

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

曾惓賢¹ 劉嘉福¹ 李光偉¹ 陳銘旭¹

摘要

前方車輛碰撞警示系統 (Forward Vehicle Collision Warning System) 為近期發展之前方防撞系統，此系統藉由雷達、雷射、影像或衛星導航等方式，掃瞄車輛未來行駛路徑，判斷是否潛藏著引發事故風險之障礙物。當系統以目前行車模式推估『未來將可能發生事故』時，會即時以燈光或聲音警示駕駛，提示駕駛採取適當行動以避免事故發生。ISO 15623[1]為評估前方車輛碰撞警示系統之國際標準測試程序，內容包含『系統評估方法』及『計算可能造成事故發生之原理』，參考 ISO 15623 可以設計出一定水準之防撞系統。但是『好的設計產品』並不表示『設計出好的產品』，92 年拜訪美國 NHTSA (類似我國交通部下屬單位) 時，有幸與負責先進車輛 (ASV) 發展工程師技術交流，知悉美國政府投資經費研究該國人民用車習慣，藉以評估產品是否能被接受並廣泛使用。美國投入調查人民用車習慣的理由為：有些『好的設計產品』，未考量民眾平時用車習慣，造成系統判斷與民眾認知不同，最終被民眾忽略或關機，無法發揮產品功能。因此，如何在理論與民眾習慣間取得平衡，並藉此『設計出好的產品』，達到降低事故發生率，為其投入調查該國人民用車習慣的動機。

本論文藉由調查國內用路人跟車習慣，將國人跟車模式與 ISO 15623 事故推估值做比較，評估國人跟車潛在風險，並可協助研究單位發展符合國內用路人之防撞系統。本計畫利用隨機跟車方式，蒐集後方車輛跟車模式，增加取樣之隨機及合理性。累積行駛里程 2,500 公里，研究範圍分為北、中、南、東四區之高速/快速道路、省道、山路及市區道路。資料收集方式採用影像方式記錄不同行駛條件下車輛跟車行為，再將彙整資料與 ISO 15623 及各車型煞車能力做交叉比對，分析國內用路人跟車行為潛在風險，並可做為研發單位發展適合國人防撞系統之設計重要參考。

壹、前言

依據內政部警政署全國交通肇事原因統計，國內肇事原因主要包含未注意車前狀況、超速失控、酒醉駕駛、其它障礙突然衝入及未保持安全距離等因素。同樣問題不僅發生於國內，世界各國為減少交通肇事率，減少事故所引伸之社會及經濟問題，利用各種先進概念及手段，嘗試降低事故之發生率。

目前世界主要汽車廠所發展預防事故系統中，前方防撞警示系統可以提供車前情報，即時警示駕駛採取應變措施，降低人為誤判或無法判斷車前情況所引發之事故率。

1 財團法人車輛研究測試中心工程師

1.1 前方防撞系統功能概述

防碰撞警示系統藉由量測車輛與前方車輛距離等參數，進而評估發生事故之風險。當系統評估結果顯示駕駛需採取適當反應以避免發生事故時，系統便會利用燈光或聲音警示駕駛。如何正確評估與前方車輛發生事故之可能性，為此類系統研發之重要關鍵，不正確的判斷可能會增加誤報率，令駕駛不信任系統甚至關閉系統，誤判亦可能造成系統未及時警示駕駛而造成事故，因此，評估系統警示功能正確性將是未來系統開發之重要工作。

1.2 前方防撞系統評估標準 ISO 15623 功能概述

前方碰撞預防警示系統為近期發展之產品，目前各國對於該產品尚無訂定法規，但為減低事故發生的危險，國際標準組織已經完成 ISO 15623 『Transport Information And Control System - Forward Vehicle Collision Warning Systems - Performance Requirements And Test Procedures』標準制定。該標準是由數個對此系統有興趣之國家，於 1994 年開始聯合研究。此標準可滿足前方碰撞預防警示系統之基本性能要求及測試程序，且可以做為其它先進標準之基礎。

ISO 15623 內容包含『系統評估方法』及『計算可能造成事故發生之原理』，可協助研究單位設計出一定水準之防撞系統。其中，在『計算可能造成事故發生之原理』中所提供之數學模式可視『駕駛反應時間』及『車輛煞車能力』不同，而計算出不同速度下跟車之安全距離。

1.3 國人跟車習慣與前方防撞系統研發之關聯性

目前在發展前方防撞系統遭遇的問題之一是：不同的設定會產出不同之速度與安全跟車距離曲線，偏向鬆的設定(選擇較遠的跟車距離曲線)，可能造成大部份駕駛認為防撞系統太敏感而不理會系統之警告；較嚴謹之設定(選擇較近的跟車距離曲線)則縮短系統警示時間而增加事故之風險性。

92 年拜訪美國 NHTSA 時知悉美國政府投資經費研究該國人民用車習慣，藉以評估產品是否能被接受並廣泛使用。美國投入調查人民用車習慣的理由為：有些『好的設計產品』，未考量民眾平時用車習慣，造成系統判斷與民眾認知不同，最終被民眾忽略或關機，無法發揮產品功能。因此，如何在理論與民眾習慣間取得平衡，並藉此『設計出好的產品』，達到降低事故發生率，為其投入調查該國人民用車習慣的動機。

因此調查國人跟車習慣，可以做為國內研發前方防撞系統之設定參數，協助研發出符合兼具國人用車需求及安全之產品。

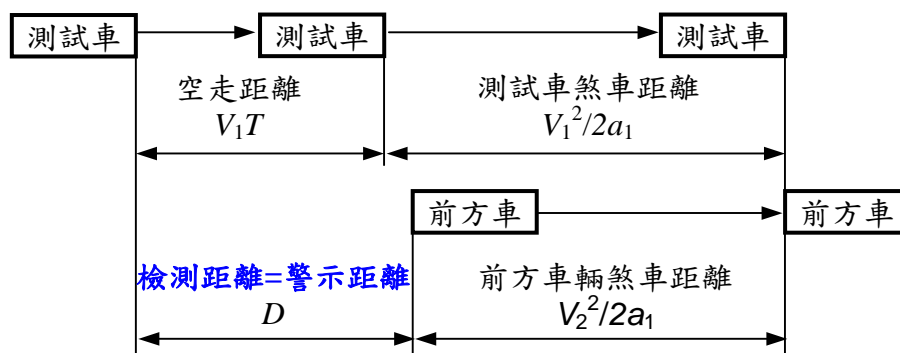
1.4 國人跟車習慣潛在風險性與 ISO 15623 之關聯性

因 ISO 15623 提供不同速度與跟車安全距離計算方程式，如果將國人跟車習慣調查數據套入方程式中，並藉此反推該速度下所需的反應時間，則可評估此時跟車之風險性。

貳、前方防碰撞警示基本方程式

如圖 1 所示，為 ISO 15623 所提供之碰撞警示演算法基本數學模式示意圖，圖中假設當測試車與前方車輛起始距離為 D_w 時，前方車輛突然煞車，前方(障礙)車輛由開始煞車至車輛完全停止所行駛距離為 $V_2^2/2a_2$ ，測試車駕駛反應到危險至測

試車完全停止所行駛距離為 $V_1T + V_1^2/2a_1$ 。當測試車最終行駛距離減去前方(障礙)車輛行駛距離等於測試車與前方(障礙)車輛起始距離時『 $D_w = (V_1T + V_1^2/2a_1) - V_2^2/2a_2$ 』，兩車將不會發生碰撞，此起始距離 D_w 可做為前方防碰撞警示系統設定之『警示距離 D 』，當系統量測兩車實際檢測距離大於警示距離 D 時系統保持監控，系統計算實際檢測距離小於等於警示距離 D 時提供警示給駕駛。



$$D = D_w = V_1T + (V_1^2/2a_1 - V_2^2/2a_2)$$

圖例：

- D 警示距離；
- D_w 測試車至前方(障礙)車輛之距離；
- V_1 測試車之車速；
- V_2 前方(障礙)車輛之車速；
- T 空走(駕駛煞車反應)時間；
- a_1 測試車平均減速度
- a_2 前方(障礙)車輛平均減速度

圖 1 碰撞警示基本方程式(ISO 15623 Annex A Figure A.1)

圖中所示前方防碰撞系統演算參數包含：前方(障礙)車輛及測試車之車速、平均減速度、駕駛反應時間。其中測試車車速可由擷取車內速度訊號而得，前方(障礙)車輛車速可由雷射、毫米波雷達或影像辨識取得，測試車平均減速度可以預設為原廠測試值或由測試車車速計或加速規而得，前方(障礙)車輛減速度可由系統設計者設定或由計算前車車速差而得，惟駕駛反應時間必需由系統設計者設定而得。

2.1 國人開車習慣之潛在風險

當跟車距離縮短、前方車輛煞車燈亮起、車輛闖入我方車道等事件讓駕駛意識到危險時，駕駛常會做出某些行為(如：鬆油門、踩煞車等)以避免事故之發生。問題是駕駛如何正確地意識到危險？

由於成長過程及環境差異，每個人均有其獨特學習生涯、生活知識、社會經驗等，進而培養出獨一無二的駕駛行為標準。實際上，目前有關行車觀念並未納入國內基本教育課程，汽車教練在訓練學員時也是以取得駕照為主要目的。國人開車相關知識主要來自於電視媒體、汽車雜誌及平時駕駛經驗等，在未確定取得資訊是否正確下所建立之獨特信心及勇氣，往往可能造成高估及低估行車之危險性。

高估行車危險性對於事故預防有一定的幫助，但是低估危險性常常會造成不可預測之後果。由於市售車輛在某一範圍內煞車特性曲線(如圖 2 所示)接近於線性(如：車輛煞車距離或減速度會隨著踩煞車的力量增加而增加)，但是在接近車輛臨界性能領域時，不同車輛或載重條件下，煞車特性曲線將呈現不同程度的發散而難以預測(如：當接近車輛臨界性能時，即使增加踩煞車力量，車輛減速度不增反減，甚至造成車輛失去轉向能力或失控，嚴重增加車輛行進路徑的不確定性，使駕駛難以依其意識控制車輛行駛方向)，當車輛實際行進方向與駕駛預測方向不同時，可以想像此時肇事機率有多高。

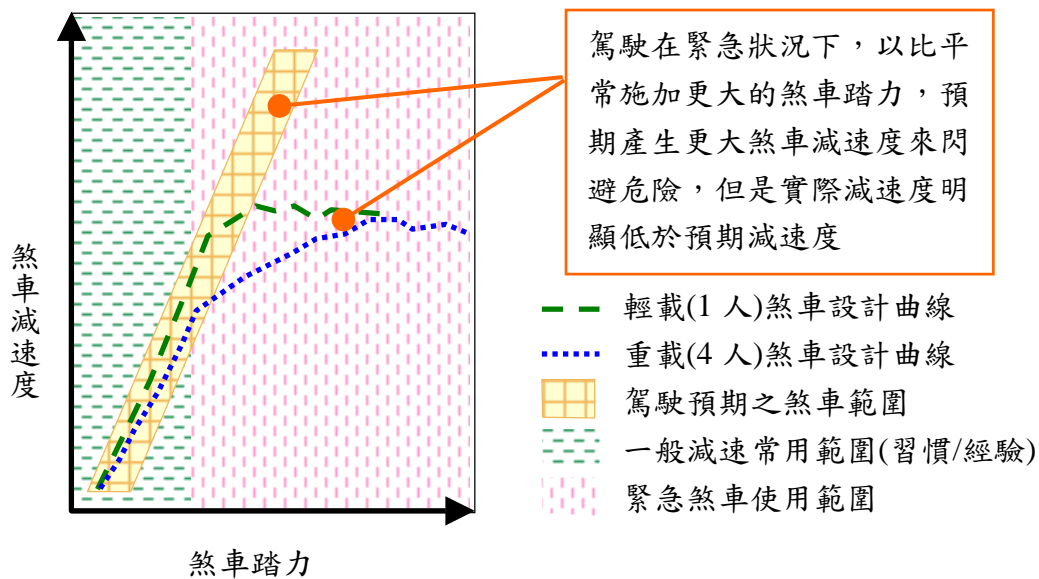


圖 2 煞車踏力與煞車減速度示意圖

目前最重要的問題是絕大多數開車的民眾通常在車輛特性仍為線性範圍內開車，僅有少數人偶而有機會進入非線性領域，一旦駕駛將車輛駛入此領域時，車輛動態行為將難以依駕駛預期行進，即使多年開車經驗的駕駛仍很可能過度相信經驗而以線性的觀點去推估車輛行為，因而誤判車輛未來行進方向而採取不當的操控。因此，正確的行車觀念及知識將有助於減少駕駛將車輛駛入此危險的非線性領域。

為避免人為疏忽所造成的事故，世界先進國家正在發展防撞系統，其發展目標為能即時提供正確行車資訊協助駕駛，有效降低事故發生機率。因此，如何正確判斷危險性並適時提供警示訊號為此系統存在的主要價值。

防撞系統的重要功能是如何正確判斷並適時發佈警示以避免事故的發生。ISO 15623 內容針對主要可能發生事故之 3 種狀況提出警示發佈時機建議：(1)兩車以相同車速行進(如：塞車或跟車時)；(2)前方車輛、人或其它物品為不動之障礙物(如：人、動物或車輛由橫向衝出，道路施工或障礙車等)；(3)前方車輛車速比後車低時(如：後車跟近前車並準備超車前)。本論文將參考 ISO 15623 第 1 種狀況，探討國內用路人跟車行為之潛在風險性。

2.2 駕駛煞車反應時間推估及車輛煞車性能

ISO 15623 內文中引述 Johansson and Rumar^[2] 有關煞車反應時間之研究資料，圖 3 為其研究成果，圖中所示駕駛煞車反應時間 T 之測試值介於 0.3~2 秒，平均值為 0.66 秒，此測試值為量測 321 位有效測試員在喇叭聲響後至操作煞車之延

遲時間，此測試值之分佈非常廣，然而 98% 的測試員之測試值低於 1.5 秒。黃靖雄編著現代汽車底盤^[3]提及駕駛發現危險反應時間約 0.38~0.50 秒，換腳時間約 0.17~0.28 秒，踏入時間約 0.07~0.15 秒，空走時間=反應時間+換腳時間+踏入時間約 0.62~0.93 秒，但是 ISO 15623 所引述的駕駛煞車反應時間並未包含踏入時間，因此，未計算踏入時間之煞車反應時間約 0.55~0.78 秒，與 Johansson and Rumar 之研究平均值 0.66 秒相近。

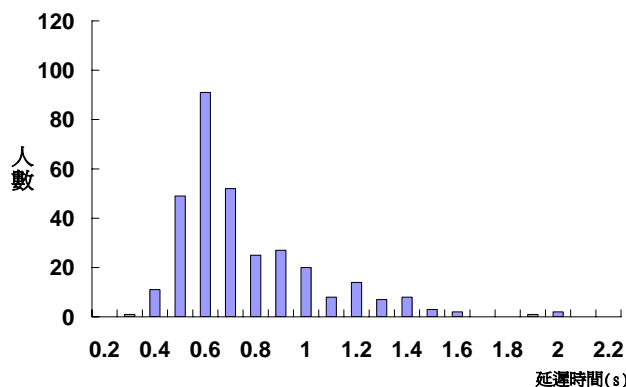


圖 3 駕駛煞車反應時間分佈圖(ISO 15623 Annex A Figure A.2)

圖 4 為 ISO 15623 內文中有關汽車及卡車煞車減速度分佈圖，煞車減速度資料來源為車輛在乾燥平坦路面之緊急煞車性能評估值。由測試值顯示煞車減速度值介於 $3.6 \text{ m/s}^2 \sim 7.9 \text{ m/s}^2$ ，客車煞車平均值為 7 m/s^2 ，商用車平均值為 5.3 m/s^2 ，此測試值之分佈非常廣且測試值視車輛型式、裝載條件及駕駛反應特性而定。交通部『汽車煞車距離、行車速度及道路摩擦係數對照表』所示乾燥瀝青路面煞車減速度介於 $6.9 \sim 8.3 \text{ m/s}^2$ ，乾燥混凝土路面煞車減速度 $6.9 \sim 8.8 \text{ m/s}^2$ ，該表適用於一般車輛不分車種(包含機踏車、曳引車及拖車等)。

財團法人車輛研究測試中心成立至今雖未完整建立國內所有車型各式煞車效能資料庫，但是執行煞車檢測能力及曾執行過各車型煞車測試之數量亦為在國內產學研之翹楚。近年來檢測數據顯示轎車煞車系統之減速度大部份落在 $8 \sim 9 \text{ m/s}^2$ 附近，部份車型瞬時減速度更可達 10 m/s^2 ，顯示近年來國內轎車煞車系統及輪胎均有進步，大客車、大貨車及拖車之減速度則與 ISO 15623 之分佈圖接近，未來法規推動後應可建立足夠新車型數據以提供參考。

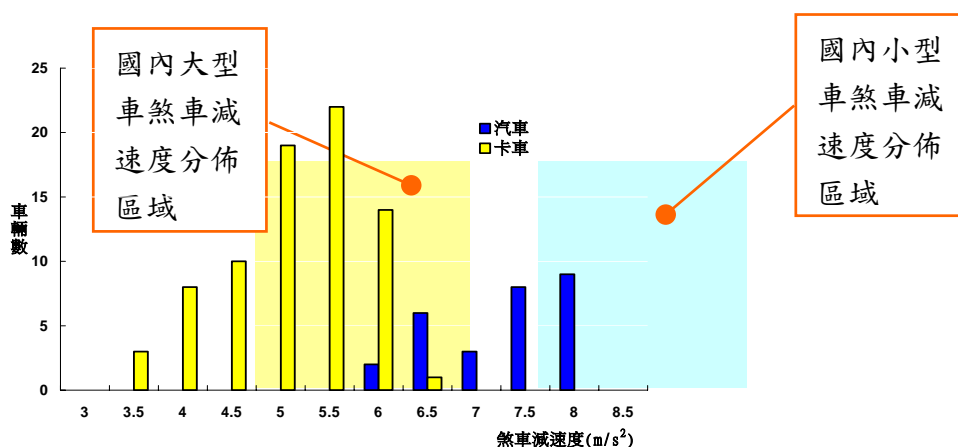


圖 4 駕駛減速度分佈(ISO 15623 Annex A Figure A.3)與國內車輛減速度關係圖

2.3 跟車行為之安全跟車距離分析-前後車減速度相同

在行車過程中當駕駛和前車保持等速行進時，假設前後車之平均減速度相近，由圖 3.1e 所示警示距離 $D=V_1T$ ，如圖 5 所示兩車安全跟車最小間距時域示意圖，由圖中可知由於兩車以相同減速度減速，前車之車速永遠比後車低，兩車安全初始間距等於警示距離。

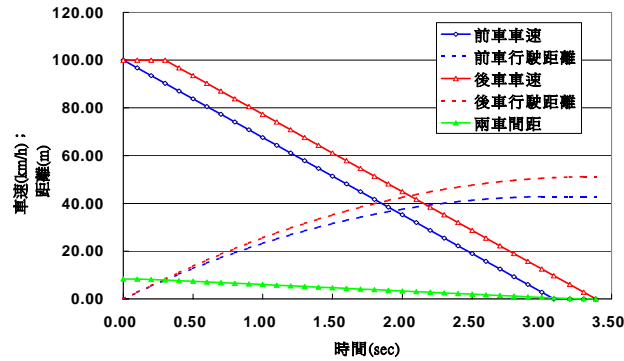


圖 5 最小安全跟車間距時域示意圖—前後車起始速度及減速度相同

圖 6 為不同車速及不同駕駛反應時間之警示距離，圖中所示當車輛以時速 100km/h 定速跟隨前車行駛時，大部份駕駛需保持約 20 公尺以上之間距以做為駕駛煞車過程中車輛空走所需之緩衝距離，對於反應快的駕駛甚至 10 公尺即可避免事故發生之風險，但是對於反應慢或不專心的駕駛而言，當跟車距離低於 60 公尺時即存在行車風險。另外，對於平時開車習慣同時觀察前方及遠方車輛動態之駕駛而言，因為可事先獲得較前方資訊，其所需之行車間距將可更短。

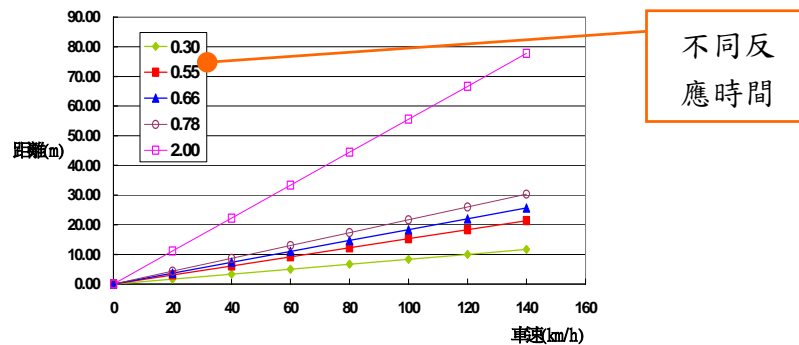


圖 6 車速、駕駛反應時間與警示距離之關係—前後車起始速度及減速度相同

2.4 跟車行為之安全跟車距離分析-前車減速度比後車小

假定前車減速度是 $a_2=5.3\text{m/s}^2$ (如：大型車緊急煞車) 而後車減速度是 $a_1=9.0\text{m/s}^2$ (如：小型車緊急煞車) 時，其時域圖如圖 7~9 所示可分為 3 種模式：(1) 如圖 7 所示為當前車速度為零時後車仍在煞車，由於後車速度永遠大於前車，整個減速過程中兩車之間距持續縮短；(2) 如圖 8 所示前後車速度同時為零，由圖中可得當兩車速度越接近時兩車間距縮短之速度越慢；(3) 圖 9 所示為後車速度先為零，由圖中所示當後車速度低於前車時兩車間距增加，因此，兩車速度相同時為兩車間距最短之點。

依照圖 1 所示 $D=D_w=V_1T+(V_1^2/2a_1-V_2^2/2a_2)$ ，其中 V_1 及 V_2 均為時間函數，
假設 $V=V_1=V_2$ ，兩車最小行車間距計算如下：

(1)圖 7 時間函數轉換如下：因為前車比後車先停止，所以 $t_2 < t_1$ 。

$$\text{前車行駛時間：} t_2 = V_2 / a_2$$

$$\text{後車行駛時間：} t_1 = T + V_1 / a_1$$

$$\text{因為 } t_2 < t_1 : V_2 / a_2 < T + V_1 / a_1$$

$$\text{車速要求為：} V < a_1 a_2 T / (a_1 - a_2)$$

$$\text{前車行駛距離：} D_2 = V_2 t_2 / 2 = V_2^2 / 2a_2$$

$$\text{後車行駛距離：} D_1 = V_1 T + V_1 (t_1 - T) / 2 = V_1 T + V_1^2 / 2a_1$$

$$\text{最小行車間距：} D = D_1 - D_2 = VT + (V^2/2a_1 - V^2/2a_2)$$

(2)圖 8 時間函數轉換如下：當兩車速度同時為零時 $t=t_1=t_2$ 。

$$\text{前車行駛時間：} t_2 = V_2 / a_2$$

$$\text{後車行駛時間：} t_1 = T + V_1 / a_1 = t_2$$

$$\text{因為 } t_2 = t_1 : V_2 / a_2 = T + V_1 / a_1$$

$$\text{車速要求為：} V = a_1 a_2 T / (a_1 - a_2)$$

$$\text{且 } t=t_1=t_2 \text{ 時兩車速度相同點：} t = a_1 T / (a_1 - a_2)$$

$$\text{前車行駛距離：} D_2 = V_2 t_2 / 2 = V^2 / 2a_2$$

$$\begin{aligned} \text{後車行駛距離：} D_1 &= V_1 T + V_1 (t_1 - T) / 2 = V_1 T + V_1 t_1 / 2 - V_1 T / 2 \\ &= VT / 2 + V^2 / 2a_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{最小行車間距：} D &= D_1 - D_2 = VT / 2 + (V^2 / 2a_2 - V^2 / 2a_2) = VT / 2 \\ &= a_1 a_2 T^2 / 2(a_1 - a_2) \end{aligned}$$

(3)圖 9 時間函數轉換如下：因後車比前車先完全停止，所以 $t_2 > t_1$ ，此外由
圖中所示當前後車速度相同時為兩車最小行車間距，假設此時 $t_t = t_{1t} = t_{2t}$ 時
 $V_t = V_{1t} = V_{2t}$ 。

$$\text{前車行駛時間：} t_2 = V_2 / a_2$$

$$\text{後車行駛時間：} t_1 = T + V_1 / a_1 = t_2$$

$$\text{因為 } t_2 > t_1 : V_2 / a_2 > T + V_1 / a_1$$

$$\text{車速要求為：} V > a_1 a_2 T / (a_1 - a_2)$$

$$\text{前車瞬時車速：} V_{2t} = V - a_2 t_t$$

$$\text{後車瞬時車速：} V_{1t} = V - a_1 (t_t - T)$$

$$\text{因 } t_t = t_{1t} = t_{2t} \text{ 且 } V_{1t} = V_{2t} : V - a_2 t_t = V - a_1 (t_t - T)$$

$$\text{兩車速度相同點：} t_t = a_1 T / (a_1 - a_2)$$

$$t_t \text{ 前車行駛距離：} D_2 = V_{2t} t_t - a_2 t_t^2 / 2 = V_{2t} t_t - (V - V_{2t}) t_t / 2$$

$$t_t \text{ 後車行駛距離：} D_1 = V_{1t} t_t - a_1 (t_t - T)^2 / 2 = V_{1t} t_t - (V - V_{1t}) (t_t - T) / 2$$

$$\begin{aligned} \text{最小行車間距：} D &= D_1 - D_2 = V_{1t} t_t - (V - V_{1t}) (t_t - T) / 2 - V_{2t} t_t + (V - V_{2t}) t_t / 2 \\ &= (V - V_t) T / 2 = a_2 t_t T / 2 = a_1 a_2 T^2 / 2(a_1 - a_2) \end{aligned}$$

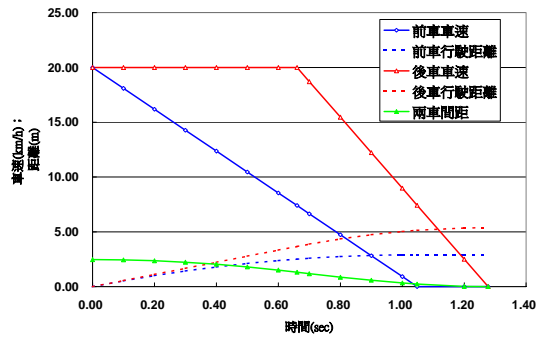


圖 7 最小安全跟車間距時域示意圖—前車減速度比後車小(前車先停止)

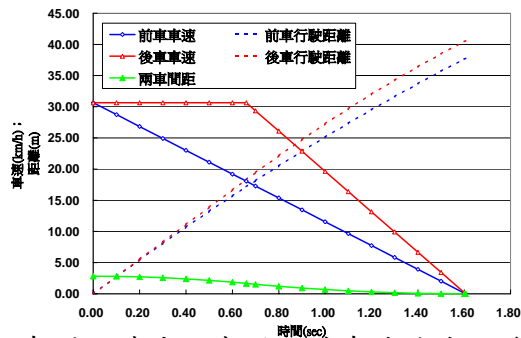


圖 8 最小安全跟車間距時域示意圖—前車減速度比後車小(兩車同時停止)

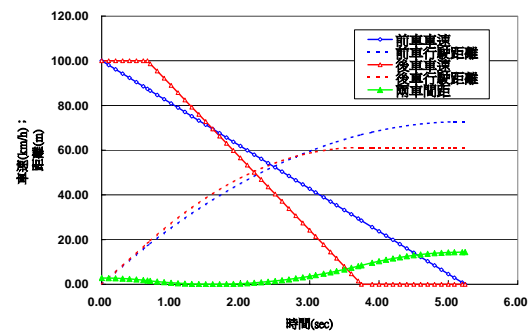


圖 9 最小安全跟車間距時域示意圖—前車減速度比後車小(後車先停止)

由上述結果顯示當 $V < a_1 a_2 T / (a_1 - a_2)$ 時最小間距時域圖如圖 7 所示，最小行車間距值與圖 1 所示 $D = D_i = V_1 T + (V_1^2 / 2a_1 - V_2^2 / 2a_2)$ 結果相同，最小行車間距與車速及反應時間及各車減速度有關，當 $V \geq a_1 a_2 T / (a_1 - a_2)$ 時最小間距時域圖如圖 8~9 所示，最小行車間距值與圖 1 值不同，最小行車間距 $D = a_1 a_2 T^2 / 2(a_1 - a_2)$ 與行車速度無關，僅與反應時間及各車減速度有關(如圖 10 所示)。圖 11 為依圖 1 所示方程式計算之最小行車間距，如直接引用圖 11 之計算資料可能導致高速時之警示距離設定值偏低而無法達到系統正確警示之功能。

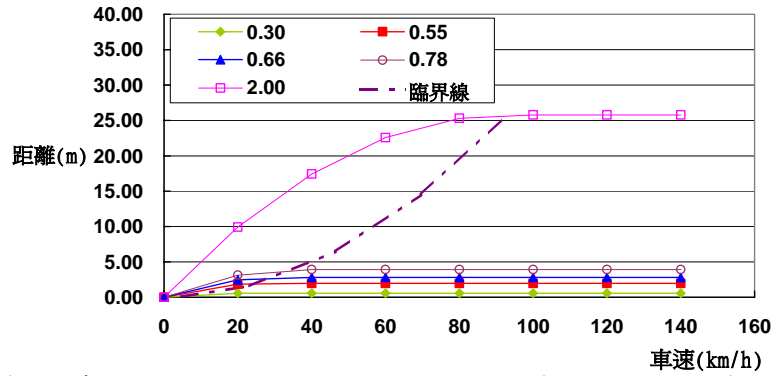


圖 10 車速、駕駛反應時間與警示距離之關係—前後車起始速度；前車減速度比後車小

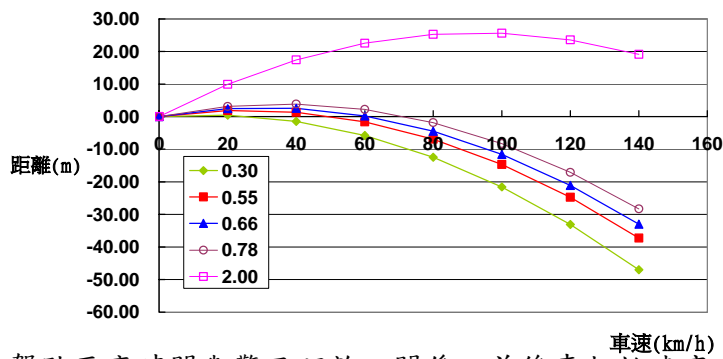


圖 11 車速、駕駛反應時間與警示距離之關係—前後車起始速度；前車減速度比後車小(未考量兩車接近過程且僅依圖 1 所示方程式計算之不當結果)

2.5 跟車行為之安全跟車距離分析-前車減速度比後車大

假定前車減速度是 $a_2=9.0\text{m/s}^2$ (如：小型車緊急煞車)而後車減速度是 $a_1=5.3\text{m/s}^2$ (如：大型車緊急煞車)時，其時域圖如圖 12 所示僅 1 種模式：因前車減速度比後車大，當前車速度為零時後車仍在煞車，由於後車速度永遠大於前車，整個減速過程中兩車之間距持續縮短。

依照圖 1 所示 $D=D_i=V_1T+(V_1^2/2a_1-V_2^2/2a_2)$ ，其中 V_1 及 V_2 均為時間函數，假設 $V=V_1=V_2$ ，兩車最小行車間距計算如下：

(1)圖 12 時間函數轉換如下：因為前車比後車先停止，所以 $t_2 < t_1$ 。

前車行駛時間： $t_2 = V_2 / a_2 = V / a_2$

後車行駛時間： $t_1 = T + V_1 / a_1 = T + V / a_1$

當車速要求為： $V > 0$

$V / a_2 < V / a_1$ 且 $T > 0$ ： $t_2 = V / a_2 < V / a_1 < V / a_1 + T < t_1$

前車行駛距離： $D_2 = V_2 t_2 / 2 = V_2^2 / 2a_2$

後車行駛距離： $D_1 = V_1 T + V_1(t_1 - T) / 2 = V_1 T + V_1^2 / 2a_1$

最小行車間距： $D = D_1 - D_2 = VT + (V^2 / 2a_1 - V^2 / 2a_2)$

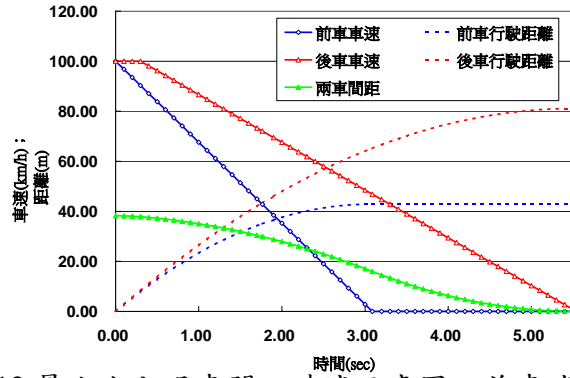


圖 12 最小安全跟車間距時域示意圖—前車減速度比後車大

圖 13 為依圖 1 及圖 12 所示方程式計算之最小行車間距，由圖中所示當小轎車後面跟著大型車時建議之行車間距遠比其它條件長，如圖所示當時速為 60km/h 及 100km/h 時，一般駕駛建議保持 20 公尺及 40 公尺以上以避免發生追撞，但因大型車駕駛視野高，如圖 14 所示可以事先觀察前方數十公尺外之環境，因此，其實際所需警示距離可能比計算值低。

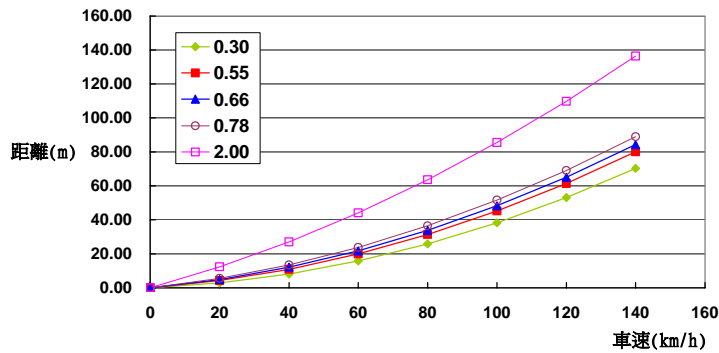


圖 13 車速、駕駛反應時間與警示距離之關係—前後車起始速度；前車減速度比後車大

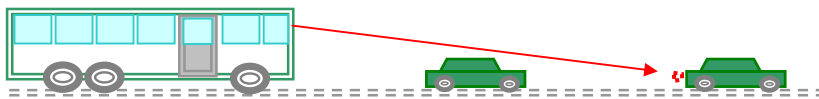


圖 14 大型車視野示意圖

參、國人跟車習慣與潛在風險分析

3.1 國內用路人調查方式

為研究國內用路人跟車習慣，彙整國人跟車模式，本論文利用隨機跟車方式，記錄本車車速、車前情況及後方跟車環境、(如圖 15 所示)，增加取樣之隨機及合理性。研究範圍分為北、中、南、東四區之高速/快速道路、省道、山路及市區道路，累積行駛里程達 2,500 公里。



圖 15 本車車速、車前情況及後方跟車環境示意圖

跟車距離評估方式為：以人工方式監看所記錄之影像檔並對應至距離校正影像圖(如圖 16 所示)，進而比對出後車跟車距離。在考量人工辨視之精度及車輛行進過程之振動，跟車距離以 5 公尺為一單位，當跟車距離大於 65 公尺以上時即難以人眼辨識，在記錄上以 99 公尺表示後車跟車距離大於 65 公尺。

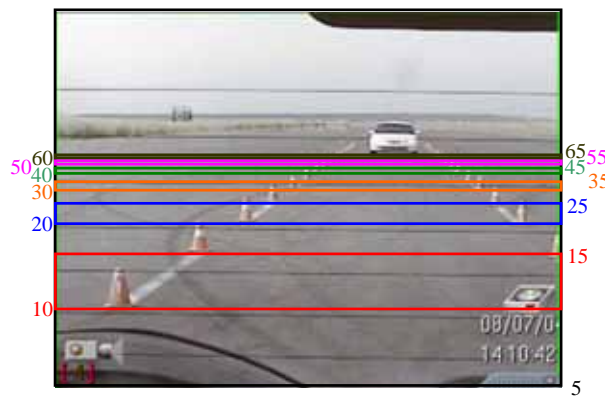


圖 16 跟車距離評估示意圖

跟車距離認定方式為：當後車與前車以接近等速條件行進時之距離為跟車距離(例如：當前車切入後車車道時，如後車減速以增加跟車距離，則此時兩車之距離不被認定為跟車距離，直至後車與前車距離保持穩定時才記錄此時之兩車距離)。

3.2 國內用路人跟車行為調查結果

本論文考量國內汽車煞車效能主要區分為小客車為大型車，因此將跟車距離調查統計數據大略分為兩大類，一、前/後車均為小客車，跟車距離與車速之關係分佈圖如圖 17 所示(618 車次)；二、前車為小客車，後車為大型車，跟車距離與車速之關係分佈圖如圖 18 所示(98 車次)。未來如有機會，將會調查前/後車均為大型車，及前車為大型車，後車為小客車。

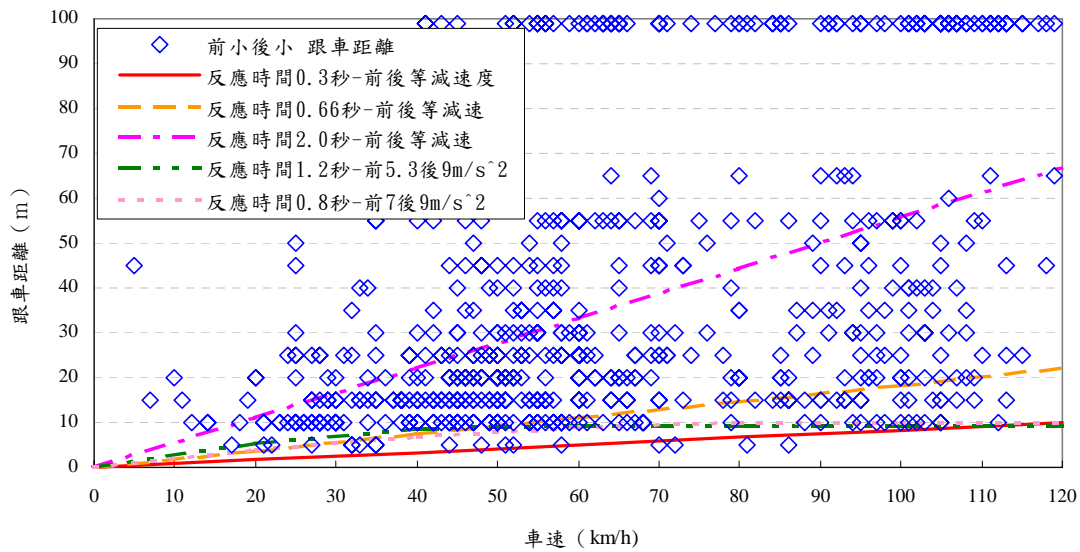


圖 17 前/後車均為小客車，跟車距離與車速之關係分佈圖

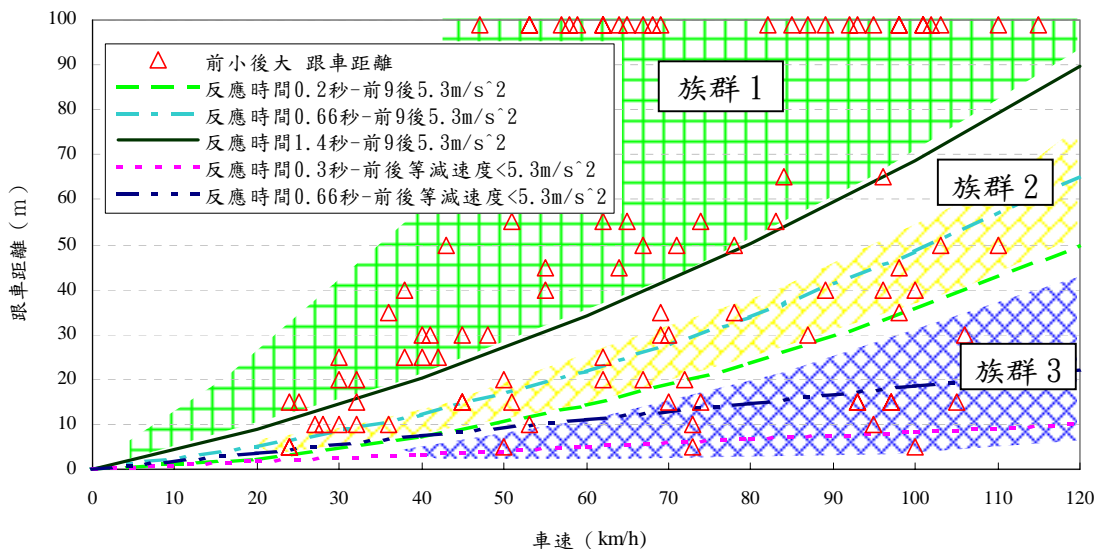


圖 18 前車為小客車，後車為大型車，跟車距離與車速之關係分佈圖

圖 17 為前後車均為小客車時，國內用路人跟車距離調查分佈圖，由圖中所示可知，國人在 30 至 110km/h 之車速行駛時，習慣保持之跟車距離不僅廣且分散，跟車距離並沒有因為車速增加而有明顯改變，提高車速卻沒有相對提高跟車距離，一旦前方發生緊急狀況時，將增加發生事故之風險；圖 18 為大型車跟在小客車後時之跟車距離分佈圖，由圖中所示可約略分為三個族群，族群 1 以較充裕的行车模式，保持充裕之跟車距離，以確保行车安全，族群 2 則保持略短的跟車距離，需要較短之反應時間以避免發生事故，族群 1、2 行车模式會隨車速增加而保持更長的跟車距離，族群 3 之跟車距離非常近且與車速沒有明顯關係。

3.3 國內用路人跟車行為潛在危險性分析

為評估國內用路人之跟車距離所潛在風險，將 ISO 15623 所計算之公式及參考之數據代入上述圖 17、18 中，並比較數種緊急條件下可能發生肇事之機率如表 1、2 所示。

當前後車均為小客車時，國內駕駛在發現前方車緊急煞車，並於 0.3、0.66 及 2.0 秒後採取緊急煞車條件下，跟車距離不足之機率分別為 0.7%、11.7% 及 61.3%，由前述資料所示：0.7% 的人幾乎無法在前車緊急煞車下避免事故發生，11.7% 的人可能發生事故，38.7% 的人可能在前方緊急煞車時避免發生事故。當前車以 5.3 m/s^2 (如：大型車緊急煞車或以比一般狀況略急之煞車時) 及 7 m/s^2 (如：接近緊急煞車之煞車或駕駛未適當發揮車輛煞車效能時) 的減速度煞車而後車以 9 m/s^2 的減速度煞車時，如反應時間分別為 1.2 秒及 0.8 秒，則跟車距離不足之機率分別為 2.8% 及 4.5%。

當前為小客車而後車為大型車時，國內駕駛在發現前方車緊急煞車，並於 0.2、0.66 及 1.4 秒後採取緊急煞車條件下，發生跟車距離不足之機率分別為 14.3%、29.6% 及 61.3%，如果前車以 5.3 m/s^2 低(如：以比一般狀況略急之煞車時) 之減速度煞車而後車也以相同的減速度煞車時，如反應時間分別為 0.3 秒及 0.66 秒，則跟車距離不足之機率分別為 2.0% 及 10.2%。[PS：3.3 節數據成立條件為假設駕駛的視線只注意到前方車輛]。

表 1 前/後車均為小客車時，前車緊急煞車情況下跟車距離不足統計

	反應時間 0.3 秒-前後 等減速度	反應時間 0.66 秒-前後 等減速度	反應時間 2.0 秒-前後 等減速度	反應時間 1.2 秒-前 5.3 m/s^2 後 9 m/s^2	反應時間 0.8 秒-前 7 m/s^2 後 9 m/s^2
可能肇事件數	4	72	379	17	28
可能肇事比率	0.7%	11.7%	61.3%	2.8%	4.5%

表 2 前為小客車，後車為大型車，前車緊急煞車情況下可能潛在發生事故統計

	反應時間 0.2 秒-前後 等減速度	反應時間 0.66 秒-前後 等減速度	反應時間 1.4 秒-前後 等減速度	反應時間 0.3 秒-前後等減 速度 $< 5.3 \text{ m/s}^2$	反應時間 0.66 秒-前後等減 速度 $< 5.3 \text{ m/s}^2$
可能肇事件數	14	29	42	2	10
可能肇事比率	14.3%	29.6%	42.9%	2.0%	10.2%

3.4 國內用路人跟車模式與前方防撞系統設計之關係

由圖 18 所示當反應時間設定為 1.4 秒時，約 6 成的大型車駕駛跟車距離大於此值，依 ISO 15623 所示大部份人之反應時間小於 1.4 秒，安全性高可設為初段危險警示；危險閃避警示如設為 0.2 秒時，僅約 1 成多的大型車駕駛可能會反應系統太敏感，但是大部份人無法在如此短的時間下做出反應，其風險性高，除非防撞系統可以即時辨識並評估駕駛所注視之視野，藉此機動調整反應時間之參數以達到安全及實用之價值前，建議暫時以 0.66 秒的反應時間做為危險閃避警示之設定參數，其理由為系統此時已先行警示駕駛跟車距離略近(反應時間小於 1.4 秒時初段危險警示)，因此駕駛並非在無預期的條件下發現可能危險，駕駛發現危險之時間應可低於現代汽車底盤所述一般駕駛發現危險之時間(約為 0.38~0.50 秒)，在扣除

換腳時間 0.17~0.25 秒後駕駛仍有 0.41~0.49 秒發現危險之時間，由於防撞系統提早警示駕駛，因此此時駕駛的平均反應時間應比 0.66 秒低，但是此一設定仍會有 3 成大型車駕駛反應系統大敏感，在安全與實用上仍有努力的空間。

至於圖 17 所示前後車均為小車之資料沒有明顯特定族群，暫時無法提供建議，未來將繼續努力看如何由這些資料中找出適合之參數。

肆、結論與建議

4.1 國內用路人跟車模式

假設駕駛開車時只注意前方車輛動態，則國內用路人約有 1 成小客車及 3 成大型車駕駛之跟車距離所需反應時間需低於 0.66 秒，一旦前車緊急煞車，則後車可能發生追撞。但是駕駛並不會只注視前車動態，所以當駕駛能注視遠方時，實際所需反應時間將低於此值，但是並不表示駕駛能剛好即時注意遠方所發生之危險，而提早避免事故發。所以，如果能蒐集駕駛在何種條件下所節省之反應時間，將可更有效的評估跟車距離與事故之關係。

4.2 連續跟車之潛在危險性分析及行車建議

我們假設有 3 台車以時速 100km/h 定速行駛，此 3 台車之跟車距離均為 10 公尺，當第 1 台車發現危險以 7 m/s^2 減速度緊急煞車，第 2 台車在 0.66 秒後以 9 m/s^2 減速度緊急煞車以避免與第 1 台車追撞，第 3 台車也在下一個 0.66 秒後以 9 m/s^2 減速度緊急煞車(受限於車輛最高煞車性能時)，因為第 1、2 台車所需之安全跟車距離為 6.86m，所以沒有發生事故，第 2、3 車所需之安全跟車距離為 18.33m，則發生追撞事故。

所以當數台車連續跟車距離均很短時，往往第 1 台車以比一般情況略大之減速度煞車時，第 2 台車則需以比前車更大的減速度煞車以避免追撞，第 3 台車則需以比第 2 台車更大之減速度煞車才能避免危險，如 2.1 所述車輛之煞車效能有一極限，很可能於後面幾台發生追撞事故。如果第 3 台車在第 1 台車煞車時即做出反應而與第 2 台車同時煞車，其相對於第 2 台車之反應時間為 0，可為自己爭取更多的反應時間，以增加行車安全。對於一般小客車之高度較低，所以建議不要筆直的跟在前車後面，最好可以略微偏向一側以看到前車前方情況，或避免跟在大型車後面以提早瞭解遠方路況。大型車駕駛之位置較高，可看到的視野較遠，只要駕駛注意前方路況，往往可以比小客車更早反應危機，以補足大型車煞車效能之不足。

4.3 前方防撞系統設計之建議

駕駛視線在注視不同位置時，將增加或減少辨識危險所需之反應時間，此一條件將明顯影響警示判斷之正確性及系統之實用性，雖然 ISO 15623 並未提及視線對反應時間之影響，建議系統設計者能加入此一功能使防撞系統能更加實用，使此系統能被國人接受而成為提升安全之商品。未來如何利用各種資訊(如：利用影像視別系統評估駕駛視線是否落在適當方向或推估駕駛是否打瞌睡，利用踩車開關判斷駕駛是否已採取對策等)推估駕駛可能反應時間將是系統重要參數之一。

另外，如果防撞系統可以在駕駛未採取適當閃避事故之行為時暫時接管車輛並自動進行閃避事故之控制以縮短反應時間，則安全跟車距離應可再縮短。

參考文獻

- 1.ISO 15623, Transport information and control systems—Forward vehicle collision warning systems—Performance requirements and test procedures
- 2.Johansson, G and Rumar, K. Driver's Brake Reaction Times. Human Factors, vol.13, No.1, 23-27, 1971
- 3.黃靖雄，"現代汽車底盤"，第二版，正工出版社，台灣台中，1994