

交通號誌時制補償方法之研究  
A Study on the Phasing Compensation Design  
at Signalized Intersections

研究生：姜智翔

Student : Chih-Hsiang Chiang

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



Submitted to Department of Transportation Technology and Management  
College of Management

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Transportation Technology and Management

June 2005

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

# 交通號誌時制補償方法之研究

學生：姜智翔

指導教授：卓訓榮  
林貴璽

國立交通大學運輸科技與管理學系碩士班

## 摘要

道路網中的交叉路口是都市運輸系統中最重要之設施之一，其中更迭指派路權、引導道路車流、降低潛在肇事衝突等最迅速有效的方法是透過號誌系統來達成。號誌系統的控制績效與時制設計之良窳有密切之關連，有鑑於此，目前一般號誌控制器皆可建置多套時制計畫，能在預設之時間或有特定需求時進行時制轉換，以因應不同之交通狀況。由於目前很少實證顯示現有之時制轉換方法是否有效率，也無相關研究證實號誌時制之補償程序對於路口績效水準是否有顯著之影響，因此，當流量水準明顯改變而需進行時制轉換時，如何進行時制轉換與進行必要之時間補償作業，乃為本研究探討之重點。

除了參閱現有時制設計之各種要項與特性之外，本研究亦參考交通部運研所彙整之各種時制轉換方法，惟由各方法之特點與限制發現它們大都未由流量需求型態與變異之觀點著眼。因此，本研究首先探討在預定時制與均勻分配之需求型態下之基本補償模式，再由時制轉換點對於舊時制之分割型態，研擬兩種以需求漸變為導向之時制補償方法，並在滿足七個預設之控制條件之下，於新、舊時制之間加入一「轉換時段」，以便在此時段中針對前一時制被分割後部分或尚未執行之時相進行補償。

基於現場路口調查作業與操作號誌控制器功能之局部限制與安全考量，本研究以交通模擬整合系統(TSIS)為工具，對所發展之兩個時相補償法與彙總之其他方法論進行若干績效之分析與比較，同時亦針對新、舊時制之間不同之流量水準進行敏感度分析，顯示本研究發展之時制轉換法在不同的流量需求型態大都具有相對較佳之控制績效。

關鍵詞：時制轉換點、時相補償、最小可行週期、預測需求、轉換時段

# A Study on the Phasing Compensation Design at Signalized Intersections

Student: Chih-Hsiang Chiang

Advisor : Hsun-Jung Cho  
Guey-Shii Lin

Department of Transportation Technology and Management  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

The intersections on a roadway network are one of the most critical facilities of an urban transportation system. Controlling through alternately assigning right-of-way, efficiently guiding traffic, and effectively reducing potential conflicts may be achieved by signal control systems. With multiple build-in timing plans, modern signal controllers have high flexibility to perform the function of timing switchovers at a given time or for a specific demand in order to adapt to various traffic conditions. Unfortunately, neither of the practical results showed that the existing approaches would operate effectively, nor of them proved that the compensation procedure for timing transitions might have significant impact to the traffic performance. Thus, as the timing adjustment is to be activated due to a dramatic change in demand, how to execute the policy of timing transition and phase compensation becomes an important issue that is worth while of exploring.

Research on the operating characteristics, and limitation of timing transition methods between control periods has been reviewed by this study. It is seen that most of the methods were developed based on ideas without taking account of the flow patterns and their fluctuation trend. Thus, this study started with a basic formulation using the minimum cycle concept for the compensating phases in a presumed control horizon. Then, depending on the elapsed phases at the transient time, two demand based compensation approaches were proposed. With each of the seven control requirements, a "transition period" was defined in between the past and the incoming control timings so as to proceed the individual approach developed in this study.

Due to the safety problems possibly incurred in setting and/or operating a signal controller at site, the FHWA's TSIS was applied instead to analyze and compare the output performance of various approaches for the transition period. Sensitivity tests for different demand levels were also conducted to well catch the trend of different outputs. The analyses showed that the two newly developed approaches could lead to a relatively good performance as compared with the others under most of the demand levels.

Keywords: timing switching point, phase compensation, minimum feasible cycle, predicted demand, transition period

## 誌謝

從第一次踏入交大校門，至今已匆匆過了六年。其間承蒙系上老師的諄諄教誨，給予學生在課業上的指導，奠定學生在專業學術知識上的基礎。而我也在林貴璽老師與卓訓榮老師的教導之下，對於求學的精神、研究的方法、做人處事的態度，以及各方面的涵養皆有長足的進步。在論文研討及口試審查期間，承蒙吳水威老師，以及吳宗修老師撥冗審閱，惠予專業之見解指正學生之紕漏及錯謬，使得本論文得以順利完成。

研究所的兩年內，多虧實驗室成員中，瑞禧學長在研究及計畫案方面的指導，郭佳、勛傑，以及韻竹等研二同儕們的互相砥礪；長志、hoho、雯瑋、H、豆腐，以及彥佑等好同學在學業上的互相討論，以及生活上的互相關懷及陪伴，讓我能夠順利的完成學業，達成預期的目標。

在此也要感謝女朋友韻佳和其家人，在這段時間做為我的後盾，無論在生活、做人處事，以及看待事情的觀點等方面皆給予莫大的支持與建議，讓我對於生活中遭遇的困難、面臨問題的解決方法等皆能以更為成熟與周全的角度和觀念來處理，委實為我不可或缺的精神支柱。

最後，謹此將本論文獻給我的家人，感謝老爸、老媽無論在經濟、教育、生活等方面全力的支持，對於我的學業的憂心和不斷的鼓勵，讓我這仍然長不大的孩子能夠在非常安心且無憂無慮的環境之下得以全力衝刺學業；感謝老哥、老姊、大嫂，以及姊夫在我有各種疑難雜症的時候給予我良心的建議和永無止盡的援助，讓我往往能在關鍵時刻做出正確的抉擇，將問題迎刃而解。身為家中的么子，我已經得到了你們非常多的關愛和照顧，用盡千言萬語也無法盡述你們所給予我的一切。謹此將這份榮耀和成果與你們分享。

姜智翔 2005.6

于 交大

# 目錄

中文摘要 .....	i
英文摘要 .....	ii
誌謝 .....	iii
目錄 .....	iv
表目錄 .....	vi
圖目錄 .....	viii
符號說明 .....	x
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 研究步驟與流程 .....	2
第二章 文獻回顧 .....	4
2.1 時制設計相關文獻 .....	4
2.2 時制轉換方法相關文獻 .....	7
2.3 路口績效衡量相關文獻 .....	13
2.4 資料統計方法 .....	15
2.5 文獻綜合評析 .....	18
第三章 研究方法 .....	19
3.1 基本假設 .....	19
3.2 時相補償模式 .....	19
3.3 現有方法的檢討 .....	26
3.4 時制轉換時段的處理原則 .....	28
3.5 時制轉換方法之擬定 .....	29
3.6 小結 .....	35
第四章 系統模擬設定 .....	36
4.1 路口模擬之各項假設 .....	36
4.2 情境模擬與分析 .....	40
4.3 模擬參數之設定 .....	42
第五章 敏感度分析 .....	47
5.1 PHF值變動 .....	47
5.1.1 績效輸出資料 .....	48
5.1.2 輸出資料分析與比較 .....	51
5.2 轉換週期數變動分析 .....	55

5.2.1	輸出績效與趨勢 .....	56
5.2.2	定性分析 .....	59
5.2.3	績效評估範圍變動 .....	62
5.2.4	輸出結果推論 .....	63
第六章	結論與建議 .....	64
6.1	結論 .....	64
6.2	建議 .....	64
參考文獻	.....	66



## 表目錄

表 2-1	鞍點轉換法中延長或縮短關鍵時相之準則〔17〕	12
表 2-2	$h_1$ 值對應表	16
表 2-3	$h_3$ 值對應表	17
表 3-1	週期長度延長 4 秒之補償週期表	22
表 3-2	週期長度縮減 6 秒之補償週期表	23
表 3-3	交通量成長之補償週期表	24
表 3-4	交通量縮減之補償週期表	25
表 3-5	時制轉換法比較一覽表	27
表 4-1	新、舊時制之時制計劃表	36
表 4-2	各時制轉換方法週期長度表	38
表 4-3	時相補償法轉換時段週期數變化之週期長度表	38
表 4-4	時制重設法轉換時段週期數變化之週期長度表	39
表 4-5	情境假設一覽表	41
表 4-6	模擬編號一覽表	42
表 4-7	臨界流量表	43
表 4-8	車流量設定表	43
表 4-9	短週期轉長週期之時差秒數設定表	44
表 4-10	長週期轉短週期之時差秒數設定表	44
表 4-11	直接轉換法之時段長度設定表	44
表 4-12	最小綠燈轉換法之時段長度設定表	44
表 4-13	最大綠燈轉換法之時段長度設定表	45
表 4-14	漸進式轉換法之時段長度設定表	45
表 4-15	投射轉換法之時段長度設定表	45
表 4-16	鞍點轉換法之時段長度設定表	45
表 4-17	時相補償法之時段長度設定表	45
表 4-18	時制重設法之時段長度設定表	46
表 5-1	轉換法編號對應表	47
表 5-2	進入及結束轉換時段之時間點一覽表	48
表 5-3	平均停等延誤績效輸出表	48
表 5-4	平均速率績效輸出表	49
表 5-5	停等比例績效輸出表	50
表 5-6	額外模擬次數表	52
表 5-7	加權平均之平均停等延誤績效輸出表	52
表 5-8	加權平均之平均速率績效輸出表	53

表 5-9	加權平均之停等比例績效輸出表 .....	53
表 5-10	時相補償法進入及結束轉換時段之時間點一覽表 .....	56
表 5-11	時制重設法進入及結束轉換時段之時間點一覽表 .....	56
表 5-12	轉換時段週期數變化之平均停等延誤績效輸出表 .....	57
表 5-13	轉換時段週期數變化之平均速率績效輸出表 .....	58
表 5-14	轉換時段週期數變化之停等比例績效輸出表 .....	59
表 5-15	定性分析轉換週期數變化之平均停等延誤表 .....	62





## 圖目錄

圖 1-1	研究流程圖 .....	3
圖 2-1	直接轉換法範例環路圖 .....	8
圖 2-2	最小綠燈轉換法範例環路圖 .....	8
圖 2-3	幹道綠燈延長法範例環路圖 1 .....	9
圖 2-4	幹道綠燈延長法範例環路圖 2 .....	9
圖 2-5	最大綠燈時間轉換法範例環路圖 .....	10
圖 2-6	二週期漸進式轉換法範例環路圖 .....	11
圖 2-7	投射轉換法範例環路圖 .....	12
圖 2-8	鞍點轉換法範例環路圖 .....	13
圖 3-1	基本路口圖 .....	19
圖 3-2	單一週期顯示燈色與有效燈色關係示意圖 .....	20
圖 3-3	第一週期之累積車輛數與時間關係示意圖 .....	21
圖 3-4	週期長度延長 4 秒之補償週期長度變化趨勢圖 .....	23
圖 3-5	週期長度縮減 6 秒之補償週期長度變化趨勢圖 .....	24
圖 3-6	交通量成長之補償週期長度變化趨勢圖 .....	25
圖 3-7	交通量縮減之補償週期長度變化趨勢圖 .....	26
圖 3-8	實際車流變動情形與平均交通量比較示意圖 .....	29
圖 3-9	時相補償法流程圖 .....	31
圖 3-10	時制重設法流程圖 .....	34
圖 4-1	時相計劃圖 .....	36
圖 4-2	各時制轉換方法之週期變化趨勢圖 .....	39
圖 4-3	時相補償法轉換時段中不同週期數之週期變化趨勢圖 .....	40
圖 4-4	時制重設法轉換時段中不同週期數之週期變化趨勢圖 .....	40
圖 5-1	平均停等延誤之變動趨勢圖 .....	49
圖 5-2	平均速率之變動趨勢圖 .....	50
圖 5-3	停等比例之變動趨勢圖 .....	51
圖 5-4	加權平均之平均停等延誤變動趨勢圖 .....	54
圖 5-5	加權平均之平均速率變動趨勢圖 .....	54
圖 5-6	加權平均之停等比例變動趨勢圖 .....	55
圖 5-7	轉換時段週期數變化之平均停等延誤變動趨勢圖 .....	57
圖 5-8	轉換時段週期數變化之平均速率之變動趨勢圖 .....	58
圖 5-9	轉換時段週期數變化之停等比例之變動趨勢圖 .....	59
圖 5-10	時相補償法於漸變需求下累積車輛數與時間關係示意圖 .....	60
圖 5-11	時制重設法於漸變需求下累積車輛數與時間關係示意圖 .....	60

圖 5-12 時相補償法於時制轉換前後累積車輛數與時間關係示意圖 ..... 61  
圖 5-13 時制重設法於時制轉換前後累積車輛數與時間關係示意圖 ..... 61  
圖 5-14 定性分析轉換週期數變化之平均停等延誤變化趨勢圖 ..... 62  
圖 5-15 轉換時段內之平均停等延誤變化趨勢圖 ..... 63



## 符號說明

$C$	:	週期長度 (秒)
$N$	:	時相數
$g_{\Phi}$	:	第 $\Phi$ 時相之有效綠燈時間 (秒)
$r_{\Phi}$	:	第 $\Phi$ 時相有效紅燈時間 (秒)
$R_{\Phi}$	:	第 $\Phi$ 時相顯示紅燈時間 (秒)
$t_L$	:	每時相損失時間 (秒)
$L$	:	每週期總損失時間 (秒)
$V_{EB}$	:	往東方向臨進路段車流量 (vphpl)
$V_{NB}$	:	往北方向臨進路段車流量 (vphpl)
$h$	:	飽和車間時距 (秒/車)
$V_a^{(i)}$	:	臨進路段 $a$ 在轉換時段之第 $i$ 週期之臨界流量 (vphpl)
$V_a^{old}$	:	舊時制中臨進路段 $a$ 之臨界流量 (vphpl)
$V_a^{new}$	:	新時制中臨進路段 $a$ 之臨界流量 (vphpl)
$g_{\Phi}^{(i)}$	:	第 $i$ 週期第 $\Phi$ 時相之有效綠燈時間 (秒)
$h_a$	:	臨進路段 $a$ 之車間時距 (秒/車)
$r_{\Phi}^{(i)}$	:	第 $i$ 週期第 $\Phi$ 時相綠燈開始前之有效紅燈時間 (秒)
$G_{\Phi}^{(i)}$	:	第 $i$ 週期第 $\Phi$ 時相之顯示綠燈時間 (秒)
$A$	:	黃燈時間 (秒)
$g_{min}$	:	轉換時段內之最小綠燈時間 (秒)
$g_{res}$	:	遇時制轉換點時, 正在執行的時相尚未執行的綠燈時間(秒)
$g_{ext}$	:	遇時制轉換點時, 正在執行的時相被延長的綠燈時間 (秒)
$g_{old}$	:	舊時制之幹道綠燈時間 (秒)
$g_{new}$	:	新時制之幹道綠燈時間 (秒)

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與重要性

道路交叉口是公路運輸路網中最重要之交通系統設施之一。道路交叉口要能發揮較高的管制績效，最確實有效之方法為透過交通控制設施中之號誌系統來引導路段或路口的車流。號誌控制系統能否發揮其功能，與時制設計之良窳有密切之關係；時制設計包含時相計畫、每時相黃燈與全紅時段的規劃、週期長度的決定、各時相有效綠燈之分配等要素。若其中任一要素之設計有誤，皆可能導致道路壅塞、增加潛在肇事等結果，因而增加社會成本。因此，良好的時制計畫是提升路口號誌效率的重要環節，其不但可減少不必要的停等次數與延誤時間，間接也可減少汽油消耗與增進路口運行的安全。

隨著近年來電腦科技與微電子技術的發展，交通號誌控制策略由離線運算到線上運算、長時段至短時段應變、定時時制，以及動態查表等，已逐漸能滿足隨時變化的交通特性。交通號誌控制器的發展已可儲存與提供更多線上資料來尋求適宜之時制，更由於網路科技的發達，使得號誌控制系統得以收集各路口偵測器之資料，在短時間內進行線上運算，即時發展適宜之交通控制策略來滿足路口之需求。

目前發展之號誌控制器皆可內建多套時制計畫於其中，並可在設定之時間或特定需求產生時，迅速因應實際之交通狀況。因此，時制轉換的時機大致發生在某路段遇有特定之車隊，或為滿足不同水準之交通需求之時。舉例來說，某特定路段因臨時勤務或管制狀況，往往必須切換時制，以使通行路段得以順暢，之後再將時制轉換回原設定。另一項因素是交通需求之變化，由於在上下班之尖峰時段或中午離峰時段的交通量差異較大，所以一天之中可分為若干時間段，每個時間段也應有相對應的號誌時制，以配合不同的流量水準。隨著時段的轉變，同時亦須進行時制轉換作業；時制轉換作業是將正在執行中之時制計畫轉換成另一套新時制計畫的方法。轉換程序中須考量的因素包括轉換程序花費的週期數、每一週期所調整的週期長度，以及時制補償等因素。

為使電腦化號誌控制系統得以發揮其因應交通需求變化的功能，往往需要經常去改變號誌時制計畫；然而，頻繁的時制變動雖能滿足流量變化的需要，但若驟然轉換至新時制，不但會使駕駛人難以適應，甚至可能因而造成交通混亂與意外事故。在許多號誌時制轉換的方法與文獻中，對於時制補償的作業方式都有一些簡單的詮釋方法。例如當號誌系統在某個時間點進行時制轉換作業，若當時正在進行的週期尚未完成，則以週期時間長度是否已執行至原長度的一半做為是否結束該週期的判斷依據。此乃為一週期內完成時制轉換的方法，亦有考慮將時制轉換作業延長為兩個週期，並於每一週期分別平均補償不足之週期長度的方法。若此一補償作業所需的時間過久，將使新時制無法及時發揮功能；但若過短或轉換不當，卻又可能使駕駛人無法迅速適應。

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，但是卻都缺乏有力的證據顯示這些方法是否有效率，依蒐集的文獻可歸納目前大多僅著眼在時制轉換花費的週

期數和每週期調整的週期長度，較少對各號誌時制補償方法作深入的探討、證明，與比較。因此對於號誌時制轉換時，是否需進行時制補償作業與若時制補償為必要條件時應當採用何種方法，乃為本研究探討之重點。

## 1.2 研究目的

本研究在探討交通號誌時制補償作業，期望能達成下列目標：

1. 瞭解進行時制轉換作業的現況。
2. 回顧與探討現有時制轉換作業之方法與效率，以了解時制轉換作業之必要性。
3. 研擬合宜之時制補償方法，以提升路口的績效。
4. 經由不同情境假設的範例，來探討號誌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，探討當因交通量改變或時段變換進行時制轉換時的補償作業，研擬當需補償時所應採取之方式。

本研究基於以下基本假設條件進行時制轉換時的補償作業分析與探討：

1. 可獲得的資訊僅限於各時段的時制計劃。
2. 路口的時相計劃為非重疊時相。
3. 路口無車流偵測器，亦無歷史資料顯示車流到達率與轉向資料。
4. 各路段的自由車流速率為一固定值。
5. 僅針對甲種車進行分析作業，不考慮機慢車與行人之影響。

## 1.4 研究步驟與流程

本研究的執行步驟如下：

1. 確定研究的問題型態，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. 蒐集各相關文獻，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. 進行系統分析，了解在交通量變動的情況下，進行號誌時制轉換時採行時相補償作業產生的問題，以發展基本補償模式。
4. 研擬可行之時相補償方法，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. 進行敏感度分析，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 1-1 所示：

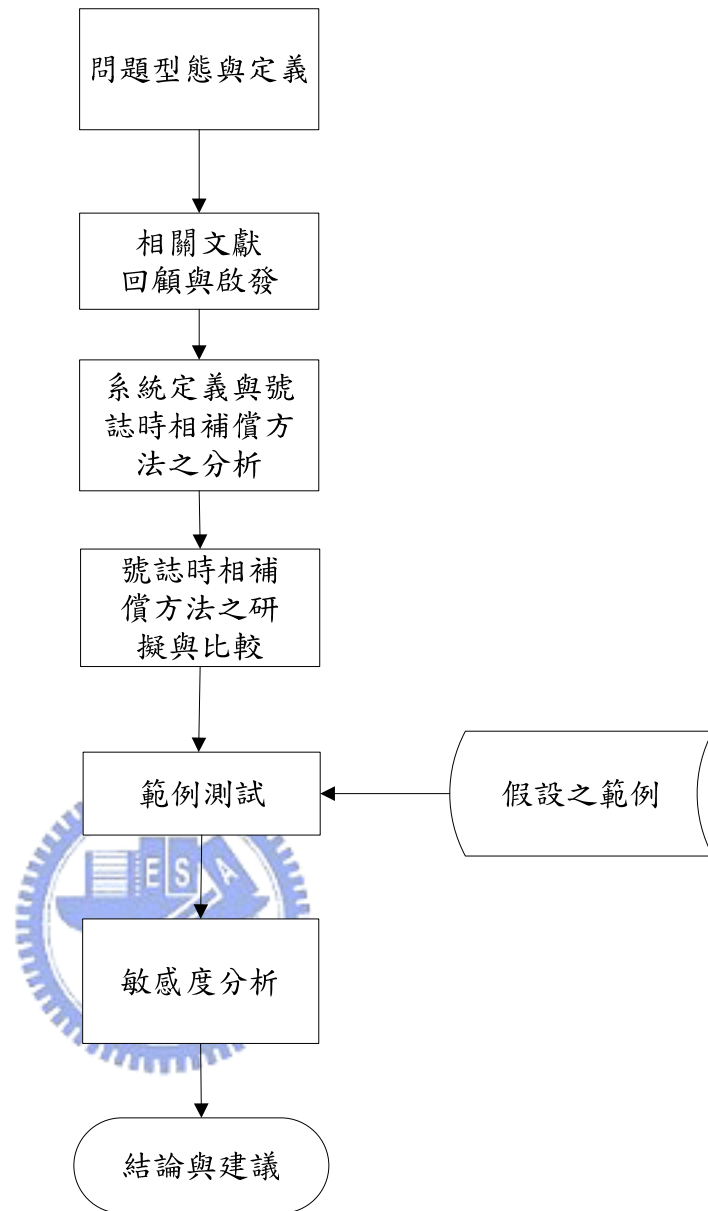


圖 1-1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

本研究在探討獨立預設時制號誌路口於時制轉換時的時相補償方法，相關文獻的收集以預設時制號誌時制設計為對象，並回顧路口績效相關之文獻，以了解時制設計的目標、績效，作為選擇績效指標的衡量因子。本文獻回顧分為以下四個部分：時制設計、時制轉換方法、路口績效衡量，以及資料統計方法相關文獻。

### 2.1 時制設計相關文獻

號誌時制設計的優劣，除了影響單一路口外，甚至會影響路段或整體路網的績效，因此，如何設計一優良的號誌時制，讓車流在安全且避免過高的延誤下，將路權分配於各方向，是交通工程非常重要的工作〔8〕。

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〔5〕：

1. 方程式法 (Formula)：提出週期與各時相綠燈時間之計算公式，通常可用一些實際資料加以驗證。茲列舉以下四種公式：

#### (1) 最小週期法〔18〕：

每一時相可以允許一到數個路口轉向流動，其中有一個轉向流動是最密集的，該轉向所佔用的車道稱為「臨界車道」，時相通行時間必須足夠供應該臨界車道流動之需。週期中的每一個時相都有損失時間，因此除了損失時間外，路口永遠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為：

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

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（vpl）
- $h$ ：車間時距（秒）

有效綠燈時間的計算為：

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

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) Webster 時制計算公式 [19] :

Webster 的最小延誤週期長度計算公式如下 :

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

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)

有效綠燈時間的計算可以下式求得 :

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

(3) FHWA 時制計算公式 [20] :

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, 其公式為 :

$$GP_i = 7 + \frac{W}{4} - Y \quad i = 1 \sim n \quad (5)$$

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,  $i = 1 \sim n$

FHWA 亦有變換時段的建議公式 :

$$CP = t + \frac{V}{2a + 64.4g} + \frac{W + L}{V} \quad (6)$$

其中,

$CP$  : 黃燈加全紅時間 (秒)

$t$  : 反應時間, 通常假設為 1 秒

$V$  : 臨進路段之速率 (英尺/秒)

$a$  : 減速率 ( $\frac{ft}{s^2}$ ), 通常採  $10 \frac{ft}{s^2}$



- $g$  : 坡度 (%), 上坡為正, 下坡為負  
 $W$  : 交叉路口寬度 (英尺)  
 $L$  : 車身長度 (英尺), 通常設為 20 英尺

**(4) HCM 建議公式 [21] :**

採用臨界車道與臨界流動的概念來計算週期。綠燈時間的計算以臨界流動需要的最小綠燈時間為主。每時相的有效綠燈時間則以全週期的有效綠燈時間乘以臨界流動佔總流量之比值。週期計算公式如下：

$$C_{des} = \frac{3N}{1 - \frac{V_c}{S_0 PHF(v/c)}} \quad (7)$$

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：

$$g_i = (C - L) \times \frac{q_i}{V_c} \quad (8)$$

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)** : 列出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, 通常可以採用數學規劃法。以往的研究中, 大多以週期與延誤最小為目標, 而以最小綠燈時間與滿足該路口需求等條件為限制求解。較常用之數學規劃法如下：

- (1) Allsop [22] 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  $v/c$  不能大或等於 1, 並設立一階段矩陣 (Stage Matrix) 表示每一方向存在之車流, 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。
- (2) Importa 與 Cantarella [23] 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, 以判定該車流方向在各時相內是否存在, 並將不衝突的方向歸入同一時相內, 以縮短週期長度。

- (3) Sakita [24] 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，類似於 Allsop 的模式，必須建立號誌時相與車流流動間之矩陣，但限制式無法避免選擇互相衝突之車流，故使用受到限制。
3. **搜尋程序法 (Search Procedure)**：事先設定評估標準，對各種可能情況加以比較，並捨棄較差之設計，最後找出最佳的時制計畫。搜尋程序大致包含下列七個步驟 [8]：
- (1) 計算起始週期
  - (2) 調整左轉車當量
  - (3) 調整左轉容量
  - (4) 指定時制數目
  - (5) 決定每一控制策略流量
  - (6) 調整週期與左轉流量
  - (7) 綠燈時間微調

目前已有之套裝軟體，包含 SOAP 與 TRANSYT-7F 等，都是以搜尋程序法尋找最小延誤週期，但最後搜尋到的最佳解，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)**：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**：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 [8]。
  - (2) **時間掃描法**：將週期分為許多時階 (steps)，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 [8]。

模擬的對象可分為三類：

- (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 [8]。
- (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 [8]。
- (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 [8]。

## 2.2 時制轉換方法相關文獻

交通部運輸研究所於民國九十年 [17] 曾比較與整理各種時制轉換方法如下：

1. **直接轉換法 (Sudden Transition)**：

遇時制轉換點時直接進行轉換，不需考慮當時路口號誌現況，亦不做任何補償。此方法顯然可能會造成較大的交通衝突與某些時相被略除的情況。其轉換方法如圖 2-1 所示。圖中， $g_i$  ( $i=1\sim 4$ ) 為舊時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_i^n$  ( $i=1\sim 4$ )

為新時制第  $i$  時相之有效綠燈時間。

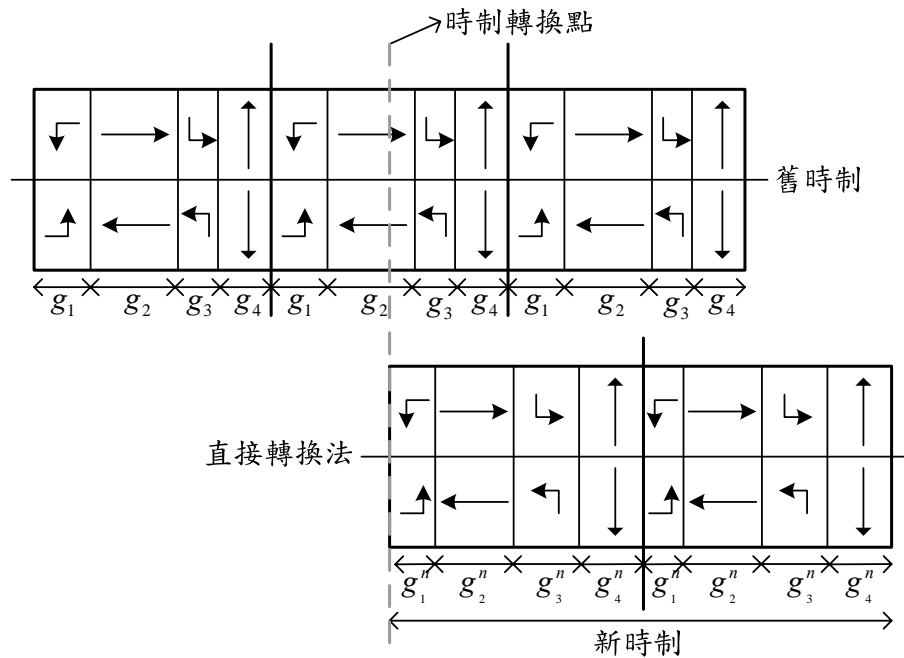


圖 2-1 直接轉換法範例環路圖

2. 最小綠燈時間轉換法 (Minimum Green Transition) :

遇時制轉換點時，仍將舊時制未執行的時相以最小綠燈時間補償，再轉換至新時制，尚未執行完畢之時相則至少給予最小綠燈時間。此方法是將直接轉換法可能會省略部分時相的缺點加以改良，使其至少可以最小綠燈時間通行。其轉換方法如圖 2-2 所示。圖中， $g_i$  ( $i=1\sim 4$ ) 為舊時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_i^n$  ( $i=1\sim 4$ ) 為新時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_{min}$  為最小綠燈時間。

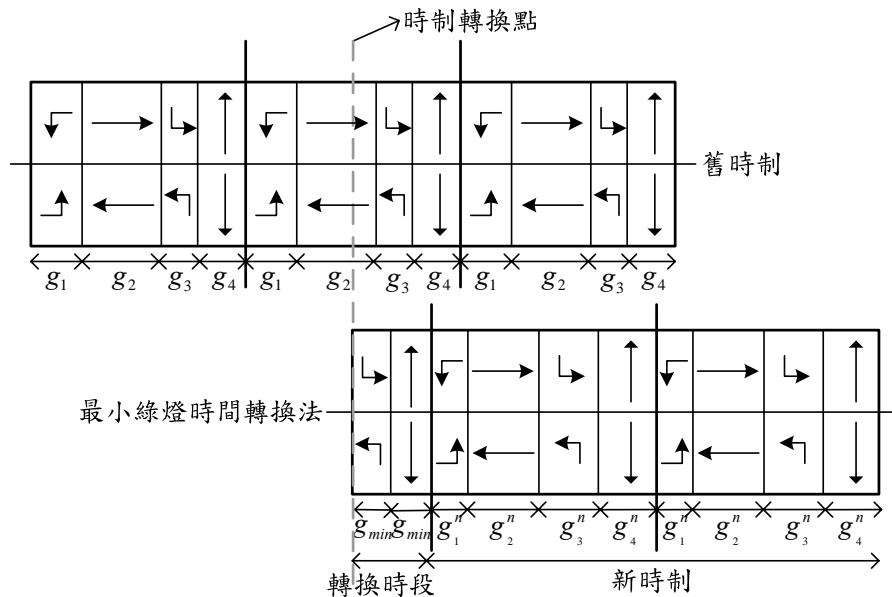


圖 2-2 最小綠燈轉換法範例環路圖

3. 幹道綠燈延長法 (Extended Main Street Green Transition) :

此方法僅限於時制轉換點發生於幹道綠燈時段時使用。遇時制轉換點時，若新時制幹道有效綠燈時間大或等於舊時制幹道有效綠燈時間 ( $g_{new} \geq g_{old}$ )，則直接由新時制幹道綠燈之時相開始執行；若舊時制幹道有效綠燈時間大於新時制幹道有效綠燈時間 ( $g_{old} > g_{new}$ )，則待舊時制幹道綠燈時相執行完畢後，再切換至新時制的幹道綠燈時相。本方法將綠燈時間補償予幹道，以利幹道車流通行。其轉換方法如圖 2-3 與圖 2-4 所示。圖中， $g_i$  ( $i=1\sim 4$ ) 為舊時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_i^n$  ( $i=1\sim 4$ ) 為新時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_{new}$  為新時制幹道有效綠燈時間； $g_{old}$  為舊時制幹道有效綠燈時間。

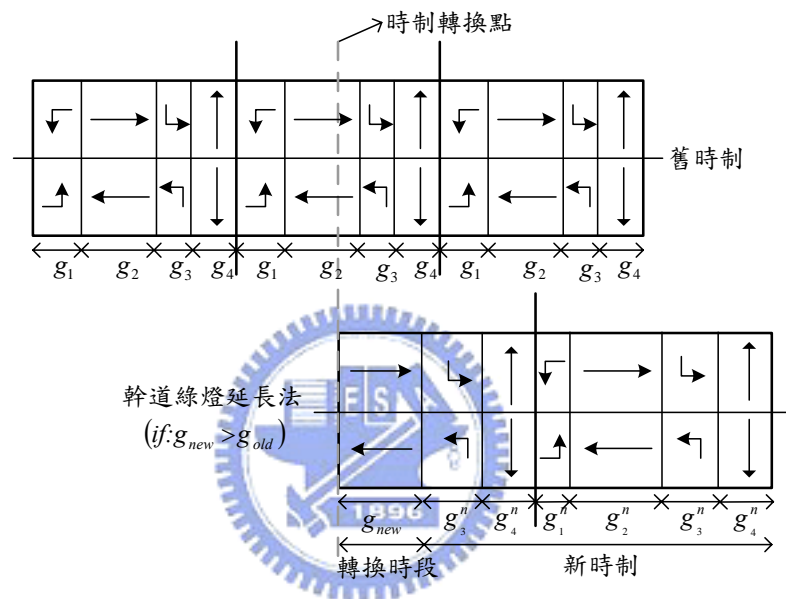


圖 2-3 幹道綠燈延長法範例環路圖 1

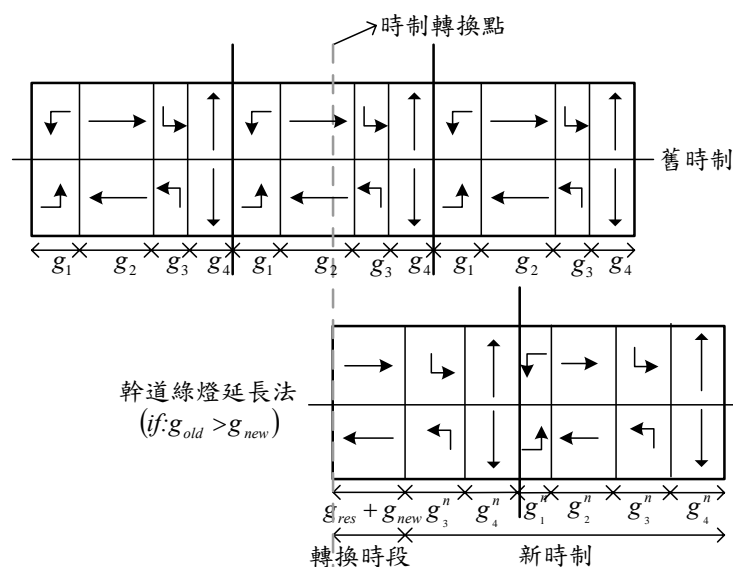


圖 2-4 幹道綠燈延長法範例環路圖 2

4. 最大綠燈時間轉換法 (Maximum Green Transition) :

遇時制轉換點時，將舊時制未執行完畢以及未執行的時相中綠燈時間最大者為基準加以補償。此方法主要目的在避免產生極短綠燈之情形，以減少可能造成之衝突。其轉換方法如圖 2-5 所示。圖中， $g_i$  ( $i=1\sim 4$ ) 為舊時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_i^n$  ( $i=1\sim 4$ ) 為新時制第  $i$  時相之有效綠燈時間。

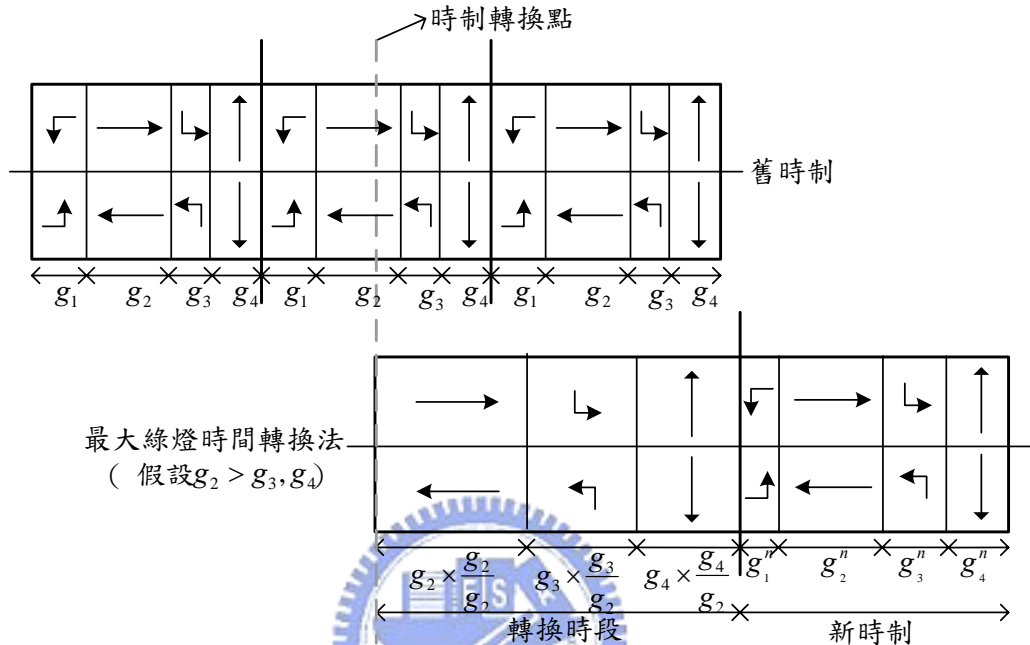


圖 2-5 最大綠燈時間轉換法範例環路圖

5. 漸進式轉換法 (Gradual Transition) :

遇時制轉換點時，仍繼續將舊時制執行完畢。於下一週期開始時，分二到三個週期，將舊時制各時相長度平均遞增或遞減為新時制的長度。此方法除了可使駕駛人慢慢適應新時制外，亦可使由幹道連鎖號誌系統控制的路口在不改變連鎖號誌時差關係之下完成時制轉換作業。以二週期漸進式轉換法為例，其轉換方法如圖 2-6 所示。圖中， $g_i$  ( $i=1\sim 4$ ) 為舊時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_i^*$  ( $i=1\sim 4$ ) 為漸進式轉換法在轉換時段中第  $m$  時相之有效綠燈時間； $g_{res}$  為正在執行的時相尚未執行的綠燈時間。

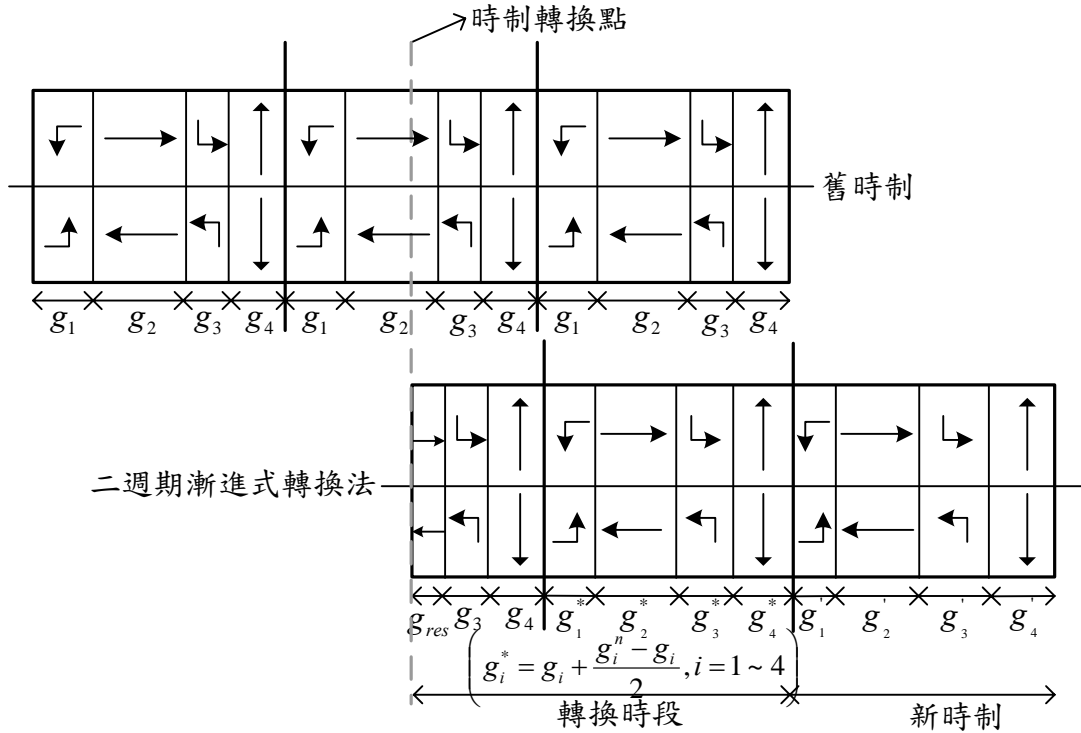


圖 2-6 二週期漸進式轉換法範例環路圖

6. 投射轉換法 (Slope Method) :

轉換時段內各時相的長度乃利用內插法決定，此方法的優點在於不會有任何一個時相於轉換過程中被遺漏，亦不會造成極短綠燈的情況。但若將此法應用於幹道連鎖號誌系統，則無法於各路口之間維持較好的時差關係，以提供良好的車流續進。其轉換方法如圖 2-7 所示。圖中， $g_i$  ( $i=1 \sim 4$ ) 為舊時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_i^n$  ( $i=1 \sim 4$ ) 為新時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_i^*$  ( $i=1 \sim 4$ ) 為投射轉換法在轉換時段中第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_{ext}$  為正在執行的時相被延長的綠燈時間。

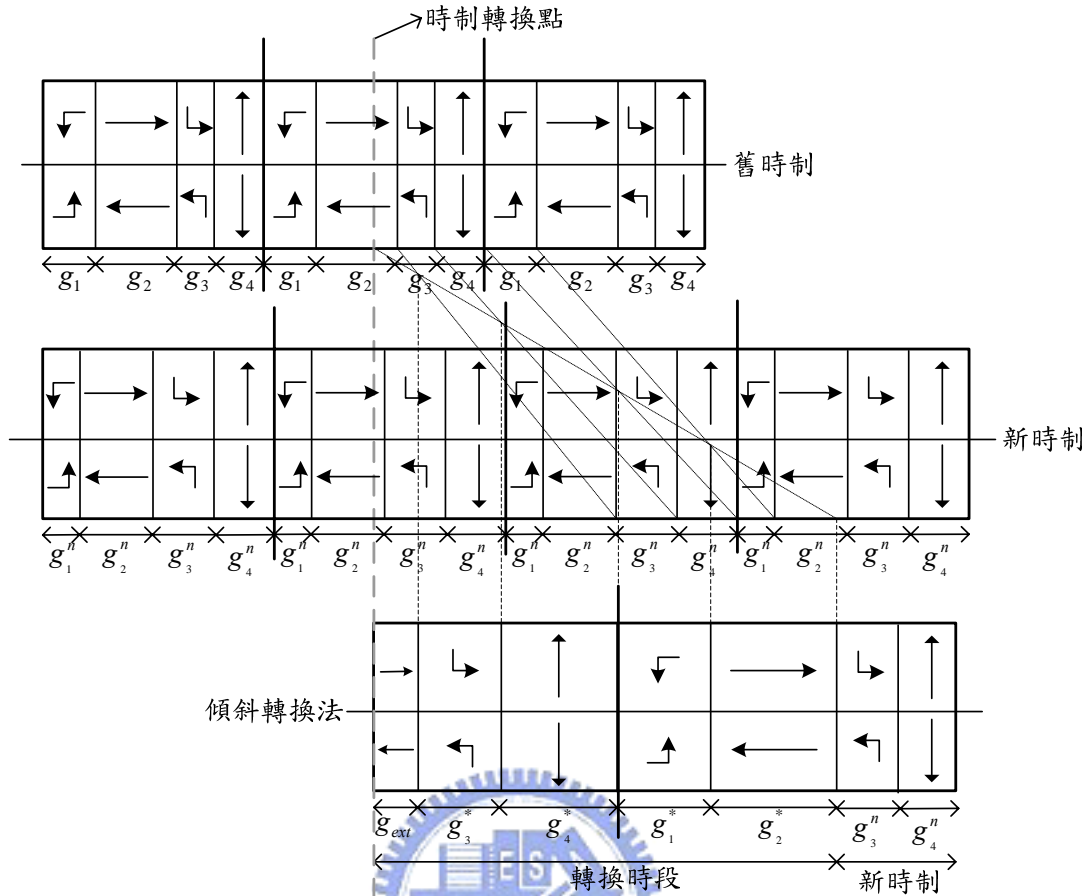


圖 2-7 投射轉換法範例環路圖

7. 鞍點轉換法 (Minimax Method) :

鞍點轉換法為運研所 [17] 推薦使用之方法。此方法將週期中一特定時相命名為「關鍵轉換時相」(Key Stage)，並由表 2-1 中所述，以新、舊時制關鍵轉換時相之起始時間差與新時制週期長度之間的關係，決定應延長或縮短轉換時相的長度，轉換時段中亦以不遺漏任何時相為原則排定時相順序。由於選定之「關鍵轉換時相」可為路口中之幹道，因此可有效的維持足夠之幹道綠燈時間。再加上此方法不會遺漏任一時相，因此，由 R.D. Bretherton 之研究顯示應用此方法可產生較良好的績效。其轉換邏輯判斷依據如表 2-1 所述，轉換方法示範如圖 2-8。圖中， $g_i$  ( $i=1\sim 4$ ) 為舊時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_i^n$  ( $i=1\sim 4$ ) 為新時制第  $i$  時相之有效綠燈時間； $g_i^*$  ( $i=1\sim 4$ ) 為鞍點轉換法在轉換時段中第  $i$  時相之有效綠燈時間。

表 2-1 鞍點轉換法中延長或縮短關鍵時相之準則 [17]

條件	決策
$-2/3CYCLE_n > TIME_{key}$	延長轉換時相
$0 > TIME_{key} \geq -2/3CYCLE_n$	縮短轉換時相
$1/3CYCLE_n > TIME_{key} > 0$	延長轉換時相
$TIME_{key} \geq 1/3CYCLE_n$	縮短轉換時相

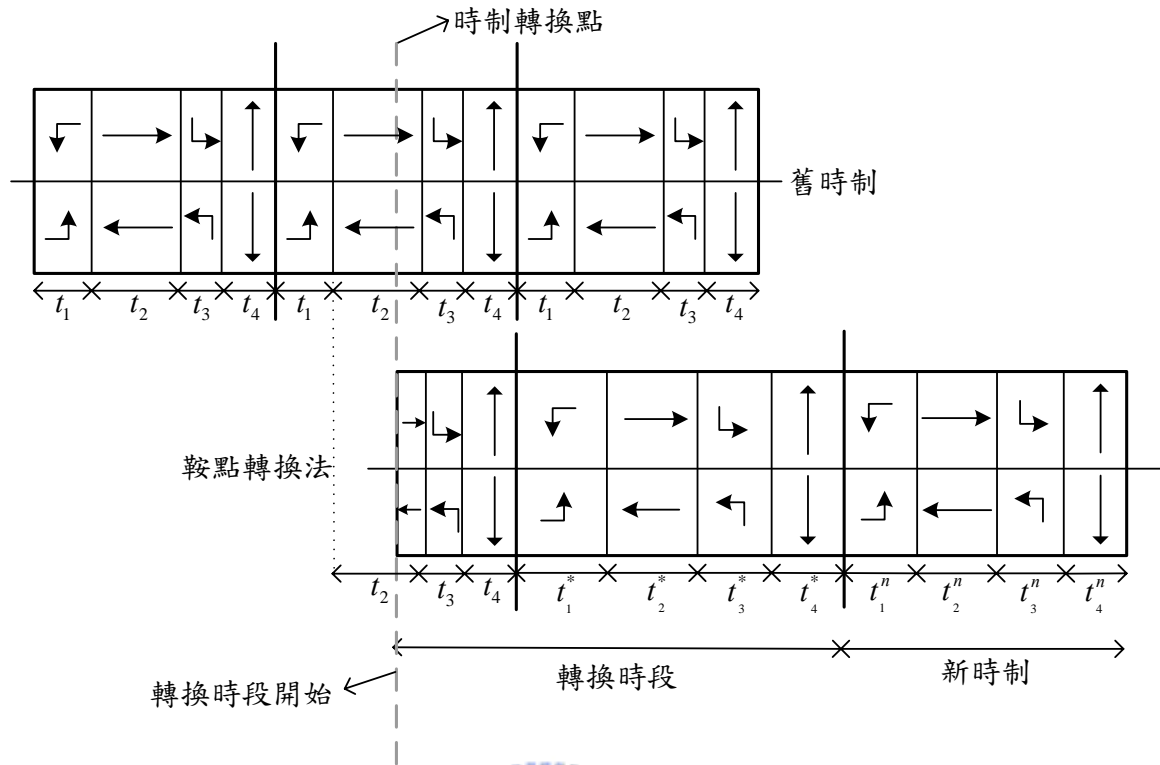


圖 2-8 鞍點轉換法範例環路圖

### 2.3 路口績效衡量相關文獻

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〔1〕：

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〔5〕。
2. **燃料消耗**：交叉路口所造成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〔16〕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〔10〕，國內研究大多以衝突點及肇事頻率分析為主，例如張應當〔12〕利用微觀模擬模式分析路口肇事潛在危險；饒智平〔13〕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〔14〕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〔1〕。蔡輝昇〔6〕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〔3〕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。

延誤模式中以 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：

$$D = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda \times X)} + \frac{X^2}{2q(1-X)} - 0.65 \left( \frac{C}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} \times X^{2+5\lambda} \quad (9)$$

其中

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

式 (9) 中的第一項為均勻延誤，表示當路口號誌為定時控制且假設車輛均勻到達時，臨近路段的平均延誤；第二項為考慮車輛隨機到達所產生的隨機延誤；第三項為經驗調整值，由模擬和實際量測所獲得。由於第三項約佔總延誤值的 5% 至 15%，所以式 (9) 可簡化為：

$$D = 0.9 \left( \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda \times X)} + \frac{X^2}{2q(1-X)} \right) \quad (10)$$

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 (11)：

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

其中

- $D$  : 每車平均延誤 (秒/車)
- $C$  : 週期長度 (秒)
- $\lambda$  : 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

以上模式假設車流以固定比例紓解，皆屬於穩定延誤模式。相對於穩定延誤模式，Akcelik [24] 依據同等轉換技術推導時間基礎延誤模式，如式 (12) 及 (13)：

$$Q_0 = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{CaT}{4} \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{12(X-X_0)}{CaT}} \right] & \dots\dots\dots \text{當 } X > X_0 \\ 0 & \dots\dots\dots \text{其他} \end{array} \right\} \quad (12)$$

其中

$Q_0$  : 過飽和流量下的平均停等車隊 (veh)

$Ca$  : 車道群容量 (車/秒)

$T$  : 分析時間長度 (秒)

$X$  : 飽和度

$X_0$  :  $X_0 = 0.67 + \frac{S \times g}{600}$ , 穩定狀態下之飽和度

$S$  : 飽和流率 (車/秒)

$g$  : 有效綠燈時間 (秒)

$$d = \begin{cases} \frac{C(1-g/C)^2}{2(1-q/S)} + \frac{Q_0}{Ca} \dots\dots\dots \text{當 } X < 1 \\ \frac{(C-g)}{2} + \frac{Q_0}{Ca} \dots\dots\dots \text{當 } X \geq 1 \end{cases} \quad (13)$$

其中

$d$  : 平均每車延誤 (秒)

$C$  : 週期長度 (秒)

$g$  : 有效綠燈時間 (秒)

$S$  : 飽和流率 (車/秒)

$q$  : 流量 (車/秒)

$Ca$  : 車道群容量 (車/秒)

$X$  : 飽和度

## 2.4 資料統計方法

Averill [26] 曾提出利用統計運算結合模擬輸出來進行系統之比較分析作業，其評估方法分為可於  $k$  個系統中找尋一個最佳，以及於  $k$  個系統中找尋  $m$  個最佳。其步驟如下：

1. 決定找尋系統最佳值之可容忍誤差範圍  $d^*$  與顯著水準  $P^*$ 。
2. 針對第  $i$  個系統計算其平均值：

$$\bar{X}_i^{(1)}(n_0) = \frac{\sum_{j=1}^{n_0} X_{ij}}{n_0} \quad (14)$$

其中

$\bar{X}_i^{(1)}(n_0)$  : 樣本數為  $n_0$  時第  $i$  個系統輸出之平均值

$n_0$  : 樣本數

3. 針對第  $i$  個系統計算其變異數：

$$S_i^2(n_0) = \frac{\sum_{j=1}^{n_0} [X_{ij} - \bar{X}_i^{(1)}(n_0)]^2}{n_0 - 1} \quad (15)$$

其中

$S_i^2(n_0)$  : 樣本數為  $n_0$  時第  $i$  個系統輸出之變異數

$\bar{X}_i^{(1)}(n_0)$  : 樣本數為  $n_0$  時輸出之平均值

$n_0$  : 樣本數

4. 求算在設定之可容忍誤差範圍  $d^*$ 、顯著水準  $P^*$ ，以及樣本數為  $n_0$  時之變異數  $S_i^2(n_0)$  下所需之總樣本數：

$$N_i = \max \left\{ n_0 + 1, \left\lceil \frac{h_k^2 S_i^2(n_0)}{(d^*)^2} \right\rceil \right\} \quad (16)$$

其中

$N_i$  : 第  $i$  個系統總共需要之樣本數

$n_0$  : 初始樣本數

$h_k$  : 調整值

$S_i^2(n_0)$  : 樣本數為  $n_0$  時第  $i$  個系統輸出之變異數

$d^*$  : 可容忍誤差範圍

當  $h_k$  之  $k$  值為 1 時，可於  $k$  個系統中找尋一個最佳值，其與顯著水準  $P^*$  和樣本數  $n_0$  之對應關係如表 2-2：

表 2-2  $h_1$  值對應表

$P^*$	$n_0$	$k=5$	$k=6$	$k=7$	$k=8$	$k=9$	$k=10$
0.90	20	2.747	2.870	2.969	3.051	3.121	3.182
0.90	40	2.669	2.785	2.878	2.954	3.019	3.076
0.95	20	3.258	3.377	3.472	3.551	3.619	3.679
0.95	40	3.150	3.260	3.349	3.422	3.484	3.539

當  $h_k$  之  $k$  值為 3 時，可於  $k$  個系統中找尋  $m$  個最佳值，在顯著水準  $P^* = 0.95$  下，其與樣本數  $n_0$  和  $m$  之對應關係如表 2-3：

表 2-3  $h_3$  值對應表

m	$n_0$	$k=5$	$k=6$	$k=7$	$k=8$	$k=9$	$k=10$
2	20	3.507	3.662	3.779	3.873	3.952	4.019
3	20	3.507	3.731	3.885	4.001	3.094	4.172
4	20	2.258	3.662	3.885	4.037	4.153	4.246
5	20		3.377	3.779	4.001	4.153	4.269
2	40	3.386	3.530	3.639	3.725	3.797	3.858
3	40	3.386	3.595	3.738	3.845	3.931	4.002
4	40	3.150	3.530	3.738	3.879	3.986	4.071
5	40		3.260	3.639	3.845	3.986	4.092

5. 針對額外加入的樣本計算平均值：

$$\bar{X}_i^{(2)}(N_i - n_0) = \frac{\sum_{j=n_0+1}^{n_0} X_{ij}}{N_i - n_0} \quad (17)$$

其中

$\bar{X}_i^{(2)}(N_i - n_0)$  : 加入額外樣本數時第  $i$  個系統輸出之平均值

$N_i$  : 第  $i$  個系統總共需要之樣本數

$n_0$  : 初始樣本數

6. 計算加權比重值，以將新、舊輸出平均值加總。計算公式如式 (18) 與 (19)：

$$W_{i1} = \frac{30}{N_i} \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{N_i}{n_0} \left( 1 - \frac{(N_i - n_0)(d^*)^2}{h_k^2 S_i^2(n_0)} \right)} \right] \quad (18)$$

$$W_{i2} = 1 - W_{i1} \quad (19)$$

其中

$W_{i1}$  : 舊輸出平均值之加權比例

$N_i$  : 總共需要之樣本數

$n_0$  : 樣本數

$h_k$  : 調整值

$S_i^2(n_0)$  : 樣本數為  $n_0$  時第  $i$  個系統之變異數

$d^*$  : 可容忍誤差範圍

$W_{i1}$  : 舊輸出平均值之加權比例

$W_{i2}$  : 新輸出平均值之加權比例

7. 依步驟 6 求得之加權比例將兩平均值加總，即可求得最後的平均值。若以  $h_1$  計算，則在  $k$  個系統的平均值中，最佳的一個系統即為所求；若以  $h_3$  計算，則最佳的  $m$  個系統即為所求。

## 2.5 文獻綜合評析

在號誌時制設計方面，由於本研究所研擬之號誌時相補償方法不侷限於特定路口，所以無法決定設計號誌時各種環境、控制與需求之限制，因此數學規劃法在本研究中並不適用。另本研究乃針對獨立號誌路口，因此在時制設計方面可較精確的求算出針對特定流量及紓解率時之最小或期望週期與有效綠燈長度。而搜尋程序法及模擬法通常只能求得近似最佳解，因此不適用於本研究。

在無實際路口車流資料時，採用最小週期法或 Webster 最小延誤週期法是較為簡單實用的；在有實際路口車流資料時，可考慮採用 FHWA 時制計算公式〔20〕，以及 HCM 建議之計算公式〔21〕。

在時制轉換方面，本研究將參考運研所整理之各種方法，探討其特點、限制，以及共通點，以了解各方法之優、缺點及使用限制，作為本研究研擬包含補償時間考量之時制轉換方法的基礎。

在路口績效衡量指標方面，可採平均停等車隊長度與延誤指標作為衡量因子。有關安全績效指標方面，則須在有路口實際車流資料時較易進行評估作業。燃料消耗績效指標則因尚須評估交通特性所引起的燃料消耗參數，因此較不適用於本研究之分析。



## 第三章 研究方法

### 3.1 基本假設

本研究以預設時制獨立號誌路口為對象，並基於以下假設條件進行時制轉換時的補償作業分析與探討：

1. 可獲得的資訊僅限於各時段的時制計劃。
2. 路口之時制計劃為非重疊時相設計。
3. 路口臨進路段無車流偵測器，亦無車流到達率與轉向等歷史資料。
4. 假設各路段之自由車流速率為一固定值。
5. 僅針對四輪以上之甲種車進行分析作業，不考慮機慢車及行人之影響因素。

基於以上之假設條件，本章探討當因需求改變與時段變換而須進行時制轉換作業時，時相補償作業的必要性，同時研擬當需要進行補償時所應採取之最有效率的方式。

### 3.2 時相補償模式

本節首先探討當因時段變換而增加或減少某特定臨進路段之綠燈時間時，在考量時制補償的情況下的時制轉換方法。預設時制獨立號誌路口如圖 3-1。

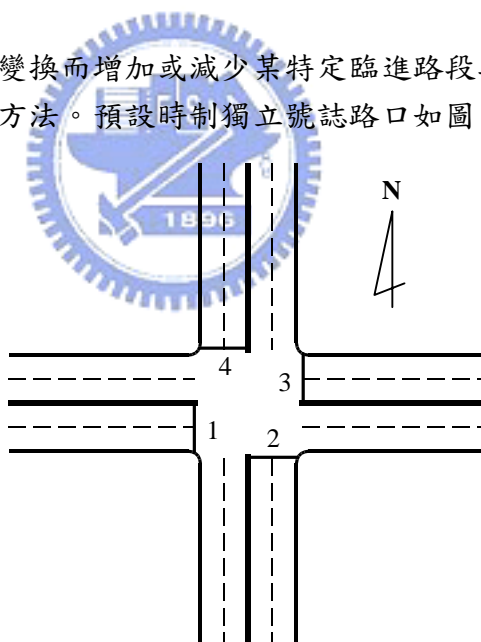


圖 3-1 基本路口圖

本節中之示範模式採用以下預設條件來發展時相補償模式：

1. 每週期有二個時相。
2. 第一時相為東西向臨進路段，第二時相為南北向臨進路段。
3. 每時相損失時間  $t_L$  為 3 秒，每週期總損失時間  $L$  為 6 秒。
4. 飽和車間時距  $h$  為 2 秒。
5. 車輛以均勻方式到達，並以飽和流率  $\frac{3600}{h} = 1800$ (車/小時) 紓解。

6. 往東方向臨進路段車流量  $V_{EB}$  為 800 vphpl; 往北方向臨進路段車流量  $V_{NB}$  為 700 vphpl。

7. 不考慮左、右轉之轉向流動。

時相補償的方法乃是在路口某一轉向流動之車流於對應的時相之中全數紓解的前提下，進行補償時間的計算與分配之方法。為描述補償所可能產生的問題，暫以最小可行週期作為時制設計方法。

利用最小可行週期公式，可求得週期長度為：

$$C = \frac{N \times t_L}{1 - \frac{V_{NB} + V_{EB}}{3600/h}} = 36 \text{ (秒)}$$

由週期長度即可求得第一時相有效綠燈時間  $g_1 = (C - L) \times \frac{V_{EB}}{V_{EB} + V_{NB}} = 16 \text{ (秒)}$ ，第二

時相有效綠燈時間  $g_2 = (C - L) \times \frac{V_{NB}}{V_{EB} + V_{NB}} = 14 \text{ (秒)}$ 。由圖 3-2 可知顯示綠燈時間  $G_\Phi$

( $\Phi=1$  或 2)、顯示紅燈時間  $R_\Phi$  ( $\Phi=1$  或 2)、有效綠燈時間  $g_\Phi$  ( $\Phi=1$  或 2)、紅燈時間  $r_\Phi$  ( $\Phi=1$  或 2)、起動延誤損失時間  $l_1$ 、變換時段損失時間  $l_2$  ( $l_1 + l_2 = t_L$ )，以及黃燈  $A$  之間的關係 (圖中灰色陰影部分即為全部之損失時間)。因此可推得在每個時相中， $r_1 = g_2 + L = 20 \text{ (秒)}$ ， $r_2 = g_1 + L = 22 \text{ (秒)}$ 。

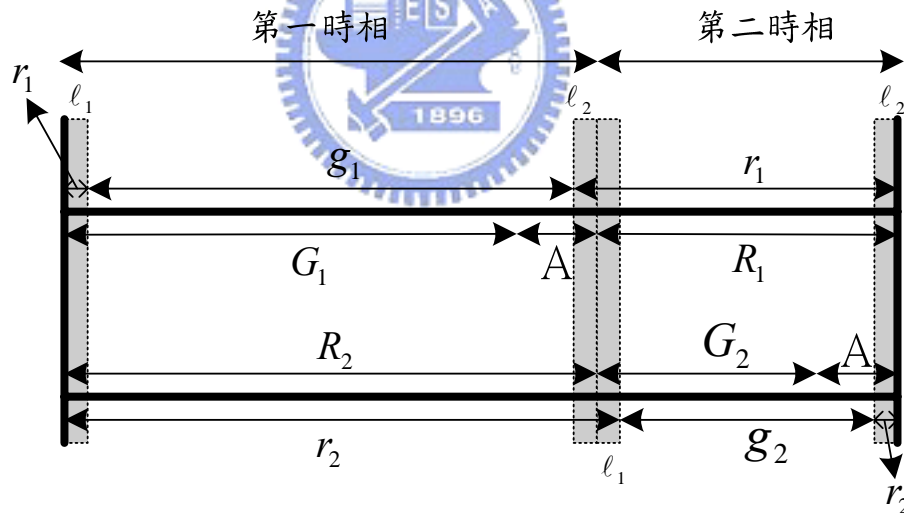


圖 3-2 單一週期顯示燈色與有效燈色關係示意圖

由以上資訊可繪得第一週期之累積車輛數與時間關係如圖 3-3 所示：

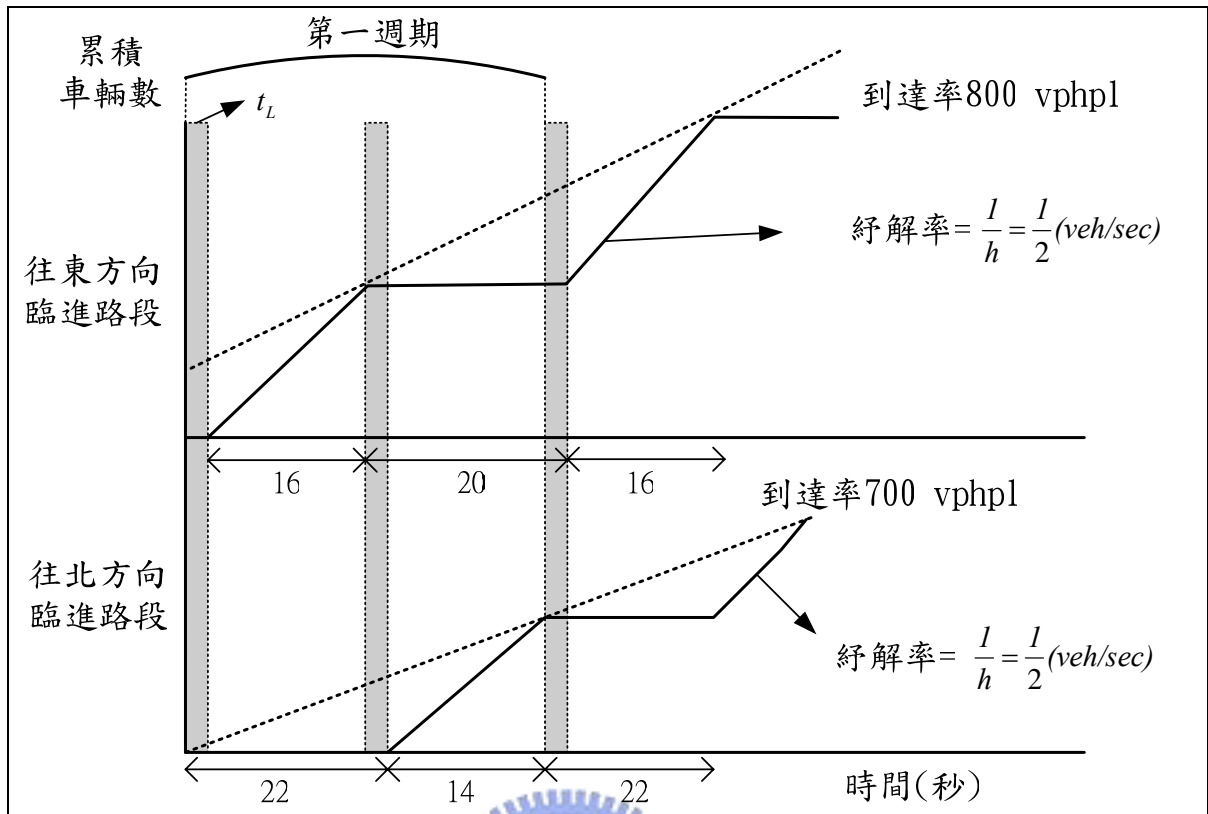


圖 3-3 第一週期之累積車輛數與時間關係示意圖

由圖 3-3 可知，在最小可行週期之下，有效綠燈長度僅能剛好滿足以飽和流率紓解由上游到達的車輛，因此，若有效綠燈時間不足，則會造成部分車輛無法紓解，而使累積紓解曲線無法與累積到達曲線相交，以致形成一段落差，此落差即為尚未紓解的停等車隊長度。

以下列舉四個情境，情境 1、2 說明當週期長度產生變化，為使車輛皆得以於紅燈時段前紓解完畢所需之補償作業；情境 3、4 為因交通量改變而進行時制轉換的範例。

**(1) 週期長度由原 36 秒增加至 40 秒 (延長 4 秒)**

在此例中，下一週期 (第二週期) 之東西向有效綠燈時間延長 4 秒，累積到達車輛數由  $\frac{V_{NB}}{3600} \times r_2$  增為  $\frac{V_{NB}}{3600} \times r_2'$  (其中  $r_2' = r_2 + 4$ )。若第二週期的南北向需要  $g_2$  秒紓解，則：

$$\frac{V_{NB}}{3600} \times r_2' + \frac{V_{NB}}{3600} \times g_2 = \frac{1}{h} \times g_2 \quad (20)$$

由式 (20) 可推導出南北向於第二週期所需之有效綠燈時間為：

$$g_2 = \frac{V_{NB} \times h \times r_2'}{3600 - V_{NB} \times h} \quad (21)$$

同理，第三週期東西向所需之有效綠燈時間為：



$$g_1 = \frac{V_{EB} \times h \times r_1'}{3600 - V_{EB} \times h} \quad (22)$$

由式(21)可以求出第二週期南北向的有效綠燈時間由14秒增為16.55秒。由於第二週期南北向的有效綠燈延長，故東西向之紅燈時間亦由原20秒延長為23秒；第三週期東西向有效綠燈時間依式(22)知由原20秒，變為18.06秒。由上述可知，當原週期長度延長4秒時，下一週期中東西向與南北向之有效綠燈時間皆因而改變。

由式(21)及(22)可以推算第 $\Phi$ 個時相之有效綠燈時間之通式為：

$$g_\Phi = \frac{r_\Phi}{\frac{3600}{V_a \times h} - 1} \quad (23)$$

其中，

$g_\Phi$ ：第 $\Phi$ 時相之有效綠燈時間(秒)

$V_a$ ：臨進路段 $a$ 之臨界流量(vphpl)

$h$ ：飽和車間時距(秒)

$r_\Phi$ ：第 $\Phi$ 時相之有效紅燈時間(秒)

由式(23)可求得當原週期長度延長4秒時，經補償作業產生的週期變化趨勢如表3-1與圖3-4：

表 3-1 週期長度延長4秒之補償週期表

週期順序	週期長度(秒)
1	36.00
2	40.00
3	40.58
4	38.33
5	37.19
6	36.61
7	36.31
8	36.16
9	36.08

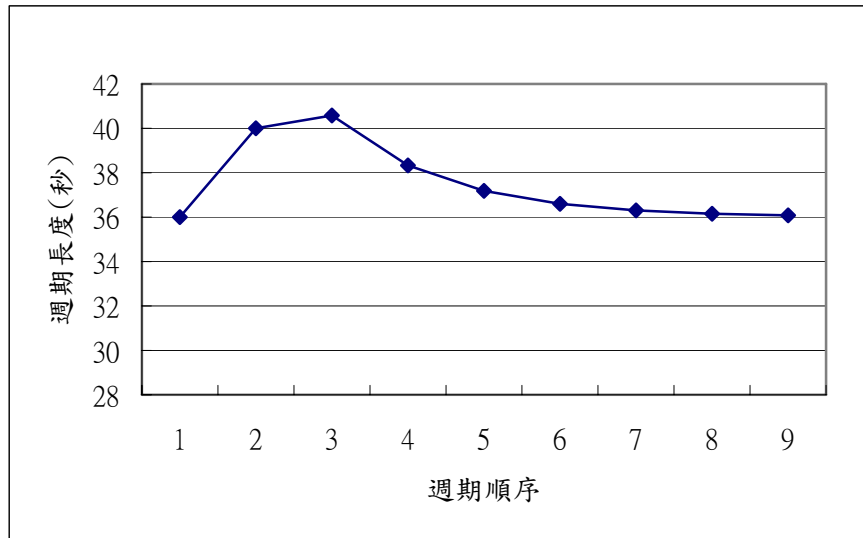


圖 3-4 週期長度延長 4 秒之補償週期長度變化趨勢圖

由圖 3-4 可知，經由補償作業，當路口號誌某一時相之綠燈時間被延長時，除導致延長衝突時相之紅燈時間外，亦需補償予衝突時相當之綠燈時間，以期完全紓解該時相之車流。因此週期長度會先持續增加，最後由於流量水準始終低於飽和流率而使週期長度逐漸趨近於原週期長度。

(2) 週期長度由原 36 秒縮減至 30 秒 (縮減 6 秒)

由式 (23) 可推出當原週期長度縮減 6 秒，後續各週期長度之變化趨勢如表 3-2 與圖 3-5：

表 3-2 週期長度縮減 6 秒之補償週期表

週期順序	週期長度 (秒)
1	36.00
2	30.00
3	39.37
4	37.72
5	36.87
6	36.45
7	36.23
8	36.12
9	36.06

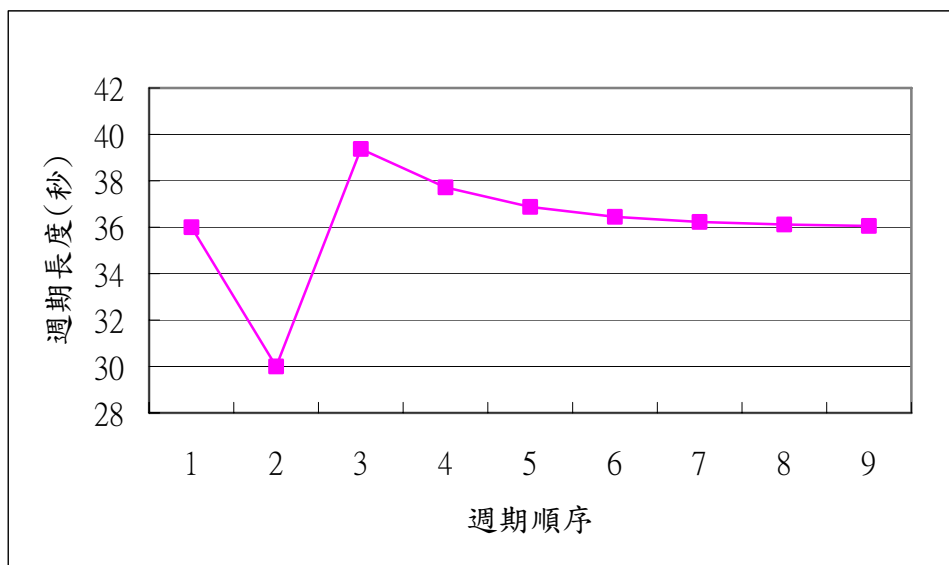


圖 3-5 週期長度縮減 6 秒之補償週期長度變化趨勢圖

由圖 3-5 可知，當路口中某一時相之綠燈時間縮減時，將造成短暫過飽和，導致需額外補償相當之綠燈時間予下一週期之同一時相，以期將該時相之車流完全紓解。因此週期長度因綠燈時間縮減而縮短，其後則會突然大幅增加，最後由於流量水準始終低於飽和流率而使週期長度逐漸趨近於原週期長度。

### (3) 交通量成長

本情境假設第一週期長度不變，第二週期後因交通量成長，必須改變時制計畫。假設往東方向臨進路段車流量由原 800 vphpl 增加為 900 vphpl，則以式 (1) 之最小可行週期公式所求得之最小週期應為 54 秒。若以式 (23) 推算由補償作業產生的各個週期，其變化結果如表 3-3 與圖 3-6：

表 3-3 交通量成長之補償週期表

週期順序	週期長度 (秒)
1	36.00
2	40.00
3	45.09
4	48.33
5	50.39
6	51.70
7	52.54
8	53.07
9	53.41
10	53.62
11	53.76
12	53.85
13	53.90

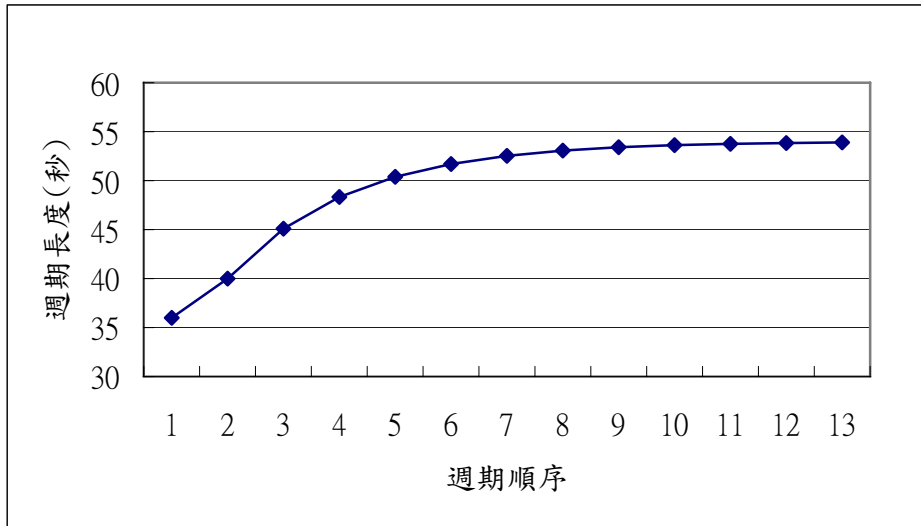


圖 3-6 交通量成長之補償週期長度變化趨勢圖

由圖 3-6 可知，經由時相補償作業，若流量水準提升，則需補償適當之綠燈時間以滿足較高之流量水準，因此週期長度會逐漸趨近最小可行週期長度。

**(4) 交通量縮減**

類似情境 3 之方式，不同之處為將往東方向臨進路段流量由原 800 vphpl 縮減為 700 vphpl，則以式 (1) 求得之最小週期長度為 27 秒。若以式 (23) 推算經由補償作業產生的各個週期，其變化趨勢如表 3-4 與圖 3-7：

表 3-4 交通量縮減之補償週期表

週期順序	週期長度 (秒)
1	36.00
2	32.73
3	29.32
4	27.94
5	27.38
6	27.15
7	27.06
8	27.03
9	27.01

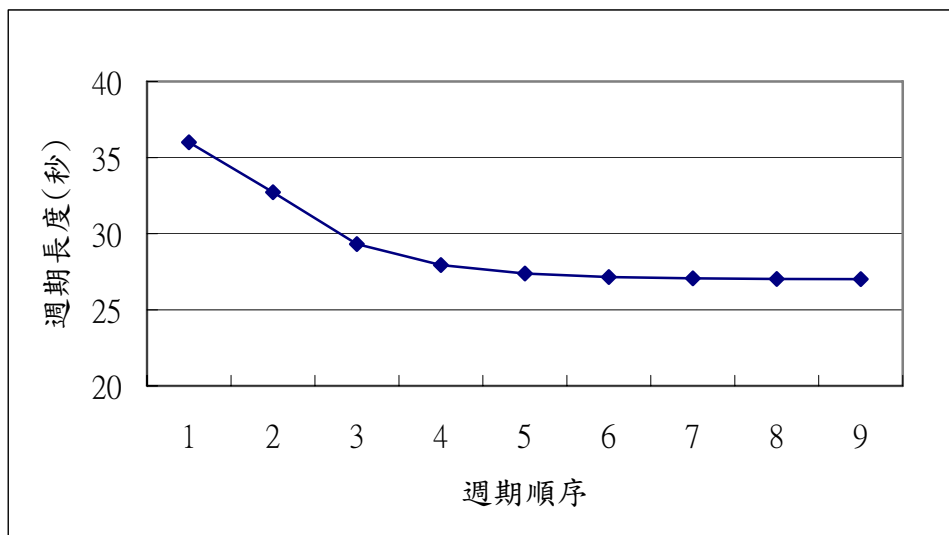


圖 3-7 交通量縮減之補償週期長度變化趨勢圖

由圖 3-7 可知，經由時相補償作業，若流量水準縮減，則週期長度會逐漸趨近至最小週期法所求算出之長度，以適應新的流量水準。

### 3.3 現有方法的檢討

一般來說時制轉換時可能面臨的狀況可分為以下四種：

1. 到達時制轉換點時，目前運行之週期尚未結束。
2. 新、舊時制之週期長度不同。
3. 新、舊時制之時相數不同。
4. 新、舊時制之時相順序不同。

本研究將針對以上四種狀況，研擬可行的時制轉換方法，以期所擬定之方法可適用於大部分的情況。

目前僅有交通部運輸研究所的研究〔17〕曾比較及整理各種時制轉換方法，且由 R.D. Bretherton 之研究所計算之績效指標提出建議。其針對各種時制轉換方法，利用一種共變異法（Covariance Technique）從事統計評估，以產生從離峰時間到尖峰時間，以及從尖峰時間到離峰時間對於每套時制計劃轉換法所產生的「需求/旅行時間」迴歸線。

本研究參考運研所關於時制轉換方法之研究，並於研擬號誌時制轉換方法時，在新、舊時制之間加入一「轉換時段」，藉由此時段對到達時制轉換點時尚未完成之週期進行補償。若到達時制轉換點時，當時正在執行的週期亦剛好執行完畢，但新、舊時制中各時相的長度差異較大時，亦可藉由此轉換時段讓時制轉換的過程不致過於劇烈，以避免可能產生的衝突及危險。

茲將運研所整理之時制轉換方法之特點、限制，以及共同點整理於表 3-5。針對各方法之優、缺點進行分析，了解其應用限制與注意事項，作為本研究研擬時制轉換方法的基礎。

表 3-5 時制轉換法比較一覽表

方法名稱	特點	限制	共通點
直接轉換法	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。	<ol style="list-style-type: none"> <li>除直接轉換法外，其餘轉換法皆有於新、舊時制中加入轉換時段。</li> <li>除直接轉換法外，其餘轉換法皆不會產生極短綠燈的情形。</li> <li>各轉換方法在時制轉換時皆無以「需求」的層面來考量轉換時段的設計。</li> </ol>
最小綠燈時間轉換法	可以最小綠燈時間長度補償尚未執行之各時相，避免任一時相被遺漏而使路口績效降低，以及防止因切換時制使綠燈時間過短而可能造成的交通衝突。此方法可利用較短的轉換時段完成時制轉換作業。	僅以最小綠燈時間補償尚未執行之各時相，可能無法滿足流量水準較高之臨進路段。新、舊時制中各時相長度差距過大時亦無法以較平緩的方式進行轉換。	
幹道綠燈延長法	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。	
最大綠燈時間轉換法	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	
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。	
投射轉換法	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。	與漸進式轉換法同。	
鞍點轉換法	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。	表 3-4 中的準則使此方法在不會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。	

### 3.4 時制轉換時段的處理原則

參考表 3-5 對於各時制轉換方法的比較與歸納，本研究將採取各方法之共通點與特性，並避免其限制，來發展較具彈性的時制轉換方法。方法之擬定係基於以下原則：

#### 1. 滿足最小綠燈

本原則在防止因轉換時段中各時相之綠燈時間過短而可能造成的過飽和與衝突。

#### 2. 避免任一時相被遺漏

基於公平性，於時制轉換時皆需將此原則納入考量，以減少因時相被遺漏，使得該臨進路段之車輛產生較高的停等延誤。

#### 3. 避免時相長度劇烈變化

由於不同時段之間的車流量是以漸進式的趨勢變動，因此若新、舊時制中各時相長度差距過大時，可能會因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，造成其他方向車輛壅塞的情形。本原則乃在轉換時段中將各時相的長度以較為平緩的方式遞增或遞減。另外，若遇時制轉換點時某一時相尚未執行完畢，亦不採取直接中斷的方法，以避免該時相過短而產生時相長度劇烈變化的情形。

#### 4. 給予被中斷的時相足夠之補償時間

遇時制轉換點時，當時正在執行的時相可能僅服務少數的車輛，當時相被中斷時後方原本能夠通行的車輛即無法於路口紓解。於 3.1 節中的實驗數據可知，當週期長度突然縮減時，必須在後續之各週期以更長的時間將被縮減的時間補償回來。因此，在轉換時段中必須對尚未執行的剩餘時間予以補償，以儘速紓解等候車隊。

#### 5. 避免過長之轉換時段長度

若轉換時制所需之轉換時段過長，將無法立即執行新時制，則可能無法符合目前之流量水準，使新時制得以發揮其最大效率。因此轉換時段的長度相對於新時制的時段長度而言必須夠小，否則會造成新時制的時段長度的改變，進而影響時制計劃的適用性。由於目前少有針對轉換時段最適長度之研究，因此本研究於敏感度分析中進行轉換時段週期數變化之影響分析，以探討較適宜之轉換時段長度。

#### 6. 需考慮新、舊時制之間交通量需求的關係

目前採用預設時制的路口，大多以一段較長之時間段內平均流量做為時制設計的輸入值。因此兩個時段的平均交通量可能會有一段落差，但實際的車流量卻是以漸進式增減的型態變動，如圖 3-8。

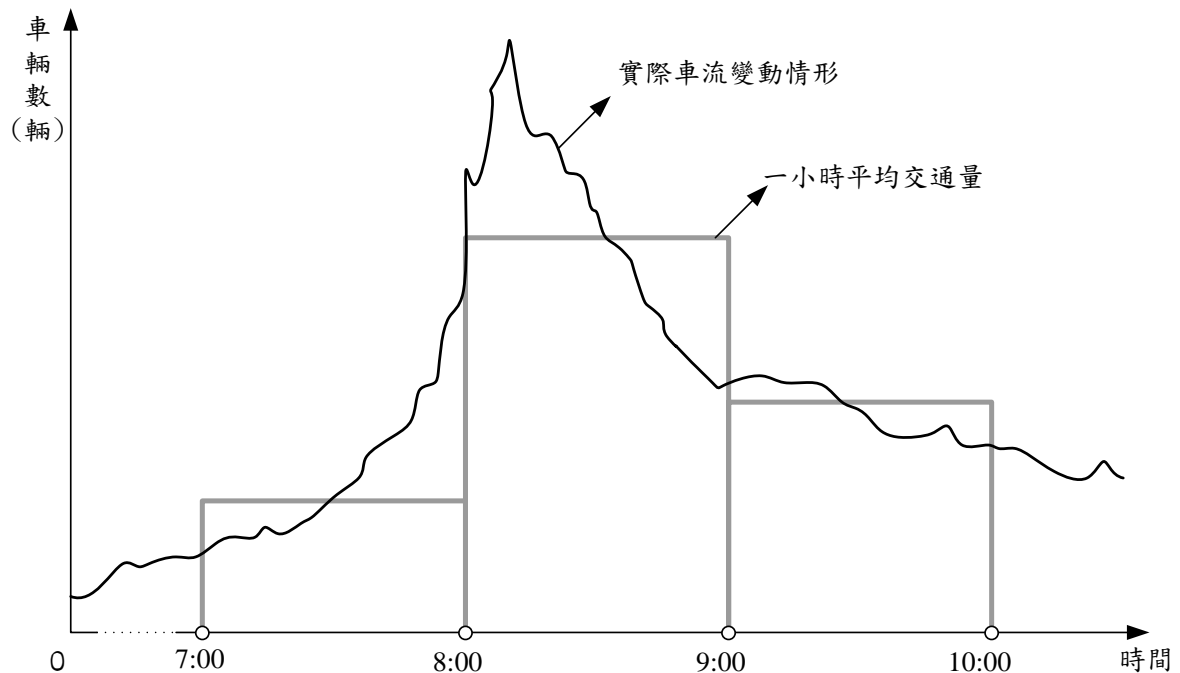


圖 3-8 實際車流變動情形與平均交通量比較示意圖

因此，若純以時制計劃變動的過程進行時制轉換作業，將無法適當反應實際流量之變動情形。因此，本研究擬以需求變動的角度來研擬時制轉換方法，並納入 3.2 節中之觀念，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。

#### 7. 具備因應不同時制設計的能力

由於時制轉換作業中，可能會有新、舊時制的時相計劃相異的情形，因此在設計時制轉換方法時必須將此因素考量在內，否則所發展方法之使用範圍將受侷限。

### 3.5 時制轉換方法之擬定

本研究基於 3.2 節之時相補償模式以及 3.4 節之方法擬定原則所研擬之時制轉換方法分為以下兩種：

#### (1) 時相補償法 (the Phase Compensation Method)

#### (2) 時制重設法 (the Timing Reset Method)。

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. 第一種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；本研究提出之**時相補償法**乃利用此處理方式進行時制轉換作業。
2. 第二種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；本研究提出之**時制重設法**乃利用此處理方式進行時制轉換作業。

茲將上述兩種時制轉換方法之步驟分述如下：

### 1. 時相補償法

假設一時制計劃使用於總長一小時之時段，其週期長度為 70 秒，則在該時段中此時制計劃需執行  $\frac{3600}{70} = 51.4$  個週期。在執行完 51 個週期後，**理論上**應再執行剩餘的 0.4 個週期（以下稱為**剩餘週期**）後才滿足該時段之交通需求。由於各臨進路段之臨界流量比例相同，因此要執行 0.4 個週期則需將各時相縮減為原長度之 0.4 倍。但在本研究之時相補償法中，考量須滿足最小綠燈及避免時相長度劇烈變化等原則，因此在剩餘週期中各時相仍維持其原長度。採用此種處理方式時，即代表時相長度由 0.4 倍延長至原長度。在 3.2 節中的實驗數據證明，在時相長度被延長的情況下，若要進行時制補償作業，則需利用一較長之週期方可。在以上的理論假設之下，時相補償法之步驟流程敘述如下：



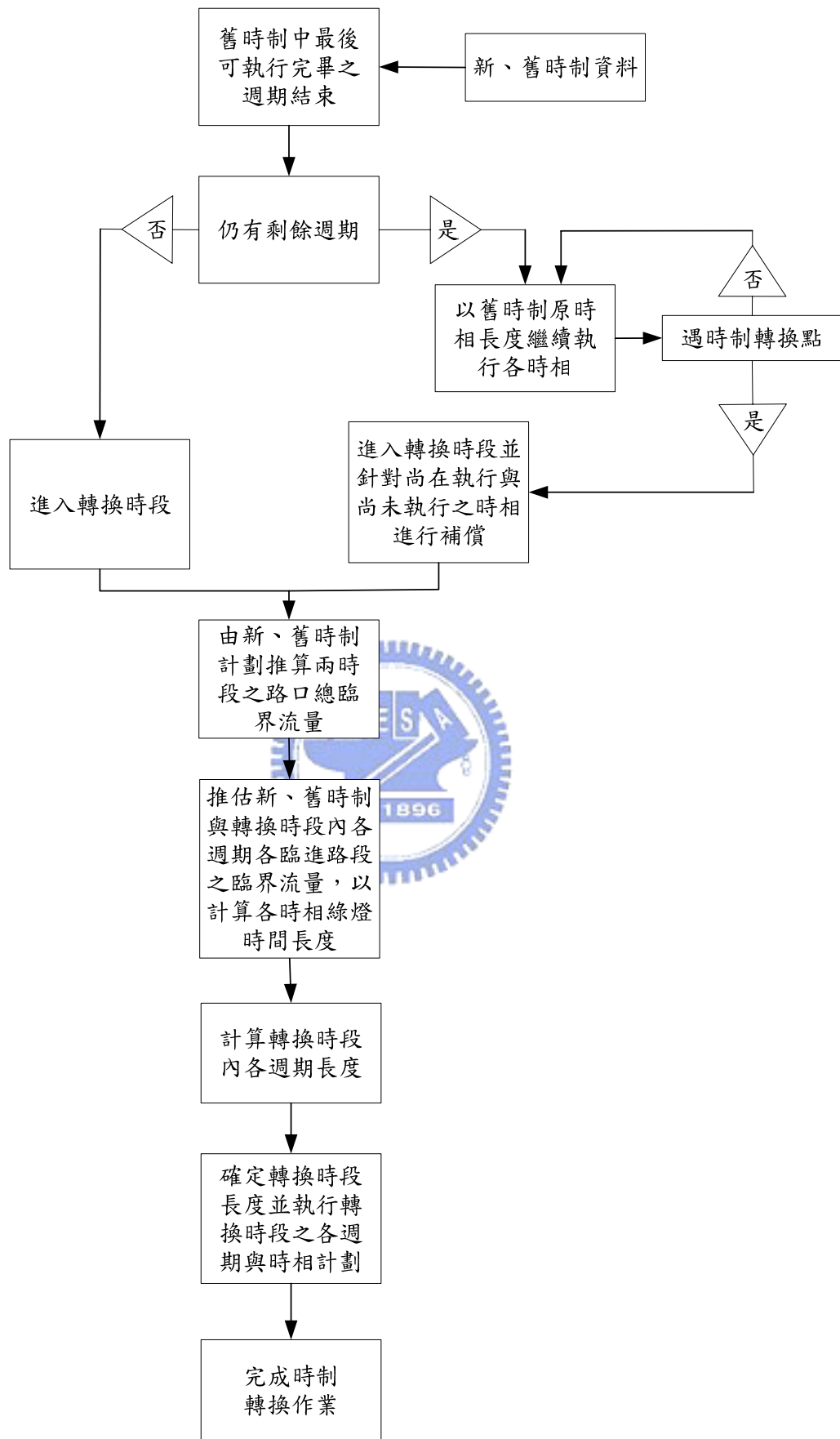


圖 3-9 時相補償法流程圖

- (1) 開始執行剩餘週期。此時尚未到達時制轉換點，因此各時相執行長度皆為舊時制之原長度，且各臨進路段之臨界流量皆維持不變。
- (2) 到達時制轉換點後，即進入轉換時段。
- (3) 由時制設計公式推算新、舊時制路口總臨界流量。
- (4) 由圖 3-2 之關係圖可知一週期中，綠燈時間、黃燈時間、有效綠燈時間，與每時相損失時間之關係如式 (24)：

$$G_{\Phi}^{(i)} + A = g_{\Phi}^{(i)} + t_L \quad (24)$$

其中

$G_{\Phi}^{(i)}$  : 第  $i$  週期第  $\Phi$  時相之綠燈時間 (秒)

$g_{\Phi}^{(i)}$  : 第  $i$  週期第  $\Phi$  時相之有效綠燈時間 (秒)

$A$  : 黃燈時間 (秒)

$t_L$  : 每時相損失時間 (秒)

故可由式 (24) 推得新、舊時制中各時相之有效綠燈時間佔整體之比例。

- (5) 將步驟(3)求得之路口總臨界流量與步驟(4)各時相之有效綠燈時間比例相乘後，即可推算新、舊時制中各臨進路段之臨界流量。舊時制中臨進路段

$a$  之臨界流量設為  $V_a^{old}$  (vphpl)，新時制中臨進路段  $a$  之臨界流量設為  $V_a^{new}$  (vphpl)。

- (6) 令轉換時段第  $i$  個週期中，臨進路段  $a$  之平均臨界流量為  $V_a^{(i)}$ ，則  $V_a^{(1)}$  為：

$$V_a^{(1)} = \frac{V_a^{old} + V_a^{new}}{2} \quad (\text{單位：vphpl}) \quad (25)$$

將式 (25) 延伸，令轉換時段第  $i$  個週期的臨界流量為下式：

$$V_a^{(i)} = \frac{V_a^{(i-1)} + V_a^{new}}{2}, \quad i \geq 2 \quad (\text{單位：vphpl}) \quad (26)$$

若  $V_a^{old} < V_a^{new}$ ，則由式 (25) 及 (26) 可知隨著  $i$  的增加，各臨進路段臨界流量的邊際增加率將愈來愈小，由此流量變動的趨勢所推算出的週期長度將能符合圖 3-6 之趨勢圖。同理，若  $V_a^{old} > V_a^{new}$ ，則隨著  $i$  的增加，各臨進路段臨界流量的邊際縮減率將愈來愈小，由此流量變動的趨勢所推算出的週期長度將能符合圖 3-7 之趨勢圖。

另外，由於轉換時段中後半數之週期採用新時制之時相計劃，可能會產生新時相計劃中某特定時相無上一週期之臨界流量資料的情形。遇此情況時則將上一週期之臨界流量設為 0，且同式 (26) 之計算方式如下：

$$V_a^{(i)} = \frac{0 + V_a^{new}}{2} = \frac{V_a^{new}}{2} \quad (27)$$

- (7) 將 3.2 節推導出之式 (23) 略作更改，加入週期別次，並以其計算轉換時段中正在進行與尚未進行之時相的有效綠燈長度。其計算公式如下：

$$g_{\Phi}^{(i)} = \frac{r_{\Phi}^{(i)}}{\frac{3600}{V_a^{(i)} \times h_a} - 1} \quad (28)$$

其中

$g_{\Phi}^{(i)}$  : 第  $i$  週期第  $\Phi$  時相之有效綠燈時間 (秒)

$V_a^{(i)}$  : 臨進路段  $a$  在第  $i$  週期之臨界流量 (vpl)

$h_a$  : 臨進路段  $a$  之車間時距 (秒)

$r_{\Phi}^{(i)}$  : 第  $i$  週期第  $\Phi$  時相綠燈開始前之有效紅燈時間 (秒)

若每週期有  $N$  個時相，目前執行到第  $k$  個時相，由圖 3-3 知，式 (28) 中之  $r_k^{(i)}$  可以下式估算：

$$r_k^{(i)} = \sum_{\Phi=1}^{k-1} (g_{\Phi}^{(i)}) + \sum_{\Phi=k+1}^N (g_{\Phi}^{(i-1)}) + L \quad (29)$$

其中

$r_k^{(i)}$  : 第  $i$  週期第  $\Phi$  時相綠燈開始前之有效紅燈時間 (秒)

$g_{\Phi}^{(i)}$  : 第  $i$  週期第  $\Phi$  時相之有效綠燈時間 (秒)

$L$  : 每週期總損失時間 (秒)

- (8) 由圖 3-3 知，每一週期之週期長度可以下式推算：

$$C^{(i)} = \sum_{\Phi=1}^N g_{\Phi}^{(i)} + L \quad (30)$$

其中

$C^{(i)}$  : 第  $i$  週期之週期長度 (秒)

$g_{\Phi}^{(i)}$  : 第  $i$  週期第  $\Phi$  時相之有效綠燈時間 (秒)

$L$  : 每週期總損失時間 (秒)

- (9) 重複步驟(6)到(8)，直到轉換時段內所有週期之長度皆計算完成。

- (10) 依序執行轉換時段內各週期與時相計劃。

- (11) 轉換時段結束後，即完成時制轉換作業，並開始執行新時制。

## 2. 時制重設法

本方法對於轉換時段中各時相長度的計算方法與時相補償法相同，但時制重設法乃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，這是與時相補償法最大的相異點。時制重設法步驟流程敘述如下：

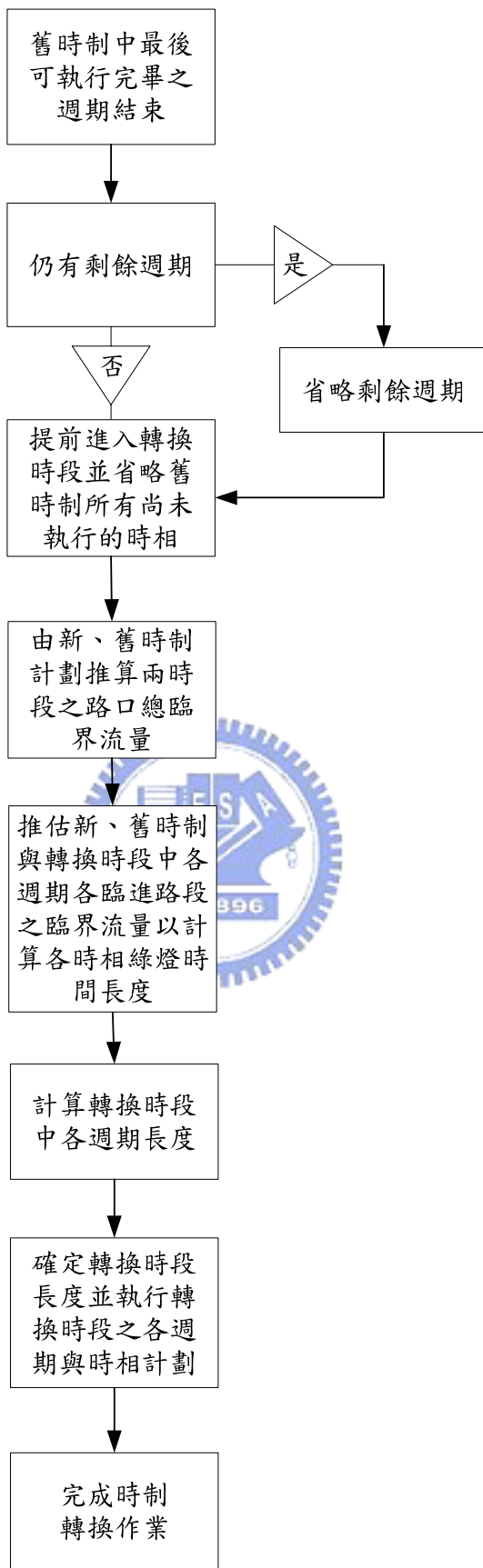


圖 3-10 時制重設法流程圖

- (1) 在最後可完整執行完畢的週期結束時，若仍有剩餘週期，則予以省略，並提早在此時開始進入轉換時段。
- (2) 由時制設計公式推算新、舊時制路口總臨界流量。
- (3) 由式(24)推得新、舊時制中各時相之有效綠燈時間佔整體之比例。
- (4) 將步驟2求得之路口總臨界流量與步驟3各時相之有效綠燈時間比例相乘後，即可推算新、舊時制中各臨進路段之臨界流量。
- (5) 推估轉換時段中各週期各臨進路段之臨界流量。
- (6) 計算轉換時段中正在進行與尚未進行之時相的有效綠燈長度。
- (7) 計算轉換時段中每一週期之週期長度。
- (8) 重複步驟(5)到(7)，直到轉換時段內所有週期之長度皆計算完成。
- (9) 依序執行轉換時段內各週期與時相計劃。
- (10) 轉換時段結束後，即完成時制轉換作業，並開始執行新時制。

### 3.6 小結

由 3.2 節可知在固定需求之下，週期長度一旦改變，時相補償程序在理論上永遠無法將其還原至原週期長度，惟實務上仍可以採直接調整至原長度的方法。另外當交通需求改變時，經由時相補償作業會使週期長度緩慢朝最小週期法推算之週期長度趨近。週期長度若因故縮短，則下一個週期的長度必須延長，之後的各週期長度則逐漸趨向於符合當時交通量水準的長度。

由 3.3 節可知在：(1)到達時制轉換點時，目前運行之週期尚未結束；(2)新、舊時制之週期長度不同；(3)新、舊時制之時相數不同；(4)新、舊時制之時相順序不同等情況下，關於時相補償之方法有許多不同的選擇可供決策之用。本研究所關切的重點在於各補償方法是否可顯著改善路口績效水準，與探討何種補償方法最能達到最佳路口績效。

## 第四章 系統模擬設定

要探討各種時制轉換方法之優劣，應以實際觀測路口車流在進行時制轉換時呈現的特性與號誌運作的效率，才能得到較客觀的結果。然目前並無任何一種號誌控制器可提供輸入多種時制轉換方法，並且可隨時切換以進行各方法之比較。因此，基於現場路口調查作業與操作號誌控制器功能的諸多限制與安全顧慮，本研究擬以模擬方式進行分析。由車流模擬的方式可確保在比較各種時制轉換方法時，車輛的各種行為（跟車、變換車道、加減速等）皆在相同的機制與前提下進行。

本研究採用 FHWA 發展之車流模擬軟體 TSIS 進行模擬分析，由於 TSIS 為微觀之車流模擬器，因此在進行時制轉換作業分析時可針對各種轉換方法進行較詳細的觀察與比較。該軟體對車輛之跟車與變換車道等行為皆有較細緻的模化，為一相當成熟且被廣泛使用的車流模擬軟體，因此對本研究之範例將可提供較為客觀的結果。

### 4.1 路口模擬之各項假設

本模擬分析之各項假設條件如下：

1. 以獨立預設時制號誌路口為基礎，分為東西向與南北向，每一臨進路段皆有兩車道（如圖 3-1），路段長度皆為 1000 英尺（TSIS 以英尺為長度計算單位）。
2. 在各種情境假設之下，新、舊時制採用二時相計劃（如圖 4-1），時制計劃如表 4-1。

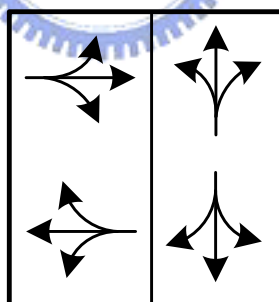


圖 4-1 時相計劃圖

表 4-1 新、舊時制之時制計劃表

時相 時段	第一時相 長度	第二時相 長度	週期長度
舊時制時段	22	18	40
新時制時段	63	45	108

3. 假設在舊時制剩餘週期之第二時相執行 10 秒後遇時制轉換點。

4. 每時相損失時間  $t_L = 3$  秒。
5. 在轉換時段中預設最小綠燈時間  $g_{min} = 15$  秒。
6. 直進車流車間時距  $h = 2$  秒。
7. 黃燈時間  $A = 3$  秒。
8. 路口轉向比之設定皆假設直進為 80%，左轉為 10%，右轉為 10%。
9. 假設臨界車道為往東方向與往北方向之臨進路段。
10. 各臨進路段之自由車流速率皆為 30mph (TSIS 以 mph 為速率計算單位)。
11. 模擬輸出績效評估之起始時間設為所有時制轉換方法中最早進入轉換時段之時間點；評估之結束時間設為所有時制轉換方法中最後結束轉換時段之時間點。由此假設可使各方法所比較的時間範圍相同，以確保模擬分析之客觀性。
12. 進行模擬作業時設定每 1 秒計算一次路網累積統計資料，以一致比較評估時間範圍內的績效輸出值。
13. 由績效評估之文獻回顧與 TSIS 之輸出資料分類，本研究遴選以下三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)
  - (3) 曾停等之車輛數佔全部通過車輛數的比例(%)
14. 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。
15. 假設正式進行模擬時，經過 120 秒後開始進入剩餘週期。
16. 每一時制轉換方法與每一情境皆模擬 30 次，並求取各績效平均值與 95% 信賴區間。30 次的模擬作業中皆採用相異之隨機亂數種子。
17. 假設車輛到達之型態服從 Erlang 隨機分配，式 (31) 為此分配之函式：

$$f(t) = \frac{(qa)^a}{(a-1)!} t^{a-1} e^{-aqt} \quad (31)$$

其中

- $t$  : 車間時距(秒/車)  
 $q$  : 每車道平均交通量(車/車道)  
 $a$  : 使用者自訂之數值， $a = 1 \sim \infty$

本模擬作業將式 (31) 中之  $a$  值設為 1，使車輛到達之型態為完全隨機之負指數分配。

由以上各假設條件可推得各時制轉換之週期長度變化表 (如表 4-2~表 4-4 所示)。



表 4-2 各時制轉換方法週期長度表

單位：秒

時制轉換方法 \ 時段別	舊時制	轉換時段				新時制
		第一週期	第二週期	第三週期	第四週期	
直接轉換法	40					108
最小綠燈轉換法	40	40				108
最大綠燈轉換法	40	50				108
漸進式轉換法	40	63	86			108
投射轉換法	40	43	121	161		108
鞍點轉換法	40	40	144			108
時相補償法	40	41	49	58	67	108
時制重設法	40	47	56	66	76	108

表 4-3 時相補償法轉換時段週期數變化之週期長度表

單位：秒

週期數 \ 時段別	舊時制	轉換時段										新時制
		第一週期	第二週期	第三週期	第四週期	第五週期	第六週期	第七週期	第八週期	第九週期	第十週期	
2	40	41	49									108
3	40	41	49	58								108
4	40	41	49	58	67							108
5	40	41	49	58	67	76						108
6	40	41	49	58	67	76	84					108
7	40	41	49	58	67	76	84	90				108
8	40	41	49	58	67	76	84	90	95			108
9	40	41	49	58	67	76	84	90	95	99		108
10	40	41	49	58	67	76	84	90	95	99	104	108

表 4-4 時制重設法轉換時段週期數變化之週期長度表

單位：秒

時段別 週期數	舊時制	轉換時段										新時制
		第一週期	第二週期	第三週期	第四週期	第五週期	第六週期	第七週期	第八週期	第九週期	第十週期	
2	40	47	56									108
3	40	47	56	66								108
4	40	47	56	66	76							108
5	40	47	56	66	76	84						108
6	40	47	56	66	76	84	90					108
7	40	47	56	66	76	84	90	95				108
8	40	47	56	66	76	84	90	95	99			108
9	40	47	56	66	76	84	90	95	99	104		108
10	40	47	56	66	76	84	90	95	99	104	107	108

表 4-3 至 4-4 乃將轉換時段推算至十個週期，以求其週期長度變化趨勢，並將以上週期長度表繪製成折線圖，可看出其變化趨勢（如圖 4-2~圖 4-4）。

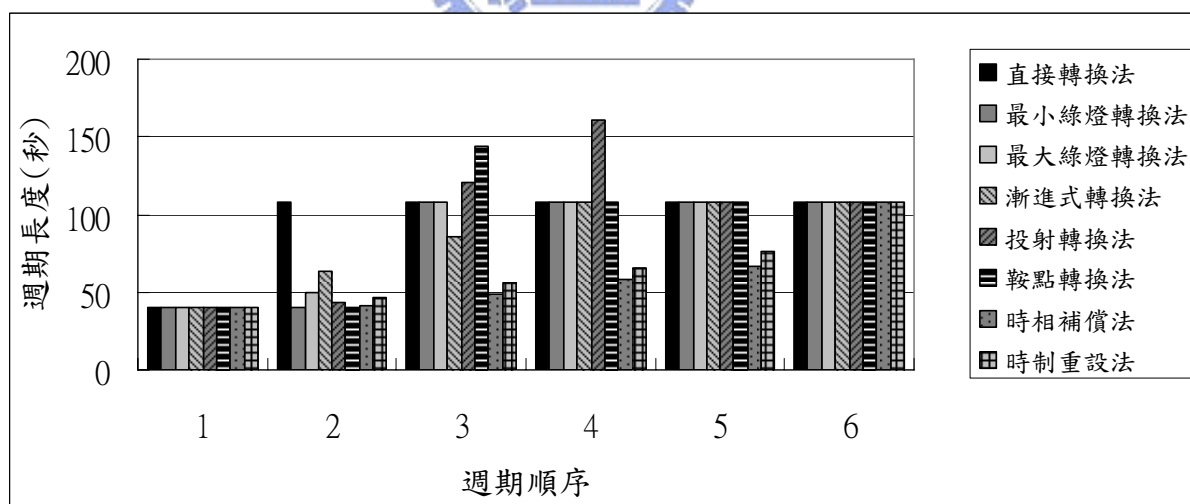


圖 4-2 各時制轉換方法之週期變化趨勢圖

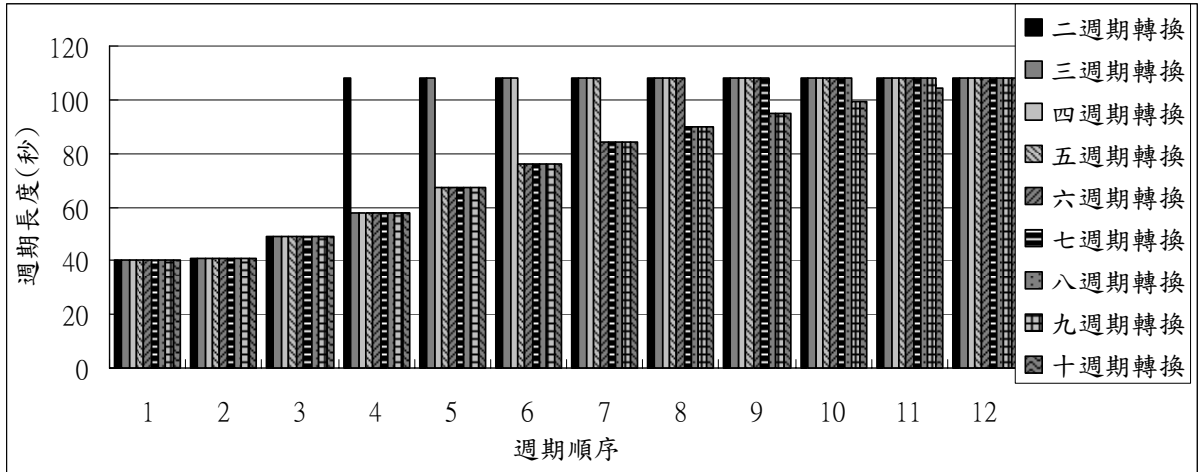


圖 4-3 時相補償法轉換時段中不同週期數之週期變化趨勢圖

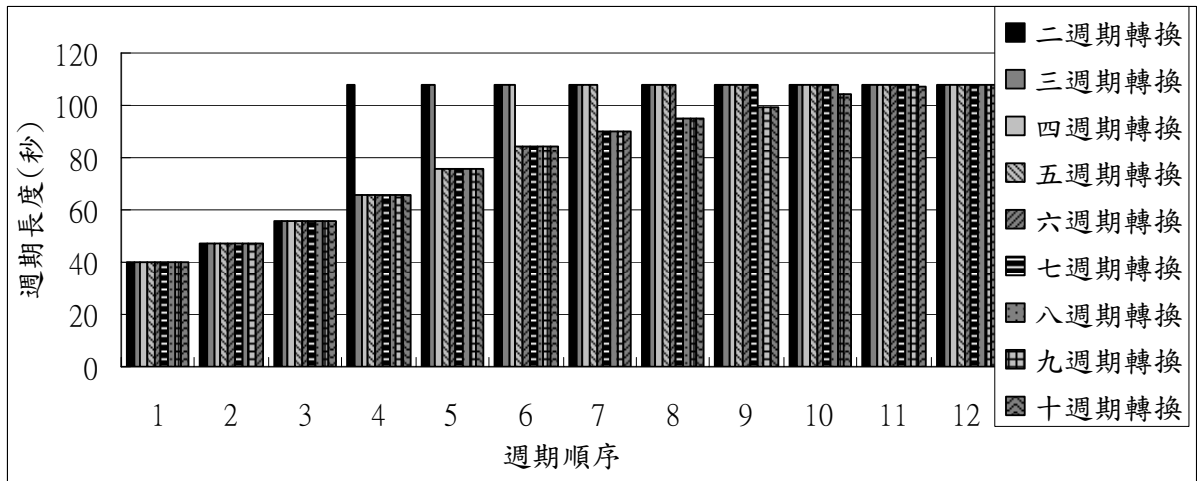


圖 4-4 時制重設法轉換時段中不同週期數之週期變化趨勢圖

圖 4-2 中，週期順序 1 為舊時制週期長度，週期順序 6 為新時制週期長度，其餘則為轉換時段內之週期長度；圖 4-3 到圖 4-4 中，週期順序 1 為舊時制週期長度，週期順序 12 為新時制週期長度，其餘則為轉換時段內之週期長度。圖 4-2 顯示本研究研擬之兩種時制轉換方法與漸進式轉換法可提供最為平緩之變動趨勢，其餘轉換方法之週期長度皆呈現較劇烈變化的情形。圖 4-3 與圖 4-4 假設轉換時段週期數在二至十之間變動。無論時相補償法或時制重設法，轉換時段中之週期數愈多，其週期長度變化趨勢愈平緩。

## 4.2 情境模擬與分析

本研究針對下列因素設定情境假設，並於下一章進行敏感度分析。假設條件如下：

### 1. 假設新、舊時制之 PHF 值已知：

新、舊時制之 PHF 值假設為一致，且在不同 PHF 值之下，皆假設本研究發展之時相補償法與時制重設法之轉換時段內之週期數均為 4。

## 2. 調整時相補償法以及時制重設法中，轉換時段內的週期數

本研究由 TSIS 之模擬動畫輸出發現：當 PHF 為 0.8 時，路口車流不會產生過飽和，因此在週期數不同之情境下，皆假設 PHF 值為 0.8，以使分析作業更能突顯不同的時制轉換方法之效率差異。

基於以上兩點因素，本研究設定之所有情境假設如表 4-5 所示；表中打勾之欄位代表該情境編號設定之假設條件。

表 4-5 情境假設一覽表

情境 假設 編號	新、舊時制之 PHF 值						時相補償法與時制重設法 轉換時段週期數									
	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1						✓			✓							
2					✓				✓							
3				✓					✓							
4			✓						✓							
5		✓							✓							
6	✓								✓							
7		✓					✓									
8		✓						✓								
9		✓							✓							
10		✓								✓						
11		✓									✓					
12		✓										✓				
13		✓											✓			
14		✓												✓		
15		✓													✓	

在上表之情境假設下，本研究針對各種時制轉換方法進行模擬分析，各模擬編號如表 4-6 所示。表中之模擬編號欄位即代表在該情境假設與時制轉換法下進行模擬分析的編碼。

表 4-6 模擬編號一覽表

轉換 方法 模擬 情境 編號	1. 直接 轉換 法	2. 最小 綠燈 轉換 法	3. 最大 綠燈 轉換 法	4. 漸進 式轉 換法	5. 投射 轉換 法	6. 鞍點 轉換 法	7. 時相 補償 法	8. 時制 重設 法
1	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8
2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
3	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8
4	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8
5	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6	5-7	5-8
6	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6	6-7	6-8
7							7-7	7-8
8							8-7	8-8
9							同 5-7	同 5-8
10							10-7	10-8
11							11-7	11-8
12							12-7	12-8
13							13-7	13-8
14							14-7	14-8
15							15-7	15-8

### 4.3 模擬參數之設定

以 TSIS 進行模擬時，必須輸入若干重要參數，主要包括流量、路口轉向比、自由車流速率、車間時距、路口車流到達型態、時相計劃、模擬時段、模擬初始化時間、模擬資料統計之時間區間長度等項目，其中路口轉向比、自由車流速率、車間時距、路口車流到達型態、時相計劃、模擬初始化時間，以及模擬資料統計之時間區間長度等在 4.1 節中均假設為固定值，故本節僅針對以下參數進行調整設定：

#### 1. 流量

由於本研究假設已知之資訊僅限於路口之時制計劃，並無車流量之資料，因此本項參數須經由時制計劃反推而得。由最小週期法加入 PHF 後之公式經過移項後可推得流量計算公式如下：

$$V = \frac{3600 \times (C - N \times t_L)}{C \times h \times PHF} \quad (25)$$

由式 (25) 可推算在不同 PHF 值之下，各時段之臨界流量 (如表 4-7)。

表 4-7 臨界流量表

單位：車/小時-車道

時相 時段	PHF=1.00		PHF=0.95		PHF=0.90		PHF=0.85		PHF=0.80		PHF=0.75	
	第一時相	第二時相	第一時相	第二時相	第一時相	第二時相	第一時相	第二時相	第一時相	第二時相	第一時相	第二時相
舊時制時段	850	850	799	654	757	620	715	585	673	551	673	551
新時制時段	1000	1000	961	686	910	650	859	614	809	578	809	578

由於本研究假設各臨進路段皆有兩車道，因此在 TSIS 中各臨進路段之流量時皆須將其臨界流量乘以 2。本研究假設臨界車道為臨進路段 1（往東方向車流）與臨進路段 2（往北方向車流），因此可將臨界流量乘以 2 所得之小時流量指派予此二臨進路段。由於無實際路口資料，因此本研究將臨進路段 3 之流量設定為低於臨進路段 1 之流量；臨進路段 4 之流量設定為低於臨進路段 2 之流量，其設定值如表 4-8。

表 4-8 車流量設定表

單位：車/小時

時段別 臨進路段	PHF=1.00		PHF=0.95		PHF=0.90		PHF=0.85		PHF=0.80		PHF=0.75	
	舊時制	新時制	舊時制	新時制	舊時制	舊時制	新時制	新時制	舊時制	新時制	舊時制	新時制
1	1700	1700	1598	1900	1514	1820	1430	1718	1346	1618	1262	1516
2	1350	1350	1308	1330	1240	1300	1170	1228	1102	1156	1032	1084
3	1200	1200	1140	1330	1080	1260	1020	1190	960	1120	900	1050
4	800	800	760	950	720	900	680	850	640	800	600	750

## 2. 時制計劃

由於各時制轉換方法之轉換策略不同，因此在新、舊時制之間的轉換時段中會產生迥異的時制計劃，故必須加以區分。值得說明的是：當 TSIS 所模擬的時制計劃改變時，應針對前後各時制計劃之間的時差進行調整；若新時制計劃的週期變長，則需將較長週期的時差秒數設定為前後兩週期長度之差。例如：4.1 節中假設舊時制計劃週期長度為 40 秒，新時制計劃週期長度為 108 秒，則必須在新時制之時段設定時差秒數為 68 秒（如表 4-9）；若新時制計劃週期變短，則需將較長週期的時差秒數設定為兩週期長度之差。以前述之例子來

說，時制計畫由 108 秒轉換為 40 秒時，則必須將舊時制之時段設定時差秒數為 68 秒（如表 4-10）。

表 4-9 短週期轉長週期之時差秒數設定表

時段別 設定秒數	舊時制	新時制
週期長度(sec)	40	108
時差(sec)	0	68

表 4-10 長週期轉短週期之時差秒數設定表

時段別 設定秒數	舊時制	新時制
週期長度(sec)	108	40
時差(sec)	68	0

### 3. 模擬時段數與時段長度

由於在轉換時段的各種時制轉換方法的時制計畫皆不相同，因此必須將其區分為數個不同之時段，每時段長度之設定則以該時段時制計畫之週期長度的倍數為原則。各時制轉換方法之時段長度設定值如表 4-11~表 4-18 所示。

表 4-11 直接轉換法之時段長度設定表

時段別 設定秒數	1	2	3
時段長度(sec)	120	32	432
時差(sec)	8	0	76

表 4-12 最小綠燈轉換法之時段長度設定表

時段別 設定秒數	1	2
時段長度(sec)	160	432
時差(sec)	0	68

表 4-13 最大綠燈轉換法之時段長度設定表

時段別 設定秒數	1	2	3
時段長度(sec)	120	50	432
時差(sec)	8	10	68

表 4-14 漸進式轉換法之時段長度設定表

時段別 設定秒數	1	2	3	4	5
時段長度(sec)	120	40	63	86	432
時差(sec)	0	0	23	46	68

表 4-15 投射轉換法之時段長度設定表

時段別 設定秒數	1	2	3	4	5
時段長度(sec)	120	43	121	161	432
時差(sec)	0	3	81	121	68

表 4-16 鞍點轉換法之時段長度設定表

時段別 設定秒數	1	2	3
時段長度(sec)	160	144	432
時差(sec)	0	104	68

表 4-17 時相補償法之時段長度設定表

時段別 設定秒數	1	2	3	4	5	6
時段長度(sec)	120	41	49	58	67	432
時差(sec)	0	1	9	18	27	68



表 4-18 時制重設法之時段長度設定表

時段別 設定秒數	1	2	3	4	5	6
時段長度(sec)	120	47	56	66	76	432
時差(sec)	0	7	16	26	36	68

結合 4.1 節中所建立之路口模擬各項基本假設，與 4.2 節中建立之各類情境假設，可於 4.3 節中推算模擬所需輸入之各項參數設定值，包括流量、時制計劃、模擬時段數，以及各模擬時段長度。第五章之敏感度分析係以本章各項假設與參數設定值為基礎進行分析。



## 第五章 敏感度分析

本章針對4.2節之兩項情境進行敏感度分析，以便進行下列績效之比較：

1. 在不同PHF值的情境下，各種時制轉換方法效率之比較。
2. 時相補償法與時制重設法在轉換週期數不同的情境下，路口績效輸出之比較。

首先將各時制轉換方法以一對應編號取代，以方便後續分析陳述之用。每一轉換法編號對應表如表5-1。

表 5-1 轉換法編號對應表

轉換法編號	時制轉換方法
1	直接轉換法
2	最小綠燈轉換法
3	最大綠燈轉換法
4	漸進式轉換法
5	投射轉換法
6	鞍點轉換法
7	時相補償法
8	時制重設法

上述之比較分析作業，分別陳述如後。

### 5.1 PHF 值變動

本節主要在比較情境編號1至6，PHF值於0.75至1.00之間變動時，時制轉換方法對於轉換作業的影響，並分析各時制轉換方法適用的時機與效率。

在進行模擬輸出資料之比較分析時，若採用相異的評比時間長度，則無法產生較具公平客觀的分析結果。由於各轉換方法之轉換時段長度不盡相同，若僅針對各方法轉換時段內之輸出資料進行評比，則無法了解各方法在轉換時段之後的路口運行績效，以及各方法在特定長度時段內對整個路口的影響。

檢視所有時制轉換方法中，最早開始進入轉換時段者為時制重設法，時間點為開始模擬後的第120秒；最晚結束轉換時段者為投射轉換法，時間點為開始模擬後的第445秒，因此，在進行PHF值變動之敏感度分析時，本研究皆擷取模擬時間第120秒至第445秒之間的績效輸出資料，表5-2為各方法開始與結束轉換時段的時間點一覽表。

表 5-2 進入及結束轉換時段之時間點一覽表

轉換法 編號與名稱	開始進入轉換 時段之時間點 (秒序)	結束轉換時段 之時間點 (秒序)
1. 直接轉換法	152	152
2. 最小綠燈轉換法	152	160
3. 最大綠燈轉換法	152	170
4. 漸進式轉換法	152	309
5. 投射轉換法	152	445
6. 鞍點轉換法	152	304
7. 時相補償法	152	335
8. 時制重設法	120	365

### 5.1.1 績效輸出資料

以下針對在不同的PHF值之下進行各模擬輸出績效的比較分析：

#### 1. 平均停等延誤

表5-3為將模擬編號1-1至6-8各模擬30次後之平均停等延誤績效值。情境編號1至6代表PHF值由1.00、0.95、0.90.....至0.75。績效輸出之擷取範圍介於模擬時間第120秒至第445秒之間。

表 5-3 平均停等延誤績效輸出表

單位：秒/車

轉換法 編號 情境編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1	44.69	45.30	45.83	45.90	46.06	47.81	45.09	43.60
2	41.65	37.84	39.54	39.94	39.86	41.15	37.74	38.71
3	34.27	31.56	35.30	29.24	35.87	34.42	32.48	32.70
4	27.23	26.62	25.54	26.24	31.45	29.53	25.76	25.00
5	23.34	21.53	22.43	19.29	27.33	24.34	19.17	18.09
6	19.90	19.17	18.26	16.09	25.23	22.89	15.85	15.67

根據表5-3，可得各時制轉換方法在各情境下，各平均停等延誤之變動趨勢如圖5-1所示。

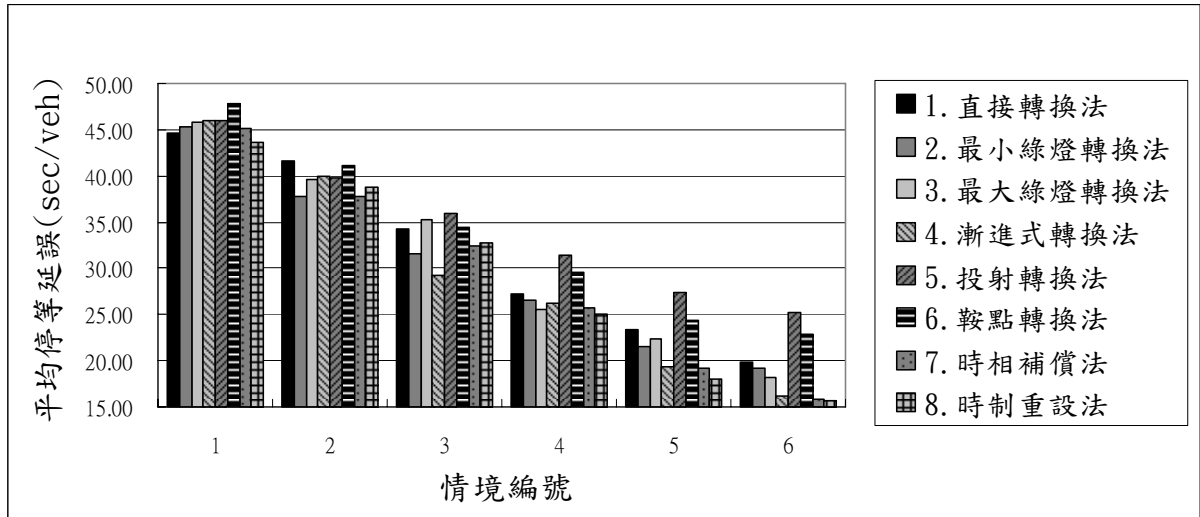


圖 5-1 平均停等延誤之變動趨勢圖

圖5-1顯示，隨著PHF值的下降，各時制轉換方法之平均停等延誤值亦逐漸下降，其中時相補償法、時制重設法，以及漸進式轉換法的平均停等延誤值明顯較其他時制轉換方法為低，而以直接轉換法及投射轉換法之平均停等延誤值為最高，可能由於兩方法之前後時相長度變化過於劇烈所致。

## 2. 平均速率

表5-4為將模擬編號1-1至6-8各模擬30次後，所得之平均速率績效值。情境編號1至6代表PHF值由1.00、0.95、0.90.....至0.75。績效輸出之擷取範圍介於模擬時間第120秒至第445秒之間。

表 5-4 平均速率績效輸出表

單位：英哩/小時

轉換法 編號 情境編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1	8.74	8.43	8.83	8.81	8.36	7.87	9.29	9.38
2	9.40	9.37	9.80	9.79	8.84	8.99	10.40	10.27
3	9.93	10.37	10.76	10.82	9.18	9.71	10.91	10.99
4	11.07	11.52	11.48	12.26	9.98	10.46	12.35	12.63
5	12.06	12.41	12.63	13.41	10.80	11.67	14.36	13.84
6	13.03	13.24	13.78	14.45	11.40	12.00	15.39	15.25

由表5-4可得各時制轉換方法在各情境下，平均速率之變動趨勢(如圖5-2)。

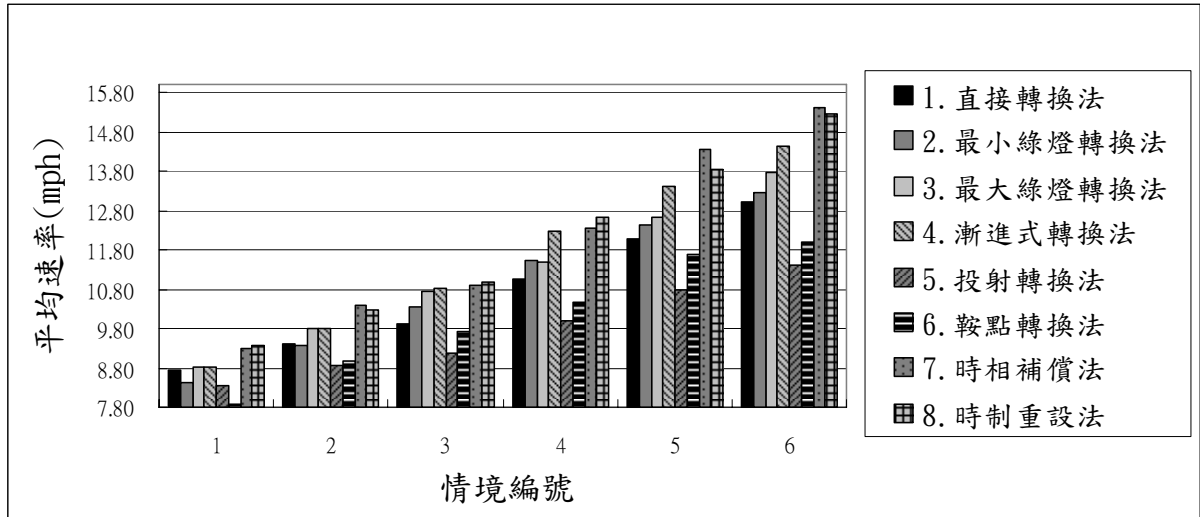


圖 5-2 平均速率之變動趨勢圖

圖5-2顯示隨著PHF值的下降，各時制轉換方法之平均速率值有逐漸上升的趨勢，其中以時相補償法、時制重設法的平均速率值較其他時制轉換方法為高，而以投射轉換法之平均速率值最低，可能由於其轉換時段中各時相長度過長，導致因紅燈停等之車隊遭遇較長之停等時間，因而影響平均速率所致。

### 3. 停等比例

表5-5為將模擬編號1-1至6-8各模擬30次後，所得之停等比例績效值。情境編號1至6代表PHF值由1.00、0.95、0.90.....至0.75。績效輸出之擷取範圍介於模擬時間第120秒至第445秒之間。

表 5-5 停等比例績效輸出表

單位：%

轉換法 編號 情境編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1	84.30	86.28	85.57	87.46	81.29	85.75	87.40	87.25
2	82.17	83.20	82.90	85.89	79.25	82.22	84.75	85.50
3	80.25	79.13	78.87	84.51	76.41	78.58	83.96	82.97
4	76.55	75.69	75.34	82.45	72.70	75.46	79.57	76.91
5	71.00	71.44	70.71	79.33	68.43	71.04	70.87	72.79
6	67.53	68.16	66.85	77.09	65.64	68.37	67.97	67.81

由表5-5可得各時制轉換方法在各情境下，停等比例之變動趨勢(如圖5-3)。

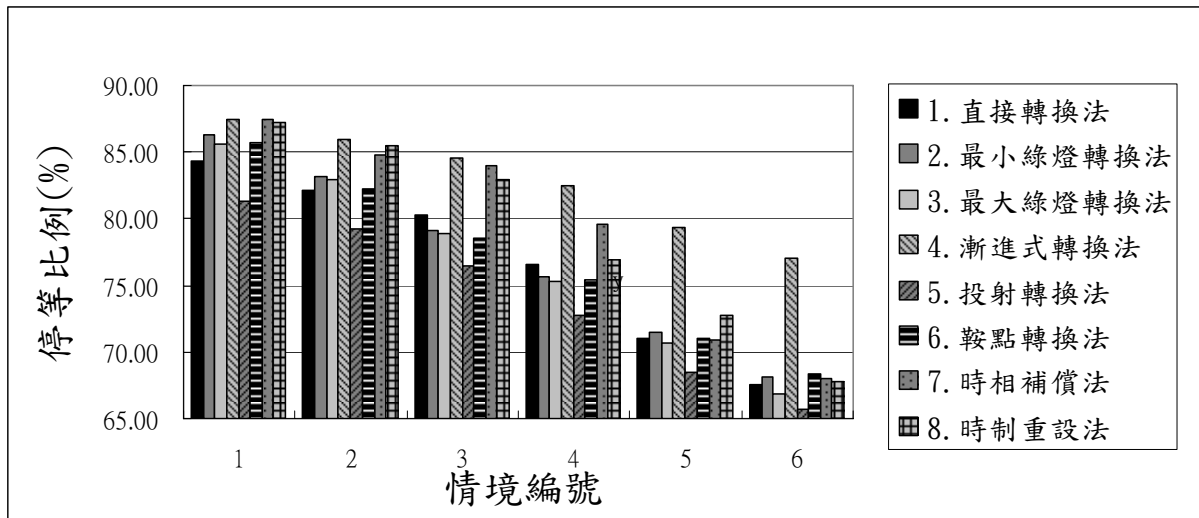


圖 5-3 停等比例之變動趨勢圖

圖5-3顯示隨著PHF值的下降，各時制轉換方法之停等比例值亦逐漸下降。圖中可明顯的看出漸進式轉換法之停等比例較其他方法高，投射轉換法則為最低。

在情境編號1至3中，本研究發展的時相補償法與時制重設法皆有較高的停等比例，到情境編號4至6時則開始急劇下降，顯示本研究的兩項方法較適用於PHF值小或等於0.85時，平均車流量較低，路口不致於過度飽和，使時相補償作業得以發揮最大的功效。

### 5.1.2 輸出資料分析與比較

由5.1.1節各圖表可以發現，無論路口PHF值之多寡，本研究發展之時相補償法與時制重設法在平均停等延誤與平均速率等二項績效指標中皆略優於其他方法；停等比例指標則在PHF值小或等於0.85時略優於其他方法。

本節進一步將各轉換方法所產生之績效值，參考Averill〔26〕的擇優方法，計算在95%的顯著水準，可容忍平均誤差為5%的情況下，所需之額外模擬次數。由於在不同的情境下，最佳績效值所對應的時制轉換方法可能不同，因此本研究採用由八種時制轉換方法中找出最佳的三種方法。

首先對各模擬編號進行30次模擬並求算各績效指標之平均值與變異數後，可得欲遴選三種最佳方法所需之額外模擬次數如表5-6。

表 5-6 額外模擬次數表

模擬編號	需額外模擬之次數	模擬編號	需額外模擬之次數	模擬編號	需額外模擬之次數
1-1	61	3-1	64	5-1	63
1-2	40	3-2	89	5-2	46
1-3	52	3-3	109	5-3	89
1-4	87	3-4	105	5-4	152
1-5	23	3-5	103	5-5	5
1-6	44	3-6	58	5-6	101
1-7	56	3-7	101	5-7	198
1-8	61	3-8	146	5-8	306
2-1	40	4-1	48	6-1	52
2-2	154	4-2	93	6-2	52
2-3	162	4-3	97	6-3	41
2-4	151	4-4	157	6-4	99
2-5	94	4-5	101	6-5	3
2-6	91	4-6	60	6-6	57
2-7	155	4-7	298	6-7	101
2-8	65	4-8	170	6-8	201

完成額外之模擬作業後，將各模擬編號中各項績效值加以平均，再與原模擬30次時各模擬編號中績效之平均值進行加權總計，可得各方法在不同情境下之輸出績效值（如表5-7～表5-10）。

表 5-7 加權平均之平均停等延誤績效輸出表

單位：秒/車

轉換法 編號 情境編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1	44.39	44.88	45.89	44.41	45.71	46.15	44.23	44.43
2	40.13	36.88	39.79	39.32	40.23	41.26	36.22	37.77
3	33.38	31.18	35.44	28.51	35.42	34.22	31.91	32.08
4	26.59	27.05	25.41	25.21	31.89	29.14	25.78	24.69
5	22.50	21.43	22.75	18.87	27.21	24.49	19.15	17.69
6	20.20	18.97	18.69	15.69	25.09	22.35	16.26	14.98

表 5-8 加權平均之平均速率績效輸出表

單位：英哩/小時

轉換法 編號 情境編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1	8.71	8.25	8.87	8.68	8.38	8.00	9.39	9.61
2	9.44	9.17	9.76	9.90	9.00	8.87	10.47	10.35
3	9.72	10.41	10.59	10.79	9.23	9.69	10.83	11.11
4	10.82	11.37	11.53	12.34	9.98	10.43	12.30	12.64
5	11.98	12.35	12.53	13.44	10.92	11.70	14.50	14.09
6	12.81	13.42	13.53	14.29	11.57	12.08	15.31	15.32

表 5-9 加權平均之停等比例績效輸出表

單位：%

轉換法 編號 情境編號	1	2	3	4	5	6	7	8
1	84.64	86.60	85.67	87.92	81.52	85.64	87.29	86.68
2	81.44	83.66	82.81	85.02	78.68	82.23	84.72	85.38
3	81.31	78.89	79.45	82.54	76.05	78.92	84.05	82.93
4	76.79	75.93	76.00	76.18	73.00	75.61	80.15	77.19
5	71.02	71.52	71.19	71.88	68.25	71.33	70.05	71.58
6	68.22	67.89	67.43	69.03	65.01	68.31	67.45	67.36

以下分別針對三種輸出績效指標進行探討：

### 1. 平均停等延誤

由表5-7可得各時制轉換方法在不同之情境下之平均停等延誤變動趨勢（如圖5-4）。



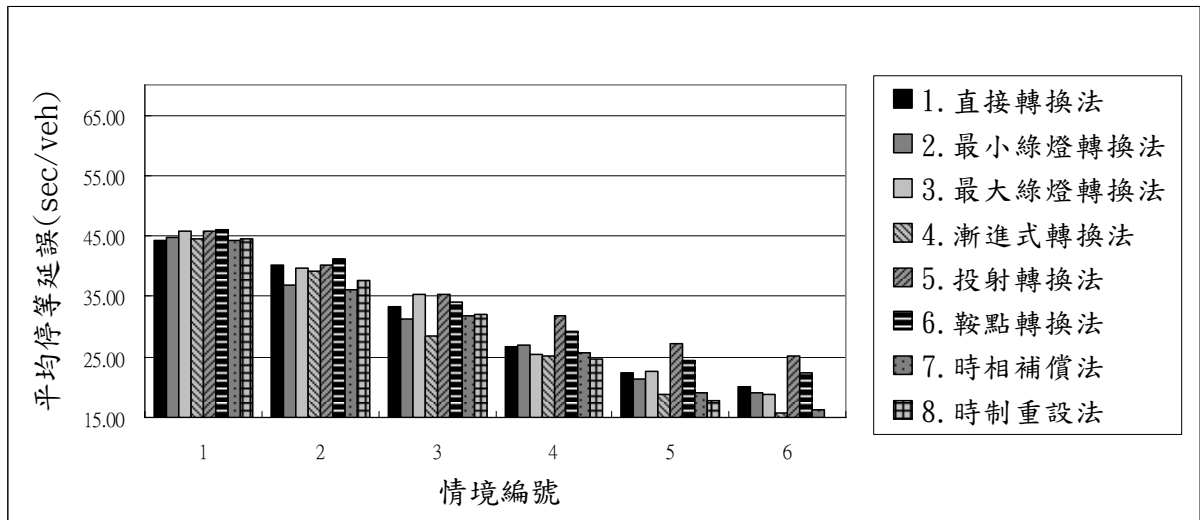


圖 5-4 加權平均之平均停等延誤變動趨勢圖

圖5-4顯示隨著PHF值的下降，各時制轉換方法之平均停等延誤值亦逐漸下降，且可發現時相補償法、時制重設法，以及漸進式轉換法的平均停等延誤值最低，因此可判定為最佳的三種方法。

## 2. 平均速率

由表5-8可得各時制轉換方法在各情境下之平均速率變動趨勢（如圖5-5）。

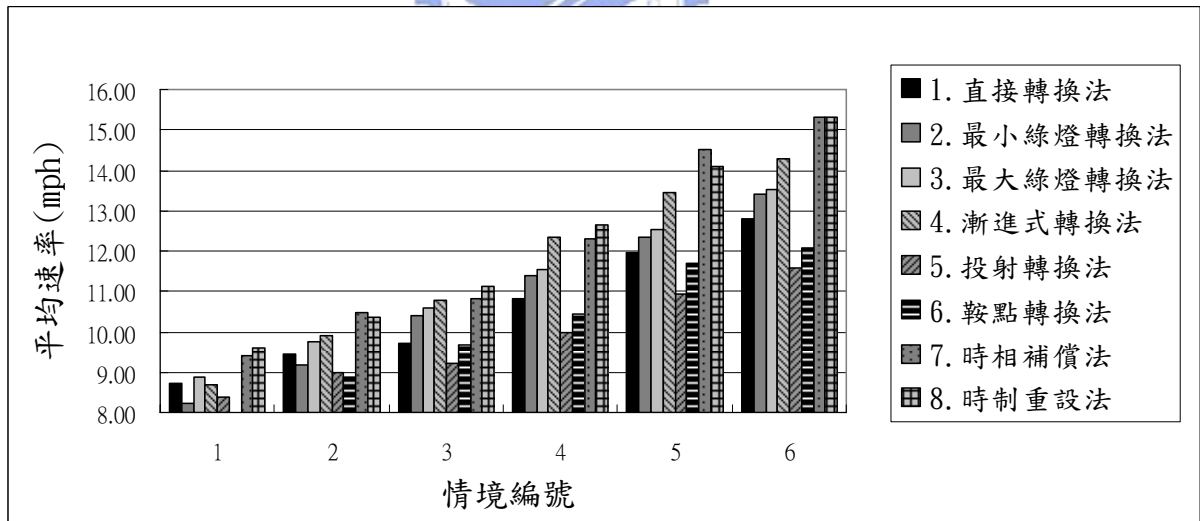


圖 5-5 加權平均之平均速率變動趨勢圖

圖5-5顯示隨著PHF值的下降，各時制轉換方法之平均速率值有逐漸上升的趨勢，且可發現時相補償法、時制重設法，以及漸進式轉換法的平均速率值最高，因此可判定為各種方法中最佳的三項方法。

## 3. 停等比例

由表5-9，可得各時制轉換方法在各情境下之停等比例變動趨勢（如圖5-6）。

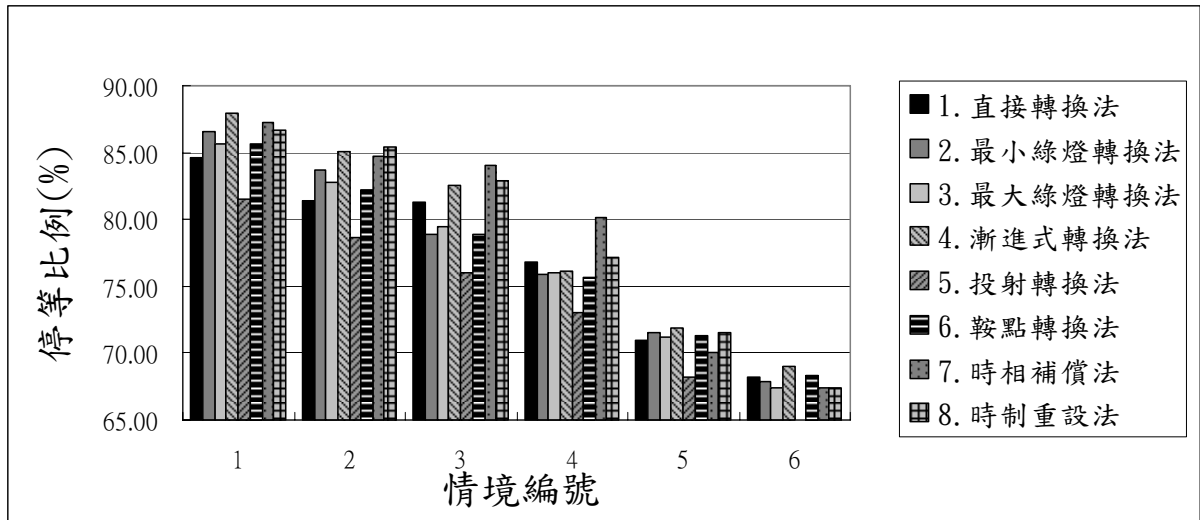


圖 5-6 加權平均之停等比例變動趨勢圖

由圖5-6可知，隨著PHF值的下降，各時制轉換方法之停等比例值亦逐漸下降。在大部分的情境編號之下，投射轉換法、鞍點轉換法，以及直接轉換法有較低的停等比例，為最佳的三項方法。

另外，與5.1.1節之結果相似，在情境編號1至3中，本研究發展的時相補償法與時制重設法皆形成較高的停等比例，到情境編號4至6時則開始急劇下降，表示本研究所發展的兩項方法較適用於PHF值小於等於0.85時，車流量較低，路口不致於過度飽和，使時相補償作業得以發揮最大的功效。

## 5.2 轉換週期數變動分析

本節進行情境編號7~15的比較，並分析轉換週期數在2~10之間時，時相補償法與時制重設法對於轉換作業的影響與適用的時機。

由檢視兩種方法的作業過程顯示，最早進入轉換時段者為時制重設法，時間點為開始模擬後的第120秒；在轉換週期數為10的情況下，最晚結束轉換時段亦為時制重設法，時間點為開始模擬後的第944秒。因此，在進行轉換週期數變化的敏感度分析時，本研究皆擷取模擬時間第120~944秒之間的績效輸出資料，以確保比較分析作業的客觀性。表5-10與5-11為兩種方法的轉換週期數在2~10之間時，開始與結束轉換時段的時間點一覽表。

表 5-10 時相補償法進入及結束轉換時段之時間點一覽表

轉換時段 週期數	開始進入轉換 時段之時間點 (秒序)	結束轉換時段 之時間點 (秒序)
2	152	210
3	152	268
4	152	335
5	152	411
6	152	495
7	152	585
8	152	680
9	152	779
10	152	883

表 5-11 時制重設法進入及結束轉換時段之時間點一覽表

轉換時段 週期數	開始進入轉換 時段之時間點 (秒序)	結束轉換時段 之時間點 (秒序)
2	120	223
3	120	289
4	120	365
5	120	449
6	120	539
7	120	634
8	120	733
9	120	837
10	120	944

### 5.2.1 輸出績效與趨勢

以下針對時相補償法與時制重設法轉換週期數變動時之模擬輸出績效值進行比較，轉換時段內之週期數由 2~10，績效輸出之擷取範圍介於模擬時間第 120 秒至第 944 秒之間。：

#### 1. 平均停等延誤

表 5-12 為將模擬編號 7-7 至 15-8 各模擬 30 次後之平均停等延誤績效值。由表列資料可得兩種方法在不同情境下，平均停等延誤之變動概況(如圖 5-7)。

表 5-12 轉換時段週期數變化之平均停等延誤績效輸出表

轉換法 週期數	時相補償法	時制重設法
2	39.73	37.32
3	38.13	36.45
4	36.30	38.66
5	35.31	36.82
6	37.82	34.09
7	34.02	33.22
8	35.74	34.09
9	34.11	35.72
10	37.52	36.85

單位：秒/車

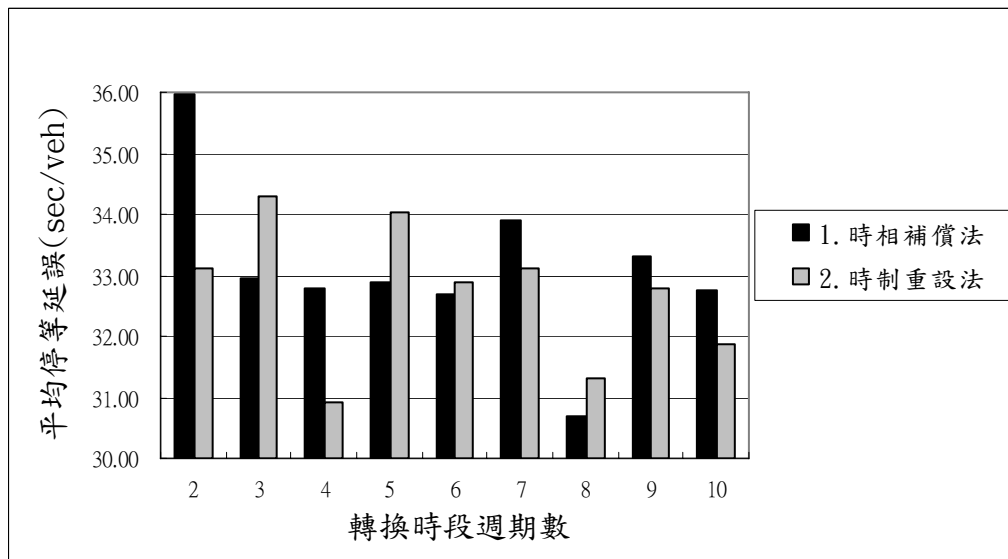


圖 5-7 轉換時段週期數變化之平均停等延誤變動趨勢圖

圖 5-7 顯示轉換週期數變動時，時相補償法與時制重設法之平均停等延誤呈現震盪的情形，變化趨勢並不明顯。

## 2. 平均速率

表 5-13 為將模擬編號 7-7 至 15-8 各模擬 30 次後之平均速率績效值。根據表列資料可得兩種方法在不同情境下，平均速率之變動概況（如圖 5-8）。圖 5-8 顯示轉換週期數變動時，時相補償法與時制重設法之平均速率呈現震盪的情形，變化趨勢仍不明顯。

表 5-13 轉換時段週期數變化之平均速率績效輸出表

轉換法 週期數	時相補償法	時制重設法
2	10.09	10.47
3	10.28	10.53
4	10.58	10.36
5	10.82	10.79
6	10.59	11.08
7	11.24	10.88
8	11.10	11.23
9	11.51	10.86
10	10.93	10.84

單位：英哩/時

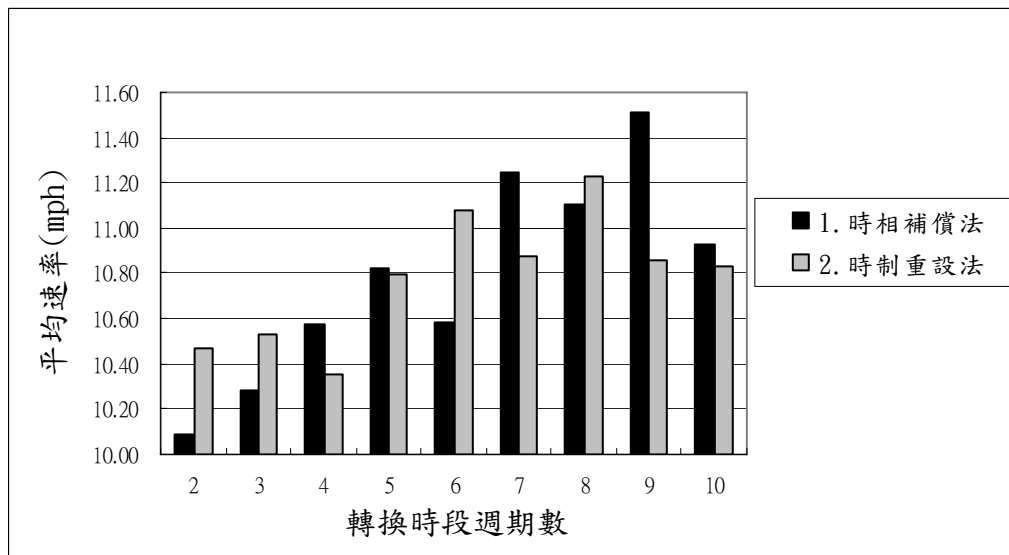


圖 5-8 轉換時段週期數變化之平均速率之變動趨勢圖

### 3. 停等比例

表 5-14 為將模擬編號 7-7 至 15-8 各模擬 30 次後之停等比例績效值。由表列資料可得兩種方法在不同情境下，停等比例的變動趨勢（如圖 5-9）。圖 5-9 顯示轉換週期數變動時，時相補償法與時制重設法之停等比例呈現震盪的情形，變化趨勢亦不明顯。

表 5-14 轉換時段週期數變化之停等比例績效輸出表

轉換法 週期數	時相補償法	時制重設法
2	78.74	77.85
3	79.10	78.38
4	78.98	79.16
5	78.41	78.31
6	79.25	77.49
7	78.17	78.92
8	78.48	77.83
9	78.21	79.01
10	79.81	78.96

單位：%

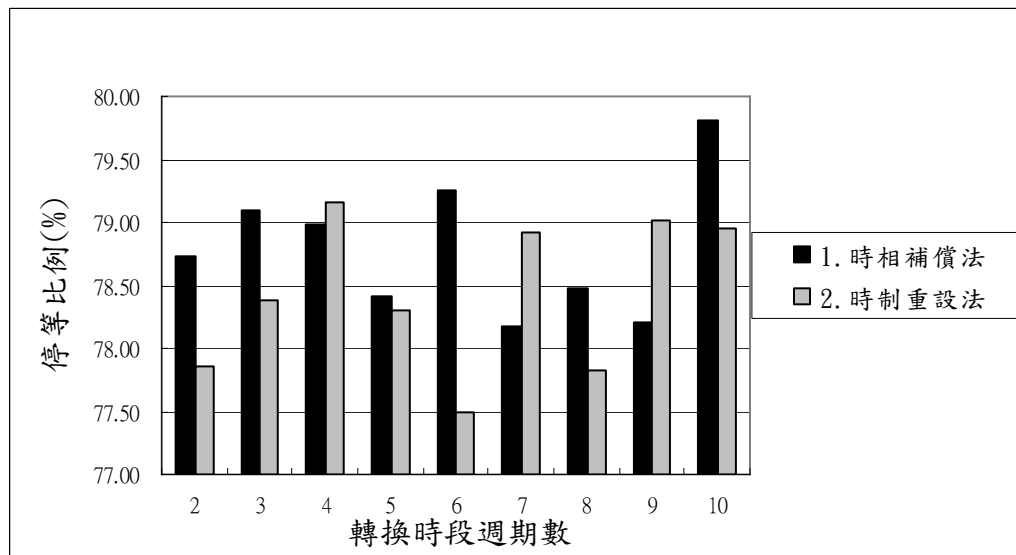


圖 5-9 轉換時段週期數變化之停等比例之變動趨勢圖

### 5.2.2 定性分析

本節在下列的假設下，進一步檢測時相補償法與時制重設法在不同的轉換週期數之下的績效值：

1. 僅針對往東方向臨進路段進行檢測。
2. 新、舊時制時相計劃與時制計劃參考圖 4-1 與表 4-1。
3. 飽和車間時距  $h = 2$  秒。
4. 假設車流皆以飽和流率  $\frac{3600}{h} = 1800$  (車/小時)。
5. 新、舊時制的 PHF 值為 0.8，由表 4-7 可知舊時制流率為 673 vphpl，新時制流率為 809 vphpl，並假設流率不變。

6. 假設轉換週期數由 2~10 變動。

7. 時相補償法在轉換時段中各週期長度參照表 4-3 所列資料；時制重設法在轉換時段中各週期長度則參照表 4-4 資料。

由於本研究發展之時相補償法與時制重設法是以漸變需求的假設為前提，計算補償綠燈時間，因此，在所發展的時制轉換法的流量推估方法下，其累積車輛數與時間關係圖如下：

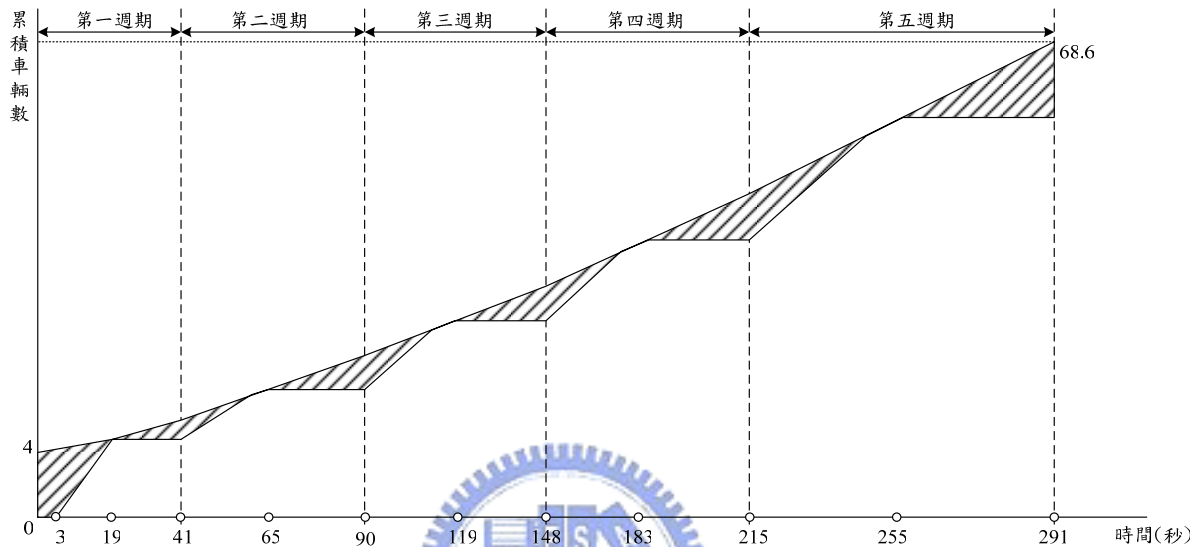


圖 5-10 時相補償法於漸變需求下累積車輛數與時間關係示意圖

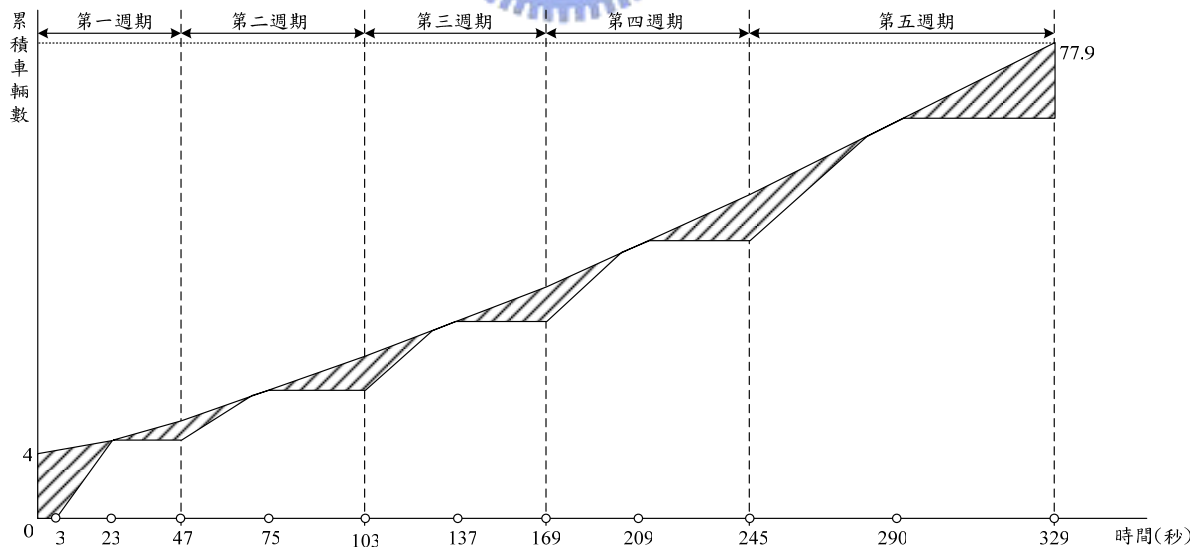


圖 5-11 時制重設法於漸變需求下累積車輛數與時間關係示意圖

由於已知資訊僅限於路口時制計畫，因此，僅能推估得新、舊時制的流率，分別為 673 vphpl 與新時制的 809 vphpl，而轉換時段內各週期的流率則需另外推估。以轉換週

期數為 5 的時相補償法與時制重設法為例，可得轉換時段內的累積到達和離去車輛數與時間關係圖如下：

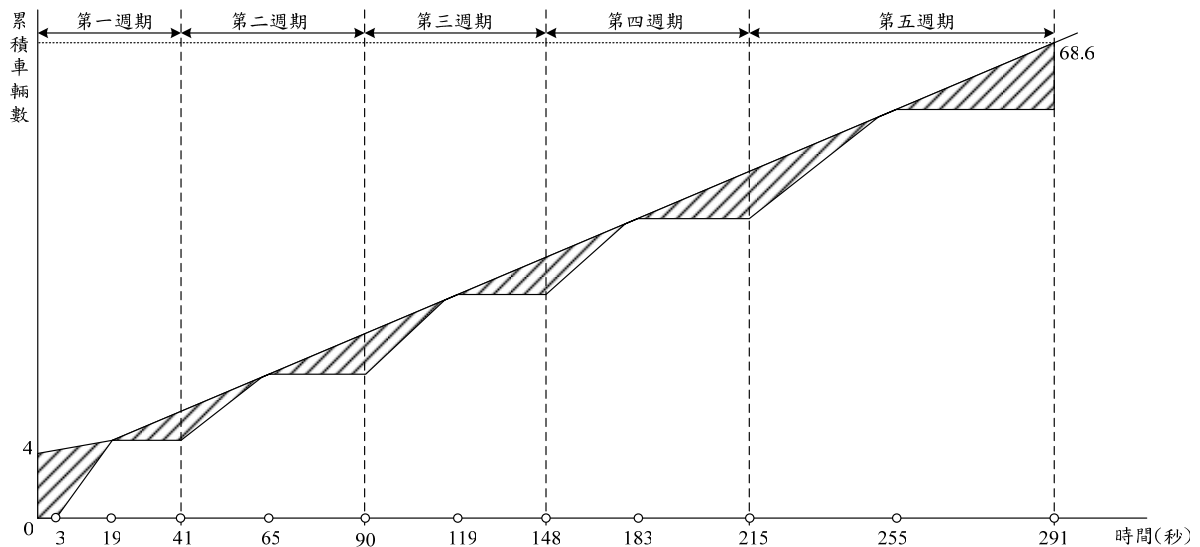


圖 5-12 時相補償法於時制轉換前後累積車輛數與時間關係示意圖

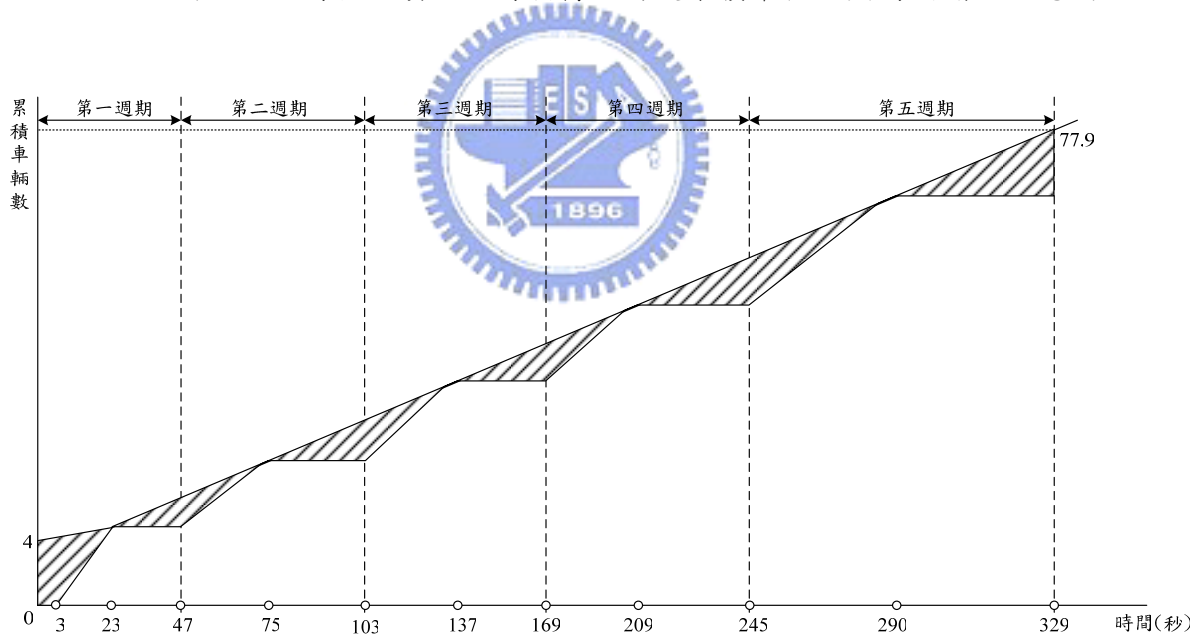


圖 5-13 時制重設法於時制轉換前後累積車輛數與時間關係示意圖

圖 5-12 與圖 5-13 中，斜線部分之總面積即為停等延誤；時相補償法轉換週期數為 10 時，轉換時段長度為 763 秒，轉換時段中的累積離去車輛數為 174.7 輛；時制重設法轉換週期數為 10 時，轉換時段長度為 824 秒，轉換時段中的累積離去車輛數為 189.2 輛。由各方法推估的總停等延誤除以轉換時段內的累積離去車輛數即為平均停等延誤。

由以上方法可求得時相補償法與時制重設法在轉換週期數由 2 至 10 時的平均停等延誤（如表 5-15 所示），由表 5-15 可得平均停等延誤變化趨勢如圖 5-14 所示。



表 5-15 定性分析轉換週期數變化之平均停等延誤表

轉換法 週期數	時相補償法	時制重設法
2	17.57	16.78
3	16.16	17.04
4	14.68	15.10
5	16.03	15.85
6	15.14	15.43
7	14.70	15.36
8	14.65	15.49
9	14.79	15.61
10	14.97	15.66

單位：秒/車

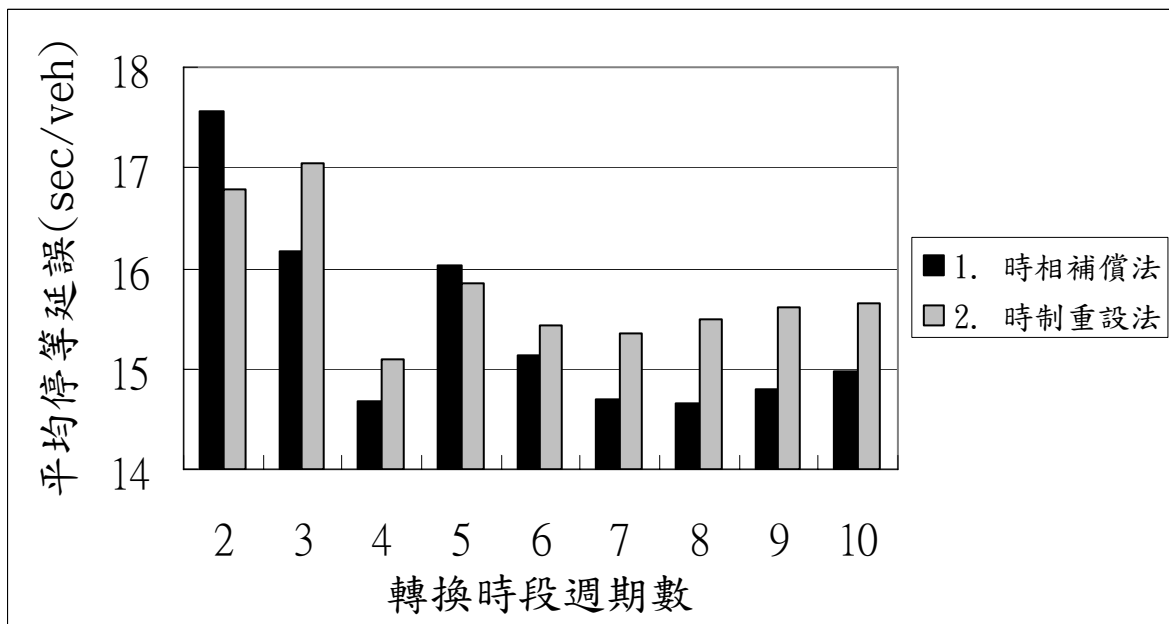


圖 5-14 定性分析轉換週期數變化之平均停等延誤變化趨勢圖

圖 5-14 顯示，在轉換週期數由 2 至 5 時，四週期轉換具有較低的平均停等延誤；在轉換週期數由 5 至 10 時，時相補償法的八週期轉換與時制重設法的七週期轉換具有較低的平均停等延誤。

### 5.2.3 績效評估範圍變動

5.1 節與 5.2.1 節的分析皆假設各時制轉換方法之績效評估的時間範圍一致，以確保模擬分析的客觀性。為探討時相補償法與時制重設法在「轉換時段內」的運作績效，因此，本節參考表 5-10 與表 5-11 中，時相補償法與時制重設法在不同轉換週期數時，開

始與結束轉換時段的時間點決定績效評估範圍。因此時相補償法在轉換週期數為 2 時，績效評估範圍為 152 ~ 210 秒；時制重設法在轉換週期數為 2 時，績效評估範圍為 120 ~ 223 秒；其他轉換週期數的評估時間範圍依此類推。

本節以平均停等延誤指標為例，時相補償法與時制重設法在轉換時段內之績效值如圖 5-15 所示；該圖顯示，轉換週期數愈多，兩方法在轉換時段內的平均停等延誤值愈高，即轉換時段與週期長度愈長，平均停等延誤值愈高。

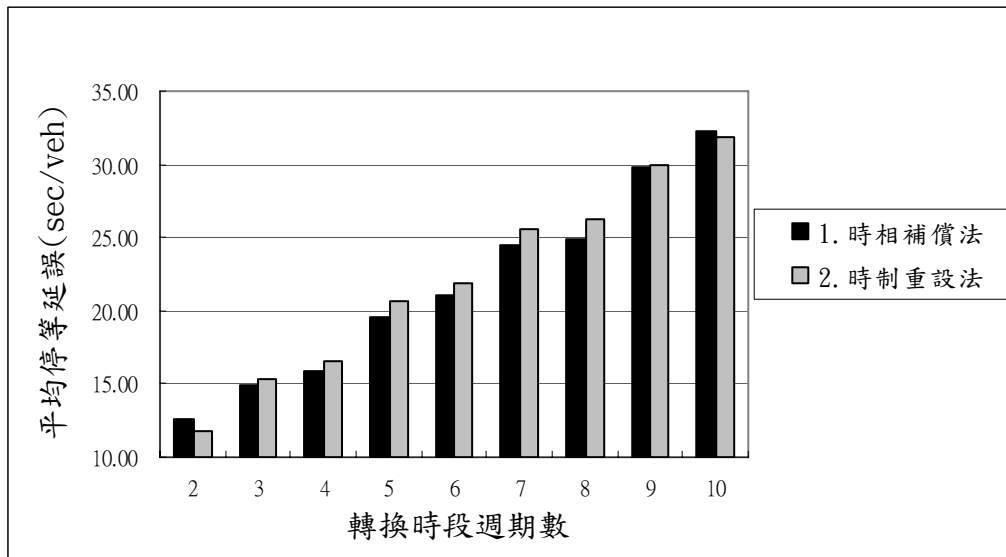


圖 5-15 轉換時段內之平均停等延誤變化趨勢圖

#### 5.2.4 輸出結果推論

依 5.2.2 節定性分析的結果來看，時相補償法似以四週期轉換與八週期轉換為佳，而時制重設法似以四週期轉換與七週期轉換為佳。然而，本定性分析的範圍僅限於往東方向臨進路段，與本研究模擬分析的範圍並不相同，因此無法反映其他因素造成的變異與影響。

5.2.1 節兩項時制轉換方法之績效評估範圍皆為 120 秒至 994 秒。依照表 4-3 與表 4-4 的設定，當時相補償法與時制重設法的轉換時段結束後，即開始執行週期長度為 108 秒的新時制計劃。因此，若以二週期轉換為例，除了總長 103 秒之轉換時段以外，績效評估範圍內仍包含 721 秒的新時制計劃；以三週期轉換為例，除了總長 169 秒之轉換時段以外，績效評估範圍內仍包含 655 秒的新時制計劃。

以 5.2.3 節所推得之變化趨勢來看，以二週期轉換時，其轉換時段長度較三週期轉換為短，因此其平均停等延誤值應較低，但由於在同樣的績效評估範圍內，二週期轉換包含較長的新時制計劃時段，其週期長度較長，形成的平均停等延誤亦較高。因此，5.2.1 節中，二週期轉換之績效值反較三週期轉換為差。

在不同的轉換週期數之下，皆存在「轉換時段長度」與「新時制計劃時段長度」相互消長的情形，由此造成的平均停等延誤亦不同，故 5.2.1 節在相同的績效評估時間範圍之下，產生輸出績效值高低震盪的情形應可理解。

## 第六章 結論與建議

### 6.1 結論

本研究由基本補償模型的推導，時制轉換方法之比較、研擬，在前述假設之下，根據 TSIS 模擬分析所得的結果，提出以下結論：

1. 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。
2. 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。
3. 當路口某一時相的綠燈時間縮短時，將造成短暫過飽和，導致下一週期需額外補償相當的綠燈時間予同一時相，以紓解該時相超額的需求。因此，週期長度會因綠燈時間縮減而縮短，之後會大幅增加，最後由於流量需求低於飽和流率，致使週期長度逐漸趨近於原週期長度。
4. 流量的增減，都會使週期長度逐漸趨近最小可行週期，以適應新的流量水準。
5. PHF 值在 0.75 ~ 1.00 範圍時，本研究發展的時相補償法與時制重設法在平均停等延誤、平均速率，以及平均延誤等三項績效指標中皆優於其他時制轉換方法；當 PHF 值小或等於 0.85 時，兩種方法在停等比例指標優於其他時制轉換方法。
6. 在不同的轉換週期數與固定的績效評估時間範圍之下，皆存在「轉換時段長度」與「新時制計劃時段長度」相互消長的情形，導致平均停等延誤績效值震盪的情形。
7. 有別於以往號誌時制轉換方法之設計理念，本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。在本研究範圍內，時相補償法與時制重設法藉由所推估的臨界流量進行補償綠燈時間的推算，應可視為使路口產生較佳績效的另一種途徑。

### 6.2 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，以擴大本研究的實用範圍。
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。

3. 本研究所發展的時制轉換方法論尚未考慮含有號誌重疊時相的時制轉換機制，有待後續研究者做更深入的探討。



## 參考文獻

- [1] 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。
- [2] 郭梅芬，「混合車流下號誌化交叉路口車輛延滯估計模式之研究」，交通大學碩士論文，民國八十二年。
- [3] 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。
- [4] 「交通號誌規劃手冊」，交通部運輸研究所，民國七十五年。
- [5] 「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。
- [6] 蔡輝昇，「交通控制理論與實務」，民國七十九年。
- [7] 李建昌，「幹道系統車道配置與時制計畫整合設計之研究」，逢甲大學碩士論文，民國九十一年八月。
- [8] 黃月貞，「模擬微觀混合車流下幹道號誌連鎖策略之研究」，交通大學碩士論文，民國九十二年六月。
- [9] 黃榮輝，「定時號誌時段劃分之研究」，台灣大學碩士論文，民國九十年七月。
- [10] 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。
- [11] 「2001年台灣地區公路容量手冊第十三章—號誌化交叉路口」，交通部運輸研究所，民國九十年三月。
- [12] 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。
- [13] 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。
- [14] 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。
- [15] 林良泰，「在綠燈帶寬最大及負效用最小動態幹道號誌時制之研究」，成功大學碩士論文，民國七十六年。
- [16] 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。
- [17] 「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。
- [18] William R. McShane, Roger P. Roess, "Traffic Engineering (2<sup>nd</sup> Edition)", Prentice Hall, 1997.
- [19] Webster, F.V., "Traffic Signal Settings", Road Research Technical Paper, No. 39, H.M.S.O., London, 1958.

- [ 20 ] FHWA, "Traffic Control System Handbook", April ,1985.
- [ 21 ] Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 2000.
- [ 22 ] Allsop, R.E., "Delay-Minimization Settings for Fixed-Time Traffic Signals at a Single Road Junction ", J. Inst. Math Applics 8, pp.164-185, 1071.
- [ 23 ] Importa, G. and Cantarella, G.E., "Control System Design for an Individual Signalized Junction",TR,Vol.18B,No.2,pp.147-167,1984.
- [ 24 ] Sakita, M., "Timing Design of Traffic Signals", TRR 1069,pp.83-87, 1986.
- [ 25 ] Akcelik, R., "Time-Dependent Expressions for Delay, Stop Rate Queue Length at Traffic Signals", Australian Road Research Board, Internal Report, Air 367-1.
- [ 26 ] Averill M. Law, W. David Kelton, "Simulation Modeling & Analysis ", McGraw-Hill, 2<sup>nd</sup> Edition, 1991.

