

號誌時相轉換時間之長短對駕駛行為之影響分析

丁國樑^{*} 林欣明^{**}

^{*}國立成功大學交通管理科學系 教授

^{**}國立成功大學交通管理科學系 碩士班研究生

摘 要

本研究針對號誌時相轉換時間問題，選定台南市區內之三處號誌化交叉路口進行汽機車駕駛行為研究，首先歸納駕駛者對號誌時相轉換時間需求量之關係，接著探討號誌時相轉換時間改變對駕駛者清道與起動行為所造成之影響。研究發現：汽機車駕駛者之號誌轉換時間需求量模式之 R^2 與 \bar{R}^2 值皆在 0.8 上下。汽機車清道行為較不受號誌時相轉換時間改變之影響，而大型路口駕駛人對於全紅時間變長較不能接受，車輛起動行為有提早現象，小型路口在黃燈縮短、全紅變長時其潛在衝突情形則有緩和。最後歸納本研究之分析結果，針對現行號誌設計之缺失進行修正，以期符合國內之交通環境。

一、前 言

號誌時相轉換時間 (Signal phase change intervals) 簡稱“號誌轉換時間”，是指號誌時相轉換過程中，黃燈時段加上全紅時段之長度，而道路使用者最常遭遇的問題之一，便是看到號誌黃燈時該採取何種駕駛行為：是於停止線前煞停車子，或是繼續行駛以便於全紅結束前通過路口，這個決策問題時常困擾著駕駛人；此外，對於目前普遍使用的號誌全紅時段設計，主要目的是為提供車輛清道所需之時間，以提高交叉路口之安全性，但此段全紅時間之安排若不適當，卻會造成另一方向即將取得路權 (Right of way) 之駕駛者有不耐久候的現象發生，導致駕駛人提前起動之情形，如此卻又嚴重危及交叉路口之安全，因此，探討駕駛者於號誌時相轉換時間內之駕駛行為反應，實屬刻不容緩。

研究號誌時相轉換時間之問題可從兩方面著手，一為設計面、另一則是行為面。設計面之研究主要在於探討如何對號誌化交叉路口之號誌轉換時間進行配置，這包含了總轉換時間應該多長、黃燈及全紅時間該如何分配等問題[5]；行為面研究則主要探討駕駛人在遭遇黃燈，甚至全紅情況時之行為反應，而駕駛者行為又相當複雜，因此行為面之研究領域相當廣泛，包含了構建駕駛者決策模式之研究[1]、個別交通因素改變對

駕駛者行為之影響[8]，以及違規分析等研究[4]。這些研究都必須透過實際觀察或查訪駕駛人始能取得資料，再利用模糊理論或統計分析方法整理成結論，但所獲得之結論多半只用於解釋駕駛者之決策過程，或判斷駕駛者之決策結果，並未對號誌時相轉換時間設計方法作成修正建議，殊為可惜。

目前號誌設計方法之研究與應用，大部分皆以物理學運動定律為主軸，此種運動學公式法基本上只考慮單一車輛接近路口之情形，對於車輛之間的交互作用則完全不加以考慮，因此對於實際車流之反映可能不夠真實，而民國八十三年，張式先君等人之研究也已發現[2]，流量確實會影響猶豫區間（dilemma zone）形成之位置；此外，運動學公式的重要分析變數之一，車輛之速度，是假設與使用黃燈時間呈直線關係，但於1988年，Lin君研究車輛接近路口之速度與駕駛人使用黃燈時間之情形後[6]，發現兩者並無明顯關係存在。由於運動學公式有不少令人質疑之處，Lin君因此建議改採迴歸模式法來設計號誌時相轉換時間，其研究結果發現，號誌時相轉換時間需求量與車輛清道時間有很大之關係。

國內目前對於號誌時相轉換時間內，駕駛者行為之研究仍不普遍，並且多半是以汽車為主要研究對象，對於全紅時段之駕駛者行為研究更是常被忽略，因此，本研究擬藉由觀察不同型態之路口、不同時段及交通警察執勤與否情況下之駕駛者行為，以歸納出在各種不同狀況下，駕駛人使用號誌時相轉換時間之情形；此外，本研究再就特定路口調整號誌黃燈時間與全紅時間，以觀察交叉路口號誌時相轉換時間改變時，對駕駛者清道與起動行為之影響，最後配合已歸納之駕駛人使用號誌時相轉換時間關係，針對現行號誌時相轉換時間設計方法之缺失，作成適當的修正建議，以使現行號誌設計方法更能符合國內交通環境之要求。

二、研究方法

本研究對駕駛者行為進行實地觀察，以歸納駕駛人對號誌轉換時間需求量之關係，所謂號誌時相轉換時間需求量是指使用黃燈時間加上車輛清道所需之時間；另外，本研究也針對特定路口之號誌時相轉換時間進行調整，以觀察駕駛者行為是否會受號誌因素改變之影響；駕駛者行為可分別由兩方面進行觀察，一是號誌燈色由「綠」變「黃」的車流方向，本研究稱之為「車流停止方向」；另一則是號誌燈色由「紅」變「綠」的車流方向，稱之為「車流起動方向」。

2.1 實驗設計

本研究將汽車車道數概分成雙向雙車道及雙向四車道兩種，其排列組合結果，依本研究之定義，分別有大、中、小等三種類型路口，選擇台南市東區三處“正交十字路口”

作為實驗對象，各實驗路口名稱如表 1 所示。此外，各實驗路口地理上之相關位置與實驗所觀察之臨近路段方向則繪製如圖 1。

表 3-1 實驗路口一覽表

路口型式	定	義	實 驗 路 口
大	四車道與四車道交叉		中華路/小東路口
中	四車道與雙車道交叉		小東路/勝利路口
小	雙車道與雙車道交叉		東寧路/勝利路口

註：中路口之小東路為四車道道路，勝利路為雙車道道路

在決定實驗之路口後，本研究首先觀察不同型態路口於尖峰時段與非尖峰時段或交警執勤與否等情況下，駕駛者行為變化之情形，以歸納駕駛人對號誌時相轉換時間需求量之關係，其次，本研究改變實驗路口之號誌時相轉換時間，以觀察號誌時相轉換時間改變對駕駛人所可能產生之影響，由於交叉路口在進行號誌時相轉換時間調整時具有相當程度之危險性，因此本研究不對全部路口作調整，只選定兩個較具代表性之路口來進行操作，分別是一個大型路口與一個小型路口：

- 中華路/小東路口 (大型路口)
- 東寧路/勝利路口 (小型路口)

本研究調整號誌時相轉換時間之方法有兩種，分別為：

- (1) 第一種：交叉路口的兩個臨近路段，其黃燈與全紅時間改變了，但號誌時相轉換時間總長不變，整理號誌調整前後之資料如表 2 所示。
- (2) 第二種：另兩個臨近路段則是黃燈時間不變，但全紅及號誌轉換時間總長改變，整理號誌調整前後之資料如表 3 所示。

2.2 資料蒐集

本研究使用 V8 攝影機針對所選擇之實驗路口進行錄影工作，以蒐集研究所需之車流與號誌資料。

2.2.1 車輛使用黃燈時間與起動時間

為觀察駕駛人清道情形，本研究蒐集車輛使用黃時間，主要是衡量於黃燈始亮之後多久車輛仍繼續通過停止線進入路口，另外，為觀察駕駛者提早起動情形，本研究蒐集車輛起動時間，以衡量車輛於綠燈始亮之後多久開始起動，車輛起動之定義為車陣中最前面第一輛車移動了其車身長度的長度，因此每週期只觀察第一輛車之起動。

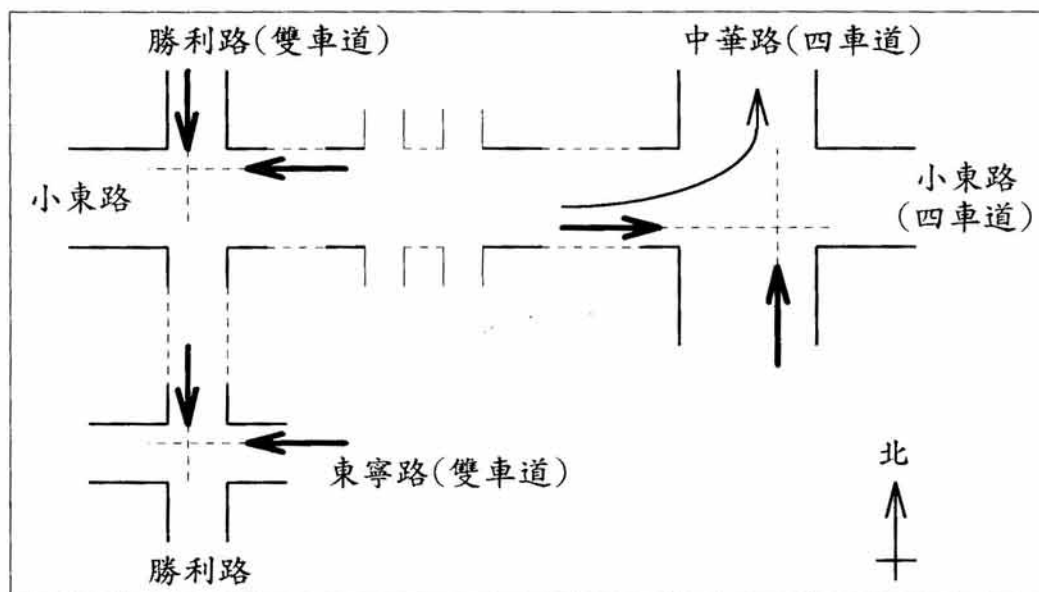


圖 1 拍攝之臨近路段方向

表 2 第一種號誌時相轉換時間之調整方式

路口型式	道路名稱	調整步驟	黃燈時間	全紅時間	總轉換時間
大	中華路	調整前	7	2	9
		調整後	5	4	9
小	東寧路	調整前	5	2	7
		調整後	4	3	7

表 3 第二種號誌時相轉換時間之調整方式

路口型式	道路名稱	調整步驟	黃燈時間	全紅時間	總轉換時間
大	小東路左轉	調整前	4	2	6
		調整後	4	4	8
小	勝利路	調整前	3	2	5
		調整後	3	3	6

車輛使用黃燈時間與起動時間之概念可簡單以圖 2 作表示。其中觀察車輛使用黃燈時間時，若發現於號誌時相轉換時間內並無車輛進入路口，但卻有車輛因為號誌變換而煞車，則令該週期之車輛使用黃燈時間為 0，並稱該週期為「車輛煞車週期」。

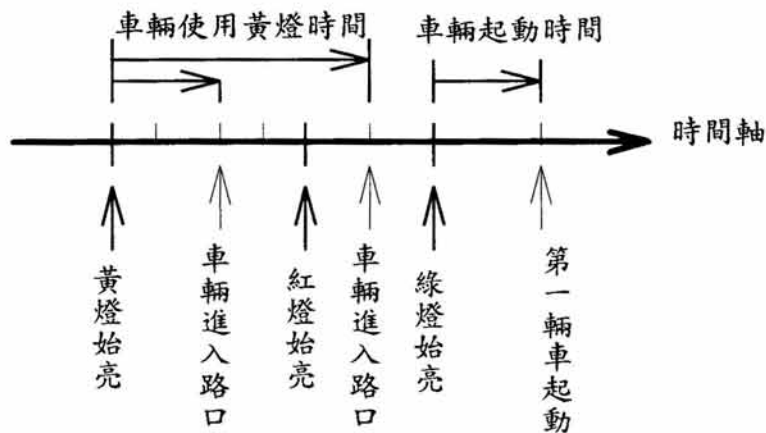


圖 2 車輛使用黃燈時間與起動時間

2.2.3 其他分析資料

除了觀察駕駛行為之車輛使用黃燈時間資料與起動時間資料外，本研究還蒐集了每週期最後通過路口車輛之速度、道路車流量、路口幾何資料以及黃燈始亮後進入路口之車流率，其中最後一項是將黃燈始亮後進入路口之車輛數除以號誌時相轉換時間，並換算成每小時流率。

2.3 統計分析方法

本研究所進行之統計分析共分成三大部分：歸納駕駛人對號誌時相轉換時間需求量關係時，使用逐步迴歸分析法（stepwise regression）[3]；探討駕駛者行為是否會受號誌時相轉換時間改變之影響時，使用無母數統計之 Kolmogorov-Smirnov 兩組樣本檢定法[3]，簡稱 K-S 檢定，而分析清道與起動行為之潛在衝突時，則是採用極值統計分析法（extreme order statistics）[7]。

三、結果分析

3.1 駕駛人對號誌時相轉換時間需求量之關係

本研究首先探討不同類型路口、不同時段以及尖峰時段交通警察執勤與否之情況下，駕駛人對號誌時相轉換時間需求量之關係，以下列示各項分析變數為：

- T_1 : 汽車號誌時相轉換時間需求量
- T_2 : 機車號誌時相轉換時間需求量
- v_1 : 每週期最後一部通過路口汽車之速度，公尺/秒
- v_2 : 每週期最後一部通過路口機車之速度，公尺/秒

- f_1 : 黃燈始亮後之汽車流率, 車輛數/每小時
 f_2 : 黃燈始亮後之機車流率, 車輛數/每小時
 c_1 : 汽車清道時間, 秒
 c_2 : 機車清道時間, 秒
 r_1 : 汽車流量與交叉道路汽車流量之比值
 r_2 : 機車流量與交叉道路機車流量之比值
 r_3 : 汽車直行流量與交叉道路汽車直行流量之比值
 r_4 : 機車直行流量與交叉道路機車直行流量之比值
 r_5 : 機車流量與汽車流量之比值
 s_1 : 虛設變數 (1 : 大型路口, 0 : 其他)
 s_2 : 虛設變數 (1 : 中型路口, 0 : 其他)
 p_1 : 虛設變數 (1 : 尖峰無交警執勤時段, 0 : 其他)
 p_2 : 虛設變數 (1 : 尖峰有交警執勤時段, 0 : 其他)
 l : 虛設變數 (1 : 多車道道路, 0 : 雙車道道路)
 y : 道路上實際配置之黃燈時間

其中變數 f_1 與 f_2 是指將每週期於黃燈之後進入路口之車輛數, 以每小時流率的概念表示; 汽機車之清道時間 c_1 與 c_2 則是指路口有效寬度除以車速 v_1 與 v_2 ; r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 是用以表現幹道特性之變數, 其值愈大幹道特性愈強烈; 而虛設變數設定之目的在於綜合各項環境因子變動之情形, 將以上各項變數資料整理成統計套裝軟體 SAS 之檔案格式, 並以統計逐步迴歸法分析汽機車使用黃燈時間之關係。分析汽車駕駛者之號誌時相轉換時間需求量 T_1 與其他各項變數之關係, 得到之最佳模式如(1)式所示:

$$T_1 = -4.627298 + 0.002937 f_1 + 1.088101 c_1 + 0.437807 r_3 + 0.141476 r_5 + 0.894855 y \quad (1)$$

其中, (1)式之判定係數 $R^2=0.7973$, 修正複判定係數 $\bar{R}^2=0.7956$, 而模式中之汽車清道時間變數 c_1 為 Lin, F. B. 於 1988 年探討類似模式時所採用之基本變數。同理, 分析機車駕駛人之號誌時相轉換時間需求量與其他各項變數之關係, 得到之最佳模式如(2)式所示:

$$T_2 = -0.208812 + 0.001729 f_2 + 0.994454 c_2 + 1.046105 - 0.202344 r_5 - 0.208880 s_2 + 0.229425 y + 0.000438 f_1 \quad (2)$$

(2)式之判定係數 $R^2=0.8150$, 修正複判定係數 $\bar{R}^2=0.8131$ 。觀察(1)式與(2)式發現, 車輛流率、清道時間、幹道特性變數、機車與汽車流量比及號誌黃燈時間皆是影響

駕駛人對號誌轉換時間需求量之重要變數，而機車模式與汽車模式之差異在於：

- (1) 兩者使用不同類型之幹道特性變數。
- (2) 機車模式含有中型路口虛設變數，顯示中型與小型路口之機車駕駛行為有顯著差異。
- (3) 機車駕駛者對號誌時相轉換時間之需求量受到汽車流率之影響，故機車模式含有變數 f_1 ，而汽車駕駛者對號誌時相轉換時間之需求量則不受機車流率之影響。

3.2 號誌轉換時間改變之清道行為分析

本研究為探討號誌時相轉換時間改變對駕駛者行為之影響，在考量安全因素與選擇代表性路口之情況下，決定針對大型路口與小型路口進行號誌因素實驗，首先探討駕駛者清道行為變化之情形。

3.2.1 黃燈縮短、全紅變長但轉換時間總長不變之清道行為分析

由於車流停止方向之駕駛者並不知道黃燈時間長度已經改變，且號誌調整前之黃燈時間不同，觀察駕駛者行為變化情形應以「紅燈始亮」後之行為為準，因此，本研究以 K-S 檢定法檢定紅燈始亮後，駕駛者之清道行為是否有所差異，以判斷駕駛者行為是否受到黃燈時間改變之影響，以下整理各型路口之駕駛者清道行為分析結果，如表 4 所示。

表 4 黃燈縮短與全紅變長，但轉換時間總長不變之清道行為分析

路口型式	道路名稱	車種	檢定結果	號誌調整前			號誌調整後		
				每週期違規數	平均進入時間	眾數	每週期違規數	平均進入時間	眾數
大	中華路	汽		0.1304	0.74	0~1	0.3043	1.44	1~2
	中華路	機		0.0000	0.00	0	0.0769	1.63	1~2
小	東寧路	汽		0.0833	0.36	0~1	0.1154	0.74	0~1
	東寧路	機		0.0645	0.79	0~1	0.1944	0.75	0~1

表 4 中有幾處說明如下：

- (1) 檢定結果一欄記錄 K-S 檢定結果是否為「差異顯著」。
- (2) 每週期違規數記錄紅燈之後違規進入路口之所有車輛數除以總週期數之平均。
- (3) 平均進入時間則是記錄車輛平均於紅燈始亮多久之後才進入

路口，亦即使用「紅燈」時間平均數。

(4) 而眾數則為使用紅燈時間頻率最高之時間範圍。

由表 4 結果可知：由於樣本數較少，以致大型與小型路口之汽機車清道行為檢定結果皆不受黃燈時間改變之影響，但在黃燈時間縮短之後，各實驗道路之汽車與機車平均每週期違規數皆有增加，平均使用紅燈時間大致也是延後之現象，因此，雖然黃燈時間縮短，全紅變長但號誌時相轉換時間總長不變之情形下，駕駛者清道行為並未檢定出明顯改變，但觀察其他分析指標仍可看出車輛違規清道情形有稍為嚴重的現象。

3.2.2 黃燈不變但全紅及轉換時間總長變長之清道行為分析

仍以 K-S 檢定法分析駕駛者清道行為變化之情形，整理分析結果如表 5 所示。

表 5 黃燈不變但全紅及轉換時間總長變長之清道行為分析

				號誌調整前			號誌調整後		
路口型式	道路名稱	車種	檢定結果	清道違規比例	平均進入時間	眾數	清道違規比例	平均進入時間	眾數
大	小東左轉	汽		36.6%	3.23	2~3	28.7%	2.97	2~3
	小東左轉	機		33.6%	3.73	3~4	9.8%	3.23	3~4
小	勝利路	汽		11.2%	1.93	1~2	0.0%	1.24	1~2
	勝利路	機	是	10.1%	1.55	1~2	6.6%	1.46	1~2

由於號誌調整前後之黃燈時間皆相同，因此，可以使用清道違規率比較號誌調整前後車輛違規清道之情形，所謂清道違規率是指紅燈之後進入路口之車輛數佔黃燈之後所有進入路口車輛數之比例。由表 5 之檢定結果可知：在黃燈時間不變，但全紅及號誌時相轉換時間總長變長之情形下，只有小型路口勝利路之機車清道行為會受號誌調整之影響，但此處必須再加以說明。

檢定小型路口勝利路之機車清道行為的過程中，累積車輛相對次數最大差值發生在時間階段 0，亦即車輛煞車週期，其機車煞車比例於號誌調整前與號誌調整後分別為 14.3% 與 52.8%，顯示號誌調整後，勝利路之機車停車比例有明顯增加，此外，觀察勝利路之汽車清道行為檢定過程，發現與機車之情形相當類似，其汽車煞車比例於號誌調整前後，分別為 44.0% 及 77.8%，雖然汽車之累積相對次數最大差值尚未大於檢定臨界值，但仍可以看出於號誌調整後，勝利路之汽車停車比例有明顯增加，究其原因可能是受交叉道路之車輛起動行為影響，即東寧路之車輛起動行為可能有提前之現象。

觀察表 5 之分析結果發現：各實驗道路之汽機車清道違規率與使用黃燈時間平均數，於號誌調整後皆有下降，然就一般狀況而言，在其他環境條件不變之情形下，黃燈

時間長度固定，而只延長全紅時間，理應不會對駕駛者之使用黃燈時間與清道行為造成影響，因此有可能是受交叉道路之車輛起動行為所影響。

3.3 號誌轉換時間改變之起動行為分析

3.3.1 黃燈縮短、全紅變長但轉換時間總長不變之起動行為分析

黃燈時間縮短、全紅時間變長，但轉換時間總長不變之道路計有大型路口之中華路與小型路口之東寧路，但由於調整號誌時相轉換時間將會影響下一時相之車輛起動行為，因此進行起動行為分析之道路是大型路口之小東路與小型路口之勝利路。同樣以 K-S 檢定法進行分析，整理分析結果如表 6 所示：

表 6 黃燈縮短與全紅變長但轉換時間總長不變之起動行為分析

路口 型式	道路名稱	車種	檢定 結果	號誌調整前			號誌調整後		
				提早起 動比例	平均起 動時間	眾 數	提早起 動比例	平均起 動時間	眾 數
大	小東路	汽		4.6 %	2.63	2 ~ 3	28.1 %	1.59	2 ~ 3
	小東路	機	是	38.0 %	0.82	1 ~ 2	55.7 %	-0.83	0 ~ 1
小	勝利路	汽		9.5 %	2.67	2 ~ 3	7.1 %	2.88	2 ~ 3
	勝利路	機		84.6 %	-1.40	-1 ~ 0	80.2 %	-1.19	-1 ~ 0

其中提早起動比例簡稱提早起動率，為有車輛於綠燈始亮前提早起動之週期數佔所有車輛起動週期之比例。由表 6 可知：在黃燈時間縮短，全紅時間變長，但轉換時間總長不變之情形下，只有大型路口小東路之機車起動行為會受號誌轉換時間改變之影響，其餘大型路口小東路之汽車與小型路口勝利路之汽機車駕駛者，其起動行為皆不受號誌轉換時間改變之影響。但大型與小型路口之駕駛者行為反應不盡相同。

大型路口小東路之汽機車提早起動率皆有明顯升高之趨勢，平均起動時間也較號誌調整前更為提早，甚至小東路機車起動行為之檢定結果已有顯著差異，其起動時間平均數已達-0.83 秒，眾數也由 1 ~ 2 秒提前到 0 ~ 1 秒，可見大型路口之汽機車駕駛者對於黃燈縮短、全紅變長，但轉換時間總長不變之號誌調整方式，顯得較不耐久候；而小型路口之汽機車起動行為則無明顯差異。

3.3.2 黃燈不變但全紅與轉換時間總長變長之起動行為分析

同樣以 K-S 檢定法針對大型路口之中華路與小型路口之東寧路進行起動行為分析，整理分析結果如表 7 所示：

表 7 黃燈不變但全紅及轉換時間總長變長之起動行為分析

路口 型式	道路名稱	車種	檢定 結果	號誌調整前			號誌調整後		
				提早起 動比例	平均起 動時間	眾 數	提早起 動比例	平均起 動時間	眾 數
大	中華路	汽	是	3.5 %	3.57	3 ~ 4	36.5 %	0.73	1 ~ 2
	中華路	機	是	17.2 %	1.57	1 ~ 2	85.9 %	-2.04	-2 ~ -1
小	東寧路	汽	是	0.0 %	3.26	3 ~ 4	35.3 %	0.94	0 ~ 1
	東寧路	機	是	41.3 %	0.29	0 ~ 1	88.3 %	-1.78	-2 ~ -1

由表 7 之結果可知：大型路口中華路之汽機車駕駛者與小型路口東寧路之汽機車駕駛者，其起動行為皆受到全紅及轉換時間總長變長之影響。由分析結果發現：大型與小型路口之汽機車提早起動率與起動時間平均數皆有明顯提前之現象，大型與小型路口之機車起動時間平均數在號誌調整後更是呈現負值的情況，顯示黃燈時間不變，但全紅與號誌時相轉換時間總長變長之號誌調整方式，對於駕駛人而言可能較不能夠適應，因而導致汽機車駕駛者紛紛提早起動之現象。此外，由於汽機車駕駛者皆提早起動，使得其交叉道路之車輛清道行為被迫提早完成，尤其以小型路口勝利路之情形最為明顯，這可由 3.2.2 節中，表 5 之清道行為分析結果得到證明。

3.4 運動學公式之比較

在分析了號誌調整前後汽機車之清道與起動行為後，本研究將路口實際號誌時相轉換時間配置之情形與運動學公式所計算之黃燈與全紅時間作一比較，以探討運動學公式之實用性。

3.4.1 公式法與實際號誌時間之比較

以下整理各實驗道路之實際號誌時相轉換時間以及利用公式法求算之號誌轉換時間相互對照情形，如表 8 所示。觀察表 8 發現：號誌調整之前，各實驗道路之黃燈時間皆明顯較公式法為長，小型路口東寧路之黃燈時間較公式法高出 2 秒鐘，而大型路口中華路之實際黃燈時間更高達 7 秒鐘，而以公式法求算之黃燈時間才只需 3.37 秒；另一方面，實際全紅時間皆較公式法為短，各實驗道路皆配置 2 秒鐘全紅，但以公式法求算之全紅時間則由 2.73 秒到 3.80 秒不等；而號誌時相轉換時間總長則是與公式法互有長短。

本研究之號誌調整方式大致是將實際號誌配置與公式法之差距縮小，但由於調整黃燈時間恐涉及風險與責任歸屬問題，調整幅度在「兩秒鐘以內」為限，調整之後的號誌轉換時間以小型路口最接近公式法，除了東寧路之黃燈時間仍較公式法高出約一秒鐘

表 8 號誌設計公式與實際號誌轉換時間比較

路口型式	道路名稱	調整步驟	黃燈時間	全紅時間	總轉換時間	速限(公里/小時)
大	中華路	調整前	7	2	9 ~	50
		調整後	5	4	9	
		公式法	3.37	3.69	7.06	
大	小東路直行	調整前	4	0	4	50
		調整後	4	0	4	
		公式法	3.37	3.28	6.65	
大	小東路左轉	調整前	4	2	6	40
		調整後	4	4	8	
		公式法	2.93	3.80	6.73	
小	東寧路	調整前	5	2	7	40
		調整後	4	3	7	
		公式法	2.93	2.73	5.66	
小	勝利路	調整前	3	2	5	40
		調整後	3	3	6	
		公式法	2.93	2.97	5.90	

外，其餘東寧路之全紅時間與勝利路之號誌時相轉換時間皆與公式法一致，因此本研究針對小型路口作更進一步之潛在衝突分析，以探討公式法之實用性。

3.4.2 小型路口清道與起動行為之衝突分析

本研究萃取小型路口東寧路上每週期最後通過路口之汽車與機車其離開路口之時間，與勝利路每週期第一輛汽機車之起動時間，分別配似成 Gumbel 極值分配曲線，再繪製於同一座標平面上，如圖 3 與圖 4 所示，圖中另附上車輛進入路口之 Gumbel 曲線，以對照車輛於路口內移動之情形。圖中，時間 0 為綠燈始亮點，而清道與起動曲線重疊處為潛在衝突區域。

觀察圖 3 與圖 4 發現：不論是號誌調整前或調整後，機車起動曲線皆與清道汽機車有嚴重之潛在衝突，但仔細觀察發現號誌調整後之潛在衝突情形已有緩和跡象，為了更清楚觀察曲線最高點之移動情形，以下整理較具有直接關係之 Gumbel 分配曲線之眾數（或平均數）資料，如表 9 所示。

觀察表 9 發現：號誌調整後，東寧路汽機車之離開路口時間眾數皆較為提前，而勝利路汽機車之起動時間眾數則皆較為延後，亦即東寧路汽車與機車之離開曲線皆向左移動，而勝利路汽車與機車之起動曲線則向右移動，兩者方向互相偏離，故號誌時相轉

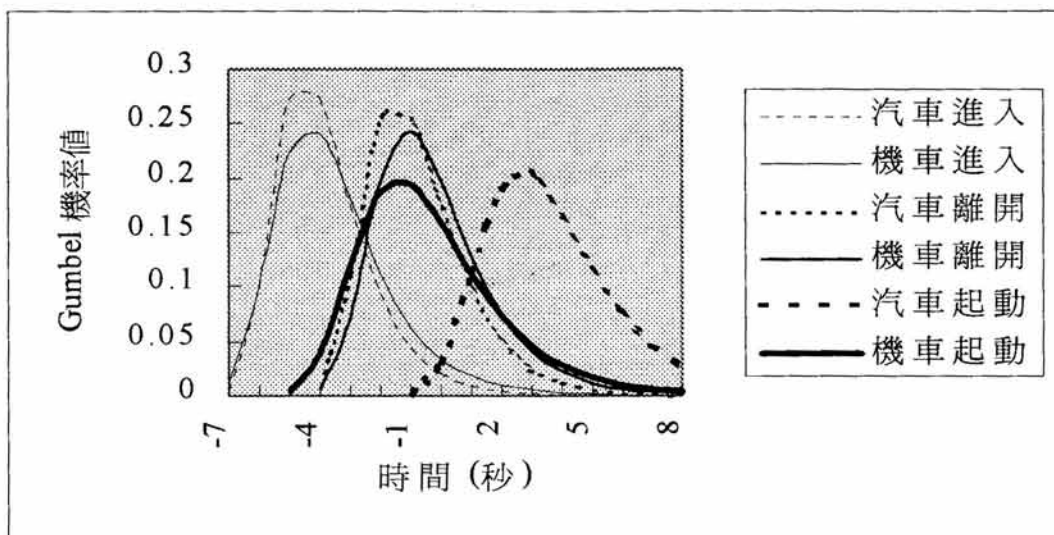


圖 3 小型路口號誌調整前之潛在衝突分析

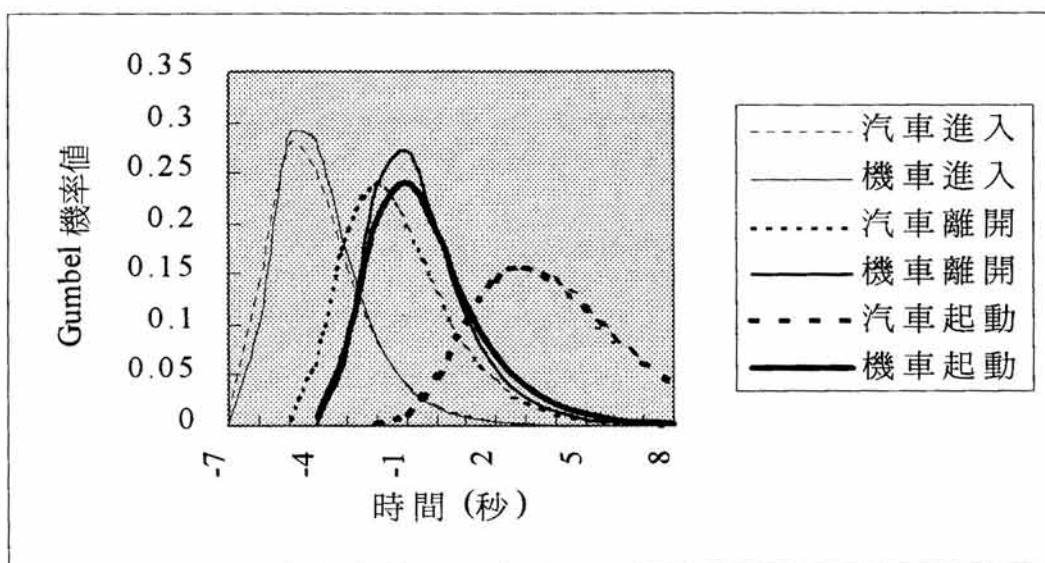


圖 4 小型路口號誌調整後之潛在衝突分析

表 9 小型路口 Gumbel 曲線之眾數位置

調整步驟	汽車離開	汽車起動	機車離開	機車起動
號誌調整前	-1.541	2.666	-1.099	-1.401
號誌調整後	-2.103	2.878	-1.306	-1.187
變化情形	提前	延後	提前	延後

換時間調整後，小型路口之潛在衝突的確有所改善，可見實際號誌時相轉換時間若能朝向號誌設計公式調整，則對於提升交叉路口之安全性將具有相當程度之貢獻。

3.5 號誌設計方法之探討

在號誌因素實驗獲致初步結果後，本研究擬結合駕駛人對號誌時相轉換時間需求量之關係，針對現行號誌設計之缺失，謀求補救之道。以下首先歸納有關號誌時相轉換時間設計之原則。

3.5.1 設計原則

歸納號誌因素實驗與環境因素實驗之結論，所整理的號誌時相轉換時間相關設計原則如下：

1. 變動黃燈時間對於駕駛者清道行為之影響不大：在考量風險與責任問題之下，本研究調整黃燈時間之路口，其黃燈時間皆大於由公式法所求算者，分析結果則指出，黃燈時間改變對駕駛者清道行為影響不大，因此在號誌設計上，黃燈時間之長度可以視需要而設定，因此較全紅時間有較大之彈性。
2. 過長之黃燈會產生可選擇區間：由運動學公式能證明可選擇區間（option zone）發生的條件，且位於該區之駕駛人其決策結果變異性較大。
3. 黃燈縮短、全紅延長，但號誌時相轉換時間總長不變：大型路口之駕駛人較不能接受，車輛起動時間大幅提前，因此大型路口之全紅時間不宜太長，以免失去清道功效，又降低路口運作效率；反之小型路口則接受程度良好，必要時其全紅時間可適當予以延長。
4. 黃燈不變，全紅及號誌時相轉換時間總長變長：駕駛人普遍皆不能接受，因此若必須將全紅時間調長，導致號誌時相轉換時間總也變長時，則應重新考慮黃燈時間是否適當。
5. 號誌時相轉換時間需求量之迴歸分析中，整理出號誌時相轉換時間需求量模式，由於其 R^2 與 \bar{R}^2 值皆在 0.8 上下，因此可作為號誌設計之參考。
6. 若將全紅時間定義為車輛清道之用，則全紅時間之決定將可直接由有效路寬除以車速得到，不涉及駕駛者之決策因素。

3.5.2 號誌設計方法之修正建議

以下列示本研究對於號誌設計方法之建議步驟：

1. 首先以公式法算出道路之號誌時相轉換時間總長 τ_{\min} ，再將其切割成黃燈時間 y 與全紅時間 ar ，其中車輛速度可以速限為代表。

2. 依據設計道路之預測交通量與路口幾何資料，代入汽機車號誌時相轉換時間需求量模式，即(1)及(2)式，其中模式之變數如車輛清道時間，以步驟 1 之全紅時間 ar 代入，路口配置黃燈時間則以步驟 1 之黃燈時間 y 代入，求算汽車與機車之號誌時相轉換時間需求量。
3. 所求算之汽車與機車號誌時相轉換時間需求量 T_1 與 T_2 ，分別代表汽車與機車駕駛人於各種交通環境實際使用號誌時相轉換時間之情形，而在交叉路口安全性之考量下，本研究建議選取 T_1 與 T_2 之最大值作為設計之用，以同時兼顧汽車與機車駕駛者之安全，令兩者之最大值为 T_{\max} 。
4. 設計全紅時間 AR 之決定：以公式法之 ar 為基準，若是設計大型路口，則設計全紅時間 $AR = ar$ ；另外，若是設計小型路口，由於其較能接受較長之全紅時間，因此設計全紅時間 $AR = ar + (0.5 \text{ 或 } 1 \text{ 秒})$ ，以提升交叉路口之安全性。
5. 設計黃燈時間 Y 之決定：將 T_{\max} 減去 AR ，得到黃燈時間 y' 。若吾人假設 y' 為一般駕駛人可能使用的時間，而公式法求算之 y 則為理論時間，則本研究認為設計黃燈時間應介於理論與一般狀況之間，並且以理論時間為下限，因此，若是 y' 小於 y 之情況，則設計黃燈時間 $Y = y$ ；此外，若是 y' 大於 y 之情況，則設計黃燈時間 Y 可以取 y 與 y' 兩者之平均。如此既不會因為過長之黃燈，而產生可選擇區間，又可兼顧交叉路口之安全性。

四、結論與建議

4.1 結論

依據上述分析結果，整理本研究之結論如下：

1. 變動黃燈時間對於駕駛者清道行為之影響不大。
2. 黃燈縮短，全紅延長，但號誌時相轉換時間總長不變時：大型路口之駕駛人較不能接受，車輛起動時間大幅提前，因此大型路口之全紅時間不宜太長，以免失去清道功效，又降低路口運作效率；反之，小型路口則接受程度良好。
3. 黃燈不變，全紅及號誌時相轉換時間總長變長時：駕駛人普遍不能接受。
4. 本研究歸納之號誌時相轉換時間需求量模式，由於其 R^2 與 \bar{R}^2 值皆在 0.8 上下，因此可作為號誌設計之參考。
5. 本研究對現行號誌設計方法作修正，建議以公式法與迴歸模式法共同決定號誌時相轉換時間。

4.2 建議

根據對台南市市區內三處大小不同之正交十字路口所作之觀察與分析，本研究提出下列數點建議：

1. 研究中，由於每個路口僅蒐集兩個方向之清道與起動時間並加以分析，若欲使分析更為完整，應同時將路口之四個方向的清道與起動時間加以蒐集。
2. 本研究採 K-S 兩組樣本檢定法分析駕駛人行為變化之情形，此法假設母體分配未知進行檢定，因此檢定能力較弱，後續研究可針對樣本特性配似合理之分配，再進行較精確之檢定。
3. 本研究之路口型態定義只限於正交十字路口，未來研究可擴及更多種類型之路口，以使分析結果更具代表性。
4. 在客觀條件允許情況下，未來研究可以公式法設計不同型態路口之號誌時相轉換時間，以觀察公式法在不同路口之適用情形。

參考文獻

1. 吳水威，號誌化交叉路口黃燈對駕駛者決策行為之研究，國科會專題報告，民國八十四年一月。
2. 張式先，周榮昌，與 林良泰，「流量對於猶豫區間形成之影響分析」，中華民國第一屆運輸安全研討會，民國八十三年十一月，311-320 頁。
3. 顏月珠，商用統計學，三民書局，民國八十年八月。
4. BAGULEY, C. J., " 'Running the Red' at Signals on High-Speed Roads," *Traffic Eng. and Control* 29(), 415-420 (1988).
5. GAZIS, D., HERMAN, R. and MARADUDIN, A., "The Problem of the Amber Signal Light in Traffic Flow," *Operations Research* 8, No. 1, 112-132 (1960).
6. LIN, F. B., and VIJAYKUMAR, S., "Timing Design of Signal Change Interval," *Traffic Eng. and Control* 29(10), 531-536, October 1988.
7. NATO Advanced Study Institute on Statistical Extremes and Applications, *Statistical Extremes and Applications*, 1983.
8. OLSON, P. L. and ROTHERY, R. W., "Driver Response to the Amber Phase of Traffic Signals," *Operations Research* 9, No. 5, 650-663 (1961).