



## 被動安全系統之超進化

# 乘員異位安全

財團法人車輛研究測試中心 許永明

### 前言：

被動安全裝置的功用，主要在於車禍意外中保護乘員避免受到傷害。其原理主要為透過固定裝置，使車內乘客可以固定在安全的位置上，再利用車體結構的能量吸收與傳遞機制，降低乘員遭遇撞擊時所承受的能量，確保乘員安全。被動安全系統中，是以安全帶及空氣囊為兩種最主要的安全裝置，其中三點式安全帶可追溯至1959年，而空氣囊則更早在1952年便有雛型出現。

由於人類對車輛安全性的需求日益提高，標準化的安全配備已無法滿足，各種體型的乘員及不同的乘坐狀態皆需受到一定程度的保護。一般而言，車輛安全系統的開發與研究，主要針對「標準體型」的乘員坐在「標準位置」的狀況下進行設計、開發與驗證。但實際上民眾使用車輛的情形包羅萬象，常見的如乘坐位置偏離「標準位置」、未依正常程序使用安全配備、與「標準體型」有顯著差距的乘員(如體型較小/大之成人或兒童)，甚至是載運寵物及貨物等，一般廣義地統稱這種狀況為「乘員異位(Out of position)」。因此，傳統上對於乘員安全防護系統之設計，即可能在乘員異位狀況時無法

提供足夠保護，甚至可能造成更嚴重的乘員傷害。所以，除了精益求精的標準被動安全系統外，乘員異位安全性也成為車輛業界的新挑戰，並受到各國政府逐漸重視，甚至在美國FMVSS 208法規已有相對應之乘員異位實車碰撞規範。

### 一、被動安全系統進化

廣義而言，車輛的被動安全系統包含座椅、頭枕、安全帶、空氣囊、儀表板、內飾板及方向機柱等次系統，每個次系統(裝置)皆扮演不同的安全防護角色。其中最重要的安全裝置便是安全帶及空氣囊，現階段有關「乘員異位」的研究與技術開發，大部分皆圍繞著這兩項安全裝置進行改善，因此，本文主要針對安全帶及空氣囊兩種安全裝置，以及結合兩種裝置的智慧型束縛系統進行介紹。

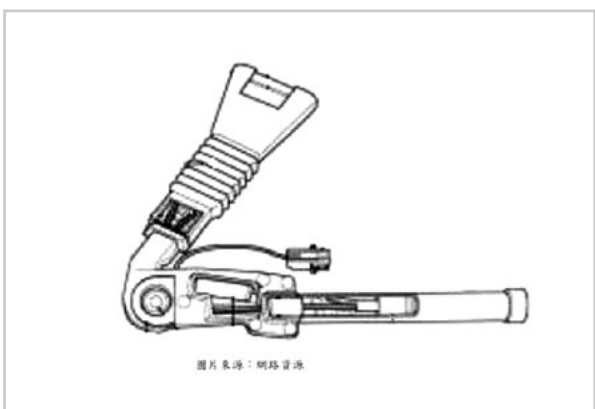
#### (一) 安全帶

安全帶為車輛被動安全系統中，最簡單有效的安全裝置，也是提供乘員束縛保護的主要裝置，由30年代發展至今，已有兩點式、三點式，甚至是四點式安全帶的應用，其中三點式安全帶更是現今所有小客車的標準安全裝置。其設計原理就是當車



輛發生碰撞時，藉由安全帶之束縛力將乘員限制在座椅上，避免乘員在碰撞過程中撞擊車內其他零組件，甚至甩出車外等二次撞擊之傷害。

由於安全帶主要係由織帶提供束縛，因此織帶必須具有足夠張力，一般不可自動調整長度的安全帶便直接利用車體固定點提供張力，常見於大客車或飛機等運輸工具之兩點式安全帶；而能夠自動調整長度的捲收式安全帶，則需要藉由織帶的鎖定機構方能提供張力，可區分為緊急鎖定式安全帶(ELR, Emergency Locking Retention)、自動鎖定式安全帶(ALR, Automatic Locking Retention)兩類。近來更發展出預緊式安全帶(Pretensioner, 如圖1)，可在碰撞發生初期安全帶即自動回縮，減少乘員在座位上之移動量，降低二次碰撞風險。但若織帶張力過大，則可能造成乘員傷害的風險，例如骨折或軟組織的損傷，因此，目前較為先進的安全帶，通常是藉由織帶張力控制進行改善，如負荷限制式安全帶(Load limiter)，將織帶張力控制在提供足夠束縛乘員，但又不致造成乘員傷害的範圍內。上述幾種安全帶型式之原理及功能如表1。



▲ 圖1、火藥驅動之預緊式安全帶

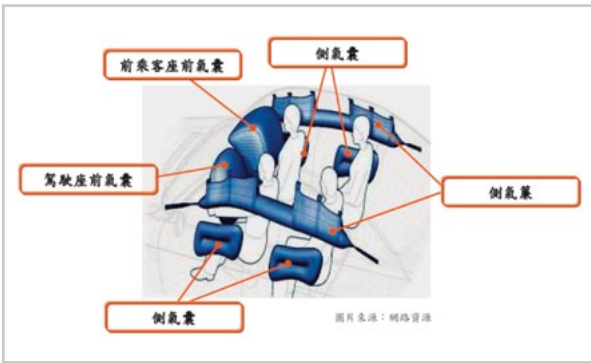
▼ 表1、各種不同型式安全帶功能比較

安全帶型式	功能
緊急鎖定式安全帶 (ELR, Emergency Locking Retention)	當安全帶出帶加速度或車體角度大於預設值時，則捲收器自動產生鎖定，使織帶長度不再伸長，將乘員固定於座椅上。
自動鎖定式安全帶 (ALR, Automatic Locking Retention)	需先將織帶全部拉出再回捲至適當長度後，捲收器則自動鎖定，受到外力時，織帶亦不再伸長。本裝置常與緊急鎖定功能搭配使用，主要針對後座兒童安全座椅 (CRS) 所設計。
預緊式安全帶 (Pretensioner)	本裝置除緊急鎖定之基本功能外，另增安全帶預縮裝置 (Pretensioner)，在碰撞發生初期，安全帶伸出前即自動回縮，藉以縮短乘員受到衝擊時前向移動距離，提高安全性。
負荷限制式安全帶 (Load limiter)	常搭配安全帶預縮裝置使用，使織帶張力維持在安全值內，避免過大張力對乘員造成危險。捲收器軸心採用扭力桿 (torsion bar) 機構控制張力為常見的設計，當捲收拉力超過預設值時，此扭力桿即開始扭轉，使安全帶張力得以下降。

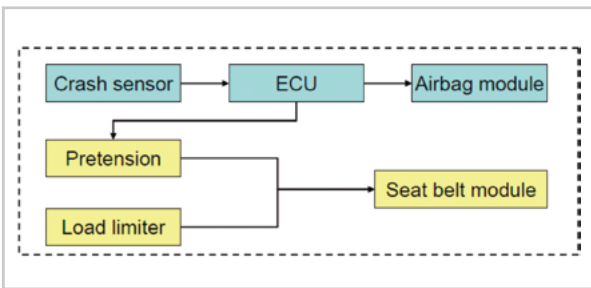
## (二) 空氣囊

空氣囊於70年代開始發展，80年代才逐漸成為少數市售車輛的配備，但至90年代已普遍成為一般車輛的標準配備。空氣囊正式名稱為「輔助束縛系統」(Supplemental Restraint System, SRS)，必須搭配安全帶才能發揮保護作用，其運作原理為：碰撞感測器(Crash sensor)將碰撞訊號(一般為加速度或位移量)送往行車電腦(ECU)，由ECU計算判斷，若撞擊力達設定值則引爆空氣囊，引爆後之高壓空氣使氣袋瞬間充氣，作為乘員和車體間之緩衝，避免頭、胸直接碰撞方向盤、儀錶板或前擋風玻璃，有效降低損傷風險。且氣袋常具有洩氣孔，在與乘員接觸過程將氣體排出，達到吸收乘員碰撞能量之目的。現今車輛所採用的空氣囊種類繁多，各種不同型式之空氣囊如圖2所示。前面所提到的先進安全帶，如預緊式安全帶及負荷限制式安全帶，其作動

常由ECU整合控制，並搭配空氣囊以達到最佳的保護效果，其示意圖如圖3。



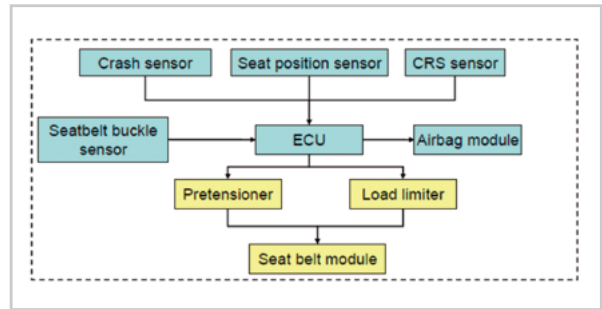
▲ 圖2、不同型式之空氣囊



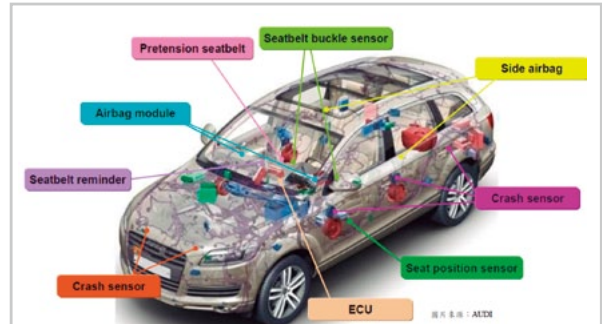
▲ 圖3、安全帶/空氣囊系統圖

然而，乘員異位的狀況，例如身形特殊的乘員、未使用安全帶或不正常坐姿等，常使空氣囊對乘員產生極大的傷害，主要係空氣囊引爆充氣與人體接觸的時間點不恰當所造成，當人體太早接觸空氣囊，空氣囊引爆的強大力量會使乘員產生傷害，尤其較常發生在身形矮小的成人或小孩身上；但若太晚接觸空氣囊，則無法提供空氣囊的緩衝功能，可能導致人體直接與車體產生碰撞。因此，新開發之智慧型安全帶/空氣囊系統能依據乘員體型與坐姿(以Seat position sensor偵測)、安全帶使用與否(以Seatbelt buckle sensor偵測)等狀況而調整氣囊參數，如引爆時間、氣囊大小及充氣量多寡等，使乘員安

全性得以提高，圖4即為其控制流程。這種先進的被動安全技術目前也已逐漸廣泛被車廠所採用，如圖5。



▲ 圖4、智慧型安全帶/空氣囊系統圖



▲ 圖5、先進車輛被動安全系統所採用之智慧型安全帶/空氣囊系統模組

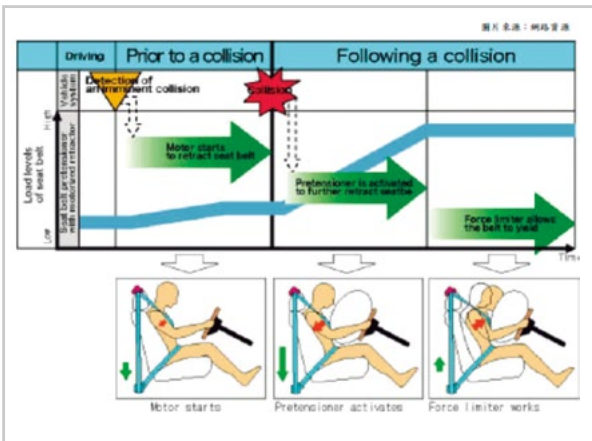
### (三) 智慧型束縛系統

智慧型安全帶/空氣囊透過各種不同感測器進行偵測，各種訊號經由ECU判斷，針對不同狀況進行安全系統的控制。簡單來說，空氣囊以氣囊開關(Suppression sensor)決定空氣囊是否引爆(某些車種配備有前乘客座的氣囊開關)；再經由碰撞感測器判斷碰撞能量是否超過引爆下限(Low crash Severity Threshold)；最後透過座椅位置感測器判斷乘員與空氣囊的相對位置，調整氣囊引爆時間及充氣量等參數。所以，相較於傳統的空氣囊，智慧型系統更可因應使用者在各種不同使用條件下，進行相關參



數調整，減少乘員異位狀況可能的傷害風險，以提供乘員更妥善的保護。

其系統作動流程大致為：當行車感測器偵測到碰撞即將發生，則啟動捲收器之回捲馬達將織帶回捲，預先將乘員穩固束縛在座椅上；碰撞發生後再啟動預緊裝置，進一步加強織帶回捲力，以承受人體往前之慣性力，並引爆空氣囊；最後則是透過負荷限制裝置，釋放適當之織帶張力，輔以空氣囊提供緩衝，以降低衝擊力道並避免人體直接撞擊車體，以達到乘員保護之目的，如圖6。



▲ 圖6、智慧型安全帶系統作動流程

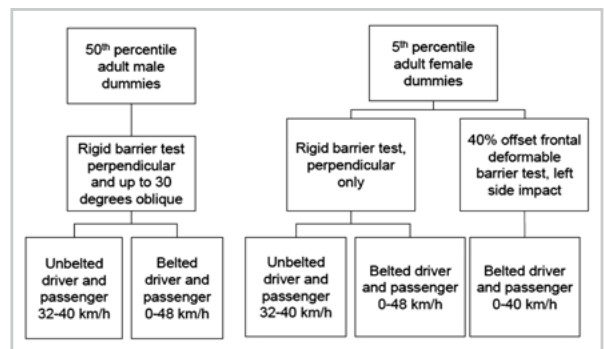
## 二、乘員異位規範與研究

### (一) 乘員異位規範

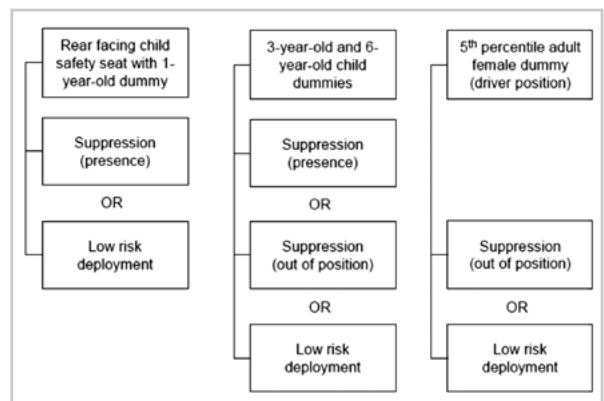
隨著乘員安全性需求與設備日益提升，測試方法也隨之演進。美國FMVSS 208法規中，除傳統的實車碰撞測試規範，更加入了乘員異位的相關規定，如圖7。主要即針對駕駛座乘員異位之狀況，使用不同人偶以繫上與未繫上安全帶等兩種狀況進行測試。在圖7之測試分項，主要使用H-III 50 %男

性人偶之前面全寬碰撞檢測，包含使用及不使用安全帶；圖7右側分項則是以H-III 5 %女性人偶執行碰撞測試，其中前面全寬碰撞採用使用及不使用安全帶兩種狀態進行檢測，前面偏置碰撞與側面碰撞測試則是在正常使用安全帶之狀況執行測試。

FMVSS 208甚至對各種氣囊配置進行檢測評估，如圖8，即針對後向兒童安全座椅搭配1歲人偶、3歲與6歲小孩人偶及H-III 5 %女性人偶等身材較小，容易因乘員異位狀況而受傷害的對象，進行關閉空氣囊或低引爆能量之測試。圖9為3歲小孩人偶分別模擬在倚靠在車門邊以及側躺在門上等乘員異位狀況，分析空氣囊展開所產生之效應。



▲ 圖7、FMVSS 208規範駕駛使用不同尺寸人型與安全帶使用之碰撞測試計畫



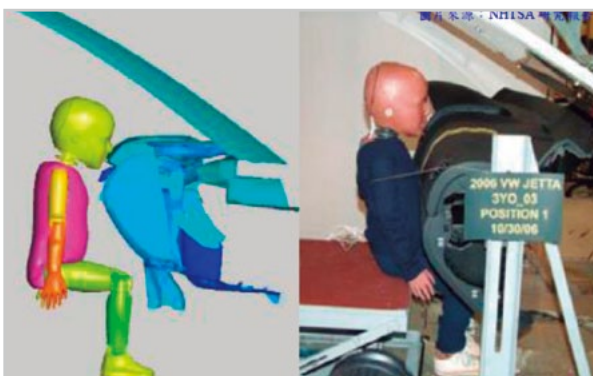
▲ 圖8、FMVSS 208規範各式人偶搭配空氣囊作動之測試計畫



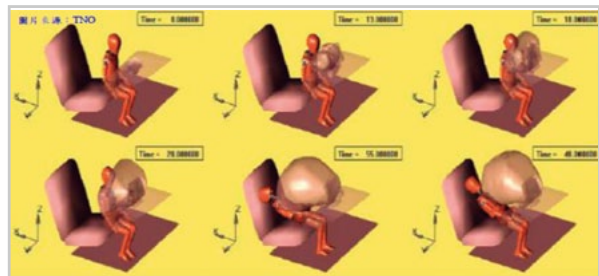
▲ 圖9、不同設定狀態之P3人偶進行乘員異位測試

## (二) 乘員異位研究

依據產品開發階段不同，可分為CAE工程輔助分析與零組件測試等兩種方式進行。舉例而言，在空氣囊設計開發初期，可採用CAE分析工具進行相關參數調整，如充氣流量控制、洩氣孔大小、點火時間、氣囊摺疊方式、蓋板厚度與材質等等，進而評估空氣囊展開對乘員的影響，如圖10左及圖11；而於產品開發至試生產階段後，則主要以零組件測試模擬測試進行驗證比對，以進行參數最佳化之調整。



▲ 圖10、乘員異位CAE分析與測試比對



▲ 圖11、空氣囊乘員異位CAE分析相關研究

其實，未正確使用車上的安全裝置是最常見的乘員異位狀況，例如安全帶扭轉、未確實扣上帶扣或安全帶高度調整不當等；以國人常見的安全帶誤用為例，「三點式安全帶未繫上腰帶」應為最典型的案例，許多人為圖方便，安全帶帶扣始終扣上，僅在上車時將肩帶往前繞過身體置於胸前，以逃避警察取締。事實上，這是非常危險的使用方式，車輛中心曾於2010年針對此議題進行研究，以台車動態衝擊模擬方式進行的試驗情形，如圖12，上排為正常繫上安全帶之狀況；下兩排表示未繫上安全帶腰帶比對試驗。由圖中連續動作比較可發現，未繫上腰帶的人偶受到肩帶的劇烈拉扯，衝擊能量完全由胸部承受，而下半身因未受腰帶固定，致使軀幹之下潛運動無法受到控制，且織帶因不正常摩擦而斷裂，所以產生整個軀幹往前衝出座椅之現象。經由高速影像及人偶感測器交互分析後，可明顯看出未繫上腰帶的方式將會大幅增加乘員胸部及下半身的傷害。所以民眾應正確使用安全帶，以避免憾事發生。



▲ 圖12、安全帶乘員異位動態衝擊測試相關研究

## 結語

車輛安全領域隨著消費者的需求與科技演進而不斷創新，各項被動安全系統也因應人性化之需求而持續改進；傳統上僅針對標準狀況所設計之被動安全系統已無法滿足消費者，因此乘員異位的安全性研究逐漸成為被動安全系統發展的重要課題，以先進的被動安全系統來保護各種不同身材的乘員。相關法規標準如FMVSS 208與ISO 14933，均已將乘員異位之實車側面碰撞測試納入條文內。

以往國內車輛領域對乘員異位安全之研究資訊甚為缺乏，但在國際趨勢與車輛科技不斷地進步之下，乘員異位安全性實應納入國內產業發展與國家政策之推動，除以人性化的安全作為車輛政策的指標，領導產業提升車輛安全科技；同時，政府也應加強消費者的安全教育紮根，畢竟，除了有安全的車輛外，正確的安全觀念才是所有用車人的最佳屏障。