

**逢 甲 大 學**  
**交通工程與管理學系碩士班**  
**碩士論文**

**幹道系統車道配置與時制計畫整合設計  
之研究**

**Integrated Design on Lane Allocation and Signal  
Timing Plan for Arterial Systems**



**指導教授：林良泰**

**研 究 生：李建昌**

**中 華 民 國 九 十 一 年 八 月**

## 摘 要

幹道為構成都市交通路網之主要部分，故交通工程師於解決都市交通之問題往往從幹道系統之號誌時制計畫加以著手探討。然一套優良之號誌時制計畫必須滿足且適合當時當地之車流特性，因此在進行號誌時制計畫之設計時，除了需要以該地區車流特性資料作為設計依據外，車道配置之情形也影響了號誌時制計畫之設計，所以欲以交通控制方法改善都市交通之問題，必須整合車道配置與號誌時制設計，據以訂定符合車流狀況且具有良好績效之號誌時制計畫。

本研究以車道配置之設置準則結合時相設計準則之應用，決定出適合路口幾何設計之時相與車道配置形式，進而將所決定時相與車道配置之結果作為設計號誌時制之依據。另外，在號誌時制設計方面，本研究結合最小負效用法與最大綠燈帶寬法，運用兩階段求解之方法，先構建幹道系統延滯最小化數學規劃模式求得週期及時比，再以構建之幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式求得具有續進可能值最大之時差，使得所求解之時制能同時滿足綠燈續進帶寬最大且延滯最小之條件。再者，為探討本研究求解模式之績效，乃將所求得之時制解，與目前所通用之最小負效用軟體 TRANSYT 及最大續進軟體 Synchro 所求解之時制計畫予以比較，其作法係將實際車流資料代入 CORSIM 軟體來模擬，並比較評估所求得之各時制計畫績效的良窳。另外本研究以整合車道配置準則與時相設計準則分析過程並結合號誌時制求解方法，建立起車道配置與號誌時制整合設計程序，將其應用於單一路口及幹道系統中，以確認整合設計程序之有效性。

經由本研究之研究流程，依據車道配置與號誌時制整合設計程序可獲得可行之號誌時制計畫，且本研究所構建之幹道系統延滯最小化數學規劃模式與幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式確實能改善先前研究之模式。本研究期望上述之研究成果能夠對於交通工程師於解決幹道號誌時制問題上有所助益。

**關鍵字：車道配置、時相設計、綠燈帶最大、負效用最小、時制計畫**



## Abstract

Arterial systems are the most important factors in the urban traffic networks. For solving traffic problems in urban area, traffic engineers always set up signal timing plan to ensure the fluency of traffic flow. The signal-timing plan should satisfy and consist with the traffic characterization at varied time in the local area. That is, we have to consider both the traffic flow characteristics and lane allocation when do the work of signal timing plan design.

This study introduces a procedure to integrate and to apply the criteria of lane allocation and phase design. Then we design the timing plan based on the determined phase pattern and lane allocation. Furthermore, this study also combines two major objectives for signal timing design: the maximum bandwidth and the minimum disutility. The procedure for getting the timing plan should follow tow steps. First, based on the minimum delay time to build the minimum delay model for arterial systems, we can get the optimal cycle length and split for the arterial systems. Second, based on the maximum bandwidth to build the maximum bandwidth model for arterial systems, we can get the progressive result by optimal offset. For verifying the performance of this research, we try to compare the performances for the different signal timing plans that generated by our models, TRANSYT, and Synchro with the simulating software of CORSIM. Furthermore, this study integrates the analyzing procedure of lane allocation and phase design to get the optimal result of signal timing plan design. The logic could be applied to isolated intersection and arterial systems.

By the verification, the process for solving optimal signal timing plan can get a feasible solution. Furthermore, we do wish the results of

this study could be useful for traffic engineers.

Keywords: Lane allocation, Phase design, Maximum bandwidth,  
Minimum disutility, Signal timing plan



## 目 錄

誌謝.....	
中文摘要.....	
英文摘要.....	
目錄.....	
圖目錄.....	
表目錄.....	XI

<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究動機 .....	2
1.3 研究目的 .....	3
1.4 研究範圍與限制 .....	3
1.5 研究內容與研究流程 .....	4
<b>第二章 文獻回顧 .....</b>	<b>7</b>
2.1 時相設計準則 .....	7
2.2 車道配置準則 .....	11
2.3 幹道號誌時制求解模式與設計準則 .....	17
2.4 延滯模式之討論 .....	19
2.5 其他相關部分之文獻回顧 .....	25
2.6 小結 .....	30
<b>第三章 單一路口車道配置與號誌時制整合設計模式之建立與確認 .....</b>	<b>31</b>
3.1 準則應用有效性確認之虛擬路口資料 .....	31
3.2 準則有效性確認之程序 .....	33
3.3 準則有效性確認過程與評估結果分析 .....	34
3.4 小結 .....	57
<b>第四章 新幹道系統延滯最小化數學規劃模式 .....</b>	<b>58</b>
4.1 延滯最小化數學規劃模式 .....	58

4.2 新延滯最小化數學規劃模式之建立與修正.....	63
4.2.1 不同飽和狀態之延滯計算.....	63
4.2.2 延滯均一限制.....	67
<b>第五章 新幹道系統綠燈續進帶寬最大化混合整數規劃模式 .....</b>	<b>70</b>
5.1 最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式.....	70
5.2 新綠燈續進帶寬最大化混合整數規劃模式之構建與修正.....	81
5.2.1 鋸齒狀帶寬問題.....	81
5.2.2 續進可能機會最大之帶寬求解.....	82
5.2.3 帶寬權數之計算.....	88
<b>第六章 幹道系統車道配置與號誌時制整合設計程序之建立與確認 .....</b>	<b>91</b>
6.1 幹道號誌時制整合設計程序探討之虛擬路口資料.....	91
6.2 幹道系統號誌時制整合設計程序之應用分析流程.....	98
6.3 小結.....	116
<b>第七章 結論與建議 .....</b>	<b>117</b>
7.1 結論.....	117
7.2 建議.....	118
<b>參考文獻 .....</b>	<b>120</b>

## 圖 目 錄

圖 1.1 研究流程圖 .....	6
圖 2.1 May 連續型延滯模式 .....	23
圖 2.2 均一到達率過飽和之延滯示意圖 .....	24
圖 3.1 虛擬路口轉向交通量示意圖 .....	32
圖 3.2 車道配置準則與時相設計準則應用與確認分析流程 .....	35
圖 3.3 時相設計準則分析程序 .....	37
圖 3.4 車道配置準則分析流程 .....	41
圖 3.5 車道配置與時制計畫整合程序圖 .....	45
圖 3.6 車道配置與時相設計整合分析流程 .....	46
圖 3.7 交通號誌時相圖 .....	50
圖 3.8 單一路口模擬之 CORSIM 構建圖 .....	53
圖 4.1 過飽和延滯公式推導示意圖 .....	64
圖 5.1 最大化綠燈續進帶寬模式之時空圖 .....	71
圖 5.2 各變數於綠燈與紅燈時間組成關係示意圖 .....	72
圖 5.3 上下游路口時制關係圖（情況一） .....	76
圖 5.4 上下游路口時制關係圖（情況二） .....	76
圖 5.5 綠燈帶寬真正存在下車流續進軌跡圖 .....	79
圖 5.6 鋸齒狀帶寬簡單示意圖 .....	82
圖 5.7 新續進帶寬各變數於綠燈與紅燈時間組成關係示意圖 .....	83
圖 5.8 路口續進可能計算說明圖 .....	84
圖 5.9 新續進可能帶寬模式時空圖 .....	85
圖 6.1 虛擬第一路口轉向交通量示意圖 .....	94
圖 6.2 虛擬第二路口轉向交通量示意圖 .....	95
圖 6.3 虛擬第三路口轉向交通量示意圖 .....	96
圖 6.4 虛擬第四路口轉向交通量示意圖 .....	97
圖 6.5 虛擬幹道系統路口配置型式示意圖 .....	98
圖 6.6 幹道系統號誌時制整合設計程序應用與確認分析流程 .....	99



圖 6.7 虛擬四個路口模擬之 CORSIM 構建圖 .....	108
----------------------------------	-----



## 表 目 錄

表 2.1 流量準則標準表 - 對向為一車道 .....	9
表 2.2 流量準則標準表 - 對向為二車道 .....	9
表 2.3 流量準則標準表 - 對向為大於等於三車道 .....	10
表 2.4 視距準則標準表 .....	10
表 2.5 禁止左轉準則標準表 .....	12
表 2.6 車道配置之等候線長度準則表 .....	15
表 2.7 號誌化路口衝突量模式應用整理表 .....	29
表 3.1 虛擬路口資料幾何配置表 .....	32
表 3.2 虛擬路口以簡單二時相設計之時制計畫 .....	34
表 3.3 虛擬路口時相判定準則結果 .....	38
表 3.4 虛擬路口車道配置判定準則結果 .....	42
表 3.5 時相組合方案彙總表 .....	47
表 3.6 虛擬路口以輪放式四時相設計之時制計畫 .....	52
表 3.7 25 組時相方案各績效彙整表 .....	55
表 3.8 25 組時相方案各績效排序表 .....	56
表 4.1 假想時相設計與各車流流動分佈狀況 .....	62
表 6.1 第一路口資料幾何配置表 .....	92
表 6.2 第二路口資料幾何配置表 .....	92
表 6.3 第三路口資料幾何配置表 .....	93
表 6.4 第四路口資料幾何配置表 .....	93
表 6.5 第一路口時相需求、車道配置與時相方案結果 .....	109
表 6.6 第二路口時相需求、車道配置與時相方案結果 .....	109
表 6.7 第三路口時相需求、車道配置與時相方案結果 .....	110
表 6.8 第四路口時相需求、車道配置與時相方案結果 .....	110
表 6.9 各路口時制計畫之時相順序 .....	111
表 6.10 時制方案一時制計畫 .....	111
表 6.11 時制方案二時制計畫 .....	112

表 6.12 時制方案三時制計畫 .....	112
表 6.13 時制方案四時制計畫 .....	113
表 6.14 時制方案五時制計畫 .....	113
表 6.15 各時制方案各績效彙整表 .....	114
表 6.16 各時制方案各績效彙整表 .....	114



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

台灣地區隨著經濟的發展，國民所得與國人對生活水準要求的提高，相對的對於交通的需求與倚賴程度也不斷增加，使得私人運具數量持續成長，雖然政府機構近來大力提倡與發展大眾運輸系統，但因為交通建設發展的程度尚不及小汽車持有率增加的速度，且因私人運具可及性與便利性高，小汽車持有率依然逐年增加。都市地區因為是經濟活動最頻繁的區域，以致各種型態之旅次需求皆集中於此，使得都市地區交通壅塞問題日益嚴重，因此如何解決都市交通問題之有效方法是大眾所關心重視的議題。

道路系統是公路運輸最重要的交通系統設施，尤其在都市地區中的幹道系統，其每天肩負都市中心對內與連外的交通旅運重任，因此幹道系統的運作績效幾乎即代表了都市地區的交通狀況，故欲解決都市交通問題亦必須從幹道系統來著手。改善道路系統之運作狀況或輔助道路設施發揮最高效率，最迅速且有效之方法即為透過交通控制設施中的號誌系統來規範或引導路段或路口的車流運行。此外，近來世界各國皆大力發展智慧型運輸系統 (Intelligent Transportation Systems, ITS)，期以運用 ITS 的技術來解決或改善各種交通運輸之課題，其中先進交通管理系統 (Advanced Traffic Management Systems, ATMS) 即為 ITS 之重要核心與基礎之子系統，因此先進之交通號誌控制系統發展對於未來道路交通績效的提昇以及交通問題的改善著實有極大之關聯性。

號誌控制係透過時間與空間之交替，將行車路權有系統及有秩序地分配予各流向或各流動之車流，使車流能夠在效率且安全的原則下在路口進行紓解。而號誌控制系統是否能夠發揮其功能，則與時制計畫之良窳及其是否符合現實車流與車道配置情形有密切之關係。時制計畫之建立必須依據該路口之幾何設置、流量情形、轉向需求等來設計時相、週期、時比與時差，而車道配置則是將車道之使用權分配予

臨近路段之各流動，其將影響路段中各股流動使用車道之情形與路段之飽和流率與容量，進而改變車流紓解的狀態，車道配置之不當除了影響車流紓解之績效與安全性，未與正確的時相順序或型式搭配，亦導致時制計畫並非是最佳之設計，因而影響號誌控制之整體績效。綜合以上所述，車道配置、時相設計與時制計畫設計環環相扣，三者間之整合設計是交通號誌系統產製過程的重要環節。

## 1.2 研究動機

交叉路口為各個不同流向車流的匯集點，車輛在此產生交叉、併入、分出之行為，因而具有許多的衝突點，此為造成車輛於路口肇事的主要原因之一。交通號誌則透過時間上的分隔，以交互更替分配若干時間及路權予各流向之車流，使其順利通過路口及紓解等候車輛，並藉此減少交叉路口衝突之發生，以增加路口安全性。而交通號誌之目的除了提升交叉路口安全性外，能夠幫助車流以續進之形式通過路口，增進路口紓解車流之績效，使車輛於路口之延滯最低亦為其重要目標。另外，都市交通之主要問題大部分發生於幹道交通系統中，若無法制訂出滿足實際車流運行情形之交通控制號誌時制，以導引車輛於路口之行進及紓解，將會導致路口衝突量與肇事機率增加、路口與路段之延滯上升，使得都市交通問題更為紊亂、嚴重而窒礙難行。因此，交通工程師往往著重幹道系統最佳化時制之設計，以期能提升整體交通路網之運作績效。

而在交通號誌時制設計前，必須考量路口車道配置之現況。以往在號誌時制設計時，大致上皆假設車道配置為已知或依據交通工程師之專業經驗與主觀判斷來設置，缺乏客觀或適當之準則加以判定。有鑑於此，以交通特性與適當之準則進行車道配置，決定正確之時相，繼而設計出號誌時制計畫，此一連貫整體設計之整合過程，將是決定交通號誌控制系統績效之重要關鍵。在號誌時制計畫求解方面，以目前所發展之電腦號誌軟體而言，多只分別考量綠燈帶寬最大及負效用最小之號誌時制設計準則，若僅考慮綠燈帶寬最大可能導致支道產生

過高延滯，如果只考量負效用最小將無法產生幹道之續進帶寬。綜合以上所述，針對幹道系統車道配置與號誌時制整合設計時制計畫的程序、問題及求解方法，將為本研究探討之重點，也期望透過整合車道配置與號誌時制設計程序之確立，能夠提供實務上交通工程師於號誌時制之規劃設計與交通管理單位評估現況號誌時制之參考工具。

### 1.3 研究目的

本研究之主要目的為探討整合幹道系統車道配置與時制計畫設計的程序，大致可歸納為以下三點：

1. 對於車道配置設置準則及時相分配設計準則之有效性進行探討，以確認車道配置設置準則及時相分配設計準則是否能有效地應用於號誌時制設計過程，求得適合道路幾何與車流現況的車道配置以及時相設計之結果，並作為求解號誌時制計畫之基本輸入條件。
2. 根據車道配置與時相設計之判定結果，加以應用至幹道系統號誌時制設計模式中。幹道系統號誌時制設計模式包含兩大部分，一為延滯最小化數學規劃模式，另一為綠燈續進帶寬最大數學規劃模式，根據此兩模式進行部分限制式的探討與修正，並嘗試變換不同之求解目標，藉以探尋能夠求得最佳化之幹道系統號誌時制計畫之求解模式。
3. 整合上述之車道配置準則分析、時相分配準則分析與求解幹道系統號誌時制設計模式等設計最佳號誌時制計畫三部分為幹道號誌時制規劃整合設計程序，並透過車流模擬軟體 CORSIM 進行績效評估，且與其它號誌時制計畫求解軟體所求得解相比較，以瞭解此整合設計程序之績效表現。

### 1.4 研究範圍與限制

本研究主要探討幹道系統中車道配置與號誌時制計畫設計之整合，因此做如下之研究範圍與限制的界定：

1. 對於車道配置與時相設計準則應用之有效性加以探討。
2. 就車道配置與時相為基礎，研擬設計號誌時制計畫。
3. 針對幹道系統新延滯最小化數學規劃模式及新最大化綠燈續進帶寬混和整數規劃模式進一步探討，並將車道配置、時相設計準則分析與幹道系統號誌時制設計求解模式整合成為幹道號誌時制規劃整合設計程序，並進行績效評估。
4. 本研究以都市地區幹道之交叉路口車道幾何佈設為研究範圍，包括路段之轉向車道、待轉車道、中央分隔路型等幾何配置，道路型態則以四肢路口為限制，多肢路口或丁字路口則不在本研究範圍內。
5. 以市區幹道為例，採以單一與數個虛擬路口做為研究方式，就其車道配置、時相設計分析與號誌時制計畫之設計擬定等有效性加以探討，並進行應用評析。

## 1.5 研究內容與研究流程

本研究之研究內容如下：

1. 首先定義問題與確立研究方向，並界定研究範圍。
2. 蒐集有關車道配置、時相分配準則與時制計畫設計之相關文獻，以做為進一步探討與評析。
3. 對於車道配置與時相分配準則之應用有效性進行探討。
4. 探討並修正幹道系統新延滯最小化數學規劃模式及新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式。
5. 虛擬單一路口資料，先以簡單二時相作為最初之時相設計，輸入至號誌求解軟體 Synchro 求得初步之時制計畫，將此時制計畫作為啟始解，應用至車道配置準則與時相設計準則中，以判定出合適之時相設計與車道配置結果，並與其他方式之時相設計透過 Synchro 求出各組不同之時制計畫解，再以車流模擬軟體 CORSIM 模擬得到旅行速率、平均延滯與停等百分比三項績效指標與整合型績效指標計算進行績效評估，以分析車道配置與時相設計準則所得出之車道配置與時相型態的有效性。此一流程除可對於車道配置準則與時相

設計準則之應用進行有效性探討,另一方面可確立得到單一路口車道配置與號誌時制之整合設計模式。

6. 將另虛擬四個連續路口資料,藉由幹道號誌時制規劃設計程序產製時制,即先以車道配置與時相設計準則判定並將所得方案結果代入至幹道系統號誌時制設計求解模式中求取時制計畫,之後再與號誌求解軟體 TRANSYT、Synchro 所求得之號誌時制進行績效評估,比較方法與車道配置準則、時相設計準則有效性分析相同,藉由車流模擬軟體 CORSIM 得出旅行速率、平均延滯與停等百分比三項績效指標,並計算整合型績效指標。透過上述方法對於三種模式與兩軟體所求得時制計畫之績效狀況進行評比。
7. 最後依據研究過程與所得結果歸納結論與提出建議。

本研究流程如圖 1.1 所示：





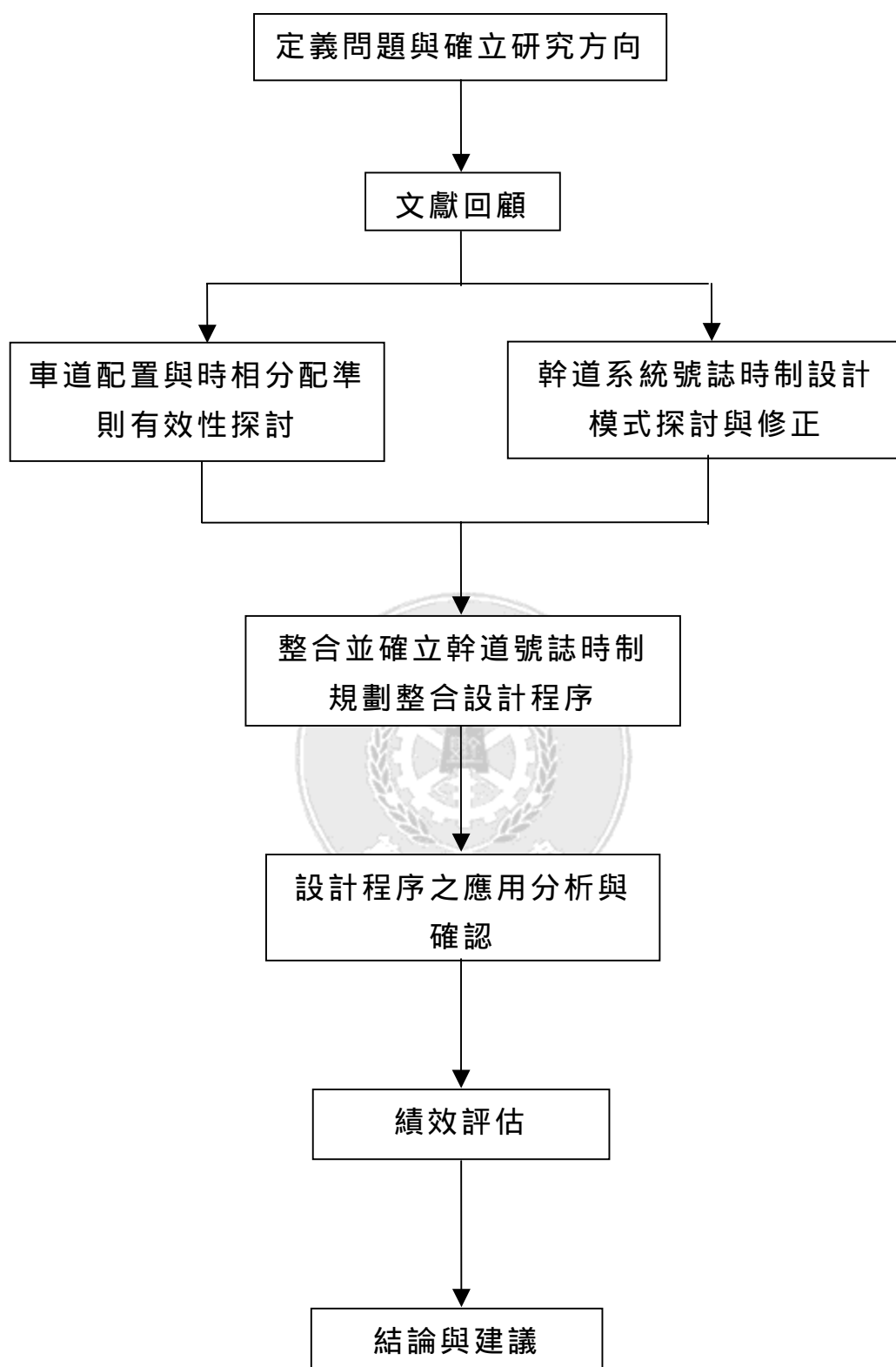


圖 1.1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

本研究之重點在於車道配置、時相分配之判定準則與號誌時制計畫求解模式的整合，因此本章就與本研究相關之文獻，針對時相設計準則、車道配置準則、幹道號誌時制計畫求解模式與設計準則、延滯模式之討論以及其他相關部分之文獻五部分進行回顧評析。

### 2.1 時相設計準則

關於本研究所要探討之幹道號誌時制規劃整合設計程序，時相設計之判定準則乃依據於林良泰君等人【1】之研究，其透過對於國內外相關號誌時相設計之蒐集整理，得到各研究最常採用之時相設計準則有肇事、延滯、流量與衝突量等四項，而其中肇事與衝突量可視為安全性準則，延滯為效率性準則，流量為基本準則。至於該研究所訂定出之時相設計準則有以下五項：

#### 一、 車道數準則

此準則是考量當同一時相，雙向車流運行情況下，如果對向車道數（不包含左轉專用車道）大於等於三車道時，因為左轉車輛所需要的轉向間距較大，而且左轉行為之潛在肇事率皆高於對向車道數為兩車道以內的情況，故其認為對向車道數大於等於三車道以上時，建議不應僅設置允許左轉時相，而需要考慮給予保護時相以供左轉車流紓解。

#### 二、 交通流量準則

此一準則乃是以衝突概念發展而得。該準則以臨近路段尖峰小時之左轉流量與對向直行右轉流量乘積作為代表值，判定門檻

值之計算原理則是當在允許左轉之情況下，尖峰小時對向直行右轉流量很高時，將導致該臨近路段之左轉車輛可能無法在綠燈時段內取得其可接受間距進行左轉動作，而必須等待到清道時間時才進行左轉，如此勢必造成左轉車流之高度延滯，此時便需要給予其左轉保護時相或左轉保護且允許時相以供左轉車流進行左轉。交通流量準則之判斷門檻值公式為：

$$U = (3600 \times \frac{G}{C} \times \frac{1}{g_c}) \times (\frac{3600}{C} \times La) \quad (2.1)$$

式中，

- U ：流量準則(車輛數/小時)<sup>2</sup>      C ：週期長度(秒)  
G ：有效綠燈長度(秒)       $g_c$  ：臨界間距(秒)  
La ：清道時段所能通過之左轉車輛數(輛)

該公式以左轉之臨界間距求算對向直行及右轉車流量，再利用清道時段內可通過之左轉數量求算出左轉車流量，由二者之乘積值作為流量準則之判定門檻標準，而每小時之左轉車輛數須大於等於 50 方能應用此交通流量準則。該研究以左轉車臨界間距 4.2 秒、清道時段可通過 1.6 部左轉車輛，並以不同時比與週期時間，以及對向車道數（不包含左轉專用車道）為一車道、二車道與三車道以上等所組合之不同情境，透過式 2.1 的計算得到表中所列之對應門檻值。

表 2.1 流量準則標準表 - 對向為一車道

(車輛數/小時)<sup>2</sup>

週期 (秒) 時比	45	60	75	90	100	105	120	150	180
0.1	10,972	8,229	6,583	5,486	4,937	4,702	4,115	3,292	2,743
0.2	21,943	16,458	13,166	10,972	9,874	9,404	8,229	6,583	5,486
0.3	32,915	24,686	19,749	16,458	14,811	14,106	12,343	9,875	8,229
0.4	43,886	32,915	26,332	21,943	19,749	18,808	16,458	13,166	10,971
0.5	54,858	41,143	32,915	27,429	24,686	23,510	20,572	16,458	13,714
0.6	65,829	49,372	39,498	32,915	29,623	28,212	24,686	19,749	16,457
0.7	76,800	57,600	46,080	38,400	34,560	32,914	28,800	23,040	19,200
0.8	87,772	65,829	52,663	43,886	39,497	37,616	32,915	26,332	21,943
0.9	98,743	74,058	59,246	49,372	44,434	42,318	37,029	29,623	24,686

註：1.本表適用於臨近路段對向為一車道(不包括左轉專用車道)之情形

2.當左轉流量與對向直行及右轉流量的乘積大於表中該值,應設置左轉保護時相或左轉保護且允許時相。

資料來源【1】

表 2.2 流量準則標準表 - 對向為二車道

(車輛數/小時)<sup>2</sup>

週期 (秒) 時比	45	60	75	90	100	105	120	150	180
0.1	21,944	16,458	13,166	10,972	9,874	9,404	8,230	6,584	5,486
0.2	43,886	32,916	26,332	21,944	19,748	18,808	16,458	13,166	10,972
0.3	65,830	49,372	39,498	32,916	29,622	28,212	24,686	19,750	16,458
0.4	87,772	65,830	52,664	43,886	39,498	37,616	32,916	26,332	21,942
0.5	109,716	82,286	65,830	54,858	49,372	47,020	41,144	32,916	27,428
0.6	131,658	98,744	78,996	65,830	59,246	56,424	49,372	39,498	32,914
0.7	153,600	115,200	92,160	76,800	69,120	65,828	57,600	46,080	38,400
0.8	175,544	131,658	105,326	87,772	78,994	75,232	65,830	52,664	43,886
0.9	197,486	148,116	118,492	98,744	88,868	84,636	74,058	59,246	49,372

註：1.本表適用於臨近路段對向為二車道(不包括左轉專用車道)之情形。

2.當左轉流量與對向直行及右轉流量的乘積大於表中該值,應設置左轉保護時相或左轉保護且允許時相。

資料來源【1】

表 2.3 流量準則標準表 - 對向為大於等於三車道 (車輛數/小時)<sup>2</sup>

週期 (秒) 時比	45	60	75	90	100	105	120	150	180
0.1	32,916	24,687	19,749	16,458	14,811	14,106	12,345	9,876	8,229
0.2	65,829	49,374	39,498	32,916	29,622	28,212	24,687	19,749	16,458
0.3	98,745	74,058	59,247	49,374	44,433	42,318	37,029	29,625	24,687
0.4	131,658	98,745	78,966	65,829	59,247	56,424	49,374	39,498	32,913
0.5	164,574	123,429	98,745	82,287	74,058	70,530	61,716	49,374	41,142
0.6	197,487	148,116	118,494	98,745	88,869	84,636	74,058	59,247	49,371
0.7	230,400	172,800	138,240	115,200	103,680	98,742	86,400	69,120	57,120
0.8	263,316	197,487	157,989	131,658	118,491	112,848	98,745	78,996	65,829
0.9	296,229	222,174	177,738	148,116	133,302	126,954	111,087	88,869	74,058

註：1.本表適用於臨近路段對向為三車道(不包括左轉專用車道)以上之情形。

2.當左轉流量與對向直行及右轉流量的乘積大於表中該值，應設置左轉保護時相。

資料來源【1】

### 三、視距準則

此準則之設計精神在於當左轉車輛行駛至近交叉路口時，通常駕駛者之行為是先減速停等於該方向停止線之前，以等待可供其左轉之可接受間距，所以左轉車流必須在有足夠的停車視距提供下，才能安全地通過路口。其左轉視距的判斷標準如下：

表 2.4 視距準則標準表

設計速率 (公里/小時)		25	30	40	50	60	70	80
		視距準則						
停車視距	最小值(公尺)	25	30	40	55	70	90	110
	標準值(公尺)	20	30	45	65	85	110	135

資料來源：【1】

#### 四、 安全準則

安全準則的考量是因為號誌化路口在允許左轉時，左轉車輛容易與對向直行及右轉發生肇事的機會，故以該路口肇事發生頻率作為判斷標準。根據國外之相關研究所擬定之判斷標準為：

1. 單向道左轉肇事一年大於或等於四次時，應設置左轉保護時相。
2. 雙向道左轉肇事一年大於或等於六次時，應設置左轉保護時相。

國內在進行相關研究時應依照實際情形調整之。

#### 五、 速率準則

該準則係因為車輛於路口臨近路段進行左轉時，對向直行與右轉車流車速過快將可能引發肇事，此時應考慮給予左轉保護時相加以分開車流，而判定時以對向車流車速為基準。國外研究提出對向車流速度大於或等於 72 公里/小時，應設置左轉保護時相。

## 2.2 車道配置準則

在車道配置準則部分，根據林良泰君等人【1】之研究，所研擬出之車道配置準則如下：

#### 一、 交叉路口進入道路之寬度

其準則之訂定依據是當路口寬度不足，即代表路口之幾何條件受到應用上的限制，若路口於實際情形無法拓寬，將無法設置左轉專用車道或左轉待轉車道，此為最基本之判斷準則。就該研究所蒐集之資料文獻，其訂定 18 公尺作為標準值，因道路寬度 18 公尺可配設二個快車道及一個慢車道，因此當進入道路之寬度大於等於 18 公尺寬時，可考慮設置左轉專用車道或者左轉待

轉車道，反之則不設置。

## 二、 禁止左轉準則

該研究以其所蒐集資料訂定以左轉轉向比小於 10% 為禁止左轉之門檻，並考量快慢分隔路型之幾何佈設方式，綜合研擬禁止左轉判斷規則如下：

表 2.5 禁止左轉準則標準表

路口左轉轉向比路型		小於等於 10%	大於 10%
中央分隔		禁止左轉	—
快慢分隔	慢車道	禁止左轉	禁止左轉
	快車道	禁止左轉	—
中央且快慢分隔	慢車道	禁止左轉	禁止左轉
	快車道	禁止左轉	—

資料來源：【1】

## 三、 轉向比準則

該準則以「車道群」之觀念，以現況之車道數及臨近路段之不同方向轉向比綜合判定各轉向專用道之設置與否。其判定方法大致是採小汽車當量左右轉向比是否大於快車道數倒數來判斷，大於快車道數倒數即須設置該轉向之專用車道，隱含有判斷該轉向車流佔該方向總車輛數之比率是否大於設置一個轉向專用車道佔總車道數平均比率的概念。其數學公式為：

$$R_L = \frac{V_L}{V}$$

$$R_R = \frac{V_R}{V}$$

$$L = \frac{1}{N} \quad (2.2)$$

式中，

$V_L$ ：左轉車流量之小汽車當量 (PCU/小時)  $R_L$ ：左轉轉向比

$V$ ：臨近路段車流量之小汽車當量 (PCU/小時)  $R_R$ ：右轉轉向比

$V_R$ ：右轉車流量之小汽車當量 (PCU/小時)  $N$ ：快車道數

$L$ ：快車道數倒數比

判斷條件如下：

1. 當  $R_L \geq L$ ，即須設置左轉專用車道；
2. 當  $R_R \geq L$ ，即須設置右轉專用車道。

該研究亦考量到在快慢分隔路型時，若於快車道上設置右轉專用車道，勢必造成右轉車輛與慢車道直行車輛間之衝突，因此上述判斷準則之應用限於中央分隔路型；快慢分隔路型或中央且快慢分隔路型，則依實際交通需求及干擾狀況，於慢車道最右側設置一右轉專用車道或直行右轉共用車道。

#### 四、等候線長度準則

等候線長度準則之應用主要是據以決定該路段臨近路口之左轉車道配置形式，包括有左轉待轉車道、左轉專用車道與左轉直行共用車道等不同方式以滿足左轉車輛之空間需求，並規劃左轉車道組合配置個數與設置長度。其意涵係以等候線長度之計算以及配置公平性為考量，以類似平均分配之概念視其估算之等候線長度佔有總車道數及總路段長度的比例下，綜合考量加以計算判斷之。其基本計算公式如下所示：

$$L_1 = (Q_1/3600) \times R_{\max(1)} \times L_v \quad (2.3) \quad N_1 = L_1/L_c \quad (2.4)$$

$$L_{tr} = (Q_{tr}/3600) \times R_{\max(tr)} \times L_v \quad (2.5) \quad N_{tr} = L_{tr}/L_c \quad (2.6)$$

當時相為簡單二時相設計時， $R_{\max(1)} = R_{\max(tr)}$



式中，

$R_{\max(l)}$ ：左轉時最長的紅燈時段(秒)	$L_l$ ：左轉所需之等候線長度(公尺)
$R_{\max(tr)}$ ：直行、右轉時最長的紅燈時段(秒)	$Q_l$ ：左轉流量(小汽車當量/小時)
$L_v$ ：小汽車平均空間車頭距(公尺)	$L_c$ ：路段長度(公尺)
$L_{tr}$ ：直行及右轉所需之等候線長度(公尺)	$N_l$ ：應設置之左轉車道數
$Q_{tr}$ ：直行及右轉流量和(小汽車當量/小時)	$N_{tr}$ ：應設置之直行及右轉車道數
$N_t$ ：總車道數( $N_t = N_l + N_{tr}$ )	

因為等候線長度乃決定於最長紅燈時段，不同流動可能由於各時制設計的不同，而導致不同之紅燈時段，例如左轉保護時相時，左轉的最長紅燈時段即與直行右轉之最長紅燈時段不同；當時相為簡單二時相設計時，左轉的最長紅燈時段即與直行右轉之最長紅燈時段相同。

另外該研究納入道路中央分界帶之有無與功能、單向道路型與車道之漸變長度等設計上之考量與規範，對於不同幾何路型狀況推導出雙向車道且設置中央分界帶、雙向車道無設置中央分界帶以及單向道三種路段配置情形以及在不同路段長度條件下的判斷計算公式，如表 2.6 所列。

## 五、 相交道路車道數準則

此項準則主要是用於判定幹道(主要)道路方向是否允許其設置雙左轉車道，此相交道路車道數是指該交叉路口中與主要幹道相交的次要道路其臨近路口路段之車道數。因次要道路為主要幹道左轉車流轉入的下游路段，如果該次要道路之臨近路口路段車道數劃設不足時，可能造成主要道路左轉車流在併入次要道路車流時產生干擾衝突，因此必須考慮相交道路之車道數是否滿足主要道路設置雙左轉車道時左轉車流轉向之空間需求。因此該研究訂定相交道路車道數若小於單向二車道時，主要幹道不可設置雙左轉車道(包含一左轉專用車道與一左轉待轉車道)。

表 2.6 車道配置之等候線長度準則表

路 型 狀 況	路段長度 (公尺)	條 件		車 道 配 置
雙 向 車 道 且 設 置 中 央 分 界 帶	$L_C < 50$ 或 $50 \leq L_C \leq 100$	$L < N_1 \leq H$	$(N_1 - L) < \frac{N_{tr}}{(N_t - H)}$	配置 L 左轉專用車道與一左轉直行共用車道。 若 $L \geq 2$ ，時相為左轉保護時相。
			$(N_1 - L) \geq \frac{N_{tr}}{(N_t - H)}$	配置 H 左轉專用車道。 若 $H \geq 2$ ，時相為左轉保護時相。
	$L_C > 100$	$0 < N_1 \leq \frac{50}{L_C}$		配置一左轉直行共用車道。
		$\frac{50}{L_C} < N_1 \leq 0.5$		配置一長度為 $L_1$ 公尺的左轉待轉車道。
		$(L + 0.5) < N_1 \leq (H + 0.5)$	$(N_1 - 0.5 - L) < \frac{N_{tr}}{(N_t - H)}$	配置一左轉待轉車道(長 $0.5L_C$ 公尺)與 L 左轉專用車道與一左轉直行共用車道。 若 $L \geq 1$ ，時相為左轉保護時相。
			$(N_1 - 0.5 - L) \geq \frac{N_{tr}}{(N_t - H)}$	配置一左轉待轉車道(長 $0.5L_C$ 公尺)與 H 左轉專用車道。 時相為左轉保護時相。

表 2.6 車道配置之等候線長度準則表(續)

雙 向 車 道 但 無 設 置 中 央 分 界 帶	$L_C < 50$ 或 $50 \leq L_C \leq 100$	$L < N_1 \leq H$	$(N_1 - L) < \frac{N_{tr}}{(N_t - H)}$	配置 L 左轉專用車道與一左轉直行共用車道。 若 $L \geq 2$ ，時相為左轉保護時相。
			$(N_1 - L) \geq \frac{N_{tr}}{(N_t - H)}$	配置 H 左轉專用車道。 若 $H \geq 2$ ，時相為左轉保護時相。
	$L_C > 100$	$0 < N_1 \leq \frac{50}{L_C}$		配置一左轉直行共用車道。
		$\frac{50}{L_C} < N_1 \leq \frac{100}{L_C}$		配置一左轉待轉車道(長 $L_1$ 公尺)。
		$\frac{(L+100)}{L_C} \leq N_1 \leq \frac{(H+100)}{L_C}$	$(N_1 - \frac{100}{L_C} - L) < \frac{N_{tr}}{(N_t - H)}$	配置一左轉待轉車道(長 100 公尺)與 L 左轉專用車道與一左轉直行共用車道。 若 $L \geq 1$ ，時相為左轉保護時相。
			$(N_1 - \frac{100}{L_C} - L) \geq \frac{N_{tr}}{(N_t - H)}$	配置一左轉待轉車道(長 100 公尺)與 H 左轉專用車道。 時相為左轉保護時相。

表 2.6 車道配置之等候線長度準則表(續)

單 向 道	$L < N_l \leq H$	$(N_l - L) < \frac{N_{tr}}{(N_t - H)}$	配置 L 左轉專用車道與一左轉直行共用車道。 若 $L \geq 2$ ，時相為左轉保護時相。
		$(N_l - L) \geq \frac{N_{tr}}{(N_t - H)}$	配置 H 左轉專用車道。 若 $H \geq 2$ ，時相為左轉保護時相。

資料來源：【1】

### 2.3 幹道號誌時制求解模式與設計準則

本研究在幹道號誌時制規劃整合設計程序中，依據準則決定出符合現況車流運行與需求之適當時相分配與車道配置結果後，根據此結果來進行最佳時制計畫求解，本研究以林良泰君【7】所發展之幹道系統新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式與幹道系統新延滯最小化數學規劃模式為基礎來進行探討。

幹道號制時制設計的方法由理論層面而至電腦軟體程式之應用，已陸續發展且被廣泛的使用於現況問題中。林良泰君【7】提出幹道號誌時制設計準則分有下列三種：

#### 一、 最大綠燈帶寬法

最大綠燈帶寬法係以求得幹道雙向綠燈帶寬和最大為目標之號誌時制，目的是期望以號誌控制之方法促進在綠燈帶寬內行進之車輛能續進於幹道系統。但以最大綠燈帶寬為設計基準之號誌軟體如：PASSER 與 MAXBAND 等均有綠燈帶寬不存在之現象，此現象亦為最大綠燈帶寬法之缺點。

## 二、 最小負效用法

最小負效用法之目的為使幹道系統中的負效用績效為最小，如延滯值最小、停等次數最少、等候線長度最短、耗油率及空氣污染程度最低等。以最小負效用法為設計理念之號誌軟體如 TRANSYT-7F 及 SIGOP 等。

## 三、 帶寬及負效用聯合求解法

最大綠燈帶寬法可能導致支道產生過高之延滯，而最小負效用法則無法產生幹道之續進帶寬，為了使號誌時制能夠兼顧幹道續進帶寬最大及總延滯最小之理想目標，因而發展出聯合求解法之觀念，運用此概念之方法有：

### 1.兩段式求解法

即先以上述兩幹道號誌時制設計準則其中之一的原始輸出結果資料作為另一幹道號誌時制設計準則執行時之啟始輸入值，來求取最佳解。舉例而言，先以最大綠燈帶寬法之 PASSER 或 MAXBAND 軟體得到之原始輸出結果作為最小負效用法之號誌軟體 TRANSYT-7F 或者 SIGOP 之啟始輸入值，以求得延滯最小化之時制最佳解；反之亦然。

### 2.整合性求解法

整合性求解法為應用各號誌軟體之設計基本觀念並加以整合後，設計為另一號誌軟體程式。

幹道系統新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式是根據 MAXBAND 號誌軟體程式之模式加以改良而得，而 MAXBAND 模式係以 Little【22】以混合整數線性規劃方法所建立求解最大帶寬問題的模式，其透過帶寬時空圖推演各變數間之關係，最後以變數整合成多種限制式。幹道系統新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式以求取雙向綠燈帶寬和最大為目標式，透過所建立之幾何協調限制式、共同週期限制式、綠燈帶寬真正存在限制式、合理等候線消散時比限制

式、綠燈帶寬權數限制式、最短綠燈時間限制式等限制式，加以求得綠燈帶前置時比、等候線消散時比與綠燈帶寬，並透過計算式的運用求取續進之時差、續進速率及續進帶寬等。

最小延滯數學模式最初是由 Gartner 等人【20、21】所發展，基本數學模式是以混合整數規劃為基礎。幹道系統新延滯最小化數學規劃模式的構建是依據邱大恭君【11】所發展的獨立交叉路口號誌時制計畫數學規劃模式的概念應用至幹道系統擴展而得。其目標式是以求得每路口平均延滯值總和最小為目標，延滯之計算是以 Webster 延滯公式來求得延滯值，因 Webster 延滯模式在車流狀態飽和度接近或超過 100% 時，會產生延滯值高估或者延滯值為負值的情形，故其模式受到飽和度之限制，最後透過此模式可求得延滯最小之目標下的各路口週期與時比。

幹道系統新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式與幹道系統新延滯最小化數學規劃模式於求解時乃透過兩階段求解之方式，即先以幹道系統新延滯最小化數學規劃模式求解延滯最小化目標下的最佳週期與時比，再將週期與時比代入幹道系統新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式中求取雙向綠燈帶寬和最大之幹道系統具續進之連鎖時差，結合此兩模式所求得解之週期、時比與時差，即為達成延滯最小且綠燈續進帶寬最大目標之最佳幹道號誌時制計畫。

## 2.4 延滯模式之討論

在道路系統中，近交叉路口處為最易發生車流擁擠、阻塞之情形，因而產生道路系統之延滯。在探討有關路口之交通控制系統問題或評量交通號誌時制設計之良窳，延滯為一項重要之衡量指標，因此普遍受到相關研究之應用。蔡輝昇君【16】提出對延滯之定義是車流於路段上行進時受到若干因素之干擾或影響，導致車流行進受到阻撓而使得旅行時間增加或受到延誤；另外亦將延滯之種類分為：固定延滯、旅行時間延滯、停等時間延滯、臨近路段延滯與運行延滯等。何美瑩君【5】依照車輛之操作行為和號誌的作用影響將交叉路口延滯

分為三種：路口延滯、等候延滯與停等延滯。

由於幹道系統新延滯最小化數學規劃模式在延滯計算上採用 Webster 模式，其受限於飽和度之限制，故本研究嘗試藉由其他延滯模式之回顧，找尋可以適合應用於過飽和或高飽和狀況的車流延滯模式。

蔡輝昇君【16】將有關車輛延滯模式分為：均勻到達、同時考量均勻到達與隨機到達、車隊到達及其他種類到達之延滯計算模式。其中 Webster 延滯公式即為同時考量均勻到達與隨機到達延滯的延滯模式，Webster 係以電腦模擬的方式得到，最為被廣泛應用及討論，其延滯模式數學式如下：

$$D = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65 \left( \frac{C}{q^2} \right)^{1/3} X^{(2+5\lambda)} \quad (2.7)$$

變數說明：

D：每車平均延滯(sec/veh)      C：週期長度(sec)

$\lambda$ ：有效綠燈時間佔週期之比率(即  $g/C$ ，綠燈時比)

q：在每個臨近路段之平均到達率(veh/sec)或流率(veh/sec)

X：飽和度，每週期之平均到達率與每週期最大離去率之比

$$[\text{即 } X = \frac{q}{\lambda S} = \frac{q/S}{g/C}, S \text{ 為飽和流率(veh/sec)}]$$

Webster 模式分為三大部分：

1.  $du = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)}$ ，週期性延滯，如紅燈，稱為均一延滯(Uniform Delay)

2.  $dr = \frac{X^2}{2q(1-X)}$ ，為調整車輛隨機到達所產生的延滯，稱為隨機延滯(Random Delay)

3.  $de = 0.65 \left( \frac{C}{q} \right)^{1/3} X^{(2+5\lambda)}$ ，屬於經驗調整部分，使均一延滯與隨機延滯之總和更符合實際延滯值

Webster 延滯公式即為  $D=du+dr-de$ ，由於  $de$  約為總延滯值的 5%~15%，因此若假設  $de$  為總延滯之 10%，則可將 Webster 公式簡化為：

$$\begin{aligned}
 D &= du + dr - \frac{1}{10}(du + dr) \\
 &= \frac{9}{10}(du + dr) \\
 &= \frac{9}{10} \left[ \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{X^2}{2q(1-X)} \right] \\
 &= \frac{9}{20} \left[ \frac{C(1-g/C)^2}{1-\lambda \cdot q/\lambda S} + \frac{X^2}{q(1-X)} \right] \\
 &= \frac{9}{20} \left[ \frac{C(1-g/C)^2}{1-q/S} + \frac{X^2}{q(1-X)} \right] \tag{2.8}
 \end{aligned}$$

另外，May 的連續型延滯模式(Continuum Model)係以車輛到達型態(Arrival Type)為均一到達(Uniform Arrivals)形式的假設下，利用車輛到達率、飽和流率與紅綠燈時間長度之關係推導而得，其推導過程可得下列之值：

1. 等候線消散時間( $t_0, \text{sec}$ )

$$\lambda(r + t_0) = St_0$$

$$\text{則 } t_0 = \frac{\lambda r}{S - \lambda} \tag{2.9}$$

2. 有等候車輛的時間比例( $P_q$ )

$$P_q = \frac{r + t_0}{C} \tag{2.10}$$

3. 車輛停等百分比( $P_s$ )

$$P_s = \frac{\lambda(r + t_0)}{\lambda(r + g)} = \frac{St_0}{\lambda C} \tag{2.11}$$



4. 最大等候線長度( $Q_m$ , veh)

$$Q_m = \lambda r \quad (2.12)$$

5. 每一週期平均停等車輛數( $\bar{Q}$ , veh)

$$\bar{Q} = \frac{(\lambda r/2)r + (\lambda r/2)t_0 + 0(g - t_0)}{r + t_0 + (g - t_0)} = \frac{r + t_0}{C} \cdot \frac{\lambda r}{2} \quad (2.13)$$

6. 每一週期總停等延滯( $D$ , sec)

$$D = \frac{1}{2} \cdot [\lambda(t_0 + r)]r = \frac{\lambda r}{2}(t_0 + r) \quad (2.14)$$

7. 每一週期車輛之平均停等延滯( $d$ , sec/veh)

$$d = \frac{\frac{\lambda r}{2}(t_0 + r)}{\lambda C} = \frac{rt_0 + r^2}{2C} \quad (\text{以 } t_0 = \frac{\lambda r}{S - \lambda} \text{ 代入}) \quad (2.15)$$

$$\text{則 } d = \frac{r\left(\frac{\lambda r}{S - \lambda}\right) + r^2}{2C} = \frac{Sr^2}{2C(S - \lambda)} = \frac{r^2}{2C\left(1 - \frac{\lambda}{S}\right)} \quad (2.16)$$

其中,  $D$ : 臨近路段上平均每車延滯(sec)

$C$ : 週期時間(sec)

$r$ : 有效紅燈時間(sec)

$\lambda$ : 在每個鄰近路段之平均到達率(veh/sec)

$S$ : 臨近路段上之飽和流率(sec)

May 的連續型延滯模式最大之優點為簡單易懂, 其假設車輛在週期內呈現均一到達與現況車流型態並不符合, 為此模式之缺點, 且從圖 2.1 為 May 連續型延滯模式之累積車輛數與時間關係圖可知, 該模式適用在未過飽和之狀態。

以圖 2.1 求算任一三角形斜線面積即等於某一週期之總停等延滯值, 即  $D = \frac{\lambda r}{2}(t_0 + r)$ ,  $t_0$  以  $\frac{\lambda r}{S - \lambda}$  代入後, 化簡得到  $D = \frac{\lambda r^2 S}{2(S - \lambda)}$ , 此即為本研究將應用於修正新延滯最小化數學規劃模式之未飽和狀態之

延滯計算公式。

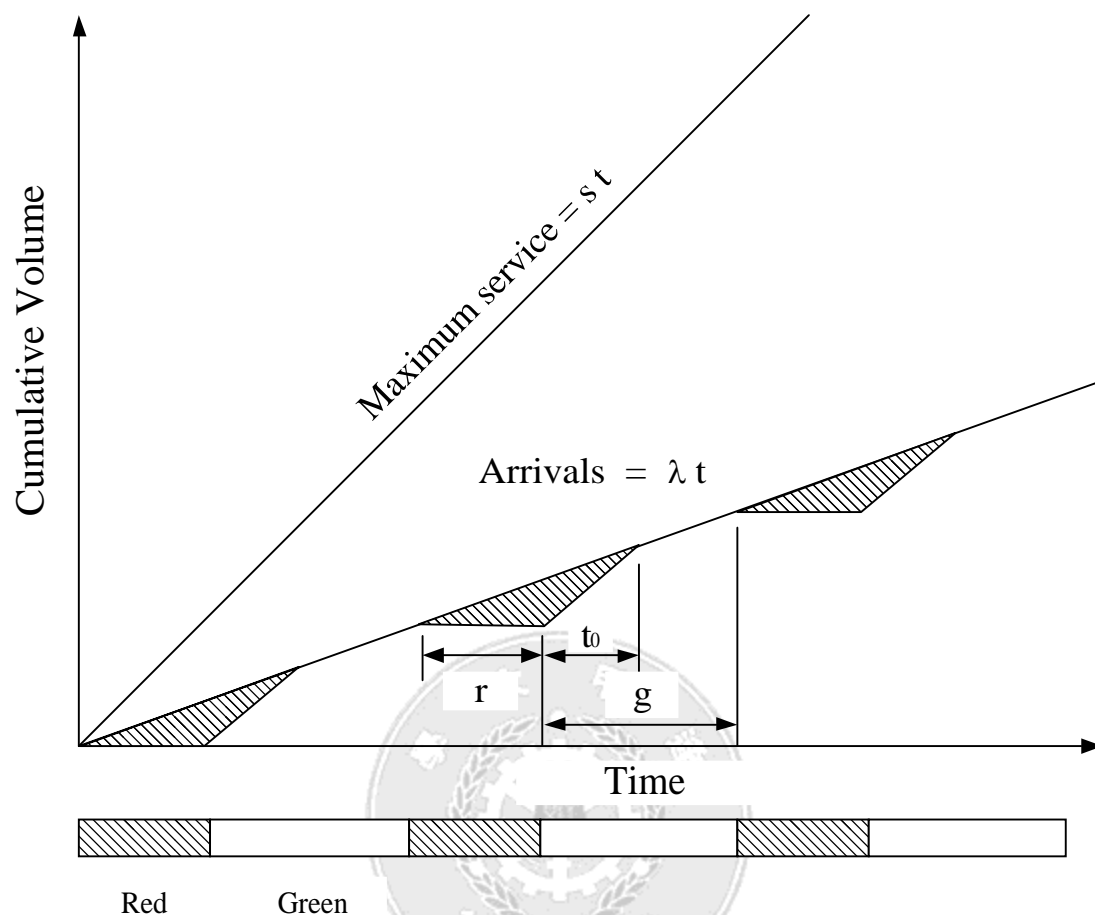


圖 2.1 May 連續型延滯模式

資料來源：【7】

S：飽和流率(veh/sec)

$\lambda$ ：到達率(veh/sec)

$t_0$ ：等候線紓解時間(sec)

r：紅燈時間(sec)

g：綠燈時間(sec)

C：週期(sec)

在林良泰君【9】之研究中，提出均一到達率下過飽和車流之延滯計算，其計算概念係由均一到達率下未過飽和車流之延滯計算加以演算而得，其計算流程乃由圖 2.2 之輔助推算如下：

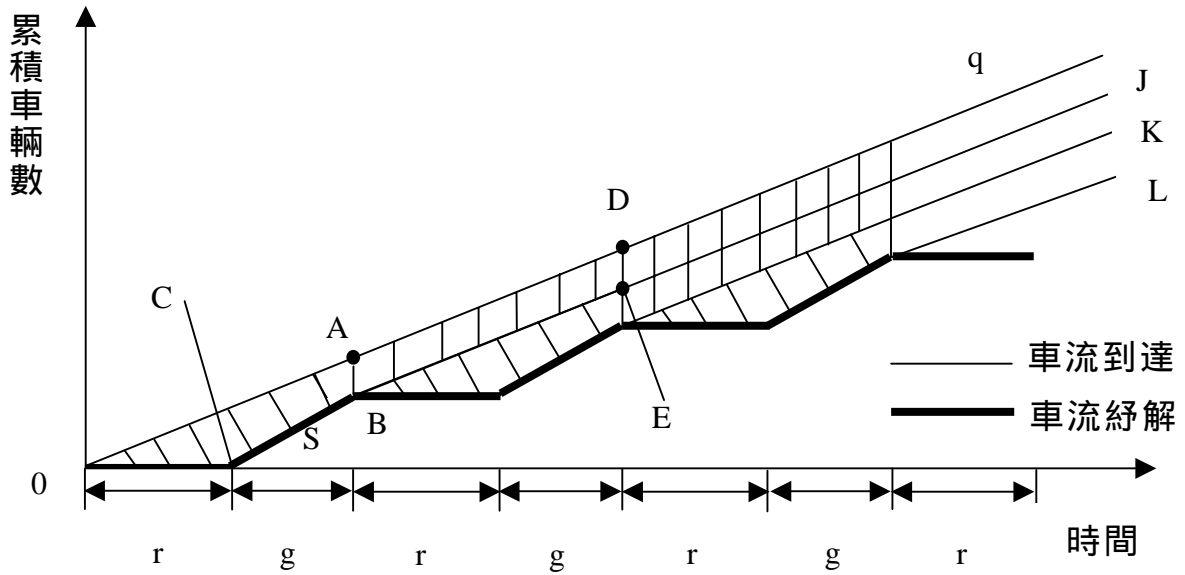


圖 2.2 均一到達率過飽和之延滯示意圖

資料來源：【9】

變數說明：

S：飽和流率(veh/sec)

q：到達率(veh/sec)

r：紅燈時間(sec)

g：綠燈時間(sec)

1. 求得第一週期延滯值  $D_1$  = 多邊形 OABC
2. 求得第二週期之延滯值  $D_2 = D_1 + \text{平行四邊形 ADEB}$
3. 求得第 n 週期之延滯值  $D_n = D_1 + (n-1) \times \text{平行四邊形 ADEB}$
4. 求得 n 週期內之總延滯值

$$\sum_{i=1}^n D_i = nD_1 + \frac{n(n-1)}{2} \times \text{平行四邊形 ADEB}$$

$$\text{上式中, } D_1 = \text{多邊形 OABC} = \frac{1}{2}qr^2 + \frac{\{qr + [q(g+r) - Sg]\}g}{2}$$

$$\text{平行四邊形面積為 } [q(g+r) - Sg](g+r)$$

整合上列計算式得在均一到達率下過飽和車流 n 個週期之延滯計算模式為下式：

$$\sum_{i=1}^n D_i = n \left\{ \frac{1}{2}qr^2 + \frac{\{qr + [q(g+r) - Sg]\}g}{2} \right\} + \frac{n(n-1)}{2} \times [q(g+r) - Sg](g+r) \quad (2.17)$$

上式  $n$  個週期內之延滯計算式本研究將應用於修正新延滯最小化數學規劃模式之過飽和狀態之延滯計算公式。

## 2.5 其他相關部分之文獻回顧

其他與本研究或後續研究過程相關之部分文獻資料於本小節進行概略之整理分析。

### 一、車道配置與號誌設計整合觀念與其他相關研究

1. 黃士哲君【14】提出在設置有專用時相之路口即應該具備有專用車道加以配合之觀點，本研究於後續將應用此一觀念。
2. 鄭有欽君【17】將左轉車道分為左轉專用車道、左轉直行共用車道及左轉直行右轉共用車道三種，利用啟發式求解法將路口車道配置與號誌時制設計結合發展出整合設計程序。該研究以 T7F-T88 號誌時制設計軟體求解最佳之時制計畫，再以 TRAF-NETSIM 車流模擬軟體進行績效評估，篩選相關準則。而李佳玲君【6】亦以專家系統建構出公路規劃、車道配置準則、時相與時制設計等知識庫，做一整體性最佳方案規劃設計之整合。
3. 范玉琳君【12】主張在未設置左轉專用車道之交叉路口不宜使用綠燈遲閉之號誌控制設計。
4. 何志宏君等人【4】提出「交通工程整合規設」之概念，將市區獨立路口之車道規劃與設計、車道配置和號誌時制設計加以整合，並建立規劃設計分析程序，以求得最佳之交通工程整合規劃方案。該研究對於方案比較所採用的評估指標，僅以模擬工具所分析的車輛延滯值為基準，其分析結果易受模擬工具之假設與限制所影響，而且對於不同的車道規劃設計、車道配置和號誌時制設計所造成之路口行車衝突考量有所不足。而陳良俊君【13】同樣與何志宏君等人皆以交錯格位模糊推進法混流微觀車流模擬模式作為分析工具，其更進一步以二階段搜尋來求得方案，並再將標誌與標線亦納入整體配置功能。
5. 何文元君【3】以 1997HCM 容量分析模式理論為基礎，運用

車道群間彼此平衡之概念進行專用車道配置，並訂定具保護時相與無保護時相之左轉量門檻加以篩選時相選擇方案，在一路口飽和度範圍反覆求取路口最佳績效之週期，另其研究顯示出整合設計相較於只針對時比、週期、時相等單一項目進行改善效果來得顯著。

## 二、號誌時制求解軟體與車流模擬軟體

### 1. TRANSYT-7F

本研究後續研究流程中，將應用到 TRANSYT-7F 與 Synchro 兩號誌時制求解軟體進行時制計畫求解，以及車流模擬軟體 CORSIM 用以探討比較績效之用。TRANSYT-7F【23】是以時間掃描法（Time-Scan Method）、巨觀（Macroscopic）及定性（Deterministic）之方式所設計的號誌最佳化模式，其具備之執行功能有車流模擬、求解最佳時制及最佳時制的評估等，其可應用於都市獨立路口與幹道、以及網路時制之設計等領域。TRANSYT-7F 求得最佳解的方法是以負效用最小化為目標，運用爬山尋優法搜尋系統所得之延滯與停等績效指標最小的時制解，TRANSYT 為目前交通控制領域廣被使用的求解號誌時制軟體。

### 2. Synchro

Synchro4.0 版本【10 19】係依據於 1997 年公路容量手冊(Highway Capacity Manual, HCM)之第九章「幹道號誌及擁擠號誌分析」所發展而來之號誌軟體，其分析以路網號誌化路口為主，不但可以進行最佳化時制計畫求解，並可對於路口之容量及多種 MOE 值加以進行評估與分析，另外路網構建上以及使用者操作介面上相當便利，且分析時不僅有時空圖及各種績效值列表呈現，其更具備有圖形動畫的微觀車流模擬功能，可將所求得之時制計畫或現況時制計畫輸入進行模擬及模擬動畫輸出。除此之外，Synchro4.0 更提供將所輸入資料藉由轉換功能把資料轉換為 CORSIM、TRANSYT-7F 與 HCS 等軟體的格式檔案，更方便於使用者進行不同軟體間之應用與分析。

過去在構建幹道系統最大綠燈帶寬及最小負效用條件下之最佳時制計畫，均未將時差納入模式做一完整分析探討。而 Synchro 在求解最佳幹道時差的方式，是以評估幹道系統內，經過在週期範圍內每 1~4 秒為一時差間隔，得到各個不同延滯值，並以最小延滯值所對應之最佳時差做為幹道系統之時差。如此可針對由不同之幹道系統所組成之路網及各個路口，進行不同幹道之同步最佳化時差，以求得路網之最佳時差。系統的作業方式是先針對主控路口進行與相鄰路口之延滯值及時差分析，然後在考量幹道綠燈帶帶寬條件下，再以相鄰路口分析方式擴大到幹道上之各個路口，求得幹道最大綠燈帶寬及最小負效用下之時差。

### 3. CORSIM

車流模擬軟體 CORSIM 為一整合 NETSIM 與 FRESIM 兩模擬軟體之模擬模式，NETSIM 為都市路網微觀車流模擬模式，FRESIM 則為高快速道路系統之模擬模式，本研究之研究範圍為都市市區幹道，故對於 CORSIM 之運用即為 NETSIM 模擬模式。NETSIM 為一微觀、隨機且採定時掃描之車流分析模式，可應用於定時控制、觸動控制、連鎖控制等號誌時制之號誌化路口以及以「停」、「讓」標誌之無號誌化路口的分析探討，另外尚可對於行人觸動、公車運行、路段封閉及停車等車流行為進行績效分析，可應用之涵蓋範圍甚廣，其與以往模擬模式最大之不同在於可透過動態顯示畫面來模擬與記錄所有車輛行進軌跡，且將模擬過程所得之輸出值以統計圖表呈現，有利於使用者之分析與判讀各績效參數值展現。

### 三、整合型績效指標與號誌化路口期望衝突量之計算

本研究於進行車道配置準則與時相設計準則之有效性評估以及幹道號誌時制規劃整合設計程序之應用探討時，將運用整合型績效指標作為分析之依據，而整合型績效指標之制訂與計算式，係由林良泰君等人【8】所提出，因號誌化路口之時相數越多時，車輛因號誌的關係而使得車輛加減速與停等造成路口延滯時間的增加，但車輛運行時之安全亦隨著時相增多所附予之「保護」特性而提高，所以該研究

考量效率與安全間之權衡取捨關係，針對效率與安全兩大指標以一致化成本之概念加以整合，其所建立整合型績效指標與構建之計算通式如下所示：

$$PI = W_e PI_e + W_s PI_s \quad (2.18)$$

式中：

PI：整合型績效指標

$W_e$ ：效率指標權重

$PI_e$ ：效率指標(總延滯)

$W_s$ ：安全指標權重

$PI_s$ ：安全指標(總衝突量)

該研究將延滯所產生的時間成本單位化，將延滯時間所換算之每秒延滯成本作為效率指標權重值；在安全指標方面，以潛在衝突量所造成之肇事成本，進而推算每一衝突量的單位成本作為安全指標權重。其最後分析所得之整合型績效指標計算公式如下：

$$PI = 0.05 PI_e + 76.38 PI_s \quad (2.19)$$

另外上述安全指標係透過總衝突量之計算得來，該研究依據不同時相設計的特性，將時相分為簡單二時相、左轉保護時相、早開、遲閉與輪放等不同設計方式，以相對臨近路段為例探討並得到衝突量之計算模式與方法如表 2.7 所列，表中變數定義於下：

$N_R$ ：北端路段右轉交通量；  $N_L$ ：北端路段左轉交通量；

$N_T$ ：北端路段之路段交通量；  $N_n$ ：北端路段單向車道數；

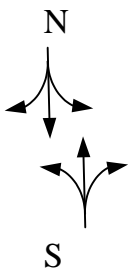
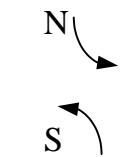
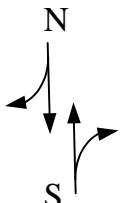
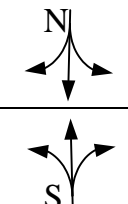
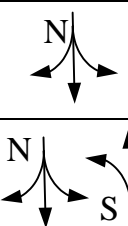
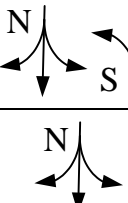
$S_R$ ：南端路段右轉交通量；  $S_L$ ：南端路段左轉交通量；

$S_T$ ：南端路段之路段交通量；  $S_n$ ：南端路段單向車道數；

$E_n$ ：東端路段單向車道數；  $W_n$ ：西端路段單向車道數；

$N_{R1}$ 、 $N_{R2}$ 、 $N_{S1}$ 、 $N_{S2}$ 、 $N_{L1}$ 、 $N_{L2}$  為早開與遲閉時相各時相時間所產生之流量。

表 2.7 號誌化路口衝突量模式應用整理表

時相型態 (以北端、南端路口為例)		分出衝突	交叉衝突	併入衝突
	簡單二時相	$\frac{(N_R + N_L) \cdot (N_T - N_n)}{2 \cdot N_n}$ $\frac{(S_R + S_L) \cdot (S_T - S_n)}{2 \cdot S_n}$	$N_S \cdot S_L$ $S_S \cdot N_L$	$\frac{N_R \cdot S_L}{W_n}$ $\frac{S_R \cdot N_L}{E_n}$
	左轉保護時相	$\frac{N_L \cdot (N_L - 1)}{2}$ $\frac{S_L \cdot (S_L - 1)}{2}$	無	無
		$\frac{N_R [(N_T - N_L) - (N_n - 1)]}{2(N_n - 1)}$ $\frac{S_R [(S_T - S_L) - (S_n - 1)]}{2(S_n - 1)}$		
	輪放	$\frac{(N_R + N_L) \cdot (N_T - N_n)}{2 \cdot N_n}$ $\frac{(S_R + S_L) \cdot (S_T - S_n)}{2 \cdot S_n}$	無	無
	早開	$\frac{(N_R + N_L) \cdot (N_T - N_n)}{2 \cdot N_n}$ $\frac{(S_R + S_L) \cdot (S_T - S_n)}{2 \cdot S_n}$	$N_{S2} \cdot S_L$ $S_S \cdot N_{L2}$	$\frac{N_{R2} \cdot S_L}{W_n}$ $\frac{S_R \cdot N_{L2}}{E_n}$
		$\frac{(N_R + N_L) \cdot (N_T - N_n)}{2 \cdot N_n}$ $\frac{(S_R + S_L) \cdot (S_T - S_n)}{2 \cdot S_n}$	$N_{S1} \cdot S_L$ $S_S \cdot N_{L1}$	$\frac{N_{R1} \cdot S_L}{W_n}$ $\frac{S_R \cdot N_{L1}}{E_n}$

資料來源：【8】



## 2.6 小結

根據以上之文獻，本研究對於各理論之綜合評析與應用如下：

1. 就時相準則與車道配置準則方面而言，先前研究之理論成果已漸趨完整，兼具考量了定性與定量部份，本研究將引用重要且適用之部份準則作為本研究後續方法與分析之應用，以增加準則於實務上之應用例證及進一步深入探究其有效程度。
2. 幹道系統新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式因其目標是求取幹道雙向綠燈整體續進帶寬總和最大，以及模式之限制式可能造成帶寬為鋸齒狀帶寬呈現，當求解路口增多容易產生無法求得整體續進帶寬解之問題，後續本研究將對於此一狀況進行探究；另在幹道系統新延滯最小化數學規劃模式方面，因為其延滯計算受到 Webster 延滯模式之適用限制，造成在高度飽和之車流狀態所計算延滯有所誤差進而影響時制之最佳化求解結果，本研究亦將於後續章節進行探討與修正，而所應用之概念即為林良泰君【9】之研究所提出之均一到達率下以 May 連續型延滯模式為基礎進行過飽和車流狀態延滯計算之推估。
3. 黃士哲君【14】所提出設置專用時相路口應具備專用車道配合與范玉琳君【12】所提出未設置左轉專用車道之交叉路口不宜使用綠燈遲閉號誌設計，皆考量到時相與車道佈設間相關連且相輔相成之處，此兩觀念本研究於車道配置與時相設計整合時將加以應用。
4. 本研究於後續進行車道配置準則與時相設計準則有效性評估以及幹道號誌時制規劃整合設計程序之應用探討時將以整合型績效指標值作為評估分析之依據，其中之計算方法及衝突量之推估乃運用林良泰君等人【8】所建立之方法。

## 第三章 單一路口車道配置與號誌時制 整合設計模式之建立與確認

本章將進行單一路口車道配置與號誌時制整合設計模式之建立與確認，也即是將車道配置準則與時相設計準則加以應用於舉例資料，以求解出號誌時制計畫，並對於所得時制計畫進行評估，以進一步瞭解車道配置準則與時相設計準則應用上之有效性，且就此整體程序而言，便可建立與確認得到單一路口車道配置與號誌時制整合設計模式。

針對此研究流程本研究擬以時制計畫未知的虛擬路口資料作為套用準則的依據。

### 3.1 準則應用有效性確認之虛擬路口資料

本研究所欲進行車道配置與時相設計準則應用有效性確認之虛擬路口資料係以完全虛擬之狀況構建，該虛擬路口資料如下：

本研究所虛擬之路口資料為有效應用準則之檢測，乃虛擬一單向可配置三車道、雙向六車道的虛擬四肢路口，並假設東西方向之路段設置有中央分界帶，南北方向則無中央分界帶佈設，路段長度皆為 250 公尺，臨近路段長度假設為 100 公尺，另外並假設其路幅寬度為 18 公尺。其它資料如交通量、轉向比、幾何佈設狀況如表 3.1 與圖 3.1 所示。

表 3.1 虛擬路口資料幾何配置表

路口名稱	臨近路口	路段	臨近路段	路型狀況	可配置
虛擬路口	編號	長度	長度		車道數
	1	250m	100m	雙向且設置中央分界帶	3
	2	250m	100m	雙向無設置中央分界帶	3
	3	250m	100m	雙向且設置中央分界帶	3
	4	250m	100m	雙向無設置中央分界帶	3

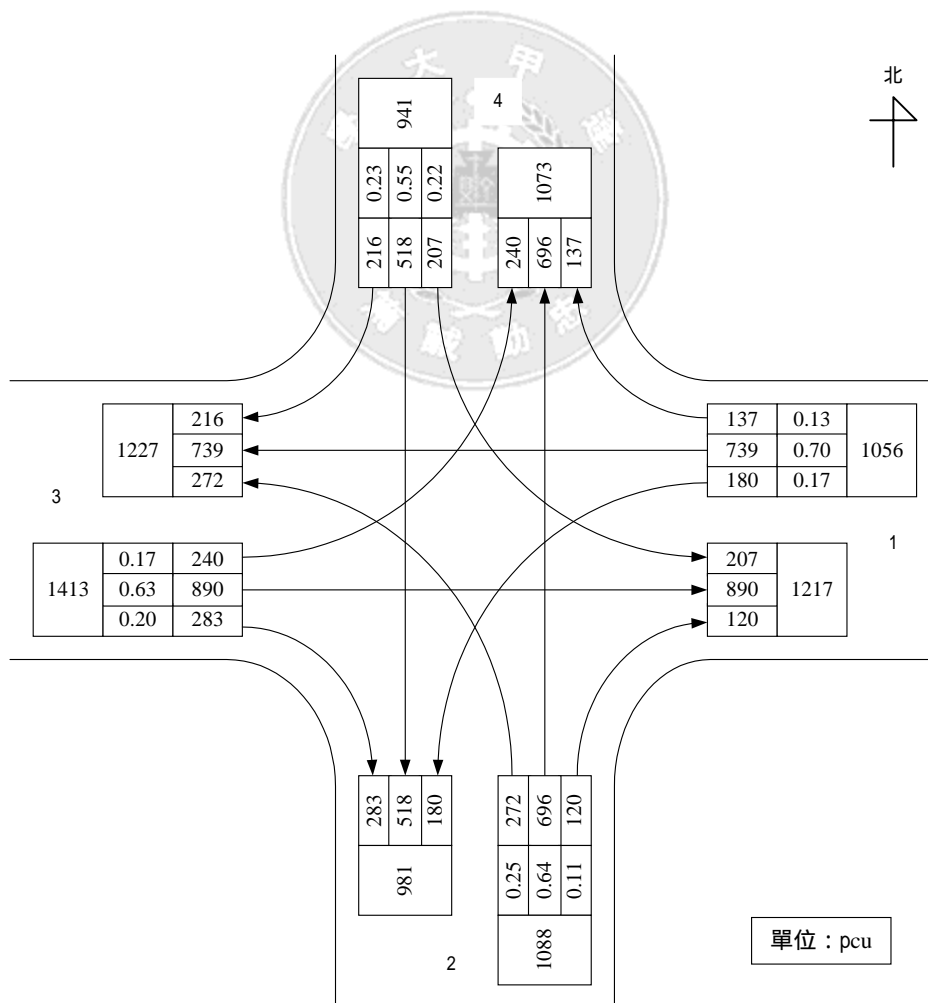


圖 3.1 虛擬路口轉向交通量示意圖

### 3.2 準則有效性確認之程序

本研究將時制計畫未知之虛擬路口資料，將路口之流量資料、配置車道數資料輸入至號誌時制求解軟體 Synchro 中，先以簡單二時相設計，求得軟體之最佳化時制計畫，再將此以簡單二時相設計初步所得之時制計畫，與流量及可配置車道數代入車道配置與時相設計準則中進行分析，透過準則所得出之車道配置結果與時相設計結果，先就車道配置結果與時相設計結果加以整合成適當之時相方案，之後依據此車道配置形式與選擇之時相方案再遞迴至號誌時制求解軟體 Synchro 中，以求得時制計畫，繼而與各種不同時相組合設計之方案所求得之時制計畫，透過車流模擬軟體 CORSIM 模擬所得之績效值進行績效評比。在此所進行之績效評估是以模擬軟體 CORSIM 所得三項績效指標平均延滯、停等百分比與速率，另外，本研究亦採以綜合績效指標計算之方式，綜合績效指標值之計算是運用林良泰君等人【8】所建立之整合型績效指標，即整合效率與安全兩大指標，透過一致化成本之觀念，加以整合構建。其所建立之整合型績效指標如下：

$$PI = W_e PI_e + W_s PI_s \quad (3.1)$$

式中 PI 為整合績效指標；

PI：整合型績效指標

$W_e$ ：效率指標權重

$PI_e$ ：效率指標(總延滯)

$W_s$ ：安全指標權重

$PI_s$ ：安全指標(總衝突量)

該研究經由單位延滯時間成本與單位衝突量成本進行推估，分析得出效率指標權重與安全指標權重，因此得到整合型績效指標之計算公式為：

$$PI = 0.05 \times PI_e + 76.38 \times PI_s \quad (3.2)$$

本研究之綜合績效指標計算將沿用式 3.2 作為績效指標值的計算公式。

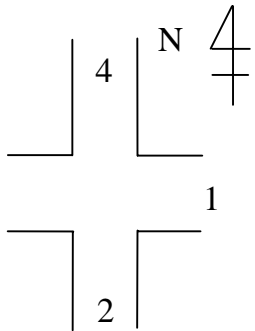
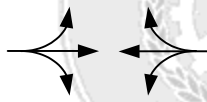
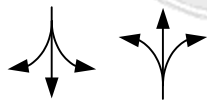
### 3.3 準則有效性確認過程與評估結果分析

本小節將對於車道配置準則與時相設計準則應用於虛擬路口資料，以求得時制計畫後與多種時相設計所得之時制計畫進行績效評估，本研究將車道配置準則與時相設計準則應用與確認步驟繪製分析流程圖於圖 3.2，以下即針對確認過程逐步執行與探討如下。

步驟一：將虛擬路口資料輸入至號誌時制求解軟體 Synchro 中，以簡單二時相之設計，車道初步佈設皆是以內側車道為左轉直行共用，中間車道為直行車道，外側車道為直行右轉共用車道，得出簡單二時相之時制計畫。所求得之時制計畫如下：

表 3.2 虛擬路口以簡單二時相設計之時制計畫

單位：秒

路口名稱	時相列	綠燈	黃燈	紅燈	週期
		31	3	31	65
		24	3	38	

步驟二：將表 3.2 之時制計畫與虛擬路口之資料代入車道配置準則與時相設計準則，以檢定出適當之車道配置結果與時相設計形式。相關準則之內容請參閱第二章文獻回顧內容，在此不再詳述。

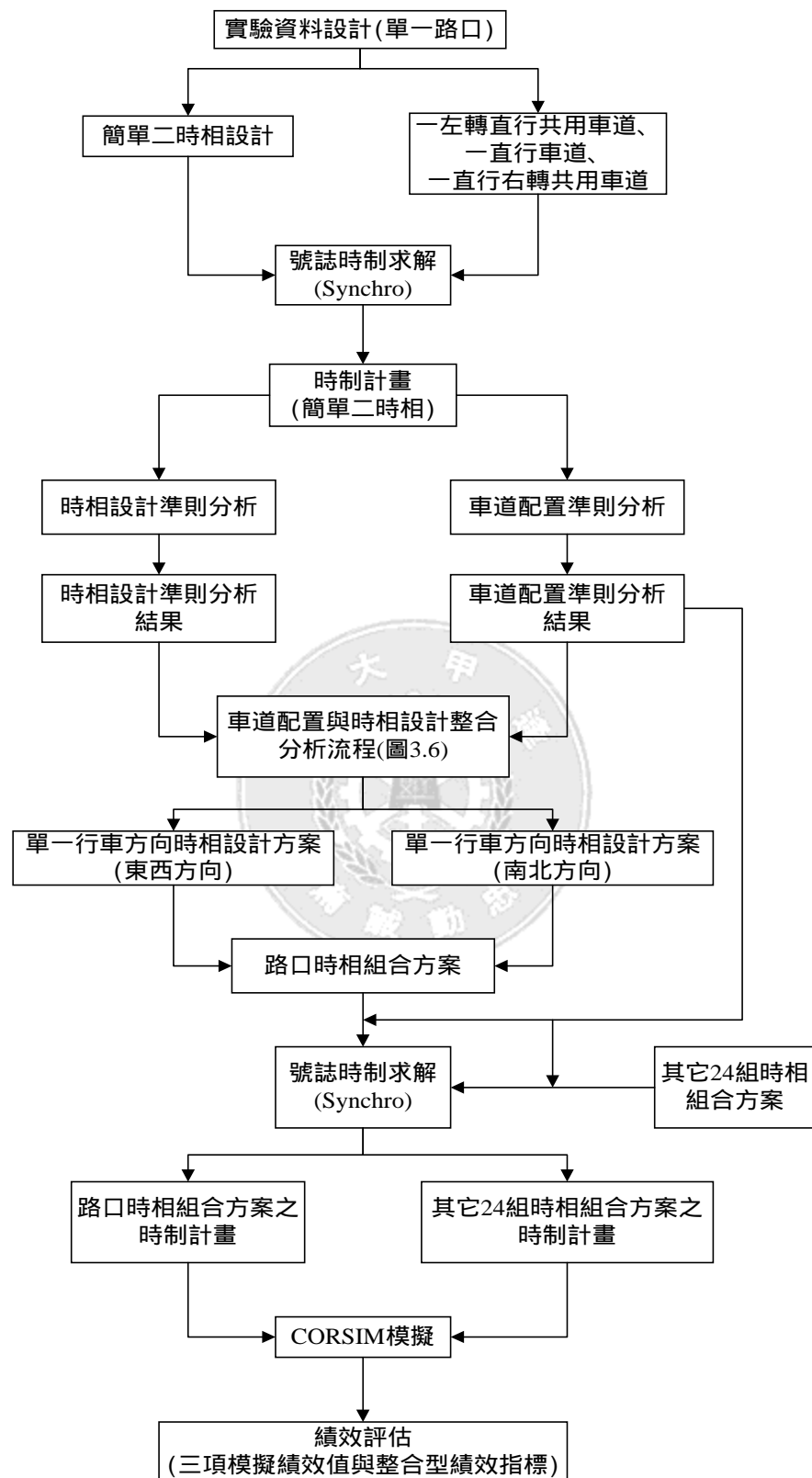


圖 3.2 車道配置準則與時相設計準則應用與確認分析流程

### 一、時相設計準則判定：

在時相設計判定方面，本研究係採用林良泰君等人【1】之研究中時相準則中的車道數準則與交通流量準則，來進行左轉保護時相之判定，時相設計準則分析程序如圖 3.3 所示。

#### 1. 車道數準則方面

由於此一虛擬路口皆為單向三車道之設置，故若以車道數準則加以判定，每一方向之對向車道數（不包含左轉專用車道）皆大於等於三車道，故需要考慮給予四個方向左轉保護時相。

#### 2. 交通流量準則方面

有關交通流量準則之計算過程本研究以往東方向之計算過程說明列示於下：

往東方向：左轉車流臨界間距 4.2 秒【1】，清道時段可通過 1.6 部車【1】

流量乘積=240× (739+137)=210,240

$$\text{流量準則 } U = \left( 3600 \times \frac{32}{65} \times \frac{1}{4.2} \right) \times \left( \frac{3600}{65} \times 1.6 \right) \times 3 = 115,686$$

因為流量乘積大於流量準則所計算之門檻值，故應設置左轉保護時相或左轉保護且允許時相。

由上列兩項準則可得知往東方向時相設計為設置左轉保護時相。

本研究將時相設計準則判定結果彙整於表 3.3。

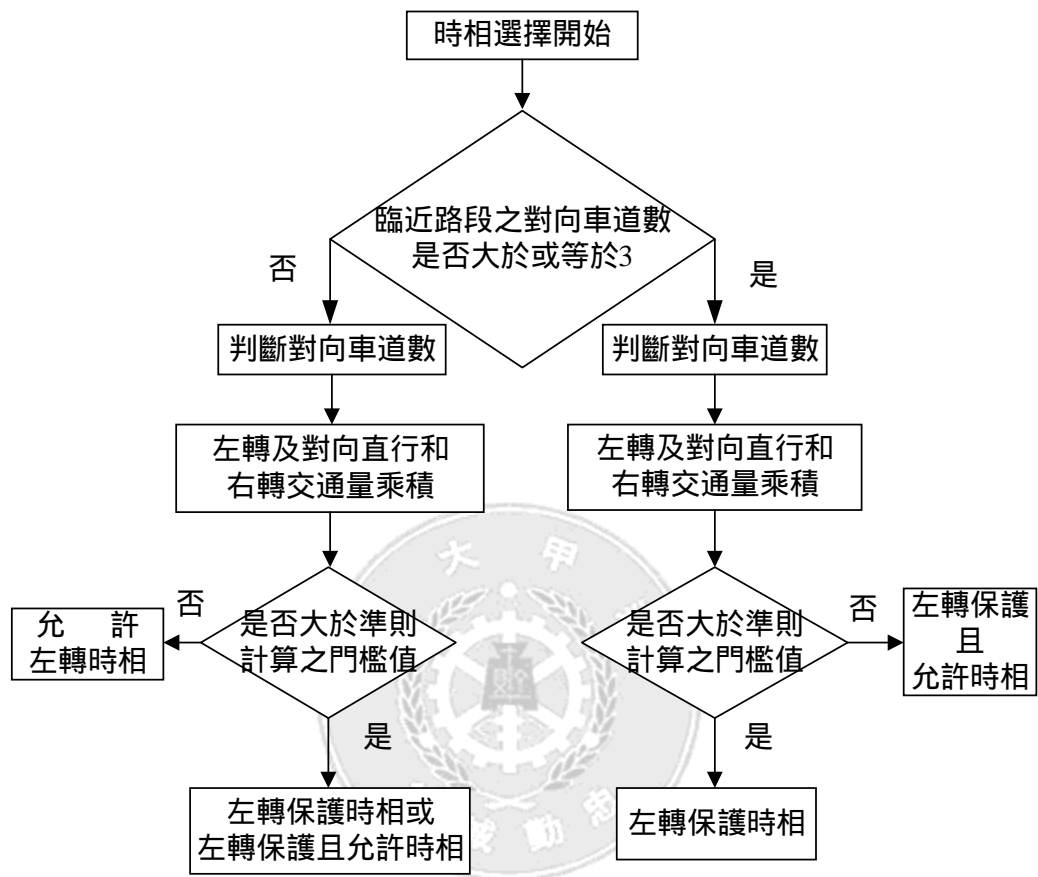
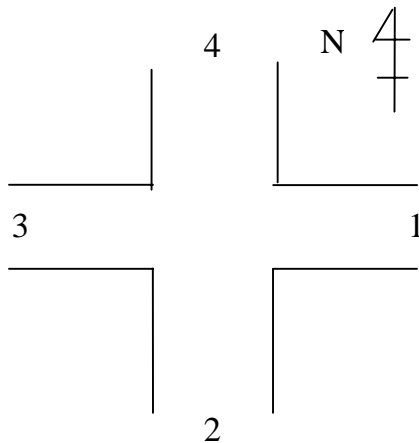


圖 3.3 時相設計準則分析程序

資料來源【1】



表 3.3 虛擬路口時相判定準則結果

路口名稱：虛擬路口													
路型：東西方向(3,1)—中央分界帶 南北方向(4,2)—無中央分界帶													
方向		臨近路段											
		往東			往西			往南			往北		
交通量(PCU/小時)		左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉	左轉	直行	右轉
		240	890	283	180	739	137	207	518	216	272	696	120
車道數 (不包括左轉專用)		3			3			3			3		
準則	車道數準則	對向車道數大於等於 3 車道			對向車道數大於等於 3 車道			對向車道數大於等於 3 車道			對向車道數大於等於 3 車道		
	交通流量準則	需要左轉保護			需要左轉保護			需要左轉保護			需要左轉保護		
左轉時相建議		左轉保護時相					左轉保護時相						

## 二、 車道配置準則判定：

本研究在車道配置準則判定方面，共採用準則中的交叉路口進入道路寬度、禁止左轉、轉向比與等候線長度四項準則，來決定車道配置狀況，車道配置準則分析流程如圖 3.4 所示。

### 1. 交叉路口進入道路寬度

此項準則因文獻中指出道路寬度 18 公尺可配置三個車道，因此本研究假設此虛擬路口四個方向之可配置車道數為 3 車道，因此進入道路寬度皆假設大於等於 18 公尺，可考慮設置左轉專用道或左轉待轉車道。

### 2. 禁止左轉準則

依據禁止左轉準則之判斷，左轉轉向比小於 10% 為禁止左轉門檻，以此一虛擬路口而言，參考圖 3.1 之轉向比，皆大於 10% 之交通量，故不受禁止左轉之限制。

### 3. 轉向比準則

轉向比準則可依據判定是否需設置左、右轉專用車道，後續尚有一等候線長度準則，可依據其判斷左轉專用車道等的配置需要，因此本研究以轉向比準則作為檢視是否需要設置右轉專用車道之判定依據。依據右轉轉向比與快車道數倒數相比較，四方向之右轉轉向比皆未大於等於快車道數比  $1/3$ ，故在右轉車道配置上僅在最外側配置右轉直行共用車道。

### 4. 等候線長度準則

有關等候線長度準則之判定，本研究以往東方向之實例計算來說明。往東方向：

左轉交通量 240(pcu/hr)，直行及右轉交通量 1173(pcu/hr)，雙向車道且設置中央分界帶，路段長度 250 公尺，可配置 3 車道，週期 65 秒，左轉

最長紅燈時間 34 秒，直行及右轉最長紅燈時間為 34 秒，小汽車平均空間車頭距 5.5 公尺【1】

$$L_{\ell} = (240/3600) \times 34 \times 5.5 = 12.467 \text{ (公尺)}$$

$$L_{tr} = (1173/3600) \times 34 \times 5.5 = 60.931 \text{ (公尺)}$$

$$N_{\ell} = 12/250 = 0.048$$

$$N_{tr} = 61/250 = 0.244$$

因為路段長度大於 100 公尺，透過第二章表 2.3 之計算準則及判斷

$$50/L_C = 50/250 = 0.2$$

$$0 < N_{\ell} < \frac{50}{L_C}$$

故依據判定準則於道路最內側配置一左轉直行共用車道。

以上述四項準則可得知往東方向車道配置方案為最內側車道左轉直行共用車道、中間車道為直行，最外側車道為右轉直行共用車道。

本研究將車道配置準則判定結果彙整於表 3.4。

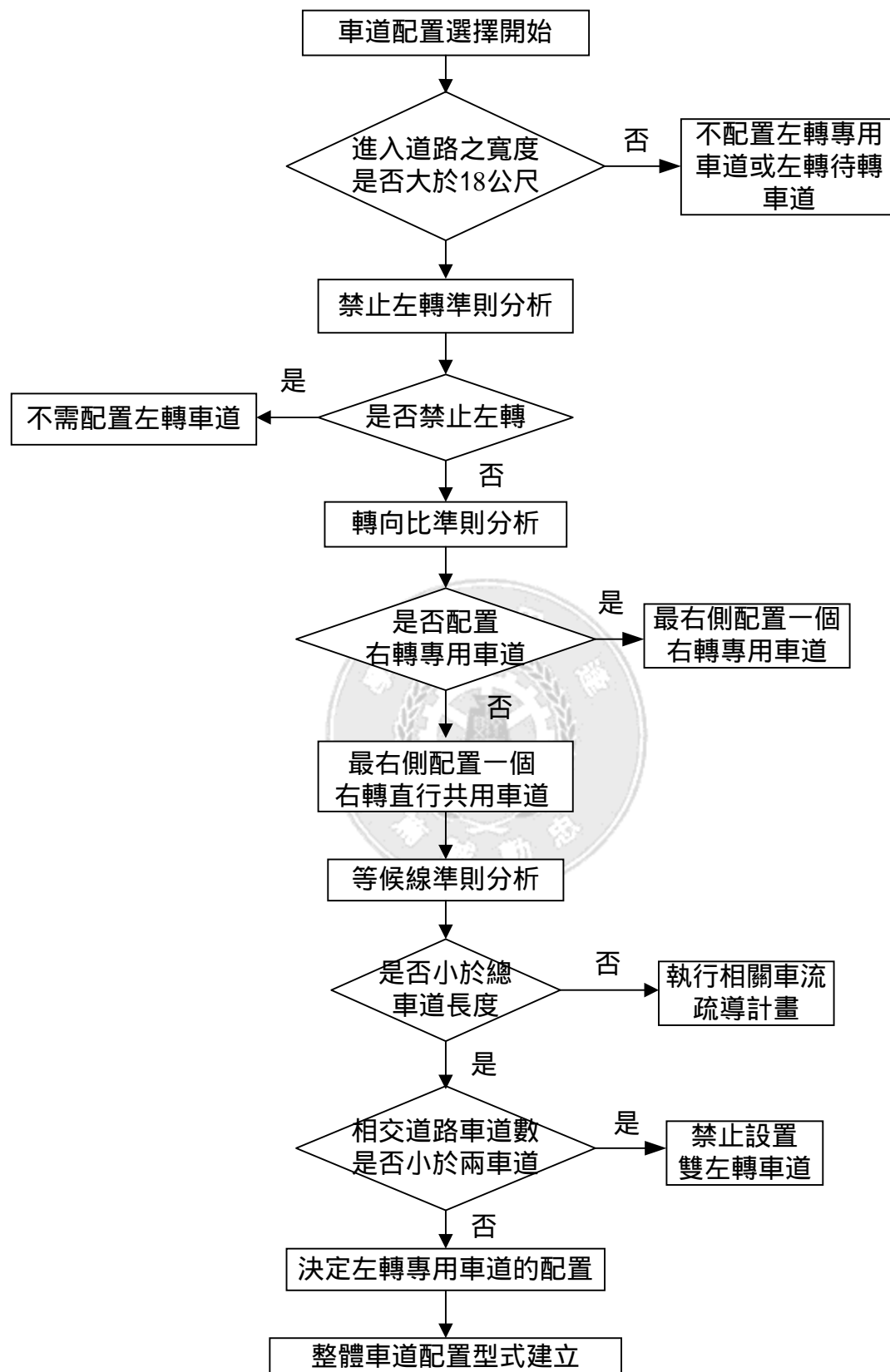
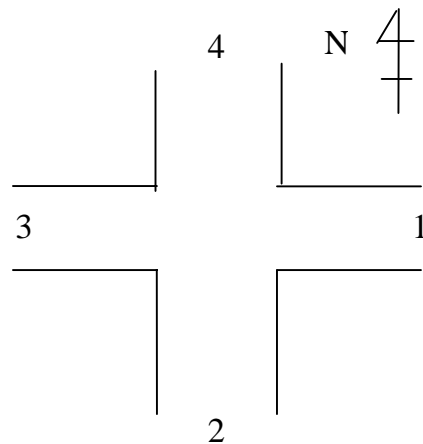


圖 3.4 車道配置準則分析流程

資料來源【1】

表 3.4 虛擬路口車道配置判定準則結果

路口名稱：虛擬路口					
路型：東西方向(3,1)—中央分界帶 南北方向(4,2)—無中央分界帶					
方向		臨近路段			
		往東	往西	往南	往北
車道數		3	3	3	3
準則	道路寬度	>18 公尺	>18 公尺	>18 公尺	>18 公尺
	禁止左轉準則	—	—	—	—
	轉向比準則	車道最右側配置一直行右轉共用車道	車道最右側配置一直行右轉共用車道	車道最右側配置一直行右轉共用車道	車道最右側配置一直行右轉共用車道
	等候線長度準則	車道最左側配置一左轉直行共用車道	車道最左側配置一左轉直行共用車道	車道最左側配置一左轉直行共用車道	車道最左側配置一左轉直行共用車道
	相交道路車道數準則	—	—	—	—
車道配置結果		配置一直行右轉共用車道、一直行車道、一左轉直行共用車道	配置一直行右轉共用車道、一直行車道、一左轉直行共用車道	配置一直行右轉共用車道、一直行車道、一左轉直行共用車道	配置一直行右轉共用車道、一直行車道、一左轉直行共用車道

步驟三：將車道配置準則結果與時相設計準則結果加以整合。

本研究對於車道配置準則結果與時相設計準則結果之整合分析是根據參考文獻【1】所提及的車道配置與時制計畫整合程序(圖 3.5)更進一步針對車道配置與時相之整合關係進行應用與延伸，本研究探討部份較為著重於車道配置與時相設計整合後，決定更為明確之時相方案如左轉保護時相、綠燈輪放、綠燈早開、綠燈遲閉等設計流程。由於在設置有專用時相應該具備有專用車道之配合，專用時相才能有效幫助車流，因此當決定出車道配置結果與時相設計型態結果後，應當對於此二結果加以整合判斷，以更進一步決定適當之時相類型。

基於上述之原則，本研究乃針對設置左轉保護時相與否，以及是否配置有供左轉車流紓解及儲車之用的車道，如左轉專用車道與待轉車道，其整合結果進行初步探討。

根據范玉琳君【12】及交通號誌規劃手冊【2】所指出，實際時相設計應用上，為處理某一相對方向單邊左轉車輛較多之情形，可採用綠燈早開或綠燈遲閉之方式，而此二種方式皆有其優缺點與適用之時機，就范玉琳君與號誌規劃手冊均提出綠燈早開適用於沒有設置左轉專用車道之情況，而綠燈遲閉則適用於該方向設置有左轉專用車道之情形，因此本研究乃應用此一觀點，於車道配置準則決定出之結果與時相設計準則判定出之結果，兩結果整合後選擇適當之時相形式之參考依據。圖 3.2 為本研究結合車道配置結果與時相設計判斷結果決定時相種類之選定流程。

由圖中可知，先從時相設計準則得到時相設計之需求對於左轉車流而言，是否需要設置左轉保護時相，若否則不加以設置左轉保護時相，此時車道配置之結果並不會對於車流紓解造成嚴重之影響；如果此時時相設計準則決定之結果是需要左轉保護時相，則可視此左轉保護需求是單向車流亦或是雙向車流皆有此需要。若屬單向車流具有左轉保護需求時，其時相設計可採行綠燈早開或綠燈遲閉，欲進一步確認則必須參照車道配置準則所決定之車道配置情形為何，若是具左轉保護需求方向車流之車道配置具有專用車道配合如左轉專用車道或待轉車道之設置，則

可考量採用綠燈遲閉時相設計，反之若無專用車道配置配合，為避免左轉車流於等待左轉間距而影響直行車流紓解，則採以綠燈早開時相設計應是較佳之時相方案。

另外，若是左轉保護需求為雙向車流同時需要，當車道配置結果具有雙向皆配置專用車道時，將可採以左轉保護時相；如果車道配置結果是單向設置專用車道或雙向皆不設置專用車道情形時，則僅有使用輪放時相，才能皆賦予雙向左轉流動之保護時相功能。

再從圖 3.6 所得到的不同時相設計種類，當同時考慮東西向與南北向之行車狀態，一四肢路口所包含可能之時相組合方案計有 25 種方式，本研究將此 25 種形式整理如表 3.5 所示。



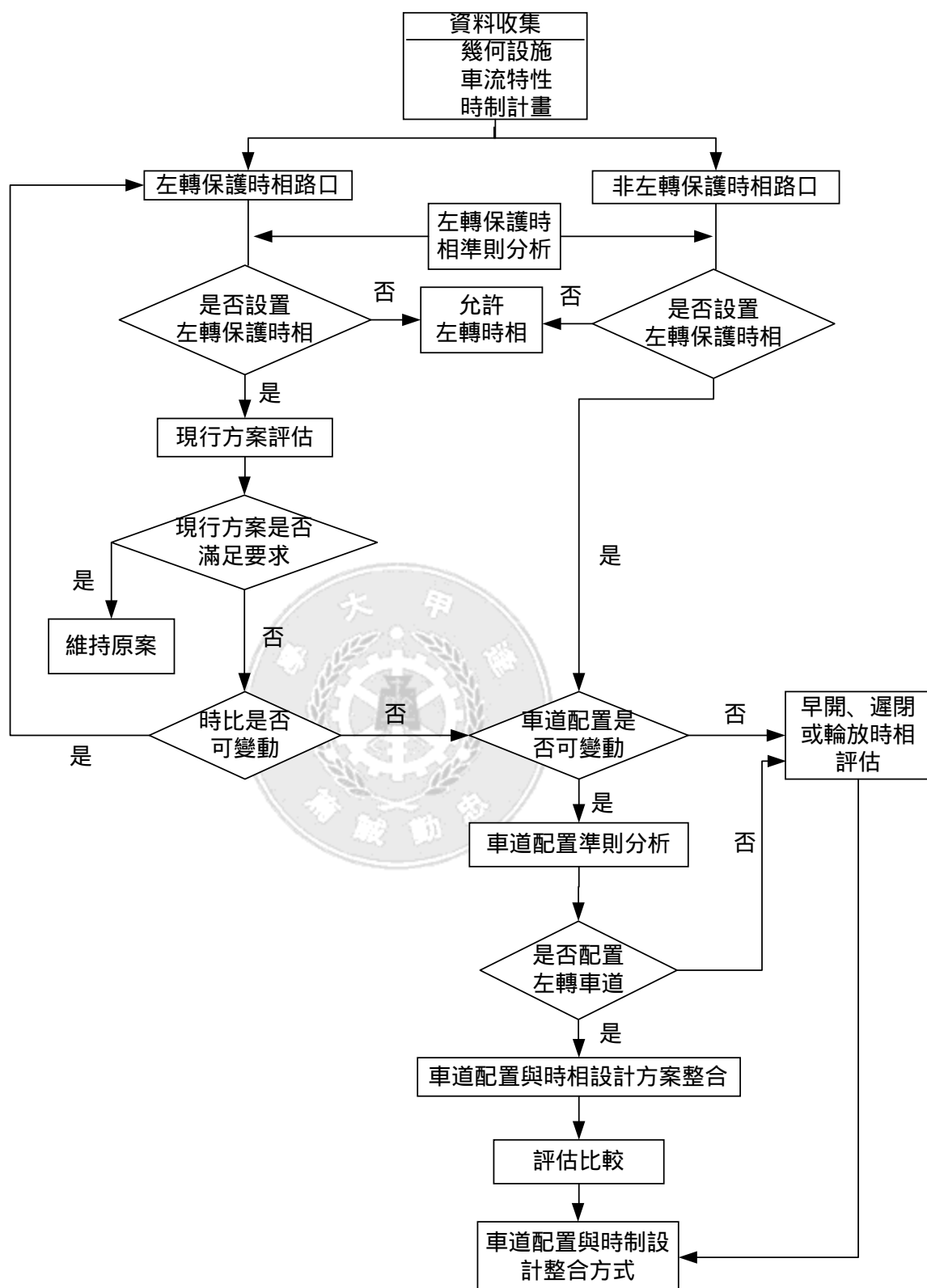


圖 3.5 車道配置與時制計畫整合程序圖

資料來源【1】



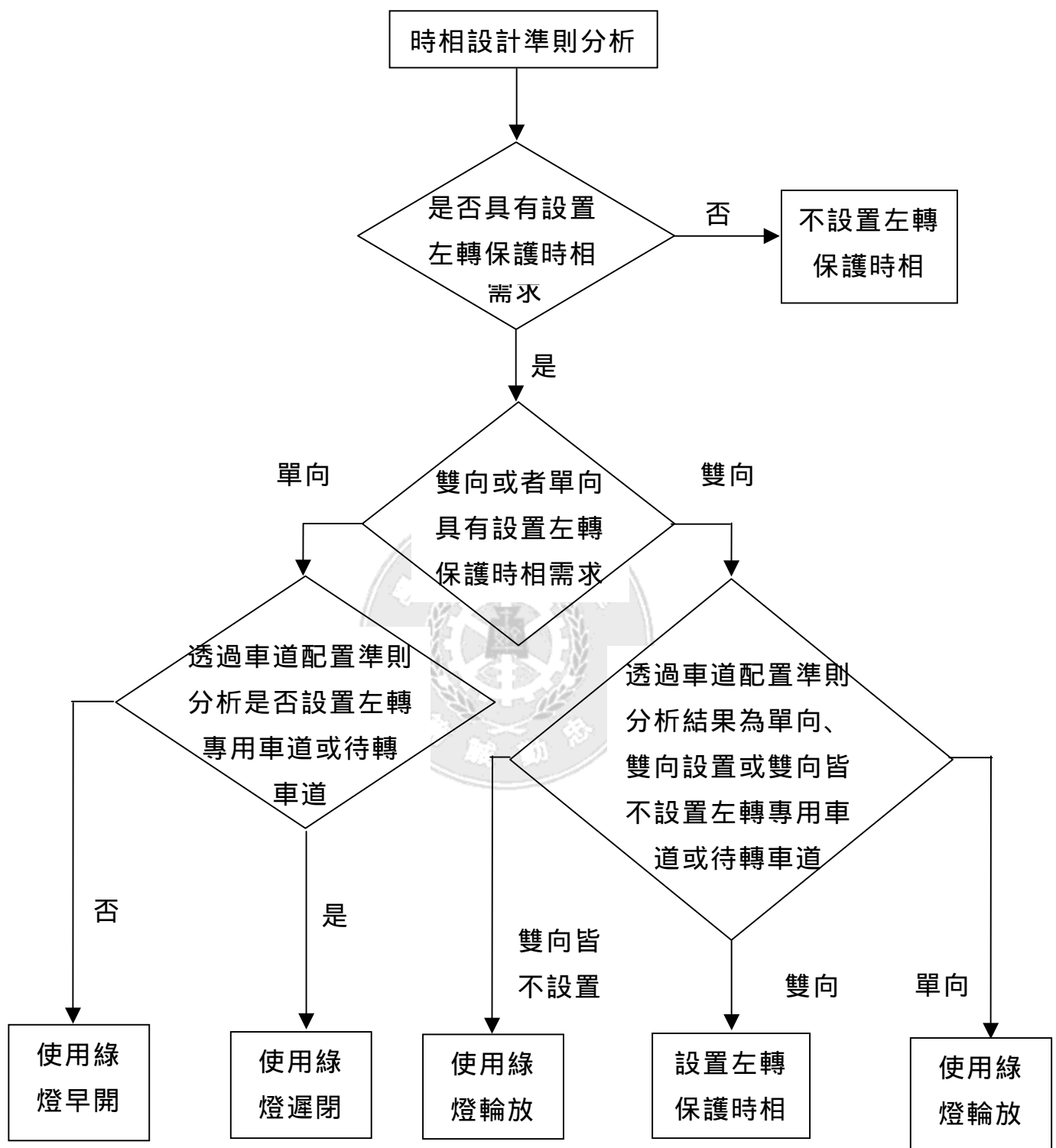


圖 3.6 車道配置與時相設計整合分析流程

表 3.5 時相組合方案彙總表

	行車方向	東 西 方 向				
行車方向	保護時相類別	無	早開	遲閉	輪放	左轉保護
南 北 方 向	無	第 1 方案	第 2 方案	第 3 方案	第 4 方案	第 5 方案
	早開	第 6 方案	第 7 方案	第 8 方案	第 9 方案	第 10 方案
	遲閉	第 11 方案	第 12 方案	第 13 方案	第 14 方案	第 15 方案
	輪放	第 16 方案	第 17 方案	第 18 方案	第 19 方案	第 20 方案
	左轉保護	第 21 方案	第 22 方案	第 23 方案	第 24 方案	第 25 方案

本研究將 25 種時相組合方案配合交通號誌規劃手冊【2】之交通號誌時相圖(圖 3.7)加以說明如下：

- 第 1 方案：東西方向與南北方向皆不需左轉保護，亦即普通二時相設計。
- 第 2 方案：東西方向以早開時相做為左轉保護之設計，利用早開時段與共同紓解時段之區隔，將左轉車流與對向直行、右轉車流之衝突減低；南北方向則不需左轉保護，即早開二時相設計。
- 第 3 方案：東西方向以遲閉時相做為左轉保護之設計，利用遲閉時段與共同紓解時段之區隔，將左轉車流與對向直行、右轉車流之衝突減低；南北方向則不需左轉保護，即遲閉二時相設計。
- 第 4 方案：往東方向與往西方向以輪放的方式有其獨立使用之時相時段，供該方向左轉、直行與右轉車流於此一時段進行紓解，以幫助左轉車流迴避對向直行與右轉車流之衝突；南北方向則不需左轉保護，即輪放式三時相設計。
- 第 5 方案：東西方向皆為左轉專用之保護時段供左轉車流進行紓解，同時避免雙向之左轉車流與該對向之直行、右轉車流衝突；南北方向則不需左轉保護，即左轉保護三時相。
- 第 6 方案：南北方向以早開時相做為左轉保護之設計，利用早開時段與共同紓解時段之區隔，將左轉車流與對向直行、右轉車流之衝突減低；東西方向則不需左轉保護，即早開二時相設計。

- 第 7 方案：東西方向與南北方向皆以早開時相做為左轉保護之設計，利用早開時段與共同紓解時段之區隔，將左轉車流與對向直行、右轉車流之衝突減低，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。
- 第 8 方案：南北方向以早開時相做為左轉保護之設計，東西方向以遲閉時相做為左轉保護之設計，分別利用該方向之早開或遲閉時段與共同紓解時段之區隔，將左轉車流與對向直行、右轉車流之衝突減低，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。
- 第 9 方案：東西方向分別以輪放之方式進行車輛之紓解，南北方向以早開時相做為左轉保護之設計，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。
- 第 10 方案：東西方向皆為左轉專用之保護時段供左轉車流進行紓解，同時避免雙向之左轉車流與該對向之直行、右轉車流衝突；南北方向以早開時相做為左轉保護之設計，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。
- 第 11 方案：南北方向以遲閉時相做為左轉保護之設計，利用遲閉時段與共同紓解時段之區隔，將左轉車流與對向直行、右轉車流之衝突減低；東西方向則不需左轉保護，即遲閉二時相設計。
- 第 12 方案：東西方向以早開時相做為左轉保護之設計，南北方向以遲閉時相做為左轉保護之設計，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。
- 第 13 方案：東西方向與南北方向皆以遲閉時相做為左轉保護之設計，利用遲閉時段與共同紓解時段之區隔，將左轉車流與對向直行、右轉車流之衝突減低，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。
- 第 14 方案：東西方向分別以輪放之方式進行車輛之紓解，南北方向以遲閉時相做為左轉保護之設計，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。

- 第 15 方案：東西方向皆為左轉專用之保護時段供左轉車流進行紓解；南北方向以遲閉時相做為左轉保護之設計，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。
- 第 16 方案：往南方向與往北方向以輪放的方式有其獨立使用之時相時段，供該方向左轉、直行與右轉車流於此一時段進行紓解，以幫助左轉車流迴避對向直行與右轉車流之衝突；東西方向則不需左轉保護，即輪放式三時相設計。
- 第 17 方案：南北方向分別以輪放之方式進行車輛之紓解，東西方向以早開時相做為左轉保護之設計，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。
- 第 18 方案：南北方向分別以輪放之方式進行車輛之紓解，東西方向以遲閉時相做為左轉保護之設計，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。
- 第 19 方案：東西方向與南北方向皆分別以輪放之方式進行車輛之紓解，即輪放式四時相。
- 第 20 方案：東西方向皆為左轉專用之保護時段供左轉車流進行紓解；南北方向則以輪放之方式進行車輛之紓解，亦即輪放左轉保護四時相。
- 第 21 方案：南北方向皆為左轉專用之保護時段供左轉車流進行紓解，同時避免雙向之左轉車流與該對向之直行、右轉車流衝突；東西方向則不需左轉保護，即左轉保護三時相。
- 第 22 方案：南北方向皆為左轉專用之保護時段供左轉車流進行紓解；東西方向以早開時相做為左轉保護之設計，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。
- 第 23 方案：南北方向皆為左轉專用之保護時段供左轉車流進行紓解；東西方向以遲閉時相做為左轉保護之設計，交通號誌規劃手冊未對於此類型時相設計加以分類。

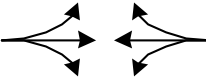
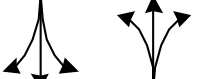
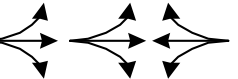
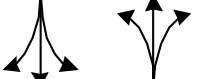
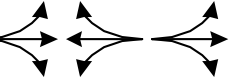
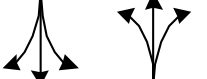


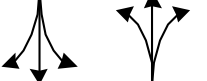










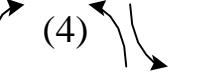



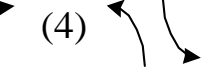







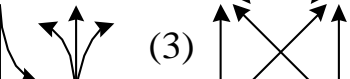
時制名稱	時相圖
1.普通二時相	(1)  (2) 
2.早開二時相	(1)  (2) 
3.遲閉二時相	(1)  (2) 
4.輪放式三時相	(1)  (2)  (3) 
5.左轉保護三時相	(1)  (2)  (3) 
6.輪放式四時相	(1)  (2)  (3)  (4) 
7.輪放式四時相	(1)  (2)  (3)  (4) 
8.輪放左轉保護四時相	(1)  (2)  (3)  (4) 
9.三岔路普通二時相	(1)  (2) 
10. 三岔路輪放三時相	(1)  (2)  (3) 
11.行人保護三時相	(1)  (2)  (3) 
12.閃光	

圖 3.7 交通號誌時相圖

資料來源【2】

第 24 方案：南北方向皆為左轉專用之保護時段供左轉車流進行紓解；東西方向則以輪放之方式進行車輛之紓解，亦即輪放左轉保護四時相。

第 25 方案：東西方向與南北皆為左轉專用之保護時段供左轉車流進行紓解，同時避免雙向之左轉車流與該對向之直行、右轉車流衝突，即左轉保護四時相。

本研究經由車道配置與時相設計整合分析流程，針對虛擬路口在時相設計準則 5 之判斷結果為四個行車方向皆有左轉保護之需求，於車道配置準則判定上結果為四個方向皆未有專用車道或待轉車道之佈設，基於專用時相需有專用車道配合下之原則，故時相組合方案應選擇輪放式四時相，即為第 19 方案較為適當。

步驟四：將整合準則所判定結果所得之時相組合方案與車道配置結果，與流量等資料進行時制計畫求解。

本研究即於步驟三整合判定車道配置準則結果與時相設計準則結果所構成之該路口時相組合方案，搭配車道配置準則所判斷之車道配置結果，以虛擬路口之流量資料輸入至號誌時制求解軟體 Synchro 中，求解時制計畫，最後所求得之時制計畫整理於表 3.6。

表 3.6 虛擬路口以輪放式四時相設計之時制計畫

單位：秒

路口名稱	時相列	綠燈	黃燈	紅燈	週期
		22	3	75	100
		21	3	76	
		19	3	78	
		18	3	79	

## 步驟五：績效評估

將所選定之時相組合方案求得之時制計畫，輸入至車流模擬軟體 CORSIM 中進行模擬，並與其它 24 種時相方案組合也以 CORSIM 模擬得出平均速率、停等百分比與平均延滯三項效率方面之績效值，同時進行績效評估；另外將 25 種時相組合方案之時制計畫解透過整合型績效指標計算其整合績效指標值，進行包含效率與安全性之整體績效評比。

有關車流模擬軟體 CORSIM 4.0，本研究將虛擬路口資料構建如圖 3.8 之單一路口圖形，節點 8000 8001 是界外節點，6 9 為進入至路段中之虛擬節點，2 5 則為進入臨近路段端之虛擬節點，在此對於本研究 CORSIM 4.0 構建加以說明。由於 CORSIM 4.0 之模擬無法針對路口績效加以探討，而其求算績效為整體路段平均值，若就本研究所求得之路口平均延滯與停等百分比而言，以整個路段求算將造成高估情形，因此本研究即以臨近路段端虛擬節點將整個路段分為路段與臨近路口部份之臨近路段，當計算延滯與停等百分比時，以臨近路段部份計算模擬值，平均速率才以整體路段模擬獲得績效，故本研究當欲求得平均延滯與停等百分比時以圖 3.8 之構建狀況模擬(計算圖 3.8 中 2 1、3 1、4 1、5 1 績效)，若欲求平均速率則不另增加圖 3.8 中臨近路段端之虛擬節點 2 5 進行模擬(計算圖 3.8 中 6 1、7 1、8 1、9 1 績效)。

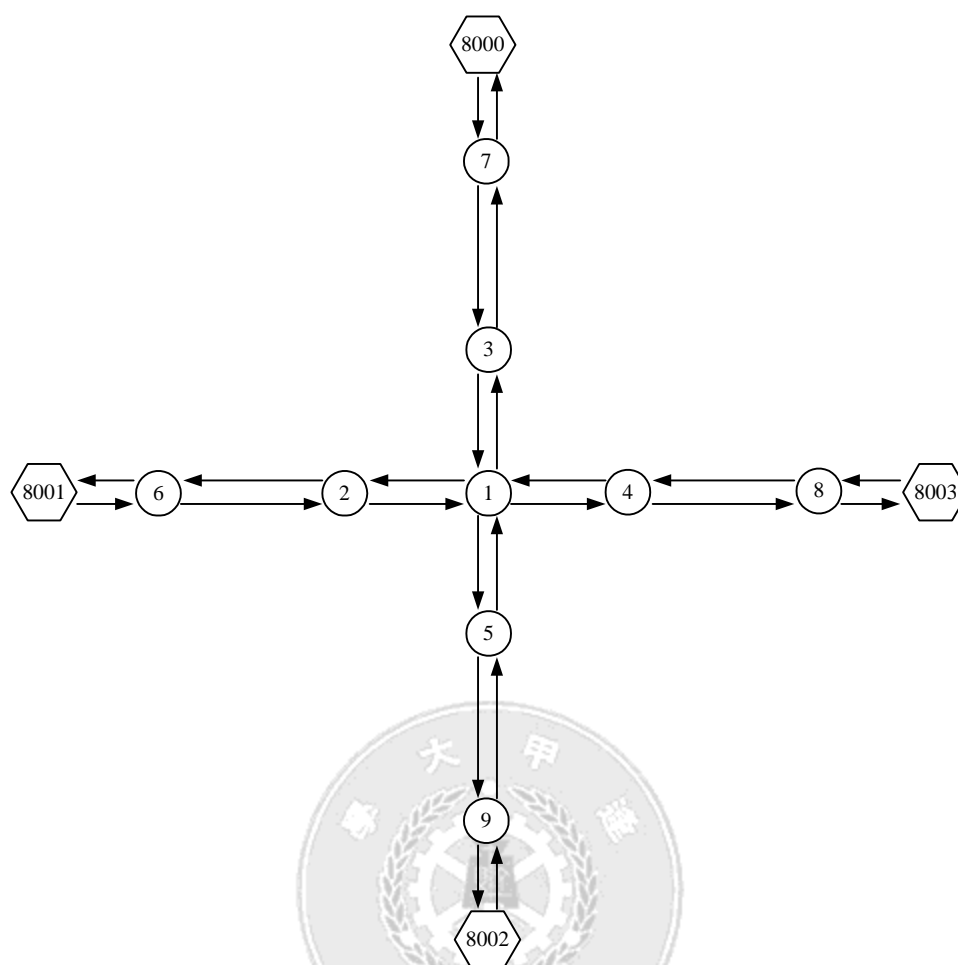


圖 3.8 單一路口模擬之 CORSIM 構建圖

本研究將 25 種時相方案之時制計畫，經模擬與計算所得到之各績效指標彙整於表 3.7，另再將各方案之各績效指標加以排序整理於表 3.8。

整合型績效指標之計算本研究以時相方案 1 舉例說明之：

計算公式： $PI = 0.05 \times PI_e + 76.38 \times PI_s$

時相方案 1 整合型績效指標計算：

總延滯  $PI_e = \text{平均延滯值} \times \text{總車輛數} = 16.76 \times 4500 = 75420$

總衝突量  $PI_s = (\text{總交叉衝突量} + \text{總併入衝突量}) \times \text{每小時週期個數}$   
 $= (202.95 + 18.19) \times (3600/65) = 12247.75$

整合型績效指標值  $PI = 0.05 \times 75420 + 76.38 \times 12247.75 = 939,254.145$

(備註：上面整合型績效指標值計算之值與表 3.7 之差異為進位問題所致，表 3.7 之數值係以軟體 MS-EXCEL 計算)



需另外特別說明的是，因衝突量於計算上僅考慮交叉與併入之衝突，分出時後車因前車方向燈號指示而有預期準備心理，故本研究假設分出時之衝突量為 0，本研究乃沿用參考文獻【1】之分析觀點所做之假設。

步驟六：結果分析。

經由表 3.7 與表 3.8 之結果可以發現，本研究所虛擬之路口透過車道配置準則與時相設計準則之判斷，及以車道配置與時相設計整合分析後，所選定路口之時相組合方案為時相方案 19，最後藉由時制求解軟體 Synchro 所計算出時制計畫，並於車流模擬軟體 CORSIM 得出各績效指標與計算整合績效指標。在單從效率型績效指標來分析，平均延滯的績效表現為第十，在 25 組方案中佔前五分之二；在停等百分比的績效表現上來看，則落居最後；在平均速率指標部份，排序為第十一，優於一半以上之方案組合；另外再從兼具效率與安全性兩大觀點的整合型績效指標而言，所選方案則位居第一。

整體而言，效率型指標中皆為榜首者為時相方案 1，即為普通二時相設計，該方案因時相簡單、時相數少，使得車輛通過路口時較不受到號誌時相轉變而使得其系統車輛比起其它時相數較多之方案不需多做停等行為以及縮短因停等造成之延滯，進而連帶也提升車流之平均速率，反觀時相方案 1 在整合型績效指標方面，其排序為第十七，因此加入衝突量分析，即多考量安全面問題時，因車流交織嚴重致使衝突量提高進而降低其績效，因此以此觀點推論此一結果尚屬合理。

若以此項觀點切入，對於經本研究分析程序所得之時相方案 19 來加以推論，因為該時相方案為輪放式四時相，以某一流向之車輛而言，需等候另三流向車流之紓解時段，故就此判斷其平均延滯、停等百分比與平均速率皆會受到時相特性影響而降低，雖然於停等百分比指標上敬陪末座，但於平均延滯與平均速率之績效呈現上還有眾方案平均水準以上之表現；若以加入安全性考量觀點之整合績效指標評論，因四個行車方向皆以輪放方式疏導車流通過路口，其轉向車流幾乎在沒有衝突與干擾下紓解，故能得到較佳之績效表現。

表 3.7 25 組時相方案各績效彙整表

績效指標 時相方案	平均延滯 (秒/車)	停等百分比 (%)	平均速率 (英里/小時)	整合績效值 (PI)
時相方案 1	16.76	66.79	13.69	939,246.92
時相方案 2	33.45	70.08	10.44	1,596,171.89
時相方案 3	38.29	69.61	9.83	1,456,420.77
時相方案 4	71.66	82.46	7.51	678,715.86
時相方案 5	46.12	82.12	8.4	507,580.92
時相方案 6	35.39	68.48	9.23	2,314,061.46
時相方案 7	37.67	72.02	9.07	2,009,224.12
時相方案 8	45.08	71.23	8.49	201,857.60
時相方案 9	58.65	83.39	8.07	543,879.30
時相方案 10	42.98	76.67	8.21	732,458.76
時相方案 11	40.41	68.00	8.95	1,891,318.57
時相方案 12	44.89	71.27	8.24	2,010,836.85
時相方案 13	51.69	70.31	7.48	2,012,351.81
時相方案 14	63.89	81.45	7.99	544,148.46
時相方案 15	64.88	79.29	7.78	611,022.41
時相方案 16	51.91	83.06	7.71	786,666.21
時相方案 17	54.40	83.73	8.7	644,201.93
時相方案 18	59.74	81.15	8.03	644,595.37
時相方案 19	45.26	91.41	8.62	10,099.92
時相方案 20	73.33	89.33	6.43	14,533.97
時相方案 21	47.77	75.22	10.11	708,304.05
時相方案 22	58.89	77.63	9.38	529,264.31
時相方案 23	64.81	79.06	8.95	530,585.28
時相方案 24	69.04	88.05	7.13	14,563.15
時相方案 25	60.61	90.27	7	13,103.39

表 3.8 25 組時相方案各績效排序表

績效指標 排序名次	平均延滯 (秒/車)	停等百分比 (%)	平均速率 (英里/小時)	整合績效值 (PI)
1	時相方案 1	時相方案 1	時相方案 1	時相方案 19
2	時相方案 2	時相方案 11	時相方案 2	時相方案 25
3	時相方案 6	時相方案 6	時相方案 21	時相方案 20
4	時相方案 7	時相方案 3	時相方案 3	時相方案 24
5	時相方案 3	時相方案 2	時相方案 22	時相方案 8
6	時相方案 11	時相方案 13	時相方案 6	時相方案 5
7	時相方案 10	時相方案 8	時相方案 7	時相方案 22
8	時相方案 12	時相方案 12	時相方案 11	時相方案 23
9	時相方案 8	時相方案 7	時相方案 23	時相方案 9
10	時相方案 19	時相方案 21	時相方案 17	時相方案 14
11	時相方案 5	時相方案 10	時相方案 19	時相方案 15
12	時相方案 21	時相方案 22	時相方案 8	時相方案 17
13	時相方案 13	時相方案 23	時相方案 5	時相方案 18
14	時相方案 16	時相方案 15	時相方案 12	時相方案 4
15	時相方案 17	時相方案 18	時相方案 10	時相方案 21
16	時相方案 9	時相方案 14	時相方案 9	時相方案 10
17	時相方案 22	時相方案 5	時相方案 18	時相方案 16
18	時相方案 18	時相方案 4	時相方案 14	時相方案 1
19	時相方案 25	時相方案 16	時相方案 15	時相方案 3
20	時相方案 14	時相方案 9	時相方案 16	時相方案 2
21	時相方案 23	時相方案 17	時相方案 4	時相方案 11
22	時相方案 15	時相方案 24	時相方案 13	時相方案 7
23	時相方案 24	時相方案 20	時相方案 24	時相方案 12
24	時相方案 4	時相方案 25	時相方案 25	時相方案 13
25	時相方案 20	時相方案 19	時相方案 20	時相方案 6

### 3.4 小結

經由以上之驗證程序與流程，透過 CORSIM 模擬軟體所得之平均速率、停等百分比與平均延滯等效率績效指標，以及以同時兼具效率與安全考量之整合型績效指標計算方式所得之整合績效值整合分析與推論，大致可得到以下結果：

1. 經由車道配置準則與時相設計準則之判斷程序，以本研究虛擬路口資料加以應用後，能得到車道配置與時相設計之初步結果。
2. 將此二結果再加以整合，經過本研究分析流程能夠得到適合之時相方案。
3. 以所得時相方案與車道配置準則分析之車道佈設結果，運用 Synchro 時制求解軟體得到時制計畫後，進行與其它 24 組不同時相方案績效評比，得到本研究之整合車道配置準則與時相設計準則分析流程，以及車道配置準則與時相設計準則之判定程序，實能得到一適當之時相方案與車道配置方案，以供後續進行時制計畫求解時之應用。
4. 因為本研究僅以一虛擬路口進行車道配置、時相設計各準則與整合分析程序，所得以上結論僅呈現此一整體分析流程可決定出適當之車道配置與時相方案，也指出車道配置準則與時相設計準則之分析方式具有有效性，至於是否所決定之方案為最佳之設計，則必須再以更多不同之資料進行更完善之相關驗證程序，在此本研究僅透過此一虛擬路口應用為例以及經由探討此分析程序進一步建立與確認單一路口車道配置與號誌時制整合設計模式。

## 第四章 新幹道系統延滯最小化數學規劃模式

本研究之主要目的在於當欲進行號誌時制計畫設計或者現況時制計畫探討時，應先對於時相分配與車道配置，在符合車流現況或需求之條件下進行確立，即先透過第三章之程序，經由時相設計分析準則與車道配置準則，決定出適宜的時相分配與車道配置狀況，再依據此結果，作為求解時制計畫模式或模擬軟體的輸入值，求得最後之時制計畫。而本研究擬結合時相設計準則與車道配置準則，加上幹道號誌時制求解模式成為幹道號誌時制規劃整合設計程序。而此幹道號誌時制求解模式，本研究以幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式與幹道系統延滯最小化數學規劃模式為主架構，進行模式之修正與調整，並加以整合作為本研究於時制計畫求解之模式方案。本章先對於新幹道系統延滯最小化數學規劃模式著手探究，第五章再針對新幹道系統綠燈續進帶寬最大化混合整數規劃模式進行探討。

### 4.1 延滯最小化數學規劃模式

本研究所發展之幹道系統延滯最小化數學規劃模式是根據邱大恭君【11】之獨立交叉路口號誌時制計畫數學規劃模式的觀念，並將其擴展應用在幹道交通號誌時制系統中，主要依循的模式架構為林良泰君【7】所發展之幹道系統新延滯最小化數學規劃模式。獨立路口數學規劃模式係利用車流流動之有效綠燈時間為設計理念，以路口最小延滯或週期最短作為目標式來求解。將交叉路口視為一系統，考量各方向車流流動衝突之影響，求出獨立交叉路口號誌時制計畫，所得出結果包含有週期長度、綠燈時間分配、時相數、每一車流流動之平均延滯、每一方向車流平均延滯及交叉路口車輛平均延滯等。以下即針對幹道系統延滯最小化數學規劃模式進行探討。

欲得到延滯最小化之幹道號誌時制，必須以求得幹道上之每個路口平均延滯值加總最小為目標，故模式之目標式如下：

$$\text{Min} \quad Z = \sum_{i=1}^n D_i \quad (4.1)$$

目標式中， $D_i$  為  $i$  路口每輛車之平均延滯值(sec/veh)。

模式之限制式如下：

1. 各交叉路口每輛車之平均延滯值計算式

$$D_i = (VEB_i \times DEB_i + VWB_i \times DWB_i + VNB_i \times DNB_i + VSB_i \times DSB_i) / TV_i \quad (4.2)$$

$i=1, \dots, n$

式中，

$VEB_i$  :  $i$  路口往東流向之流量(veh/hr)

$DEB_i$  :  $i$  路口往東流向平均每輛車之延滯值(sec/veh)

$VWB_i$  :  $i$  路口往西流向之流量(veh/hr)

$DWB_i$  :  $i$  路口往西流向平均每輛車之延滯值(sec/veh)

$VNB_i$  :  $i$  路口往北流向之流量(veh/hr)

$DNB_i$  :  $i$  路口往北流向平均每輛車之延滯值(sec/veh)

$VSB_i$  :  $i$  路口往南流向之流量(veh/hr)

$DSB_i$  :  $i$  路口往南流向平均每輛車之延滯值(sec/veh)

$TV_i$  :  $i$  路口之流量總和(veh/hr)

$n$  : 路口數

先透過計算該路口各流向之平均延滯值，再求算該路口之平均延滯值。

2. 各流向的延滯值計算式

各流向的延滯值決定於該流向上各車流流動平均延滯值，如下：

$$D(K)_i = \sum_{l=1}^j [V(K)_{i,l} \times D(K)_{i,l}] / \sum_{l=1}^j V(K)_{i,l} \quad (4.3)$$

$K=EB, WB, NB, SB$

$i=1, \dots, n$

$j$  為  $i$  路口所擁有的流向數。(一般而言  $j=4$ )

其中，

$V(K)_{i,l}$  :  $i$  路口  $K$  流向車流流動  $l$  之流量(veh/hr)

$D(K)_{i,l}$  :  $i$  路口  $K$  流向車流流動  $l$  每輛車的平均延滯值(sec/veh)

$j$  :  $i$  路口  $K$  流向的流動數

以該流向之各流動車流平均延滯值計算各流向之平均延滯值。

### 3. 各路口每一流動的延滯計算式

在延滯值的計算中，一般最常被使用的計算公式為 Webster 延滯公式，號誌時制求解軟體 Synchro 在延滯計算上，Webster 延滯公式也是其計算延滯所依據的公式之一，Webster 延滯計算公式如下：

$$D = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65 \left( \frac{C}{q^2} \right)^{1/3} X^{(2+5\lambda)}$$

公式中，

$D$  : 某一流向(流動)之平均延滯(sec/veh)

$C$  : 週期長度(sec)

$\lambda$  : 某一流向(流動)之有效綠燈時間與週期的比值(即  $g/C$ )

$q$  : 某一流向(流動)的交通量(veh/sec)

$X$  : 某一流向(流動)的飽和度，[即  $X=q/\lambda S$ ， $S$  為飽和流率(veh/sec)]

Webster 公式包含均一延滯、隨機延滯與經驗調整三部分之計算，即  $D=du+dr-de$ ，而經驗調整部分大約佔總延滯值的 5%~15%，假設經驗調整部分約為總延滯值的 10%，依照上述將 Webster 計算公式加以簡化為：

$$D = \frac{9}{20} \left[ \frac{C(1-\frac{g}{C})^2}{1-\frac{q}{S}} + \frac{X^2}{q(1-X)} \right]$$

再代入所設立之變數符號表示之，整理為：

$$D(K)_{i,l} = \frac{9}{20} \left\{ \frac{C[1-g(K)_{i,l}/C]^2}{1-q(K)_{i,l}/S(K)_{i,l}} + \frac{[X(K)_{i,l}]^2}{q(K)_{i,l}[1-X(K)_{i,l}]} \right\} \quad (4.4)$$

$K=EB, WB, NB, SB$  ,  $i=1, \dots, n$

其中

$D(K)_{i,l}$  :  $i$  路口  $K$  流向車流流動  $l$  每輛車的平均延滯值(sec/veh)

$C$  : 連鎖號誌各路口共同週期(sec)

$g(K)_{i,l}$  :  $i$  路口  $K$  流向車流流動  $l$  之有效綠燈時間(sec)

$q(K)_{i,l}$  :  $i$  路口  $K$  流向車流流動  $l$  之流量(veh/sec)

$S(K)_{i,l}$  :  $i$  路口  $K$  流向車流流動  $l$  之飽和流率(veh/sec)

$X(K)_{i,l}$  :  $i$  路口  $K$  流向車流流動  $l$  之飽和度

$$\text{即 } X(K)_{i,l} = q(K)_{i,l} / S(K)_{i,l} \times C / g(K)_{i,l}$$

#### 4. 各路口每車流流動飽和度之限制式

由於 Webster 的延滯模式飽和度接近或超過 100%時，將會產生高估或負值之延滯，一般而言，Webster 之延滯公式適用於飽和度 95% 下，故即以 95%為車流流動飽和度之限制：

$$X(K)_{i,l} = q(K)_{i,l} / S(K)_{i,l} \times C / g(K)_{i,l} \leq 0.95$$

$$\text{即 } g(K)_{i,l} \geq \frac{1}{0.95} \times \frac{q(K)_{i,l}}{S(K)_{i,l}} \times C \quad (4.5)$$

#### 5. 各路口每車流流動有效綠燈計算式

交叉路口之車流流動不一定只單於某一時相之期間內行進，而可能跨越了某些或若干時相；所謂有效綠燈時間是指某一時相內車輛能夠真正使用之時間，即時相內綠燈時間、黃燈與全紅時間之總和扣除損失時間。因此對於車流之流動而言，若該流動橫越數個時相，除了於第一時相會因為車輛啟動而產生損失時間外，在其餘之各時相並沒有損失時間產生。例如以表 4.1 所示之假設時相與車流流動型態而言，第一時相為往東方向之車流流動，第二階段為往東與往西方向之雙向車流流動，以往東車流流動而言即橫越了兩個時相，此時往東車流僅於第一時相因啟動延滯而產生損失時間，第二時相因乃連續接續第一時相，車流流動車輛並未減速或再次啟動與加速，故第二時相並無損失時間產生。因此綜合上述，各路口每車流流動有效綠燈計算式為：

$$g(K)_{i,l} = \sum_{\phi j=1}^j A_{i,\phi j,l} - \ell(K)_{i,l} \quad (4.6)$$

$$K=EB, WB, NB, SB \quad i=1, \dots, n$$

式中，




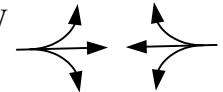
$g(K)_{i,l}$  : i 路口 K 流向流動 l 的有效綠燈時間(sec)

$A_{i,\phi j,l}$  : i 路口 K 流向流動 l 實際使用的綠燈時間(sec)

$\ell(K)_{i,l}$  : i 路口 K 流向流動 l 的損失時間(sec)

j : i 路口 K 流向流動 l 所有之時相數

表 4.1 假想時相設計與各車流流動分佈狀況

時相別	第一時相	第二時相
車流流動	W  E	W  E

若將車流流動飽和度限制以及有效綠燈限制加以整合，亦即將(4.6)式代入(4.5)式中可得到如下之限制式：

$$\sum_{\phi j=1}^J A_{i,\phi j,l} - \ell(K)_{i,l} \geq \frac{1}{0.95} \times \frac{q(K)_{i,l}}{S(K)_{i,l}} \times C$$

$$\text{則 } \sum_{\phi j=1}^J A_{i,\phi j,l} - \frac{1}{0.95} \times \frac{q(K)_{i,l}}{S(K)_{i,l}} \times C \geq \ell(K)_{i,l} \quad (4.7)$$

#### 6. 決定時相長度之限制式

時相長度是由該時相內之各車流流動的實際使用綠燈時間來決定，即比較各車流流動其實際使用綠燈時間( $A_{i,\phi j,l}$ )，選取其中時間較長者作為該時相之時間長度。因此限制式如下：

$$I_l \times A_{i,\phi j,l} - I_l \times A_{i,\phi j,m} \geq 0 \quad (4.8)$$

$$I_m \times A_{i,\phi j,m} - I_m \times A_{i,\phi j,l} \geq 0 \quad (4.9)$$

$$I_l + I_m = 1 \quad (4.10)$$

$$P_{i,\phi j} = I_l \times A_{i,\phi j,l} + I_m \times A_{i,\phi j,m} \quad (4.11)$$

其中，

$A_{i,\phi j,l(m)}$  : i 路口  $\phi j$  時相中流動 l(m) 實際使用綠燈的長度(sec)

$I_l, I_m$  : 0 或 1 之整數變數

$P_{i,\phi j}$  : i 路口  $\phi j$  時相之時間長度(sec)

#### 7. 週期上下限限制式

求解週期必須在一合理之上下限範圍之內，限制式為：

$$\text{Min } C \leq C \leq \text{Max } C \quad (4.12)$$

#### 8. 週期組成計算式

週期為該路口各時相時間之總和，公式為：

$$C = \sum_{\phi_j} P_{i,\phi_j} \quad (4.13)$$

#### 9. 共同週期計算式

各路口間因號誌連鎖之關係，需有共同之週期。

$$\sum_{\phi_j} P_{i,\phi_j} = \sum_{\phi_j} P_{i+1,\phi_j} \quad (4.14)$$

#### 10. 最短綠燈時間限制式

設定最短綠燈時間之目的為確保行人於穿越交叉路口時，有足夠之時間能夠使行人完成通過路口之動作，保障其安全。其限制式如下：

$$P_{i,\phi_j} - \text{Min}G_{i,\phi_j} \geq 0 \quad (4.15)$$

其中，

$P_{i,\phi_j}$  : i 路口  $\phi_j$  時相的時間長度(sec)

$\text{Min}G_{i,\phi_j}$  : i 路口  $\phi_j$  時相的最短綠燈時間長度(sec)

## 4.2 新延滯最小化數學規劃模式之建立與修正

前節將延滯最小化數學規劃模式做初步之概述，此小節將針對延滯最小化數學規劃模式在應用時之限制與問題加以討論，並著手進行修正與改進。

### 4.2.1 不同飽和狀態之延滯計算

如前一節所述，由於新延滯最小化數學規劃模式在延滯計算上係採用 Webster 延滯公式，在計算上受到了飽和度之限制，當飽和度接近或超過 100%時，將會產生高估或負值之延滯，而使得模式之應用上僅適用於在飽和度低於 95%甚或更低的車流狀況，如此之情形於現

實車流狀況常趨近飽和度為 100% 或過飽和狀態，將使得 Webster 公式於延滯計算上呈現不太正確的狀況，因此，本研究嘗試以其他延滯模式之應用，期能改善 Webster 延滯公式不適用之情況。本研究擬在飽和度小於或等於 100% 時，使用均一到達率假設下未過飽和的延滯計算式，即 May 的連續型延滯模式(Continum Model)，有關部份請參閱第二章第四節的推導；而在過飽和情形時，即飽和度大於或等於 100% 時，則應用均一到達率下過飽和之延滯計算理念，此二延滯計算模式之相關數學式可參考第二章第四節有相關之介紹。

本研究均一到達率下過飽和之延滯計算觀念是應用林良泰君【9】所構建之模式所得，有關本研究過飽和延滯公式之推導如下：

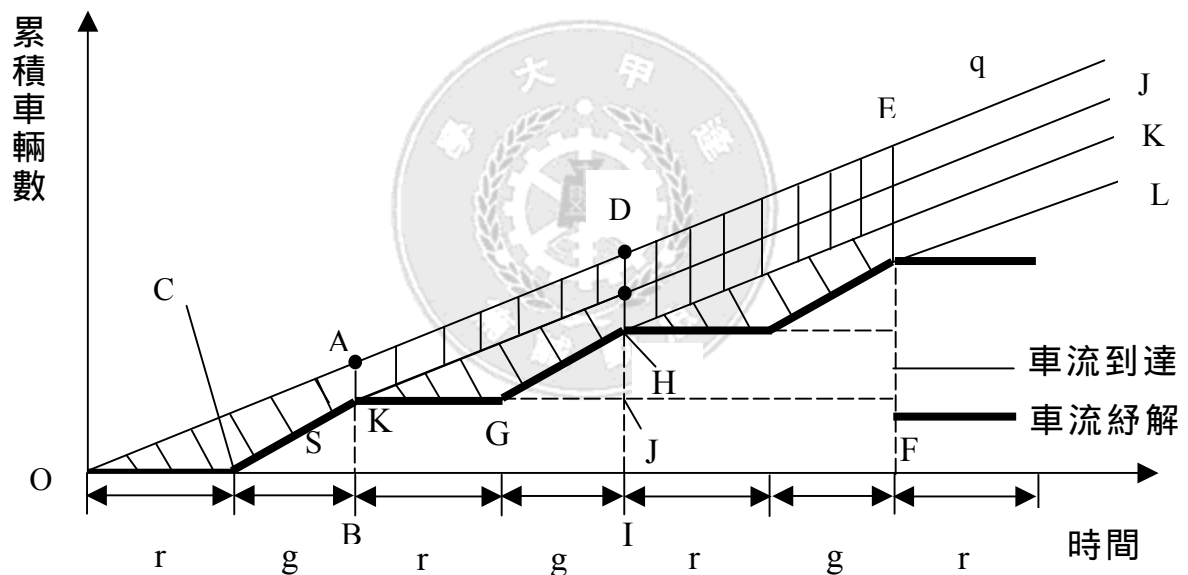


圖 4.1 過飽和延滯公式推導示意圖

本研究過飽和延滯公式之推導引用圖 4.1 加以說明，上圖斜線部份即為均一到達率下數個週期的過飽和總延滯值，從圖形中可得到一個週期的延滯值為三角形 OAB 面積扣除小三角形 CAB 面積，兩週期之總延滯值為三角形 ODI 面積扣除小三角形 GHI 面積與四邊形 KBIJ 之面積和，單位小三角形面積與單位四邊形面積每週期皆相等，依此類推可得到， $n$  個週期之總延滯值為  $n$  週期所構成之大三角形面積扣

除  $n$  個小三角形面積與  $\frac{n(n-1)}{2}$  個四邊形面積。依據此一觀念，可推導出下列之數學式：

$$\begin{aligned}
 \sum D_i &= \frac{1}{2}nc \times qnc - \left[ \frac{1}{2}nsg^2 + \frac{1}{2}n(n-1)csg \right] \\
 &= \frac{1}{2}qn^2c^2 - \frac{1}{2}nsg^2 - \frac{1}{2}n(n-1)csg \\
 &= \frac{1}{2}qn^2c^2 - \frac{1}{2}nsg[g + (n-1)c] \\
 &= \frac{1}{2}qn^2c^2 - \frac{1}{2}nsg(g + nc - c) \\
 &= \frac{1}{2}qn^2c^2 - \frac{1}{2}nsg(nc - r) \\
 &= \frac{1}{2}qn^2c^2 - \frac{1}{2}n^2sgc + \frac{1}{2}nsgr
 \end{aligned} \tag{4.16}$$

由於將路口路段車流資料代入至本模式求解時，必須先進行過飽和或未飽和狀況延滯模式的選取，即先以飽和度計算來進行檢測(以單位週期之到達率  $q \times C$  與單位週期紓解率  $S \times g$  之大小關係判斷， $q$  為平均到達率、 $C$  為週期時間、 $S$  為飽和紓解率、 $g$  為有效綠燈時間)；若以人為判斷的方式先進行飽和度的檢定，再依據飽和度狀況選用適當之延滯計算式置入整體模式中進行求解，不僅在實際作法上費時不便，且當選取了該飽和度狀況下的延滯計算式至整體模式中求解時，因求解最佳化過程可能導致綠燈時間變數  $g$  在求解最佳值時反覆變動，當此一變數於進行求解中變動，即有可能使得飽和度受影響也因而變動，如此人工事先給定不同飽和狀況之延滯計算式於整體求解模式中將導致延滯計算不正確，所以必須將飽和度之計算檢測以及過飽和、未飽和狀況之車流延滯計算式，同時納入於整體模式同時求解，才能避免上述人工篩選飽和度而選定延滯計算式無法彈性變換求解之情形。

本研究乃嘗試將下列包含有檢測飽和度及過飽和與未飽和狀況

延滯計算式的數學式一同納入於幹道系統新延滯最小化數學規劃模式中，並將原本使用 Webster 延滯計算式之各路口每一流動的延滯計算式、各路口每車流流動飽和度之限制式等(即式 4.4、式 4.5、式 4.7)置換，本研究所擬定之修改數學式如下所示：

各路口每一流動的延滯計算修正式：

$$(I_a - I_b) \times (q(K)_{i,l} \times C - S(K)_{i,l} \times g(K)_{i,l}) \geq 0 \quad (4.17)$$

$$I_a + I_b = 1 \quad (4.18)$$

$$D(K)_{i,l} = I_a \times D(K)_{i,l,a} + I_b \times D(K)_{i,l,b} \quad (4.19)$$

$$D(K)_{i,l,a} =$$

$$\frac{\frac{1}{2} \times [q(K)_{i,l} \times n \times C^2 - n \times S(K)_{i,l} \times g(K)_{i,l} \times C + S(K)_{i,l} \times g(K)_{i,l} \times r(K)_{i,l}]}{q(K)_{i,l} \times C} \quad (4.20)$$

$$D(K)_{i,l,b} = \frac{q(K)_{i,l} \times r(K)_{i,l}^2 \times S(K)_{i,l}}{2 \times (S(K)_{i,l} - q(K)_{i,l}) \times q(K)_{i,l} \times C} \quad (4.21)$$

式中，

$D(K)_{i,l}$  : i 路口 K 流向車流流動 l 每週期每車平均延滯值(sec/veh)

$D(K)_{i,l,a}$  : i 路口 K 流向車流流動 l 每週期每車平均延滯值(sec/veh)  
(過飽和狀態)

$D(K)_{i,l,b}$  : i 路口 K 流向車流流動 l 每週期每車平均延滯值(sec/veh)  
(未飽和狀態)

C : 連鎖號誌各路口共同週期(sec)

$r(K)_{i,l}$  : i 路口 K 流向車流流動 l 之紅燈時間(sec)

$g(K)_{i,l}$  : i 路口 K 流向車流流動 l 之有效綠燈時間(sec)

$q(K)_{i,l}$  : i 路口 K 流向車流流動 l 之流量(veh/sec)

$S(K)_{i,l}$  : i 路口 K 流向車流流動 l 之飽和流率(veh/sec)

n : 單位時間週期個數

$I_a, I_b$  : 0 或 1 之整數變數

式 4.17 至式 4.18 為飽和度檢定之數學式，式 4.19 則是依據飽和度判定結果來選取過飽和或未飽和之延滯值計算結果，式 4.20 與式 4.21 分別為過飽和與未飽和之延滯值計算數學式。

#### 4.2.2 延滯均一限制

因為新延滯最小化數學規劃模式其目標為求取系統中各個路口之平均延滯加總最小，而各路口之平均延滯值之計算乃透過流向或時相之平均延滯計算以流量加權平均而得，在整體模式求取最佳解的過程，可能會造成路口平均延滯值加總雖為最小值，但是各路口彼此間延滯值的差異過大，所求得解之情形隱含有系統內某些路口延滯極低，某些路口卻呈現高度延滯的狀況，為避免如此情況之發生，擬以如下之限制式來改善。

$$|W_i \times D_i - W_{i+1} \times D_{i+1}| \leq \alpha \quad (4.22)$$

式中，

$D_i, D_{i+1}$ ：路口  $i$  與  $i+1$  之平均延滯值(sec/veh)

$W_i, W_{i+1}$ ：路口  $i$  與  $i+1$  之延滯值權重

：延滯差值範圍(sec)

即各相鄰路口間之延滯值差必須小於一時間範圍之內，在此 值之訂定可視求解時之需要而定， 值越小可限制各路口間延滯值較為均一化，但是將會使求解時的可行解區間縮小，有可能造成無法求解的情形。另外，不同路口亦可依其重要性給予不同之權重值，即式 4.22 之  $W$  值，使各路口間延滯值之差異空間更符合各路口之實際狀況。

另外，各路口中各流向間或各時相間彼此延滯值之差異亦可能如上述各路口間情形一樣，在模式求得最佳解過程中，僅求取部份流向或時相延滯值最小，而忽略其它流向或時相之延滯值，故本研究亦以流向或時相間延滯值均一化限制式，來避免此一求解不符合現況之情形：

$$|W_K \times D(K)_i - W_{K+1} \times D(K+1)_i| \leq \beta \quad (4.23)$$

$D(K)_i$  :  $i$  路口  $K$  流向或時相之平均延滯值(sec/veh)

$W_K$  : 第  $K$  流向或時相之延滯值權重

: 延滯差值範圍(sec)

式 4.22 與式 4.23 之使用可依據使用者之需求而彈性置入模式中求解，延滯差值與使用此兩組限制式之門檻判定亦可視實際情形需要而自行訂定。例如執行模式求解時，可先暫時不將此二式納入於模式中，待模式求得解後，再觀察所求得解是否有路口間或各流向(時相)間延滯值差異過大之現象，視使用者執行模式上之需求自行增減與訂定之。

綜合上述，幹道系統延滯最小化數學規劃模式中之延滯計算一般採用 Webster 延滯公式做為計算基礎，當鄰近路段之飽和度超過 1 時，其延滯估計將造成嚴重之偏誤，若以誤差之延滯值作為數學規劃求解基礎將得到錯誤的時制計畫，致使路口整體績效大幅降低。本研究在未飽和狀況下採用 May 的延滯公式，其計算式較 Webster 延滯公式為簡單易懂，並據以推導過飽和狀態下之延滯公式，以讓幹道系統延滯最小化數學規劃模式更為完臻。

修正後之新幹道系統延滯最小化數學規劃模式整理如下：

$$\text{Min} \quad Z = \sum_{i=1}^n D_i \quad (4.1)$$

Subject to

$$D_i = (VEB_i \times DEB_i + VWB_i \times DWB_i + VNB_i \times DNB_i + VSB_i \times DSB_i) / TV_i \quad (4.2)$$

$i=1, \dots, n$

$$D(K)_i = \sum_{l=1}^j [V(K)_{i,l} \times D(K)_{i,l}] / \sum_{l=1}^j V(K)_{i,l} \quad (4.3)$$

$K=EB, WB, NB, SB$

$i=1, \dots, n$

$j$  為  $i$  路口所擁有的流向數。(一般而言  $j=4$ )

$$(I_a - I_b) \times (q(K)_{i,l} \times C - S(K)_{i,l} \times g(K)_{i,l}) \geq 0 \quad (4.17)$$

$$I_a + I_b = 1 \quad (4.18)$$

$$D(K)_{i,l} = I_a \times D(K)_{i,l,a} + I_b \times D(K)_{i,l,b} \quad (4.19)$$

$$D(K)_{i,l,a} = \frac{\frac{1}{2} \times [q(K)_{i,l} \times n \times C^2 - n \times S(K)_{i,l} \times g(K)_{i,l} \times C + S(K)_{i,l} \times g(K)_{i,l} \times r(K)_{i,l}]}{q(K)_{i,l} \times C} \quad (4.20)$$

$$D(K)_{i,l,b} = \frac{q(K)_{i,l} \times r(K)_{i,l}^2 \times S(K)_{i,l}}{2 \times (S(K)_{i,l} - q(K)_{i,l}) \times q(K)_{i,l} \times C} \quad (4.21)$$

$$g(K)_{i,l} = \sum_{\phi j=1}^j A_{i,\phi j,l} - \ell(K)_{i,l} \quad (4.6)$$

$$K=EB, WB, NB, SB \quad i=1, \dots, n$$

$$I_l \times A_{i,\phi j,l} - I_l \times A_{i,\phi j,m} \geq 0 \quad (4.8)$$

$$I_m \times A_{i,\phi j,m} - I_m \times A_{i,\phi j,l} \geq 0 \quad (4.9)$$

$$I_l + I_m = 1 \quad (4.10)$$

$$P_{i,\phi j} = I_l \times A_{i,\phi j,l} + I_m \times A_{i,\phi j,m} \quad (4.11)$$

$$\text{Min } C \leq C \leq \text{Max } C \quad (4.12)$$

$$C = \sum_{\phi j} P_{i,\phi j} \quad (4.13)$$

$$\sum_{\phi j} P_{i,\phi j} = \sum_{\phi j} P_{i+1,\phi j} \quad (4.14)$$

$$P_{i,\phi j} - \text{Min} G_{i,\phi j} \geq 0 \quad (4.15)$$

$$|W_i \times D_i - W_{i+1} \times D_{i+1}| \leq \alpha \quad (4.22)$$

$$|W_K \times D(K)_i - W_{K+1} \times D(K+1)_i| \leq \beta \quad (4.23)$$

$I_l, I_m, I_a, I_b$  為 0 或 1 之整數變數

$D_i, D(K)_i, D(K+1)_i, C, g(K)_{i,l}, A_{i,\phi j,l}, A_{i,\phi j,m}, P_{i,\phi j} \geq 0$





## 第五章 新幹道系統綠燈續進帶寬最大化

### 混合整數規劃模式

幹道號誌時制求解模式之應用求解是以兩階段求解方式來進行，即先以新幹道系統延滯最小化數學規劃模式求得最佳化之週期與時比，再將週期、時比代入幹道系統新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式求得最大續進帶寬之幹道號誌連鎖時差，如此即求得延滯最小且續進帶寬最大之最佳時制計畫。

前章已對於新幹道系統延滯最小化數學規劃模式加以討論調整及構建，本章乃針對幹道系統新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式進行研究探討。以下將先對於幹道系統新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式進行概略簡介。

#### 5.1 最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式

本研究所建立新幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式係對於先前研究【7】所構建出最大化綠燈續進帶寬模式加以整合探討與調整而得，而綠燈續進帶寬模式是依據 Little 所提出之混合整數規劃模式加以應用，並修正以 Little 發展之連鎖號誌混合整數線性規劃理論基礎所構建之 MAXBAND 號誌軟體之模式缺點而得。為使號誌時制能夠具備使車流續進之效果，即必須探討綠燈帶寬是否存在的問題。綠燈帶寬部分不存在是指行駛於綠燈帶寬內之車輛，因為受到前方車流之干擾而必須停等，無法完成真正之續進。針對此一問題，林良泰君【7】以帶寬幾何型態圖（如圖 5.1 所示）及各項變數關係，綜合推導出綠燈續進帶寬最大之求解模式。

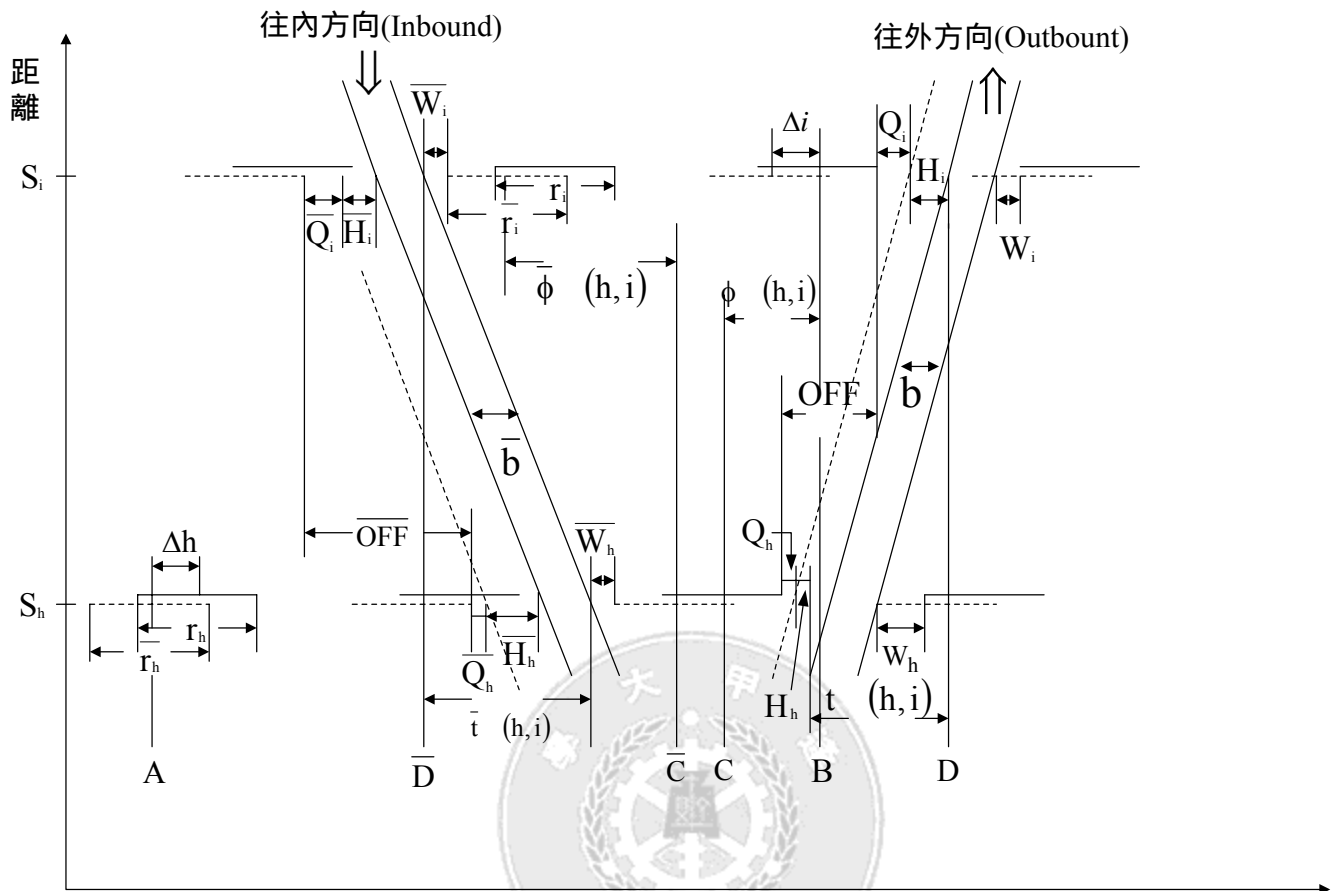


圖 5.1 最大化綠燈續進帶寬模式之時空圖

此一模式以雙向綠燈帶寬和最大作為目標，茲將模式與變數解釋說明列述如後。

模式變數之說明：

$b$ ：往外方向綠燈帶寬

$S_i$ ：第  $i$  個號誌

$r_i$ ：第  $i$  個號誌往外的紅燈時間

$t(h, i)$ ：往外時從號誌  $h$  至號誌  $i$  的旅行時間

$\phi(h, i)$ ：往外方向，綠燈帶寬鄰近兩路口紅燈中心之時間差

$OFF(h, i)$ ：往外方向  $i$  號誌對  $h$  號誌之時差

$Q_i$  :  $i$  號誌往外方向等候線消散時比，提供該路口等候車輛紓解使用

$H_i$  : (綠燈帶前置時比)  $i$  號誌往外方向等候線消散時間結束至綠燈帶前緣之時間間隔，上游路口等候車輛及非綠燈帶內之車輛行進至該路口時使用

$W_i$  : (綠燈帶後置時比)  $i$  號誌往外方向綠燈帶後緣至下一個紅燈開始之時間間隔

$\Delta_i$  :  $i$  號誌中往外及往內方向兩者紅燈中心的時間差

上述變數除  $S_i$  外，其餘之單位均為以週期作為單位，而各變數符號加有上標線者代表為往內方向之變數。另外各變數等候線消散時比  $Q$ 、綠燈帶前置時比  $H$ 、綠燈帶寬  $b$  與綠燈帶後置時比  $W$  之間的關係如圖 5.2 所示。

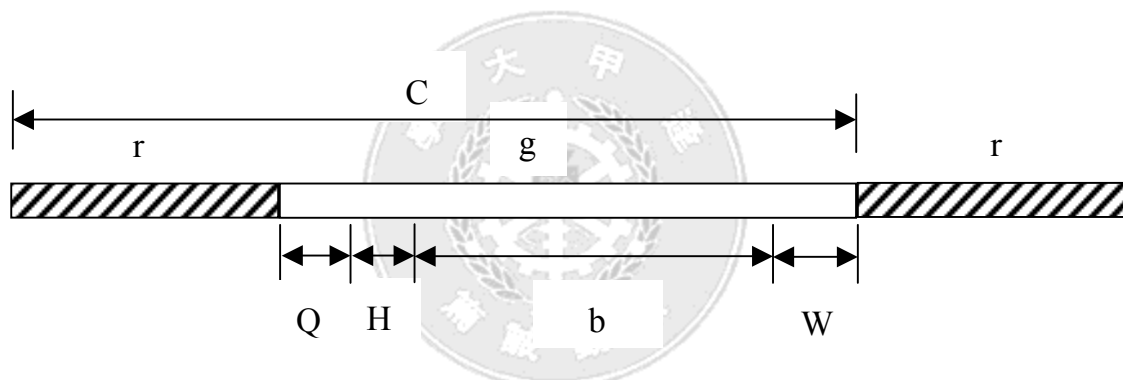


圖 5.2 各變數於綠燈與紅燈時間組成關係示意圖

目標式：

$$\text{MAX } b + \bar{b}$$

限制式：

### 1. 幾何協調計算式

此計算式係以圖 5.1 之最大化綠燈續進帶寬時空圖，透過各變數之間的關係，以相鄰兩路口車流行進於路段中的旅行時間、以及等候車輛紓解時間、綠燈帶前置時比、綠燈帶後置時比與續進帶寬組成來推導而得之等式關係，推導過程如下。

以  $h$  號誌往外之流向而言， $A$  至  $B$  之時間

$$= \Delta_h + I_1 \times \text{cycle} + \phi(h, i), (I_1 \text{ 為整數}) \quad (5.1)$$

以  $i$  號誌往內之流向而言， $A$  至  $B$  之時間

$$= I_2 \times \text{cycle} - \bar{\phi}(h, i) + I_3 \times \text{cycle} + \Delta_i, (I_2, I_3 \text{ 為整數}) \quad (5.2)$$

因 式 5.1=式 5.2

$$\phi(h, i) + \bar{\phi}(h, i) + \Delta_h - \Delta_i = (I_2 + I_3 - I_1) \times \text{cycle} = I(h, i) \quad (5.3)$$

同理

由  $CD$  之距離 (以  $h, i$  往外流向)

$$\begin{aligned} \phi(h, i) + \frac{1}{2}r_i + Q_i + H_i &= \frac{1}{2}r_h + Q_h + t(h, i) + H_h \\ \Rightarrow \phi(h, i) &= \frac{1}{2}r_h + Q_h + H_h + t(h, i) - \frac{1}{2}r_i - Q_i - H_i \end{aligned} \quad (5.4)$$

由  $\overline{CD}$  之距離 (以  $h, i$  往內流向)

$$\begin{aligned} \bar{\phi}(h, i) + \frac{1}{2}\bar{r}_i + \bar{W}_i &= \frac{1}{2}\bar{r}_h + \bar{W}_h + \bar{t}(h, i) \\ \Rightarrow \bar{\phi}(h, i) &= \frac{1}{2}\bar{r}_h + \bar{W}_h + \bar{t}(h, i) - \frac{1}{2}\bar{r}_i - \bar{W}_i \\ &= \frac{1}{2}(\bar{r}_h - \bar{r}_i) + \bar{t}(h, i) + (\bar{W}_h - \bar{W}_i) \end{aligned} \quad (5.5)$$

將式 5.4 與式 5.5 代入式 5.3

$$\begin{aligned} &\phi(h, i) + \bar{\phi}(h, i) + \Delta_h - \Delta_i \\ &= \left[ \frac{1}{2}r_h + Q_h + H_h + t(h, i) - \frac{1}{2}r_i - Q_i - H_i \right] \\ &+ \left[ \frac{1}{2}\bar{r}_h + \bar{W}_h + \bar{t}(h, i) - \frac{1}{2}\bar{r}_i - \bar{W}_i \right] + \Delta_h - \Delta_i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= t(h,i) + \bar{t}(h,i) + \frac{1}{2}(r_h + \bar{r}_h) - \frac{1}{2}(r_i + \bar{r}_i) \\
&+ (Q_h - Q_i) + (H_h - H_i) + (\bar{W}_h - \bar{W}_i) + \Delta_h - \Delta_i \\
&= I(h,i)
\end{aligned} \tag{5.6}$$

將號誌系統往外流向由 1 至 n 順序排列，式 5.6 可調整為以下之幾何協調計算式：

$$\begin{aligned}
&t_i + \bar{t}_i + \frac{1}{2}(r_i + \bar{r}_i) - \frac{1}{2}(r_{i+1} + \bar{r}_{i+1}) + (Q_i - Q_{i+1}) \\
&+ (H_i - H_{i+1}) + (\bar{W}_i - \bar{W}_{i+1}) + \Delta_i - \Delta_{i+1} = I_i
\end{aligned} \tag{5.7}$$

## 2. 時差計算式

此模式時差之定義為兩相鄰路口綠燈始亮的時間間隔，

$$\begin{aligned}
&OFF_i = Q_i + H_i + t_i - Q_{i+1} - H_{i+1} \\
&= t_i + (Q_i - Q_{i+1}) + (H_i - H_{i+1})
\end{aligned} \tag{5.8}$$

$$\begin{aligned}
&\bar{OFF}_i = \bar{Q}_{i+1} + \bar{H}_{i+1} + \bar{t}_i - \bar{Q}_i - \bar{H}_i \\
&= \bar{t}_i + (\bar{Q}_{i+1} - \bar{Q}_i) + (\bar{H}_{i+1} - \bar{H}_i)
\end{aligned} \tag{5.9}$$

## 3. 共同週期計算式

幹道連鎖號誌路口，每路口均需有相同週期長度

$$Q_i + H_i + b + W_i + r_i = 1 \tag{5.10}$$

$$\bar{Q}_i + \bar{H}_i + \bar{b} + \bar{W}_i + \bar{r}_i = 1 \tag{5.11}$$

## 4. 綠燈帶寬真正存在限制式

$$H_{i+1} \geq H_i + Q_i \tag{5.12}$$

$$\bar{H}_i \geq \bar{H}_{i+1} + \bar{Q}_{i+1} \tag{5.13}$$

此限制式之目的在使上游路口等候紓解之車輛及綠燈帶中到達下游路口之車輛不會受到前方車流干擾而產生停等。不過此一限制式將造成鋸齒狀帶寬的問題，此部份將於本章第二節加以探討。

### 5. 合理等候線消散時比限制式

路口車輛到達型態受上游路口的流量及時制影響，每一路口在每週期內會有兩種不同車輛到達型態，上游路口為綠燈為型態一，下游路口為紅燈為型態二。

以往外流向而言：

$$\lambda_{i,1} = \frac{V_{i-1,T}}{\frac{g_{i-1}}{C} \times 3600 \times N_i} \quad (5.14)$$

$$\lambda_{i,2} = \frac{V_{i-1,R} + V_{i-1,L}}{\frac{r_{i-1}}{C} \times 3600 \times N_i} \quad (5.15)$$

其中， $\lambda_{i,1}$ ：i 路口到達型態一之到達率

$\lambda_{i,2}$ ：i 路口到達型態二之到達率

$V_{i-1,T}$ ：i-1 路口之直行流量

$V_{i-1,R}$ ：i-1 路口右轉進入該路口之流量

$V_{i-1,L}$ ：i-1 路口左轉進入該路口之流量

$g_{i-1}$ ：i-1 路口之綠燈時間

$r_{i-1}$ ：i-1 路口之紅綠燈時間

C：週期

$N_i$ ：i 路口之線道數

經由最大綠燈帶寬模式運作( $H_{i+1} \geq H_i + Q_i$ )結果，上下游路口時制之組合型態有兩種可能（往外流向而言），如圖 5.3 與圖 5.4 所示。

情況一：下游路口綠燈帶後置時比大於等於上游路口後置時比

$$(W_i \geq W_{i-1})$$

情況二：下游路口綠燈帶後置時比小於上游路口後置時比

$$(W_i < W_{i-1})$$

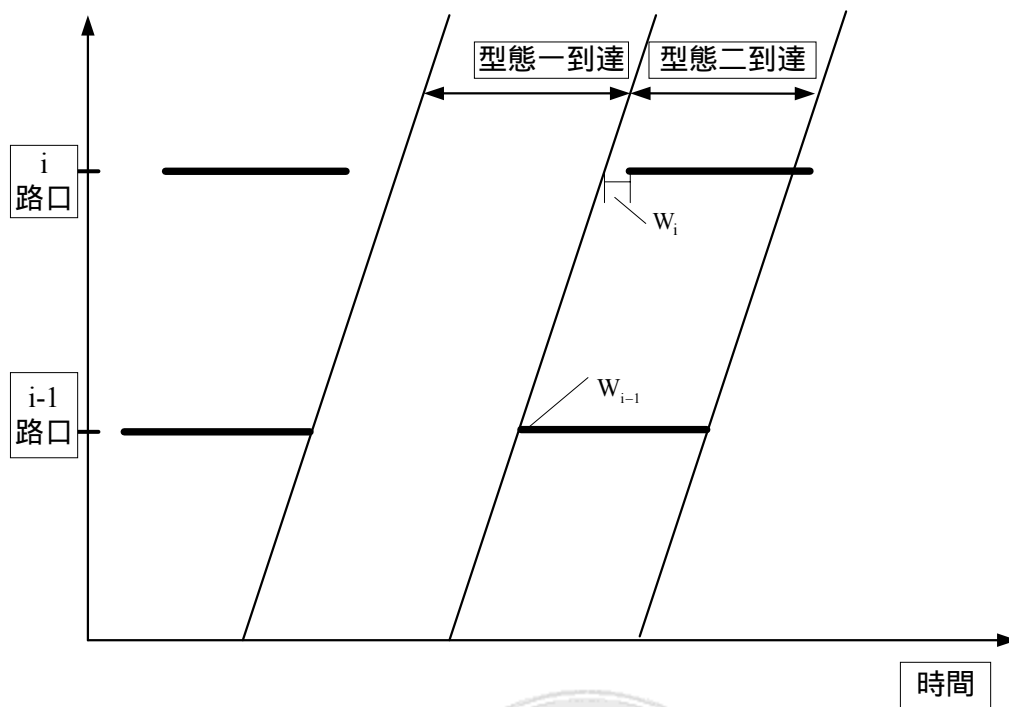


圖 5.3 上下游路口時制關係圖（情況一）

資料來源【7】

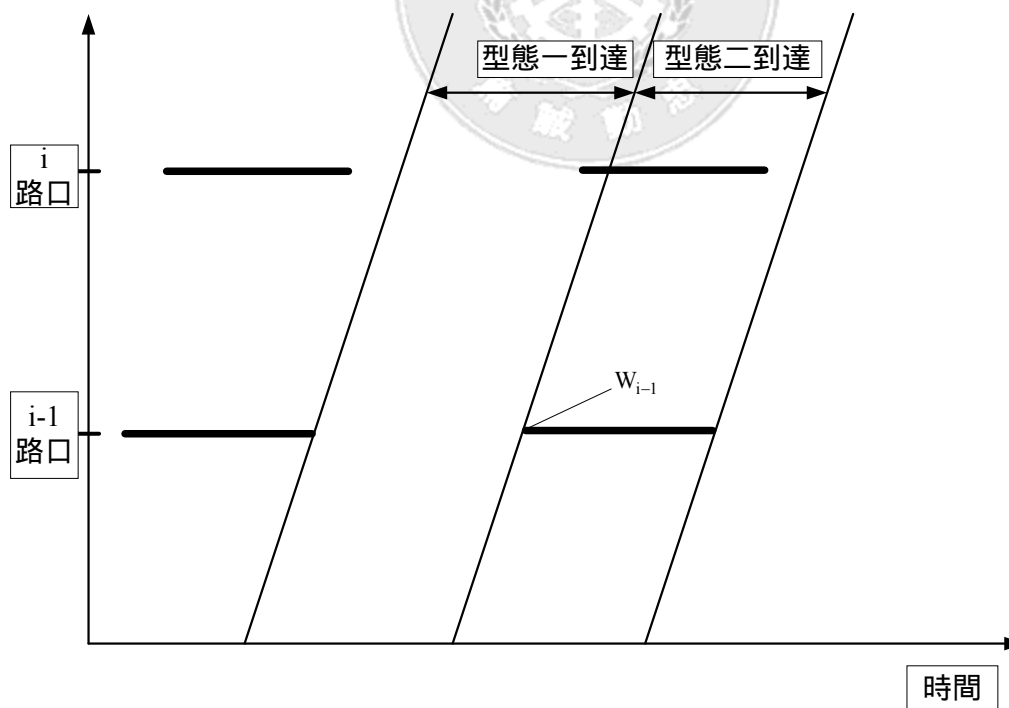


圖 5.4 上下游路口時制關係圖（情況二）

資料來源【7】

分別求出兩種情況時制組合之每週期受阻與非受阻車數

i 路口情況一每一車道未受阻車數 =  $[\lambda_{i,1} \times g_{i-1} + \lambda_{i,2} (W_i - W_{i-1})] \times C$

i 路口情況一每一車道受阻車數 =  $\{\lambda_{i,2} \times [r_{i-1} - (W_i - W_{i-1})]\} \times C$

i 路口情況二每一車道未受阻車數 =  $\{\lambda_{i,1} \times [g_{i-1} - (W_i - W_{i-1})]\} \times C$

i 路口情況一每一車道未受阻車數 =  $\{\lambda_{i,1} \times (W_{i-1} - W_i) + \lambda_{i,2} \times r_{i-1}\} \times C$

$g_{i-1}$  : i-1 路口綠燈時比 (週期)

$r_{i-1}$  : i-1 路口紅燈時比 (週期)

$W_i$  : i 路口綠燈帶寬後置時比 (週期)

C : 週期

由每週期受阻車數可制訂合理等候消散時比，因有兩種情況之受阻車數，需整合情況一與情況二之受阻公式，求出每一路口平均到達率

$$\lambda_i = \frac{(g_{i-1} \cdot \lambda_{i,1} + r_{i-1} \cdot \lambda_{i,2})}{C}$$

$$= \left[ g_{i-1} \left( \frac{V_{i-1,T}}{\frac{g_{i-1}}{C} \times 3600 \times N_i} \right) + r_{i-1} \left( \frac{V_{i-1,R} + V_{i-1,L}}{\frac{r_{i-1}}{C} \times 3600 \times N_i} \right) \right] / C$$

$$= \frac{V_{i-1,T} + V_{i-1,R} + V_{i-1,L}}{3600 \times N_i} \quad (5.16)$$

求出平均到達率後，可制訂合理等候線消散時比限制式



$$\frac{Q_i}{SH_i} \times C \geq \lambda_i [(W_{i-1} - W_i) + r_{i-1}] \times C$$

$$\Rightarrow Q_i \geq SH_i \cdot \lambda_i [(W_{i-1} - W_i) + r_{i-1}] \quad (5.17)$$

$$\frac{\bar{Q}_i}{\bar{SH}_i} \times C \geq \bar{\lambda}_i [(\bar{W}_{i-1} - \bar{W}_i) + \bar{r}_{i-1}] \times C$$

$$\Rightarrow \bar{Q}_i \geq \bar{SH}_i \cdot \bar{\lambda}_i [(\bar{W}_{i-1} - \bar{W}_i) + \bar{r}_{i-1}] \quad (5.18)$$

$SH_i$  及  $\bar{SH}_i$  分別為  $i$  路口往外及往內方向飽和流率之穩定間距

在合理等候線限制式與帶寬真正存在之聯合限制下，將使得等候線上之車輛皆能續進至最後一路口，而若有車輛在幹道內行駛無法達到全線之續進時，其在幹道系統中至多只停等一次。

#### 6. 路口綠燈帶寬長度計算式

如圖 5.5 所示，以路口 3 而言，綠燈時間為等候線消散時比  $Q$ 、綠燈帶前置時比  $H$ 、幹道系統整體綠燈帶寬  $b$  與綠燈帶後置時比  $W$  之加總，而真正之續進帶寬則為等候線消散時比  $Q$ 、綠燈帶前置時比  $H$  與幹道系統整體綠燈帶寬  $b$  之總和，故得到以下之計算式：

$$b_i = b + Q_i + H_i \quad (5.19)$$

$$\bar{b}_i = \bar{b} + \bar{Q}_i + \bar{H}_i \quad (5.20)$$

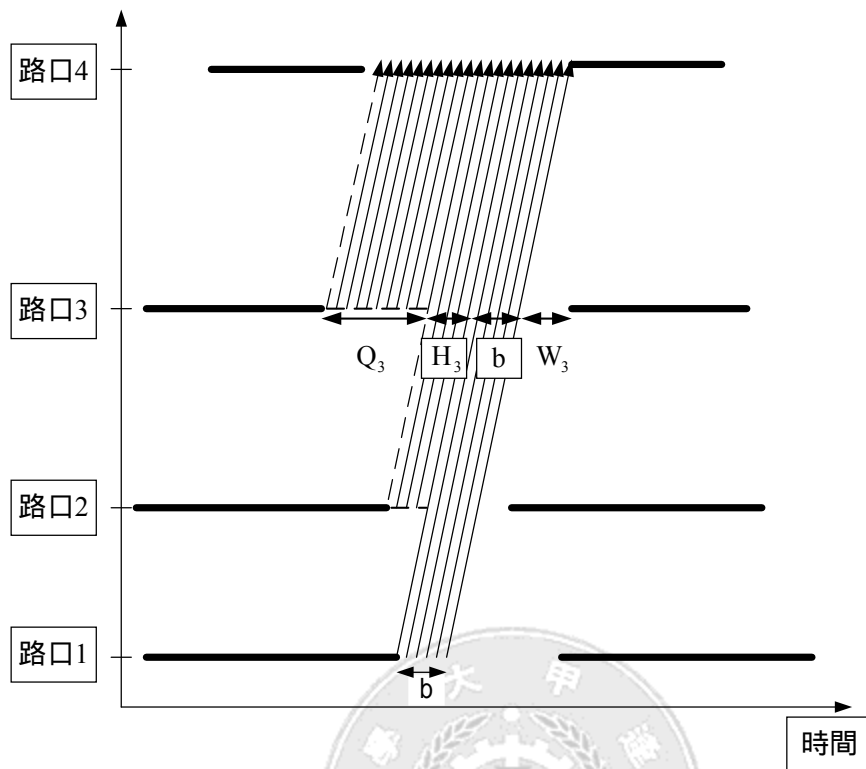


圖 5.5 綠燈帶寬真正存在下車流續進軌跡圖

資料來源【7】

### 7. 綠燈帶寬權數計算式

因幹道所在的區域、旅次的特性、或是不同的時間，皆有不同之車流特性差異，而可能產生往內與往外流向車流特性不一致，例如上下午尖峰時段往內與往外方向車流狀況極可能有顯著不同，因此若皆給予相同之綠燈帶寬可能不符合現況車流，故應視當時車流狀況之差別定以個別的帶寬權重值。

$$\bar{b} = Kb \quad (5.21)$$

### 8. 最短綠燈時間限制式

為避免模式最佳化過程為求得綠燈帶寬最大下之時比，迫使支道的綠燈時間遭到過度壓縮僅得一不合理且過短之綠燈時間，因此給予支道

綠燈時間必須符合最短綠燈時間之限制，以提供行人通過路口時保障其安全之通過時間。

$$r_i - \Delta_i \geq \text{MING}_i \Rightarrow \Delta_i \leq r_i - \text{MING}_i \quad (5.22)$$

另外將週期上下限、速度上下限及速度改變上下限納入模式中，因此對以下變數加以定義之：

$C$ ：週期長度(秒)

$\pi$ ：號誌頻率= $1/C$ (週期/秒)

$C_2$ ：週期之上限(秒)

$C_1$ ：週期之下限(秒)

$d(h,i)$ ：往外方向之  $S_h$  與  $S_i$  間之距離(公尺)且令  $d_i=d(i,i+1)$

$1/h_i, 1/n_i$ ：往外方向之車輛行駛速度倒數改變之上下限

$$\text{即 } 1/h_i \leq (1/V_{i+1}) - (1/V_i) \leq 1/n_i \quad [(\text{公尺/秒})^{-1}]$$

#### 9. 週期上下限

週期必須符合於合理範圍內。

$$1/C_2 \leq \pi \leq 1/C_1 \quad (5.23)$$

#### 10. 同一路段上，車輛行駛速度上下限

在路段行駛之車輛其行駛速率必須在合理車流行進之速限範圍內。

往外方向：

$$m_i \leq V_i \leq f_i$$

$$\Rightarrow 1/f_i \leq 1/V_i \leq 1/m_i$$

$$\Rightarrow d_i/f_i \leq d_i/V_i \leq d_i/m_i$$

$$\Rightarrow (d_i/f_i)\pi \leq (d_i/V_i)\pi \leq (d_i/m_i)\pi$$

$$\Rightarrow (d_i/f_i)\pi \leq t_i \leq (d_i/m_i)\pi \quad (5.24)$$

往內方向：

$$\Rightarrow (\bar{d}_i / \bar{f}_i) \pi \leq \bar{t}_i \leq (\bar{d}_i / \bar{m}_i) \pi \quad (5.25)$$

11. 鄰近路段上，車輛行駛速度改變的上下限

往外方向：

$$\begin{aligned} 1/h_i &\leq (1/V_{i+1}) - (1/V_i) \leq 1/n_i \\ \Rightarrow d_i/h_i &\leq (d_i/V_{i+1}) - (d_i/V_i) \leq d_i/n_i \\ \Rightarrow (d_i/h_i)\pi &\leq (d_i/V_{i+1})\pi - (d_i/V_i)\pi \leq (d_i/n_i)\pi \\ \Rightarrow (d_i/h_i)\pi &\leq (d_i/d_{i+1})(d_{i+1}/V_{i+1})\pi - (d_i/V_i)\pi \leq (d_i/n_i)\pi \\ \Rightarrow (d_i/h_i)\pi &\leq (d_i/d_{i+1})t_{i+1} \leq (d_i/n_i)\pi \end{aligned} \quad (5.26)$$

往內方向：

$$\Rightarrow (\bar{d}_{i+1} / \bar{h}_{i+1}) \pi \leq (\bar{d}_{i+1} / \bar{d}_i) \bar{t}_i - \bar{t}_{i+1} \leq (\bar{d}_{i+1} / \bar{n}_{i+1}) \pi \quad (5.27)$$

此限制式之目的係為避免車流行駛於兩相鄰路段車速變化落差過大而產生不符合實際車流之情形。

## 5.2 新綠燈續進帶寬最大化混合整數規劃模式之構建與修正

本研究將針對新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式應用時之問題進行探討，並嘗試修正部份模式內容，期能有助於整體模式求解，進而調整並確立本研究之新綠燈續進帶寬最大化混合整數規劃模式。

### 5.2.1 鋸齒狀帶寬問題

經由本研究之實驗與測試，由於模式綠燈帶寬真正存在限制式之作用，使得帶寬呈現鋸齒狀帶寬之情形，如圖 5.6 所示，造成越往下游之路口綠燈帶前置時比將越來越大，其佔有綠燈時間的比例也越來越大，

由於每路口綠燈時間已固定（由幹道系統新延滯最小化數學規劃模式求得），導致整體續進帶寬不容易求得，當計算之路口數越多，就幾乎無法求得整體續進帶寬，有鑑於此，本研究認為在應用新最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式時，可考量將帶寬真正存在限制式排除，不納入於模式當中，鬆弛此一限制式之限制，應能夠有助模式避免造成鋸齒狀帶寬的問題。

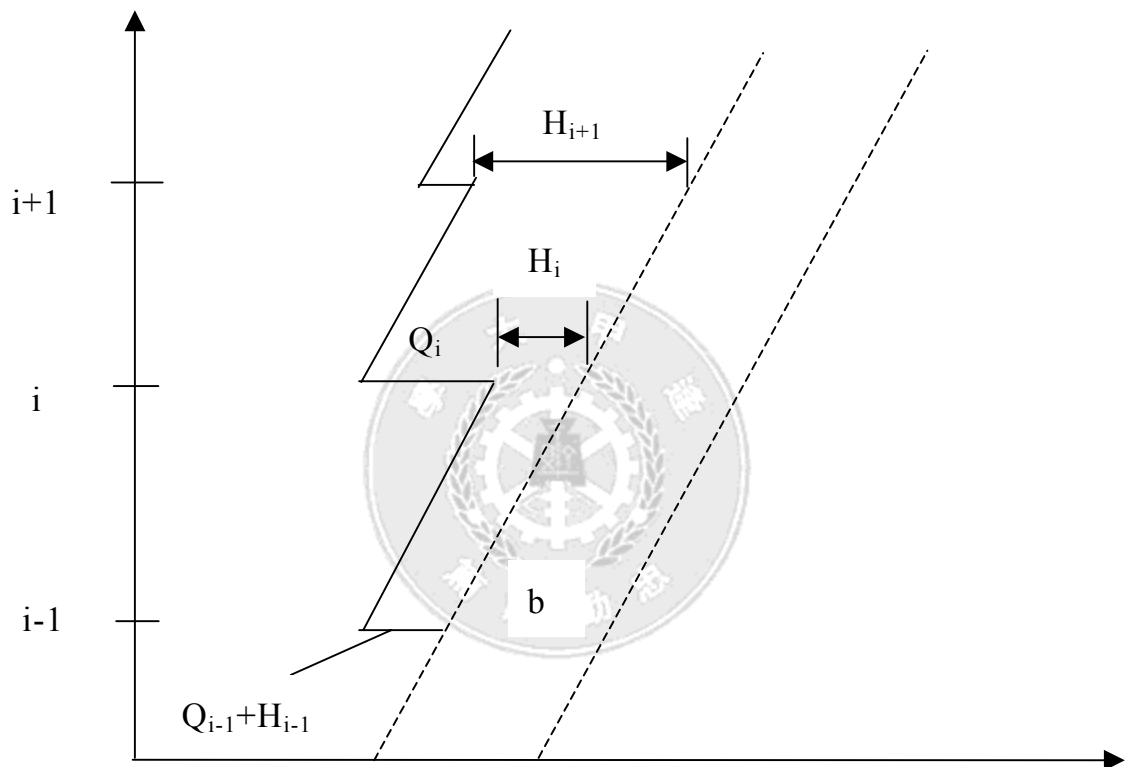


圖 5.6 鋸齒狀帶寬簡單示意圖

### 5.2.2 續進可能機會最大之帶寬求解

基於上述鋸齒狀帶寬問題，以及求取整體系統續進帶寬時當路口總數較多時，確實有不易求出解的狀況，本研究擬以求取類似續進可能值最大之概念進行模式之修改。所謂續進可能值係指上游路口為綠燈時相內所通過之車輛，依照上游路段中的平均行駛速率，續進到下游路口時，下游路口仍為綠燈時相，車輛可繼續往下游方向通過者，即計入續進可

能值當中，當總續進可能值越大，表示車流可順利由上游路口通過下游路口之車輛數越大。基於續進可能值之概念，本研究乃嘗試將原本目標式為求取雙向綠燈帶寬和最大修改為求得各路口部分可續進帶寬加總最大，亦隱含求取各路口間續進可能值最大為目標。各路口部分續進可能帶寬之求取則是將原本綠燈時間組成為等候線消散時比、綠燈帶前置時比、系統綠燈帶寬以及綠燈帶後置時比( $Q$ 、 $H$ 、 $b$ 、 $W$ )，化整為綠燈前置時間與綠燈後置時間兩大部分( $F$ 、 $W$ )，而隱含將等候線消散時比、綠燈帶前置時比、系統綠燈帶寬統合為綠燈帶前置時間之意，藉由綠燈前置時間以及綠燈後置時間此兩部分透過下游路口與上游路口比較差值而得到兩部份時間的可續進時間，分為綠燈續進前置帶寬與綠燈續進後置帶寬( $B_f$ 、 $B_r$ )。各變數綠燈前置時間  $F$ 、綠燈帶後置時間  $W$ 、綠燈續進前置帶寬  $B_f$  與綠燈續進後置帶寬  $B_r$  之間的關係如圖 5.7 所示。

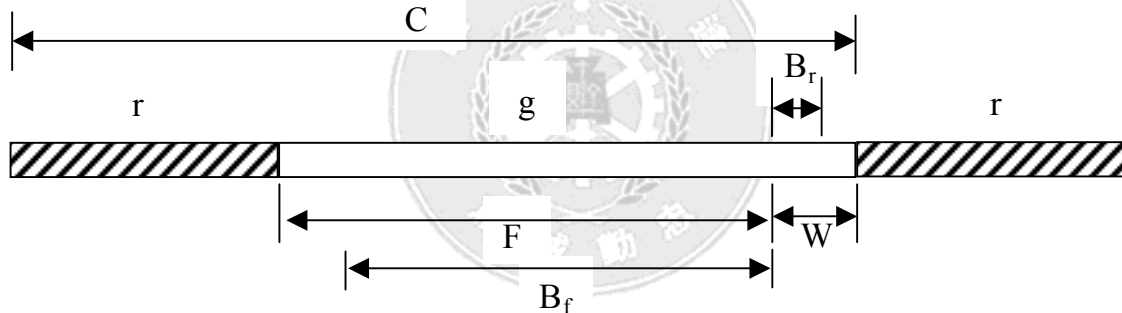


圖 5.7 新續進帶寬各變數於綠燈與紅燈時間組成關係示意圖

如圖 5.8 所示，由於假設車輛於兩路口間以等速度行駛，以路口  $h-1$  之綠燈前置時間而言，其綠燈續進前置帶寬部分為其綠燈前置時間與下游路口之綠燈前置時間相比較後為小的部份，如圖所示可知路口  $h-1$  之綠燈續進前置帶寬  $B_{f,h-1}$  等同於  $F_h$  之值；以路口  $h$  而言其綠燈續進前置帶寬  $B_{f,h}$  亦與  $F_h$  之值相等，因為路口  $h$  之綠燈前置時間小於路口  $h+1$  之綠燈前置時間( $F_h < F_{h+1}$ )。

以圖形的幾何意義而言，雖然路口  $h-1$  之綠燈前置時間大於下游路口  $h$  之綠燈前置時間，但是可從圖中發現  $F_{h-1}$  之前段部分到達路口  $h$  時

號誌仍為紅燈而必須停等，無法續進通過路口  $h$ ；再以路口  $h$  之綠燈前置時間來看，上游路口  $h$  與下游路口  $h+1$  綠燈前置時間之大小關係為  $F_h < F_{h+1}$ ，雖然下游路口綠燈前置時間上游路口為大，但實際可續進部分僅為  $F_h$ ，即使  $h+1$  路口綠燈前置時間多於  $h$  路口之綠燈前置時間，但其多出的時間為前段部份，並無法提供  $h$  路口車輛續進之用。從上述分析過程亦可得知，綠燈帶後置時比可續進部分也是以同樣之方式求得。而整體路口可續進部份帶寬即是綠燈續進前置帶寬與綠燈續進後置帶寬之總和，如此雖無法幫助行進車輛能夠續進多個路口，但可提供較多時間與可能機會予車輛，使其不受號誌阻擋而必須停等或減低速率。

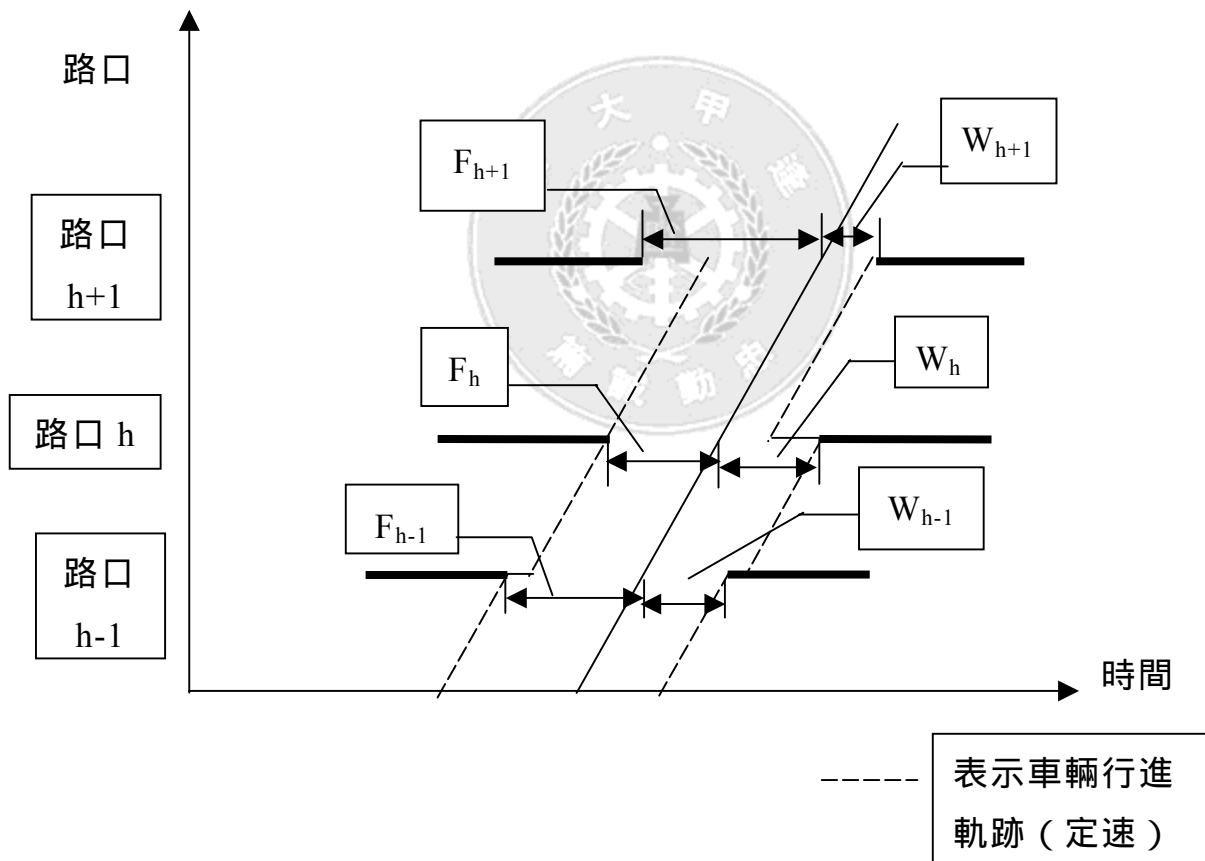


圖 5.8 路口續進可能計算示意圖

經由上述之分析，本研究乃將續進可能部分之計算加入模式當中，並修正模式目標式為求取雙向各路口續進可能加總值最大作為模式之目

標，另將帶寬真正存在限制式與合理等候消散時比限制式去除。數學式重新加以調整並推導列式於下：

目標式：求取幹道系統雙向各路口之續進可能值加總最大

$$\text{MAX } Z = \sum_{i=1}^n (B_i + \bar{B}_i) \quad (5.28)$$

限制式：

· 路口續進可能部分計算式

將帶寬長度計算式，即式 5.19 與 5.20，調整為路口續進可能部分計算式：

$$B_i = B_{f,i} + B_{r,i} \quad (5.29)$$

$$\bar{B}_i = \bar{B}_{f,i} + \bar{B}_{r,i} \quad (5.30)$$

將帶寬真正存在限制式，式 5.12、式 5.13 至模式中移除，新修改模式之續進可能帶寬模式之時空圖則改變如下圖 5.9。

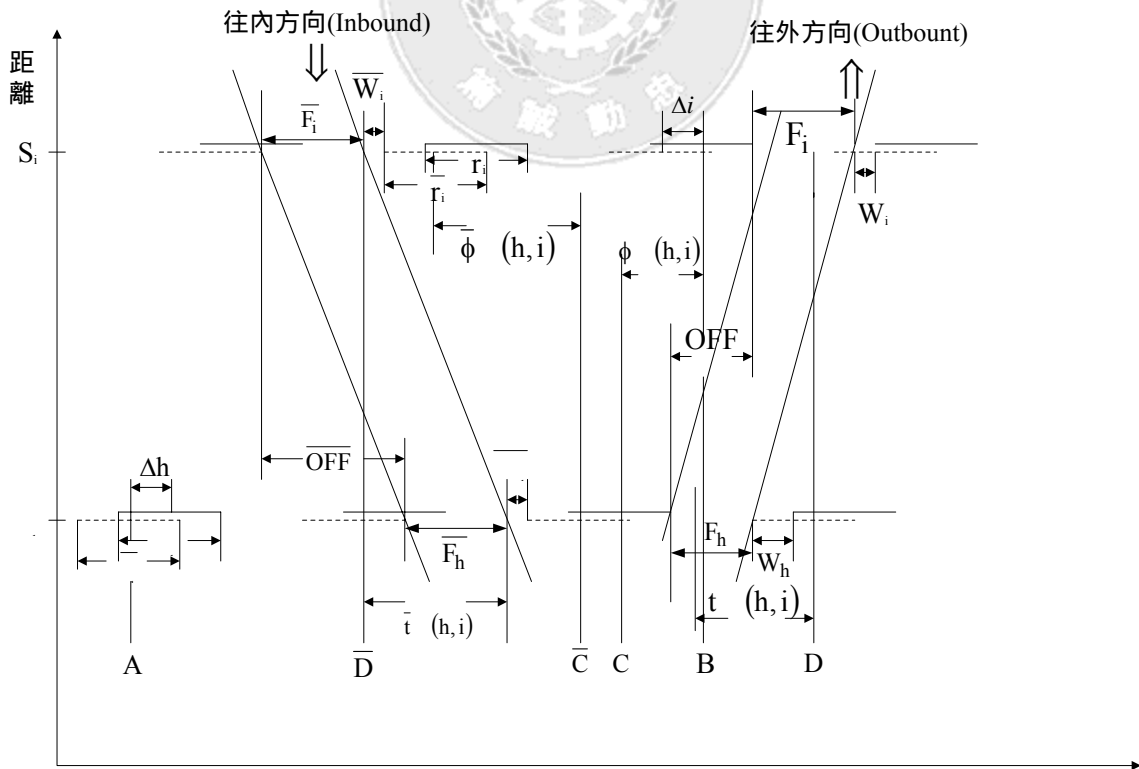


圖 5.9 新續進可能帶寬模式時空圖



## · 幾何協調計算式

透過圖 5.9 可著手將原模式之幾何協調計算式做如下之更改

以 h 號誌往外之流向而言，A 至 B 之時間

$$= \Delta_h + I_1 \times \text{cycle} + \phi(h, i), (I_1 \text{ 為整數}) \quad (5.1)$$

以 i 號誌往內之流向而言，A 至 B 之時間

$$= I_2 \times \text{cycle} - \bar{\phi}(h, i) + I_3 \times \text{cycle} + \Delta_i, (I_2, I_3 \text{ 為整數}) \quad (5.2)$$

因 式 5.1 = 式 5.2

$$\phi(h, i) + \bar{\phi}(h, i) + \Delta_h - \Delta_i = (I_2 + I_3 - I_1) \times \text{cycle} = I(h, i) \quad (5.3)$$

由於  $Q_i + H_i + b = F_i$

$$\overline{Q_i} + \overline{H_i} + \overline{b} = \overline{F_i}$$

代入 CD 之距離（以 h, i 往外流向）

$$\begin{aligned} \phi(h, i) + \frac{1}{2}r_i + F_i - b &= \frac{1}{2}r_h + F_h - b + t(h, i) \\ \Rightarrow \phi(h, i) &= \frac{1}{2}r_h + F_h + t(h, i) - \frac{1}{2}r_i - F_i \end{aligned} \quad (5.31)$$

由  $\overline{CD}$  之距離（以 h, i 往內流向）

$$\begin{aligned} \bar{\phi}(h, i) + \frac{1}{2}\overline{r_i} + \overline{W_i} &= \frac{1}{2}\overline{r_h} + \overline{W_h} + \bar{t}(h, i) \\ \Rightarrow \bar{\phi}(h, i) &= \frac{1}{2}\overline{r_h} + \overline{W_h} + \bar{t}(h, i) - \frac{1}{2}\overline{r_i} - \overline{W_i} \\ &= \frac{1}{2}(\overline{r_h} - \overline{r_i}) + \bar{t}(h, i) + (\overline{W_h} - \overline{W_i}) \end{aligned} \quad (5.5)$$

將式 5.31 與式 5.5 代入式 5.3

$$\begin{aligned} &\phi(h, i) + \bar{\phi}(h, i) + \Delta_h - \Delta_i \\ &= \left[ \frac{1}{2}r_h + F_h - b + t(h, i) - \frac{1}{2}r_i - F_i + b \right] \\ &+ \left[ \frac{1}{2}\overline{r_h} + \overline{W_h} + \bar{t}(h, i) - \frac{1}{2}\overline{r_i} - \overline{W_i} \right] + \Delta_h - \Delta_i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= t(h,i) + \bar{t}(h,i) + \frac{1}{2}(r_h + \bar{r}_h) - \frac{1}{2}(r_i + \bar{r}_i) \\
&+ (F_h - F_i) + (\bar{W}_h - \bar{W}_i) + \Delta_h - \Delta_i \\
&= I(h,i)
\end{aligned} \tag{5.32}$$

將號誌系統往外流向由 1 至 n 順序排列，式 5.32 可調整為以下之幾何協調計算式：

$$\begin{aligned}
&t_i + \bar{t}_i + \frac{1}{2}(r_i + \bar{r}_i) - \frac{1}{2}(r_{i+1} + \bar{r}_{i+1}) + (F_i - F_{i+1}) + (\bar{W}_i - \bar{W}_{i+1}) + \Delta_i - \Delta_{i+1} \\
&= I_i
\end{aligned} \tag{5.33}$$

· 時差計算式

時差計算式則更改為

$$OFF_i = F_i - F_{i+1} + t_i \tag{5.34}$$

$$\overline{OFF}_i = \bar{F}_{i+1} - \bar{F}_i + \bar{t}_i \tag{5.35}$$

· 共同週期計算式

共同週期計算式更改為

$$F_i + W_i + r_i = 1 \tag{5.36}$$

$$\bar{F}_i + \bar{W}_i + \bar{r}_i = 1 \tag{5.37}$$

其它新增限制式則列式如下：

· 綠燈續進前置帶寬計算限制式

往外方向：

$$I_i \times F_{i+1} - I_i \times F_i \geq 0 \tag{5.38}$$

$$I_j \times F_i - I_j \times F_{i+1} \geq 0 \tag{5.39}$$

$$I_i + I_j = 1 \tag{5.40}$$

$$B_{f,i} = I_i \times F_i + I_j \times F_{i+1} \tag{5.41}$$



往內方向：

$$I_\ell \times \bar{F}_i - I_\ell \times \bar{F}_{i+1} \geq 0 \quad (5.42)$$

$$I_m \times \bar{F}_{i+1} - I_m \times \bar{F}_i \geq 0 \quad (5.43)$$

$$I_\ell + I_m = 1 \quad (5.44)$$

$$\bar{B}_{f,i+1} = I_\ell \times \bar{F}_{i+1} + I_m \times \bar{F}_i \quad (5.45)$$

· 綠燈續進後置帶寬計算限制式

往外方向：

$$I_p \times W_{i+1} - I_p \times W_i \geq 0 \quad (5.46)$$

$$I_q \times W_i - I_q \times W_{i+1} \geq 0 \quad (5.47)$$

$$I_p + I_q = 1 \quad (5.48)$$

$$B_{r,i} = I_p \times W_i + I_q \times W_{i+1} \quad (5.49)$$

往內方向：

$$I_r \times \bar{W}_i - I_r \times \bar{W}_{i+1} \geq 0 \quad (5.50)$$

$$I_s \times \bar{W}_{i+1} - I_s \times \bar{W}_i \geq 0 \quad (5.51)$$

$$I_r + I_s = 1 \quad (5.52)$$

$$\bar{B}_{r,i+1} = I_r \times \bar{W}_{i+1} + I_s \times \bar{W}_i \quad (5.53)$$

上列各式中  $I_i$  ,  $I_j$  ,  $I_l$  ,  $I_m$  ,  $I_p$  ,  $I_q$  ,  $I_r$  ,  $I_s$  等為 0 或 1 的整數變數

### 5.2.3 帶寬權數之計算

由於考量都市車流在不同時間或時段中，其車流型態也各不相同，往內往外方向之車流並不一致，因此需給予往內往外雙向不同之帶寬權數，才較具合理性與公平性。本研究引用黃惠隆君【15】所提出的帶寬權數計算方式，以該方向第一個路口之直行車流量與飽和流率之比值來訂定。如下式所列：

## · 綠燈帶寬權重計算式

$$\overline{B}_i = KB_i \quad (5.54)$$

$$K = \frac{(\overline{V}/\overline{S})}{(V/S)} \quad (5.55)$$

K：帶寬權數

$B_i$ 、 $\overline{B}_i$ ：往外與往內方向之綠燈續進可能帶寬

V、 $\overline{V}$ ：往外與往內方向第一個路口直行車流量

S、 $\overline{S}$ ：往外與往內方向第一個路口直行飽和流率

綜合以上討論，修正後之新幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式如下：

$$\text{MAX } Z = \sum_{i=1}^n (B_i + \overline{B}_i) \quad (5.28)$$

Subject to

$$B_i = B_{f,i} + B_{r,i} \quad (5.29)$$

$$\overline{B}_i = \overline{B}_{f,i} + \overline{B}_{r,i} \quad (5.30)$$

$$t_i + \overline{t}_i + \frac{1}{2}(r_i + \overline{r}_i) - \frac{1}{2}(r_{i+1} + \overline{r}_{i+1}) + (F_i - F_{i+1}) + (\overline{W}_i - \overline{W}_{i+1}) + \Delta_i - \Delta_{i+1} = I_i \quad (5.33)$$

$$\text{OFF}_i = F_i - F_{i+1} + t_i \quad (5.34)$$

$$\overline{\text{OFF}}_i = \overline{F}_{i+1} - \overline{F}_i + \overline{t}_i \quad (5.35)$$

$$F_i + W_i + r_i = 1 \quad (5.36)$$

$$\overline{F}_i + \overline{W}_i + \overline{r}_i = 1 \quad (5.37)$$

$$I_i \times F_{i+1} - I_i \times F_i \geq 0 \quad (5.38)$$

$$I_j \times F_i - I_j \times F_{i+1} \geq 0 \quad (5.39)$$

$$I_i + I_j = 1 \quad (5.40)$$

$$B_{f,i} = I_i \times F_i + I_j \times F_{i+1} \quad (5.41)$$

$$I_\ell \times \bar{F}_i - I_\ell \times \bar{F}_{i+1} \geq 0 \quad (5.42)$$

$$I_m \times \bar{F}_{i+1} - I_m \times \bar{F}_i \geq 0 \quad (5.43)$$

$$I_\ell + I_m = 1 \quad (5.44)$$

$$\bar{B}_{f,i+1} = I_\ell \times \bar{F}_{i+1} + I_m \times \bar{F}_i \quad (5.45)$$

$$I_p \times W_{i+1} - I_p \times W_i \geq 0 \quad (5.46)$$

$$I_q \times W_i - I_q \times W_{i+1} \geq 0 \quad (5.47)$$

$$I_p + I_q = 1 \quad (5.48)$$

$$B_{r,i} = I_p \times W_i + I_q \times W_{i+1} \quad (5.49)$$

$$I_r \times \bar{W}_i - I_r \times \bar{W}_{i+1} \geq 0 \quad (5.50)$$

$$I_s \times \bar{W}_{i+1} - I_s \times \bar{W}_i \geq 0 \quad (5.51)$$

$$I_r + I_s = 1 \quad (5.52)$$

$$\bar{B}_{r,i+1} = I_r \times \bar{W}_{i+1} + I_s \times \bar{W}_i \quad (5.53)$$

$$\bar{B}_i = KB_i \quad (5.54)$$

$$K = \frac{(\bar{V}/\bar{S})}{(V/S)} \quad (5.55)$$

$$r_i - \Delta_i \geq \text{MING}_i \quad (5.22)$$

$$1/C_2 \leq \pi \leq 1/C_1 \quad (5.23)$$

$$(d_i / f_i) \pi \leq t_i \leq (d_i / m_i) \pi \quad (5.24)$$

$$(\bar{d}_i / \bar{f}_i) \pi \leq \bar{t}_i \leq (\bar{d}_i / \bar{m}_i) \pi \quad (5.25)$$

$$(d_i / h_i) \pi \leq (d_i / d_{i+1}) t_{i+1} \leq (d_i / n_i) \pi \quad (5.26)$$

$$(\bar{d}_{i+1} / \bar{h}_{i+1}) \pi \leq (\bar{d}_{i+1} / \bar{d}_i) \bar{t}_i - \bar{t}_{i+1} \leq (\bar{d}_{i+1} / \bar{n}_{i+1}) \pi \quad (5.27)$$

$I_i, I_j, I_l, I_m, I_p, I_q, I_r, I_s$  等為 0 或 1 的整數變數

$B_i, \bar{B}_i, B_{f,i}, \bar{B}_{f,i}, B_{r,i}, \bar{B}_{r,i}, F_i, \bar{F}_i, W_i, \bar{W}_i, t_i, \bar{t}_i \geq 0$



## 第六章 幹道系統車道配置與號誌時制

### 整合設計程序之建立與確認

本章將進行幹道系統車道配置與號誌時制整合設計程序之探討，幹道系統車道配置與號誌時制整合設計程序約可分為兩大步驟，第一步驟如第三章之應用流程，先透過時相設計準則與車道配置準則分析，得出以目前現況資料所得之車道配置結果與時相分配結果，再進入第二步驟，將所得之車道配置結果與時相分配結果輸入至幹道號誌時制計畫求解模式來求解，透過兩階段求解程序，得到最佳化之時制計畫。而第四章與第五章所討論之新幹道系統最小化延滯數學規劃模式與新幹道系統綠燈續進帶寬最大化混合整數規劃模式其求解方式，本研究是以求解最佳化的電腦數值分析軟體 GAMS 做為模式求解之工具。

GAMS【18】最早是由美國世界銀行的 Meeraus 與 Brooke 所發展，可以容易去建構、修改或除錯所欲求解的最佳化模式輸入檔，其優點在於使用者介面簡潔清楚以及數值分析能力穩定。

在探討與實驗程序之資料方面，本研究係以一虛擬幹道資料，包含有四個四肢路口之幹道系統，作為測試應用與分析確認之用。

#### 6.1 幹道號誌時制整合設計程序探討之虛擬路口資料

本研究以虛擬四路口資料代入至幹道系統號誌時制整合設計程序當中，以求出各不同求解程序所得到時制計畫解。茲將欲應用至號誌時制整合設計程序運作之虛擬路口資料概略整理於下：

表 6.1 至 6.4 為四個路口之路口路段幾何配置表，圖 6.1 至 6.4 則為四個路口轉向交通量示意圖，圖 6.5 係整個虛擬幹道系統四個路口相對位置之配置形式示意圖。

表 6.1 第一路口資料幾何配置表

路口名稱	臨近路口 編號	路段 長度	臨近路段 長度	路型狀況	可配置 車道數
一路口					
	1	210m	100m	雙向且設置 中央分界帶	3
	2	130m	100m	雙向無設置 中央分界帶	2
	3	250m	100m	雙向且設置 中央分界帶	3
	4	95m	95m	雙向無設置 中央分界帶	2

表 6.2 第二路口資料幾何配置表

路口名稱	臨近路口 編號	路段 長度	臨近路段 長度	路型狀況	可配置 車道數
二路口					
	1	250m	100m	雙向且設置 中央分界帶	3
	2	130m	100m	雙向無設置 中央分界帶	1
	3	350m	100m	雙向且設置 中央分界帶	3
	4	225m	100m	雙向無設置 中央分界帶	1

表 6.3 第三路口資料幾何配置表

路口名稱	臨近路口	路段	臨近路段	路型狀況	可配置
三路口	編號	長度	長度		車道數
	1	350m	100m	雙向且設置中央分界帶	3
	2	130m	100m	雙向無設置中央分界帶	3
	3	300m	100m	雙向且設置中央分界帶	3
	4	220m	100m	雙向無設置中央分界帶	3

表 6.4 第四路口資料幾何配置表

路口名稱	臨近路口	路段	臨近路段	路型狀況	可配置
四路口	編號	長度	長度		車道數
	1	300m	100m	雙向且設置中央分界帶	3
	2	185m	100m	雙向無設置中央分界帶	2
	3	320m	100m	雙向且設置中央分界帶	3
	4	195m	100m	雙向無設置中央分界帶	2



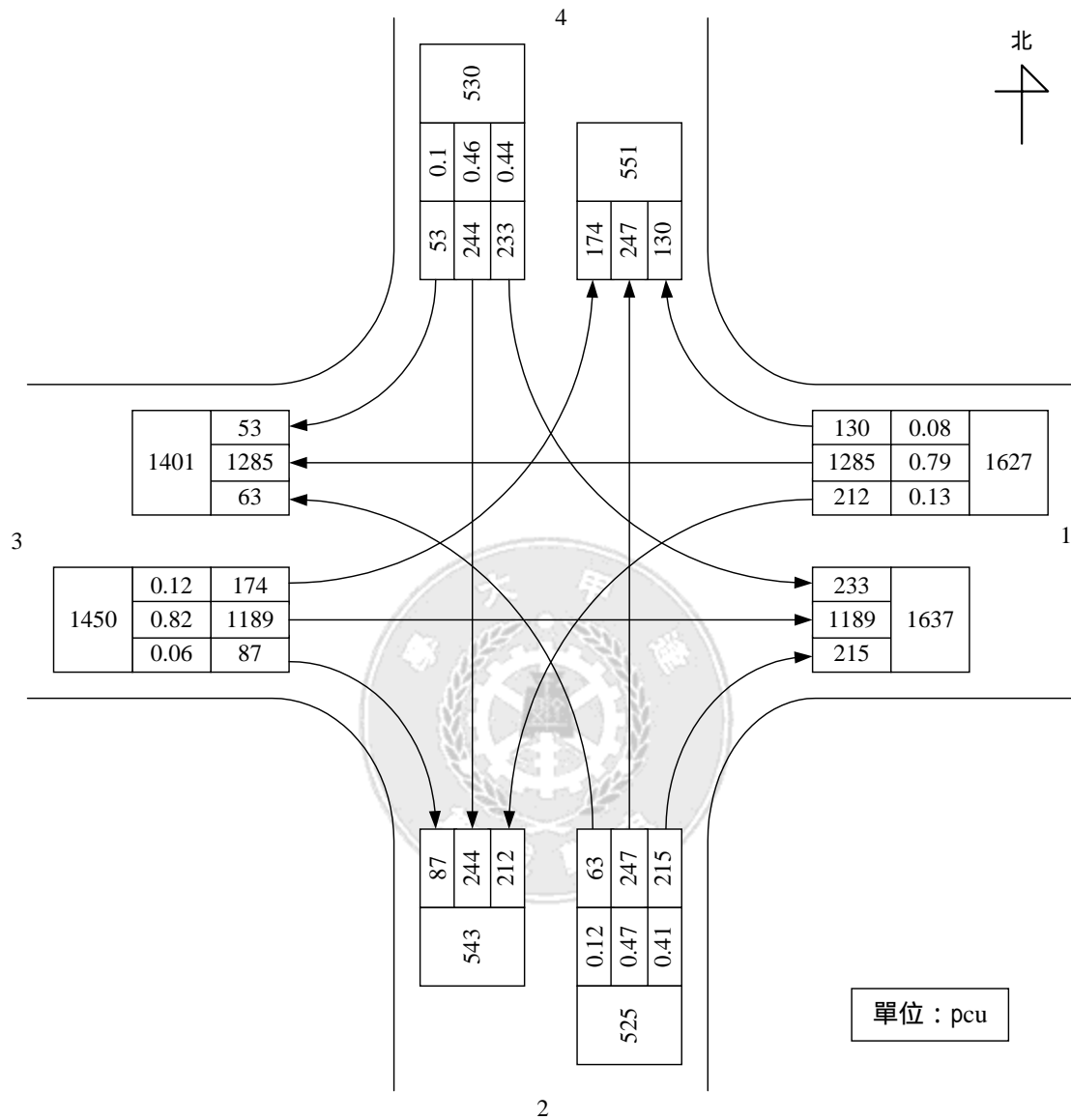


圖 6.1 虛擬第一路口轉向交通量示意圖

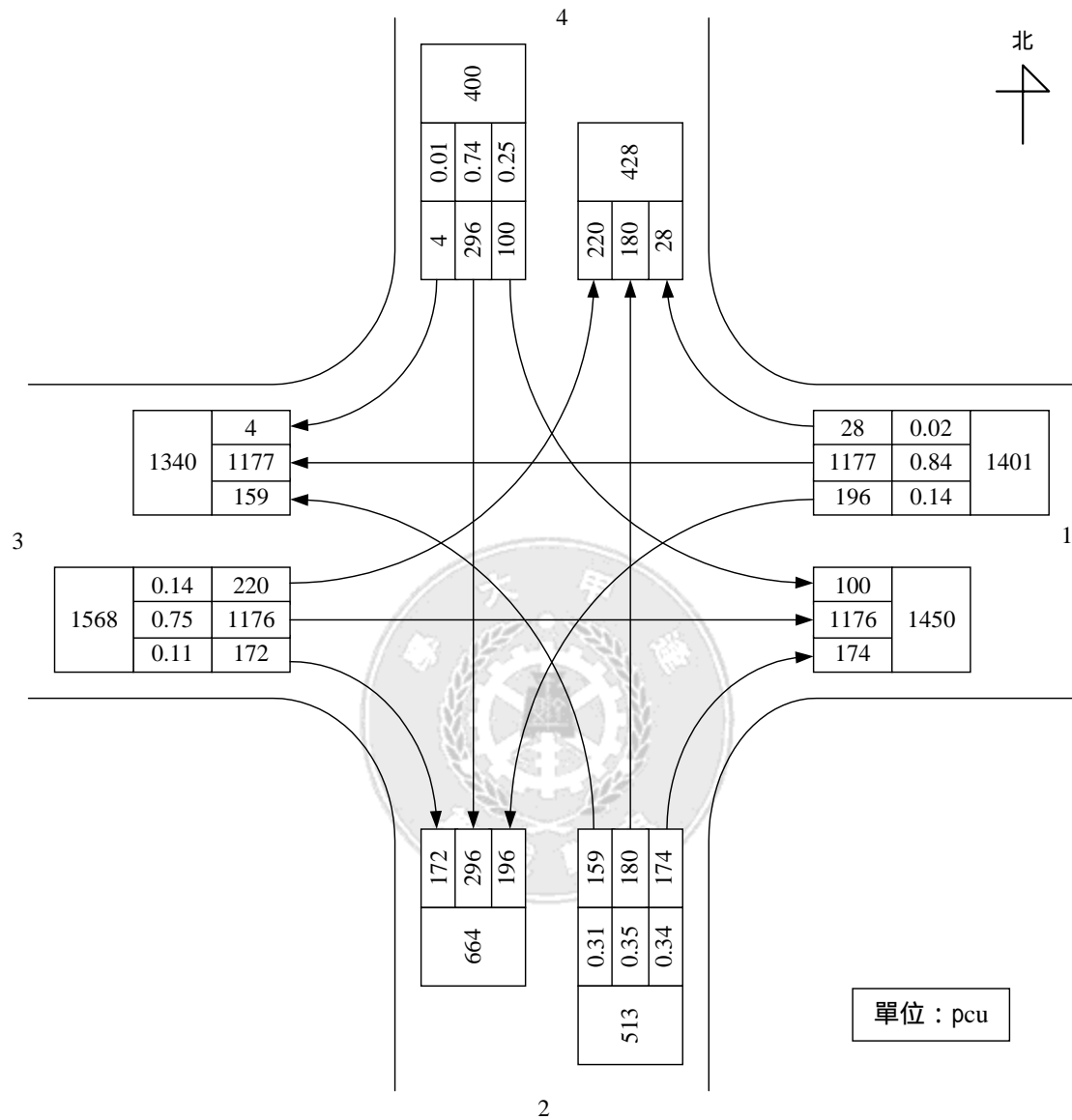


圖 6.2 虛擬第二路口轉向交通量示意圖

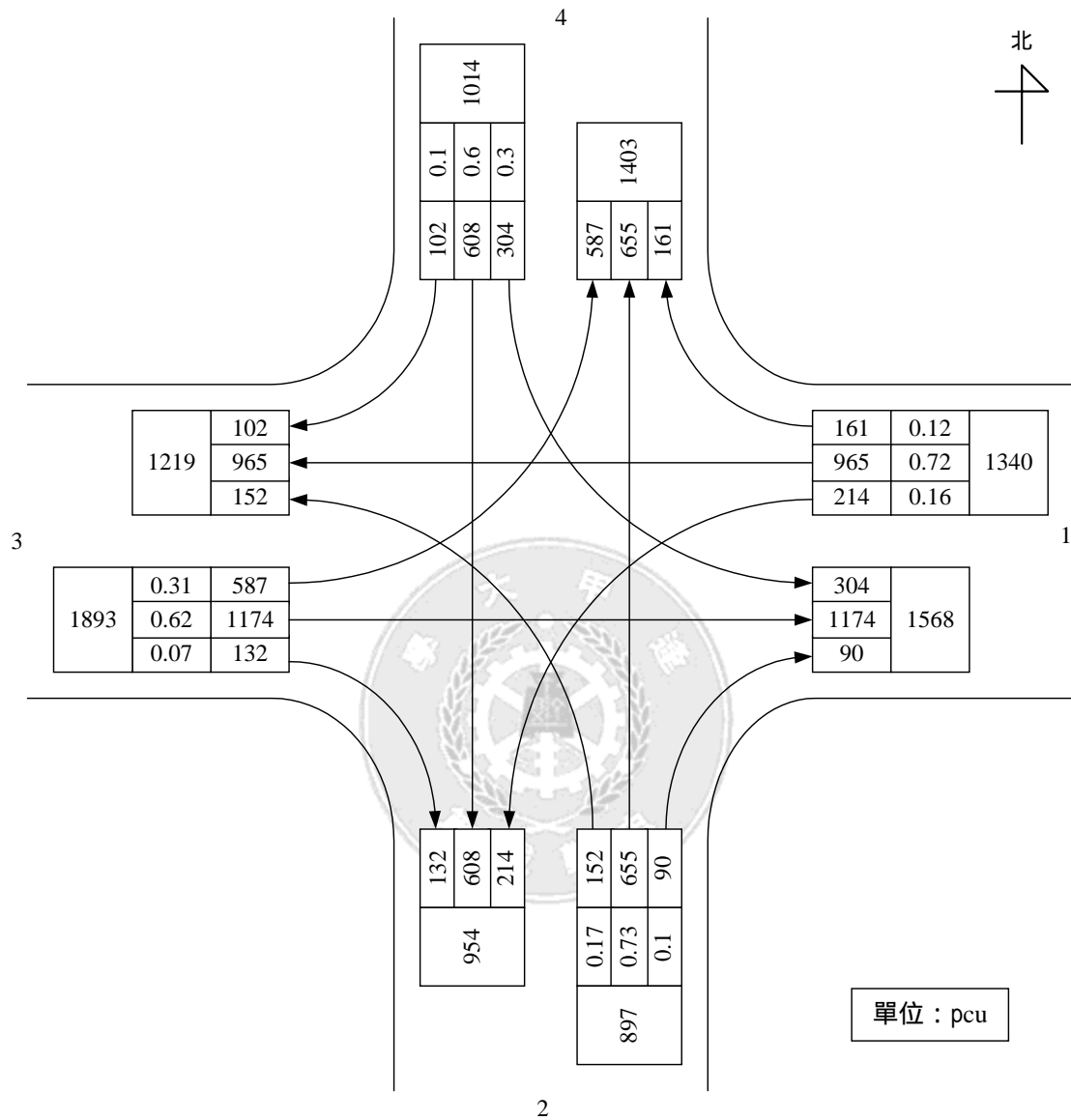


圖 6.3 虛擬第三路口轉向交通量示意圖

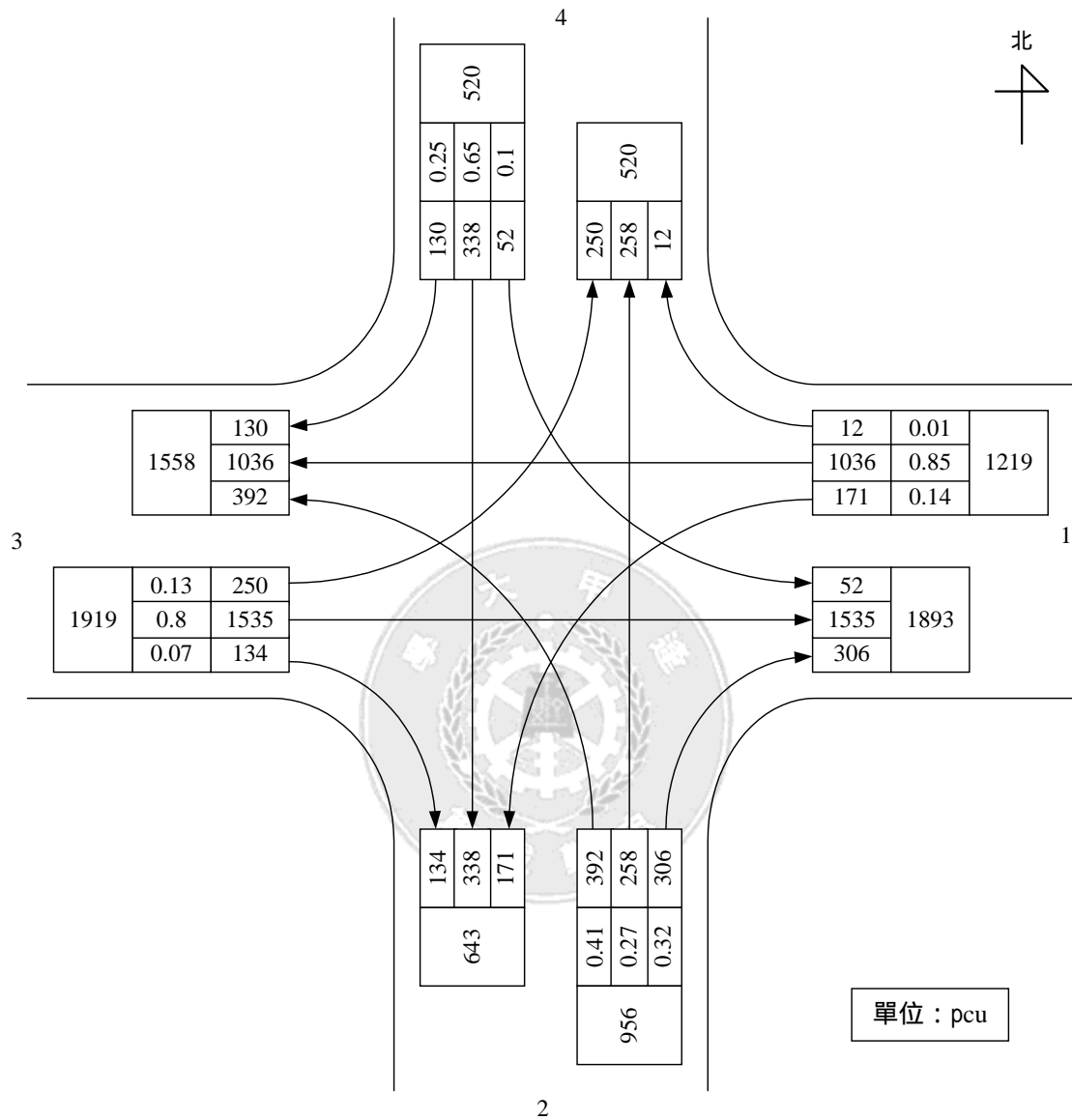


圖 6.4 虛擬第四路口轉向交通量示意圖

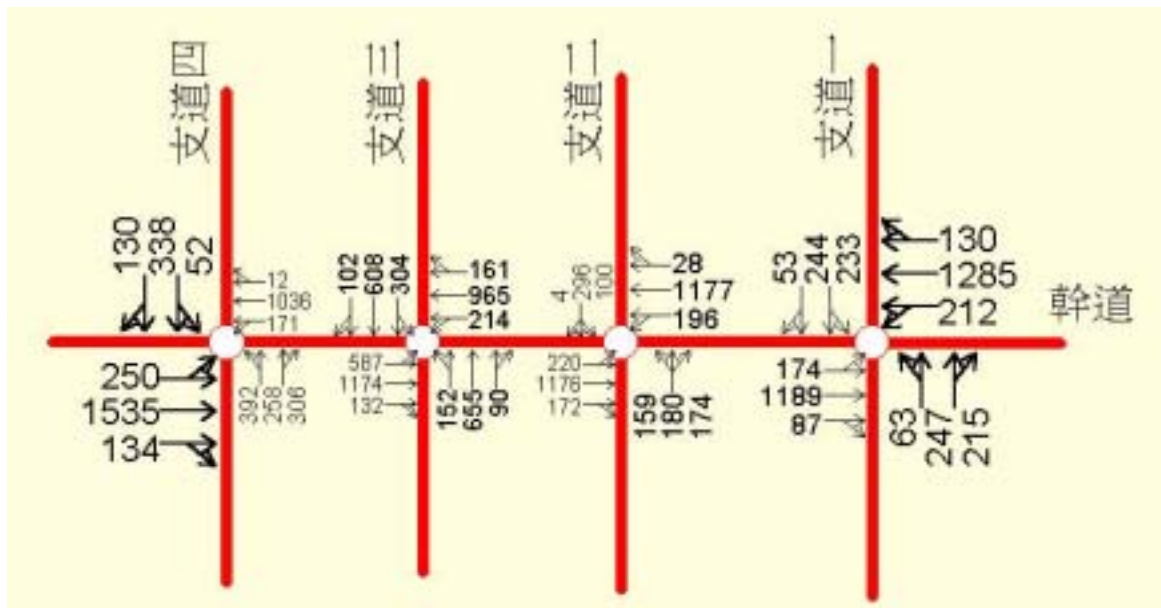


圖 6.5 虛擬幹道系統路口配置型式示意圖

## 6.2 幹道系統號誌時制整合設計程序之應用分析流程

以下將對於幹道系統號誌時制整合設計程序之應用分析流程做一說明，流程之各執行步驟如圖 6.6 所示：

- 步驟一：將虛擬四個路口資料先以簡單(普通)二時相設計，輸入至號誌求解軟體 Synchro 中求解得各路口以獨立路口二時相設計之時制計畫解，以作為後續車道配置準則與時相設計準則分析流程之用。
- 步驟二：將所求得簡單二時相時制計畫搭配虛擬路口資料，先以時相設計準則與車道配置準則進行判定，決定出四個路口各臨近路段之車道配置結果與四個方向之左轉保護需求。
- 步驟三：將時相設計準則與車道配置準則所決定出的車道配置與時相設計結果整合，以第三章進行過之整合分析流程，選定出各路口適當之時相組合方案。

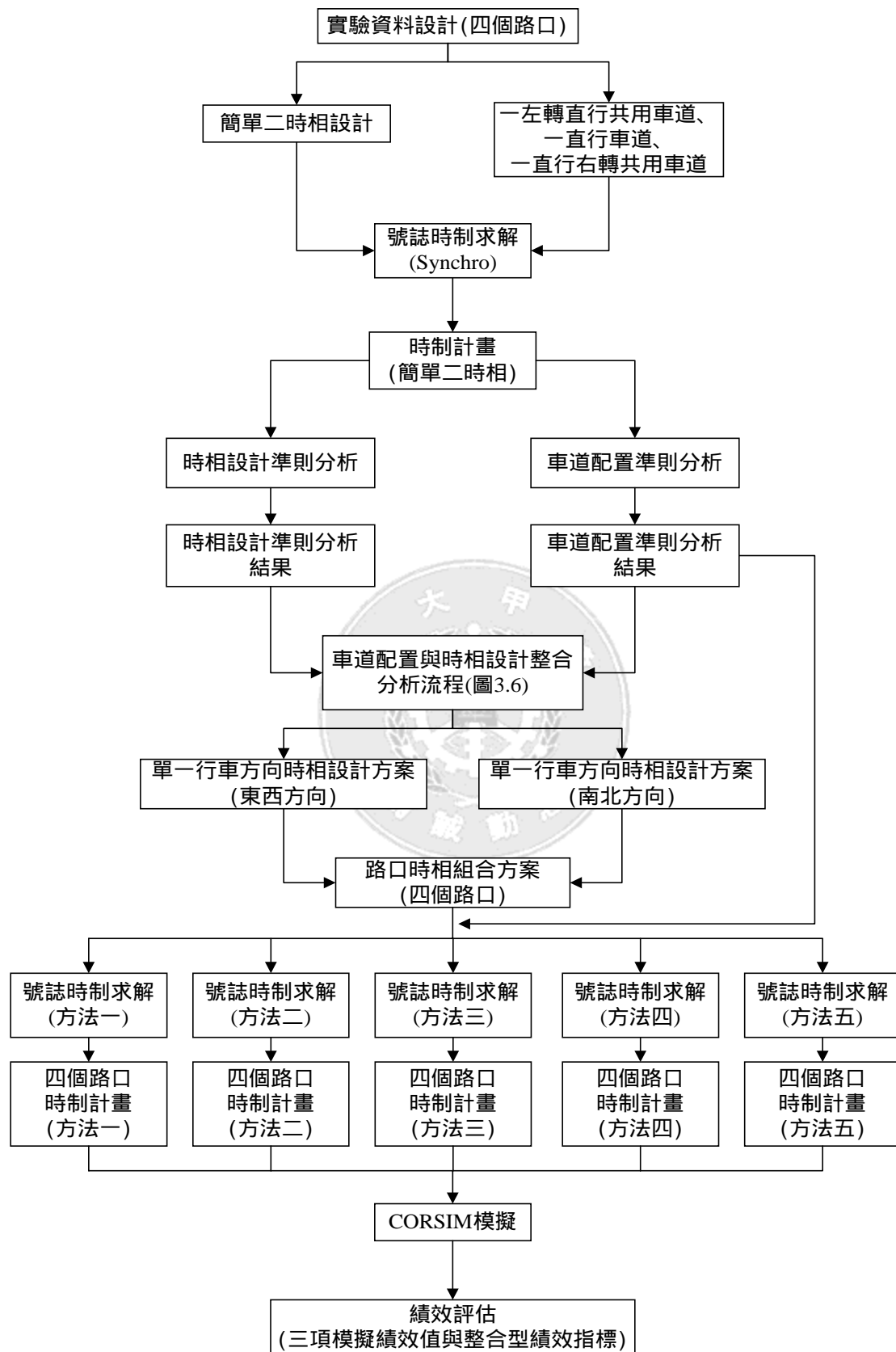


圖 6.6 幹道系統號誌時制整合設計程序應用與確認分析流程

步驟四：將所選擇之四個路口時相方案與車道配置準則判斷之車道配置方案，以下列五種求解時制計畫方式，求出各方法之最佳號誌時制計畫。以下將此五種方式分述如下：

方法一：利用號誌求解軟體 Synchro 求解其最佳時制計畫，所求得之時制計畫解訂為時制計畫方案一。

方法二：利用號誌求解軟體 TRANSYT 求解其最佳時制計畫，所求得之時制計畫解訂為時制計畫方案二。

方法三：以第四章所建立之新幹道系統延滯最小化數學規劃模式先求出最佳週期與時比，再將週期與時比解，代入至先前研究【7】所構建之最大化綠燈續進帶寬模式中求出時差，即得到完整之時制計畫解。上述兩模式之兩階段求解係以求解最佳化的電腦數值分析軟體 GAMS 進行求解，最後整合所求得之時制計畫解訂為時制計畫方案三。

以下為清楚分別方法三至方法五求解模式上的差異，以及便於說明方法三至方法五的應用模式，乃將方法三至方法五求解模式通式再進一步整理一次，以避免對於求解方法模式間造成混淆。

方法三之求解模式整理如下：

1. 新幹道系統延滯最小化數學規劃模式部份

$$\text{Min} \quad Z = \sum_{i=1}^n D_i \quad (4.1)$$

Subject to

$$D_i = (VEB_i \times DEB_i + VWB_i \times DWB_i + VNB_i \times DNB_i + VSB_i \times DSB_i) / TV_i \quad (4.2)$$

$i=1, \dots, n$

$$D(K)_i = \sum_{l=1}^j [V(K)_{i,l} \times D(K)_{i,l}] / \sum_{l=1}^j V(K)_{i,l} \quad (4.3)$$

$K=EB, WB, NB, SB$

$i=1, \dots, n$

$j$  為  $i$  路口所擁有的流向數。(一般而言  $j=4$ )

$$(I_a - I_b) \times (q(K)_{i,l} \times C - S(K)_{i,l} \times g(K)_{i,l}) \geq 0 \quad (4.17)$$

$$I_a + I_b = 1 \quad (4.18)$$

$$D(K)_{i,l} = I_a \times D(K)_{i,l,a} + I_b \times D(K)_{i,l,b} \quad (4.19)$$

$$D(K)_{i,l,a} =$$

$$\frac{\frac{1}{2} \times [q(K)_{i,l} \times n \times C^2 - n \times S(K)_{i,l} \times g(K)_{i,l} \times C + S(K)_{i,l} \times g(K)_{i,l} \times r(K)_{i,l}]}{q(K)_{i,l} \times C} \quad (4.20)$$

$$D(K)_{i,l,b} = \frac{q(K)_{i,l} \times r(K)_{i,l}^2 \times S(K)_{i,l}}{2 \times (S(K)_{i,l} - q(K)_{i,l}) \times q(K)_{i,l} \times C} \quad (4.21)$$

$$g(K)_{i,l} = \sum_{\phi j=1}^j A_{i,\phi j,l} - \ell(K)_{i,l} \quad (4.6)$$

$K=EB, WB, NB, SB \quad i=1, \dots, n$

$$I_l \times A_{i,\phi j,l} - I_l \times A_{i,\phi j,m} \geq 0 \quad (4.8)$$

$$I_m \times A_{i,\phi j,m} - I_m \times A_{i,\phi j,l} \geq 0 \quad (4.9)$$

$$I_l + I_m = 1 \quad (4.10)$$

$$P_{i,\phi j} = I_l \times A_{i,\phi j,l} + I_m \times A_{i,\phi j,m} \quad (4.11)$$

$$\text{Min } C \leq C \leq \text{Max } C \quad (4.12)$$

$$C = \sum_{\phi j} P_{i,\phi j} \quad (4.13)$$

$$\sum_{\phi j} P_{i,\phi j} = \sum_{\phi j} P_{i+1,\phi j} \quad (4.14)$$

$$P_{i,\phi j} - \text{Min} G_{i,\phi j} \geq 0 \quad (4.15)$$

$$|W_i \times D_i - W_{i+1} \times D_{i+1}| \leq \alpha \quad (4.22)$$

$$|W_K \times D(K)_i - W_{K+1} \times D(K+1)_i| \leq \beta \quad (4.23)$$

$I_l, I_m, I_a, I_b$  為 0 或 1 之整數變數

$$D_i, D(K)_i, D(K+1)_i, C, g(K)_{i,l}, A_{i,\phi j,l}, A_{i,\phi j,m}, P_{i,\phi j} \geq 0$$



## 2. 先前研究【7】所構建之最大化綠燈續進帶寬模式部份

$$\text{MAX } b + \bar{b}$$

Subject to

$$t_i + \bar{t}_i + \frac{1}{2}(r_i + \bar{r}_i) - \frac{1}{2}(r_{i+1} + \bar{r}_{i+1}) + (Q_i - Q_{i+1}) + (H_i - H_{i+1}) + (\bar{W}_i - \bar{W}_{i+1}) + \Delta_i - \Delta_{i+1} = I_i \quad (5.7)$$

$$\begin{aligned} \text{OFF}_i &= Q_i + H_i + t_i - Q_{i+1} - H_{i+1} \\ &= t_i + (Q_i - Q_{i+1}) + (H_i - H_{i+1}) \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} \overline{\text{OFF}}_i &= \bar{Q}_{i+1} + \bar{H}_{i+1} + \bar{t}_i - \bar{Q}_i - \bar{H}_i \\ &= \bar{t}_i + (\bar{Q}_{i+1} - \bar{Q}_i) + (\bar{H}_{i+1} - \bar{H}_i) \end{aligned} \quad (5.9)$$

$$Q_i + H_i + b + W_i + r_i = 1 \quad (5.10)$$

$$\bar{Q}_i + \bar{H}_i + \bar{b} + \bar{W}_i + \bar{r}_i = 1 \quad (5.11)$$

$$H_{i+1} \geq H_i + Q_i \quad (5.12)$$

$$\bar{H}_i \geq \bar{H}_{i+1} + \bar{Q}_{i+1} \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned} \frac{Q_i}{SH_i} \times C &\geq \lambda_i [(W_{i-1} - W_i) + r_{i-1}] \times C \\ \Rightarrow Q_i &\geq SH_i \cdot \lambda_i [(W_{i-1} - W_i) + r_{i-1}] \end{aligned} \quad (5.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\bar{Q}_i}{\bar{SH}_i} \times C &\geq \bar{\lambda}_i [(\bar{W}_{i+1} - \bar{W}_i) + \bar{r}_{i+1}] \times C \\ \Rightarrow \bar{Q}_i &\geq \bar{SH}_i \cdot \bar{\lambda}_i [(\bar{W}_{i+1} - \bar{W}_i) + \bar{r}_{i+1}] \end{aligned} \quad (5.18)$$

$$b_i = b + Q_i + H_i \quad (5.19)$$

$$\bar{b}_i = \bar{b} + \bar{Q}_i + \bar{H}_i \quad (5.20)$$

$$\bar{b} = Kb \quad (5.21)$$

$$r_i - \Delta_i \geq \text{MING}_i \quad (5.22)$$

$$1/C_2 \leq \pi \leq 1/C_1 \quad (5.23)$$

$$(d_i / f_i) \pi \leq t_i \leq (d_i / m_i) \pi \quad (5.24)$$

$$(\bar{d}_i / \bar{f}_i) \pi \leq \bar{t}_i \leq (\bar{d}_i / \bar{m}_i) \pi \quad (5.25)$$

$$(d_i / h_i) \pi \leq (d_i / d_{i+1}) t_{i+1} \leq (d_i / n_i) \pi \quad (5.26)$$

$$(\bar{d}_{i+1} / \bar{h}_{i+1})\pi \leq (\bar{d}_{i+1} / \bar{d}_i)\bar{t}_i - \bar{t}_{i+1} \leq (\bar{d}_{i+1} / \bar{n}_{i+1})\pi \quad (5.27)$$

$$b, \bar{b}, \pi, W_i, \bar{W}_i, H_i, \bar{H}_i, t_i, \bar{t}_i, OFF_i, \bar{OFF}_i, Q_i, \bar{Q}_i \geq 0$$

方法四：以第四章所建立之新幹道系統延滯最小化數學規劃模式先求出最佳週期與時比，再將週期與時比解，代入至先前研究【7】所構建之最大化綠燈續進帶寬模式去除綠燈帶寬真正存在限制式（即式 5.12 與式 5.13），如此作法之目的乃為針對此二限制式，其對於模式造成鋸齒狀帶寬之影響，因此將此二限制式去除，最後求得時差，即得到完整之時制計畫解。上述兩模式之兩階段求解係以求解最佳化的電腦數值分析軟體 GAMS 進行求解，最後整合所求得之時制計畫解訂為時制計畫方案四。

方法四之求解模式整理如下：

1. 新幹道系統延滯最小化數學規劃模式部份  
與方法三相同。

2. 先前研究【7】所構建之最大化綠燈續進帶寬模式去除綠燈帶寬真正存在限制式部份  
將式 5.12 與式 5.13 自模式中去除，不納入模式中求解，其餘部份與方法三相同。

方法五：以第四章所建立之新幹道系統延滯最小化數學規劃模式先求出最佳週期與時比，再將週期與時比解，代入至第五章最後調整建立之新幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式求得幹道連鎖時差，即得到完整之時制計畫解。上述兩模式之兩階段求解係以求解最佳化的電腦數值分析軟體 GAMS 進行求解，最後整合所求得之時制計畫解訂為時制計畫方案五。

方法五之求解模式整理如下：

1. 新幹道系統延滯最小化數學規劃模式部份  
與方法三相同。

2. 本研究調整建立之新幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整  
數規劃模式

$$\text{MAX } Z = \sum_{i=1}^n (B_i + \bar{B}_i) \quad (5.28)$$

Subject to

$$B_i = B_{f,i} + B_{r,i} \quad (5.29)$$

$$\bar{B}_i = \bar{B}_{f,i} + \bar{B}_{r,i} \quad (5.30)$$

$$t_i + \bar{t}_i + \frac{1}{2}(r_i + \bar{r}_i) - \frac{1}{2}(r_{i+1} + \bar{r}_{i+1}) + (F_i - F_{i+1}) + (\bar{W}_i - \bar{W}_{i+1}) + \Delta_i - \Delta_{i+1} = I_i \quad (5.33)$$

$$\text{OFF}_i = F_i - F_{i+1} + t_i \quad (5.34)$$

$$\bar{\text{OFF}}_i = \bar{F}_{i+1} - \bar{F}_i + \bar{t}_i \quad (5.35)$$

$$F_i + W_i + r_i = 1 \quad (5.36)$$

$$\bar{F}_i + \bar{W}_i + \bar{r}_i = 1 \quad (5.37)$$

$$I_i \times F_{i+1} - I_i \times F_i \geq 0 \quad (5.38)$$

$$I_j \times F_i - I_j \times F_{i+1} \geq 0 \quad (5.39)$$

$$I_i + I_j = 1 \quad (5.40)$$

$$B_{f,i} = I_i \times F_i + I_j \times F_{i+1} \quad (5.41)$$

$$I_\ell \times \bar{F}_i - I_\ell \times \bar{F}_{i+1} \geq 0 \quad (5.42)$$

$$I_m \times \bar{F}_{i+1} - I_m \times \bar{F}_i \geq 0 \quad (5.43)$$

$$I_\ell + I_m = 1 \quad (5.44)$$

$$\bar{B}_{f,i+1} = I_\ell \times \bar{F}_{i+1} + I_m \times \bar{F}_i \quad (5.45)$$

$$I_p \times W_{i+1} - I_p \times W_i \geq 0 \quad (5.46)$$

$$I_q \times W_i - I_q \times W_{i+1} \geq 0 \quad (5.47)$$

$$I_p + I_q = 1 \quad (5.48)$$

$$B_{r,i} = I_p \times W_i + I_q \times W_{i+1} \quad (5.49)$$

$$I_r \times \overline{W}_i - I_r \times \overline{W}_{i+1} \geq 0 \quad (5.50)$$

$$I_s \times \overline{W}_{i+1} - I_s \times \overline{W}_i \geq 0 \quad (5.51)$$

$$I_r + I_s = 1 \quad (5.52)$$

$$\overline{B}_{r,i+1} = I_r \times \overline{W}_{i+1} + I_s \times \overline{W}_i \quad (5.53)$$

$$\overline{B}_i = KB_i \quad (5.54)$$

$$K = \frac{(\overline{V}/\overline{S})}{(V/S)} \quad (5.55)$$

$$r_i - \Delta_i \geq \text{MING}_i \quad (5.22)$$

$$1/C_2 \leq \pi \leq 1/C_1 \quad (5.23)$$

$$(d_i / f_i) \pi \leq t_i \leq (d_i / m_i) \pi \quad (5.24)$$

$$(\overline{d}_i / \overline{f}_i) \pi \leq \overline{t}_i \leq (\overline{d}_i / \overline{m}_i) \pi \quad (5.25)$$

$$(d_i / h_i) \pi \leq (d_i / d_{i+1}) t_{i+1} \leq (d_i / n_i) \pi \quad (5.26)$$

$$(\overline{d}_{i+1} / \overline{h}_{i+1}) \pi \leq (\overline{d}_{i+1} / \overline{d}_i) \overline{t}_i - \overline{t}_{i+1} \leq (\overline{d}_{i+1} / \overline{n}_{i+1}) \pi \quad (5.27)$$

$I_i, I_j, I_l, I_m, I_p, I_q, I_r, I_s$  等為 0 或 1 的整數變數

$B_i, \overline{B}_i, B_{f,i}, \overline{B}_{f,i}, B_{r,i}, \overline{B}_{r,i}, F_i, \overline{F}_i, W_i, \overline{W}_i, t_i, \overline{t}_i \geq 0$

另外，本研究針對上述求解方法三、方法四與方法五之過程，關於延滯均一限制式(式 4.22 與式 4.23)與有關車輛行駛速率方面之限制式(式 5.24 式 5.27)於求解中所處理過程加以說明如下：

### 1. 延滯均一限制式

於第四章關於延滯均一限制式說明部份提及使用時可依據使用者實際執行時之考量及延滯差值精確度之需求而自行彈性調整，本研究於此一部份之執行過程是先不將延滯均一限制式納入模式求解，從第一次求得解中視各路口間平均延滯差異與路口之各時相間

平均延滯差異來判斷，當彼此延滯差值超過所假定範圍（本研究初步訂定 5 秒），則加入路口間或時相間的延滯均一限制式再次進行求解，若可求得最佳解即完成求解動作，若無法求得最佳解則逐步將所訂定之延滯差值範圍放寬以鬆弛限制式條件，直至求得最佳解終止求解流程（本研究於此部份求解過程，當路口間平均延滯差值範圍 10 秒、時相間平均延滯差值範圍 15 秒時求得最佳解）。

## 2. 有關車輛行駛速率方面之限制式

有關車輛行駛速率方面之限制式有同路段之車輛行駛速度上下限及鄰近路段車輛行駛速度改變上下限兩大部分，速率上限與下限之數值亦可由使用者依據所需，自行訂定合理狀況之速率上下限，本研究於此一實驗應用案例初步是以速率上限 50 公里/小時、下限 30 公里/小時為輸入值，因無法求得最佳值，且檢查 GAMS 軟體計算結果不符合求解限制式條件皆產生於有關車輛行駛速率方面的限制條件，因此乃將速率上限修訂為 60 公里/小時與下限 10 公里/小時，此一速率上下限尚屬車流狀況合理結果，最後進而求出模式之最佳解。

步驟五：將所求得之五組方案時制計畫解，與虛擬之幹道系統路口與流量資料輸入至車流模擬軟體 CORSIM 中進行模擬，得出平均延滯、停等百分比與平均速率等三項效率面之績效指標，另外亦以整合指標計算式求得整合型績效指標，最後做五時制方案之績效指標評估。

由於號誌時制求解軟體 Synchro 本身具備有圖形動畫的微觀車流模擬功能，本研究於求取模擬績效值部份之所以捨棄軟體 Synchro 不用而以軟體 CORSIM 來進行，除了因為軟體 CORSIM 為進行模擬時常被使用外，另一主因則是號誌時制求解方法一即為以軟體 Synchro 進行求

解，若模擬亦採用軟體 Synchro 模擬，則求解方法一(Synchro 求解)所得時制計畫可能獲得較其它方法為佳之績效值，若依據如此結果分析並不客觀，因此本研究乃決定採以不受求解方法所干擾影響執行模擬時的公正客觀性之軟體 CORSIM，以進行模擬工作，而第三章進行單一路口車道配置與號誌時制整合設計模式之建立與確認，執行流程亦以軟體 CORSIM 進行模擬則是考量本章模擬使用軟體 CORSIM，而為兼顧模擬分析過程之一致性而也選以 CORSIM 作為模擬之用，本研究對此特別加以補充說明。

另外有關本研究於此應用分析流程所構建之 CORSIM 4.0 模擬幹道系統四個路口的虛擬路網圖，如圖 6.7 所示，節點 8000 8009 是界外節點，5 14 為進入至路段中之虛擬節點，15 29 則為進入臨近路段端之虛擬節點，於第三章已針對 CORSIM 4.0 之模擬無法針對路口績效加以探討的特性初步說明，因此本研究於計算延滯與停等百分比時，係以臨近路段部份計算模擬值(即圖 6.7 中計算 15 1、16 1、17 1、24 1、25 2、18 2、19 2、26 2、27 3、28 3、20 3、21 3、29 4、23 4、12 4、22 4 之績效，12—4 長度 95m 小於臨近路段設定 100m，故節點 12 亦可同時視為臨近路段端之虛擬節點及路段長度之虛擬節點)，平均速率才以整體路網路段模擬獲得績效(即以圖 6.7 中去除進入臨近路段端之虛擬節點 15 29 進行模擬，計算 5 1、6 1、7 1、2 1、1 2、8 2、9 2、3 2、2 3、10 3、11 3、4 3、3 4、12 4、22 4、14 4 之績效)。

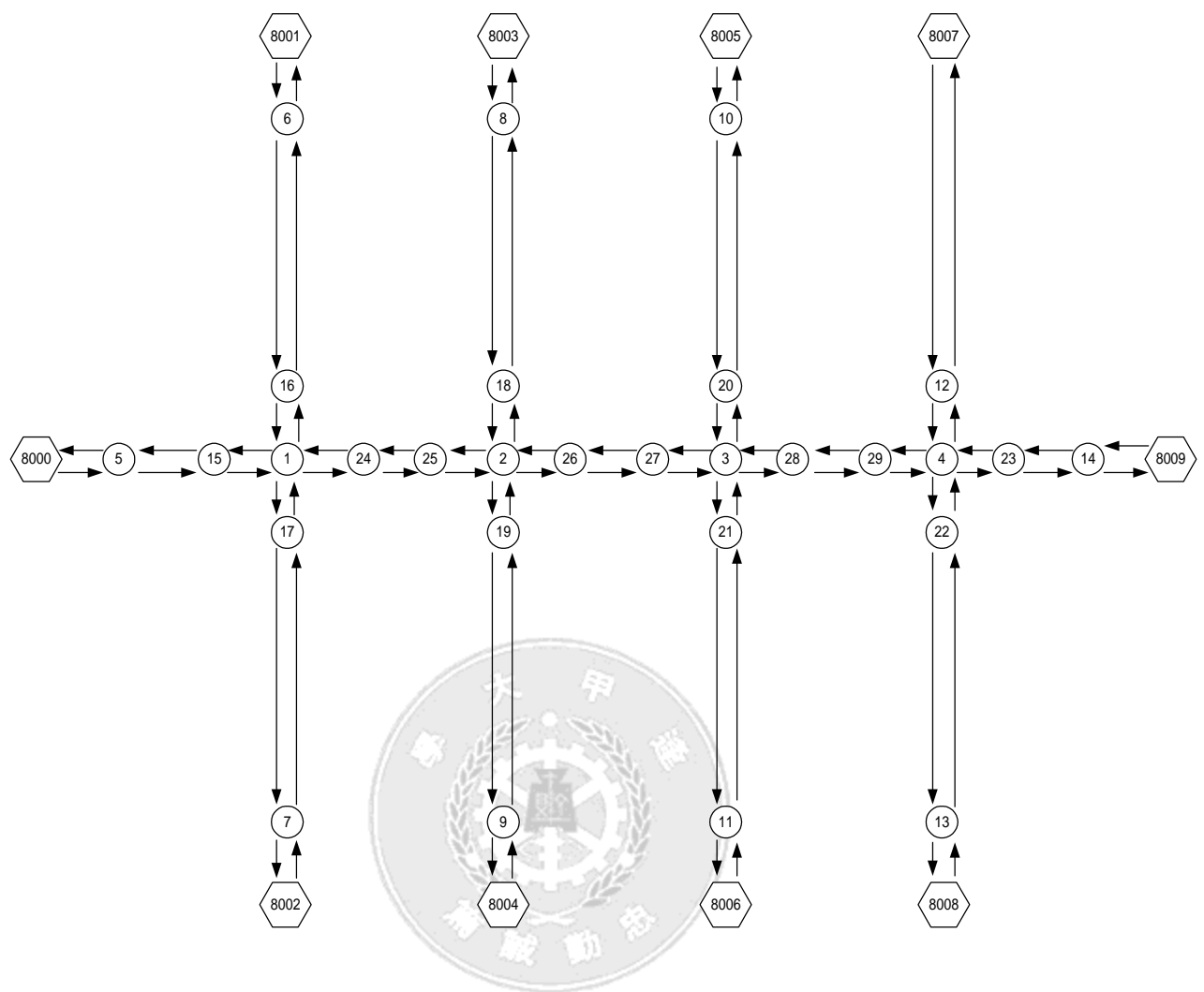


圖 6.7 虛擬四個路口模擬之 CORSIM 構建圖

以下將經由車道配置準則、時相設計準則以及車道配置暨時相整合分析流程所得之車道配置結果、左轉時相需求與否與整合分析得出的時相組合方案結果彙整於表 6.5 至表 6.8；表 6.9 為各路口時制計畫之時相順序；另外將各方案求得之各路口時制計畫解亦整理於表 6.10 至表 6.14，表中之時相長度時間包含黃燈時間與全紅時間，且第一路口的第三時相長度與第四路口的第三時相長度即為早開時相中早開綠燈時間，而第一時相與第二時相分別為東西方向時制，第三與第四時相則為南北方向時制。

表 6.5 第一路口時相需求、車道配置與時相方案結果

	往東方向	往西方向	往北方向	往南方向
時相設計準則 結果	需要左轉保護	需要左轉保護	不需左轉保護	需要左轉保護
車道配置準則 結果	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道	配置一直行右 轉共用車道、 一左轉直行共 用車道	配置一直行右 轉共用車道、 一左轉直行共 用車道
整合分析所得 時相方案結果	輪放時相		往南方向早開時相	

表 6.6 第二路口時相需求、車道配置與時相方案結果

	往東方向	往西方向	往北方向	往南方向
時相設計準則 結果	需要左轉保護	需要左轉保護	需要左轉保護	需要左轉保護
車道配置準則 結果	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道	配置一左轉直 行右轉共用車 道	配置一左轉直 行右轉共用車 道
整合分析所得 時相方案結果	輪放時相		輪放時相	



表 6.7 第三路口時相需求、車道配置與時相方案結果

	往東方向	往西方向	往北方向	往南方向
時相設計準則 結果	需要左轉保護	需要左轉保護	需要左轉保護	需要左轉保護
車道配置準則 結果	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道
整合分析所得 時相方案結果	輪放時相		輪放時相	

表 6.8 第四路口時相需求、車道配置與時相方案結果

	往東方向	往西方向	往北方向	往南方向
時相設計準則 結果	需要左轉保護	需要左轉保護	需要左轉保護	不需左轉保護
車道配置準則 結果	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道	配置一直行右 轉共用車道、 一直行車道、 一左轉直行共 用車道
整合分析所得 時相方案結果	輪放時相		往北方向早開時相	

表 6.9 各路口時制計畫之時相順序













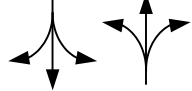


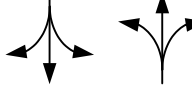
路口 時相 順序	第一路口	第二路口	第三路口	第四路口
第一 時相				
第二 時相				
第三 時相				
第四 時相				

表 6.10 時制方案一時制計畫

單位：秒

路口 時制	第一路口	第二路口	第三路口	第四路口
第一時 相長度	28	26	28	30
第二時 相長度	32	26	28	28
第三時 相長度	20	24	23	22
第四時 相長度	21	25	22	21
時差	97	82	0	83
週期	101			

表 6.11 時制方案二時制計畫

單位：秒

路口 時制	第一路口	第二路口	第三路口	第四路口
第一時 相長度	59	49	64	74
第二時 相長度	65	44	46	49
第三時 相長度	20	39	37	20
第四時 相長度	36	48	33	37
時差	1	179	0	0
週期	180			

表 6.12 時制方案三時制計畫

單位：秒

路口 時制	第一路口	第二路口	第三路口	第四路口
第一時 相長度	34	34	43	34
第二時 相長度	37	31	26	24
第三時 相長度	20	21	20	33
第四時 相長度	20	25	22	20
時差	109	109	0	5
週期	111			

表 6.13 時制方案四時制計畫

單位：秒

路口 時制	第一路口	第二路口	第三路口	第四路口
第一時 相長度	34	34	43	34
第二時 相長度	37	31	26	24
第三時 相長度	20	21	20	33
第四時 相長度	20	25	22	20
時差	24	23	0	30
週期	111			

表 6.14 時制方案五時制計畫

單位：秒

路口 時制	第一路口	第二路口	第三路口	第四路口
第一時 相長度	34	34	43	34
第二時 相長度	37	31	26	24
第三時 相長度	20	21	20	33
第四時 相長度	20	25	22	20
時差	29	21	0	29
週期	111			

最後本研究將模擬與求得之各時制計畫方案的四項績效指標結果與排序結果彙整於表 6.15 與表 6.16。

表 6.15 各時制方案各績效彙整表

績效指標 時相方案	平均延滯 (秒/車)	停等百分比 (%)	平均速率 (英里/小時)	整合績效值 (PI)
時制方案 1	64.80	86.56	5.59	324,799.61
時制方案 2	73.42	71.16	5.74	699,578.22
時制方案 3	72.09	89.28	4.93	313,362.17
時制方案 4	66.32	85.44	5.47	308,849.23
時制方案 5	66.12	84.29	5.41	309,363.48

表 6.16 各時制方案之績效彙整表

績效指標 排序名次	平均延滯 (秒/車)	停等百分比 (%)	平均速率 (英里/小時)	整合績效值 (PI)
1	時制方案 1	時制方案 2	時制方案 2	時制方案 4
2	時制方案 5	時制方案 5	時制方案 1	時制方案 5
3	時制方案 4	時制方案 4	時制方案 4	時制方案 3
4	時制方案 3	時制方案 1	時制方案 5	時制方案 1
5	時制方案 2	時制方案 3	時制方案 3	時制方案 2

由表 6.16 中之排序結果判斷，TRANSYT（時制方案 2）於效率績效表現上有較佳之呈現，在停等百分比與平均速率方面皆為第一排序，TRANSYT 為交通工程師在設計號誌時制上普遍使用且已經使用很長一段時間之號誌求解軟體。另外 Synchro（時制方案 1）也在平均延滯績效表現上為最佳，而平均速率上也有第二之績效呈現。以先前研究【7】所

構建之最大化綠燈續進帶寬模式（時制方案 3）求解的方法其績效表現上較不理想，僅整合績效指標以第三排序為其最佳呈現，大致而言，皆較修正後之求解方法（時制方案 4 與時制方案 5）為劣，而與號誌求解軟體求解的 Synchro 與 TRANSYT（時制方案 1 與時制方案 2）比較來看僅在整合績效值優於此兩方案，以及平均延滯績效上優於 TRANSYT，其餘皆劣於此兩方案績效呈現。反觀以先前研究【7】所構建之最大化綠燈續進帶寬模式將綠燈帶寬真正存在限制式去除之方法求解（時制方案 4）在平均速率指標與整合績效指標優於時制方案 3 與時制方案 5，且整合型績效指標方面為五種方法求解中之最佳方案。在本研究建立之新幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式（時制方案 5）方面於平均延滯、停等百分比與整合型績效指標上皆為第二排序之績效表現，不過在平均速率上則落居第四的績效呈現，惟此乃本模式初次構建所得績效，結果應可再隨後續改善而日臻完善下，有效提升其績效。

就本例應用過程與整體求解方法來說，數學模式求解與電腦號誌軟體求解之績效呈現各有所長，互有領先，TRANSYT 於不同績效呈現上差異性頗大，Synchro 次之，數學規劃模式求解方法部份在各績效值間呈現上大致較為平均，尤其以先前研究【7】所構建之最大化綠燈續進帶寬模式將綠燈帶寬真正存在限制式去除之方法及本研究建立之新幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式兩種求解法各績效值雖互有領先但差異值不大，表現均一。如果單以數學規劃模式求解之三種方法觀之，新修正之求解方法與新構建模式皆有較佳之績效值產生，隱含本研究嘗試調整模式與去除帶寬綠燈帶寬真正存在限制式之求解法對於改進先前研究模式之求解上有若干程度的幫助。

### 6.3 小結

總和以上結果，本研究可根據應用分析流程與績效評估中得到以下初步結論：

1. 透過幹道系統號誌時制整合設計程序，將車道配置、時相設計與時制求解加以結合，確能有效達到設計與產製號誌時制計畫之目的。
2. 經過應用分析程序與績效評估，車道配置準則與時相設計準則可有效與時制求解程序整合，包括軟體求解與模式求解。
3. 結合新幹道系統延滯最小化數學規劃模式與新幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式兩階段求解之方式，能夠求得時制計畫之可行解。
4. 以三種數學規劃模式而言，結合新幹道系統延滯最小化數學規劃模式與最大化綠燈續進帶寬模式去除綠燈帶寬真正存在限制式之方式，以及結合新幹道系統延滯最小化數學規劃模式與本研究建立之新幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式之方式兩階段求解，透過本研究虛擬之資料加以應用，從所得時制計畫進行績效評估與分析後，皆較先前研究模式之求解有較佳之績效結果產生，顯示此兩方法有助於號誌時制求解模式之進一步修正。
5. 研究僅以此一虛擬幹道資料做此應用分析程序，所得結論亦僅呈現此一整體分析程序之績效比較結果，未來應以更多不同之資料進行多次之實例應用檢測，才能有助於對模式績效上及整合程序績效上做進一步確認。
6. 經由本研究之整合車道配置、時相設計分析，以及結合號誌時制求解模式之整體時制計畫產製過程，並加以績效評估分析後，依據此結果而言，可將此一執行流程建立並確立為幹道系統車道配置與號誌時制整合設計程序。

## 第七章 結論與建議

經過本研究之研究流程與所得結果，將所得結論與所提出建議彙整於下：

### 7.1 結論

根據本研究所進行之研究流程與探討，將所獲得之研究結果歸納如下若干結論：

1. 本研究應用車道配置準則與時相設計準則之分析，決定出車道配置與時相設計結果後，再加以整合分析以選定各方向之時相組合方案，此一流程實能獲得一合理適當的時相方案。
2. 經過車道配置與時相設計整合分析流程所得時相組合方案與 24 組不同時相組合方案，進行車流模擬軟體 CORSIM 模擬所得績效值與透過整合績效指標計算方式得到的整合績效值加以比較，於平均延滯與平均速率之績效呈現上有平均水準以上之表現，在整合績效指標之績效則有 25 組方案中最佳之績效呈現，亦即在整體考量效率與安全之下，整合分析流程確能決定出適當且較佳之時相方案，另也證明車道配置準則與時相設計準則其分析結果具有有效性。
3. 本研究透過對於不同飽和度狀態延滯公式之探討與修正，以及對於各路口間與各流動（時相）之延滯加以限制，分別構建依據不同飽和度狀態使用適合不同飽和度的延滯公式限制計算式，以及路口間與流動（時相）間的延滯均一化限制式，改良幹道系統新延滯最小化數學規劃模式據以建立之新幹道系統延滯最小化數學規劃模式，經過幹道系統號誌時制整合設計程序之整合應用與分析，確能求得時制計畫解。
4. 本研究以續進可能值之觀念求取可續進帶寬最大之新幹道系統最大化綠燈續進帶寬混合整數規劃模式，經過與新幹道系統延滯最小化數



學規劃模式整合以兩階段方式求解，在以幹道系統號誌時制整合設計程序之應用分析流程探討後，確能求得合理之時制計畫。

5. 整體求解幹道號誌時制計畫模式在經過修正後，無論是去除綠燈帶寬限制式與改變求取幹道整體續進帶寬之目標上，皆有助於改善先前研究所構建之舊有模式。
6. 透過整合車道配置、時相設計準則分析，再結合號誌時制求解模式，經由本研究進行虛擬單一路口資料及幹道虛擬四路口資料之執行應用程序，藉由績效評估分析與探討，分別建立與確認得到單一路口車道配置與號誌時制整合設計模式和幹道系統車道配置與號誌時制整合設計程序。
7. 經過本研究探討所建立與確認之單一路口以及幹道系統車道配置與號誌時制整合設計程序，能夠提供交通工程師於實務上號誌時制之規劃設計與交通管理單位評估現況號誌時制時之參考工具。

## 7.2 建議

本研究就進行研究過程與完成本研究之成果擬定以下之建議，提供後續進行相關研究時之參考：

1. 本研究於車道配置與時相設計準則之整合應用和分析程序係以一虛擬路口資料進行，另外在幹道系統號誌時制整合設計程序之應用探討亦僅以一虛擬幹道資料作為確認時之實驗執行，在虛擬資料過程完全隨機給定，為仔細考量現況，故未來之研究可朝向以實際路口資料或考量更為完備之各項虛擬資料，作為更進一步研究或加以驗證時之應用。
2. 對於執行實驗過程之虛擬資料，後續研究可針對不同之路口轉向比以及流率比、不同飽和度狀況或不同路口幾何配置情形加以假設擬定，應有助於對號誌時制整合設計程序之各項細部步驟，如車道配置、時相設計準則與整合分析流程之有效度，亦或是幹道號誌時制求解模式

之正確性與績效檢測繼續加以進行探究。

3. 後續研究亦可就車道配置準則、時相設計準則繼續加以探討各項子準則之定性與定量之分析門檻，以及進一步討論結合各項準則之整體分析流程是否有未考量完整之處，以確立更為完整之整合分析程序。
4. 未來研究可再繼續對於幹道號誌時制求解模式更進一步探討與改正，或更細部進行每一限制式與計算式之修正，使得幹道號誌時制求解模式更臻完善。
5. 由於本研究於幹道號誌時制求解模式中，新幹道系統延滯最小化數學規劃模式於過飽和車流狀況和未飽和車流狀況的延滯計算皆是以 May 的連續型延滯模式加以推導而得，而 May 之模式之最大基本假設為車流皆是以均一之狀態到達，此與實際車流狀況有所差異，因為本研究係先以對於不同車流飽和狀態，應該以適合不同車流狀態之延滯計算方法求算延滯，將此概念提出並應用在 May 之進一步推導模式當中，所以建議後續研究可再針對於 May 之延滯模式或者不同車流到達狀況進一步探究，以提出更加適當之延滯計算模式，改進 May 延滯模式受限均一到達之假設。
6. 後續研究亦可針對不同號誌時制求解軟體其求解策略邏輯或相關應用限制著手探討，亦能幫助未來進一步修正幹道號誌時制求解模式時之參考與改善方向。

## 參考文獻

1. 台灣省政府交通處，車道配置與時制設計之整體績效評估，民國八十七年六月。
2. 交通部運輸研究所，交通號誌規劃手冊，民國七十五年三月。
3. 何文元，包含車道配置、時相規劃與時制設計在內之獨立路口最佳交通工程整合設計研究，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國九十年六月。
4. 何志宏、劉嘉祐，市區獨立路口混合車流下交通工程整合規設之研究，中華民國運輸學會第十一屆學術論文研討會論文集，第 367-378 頁，民國八十五年十二月。
5. 何美瑩，號誌化交叉路口車輛延滯模式之研究，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國七十九年六月。
6. 李佳玲，整合市區道路規劃、車道配置與號誌時制設計之專家系統構建研究，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十四年六月。
7. 林良泰，在綠燈帶最大及負效用最小下動態幹道號誌時制之研究，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國七十六年六月。
8. 林良泰、張建彥、朱純孝、張嘉惠，考量安全與效率下號誌化路口整體績效評估之研究，運輸計畫季刊，第二十九卷第二期，第 319-344 頁，交通部運輸研究所，民國八十九年六月。
9. 林良泰、楊杰興、黃宏仁，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，運輸計畫季刊，第三十卷第四

- 期，第 795-822 頁，交通部運輸研究所，民國九十年十二月。
10. 林良泰、許乃文、賴建宇、鄭秀綾，號誌時制設計軟體 Synchro 之評析與應用，都市交通季刊，第十七卷第一期，第 16-30 頁，台北市交通安全促進會，民國九十一年三月。
  11. 邱大恭，獨立交叉路口號誌時制數學規劃模式之研究，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國七十六年六月。
  12. 范玉琳，交叉路口綠燈早開或遲閉號誌控制之研究，國立成功大學土木工程學研究所碩士論文，民國六十八年四月。
  13. 陳良俊，市區路口交通管制工程設施自動化整合設計之研究，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民國八十六年七月。
  14. 黃士哲，紅燈右轉下駕駛者行為之探討及右轉專用道設置之研究，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國七十四年六月。
  15. 黃惠隆，幹道綠燈帶寬最大及延滯最小號誌時制設計之研究，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，民國七十七年六月。
  16. 蔡輝昇，交通控制理論與實務，生合成出版社，民國七十九年四月。
  17. 鄭有欽，路口車道配置與號誌時制設計整合之研究，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國八十三年六月。
  18. Anthony Brooke, David Kendrick, Alexander Meeraus, Ramesh Raman, "GAMS A USER'S GUIDE", GAMS Development Corporation, 1998.

19. David Husch, John Albeck, "Synchro 4.0 User Guide,"Trafficware,2000.
20. Gartner et al, "Optimization of traffic signal settings by mixed integer linear programming. Part I:the network coordination problem" , Transportation Science 9,pp321-343,1975a.
21. Gartner et al, "Optimization of traffic signal settings by mixed integer linear programming. Part II:the network synchronization problem" , Transportation Science 9,pp321-343,1975b.
22. J.D.C.Little,"The synchronization of traffic signals by mixed-integer linear programming" , Operations Research 14,pp568-594,1966.
23. U.S.Department of Transportation Federal Highway Administration , "TRANSYT-7F Users Guide" , 1998.

