

## 複合材料於汽車座椅之設計應用

# Application of the Composite materials in Vehicle Seat Design

林俊志<sup>1</sup>

<sup>1</sup>財團法人車輛研究測試中心

### 摘要

車輛減重設計是降低車輛能源消耗的必要手段之一，除了以各種優化方法在車輛與零組件的構形與尺寸上設法減重外，車輛與零組件的設計也積極的往鋼材以外的材料如鋁合金、鋁鎂合金、複合材料...等其他輕質材料的運用發展，其中「碳纖維樹脂複合材料(Carbon Fiber Reinforced Plastics-CFRP)」即常被採用。

本文以汽車座椅結構作為範例，以 CAE 模擬汽車座椅在 FMVSS207 座椅總成靜態測試的情況，利用觀察主應力方向判斷纖維鋪放的角度，並且展開疊層設計，使其滿足目標剛性、強度、法規...，達到輕量化之目的。

**關鍵字：**汽車座椅結構、複合材料、ABAQUS、Computer-Aided Engineering、CAE

## 1.前言

在環保及節能的需求下，車輛的輕量化已是必然的重要趨勢。而利用設計手法將車輛重量減輕已發展到瓶頸。因此各大車廠也逐漸的朝向新型材料開發，其中碳纖維複合材料，即將取代鋼材成為車輛零組件的主流。

安全亦是汽車發展研究的主要方向。而座椅與乘客的生命有著最直接的關係，在整車安全技術中佔有相當重要的地位，因此本文將以汽車座椅結構進行複合材料疊層設計應用的探討研究。

## 2.複合材料簡介

複合材料(Composite materials)，是以一種基材(Matrix)，另一種補強材(reinforcement)組合而成的材料。通常複合材料皆泛指「碳纖維樹脂複合材」。碳纖維是一種力學

性能優異的新材料，它的比重不到鋼的 1/4，碳纖維樹脂複合材料抗拉強度一般都在 1240MPa，是鋁合金的 6~7 倍，楊氏係數(Young's modulus)為 230~430 Gpa 亦高於鋼，因此常被應用於輕量化的零組部件上。

### 2.1 纖維種類

纖維材料可以依照幾何的不同作為區分，其中可以分為連續纖維及非連續纖維。

連續纖維顧名思義，就是保持纖維的連續性，使得材料可以擁有足夠的強度及鋼性，單向纖維(Unidirectional Fabric)(圖 1)、編織纖維(Woven fiber)(圖 2)以及 3D 編織纖維皆是連續纖維。

非連續纖維意指短纖維(玻璃纖維切股毯(圖 4)、顆粒纖維(圖 6)等...)，這些不連續的纖維補強材。



圖 1、單向纖維

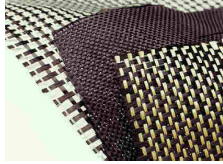


圖 2、編織纖維



圖 3、3D 編織纖維[1]



圖 4、玻纖切股毯



圖 5、短纖示意圖



圖 6、顆粒纖維

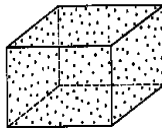


圖 7、顆粒纖維示意

## 2.2 複合材料的材料常數

碳纖維複合材料屬於正交(orthotropic)非等向材料，其各方向彈性係數及強度等，根據方向定義 X 及 Y 分別代表為 1 及 2 方向之強度，S 為 1-2 方向剪切強度，下標 T 代表拉伸，C 為壓縮。

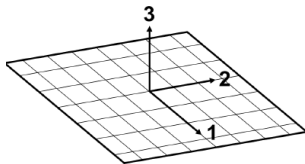


圖 8、方向定義[2]

表 1、編織纖維材料常數[2]

$E_1=E_2$	$G_{12}$	$G_{13}=G_{23}$	$\nu_{12}$	t (mm)
50Gpa	2.5Gpa	1.25Gpa	0.1	0.25
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$X_t=Y_t$	$X_c=Y_c$	S	
1500	500 Mpa	250 Mpa	70 Mpa	

## 2.3 複合材料的破壞判準

常用的破壞判準主要是針對複合材料單層板在任意的纖維角度下，估測纖維的強度是否達到破壞。

### (1)最大應力&最大應變判準

最大主應力準則為對於具有均質性且等向性的脆性材料所適用的破壞準則，當材料受到多軸載荷時，只要其最大主應力達到材料的拉伸強度即破壞。

### (2)Tsai-Hill 破壞判準

基於最大應力或最大應變判準並未考慮應力間交互作用，Tsai-Hill修正金屬材料的降伏準則Von-Mises Criterion，將之擴展至預測正交性複合材料的破壞，此即為Tsai-Hill破壞判準。

Tsai-Hill破壞判準為在平面應力之下，當下列公式成立時，材料即為破壞。

$$\left(\frac{\sigma_1}{X}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{Y}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 - \frac{\sigma_1\sigma_2}{X^2} \geq 1$$

### (3)Tsai-Wu 破壞判準

在考量預測失效所需的總應變能(包括畸變能和脹縮能)，比起 Tsai-Hill 破壞判準，Tsai-Wu 判準較為普遍，因為它能夠區分抗壓及抗拉強度。Tsai-Wu 破壞判準為在平面應力之下，當下列公式成立時，材料即為破壞。

$$\frac{\sigma_1(X_c - X_t)}{X_t X_c} + \frac{\sigma_2(Y_c - Y_t)}{Y_t Y_c} + \frac{\sigma_1^2}{X_t X_c} + \frac{\sigma_2^2}{Y_t Y_c} - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\sqrt{X_t X_c Y_t Y_c}} + \frac{\tau_{12}^2}{S^2} \geq 1$$

## 3. 汽車座椅設計需求

汽車座椅用於支撐乘員的重量，緩與與衰減由車身傳來的衝擊和震動，提供駕駛良好的工作條件，且撞擊時能夠保護乘員安全[3]。

座椅設計的好壞，對汽車的平順性、乘坐舒適性、安全性等，有很大的影響，因此掌握汽車座椅的特性和設計方法，是重要環節之一。

一般而言，座椅的設計需求如下：

#### (1) 良好的靜態特性

座椅的尺寸與形狀應使人體具有合適的坐姿，良好的體壓分佈，觸感良好，能調節尺寸和位置，使乘員乘坐穩定、舒適、操作方便、視野良好。

#### (2) 良好的動態特性

緩和與衰減由車身傳來的衝擊與震動，使駕駛員能較長時間工作而不容易感到疲勞，且使乘客能感到乘坐舒適。

#### (3) 結構強度

有足夠的結構強度、剛性、以及壽命，並能在發生交通事故時儘量減少乘員的受傷程度，亦即具有足夠的安全性。

### 3.1 汽車座椅相關法規測試

汽車座椅是車室內最重要的被動安全系統之一，在座椅的開發流程當中，由於碰撞模擬試驗條件有一定的局限性，如乘員坐姿、加速度作用方向、約束系統的配戴及使用狀態、各種約束系統的相互影響等等，在事故發生時千變萬化，無法在實驗中全面性的模擬，因此各國政府所頒佈的汽車座椅性能法規，大都以參考美國國家公路交通安全局NHTSA在1960年代頒佈的FMVSS 207座椅安全性法規的方式訂定 [3]。

### 3.2 座椅總成靜態測試

FMVSS-207中規定：在座椅總成質心處水平向前、水平向後，施加20倍座椅總成

質量的載荷，座椅及座椅固定點須能承受以上載荷；座椅不得與車體分離；對於可調式座椅，調節裝置在試驗中應能使座椅保持原調節位置，在試驗後允許失去調節功能。

另外，對於前座座椅，當汽車安全帶安裝固定點設在座椅上時，施加上述向前載荷的同時，還必須同時考慮對安全帶安裝固定點施加對應的載荷。

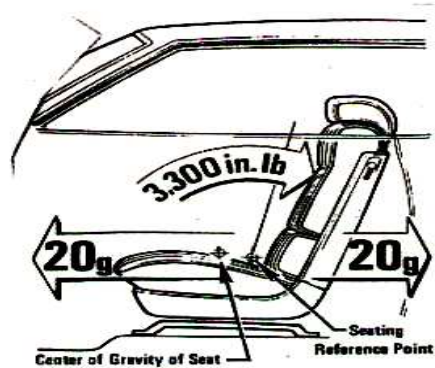


圖 9、座椅總成靜態測試示意圖[4]

## 4. 複合材料疊層設計

將金屬結構件替換為複合材料時，往往會以經驗作為設計的依據，若根據 CAE 軟體模擬的結果，則可以快速的了解結構件在哪些方向的受力較為嚴苛，利用複合材料的特性，將材料設計於較為嚴苛的受力方向，以減少不必要的材料，藉此達到輕量化之目的。然而實際座椅設計必須考慮的因素相當的多，因篇幅有限，故本文將依照 FMVSS 207 座椅總成靜態測試作為設計的條件。

### 4.1 研究流程圖

本文研究流程圖如圖 10 所示，由原況模擬訂定座椅的目標剛性，以及觀察各結構件的主應力方向，利用主應力方向圖作為設計的判斷依據。

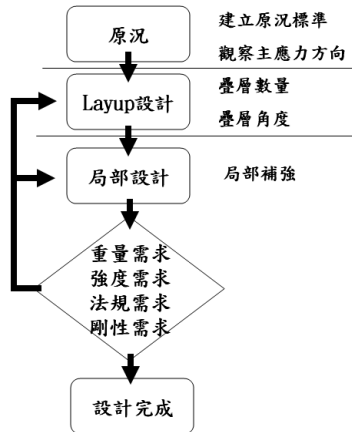


圖 10、研究流程圖

## 4.2 原況材料設定

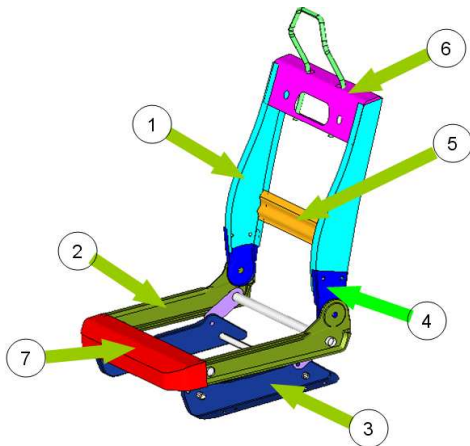


圖 11、座椅結構件編號

表 2、原況材料表

編號	名稱	材料	厚度
1	背部側板	Steel	2mm
2	底板側板	Steel	2.2mm
3	底部側板 2	Steel	2.6mm
4	俯仰器	Steel	2.6mm
5	背部支架	Steel	1.6mm
6	背部支架 2	Steel	1.6mm
7	前方支架	Steel	1.6mm

## 4.3 模擬設定

### 4.3.1 後彎曲模擬

根據 FMVSS 207 規定：以參考點 R 為中心施加 Moment 372N-m，施加於座椅背上方中央點，且在座椅底部固定鎖附孔處各方向自由度拘束。

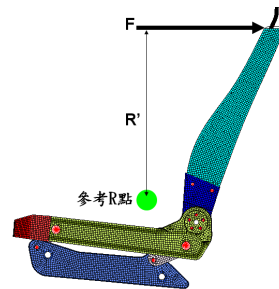


圖 12、後彎曲模擬示意圖

### 4.3.2 前後 20 倍自重

在座椅總成質心處分別施加水平向前、水平向後，施加 20 倍座椅總成質量的載荷，且在座椅底部固定鎖附孔處各方向自由度拘束。



圖 13、20 倍座椅自重實驗示意圖[4]

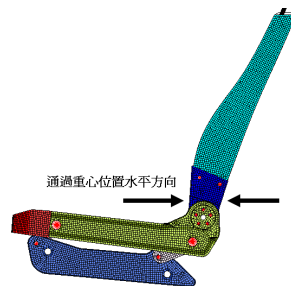


圖 14、20 倍座椅自重模擬示意圖

### 4.4 原況模擬結果

原況模擬目的在於建立其座椅的目標剛性，將結構換成複材時，除滿足材料不產生破壞外，為了保持結構整體特性，因此須達到與原況相當之座椅剛性，故採取剛性值作為目標，其結果如表 3。

觀察結構件在所設定邊界條件下的力量傳遞路徑，可以從 CAE 軟體模擬得到主應力方向圖(如圖 15 所示)，使其疊層方向的設計有所依據。

表 3、原況模擬結果

	頭枕處 X 位移	剛性 N/mm
後彎曲模擬	6.11 mm	299.21
前 20 倍自重	-1.71 mm	1397.73
後 20 倍自重	1.68 mm	1419.45

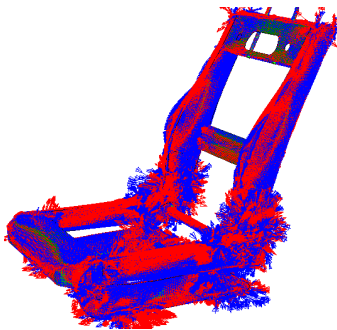


圖 15、主應力方向圖

### 4.5 疊層設計

碳纖維鋪放的方向，可以利用主應力方向圖判斷力量傳遞的方向，此外亦要注意纖維疊層儘量保持對稱性，主要是因纖維若不對稱鋪放，將有可能在成形後產生翹曲的現象，因此疊層設計儘可能使其對稱。

本節將舉例說明，複合材料疊層設計的方法。由圖 16 可明顯看出，在此結構件受到載荷時力量傳遞的方向，由此可以判斷，

此結構件較需鋪放的方向角為 45 度角以及 0 度角，另疊層設計的原則為越主要受力的方向放置於外層，因此依據原本的厚度作為基準將其初始疊層設計為 $[45/-45/0/90]_s$ 。

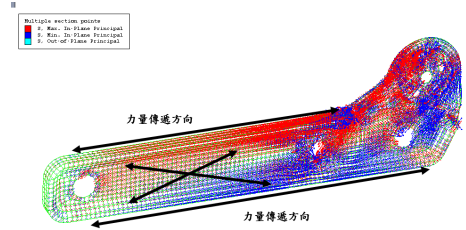


圖 16、主應力方向圖

將初始疊層設計代入模型中，藉由模擬可以得知其材料設定在此模擬邊界下，是否產生破壞，再據以進行下一步的局部補強設計。由圖 17 可以得知，此設計件與俯仰器的連接處，會產生破壞。因此由圖 18 判斷補強所需角度方向，並在此區域局部補強所需的纖維角度，使滿足強度需求。

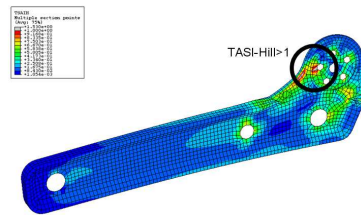


圖 17、TSAI-Hill 圖

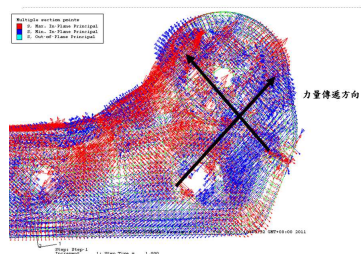


圖 18、主應力方向圖(局部)

由圖 18 可以得知此區域較為需要 60 度纖維方向，因此將此區域疊層設計為 $[-30/60/45/-45/0/90]_s$ ，其模擬結果如圖 19 所示。



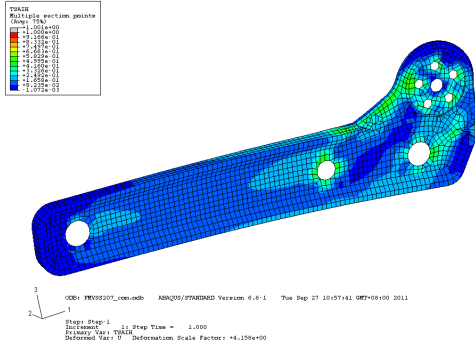


圖 19、補強後 TSAI-Hill 圖

依據上述的判斷方法，將座椅總成的結構件更換成複材疊層，而疊層角度如表 4 所示，其疊層設定已滿足 TASI-Hill 小於 1 之需求。

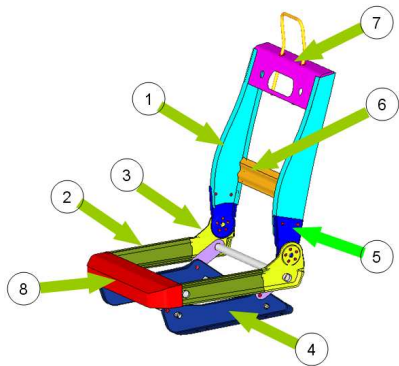


圖 20、座椅結構件編號

表 4、疊層角度-設計 1

	疊層設定
1	$[0/90/0/90]_s$
2	$[45/-45/0/90]_s$
3	$[-30/60/45/-45/0/90/-30/60/45/-45/0/90]_s$
4	$[0/90/45/-45/0/90/45/-45]_s$
5	$[-30/60/45/-45/0/90/-30/60/45/-45/0/90]_s$
6	$[0/90/0/90]_s$
7	$[0/90/0/90]_s$
8	$[0/90/45/-45]_s$

### 4.5.1 模擬結果

經由上節所述之方法所設計的疊層，整體結構的剛性模擬如表 5 所示，雖然有滿足強度的需求，且重量由原況 12.14 Kg 降至 3.04 Kg，減重高達 74.9%，但無法達到原況之剛性，因此進行設計變更，將原本疊層依照上述之設計原則依序加厚，達到目標為止。

表 5、設計 1-模擬結果

	頭枕處 X 位移	剛性 N/mm
後彎曲模擬	19.73 mm	92.52
前 20 倍自重	-1.16 mm	520.06
後 20 倍自重	1.17 mm	521.55

設變後的疊層角度設計如表 6，其模擬結果如表 7 所示，此設計滿足原況的剛性需求以及強度需求，並且重量由原況 12.14 Kg 降至 7.64 Kg，減重達到 37.1%。

表 6、疊層角度-設計 2

	疊層設定
1	$[0/90/0/90]_{4s}$
2	$[45/-45/0/90]_{4s}$
3	$[-30/60/45/-45/0/90/-30/60/45/-45/0/90]_{2s}$
4	$[0/90/45/-45/0/90/45/-45]_{4s}$
5	$[-30/60/45/-45/0/90/-30/60/45/-45/0/90]_{2s}$
6	$[0/90/0/90]_s$
7	$[0/90/0/90]_s$
8	$[0/90/45/-45]_s$

表 7、設計 2-模擬結果

	頭枕處 X 位移	剛性 N/mm
後彎曲模擬	5.82 mm	313.48
前 20 倍自重	-0.82 mm	1846.27
後 20 倍自重	0.81 mm	1843.34

將本節的結果整理成表 8，由表 8 可以明顯得知，藉由複合材料達到的減重效果十分顯著。

表 8、設變前後比較表

	重量	TAHI-Hill	減重率
原況	12.14Kg	--	0%
設計 1	3.04Kg	<0.95	74.9%
設計 2	7.64 Kg	<0.38	37.1%

## 5. 結論

本文根據 CAE 軟體模擬的結果，由主應力方向圖判斷結構件力量的傳遞路徑，可以快速的了解結構件在哪些方向的受力較為嚴苛，利用複合材料的特性，將材料設計於較為嚴苛的受力方向，以減少不必要的材料，藉此達到輕量化之目的。

針對座椅結構設計複合材料疊層，其結果重量由原況 12.14 Kg 降至 7.64 Kg，減重達到 37.1%，其強度、剛性皆比原況高。證實利用複合材料達到車輛零組件的輕量化的可行性。

## 參考文獻

- [1] C.E. Hage , R. Youne's , "Analytical and numerical modeling of mechanical properties of orthogonal 3D CFRP", Composites Science and Technology 69, 2009.
- [2] 馮瑞裕,"三明治結構套桶之設計與破壞預測",台灣大學機械工程所碩士論文, 2009.
- [3] David, C. V. Role of the seat in rear crash safety, 2002 (Society of Automotive Engineers).

[4]孫丹丹,"座椅被動安全性仿真分析與結構參數化設計",吉林大學車輛工程研究所碩士論文,2003.

[5]廖培凱,"複合材料的複合效應",崑山科技大學,2009.

[6]張智凱,"系統化複材三明治車體結構設計及最佳化方法",台灣大學機械工程學研究所博士論文,2007.