

汽車工業之振動與噪音工程

林忠志*

摘要

振動與噪音工程是汽車工業的四大領域之一。尤其是在汽車駕駛人與乘客講求乘坐舒適性，以及國人環保意識日漸抬頭的今日，振動與噪音工程更是成了汽車工業搶奪市場的一個犀利武器。

近幾年來，相關於振動與噪音工程的測試技術、分析方法以及振動改善、噪音防治的理論愈益成熟。在普及民生的理念之下，這些技術也逐漸地被應用到低價位的車輛。本文將以最簡單的文字來描述汽車工業界之振動與噪音工程。並同時探討這些工程對乘坐舒適性與環境保護所帶來之衝擊。

【關鍵字】

1. 剛性(stiffness)
2. 自然振動頻率(natural frequency)
3. 音響學或噪音學(acoustics)
4. 電腦輔助工程(CAE;computer-aided engineering)
5. 有限元素分析(FEA;finite element analysis)

*虎門實業股份有限公司台中分公司 CAE 經理

一、前　　言

汽車工業相關之工程基本上可以概分為以下四大領域：

- 1.噪音與振動工程〔NVH(noise,vibration and harshness)engineering〕，
- 2.耐用工程(durability engineering)，
- 3.安全工程(safety engineering)，
- 4.汽車動力學工程(vehicle dynamics engineering)。

這四大工程皆有其特別的重要性。

在這四大工程領域當中，NVH 可以說是和汽車駕駛人與乘客之間關係最“貼切”的。一個選購新車的人，在引擎起動之後以及開車上路之時，首先感受到的一定是方向盤或坐椅是否振動的“觸覺”，以及多大的噪音傳遞到耳朵的“聽覺”。這些感官因素除了降低乘車的舒適性之外，輕者可能加速乘員之疲勞，重者更可能逐漸影響乘員肢體與聽覺方面的健康。

為了要守住汽車選購者最貼切的第一關，各個汽車製造業紛紛發展 NVH 工程。兩三年前美國電視廣告出現了這兩個廣告：

- 1.您能不能用\$16,000.美元買一輛 BMW?您能不能用\$16,000.美元買一輛 Lexus?您能不能用\$16,000.美元買一輛 Merced?您能不能用\$16,000.美元買一輛“低價位豪華車”？
- 2.“某型車”的第一個自然振動頻率(first natural frequency)高達 28HZ。

第一則廣告號稱這輛“低價位豪華車”有著世界上頂級豪華車的高品質舒適性。第二則廣告則強調了汽車車體剛性(stiffness)的重要性。總而言之，NVH 工程已悄悄地成了汽車工業的一個新的戰場(參考文獻 1)。而 NVH 工程師更成了決定汽車品質以及客戶滿意度的最重要前哨(參考文獻 2)。

二、NVH 簡介

NVH 工程之所以越來越受重視的另一個原因是：汽車製造業一直在積極發展更輕而且動力更強的汽車。這個趨勢自然而然地產生更多的噪音與振動問題(參考文獻 2)。研發重量輕、馬力大的車子意味著節省材料、降低成本、節省燃料、減少空氣污染、以及增加市場競爭力。然而，這通常也減低了汽車車體的剛性，造成新的 NVH 問題。NVH 工程師的職責即是要達成以上的設計目標並同時維持、甚至增進 NVH 的品質。數年來，許多不同的理論被應用在每一個不同的 NVH 問題。既然是觸覺與聽覺方面的問題，所有的理論皆需出發於人的感覺，再量化為工程方面的程序。這其中有一不變的道理：振動對乘客而言永遠是一個不好的感覺。然而，由噪音或聲音的觀點而言，完全的死寂或許反而會使駕駛者加速進入瞌睡狀態。所以，汽車的噪音工程已經進入了講究音響學(acoustics)裡的音質(sound quality)的時代了(參考文獻 3)。

NVH 工程基本上可分為三個步驟：

- 1.判別振動或噪音源並探討其傳遞至量測點的路徑。
- 2.利用可行之技術來消除振動或減低聲壓。
- 3.對噪音工程而言，最後再微調其音質。

雖然對大部份 NVH 問題而言基本觀念是一樣的。但是從應用的角度來看，解決的方法會因考慮的層次為整個系統(system)或其局部組裝(sub-assembly)而異。

舉例而言，如主動噪音控制(active noise control)，主動引擎支座(active engine mounts)以及動力避振器(dynamic vibration absorber)等是針對某些局部組裝之振動與噪音問題提供答案的方法。而由整個車體的振動與噪音問題而言，聲音包裝(sound package)、阻泥板(damping sheet)與剛性強化(body stiffening)是常見的技術。下文中將針對汽車工業的噪音工程與振動工程技術分別做簡單的討論。

三、汽車工業之噪音工程

主動噪音控制技術的基本原理相當簡單。聲音是藉著“波”的方式在媒介物體上傳遞。當人的耳朵聽到不悅耳的聲音時，實際上量測儀器上可能出現的是一個高的聲壓波峰。配合數位訊號處理(DSP ; digital signal processing)的技術，ANC 即是在量測到波峰的同時瞬間產生一波谷以抵消此噪音聲壓的方法。

在整車的噪音工程方面，聲音包裝可說是最廣泛應用的了。汽車的內裝不論上、下、前、後、左、右均需使用這種技術。基本上聲音包裝可解釋為利用多層的吸音材料的組成來隔絕噪音的方法，以應用的地方來區分，它又可分為音阻(barrier)及吸音(absorption)兩種包裝。音阻包裝是用於封閉乘客區與外界之間的所有孔洞。而內部吸音則旨在包裝整個乘客空間，杜絕外界聲音之進入，吸收已進入乘客空間之聲音。

汽車工業主要考慮的噪音來源有引擎、路面、風阻、以及排氣等。風阻所造成的噪音問題早已在汽車市場上括起了“流線”造形的風氣。雖然 NVH 工程師竭盡所能地研發測試與分析之相關方法，因為噪音工程的複雜以及噪音與振動之間的交互影響，往往使得噪音工程之解決有顧此失彼之虞(參考文獻 4)。

四、汽車工業之振動工程

前言中所提到的“第一個自然振動頻率高達 28Hz”實際上是在描述汽車工業對振動工程的重視。以整車的振動工程而言，NVH 工程師必須執行以下所有分析工作：

1. 主要接著處的剛性分析(joint stiffness analysis)。
2. 整車的剛性分析(stiffness analysis)。
3. 次組裝及整車之模態分析(model analysis)
4. 次組裝及整車之頻譜分析(frequency response analysis)。

汽車基本上是由許多鈑金件焊接而成。在整個結構上最弱的地方通常是在車體外緣鈑金件以小面積接合之處。這些接合處(joint)是設計工程師及製造工程師務必謹慎之處。而在整部車組裝之後仍需對整車做扭曲(torsion)及彎曲(bending)試驗，以確定全車的任何一個截面都不至於有剛性的問題。

模態分析則是所有動態分析的第一步。由模態分析可以得到結構的自然振動頻率及相對應的模態。這些資訊正是一個結構的動態特性。而第一個自然振動頻率則更可以解釋為一個結構的“動態”剛性。

因為汽車是一個移動中的物體，頻譜分析則是分析在任何個外力頻率之下施力點到量測點之間的振動傳遞行為。舉例而言，工程師可利用頻譜分析來了解某一個輪子受路面作用時駕駛員座椅的振動情形。

為了要增強汽車結構之剛性，NVH 工程師絞盡腦汁於新製造技術的應用。這些技術包括：

1. 肋(rib)
2. 結構性黏膠(structural adhesive)
3. 雷射焊接鈑金(laser weld blank)
4. 水力成型(hydra-forming)
5. 結構泡棉(structural foam)

五、電腦輔助振動與噪音工程：

歐美國家已經使用電腦輔助工程(CAE;computer-aided engineering)於產品研發以及 CAD/CAM/CAE 之整合應用多時。然而，今日國內產業界對 CAE 却仍不甚了解(參考文獻 5)。CAE 實際上已廣泛地被應用於前言中所提到的四大汽車工程領域中。CAE 中最為人所知的有限元素分析(FEA;finite element analysis)(參考文獻六)更是大量應用於前三大工程中。

針對振動與噪音工程而言，因為其工程問題千變萬化，非常難以在短時間內以有限的人力來發現並解決所有 NVH 問題，所以參考文獻 3 中提到了：“解 NVH 問

題的長程方法在於電腦模型”。

有限元素分析可以解決多數的 NVH 問題。然而，它並無法克服所有的問題。NVH 問題基本上可分低頻，中頻與高頻等三個區段。FEA 在解低頻 NVH 問題時毫無困難。但是在解決高頻 NVH 問題時即可能必須利用統計能量法(SEAM; statistical energy analysis method)這一類的技術。而中頻 NVH 則到目前為止尚無一個眾所公認的好方法。許多研發工程師正投注精力於相關技術上，期望有一天能利用 CAE 完全解決 NVH 問題。在此之前，測試工程是維一補此不足之道。

值得一提的是：目前的 CAE 工具普遍提供了實驗設計法(DOE; design of experiments)及數學程序法(mathematical programming)兩種工程最佳化(engineering optimization)工具。這實在是設計工作一大福音。因為工程最佳化可以取代傳統的試誤法(try and error method)設計迴圈使得設計工作更加簡便、快速。

六、結語

噪音乃是現代人生活中的一個重大污染源。醫學界早已證明了噪音除了損害人的聽覺之外，更會造成人類精神方面的疾病。汽車乃是目前與人的生活最接近、提供大量噪音的來源之一。所以汽車工業無不盡力投入噪音工程的研發。期望能夠給予車內乘客與車外行人及居民一個更好的生活品質。

對車內的乘客而言，振動也是造成人的肢體酸疼與暈車嘔吐的一個污染源。因此增加乘客坐的舒適性也是汽車工業 NVH 部門的一大職責。

汽車工業為了解決複雜的振動與噪音工程，針對不同類型的問題提供了許多可行方案。而在整個研發過程中，CAE 居功厥偉。它提供了各型產業長期研發計劃的一個新方向。雖然目前 CAE 在某些領域的應用尚有瓶頸，但是在全世界 CAE 工程師群策群力之下，相信這一個以 CAE 取代測試與試誤法的理想有朝一日必能實現。

振動與噪音是悠關人類生活品質的問題，汽車工業視之為吸引顧客的首要因素。而 NVH CAE 則是解決問題的最佳武器。

參考文獻

- 1.Eisenstein, P.A.,NVH:The New Battleground ;Reducing Noise, Vibration, And Harshness Can Make Your Vehicle Better Than Your Competitor's, Automotive Industries,February,1994,pp,108-112.
- 2.Winter,D.,Getting The Vibes:NVH Chanlleges Engineers,Ward's Auto World,March,1993,pp101-103.
- 3.Lowell,J.,Silence Is Golden;Proper Cars Should Be Seen And Not Heard, Ward's Auto World,March,1995,pp.101-103.
- 4.Dvorak,p.,Good Vibrations, Machine Design,February,1996.
- 5.林忠志,CAE 及虛擬原型機之工業應用,CADesigner (電腦繪圖與設計雜誌), Vol. 117, December, 1997, pp. 65-71.
- 6.林忠志、陳俊良,電腦輔助工程之應用與整合-理光 (Ricoh) 的光碟機驅動機構研發計劃,即將出現於第三波 CADesigner 雜誌。