

機車紅燈怠速熄火節能減碳效果評估

EVALUATING THE EFFECT OF MOTORCYCLE IDLING STOPS DURING RED TIME ON ENERGY SAVING AND CARBON REDUCTION

吳健生 Jiann-Sheng Wu¹

謝玟倩 Wen-Chien Hsieh²

(100 年 9 月 30 日收稿，101 年 2 月 9 日第一次修改，101 年 6 月 7 日第二次修改，
101 年 8 月 21 日第三次修改，101 年 10 月 1 日第四次修改，101 年 12 月 10 日定稿)

摘 要

為因應全球暖化之重大議題，本研究特針對全國機動車輛持有數最多之機車，進行號誌化路口紅燈怠速熄火意願之分析。其主要目的，是在藉由影響怠速熄火意願因素之改變，評估可能帶來之節能減碳效果。依據存活分析法建構 Cox 等比例危險模式並經校估後發現，節能減碳熄火意願、油價上漲熄火意願、依從熄火意願、立法規範熄火傾向以及教育程度 5 個因素，對機車騎士紅燈怠速熄火之意願具有顯著的影響。另由單一路口評估結果得知，影響節能減碳效果最大者為油價上漲因素，最高可達到全年約 90 公噸之 CO₂ 減量；影響最小者則為教育程度，但亦可達到全年約 1.6 公噸之 CO₂ 減量。

關鍵詞：紅燈怠速熄火；節能減碳；存活分析法；Cox 等比例危險模式

-
1. 國立中央大學土木工程學系副教授（聯絡地址：32001 桃園縣中壢市中大路 300 號國立中央大學土木工程學系；電話：(03) 4227151 ext. 34130；E-mail：wjs@ncu.edu.tw）。
 2. 國立清華大學專任助理（聯絡地址：屏東縣竹田鄉羅村永興路 59 之 13 號；電話：0937382980；E-mail：demonfor99@hotmail.com）。

ABSTRACT

To respond to the major issue of global warming, this study investigates the inclination to idling stops during red time at signalized intersection, focusing on the domestic most popular traffic mode-motorcycle. The main purpose is to evaluate the effect on energy saving and carbon reduction by changing the influence factors of willingness for idling stops. After calibrating the Cox proportional hazard model originated from the survival analysis, we found that a total of five factors: i.e. willingness to save energy and reduce carbon, oil price rise, willingness to stop idling, following other motorcyclists, an inclination to rule stop idling by legislation, and education, may significantly influence the motorcyclists' willingness for idling stops. By evaluating a real signalized intersection, we further found that the oil price rise is the most effective factor on energy saving and carbon reduction, which may result in a CO₂ reduction of as high as 90 tons a year. On the contrary, education plays the least effective role, it can also reduce 1.6 tons CO₂ emission in a year.

Key Words: *Idling stops during red time; Energy saving and carbon reduction; Survival analysis; Cox proportional hazard model*

一、前言

基於特殊之社會、經濟與環境發展條件，使得臺灣地區之機車持有數始終居高不下。根據交通部統計處之統計^[1]，至民國 98 年 12 月底為止，臺灣地區機車總登記數已高達 1,460 萬輛，可以推知使用機車所排放之溫室氣體 (greenhouse gas) 勢必相當可觀。另根據經濟部能源局之分析^[2]，我國運輸部門由於公路客貨運輸需求的增加，使得燃燒石化燃料所產生之二氧化碳 (CO₂) 排放量由民國 79 年之 19,545 千公噸，約占全國 CO₂ 總排放量之 17.6%，增加至民國 99 年之 35,317 千公噸，約占全國 CO₂ 總排放量之 13.9%。前後相比，雖然全國所占比例降低，但排放噸數卻增加了 80.7%，年均成長率為 4.03%。就國內公路機動車輛數而言，機車仍為目前使用之最大宗，故其所排放之廢氣對溫室效應的助長自不可忽視。此外，自「聯合國氣候變遷綱要公約」之「京都議定書」於 2005 年 2 月 16 日正式生效以來，世界各國無不積極推動溫室氣體減量政策，以降低溫室效應所導致之地球暖化與極端氣候現象。值此重大議題全球發酵之際，政府相關部門自當亟思改善使用機車所造成之環境衝擊。若能由使用方法著手，不涉及機構或設備的改造，則將較為簡單易行。基於此一原則，本研究特由號誌化路口機車紅燈怠速熄火 (idling stops during red time) 著手，希冀藉由機車騎士配合意願之改變，評估可能達成之節能減碳效果。

怠速熄火 (idling stops) 可定義為：「因臨時停車、紅燈停等或交通阻塞等因素而關閉車輛引擎」^[3]，於本研究中則是專指因路口紅燈停等而關閉機車引擎之行為。怠速熄火對節能減碳具有實質的效果，早年亦曾在德國試行過^[4]，然而當時是以路口加裝藍色號誌

之方式來提示汽車駕駛人啟閉引擎。目前國內雖尚無類似的作法，但重要路口已陸續加裝紅燈倒數計時裝置，提供紅燈怠速熄火參考之良好條件。本研究在目前尚無類似案例之情況下，首先藉由條件評估法 (contingent valuation method) 進行假設性市場行為之調查與分析，並依據調查結果資料，利用存活分析法 (survival analysis) 建構 Cox 等比例危險模式 (Cox proportional hazard model, Cox PHM)，以確認影響機車騎士紅燈怠速熄火意願之因素；其次以一實際路口為例，藉由 Cox PHM 推估影響因素改變或怠速熄火意願提升後，整體機車騎士熄火時間之增量。最後，再將此增量轉換為油耗與 CO₂ 之減量，以檢視機車紅燈怠速熄火措施對節能減碳可能產生之實質效果。其主要目的，是在藉由事先客觀量化之效益評估，確認未來實施機車紅燈怠速熄火政策之節能減碳效果。

二、文獻回顧

存活分析法主要在使用相關統計模式，檢視特定事件發生時間，或存活時間 (survival time) 之機率。自 1972 年 Cox^[5] 引介 Cox PHM 以來，存活分析法開始受到普遍地應用，在交通運輸領域方面亦不例外。Tiwari 等人^[6] 選定印度新德里 7 個路口，使用攝影機拍攝行人穿越路口之行為，並依據記錄資料以 Kaplan-Meier 法建立存活模式，分析行人穿越路口之存活率。結果顯示，行人於路口願意等候的時間愈長，存活率即愈高，但男性之存活率低於女性。陳怡君^[7] 選取飛行班次、可售座位數、載客人數、商務航線以及與高鐵重複航線之起迄點作為變數，利用存活分析法探究影響國內航線營運之存活因素。結果發現，可售座位數、商務航線以及與高鐵重複航線之起迄點三者，為影響國內航線營運生存之重要因素。

蕭羽媛^[8] 採用條件評估法設計問卷進行調查，並將調查所得機車騎士紅燈願意熄火時間作為存活分析之觀測時間，結合相關熄火意願變因建構 Cox PHM。研究結果得知，全球暖化認知、熄火降低排碳傾向、執法規範信念、熄火依從信念、年齡以及家庭人數 6 個因素，對熄火風險具有顯著的影響。蘇殷甲^[9] 延續上述方法，擴大調查分析影響機車騎士紅燈怠速熄火意願之變因，並進一步採用 Cox 分層方法 (stratified Cox procedure) 建構等比例危險之關係。研究結果顯示，節能減碳認知、機車使用特性、健康認知以及個人屬性 4 大類變數，確實能夠有效解釋機車騎士紅燈怠速熄火之意願；同時，並由模式推估出解釋變數值，即怠速熄火意願改變後，熄火時間可能增加之效益。吳健生等人^[10] 整合上述兩項研究結果，校估出顯著影響紅燈怠速熄火意願之 6 個變數，即全球暖化認知、紅燈怠速熄火降低污染意願、執法規範信念、熄火依從信念、年齡以及家庭人數；並藉由相對風險 (relative risk) 概念及問卷調查結果，分析變數值改變後，全體機車騎士熄火意願改變之比例。

有關使用車輛耗能排碳之研究，散見各相關領域。莊志偉^[11] 根據車輛研究測試中心之研究，推估臺灣地區一年內機車怠速熄火之效益約為 31 萬公噸 CO₂ 減量，相當於節省

28 萬公秉燃油。洪金火^[12]針對機車路口紅燈停等時，熄火再啟動與怠速運轉間之差異進行研究，並採用國內市占率最高之 3 種廠牌機車，以 5 種運轉型態行駛 5 個週期進行測試。結果顯示，熄火再啟動之廢氣排放量明顯低於怠速運轉。FORMOSUN 先進動力研究中心^[13]亦採用類似實驗方式，測試車輛怠速熄火再啟動對油耗及廢氣排放之影響，並以 TOYOTA VIOS 1500cc 型汽車及 YAMAHA SR125 型機車，分別進行 30、60、90、120、180、300、900 與 1,800 sec 之怠轉測試。結果發現，機車怠速之油耗與時間成正比，且怠速油耗約為 0.053 g/sec (0.0726 c.c./sec)，相當於每分鐘油耗 4.35 c.c.。至於污染排放，亦約與怠速時間成正比。就 CO₂ 而言，YAMAHA SR125 之排放量約為 0.1187 g/sec，相當於每分鐘排放 7.122 g；而 CO 之排放量則約為 0.01625 g/sec，相當於每分鐘排放 0.975 g。

Yoshitaka 與 Masaaki^[3]將怠速熄火行為分為停車怠速與行駛中怠速兩大類，並以問卷方式調查駕駛人怠速熄火之行為。結果顯示，駕駛人不願怠速熄火的主要原因包括避免車輛啟動時延滯、不及啟動以及心理因素等。然若車輛配備怠速熄火支援系統，則願怠速熄火之比例達到 81.9%。最後並以一普通車輛與二配備怠速熄火支援系統之車輛，同步行駛於市區及郊區進行油耗分析。經由 Hokkaido 行駛至 Kagoshima 共 3,717 km 之後發現，配備怠速熄火支援系統之車輛其油耗於市區較未配備者減少 13.4%，於郊區則減少 3.4%，足以證明怠速熄火確可節省油耗，降低 CO₂ 之排放量。Li 等人^[14]提出一整合車流品質、汙染排放及燃油消耗之最佳化號誌配時方式，並於南京市一號誌化路口進行實證分析。結果顯示，號誌週期經最佳化之後，平均每車停等延滯降低 4.1 sec，HC、CO 及 NO_x 之排放量則分別減少 243.5、2,197.7 及 55.9 g/h。

由以上文獻回顧結果得知，車輛怠速熄火確實能夠減少燃油消耗與廢氣排放，而減量大小則視怠速熄火時間而定。另由蕭羽媛^[8]、蘇殷甲^[9]及吳健生等人^[10]之研究亦得知，Cox PHM 不但可用於分析機車紅燈怠速熄火行為及其影響因素，同時亦可用其推估怠速熄火意願改變後，整體機車騎士意願改變之比例，然其節能減碳之效果則仍有待進一步地評估。有鑑於此，本研究特延續以上之研究，繼續採用 Cox PHM 分析紅燈怠速熄火時間之增量 (increment of idling stop time)，並將結果與引擎轉油消耗及廢氣排放相結合，進而推估出整體節能減碳之效果。睽諸目前國內、外相關之研究，均尚未將存活理論如此完整地應用於車輛節能減碳之分析，此亦為本研究在方法上所亟思之突破。

三、研究方法

本研究首先利用問卷調查資料，經由模式配適檢定與等比例危險檢定建構 Cox PHM，以確認對機車騎士紅燈怠速熄火意願具有顯著影響之解釋變數 (影響因素)；其次藉由解釋變數值的改變，即熄火意願的改變，推估可能增加之紅燈怠速熄火時間 (idling stop time)，而後據以評估其對節能減碳所能產生的效果。紅燈怠速熄火時間之增量，為紅燈願意熄火時間 (定義詳見第四節) 之改變量與整體機車騎士熄火意願改變比例之乘積。

前者可透過中位存活時間 (median survival time) 加以推斷，而後者則可依據相對風險 (relative risk, RR) 概念予以估算。由此可知，本研究所採用之方法至少包括 Cox PHM、模式配適檢定、等比例危險檢定、相對風險以及中位存活時間，以下分節說明其相關理論及推估之方法。

3.1 Cox 等比例危險模式

本研究採用 Cox PHM 探究影響機車紅燈怠速熄火時間之因素，而此一模式是以存活分析法作為其理論基礎。存活分析法係利用統計方法，觀察分析個體經過某一特定時間後，發生某特定事件之機率，而此特定事件稱之為失敗 (failure) 或死亡 (death)，其生存持續之時間則稱為存活時間。存活時間為存活分析中一重要變數，其定義必須符合量測起點明確、量測單位須定義以及量測終點明確 3 項基本要求^[15]。由於資料蒐集與觀測時間的落差，一般多會產生所謂的設限資料 (censored data) 問題，即對某些個體之存活時間缺乏完整的資訊，以致無法正確得知其完整之存活時間。設限資料發生之原因主要有研究個體尚未經歷失敗事件、失去對研究個體之追蹤以及研究個體在研究期間內發生脫離等。存活分析時並非將設限資料捨棄，而是將其有用部分保留納入，以避免偏誤。

建構機車紅燈怠速熄火危險函數 (hazard function) 以前，須先針對紅燈怠速熄火之存活函數 (survival function) 加以定義。令機車紅燈怠速不熄火時間，即存活時間 T 為一非負之連續性隨機變數，則 T 之累積分配函數 $F(t)$ 表示存活時間 T 小於時間 t 之累積機率，其函數式如下：

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(x) dx \quad (1)$$

其中 $f(x)$ 為存活時間 x 之機率密度函數。存活函數 $S(t)$ 用以表示存活時間達 t 以上之機率，即機車紅燈停等不熄火持續達 t 以上時間之機率，其函數式為：

$$S(t) = P(T \geq t) = 1 - P(T \leq t) = 1 - F(t) = \int_t^\infty f(x) dx \quad (2)$$

危險函數用以衡量瞬間發生失敗或死亡事件，即機車紅燈怠速熄火行為之機率。因此，在某一時點 t 依然存活或不熄火之條件下，於下一刻 $(t + \Delta t)$ 發生死亡或熄火之機率，即危險函數為：

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} \quad (3)$$

如對累積分配函數 $F(t)$ 做一階微分，可得存活或不熄火時間 T 之機率密度函數 $f(t)$ ，並可推導危險函數與存活函數間之關係如下：

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dS(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (4)$$

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{\Delta t \cdot P(T \geq t)} = \frac{f(t)}{S(t)} \quad (5)$$

由式(5)可知，機車於時點 t 發生紅燈怠速熄火之危險函數值，即機率值，等於機車於時點 t 存活或不熄火之機率與機車持續不熄火達 t 以上時間之機率的比值。

存活分析時，一般多運用危險函數來探討特定危險因素或變數與存活時間之關聯性。存活分析之優點為，不但能用來處理設限資料，而且亦能在無法確定真實函數型態之情形下，使用 Cox PHM 來建構存活模式。在基礎應用上，則可利用存活表 (survival table) 的建立，或以 Kaplan-Meier 法，觀察某群個體不同存活時間之累積存活率，並推估其存活曲線，以了解特定事件發生之存活經驗。

有鑑於此，並依循先前研究之經驗^[8-10]，決定採用 Cox PHM 來建構機車紅燈怠速熄火意願與解釋變數 (explanatory variables) 間之存活模式，其型式如下：

$$h(t) = h_0(t)e^{\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k} = h_0(t)e^{\sum_{i=1}^k \beta_i X_i} \quad (6)$$

其中 $h_0(t)$ ：基準危險函數 (baseline hazard function)；

β_i ：解釋變數 i 之參數；

X_i ：解釋變數 i ，含節能減碳認知、機車使用特性、健康認知以及個人屬性等 4 大變項，詳見 4.2 節；

k ：解釋變數之個數。

3.2 模式配適檢定

模式配適時，一般採用最大概似法 (maximum likelihood estimation) 來推估 Cox PHM 之參數值 β_i 。其方法為，假設 n 個樣本之中，有 m 個被觀測到發生事件，即願意紅燈怠速熄火，此 m 個樣本之存活時間，即不熄火時間依序為 $t_1 < t_2 < \dots < t_m$ 。令 $R(t_i) = \{j | t_j \geq t_i\}$ ，代表時間為 t_i 時之風險集合 (risk set)，即紅燈怠速熄火發生時間大於或等於 t_i ，或紅燈持續不熄火時間小於 t_i 之樣本所組成的集合。若機車騎士 i 在時間 t_i 時願意熄火，則其熄火機率占整個風險集合熄火機率之比例為：

$$P(\text{樣本 } i \text{ 熄火} | R(t_i) \text{ 中所有樣本熄火}) = \frac{h(t_i | X_i)}{\sum_{j \in R(t_i)} h(t_j | X_j)} = \frac{e^{\beta' X_i(t_i)}}{\sum_{j \in R(t_i)} e^{\beta' X_j(t_i)}} \quad (7)$$

式中 $x_i(t_i)$ 為樣本 i 在時間 t_i 時之解釋變數值向量， $x_i'(t_i) = [x_1(t_i), x_2(t_i), \dots, x_k(t_i)]$ ； β 為解釋變數參數之向量， $\beta' = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k]$ ， k 為解釋變數之個數。

推估參數時，一般多依循 Cox^[16] 之建議，採用偏概似函數 (partial likelihood function) 來校估參數值 β_i ，此一函數為上述 m 個獨立樣本熄火機率比之聯合機率分配：

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^m \frac{e^{\beta' x_i(t_i)}}{\sum_{j \in R(t_i)} e^{\beta' x_j(t_i)}} \quad (8)$$

式(8)取對數後，可得對數概似函數 (log likelihood function)：

$$LL = \ln L(\beta) = \sum_{i=1}^m \left(\beta' x_i(t_i) - \ln \left[\sum_{j \in R(t_i)} e^{\beta' x_j(t_i)} \right] \right) \quad (9)$$

解其一階與二階微分式，即可求得各 β_i 值。

參數校估完成後，必須進行配合適合度檢定，以確認變數是否具有顯著的影響；而概似比檢定統計量 (likelihood ratio test statistic, LRT) 則是最常用來檢定 Cox 迴歸模式的統計量之一，其算式如下：

$$\chi_{LRT}^2 = -2 \ln \frac{(\max \text{likelihood without the variable})}{(\max \text{likelihood with the variable})} = -2 [\ln L(\hat{\beta}_0) - \ln L(\hat{\beta})] \quad (10)$$

式中 $\hat{\beta}_0$ 與 $\hat{\beta}$ 分別代表縮減模式 (reduced model) 與全模式 (full model) 下所求得之最大概似估計值向量。若 $\chi_{LRT}^2 > \chi_{LRT, \nu}^2$ ，表示在 α 顯著水準下，拒絕虛無假設 (null hypothesis) $H_0: \beta=0$ ，其中 ν 為自由度。此一檢定統計量不但適用於整體模式之配適，同時亦適用於個別參數值 β_i 之檢定。

3.3 等比例危險檢定

模式配適完成後，必須進一步進行解釋變數之等比例檢定，以檢視其是否符合 Cox PHM 等比例之基本假設。檢定等比例危險假設 (proportional hazards assumption) 的方法有圖形法 (graphical techniques)、配適檢定法 (goodness-of-fit test) 以及時間依存變數法 (time-dependent variables) 3 類，其中圖形法又可再分為 log-log 存活曲線法 (log-log survival curves) 及觀測值與期望值圖形對照法 (observed versus expected plots) 兩種^[17]。Log-log 存活曲線法因其簡單易行，故常被用來檢定 Cox 等比例危險之假設，而本研究亦不例外，採用其作為檢定的方法。

Log-log 存活曲線之名稱，係因針對存活函數取兩次對數轉換而來，而兩次對數轉換後取其負值之目的，是在將取對數後所產生之負值改變為正值。已知危險函數 $h(t)$ 與存活

函數 $S(t)$ 間具有以下基本關係式^[17]：

$$S(t) = e^{-\int_0^t h(u) du} \quad (11)$$

將式(6)之 Cox PHM 代入式(11)，經推導之後得：

$$S(t) = [S_0(t)]^{e^{\sum_{i=1}^k \beta_i X_i}} \quad (12)$$

式中 $S_0(t)$ 為基準存活函數 (baseline survival function)。式(12)取一次對數後得：

$$\ln S(t) = e^{\sum_{i=1}^k \beta_i X_i} \times \ln S_0(t) \quad (13)$$

由於式(13)兩邊 $S(t)$ 與 $S_0(t)$ 之機率值均小於 1，取對數以後均為負值，因此必須各乘以一負號，而後再取第二次對數得：

$$\begin{aligned} \ln[-\ln S(t)] &= \ln \left[-e^{\sum_{i=1}^k \beta_i X_i} \times \ln S_0(t) \right] = \ln \left[e^{\sum_{i=1}^k \beta_i X_i} \right] + \ln[-\ln S_0(t)] \\ &= \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \ln[-\ln S_0(t)] \end{aligned} \quad (14)$$

式(14)兩邊各再乘以一負號，即得：

$$-\ln[-\ln S(t)] = -\sum_{i=1}^k \beta_i X_i - \ln[-\ln S_0(t)] \quad (15)$$

今假設考慮兩組不同之解釋變數向量值，令其分別為 $X_1' = [X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1k}]$ ， $X_2' = [X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2k}]$ ，則：

$$\begin{aligned} & -\ln[-\ln S(t, X_1)] - \{-\ln[-\ln S(t, X_2)]\} \\ &= \left\{ -\sum_{i=1}^k \beta_i X_{1i} - \ln[-\ln S_0(t)] \right\} - \left\{ -\sum_{i=1}^k \beta_i X_{2i} - \ln[-\ln S_0(t)] \right\} \\ &= \sum_{i=1}^k \beta_i (X_{2i} - X_{1i}) = \beta'(X_2 - X_1) \end{aligned} \quad (16)$$

由此可知，兩存活函數取兩次對數及負值之後，其差異為固定。若分別繪製兩組變量之 log-log 存活曲線於同一圖形上，則兩條曲線應呈上下平行之狀態，亦即在任一存活時間 t ，兩條曲線之差距均應固定為 $\beta'(X_2 - X_1)$ ，如圖 1 所示。若未呈現上下平行狀態，或甚至出現相互交錯之情形，即表示該解釋變數不符合等比例之要求，不適合納入 Cox 模式。

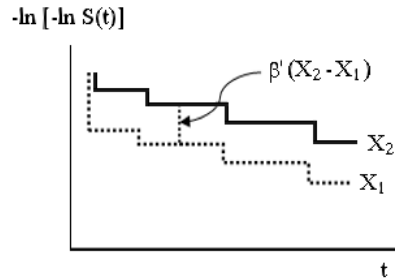


圖 1 log-log 存活曲線圖

3.4 中位存活時間

中位存活時間 (median survival time) 或稱半存活期，係指對應於存活機率值為 0.5 時之存活時間，亦即在該存活時間點上恰有一半之研究樣本存活。求取中位存活時間的方法如圖 2 所示，首先根據樣本資料繪製存活曲線圖，並在縱軸上選取存活機率值 $S(t)=0.5$ ，而後由此點平拉一垂直縱軸之直線至與存活曲線交會為止，接著再由此交會點向下直拉一垂直線至時間橫軸，而其所對應之時間即為中位存活時間。

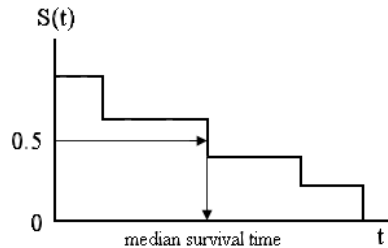


圖 2 中位存活時間

中位存活時間作為群體存活時間的代表，而於本研究中，主要用來判斷機車騎士不同態度傾向時，其紅燈願意熄火時間（定義詳見第四節）之改變。例如當「立法規範熄火傾向」由「普通」提升為「同意」時，可針對「立法規範熄火傾向」此一解釋變數分別繪製「普通」與「同意」兩種認知之存活曲線，而後再分別取其中位存活時間進行比較，即可得知兩者的差異。假設中位存活時間由「普通」認知時之 60 sec，降低至「同意」認知時之 40 sec，表示「立法規範熄火傾向」認知提高之後，機車騎士由原先至少須剩餘 60 sec 紅燈才願意熄火，轉變為 40 sec 紅燈即願意熄火，兩者相差 20 sec。此一願意熄火時間之改變，經加總及轉換之後，即可得知其節能減碳的效果。

3.5 相對風險

如上節所述，認知的改變雖可降低紅燈願意熄火時間，但並非所有機車騎士均跟隨改變。因此必須進一步評估整體熄火願意改變之比例，而相對風險即是用來評估此一比例最好之方法。相對風險或稱危險比 (hazard ratio)，係用來表示死亡風險或危險之預期改變量，於本研究中則表示解釋變數值改變時，例如「立法規範熄火傾向」認知由「普通」改變為「同意」時，對紅燈怠速熄火風險之影響。令解釋變數值改變前後之向量分別為 $X' = [X_1, X_2, \dots, X_k]$ 與 $X^{*'} = [X_1^*, X_2^*, \dots, X_k^*]$ ，模式參數向量 $\beta' = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k]$ ，則相對風險定義為

$$RR = \frac{h(t | X^*, \beta)}{h(t | X, \beta)} = \frac{h_0(t) e^{\beta' X^*}}{h_0(t) e^{\beta' X}} = e^{\beta'(X^* - X)} = e^{\sum_{i=1}^k \beta_i (X_i^* - X_i)} \quad (17)$$

實際應用時，通常會在其他變數值固定之條件下，僅針對某一解釋變數，分析其值改變後對死亡風險之影響。例如針對 X_j 變數進行相對風險分析，因其他變數值不變，故：

$$RR_j = e^{\sum_{i=1}^k \beta_i (X_i^* - X_i)} = e^{\beta_j (X_j^* - X_j)} = e^{\beta_j X_j^* - \beta_j X_j} = \frac{e^{\beta_j X_j^*}}{e^{\beta_j X_j}} \quad (18)$$

當 X_j 為 0 或 1 之二元變數 (dichotomous variable) 時，其值由 0 改變為 1 之後，相對風險可進一步簡化為：

$$RR_j = \frac{e^{\beta_j \cdot 1}}{e^{\beta_j \cdot 0}} = e^{\beta_j} \quad (19)$$

縱使解釋變數並非二元，但若其改變量為 1，則式(19)仍適合用來計算相對風險。例如「立法規範熄火傾向」變數分為「不同意」、「普通」與「同意」3 個等級，分別定義其值為 1、2 與 3。若由原先之「普通」改變為「同意」，即變數值由 2 改變為 3，則其相對風險仍為 e^β 。

相對風險 $RR=1$ 時，表示死亡風險不變； $RR < 1$ 時，表示死亡風險降低，事件存活機率增加； $RR > 1$ 時，則表示死亡風險增加，事件存活機率降低。因於本研究中，死亡代表紅燈怠速熄火之意願，故相對風險大於 1 時，才會增加紅燈怠速熄火意願之機率；且其值愈大，增加之機率亦愈高。而所增加之機率 $(RR-1) \times 100\%$ ，即為整體機車騎士意願改變之比例。例如 $RR=1.12$ 時，整體意願增加之比例即為 $(1.12-1) \times 100\% = 12\%$ 。

四、問卷調查與分析

由於目前尚未實施號誌化路口機車紅燈怠速熄火措施，無法經由實際觀測獲得相關資料，因此改採問卷調查方式，探詢機車騎士紅燈怠速停等時，關閉引擎等候之意願，而後再由其意願推估潛在之節能減碳效果。另本研究主要採用之分析模式為 Cox PHM，由 3.1 節得知，此一模式主要依循存活理論來建構機車紅燈怠速熄火機率與解釋變數間之關係式。因此模式配適前，須先透過問卷調查方式取得存活時間與解釋變數兩種資料。

有鑑於實際運作時，是以紅燈剩餘秒數作為機車騎士參考之指標，因此建模所用之存活時間將以紅燈剩餘秒數作為計量單位，並定義其為紅燈願意熄火時間。當紅燈願意熄火時間為 t sec 時，表示機車騎士到達路口遇紅燈停等時，至少還須剩餘 t sec 紅燈才會有熄火的意願。例如，某一機車騎士經詢問後得知，在紅燈剩餘 30 sec 時願意熄火停等，則其存活時間或願意熄火時間即為 30 sec。由於目前尚無法實際觀測機車紅燈怠速熄火之行為，因此改採條件評估法，在假設性實施措施之情境下，探求機車騎士之紅燈願意熄火時間。

至於解釋變數，主要用於說明影響危險事件，即機車騎士紅燈怠速熄火意願之原因。相關資料通常分為樣本背景屬性與可能影響因素兩大類，為求考慮更為周延，經參考相關研究^[8-10]後，最後設計出「節能減碳認知」、「機車使用特性」、「健康認知」以及「個人屬性」4 大屬性類別，每一屬性之下又再細分為若干變數。以下分節說明問卷設計之方法、內容及問卷調查之結果。

4.1 條件評估法

於本研究中，條件評估法係用於探詢機車騎士之紅燈願意熄火時間，所得結果將與解釋變數值同時輸入 Cox PHM 進行校估。條件評估法之概念最早是由 Ciriacy-Wantrup 於 1947 年所提出，建議採用直接訪談方式 (direct interview method) 來衡量自然資源的價值，而 Davis^[18]則率先將其應用於森林遊憩資源效益之評估。直到 1970 年，條件評估法才逐漸受到廣泛地應用。

條件評估法又稱為假設性市場評估法^[19]，係透過問卷設計與訪查，建立一假設性之商品市場，並藉由模擬市場中各種交易情形，衡量部分不存在於市場交易之環境財的貨幣價值^[20]，或評估自然財貨所產生之效益與成本^[21]，了解受訪者面對假設性商品時心目中之願付最大金額 (willingness to pay) 或願接受補償之最小金額 (willingness to accept)。由於條件評估法可預先評估尚未實現之市場效益，故適於探詢本研究所需之機車騎士願意熄火時間。

本研究運用條件評估法時，係透過問卷方式，針對特定情境建立不同之假設性狀況，直接觀察受訪者量化選擇之行為。具體而言，配合實例分析路口，在紅燈時間為 180 sec

之假設情境下，以 3 階段方式探詢機車騎士紅燈停等時之願意熄火時間，其過程舉圖 3(a) 為例說明如下：

- 第 1 階段：以中間值 90 sec 作為起點，詢問機車騎士是否願意在紅燈仍剩 90 sec 時熄火。若願意，則於第二階段降低秒數至 40 sec，否則提高秒數至 140 sec 後繼續追問。
- 第 2 階段：若願意在紅燈仍剩 40 sec 時熄火，則於第三階段降低秒數至 20 sec，否則提高秒數至 60 sec 後繼續追問。若願意在紅燈仍剩 140 sec 時熄火，則於第三階段提高秒數至 160 sec，否則降低秒數至 120 sec 後繼續追問。
- 第 3 階段：若願意在紅燈仍剩 20 sec 時熄火，表示其熄火意願介於 20 與 40 sec 之間，取中位數 30 sec 作為其願意熄火時間。若願意在紅燈仍剩 60 sec 時熄火，則取 40 與 60 sec 之中位數 50 sec 作為其願意熄火時間。同理，若願意在紅燈仍剩 120 sec 時熄火，則取 120 與 140 sec 之中位數 130 sec 作為願意熄火時間。若願意在紅燈仍剩 160 sec 時熄火，則取 140 與 160 sec 之中位數 150 sec 作為願意熄火時間。若於紅燈剩餘 160 sec 時仍不願意熄火，則視其為設限資料，表示縱使紅燈剩餘超過 180 sec 仍不願意熄火，即仍然存活。

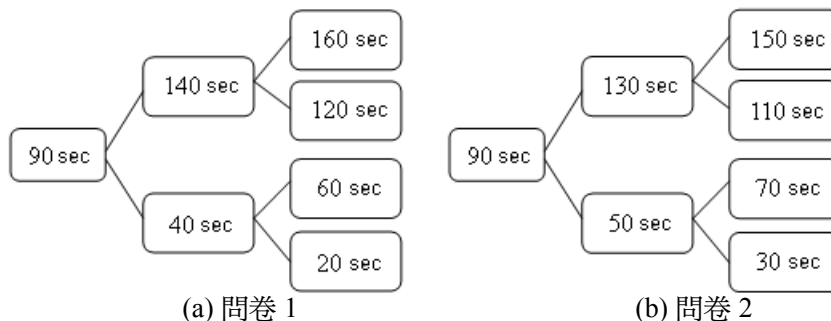


圖 3 條件評估法願意熄火時間詢價過程

為避免經由此種封閉式詢價方式，導致問題答覆落入固定之秒數區間，本研究特設計 2 種問卷，分別訂定不同之詢價上、下界（見圖 3），並採等比例方式發放問卷，藉以推估真實情況下機車騎士紅燈怠速熄火之意願。問卷結果顯示，在 603 份有效問卷中兩者各占 301 與 302 份，比例幾乎相等。

4.2 問卷設計

問卷調查之內容，除採條件評估法探詢機車騎士之紅燈願意熄火時間外，其餘影響熄火意願之解釋變數，則係根據周延性 (inclusiveness)、應用性 (applicability) 以及特徵性 (characteristic) 3 大原則進行設計^[10]，且均與熄火意願具有直接或間接之關聯。經仔細考

量之後，最後設計出「節能減碳認知」、「機車使用特性」、「健康認知」以及「個人屬性」4大屬性類別，每一類別之下又再細分為若干變數，其中個人屬性為受訪者之基本資料，故相關變數值均按實際情形加以量化，例如家庭人數依實際數量加以定義。其餘變數則涉及受訪者之心理態度與意向，適合採用李克特 5 尺度量表 (Likert 5-point scale)，劃分為 5 個等級；然而分析後發現，由於尺度過多樣本過少，效果呈現不出，因此改採 3 尺度量表 (3-point scale)，將其區分為不同意、普通以及同意 3 個等級。經設計之後，計得到 4 大類別，28 個項目，分別將其定義為變數 X1 至 X28，以下分類說明之。

1. 節能減碳認知

本類別是在詢問受訪者對節能減碳的認知與反應，包括溫室效應認知、熄火與節能減碳關聯認知、熄火再發動汙染不增認知、熄火行為效益認知、節能減碳熄火意願、立法規範熄火傾向、油價與使用機車意願以及油價上漲熄火意願，共 8 個變項。

2. 機車使用特性

本類別是在詢問受訪者機車使用的情形與意願，包括熄火對機車引擎損害認知、熄火對機車零件損害認知、熱車或冷車習慣、依從熄火意願、遵循指示熄火意願、熄火與交通安全認知、使用機車天數以及平均騎車距離，共 8 個變項。另根據 Yoshitaka 與 Masaaki^[3]之研究，擔心來不及啟動而發生延滯，會對車輛駕駛人之怠速熄火意願產生影響。然由蕭羽媛^[8]之問卷調查分析結果得知，國內機車騎士雖會擔心熄火之後來不及啟動而發生延滯，但經 Cox 等比例危險模式配適之後發現，此一因素對熄火意願的影響相對較小，並不具有顯著性，且此一延滯可藉由提早啟動加以克服，因此未將其納入。

3. 健康認知

本類別是在詢問受訪者對廢氣影響健康的理解與感受，包括廢氣影響健康認知、不熄火廢氣更增認知、選擇路徑趨避廢氣傾向、選擇替代運具趨避廢氣傾向以及因健康因素立法規範熄火傾向，共 5 個變項。

4. 個人屬性

本類別係在詢問受訪者個人之社經背景資料，以分析不同背景下其行為之差異，項目包括性別、年齡、家庭人數、教育程度、所得範圍、家戶持有機車數以及常用機車排氣量，共 7 個變項。

4.3 調查結果分析

本問卷調查共計發放 685 份問卷，扣除不完整及無效問卷 82 份，得到有效樣本數 603 份，約占整體樣本數之 88%。問卷調查時間為民國 99 年 4 月，採書面問卷及網路問卷兩種形式，其中網路部分有效問卷數為 418 份，書面部分則為 185 份。調查母體為 18 歲以上持有駕照且具有騎乘經驗之機車騎士，並採用便利抽樣法 (convenience sampling) 進行抽樣調查。為了解兩種形式之樣本資料是否一致，進一步採用交叉分析表進行一致性檢定 (test for homogeneity)，並以節能減碳熄火意願變數 (X5) 為例說明。首先進行假設檢定如

下：

H_0 : 網路問卷與書面問卷之意願全部一致；

H_1 : 網路問卷與書面問卷至少有一種意願不一致。

其次依據問卷資料建立如表 1 之交叉分析表，其中格位內數字為實際調查所得次數，括弧內數字則為在兩種問卷形式獨立之假設下，計算所得之期望次數。

表 1 節能減碳熄火意願交叉分析表

問卷形式	意 願			合 計
	不同意	普 通	同 意	
網路問卷	116 (110.91)	118 (110.22)	184 (196.97)	418
書面問卷	44 (49.09)	41 (48.78)	100 (87.13)	185
合 計	160	159	284	603

接著計算卡方檢定統計量如下：

$$\chi^2 = \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (20)$$

式中 o_i 為實際觀測次數， e_i 則為期望次數。此檢定統計量之自由度 $\nu = (r-1)(c-1)$ ，其中 r 與 c 分別為交叉分析之列數與欄數，故 $\nu = (2-1)(3-1) = 2$ 。經計算結果得知， $\chi^2 = 5.29 < \chi^2_{\alpha=0.05, \nu=2} = 5.991$ ，表示在 $\alpha = 0.05$ 之顯著水準下，無法拒絕 H_0 假設，亦即網路問卷與書面問卷之結果一致，並無顯著的差異。其餘變數均可依此方法進行一致性檢定，於此不再一一贅述。

以下針對問卷調查結果，擇其重點逐項進行統計分析。

1. 基本屬性分析

由調查結果得知，就受訪者之性別而言，在 603 份有效樣本中，男性共 350 位，占全部受訪者之 58.04%；女性則有 253 位，占全部受訪者之 41.96%。就年齡分布而言，由於報考機車駕照須年滿 18 歲，因此受訪者皆為 18 歲以上，其中又以 21~30 歲者居多，共 356 位，占 59.04%；其次為 31~40 歲者，共 100 位，占 16.58%。若以 18~40 歲之青壯年計之，則所占比率高達 80% 以上，此一比例亦反映出機車騎士年輕化之特徵。

就教育程度而言，以大學或專科程度者（含就讀與畢業者）最多，共 354 人，占全體之 58.71%；其次為研究所以上程度者（含就讀者），有 191 人，占 31.67%；第三多者為高中程度者，共 55 人，占 9.12%；其餘國中及國小程度者各有 2 人與 1 人，僅占全體之 0.33% 與 0.17%。本研究之取樣係以號誌化路口較多之都會區為考量，故受訪者均為居住於都市地區之民眾，其機車騎士以 18~40 歲之青壯年居多，因此教育程度以大學（含）以上者居多數，符合一般實際情況。

另就受訪者之月平均所得而言，本問卷調查將其分為 2 萬元以下、2 萬元以上至 4 萬元、4 萬元以上至 6 萬元、6 萬元以上至 8 萬元、8 萬元以上至 10 萬元以及 10 萬元以上等 6 類。經調查分析結果得知，各類所佔比例分別為 39.14%、27.69%、22.22%、6.80%、2.99% 以及 1.16%。所得範圍以最低所得 20,000 元以下者居多，而後隨之逐步遞減，其原因應與受訪者年紀較輕，多為學生或工作年資短有關。

至於受訪者家庭組成方面，係以家庭人數作為區分，人數 1 人，即單身者共 8 人，佔全體之 0.17%；人數 2 人者共 22 位，佔全體之 3.65%；3 人者共 67 位，佔全體之 11.11%；4 人者共 260 位，佔全體之 43.12%；5 人以上者共 246 位，佔 40.79%。由此可知，受訪者之家庭組成以 4 人以上之家庭居多，所佔比例達 83.91%。

就家戶持有機車數量而言，無機車者共 20 人，佔 3.32%；擁有 1 輛者共 139 人，佔 23.05%；擁有 2 輛者共 200 人，佔 33.17%；擁有 3 輛者共 155 人，佔 25.70%；擁有 4 輛以上者共 89 人，佔 14.76%。其中以持有 2 輛機車者所佔比例最高。

2. 環境與健康認知分析

本研究經 Cox PHM 配適之後，得知共有節能減碳熄火意願 (X5)、油價上漲熄火意願 (X8)、依從熄火意願 (X14)、基於健康因素立法規範熄火傾向 (X23) 以及教育程度 (X27) 5 個變項，對紅燈怠速熄火意願具有顯著的影響（詳見第五節），其中除教育程度已於上節分析之外，其餘 4 個變項之間卷調查結果依序分析如下：

(1) 節能減碳熄火意願

本問項為：「我願意在機車停等紅燈時熄火，以達到節能減碳效果，為地球盡一份心力。」，結果如表 2 所示，其中願意配合者居多，佔 47.1%；普通者與不願意者相近，各佔 26.4 與 26.5%。

表 2 節能減碳熄火意願調查統計

熄火意願	人數	百分比
同意	284	47.1%
普通	159	26.4%
不同意	160	26.5%
總計	603	100.0%

(2) 油價上漲熄火意願

本問項為：「如果油價持續上漲，為了節省汽油，騎機車停等紅燈時會熄火。」，結果如表 3 所示。共有 39.3% 之受訪者同意油價上漲會影響到機車紅燈停等熄火，但亦有 31% 之受訪者不同意此項說法；而另有 29.7% 之受訪者認為油價上漲對機車紅燈停等熄火僅有普通的影響。

表 3 油價上漲熄火意願調查統計

熄火意願	人數	百分比
同意	237	39.3%
普通	179	29.7%
不同意	187	31.0%
總 計	603	100.0%

(3) 依從熄火意願

本問項為：「如果停等紅燈的機車騎士都熄火，我也願意熄火」。如周遭機車騎士因其他因素於紅燈停等時皆熄火，使自己亦願意跟隨熄火，即可緩和立法強制規範熄火之迫切性。問卷結果如表 4 所示，其中同意者高達 7 成以上，占 71.8%；其次為普通者，占 16.9%；不同意者最少，占 11.3%。顯示若能養成紅燈停等熄火的習慣，將會有效影響他人隨之配合。

表 4 依從熄火意願調查統計

熄火意願	人數	百分比
同意	433	71.8%
普通	102	16.9%
不同意	68	11.3%
總 計	603	100.0%

(4) 基於健康因素立法規範熄火傾向

本問項為：「為了減少吸入廢氣，我贊成政府立法於合理情況下要求機車停等紅燈時熄火。」，結果如表 5 所示。計達 46.4%，約一半之受訪者同意立法規範機車紅燈停等熄火，而有 30.8%之受訪者對於此項規範要求感受普通，另有 22.7%之受訪者則持不同意之態度。

表 5 立法規範熄火傾向調查統計

立法傾向	人數	百分比
同意	280	46.4%
普通	186	30.8%
不同意	137	22.7%
總和	603	100.0%

五、Cox 等比例危險模式配適

依據變數之定義，將問卷調查所得資料輸入 SPSS 17.0 版套裝軟體進行 Cox PHM 分析。在 0.05 之顯著水準下，採用逐步多元迴歸選取法 (stepwise multiple regression) 來篩選解釋能力顯著之變數，得如表 6 之整體校估結果。表中 β 為參數推定值， $S.E.$ 為標準誤 (standard error)， e^β 為相對風險，而 Wald 統計量則計算如下：

$$wald = \left[\frac{\beta}{S.E.} \right]^2 \quad (21)$$

表 6 Cox PHM 參數初步校估結果

解釋變數	變數定義	β	$S.E.$	Wald	自由度	顯著性	e^β
X5	節能減碳熄火意願	0.229	0.063	13.353	1	0.000*	1.257
X8	油價上漲熄火意願	0.396	0.067	34.627	1	0.000*	1.485
X14	依從熄火意願	0.240	0.080	9.060	1	0.003*	1.271
X23	立法規範熄火傾向	0.208	0.068	9.269	1	0.002*	1.232
X26	家庭人數	0.157	0.048	10.647	1	0.001*	1.170
X27	教育程度	0.475	0.143	10.995	1	0.001*	1.608

註：*代表顯著水準為 0.05 時具有顯著性。

由表 6 可知，在 0.05 之顯著水準下，共有節能減碳熄火意願 (X5)、油價上漲熄火意願 (X8)、依從熄火意願 (X14)、立法規範熄火傾向 (X23)、家庭人數 (X26) 以及教育程度 (X27) 6 個變數，對紅燈怠速熄火意願具有顯著的影響。另由整體概似比統計量 $\chi^2_{LRT} = 6486.271 > \chi^2_{6,0.05} = 12.592$ 亦可得知，此 6 個解釋變數所構成之 Cox PHM 具有整體顯著性。

模式配適檢定完成後，須再進行等比例危險檢定，以確認各解釋變數是否符合等比例危險之要求。此處沿用 log-log 存活曲線法，分別繪製 6 個解釋變數在不同數值情況下之 log-log 存活曲線，以檢視其是否符合等比例之假設。若所繪製之曲線皆呈現上下平行狀態，即表示符合等比例之要求。經仔細檢視之後發現，6 個解釋變數之中，除家庭人數 (X26) 外，其餘均符合等比例之要求。不同家庭人數變數值所構成之 log-log 存活曲線，因部分曲線呈現相互交錯之情況 (見圖 4)，違反等比例危險之假設，故將此變數由模式中剔除。

將家庭人數變數 (X26) 剔除之後，重新校估 Cox PHM，結果得如表 7 所示。由表可知，剩餘之 5 個解釋變數均具有 0.05 之顯著性。再由整體概似比統計量 $\chi^2_{LRT} = 6497.338 > \chi^2_{5,0.05} = 11.070$ 得知，此 5 個解釋變數所構成之 Cox PHM 同樣具有整體顯著性。因此，後續之評估分析，亦將以此 5 個解釋變數所構成之 Cox PHM 為基礎。

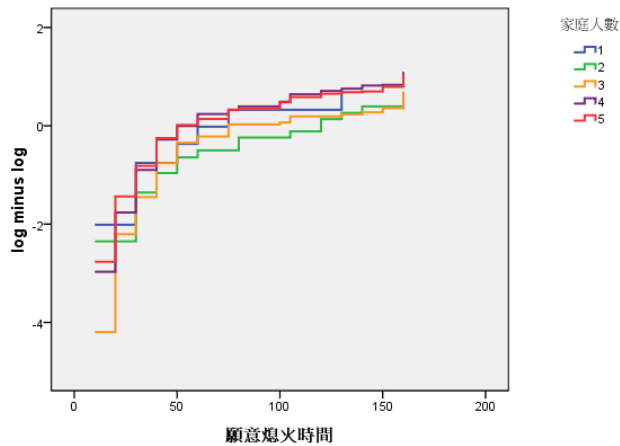


圖 4 家庭人數變數 log-log 存活曲線圖

表 7 Cox 等比例危險模式參數最終校估結果

解釋變數	變數定義	β	$S.E.$	Wald	自由度	顯著性	e^{β}
X5	節能減碳熄火意願	0.243	0.063	15.035	1	0.000*	1.276
X8	油價上漲熄火意願	0.378	0.067	31.411	1	0.000*	1.459
X14	依從熄火意願	0.201	0.079	6.504	1	0.011*	1.222
X23	立法規範熄火傾向	0.225	0.068	11.002	1	0.001*	1.253
X27	教育程度	0.483	0.143	11.432	1	0.001*	1.621

註：*代表顯著水準為 0.05 時具有顯著性。

六、節能減碳效果評估

本節利用上節所建立之 Cox PHM，推估解釋變數值改變後對機車騎士怠速熄火行為之影響，並以實例推算紅燈怠速熄火時間之增量，而後再將其轉換為油耗與排碳之減量，以了解實際可能產生之節能減碳效果。

6.1 紅燈願意熄火時間

利用 3.4 節中位存活時間之概念，推估解釋變數值改變前後，機車騎士紅燈願意熄火時間，即中位存活時間之變化。經繪製各變數之中位存活時間圖，並讀取其中位存活時間後，彙整出不同變數值下之紅燈願意熄火時間如表 8 所示。表中除教育程度 (X27) 為高中以下與大學以上兩個等級之外，其餘均區分為不同意、普遍及同意 3 個等級。

表 8 不同解釋變數值紅燈願意熄火時間

單位：sec

解釋變數	變數定義	不同意	普通	同意
X5	節能減碳熄火意願	100	50	30
X8	油價上漲熄火意願	100	50	30
X14	依從熄火意願	150	75	40
X23	立法規範熄火傾向	105	50	40
X27	教育程度	50 (高中以下)	40 (大學以上)	

由於「不同意」傾向負面，「同意」則傾向於正面，因此當解釋變數值由不同意趨向於同意時，紅燈願意熄火時間將會縮短。例如依從熄火意願 (X14) 由不同意改變為同意時，紅燈願意熄火時間將由 150 sec 降至 40 sec，表示熄火意願提高後，由原本紅燈至少剩餘 150 sec 以上才願意熄火，改變為僅剩 40 sec 以上即願意熄火，其間 110 sec 差距即為單一機車紅燈怠速熄火時間之增量。整體而言，各解釋變數之中位存活時間大多介於 30 與 100 sec 之間，表示機車騎士縱使不認同，只要紅燈剩餘達 100 sec 以上亦願意熄火；若完全認同，則僅 30 sec 以上即願意熄火。差異較大者為依從熄火意願 (X14)，若不認同，則紅燈剩餘時間必須高達 150 sec 以上才願意熄火。

6.2 整體熄火意願改變比例

本節利用 3.5 節相對風險之概念，分析解釋變數值改變後，整體機車騎士中怠速熄火意願受到影響之比例。以節能減碳熄火意願 (X5) 為例，其 β 參數校估值為 0.243，相對風險 $RR = e^{\beta} = e^{0.243} = 1.276$ 。以此作為變數選項為「不同意」，即變數值為 1 時之相對風險，亦即 $RR_{X=1} = 1.276$ ，則當熄火意願提升為「普通」，即變數值提升為 2 時，相對風險將提升至 $RR_{X=2} = (RR_{X=1})(e^{0.243}) = 1.628$ ，表示熄火意願增加之機率或比例為 $(RR_{X=2}/RR_{X=1}-1) \times 100\% = (1.628/1.276-1) \times 100\% = 27.6\%$ 。當熄火意願繼續由「普通」提升至「同意」，即變數值增至為 3 時，相對風險亦將繼續提升至 $RR_{X=3} = (RR_{X=2})(e^{0.243}) = 2.078$ ，表示熄火意願增加之比例為 $(RR_{X=3}/RR_{X=1}-1) \times 100\% = (2.078/1.276-1) \times 100\% = 62.8\%$ 。同理，亦可推算熄火意願由「普通」增加至「同意」之比例為 $(RR_{X=3}/RR_{X=2}-1) \times 100\% = (2.078/1.628-1) \times 100\% = 27.6\%$ 。

以上經由相對風險所推估之熄火意願增加比例，係指不同變數等級間之差距。然而，實際上各變數等級均已存在一定比例之認同者，其整體改變之效果亦將侷限在此一比例範圍內，因此必須進一步將現存比例考量進去。例如由表 2 回收問卷分析結果得知，雖有 47.1%，將近五成的受訪者同意機車紅燈停等熄火對節能減碳確有助益，但亦有 26.4% 與 26.5% 的受訪者並未完全認同此一說法，故仍存在改進的空間。若能針對此一部分之機車騎士，經由教育或宣導等手段提升其認知程度至「同意」，則可分別增加

$(26.4\%)(0.276) = 7.28\%$ 與 $(26.5\%)(0.628) = 16.64\%$ 之機車騎士願意配合熄火。同理，縱使認知程度僅由「不同意」提升至「普通」，亦可增加 $(26.5\%)(0.276) = 7.31\%$ 。以上推估結果彙整如表 9，供後續評估使用。

表 9 節能減碳熄火意願改變後相對與整體增加比例

改變前 \ 改變後	相對增加比例		整體增加比例	
	普通 (X5 = 2)	同意 (X5 = 3)	普通 (X5 = 2)	同意 (X5 = 3)
不同意 (X5 = 1)	27.6%	62.8%	7.31%	16.64%
普通 (X5 = 2)	—	27.6%	—	7.28%

依據同樣方式，依序推估其餘 4 個解釋變數值改變後之影響比例，結果整理如表 10 至 13。整體而言，解釋變數值大小與相對風險呈正向走勢。對付費認知或環境認知愈強烈者，其相對風險亦愈高，即紅燈怠速熄火之意願亦愈高。5 個變數之中，影響最大者為油價上漲熄火意願 (X8)，相對風險最高可增達 112.9%，亦即當機車騎士強烈感受到油價上漲之壓力時，熄火之意願將相對增加達 112.9%。

表 10 油價上漲熄火意願改變後相對與整體增加比例

改變前 \ 改變後	相對增加比例		整體增加比例	
	普通 (X8 = 2)	同意 (X8 = 3)	普通 (X8 = 2)	同意 (X8 = 3)
不同意 (X8 = 1)	45.9%	112.9%	14.23%	35.00%
普通 (X8 = 2)	—	45.9%	—	13.63%

表 11 依從熄火意願改變後相對與整體增加比例

改變前 \ 改變後	相對增加比例		整體增加比例	
	普通 (X14 = 2)	同意 (X14 = 3)	普通 (X14 = 2)	同意 (X14 = 3)
不同意 (X14 = 1)	22.2%	49.3%	2.51%	5.57%
普通 (X14 = 2)	—	22.2%	—	3.75%

表 12 立法規範熄火傾向改變後相對與整體增加比例

改變前 \ 改變後	相對增加比例		整體增加比例	
	普通 (X23 = 2)	同意 (X23 = 3)	普通 (X23 = 2)	同意 (X23 = 3)
不同意 (X23 = 1)	25.3%	57.0%	5.74%	12.94%
普通 (X23 = 2)	—	25.3%	—	7.79%

表 13 教育程度改變後相對與整體增加比例

改變前 \ 改變後	相對增加比例	整體增加比例
	大學以上 ($X27 = 2$)	大學以上 ($X27 = 2$)
高中以下 ($X27 = 1$)	62.10%	5.97%

6.3 熄火時間增量

機車紅燈怠速熄火時間增量之推估，將以臺北市辛亥路-基隆路路口為例，進行實例分析，內容包括路口交通現況分析、熄火時間最大增量以及熄火時間實際增量，分述如後。

6.3.1 路口交通現況分析

本研究係以機車作為研究之對象，經多次現場踏勘及觀測之後，決定選擇臺北市辛亥路-基隆路路口進行實例分析，並分平、假日，分別於民國 100 年 3 月 19 日 (星期六) 及 3 月 23 日 (星期三) 至現場進行交通調查。調查時段於平日為上午 7:00 至 9:00 尖峰、下午 1:00 至 3:00 離峰及下午 5:00 至 7:00 尖峰，於假日則為上午 10:00 至 12:00 尖峰、下午 1:00 至 3:00 離峰及下午 4:00 至 6:00 尖峰。調查採現場拍攝錄影方式，至現場架設攝影機，將路口 4 個方向機車到達之行為錄製成影像後，攜回實驗室回放分析。由於本研究是以紅燈期間到達路口之機車作為分析對象，因此是以號誌週期作為分析之基準，並以紅燈開始啟動起算機車到達路口之時間。調查結果經累計得知，平、假日尖、離峰 2 小時內紅燈期間到達路口之機車車輛數如圖 5 所示。

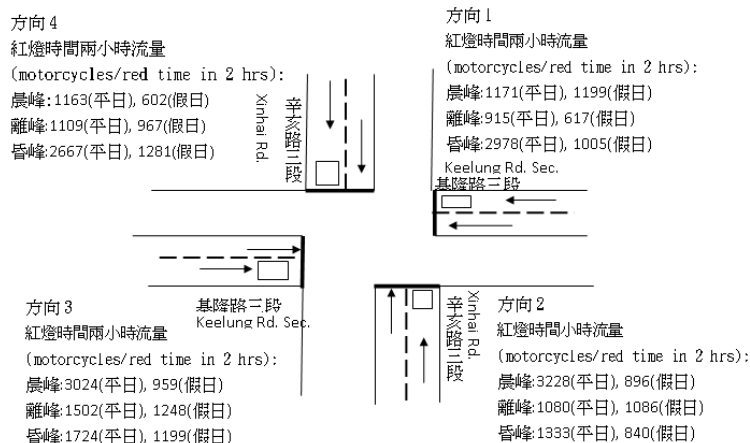


圖 5 平假日尖離峰 2 小時內紅燈期間路口機車累積流量

6.3.2 熄火時間最大增量

熄火時間最大增量係指當變數值或熄火意願改變後，所有機車騎士皆願意配合熄火，在此情境下所推算得到之紅燈熄火時間增量。假設變數值增加或意願提升後，由中位存活時間得知紅燈願意熄火時間由 c sec 下降至 d sec。當機車 i 到達路口時，紅燈尚餘 t_i sec。若 $t_i < d$ ，表示紅燈剩餘時間不足，無法滿足意願改變前後之願意熄火時間，故無論是否改變意願均不會熄火，自不會增加紅燈熄火時間。反之，若 $t_i > c$ ，表示紅燈剩餘時間相當充足，無論意願是否改變均會熄火，故其熄火時間均為 t_i sec，同樣不會增加紅燈熄火時間。唯有當 $d < t_i < c$ 時，紅燈熄火時間才會實質增加，因此評估時將以此期間到達之機車作為對象。因意願改變前不願熄火 ($t_i < c$)，意願改變後願意熄火 ($t_i > d$)，故其熄火時間增加 t_i sec。

若第 j 號誌週期內，共有 n_j 輛機車於紅燈剩餘秒數介於 c sec 與 d sec 之間到達路口，則意願改變後，此一週期內將會增加 $T_{C_j} = \sum_{i=1}^{n_j} t_i$ sec 之紅燈熄火時間。當評估基礎擴大為某一時段，如上、下午尖峰或離峰時段，紅燈熄火時間可依據上述算式進一步累加為 $T_p = \sum_{j=1}^m T_{C_j}$ ，式中 m 為此一時段內之號誌週期數。

現以節能減碳熄火意願 (X5) 為例，計算平日晨峰時段路口方向一之機車紅燈熄火時間。首先由表 8 查知，當變數值由「不同意」改變為「普通」與「同意」時，紅燈願意熄火時間將由 100 sec 分別降至 50 sec 與 30 sec。其次再由現場交通調查結果得知，平日晨峰時段紅燈期間內機車到達路口方向一之時間分布如表 14 所示，其中紅燈剩餘秒數係依據紅燈倒數計時器之時間登錄而得，因此出現 1 sec 之間距，評估時取其平均值作為代表。由於所舉案例僅以節能減碳熄火意願由「不同意」改為「普通」為對象，因此表 14 並未列出所有數據，僅列出其中會改變紅燈熄火時間之部分，亦即紅燈願意熄火時間由 50 至 100 sec 之部分。

表 14 平日晨峰時段路口方向一機車到達時間分布

紅燈剩餘秒數	到達機車數	紅燈剩餘秒數	到達機車數	紅燈剩餘秒數	到達機車數	紅燈剩餘秒數	到達機車數	紅燈剩餘秒數	到達機車數
100-99	4	99-98	6	98-97	6	97-96	6	96-95	3
95-94	3	94-93	9	93-92	6	92-91	4	91-90	5
90-89	6	89-88	6	88-87	7	87-86	8	86-85	4
85-84	3	84-83	7	83-82	3	82-81	4	81-80	5
80-79	3	79-78	3	78-77	5	77-76	3	76-75	4
75-74	5	74-73	2	73-72	4	72-71	3	71-70	2
70-69	1	69-68	3	69-67	2	67-66	2	66-65	3
65-64	5	64-63	1	63-62	6	62-61	6	61-60	5
60-59	1	59-58	1	58-57	0	57-56	1	56-55	3
55-54	1	54-53	1	53-52	3	52-51	1	51-50	0

當紅燈願意熄火時間由 100 sec 降至 50 sec 時，路口方向一於平日晨峰時段將可增加之紅燈熄火時間為：

$$T_{C_j} = \sum_{i=1}^n t_i = 99.5 \times 4 + 98.5 \times 6 + \dots + 50.5 \times 0 = 14,854.5 \text{ sec} \quad (22)$$

由於表 14 之資料已依尖峰 2 小時累計，因此式 (22) 計算所得即為晨峰時段紅燈熄火時間之最大增量。依照上述方式，可逐一計算各種情境下路口各方向平、假日尖、離峰之紅燈熄火時間最大增量，結果分如表 15 及 16 所示。

假設一天 24 小時當中，扣除上、下午尖峰各 2 小時之後，其餘 20 小時視為離峰，則當節能減碳熄火意願 (X5) 由「不同意」改變為「普通」時，路口方向一平日一天之紅燈熄火時間最大增量將為 $T_D = 14,854.5 + 94,491.0 + 10 \times 38,821.0 = 497,555.5 \text{ sec}$ 。

依此方式，依序推算平、假日路口各方向之紅燈熄火時間最大增量如表 17 所示，其中最右一欄即為整個路口一天當中熄火時間之最大增量。經逐一推算之後，得平、假日各變數值改變後之熄火時間最大增量如表 18 所示，而教育程度 (X27) 由「高中以下」提升至「大學以上」時，平、假日之紅燈熄火時間最大增量則分別另行估算為 60.40 及 41.32 hrs。

表 15 節能減碳熄火意願改變後平日尖離峰紅燈熄火時間最大增量

單位：sec

晨 峰					
熄 火 意 願	方向一	方向二	方向三	方向四	合 計
不同意→普通	14,854.5	76,863.0	22,946.5	16,384.5	131,048.5
不同意→同意	17,699.5	97,438.5	48,785.0	19,367.0	183,290.0
普 通→同意	2,845.0	20,575.5	25,838.5	2,982.5	52,241.5
離 峰					
熄 火 意 願	方向一	方向二	方向三	方向四	合計
不同意→普通	38,821.0	15,508.5	45,607.5	39,063.0	139,000.0
不同意→同意	43,092.5	24,650.5	54,634.0	41,696.0	164,073.0
普 通→同意	4,271.5	9,142.0	9,026.5	2,633.0	25,073.0
昏 峰					
熄 火 意 願	方向一	方向二	方向三	方向四	合計
不同意→普通	94,491.0	49,238.0	38,959.0	39,953.0	222,641.0
不同意→同意	117,815.5	55,858.5	45,569.0	43,568.5	262,811.5
普 通→同意	23,324.5	6,620.5	6,610.0	3,615.5	40,170.5

表 16 節能減碳熄火意願改變後假日尖離峰紅燈熄火時間最大增量

單位：sec

晨 峰					
熄 火 意 願	方向一	方向二	方向三	方向四	合 計
不同意→普通	45,978.0	15,106.0	8,298.5	13,262.5	82,645.0
不同意→同意	50,194.0	27,726.5	18,744.5	18,321.0	114,986.0
普 通→同意	4,216.0	12,620.5	10,446.0	5,058.5	32,341.0
離 峰					
熄 火 意 願	方向一	方向二	方向三	方向四	合計
不同意→普通	24,001.5	20,864.0	31,214.5	19,807.0	95,887.0
不同意→同意	27,274.5	30,900.5	33,886.0	23,157.5	115,218.5
普 通→同意	3,273.0	10,036.5	2,671.5	3,350.5	19,331.5
昏 峰					
熄 火 意 願	方向一	方向二	方向三	方向四	合計
不同意→普通	39,543.0	15,709.5	30,566.0	24,500.5	110,319.0
不同意→同意	42,943.5	23,416.0	35,458.0	27,886.0	129,703.5
普 通→同意	3,400.5	7,706.5	4,892.0	3,385.5	19,384.5

表 17 節能減碳熄火意願改變後平假日紅燈熄火時間最大增量

單位：sec

平 日					
熄 火 意 願	方向一	方向二	方向三	方向四	合 計
不同意→普通	497,555.5	281,186.0	517,980.5	446,967.5	1,743,690.0
不同意→同意	566,440.0	399,802.0	640,694.0	479,895.5	2,086,832.0
普 通→同意	68,884.5	118,616.0	122,713.5	32,928.0	343,142.0
假 日					
熄 火 意 願	方向一	方向二	方向三	方向四	總和
不同意→普通	325,536.0	239,455.5	351,009.5	235,833.0	1,151,834.0
不同意→同意	365,882.5	360,147.5	393,062.5	277,782.0	1,396,874.5
普 通→同意	40,346.5	120,692.0	42,053.0	41,949.0	245,040.5

表 18 平假日紅燈熄火時間最大增量

單位：hrs

改變前 \ 改變後	平 日		假 日	
	普 通	同 意	普 通	同 意
不同意	484.36 (X5)	579.68 (X5)	319.95 (X5)	388.02 (X5)
	484.36 (X8)	579.68 (X8)	319.95 (X8)	388.02 (X8)
	808.65 (X14)	1,076.46 (X14)	686.20 (X14)	859.83 (X14)
	542.10 (X23)	602.50 (X23)	358.81 (X23)	400.12 (X23)
普 通	—	95.32 (X5)	—	68.07 (X5)
		98.01 (X8)		68.07 (X8)
		267.81 (X14)		173.63 (X14)
		60.40 (X23)		41.32 (X23)

6.3.3 熄火時間實際增量

以上計算所得，係指所有機車騎士均改變熄火意願之情況下，最多可能增加之熄火時間。然而，由 4.3 節問卷調查結果可知，現行各變數值或等級中已存在不同比例之機車騎士。當變數等級或熄火意願提升後，實際可能之改變量至多為提升前之比例。另依據 6.2 節之分析，每一等級之中並非所有機車騎士皆願意配合紅燈怠速熄火，其實際可能提升之比例須經由相對風險加以推估，推估結果如表 9 至 13 所示。由表 9 可知，當節能減碳熄火意願 (X5) 由「不同意」提升為「普通」時，整體機車騎士增加之比例為 7.31%。將此比例乘以表 18 之平日熄火時間最大增量，即得平日熄火時間實際增量為 $0.0731 \times 484.36 = 35.41$ hrs。

依此方式分別推估變數等級或熄火意願改變後，路口平、假日之熄火時間實際增量如表 19 所示；而當教育程度 (X27) 由「高中以下」提升至「大學以上」時，平、假日之熄火時間實際增量分別另行估算為 3.61 與 2.47 hrs。如續將此單日效果擴大為一整年，則可獲得全年熄火時間之實際增量如表 20 所示。同樣，另行估算教育程度由「高中以下」提升至「大學以上」時之全年熄火時間實際增量為 1,186.55 hrs。整體而言，油價上漲因素 (X8) 對紅燈怠速熄火時間所產生的影響最大，其餘大致依序為節能減碳因素 (X5)、立法規範傾向因素 (X23) 及依從熄火因素 (X14)，而教育程度因素 (X27) 全年實際增加之熄火時間僅為 1,186.55 小時，對熄火時間的影響最小。

6.4 節能減碳效果

6.4.1 油耗減量

根據交通部運輸研究所「運輸部門能源節約及溫室氣體減量潛力評估與因應策略規劃」^[22]所提出之推估方式，怠速熄火之節能效益來自車輛惰轉時間的減少，故節能量為惰轉時間減少時所節省之耗油量，可由下列公式加以估算：

$$\text{怠速熄火節能量 (l)} = \text{怠速熄火時間增量 (h)} \times \text{惰轉單位時間耗油率 (l/h)} \quad (23)$$

由於目前國內尚缺乏詳實之機車惰轉實測資料可供使用，因此根據中鼎工程股份有限公司^[23]之研究，針對各車種惰轉情形可參考國外之建議，採用 5 km/h (2.5 mi/h) 低速下之平均距離油耗 (l/km) 加以推估如下：

$$\text{惰轉單位時間耗油率 (l/h)} = \text{距離耗油率 (l/km)} \times \text{車速 (5 km/h)} \quad (24)$$

表 21 為根據交通部運輸研究所之研究^[22]，不同車種在不同速率下之耗油率變化。由表可知，在 5 km/h 低速下，機車之距離耗油率約為 0.12 l/km，故惰轉單位時間耗油率約為 $0.12 \times 5 = 0.6$ l/h。將其代入式(23)，即可得到怠速熄火之油耗減量。例如當節能減碳熄火意願 (X5) 由「不同意」提升為「普通」時，預估全年熄火時間之增量為 11,561.95 hrs (見表 20)，故每年將節省油耗量 $11,561.95 \times 0.6 = 6,937.07$ l。依此可推算出各變數等級或熄火意願改變後，全年所能節省之油耗量如表 22 所示；而教育程度由「高中以下」提升至「大學以上」時，全年油耗節省量另行估算為 711.93 l。

表 19 平假日熄火時間實際增量

單位：hrs

改變前 \ 改變後	平 日		假 日	
	普 通	同 意	普 通	同 意
不 同 意	35.41 (X5)	96.62 (X5)	23.43 (X5)	64.68 (X5)
	68.95 (X8)	202.90 (X8)	45.54 (X8)	135.82 (X8)
	20.24 (X14)	59.88 (X14)	17.18 (X14)	47.83 (X14)
	31.16 (X23)	78.03 (X23)	20.62 (X23)	51.82 (X23)
普 通	—	6.94 (X5)	—	5.01 (X5)
		12.99 (X8)		9.27 (X8)
		4.71 (X14)		6.52 (X14)
		5.02 (X23)		3.22 (X23)

表 20 全年熄火時間實際增量

單位：hrs

改變前 \ 改變後	普 通	同 意
不 同 意	11,561.95 (X5)	31,593.20 (X5)
	22,474.60 (X8)	66,344.30 (X8)
	7,035.70 (X14)	20,470.45 (X14)
	10,161.30 (X23)	25,466.80 (X23)
普 通	—	2,311.15 (X5)
		4,313.55 (X8)
		1,927.30 (X14)
		1,625.30 (X23)

表 21 各車種不同速率下耗油率變化

單位：l/km

車速 (km/h)	小客車			小貨車		大客車		大貨車	機車
	自用	營業	平均	汽油	柴油	一般平均	營業	平均	平均
5	0.155	0.182	0.158	0.207	0.223	0.436	0.514	0.434	0.120
10	0.145	0.169	0.147	0.189	0.214	0.417	0.492	0.415	0.067
20	0.126	0.147	0.128	0.159	0.183	0.384	0.453	0.382	0.042
22	0.122	0.143	0.123	0.152	0.176	0.376	0.444	0.375	0.040
30	0.110	0.129	0.112	0.135	0.158	0.357	0.421	0.356	0.037
40	0.098	0.115	0.100	0.117	0.141	0.336	0.397	0.335	0.037
50	0.089	0.105	0.091	0.106	0.131	0.322	0.380	0.321	0.041
55	0.086	0.101	0.087	0.103	0.129	0.317	0.374	0.316	0.044
60	0.084	0.098	0.085	0.102	0.128	0.314	0.371	0.313	0.049
70	0.081	0.095	0.083	0.104	0.132	0.312	0.369	0.311	0.061
80	0.082	0.097	0.084	0.112	0.143	0.317	0.374	0.316	0.075
90	0.087	0.102	0.088	0.128	0.162	0.328	0.387	0.327	0.078
100	0.095	0.111	0.096	0.149	0.187	0.345	0.407	0.344	—

資料來源：交通部運輸研究所，「運輸部門能源節約及溫室氣體減量潛力評估與因應策略規劃」^[22]。

表 22 紅燈怠速熄火全年油耗減量

單位：l

改變前 \ 改變後	普 通	同 意
不同意	6,937.07 (X5) 13,484.76 (X8) 4,221.42 (X14) 6,096.78 (X23)	18,955.92 (X5) 39,806.58 (X8) 12,282.27 (X14) 15,280.08 (X23)
普 通	—	1,386.69 (X5) 2,588.13 (X8) 1,156.38 (X14) 975.18 (X23)

6.4.2 排碳減量

根據 1997 年所通過之「京都議定書」，明訂二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亞氮 (N₂O)、氫氟碳化物 (HFCs)、全氟碳化物 (PFCs) 以及六氟化硫 (SF₆) 等 6 種溫室氣體必須加以減量，同時並針對其中之 CO₂、CH₄ 及 N₂O 進行管制，本研究特針對其中影響最為嚴重之 CO₂ 進行評估。關於溫室氣體排放量之計算，在 1995 年聯合國氣候變遷綱要公約第一次締約國大會之中，即決議採納「IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories」(簡稱 IPCC 準則) 作為成員國計算溫室氣體量之規範，因此目前國際上多以 IPCC 準則作為參考依據。本研究自不例外，亦將依循其方法進行分析。

根據 IPCC 準則，有關運輸部門溫室氣體排放量之計算，可依由上而下 (top-down) 或由下而上 (bottom-up) 兩種方式進行推估。無論採用何種方式，皆可藉由下列公式估算溫室氣體之減量：

$$\text{CO}_2 \text{ 減量} = \text{節能量} \times \text{單位燃料 CO}_2 \text{ 排放係數} \quad (25)$$

有關單位燃料 CO₂ 排放係數部分，可參考臺灣中油股份有限公司民國 96 年溫室氣體排放係數之估計，運輸作業車輛於燃燒汽油時，其 CO₂ 之排放係數為 2.263132872 kg/l，依此可推估各車種在時速 5 km 下之小時 CO₂ 排放量如表 23 所示。若將上節推估所得之油耗減量乘以此一排放係數，則可得到紅燈怠速熄火全年 CO₂ 之減量，如表 24 所示；而教育程度由「高中以下」提升至「大學以上」後，全年 CO₂ 之減量另行推估為 1,611.19 kg。

表 23 各車種時速 5 km 下之 CO₂ 排放量

車 種	小客車	汽 油 小貨車	柴 油 小貨車	大客車	營業公車	大貨車	機車
耗油率 (l/km)	0.16	0.20	0.23	0.43	0.47	0.51	0.12
耗油量 (l/h)	0.82	1.01	1.13	2.16	2.33	2.53	0.60
CO ₂ 排放量 (g/h)	1,862	2,293	2,550	4,890	5,281	5,734	1,358

資料來源：中鼎工程股份有限公司，「ATMS 節能減碳成效分析」^[23]。

以個別變數來看，減碳效果最佳者為油價上漲熄火意願 (X8)。當熄火意願由「不同意」提升到「普通」時，1 年可減少約 30.5 公噸之 CO₂ 排放量。若再進一步提升到「同意」，則 CO₂ 排放減量將達到 90 公噸左右。即使熄火意願由「普通」提升到「同意」，1 年亦可減少約 5 公噸之 CO₂ 排放量。由於各變數不同等級間之紅燈願意熄火時間及整體熄火意願改變比例各有高低，導致不同意願等級間各變數之減碳效果高低亦各不相同。由表 22 之結果，依據減碳效果重新整理排序如表 25 所示。

表 24 紅燈怠速熄火全年 CO₂ 排放減量

單位：kg

改變前 \ 改變後	普 通	同 意
不同意	15,699.51 (X5) 30,515.99 (X8) 9,554.49 (X14) 13,797.71 (X23)	42,896.59 (X5) 90,081.52 (X8) 27,795.06 (X14) 34,577.42 (X23)
普 通	—	3,136.89 (X5) 5,032.20 (X8) 4,181.85 (X14) 2,103.47 (X23)

表 25 同等級熄火意願下變數減碳效果排序

變數等級	排 序
不同意→普通	油價上漲 (X8) > 節能減碳 (X5) > 立法規範 (X23) > 依從熄火 (X14)
不同意→同意	油價上漲 (X8) > 節能減碳 (X5) > 立法規範 (X23) > 依從熄火 (X14)
普 通→同意	油價上漲 (X8) > 依從熄火 (X14) > 節能減碳 (X5) > 立法規範 (X23)

綜合觀之，雖然熄火意願由「普通」提升到「同意」時，依從熄火意願 (X14) 之減碳效果晉升至第 2 位；但由減碳總量來看，仍遠低於其他等級變動下之減碳效果。因此，若依變數排序，減碳總效果以油價上漲熄火意願 (X8) 最佳，其餘依序為節能減碳熄火意願 (X5)、立法規範熄火傾向 (X23) 以及依從熄火意願 (X14)。而「教育程度」(X27) 雖僅區分為兩個等級無法直接相比，但由減碳總量來看，均較表 22 中任二等級間變動所產生之效果為低，因此可斷定其為減碳效果相對最差之變數。

以上 CO₂ 排放減量之估算，均是以怠速熄火時間為基礎，尚未考慮到機車熄火再啟動瞬間可能造成之污染增加。根據莊裕霖與潘一誠^[24]之研究，瞬間啟動造成污染之增加，主要係因怠速熄火造成排氣觸媒的工作溫度降低所致，且熄火時間愈久，其再啟動後一段時間內之污染排放量亦會愈高。然而，一般紅燈停等的時間不長，引擎仍可維持在一定的的工作溫度，加上 CO₂ 已是碳充分燃燒氧化後之產物，不會被觸媒改變，因此引擎再啟動時，CO₂ 之排放量並不會明顯地增加。

此外，就引擎技術而言，目前我國機車生產廠商新生產的產品皆以噴射引擎為主，傳統化油氣引擎多已停產；但由於核心控制晶片均由國外進口，並未考慮怠速熄火之功能，因此每次啟動時，均視為冷車啟動，亦即在啟動後一段時間內，車輛會採用較濃的空燃比進行燃燒，以使引擎溫度快速增加，提高冷車時引擎運轉的穩定性。此一段時間內較不經濟之油耗現象，即所謂的開迴路階段，此時電腦並不介入燃油效益的計算，使得油耗與

CO₂ 排放量均略為增加。然而，此一現象不久將可獲得大幅改善，因為根據李國榮^[25]之研究，若將怠速熄火功能正式導入機車引擎控制晶片，則再啟動時的能耗僅相當於怠速 0.8 sec 之能耗，對 CO₂ 排放之影響微乎其微。由以上討論可知，就現有冷車啟動及未來機車整體發展趨勢而言，怠速熄火再啟動時，CO₂ 排放攀升之問題相對極微且可獲得進一步的改善，故於本研究中暫予忽略。

七、結論與建議

7.1 結論

1. 本研究成功地將存活分析法中之 Cox PHM，應用於路口機車紅燈怠速熄火行為之分析，並藉由中位存活時間與相對風險，推估出影響因素改變或怠速熄火意願提升後，路口機車紅燈熄火時間之增量；進而再透過能源使用轉換公式，評估出路口機車紅燈怠速熄火實際可能產生之節能減碳效果。
2. 本研究採用條件評估法，調查分析機車騎士紅燈怠速熄火之意願及相關背景資料，而後據以建構 Cox PHM，以確認影響機車騎士紅燈怠速熄火意願之因素。結果發現，「節能減碳熄火意願」、「油價上漲熄火意願」、「依從熄火意願」、「立法規範熄火傾向」以及「教育程度」5 個變數，確實可以有效解釋機車騎士紅燈怠速熄火之意願。
3. 本研究透過相對風險之概念，分析上述 5 個解釋變數改變時對怠速熄火意願之影響。整體而言，解釋變數值大小與相對風險呈正向走勢。付費或環境認知愈強烈者，其相對風險亦愈高，即紅燈怠速熄火之意願亦愈高。其中影響最大者為「油價上漲熄火意願」，其相對風險最高可增達 112.9%，亦即當機車騎士強烈感受到油價上漲之壓力時，其熄火意願將相對增加 112.9%。
4. 本研究利用中位存活時間，推估各變數值改變後機車騎士之願意熄火時間。結果發現，各解釋變數之中位存活時間大多介於 30 與 100 sec 之間，表示機車騎士縱使不認同，只要紅燈剩餘達 100 sec 以上亦願意熄火；若完全認同，則僅 30 sec 以上即願意熄火。其中差異較大者為「依從熄火意願」，若不認同，則紅燈剩餘時間必須高達 150 sec 以上才願意熄火。
5. 由願意熄火時間及整體熄火意願改變之比例，可以推估出變數值或熄火意願改變後，路口全年熄火時間之增量。經以實際路口資料進行分析後發現，油價上漲因素對紅燈怠速熄火時間所產生的影響最大，全年熄火時間增量最多可高達 66,344.30 hrs，其餘大致依序為節能減碳因素、立法規範傾向因素、依從熄火因素及教育程度因素。
6. 經車輛能源使用公式轉換後發現，對節能減碳效果影響最大者為「油價上漲熄火意願」，其餘依序為「節能減碳熄火意願」、「立法規範熄火傾向」、「依從熄火意願」及「教育程度」；其中效果最高者可達到全年約 90 公噸之 CO₂ 減量，最低者亦有約 1.6 公噸

之 CO₂ 減量。以上數據僅係由一個路口評估結果所得，若擴大為所有路口，則其效果將會極其可觀。

7.2 建議

1. 經由問卷調查分析與模式檢定後可以確定，確實存在一些因素會對機車騎士怠速熄火意願產生顯著的影響，並連帶產生鉅大的節能減碳效果。為使研究成果能夠產生實質的貢獻，後續研究可進一步針對各影響因素研擬因應之政策與對策，提出有效之積極作為與誘因，以提升機車騎士紅燈怠速熄火之意願，使節能減碳效果能夠真正落實。而如何研擬積極的作為與誘因，確實改變機車騎士的認知與意願，則需借助其他相關專業領域之知識，因此後續可就此一方面擴大參與層面，以能真正研擬出具體可行的辦法。
2. 本研究囿於時間與人力，僅針對單一路口進行評估，然而結果卻發現，機車紅燈怠速熄火確實具有一定的節能減碳效果。因此建議，後續研究應針對相關配套措施及要求，研擬一套完整可行的實施標準，以作為未來推動機車紅燈怠速熄火政策之依據。
3. 為能全盤了解大規模推動機車紅燈怠速熄火之成效，建議後續研究可在本研究之基礎上，以巨觀的角度建立整體節能減碳效果評估模式，以作為未來擴大推動時，衡量整體成本效益之參考。
4. 本研究所考慮之影響因數多屬認知信念，可能會隨認知主體-機車騎士的主觀意識而改變。因此建議，未來可隨時間的改變，持續追蹤探討時間對主觀認知的影響，並嘗試將其作為時間相依共變數加入 Cox PHM 中，使推估的結果更合乎時代的脈動。
5. 本研究雖以機車紅燈怠速熄火作為主要研究對象，然而 Cox PHM 在交通運輸上之應用並不限於此，可以擴及至其他運具之分析，例如改變運具行為之分析及其對節能減碳效果之評估等。因此，未來可依據 Cox PHM 之特點，配合節能減碳政策，找尋其他可能之研究課題。
6. 由分析結果得知，「教育程度」對紅燈怠速熄火意願確實具有顯著的影響。然而，提升國民教育程度非一蹴可及，屬長期推動之政策，必須再輔以中、短期政策方臻完善。環顧世界各國節能減碳政策與策略發展之趨勢，「教育宣導」與「教育推廣」已被視為中、短期相當有效之對策。兩者相輔相成，不可偏廢。為使本研究結果更能落實，建議後續研究針對此一課題，研擬更詳實之「教育宣導」與「教育推廣」政策或策略，供相關單位推動節能減碳之參考。

參考文獻

1. 交通部統計處，**機動車輛登記數**，民國 98 年。
2. 經濟部能源局，**我國燃料燃燒 CO₂ 排放統計與分析**，民國 100 年。
3. Yoshitaka, M. and Masaaki, T., *A Study on Saving Fuel by Idling Stops While Driving Vehicles*,

The Energy Conservation Center, Japan, 2002.

4. 吳健生,「改善都市環境品質所可採行之交通措施」,第4屆海峽兩岸環境保護學術研討會,國立中央大學,1996年12月,頁17-19。
5. Cox, D. R., "Regression Models and Life Tables (with Discussion)", *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, Vol. 34, 1972, pp. 187-220.
6. Tiwari, G., Bangdiwala, S., Saraswat, A., and Gaurav, S., "Survival Analysis: Pedestrian Risk Exposure at Signalized Intersections", *Transportation Research Part F*, Vol. 10, 2007, pp. 77-89.
7. 陳怡君,「應用存活分析法探討國內航線之營運」, *商管科技季刊*, 第9卷,第3期,民國97年,頁301-314。
8. 蕭羽媛,「存活分析法應用於機車紅燈熄火行為之研究」,國立中央大學土木工程學系碩士論文,民國98年。
9. 蘇殷甲,「機車騎士紅燈怠速熄火意願及其預期成效之研究」,國立中央大學土木工程學系碩士論文,民國99年。
10. 吳健生、蕭羽媛、蘇殷甲,「應用存活分析法於機車紅燈怠速熄火行為之研究」, *運輸計劃季刊*, 第40卷,第2期,民國100年,頁161~184。
11. 莊志偉,「柴油小客車節能效率以及汽機車 Idling Stop 技術評估研究」,低耗能車輛研究與推廣研討會,經濟部能源局,民國95年。
12. 洪金火,「機車等停對空氣污染排放之影響研究」,朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文,民國96年。
13. FORMOSUN 先進動力研究中心,「車輛怠速測試計劃結果報告」,台達文教基金會委託研究,民國97年。
14. Li, X. G., Li, G. Q., Pang, S. S., Yang, X. G., and Tian, J. L., "Signal Timing of Intersections Using Integrated Optimization of Traffic Quality, Emissions and Fuel Consumption: A Note", *Transportation Research Part D*, Vol. 9, Issue 5, 2004, pp. 401-407.
15. Le, C. T., *Applied Survival Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
16. Cox, D. R. and Oakes, D., *Analysis of Survival Data*, Chapman and Hall, London, 1984.
17. Kleinbaum, D. G. and Klein, M., *Survival Analysis—A Self-learning Text*, Second Edition, Springer, New York, 2005.
18. Davis, R. K., "The Value of Outdoor Recreation: An Economic Study of the Main Woods", Ph. D. Dissertation, Department of Economics, Harvard University, 1963.
19. 周京弘,「高速鐵路臺北—臺中暨臺北—高雄路段通車效益評估」,國立臺灣大學農業經濟學研究所碩士論文,民國94年。
20. Carson, R. T., Flores, N. E., and Meade, N. F., "Contingent Valuation: Controversies and Evidence", *Environmental and Resource Economics*, Vol. 19, 2001, pp. 173-210.
21. 廖宜彥,「臺灣地區垃圾焚化爐與掩埋場之不寧適質損」,國立政治大學經濟研究所碩士論文,民國95年。

22. 交通部運輸研究所，**運輸部門能源節約及溫室氣體減量潛力評估與因應策略規劃**，民國 95 年。
23. 中鼎工程股份有限公司，**ATMS 節能減碳成效分析**，中鼎工程股份有限公司，臺北，民國 97 年。
24. 莊裕霖、潘一誠，「移動污染源排放總量推估驗證、管制策略檢討與縣市執行成效考評」，行政院環保署委託研究，民國 100 年。
25. 李國榮，「機車急速熄火技術之研究」，國立屏東科技大學車輛工程系碩士論文，民國 99 年。

