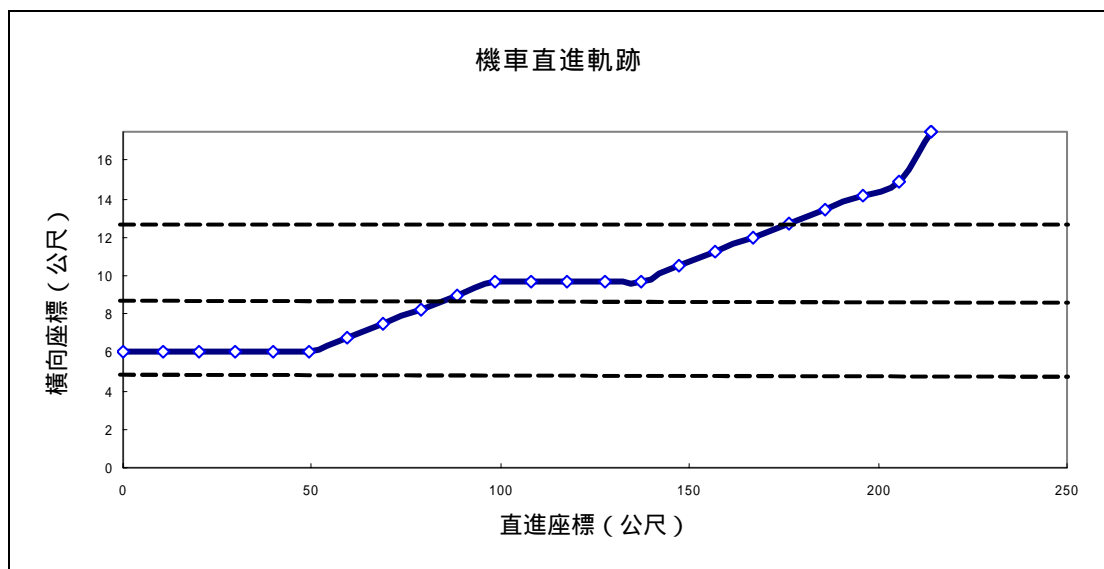


圖 6.2 機車軌跡圖



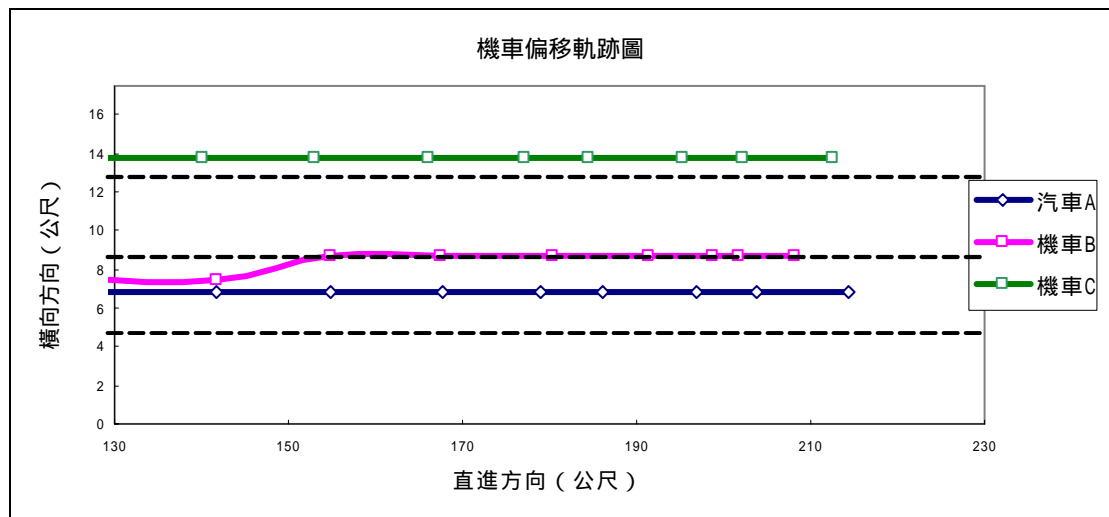


圖 6.3 機車偏移軌跡圖

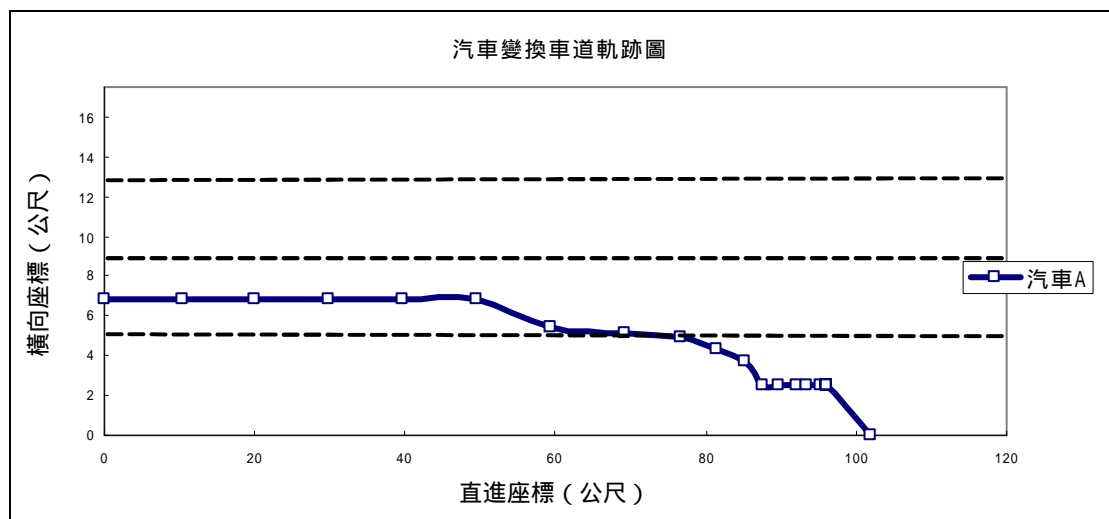


圖 6.4 汽車軌跡圖

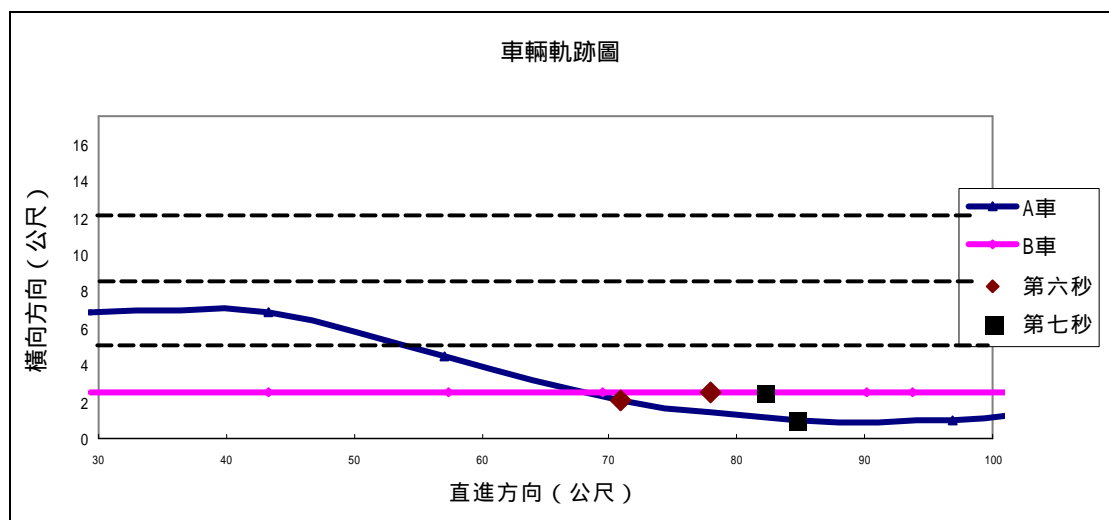


圖 6.5 車輛軌跡圖

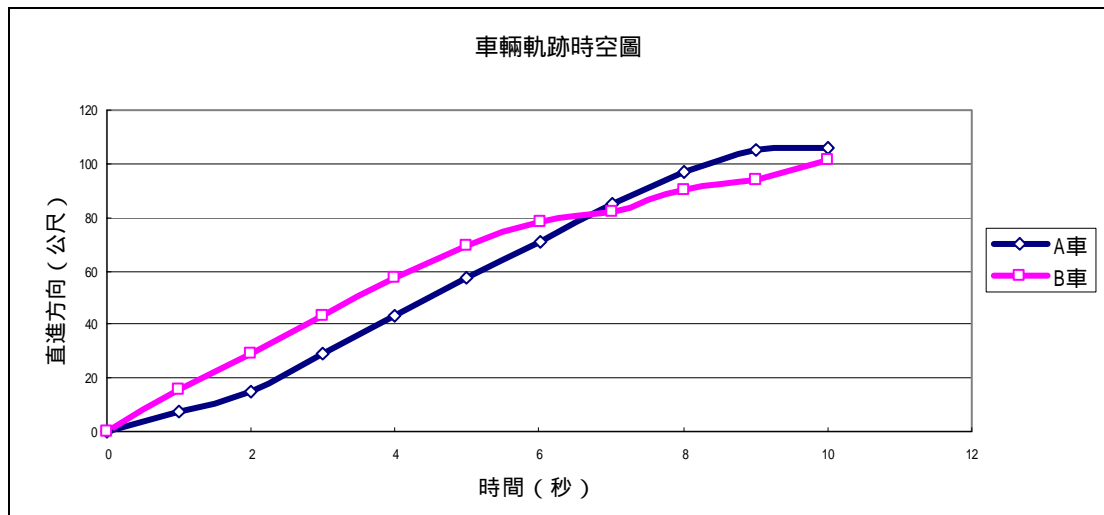


圖 6.6 車輛時空圖

### 3. 車輛軌跡時空圖

圖 6.7 為一般化車輛軌跡時空圖，圖中顯示車輛在第 1 秒時進入系統，並在 8 秒時在路口遭遇紅燈，進而產生停等，待紅燈結束後，繼續往下一路段前進，隨後在第 25 秒時離開模擬系統。

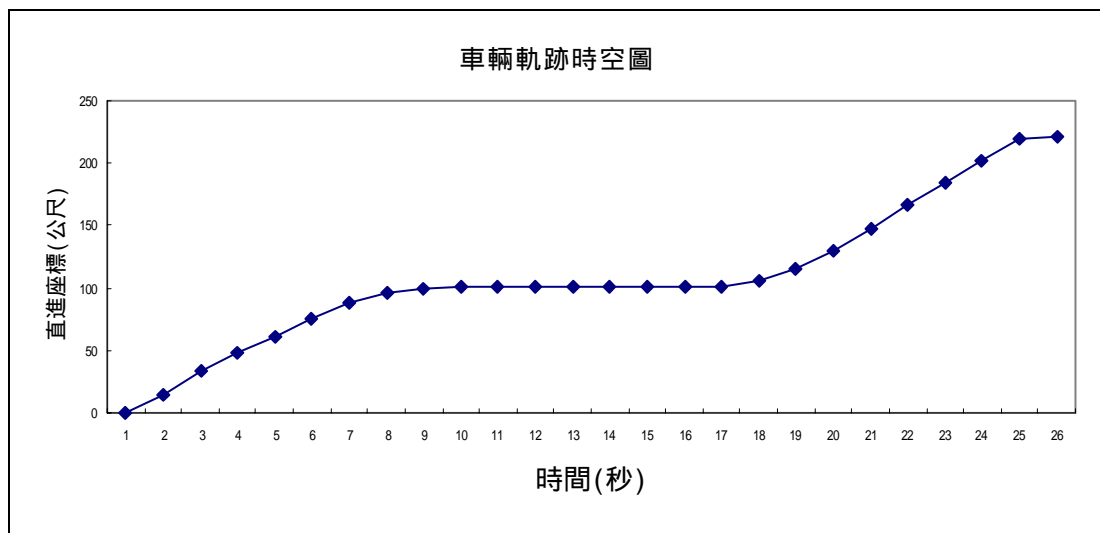


圖 6.7 一般化車輛軌跡時空圖

### 4. 車輛遇障礙物軌跡圖

依據本研究之邏輯，假設車輛在遭遇前方障礙物時(在車道三 70 至 75 公尺處)，駕駛人會先行判別是否有安全疑慮，若處於不安全的狀況，則立即判別是否可變換車道，否則則以最大減煞停於障礙物前，待有機會時再進行變換動作，圖 6.8 所示為車輛再遭遇障礙物時，變換車道的行為軌跡，惟本研究之實證路段並無障礙物，故不納入模擬模式中。

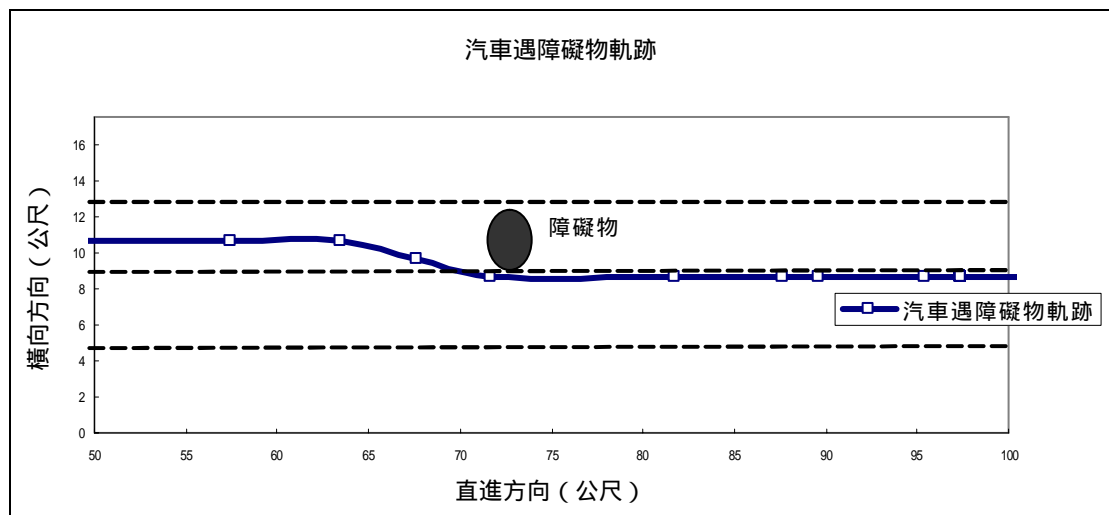


圖 6.8 車輛遇障礙物軌跡圖

### 5. 劃設機車停等區車輛軌跡圖

依據本研究所假設的機車停等區位置，設置於車行方向右側慢車道（車道四）的近路口端，為一 5 公尺 X10 公尺之矩形區域，車道四上的汽車會在矩行區域（90 公尺處）前即產生停等，較未設置停等區時會在 100 公尺處前產生煞停行為有所差異，等同於機車停等區後端線為車道四之汽車停等線。就機車而言，車輛在近路口時，車道三的機車會向機車停等區所在的車道四趨近，並產生停等，如圖 6.9 及圖 6.10 所示。

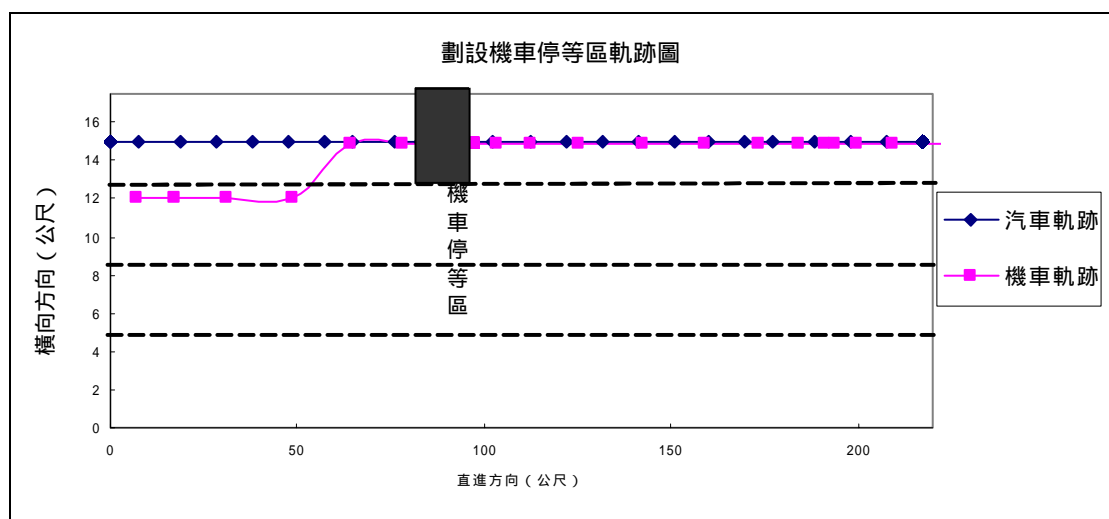


圖 6.9 機車停等區車輛軌跡圖

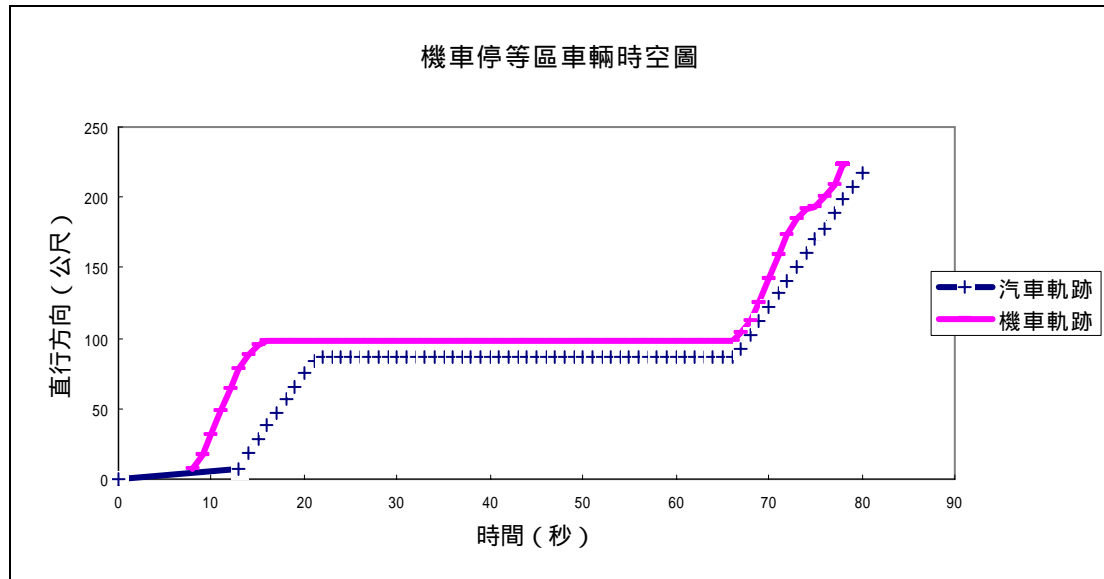


圖 6.10 機車停等區車輛時空圖

### 6.2.3 輸入輸出資料檢定

本研究進行模擬時，先就實際調查的資料作為起始輸入參數，包含車輛抵達率、車輛抵達速率、車種比例、車輛產生車道位置、路口轉向比等，模擬模式產生之結果，再與調查結果進行卡方檢定，驗證模擬程式之結果與實地調查資料一致。

#### 1. 車輛到達率

車輛到達率分配的檢定，主要作為檢定模擬模式中的車輛產生方式。汽車方面，由於密度未若機車數龐大，本研究採用間距法產生；機車部分由於屬於密集產生，故採用固定間隔計數法產生。目前實地調查的 30 分鐘車種樣本數如表 6.2 所示，模擬 3000 秒後調整為 30 分鐘的車輛產生數；實際調查資料與模擬結果的車輛數相較，表 6.3 則為本研究實際調查及模擬程式車輛產生分配之檢定，依據 BESTFIT 軟體的檢定，調查汽車產生分配符合伽瑪分配，機車計數產生符合負二項分配型態，程式模擬所得的車輛產生分配情形亦符合設定值。

#### 2. 車輛進入系統速率

車輛的抵達速率調查方式，乃利用測速器於道路的進入端進行量測，並依據調查結果進行模式配適度檢定，檢定結果道路上車輛到達速率符合常態分配，本研究模式模擬之結果也符合常態分配形式，平均值與標準差如表 6.4 所示。

#### 3. 車輛期望速率

車輛的期望速率調查方式，乃利用測速器於道路路段的前端進行量測，將車輛在前方號誌為綠燈且無前車干擾運行的情況下，視為該車輛的期望速率，並依車種進行平均值、標準差之分析，依據調查結果進行模式配適度檢定。檢定結果道路上車輛期望速率符合常態分配，本研究模式模擬之結果也符合常態分配形式，平均值與標準差如表 6.5 所示。

#### 4. 車種比例

根據實際調查結果，30 分鐘內的車種組成比例，本研究僅考慮小汽車與機車兩類車種，其中汽車佔 46%，機車佔 54%，模擬結果與實際調查結果的比例相似，如表 6.6 所示。

表 6.2 車輛到達率

車種	調查樣本數 (輛/30 分鐘)	模擬車輛數 (輛/30 分鐘)
汽車	337	328
機車	417	421
調查時間：30 分鐘交通量 2003.4.13 10:55-11:25A.M.		

表 6.3 模擬車輛產生間距

車型		樣本數	平均值	變異數	自由度	卡方值	卡方臨界值	檢定結果
調查值	汽車	53	4.78	2.57	7	0.20	14.07	接受伽碼分配
	機車	49	7.47	4.70	7	0.13	14.07	接受負二項分配
模擬值	汽車	51	5.84	3.46	7	10.94	14.07	接受伽碼分配
	機車	47	6.38	5.14	7	0.57	14.07	接受負二項分配

表 6.4 車輛到達速率

車型		樣本數	平均值	標準差	自由度	卡方值	卡方臨界值	檢定結果
調查值	汽車	51	8.83	1.38	8	6.706	15.51	接受常態分配
	機車	50	7.83	1.41	8	5.29	15.51	接受常態分配
模擬值	汽車	328	8.76	1.33	8	0.18	15.51	接受常態分配
	機車	421	7.80	1.87	8	0.01	15.51	接受常態分配
調查時間:2003.4.26 樣本數(輛) 平均值(公尺/每秒)								

表 6.5 車輛期望速率

車型		樣本數	平均值	標準差	自由度	卡方值	卡方臨界值	結果
調查	汽車	38	11.48	2.91	5	6.44	11.07	接受常態分配
	機車	41	11.16	2.5	5	1.18	11.07	接受常態分配
模擬	汽車	328	11.48	2.8	8	0.11	15.51	接受常態分配
	機車	421	10.86	2.65	8	0.03	14.07	接受常態分配
調查時間:2003.4.26 樣本數(輛) 平均值(公尺/每秒)								

## 5. 車道分配比例

本研究調查車輛於車道上的產生比例，可供模擬模式之輸入參數，其中，汽車的產生多集中在屬中央車道的車道二與車道三，機車則是在最右側兩車道產生比例最高，達 75%。調查結果與模擬的結果均予以統計檢定車輛的產生比例是否符合調查值。

表 6.6 車輛組成比例

	汽車樣本數	汽車比例	機車樣本數	機車比例	總車數	總比例
實際調查	335	46%	408	54%	743	100%
模擬結果	328	44%	421	56%	749	100%
調查時間：2003.4.13 11:00-12:00AM 單位：輛/30 分						

表 6.7 車道分配比例

車輛值\車道名	車道一	車道二	車道三	車道四
汽車調查值	42	125	149	21
汽車模擬值	49	116	146	17
機車調查值	51	14	74	278
機車模擬值	58	10	67	286
調查時間 2003.4.13 10:55-11:25 A.M. 單位：輛/30 分				

## 6. 轉向比例

轉向比例為程式模擬之初即設定，代表每一路口之每一個轉向比例，本研究實際的調查結果與模擬結果如表 6.8 所示。根據表 6.8 中，實際值與調查值佔該路口車輛轉向比比例誤差值皆在 10%之內，顯示本研究之模擬車輛轉向比符合實際調查比例。

表 6.8 車輛轉向比例

調查值				模擬值			誤差值		
路口 編號	右轉 比例	直行 比例	左轉 比例	右轉 比例	直行 比例	左轉 比例	右轉 比例	直行 比例	左轉 比例
自由 路口	21	205	30	23	205	39	+2	0	+9
	8%	80%	12%	9%	77%	14%	+1%	-3%	+2%
民族 路口	40	94		24	36		-16	-57	
	30%	70%		40%	60%		+10%	-10%	
中山 路口		100	34		21	7		-79	-27
		75%	25%		75%	25%		0	0
調查時間 2003.4.13 10:55-11:25A.M. 單位:輛/30 分鐘									

### 6.3 起始週期計算與現行號誌設定

運用韋布斯特(Webster)計算公式計算號誌最小延滯週期，應用於本研究之實證部分，計有九個計算步驟，其中，臨界車道流量之數據依據民國九十年十月份勝群顧問公司[38]之調查資料，如圖 6.11 所示：

- (一) 二時相時制設計，依據實證路段原本之時相數進行設計，參考圖 6.12 至 6.13 所示，分別為兩個連鎖路口之設計時相。
- (二) 黃燈清道時段，依據該路段原先號誌設計為 3 秒，車輛啟動延滯約 2.2 秒。
- (三) 行人穿越之最小綠燈時段：

$$\text{計算公式為： } GiMin = Di + \frac{Wi}{V_p} - Yi$$

其中， $GiMin$ ：最小綠燈時間  $Di$ ：通過該綠口之行人起步延滯，通常取 5 秒

$Wi$ ：穿越路口的寬度（公尺） $V_p$ ：行人的步行速率，通常為 1.2 公尺/秒

$Yi$ ：黃燈清道時段，通常取 3 秒

路口一：

$$\text{東西向： } G_{\min} = 5 + \frac{17.8}{1.2} - 3 = 16.83 \text{ 秒} > 15 \text{ 秒，取 17 秒}$$

南北向： $G_{\min} = 5 + \frac{8}{1.2} - 3 = 8.67 \text{ 秒} < 15 \text{ 秒}$ ，取 9 秒

路口一的最小綠燈時間取 17 秒。

路口二：

東西向： $G_{\min} = 5 + \frac{17.8}{1.2} - 3 = 16.83 \text{ 秒} > 15 \text{ 秒}$ ，取 17 秒

南北向： $G_{\min} = 5 + \frac{7.8}{1.2} - 3 = 8.5 \text{ 秒} < 15 \text{ 秒}$ ，取 9 秒

路口二的最小綠燈時間取 17 秒。

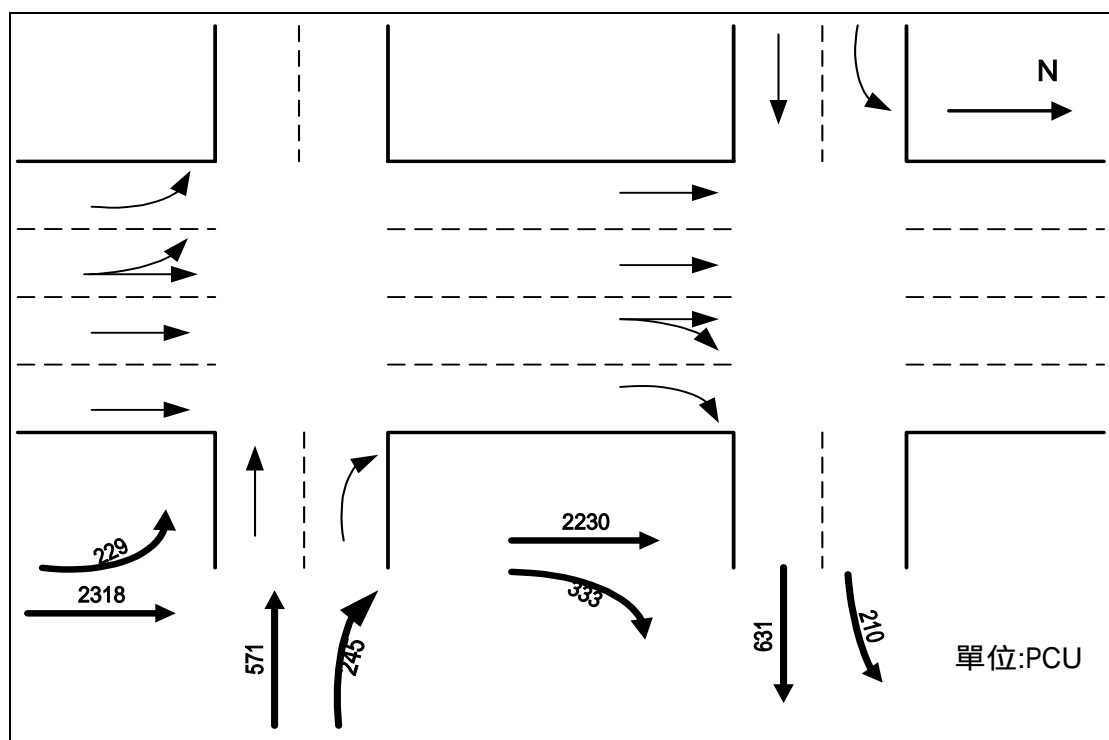


圖 6.11 道路車流量示意圖

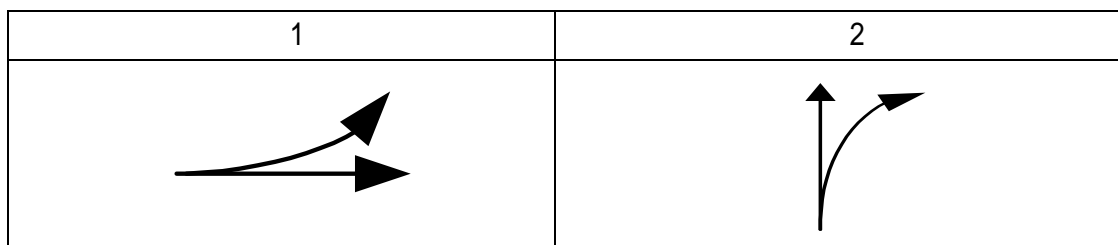




圖 6.12 路口一時相設計示意圖

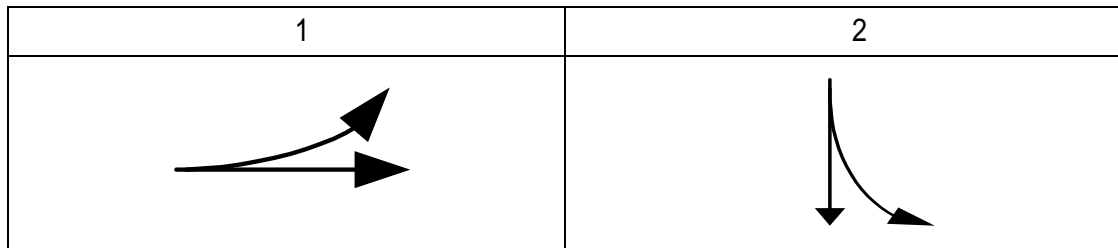


圖 6.13 路口二時相設計示意圖

(四) 各路口每方向每車道之交通流量  $Q$ (PCPHPL) 計算：

路口一：

北向車流：直行  $Q = 2318/2.5=927$  (PCPHPL)

左轉  $Q = 229/1.5=153$  (PCPHPL)

西向車流：直行  $Q = 571$  (PCPHPL)

右轉  $Q = 245$  (PCPHPL)

路口二：

北向車流：直行  $Q = 2230/2.5=892$  (PCPHPL)

左轉  $Q = 333/1.5=222$  (PCPHPL)

東向車流：直行  $Q = 631$  (PCPHPL)

右轉  $Q = 210$  (PCPHPL)

(五) 交通流量與飽和流量比值( $y_i$ )：

路口一： $y_1=927/1800=0.515$   $y_2=571/1800=0.317$

路口二： $y_1=892/1800=0.496$   $y_2=631/1800=0.351$

(六) 總延滯最小之週期時間( $C_o$ )

$$\text{路口一： } C_o = \frac{1.5 * 2.2 * 2 + 5}{1 - (0.515 + 0.317)} = 69.05 \text{ 秒，取 70 秒}$$

$$\text{路口二： } C_o = \frac{1.5 * 2.2 * 2 + 5}{1 - (0.496 + 0.351)} = 75.82 \text{ 秒，取 80 秒}$$

兩路口共同週期取路口二的 80 秒

(七) 各時相長度分配：

總綠燈時間( $G_e$ )： $G_e=C_o-L=80-4.4=75.6$  秒

路口一各時相有效綠燈時間( $g_i$ )：

$$1: Ge = \frac{0.515}{0.832} \times 75.6 = 46.8 \text{ 秒}$$

$$g_1 = 46.6 - 3 + 2.2 = 45.8 \text{ 秒, 取 46 秒}$$

$$2: Ge = \frac{0.317}{0.832} \times 75.6 = 28.8 \text{ 秒}$$

$$g_2 = 28.8 - 3 + 2.2 = 28 \text{ 秒}$$

路口二各時相有效綠燈時間：

$$1: Ge = \frac{0.496}{0.847} \times 75.6 = 44.2 \text{ 秒}$$

$$g_1 = 44.2 - 3 + 2.2 = 43.4 \text{ 秒, 取 43 秒}$$

$$2: Ge = \frac{0.351}{0.847} \times 75.6 = 31.3 \text{ 秒}$$

$$g_2 = 31.3 - 3 + 2.2 = 30.5 \text{ 秒, 取 31 秒}$$

(八) 路口二時相時制設計長度：依據韋布斯特時制計算公式計算之起始號誌設定如表 6.9 所示，其中因路口一的幹道號誌時比與路口二差異不大，且為方便計算起見，故將固定路口一、二之時比均為 0.6：

表 6.9 起始週期設定

路口一	綠燈時間	黃燈時間	紅燈時間
第一時相	46 秒	3 秒	31 秒
第二時相	28 秒	3 秒	49 秒
時相一時比	0.575		0.388
路口二	綠燈時間	黃燈時間	紅燈時間
第一時相	43 秒	3 秒	34 秒
第二時相	31 秒	3 秒	46 秒
時相二時比	0.538		0.43

(九) 時差設定：為路段長度與車輛期望速率之函數，起始時差的設定為

$\frac{\text{路段長度(公尺)}}{\text{車輛期望速率(公尺/秒)}}$ ，故本實證路段之起始時差值為

$$\frac{117.5}{11.31} = 10.39 \text{ 秒, 因實際車輛的行駛速率均小於或等於其期望速率, 故}$$

採用無條件進入法計算，時差約為 11 秒，故以 11 秒作為本路段之起始時差值。

根據車流模擬模式，輸入表 6.9 之設定值及表 6.1 之實際調查值，進行 10 次 1800 秒模擬後得到平均車輛預期旅行時間等數值。此外，經由第五章公式計算，可得出如表 6.10 之績效值表。由表 6.10 所示，以獨立路口韋布斯特時制計算公式計算的週期、時比績效值與實際道路設定值之績效值相較，本研究所設定之績效值將高於現行道路實際操作之設定值，故本研究將採用計算之起始設定值數據(週期:80 秒、時差 11 秒、綠燈時比 0.6)視為起始週期，隨後分別以週期長度、時比及時差微調方式估計最適週期長度。

表 6.10 起始設定與實際設定道路績效值

	週期 長度 (sec)	時差 (sec)	幹道 綠燈 時比	預期 總運行 時間	車輛 運行總 時間	車輛 數	續進 數	續進 率	延誤 率	績效 值
實際 設定	120	0	0.6	12106	18182	864	239	0.28	0.33	-0.05
起始 設定	80	11	0.575	12352	16577	881	234	0.27	0.25	0.02

## 6.4 績效值計算

依據 6.3 小節所計算之起始週期長度、時比與時差，再依據高、中及低流量條件，分別變動週期長度、時比及時差方式可計算出如表 6.10 至 6.12 之績效表，其中，週期的變換區間為起始週期的 0.75 倍至 1.25 倍為模擬的區間，故本研究的模擬範圍為 60 秒至 150 秒。於模擬範圍內，以十秒為一變動值；時差以路口一的號誌為基準路口、路口二的號誌週期起始時間加入 9 至 14 秒，為兩個連鎖路口的時差值、每秒變動一次；時比於 0.5 至 0.7 間變動。績效結果可繪出週期長度、時差或綠燈時比三者之一之單一條件值固定，其餘兩值變動時之三維績效圖形，若單一值與績效值相較，則可繪出二維的績效圖形，上述兩類圖形如圖 6.14 至圖 6.31 所示。此外，本研究亦對於劃設機車停等區對道路上車流之影響進行績效評估工作，詳述內容於後。

### 1. 高流量

以車輛產生間距 0.7 秒/車作為輸入值，為幹道方向每小時 4000 輛、每車道每小時 1000 輛車、流率比 (flow ratio 每小時每方向流量/每小時每方向容量) 為 0.76，作為高流量水準下之模擬值。模擬的前十大績效值如表 6.11 所示。由表中可發現，在流量大時，系統績效值最佳的情形為時比 0.7、除週期於 80 秒時績效最佳外，其餘週期長度無太大之變化，於 130 秒時亦有次佳的績效值；且因流量大，時差的設定要較起始設定 11 秒為短，方可紓解下游路口之紅燈停等車隊。以週期、時比及時差三變數之其中二個變數作為因變數，績效值作為應變數可繪出三度空間圖形，若固定連續路口號誌時差為 9 (在高流量水準下績效

較好的時差值)的條件下,可得到如圖 6.14 的圖形,由圖形趨勢中可發現,在高流量的狀況下,影響幹道方向績效值的最大因素為綠燈時比,呈現向前傾斜之斜平面。若於道路車輛車輛數多的情況下,週期在 80 秒時會有極大的績效值、且時比大可使延誤值較小,與公式法所計算出之起始週期長度相似。此外,時差小則可使得車輛續進績效較佳,都會使得績效值呈現正向增加,若週期長度過長,則延誤值增加、續進率也不佳,故總績效值較差。

若比固定時比,不論週期多長,大體上時差越大,可使得續進的績效值較佳,車輛續進機會較多且旅行時間較短,可提升系統的總績效值,如圖 6.15 所示。此外,小週期之績效值普遍均較大週期為佳,呈現下降的趨勢平面。若觀察時比與時差的關係,固定週期長度為 80 秒,如圖 6.16 中顯示,在高流量水準下,時比仍是影響系統績效值最大的因素,時比大且時差接近起始設定值時績效值最佳,惟時差的影響因素並不顯著。

若以週期、時比及時差其中之一變數與績效值相較,可繪出如圖 6.17 至 6.19 之趨勢圖形,若固定時比 0.7 及時差 9 秒,週期和績效值之趨勢如圖 6.17 所示。高流量水準下,除 80 秒為最佳週期外,其餘在 130 秒之前績效值差異不大,表示週期在某一定範圍內,其續進率及延誤值所計算出的績效值差異不大,隨著週期的增加,系統中延誤增加的比例亦提高,故成階梯狀下降趨勢;固定週期為 80 秒、時比為 0.7 的條件下,連鎖路口為因應高流量水準的車流,其時差值需較起始設定之 11 秒為短,在 10 秒之前的時差值則有較好的績效值。圖 6.19 為幹道綠燈時比越大,將促使系統績效值越佳。

表 6.11 高流量前十大績效值

週期 長度 (sec)	幹道綠 燈時比	時差 (sec)	預期 總運行 時間	車輛 運行總 時間	車輛 數	續進 數	續進 率	延誤 率	績效 值
60	0.7	9	43897	56240	2665	1252	0.47	0.22	0.25
60	0.7	14	42336	57120	2549	1225	0.48	0.26	0.22
70	0.7	10	43957	59681	2641	1315	0.50	0.26	0.23
70	0.7	11	41590	56096	2524	1206	0.48	0.26	0.22
70	0.7	13	45969	60330	2722	1286	0.47	0.24	0.23
80	0.7	10	43745	58512	2634	1262	0.48	0.25	0.23
80	0.7	11	41721	53281	2539	1227	0.48	0.22	0.27
80	0.7	12	43550	57545	2603	1236	0.47	0.24	0.23
90	0.7	9	42684	57616	2570	1262	0.49	0.26	0.23
90	0.7	13	42992	56949	2578	1220	0.47	0.25	0.23
平均車輛數 2603 輛/1800 秒									

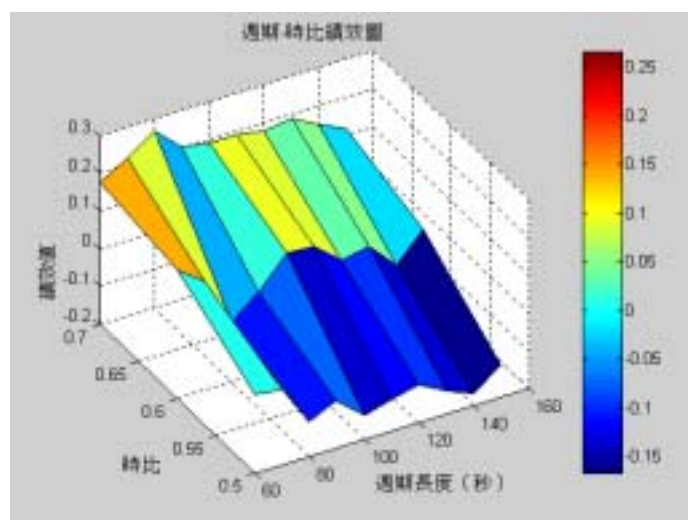


圖 6.14 高流量週期-時比績效圖 (時差 9 秒)

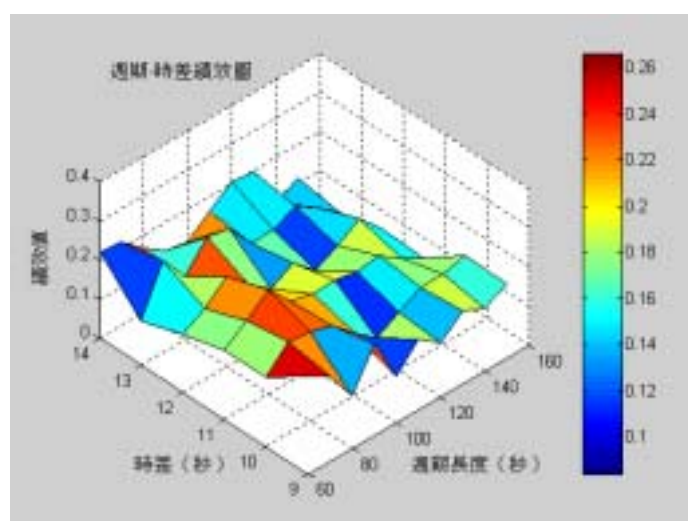


圖 6.15 高流量週期-時差績效圖 (時比為 0.7)

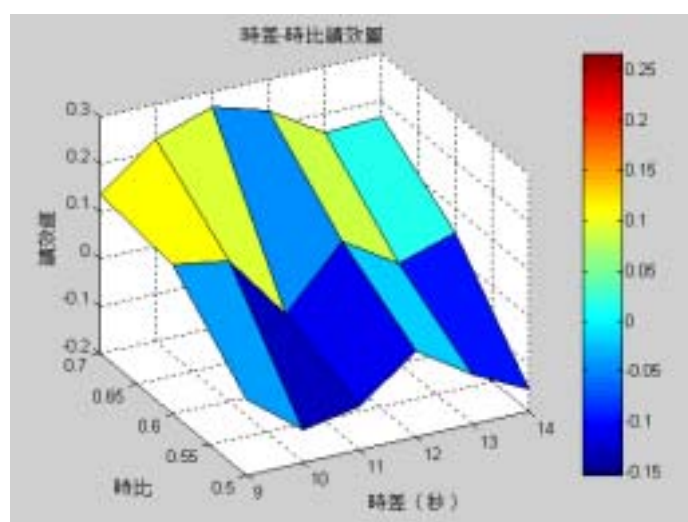


圖 6.16 高流量時比-時差績效圖 (週期 80 秒)

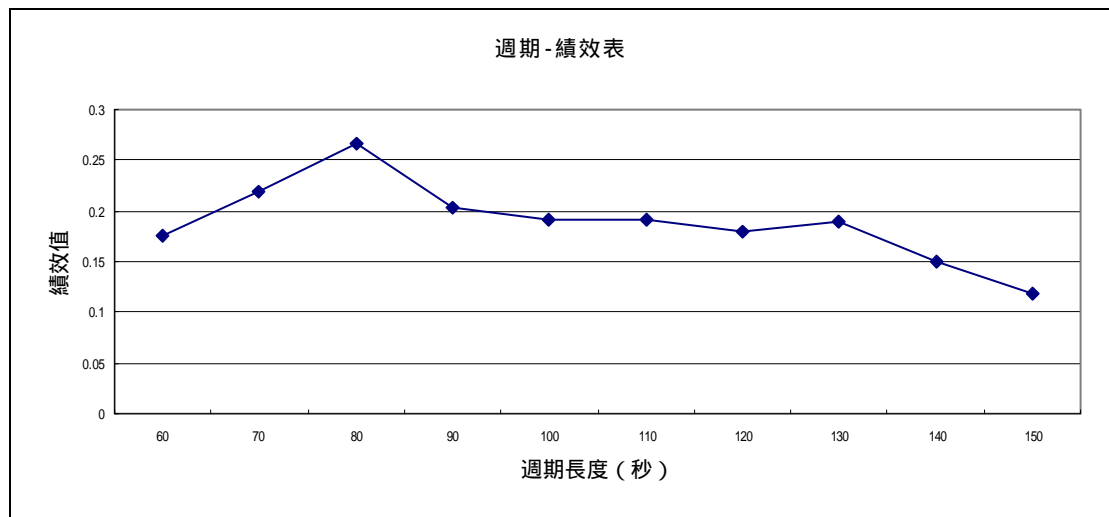


圖 6.17 高流量水準週期-績效圖

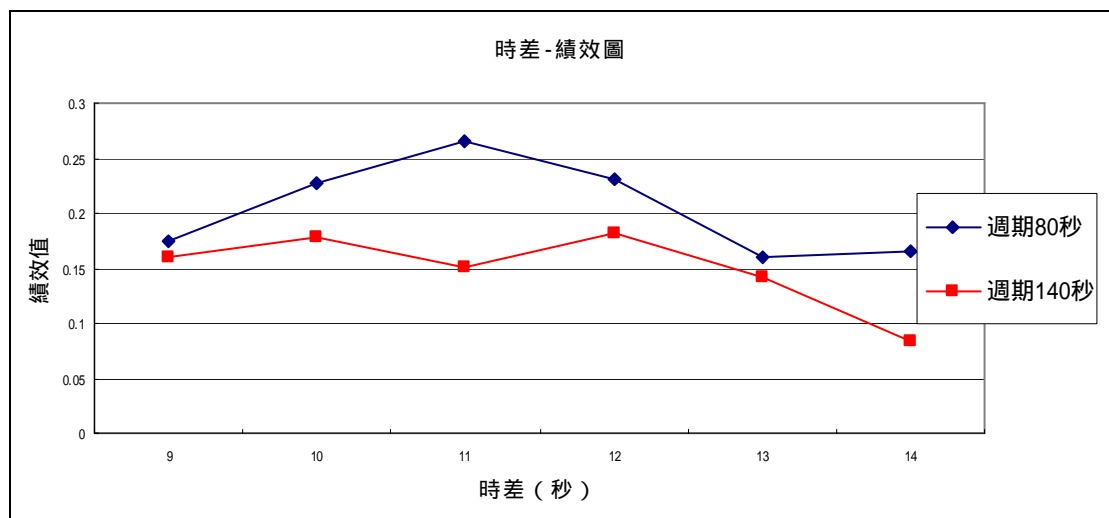


圖 6.18 高流量水準時差-績效圖

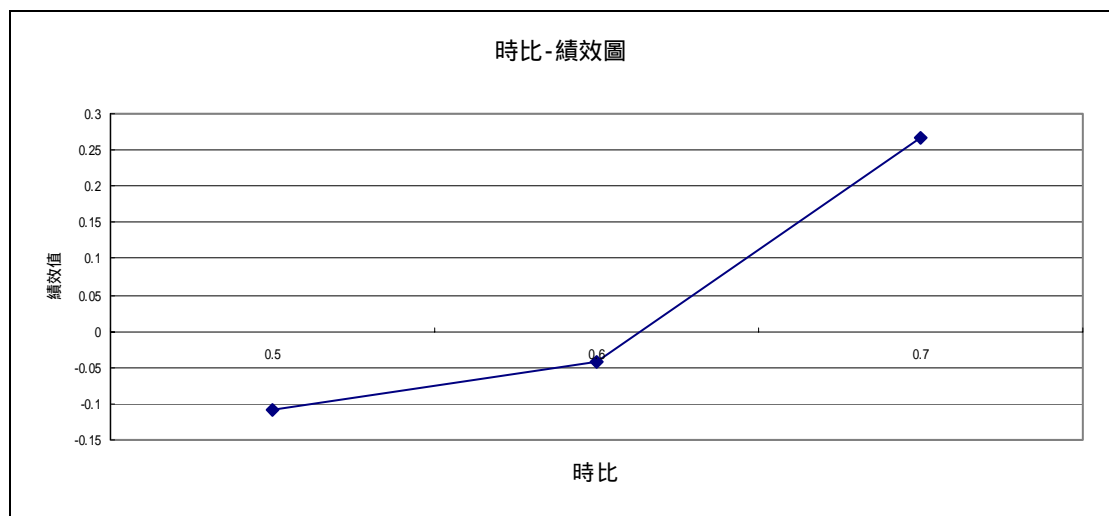


圖 6.19 高流量水準時比-績效圖

## 2. 中流量

以車輛產生間距 1 秒/車作為輸入值，系統總車輛數約為每小時 3600 輛車，輸入幹道方向每小時 3100 輛，平均每小時每車道 775 輛車，流率比為 0.51 作為中流量水準下之模擬值。以週期、時比及時差遞增方式模擬最佳化週期、時比及時差，可得模擬前十大績效值如表 6.12 所示，由表中可發現，績效最佳的前十大其綠燈時比均為最高的 0.7，週期長度 70 秒時為整個系統績效值最佳。此外，在此流量水準下最佳的週期長度出現於 70 秒及 130 秒時，顯示出週期長度若為最佳週期長度的整數倍，其績效值均會為最佳，惟本研究乃以窮舉法方式以 10 秒為一掃描單位長度，故無法十分準確計算出最佳週期的長度及倍數。

此外，若僅固定週期、時比及時差其中一個變數與績效值相較，則在固定綠燈時比為 0.7 的條件下，可得到如圖 6.20 的圖形，由圖形趨勢中可發現，在中等車流量的條件下，以短週期、中等時差(接近起始設定時差)者的績效值會較佳，為一個向左前傾斜的斜平面，與高流量水準相較，最適的週期長度較短，表示週期縮短即可紓解道路上的車流量亦可促使系統績效值最佳。若時差過小或週期過短的設定將使得系統績效值最差。圖 6.21 為固定時差為 11 秒時，週期與時比的關係圖形，時比的影響因素仍是影響系統績效值最大的因素，當時比越大、系統績效值越佳，且長週期績效值亦大於同樣條件下的短週期績效。若固定週期長度為 70 秒，則在時差 10 秒至 11 秒時，越大的幹道綠燈時比擁有越佳的系統績效值，時比及時差之績效值如圖 6.22 所示。

倘若僅比較一個變數，由圖 6.23 至 6.25 看出週期、時比、時差各自與績效值比較的趨勢圖形；在週期與績效值的圖 6.23 發現，在中流量的狀況下，連鎖號誌的週期以 70 秒時之績效值為最佳，且在 90 秒之內均可獲得較佳的績效值，績效值亦呈階梯狀下降。最佳的時差取決於選擇的號誌週期長度，若週期長度選擇為 70 秒時，連鎖的時差應設定於 9 秒時績效值較佳，圖 6.24 中指出，短週期的系統績效值較長週期的績效值為佳。此外，就中流量水準下，週期長度 110 秒及 140 秒的系統績效值差異不大，與圖 6.23 的結果一致。與高流量水準的狀況相同，若幹道的綠燈時比越長，系統內車輛會有較佳的續進率及較小的延誤值，故時比越大、系統績效值越佳。

故在道路車流量屬於中流量的狀況下，由圖形趨勢中可建議最佳的時制，其號誌週期應設定為 70 秒，時差設定為 9 秒且時比設定為 0.7。

表 6.12 中流量前十大績效值

週期 長度 (sec)	幹道 綠燈 時比	時差 (sec)	預期總 運行時 間	車輛運 行總時 間	車輛數	續進數	續進率	延誤率	績效值
60	0.7	11	37693	49154	2334	1157	0.50	0.23	0.26
60	0.7	13	37529	49868	2297	1049	0.46	0.25	0.21
70	0.7	9	38412	49662	2296	1138	0.50	0.23	0.27
70	0.7	10	39099	53992	2336	1143	0.49	0.28	0.21
70	0.7	12	37156	47927	2299	1131	0.49	0.22	0.27
70	0.7	14	38021	51533	2329	1106	0.47	0.26	0.21
80	0.7	9	38622	52680	2382	1138	0.48	0.27	0.21
80	0.7	11	38352	51881	2318	1189	0.51	0.26	0.25
80	0.7	13	37632	51052	2318	1106	0.48	0.26	0.21
100	0.7	11	37694	51144	2328	1133	0.49	0.26	0.22
平均車輛數 2324 輛/1800 秒									

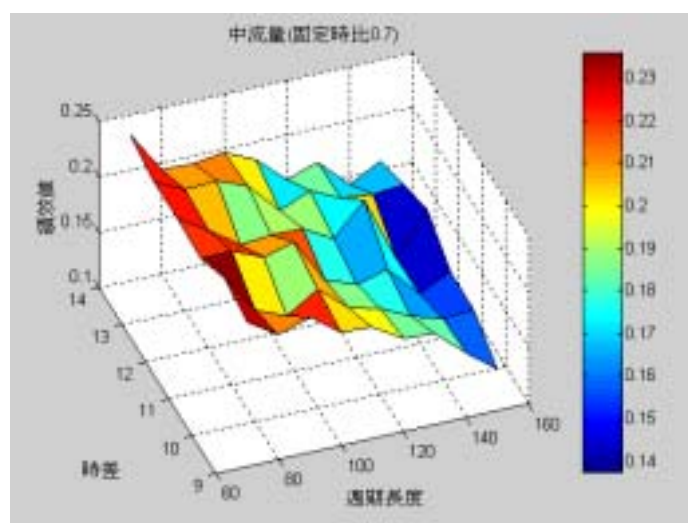


圖 6.20 中流量週期-時差績效圖 (時比 0.7)



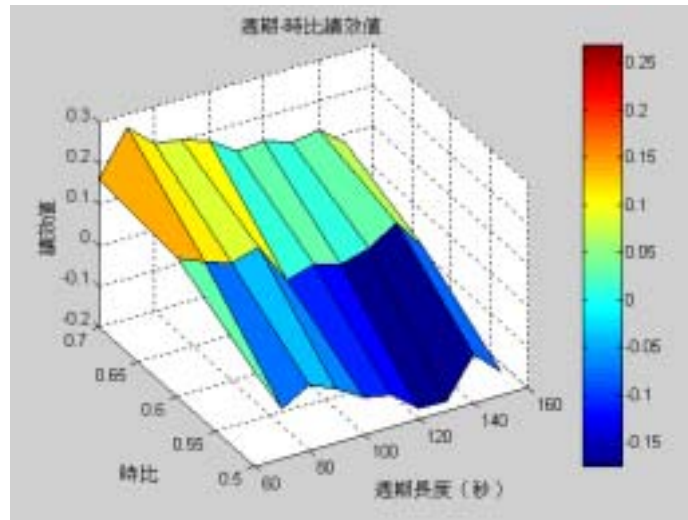


圖 6.21 中流量週期-時比績效圖 (時差 9 秒)

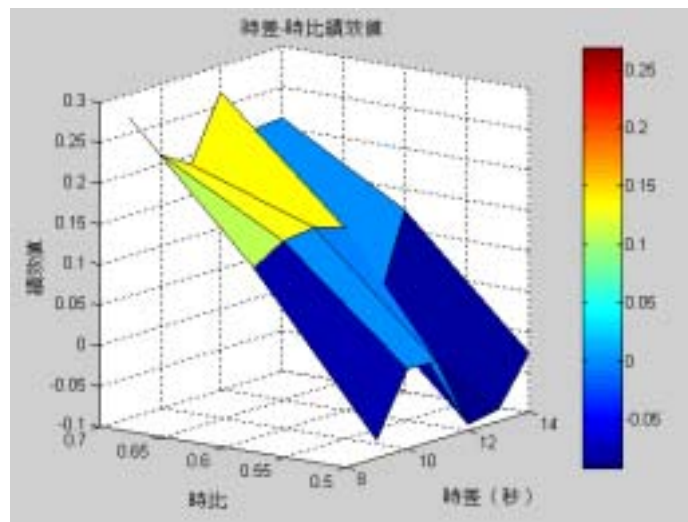


圖 6.22 中流量時比-時差績效圖(週期 70 秒)

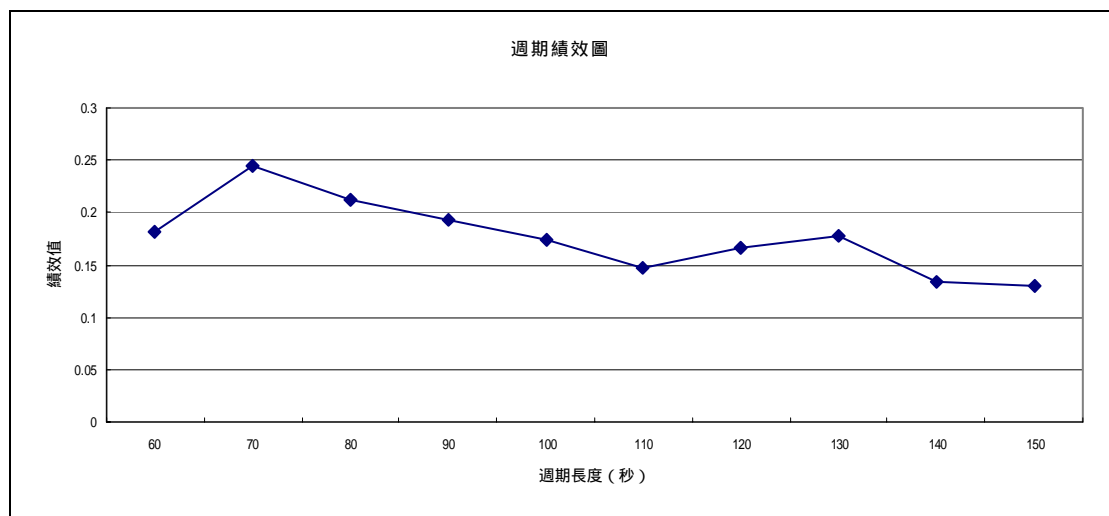


圖 6.23 中流量水準週期-績效圖

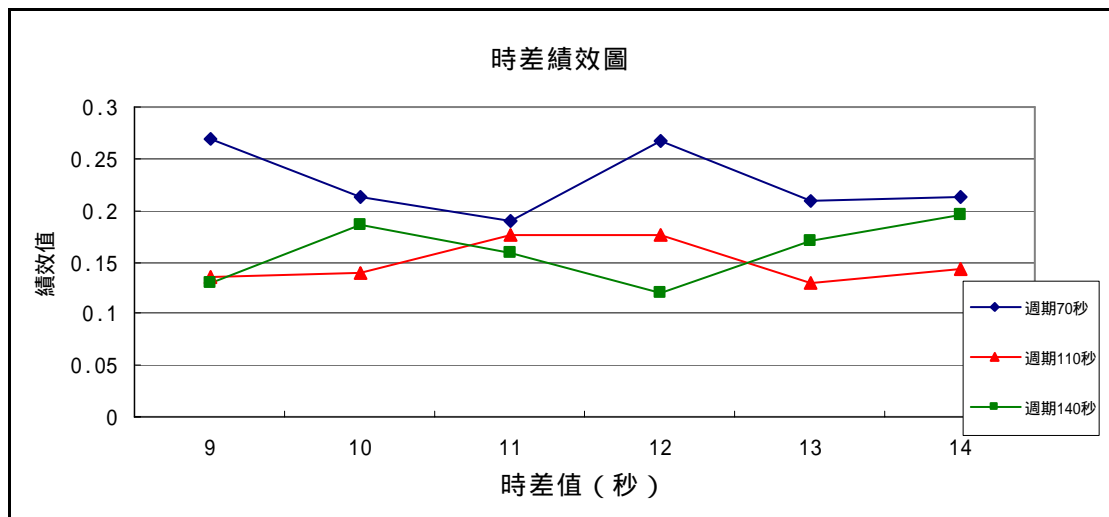


圖 6.24 中流量水準時差-績效圖

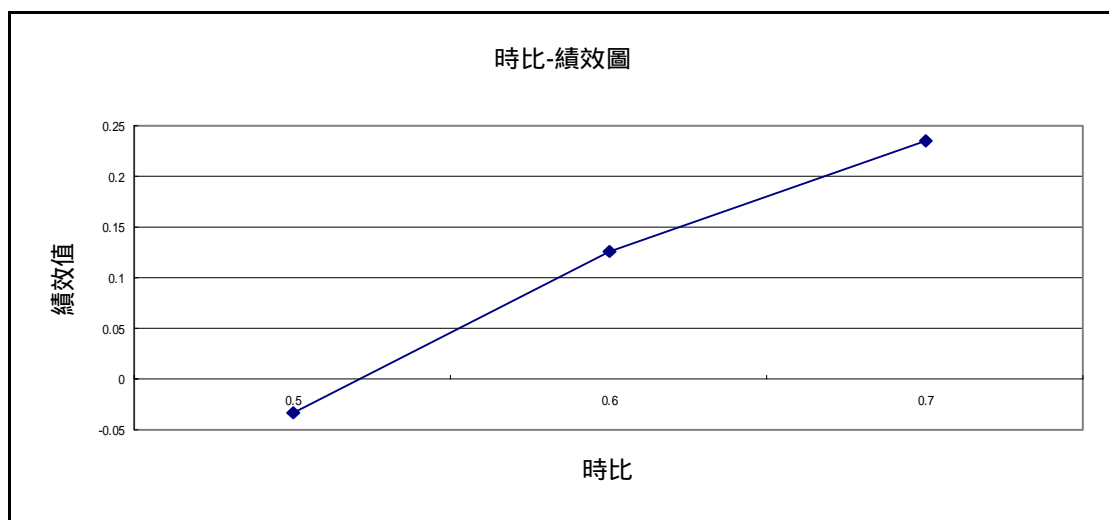


圖 6.25 中流量水準時比-績效圖

### 3. 低流量

以車輛產生間距 2.1 秒/車作為輸入值，系統總車輛數為 1700 輛車，幹道方向每小時約為 1460 輛車，平均每小時每車道為 365 輛車左右，流率比約為 0.27 作為低流量水準輸入值。模擬的前十大績效值如表 6.11 所示。由表中可發現，在流量大時，系統績效值最佳的情形為時比 0.7、週期以 60 秒之績效值最佳，時差的設定亦以 11 秒為佳，皆符合以公式計算的起始值。此外，以圖形趨勢亦發現，週期在 60 秒、100 秒左右的績效值均是該波段的最佳值，由先驗知識中得知，週期長度若為最佳週期的整數倍時，績效值均為最佳，惟本研究在低流量水準下，為滿足最小綠燈時間的要求，無法將週期長度降低至 50 秒，故在低流量水準下的系統績效值即座落於邊界值，由圖形亦可看出最佳週期循環產生之趨勢。

以週期、時比及時差三變數之其中二個變數作為因變數，績效值作為應變數可繪出三度空間圖形，若固定連續路口號誌時差為 9 秒（在低流量水準下績效較好的時差值）條件下，可得到如圖 6.26 之圖形，由趨勢中可發現，在低流量的狀況下，影響幹道方向績效值的最大因素為綠燈時比，呈現向前傾斜之斜平面。以低流量水準的設定值而言，臨界週期 60 秒時的系統總績效為最佳、且時比大可使得延誤值降低；時差小則可使得車輛續進績效較佳，均會使績效值呈現正向增加，若週期長度過長，則延誤值增加、續進率亦不佳，故整體績效值較差。

若比固定時比，不論週期多長，大體上時差越大，可使得續進績效值較佳，車輛續進機會較多且旅行時間較短，可提升系統的總績效值，如圖 6.27 趨勢所示。此外，小週期績效值普遍較大週期為佳，呈現稍微下降的趨勢平面。若觀察時比與時差的關係，固定週期長度為 70 秒時之圖形如圖 6.28 中所示，在低流量水準下，時比仍是影響系統績效值最大的因素，時比大且時差中等的績效值最佳，惟時差之影響因素並不顯著。

若以週期、時比及時差其中之一變數與績效值相較，可繪出如圖 6.29 至 6.31 之趨勢圖形，若固定時比 0.7 及時差 9 秒，週期和績效值之趨勢如圖 6.29 所示，低流量水準下，以臨界週期 60 秒為最佳值。隨著週期的增加，車輛因停等時間過久造成系統中延誤增加的比例提高，故具有數個波段，並呈現階梯狀下降趨勢；若固定週期為 70 秒、時比為 0.7 的條件下，連鎖路口為因應低流量水準的車流，其時差值以起始設定的 11 秒為最佳，惟在低流量水準下，週期的差異對系統績效值的改變並不大。此外，圖 6.30 列出週期 60 秒、70 秒、100 秒、130 秒時所對應的最佳連鎖時差，由圖中可發現在低流量水準下，短週期的設定其績效值較佳，且當低週期時，因要集結較多的車輛一起通過以減少綠燈時間利用不完全，故其對應的時差值應延長、而長週期時因集結的時間變長，故該系統應對應較短的時差，促使系統績效最佳。

綜合高、中、低流量水準的系統績效值，由圖形與數字中均可發現低流量水準下的系統績效值均是最高，表示在高流量水準下，車輛因擁擠所蒙受的停等延誤較低流量水準下呈現顯著成長，延誤水準提升；亦因為車流量增加，續進成功比例亦為低，使得整體績效值均為低。

表 6.13 低流量前十大績效值

週期 長度 (sec)	幹道 綠燈 時比	時差 (sec)	預期 總運行 時間	車輛 總運行 時間	車輛 數	續進 數	續進 率	延誤 率	績效 值
60	0.7	9	18770	21800	1142	530	0.46	0.14	0.33
60	0.7	10	18717	21950	1142	547	0.48	0.15	0.33

週期 長度 (sec)	幹道 綠燈 時比	時差 (sec)	預期 總運行 時間	車輛 總運行 時間	車輛 數	續進 數	續進 率	延誤 率	績效 值
60	0.7	11	18566	21362	1129	533	0.47	0.13	0.34
60	0.7	13	18835	22037	1146	529	0.46	0.15	0.32
70	0.7	9	18909	22157	1151	546	0.47	0.15	0.33
70	0.7	10	20608	24506	1244	604	0.48	0.16	0.32
70	0.7	12	18684	22237	1142	540	0.47	0.16	0.31
80	0.7	9	19547	23213	1198	557	0.46	0.16	0.31
80	0.7	10	19086	22661	1138	529	0.46	0.16	0.31
100	0.7	11	19383	23402	1164	556	0.48	0.17	0.31
平均車輛數 1160 輛/1800 秒									

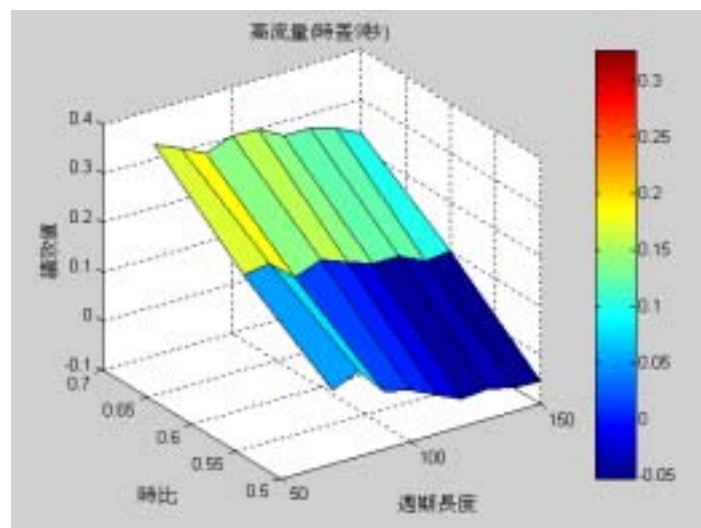


圖 6.26 低流量週期-時比績效圖 (時差 9 秒)

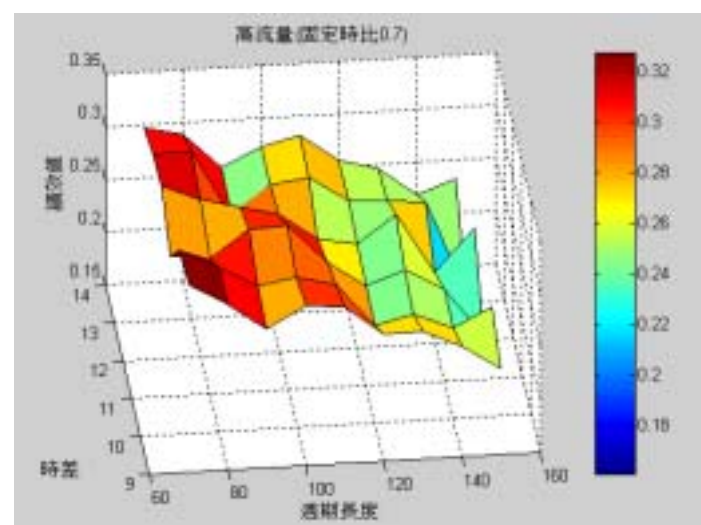


圖 6.27 低流量週期-時差績效圖 (時比為 0.6)

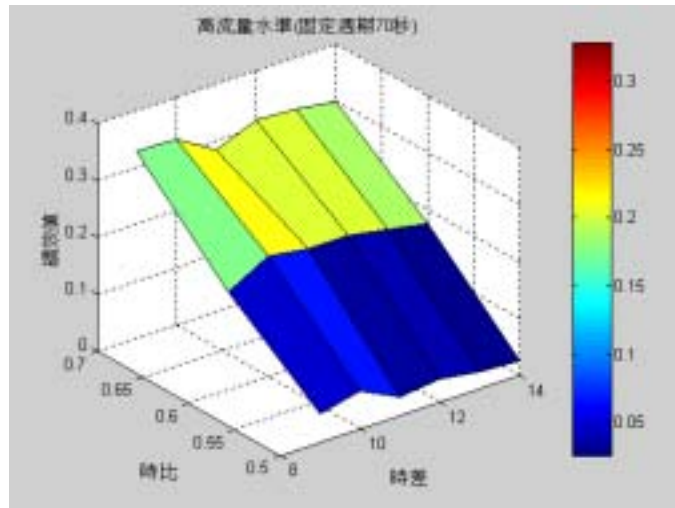


圖 6.28 低流量時比-時差績效圖（週期 70 秒）

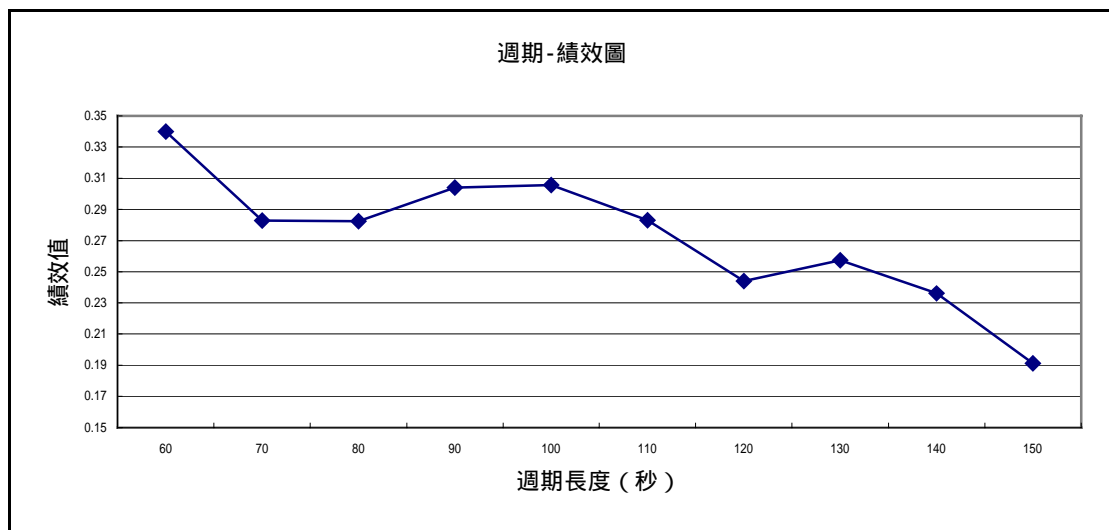


圖 6.29 低流量水準週期-績效圖

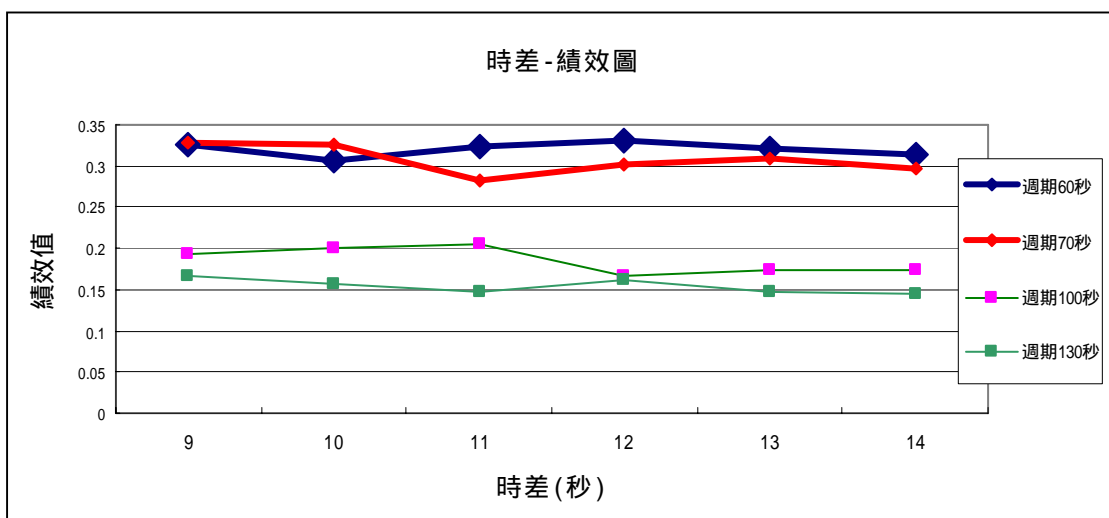


圖 6.30 低流量水準時差-績效圖

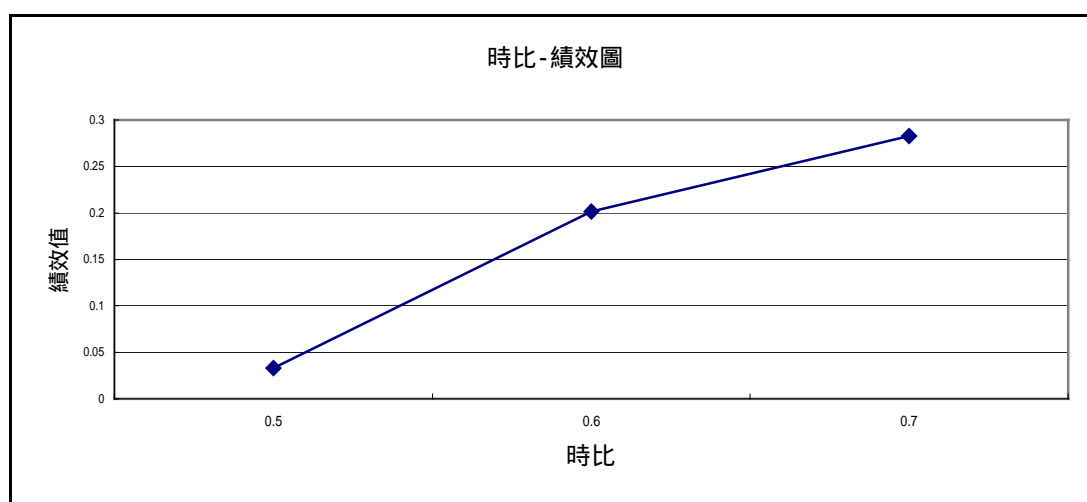


圖 6.31 低流量水準時比-績效圖

#### 4. 設置停等區績效值

如表 6.14 所示，設置停等區的績效值計算以原始道路上之號誌設定值作為模擬週期、時差及時比值，經由模擬十次的結果發現，設置機車停等區雖使得起始汽車的啟動延誤值增加，導致車輛總旅行時間增加並使得延誤值下降，但因增設停等區可讓車輛的續進率增加，且提升機車及後續汽車的有效紓解率，故增設停等區後會使得系統系統績效值稍微改善，惟改善幅度小，系統績效結果差異不大。

表 6.14 設置停等區與否績效表

	週期 長度 (sec)	時差 (sec)	幹道 綠燈 時比	預期總 運行時 間	車輛運 行總時 間	車輛 數	續進 數	續進 率	延誤 率	績效 值
無設置 停等區	120	0	0.6	12189	18373	869	244	0.28	0.34	-0.06
設置停 等區	120	0	0.6	12348	18493	874	256	0.28	0.33	-0.05

#### 6.5 流量表製作

不同的流量水準及機汽車混合比，均擁有其最佳的週期、時比、時差值，可根據實際的道路組成狀況決定最佳的、週期、時比及時差，故依據高、中、低三等級的流量水準及 0.4 至 0.7 不等的機車混合比，探討不同條件下最適的週期長度、綠燈時比及時差值，如表 6.15 所示，可供直接查表參照使用設定。其中，不論任何的流量水準或機車混合比的條件下，主要幹道的綠燈時比均為 0.7。當機車混合比越高、流量水準越低，道路所需的週期長度越短、且因機車的啟動延

滯較小，故兩路口間的時差設定將較起始設定為低；此外，當機車混合比大時，因機車的啟動加速性能較佳、越多的機車數可以續進方式通過連續路口，有效的提升綠燈時段之車輛紓解率，時差值普遍設定較低、且週期長度亦短。當機車混合比低時，較長的時差值利於汽車通過。由時間對照表中亦發現，所計算出的最適週期均較目前所設置的時制週期 120 秒為短，且其連鎖成效佳，故宜加設兩路口的號誌時差，並建議提昇主要幹道之綠燈時比。

表 6.15 時制對照表

流量水準	機車混合比	週期長度	綠燈時比	時差值
高	0.4	90	0.7	9
中	0.4	80	0.7	13
低	0.4	60	0.7	11
高	0.55	70	0.7	9
中	0.55	70	0.7	10
低	0.55	60	0.7	13
高	0.7	90	0.7	9
中	0.7	70	0.7	9
低	0.7	60	0.7	9

## 第七章 結論與建議

### 7.1 結論

1. 本研究分析國內外相關車流行為文獻發現，國外多傾向純小客車流的車流行為研究，國內相關於機車車流行為的研究多屬於民國八十年初期，因時間的推移使得人車路等三大車流因素皆產生差異；本研究除了探討混合車流狀態外，並加入駕駛人隨機因素分析不同類型的駕駛特性，幾何型態部分則加入近年才設置的機車停等區、並提出遭遇道路障礙物時車輛會產生的偏移行為，使早期所建構的車流模式更適用於現在的時空背景。
2. 本研究以微觀觀點，以單位掃描方式分析車輛在道路上的車流行為，並建立一微觀混合車流模擬模式，模擬對象包含小汽車與機車兩類車。模擬範圍為一單向道幹道連鎖系統，主要幹道方向包含四車道，支道方向為二車道。
3. 本研究的車流行為包含路段車流行為、鄰近路口車流行為及路口車流行為三類：
  - 一、路段車流行為：採用二維座標法及行為門檻模式，包含直進、橫向及遭遇障礙物行為等。
    - (1) 直進行為：與前車的距離差及速度差，產生不同情境的車輛行為。汽機車均採用行為門檻模式，其中機車略有差異，加入錯車及跟車行為兩類，每單位時間均檢查與鄰車的側向間距是否足夠，否則則進行平移動作以保持動態安全車間距。
    - (2) 橫向行為：包含了自由性變換車道、轉向性變換車道及強迫性變換車道三類，依據駕駛人的駕駛特性及其轉向需要進行變換車道行為。
    - (3) 遭遇障礙物行為：車輛為避免產生撞擊，在目視到障礙物時或是前車突然煞停即進行變換車道行為，否則則以最大減速度煞停以待變換車道機會。
  - 二、鄰近路口車流行為：包含黃燈行為及紅燈行為，黃燈行為採用動態進退兩難區判定，紅燈時車輛會盡量向靠近停止線移動，若臨車道可較接近停止線則往鄰車道移動。
  - 三、路口車流行為：採用固定軌跡模式及路口衝突優先順序模式模式。
4. 號誌連鎖的評估式同時兼顧續進率及延誤值，由初步模擬結果中得知，因高流量時的延誤值過高、續進率低，故績效值與中、低流量相較均為最低，車流量小且可續進的比例增加、其系統延誤值相對較低，系統績效值為最高；過去文



獻中發現當連鎖號誌週期長度越長時，續進率理當越佳、惟本研究發現應有最適的週期長度；當週期過長時，將造成系統的延誤值提昇、且幹道上的續進數下降，使得績效值不升反降；且最佳的週期長度應有倍數關係，將會循環產生最佳的週期績效。

5. 由研究中發現，週期與績效值在不同的流量水準下會有因週期的延長造成下降的趨勢，且流量水準越低，下降的幅度會越大；流量水準高時，最高階的績效值出現在週期長度 80 秒時，若週期長於 80 秒則會有大幅下降的趨勢。在低流量水準下，最高階的績效值為 60 秒時，表示短週期將有利於低流量的車輛數紓解。
6. 由實證數據中發現，由於主要幹道的車流量大於支道流量，是以增加幹道綠燈時比，不但可增加直進車流的續進機會並可減少系統總延誤值，其支道車輛的延誤值佔整體系統比例低，故增加綠燈時比可利於系統績效值的增加。
7. 由研究中發現，在高流量水準下，最佳的時差值會較起始時差為小，原因為下游路口必須要有足夠的時間疏解於紅燈時間內等候的車隊，若在低流量水準下，因為車輛的抵達較無集中的現象，故最佳時差通常較起始時差為大，原因則為車輛陸續抵達後集結一起疏散，將有效率於綠燈時間的利用。
8. 本研究以韋布斯特時制計算公式所計算的獨立路口號誌時制，與以本研究模式所建議之時制設定均低於實證路段的現行號誌設定，且依據本研究在中、低流量水準下模擬，以現行號誌設定所計算出之系統績效值均為較差之結果，故建議調降週期長度及增加綠燈時比的方式使系統績效值提昇。
9. 模擬機車停等區設置後之車流狀況，其道路系統總績效值不因加設機車停等區後而增加車輛的旅行時間，且延誤值有微幅下降傾向，系統績效略高於無設置停等區的情形，故在本研究的實證區內建議可設置機車停等區。

## 7.2 建議

1. 因研究時間限制，故本研究僅模擬兩個特定路口且為單向道的車流狀況，未來可擴充至多路口，朝路網、車流方向多方向的型態進行模擬。
2. 路口的車輛推進行為目前採用固定軌跡推進模式，進入的路口位置均為設定值，惟實際道路上車輛的運行並非僅有單一的軌跡型態，亦可能因為對向衝突車流而產生車輛位置的偏移，將來可放鬆此項研究假設。
3. 本研究僅考慮機車與汽車此兩種車種的車輛特性、車流行為等，未考量公車、中型車等其他車種車輛特性，未來建議可往多車種方向研究。
4. 本研究並不探討違規行為、路邊停車行為及公車的靠站行為，將來可加入研究，並可加入公車專用道對車流狀況的影響。

5. 本研究的績效值採用續進率與延誤值相減方式計算，惟續進率和延誤值可設置權重，本研究乃採用兩個指標值比重皆為 1:1 的方式，未來權重值的大小可利用調查該路段使用者的意向，瞭解使用者對於何種指標的重視程度較高，納入權重設定考量之範圍。
6. 因為機車的動作變換較敏捷，目前模擬程式為每秒鐘掃描系統一次，將來建議可縮短時間至 0.3 秒至 0.5 秒，將可更精確的掌握機車的行為。
7. 本研究實證路段之起始號誌設定鑒於研究時間之限制，乃依據民國九十年之調查資料進行計算，後續的研究建議可進行尖峰時段之流量調查，以更貼近現今之實際車流狀況。
8. 本研究模擬了車輛遭遇道路上障礙物之行為模式及劃設機車停等區後系統績效值，因實證道路上並無此現象，故不納入模擬模式中，建議未來可選定具有機車停等區域的道路或是道路具有障礙物的區域進行驗證及模擬。
9. 以本研究的實證範圍，支道和幹道的車流量比例差異較大，使得增加幹道的綠燈時比將有助於提升系統績效值，但若支道及幹道流量比例較接近，且亦考慮多個支道及整體路網的績效，則可能造成績效值與延誤值產生抵換(trade-off)關係。
10. 因為台中市政府政策考量，本研究之實證路段將在民國九十二年七月將原先的單向道系統規劃為雙向道，後續研究亦可增修本研究之模式，再進行同路段之雙向道車流狀況模擬，將可比較事前事後之道路服務水準及系統績效值是否有產生變化。

## 參 考 文 獻

- 1.交通部統計年報，交通部統計處，每年出版
- 2.黃國平，混合車流二維座標模擬模式之建立及驗證，台大土木研所碩士論文，民七十一年六月
- 3.傅耀南，以混合車流模擬方法設計單 交叉路口號誌時制之研究，台大土木研所碩士論文，民七十七年六月
- 4.蔡嘉霖，混合車流狀況下交叉口特性之調查及模擬模式之研究，台大土木研所碩士論文，民七十年六月
- 5.謝銘鴻，以混合車流模擬方法設計幹道續進號誌系統之研究，台大土木研所碩士論文，民七十七年六月
- 6.蔡輝昇，交通控制實務與理論，民七十九年
- 7.何佳娟，微觀汽機車混合車流行為之研究，交大運管所碩士論文，民國九十年六月
- 8.李樑堅，建立微觀車流模擬模式以發展交通適應性號誌控制邏輯之研究，成大交管所博士論文，民八十一年六月
- 9.趙清山，號誌時相設計之研究，台大土木研所碩士論文，民六十三年六月
- 10.阮聰義，應用隨車模式 M-L 矩陣探討快車道混合車流特性之研究，台大土木研所碩士論文，民六十四年六月
- 11.蘇錦江，混合車流狀況下平面交叉路口交通狀況模擬模式之建立及其應用，台大土木研所碩士論文，民六十四年六月
- 12.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，台大土木研所碩士論文，民六十九年六月
- 13.陳天賜，公車站位長度對車流延滯之影響研究，台大土木研所碩士論文，民六十九年六月
- 14.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，台大土木研所碩士論文，民七十三年六月
- 15.李月仙，微觀車流模擬模式與適應性交通控制策略之整合研究，成大交管所碩士論文，民國七十七年六月
- 16.Webster,F.V., "Traffic Signal Settings ",Road Research Technical Paper,No.39,H.M.S.O.,London,1958
- 17.FHWA, "Traffic Control System Handbook ", April ,1985
- 18.TRR, "Highway Capacity Manual ", Special Report,National Research Council,1997
- 19.Martin-L of,A., "Computation of an Optimal Control for a Signalized Traffic Intersection ",Transportation Science ,Vol.1,No.1,pp.1-5, 1964

20. Allsop, R.E., " Delay-Minimization Settings for Fixed-Time Traffic Signals at a Single Road Junction ", J. Inst. Math Applics 8, pp.164-185, 1971
21. Importa, G. and Cantarella, G.E., " Control System Design for an Individual Signalized Junction ", TR, Vol.18B, No.2, pp.147-167, 1984
22. Sakita, M., " Timing Design of Traffic Signals ", TRR 1069, pp.83-87, 1986
23. 林良泰, 以續進最大化為主延滯最小化為輔之程序性群組間時差設計, 運輸計劃季刊, 第三十卷第四期, 民九十年十二月, 頁 795-822
24. PASSER, Chang, E.C., " Arterial Signal Timing Optimization-PASSER -84 Workshop Manual ", Texas Transportation Institute, Texas A & M University, Dec. 1985
25. FHWA, " MAXBAND User ' s Manual ", Jan. 1987
26. 朱建全, 機車駕駛者面臨交通衝突之行為反應研究, 交大運管所碩士論文, 民八十七年六月
27. 吳國安, 公車專用車道在平面交叉路口隻電算機模擬研究, 台大土研碩士論文, 民七十年六月
28. 周義華、陳天賜, 公車站對道路交通影響之研究—公車站對車流延滯之影響, 運輸計劃季刊, 第十一卷第三期, 民七十一年九月, PP.303-340。
29. 陳世泉, 混合車流中機車駕駛之行為, 台大土研碩士論文, 民八十二年六月。
30. Widemann, R., "Simulation de Strassenverkehrsflusses," Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Heft 8, Universität Karlsruhe, 1974.
31. 劉子剛, 交叉路口微觀車流模擬模式之研究, 成大交管所碩士論文, 民七十九年六月
32. 吳育婷, 公車優先號誌控制策略之研究, 台灣大學土木工程學研究所碩士論文, 民國八十八年六月
33. 交通工程手冊, 交通部編審, 民八十九年
34. 蔣封文, 應用車隊擴散理論於構建網路型適應性號誌控制模式之研究, 成大交管所碩士論文, 民八十八年六月
35. 呂政龍, 新的幹道連鎖號誌模式之研究 - 結合公車綠燈帶寬的概念, 淡江大學運輸管理學系研究所碩士論文, 民八十八年六月
36. 石佳豪, 幹道號誌續進式時制設計模式之開發研究, 成大交管所碩士論文, 民八十九年六月
37. 林明志, 設置機車停等區對號誌化路口之影響評估, 台灣大學土木工程學研究所碩士論文, 民九十年六月

- 38.勝群工程顧問公司，台中市交通號誌管理系統，民國九十一年八月
- 39.張開國，號誌最佳化時制設計之圖解方法，台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民七十一年六月
- 40.王義川，機車交通空間之分流設計，台灣大學土木工程學研究所博士論文，民九十一年六月