

空氣囊與駕駛員距離之安全性分析

詹英敏, 李易昌, 黃興閔, 林漢翔

車輛研究測試中心

E-mail: jan@artc.org.tw

摘要

本研究探討駕駛員因身材體型或駕駛習慣不同而使其與空氣囊之距離有所變動，在遭遇撞擊時是否會因此降低其安全性。本研究藉由改變座椅及方向盤治具間之距離來模擬上述之狀況，利用台車模擬碰撞設備進行動態衝擊試驗，並輔之以人偶感測器，擷取各種資訊及計算人偶傷害指數。

其結果發現，在一般車輛座椅之可調整距離下，若駕駛員與空氣囊距離較遠，在發生衝擊時因有足夠之展開空間及時間，因而能提供較完整之保護效果，且能有效吸收衝擊力，以抑制二次碰撞時所受到之傷害。

關鍵詞： 空氣囊、安全性、模擬碰撞、動態衝擊試驗

器及資料擷取系統、空氣囊引爆系統、高速攝影系統。



圖 1—SESA ServoSled 測試平台及各輔助設備

1. 前言

空氣囊用於車輛被動安全系統以保護乘員安全已行之有年，其可有效減少乘員在遭遇撞擊時頭部、胸部撞擊車體部件的機率，也可降低其頸部所受傷害並增加人員在事故中的生存機率。其中車禍事故中又屬前面碰撞之發生機率最高，故現今所生產之新型車型幾乎已全面安裝前撞空氣囊，以提升乘員之安全性。然座椅上之活動機構，如前後滑軌、仰臥器等，皆會因乘員使用習慣或身材體型而有所調整，其意謂著若撞擊發生時將會使乘員與空氣囊之接觸時間有所改變，便可能使得空氣囊之保護效果降低亦或造成反效果。即便人偶的位置僅有微小的改變，但空氣囊爆破時給予乘員的受力便會有所差異，故空氣囊與乘員之距離在遭遇碰撞時乃是一重要參數[1]。

本研究便是針對因活動件位置改變造成乘員與空氣囊距離變動，是否進而影響駕駛員之安全性做探討，利用改變方向盤距離，模擬車體座椅前後滑軌之最前段、中間段及最後段，並以安全帶束縛人偶，固定其他參數如座椅角度、空氣囊引爆時間等，利用台車模擬碰撞設備，研究當駕駛員位於不同之駕駛位置時，空氣囊對人體所造成的傷害之影響，期望能獲得較佳之設計參考。

2. 研究設備

2.1 動態衝擊測試設備

為模擬駕駛員在遭遇前方碰撞時之情形，本研究使用台車模擬碰撞設備—SESA ServoSled，其為一加速型模擬碰撞試驗機，藉由高壓氣體為動力源，配合伺服煞車系統可輕易模擬出所需之能量及波形。測試架設方式如圖 1 所示，其中輔助設備可細分為測試用人偶感測

2.2 人偶感測器及資料擷取系統

為分析空氣囊於不同位置在遭遇撞擊時對駕駛員所造成之傷害指數，本文使用 Hybrid III 50th 男性人偶，並藉由人偶感測器進行訊號擷取以利分析比對，其使用之感測器為頭部三軸加速規、頸部六軸荷重元、胸部三軸加速規及位移計、骨盆三軸加速規，以分析人偶之運動行為。

感測器所使用之資料擷取設備為 32 頻道之 DTS TDAS G5，依據 SAE J211-1 [2]之規範使用 DIAdem 軟體進行訊號後處理。

2.3 高速攝影系統

在動態衝擊之高速運動下，藉由高速攝影機所拍攝之高速影像，可輔助分析各測試條件下人偶之運動狀況。本研究在地面(Off-board)架設 Phantom V9.0 高速攝影系統進行拍攝；且均以每秒 1,000 畫面之超高速快門模式下進行測試件動態行為慢速播放解析。

2.4 空氣囊引爆系統

當駕駛員遭遇衝擊時，空氣囊的引爆時間扮演著能否有效降低駕駛員傷害的重要角色。在此，本研究將引爆時間固定，僅利用方向盤的相對位置作為控制變因，並使用引爆計時器(KT Timer K3789)來控制空氣囊在動態衝擊試驗中的引爆時間，衝擊開始時為時間原點，而空氣囊引爆時間設定為 30 ms。

3. 試驗條件

3.1 測試規範

本研究以 ECE R17 座椅規範[3]之動態衝擊波形作為測試波形條件；而人偶傷害指數計算，則主要參考 ECE R94 前方偏置碰撞測試之規範[4]。

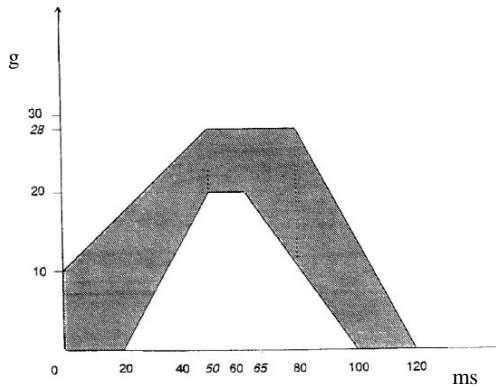


圖 2—ECE R17 台車加速度波形規範

3.2 測試設定

座椅之實際使用狀況，常因駕駛員使用習慣或體型差異，造成人體與空氣囊間距離改變，本研究係利用調整方向盤與座椅間之距離 SC，以模擬實車中座椅滑軌位置不同，遭遇前方碰撞時對駕駛員之傷害程度，共採用三種不同距離進行研究。同時分別記錄方向盤上緣至人偶鼻尖(Nose to rim, NR)、方向盤縱向中心點至胸腔水平距離(Chest to steering wheel, CS)及方向盤下緣至腹腔水平距離(Rim to abdomen, RA)、小腿與水平夾角(Tibia angle, TA)及大腿與水平夾角(Pelvic angle, PA)，以作為輔助判定之依據，其量測示意圖如圖 3 所示；各測試條件之量測記錄如表 1 所示。

本研究僅探討 SC 之距離變異對駕駛員之安全性分析，其餘活動件之參數，如安全帶固定點、仰臥器、方向盤及座椅高度等皆不變動，並以 ECE R16 [5]規範之標準座椅替代一般汽車座椅，以避免座椅所產生之變異。測試設定條件如圖 4~圖 6 所示。此外，設定空氣囊引爆時間皆固定為 30 ms，並以 ECE R17 規範之波形進行動態衝擊試驗。

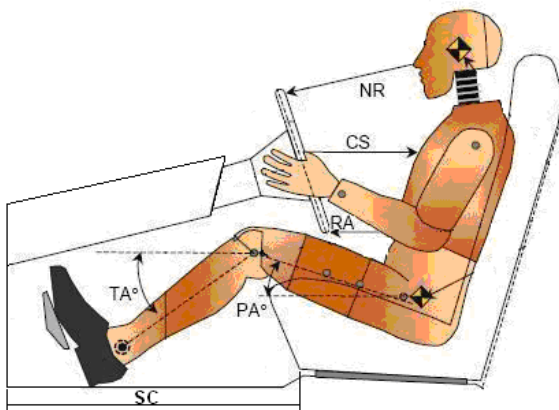


圖 3—設定條件量測示意圖

表 1—各測試量測記錄表

SC(mm)	NR(mm)	CS(mm)	RA(mm)	TA	PA
807	510	428	358	47.8°	14.7°
707	455	335	265	47.1°	14.0°
607	358	233	173	47.1°	14.0°



圖 4—第一次測試設定條件



圖 5—第二次測試設定條件



圖 6—第三次測試設定條件

4. 人偶傷害指數

人偶傷害指數可用於分析乘員在受到撞擊時的安全性判定。其中本研究參考 ECE R94 前方偏置碰撞之各項傷害指數規範如下，作為相關試驗結果評估：

- (1) 頭部性能指數(Head performance criteria, HPC)：頭部傷害可分為兩類：

- (A) 直接效應：頭部直接以高速撞擊或碰觸到硬物造成傷害。就物理現象來說，會產生較大之線性加速度之特性，以本研究為例，其碰觸物體為空氣囊。
- (B) 間接效應：頭部突然慣性方向改變所造成傷害。其係因身體重心的運動方向改變，再經由頸關節傳遞至頭部造成較大之角加速度所致其計算式如下。

$$HPC = \max \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

其中， a 為頭部重心 x 、 y 、 z 方向之合成加速度； t_1 、 t_2 為紀錄開始至結束之任意 2 時間點，而 HPC 值即為此時間間距內，上述計算式之最大值。

- (2) 頸部傷害指數(Neck Injury Criterion, NIC)：主要考量軸向力、頭頸交接部之剪應力及頸部伸展(extension)之力矩大小所造成之傷害指數。
- (3) 胸腔傷害指數(Thorax Compression Criterion & Viscous Criterion, ThCC & V*C)：本研究觀察胸部壓縮變形量以進行傷害評估。而黏滯係數 $V*C$ 是模擬駕駛員胸部之黏滯反應，亦即胸部肋骨壓縮率與壓縮速率之瞬時乘積，其計算式如下。

$$VC = \max \left[\frac{D_{(t)} - D_{(t-1)}}{0.229} V_{(t)} \right] \quad (2)$$

$$V_{(t)} = \frac{8(D_{(t+1)} - D_{(t-1)}) - (D_{(t+2)} - D_{(t-2)})}{12\delta t} \quad (3)$$

其中， D =胸部肋骨位移量
 $0.229(m)$ = Hybrid III 50th 男性人體模型肋骨深度
 V =胸部肋骨壓縮速率
 δt =時間間距 $\leq 1.25 \times 10^{-4} s$

5. 結果與討論

5.1 試驗結果概述

圖 7 為不同設定條件下之動態衝擊高速影像比較圖，而其各測試人偶之受力及傷害指數如下所述。

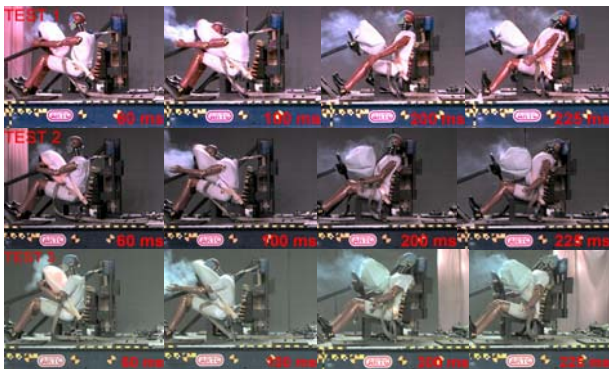


圖 7—SC 改變之動態衝擊比較圖

5.2 動態衝擊加速度波形

將三次測試所得之波形重疊比對，本文中各次測試之波形標示如圖 8 所示。由圖 9 可見各測試之規範波形

趨勢皆相同、差異不大且皆在法規(如圖 2)所給定之上下限範圍內，說明加速度波形在良好之控制下，提供穩定的試驗條件，以利本研究探討空氣囊與駕駛員距離間之關係。

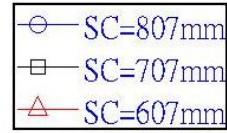


圖 8—波形圖曲線標示

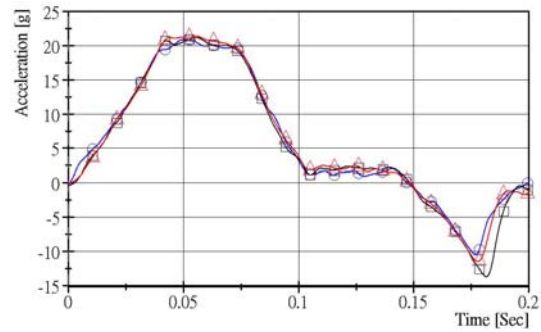


圖 9—動態衝擊加速度波形比較

5.3 頭部感測器

本研究設定頭部感測器方向如圖 10 所示，依據三次測試所量測得之頭部合成加速度，如圖 11。由圖可見，若以同樣條件之波形進行動態測試，在遭遇前面碰撞時，若駕駛員與空氣囊之距離較遠，將減少頭部撞擊時所受之加速度，其加速度峰值由方向盤至座椅間距離最遠至最近距離分別為 57.3 g、68.8 g、73.6 g。結合高速影像分析可得，當距離較遠時，空氣囊有足夠之展開空間，充分展開的氣囊減緩頭部加速度表現。

距離最遠之測試除了波峰較低之外，其峰值出現時間也較其他兩次測試晚，意謂著頭部接觸空氣囊之時間延後，使得空氣囊具有足夠時間展開至能減少加速度衝擊之程度；而距離最近之測試中，空氣囊引爆時受到人偶胸部之阻擋而無法完全展開，亦較無法有效降低駕駛員所受之衝擊，故使得頭部所受之加速度值提高許多。

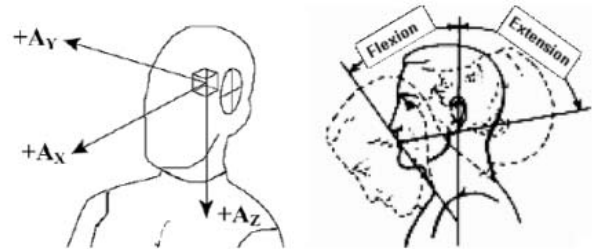


圖 10—頭部感測器方向

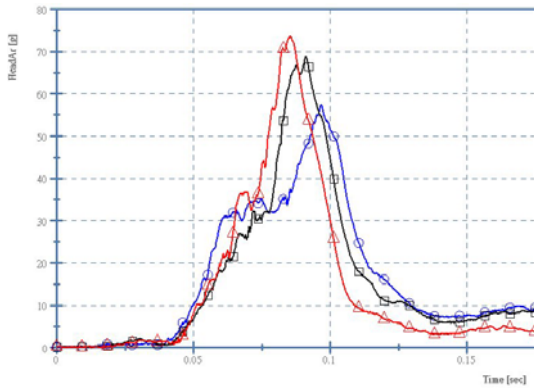


圖 11—頭部合成加速度比較圖

5.4 頭部傷害指數

藉由式(1)計算出不同測試條件下人偶所受之頭部傷害指數(Head Performance Criterion, HPC)，其值由方向盤至座椅間距離最遠至最近分別為 409.2、546.1 及 609.5，由此可見駕駛員與空氣囊之距離改變，在遭遇碰撞時對頭部之傷害指數有顯著影響，其影響如表 2 所示。雖各測試條件之頭部傷害指數皆未超過 ECE R94 法規之規範值 1000，亦即致命之機率較低，但由表 2 可見，即使距離僅改變 200 mm，便使得傷害指數之差異百分比達到 49%，證明距離對於駕駛員之傷害影響不容小覷，與 Cheng 等人之研究[1]相符。

表 2—距離與頭部傷害指數(HPC)之比較表

SC (mm)	HPC	變化率 (%)	加速度峰值 (g)	發生時間 (ms)
807	409.2	0	57.3	96.8
707	546.1	33.5	68.8	91.0
607	609.5	49.0	73.6	85.4

5.5 頸部感測器

本研究設定頸部各感測器方向如圖 12 所示，並擷取 X 軸方向之頸部受力繪製圖 13 之比較圖。由圖中可見，SC 距離最遠之測試中，因頭部與空氣囊接觸時間較晚，導致人偶頸部撓曲角度較大，故可看出其 X 方向之受力趨勢。

當前面碰撞發生時，除向前之主要碰撞稱為一次碰撞外，因駕駛員向後回彈而撞擊椅背或頭枕，將此現象稱之為二次碰撞。本文取出一與二次碰撞之受力峰值及發生時間製作表 3，搭配圖 13 可觀察出各測試之值大小差異，顯然 SC 最遠距離之頸部撓曲角度最大，故一次碰撞之 X 軸向頸部剪力之峰值也相對較高，但因空氣囊已完全展開，可有效吸收其衝擊力，使得二次碰撞之受力較其餘測試皆來的低。

此外，在衝擊過程中頸部的撓曲運動，會使頸部產生 X 及 Z 方向的分力較為明顯。當空氣囊已完全展開時，由前述可知其可以有效吸收 X 方向之受力，並由圖 14 之比較可發現其同時也抑制了 Z 軸方向的受力(頸部軸向張力)，圖中顯示 SC 最遠之測試其 Z 方向受力無論是一次或二次碰撞其值皆為最小。由上述兩點可看出

距離改變對空氣囊保護性能之影響。

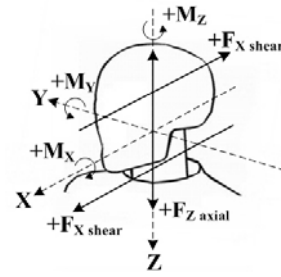


圖 12—頸部感測器方向

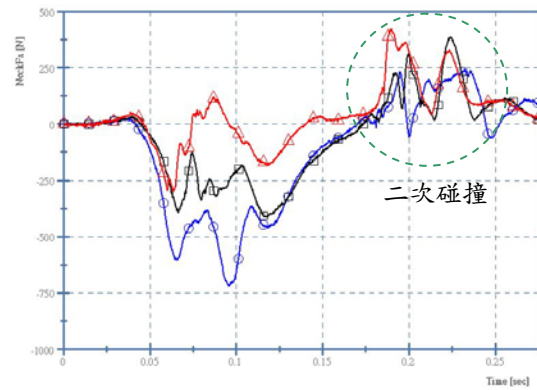


圖 13—X 軸向頸部剪力比較圖

表 3—頸部 X 軸向頸部剪力受力峰值比較表

	SC(mm)	受力峰值(N)	發生時間(ms)
一次碰撞	807	-719.255	96
	707	-411.981	118
	607	-299.632	63
二次碰撞	807	243.937	232
	707	385.530	224
	607	422.290	190

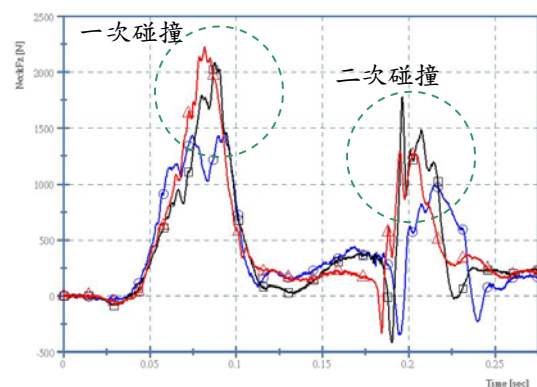


圖 14—頸部軸向張力比較圖

5.6 頸部傷害指數

頸部傷害指數之軸向力、頭頸交接部之剪應力及頸部伸展之力矩大小如圖 15~圖 17 所示。圖 15 及圖 16 為頸部受力之累積位準圖(time-at-level)，即其值超過該位準之累積時間，圖中顯示各試驗由峰值向下累積至 60 ms 之時間歷程內頸部剪力及軸向受力狀況，可看出

其現象也與前述之 X 方向及 Z 方向受力吻合，亦即其剪力(X 方向)之受力較大，便會分散其張力(Z 方向)之受力值。

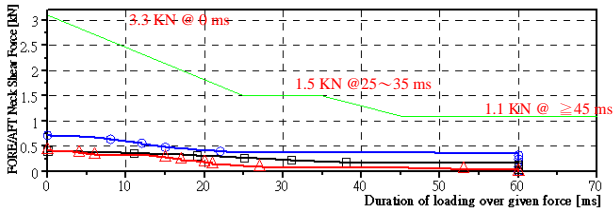


圖 15—頸部剪力規範與測試結果比較圖

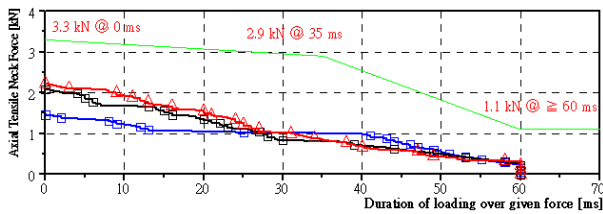


圖 16—頸部張力規範與測試結果比較圖

圖中綠色折線代表 ECE R94 法規上限，意即各實驗之頸部剪力及張力皆符合法規之規範要求，由圖 15 可知，SC 距離最遠之頸部剪力峰值雖較其他二者大，但僅達規範值(3.3 kN)之 21%，與其餘測試之差異性亦不大(小於規範值之 9%)；由圖 16 反觀，SC 距離最遠之頸部張力峰值為規範值之 44%，SC 距離較近之兩次測試則已達規範值(3.3 kN)之 63%及 67%，與 SC 最遠的差異超過約 20%，顯得嚴峻許多。因此，就頸部傷害指數而言，SC 距離較近之狀況可能具有較高之傷害風險。

由圖 17 可知，在 100 ms 左右發生之一次碰撞，SC 最遠距離之頸部撓曲力矩最大，可與圖 13 X 軸向頸部剪力之峰值相呼應；此外，在 ECE R94 法規規範中，頸部彎曲力矩(Moc,y)是用於觀察頸部受衝擊後，頸部向後伸展(extension)之最大力矩是否超過規範值(≤57 Nm)來判定其傷害性，各測試之向後伸展方向(負值)差異不大，且皆符合法規規範之要求。

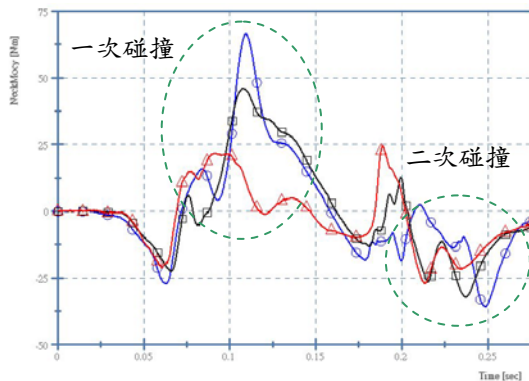


圖 17—頸部伸展之 Y 軸向力矩比較圖

5.7 胸部感測器

胸部感測器方向如圖 18 所示，擷取各次測試之胸部合成加速度繪製如圖 19。由圖可發現，在衝擊發生

時的第一次碰撞中，其 X 方向之受力最大值由遠而近分別為 36.1 g、41.2 g、43.8 g。雖無顯著差異，但仍可從中觀察出因測試條件改變所造成之趨勢，其顯示出後兩次測試因距離較近，故空氣囊引爆時直接撞擊胸部而產生較高之 g 值，且距離越近所造成之衝擊越大；而距離最遠之測試中因空氣囊得以完全展開，令胸部所受之力稍有下降。

然在二次碰撞中，空氣囊之保護作用便有顯著效果，圖 19 中可發現距離最遠之測試，因空氣囊能夠有效展開且吸收駕駛員所受之衝擊，使反彈力道明顯降低並有效減少二次碰撞所受傷害。反之其餘測試因空氣囊吸收之衝擊能量有限，故其所受之加速度值皆顯著提高，至此可看出空氣囊因距離改變之保護效果。

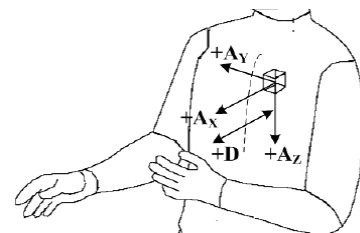


圖 18—胸部感測器方向

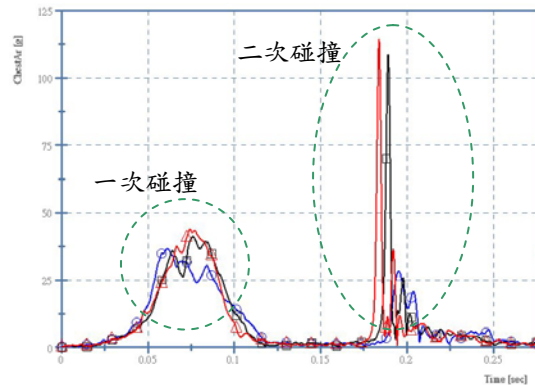


圖 19—胸部合成加速度比較圖

5.8 胸部傷害指數

圖 20 中可看出各次測試之胸部位移量差異皆不大，證明空氣囊雖會因駕駛員距離改變而使保護性有所差異，但在胸腔壓縮位移之影響並不顯著。並由式(2)及式(3)計算出各測試之胸部黏滯係數如表 4，從中可看出 SC 距離較近之兩次測試因空氣囊引爆時直接撞擊胸腔，造成其胸部壓縮率上升而使得黏滯係數較第一次未撞擊到胸部之值稍高，但皆未超過法規之規範。

此外，胸部位移量差異不大，意謂著相同受力下，安全帶施予駕駛員的力量亦差距甚小，其提供了本文一客觀的環境以單純觀察空氣囊的展開程度，相對於駕駛員所提供的保護效果。

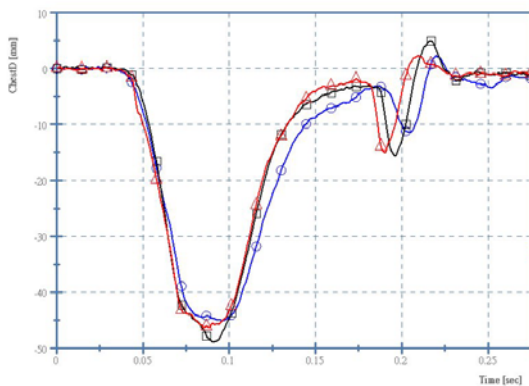


圖 20—胸腔壓縮位移量比較圖

表 4—胸部黏滯指數比較表

SC(mm)	807	707	607
V*C(m/s)	0.378	0.397	0.430

6. 結論

本研究探討駕駛員在座椅之可調整範圍內，因身高體型或駕駛習慣不同造成與空氣囊之距離差異，模擬在遭遇前面撞擊時對駕駛員之安全性影響。此外，本研究之測試中並無設置如內裝飾板(interior)、汽車座椅、安全帶預負荷或負荷限制等裝置，藉由相對嚴苛之測試條件，得以客觀地觀察出空氣囊對於距離不同下之安全性影響程度。

本研究並分別討論動態衝擊中一次碰撞與二次碰撞之現象，在一次碰撞發生時，方向盤與座椅間之距離SC最遠(807 mm)之測試，其各數值皆較低，僅在頸部X軸向剪力值、頸部撓曲和伸展力矩較大，其因是由於距離較遠所造成頸部之彎曲角度較大而產生此現象，但仍遠低於法規之規範。此一結果意謂著當駕駛員與空氣囊距離較遠時能夠有效延緩駕駛員與車體撞擊之時間，令空氣囊有足夠之時間展開；同時使其具有足夠之空間充分展開，以發揮空氣囊之完整保護效果。

此外，當空氣囊完全展開時之所提供的保護效果，更可以在二次碰撞中明顯看出，如距離最遠之測試其頸部受力、胸部合成加速度、胸部壓縮量等，其值皆為最小，顯示出完全展開之空氣囊，除了在一次碰撞中提供良好的保護效果令駕駛員提高生存機率外，更能有效吸收衝擊力，減緩反彈力，降低二次傷害之風險，此一結論更可在頸部 X 方向剪力之比較中明顯看出；因其值在一次碰撞中雖為各測試之最大值，但在二次碰撞中卻明顯削減至三次測試之最小值，如此可證明空氣囊之保護效果確實會因距離而有所變動。

而在距離較近之測試中(SC=707、607 mm)，空氣囊在引爆時直接撞擊胸部，雖可由胸部傷害指數比較中發現，其並無造成顯著傷害，但由於空氣囊遭受擠壓而無法完整展開，且距離較近造成人偶與空氣囊接觸時間較早，甚至在空氣囊仍在引爆增長時便已接觸，使得頸部所受到之加速度較距離遠時為高。且空氣囊也無法有效吸收衝擊，令二次衝擊所產生之受力也高出許多，此現象可在胸部合成加速度之比較圖中明顯看出。

藉由不同測試條件之比對後可發現，即使是在座椅之可調整範圍內(本研究設定總位移量 200 mm)，其與空氣囊之距離若有所變動，在衝擊發生時便會造成不同之傷害差異，此一現象於車體開發時可提供設計開發者做一參考。

7. 未來發展

本研究藉由相對嚴苛之測試環境來觀察因距離變動下空氣囊之保護現象，得知在一般汽車座椅之可調整範圍內，若駕駛員距離空氣囊較遠可能得到相對較高之安全性，因為較遠的距離可以令空氣囊有足夠的展開空間已完全發揮其保護性能，同時能有效延後駕駛員與空氣囊之接觸時間，也使空氣囊有充分之展開時間；此外其也能有效抑制因反彈所造成之二次碰撞所受衝擊。未來在進一步研究方面，本文提供下列參考，期望能令車輛安全系統方面之研究成果更趨完備。

1. 本研究以相對嚴苛之測試條件進行測試已明確觀察出其現象，未來可嘗試使用實車碰撞加速並增設車殼(含內裝飾板)、安全帶預負荷裝置、實車座椅等，以模擬實車碰撞之情況。
2. 本研究以一般汽車座椅之可調整範圍作為測試條件，未來更可進一步研究乘員異位之範疇，如駕駛員緊貼方向盤等特殊狀況。

本研究之目的在於探討即使是根據車輛原廠設定之調整範圍進行乘員之座艙設定，也可能會因為身材體型或駕駛習慣不同而採用不同位置設定，在遭遇衝擊時受到較嚴重之傷害。期望本研究之結果能提供國內開發廠商及本領域研究者參考，發展更加安全且適合國人之車輛與技術。

8. 參考文獻

- [1] Zhiqing Cheng, Annette L. Rizer, and Joseph A. Pelletiere, "Modeling and Simulation of OOP Occupant-Airbag Interaction", 2003.
- [2] "Instrumentation for Impact Test-Part 1-Electronic Instrumentation", SAE J211-1, 2003.
- [3] "Uniform Provisions Concerning The Approval of Vehicles with Regard to The Seats, Their Anchorages and Any Head Restraints", UN/ECE R17, 2002
- [4] "Protection of the Occupants in the event of a Frontal Collision", UN/ECE R94, 2006
- [5] "Safety Belts", UN/ECE R16, 2009