

國立交通大學

運輸科技與管理學系

碩士論文

號誌路口時制轉換時段長度之模擬研究

A Study on Timing Transition Periods at Signalized
Intersections Using Simulation Approach

研究生：田永平

指導教授：卓訓榮 教授、林貴璽教授

中華民國九十五年六月

號誌路口時制轉換時段長度之模擬研究
A Study on Timing Transition Periods at Signalized Intersections
Using Simulation Approach

研究生：田永平

Student : Yung-Ping Tien

指導教授：卓訓榮

Advisor : Hsun-Jung Cho

林貴璽

Guey-Shii Lin

國立交通大學
運輸科技與管理學系
碩士論文

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

摘要

路網中的號誌路口是都市運輸系統中最重要之設施之一，而現今路口的號誌控制器皆可建置多套時制計畫，能在預設的時間或有特定需求時進行時制轉換，以因應不同的交通狀況。由於目前對不同號誌時制轉換方法的效率、轉換期間的長短、時相補償程序對路口績效水準的影響等甚少實證，且在相關文獻中，亦鮮少涉及前後不同的時制計畫的轉換與程序。本研究首先由文獻回顧綜合各種時制設計方法與轉換原則，建構一同時具備多重與重疊時相遞換能力的時制轉換模式，並經由 TSIS 模擬平台的輔助，發展 RTE 外掛程式，提供時制轉換前後各時相動態切換時間之用。本研究在不同的流量水準與前後時制組合之下，對八種不同情境進行實驗設計與模擬，並對本研究模式與其他重要時制轉換法的輸出速率與延誤績效進行交叉統計檢定、分析與比較，最後歸納最適時制轉換時段的長度與檢討各補償週期對時制轉換過程產生的問題與效果。

關鍵詞：轉換時段、時相補償、多重時相、統計檢定



Abstract

Signalized intersections are one of the most critical facilities of an urban transportation system. With multiple build-in timing plans, modern signal controllers have high flexibility to perform the function of timing switchovers to adapt to various traffic conditions. Unfortunately, neither of the practical tests showed that the existing approaches can operate timely and efficiently, nor of them provided insight to the traffic performance that various timing transition procedures may result. Based on some findings from the literature review, this study started with a model formulation to deal with timing transition under multiple and/or overlapping phasing conditions. Via TSIS simulation platform, a RTE program is also developed for dynamically tracing, activating, and terminating phases at the set switchover points. With various volume levels and timing combinations, this study proceeded a number of experimental designs and simulation to eight major scenarios. A series of sensitivity tests were also conducted. The analyses showed that the newly developed model could lead to a relatively good performance as compared with the others under most of the demand levels. Some transition periods for specific traffic and control conditions were also suggested based on statistical tests and comparisons.

Keywords: transition period, phase compensation, multiple phases, statistical test

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	v
表目錄.....	vi
參數定義.....	viii
摘要.....	i
Abstract.....	ii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與重要性.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍.....	2
1.4 研究內容.....	3
1.5 研究步驟與流程.....	3
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 獨立路口號誌時制設計.....	6
2.2 號誌時制轉換方式相關文獻.....	11
2.3 路口績效衡量指標.....	18
2.4 車流模擬系統.....	20
2.4.1 巨觀車流模擬系統.....	20
2.4.2 中觀車流模擬系統.....	21
2.4.3 微觀車流模擬系統.....	22
2.5 小結.....	25
第三章 研究方法.....	28
3.1 系統界定.....	28
3.2 TSIS RTE.....	30
3.3 時相補償模式.....	32
3.3.1 模式架構.....	32
3.3.2 實驗範例.....	41
3.4 最適轉換長度.....	43
3.5 小結.....	45
第四章 情境模擬與分析.....	46
4.1 模擬之各項假設.....	46

4.2 模擬情境之設定.....	49
4.3 輸出績效與趨勢.....	53
4.3.1 各轉換時段之輸出績效分析.....	53
4.3.2 不同轉換方式之績效輸出資料.....	65
4.4 小結.....	68
第五章 結論與建議.....	69
5.1 結論.....	69
5.2 建議.....	69
參考文獻.....	70



圖目錄

圖 1-1	研究流程圖	5
圖 2-1	突變氏轉換法範例圖	11
圖 2-2	主要道路綠燈延長法新時制大於舊時制範例圖	12
圖 2-3	主要道路綠燈延長法新時制小於舊時制範例圖	12
圖 2-4	主要道路綠燈延長法決策流程	13
圖 2-6	基本突變轉換法	14
圖 2-7	最大綠燈轉換法	15
圖 2-8	傾斜轉換法	16
圖 2-9	鞍點轉換法	16
圖 3-1	TSIS 路口幾何架構圖	28
圖 3-2	執行延伸介面 RTE 示意圖	31
圖 3-3	道路狀態示意圖	32
圖 3-4	時相補償模式流程圖	34
圖 3-5	緩和係數與流量改變關係圖	36
圖 3-6	兩時相轉三時相無分割週期轉換圖	40
圖 3-7	兩時相轉三時相有分割週期轉換圖	41
圖 3-8	時相與週期長度變化趨勢圖	43
圖 3-9	最適轉換長度示意圖	44
圖 4-1	高流量轉低流量之平均速率圖	56
圖 4-2	高流量轉低流量之平均延誤時間圖	56
圖 4-3	低流量轉高流量之平均速率圖	60
圖 4-4	低流量轉高流量之平均延誤時間圖	61
圖 4-5	不同轉換方式之平均速率比較圖	66
圖 4-6	不同轉換方式之延誤時間比較圖	66

表目錄

表 2-1	延長或縮短轉換時相的準則	17
表 2-2	時制轉換法比較一覽表	26
表 3-1	轉換前後號誌時制計畫	42
表 3-2	時相補償模式執行計畫	42
表 4-1	各時相流量設定表	47
表 4-2	二時相時制計畫表	48
表 4-3	多時相時制計畫表	48
表 4-4	重疊時相時制計畫表	48
表 4-5	模擬情境說明表	49
表 4-6	轉換時段週期數與週期長度表	50
表 4-7	模擬編號表	53
表 4-8	平均速率績效輸出表	54
表 4-9	平均速率績效變異輸出表	54
表 4-10	平均延誤時間績效輸出表	55
表 4-11	平均延誤時間績效變異輸出表	55
表 4-12	主情境三之平均速率差信賴區間表	57
表 4-13	主情境四之平均速率差信賴區間表	57
表 4-14	主情境六之平均速率差信賴區間表	57
表 4-15	主情境八之平均速率差信賴區間表	58
表 4-16	主情境三之平均延誤差信賴區間表	58
表 4-17	主情境四之平均延誤差信賴區間表	58
表 4-18	主情境六之平均延誤差信賴區間表	59
表 4-19	主情境八之平均延誤差信賴區間表	59
表 4-20	高流量轉低流量之平均速率差信賴區間表	59
表 4-21	高流量轉低流量之延誤時間差信賴區間表	59
表 4-22	高流量轉低流量綜合評比表	60
表 4-23	主情境一之平均速率差信賴區間表	61
表 4-24	主情境二之平均速率差信賴區間表	62
表 4-25	主情境五之平均速率差信賴區間表	62
表 4-26	主情境七之平均速率差信賴區間表	62

表 4-27	主情境一之平均延誤差信賴區間表	63
表 4-28	主情境二之平均延誤差信賴區間表	63
表 4-29	主情境五之平均延誤差信賴區間表	63
表 4-30	主情境七之平均延誤差信賴區間表	64
表 4-31	低流量轉高流量平均速率差信賴區間表	64
表 4-32	低流量轉高流量延誤時間差信賴區間表	64
表 4-33	低流量轉高流量綜合評比	64
表 4-34	不同轉換方式平均速率績效輸出表	65
表 4-35	不同轉換方式平均延誤時間績效輸出表	65
表 4-36	不同轉換方式之平均速率差信賴區間表	67
表 4-37	不同轉換方式之平均延誤差信賴區間表	67
表 4-38	不同轉換方式之差異比較	68



參數定義

PHF_{Φ}	時相 Φ 的尖峰小時因素, = PHF
$(v/c)_{\Phi}$	時相 Φ 之預設飽和度, = (v/c)
h_{Φ}	時相 Φ 之預設飽和車間距(秒), = h
t_L	每一時相損失時間 (秒)
ρ	流量變動緩和係數
a	路口轉向編號, $a = 1, 2, \dots$
a'	$Max\{v_{(k,a)}, a \in M_{(k,\hat{\Phi})}\}$ 所對應之 a 值
k	週期順序編號
Φ	時相 Φ , $\Phi = 1 \sim N_k$
$\hat{\Phi}$	時相編號
N_k	第 k 週期之總時相數
C_k	第 k 週期之號誌週期長度 (秒)
$M_{(k,\Phi)}$	第 k 週期時相 Φ 所包含轉向 a 之集合
$m_{(k,a)}$	第 k 週期轉向 a 所屬時相 Φ 之集合
$V_{(\Phi)}^{old}$	舊時制之時相 Φ 之臨界流量 (輛/小時)
$V_{(\Phi)}^{new}$	新時制之時相 Φ 之臨界流量 (輛/小時)
$V_{(k,\Phi)}$	第 k 週期之時相 Φ 之臨界流量 (輛/小時)
$v_{(k,a)}$	第 k 週期之轉向 a 之流量 (輛/小時)
$G_{(k,\Phi)}$	第 k 週期之時相 Φ 之有效綠燈長度 (秒)
$G_{(\Phi)}^{new}$	新時制之時相 Φ 之有效綠燈長度 (秒)
$g_{(k,a)}$	第 k 週期之轉向 a 之有效綠燈長度 (秒)
$R_{(k,\Phi)}$	第 k 週期之時相 Φ 之紅燈長度(為第 $k-1$ 週期時相 Φ 執行結束至第 k 週期時相 Φ 開始前之時間長度) (秒)
$r_{(k,a)}$	第 k 週期轉向 a 紅燈長度(為第 $k-1$ 週期最後包含轉向 a 之時相 Φ 結束起至第 k 週期第一個包含轉向 a 之時相 Φ 開始止之時間長度) (秒)
$Sr_{(k,a)}$	第 k 週期內最後一個包含轉向 a 之時相結束起至第 k 週期結束時之紅燈長度 (秒) $a \in M_{(k,\Phi)}$, $Sr_{(k,a)} = C_k - \sum_1^{\Phi} G_{(k,a)} - \Phi \times t_L$

$q_{(k,a)}$ 第 $k-1$ 週期內最後一個包含轉向 a 之時相 Φ 結束起至第 k 週期第一個包含轉向 a 之時相 Φ 開始時，轉向 a 累積車隊長度 (輛)



第一章 緒論

1.1 研究背景與重要性

道路交叉口是都市路往中最要的環節之一，來自不同方向的車流匯集在路口進行穿越、併入、分出等行為，因而產生許多潛在衝突點，而透過號誌系統，以交互更替方式分配時間與路權予各方向車流，可以管制並引導不同方向的車流依序行進，降低路口肇事衝突，並提升道路的紓解流量。然而道路交通量會隨著時間而變化，如每日上、下班之尖峰時段與一般離峰時段的交通量就有很大的差異，故在號誌設計上可將一天的總時間分為若干時段，每個時段有對應的號誌時制計畫，以配合不同的流量水準。隨著 1980 年代以來科技與微機電的快速發展，交通號誌控制器已由只能儲存少數時制的機電式系統，進步到可儲存多種時制，並依照道路交通需求狀況來設計適宜時制之微電腦系統控制器；近年來更由於資訊科技與網際網路之蓬勃發展，使得號誌控制系統得以大量收集路網偵測器之資料，迅速儲存、分類並進行動態運算，發展即時之控制策略來因應路口之需求。現今的號誌控制器，大都可內建多套時制計畫，可隨著時間或特定需求迅速轉換因應。

不同的號誌時制計畫可以適應多變的交通需求，在執行不同號誌時制計畫時，大都必須執行前後號誌時制間的轉換作業；所謂時制轉換作業是將正在執行中之號誌時制計畫轉換為另一套號誌時制計畫的程序。然而過短的號誌時制轉換時間或過於劇烈的時制變化，常會衝擊路口的交通運行，且駕駛人不易適應，容易導致瞬間交通壅塞與異常的駕駛行為，甚至發生安全顧慮；過長的號誌轉換時間，雖然轉換過程平緩，但容易落入使路口號誌時制執行過長時間的缺陷中，增加運行延滯與駕駛人的不耐。因此，時制轉換期間的長短，以及轉換的方式是研究時制轉換作業很重要的議題。

過去許多號誌時制轉換的方法與文獻[4]中，對於時制轉換作業都有一些簡單的詮釋方法。如當到達號誌轉換起始時間時，系統會繼續將舊時制執行完成，並在於下一個至數個週期中逐漸將舊時制各時相平均遞增或遞減為新時制長度，以比較和緩之方式轉換新舊時制，可以減少對駕駛人的衝擊，使駕駛人逐漸適應新號誌時制。雖然有許多研究與號誌控制系統使用以上的時制轉換方法，但是往往缺乏有力的證據顯示這些轉換作業具有效率，且多長之時間才為最適合之號誌轉換期間，除此之外，過去研究之極少對各號誌轉換方法作較深入的探討、證明與比較，因此多長之轉換期間為最合適，也就是界定最適轉換長度，乃為本

研究探討之重點。最後，在過往所有的文獻中，號誌的轉換作業多只探討前後號誌相同時相數之轉換，但對於時制與時相數皆不同之轉換卻鮮少有人進行研究評估，部分研究僅限制在非重疊的時相轉換，因此多時相與重疊時相轉換方式也是本研究另一研究重點。有鑑於國內外以往從事不同時相數與重疊時相之號誌轉換作業研究極為罕見，而實務單位所採行之轉換作業又大多基於主觀的判斷，而難以通過嚴謹的學術檢驗；另外目前相關之書籍與研究報告仍不多見，顯見此方面的研究為交通控制領域的一項重要課題，因而亟待進一步研究。

1.2 研究目的

過去國內、外對於號誌時制轉換時間與週期，大都是依照自訂的週期數，由立即轉換到最多四個轉換週期內，完成號誌時制的轉換。這段轉換時間與週期數大多為自訂，因此，本研究希望在不同的流量水準與運行績效指標之下，檢討並擴充既有之號誌時相補償方式，進一步發展在前、後時制轉換中因不同的時相數與/或時相順序組合所需要的最適轉換長度，以使號誌時制轉換過程的時相補償計畫更加完整。本研究之主要目的如下：

1. 進行時制轉換方式相關文獻之蒐集與整理，回顧與檢討現有時制轉換作業的方式和效率。
2. 模擬軟體 TSIS 功能的檢討與外掛程式 RTE 的規劃和設計。
3. 經由初步流量與時制轉換的組合，界定號誌時制轉換點的起始時制切換準則。
4. 研擬合宜的多時相時制之間的轉換方法，以提升路口的績效。
5. 由不同的流量水準與前後時制之組合，與對於各種績效指標值的分析和比較，歸納最適時制轉換時段長度，以降低轉換時段對路口的衝擊與影響。
6. 經由不同情境假設範例，探討最適時制轉換時段長度與各補償週期對時制轉換作業所產生的問題與效果。

1.3 研究範圍

本研究以預設時制之獨立號誌路口為對象，探討當尖離峰交通量改變或進行時制變換計畫時所需採取的方式，以及最適時制轉換時段長度與補償週期。本研究基於以下條件進行時制轉換作業分析與探討：

1. 路口於尖離峰各時段的號誌時制計劃資訊為已知。
2. 路口各臨近路段的歷史流量或動態車流偵測（含到達率、轉向等）資料

為未知。

3. 路口各臨近路段的車流速率分佈資料為已知。
4. 時制轉換設計僅針對四輪以上之小汽車車輛進行作業，不考慮機慢車與行人之影響。台灣的道路情況有龐大的機車數量，在道路上即使將機車換算乘小客車單位，但其行進特性仍與汽車有很大之差異，因此本研究不考慮將機車因素納入模式考量，
5. 號誌控制器具備支援時制轉換設計所需之燈色與時段設定功能需求和彈性。

1.4 研究內容

本研究主要的內容如下：

1. 綜合不同的時制設計方法與時制轉換原則，分析過去相關研究不足之處，比較並界定本研究之範圍與目標。
2. 由文獻回顧遴選號誌路口常用之評估績效指標，作為統計與評比不同轉換方式與轉換週期的基礎。
3. 時制轉換期間各補償週期模式之建立與 RTE 程式之發展。
4. 建構多重時相間之時制轉換模式，在預設的流量水準與時制組合之下，進行範例設計，由模擬輸出績效比較本研究與其他相關之時制轉換法，以了解在基本情況下各時制轉換法的效率。
5. 進行敏感度分析，針對不同情境假設進行模擬與分析，以瞭解所研擬之時制轉換週期法在特定情境假設下的效率，並歸納最適時制轉換時段長度與各補償週期長度。

1.5 研究步驟與流程

本研究的執行步驟如下：

1. 確定研究的問題之背景
與此問題在國內外各文獻的研究成果，訂立所欲探討的重點和目標，並根據問題之性質，決定研究之範圍與規模。
2. 相關文獻之彙整與啟發
參考合理可行之時制設計概念、時制轉換方式，以及號誌時相補償方法等議題，並遴選適用之路口績效衡量指標。
3. 系統分析
了解在交通量變動的情況下，號誌轉換時間對於路口績效之影響，以發

展號誌之時制轉換模式。

4. 時相補償方法之研擬，並與現有之時制轉換方法比較，以探討各方法之特點與限制。
5. 進行範例設計，套用現有之時制轉換方法與本研究所研擬之時相補償方法，以了解在基本情況下各時制轉換方法之效率。
6. 敏感度分析
針對不同情境假設進行模擬與分析，以了解本研究研擬之時制轉換方法在特定情境假設下是否具有效率。
7. 根據分析之結果提出結論與建議。

本研究之研究流程圖如圖所示：



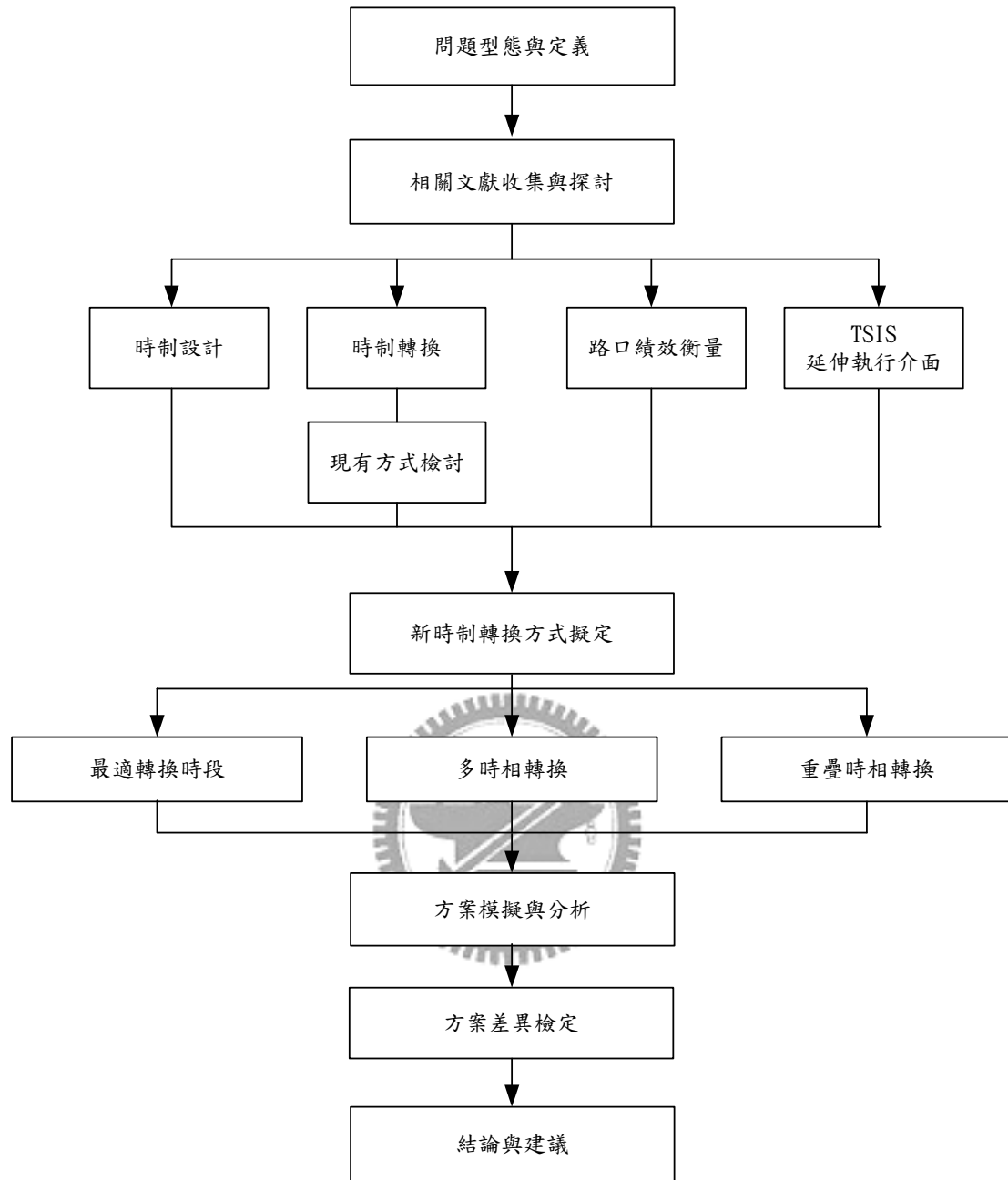


圖1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本章首先回顧有關獨立交叉路口號誌時制設計之相關文獻，以了解號誌時制與路口各因素間之關聯性；其次，回顧過去所發展出的號誌轉換方式，並了解各方式之優缺點與限制，以作為未來研究之基礎；再其次，回顧路口評估績效之相關文獻，以作為比較優劣轉換作業之依據；最後則對於所使用的模擬分析工具進行了解，以選擇適合作為本研究進行模擬分析之工具軟體。

2.1 獨立路口號誌時制設計

預設時制號誌控制利用不同之時相配置與長度來控制不同時間內之車流，獨立交叉路口號誌時制之設計，應根據交叉路口交通量、流向、車速、路況、及行人數等因素。在設計方法上，主要可分成下列四類[6]：

1. 方程式法(Formula)

方程式法大都是以各臨界道路的臨界流量與飽和流量為基礎，進而提出相關公式來計算週期之長度與各時相之長度，最後在以實際的道路流量與交通資料來加以驗證。這些方法包括：



(1) 最小週期法[21]

號誌的每一個時相可以允許一到數個路口轉向流動，但其中有一個轉向流動是最密集的，則該轉向所佔用的車道稱為「臨界車道」，而時相所設定之通行時間必須足夠供應該臨界車道流動之需求。在每個週期中的每一個時相都有損失時間(啟動延誤損失時間與變換時段損失時間)，因此除了損失時間外，該路口永遠都有一個臨界車道的車流在移動。依據此概念，可推得最小可行週期之公式如式(1)為：

$$C_{\min} = \frac{N \times t_L}{1 - \frac{V_c}{3600/h}} \dots\dots\dots(1)$$

其中

- C_{\min} : 期望之最小週期 (秒)
- N : 時相數
- t_L : 每一時相損失時間 (秒)
- V_c : 總臨界流量 (輛/車道/小時)

h : 車間時距 (秒)

有效綠燈時間的計算為式(2)：

$$g_i = (C - L) \times \frac{q_i}{V_c} \dots\dots\dots(2)$$

其中

g_i : 時相 i 之有效綠燈時間 (秒)

C : 週期長度 (秒)

L : 每一週期的總損失時間 (秒)

$\frac{q_i}{V_c}$: 臨界流量 i 佔路口總臨界流量的比例

(2)韋布斯特(Webster)時制計算公式[22]：

韋布斯特將交叉路口之總延誤計算公式加以微分，得到最小延誤值的週期長度公式如式(3)所示：

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - y_1 - y_2 - \dots - y_n} = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \dots\dots\dots(3)$$

其中

C_o : 最小延誤週期長度 (秒)

n : 總時相數

y_i : 時相 i 之臨界流量與對應飽和流量之比值， $i = 1 \sim n$

Y : y_i 的總和 = $\sum y_i$

L : 每一週期的總損失時間 (秒)

有效綠燈時間可以由式(4)求得：

$$g_i = \frac{y_i}{Y} (C_o - L) \quad i = 1 \sim n \dots\dots\dots(4)$$

其中

$C_o - L$: 整個週期內所有有效綠燈之總和

以 Webster 公式計算而得之時制，具有使交叉路口延滯最小之效用，且有方程式求解迅速之優點，但是在有重疊時相(Overlap)時，此法並不易求解且易放大延誤。此外，以此公式計算之週期，會較實際所需者為長，導致綠燈時間的浪費。

(3)美國聯邦總署(FHWA)時制計算公式[23]：

美國聯邦總署(FHWA)在 1983 年提出獨立號誌路口時制計算步驟，以總需求 TD 與比例需求 CD 指標，來界定一天所需要的時制計劃數：

$$TD = (N, S)_{\max} + (E, W)_{\max} \dots\dots\dots(5)$$

其中

- TD : 交叉路口總需求
- $(N, S)_{\max}$: 往南或往北方向最高需求量
- $(E, W)_{\max}$: 往東或往西最高需求量

由上述之條件，可得到比例需求值為：

$$CD = \frac{(N, S)_{\max}}{TD} \quad \text{或} \quad CD = \frac{(E, W)_{\max}}{TD} \dots\dots\dots(6)$$

CD : 交叉路口比例需求

當 TD 小，則可考慮較短的週期時間。而比例需求 CD 則表示哪一方向的交通需求量較大，需要較高的時間比例。

FHWA 的號誌週期是先計算最小綠燈時間乘以各時相臨界車道的流量比值，將各方向調整後之綠燈時間加總起來，便得一個週期應有的綠燈時間。而最小綠燈時間則是以行人通行綠燈時間為主，以行人能夠安全通過為目標，其公式(7)為：

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

其中

- GP_i : 第 i 時相之最小綠燈時間 (秒)
- W : 交叉路口寬度 (英尺)
- Y : 黃燈時間 (秒)
- n : 總時相數
- i : 時相順序, $i = 1 \sim n$

(4)HCM 建議公式[24]：

1997 年版的公路容量手冊(HCM)採用臨界流動的概念來計算週期。以週期內的損失時間應佔的比例反推最小週期時間，其中每一時相的綠燈時間是以臨界流動所需最小綠燈時間為主，並在計算出期望週期後取整數週期，以利時制的設定。每一時相的有效綠燈時間係以全週期的有效綠燈時間乘上臨界流動佔總流量之比值而得。其中 S_0 表示在某種服務水準下每車道每小時的飽和流量。

$$C_{des} = \frac{3N}{1 - \frac{V_c}{S_0 PHF(v/c)}} \dots\dots\dots(8)$$

其中

- C_{des} : 期望之最小週期 (秒)
- N : 時相數
- V_c : 總臨界流量 (vphpl)
- PHF : 尖峰小時因素
- v/c : 飽和度
- S_0 : 某服務水準下之飽和流率 (vphpl)

有效綠燈時間的計算為下式(8)：

$$g_i = (C - L) \times \frac{q_i}{V_c} \dots\dots\dots(9)$$

其中

- g_i : 時相 i 之有效率燈時間 (秒)
- C : 週期長度 (秒)
- L : 每週期總損失時間 (秒)
- $\frac{q_i}{V_c}$: 臨界流量 i 佔路口總臨界流量的比例

2. 數學規劃法 (Mathematical Programming)：

數學規劃法為界定目標式與相關的限制式，以數學規劃模式求解時制計畫。當號誌系統的設立已有明確的目標與限制時，通常可以採用本法。以往的研究中，大多以週期長度或延誤最小為目標，而以最小綠燈時間與滿足路口需求等條件為限制求解。較常用之數學規劃法如下：

- (1) Martin-Lof (1967)[28] 以動態規劃法發展路口最佳化號誌控制模式，並以紓解等候車隊作為模式的重點，並不需先行假設車隊抵達及疏散之統計分配型態，但對於號誌時制計畫所產生的延滯、週期長度並未加以評估，故所產生之時制計畫績效不佳。
- (2) Allsop(1971)[26]採用 Webster 延滯簡化公式，目標式為使系統延滯最小，限制式為週期時間限制、最短綠燈限制與容量限制三部份。本模式主要著重各方向之飽和度 $v/c < 1$ ，並設立一階段矩陣 (Stage Matrix) 表示每一方向存在之車流，但此模式僅能應用於時相數固定且時相出現順序不變的情況。
- (3) Importa 與 Cantarella(1984)[27]發展一套二元混合整數線性規劃模

式，包含交叉路口容量最大、週期時間最小，以及延滯最小等三項目標；他們利用各車流方向的 v/c 小於 1 的條件建立車流衝突矩陣，並將不衝突的方向歸入同一時相內，以縮短週期長度。

- (4) Sakita(1986)[25]以線性規劃法來設計交叉路口的最佳時制，並以週期時間最短為目標，限制式則為各車流方向之 v/c 小於 1。類似 Allsop 的模式，必須建立號誌時相與車流流動間之矩陣，但限制式無法避免選擇互相衝突之車流，故使用受到限制。

3. 搜尋程序法 (Search Procedure) [3][29]：

搜尋程序法係事先設定評估的標準，然後對各種可能情況加以比較，逐步捨棄較差設計，最後找出最佳的時制計畫。此法主要在透過一連串的搜尋程序，以路口績效值為檢視標準，逐一淘汰較差的部份，獲得最佳路口號誌時制，較著名的搜尋程序套裝軟體為 SOAP(Signal Operation Analysis Package)。該軟體以交叉路口延滯值最低為目標，求解路口號誌最佳週期、時比、時相等時制參數，並且可對時制計畫進行評估。

搜尋程式法的優點為具有彈性，且可依使用者的需求制定一相關的程序來求最佳解；缺點則為搜尋過程無法對每一時制設計均進行評估，只能在一定範圍內針對相等時距的時間點進行搜尋，因此其時制計畫只是一個次等解。另外，SAOP 軟體在搜尋程序中，已將全日交通車流量所因應的號誌控制策略納入評估，以類比指數做為控制策略的歸類，但其時段劃分的方式仍由人工判斷，且各控制策略時制並非依各時間單元流量計算而得，係以平均數流量代之，忽略了同一控制策略內各時間單元流量之變異。

除了 SOAP 外，還有 TRANSYT-7F 等這些套裝軟體都是以搜尋程序法尋找最小延誤週期，但最後搜尋到的通常只是屬於某種特定條件之下的近似最佳解，而非全域最佳解。

4. 模擬法 (Simulation) [2]：

構建一近似真實系統之模式，以各種時制計畫加以模擬，觀察模式中各項特性之表現，從中遴選最佳之號誌時制計畫。模擬的方式分為兩類：

- (1) 事件掃描法：當有事件產生時才進行掃描運算，系統每次掃描的時間並不固定，適合用於大型系統之處理。
- (2) 時間掃描法：將週期分為許多時階 (steps)，對每一時階進行一次掃描運算，紀錄當時交通系統之狀況，並可配合搜尋程序法來模擬尋求最佳解。時階愈小，計算量愈大，也更能反應實際車流狀況。

根據模擬對象之不同，模擬法可分為三大類：

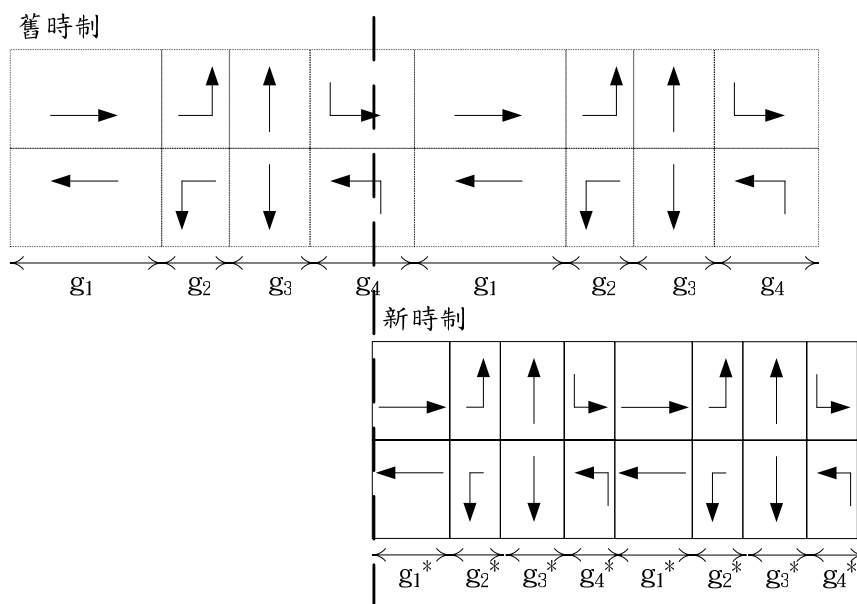
- (1)巨觀：著重整體車流、車隊之移動及延滯的狀況。以平均數值的方式處理車輛行為。
- (2)中觀：著重於車隊的模擬，觀察車輛的推進，以事先調查或分析的平均數值處理，但忽略車與車之間的互相干擾行為。
- (3)微觀：以單一車輛為模擬對象，觀察與紀錄車輛在各路口或路段之駕駛行為或行進軌跡。

2.2 號誌時制轉換方式相關文獻

道路的交通流量會隨著一天中不同的時段而呈現高低不同的變化；一般而言，大致上可分為上午尖峰（如上午七時到九時）與下午尖峰（如下午五時至七時）等兩大時段。為了配合不同時段下交通流量的變化，各號誌化路口便需要有不同的對應時制來加以因應；而不同的時制計畫會在其週期、時比、或時差上出現程度之差異。交通部運輸研究所於民國九十年[4]曾比較與整理各種時制轉換方法如下：

(1)突變式轉換法(Sudden Transition)

為最簡易之時制轉換方式，不需考慮任何狀況，也沒有任何的補償機制，故很容易對於號誌路口產生衝擊。本法當路口正在執行舊時制，而到達號誌轉換起始時間時，立即由舊時制轉換為新時制並開始執行，並不考慮新舊時相銜接之問題。



資料來源：交通部運研所[4]

圖2-1 突變式轉換法範例圖

(2) 主要道路綠燈延長法(Extended Main Street Green Transition)

此方法使用於有明顯主次要道路區別之交叉路口，本法會比較新舊時制之週期綠燈長度作為轉換時制之依據。當遇到時制轉換起始時間時，若新時制之週期內有效綠燈長度大於或等於舊時制之週期內有效綠燈長度，則直接執行新時制之綠燈時相；若新時制之主要幹道時相週期內有效綠燈長度小於舊時制之週期內有效綠燈長度，則待舊時制幹道綠燈時相執行完畢後，才切換新時制的幹道綠燈時相。本轉換方法會優先考慮補償綠燈時間給予幹道，以加速幹道的車流優先通行，但在沒有明顯主次要道路區別之交叉路口較不適用。

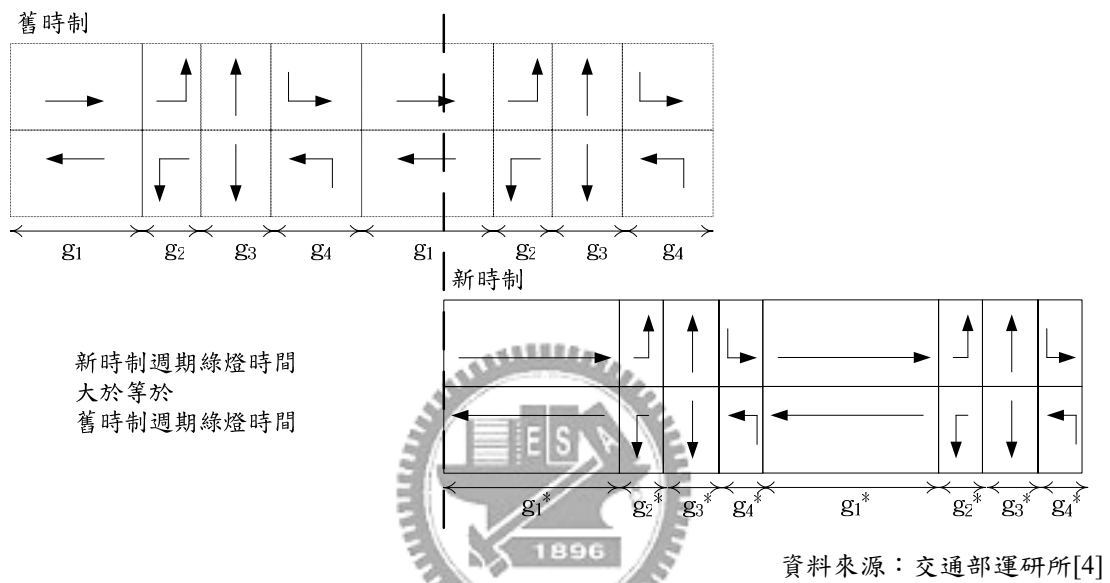


圖2-2 主要道路綠燈延長法新時制大於舊時制範例圖

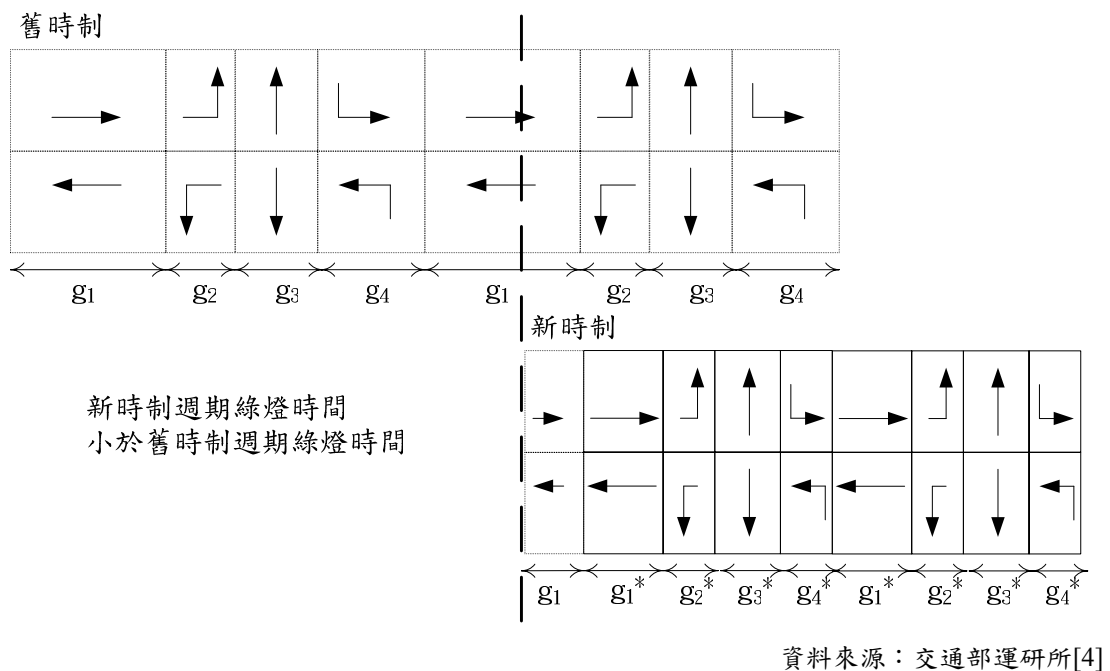


圖2-3 主要道路綠燈延長法新時制小於舊時制範例圖

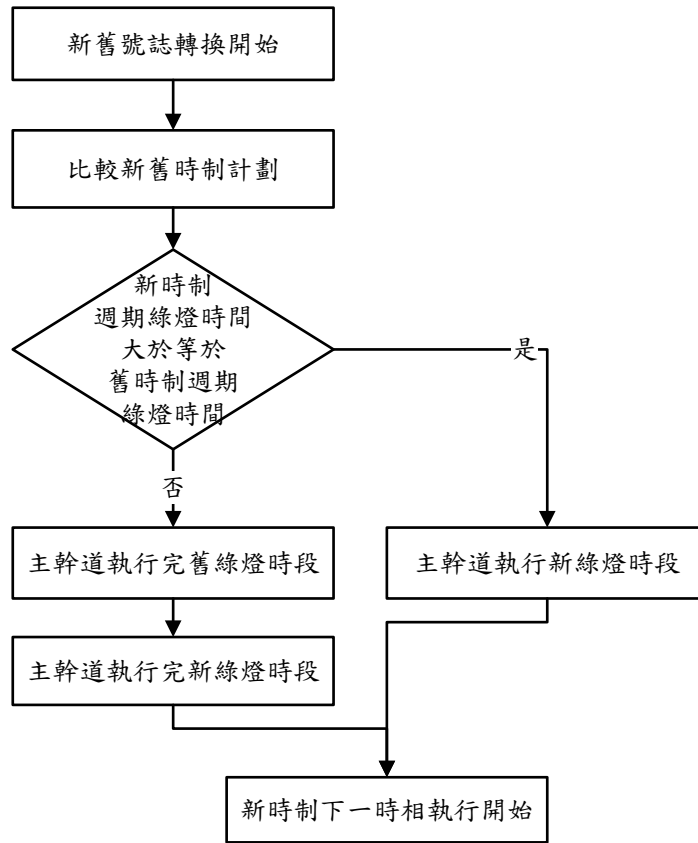
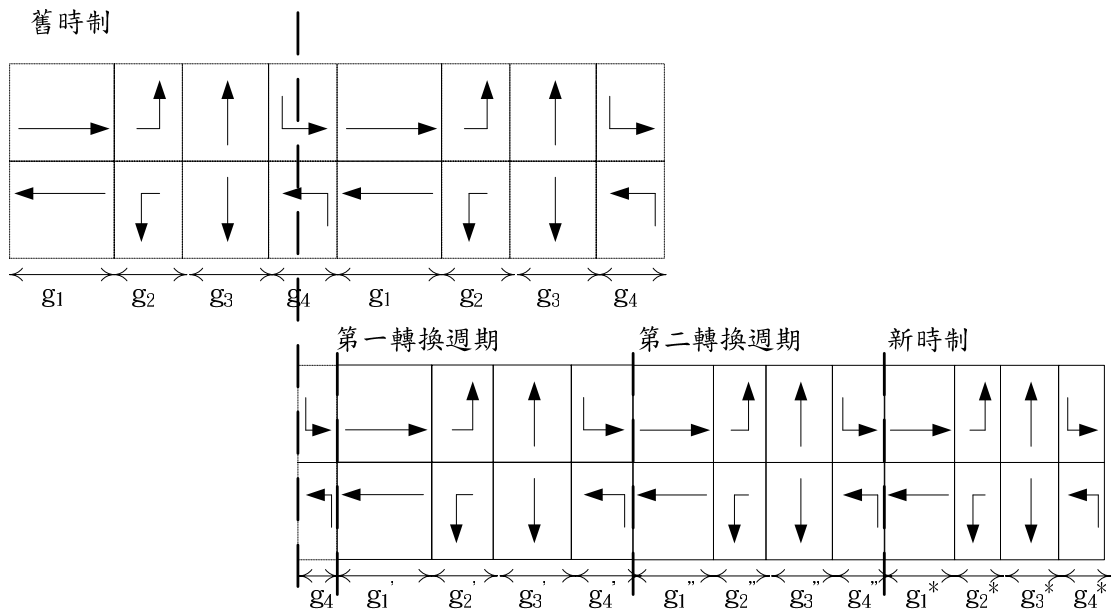


圖2-4 主要道路綠燈延長法決策流程

(3) 漸進式轉換法(Gradual Transition)

漸進式轉換法顧名思義是以逐漸變換的方式，由舊時制逐漸轉換為新時制。



資料來源：交通部運研所[4]

圖2-5 漸進式轉換法

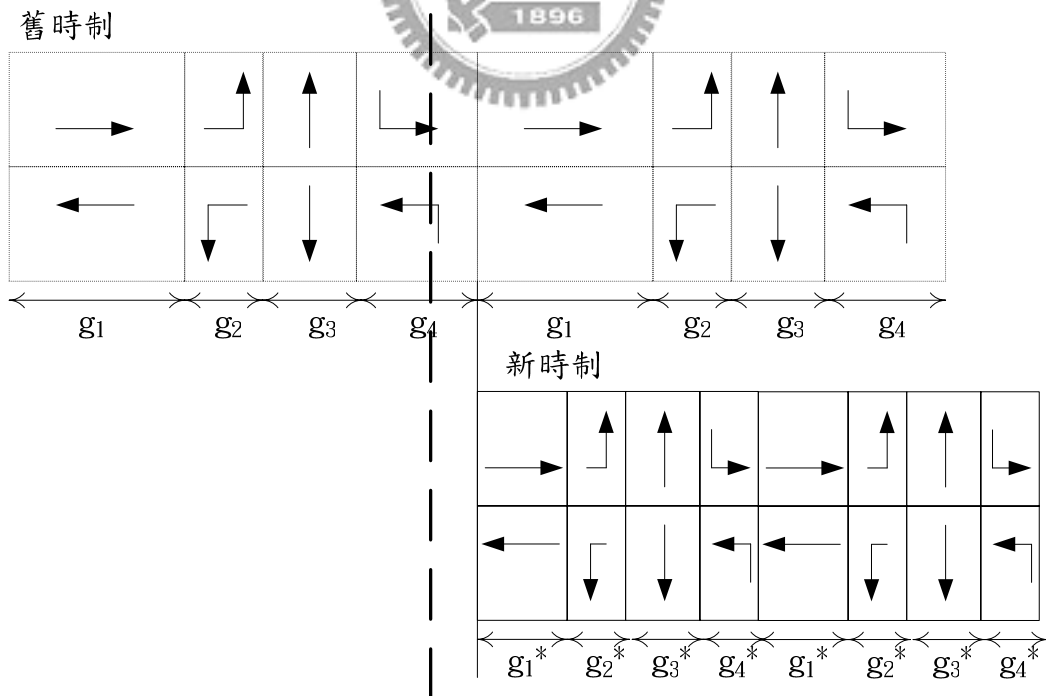
當到達號誌轉換起始時間時，號誌會繼續將舊時制執行完成，並在於下一個至四個週期逐漸將舊時制的各時相平均遞增或平均遞減為新時制長度。此種轉換模式以比較柔和之方式轉換新舊時制，故可以減少駕駛人的衝擊，使駕駛人逐漸適應新號誌時制；另外，在固定的清道時段長度之條件下，可使幹道號誌連鎖控制系統所的路口，在不改變其連鎖號誌時差關係下完成時制轉換作業。

(4)基本突變轉換法(Basic Abrupt Method)

即當到達號誌轉換起始時間時，舊時制號誌時相會繼續執行至該時相結束為止，並開始執行清道時段之後才執行新時制。而新時制中的起始時相乃是任意的，不需注重轉換時相進行的順序，此轉換方法惟一的限制僅是在進行中的轉換時相必須遵守最小綠燈的限制即可。

(5)改良式突變轉換法(Modified Abrupt Method)

此法與上述基本突變轉換法十分近似，僅有的差異係於時制轉換時段(Changeover Time)中，必須決定在新時制計畫下執行的轉換「轉換時相」(Stage)；當到達轉換時間點時之時相，若尚未執行滿足最短綠燈時間，則至該時相執行至最短綠燈時間後進入轉換時相，再執行新時制。

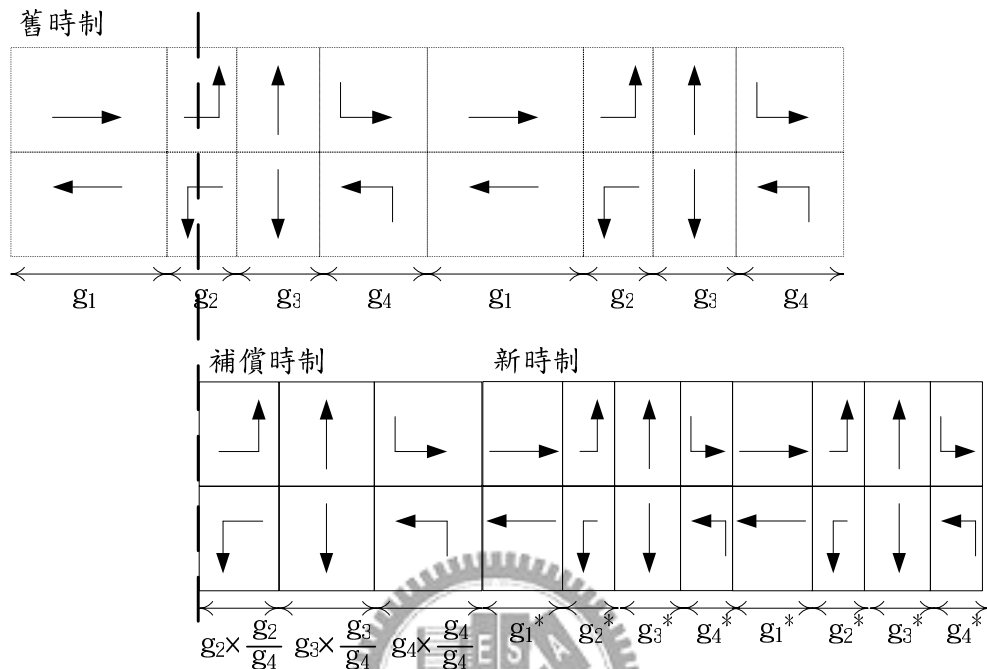


資料來源：交通部運研所[4]

圖2-6 基本突變轉換法

(6)最大綠燈轉換法(Maximum Green Method)

本法當遇到號誌轉換起始時間時，會將舊時制中尚未執行完畢與舊時制尚未執行的剩餘時相中綠燈時間最長者為補償之基礎，並進行補償時段的分配，此一轉換方式可以避免產生極短綠燈的情形。



資料來源：交通部運研所[4]

圖2-7 最大綠燈轉換法

(7)傾斜轉換法(Slope Method)

此轉換方式利用內插法來決定新舊號誌補償之長度。此轉換方式須先決定預計之轉換週期長度(如兩個號誌週期)，其次將號誌轉換起始時間點與號誌補償終點相連成一直線，再將新舊週期相同一時相起始時間連接在一起，各時相之連線與轉換時間連線的交點即為號誌補償時間長度。此轉換方式不會遺漏任何一個時相，也不會造成極短綠燈的情形發生。此轉換模式只適合單一路口的計算，無法應用於連鎖的號誌系統，因為其計算方式無法維持連鎖號誌路口所需要維持的時差關係，故無法維持車流之續進。

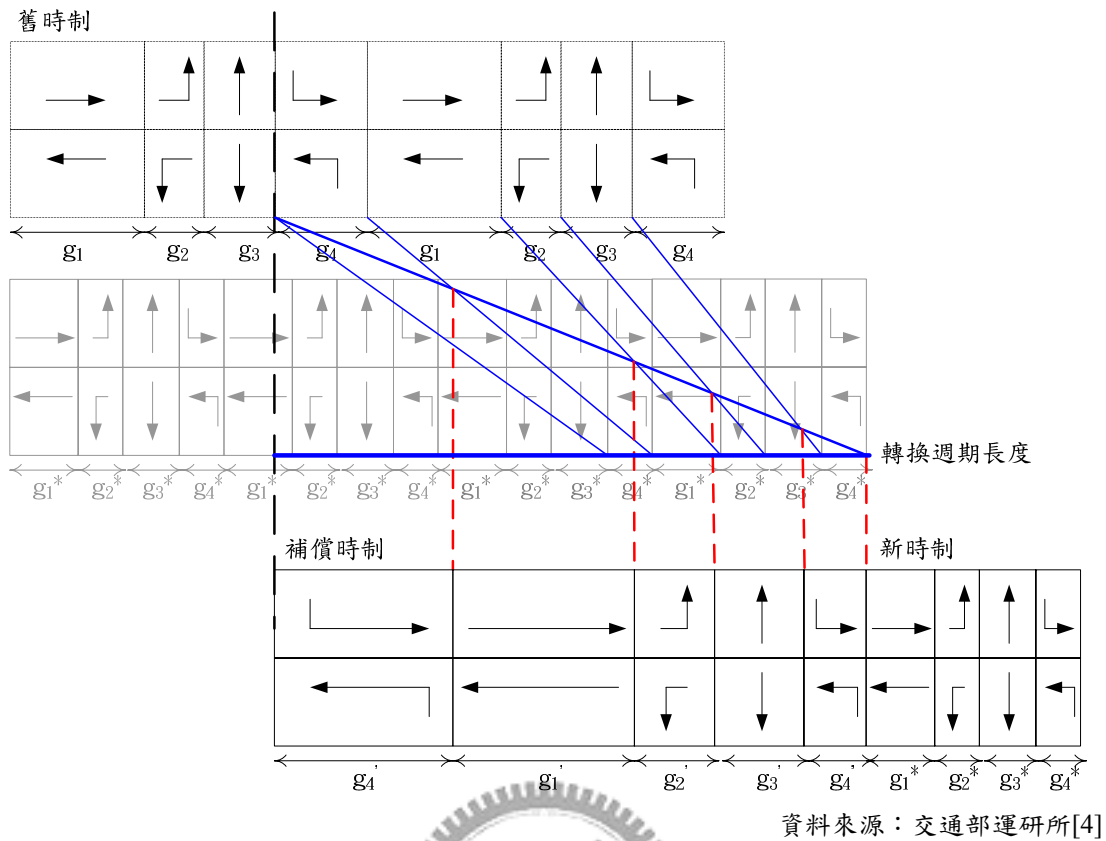


圖2-8 傾斜轉換法

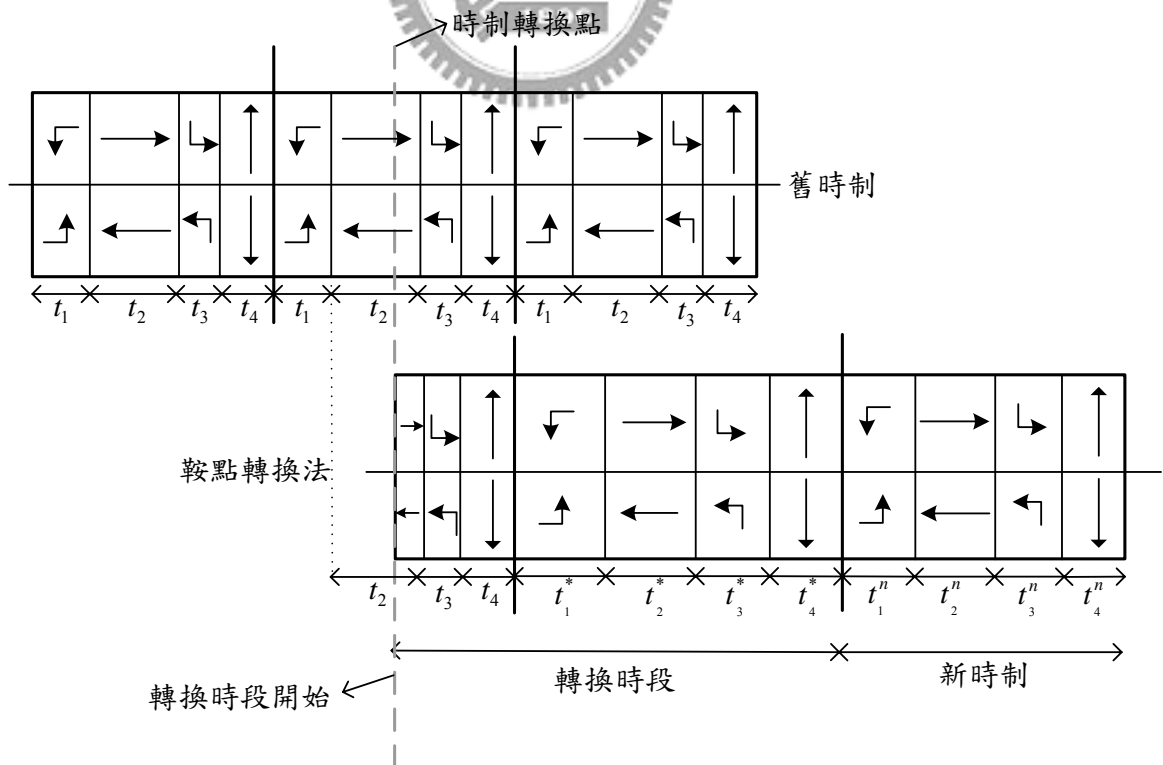


圖2-9 鞍點轉換法

(8)鞍點轉換法(Minimax Method)

此轉換方式法是將交叉路口中的任一個時段命名為關鍵轉換時相，而舊時制計劃就從此關鍵轉換時相開始進行轉換，以新、舊時制關鍵轉換時相的起始時間差與新時制週期長度之間的關係，來決定應該延長或縮短轉換時相的長度。此轉換方式的主要目的是維持主要街道的綠燈，再加上此方式不會遺漏任何一時相，故可以產生比較良好之績效。

表2-1 延長或縮短轉換時相的準則

條件	決策
1) $-2/3CYCLEn > TIMEkey$	延長轉換時相
2) $0 > TIMEkey \geq -2/3CYCLEn$	縮短轉換時相
3) $1/3CYCLEn > TIMEkey > 0$	延長轉換時相
4) $TIMEkey \geq 1/3CYCLEn$	縮短轉換時相

註：此處之 $TIMEkey = (\text{新時制計劃的關鍵轉換時相起始時間} - \text{舊時制計劃的關鍵轉換時相起始時間})$ ； $CYCLEn = (\text{新時制計劃的週期})$

資料來源：交通部運研所[4]

(9)時相補償法與時制重設法 [1]

由姜智翔所發展出的號誌轉換模式。為處理轉換時段內新、舊時制計劃中時相數不同的情況，本研究提出之兩種方法之轉換時段皆假設其週期數為大或等於2之偶數。其中，前半數之週期沿用舊時制之時相計劃，後半數之週期採用新時制之時相計劃。若新、舊時制之時相數相同，則轉換時段可採用奇數之週期數。預設時制式之號誌控制系統在不同時段中會使用不同的時制計畫以適應當時的流量水準，以提供較佳的路口服務水準。然而在特定時段中，可能會面臨無法在該時段結束時，將正在進行的週期執行完畢的情況。在此狀況下，有兩種處理方式：

1. 時相補償法(Phase Compensation Method)處理方式是繼續執行該時段的時制計劃，直到該時段結束後再進行時制轉換作業。
2. 時制重設法(Timing Reset Method)處理方式是在最後可完整執行完畢的週期結束後即中斷該時段，並開始進行時制轉換作業。

在流量需求不變的情況下，週期長度一旦改變，即使由時相補償作業來紓解該週期的車流，但仍會造成後續週期的額外停等車數。故無論經過多少週期皆無法完全補償，因此週期長度永遠無法還原至原長度。當路口號誌某一時相之綠燈

時間被延長時，除相對導致延長衝突時相的紅燈時間外，之後亦需補償予衝突時相相當的綠燈時間，以紓解該時相超額的需求，故週期長度會先增加，之後因流量需求低於飽和流率，致使週期長度逐漸趨近原週期長度。有別於以往號誌時制轉換方法之設計理念，該研究發現在轉換方法的設計上，可以由滿足流量需求的角度著眼。

2.3 路口績效衡量指標

有關路口績效之衡量，一般有延誤、停止數、等候車隊長度、燃料消耗、污染物排放量，以及安全等。茲列舉如下[10]：

- (1)停止數：有關停止數的分析，一般皆直接牽涉到等候長度的估計，其公式可分為兩類：平均等候長度及不同到達型態造成的溢流等候長度[6]。
- (2)燃料消耗：交叉路口的燃料消耗主要為延誤及停止所致，但尚須評估交通特性所引起的燃料消耗基本參數。吳水威[11]對於燃料消耗準則建立一般化獨立號誌時制設計模式，對燃料消耗問題作深入之探討。
- (3)安全：號誌化交叉路口係應用號誌時制將衝突之車流加以分隔，減少衝突機會或衝突面積，以確保車流的安全運轉。依蔡育儒之整理[12]，國內研究大多以衝突點及肇事頻率分析為主，例如張應當[13]利用微觀模擬模式分析路口肇事潛在危險；饒智平[14]分析路口衝突及肇事資料來構建交叉路口之風險分析方法；林良泰[15]利用期望衝突量觀念分析路口潛在危險性等均是。
- (4)延誤：一般所謂的延誤乃指車流在運行當中遇到無法控制的因素，而造成旅行時間上的損失[10]。車輛行經號誌化交叉路口所產生的「延滯」，較為狹義定義為[7]「車流在路段上行駛時，被某種因素，如車流間的摩擦干擾及交通管制設施等所影響或阻滯，以致使行駛時間發生阻延和失誤」；而廣泛定義為[29]「車輛駕駛者或乘客行經一路口或路段，除合理通行時間外，所額外增加的行車時間」。

對於號誌化路口效率的績效指標多採延滯時間為主，1985年[31]及1994年[32]美國公路容量手冊(Highway Capacity Manual, HCM)均以延滯為號誌化路口服務水準評估的主要指標，至於台灣地區公路容量手冊[5]亦以延滯為我國評估號誌化路口服務水準的基礎，故在號誌化路口的效率指標以路口延滯為範疇。

蔡輝昇[7]提出對延誤的定義是車流於路段上行進時受到若干因素之困擾或影響，使得旅行時間增加或受到延宕，並將延誤分為：固定延誤、旅行時間延誤、

停等時間延誤、臨近路段延誤與運行延誤。何美瑩[16]依車輛操作行為與號誌之作用影響將交叉路口延誤分為三種：路口延誤、等候延誤與平均停等延誤。

May[32]將號誌化交叉號口總延滯定義為當車輛在路口受干擾與不受干擾的旅行時間差，其包括停等延滯和加減速所產生的損失時間。McShane 等人[31]則將延滯分為四種。

1. 停等延滯
2. 臨近路段延滯或路口延滯
3. 旅行時間延滯
4. 等候延滯

各延誤模式中 Webster 延誤公式最被廣泛應用與討論，其為同時考量均勻到達與隨機到達的延誤模式。其公式(10)如下：

$$D = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda \times X)} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65 \left(\frac{C}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} \times X^{2+5\lambda} \dots\dots\dots(10)$$

其中

- D ：每車平均延誤（秒/車）
- C ：週期長度（秒）
- λ ：綠燈時比
- X ：飽和度
- q ：臨近路段車流平均到達率（車/秒）

2000 年 HCM [21]延續其於 1994 年修正之 Webster 延誤公式，加入車道群之概念與車流到達型態參數，得式(12)[5]：

$$D = 0.38 \left[\frac{C(1-\lambda)^2}{1-\lambda \times X} \right] + 173X^2 \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{mX}{Ca}} \right] \dots\dots\dots(11)$$

其中

- D ：每車平均延誤（秒/車）
- C ：週期長度（秒）
- λ ：綠燈時比
- X ：飽和度
- Ca ：車道群容量（車/秒）
- m ：車輛到達型態調整係數

2.4 車流模擬系統

隨著各種科技新知的推陳出新，車流模擬器的發展也隨之蓬勃。然而世界各國發展車流模擬器至今，不下數百種，而目前較廣為人知的，也有七十多種之多。綜觀已發展之車流模擬器中，較多為用於某些特殊用途，如模擬圓環車流、單一路口車流等，抑或僅供作離線分析車流之用。以下即針對目前世界各國已發展成熟且較廣為人知的交通系統模擬器之特色，依巨觀、中觀與微觀之分，進行整理。

2.4.1 巨觀車流模擬系統

(1) CONTRAM 模擬器

CONTRAM 係由英國國家運輸研究實驗室 (TRL) 所發展的一種巨觀車流模擬器，所使用方法類似"逐步增量指派" (Incremental Assignment) 的觀念，其發展之初的主要用途為交通指派之相關應用，目的在於評估都會區內的交通管理措施。

(2) CORFLO 模擬器

CORFLO 是由美國聯邦公署 (FHWA) 所研發而成，包含三個次模組，即 FREFLO、NETFLO1 及 NETFLO2。CORFLO 主要適用於整合都會網路或走廊型的交通指派巨觀分析，在單一、整合的環境下可區分小客車、卡車、公車及共乘車輛，它可以模擬道路幾何條件改善情況、高乘載車道 (HOV lanes)、公車操作、車道封閉及交通事故之狀況。

(3) METACOR/METANET

MATANET 是高速公路巨觀模擬模式，而 METACOR 是根據 MATANET 模式擴充而成，以模擬平行幹道之車流情形。這兩個模式都是慕尼黑技術大學與 INRETS 運輸研究實驗室共同所發展出來，此模式交通流量模擬是建立在流量守衡及動態速度—密度關係。METANET/METACOR 包含控制與動態交通指派模組，因此可以模擬匝道儀控及可變標誌提供路線導引資訊之狀況，且由於運算速度快，可用來作為即時的應用。

(4) SATURN

SATURN 模擬器係由英國里茲大學運輸研究所於 1970 年代後期所發展。模式基本上是由車流模擬模式與交通量指派模式以及附屬之輸入輸出程式所組合而成，主要作為評估小範圍都市交通管理改善措施之參考，而不適用於一般大範

圖之長期運輸規劃，且並不具備求取路網最佳管理策略之功能，但是規劃者可透過路網績效值的變化，逐漸修改管理策略，以選擇一較佳之可行方案。

(5) AIMSUN 模式

AIMSUN 交通模擬模式係西班牙巴塞隆納之 Catalunya 大學所發展，為歐洲 DRIVE 計畫的一部分，為評估交通措施之巨觀的模擬模式，本模式在高速公路與地面道路的整合上較具效率。AIMSUN 的主要限制在於無法辨別路徑，不具路徑處理與使用者決策的能力。此外，由於必須將微觀資料整合於原有之資料結構中，致使模式僅能應用於小型路網。

2.4.2 中觀車流模擬系統

中觀交通模擬為使用速度-密度模式以及細胞跟隨模式來作為模擬車輛移動的模式。而路徑選擇模式與路徑轉換模式則可以來顯示出駕駛者路徑選擇的抉擇狀態。其中，速度-密度模式用來計算在一個車隊中最後一台車的行車速率，細胞跟隨模式則用來計算在一個車隊中第一台車的行車速率。而在車隊之中、介於車隊頭與車隊尾之間的車輛之行車速率，則是以內插法，以車隊頭之車輛速率與車隊尾之車輛速率來內插得到介於頭尾車隊車輛之間之車輛的行車速率。而較有名的中觀車流模擬器列舉如下：

(1) DYNASMART

DYNASMART 係美國聯邦公路總署所贊助的計畫，由美國德州大學奧斯汀分校所發展出來(1990)，其前身是 Chang et al.(1985)用以模擬兩條平行道路交通狀況之模擬模式，供作路網交通指派與模擬用之中觀(mesosopic)模擬器。有關車流模擬部分，主要是以連續性方程式及修正 Greenshields 速度-密度關係式處理；此外該模擬器亦可模擬號誌控制、交通事故及匝道儀控情形外，所模擬之動態旅行時間還可計算最適行駛路徑，並可模擬車輛配有車內行車資訊情形下駕駛者之路線選擇與車輛行駛。因此可以用個體需求模式進行駕駛者行為決策對路徑之選擇。對於大型網路動態交通指派之系統績效評估確實不失為一值得考慮之車流模擬器。

(2) 成功大學交研所之「行車路線導引系統」模擬模式 VRGS

國內成功大學所發展「行車路線導引系統」模擬模式，其主要係針對交通資訊系統與車輛導引系統所發展的模式，用以評估行車路徑導引效果。該模式已具備模擬指派模式的雛形，但模式中對於駕駛者決策行為與交通資訊系統彼此的互

動關係，路徑中不同種類車輛的處理，仍缺乏整體性的考慮。

(3) DynaTAIWAN[20]

國內交通鄰運輸研究所於 92 年度開始辦理「區域級智慧型運輸系統示範計畫-核心交通分析與預測系統」兩年期計畫，由交通部運輸研究所與逢甲大學在合作發展，核心交通分析與預測系統軟體原型，系統發展目的為模擬路網車流整體分布情形，提供交通管理人員以及運輸規劃人員進行相關管理規劃措施擬定之協助，發展初期主要參考美國公路聯邦總署(FHWA)所發展的兩套動態指派模式 DYNASMART 以及 DynaMIT，並考量國岡駕駛者之行為特性、車流特性與交控策略，建立一套本土化模擬系統。該系統已完成初步系統分析設計以及核心模擬程式之開發，並命名為 DynaTAIWAN (Dynamic Traffic Assignment and Information in Wide Area Work)。目前已經完成之階段包含了 DynaTAIWAN 系統的交通指派、離線規劃模擬功能以及即時控制模組之細部架構。

2.4.3 微觀車流模擬系統

微觀車流理論主要是探討車輛於道路上車輛自身與其他車輛間的相互影響特性，由分析個別車輛或各與其他車輛之交互作用，及其運行特性對於整體車流之影響，其中跟車理論為微觀車流中最重要之核心。

(1) TSIS 模擬器

交通軟體整合系統 TSIS(Traffic Software Integrated System)，為美國聯邦公路總署(FHWA)所發展之一套軟體，裡面包含了多種交通模擬相關的子軟體，1997 年 8 月發行之模擬軟體「CORSIM」，其功能是整合了原有的高速公路模擬模式(FRESIM)及市區街道模擬模式(TRAF-NETSIM)，並提供交通量指派(T.A.)，可外掛交通工程或分析工具軟體，並與 Windows 相結合，成為一使用簡易、功能完整的都市交通模擬軟體。TSIS 由 FHWA ATMS R&D Group 及 ITT Industries, Systems Division 研發，主要以 CORSIM 為核心所發展出的公開型介面圖形化車流模擬軟體，可對於平面號誌控制型道路結構、高速公路系統、或是平面及高速公路整體道路來進行車輛車流模擬。TSIS 包含四部份：CORSIM、TSHELL、TRAFED、TRAFVU。

TSIS 的主要特色在於其內建的跟車模式與變換車道模式十分精細，跟車模式採採匹茲堡大學所研發之『Pitt 模式』，而變換車道模式則包含了強迫性變換車道、隨機性變換車道與自由性變換車道。此模式對於每一個車輛駕駛特性是以駕駛人與車輛特性分布曲線隨機指定。除一般交通狀況外，亦可用以交通過飽和

狀態及事故發生情況下；而在高速公路與地區道路之次網路之模擬車流是以界面的連接結點來處理，這種方式與 CORFLO 模式十分類似。此外模擬器本身，亦可直接用於模擬定時及觸動號誌控制，而所謂整合式高速公路匝道儀控模式，亦正於發展中。

國內之研究如曾莉莉[17]以 FRESIM 車流模擬軟體，模擬中山高速公路內壢交流道制中壢交流道中間路段之車流狀況，產生符合國內高速公路之幾何性質的車流狀況與路段旅行時間資料，並進行統計分析；李謀和以 FRESIM 應用於第二高速公路西湖至大甲路段初步設計方案之評估[18]；蘇梓見以模擬實驗法，採用 FHWA 所研發之 FRESIM 微觀車流模擬模式蒐集地區交通感應儀控所需的相關交通資料；龔哲弘[19]以 FRESIM 模擬主線素線控制措施在我國高速公路環境下的應用狀況，同時評估其實行的績效。

(2) INTEGRATION

INTEGRATION 係由 M Van Aerde 於 1985 年開始發展的一套車流模擬器。模擬器設計之初主要在於評估整體的交通路網下的交通策略，其路網包含高速公路與市區街道。INTEGRATION 以定時掃描 (Time Scanning) 的方式來指派路徑與單一車輛，並根據此一路徑來移動車輛，在行進的過程中，車輛可依當時的交通狀況來調整所選擇的路徑，但路線的選擇僅限於最短路徑。在每一個模擬時段中，最短路徑將依據當時的交通狀況來計算，匝道儀控則以固定號誌方式來模擬及控制進出高速公路之車輛數。另外，其內建之可接受車間距模式，主要用以模擬停/讓標誌控制下車輛運行行為及交叉路口左轉車運行行為。

(3) TRANSIMS

TRANSIMS 是 LOS ALAMOS 國家實驗室於進行 FHWA 旅運模式改進計畫時所一併發展的，主要是為了區域整合微觀模擬及預測交通品質與環境衝擊。TRANSIMS 可以預測每一個家戶或個人的交通需求，因此結果可以模擬道路路網的微觀狀況及包括車輛排放與擁擠等服務品質的衡量，均可進行預測。

TRANSIMS 使用細胞式自動程序 (Cellular Automata Approach) 來建立交通車流模式，並將道路分為均勻的段落，每一段落即代表一個細胞，其長度恰為擁塞車流的間距 (2.5 呎或 7.5 公尺) 車輛在這些細胞中的位置是每一秒鐘均會予以更新，因此可以在相當大的交通路網以合理的電腦時間來模擬每一部車輛頗為詳細的情況。

(4) VISSIM

VISSIM 為德國 PTV 交通顧問公司 (PTV System Software and Consulting

GmbH)所發展的微觀車流與大眾運輸模擬模式。此模式可在某些條件下，諸如車道佈設、交通組成、交通號誌、資訊可變標誌、大眾運輸停靠站、不同等級的大眾運輸系統與號誌化路口輕軌運輸優先通行等，模擬分析複雜的交通狀況與大眾運輸系統的營運。VISSIM 模式以微觀交通模擬模式 MISSION 為基礎（該模擬模式乃是以行為門檻跟車模式為基礎）。交通車流模式（主程式）包含跟車行為邏輯與變換車道邏輯，號誌控制模式（副程式）則根據每秒收集之偵測器資料決定目前的號誌時制，若配合外掛的號誌狀態產生器 VAP，則可用以分析使用者自設之號誌控制邏輯，主要應用於都市街道或高速公路的車流模擬研究，並以介面方式引入「交通控制系統」。VISSIM 具有圖形使用者介面，允許使用者在現有的交叉路口、交流道與道路配置的基本圖加入交通與號誌的資料。此一獨特的能力不僅能減低資料輸入時的工作負荷，而且可以大大地改善交通與大眾運輸系統營運的動畫品質。

(5) PARAMICS

基於 ITS 研究發展上的需要，英國蘇格蘭一群具有專業交通背景的電腦工程師，從西元 1992 年開始致力於研發先進的微觀車流模擬模式—Paramics（即 Parallel Microscopic Simulation 之縮寫）。

此模式主要包含五套應用軟體，：模式程式器（Paramics Modeller）為模擬路網建構的最主要模組，提供模擬路網構建、模擬過程動畫顯示（包括三度空間立體顯示），以及互動式圖形化介面的統計值即時輸出。使用者可透過模組提供的圖形介面來輸入道路與交通資料以構建路網。處理程式器（Paramics Processor）可提供使用者設定批次（Batch）處理模擬之功能，以增加模擬速度，便於進行各項敏感度測試。分析程式器（Paramics Analyser）用來顯示並分析模式程式器與處理程式器所得結果之模組，功能包括讀取模擬模式、提供 GUI（Graphic User Interface）比較模式、及分析不同的測試結果。監測程式器（Paramics Monitor）可依據使用者定義的污染物形式，模擬污染水準以及汽車速度及加速度所造成的污染程度。程式開發器（Paramics Programmer）是 Paramics 模擬程式與使用者定義之程式間的有利介面。本模組以功能性介面（Functional Interface）、應用程式介面（Application Programming Interface）等兩種介面為主。實作上，亦可利用網路模組（Network Socket）的服務，利用網路與另一台機器執行系統模組，平行處理交換模擬資料。

(6) Microscopic Traffic Simulation (MITSIM)

Microscopic Traffic SIMulator 這套軟體的功能是為了建構路網中之交通車流，且包括提供先進交通控制與路徑指引系統，而此軟體所提供的微觀交通模擬

所用到的模式包含跟車模式、車道變換模式、交通號誌反應邏輯、路線選擇模式以及路線轉換模式。

路線選擇模式針對未被指派路徑的車輛進行指派，其旅行成本之計算是根據歷史資料的記錄或者即時路徑旅行時間，計算方式決定於該車輛是否有路徑導引系統與否，若有，則以即時資料為主；無者則以歷史資料來推估。其路徑選擇所使用的演算法是使用 Label Correcting Algorithm。路線變換模式是在車輛已被事先預定路徑的情況下才會被使用到。當行駛途中碰到車禍或者種種道路堵塞的原因，則車輛還必須選擇另一條替代道路來行走。跟車模式用來代表車輛與前車之間的關係，以計算車輛的加速度。在某些情況下，此模式還會由子模式來計算加速度，即：A. 在有兩條以上的車道合併成單一車道時的跟車狀況；B. 讓其他車超車併入該車道時。依據車間時距 (headway) 的大小，跟車階段 (regime) 又可分為自由流動、跟車與緊急減速三種。執行車道變換的時候必須考量到當時的交通狀況、該車起訖點、駕駛行為。

2.5 小結

交通運輸領域將要跨入智慧型運輸系統 (ITS) 的時代，在發展眾多理論之時，普遍的瓶頸都在於對各種理論策略無法預先評估其優缺點；且若每個理論都在實務上應用，容易造成重大社會成本。另外一般而言，在真實情境 (real world) 下所產生之真實交通資料 (real data) 較不易蒐集；因此，模擬資料便成為另一可用之主要資料來源。所以，可供模擬 ITS 交通系統環境之先進式車流模擬器，便成為 ITS 研究發展領域中，賴以測試與評估的重要工具之一。

在號誌設計的考量下，大都以甲種車為主要考量，而非以機踏車輛為主要考量，且因交通部運研所過去有對於 TSIS 於國內道路狀況適用性進行測試，因此本研究使用 TSIS 為主要模擬分析之工具。在各種號誌時制轉換方式中，由姜智翔[1]以運研所時制轉換方法為基礎，以需求變動的角度來研擬時制轉換方法，以決定轉換時段中各時相的長度，使轉換時段內之車流在較合理的情況下紓解的時相補償法與時制重設法有較佳之績效，該研究只有針對二時相號誌進行研究分析，本研究將延續其轉換方式精神，改善後，對於轉換方式進行較詳細實驗，其中將包含多時相轉換、重疊時相轉換以及界定最佳轉換長度。在績效指標部分，對照 TSIS 模擬所提供之分析指標與文獻回顧，選定以平均速率、平均延誤時間做為評估績效指標。

表2-2 時制轉換法比較一覽表

方法名稱	特點	限制	不同時相數轉換	重疊時相轉換
突變氏轉換法	可於時制轉換點時立即執行新時制，以符合目前之流量水準，使新時制得以提供其最大效率	無法處理由於時相突然轉換以及新、舊時制中各時相長度差距過大時可能產生的衝突、危險及停等。	可使用	可使用
主要道路綠燈延長法	可確保大部分的幹道車流在無意外狀況下得以於路口紓解。	僅限於時制轉換點恰落在幹道綠燈時相時適用，且可能使得幹道綠燈時間過長，造成其他臨進路段之流量較大的平均停等延誤。	可使用	可使用
漸進式轉換法	在新、舊時制中各時相長度差距過大時，可以較平緩的方式進行轉換，以避免由於綠燈時間巨幅縮短造成上游車輛壅塞，或是綠燈時間巨幅增加，造成其他路段車輛壅塞的情形。	所需之轉換時段較長，無法立即執行新時制，以符合目前之流量水準，使新時制得以提供其最大效率。	無法使用	無法使用
基本突變轉換法	即當到達號誌轉換起始時間時，舊時制號誌時相會繼續執行至該時相結束，並開始執行清道時間，到清道時間結束後，就可執行新時制週期。新時制中的起始時相乃是任意的實施，並且不需注重轉換時相進行的順序。	在進行中的轉換時相必須遵守最小綠燈的限制	可使用	可使用
改良式突變轉換法	與上述基本突變轉換法十分近似，僅有的差異係於時制轉換時段中，必須決定在新時制計畫下執行的轉換時相。		可使用	可使用
最大綠燈轉換法	可完全避免任一時相產生極短綠燈的情形，以避免可能產生的衝突及危險，並且確保各時相之車流有充分的綠燈時間得於路口紓解。	由於轉換時段中各時相之長度皆較長，可能不符合當時的流量水準，而造成路口績效較無效率，且無法在較短時間內開始執行新時制計畫	無法使用	無法使用

<p>傾斜 轉換法</p>	<p>確保任一時相皆不會在時制轉換過程中被遺漏，且各時相亦不會產生極短綠燈的情形。</p>	<p>所需之轉換時段較長，無法立即執行新時制，以符合目前之流量水準，使新時制得以提供其最大效率。</p>	<p>無法使用</p>	<p>無法使用</p>
<p>鞍點 轉換法</p>	<p>可確保所關切時相(關鍵轉換時相)之綠燈時間滿足於目前之流量水準，且亦可維持妥善的時相順序，確保任一時相不會在時制轉換過程中被遺漏。</p>	<p>若在不違反最小或最大綠燈的情況下，僅限於將轉換時段中之各時相延長或縮短三分之一。因此若違反上述原則，此方法可能即無法作業。</p>	<p>可使用</p>	<p>可使用</p>
<p>時相補償 法與時制 重設法</p>	<p>以需求變動的角度來研擬時制轉換方法，以決定轉換時段中各時相的長度，使轉換時段內之車流在較合理的情況下紓解。</p>		<p>可使用 缺少 例證</p>	<p>可使用 缺少 例證</p>



第三章 研究方法

本章節將逐一說明整個研究之範圍暨相關假設、所使用之模擬器與外掛程式，以及對於簡單二時相、複雜多時相與/或重疊時相所訂定之號誌時制轉換流程與模式架構。

3.1 系統界定

本研究以獨立號誌路口預設時制為對象，並基於以下假設條件進行時制轉換設計與分析：

1. 可獲得的資訊僅限於路口各時段的預設時制計劃。
2. 路口無車流偵測器，無車流轉向等歷史資料；車流到達型態為已知；號誌路口相關條件，包含尖峰小時因素、預設飽和度、飽和車間距等參數為已知。
3. 假設各路段之自由車流速率為一固定值。
4. 基於號誌路口車隊依序紓解之特性，故僅針對四輪以上之小汽車車種進行分析，不考慮機慢車與行人對時制設計之影響。
5. 路口幾何型態與車道佈設如圖 3-1 所示。多時相與重疊時相號誌設置之目的為紓解某特定轉向(如左轉)而設置，因此本研究設置東西方向之左轉槽化專用道。

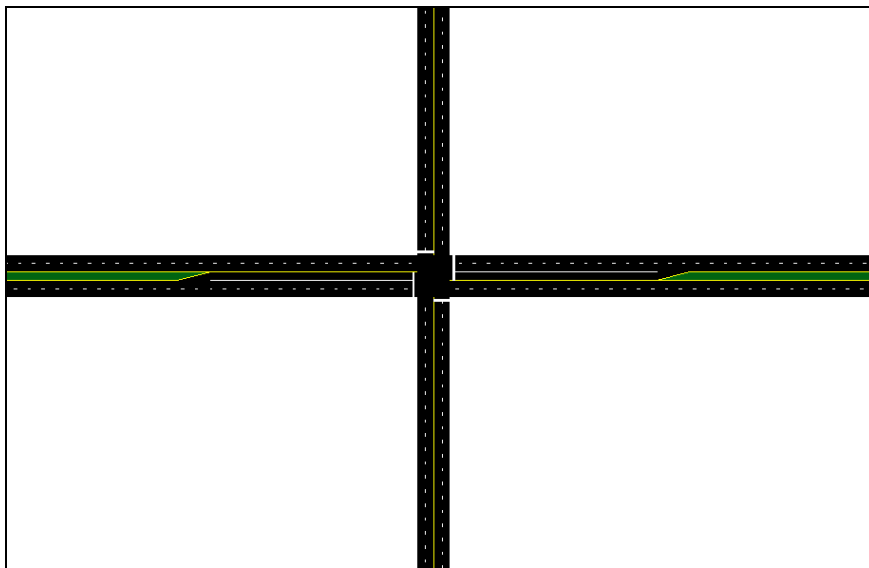


圖3-1 TSIS路口幾何架構圖

基於以上之假設條件，本研究在建立與探討當需求型態改變連帶號誌時制也須改變時，不同號誌時制間之轉換流程。為因應不同時制計畫的時相組合與順序，本研究同時研擬多時相時制與/或重疊時相轉換設計所應採取的方式。

時相轉換方法是在使路口某一流動方向之車流於對應的時相內全數紓解的前提下，進行時制轉換時間的計算與分配之方法，所謂全數紓解是指某一時相之綠燈時間，可以恰好將之前紅燈時間產生之車隊與綠燈時間到達之車輛數消散而言。在沒有路口歷史流量資料之情況下，本研究以美國 1997 年版公路容量手冊 (HCM) 採用臨界車道及臨界流動的概念來計算號誌週期，以之作為時制設計方法之基礎；週期長度與路口總臨界流量之關係為式(12)：

$$C_k = \frac{t_L \times N_k}{1 - \frac{\sum_1^{N_k} V_{(k,\Phi)}}{(3600/h) \times PHF \times (v/c)}} \dots\dots\dots(12)$$

$$\sum V_{(k,\Phi)} = (1 - \frac{t_L \times N_k}{C_k}) \times (3600/h) \times PHF \times (v/c) \dots\dots\dots(13)$$

$$C_k = \sum G_{(k,\Phi)} + t_L \times N_k \dots\dots\dots(14)$$

$$G_{(k,\Phi)} = (C_k - t_L \times N_k) \times \frac{V_{(k,\Phi)}}{\sum_1^{N_k} V_{(k,\Phi)}} \dots\dots\dots(15)$$

其中

- h 飽和車間距 (秒)
- t_L 每一時相損失時間 (秒)
- C_k 第 k 週期之號誌週期長度 (秒)
- N_k 第 k 週期之總時相數
- Φ 時相 Φ ， $\Phi=1 \sim N_k$
- $V_{(k,\Phi)}$ 第 k 週期之時相 Φ 之臨界流量 (輛/小時)
- k 週期順序編號
- PHF 尖峰小時因素
- v/c 飽和度
- $G_{(k,\Phi)}$ 第 k 週期之時相 Φ 之有效綠燈長度 (秒)

由上式(13)~式(15)可以在沒有路口車流資訊之情形下，以號誌週期與各時相時間推估各時相之臨界流量；而在本研究的轉換流程中，則是會推估各時相之臨

界流量，再以式(15)計算每個週期中每個時相所需要的綠燈時間與週期長度。獲得的週期長度與時相長度資料，在傳輸給 TSIS 的外掛程式－執行延伸介面 (run-time extension, RTE)，由該程式來控制 TSIS 中路口號誌時制的執行。

3.2 TSIS RTE

本研究使用美國聯邦公路局所研發之交通軟體 TSIS 進行號誌路口之車流模擬與分析，以探討本研究所設計之號誌轉換模式，在各項測試條件之下的績效。本研究因為使用 TSIS 為模擬分析工具，但因為 TSIS 主程式的號制設定需要在進行模擬前設定完成，無法使用演算法之方式進行變化時制的設定而顯得彈性不足，因此使用 TSIS 之外掛軟體「執行延伸介面」(run-time extension, RTE)，進行轉換時制之演算法撰寫與模擬分析。

美國聯邦公路局 (FHWA)所發展的整合交通系統軟體(TSIS)是一種可提供使用者處理多種交通運行環境的平台，它也是許多交通研究中所廣泛使用的專業軟體。TSIS 以 CORSIM 為執行核心，使用者使用其介面輸入模擬的參數資訊，CORSIM 在依據這些參數的設定呼叫其內部的屬性以及計算模式，經由計算後的路網與車輛等資訊會暫存在記憶體中，作為下一個模擬流程的輸入資訊，最後在經由其介面將結果輸出成檔案資訊。為增加一般使用者使用上的方便，TSIS 的號誌有預設號誌轉換流程，及可設定號誌週期數量上的限制，而為讓進階使用者可依據其需求進行號誌等資料設定，TSIS 提供一個開放式架構之外掛程式能與 CORSIM 執行核心直接聯繫。

上述之外掛程式稱為執行延伸介面(RTE)，此程式不但可以改變號誌時誌之設計，也可以提供道路監控、事件偵測與產生(封閉或開放任意車道)、以及匝道儀控、公車監控等相關功能。執行延伸介面(RTE)可用於建立新的號誌邏輯，以取代 CORSIM 預設邏輯，也可補充或替換目前現有的號誌邏輯，以填補中預設邏輯的不足。執行延伸介面是以開放軟體方式撰寫，只要使用 C++程式語言軟體即可編撰。

圖 3-2 說明了 TSIS 中 CORSIM 的各項操作架構，包含了各個介面以及執行延伸介面的運作。每個方塊代表了一個組件模式(Component Object Model, COM)介面，各介面間則依靠動態連結程式庫(dynamic-link library, DLL)進行鏈結。在這些模組中，CORSIM 驅動元件可將 CORSIM 各項屬性資料傳輸至核心程式使用，並將計算後之資料傳輸至 TShell 介面以圖形方式呈現至視窗中。

在模擬程式中，每次程式之迴圈稱為一個時間步階(Time Step)，在一個步階起始時 CORSIM 核心程式會將其需要之功能與參數屬性由驅動元件呼叫至主程式中，以協助各項子程式之模擬。當啟動執行延伸介面時，CORSIM 主程式會呼叫函數輸出功能，在每個時間步階執行前，將執行延伸介面所需要的資訊傳送給執行延伸介面，如圖中所示之「1」；而經由執行延伸介面所計算出的模擬相關資訊或需要輸出的文字訊息也可在執行延伸介面處理後，傳送回 CORSIM 主程式修改屬性或作為傳送文字訊息用，其流程如圖中所標示之「2」；除此之外，執行

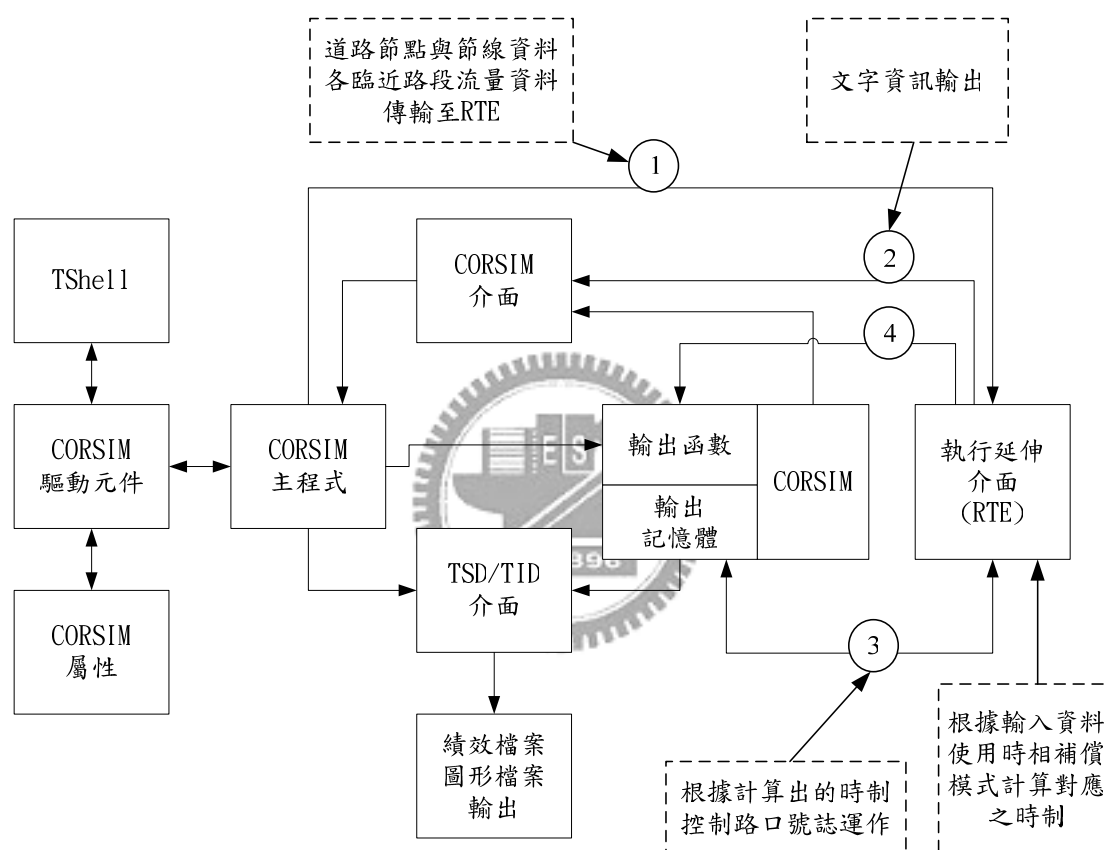


圖3-2 執行延伸介面RTE示意圖

延伸介面也可以由兩者使用之共享記憶體，直接存取 CORSIM 中的資料結構。共享記憶體所包含之資訊，可讓執行延伸介面擷取模擬時的即時資訊，也可以讓執行延伸介面直接修改模擬中的資料。如圖中所標示之「3」；最後，執行延伸介面可以直接呼叫 CORSIM 輸出函數，作為輸出其他文字結果之用。如圖中所標示之「4」。

本研究採用執行延伸介面，將時相補償模式編寫為號誌轉換邏輯的執行程

式，用以取代 TSI 預設之號誌轉換邏輯，再經由模擬技術將現實中難以達成的相同假設環境做多次實驗，以進行時相補償模式的情境分析。

3.3 時相補償模式

本節針對前述時相補償模式之觀念進行建構，並以二時相時制轉換為多時相時制為例加以說明。

3.3.1 模式架構

本時相補償模式，除了可適用於一般相同時相數與時相順序之時制轉換外，也可應用於不同時相數之間與/或重疊時相之間之時制轉換；換言之，對於時制轉換前、後時相型態與時相數不相同之時制控制計畫都可使用本時相補償模式進行轉換。

本模式的發展是以時制設計的角度為出發，為配合考量多時相與/或重疊時相間之轉換，假設車輛轉向型態是以每個車流轉向佔用一車道為基礎。其理由如下：一般道路幾何設計典型之車道佈設型態如圖 3-3 所示，就簡單二時相設計而言，圖 3-3 中的各佈設型態皆可適用，但型態一的共用車道方式無法在時制轉換時改為多時相設計，因此在號誌設計時，可將左、右轉車流量乘以一轉向當量後併入直行車流量中；車道佈設型態二之左車道，為左轉兼直行車輛使用，但在左轉車流量較高時會阻擋直行車輛，故常導致直行車輛改用右車道行駛，左車道事實上可視為左轉專用道 (a defacto left turn lane)，而右車道之右轉車流量則可併入直行車流量計算；同理車道佈設型態三與型態二類似。在號誌設計時，型態一由於幾何型態的關係，無法設置多時相號誌，多時相號誌常只使用於型態二、三、，因此，本研究在時制設計時採每一個轉向車流佔用一車道為之假設。

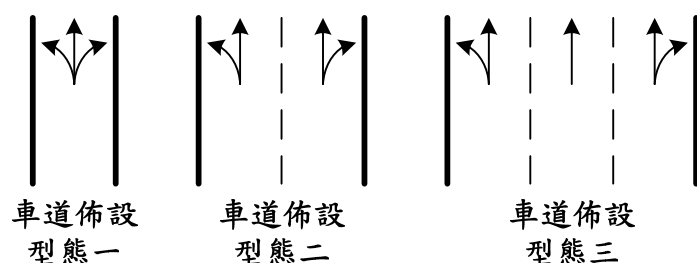


圖3-3 道路狀態示意圖

一號誌時制中之時相 Φ 係取決於臨近路段時相 Φ 內各轉向 a 之總和為計算之基礎，稱之為臨界流量，因此在第 k 週期中總臨界流量乃為

$$\sum_1^{N_k} V_{(k,\Phi)} \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{每一時相之臨界流量 } V_{(k,\Phi)} = \text{Max} \left\{ \sum_a v_{(k,a)}, \forall a \in M_{(k,\Phi)} \right\}$$

其中：

- $M_{(k,\Phi)}$ 第 k 週期時相 Φ 所包含轉向 a 之集合
- $V_{(k,\Phi)}$ 第 k 週期之時相 Φ 之臨界流量 (輛/小時)
- $v_{(k,a)}$ 第 k 週期之轉向 a 之流量 (輛/小時)
- a 路口轉向編號, $a = 1, 2, \dots$
- k 週期順序編號
- Φ 時相 Φ , $\Phi = 1 \sim N_k$

號誌週期之計算方式如式(17) 所示，其中之飽和車間距、飽和度，以及尖峰小時因素採用路口平均值進行計算：

$$C_k = \frac{t_L \times N_k}{1 - \frac{\sum_1^{N_k} V_{(k,\Phi)}}{(3600/h_\Phi) \times PHF_\Phi \times (v/c)_\Phi}} \dots\dots\dots (17)$$

其中：

- C_k 第 k 週期之號誌週期長度 (秒)
- PHF_Φ 時相 Φ 的尖峰小時因素
- $(v/c)_\Phi$ 時相 Φ 之飽和度
- h_Φ 時相 Φ 之飽和車間距(秒)
- t_L 每一時相損失時間 (秒)
- N_k 第 k 週期之總時相數

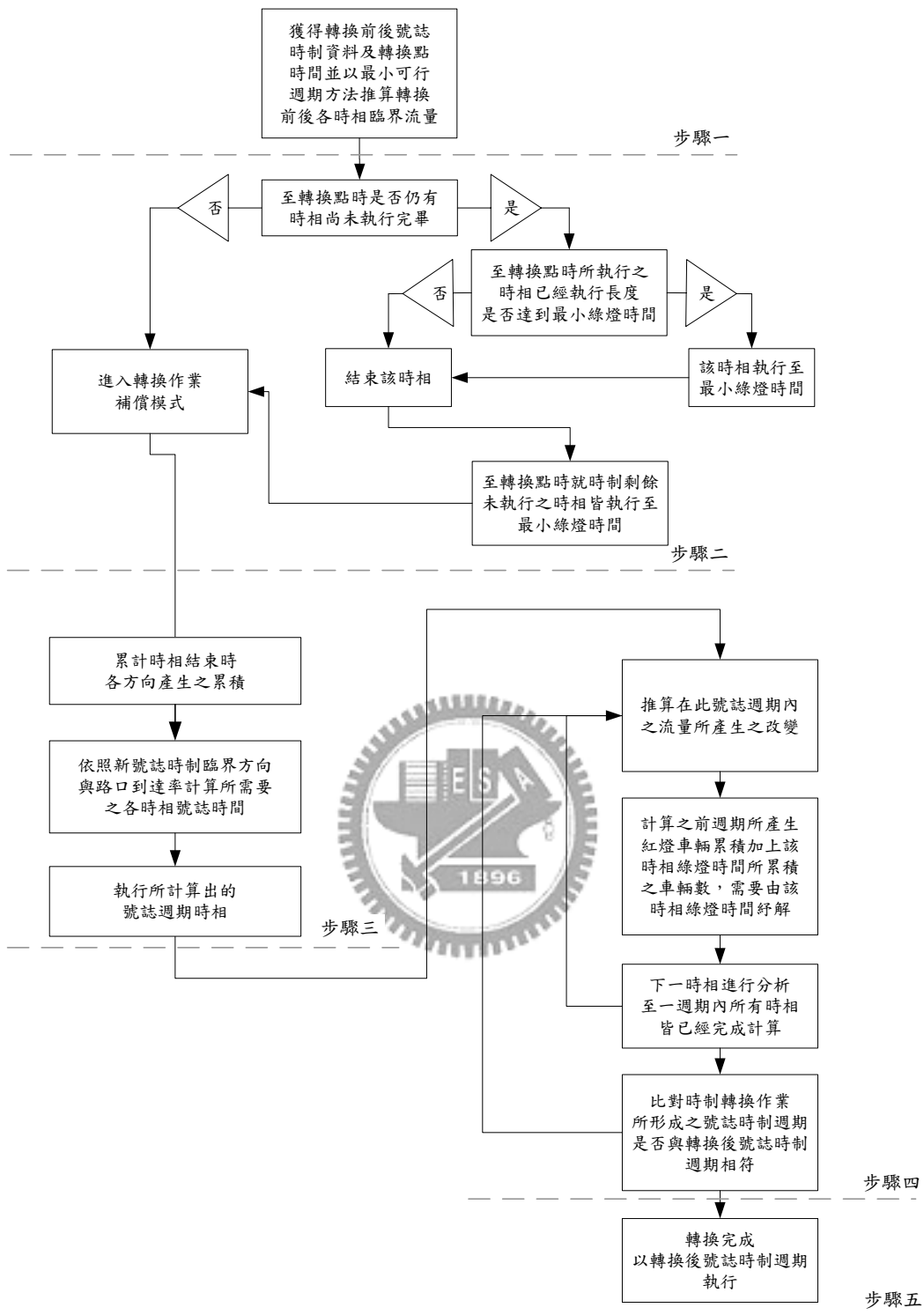


圖3-4 時相補償模式流程圖

流程步驟一：

在未到達時制轉換點時，號誌控制器正執行轉換前之舊號誌時制，本研究假設新、舊時制與預訂之時制轉換時間點皆為已知，故可依照新、舊號誌時制與週期推估各時相之臨界流量，並且設定 $k = 0$ 為一個完整執行之舊號誌時制。由於新舊號誌時制皆為已知，故

舊號誌時相 Φ 之臨界流量為 $V_{(\Phi)}^{old}$ ，且令 $v_{(old,a)} = V_{(\Phi)}^{old}$ 其中 $\forall a \in M_{(old,\Phi)}$

新號誌時相 Φ 之臨界流量為 $V_{(\Phi)}^{new}$ ，且令 $v_{(new,a)} = V_{(\Phi)}^{new}$ 其中 $\forall a \in M_{(new,\Phi)}$

其中：

$V_{(\Phi)}^{old}$ 舊時制之時相 Φ 之臨界流量 (輛/小時)

$V_{(\Phi)}^{new}$ 新時制之時相 Φ 之臨界流量 (輛/小時)

$M_{(k,\Phi)}$ 第 k 週期時相 Φ 所包含轉向 a 之集合

流程步驟二：

於到達時制轉換點時，若恰好為舊號誌時制週期結束點，則直接進入轉換時段；若於到達時制轉換點時，舊號誌時制尚未完全執行完畢，則本研究稱該週期為一個「分割週期」。通常處理分割週期之方式各不相同，本研究考量避免新、舊時制之混淆與縮減等候車隊長度，故採用最短綠燈時間法則。在有分割週期之情況下，若於時制轉換點時所執行之時相尚未執行超過其最短綠燈時間，則該時相應執行至最短綠燈時間後即轉換至下一時相；若已經執行超過該時相之最短綠燈時間，則立即結束直接轉換至下一時相。至於分割週期內之其他時相則各執行至該時相之最短綠燈時間後即結束，直到週期內剩餘之全部時相皆執行完畢後，隨即進入轉換時段。

換言之，在轉換點時正在執行之號誌週期若為分割週期，則判斷正在執行之時相 Φ 已經執行之時間是否大於該時相之最短綠燈時間；若是，則結束該時相；若否，則在該時相執行至最短綠燈時間後，立即轉而執行下一個時相，剩下之 $N_k - \Phi$ 個時相皆執行其對應之最短綠燈時間，且在週期結束時，進入轉換時段。本研究並不將分割週期列入轉換時段所含之週期數中。

流程步驟三：

預測進入轉換時段後各週期內之流量變化為

$$V_{(k,\Phi)} = V_{(k-1,\Phi)} + \frac{V_{(new,\Phi)} - V_{(k-1,\Phi)}}{\rho} \dots\dots\dots(18)$$

其中：

ρ 時制轉換時段內流量變動緩和係數, $\rho \geq 1$

ρ 為流量變動緩和係數，其功能為則整每個週期流量之變動量，使用者可以依照道路歷史流量改變之型態，調整設定該參數值。若在無歷史資料之情形下(如本研究)流量變動緩和係數 ρ 預設為 1，代表進入轉換時段時，即以新時制所對應之流量進行號誌之計算。圖 3-5 顯示在不同 ρ 值之下，流量依時變動的概況，週期 0 與 6 分別代表新、舊時制之流量差以百分比 (%) 為單位，100% 代表完全改變為新時制之流量狀態，並設置五週期之轉換分別為週期 1~5。當 $\rho=1$ 時，表示一進入轉換週期，流量隨即轉換成新時制之流量水準；當 $\rho=2$ 時，表示以每週期 50% 之方式趨近於新時制之流量水準。 ρ 值應大於 1， ρ 值愈大時，則新、舊時制間之流量趨近過程愈緩和。

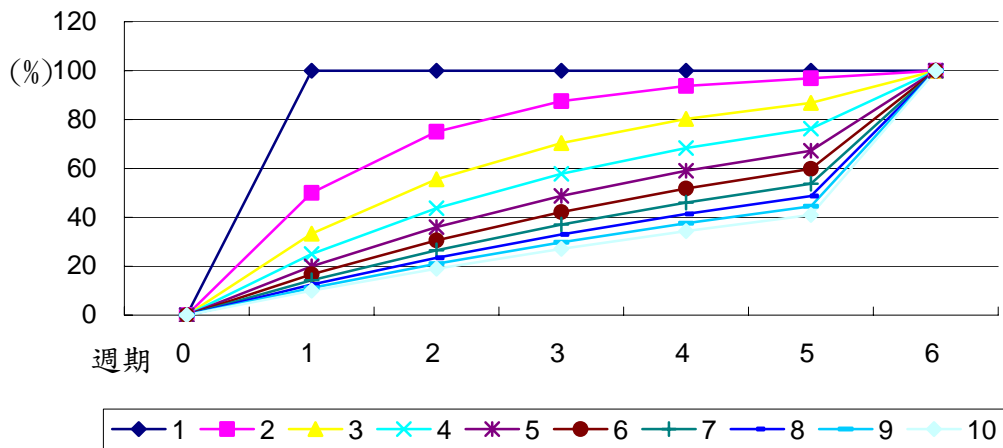


圖3-5 緩和係數與流量改變關係圖

在步驟二中，若無分割週期，則對於時相 Φ 所包含之轉向 a 而言，應計算自前一週期包含轉向 a 之時相結束點起至本週期時相 Φ 開始點前之紅燈時段所累積之車隊長度，以及時相 Φ 之綠燈時段預計到達之車輛數，此兩個車輛數值之和應等於時相 Φ 之綠燈時間可紓解之車輛數。若步驟二有分割週期，則對時相 Φ 所包含之轉向 a ，應計算前兩個週期所產生之車隊長度（車輛數），以及時相 Φ 綠燈時間預計到達之車輛數，此兩車輛數之和應等於時相 Φ 之綠燈時間可紓解之總車輛數。

新時制若不包含重疊時相，則可依照不重疊多時相之時制轉換方式，直接計算轉換週期，並比較該週期每一個時相 Φ 所包含之各轉向所需綠燈時間的最大值，將之設定為該時相 Φ 之綠燈時間。若新時制含重疊時相，則須以聯立方程式求解各時相之執行時間，步驟二與步驟三可模式化如下。

1. 在多時相號誌轉換時，若轉換點恰好為週期結束點，則設定 $k=0$ 為完整之舊號誌週期，第 0 週期為一個可完整執行之舊號誌週期。若時制轉換點恰為舊號誌執行完成點，則令週期 $k=1$ ，正式進入轉換週期，並依序進行時相轉換與補償。各週期間流量之變化如下

$$V_{(k,\Phi)} = V_{(k-1,\Phi)} + \frac{V_{(new,\Phi)} - V_{(k-1,\Phi)}}{\rho} \dots\dots\dots (19)$$

當 $k=1$ 時：

$$\frac{v_{(k-1,a)}}{3600} r_{(k-1,a)} + \frac{v_{(k,a)}}{3600} g_{(k,a)} = \frac{1}{h} g_{(k,a)} \dots\dots\dots (20)$$

$$g_{(k,a)} = \frac{h \times v_{(k-1,a)} \times r_{(k-1,a)}}{3600 - v_{(k,a)}} \dots\dots\dots (21)$$

$$G_{(k,\Phi)} = \text{Max}\{g_{(k,a)}, \forall a \in M_{(k,\Phi)}\} \dots\dots\dots (22)$$

$$C_k = \sum_{\Phi} G_{(k,\Phi)} + N_k \times t_L \dots\dots\dots (23)$$

其中：

- $g_{(k,a)}$ 第 k 週期之轉向 a 之有效綠燈長度 (秒)
- $G_{(k,\Phi)}$ 第 k 週期之時相 Φ 之有效綠燈長度 (秒)
- $r_{(k,a)}$ 第 k 週期轉向 a 紅燈長度(為第 $k-1$ 週期最後包含轉向 a 之時相 Φ 結束起至第 k 週期第一個包含轉向 a 之時相 Φ 開始止之時間長度)(秒)

時相轉換完成後，應進入下一個補償週期。

2. 在多時相號誌轉換時，當轉換點落在舊時制之某一週期中，則稱有分割週期 $k=1$ 。若此週期之總時相數為 N_1 ，且於第 Φ 時相進行轉換，則時相 $1 \sim (\Phi-1)$ 應執行與前一週期 $k=0$ 內時相相同之時間長度；當執行時相 Φ 時遇時制轉換點時，若已超過時相 Φ 之最短綠燈時間，則直接轉換至下一個時相，若未超過最短綠燈時間，則執行時相 Φ 之最短綠燈時間後，跳至下一個時相；至於時相 $(\Phi+1) \sim N_1$ 則均執行至最短綠燈時間為止。

當 $k = 2$ 時：

$$\frac{v_{(k-2,a)}}{3600} r_{(k-2,a)} + \frac{v_{(k-1,a)}}{3600} g_{(k-1,a)} - \frac{1}{h} g_{(k-1,a)} = q_{(k-1,a)} \dots\dots\dots (24)$$

$$\frac{v_{(k-1,a)}}{3600} r_{(k-1,a)} + \frac{v_{(k,a)}}{3600} g_{(k,a)} + q_{(k-1,a)} = \frac{1}{h} g_{(k,a)} \dots\dots\dots (25)$$

$$G_{(k,\Phi)} = \text{Max}\{g_{(k,a)}, \forall a \in M_{(k,\Phi)}\} \dots\dots\dots (26)$$

$$C_k = \sum_{\Phi} G_{(k,\Phi)} + N_k \times t_L \dots\dots\dots (27)$$

其中：

$q_{(k,a)}$ 第 $k-1$ 週期內最後一個包含轉向 a 之時相 Φ 結束起至第 k 週期第一個包含轉向 a 之時相 Φ 開始時，轉向 a 累積車隊長度 (輛)

時相轉換完成後，應進入補償模式。

3. 進行重疊時相轉換時，須求解聯立方程式如下：

假設 $k=0$ 為一完整之舊時制週期，第 0 週期為一個可完整執行完畢之舊時制週期。當在第 k 週期時，其所含 N_k 個時相之每一個時相 Φ 之綠燈時間為 $g_{(k,\Phi)}$ ， $\Phi = 1 \sim N_k$

(1) 重疊時相中未重疊之轉向，於第 $\hat{\Phi}$ 時相時

$$[Sr_{(k-1,a')} + \sum_{\Phi=1}^{\hat{\Phi}-1} G_{(k,\Phi)} + (\hat{\Phi}-1) \times t_L] \times \frac{v_{(k-1,a')}}{3600} + \frac{v_{(k,a')}}{3600} g_{(k,a')} = \frac{1}{h} g_{(k,a')} \dots\dots\dots (28)$$

$$G_{(k,\hat{\Phi})} = g_{(k,a')} \dots\dots\dots (29)$$

$a' = \text{Max}\{v_{(k,a)}, a \in M_{(k,\hat{\Phi})}\}$ 所對應的 a 值

其中

$Sr_{(k,a)}$ 第 k 週期內最後一個包含轉向 a 之時相結束起至第 k 週期結束時之紅燈長度 (秒) $a \in M_{(k,\Phi)}$ ，

$$Sr_{(k,a)} = C_k - \sum_1^{\Phi} G_{(k,a)} - \Phi \times t_L$$

(2) 重疊時相中有重疊之轉向，於第 $\hat{\Phi}$ 時相時

$$[Sr_{(k,a)} + \sum_{\Phi=1}^{\hat{\Phi}-1} G_{(k,\Phi)} + (\hat{\Phi}-1) \times t_L] \times \frac{V_{(k-1,a)}}{3600} + \frac{V_{(k,a)}}{3600} g_{(k,a)} - \frac{1}{h} \sum_{\Phi=1}^{N_k} G_{(k,\Phi \in m_{(k,a)} \wedge \Phi \neq \hat{\Phi})} = \frac{1}{h} g_{(k,a)}$$

.....(30)

$$G_{(k,\hat{\Phi})} = \text{Max}\{g_{(k,a)}, \forall a \in M_{(k,\hat{\Phi})}\} \dots\dots\dots(31)$$

$G_{(k,\Phi)}$ 為變數解聯立方程式所獲得各時相所需執行之時間長度

流程步驟四：

步驟三已經對於不同時相進行轉換，因此步驟四只須針對相對應之時相，計算每個時相所需要之綠燈時間長度即可。若無分割週期，則 $k > 1$ ；若有分割週期，則 $k > 2$ 。對於時相 Φ 需計算前一週期自時相 Φ 結束點起至本週期時相 Φ 開始前之紅燈時間所累積之車隊長度，以及時相 Φ 之綠燈時間到達之車輛數，此兩個車輛數之和應等於時相 Φ 之綠燈時間可紓解之總車輛數。當一個週期內所有時相都完成計算後，則執行該週期，並比對該週期內各時相與新號誌時制中之各時相，若兩者不同則繼續執行本步驟，直到轉換時制與新號誌時制相同為止，正式完成轉換程序。

$$\frac{V_{(k-1,\Phi)}}{3600} R_{(k-1,\Phi)} + \frac{V_{(k,\Phi)}}{3600} G_{(k,\Phi)} = \frac{1}{h} G_{(k,\Phi)} \dots\dots\dots(32)$$

$$G_{(k,\Phi)} = \frac{h \times V_{(k-1,\Phi)} \times R_{(k-1,\Phi)}}{3600 - v_{(k,\Phi)}} \dots\dots\dots(33)$$

$$C_k = \sum_{\Phi} G_{(k,\Phi)} + N_k \times t_L \dots\dots\dots(34)$$

其中

$G_{(\Phi)}^{new}$ 新時制之時相 Φ 之有效綠燈長度 (秒)

$R_{(k,\Phi)}$ 第 k 週期之時相 Φ 之紅燈長度(為第 $k-1$ 週期時相 Φ 執行結束至第 k 週期時相 Φ 開始前之時間長度)(秒)

當 $G_{(k,\Phi)} = G_{(new,\Phi)}$ 時，進入新號誌時制。

流程步驟五：

當轉換週期內的時制計畫與新號誌時制計畫相同時，則完成轉換程序，並執行新號誌時制。

下圖表示不同的轉換流程對於路口車輛之累積與紓解過程，圖 3-6 顯示由二

時相轉換為三時相之號誌時制，且無分割週期之轉換過程，轉換點恰好在舊號誌週期之結束點，故直接進入轉換時段。圖 3-7 則表示由二時相轉換為三時相號誌時制之轉換過程，轉換點位於舊號誌時制之第二個時相內，在產生分割週期後，進入轉換時段。

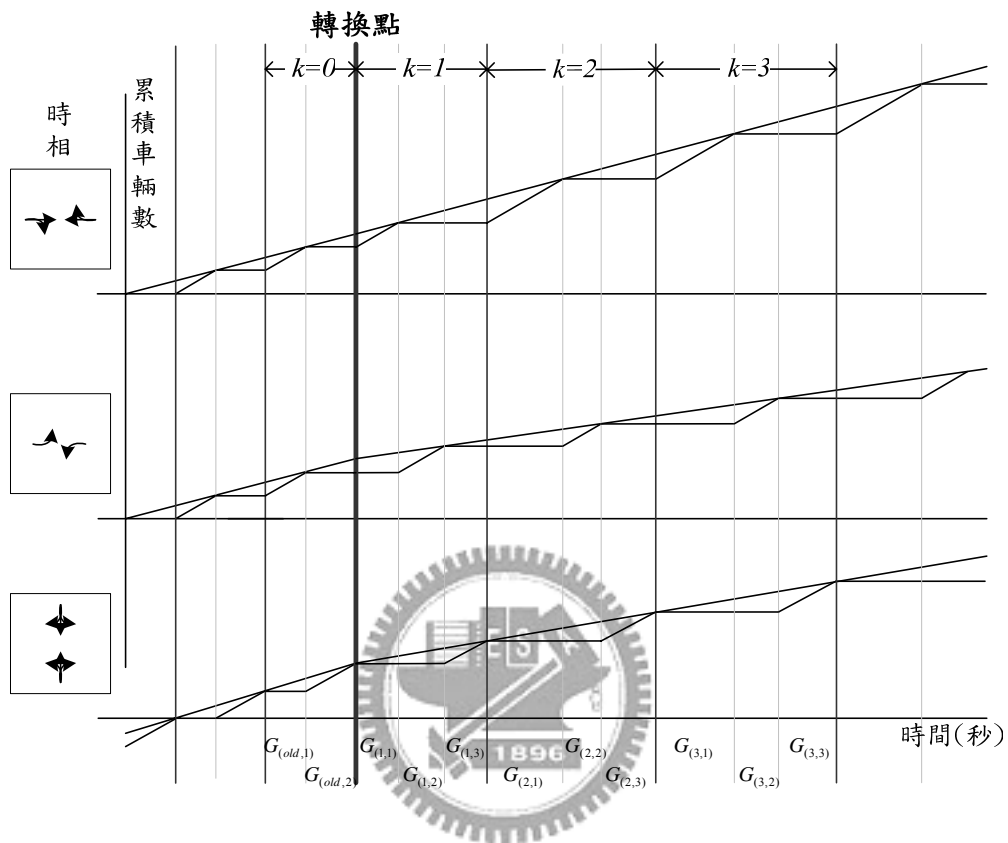


圖3-6 兩時相轉三時相無分割週期轉換圖

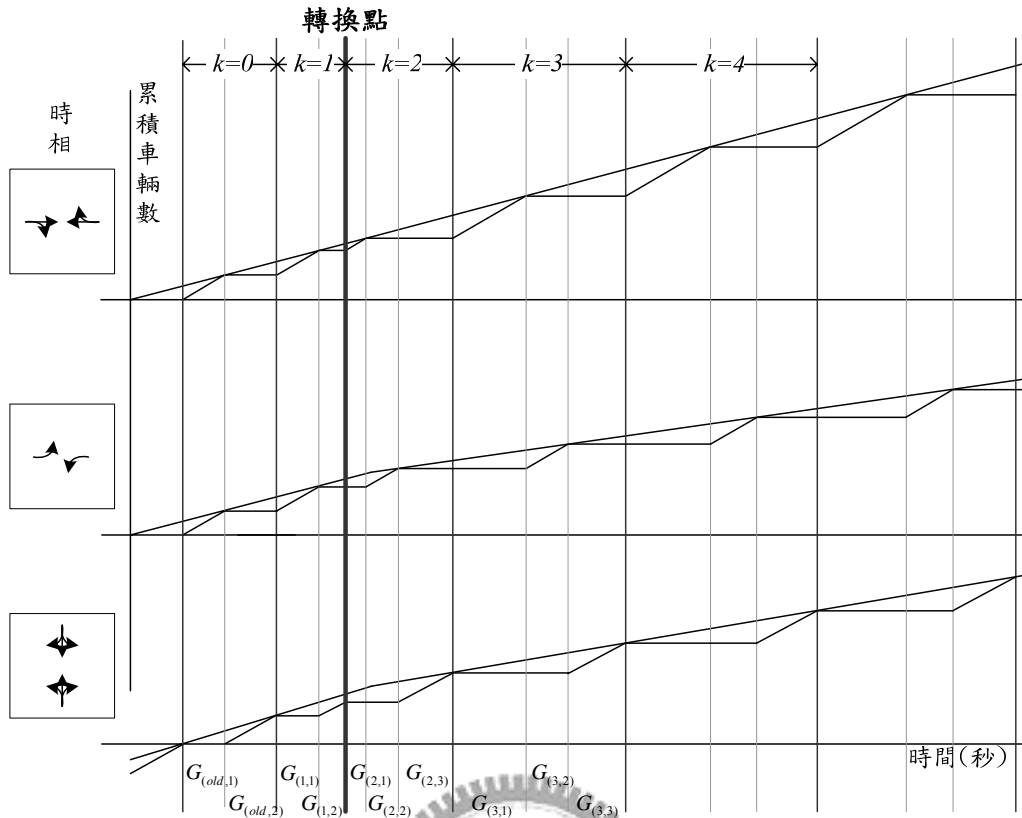


圖3-7 兩時相轉三時相有分割週期轉換圖

3.3.2 實驗範例

本節以一組由兩時相轉變為三時相之情境進行時相補償模式為示範，以了解時相補償模式對於號誌轉換之程序。實驗情境假設基於轉向交通量型態之改變，以致左轉需求增加而需設置左轉專用時相，因而必須改變號誌時制計畫。如表 3-1，轉換前之時制為二時相，週期長度為 40 秒，其中東西向時相長度為 20 秒，南北向時相長度亦為 20 秒。轉換後之時制為一個三時相非重疊時制，週期長度為 150 秒，時相一僅開放東西向直行兼右轉，時相長度為 78 秒；時相二開放予東西向左轉專用，時相長度為 28 秒；時相三開放予南北向所有車流方向行駛，時相長度為 44 秒。若依照所發展之時相補償模式加以計算，需要 7 個轉換週期，其詳細各時相之變動如表 3-2 與圖 3-8 所示。

表3-1 轉換前後號誌時制計畫

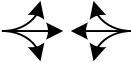

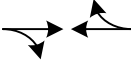


說明	週期長度	時相計畫與時相長度		
轉換前時相	-			-
	40 秒	20 秒	20 秒	-
轉換後時相	-			
	150 秒	78 秒	28 秒	44 秒

表3-2 時相補償模式執行計畫

週期順序	週期長度(秒)	時相 1 長度(秒)	時相 2 長度(秒)	時相 3 長度(秒)
1 (轉換前)	40	20	20	—
2	84	23	27	34
3	130	67	24	39
4	135	69	26	40
5	139	72	26	41
6	142	73	27	42
7	145	75	27	43
8	148	76	28	44
9 (轉換後)	150	78	28	44

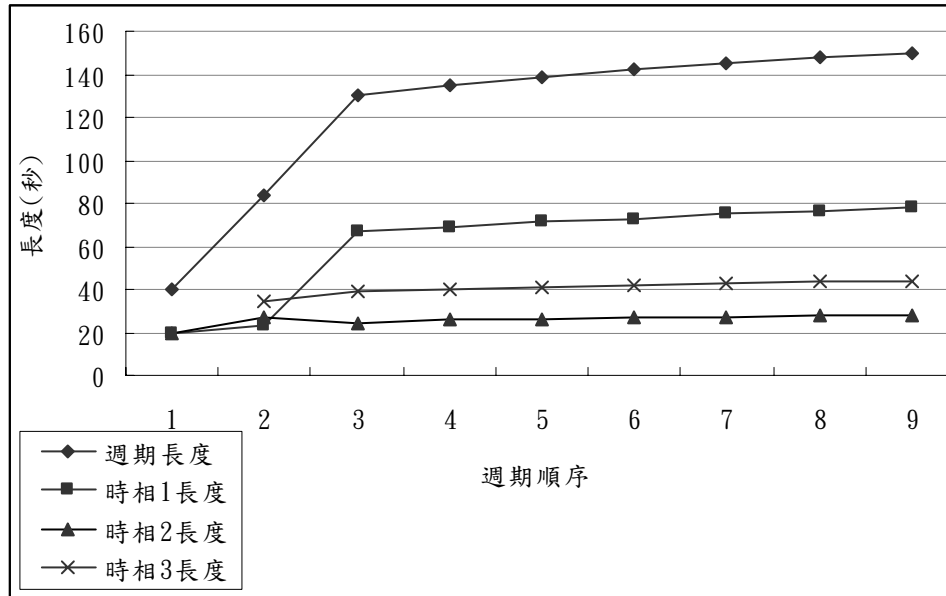


圖3-8 時相與週期長度變化趨勢圖

圖 3-8 顯示各時相及號誌週期長度的變動過程，週期順序 1 與 9 分別為舊時制與新時制，而週期順序 2 至 8 則表示由時相補償模式所計算出轉換時段內的各時制計畫。由此實驗可知，時相補償模式會以漸近之方式，由舊時制逐漸變換為新時制，而順序愈前面的轉換週期，其改變幅度愈大，而到較後面的轉換週期，週期間的時間長度差別則逐漸縮小。因此，轉換時段中較前面週期對於路口之影響大於後面的週期，而較後面的轉換週期，因為週期間的差別不大，若直接改為執行新時制，則較可能使路口獲得較佳之績效，因此需要進一步執行最適轉換長度之研究，以分析不同轉換時段長度對於路口績效之影響。

3.4 最適轉換長度

由時相補償模式所計算的轉換時段，會依照流量的改變，逐漸由舊號誌時制轉變為新號誌時制，而整個轉換時段中的每一個週期及伴隨的各時相長度也會隨著不同的新、舊號誌時制組合和流量而不同，因此將難以定義出一最適轉換時間長度(如 40 秒)，故本研究對轉換時段的長度以週期數為衡量基礎(如 3 個週期)，對於臨界流量之改變界定出一最適轉換之週期數，而此最適轉換週期數所對應時間則稱之為最適轉換長度。如圖 3-9，由 3.3.2 節實驗範例計算之時相補償模式，一完整號誌轉換包含七個週期(即圖中第二至第八個週期)，假設由輸出之績效歸納後顯示最適轉換長度為三個週期，代表當執行完成三個轉換週期後(即圖中第四週期執行完畢時)，便直接執行新號誌時制，可使路口輸出之績效最佳。

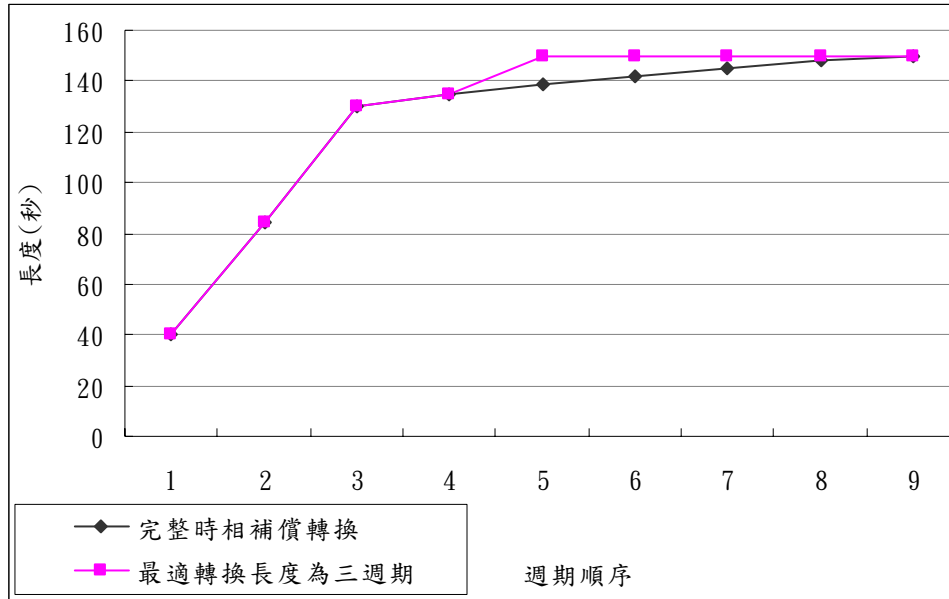


圖3-9 最適轉換長度示意圖

本研究為探討路口號誌時制之最適轉換長度，因此將各種轉換長度可能的組合列為不同之方案，如最適轉換長度為一個週期、最適轉換長度為二個週期、最適轉換長度為三個週期...等。比較不同方案對於路口績效所產生之影響，再歸納出最適轉換長度，而所採用的評估指標為 TSIS 輸出機效中的平均速率與平均延誤時間。

本研究以 TSIS 模擬器進行實驗時，各方案本身的輸出績效常會產生隨機誤差情形，因此經由統計檢定來確認各方案間之差異是否是因為抽樣誤差所造成。研究的各情境間為獨立，且各情境皆經由 30 次之模擬而得，並分別以平均速率與平均延誤時間兩種績效指標對於各情境之績效指標兩兩進行統計檢定分析，而檢定之公式如式(35)。

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{(1-\alpha/2)} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} < \mu_1 - \mu_2 < (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + t_{(1-\alpha/2)} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \dots\dots\dots(35)$$

式(35)中 $t_{(1-\alpha/2)}$ 為 ν 自由度 t 分配之值，自由度 ν 可由下式計算而得

$$\nu = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{[(s_1^2/n_1)^2/(n_1-1)] + [(s_2^2/n_2)^2/(n_2-1)]} \dots\dots\dots(36)$$

其中：

\bar{x}_1 、 \bar{x}_2	樣本平均數
n_1 、 n_2	獨立隨機樣本取樣數
s_1 、 s_2	樣本標準差
ν	自由度
$t_{(1-\alpha/2)}$	ν 自由度在信賴度 $(1-\alpha)\%$ 下之 t 分配
μ_1 、 μ_2	母體平均數

\bar{x}_1 與 \bar{x}_2 代表了兩個不同方案(如最適轉換長度為一個週期、最適轉換長度為二個週期)下，輸出績效之平均數(如平均速率或平均延誤時間)； s_1 、 s_2 代表了兩個方案本身績效分配之標準差；而兩方案取樣數 n_1 、 n_2 則皆為30次。經由上述之參數可計算出兩個方案之間之自由度 ν ，再由自由度 ν 推算 t 分配以獲得兩個不同方案在信賴度 $(1-\alpha)\%$ 下之信賴區間，若信賴區間包含0則代表這兩個方案沒有差異，反之則代表這兩個方案之間存有差異。

3.5 小結

在本章之一開始先定義了基本的研究假設，其次對於研究所用之模擬器與程式進行說明。3.2節根據過去之研究，更深入發展了在多時相與/或重疊時相之時相補償模式流程與模式，經由3.3節實驗範例可以了解時相補償模式中各個轉換週期會由舊號誌週期長度逐漸趨近於新號誌週期長度，而越後面的轉換週期間的長度差異則越小，若差異過小則直接轉換為新時制有可能獲得較佳之績效，因此於3.4節訂定最適轉換長度，以及其比較檢定方式，已確立不同的轉換長度方案間具有可信賴之差異。

第四章 情境模擬與分析

為了要探討不同之時制轉換時效之間績效的差異性，最理想之方式是以實際道路進行測試，但因目前道路實際所使用之號誌控制器無法提供輸入多種時制轉換方法，故不易進行方案評估，且基於安全考量無法隨意切換與試驗，因此，本研究擬由車流模擬的方式確保在比較各種轉換方法時，車輛的各種行為皆在相同的產生機制與前提下進行，以提供相同之比較基礎。

本研究採用 FHWA 發展之車流模擬系統 TSIS 進行模擬分析，由於 TSIS 為微觀之車流模擬器，其對於車輛跟車與變換車道等行為皆有詳細的描述，為一相當成熟且被廣泛使用的車流模擬軟體，因此在進行時制轉換作業分析時可針對各轉換方法進行輸出績效之觀察與比較，且本研究使用 TSIS 外掛模組 RTE 突破過去號誌設定上之限制。

4.1 模擬之各項假設

本模擬之各項假設條件如下：

1. 以獨立之預設時制之四叉型號誌路口為對象，分為東西向與南北向，每一臨進路段皆有兩車道，路段長度皆為 1000 英尺，東西向設置左轉專用道，左轉專用道長 300 英尺。
2. 每時相損失時間為 3 秒。
3. 在轉換時段中預設最小綠燈時間為 10 秒，黃燈時間為 3 秒。
4. 車流之車間距為 2 秒，故飽和流率 1800 輛/小時/每車道。
5. 由初步 TSIS 之模擬動畫輸出發現，當 PHF 為 0.85 時，綠燈時間可恰好抒解紅燈時產生的車隊長度，以及綠燈時到達的車輛，不會產生過飽和之情況發生，因此設定尖峰小時因素(PHF)設定為 0.85。
6. 除了東西向特別設定左轉之時制外，南北向之路口轉向比皆設定為直進 80%、左轉 10%、右轉 10%。
7. 各臨進路段之自由車流速率皆為 30mph
8. 進行模擬作業時，設定每 1 秒鐘累計路網的統計資料，以使一致比較評估時間範圍內的輸出績效值。
9. 由文獻回顧與 TSIS 之輸出資料分類，本研究遴選以下兩種績效衡量指標進行分析：
 - (1) 平均停等延誤(秒/車)

(2) 平均速率(英哩/時)

10. 為使路網達到均衡狀態，所有模擬作業皆設定 120 秒之初始化時間，並於第 360 秒進入轉換時段或分割週期。
11. 每一時制轉換方法與情境皆進行模擬 30 次，以擷取較大的輸出績效之樣本，並求取各績效平均值，每次之模擬皆採用相異之隨機亂數種子。
12. 車輛到達型態服從 Erlang 隨機分配，下式為此分配之函式：

$$f(t) = \frac{(qa)^a}{(a-1)!} t^{a-1} e^{-aqt} \dots\dots\dots(37)$$

其中

t ：車間時距(秒/車)

q ：每車道平均交通量(車/車道/秒)

a ：使用者自訂之數值，

預設為 1 為完全隨機之負指數分配, $f(t) = qe^{-qt}$

為確保模擬分析之客觀性，因此必須使各轉換方式所比較之時間範圍相同。評估模擬輸出績效之起始時間為所有時制轉換方法中最早進入轉換時段之時間點；評估之結束時間為所有時制轉換方法中最後結束轉換時段之時間點。

模擬作業在不同之流量水準下之二時相、多時相及重疊時相之號誌，如表 4-1 所示。由於本研究假設無法獲得路口歷史之轉向資料，可獲得之資訊僅為路口新舊時制計畫，因此路口轉向與流量資訊必須由時制計畫推估而得。各時制之時相計畫與不同之流量水準資訊分別如表 4-2 至表 4-4 所示。

表4-1 各時相流量設定表

時相	流量	東西向				南北向			
		單向 (輛)	左轉 (%)	直行 (%)	右轉 (%)	單向 (輛)	左轉 (%)	直行 (%)	右轉 (%)
二時相	低流量	765	10	80	10	765	10	80	10
二時相	高流量	900	10	80	10	765	10	80	10
多時相	低流量	1080	38	52	10	450	10	80	10
多時相	高流量	1200	33	57	10	492	10	80	10
重疊時相	低流量	980	26	64	10	580	10	80	10
重疊時相	高流量	1100	23	67	10	580	10	80	10

表4-2 二時相時制計劃表

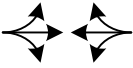

流量	時相計畫		
	週期長度		
低流量	40 秒	20 秒	20 秒
	1530 輛/小時	765 輛/小時	765 輛/小時
高流量	80 秒	43 秒	37 秒
	1665 輛/小時	900 輛/小時	765 輛/小時

表4-3 多時相時制計劃表

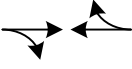



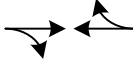


流量	時相計畫			
	週期長度			
低流量	60 秒	29 秒	13 秒	18 秒
	1530 輛/小時	780 輛/小時	300 輛/小時	450 輛/小時
高流量	150 秒	78 秒	28 秒	44 秒
	1692 輛/小時	800 輛/小時	400 輛/小時	492 輛/小時

表4-4 重疊時相時制計劃表

流量	時相計畫				
	週期長度				
低流量	90 秒	13 秒	32 秒	13 秒	32 秒
	1560 輛/小時	200 輛/小時	580 輛/小時	200 輛/小時	580 輛/小時
高流量	180 秒	23 秒	73 秒	23 秒	61 秒
	1680 輛/小時	200 輛/小時	700 輛/小時	200 輛/小時	580 輛/小時

4.2 模擬情境之設定

本節針對不同轉換週期數對於路網所造成之影響進行不同流量及時制下情境組合之實驗。各模擬情境之說明如表 4-5 所示，而各情境所含之各週期長度則如表 4-6 所示，其中每一情境中之週期 0 為舊時制，而最後一個週期為新時制，其餘之週期則屬於轉換時段。

表4-5 模擬情境說明表

情境 屬性	情境 編號	情境 說明	情境 屬性	情境 編號	情境 說明
主情境	1	二時相低流量轉換 多時相高流量	子情境	1	僅使用 1 個轉換週期
主情境	2	二時相低流量轉換 重疊時相高流量	子情境	2	僅使用 2 個轉換週期
主情境	3	二時相高流量轉換 多時相低流量	子情境	3	僅使用 3 個轉換週期
主情境	4	二時相高流量轉換 重疊時相低流量	子情境	4	僅使用 4 個轉換週期
主情境	5	多時相低流量 轉換二時相高流量	子情境	5	僅使用 5 個轉換週期
主情境	6	多時相高流量轉 換二時相低流量	子情境	6	使用全部轉換週期
主情境	7	重疊時相低流量 轉換二時相高流量	子情境	7	使用直接轉換法
主情境	8	重疊時相高流量 轉換二時相低流量	子情境	8	使用鞍點轉換法

表4-6 轉換時段週期數與週期長度表

情境編號	起始時相	結束時相	週期0	週期1	週期2	週期3	週期4	週期5	週期6	週期7	週期8	週期9	週期10	週期11	週期12	週期13
1-1	二時相 低流量	多時相 高流量	40	84	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-2	二時相 低流量	多時相 高流量	40	84	130	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-3	二時相 低流量	多時相 高流量	40	84	130	135	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-4	二時相 低流量	多時相 高流量	40	84	130	135	139	150	-	-	-	-	-	-	-	-
1-5	二時相 低流量	多時相 高流量	40	84	130	135	139	142	150	-	-	-	-	-	-	-
1-6	二時相 低流量	多時相 高流量	40	84	130	135	139	142	145	148	150	-	-	-	-	-
2-1	二時相 低流量	重疊時相 高流量	40	116	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-2	二時相 低流量	重疊時相 高流量	40	116	152	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-3	二時相 低流量	重疊時相 高流量	40	116	152	163	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-4	二時相 低流量	重疊時相 高流量	40	116	152	163	170	180	-	-	-	-	-	-	-	-
2-5	二時相 低流量	重疊時相 高流量	40	116	152	163	170	175	180	-	-	-	-	-	-	-
2-6	二時相 低流量	重疊時相 高流量	40	116	152	163	170	175	180	-	-	-	-	-	-	-
3-1	二時相 高流量	多時相 低流量	80	146	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-2	二時相 高流量	多時相 低流量	80	146	166	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-3	二時相 高流量	多時相 低流量	80	146	166	126	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-4	二時相 高流量	多時相 低流量	80	146	166	126	102	60	-	-	-	-	-	-	-	-
3-5	二時相 高流量	多時相 低流量	80	146	166	126	102	88	60	-	-	-	-	-	-	-
3-6	二時相 高流量	多時相 低流量	80	146	166	126	102	88	79	74	71	68	65	63	62	60
4-1	二時相 高流量	重疊時相 低流量	80	212	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-2	二時相 高流量	重疊時相 低流量	80	212	206	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-3	二時相 高流量	重疊時相 低流量	80	212	206	173	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 4-6 轉換時段週期數與週期長度表(續)

情境編號	起始時相	結束時相	週期 0	週期 1	週期 2	週期 3	週期 4	週期 5	週期 6	週期 7	週期 8	週期 9	週期 10	週期 11	週期 12	週期 13
4-4	二時相高流量	重疊時相低流量	80	212	206	173	150	90	-	-	-	-	-	-	-	-
4-5	二時相高流量	重疊時相低流量	80	212	206	173	150	135	90	-	-	-	-	-	-	-
4-6	二時相高流量	重疊時相低流量	80	212	206	173	150	135	124	117	111	105	100	96	93	90
5-1	多時相低流量	二時相高流量	60	60	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-2	多時相低流量	二時相高流量	60	60	63	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-3	多時相低流量	二時相高流量	60	60	63	68	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-4	多時相低流量	二時相高流量	60	60	63	68	71	80	-	-	-	-	-	-	-	-
5-5	多時相低流量	二時相高流量	60	60	63	68	71	73	80	-	-	-	-	-	-	-
5-6	多時相低流量	二時相高流量	60	60	63	68	71	73	75	77	78	79	80			
6-1	多時相高流量	二時相低流量	150	128	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-2	多時相高流量	二時相低流量	150	128	90	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-3	多時相高流量	二時相低流量	150	128	90	68	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-4	多時相高流量	二時相低流量	150	128	90	68	56	40	-	-	-	-	-	-	-	-
6-5	多時相高流量	二時相低流量	150	128	90	68	56	49	40	-	-	-	-	-	-	-
6-6	多時相高流量	二時相低流量	150	128	90	68	56	49	45	44	42	40				
7-1	重疊時相低流量	二時相高流量	90	58	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7-2	重疊時相低流量	二時相高流量	90	58	58	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7-3	重疊時相低流量	二時相高流量	90	58	58	64	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7-4	重疊時相低流量	二時相高流量	90	58	58	64	68	80	-	-	-	-	-	-	-	-
7-5	重疊時相低流量	二時相高流量	90	58	58	64	68	72	80	-	-	-	-	-	-	-
7-6	重疊時相低流量	二時相高流量	90	58	58	64	68	72	80	-	-	-	-	-	-	-

表 4-6 轉換時段週期數與週期長度表(續)

情境編號	起始時相	結束時相	週期 0	週期 1	週期 2	週期 3	週期 4	週期 5	週期 6	週期 7	週期 8	週期 9	週期 10	週期 11	週期 12	週期 13
8-1	重疊時相 高流量	二時相 低流量	180	102	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8-2	重疊時相 高流量	二時相 低流量	180	102	66	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8-3	重疊時相 高流量	二時相 低流量	180	102	66	54	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8-4	重疊時相 高流量	二時相 低流量	180	102	66	54	49	40	-	-	-	-	-	-	-	-
8-5	重疊時相 高流量	二時相 低流量	180	102	66	54	49	81	40	-	-	-	-	-	-	-
8-6	重疊時相 高流量	二時相 低流量	180	102	66	54	49	81	51	42	40	-	-	-	-	-

表 4-6 為不同時制與流量下不同轉換時段所含週期數的情境分類，各流量對照不同之時相長度，再由時相補償模式依次計算出完整之補償週期，本研究在由完整之補償週期中選取所需要執行之週期數進行分析。每一組流量對照一組時制成為一組情境，編號 1~8 分別代表二時相、多時相與重疊時相和低、高流量之組合。每組情境下再區分為 6 組子情境，代表轉換時段內所含週期數。在各組情境中，週期 0 為起始時制到達轉換點時則進入轉換時段，其中「-1」~「-5」子情境代表所選用轉換時段週期數。以情境 1-1 為例，代表主情境 1：由二時相低流量轉換到多時相高流量，-1 則代表只使用一個轉換週期，換言之，在二時相(40 秒)計劃執行到轉換點後，執行一個週期的轉換時段(84 秒)就進入多時相(150 秒)之號誌時制。而子情境編號-6 代表執行完整之轉換時段所含的週期數。

本研究由上述實驗所獲得之最適轉換時段所採用之週期數，再與運研所評估最佳之鞍點轉換法與直接進行轉換之模式進行分析比較，以探討何者為較佳之號誌轉換模式。表 4-7 顯示各主情境編號下直接轉換與鞍點轉換法的各週期長度，子情境編號「-7」表示採用直接轉換；子情境編號「-8」表示採用鞍點轉換法。

表4-7 模擬編號表

情境編號	起始時相	結束時相	週期0	週期1	週期2	轉換方式
1-7	二時相低流量	多時相高流量	40	150	-	直接轉換
2-7	二時相低流量	重疊時相高流量	40	180	-	直接轉換
3-7	二時相高流量	多時相低流量	80	60	-	直接轉換
4-7	二時相高流量	重疊時相低流量	80	90	-	直接轉換
5-7	多時相低流量	二時相高流量	60	80	-	直接轉換
6-7	多時相高流量	二時相低流量	150	40	-	直接轉換
7-7	重疊時相低流量	二時相高流量	90	80	-	直接轉換
8-7	重疊時相高流量	二時相低流量	180	40	-	直接轉換
1-8	二時相低流量	多時相高流量	40	100	150	鞍點轉換法
2-8	二時相低流量	重疊時相高流量	40	240	180	鞍點轉換法
3-8	二時相高流量	多時相低流量	80	40	60	鞍點轉換法
4-8	二時相高流量	重疊時相低流量	80	60	90	鞍點轉換法
5-8	多時相低流量	二時相高流量	60	107	80	鞍點轉換法
6-8	多時相高流量	二時相低流量	150	53	40	鞍點轉換法
7-8	重疊時相低流量	二時相高流量	90	53	80	鞍點轉換法
8-8	重疊時相高流量	二時相低流量	180	27	40	鞍點轉換法

4.3 輸出績效與趨勢

以下分別針對最適轉換長度與不同轉換方式之模擬輸出績效進行相關之分析與比較。

4.3.1 各轉換時段之輸出績效分析

本節將模擬之主情境依照流量之變化，區分為由高流量轉低流量與由低流量轉高流量，本研究模擬不同時相轉變下，不同情境最適轉換長度，並使用統計檢定來確認各情境間之異同。各主情境與子情境間速率與延誤時間之平均值，以及其變異。時相補償模式下各情境之平均速率輸出績效如表 4-8，而各模擬情境之平均速率變異則如表 4-9；各情境之平均延誤時間輸出績效如表 4-10，而各情境模擬之平均延誤時間變異則如表 4-11。

表4-8 平均速率績效輸出表

子情境 主情境	1	2	3	4	5	6
1	9.68	9.8	9.75	10.06	9.76	10.32
2	11.87	11.91	12.05	12.11	12.59	12.59
3	10.99	10.88	10.32	10.21	10.05	10.43
4	12.64	11.95	11.68	11.96	11.81	11.78
5	17.49	17.38	17.37	17.38	17.4	17.74
6	16.38	16.28	16.13	16.15	15.9	16.14
7	17.67	17.41	17.39	16.95	17.44	17.68
8	16.57	16.67	16.68	16.91	16.35	16.31

單位：英哩/時

表4-9 平均速率績效變異輸出表

子情境 主情境	1	2	3	4	5	6
1	0.0951	0.1178	0.4050	0.1982	0.1493	0.2396
2	0.2712	0.2032	0.3028	0.2588	0.3788	0.3788
3	0.1877	0.2796	0.2973	0.4388	0.2917	0.0934
4	0.2271	0.2317	0.1751	0.1782	0.1588	0.2284
5	0.3543	0.4396	0.2801	0.3440	0.4467	0.2960
6	0.4084	0.3418	0.5912	0.4117	0.3289	0.4404
7	0.3246	0.3343	0.3410	0.5739	0.4360	0.4973
8	0.3846	0.3712	0.5440	0.4788	0.5317	0.7010

單位：英哩/時

表4-10 平均延誤時間績效輸出表

子情境 主情境	1	2	3	4	5	6
1	1.792	1.814	1.826	1.776	1.856	1.72
2	1.381	1.397	1.356	1.346	1.232	1.232
3	1.525	1.562	1.671	1.641	1.685	1.624
4	1.178	1.284	1.301	1.284	1.343	1.317
5	0.532	0.535	0.535	0.536	0.537	0.512
6	0.614	0.624	0.636	0.636	0.656	0.638
7	0.514	0.532	0.534	0.57	0.535	0.517
8	0.601	0.591	0.592	0.571	0.642	0.625

單位：秒/車

表4-11 平均延誤時間績效變異輸出表

子情境 主情境	1	2	3	4	5	6
1	0.0068	0.0023	0.0137	0.0073	0.0066	0.0072
2	0.0100	0.0114	0.0144	0.0090	0.0201	0.0201
3	0.0087	0.0096	0.0139	0.0187	0.0095	0.0031
4	0.0110	0.0108	0.0113	0.0087	0.0116	0.0108
5	0.0020	0.0023	0.0015	0.0019	0.0025	0.0014
6	0.0027	0.0022	0.0040	0.0033	0.0025	0.0031
7	0.0018	0.0018	0.0021	0.0038	0.0030	0.0025
8	0.0024	0.0026	0.0034	0.0030	0.0030	0.0052

單位：秒/車

以下先針對流量改變由高流量轉換為低流量之各項績效進行分析，主情境中有四個情境狀態為高流量轉換為低流量，分別為主情境3、4、6、8。在平均速率績效之下，圖4-1顯示出主情境3、4、6中之子情境1績效最佳，主情境8中之子情境4之績效最佳。在平均延誤績效之下，圖4-2，顯示出主情境3、4、6中之子情境1績效最佳，主情境8中之子情境4績效最佳。

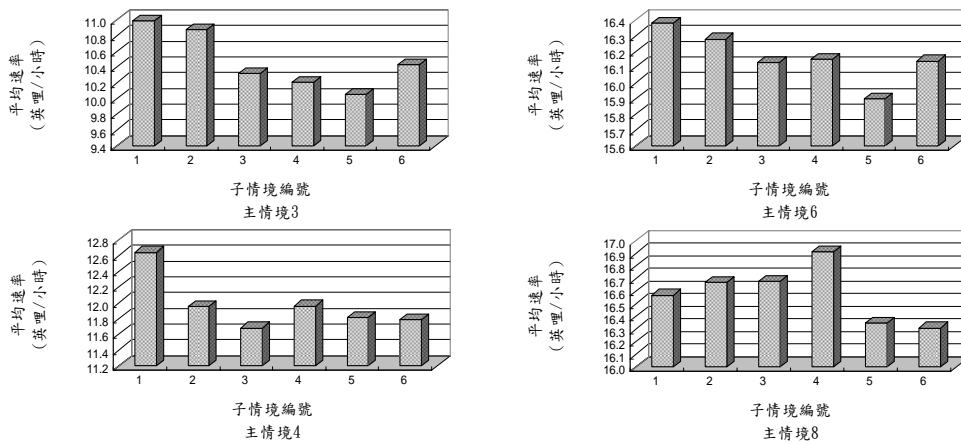


圖4-1 高流量轉低流量之平均速率圖

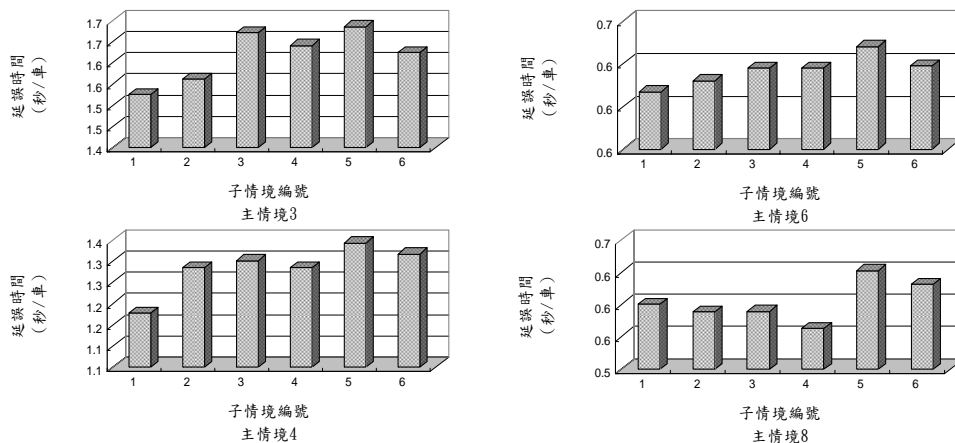


圖4-2 高流量轉低流量之平均延誤時間圖

主情境 3、4、6、8 代表由高流量轉換為低流量，其各主情境下之子情境間平均速率差之檢定如表 4-12~4-15，平均延誤時間差之檢定如表 4-16~4-19。表 4-20 與 4-21 為針對上述各檢定進行的統計歸納，如表 4-22。本研究之統計檢定採用 95%信賴區間法，由表 4-22 可知，由高流量轉換為低流量時，主情境 3、4 採用較少之週期數進行轉換有較明顯之績效差異，而情境 6、8 之最佳子情境與其他子情境間之差異較不明顯，但可歸納由高流量轉換為低流量時，最適情境為子情境 1，也就是採用 1 個轉換週期後，直接執行新號誌時制，可獲得較佳之整體績效。

表4-12 主情境三之平均速率差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.3974,0.1774] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.9629,-0.3771] /有差異	[-0.8791,-0.2409] /有差異	-	-	-
4	[-1.1139,-0.4461] /有差異	[-1.0264,-0.3136] /有差異	[-0.4708,0.2508] /無差異	-	-
5	[-1.2311,-0.6489] /有差異	[-1.1475,-0.5125] /有差異	[-0.5924,0.0524] /無差異	[-0.5194,0.1994] /無差異	-
6	[-0.7833,-0.3367] /有差異	[-0.7082,-0.1918] /有差異	[-0.1545,0.3745] /無差異	[-0.0899,0.5299] /無差異	[0.1175,0.6425] /有差異

表示方式註：[下限,上限]/有無差異
單位：英哩/小時

表4-13 主情境四之平均速率差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.9746,-0.4054] /有差異	-	-	-	-
3	[-1.2264,-0.6936] /有差異	[-0.5381,-0.0019] /有差異	-	-	-
4	[-0.9475,-0.4125] /有差異	[-0.259,0.279] /無差異	[0.0303,0.5297] /有差異	-	-
5	[-1.0911,-0.5689] /有差異	[-0.4026,0.1226] /無差異	[-0.1128,0.3728] /無差異	[-0.3939,0.0939] /無差異	-
6	[-1.1436,-0.5764] /有差異	[-0.455,0.115] /無差異	[-0.1669,0.3669] /無差異	[-0.4479,0.0879] /無差異	[-0.2915,0.2315] /無差異

單位：英哩/小時

表4-14 主情境六之平均速率差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.4639,0.2639] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.6702,0.1702] /無差異	[-0.5564,0.2564] /無差異	-	-	-
4	[-0.6105,0.1505] /無差異	[-0.4947,0.2347] /無差異	[-0.4009,0.4409] /無差異	-	-
5	[-0.8407,-0.1193] /有差異	[-0.7241,-0.0359] /有差異	[-0.6338,0.1738] /無差異	[-0.6115,0.1115] /無差異	-
6	[-0.6271,0.1471] /無差異	[-0.5116,0.2316] /無差異	[-0.4169,0.4369] /無差異	[-0.3978,0.3778] /無差異	[-0.1287,0.6087] /無差異

單位：英哩/小時

表4-15 主情境八之平均速率差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.2652,0.4652] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.295,0.515] /無差異	[-0.3921,0.4121] /無差異	-	-	-
4	[-0.0504,0.7304] /無差異	[-0.1473,0.6273] /無差異	[-0.1949,0.6549] /無差異	-	-
5	[-0.6223,0.1823] /無差異	[-0.7194,0.0794] /無差異	[-0.7657,0.1057] /無差異	[-0.9823,-0.1377] /有差異	-
6	[-0.6986,0.1786] /無差異	[-0.7961,0.0761] /無差異	[-0.8388,0.0988] /無差異	[-1.0565,-0.1435] /有差異	[-0.5067,0.4267] /無差異

單位：英哩/小時

表4-16 主情境三之平均延誤差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.0198,0.0938] /無差異	-	-	-	-
3	[0.0828,0.2092] /有差異	[0.0445,0.1735] /有差異	-	-	-
4	[0.0463,0.1857] /有差異	[0.0082,0.1498] /有差異	[-0.1059,0.0459] /無差異	-	-
5	[0.1033,0.2167] /有差異	[0.0649,0.1811] /有差異	[-0.0504,0.0784] /無差異	[-0.0267,0.1147] /無差異	-
6	[0.0532,0.1448] /有差異	[0.0143,0.1097] /有差異	[-0.1023,0.0083] /無差異	[-0.0797,0.0457] /無差異	[-0.1085,-0.0135] /有差異

單位：秒/車

表4-17 主情境四之平均延誤差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[0.0439,0.1681] /有差異	-	-	-	-
3	[0.0603,0.1857] /有差異	[-0.0455,0.0795] /無差異	-	-	-
4	[0.047,0.165] /有差異	[-0.0587,0.0587] /無差異	[-0.0763,0.0423] /無差異	-	-
5	[0.1018,0.2282] /有差異	[-0.004,0.122] /無差異	[-0.0215,0.1055] /無差異	[-0.0009,0.1189] /無差異	-
6	[0.0769,0.2011] /有差異	[-0.0288,0.0948] /無差異	[-0.0464,0.0784] /無差異	[-0.0257,0.0917] /無差異	[-0.0889,0.0369] /無差異

單位：秒/車

表4-18 主情境六之平均延誤差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.0195,0.0395] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.0126,0.0566] /無差異	[-0.0213,0.0453] /無差異	-	-	-
4	[-0.0106,0.0546] /無差異	[-0.0192,0.0432] /無差異	[-0.036,0.036] /無差異	-	-
5	[0.0116,0.0724] /有差異	[0.0031,0.0609] /有差異	[-0.0141,0.0541] /無差異	[-0.012,0.052] /無差異	-
6	[-0.0081,0.0561] /無差異	[-0.0168,0.0448] /無差異	[-0.0336,0.0376] /無差異	[-0.0317,0.0357] /無差異	[-0.0496,0.0136] /無差異

單位：秒/車

表4-19 主情境八之平均延誤差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.0397,0.0197] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.0412,0.0232] /無差異	[-0.0316,0.0336] /無差異	-	-	-
4	[-0.0609,0.0009] /無差異	[-0.0513,0.0113] /無差異	[-0.0547,0.0127] /無差異	-	-
5	[0.01,0.072] /有差異	[0.0197,0.0823] /有差異	[0.0163,0.0837] /有差異	[0.0385,0.1035] /有差異	-
6	[-0.0128,0.0608] /無差異	[-0.0031,0.0711] /無差異	[-0.0061,0.0721] /無差異	[0.016,0.092] /有差異	[-0.055,0.021] /無差異

單位：秒/車

表4-20 高流量轉低流量之平均速率差信賴區間表

主情境	最佳子情境	檢定無差異子情境
3	1	(1),2
4	1	(1)
6	1	(1),2,3,4,6
8	4	1,2,3,(4),5,6

表4-21 高流量轉低流量之延誤時間差信賴區間表

主情境	最佳子情境	檢定無差異子情境
3	1	(1),2
4	1	(1)
6	1	(1),2,3,4,6
8	4	1,2,3,(4),6

表4-22 高流量轉低流量綜合評比表

主情境	項目	子情境					
3	平均速率	1	2	3	4	5	6
	延誤時間	1	2	3	4	5	6
4	平均速率	1	2	3	4	5	6
	延誤時間	1	2	3	4	5	6
6	平均速率	1	2	3	4	5	6
	延誤時間	1	2	3	4	5	6
8	平均速率	1	2	3	4	5	6
	延誤時間	1	2	3	4	5	6

其次針對流量改變由低流量轉換為高流量之各項績效進行分析，主情境中有四個情境狀態為高流量轉換成低流量，分別為主情境1、2、5、7。在平均速率績效之下，圖 4-3 顯示主情境 1、5、7 中之子情境 6 績效最佳，主情境 8 中之子情境 5、6 績效最佳。在平均延誤績效之下，圖 4-4 顯示出主情境 1、5 中之子情境 5、6 績效最佳，主情境 2 之中子情境 5、6 績效最佳，主情境 7 之中子情境 1 績效最佳。

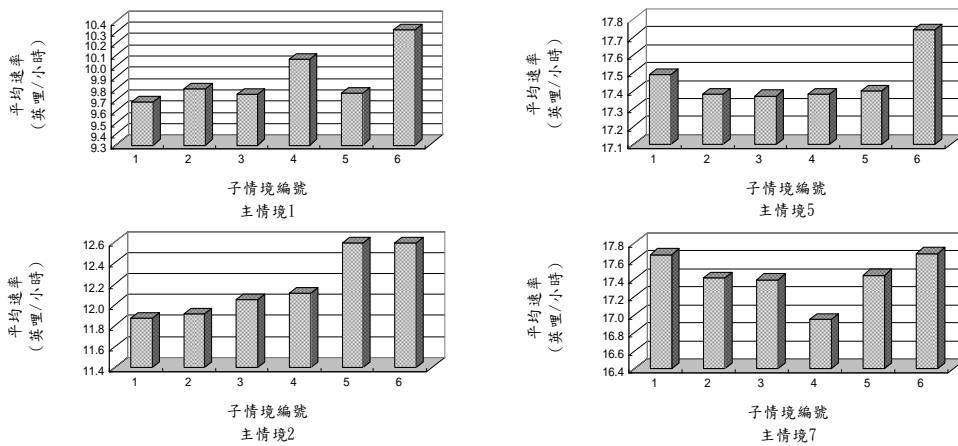


圖4-3 低流量轉高流量之平均速率圖

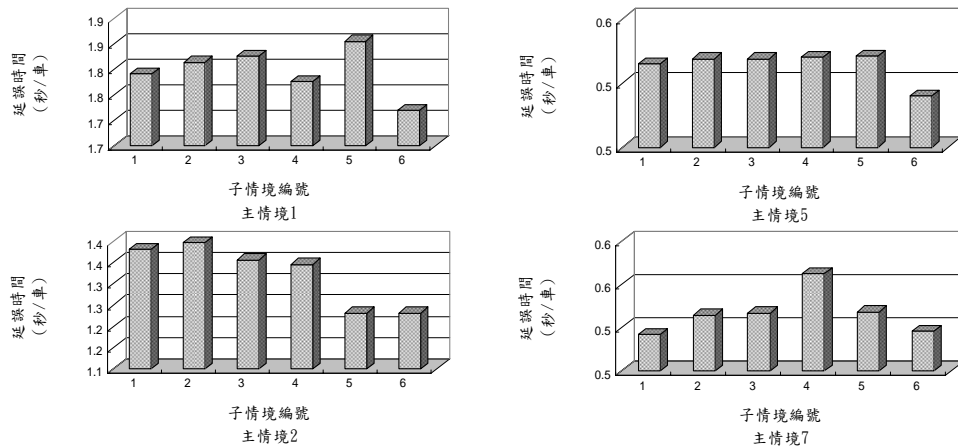


圖4-4 低流量轉高流量之平均延誤時間圖

主情境 1、2、5、7 代表由低流量轉換為高流量的狀況，其各主情境下之子情境間平均速率差檢定如表 4-23~4-26，平均延誤時間差檢定如表 4-27~4-30。表 4-31 與 4-32 針對上述之各檢定進行統計歸納，如表 4-33。本研究之統計檢定採用 95%信賴區間法，由表 4-33 可知，由低流量轉換為高流量時，主情境 1、2 採用完整之時相補償模式週期數進行轉換有較明顯之績效差異，而情境 6、8 之最佳子情境與其他子情境間之差異則較不明顯，但可歸納由低流量轉換為高流量時，最適之情境為子情境 6，也就是採用完整之時相補償模式轉換週期數後，再執行新號誌時制，可獲得較佳之輸出績效。

表4-23 主情境一之平均速率差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.0738,0.3138] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.2301,0.3701] /無差異	[-0.3561,0.2561] /無差異	-	-	-
4	[0.1518,0.6082] /有差異	[0.0235,0.4965] /有差異	[-0.0173,0.6373] /無差異	-	-
5	[-0.1279,0.2879] /無差異	[-0.2571,0.1771] /無差異	[-0.3045,0.3245] /無差異	[-0.5478,-0.0522] /有差異	-
6	[0.3958,0.8842] /有差異	[0.2681,0.7719] 有差異	[0.2322,0.9078] /有差異	[-0.018,0.538] /無差異	[0.2978,0.8222] /有差異

單位：英哩/小時

表4-24 主情境二之平均速率差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.2495,0.3295] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.1383,0.4983] /無差異	[-0.1591,0.4391] /無差異	-	-	-
4	[-0.0659,0.5459] /無差異	[-0.0856,0.4856] /無差異	[-0.2548,0.3748] /無差異	-	-
5	[0.3811,1.0589] /有差異	[0.3589,1.0011] /有差異	[0.1932,0.8868] /有差異	[0.1444,0.8156] /有差異	-
6	[0.3811,1.0589] /有差異	[0.3589,1.0011] /有差異	[0.1932,0.8868] /有差異	[0.1444,0.8156] /有差異	[-0.3657,0.3657] /無差異

單位：英哩/小時

表4-25 主情境五之平均速率差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.4843,0.2643] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.4546,0.2146] /無差異	[-0.3667,0.3467] /無差異	-	-	-
4	[-0.4611,0.2411] /無差異	[-0.3719,0.3719] /無差異	[-0.3219,0.3419] /無差異	-	-
5	[-0.466,0.286] /無差異	[-0.3755,0.4155] /無差異	[-0.3285,0.3885] /無差異	[-0.3536,0.3936] /無差異	-
6	[-0.0888,0.5888] /無差異	[-0.0007,0.7207] /無差異	[0.0511,0.6889] /有差異	[0.0239,0.6961] /有差異	[-0.0224,0.7024] /無差異

單位：英哩/小時

表4-26 主情境七之平均速率差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.6126,0.0726] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.6343,0.0543] /無差異	[-0.3652,0.3252] /無差異	-	-	-
4	[-1.1301,-0.3299] /有差異	[-0.861,-0.059] /有差異	[-0.8424,-0.0376] /有差異	-	-
5	[-0.608,0.128] /無差異	[-0.3387,0.3987] /無差異	[-0.3203,0.4203] /無差異	[0.0676,0.9124] /有差異	-
6	[-0.3826,0.3826] /無差異	[-0.1135,0.6535] /無差異	[-0.0948,0.6748] /無差異	[0.2952,1.1648] /有差異	[-0.1659,0.6459] /無差異

單位：英哩/小時

表4-27 主情境一之平均延誤差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.0182,0.0622] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.0263,0.0943] /無差異	[-0.0419,0.0659] /無差異	-	-	-
4	[-0.0659,0.0339] /無差異	[-0.0795,0.0035] /無差異	[-0.1111,0.0111] /無差異	-	-
5	[0.0154,0.1126] /有差異	[0.0022,0.0818] /有差異	[-0.0301,0.0901] /無差異	[0.0304,0.1296] /有差異	-
6	[-0.1216,-0.0224] /有差異	[-0.1351,-0.0529] /有差異	[-0.1669,-0.0451] /有差異	[-0.1066,-0.0054] /有差異	[-0.1853,-0.0867] /有差異

單位：秒/車

表4-28 主情境二之平均延誤差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.0455,0.0775] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.0906,0.0406] /無差異	[-0.1084,0.0264] /無差異	-	-	-
4	[-0.093,0.023] /無差異	[-0.111,0.009] /無差異	[-0.0743,0.0543] /無差異	-	-
5	[-0.2221,-0.0759] /有差異	[-0.2397,-0.0903] /有差異	[-0.202,-0.046] /有差異	[-0.186,-0.042] /有差異	-
6	[-0.2221,-0.0759] /有差異	[-0.2397,-0.0903] /有差異	[-0.202,-0.046] /有差異	[-0.186,-0.042] /有差異	[-0.0842,0.0842] /無差異

單位：秒/車

表4-29 主情境五之平均延誤差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.0247,0.0307] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.0218,0.0278] /無差異	[-0.026,0.026] /無差異	-	-	-
4	[-0.0222,0.0302] /無差異	[-0.0263,0.0283] /無差異	[-0.0235,0.0255] /無差異	-	-
5	[-0.0231,0.0331] /無差異	[-0.0271,0.0311] /無差異	[-0.0245,0.0285] /無差異	[-0.0267,0.0287] /無差異	-
6	[-0.0446,0.0046] /無差異	[-0.0489,0.0029] /無差異	[-0.0458,-0.0002] /有差異	[-0.0483,0.0003] /無差異	[-0.0513,0.0013] /無差異

單位：秒/車

表4-30 主情境七之平均延誤差信賴區間表

子情境	1	2	3	4	5
2	[-0.0073,0.0433] /無差異	-	-	-	-
3	[-0.0062,0.0462] /無差異	[-0.0242,0.0282] /無差異	-	-	-
4	[0.0244,0.0876] /有差異	[0.0064,0.0696] /有差異	[0.0037,0.0683] /有差異	-	-
5	[-0.0082,0.0502] /無差異	[-0.0262,0.0322] /無差異	[-0.0289,0.0309] /無差異	[-0.0697,-0.0003] /有差異	-
6	[-0.0245,0.0305] /無差異	[-0.0426,0.0126] /無差異	[-0.0454,0.0114] /無差異	[-0.0864,-0.0196] /有差異	[-0.0491,0.0131] /無差異

單位：秒/車

表4-31 低流量轉高流量平均速率差信賴區間表

主情境	最佳子情境	檢定無差異子情境
1	6	4,(6)
2	5,6	(5),(6)
5	6	1,2,5,(6)
7	6	1,2,3,5,(6)

表4-32 低流量轉高流量延誤時間差信賴區間表

主情境	最佳子情境	檢定無差異子情境
1	6	(6)
2	5,6	(5),(6)
5	6	1,2,4,5,(6)
7	1	(1),2,3,5,6

表4-33 低流量轉高流量綜合評比

主情境	項目	1	2	3	4	5	6	子情境
1	平均速率				■			
	延誤時間						■	
2	平均速率					■	■	
	延誤時間						■	
5	平均速率	■	■					
	延誤時間	■			■	■	■	
7	平均速率	■	■	■				
	延誤時間	■				■	■	

4.3.2 不同轉換方式之績效輸出資料

為確認時相補償模式之效果，本節將採用最適轉換長度之時相補償模式與其他轉換方式進行比較，比較方式之一採用直接轉換方式，也就是完全不使用任何轉換模式，直接執行新號誌時制，另一比較方式採用由交通部運輸研究所[4] 所評估最佳之鞍點轉換法，使用此兩種轉換方式與時相補償模式進行比較。表 4-34 與表 4-35 顯示採用最適轉換長度之時相補償模式、直接轉換方式與鞍點轉換法三者所模擬出之平均速率與平均延誤時間。不同方案間之平均速率差比較圖如圖 4-5 所示，在所有的主情境下，時相補償模式最適長度下之平均速率皆高於直接轉換與鞍點轉換法；而不同方案平均延誤時間比較圖如圖 4-6 所示，在主情境 4 中，時相補償模式最適長度下之平均延誤時間高於直接轉換法，但在其他情境下，時相補償模式最適長度平均延誤時間皆低於直接轉換法與鞍點轉換法。

表4-34 不同轉換方式平均速率績效輸出表

子情境 主情境	7 直接轉換	8 鞍點轉換	最適長度 時相補償
1	9.51	9.67	10.32
2	11.17	11.23	12.59
3	10.01	10.31	10.99
4	12.62	12.41	12.64
5	17.58	17.57	17.74
6	14.93	14.58	16.38
7	17.62	17.64	17.68
8	15.92	15.61	16.57

單位：英哩/小時

表4-35 不同轉換方式平均延誤時間績效輸出表

子情境 主情境	7 直接轉換	8 鞍點轉換	最適長度 時相補償
1	1.9	1.877	1.72
2	1.476	1.469	1.232
3	1.736	1.653	1.525
4	1.094	1.189	1.178
5	0.522	0.525	0.512
6	0.748	0.783	0.614
7	0.52	0.518	0.517
8	0.655	0.683	0.601

單位：秒/車

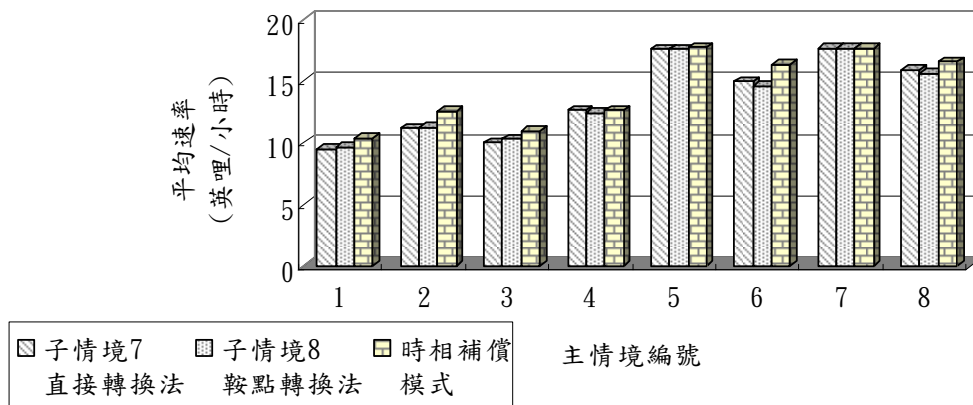


圖4-5 不同轉換方式之平均速率比較圖

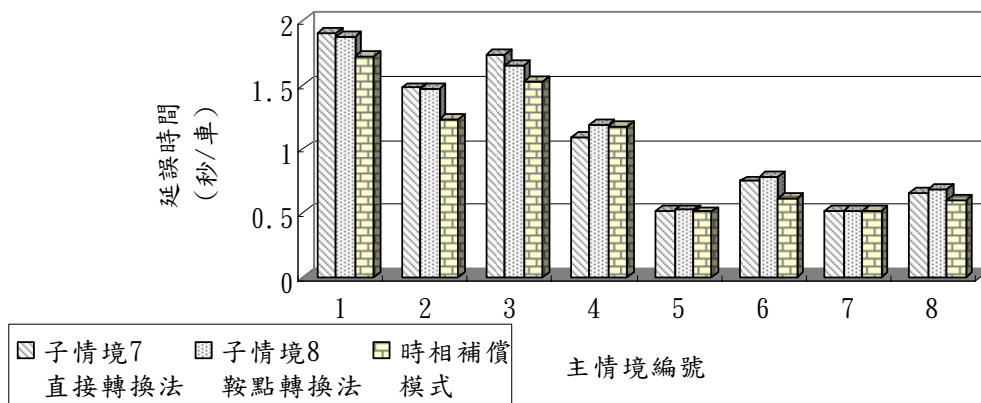


圖4-6 不同轉換方式之延誤時間比較圖

在平均速率的比較中，在所有的情境下，時相補償模式皆優於直接轉換方式與鞍點轉換法。而在平均延誤時間的比較中，除了主情境4外，所有的情境下之時相補償模式之平均延誤時間皆小於直接轉換方式與鞍點轉換法；在主情境4下，由直接轉換之延誤時間績效為佳。

在95%信賴度下，表4-36顯示不同轉換方式之平均速率差之信賴區間，表4-37則顯示不同轉換方式之平均延誤時間差之信賴區間，歸納兩種績效與各情境之差異如表4-38。由表4-38可知，在情境1、2、3、6、8中，時相補償模式皆較直接轉換模式與鞍點轉換模式佳；在情境5、7下，時相補償模式之平均績效

雖然較直接轉換模式較鞍點轉換模式佳，但是由檢定的結果，並無明顯差異；在情境4下，時相補償模式平均績效較鞍點轉換法為佳，但亦無明顯差異，而時相補償模式之平均速率較直接轉換法佳，但無明顯差異，且時相補償模式之平均延誤較直接轉換法高。

表4-36 不同轉換方式之平均速率差信賴區間表

時相補償模式 主情境	子情境7 直接轉換	子情境8 鞍點轉換法
1	[0.5011,1.1189] /有差異	[0.3693,0.9307] /有差異
2	[1.095,1.745] /有差異	[1.0304,1.6896] /有差異
3	[0.6396,1.3204] /有差異	[0.4122,0.9478] /有差異
4	[-0.516,0.096] /無差異	[-0.0362,0.4962] /無差異
5	[-0.1696,0.4896] /無差異	[-0.1645,0.5045] /無差異
6	[1.0428,1.8572] /有差異	[1.3442,2.2558] /有差異
7	[-0.3359,0.4559] /無差異	[-0.2939,0.3739] /無差異
8	[0.2265,1.0735] /有差異	[0.564,1.356] /有差異

表4-37 不同轉換方式之平均延誤差信賴區間表

時相補償模式 主情境	子情境7 直接轉換	子情境8 鞍點轉換法
1	[-0.2553,-0.1047] /有差異	[-0.2094,-0.1046] /有差異
2	[-0.3099,-0.1781] /有差異	[-0.3152,-0.1588] /有差異
3	[-0.2817,-0.1403] /有差異	[-0.1831,-0.0729] /有差異
4	[0.0253,0.1427] /有差異	[-0.0691,0.0471] /無差異
5	[-0.0341,0.0141] /無差異	[-0.0365,0.0105] /無差異
6	[-0.1725,-0.0955] /有差異	[-0.2137,-0.1243] /有差異
7	[-0.0318,0.0258] /無差異	[-0.0249,0.0229] /無差異
8	[-0.09,-0.018] /有差異	[-0.1173,-0.0467] /有差異

註：與最適時相補償模式相比較

表4-38 不同轉換方式之差異比較

時相補償模式 主情境	子情境 7 直接轉換		子情境 8 鞍點轉換模式	
	1	有差異	時相補償佳	有差異
2	有差異	時相補償佳	有差異	時相補償佳
3	有差異	時相補償佳	有差異	時相補償佳
4	有差異	直接轉換佳	無差異	兩者無差異
5	無差異	兩者無差異	無差異	兩者無差異
6	有差異	時相補償佳	有差異	時相補償佳
7	無差異	兩者無差異	無差異	兩者無差異
8	有差異	時相補償佳	有差異	時相補償佳

註：與最適時相補償模式進行比較

4.4 小結

由低流量轉換為高流量時，採用完整之時相補償模式週期數進行轉換有著較明顯之績效差異，由高流量轉換為低流量時，採用一個週期之時相補償模式轉換，可獲得較佳之整體績效。在絕大多數之情境下，時相補償模式之平均績效皆大於鞍點轉換法與直接轉換法，且在大部分之情境下也有顯著之差異。

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 有別於以往號誌時制轉換方法之設計理念，本研究所使用之時相補償模式在轉換方法的設計上，由滿足流量需求的角度著眼，藉由推估臨界流量產生之累積量，再進行補償綠燈時間的推算，此是使路口產生較佳績效之一種概念。
2. 由高流量變成低流量時，僅採用一個轉換週期之方式為最佳。
3. 由低流量變成高流量時，以能完全執行所有轉換週期數之情境績效最佳。
4. 時相補償模式在各情境中之平均速率績效皆優於直接轉換方法與鞍點轉換方法，惟在延誤時間績效有一情境(二時相高流量轉換重疊時相低流量)略高於直接轉換法，但皆優於鞍點轉換法。
5. 時相補償模式在 5 個情境中明顯優於直接轉換與鞍點轉換法；另外兩個情境(多時相低流量轉換二時相高流量、重疊時相低流量轉換二時相高流量)平均速率與平均延誤時間績效優於直接轉換與鞍點轉換法，但無明顯差異；有一情境(二時相高流量轉換重疊時相低流量)之延誤時間高於直接轉換方式，而平均速率則優於直接轉換法。整體而言，時相補償模式優於其他轉換方式。

5.2 建議

1. 目前進行號誌時制轉換方法的比較分析範圍僅限於獨立路口，未來可考慮擴大研究的範圍，並加入號誌連鎖的策略與限制，探討更複雜的時制轉換程序，以增進本研究的實用範圍。
2. 本研究假設已知的資訊僅限於路口號誌時制計劃，並無實際的流量、轉向比，以及車種組成等資訊，因此在發展時制轉換方法時並未將轉向比、車種組成等因素納入考量。未來可考慮將上述因素納入模式中，進一步探討其對於時制轉換過程的影響。

參考文獻

1. 姜智翔，「交通號誌時制補償方法之研究」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國九十四年六月
2. 黃月貞，「模擬微觀混合車流下幹道號誌連鎖策略之研究」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國九十二年六月
3. 黃榮輝，「定時號誌時段劃分之研究」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國九十年六月
4. 「台灣地區先進交通管理系統中都市號誌控制邏輯標準化與標準作業程序之研究」，交通部運輸研究所，民國九十年四月
5. 「2001年台灣地區公路容量手冊」，交通部運輸研究所，民國九十年三月
6. 「交通管制設施規劃與設計手冊：(四)交通號誌篇」，交通部運輸研究所，民國八十五年
7. 蔡輝昇，交通控制實務與理論，民七十九年
8. 蔡輝昇、邱大恭，以數學規劃模式求解獨立交叉路口號誌時制計畫，運輸計劃季刊、vol.16、No.3，1987年9月
9. 林良泰，以續進最大化為主延滯最小化為輔之程序性群組間時差設計，運輸計劃季刊、第三十卷第四期、p795-822，民九十年十二月
10. 林茂龍，「號誌化獨立交叉路口設計運轉績效分析方法之研究」，交通大學碩士論文，民國七十三年
11. 吳水威，「延滯燃料消耗空氣污染三準則下獨立號誌與幹道號誌系統定時時制設計分析及其整合模式之研究」，台灣大學博士論文，民國七十四年
12. 蔡育儒，「號誌化路口交通工程整合設計之標準作業模式開發研究」，成功大學碩士論文，民國九十三年六月
13. 張應當，「非號誌化交叉路口交通衝突之模擬研究」，成功大學碩士論文，民國七十六年六月
14. 饒智平，「號誌化交叉路口風險分析及安全檢核評估方法之研究」，台灣大學碩士論文，民國八十四年六月
15. 林良泰、朱純孝等，「以期望值觀點推導路口衝突量」，運輸學刊第十卷第三期，頁21-38，民國八十六年
16. 何美瑩，「號誌化交叉路口車輛延滯模式之研究」，交通大學碩士論文，民國七十九年

17. 曾莉莉，「高速公路動態路段旅行時間函數研究」，中央大學碩士論文，民國八十三年
18. 李謀和，「高速公路幾何設計方案之模擬評估—FRESIM 模式之應用」，交通大學碩士論文，民國八十三年
19. 龔哲弘，「FRESIM 模式應用於中山高速公路新市-楠梓路段速限控制之模擬」，成功大學碩士論文，民國八十五年
20. 「智慧型運輸系統下之核心交通分析與預測系統」，交通部運輸研究所，民國九十四年
21. William R. McShane, Roger P. Roess, "Traffic Engineering (2nd Edition)", Prentice Hall, 1997
22. Webster, F.V., "Traffic Signal Settings", Road Research Technical Paper, No. 39
23. FHWA, "Traffic Control System Handbook", April, 1985
24. Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 2000.
25. Sakita, M., "Timing Design of Traffic Signals", TRR 1069, pp.83-87, 1986.
26. Allsop, R.E., "Delay-Minimization Settings for Fixed-Time Traffic Signals at a Single Road Junction ", J. Inst. Math Applies 8, pp.164-185, 1971.
27. Importa, G. and Cantarella, G.E., "Control System Design for an Individual Signalized Junction", TR, Vol.18B, No.2, pp.147-167, 1984.
28. Martin-L of, A., "Computation of an Optimal Control for a Signalized Traffic Intersection ", Transportation Science, Vol.1, No.1, pp.1-5, 1964
29. Federal Highway Administration, "SOAP 84 User's Manual", January 1985
30. Special Report 209, "Highway capacity manual", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1985
31. Special Report 209, "Highway capacity manual", Transportation Research RR2 Board, National Research Council, Washington, D.C., 1994
32. May, A.D., "Traffic Flow Fundamentals" Prentice Hall, New Jersey, 1990