

# 壓電平板的振動及聲傳分析

研究生：廖巧鈴

指導教授：金大仁 博士

國立交通大學機械工程研究所

## 中文摘要

本文主要研究壓電材料與附著板黏合的結構在壓電受到電壓驅動時所產生的振動現象及聲壓的表現。

結構方向，主體均將壓電材料與銅板黏合，再以彈性懸邊固定。針對不同結構進行振動實驗及聲壓值量測。

理論部份則利用有限元素軟體建構壓電平板之分析模型，進行自然振動頻率、自然振動模態及簡諧響應分析，並將每個節點之位移及相角代入聲壓程式中計算得到每個頻率下之聲壓值，並繪製聲壓曲線圖。

比較實驗與模擬之聲壓曲線，討論各種參數對聲壓曲線之影響，藉以了解壓電平板之激振機制及影響聲壓曲線各種因素。並加以改善，本文針對不同材料參數、邊界條件及改變幾何形狀所產生之聲壓曲線做分析，依據分析結果做結構設計，以期改善壓電致動平板只適合用於高頻處的缺點。

# **Vibration and Sound Radiation Analyses of Piezo-electrically Excited Plates**

Student : Chiao-Ling Liao

Advisor : Dr. Tai-Yan Kam

Department of Mechanical Engineering  
National Chiao Tung University

## **ABSTRACT**

The purpose of the study is to investigate the vibration characteristics and the performance of sound pressure level (SPL) of piezo-electrically excited radiating plates.

For the experimental design, the piezoelectric plates was bonded with the copper plate, and the structure was supported by elastic suspensions around the surrounding of the copper plate. Three different structures of the radiating plates were analyzed. The natural frequency and the sound pressure were measured from the experiments. In comparison with the FEM software-ANSYS, the results of the experiments were used to study the effects of different designs of the radiating of the radiating panels on the SPL curve and verify the suitability of the models in predicting sound radiation.

The influences of the parameters, such as the material constants, boundary conditions and the shape of the structures, on the SPL were explored in this thesis. According to the results of the analyses, it is possible that a proper design of the structure of a radiating panel can improve the narrow application of traditional piezo-electrically excited plates which can only find applications in high frequency range.

## 誌 謝

碩士班兩年的時間倏乎即逝，猶記碩一時的矇懂，如今論文卻已完成。這一路走來需要感謝的人實在太多，老師，實驗室的每一份子，家人，都是支持我完成論文最大的支持，心中有太多感激，非筆墨能形容。

首先要感謝我的指導老師金大仁教授，老師的耐心指導和豐富的學術涵養，在撰寫論文過程中給予我很多指導，不只在實驗、理論等做研究的方法與過程，而是老師以身作則，展現出做研究該有的認真且細心態度和堅持，是讓我受益最多的部份。感謝老師的教誨，在此致上內心最誠摯的謝意。

撰寫論文過程中遇上問題時，幫助我最多的乃是博士班偉芬學姊和清榮學長，他們耐心且熱心的與我討論我遇上的瓶頸，且提供寶貴的意見，使問題迎刃而解。

感謝同窗好友，國晉、志鴻、鎮隆，從碩一一起修課、寫作業到碩二一起努力寫論文，過程很辛苦，但也因為有你們才能讓這段過程不會那麼孤單無助，陪我經歷過一次又一次的挫折，分享研究過程中的喜怒哀樂，這兩年真的非常感謝你們，我最摯愛的好同伴。

感謝實驗室張馨櫻小姐，這兩年來對我們和實驗室的照顧，且扮演我們與老師之間溝通的橋樑。也感謝學弟和博士班學長們平常對我的幫忙。

最後我要感謝我的家人和朋友，這兩年對我的支持和鼓勵，使我能夠安心的完成學業。僅以本文獻給我的家人、師長和朋友們。

巧鈴 2004,7 于交大

# 目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	vi
圖目錄	.....	vii
第一章	緒論.....	1
1-1	前言.....	1
1-2	文獻回顧.....	1
1-3	研究方法.....	2
第二章	壓電材料基礎理論.....	4
2-1	壓電材料特性說明.....	4
2-2	壓電基本理論公式.....	5
第三章	積層式壓電致動器理論.....	10
3-1	積層板 (laminated) 理論.....	10
3-1-1	狹義虎克定律.....	10
3-1-2	廣義虎克定律.....	10
3-1-3	古典積層板理論.....	11
3-1-4	一階剪變形理論.....	15
3-2	壓電積層板理論公式.....	18
3-2-1	古典板理論.....	18
3-2-2	米德林板理論.....	19
3-3	有限元素法.....	20
3-3-1	變分法.....	20
3-3-2	有限元素法.....	21
3-3-3	應用於古典板理論.....	24
3-3-4	應用於米德林板理論.....	26
第四章	聲壓計算及應用.....	27
4-1	聲壓波動方程式.....	27
4-2	聲壓曲線之繪製.....	30
第五章	壓電板材製作與實驗設備.....	31
5-1	壓電板材製作.....	31
5-2	振動實驗.....	31
5-2-1	B&K 的 PULSE 頻譜分析儀.....	31
5-2-2	實驗程序.....	32
5-3	聲壓實驗.....	32

5-3-1	設備介紹.....	32
5-3-2	實驗程序.....	33
第六章	理論分析與實驗結果.....	34
6-1	前言.....	34
6-2	ANSYS 模型建構與析.....	34
6-2-1	ANSYS 元素之選用.....	34
6-2-2	ANSYS 模型建立與驗證.....	35
6-3	聲壓曲勢分析.....	37
6-3-1	三種實驗聲壓曲線分析.....	37
6-3-2	改變附著板對聲壓趨勢之影響.....	41
6-3-3	改變邊界條件對聲壓趨勢之影響.....	42
6-3-4	改變幾何形狀對聲壓趨勢之影響.....	43
第七章	結論與未來研究方向.....	46
參考文獻	.....	48



## 表目錄

表 6-1	ANSYS 分析之自然頻率與參考文獻[4]的比較.....	49
表 6-2	ANSYS 模態圖與參考文獻[4]模態圖的比較.....	50
表 6-3	實驗物件實際尺寸.....	51
表 6-4	材料常數.....	52
表 6-5.a	實驗一自然頻率與 ANSYS 自然頻率之對照.....	53
表 6-5.b	實驗二自然頻率與 ANSYS 自然頻率之對照.....	53
表 6-5.c	實驗三自然頻率與 ANSYS 自然頻率之對照.....	54
表 6-6	對稱結構(case3)自然振動模態.....	54
表 6-7	非對稱結構(case4)自然振動模態.....	56
表 6-8	case4 振型.....	58



## 圖目錄

圖 2-1.a	正壓電效應.....	60
圖 2-1.b	負壓電效應.....	60
圖 2-2	單位晶胞(unit cell)正電荷(陽離子)之幾何中心點與負電荷(陰離子)之幾何中心點不位在同一點.....	60
圖 3-1	纖維方向與座標軸平行.....	61
圖 3-2	纖維方向與座標軸夾一角度.....	61
圖 3-3	中性面與各板層間之關係.....	61
圖 3-4.a	各k層之分佈力與力矩之關係.....	62
圖 3-4.b	將各k層視為一整體受力N或力矩M作用.....	62
圖 3-5	雷斯納-米德林板位移示意圖.....	62
圖 3-6	一階剪變形之應力示意圖.....	63
圖 5-1	實驗用懸邊.....	63
圖 5-2.a	實驗用中間有圓孔之元件.....	64
圖 5-2.b	組裝好之實驗元件.....	64
圖 5-3	B&K Pulse 雷射測位儀.....	65
圖 5-4	B&K Pulse 架設示意圖.....	65
圖 6-1	實驗設計示意圖.....	66
圖 6-2	比較值之參考模型.....	66
圖 6-3.a	實驗一 單面壓電片+銅板 ANSYS 模型.....	67
圖 6-3.b	實驗一 單面壓電片+銅板 實物模型.....	67
圖 6-4.a	實驗二 單面壓電片+銅板 中間挖空並以 PU 材料填補 ANSYS 模型.....	68
圖 6-4.b	實驗二 單面壓電片+銅板 中間挖空並以 PU 材料填	68

	補 實物模型.....	
圖 6-5.a	實驗三 雙面壓電片+銅片 ANSYS 模型立體圖.....	69
圖 6-5.b	實驗三 雙面壓電片+銅片 ANSYS 模型側視圖.....	69
圖 6-6	壓電受力呈徑向變形.....	70
圖 6-7.a	壓電與銅片受到電極激振時產生之應力示意圖.....	70
圖 6-7.b	壓電與銅片受到電極激振時產生之彎曲變形.....	71
圖 6-8	電磁式激振示意圖.....	71
圖 6-9	單片壓電與銅片分析模型(同實驗一).....	72
圖 6-10	實驗一 mode1~mode6 自然振動模態.....	73
圖 6-11	實驗一 第六個自然振動模態.....	74
圖 6-12	實驗一 之理論聲壓曲線與自然頻率分佈.....	74
圖 6-13	實驗一 之理論與實驗聲壓曲線之比較.....	75
圖 6-14	實驗二 第一個高峰自然振動模態.....	75
圖 6-15	實驗二 第二個高峰自然振動模態.....	76
圖 6-16	實驗二 第三個高峰自然振動模態.....	76
圖 6-17	實驗二 第三個高峰自然振動模態.....	77
圖 6-18	實驗二 理論聲壓曲線.....	77
圖 6-19	實驗二 頻率 530Hz 之振形.....	78
圖 6-20	實驗二 頻率 2500Hz 之振形.....	78
圖 6-21	實驗二 理論與實驗聲壓曲線之比較.....	79
圖 6-22	實驗三 理論聲壓曲線與自然頻率分佈.....	79
圖 6-23	實驗三 理論與實驗聲壓曲線之比較.....	80
圖 6-24	三個實驗聲壓值比較圖.....	80
圖 6-25	不同附著板硬度對聲壓曲線之影響.....	81
圖 6-26	不同邊界強度對聲壓曲線之影響.....	81



圖 6-27	懸邊總 k 值為 6000 Nt/m 第一高峰之自然振動模態....	82
圖 6-28	風扇型模型(case1).....	82
圖 6-29	風扇型及實驗一聲壓曲線比較圖.....	83
圖 6-30	補足風扇狀頁片部份示意圖.....	83
圖 6-31	補足附著板與風扇狀之聲壓曲線之比較.....	84
圖 6-32	case3 聲壓高峰之頻率.....	84
圖 6-33	非對稱結構示意圖(case4).....	85
圖 6-34	case3 與 case4 聲壓曲線之比較.....	85
圖 6-35	case5 示意圖.....	86
圖 6-36	case5 與實驗一聲壓曲線之比較.....	86
圖 6-37	case5 在 298.947Hz 時之自然振動模態.....	87
圖 6-38	case5 在 300Hz 時之振型.....	87

