

大型車用空氣彈簧 CAE 分析

楊偉良

財團法人車輛研究測試中心

陳東茂

怡馨橡膠工業有限公司

Email : wlyang@artc.org.tw

摘要

本文目的為利用有限元素法進行空氣彈簧之靜態剛性分析，由於空氣彈簧之負載性能受氣墊本體之橡膠、簾線與內壓之影響甚大，因而希望藉由 abaqus/standards 模擬空氣彈簧垂直受壓行為，探討不同初始內壓下之簾線排列對於垂直向之力量-位移曲線，以及縱向氣墊本體膨脹行為，以作為後續空氣彈簧開發之設計依據。

關鍵詞：空氣彈簧、橡膠、靜力分析

1. 前言

早期台灣的客車業者多採用片狀或圈狀彈簧懸吊之底盤，因其購買成本較為業者所能接受，但乘坐之舒適性卻大打折扣。而隨著造車工藝的精緻化，乘客對於客車之要求提高，業者因而由國外引進單價較高之氣墊巴士，迄今，依大客車打鐵廠引進之底盤粗估統計，97 年度所進口之底盤已達九成採用氣墊式空氣彈簧懸吊。

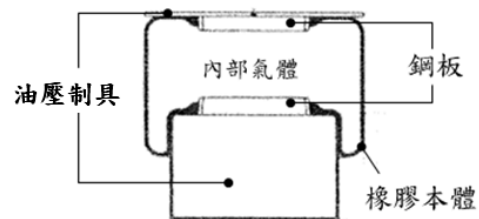
空氣彈簧之作動，是藉由鋼板及氣墊本體構成封閉氣室，並利用空氣可壓縮性及具高度彈性之氣墊本體，進而實現具優良彈性作用的非金屬彈簧。空氣彈簧主要之載形式多為垂直向載荷，藉由充壓/洩壓方式，可改變空氣彈簧之垂直剛性，達到不同之避震需求，亦可改變車身高度，因應不同之載重及路面需求，因此空氣彈簧之垂直剛度性能於其開發時極具指標意義；此外，空氣彈簧在垂直運動時，亦於縱向體積會產生變化，對於設計空間狹隘的懸吊系統中，容易造成非預期之不當磨損。

而影響空氣彈簧垂直性能則主要取決於內壓、簾線及橡膠之幾何尺寸及排列狀態，因此本文希望藉由有限元素軟體 ABAQUS，探

討氣墊本體各項設計參數對於空氣彈簧垂直剛性影響，以及縱向之形變量，以提供產品於初期開發時之相關設計參考。

2. 有限元素模型建立

於空氣彈簧有限元素模型之建構上，因考量其結構之作動行為，橡膠本體(含簾線)、內部氣體、鋼板及油壓制具皆需建立有限元素模型，如圖一所示。

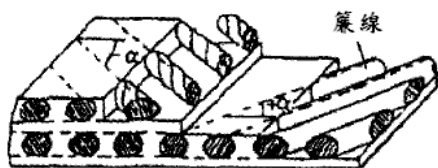


圖一、空氣彈簧結構示意圖

於橡膠本體中，橡膠之力學性能受溫度、環境、作動速度及應變率...等之影響甚大，而本文僅對於空氣彈簧之內壓及簾線排列對其靜態擠壓性能進行探討，因此為簡化其分析設定，而對橡膠之模擬進行相關假設：1.假設橡膠為均值等向性材料，2.擠壓過程橡膠不產生

遲滯效應，3. 橡膠為不可壓縮之超彈性材料，因此在模擬橡膠之材料採用 hyperelastic，其應變能方程式擇採用 Mooney- Rivlin 之數學方程，元素類型則採用 S4R 薄殼元素。

橡膠本體除橡膠層外，最重要之結構便為簾線結構，如圖二所示[1]，簾線的用料則相當廣泛，而其目的皆為支撐橡膠本體，加強空氣彈簧之乘載性能。簾線在實體建構上，多會使用橡膠膠合簾線使其呈等向性排列，而組成一簾線-橡膠複合層，再依不同需求一不同角度及層數貼附成型於橡膠本體中。而由於此結構之組成材料及幾何非線性影響甚劇，為使分析更有效率，因此採用 Rebar 模型進行模擬簾線，Rebar 之使用可有效定義簾線之材料特性及簾線排列間距與角度，且不增加有限元素模型之自由度，在橡膠本體之運用上，更能有效求得各簾線可變參數之影響。



圖二、簾線結構示意圖

在內部空氣模擬部份，由於靜態幾壓過程中，氣體壓力之分佈呈均勻變化，因此假設氣體本身為可壓縮之理想氣體，因此在分析中則使用 F3D4 元素定義於橡膠本體內及鋼板鎖圍成之內部空間表面。

其餘鋼板及油壓制具則分別採用單純應力結構之薄殼元素及實體元素進行模擬，而由於鋼板及油壓制具之剛性相對於橡膠本體高出許多，因此其有限元素模型設定為剛體模型。

3. 垂直向負載力分析

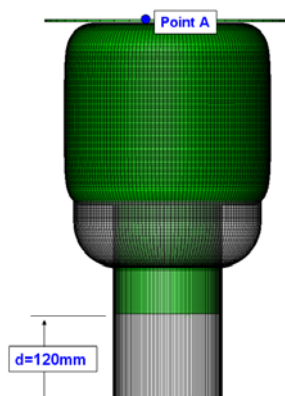
3.1 試驗方法說明

在空氣彈簧之靜態分析上，由於空氣彈簧除擠壓過程產生結構之垂直向剛性變化外，在空氣彈簧初始進行充氣時亦會對於初始結構產生形變，而影響整體之結構剛性，因此分析將採用兩種試驗方式進行。

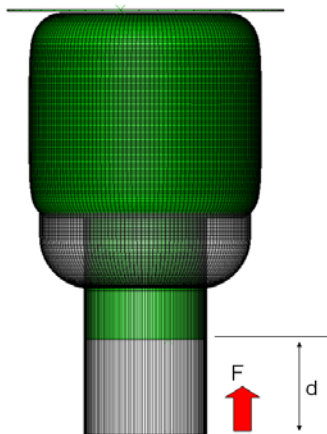
試驗方法一，分成兩個步驟進行，首先假設固定空氣彈簧於油壓制具上，並進行充氣，因此在有限元素軟體邊界上拘束空氣彈簧上下兩端自由度，並進行充壓，達 0.1~0.3MPa，接著第二步驟為油壓制具進行垂直向之擠壓動作，擠壓行程則設定為 120mm，結構之變形行為如圖三所示。而分析過程中，則量測油壓上端鋼板點 A 之作用力，作為空氣彈簧之承載力結果。

試驗方法二，仍採兩步驟進行分析，首先假設空氣彈簧先進行充氣行為，接著第二步驟再置於油壓置具上進行擠壓。因此有限元素分析時首先進行充氣，但僅拘束空氣彈簧上方自由度，接著施壓 $F = 15000N$ 之垂直向上擠壓之力量於油壓制具上，如圖四所示，並量測垂直向之變形量 d 。

簾線貼附於氣墊本體之角度變數，則以與垂直向(X 方向)之夾角 θ 作為變量進行探討，而簾線層數為兩層，貼附角度分別為 35° 、 45° 及 55° 與 -35° 、 -45° 及 -55° 。



圖三、試驗方法一之擠壓示意圖

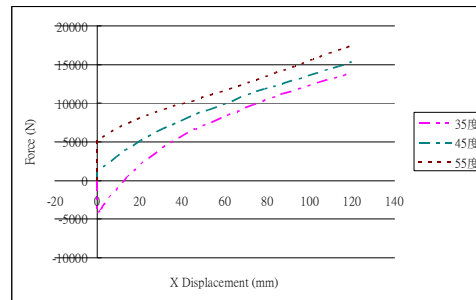


圖四、試驗方法二之擠壓示意圖

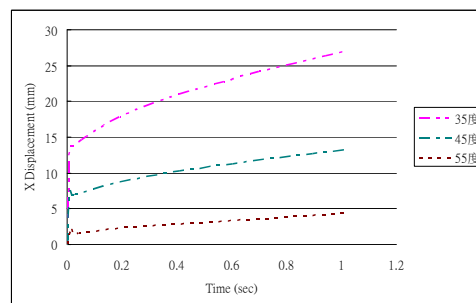
3.2 試驗方法一之固定初始壓力分析

於固定初始壓力下，不同之簾線角度對於分析結果之影響，如圖五之力量-位移(F-D)曲線所示，在固定上下兩端自由度進行充氣達 0.2MPa 時，不同簾線角度排列下空氣彈簧產生之初始作用力在角度為 $\pm 35^\circ$ 時，為負 4130N，而隨著角度變大，達 $\pm 55^\circ$ 時作用力為正 5396N；接著油壓依垂直向(X 向)逐漸擠壓下，產生之作用力則逐漸上升。另外觀察空氣彈簧側向膨脹量(Z 向變形)，如圖六所示，在充氣過程中，側向變形以 $\pm 35^\circ$ 排列角度為最大，隨著角度變大，側向變形則逐漸縮小；在擠壓過程中， $\pm 35^\circ$ 角所產生之變形斜率較大，而隨角度變大，變形之斜率也逐漸減緩。

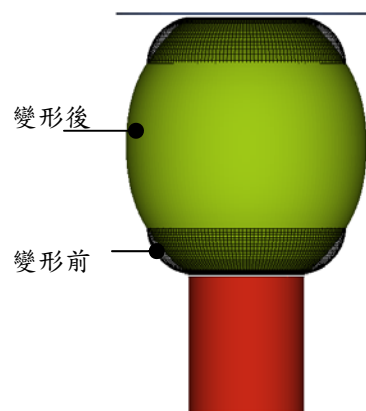
於此我們可藉由圖五、圖六及充氣過程之變形圖七得知，當空氣彈簧充氣時，在簾線排列角度為 35° 時，空氣彈簧於側向剛性較低，因此變形往側向膨脹，因而產生將兩側油壓制具向中央之拉力因而產生負向作用力於油壓制具上，而當簾線排列角度為 55° 時，空氣彈簧於垂直向之剛性則較側向來的低，因此空氣彈簧呈垂直向變形，並產生擠壓力道於上下兩端，而產生正向作用力於兩側之油壓制具。



圖五、試驗方式一，氣體壓力為 0.2MPa 於簾線不同角度排列之 F-D 圖



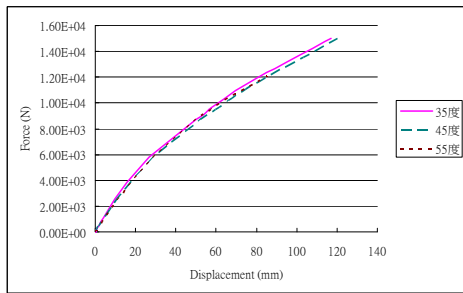
圖六、氣體壓力為 0.2MPa 於簾線不同角度排列之側向(X 向)變形圖



圖七、充氣過程之變形圖(scale=1.5)

3.3 試驗方法二之固定初始壓力分析

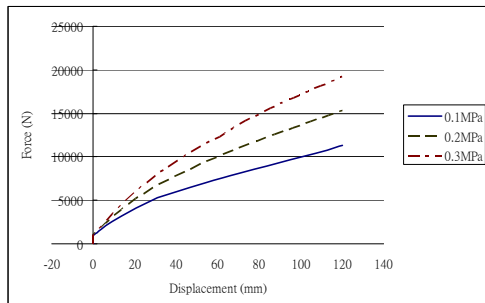
由試驗方法二分析之結果如圖八所示，在氣壓彈簧充氣達 0.2MPa 後，進行擠壓求得 F-D 曲線，並未隨著簾線三種不同角度之排列改變而有明顯之差異。



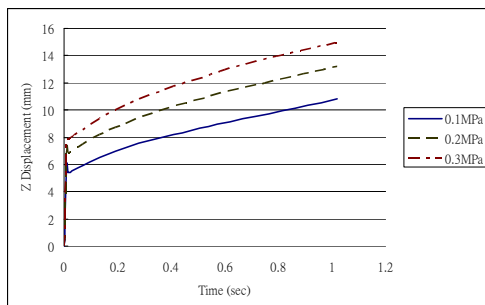
圖八、試驗方式二，氣體壓力為 0.2MPa 於帘線不同角度排列之側向(X 向)變形圖

3.4 室驗方法一之固定帘線排列分析

當固定帘線之排列角度為 $\pm 45^\circ$ 時，如圖九及圖十所示，在充氣達額定初始內壓 0.1、0.2 及 0.3 時所產生之垂直向作用力皆趨近於 900N，而隨著擠壓行程增加，內壓較大之空氣彈簧產生之作用力則較內壓低者斜率來的大；而由側向變形量之圖形觀察得知，充氣過程中，額定初始內壓較大者，側向變形量較初始內壓低者大，但於擠壓過程中，側向變形量之斜率則幾乎相同。



圖九、帘線角度為 45° ，不同內壓下之 F-D 圖



圖十、帘線角度為 45° ，在不同內壓下之側向(X 向)變形圖

4. 結論

本文之空氣彈簧有限元素模型於氣壓及帘線參數之分析結論如下：

- (1) 空氣彈簧在充氣過程中，因帘線角度不同，對於氣墊本體之結構剛性會產生影響，帘線貼附角度小時，於油壓制具產生負向作用力，貼附角度大時，則反之。
- (2) 相同內壓下，空氣彈簧之垂直向剛性，並未隨帘線角度改變而變化。
- (3) 當 θ 角度越大時，可獲得較少的縱向變形量，有利於減少空氣彈簧之安裝空間。
- (4) 在固定角度下，空氣彈簧隨著內壓升高，可獲得較高之垂直剛性。

5. 參考文獻

- [1]袁春元,周孔元,王國林,吳琳琪等,车用空气弹簧力学性能仿真及试验研究,农业工程学报,2008,P38-P42
- [2]郑红霞,谢基龙,王文静,张治国,高速客车空气弹簧垂向特性的非线性有限元仿真,北方交通大学学报,2004,P93-P97
- [3].Hongwei Liu, Dejun Zhuang, Yi Lin and Wangyu Wang, Fengjun Zhang, Wei Zhang and Fengjun Liu, A Study on Nonlinear Stiffness Characteristic of AirSpring for a Bus, SAE International, 2002
- [4].ABAQUS/CAE 6.6-1 User's Manual