

## 應用駕駛模擬系統探討號誌時相轉換下路口追撞之風險<sup>#</sup>

魏健宏<sup>1</sup>、陳逸勳<sup>2</sup>

### 摘要

基於效率的考量，主管機關對於交通量較大的路口常採取設置行車管制號誌的措施。但就交通安全而言，該號誌設施也增加駕駛者在臨近路口時，於通過或停車的決策上，形成不同程度的負擔與多元的決策結果，此一問題提升路口追撞事故發生的風險。對於事故評估上，無事故發生並不代表交通環境是安全無虞，其中可能隱含危險的情境，需要先期研究與探討，才能達到事故預防的最終目的。因此，本研究探討時相轉換下，就可能影響路口追撞事故的因素，瞭解其對於風險的貢獻情形，以作為交通安全方面，追撞問題的探討與建議改善的方向。

本研究檢討影響追撞與駕駛者通過路口決策的因素，挑選較重要的前車動作、速限、黃燈始亮離路口停止線距離，以及目前台灣常見的綠燈行車倒數計時器，共計四個因子作探討，藉由實驗設計的理論，系統化且合理地設計實驗的情境，並減少實驗誤差。本研究以固定基底駕駛模擬系統作為量測的工具，除與真實道路駕駛情境相仿外，還能有效模擬危險情境與紀錄較精細的駕駛績效資料，以彌補現場實際觀察上，資料取得費時與安全性的顧慮。研究結果顯示前車動作與綠燈倒數計時器，對於追撞風險有顯著影響，但彼此交互作用並不顯著；而黃燈始亮離路口距離與綠燈行車倒數資訊，則對緊急煞車之危險行為，有顯著的影響。

關鍵詞：追撞、時相轉換、駕駛模擬系統、羅吉斯迴歸模式

### 壹、前言

長久以來人為因素一直是道路交通事故發生的主因，隨著用路人特性的差異，對於相同的外在環境，多產生不同程度的反應。就交通安全的角度，思量如何改善安全與事故預防時，首重事故特性的分析，才能據以研擬應對的策略。在 Campbell et al. [1]和 Lerner [2]等人的研究中，整合過去關於人因特性、道路環境、車輛工程、事故分析相關的成果，來針對交通安全的改善，研擬探討的課題與初步子題之內容，並規劃未來研究的時程與相關經費，其中，號誌化路口被列為重

<sup>#</sup>本研究為交通部 94 年度補助成功大學車輛行車事故鑑定研究中心之部分研究成果

<sup>1</sup>成功大學交通管理科學系教授(聯絡地址：台南市東區大學路 1 號交通管理科學系，電話：06-2757575-53233，E-mail：louiswei@mail.ncku.edu.tw)

<sup>2</sup>成功大學交通管理科學系碩士

要探討的課題。

在號誌化路口環境中，由於號誌時相轉換，導致臨近路口之駕駛者，陷入判斷是否通過的問題。即使在相同的條件下，伴隨著駕駛者特性的不同，其決策與行為也多有所差異，當兩連續車輛駕駛者的決策發生衝突(前車煞停、後車欲通過)或操作不當時，追撞事故發生的機率將會大幅度上升，對於此類常見於交通環境所潛藏的安全威脅，值得瞭解該問題的特性並加以深入探討，但國內過去對於事故的研究，多偏向事故資料的分析，在個體駕駛者行為與特性方面，則較少著墨；而路口駕駛行為之相關研究則多以實地觀測為主，已多有駕駛者行為之分析，但較少針對事故之風險或相關課題作更進一步的探討。基於上述的情況，本研究以時相轉換下駕駛行為作觀測對象，並瞭解與追撞相關之風險。

在評估時相轉換所造成追撞的風險，將有以下三個困難：(1)與時相轉換相關之追撞事故資料不易收集；(2)實地觀測費時且成本高；(3)實車測試者安全之考量。因此，本研究藉由汽車駕駛模擬系統作為工具，建構合理之交通情境，來蒐集駕駛者的反應情形；該系統利用 3D 虛擬實境的技術，可有效且方便地模擬現實道路所可能遭遇的情境，並且紀錄駕駛者相關操作資料，而無安全上的疑慮，適合作為該問題分析之工具。因此，本研究目的為以下兩點：

1. 建構合理的模擬情境，作為時相轉換下駕駛行為之基礎
2. 評估時相轉換下，影響追撞事故發生的因素與其效用

對於追撞的問題，一般可分為單一追撞事故(兩輛車)與連續追撞事故(三輛車以上)，本研究僅針對單一追撞且車種皆為小汽車進行探討，關於時相轉換下追撞可能發生在停止線前第 1 到第 N 輛車中，任兩兩相鄰之車輛上，但礙於資料蒐集與系統設定的限制，僅以停止線前第 1 及第 2 輛為研究對象。

所謂時相轉換(Change + clearance interval)，參考運研所[3]的研究以及 ITE (Institute for Transportation Engineers) [4]的定義，其包含黃燈時段以及全紅時段；而在路口型式則以常見的十字正交路口作為研究的對象。

## 貳、文獻回顧

本節整理相關文獻，以瞭解時相轉換下駕駛者行為、影響追撞事故因素與追撞風險分析三者的情形與關係，並且藉由駕駛模擬器在此課題上相關之研究，瞭解該系統之適用情形。

### 2.1 追撞風險分析

在時相轉換下駕駛者行為分析方面，連續兩輛車在通過路口發生決策衝突時(前車欲停車、後車欲通過)，此為極易發生追撞的危險情境，對於影響駕駛者通過決策的因素，周義華等[5]與劉正旭[6]藉由實地觀測以及問卷的分析，皆證實黃燈始亮離路口停止線距離、車速為主要影響的因素，其他尚有預期心理、車型、車流、縱向車間距、黃燈長度、道路類型等可能影響的因素[5、6、7]。由於影響駕駛者決策的因素，會間接對駕駛者加減速行為產生作用，其間之關連性可納入後

續追撞風險評估之參考。

在交通工程上，有關於「猶豫區間」(Dilemma zone)的概念，意旨駕駛者處於無法在停止線前安全停下，或無法於全紅結束前安全通過路口的情況，此一問題將導致駕駛者產生危險之駕駛行為，其中恐與追撞有密切之關係；關於區間的大小，則會隨著速率增加而增加，在周義華等[5]與 Moon et al. [8]均予證實。Pant et al. [9] 藉由「闖紅燈」、「黃燈加速超過速限」、「緊急煞車」三項指標來衡量猶豫區間所可能造成的衝突行為；而 Suzuki et al. [10] 則以黃燈時間過半仍選擇直行穿越與綠燈開始前提早起步二項資料，作為危險駕駛者判斷與行為。

追撞事故發生原因多為未注意前車狀況以及未保持安全間距，因此，對於前、後車間互動關係勢為追撞風險分析的重點，而相關之衡量指標可參考表 1，其中，碰撞時間(Time-to-collision, TTC)為許多文獻共同採用的衡量指標。

表 1 追撞風險衡量指標

研究者	衡量指標
Compell et al. [1]	車間距、相對速率、跟車時間間距、碰撞時間、最小減速率
Curry et al. [11]	碰撞時間
Kuge et al. [12]	允許時間(Time allowance)
Lee et al. [13]	有無發生追撞、追撞時後車速率、最小碰撞時間、放開油門的反應時間、油門完全放開到開始採煞車時間、煞車開始到最大煞車值時間、平均減速度與最大減速度
Minderhoud et al. [14]	碰撞時間
Sultan et al.[15]	碰撞時間

Kuge et al. [12] 將追撞情境分為以下四類，其中與時相轉換有關為 (I)、(II) 和(III)。

- I. 穩定跟車，前車緊急煞車
- II. 臨近前車
- III. 臨近前車，前車緊急煞車
- IV. 前車靜止

鑑於時相轉換對於駕駛行為產生影響，而提供相關資訊設施之影響勢必存在，近年來在各地普遍設立之綠燈行車倒數計時裝置，在國內尚屬試驗階段，對用路人之影響尚不明確。吳宗修與詹善斌[16]以新竹地區的駕駛人為觀測對象，發現有該設施會使超過一半的汽車駕駛者於黃燈時段結束前之加速超過速限，且於黃燈時段之車速有較大變異的現象。基於該裝置對速率的影響，而與事故風險間的關係為何，值得釐清。

## 2.2 駕駛模擬系統

由於駕駛模擬系統具有高安全、高應用彈性、低成本等特性，常用於危險情境、路側與車內設備、駕駛者特性、駕駛工作負荷與績效等評估，作為個體駕駛行為與安全的研究上，是方便且有效的研究工具[13、17、18]。

Knodler et al. [17] 利用固定基底駕駛模擬器作為實驗的工具，研究不同交通號誌顯示方式對駕駛行為的影響。運研所 [18] 針對六軸平台的駕駛模擬系統進行開發，並建立駕駛安全與駕駛工作負荷評估系統，以變換車道可間受間距、路口違規防撞警示系統、速限標誌尺寸對駕駛行為的影響三項課題，作為應用的範例。而在追撞的情境中，Lee et al. [13] 利用 IOWA 大學駕駛模擬系統蒐集駕駛者行為的資料，作為預防追撞系統相關參數設定之考量，並瞭解該系統對於駕駛分心問題的改善，而結果顯示該系統對於分心與未分心之駕駛者，均有顯著的改善。在駕駛者特性方面，Lora [19]利用駕駛模擬器進行感知反應時間和煞車反應時間之測試，探討性別、年齡、不確定情境、手自排車型在此兩項指標的表現是否有差異性；謝昀霖[20] 則以該系統進行駕駛分心課題的探討，並檢視車前防撞系統對於分心問題的改善情形。

## 2.3 小結

由於追撞事故的發生概以兩連續車輛為要件，本研究將停止線前第一輛車設為系統車，觀測隨後跟車受測者的反應情形，但由於時相轉換對駕駛者可能造成危險行為[9、10]，而對於其後跟車之車輛造成追撞的威脅。基於模擬條件的限制，本研究雖無法捕捉前車危險行為對後車的影響情形，但可針對僅有時相轉換作探討(無前車)，瞭解危險行為的特性，供作後續研究的參考。因此，對於追撞風險的探討，本研究將從有前車和無前車兩方面分別進行討論。

## 參、研究方法

對於時相轉換下追撞風險的探討，本研究藉由駕駛模擬器來進行情境模擬以及駕駛行為資料的蒐集，達到低成本且具效率之考量；為減少實驗誤差以及使結果更具參考價值，應用實驗設計的理論於實驗情境規劃與因素探討；並搭配羅吉斯迴歸模式，分析時相轉換下，影響駕駛者危險行為之因素。

### 3.1 駕駛模擬系統

本研究採用固定基底駕駛模擬系統作為工具，其係利用 3D 繪圖軟體進行模擬場景所需物件之構建，再搭配 EON 虛擬實境軟體著手物件動作與場景的設定，結合模擬器所輸出油門、煞車、排檔、方向盤訊號，與場景進行互動而形成與現實相仿的交通情境。其具有以下之優點：(1)特殊情境(如：事故發生)在模擬中較易展現與捕捉；(2)成本較低；(3)安全較有保障；(4)套用車載與路側相關設備之彈性較高；(5)所蒐集駕駛行為資料較詳盡，可供進一步的探討(反應時間、油門深淺等)。

### 3.2 實驗設計

實驗設計為一系統化的設計流程，在特定條件下，嚴謹地分析干擾因素對於觀測值的影響情形，並將外在變異原因影響極小化，使結果能更具參考價值；若能藉由適當的實驗安排，其還具有減少量測所需樣本數的優點。進行實驗設計需注意以下三個基本原理：

- ◆ 隨機化(Randomization)：藉由實驗順序隨機化，確保觀測值或誤差為分配獨立的隨機變數，可將外來不可避免或未知的干擾因子影響降低，或攤平至實驗上。
- ◆ 區集化(Blocking)：當干擾因子為已知或可控制的，可用區集來減少或消除其所形成的變異，提高實驗的精確性。
- ◆ 重複(Replication)：指將實驗重複再做，始能估計實驗誤差，並且有更精準的估計值。

### 3.3 羅吉斯迴歸模式

在描述自變數與離散型應變數間之關係時，特別是二元應變數(即事件發生與否)，羅吉斯迴歸(Logistical regression)模式有不錯的分析效果[21]，其模式如下：

$$\pi(x) = \frac{e^{g(x)}}{1 + e^{g(x)}}$$

$$g(x) = \ln\left[\frac{\pi(x)}{1 - \pi(x)}\right] = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n$$

$\pi(x)$ ：事件發生的機率

$g(x)$ ：影響事件發生機率因子的線性函數

$X_i$ ：影響事件發生的自變數

$n$ ：自變數的個數

本研究藉由該模式來篩選影響駕駛者危險行為之因素，即探討有顯著影響事件發生的自變數( $X_i$ )，並檢視其影響之趨勢。

## 肆、實驗設計

本實驗目的為瞭解時相轉換下，影響駕駛者決策與追撞事故相關之因素，對於追撞風險與危險行為的影響情形。後續將進行實驗設計的說明，期藉由合理的設定與安排，使結果能反應現實環境問題的特性。

### 4.1 實驗因子與量測指標

根據文獻回顧之整理，影響追撞事故之因素主要為「前後車關係」，在通過路口決策則為「行車速率」與「黃燈始亮離路口距離」，再加上效果尚未明確的「綠燈行車倒數計時裝置」，共計四個因子納入實驗，各因子界定兩個水準進行探討，而後分別以代號 A~D 替代。

在前後車關係方面，可由 Kuge et al. [12]所歸類情境中，情境 I~III 分別加以探討，但由於臨近前車(情境 II & III)時，受測者所能接受的間距大小不一，亦即與前車距離之維持多有所出入，極可能在時相未轉換前駕駛就產生減速反應，在此條件之下，將難以捕捉時相轉換的影響，且在黃燈始亮之因子設定上，無法給予合理且有效的水準界定，故本研究僅探討情境 I，分為正常煞車與緊急煞車兩種水準。穩定跟車的條件係根據 SAE J2400 [22]在車前防撞系統中，所採用 1.5 秒安全跟車時間間距作參考，再加上 1 秒的反應時間，以跟車時間間距在 2.5 秒內作為穩定跟車的條件。

對於正常煞車的設定，參考 AASHTO [23]建議所有公路下，以減速度  $3.4 \text{ m/s}^2$  作為停車視距的依據，該值符合防撞系統標準 SAE J2400 [22]以減速度  $3.82 \text{ m/s}^2$  作為駕駛者是否感受到不舒適門檻的要求。對於緊急煞車的設定，則參考 ISO 15623 [24]小客車的平均值減速度為  $7 \text{ m/s}^2$ ，而不分車種緊急煞車減速度的範圍為  $3.6 \sim 7.9 \text{ m/s}^2$ ；在國內車輛研究測試中心的資料則顯示，小客車煞車系統減速度多落於  $8 \sim 9 \text{ m/s}^2$  之間[25]，此資料概為極度緊急的情境，故採用  $7 \text{ m/s}^2$  減速度屬於合理。

在行車速率方面，為反應道路交通管制措施對於駕駛者的影響，將該因子以「速限」取代，假設駕駛者不違規且滿足延滯最小的期望下，會以接近速限的速率行進。在考量固定基底駕駛模擬器的模擬能力後，以市區道路常見的速限設定，50km/h 和 60km/h 作為速限因子的低水準和高水準。

在黃燈始亮離路口距離方面，基於猶豫區間可能對於駕駛者的干擾，以受測車輛是否位於猶豫區間作為水準劃分的依據，而該區間大小係根據表 2 之假設參數，根據物理學運動公式計算最小停車距離以及最大可通過路口距離，兩者差集的範圍即為猶豫區間。在 60km/h 速限下，猶豫區間的大小為停止線前 22~44m，在該區間之內為高水準，而在猶豫區間之外為低水準，即為在離路口距離超過 44m。

在綠燈倒數計時裝置方面，以無該裝置為低水準，而有該裝置為高水準，由於模擬場景中設置在行車管制號誌旁會有閃爍不易辨識的干擾，改以車內抬頭顯示資訊的方式替代。相關因子與水準整理為表 3。

表 2 基本場景假設條件

參數	設定值	文獻	參數	設定值	文獻
感知反應時間(s)	1	[26]	車長(m)	6	[26]
路口寬(m)	20	[3]	車輛減速度( $\text{m/s}^2$ )	5	[3]

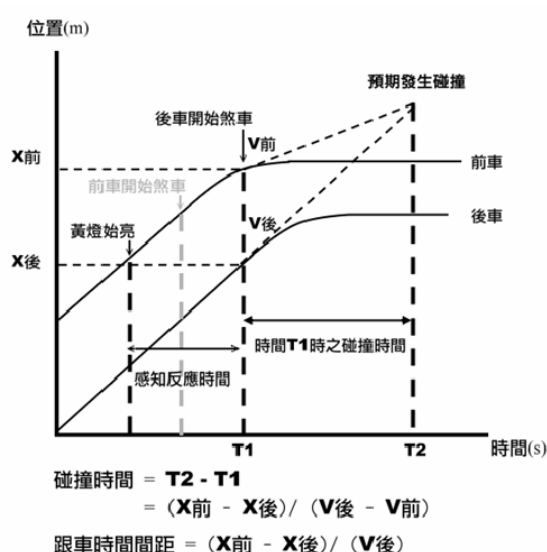
本研究以有前車與無前車兩方面，分別進行追撞風險以及危險行為的探討。在追撞風險方面，文獻建議以碰撞時間作為衡量的指標；而危險行為方面，則以「闖紅燈」、「黃燈加速超過速限」、「緊急煞車」作為衡量指標。關於碰撞時間的定義為，「兩連續之車輛，當前車進行減速，在車行軌跡和速率差均保持不變下，距離兩車發生碰撞所剩餘的時間」，值大則代表較為安全，值越小，則是越危險。由於固定基底駕駛模擬器在車行動態感受方面的限制，若針對整個煞車過程內之相關指標(碰撞時間、減速度等)進行分析，其結果較有爭議，故僅以後車駕駛採用煞車瞬間的相關車行資料，作為分析的對象。關於時相轉換下兩車之互動情形與

碰撞時間計算方式，可參考圖 2。

表 3 各因子之水準

代號	A	B	C	D	
因子	穩定跟車，前車煞車緩急	速限	黃燈始亮離路口距離	綠燈行車倒數	
水準數	2	2	2	2	
水準	—	正常煞車，減速度 $3.4 \text{ m/s}^2$ ，車間距 42m 內	50km/h	在猶豫區間之後(離停止線 44m 之後)	無
	+	緊急煞車， $7 \text{ m/s}^2$ ，車間距 42m 內	60km/h	在猶豫區間內(離停止線 24~44m 的範圍)	有

—：低水準；+：高水準



資料來源：Minderhoud et al. (2001)，本研究整理

圖 2 連續兩輛車輛臨近路口之時間-空間關係圖

#### 4.2 實驗組合與排列

基於隨機化的考量，若將速限因子作為實驗因子，駕駛者將可能多次遭遇不同速限路口的問題，導致駕駛者心情頻受干擾，不符合道路交通實況。因此，把速限因子作為區集，分別就各水準下進行完全因子試驗，避免速限對於其他因子的干擾，即不探討速限區集對於因子 A、C、D 的交互作用。

離路口較近且欲煞停的車輛，必須以較大的減速率才能有較短的煞車距離，這個現象導致因子 A 與 C 有所關連，進而產生系統設定的困難與交通情境的不合理，故無法一同列入討論。因此，本研究針對有前車與無前車狀況下，分別進行因子 AD 與因子 CD 的探討，相關實驗組合可參考表 4 和表 5。

在考量現實駕駛環境為一連串的駕駛任務下，把有前車和無前車情境合併在一起進行實驗，恐有單獨測試與混合測試所可能造成不同的結果或誤差，但就現實道路環境當中，駕駛者也是從事一連串的駕駛任務，而非只從事好幾個「獨立

的駕駛行為」，對於情境合併在一起的影響，藉由隨機化和重複的方式，將不可控制誤差的影響降低。環境中有橫向、旁車、對向等系統車運行，除了所欲探討試驗 1~8 的路口外，本研究規劃 7 組空路口組合，搭配無前車煞車與無時相轉換的情境，以消除駕駛者的預期心理(前車煞車、時相轉換)，因此，在一個速限的水準下，受測者將會通過 15 個號誌化路口。

表 4 實驗設計組合(有前車)

試驗\因子	B <sup>-</sup>			B <sup>+</sup>		
	A	C	D	A	C	D
1	—	N	—	—	N	—
2	—	N	+	—	N	+
3	+	N	—	+	N	—
4	+	N	+	+	N	+

N：該試驗組合不探討此因子

表 5 實驗設計組合(無前車)

試驗\因子	B <sup>-</sup>			B <sup>+</sup>		
	A	C	D	A	C	D
5	N	—	—	N	—	—
6	N	—	+	N	—	+
7	N	+	—	N	+	—
8	N	+	+	N	+	+

N：該試驗組合不探討此因子

### 4.3 統計模型

本研究係為重複隨機化完全區集設計的二因子實驗模型，並檢定因子主效用與各因子間交互作用的顯著情形，模型如下所示：

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \delta_{kn} + \varepsilon_{ijk} \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2 \\ j = 1, 2 \\ k = 1, 2 \\ n = 1, 2, \dots, d \end{array} \right.$$

$y_{ijk}$ ：碰撞時間

$\delta_{kn}$ ：n 次重複第 k 個速限區集的效應

$\mu$ ：母體平均數

$(\alpha\beta)_{ij}$ ：A 與 D 之交互作用

$\alpha_i$ ：A 因子第 i 個處理效應

$\varepsilon_{ijk}$ ：誤差項

$\beta_j$ ：D 因子第 j 個處理效應



#### 4.4 場景設定與人員招募

本研究以市區幹道-聯外設計作為研究的對象，參考相關規定[3、27]，進行模擬場景之構建與設定，可提供 15 筆/秒資料的輸出，模擬場景可參考圖 3。

在時相轉換下，臨近路口的駕駛者可能會面臨以下三種狀況之一，(1)前車煞車，(2)前車通過，(3)無前車。若以符合真實狀況而言，要捕捉實驗車輛在此三種狀況的時機較為困難，需大量及長時間的觀測方能達成資料的蒐集，其所需耗費人力和時間均為龐大。故在考量成本狀況下，在第(1)和(2)種狀況裡，前車不以隨機化模式出現，而改以先停等於路側的方式，由控制軟體合理計算後車到達情形以及所假設跟車的範圍，再啟動前車開始加速，而後併入至內車道，且行駛於實驗車之前方以形成跟車狀態，使得所需的實驗情境會在時相轉換下，能有效率捕捉前後連續兩車輛，前車動作對於後車的影響情形。再者，藉由合理假設系統車的反應參數(例如：1 秒反應時間、速率、減速度等)，由控制軟體設定號誌和綠燈倒數計時器啟動的條件，讓車輛與交控設施互動的情形較簡便與合理。

對於系統車和受測者，為有效捕捉時相轉換下之駕駛行為，以及減少實驗的時間，對於受測者皆有以下之說明與要求：

- (1) 路段中車輛以接近速限之速率前進
- (2) 受測者應保持與系統車跟車的狀態



圖 3 (左圖)綠燈倒數計時資訊與(右圖)時相轉換且前車煞車情境

基於時間與成本的考量，本研究共招募 11 名受測者，八位男生與三位女生，年齡均在 35 歲以內，均具有 2 年以上的開車，且有多次行經綠燈行車倒數計時器之經驗。在實驗之前，先給予其熟悉駕駛模擬系統操作特性之練習時間，對於發生碰撞的情況，給予其休息一段時間後，再行重新實驗以獲得合理的數據供作分析。

#### 伍、模擬實驗分析

本節先進行資料概況說明之後，再針對追撞風險與危險行為，分別進行相關因子分析結果的探討。

## 5.1 資料概況

以車間距作為範例，來瞭解駕駛者在該情境下的反應情形，在圖 4 中，橫軸代表試驗路口的編號，在 50 km/h 的速限下，R1 到 R4 分別代表試驗 1 到試驗 4；而 R1' 到 R4' 為同樣的順序，但在 60 km/h 速限的環境下進行模擬實驗。

本研究藉由盒鬚圖(Box-plot)的呈現，可以簡明地瞭解資料的趨勢和離散情形，當資料離散情形越大時，表示駕駛反應越趨多元化，就交通管理的角度而言，呈現較不安全的現象，需特別注意。

關於盒鬚圖的意義，其盒子的上下緣，分別代表資料 75 百分位數和 25 百分位數，所涵蓋的範圍即為中央 50% 資料的分佈範圍，可作為瞭解該組資料特性之用，若範圍越大，代表資料離散情形越嚴重，反之則代表資料分佈較集中。盒子內部的方框，為資料的中位數，代表較穩健的資料，可作為與他組資料比較的基準；圓圈和星號則分別代表離群值和極端離群值，其利用 75 百分位數與 25 百分位數的差距，即四分位距當作基準，盒子以外 1.5 倍到 3 倍四分位距的範圍，稱為離群值，而 3 倍四分位距以外的範圍，則稱為極端離群值；對於落在 1.5 倍四分位距範圍內的資料，在盒子的上方取最大值，盒子的下方取最小值，分別從盒子上下兩端向外延伸直線至最大或最小值，代表多數資料所分佈的範圍。

車間距定義為前車車尾到後車車頭間的距離，可參考圖 4，就中央 50% 資料的範圍而言，並沒有明顯大小的差異，表示各組路口資料分佈情形並無明顯的差異。

然就中位數而言(圖中方框)，有綠燈倒數資訊之實驗值均大於無綠燈倒數( $R1 < R2$ 、 $R3 < R4$ 、 $R1' < R2'$ 、 $R3' < R4'$ )，顯示駕駛人在有綠燈倒數相較於無綠燈倒數會維持較高車間距。本研究推測藉由提供綠燈資訊給後車駕駛者，在臨近時相轉換時，其會參酌前車對於本車加速通過路口的限制，有較早減速的現象產生。

根據國內高速公路及快速公路交通管制規則[28]第六條之規定，「汽車行駛高速公路及快速公路，前後兩車間之行車安全距離，在正常天候狀況下，依下列規定：一、小型車：車輛速率之每小時公里數值除以二，單位為公尺。…」，由此推得安全跟車間距在 50 km/h 和 60 km/h 之情境，各需 25 公尺和 30 公尺以上的距離，而資料顯示普遍有低於安全間距的現象，此與國內道路交通事故發生原因中，未保持安全跟車間距為常見事故因素的現象，有一致的傾向。

為瞭解速限對於車間距的影響是否有差異，考量數據資料為兩組獨立樣本，且各組路口的樣本數為 11 筆(未達統計 30 筆大樣本的要求)下，進行兩組樣本之變異數進行同質性的檢定，結果發現具有同質性，再進行獨立樣本 T 檢定(變異數均質)，來檢視兩組不同速限路口車間距的平均數，是否具有顯著的差異。結果可參考表 6，在顯著水準 0.05 下，數據資料均無顯著差異，亦即不同的速限下，駕駛者之跟車間距並無顯著的改變，此結果與曾倦賢等[25]實地觀測的研究成果一致，勢必對行車安全造成威脅，在不同行車速率時，應宣導保持安全車間距之重要。

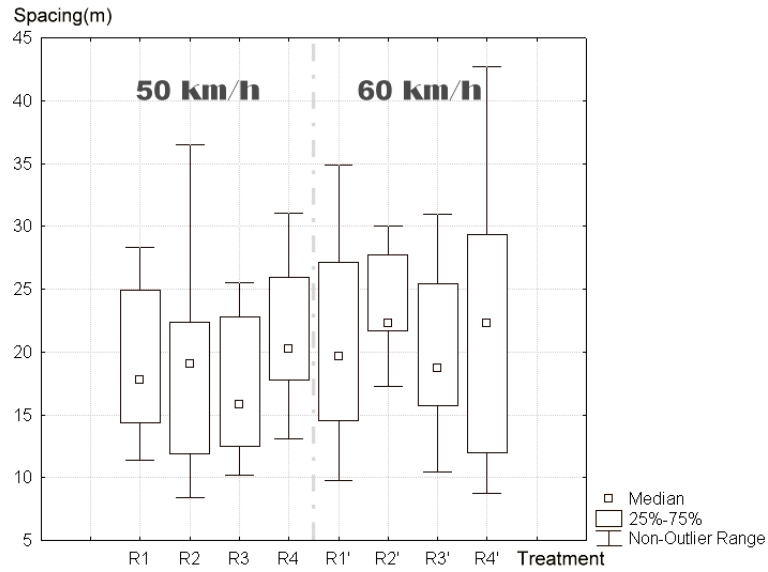


圖 4 各組合之車間距盒鬚圖

表 6 不同速限路口組合車間距之 T 檢定

路口組合	T 值	P 值	路口組合	T 值	P 值
R1 & R1'	-.32	0.75	R3 & R3'	-1.33	0.20
R2 & R2'	-1.69	0.11	R4 & R4'	-0.36	0.73

## 5.2 追撞風險評估

在利用變異數分析來瞭解各因子與交互作用影響之前，需先針對資料進行常態以及同質性的檢定，符合此兩項假設後，所得結果才具參考價值。初步檢定結果發現殘差具有煙囪現象，無法滿足變異數均質的假設，進行自然對數轉換後，資料均符合上述兩項假設，其迴歸模型可參考下式，相關參數請參考 4.3 節之說明。

$$\ln(y) = 1.31 - 0.25\alpha + 0.21\beta$$

就前車煞車急緩而言，對於碰撞時間有負的影響；而就綠燈行車倒數計時器而言，對於碰撞時間則有正的影響，且前車煞車的係數大於綠燈倒數的係數。

變異數分析的結果，可參考表 7，顯示在 0.01 顯著水準下，前車煞車急緩和綠燈行車倒數計時資訊均有顯著的影響，但彼此間的交互作用並不顯著。就交通上的意義而言，在本模擬環境中，若欲改善追撞事故的風險，應以增加碰撞時間為目標，在具體策略方面，從減少駕駛者緊急煞車行為，或提供綠燈行車倒數資訊給駕駛者二方面著手，其中，以改善緊急煞車行為成果較佳。

表 7 碰撞時間變異數分析

變異來源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
A(前車煞車急緩)	5.66	1	5.66	28.13	< 0.0001
D(綠燈行車倒數計時)	4.00	1	4.00	19.89	< 0.0001
AD 交互作用	0.39	1	0.39	1.94	0.1673

速限區集	0.02	1	0.02		
誤差	16.70	83	0.20		
總和	26.78	87			

### 5.3 危險行為分析

對於三種危險行為，由於屬於離散型的資料(有或無)，再加上原本對於影響因子均設定為離散型的變數(高或低水準)，形成自變數和依變數均為離散型的資料。因此，利用羅吉斯迴歸模式來瞭解各項因素對於危險行為的影響情形，分析流程為先檢定整個變數顯著與否，其次為顯著變數間相關性的檢測，再把通過檢測的顯著變數納入羅吉斯迴歸模式，利用向後 wald 法進行顯著類別的檢定。

駕駛者在臨近路口時，在無前車影響的狀況下，乃根據本身判斷進行路口通過或是減速煞停的行為，此兩種互斥的行為直接影響到本研究所探討三種危險行為的發生。其中，闖紅燈包含通過或煞停的行為，但對黃燈加速超過速限與緊急煞車而言，分別僅有通過或煞停的行為，因此，在資料分析上，分別針對資料先進行通過與煞停的分群之後，再分配給對應的危險行為作分析。相關因素設定與資料概況可參考表 8。

表 8 影響路口危險行為因素分類與設定

因素	類別	通過路口(1)	減速煞停(2)	總數=(1)+(2)	參照
黃燈始亮離路口距離	較大 (>42m)	20	24	44	*
	較小(22~42m)	11	33	44	
綠燈行車倒數	無	18	26	44	*
	有	13	31	44	
速限	50 km/hr	6	38	44	*
	60 km/hr	25	19	44	

\*表示以該分類作為該變數內分類比較的基準

關於闖紅燈與緊急煞車的檢定結果，可參考表 9、10，可發現對於闖紅燈而言，雖實驗結果並無顯著影響的類別，但由於僅有 4 筆資料有闖紅燈，故無法加以論定影響效果；而在緊急煞車方面，黃燈始亮離路口遠近與有無綠燈行車倒數皆有顯著的影響，其中離路口停止線較近的係數值為正，表示有較高發生緊急煞車的機率，而有綠燈倒數的係數值為負，顯示有較低發生緊急煞車的機率。在黃燈加速超過速限方面，則並無顯著影響的變數。

表 9 影響闖紅燈之因素與勝算比

變數	參數估計	勝算比	標準差	Wald	自由度	P-value	顯著性
速限 60 km/h	-8.900	0.0	40.831	0.048	1	0.827	
常數	-2.303	0.1	0.524	19.280	1	0.000	*

\*表示在顯著水準 0.01 下，該因素有顯著影響

表 10 影響緊急煞車之因素與勝算比

因素	參數估計	勝算比	標準差	Wald	自由度	P-value	顯著性
離路口停止線較近	2.834	17.02	1.11	6.51	1	0.011	*
有綠燈倒數計時器	-3.468	0.031	1.142	9.21	1	0.002	*
常數	-2.054	0.128	0.475	18.7	1	0.194	

\*表示在顯著水準 0.01 下，該因素有顯著影響

## 陸、結論與建議

綜合以上實驗結果，茲將結論整理如下：

1. 模擬實驗結果顯示，多數駕駛者未保持安全跟車間距，且不同的速限下 (50km/h、60km/h)，車間距也無明顯的差異，呼應國內道路交通事故發生主因當中，未保持安全跟車間距的問題。
2. 前車煞車急緩與綠燈行車倒數資訊顯著影響追撞事故的風險，有前車緊急煞車會有較高的風險；而有提供綠燈行車倒數資訊則有較低的風險，而提供停止線前第二部車輛較安全的環境。其中，駕駛者受到前車煞車影響程度較大。
3. 在無前車情境下遭遇時相轉換，黃燈始亮離路口距離與綠燈行車倒數資訊有顯著影響緊急煞車的行為，當離路口距離較近或無綠燈倒數資訊時，有較高發生緊急煞車的機率。

本研究之建議如下：

1. 在本實驗中，速限對於追撞與危險行為的影響並不顯著，其可能原因有二，(1)固定基底駕駛模擬器本身車行動態上的限制；(2)10 km/h 的速率差可能並不顯著影響駕駛者行為，此推論並無有力之證明，需搭配實車或動態特性較佳之駕駛模擬系統，方能有效評估此一論述。
2. 對於闖紅燈的危險行為而言，由於分類的樣本數不足，以及模擬實驗時駕駛者心理與現實道路的差異，本實驗並無法提供適合的評估結果。
3. 實驗結果僅針對小汽車和流量低的狀況作分析，而台灣交通環境中，機車車流或是橫向路口車輛提早起步等現象，均是可能干擾駕駛行為的因素，建議後續研究可納入考量。
4. 對於綠燈倒數計時器對追撞事故的影響，建議將本研究成果搭配裝設前後路口追撞事故特性的研究，能更深入瞭解其的影響情形。
5. 由於有綠燈倒數資訊能導致較高的碰撞時間值，代表較安全的環境。因此，若能給予駕駛者在通過路口決策上，有一致性的參考，設置綠燈倒數計時裝置在追撞的預防方面是合宜可行。

## 參考文獻

1. Campbell, K. L. et al., Detailed Planning for Research on Making a Significant Improvement in Highway Safety (Study 2-Safety), NCHRP

- Project 20-58[2], Transportation Research Board, 2003.
2. Lerner, N., Llaneras, R., Smiley, A., and Hanscom, F., Comprehensive Human Factors Guidelines for Road System, NCHRP Project 17-18[08], Transportation Research Board, 2005.
  3. 交通部運輸研究所，2001年台灣地區公路容量手冊，民國90年。
  4. Roess, R.P. et al., Traffic Engineering, 3rd Edition, Prentice Hall, pp.515-517, 2004.
  5. 周義華、周榮昌、李銷桂，「時相轉換下猶豫區間之研究」，運輸學刊，第十一卷，第一期，頁73-90，民國88年。
  6. 劉正旭，號誌化交叉路口黃燈對駕駛者決策行為之研究，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，民國82年。
  7. 陳威杉，快速道路號誌路口變換時段下之駕駛行為研究，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國87年。
  8. Moon, Y. J. et al., "System Integration and Field Tests for Developing In-Vehicle Dilemma Zone Warning System," Transportation Research Record, No. 1826, Paper No. 03-3081, 2003.
  9. Pant, P. D. et al., Field Testing and Implementation of Dilemma Zone Protection and Signal Coordination at Closely-Spaced High-Speed Intersections, Report No. FHWA/OH-2005/006, 2005.
  10. Suzuki, K. et al., "Analysis on Driver's Risky Behaviors at Signalized Intersections during Inter-Green Periods," 11th World Congress on ITS, 2004.
  11. Curry, R.C. et al., NADS versus CAMP Closed-Course Comparison Examining "Last Second" Braking and Steering Maneuvers Under Various Kinematic Conditions. Performed by Crash Avoidance Metrics Partnership (CAMP), DOT HS 809 925, Contract DTFH61-01-X-00014, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, 2005.
  12. Kuge, N. et al., "A Study on the Causes of Rear-End Collision Based on an Analysis of Driver Behavior," JSAE review, Vol. 16, Issue 1, pp.55-60, 1995.
  13. Lee, J. D. et al., "Collision Warning Timing, Driver Distraction, and Driver Response to Imminent Rear-End Collision in a High-Fidelity Driving Simulator," Human Factors, Vol. 44, No.2, pp.314-334, 2002.
  14. Minderhoud, M. M., "Extended Time-to-Collision Measures for Road Traffic Safety Assessment," Accident Analysis and Prevention 33, pp.89-97, 2001.
  15. Sultan, B. and McDonald, M. "Assessing the Safety Benefit of Automatic Collision Avoidance Systems". Proc. of the 18th Int. Technical Conf. on the Enhanced Safety of Vehicles (18th ESV), 2003.
  16. 吳宗修、詹善斌，「號誌倒數計時器對駕駛行為影響之研究」，93年道路交通安全與執法國際研討會論文集，頁455-467，民國93年。
  17. Knodler, M. A. et al., "Evaluation of Traffic Signal Displays for

- Protected-Permissive Left-Turn Control Using Driving Simulator Technology,” *Journal of Transportation Engineering*, pp.270-278, 2005.
18. 交通部運輸研究所，應用駕駛模擬系統開發智慧型運輸系統實驗平臺之軟硬體規劃設計(1/4)，民國 94 年。
  19. Lora, W. V. and Shinar, D., “Effects of Uncertainty, Transmission Type, Driver Age and Gender on Brake Reaction and Movement Time,” *Journal of Safety Research*, Vol. 33, Issue 1, pp. 117-128, 2002.
  20. 謝昀霖，應用駕駛模擬平臺探討駕駛者分心行為—以車前防撞系統為研究實例，成功大學交通管理科學研究所碩士論文，民 94 年。
  21. 王濟川、郭志剛，*Logistic 迴歸模型：方法及應用*，五南圖書出版公司，民國 92 年。
  22. SAE J2400, *Forward Collision Warning System: Operating Characteristics and User Interface Requirements Information Reprint (Draft)*, 2002.
  23. AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets 2001*, 4th edition, 2001.
  24. ISO 15623, *Transport Information and Control Systems – Forward Vehicle Collision Warning Systems – Performance Requirements and Test Procedures*, 2002.
  25. 曾倦賢，劉嘉福、李光偉、陳銘旭，國內用路人跟車行為潛在風險性分析與前方防撞系統發展之關聯性，93 年道路交通安全與執法國際研討會論文集，頁 163-177，民國 93 年。
  26. 交通部運輸研究所，標誌標線號誌設置基準之人因工程初探，民國 91 年。
  27. 交通部，*道路交通標誌標線號誌設置規則*，民國 92 年。
  28. 交通部，*高速公路及快速公路交通管制規則*，民國 95 年。取自 <http://law.moj.gov.tw/Script/s/Query4A.asp?FullDoc=all&Fcode=K0040019>
  29. [s/Query4A.asp?FullDoc=all&Fcode=K0040019](http://law.moj.gov.tw/Script/s/Query4A.asp?FullDoc=all&Fcode=K0040019)

