

振動噪音實驗室研究能量報導

一、前言

機械振動一直是機械疲勞破壞，機器精度與精密製造過程中之重要議題，然而，現今一般國內工業界之機械設計範疇，仍多停留在靜態之結構應力分析，甚至僅止於初步之力學計算，而忽略了動態分析之重要性。另一方面，在環保意識之高漲，工業噪音的問題廣泛受到重視，然而綜觀我國工業界對工業噪音之認識，也多僅止於注意，較缺乏完整聲學知識以及對噪音之發生與傳播作深入之分析探討，而能採取有效之防治措施。由於機械振動與噪音之發生實是一體兩面因果互動的關係，因此積極推廣正確之機械振動診斷與工業噪音防治的理念，尤為當務之急，更是今日機械領域重要課題。

機械工程系振動噪音實驗室 1993 年成立以來，訂定之發展規劃目標如下：

1. 致力於振動及噪音技術之教育，使能專業化、普及化、通俗化。
2. 致力於學生訓練，使熟悉具備振動噪音相關之專業技術能力，能拓展至產業實務應用及未來終生學習之能力。
3. 致力於振動及噪音相關技術之發展，以期應用於產業實務需求及學術貢獻。

振動噪音實驗室所執行與服務的项目，包含：

1. 產品 / 機具結構振動模態測試與有限元素分析。
2. 各種產品 / 機具振動 / 噪音測試、分析與改善。
3. 結構靜力、熱傳、振動之有限元素分析。
4. 電腦輔助工程分析 (computer aided engineering, CAE) 訓練課程之提供 (有限元素分析、ANSYS 軟體教育訓練)。

5. 基礎振動、噪音及實驗模態分析 (experimental modal analysis, EMA) 教育訓練課程之提供。

本文介紹振動噪音實驗室團隊，近年來所執行之產官學計畫績效、機械振動與噪音防治之整合技術能力、推廣服務之內容及對產業界提供全方位的實質服務。

二、振動噪音實驗室研究能量與績效

振動與噪音實驗室之核心技術能力，包括：

1. 振動理論分析：振動基本原理、結構振動特性、振動評估標準規範、振動問題解析流程、數學模型化步驟、四種振動分析類型(模態、簡諧、暫態、頻譜響應分析)，應用於各類工程實務問題。
2. 噪音量測分析：聲音基本原理、聲波概念、聲音頻譜及 1/3 八音頻帶分析、噪音評估指標、量測規範、噪音計與頻譜分析儀使用、工程結構噪音量測之實務應用。
3. 實驗模態分析(EMA)：振動實驗量測、振動量測儀器使用(頻譜分析儀、加速度計、衝擊鎚)、信號處理分析技術、實驗模態分析具體步驟、及工程實務應用。
4. 電腦輔助工程分析(CAE)：應用有限元素分析軟體(ANSYS、LS-DYNA、VL-ACOUSTICS)於工程應用實務、有限元素分析基本概念、應用 CAE 軟體於工程分析流程、CAE 軟體應用分析步驟、各種典型結構之有限元素分析(桁架元素、樑元素、平面元素、立體元素、殼元素、接觸元素)，涵蓋應力、熱傳、振動等主題。

機械工程系 王栢村

E-MAIL: wangbt@mail.npust.edu.tw

近年來振動噪音實驗室團隊之研究能量與整合技術發展，歸納綜合有兩大主軸：

1. 結合「電腦輔助工程分析」與「實驗模態分析」之工程設計與應用
2. 低成本、客製化振動噪音量測與自動化分析系統之開發與應用

2-1 結合「電腦輔助工程分析」與「實驗模態分析」之工程設計與應用

結合 CAE 與 EMA 之虛擬測試 (virtual testing) 理念與技術已廣泛應用於實務工程問題，國內對於此 CAE 與 EMA 整合技術與應用尚在萌芽與發展階段。

CAE 即電腦輔助工程分析，舉凡應用電腦以自行設計開發之程式或商用軟體，進行工程問題之解析，均可謂之。最廣泛採用之數值分析技術，不外是有限元素法 (Finite Element Method, FEM)，若以有限元素法進行工程問題之解析，又泛稱為有限元素分析 (Finite Element Analysis, FEA)。由於實務工程結構大都相當複雜，產業界多使用泛用型分析軟體，振動噪音實驗室主要採用 ANSYS 軟體從事相關教學與研究。

EMA 即實驗模態分析，簡單的說就是振動實驗量測方法，實驗模態分析目的：在求得結構系統之模態參數，包括：自然頻率、模態振型、及模態阻尼比。EMA 主要應用如下：(1) 模型驗證(model verification)、(2) 響應預測(response prediction)、(3) 模型變更(model modification)、(4) 外力測定(force determination)、(5) 次結構分析(substructuring analysis) 或組合分析(coupling analysis)、(6) 健康監測(health monitoring) 或破壞檢測 (damage

detection)。其中，最重要的是模型驗證，圖 1 為實驗模態分析結合有限元素分析之模型驗證流程圖，旨在確認分析模型之正確性，圖 2 為結合 CAE 與 EMA 之結構設計變更驗證流程，首先完成模型驗證，以確認之分析模型進行響應預測，必要時得進行模型變更，亦即結構設計變更，再經反覆之響應預測與模型變更流程，達到設計目標。

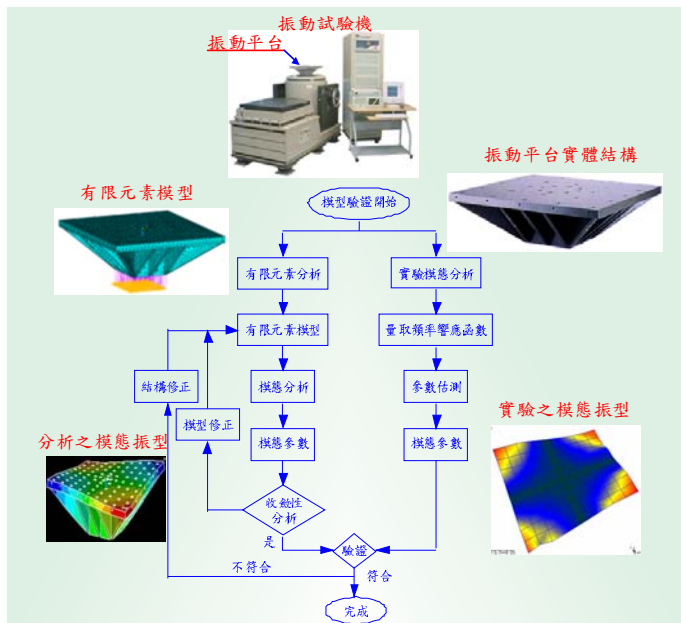


圖 1 實驗模態分析結合有限元素分析之模型驗證流程圖

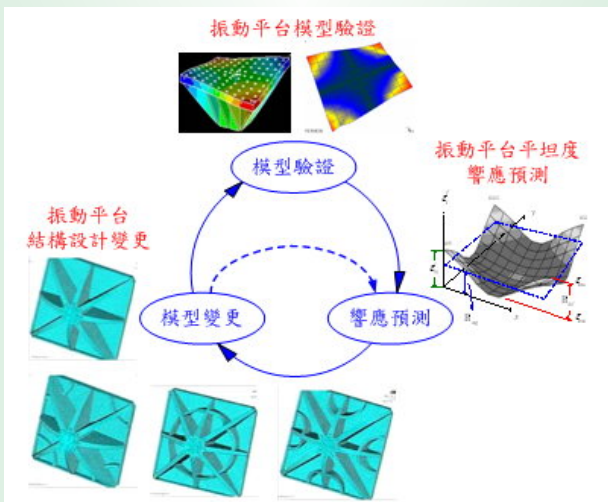


圖 2 結合 CAE 與 EMA 之結構設計變更驗證流程

振動噪音實驗室近年來，應用 CAE 與 EMA 整合技術於產學合作研究之主題包括：

1. 應用 CAE 與 EMA 於高爾夫球具整合設計開發(大田公司)
2. 應用 CAE 與 EMA 於振動試驗機垂直輔助平台之設計分析(金頓公司)
3. 應用 CAE 與 EMA 於衝擊試驗機滑動平台之整合設計開發(金頓公司)
4. 應用 CAE 與 EMA 於印刷電路板環境振動試驗之分析

與驗證(日月光公司)

5. 應用 CAE 與 EMA 於車輛零組件之設計開發(金屬中心)
6. 應用 CAE 與 EMA 於智慧型材料結構系統之發展(國科會)
7. 應用 CAE 與 EMA 於打擊樂器之設計分析(國科會)

振動噪音實驗室自 1999 年開始與大田公司合作，致力於高爾夫球具之設計分析技術發展以及開發流程驗證已逾 10 年，歷年產學合作計畫 6 件，發表學術論文 27 篇，參與研究培育人才碩士生 8 名、大學生 19 名，所建立的技術量能包括：(1)導入電腦輔助工程分析(CAE)技術於高爾夫球桿之振動特性與碰撞性能分析；(2)建立 CAD(Pro Engineer)與 CAE (ANSYS)軟體間之整合技術與應用方法；(3)建立振動實驗模態分析(EMA)技術於高爾夫球桿之實驗驗證；(4)結合 CAE 與 EMA 進行模型驗證，以確認分析模型、分析方法之合理性與正確性，對現有之高爾夫球桿進行設計驗證及認證 (Verification and Validation, V&V)；(5)導入虛擬測試(virtual testing, VT)之整合設計概念於高爾夫球桿之設計分析，縮短研發時間，建立參數化設計分析程式與作業流程，以進行高爾夫球桿設計變更(Design Modification)以達高爾夫球桿之特定性能規格(Performance Specification)之需求；(6)高爾夫球具擊球聲音預測與球頭結構設計技術之發展。

金頓公司為振動及衝擊試驗機等專業設備製造廠商，自 2003 年與屏科大已經三度簽訂交流合作協議，並在機械系成立「金頓公司-可靠度實驗室」與振動噪音實驗室共同運作，目前已經邁入第 7 年的合作關係，歷年產學合作計畫 7 件，發表學術論文 28 篇，參與研究培育人才碩士生 7 名、大學生 6 名，所建立的技術量能在振動平台與衝擊平台之設計分析與開發，包括：(1)導入 CAE 及 EMA 技術於振動平台及衝擊平台結構振動特性之分析與設計；(2)建立平台模型驗證及虛擬測試之整合設計概念；(3)發展建立平台之標準設計驗證流程，使其能因應不同客戶對產品測試之需求作設計變更，以符合振動、衝擊測試規範之要求。圖 3 為所建立振動試驗機垂直輔助平台之設計分析開發流程，圖 4 則為衝擊試驗機滑動平台之設計分析開發流程，應用了 CAE 及 EMA 整合技術，並結合振動及衝擊專業分析能力於產品開發，此整合設計理念流程也可應用至其他精密機械開發之參考。

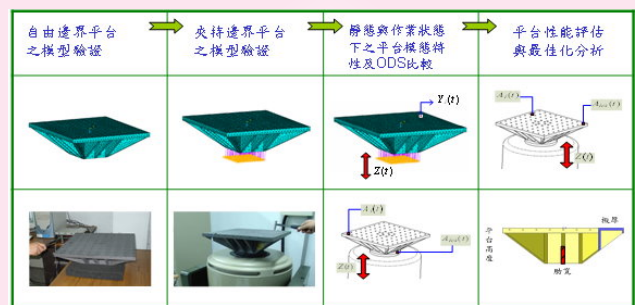


圖 3 垂直輔助平台設計分析流程

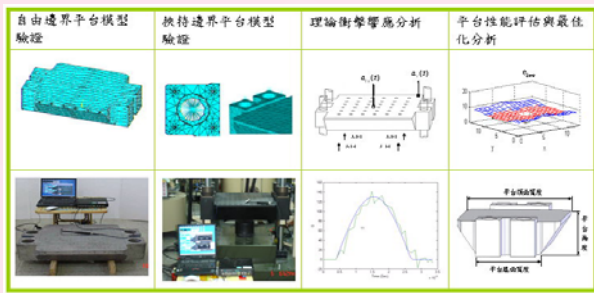


圖 4 衝擊試驗機滑動平台之設計分析開發流程

日月光公司為國際知名 IC 封裝廠，振動噪音實驗室以其振動實驗模態分析(EMA)技術專長，導入圖 1 模型驗證理念與技術，強化日月光公司既有設計分析能力於實驗技術驗證的提升，自 2005 年迄今合作已經 5 年，日月光公司每年提供一名碩二研究生全年度獎助學金，參與共同研究已發表學術論文 17 篇，圖 5 為引用 JEDEC 振動試驗規範對电路板之振動試驗與分析驗證，進而可預測如圖 6 之电路板封裝體、晶片、錫球於振動試驗時之應力分析，完成領先業界的包含熱效應之隨機振動耦合分析與實驗驗證。

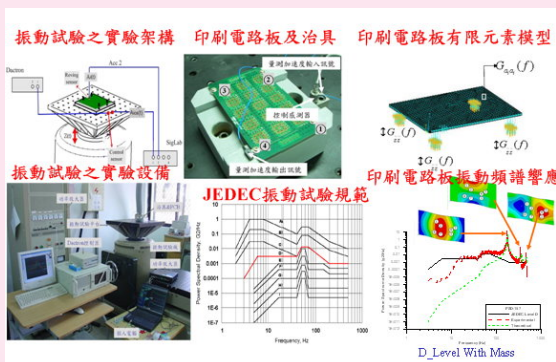


圖 5 封裝體电路板之振動試驗與分析驗證

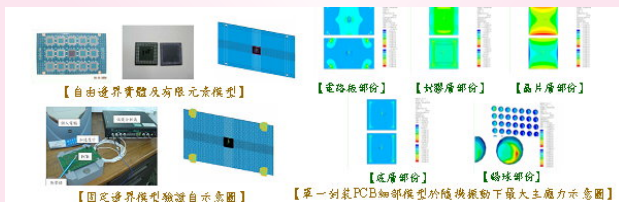


圖 6 电路板封裝體、晶片、錫球之振動試驗與應力分析

CAE 與 EMA 整合技術之應用廣泛，除了前述應用於高爾夫球具，也可應用於網球拍等運動休閒器材產業，以及 3C 產品與試驗設備之環境振動及衝擊設計驗證，另外，諸如精密機械之工具機、汽機車等產業均與 CAE 與 EMA 整合技術息息相關。振動噪音實驗室之相關研究案例如下：圖 7 為南化水庫與高屏溪攔河堰聯通管路結構振動量測與分析，可作為管路結構之維護保固參考依據。

振動噪音實驗室秉持因應產業實務需求與學術貢獻，以振動噪音為主軸，持續於訓練學生 CAE 與 EMA 整合技術專業之應用能力，並培養積極主動的敬業、樂業工作態度。

圖 7



2-2 低成本、客製化振動噪音量測與自動化分析系統之開發與應用

振動為工業界不容忽視之問題，由於現今機器朝向高速化、精密化，相對地機器對抗振動之設計考慮也相形重要，然而國內對振動分析技術尚未普及化，由於振動現象之觀察或理論分析通常較為不易，原因在實驗設備較昂貴，另方面分析工具較為欠缺或未能普及化，因此發展適當的本土化振動分析軟體，將有助於振動課程教學，也可作為工業界之振動分析工具，更可促進振動分析技術於國內生根。

振動噪音之實驗量測與分析，一般都採用泛用型之頻譜分析儀或精密噪音計，可以量測得到加速度、聲音壓力之時間域信號，也可進行對應於頻率域之頻譜分析，以了解結構、機具、產品之振動噪音特性，但是對於一般之應用，固然可以進行實驗量測與分析，不過有其潛在之缺點，例如：頻譜分析儀由於功能多，因而價格較高，對於單一目的之線上檢測、或其他量測數據之後處理應用而言，並不符經濟效益；另外，一般實驗設備在量測數據資料之取得多有所限制，通常必須透過繁複之手動程序轉檔，而不易於後續之應用分析。

基於我國對振動噪音分析與量測應用之產業需求，振動噪音實驗室持續致力於發展振動噪音分析軟體，未來朝向 copyleft 之自由軟體理念的發展與推動，以提升我國於振動噪音領域專業之普及化，同時以低成本、客製化之理念，結合硬體量測設備建置不同產業需求應用之振動噪音檢測分析系統，近年來所研究開發之分析軟體模組及量測應用分析模組，推廣於產學合作之績效如下：

1. 風扇噪音檢測系統之開發與驗證(元山公司)
2. 風扇聲音品質指標檢驗規範建立與自動化篩選模組開發(元山公司)
3. 刀具 FRF 之實驗量測模組開發與切削顫震穩定圖之預測分析(精密機械中心)
4. 振動分析軟體之研究與開發(國科會 / 逸奇公司)
5. 僅自由振動響應之模態分析模組(國科會)
6. 基於模態振型之結構破壞預測發展與驗證(國科會)
7. 聲音模擬產生器與頻譜分析模組(國科會)
8. 巴士車廂內振動與噪音之檢測評估(成運公司)
9. 高爾夫球具振動品質指標分析模組(大田公司)
10. 高爾夫球球頭與球具聲音與振動關聯性分析模組(大

田公司)

11. 高爾夫球具室外聲音量測及預測分析模組(大田公司)
12. 衝擊試驗機動作原理與衝擊座之設計(金頓公司)

以小型風扇之噪音品質檢驗為例，業界目前大都以人工方式，由手感或聽聲音來判斷其振動或噪音量，難免有失客觀，為建立一套可量化之量測方法與設備，以檢測風扇之噪音量有其必要性以及實用上之需求，因此建立低成本、客製化之風扇噪音量測系統有其需要性，振動噪音實驗室開發建置以麥克風量測風扇聲音壓力，配合類比與數位資料擷取卡(A/D card)，以 MATLAB 軟體為平台，建立如圖 8 的風扇噪音檢測系統量測模組，未來將據以建立風扇聲音品質自動化篩選檢驗模組，客製化之量測與分析模組有助於工業界實務應用。

切削顫震是一種自激激振(self-excited vibration)的現象，通常發生於機械加工時，在眾多引發切削振動之成因中以顫震(chatter)對加工品質影響最劇，並限制加工效率。切削顫震會有許多不良的影響，像不良的加工表面、嚴重的精度誤差及吵雜的噪音，增加刀具的磨耗、加工機具的損壞及降低材料移除率，導致加工時間、材料及能源等成本相對增加。振動噪音實驗室以 MATLAB 軟體為平台，搭配數位訊號擷取裝置，發展建立如圖 9(a)所示刀具頻率響應函數之實驗量測模組，進而發展如圖 9(b)、(c)之刀具顫震穩定圖預測分析模組，提供一分析工具以避免顫震，也可提供加工效率。

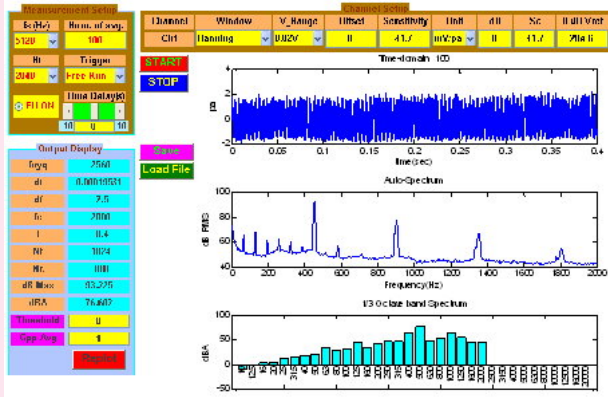


圖 8 風扇噪音檢測系統量測介面

圖 9(a) 雙頻道刀具頻率響應函數之實驗量測模組

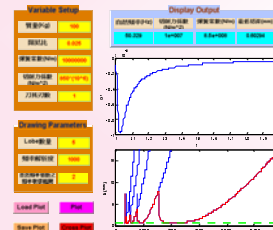


圖 9(b) 單自由度顫震穩定圖預測模組

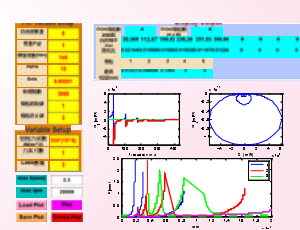


圖 9(c) 多自由度顫震穩定圖預測模組

對於工程結構相關問題之振動噪音分析與研究，不論是實驗量測或是理論解析，對於量測及後續後處理實為重要之關鍵，並且包括技術性之 know-how 與 know-why 之應用，因此建立對應不同應用目的之自動化分析程式相形重要，可提供業界直接使用之套裝軟體程式模組，將是工程實務應用之利器。

振動噪音實驗室所發展的振動噪音量測與應用分析軟體之功能特色：獨立的、交談式、視窗化、使用者親和性、圖形顯示、數據資料自動擷取儲存等功能，所開發之低價位、可商品化之振動噪音分析軟體，除了可提供各級學校振動課程之教學，也可為不同應用目的開發之自動化分析模組，可直接作為工業界實務應用。

三、結語

振動噪音實驗室歷年執行諸多產官學研計畫，與產業界的合作以及提供產業的工程服務累積相當經驗，在此基礎下建構優質的產業服務，未來持續秉持著訓練理論與技術合一專業人才的教育理念，並配合高屏地區及科學工業園區產業界之需求，擴展在職進修之教育訓練，並積極與業界共同合作，希望能透過產學研的力量結合創造振動噪音領域之專業價值，落實發展推動：(1)結合「電腦輔助工程分析」與「實驗模態分析」之工程設計與應用，(2)低成本、客製化振動噪音量測與自動化分析系統之開發與應用，以提升強化我國工業產品開發設計之研發能量與國際競爭力。◆