



# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 主動式控制 - 抑制船舶結構物噪音輻射之應用(II)

### Active Control - The Suppression of Noise Radiation from Ship Structures (II)

計畫編號：NSC 88-2611-E-019-016

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：李仁傑 國立台灣海洋大學輪機工程技術系

#### 一. 中文摘要

本研究以實驗驗證主動式控制能抑制受線力矩激振之簡支撐平板的聲音輻射，此研究模型為船舶與飛機常見的結構物輻射噪音控制問題。利用一個長條型的壓電薄膜(PVDF)作為感測器，一個正方型的壓電陶瓷(PZT)作為控制激振器，經測試選定最佳擺設位置來量得最強的振動訊號及激發出所須的控制模態。這些感測器與激振器所須的訊號係利用 TMS320C4X 即時數位訊號處理器來作計算，即發展適應性控制軟體配合硬體須求來完成整個控制系統。由聲音強度量測經計算可得平板聲音輻射功率與聲音強度分佈，主動式控制前後平板聲音輻射功率的衰減量顯示控制效能，而主動式控制前後平板聲音強度分佈顯示控制機制。本實驗結果顯示受線力矩激振之簡支撐平板的最低模態(1,1)之聲音輻射主動式控制機制為模態抑制，其衰減值較小，且受控制頻率輻射能量會轉移至其他頻率。

關鍵詞：主動式控制，聲音輻射，線力矩，平板

#### Abstract

Active control of sound radiation from a rectangular plate excited by a line moment is experimentally studied. For the structure control, a long PVDF film has been

implemented as a sensor and a PZT patches has been bounded to the plate surface as a control actuator. The control approach based on a filtered-X version of adaptive LMS algorithm is implemented on a TMS320C4X DSP. Results from the experiments for the lowest mode (1,1) indicate that the modal suppression is the mechanism of active control the sound radiation from a rectangular plate excited by a line moment.

**Keyword:** Active control, Sound radiation, Line moment, Rectangular plate

#### 二. 緣由與目的

主動式結構聲音輻射控制(ASAC)對有空間與重量限制的船舶或航空器之噪音振動問題而言，為深具發展潛力的控制方法。在此結構聲音輻射的主動控制研究中，平板噪音的穿透與輻射控制為主要研究方向。由於船舶甲板受主機或機器的諧振作用，會在與艙壁連接處產生線力矩，使艙壁輻射出噪音。故以受線力矩激振之簡支撐平板的聲音輻射控制為研究模型，其主動式控制的理論計算分析結果顯示，噪音輻射功率的衰減量與線力矩激振位置，感測器及激振器的擺放位置，控制目標函數的選用有關[1,2]，而噪音輻射的衰減機制為模態抑制與模態重組。

本文延續上述理論計算分析研究，以實驗來驗證主動式控制能抑制受線力矩激振之簡支撐平板的聲音輻射。過去有許多以壓電陶瓷(PZT)作為控制激振器，以壓電薄膜(PVDF)作為感測器的主動式控制實驗[3]，這些實驗結果均顯示壓電元件直接固置於振動平板作控制，能減少系統裝置的複雜性，增強控制成效。故本文仍以長條型的壓電薄膜作為感測器，正方型的壓電陶瓷激振器，製作訊號放大器來配合 TMS320C4X 即時數位訊號處理器的輸入電壓作適應性控制。由聲音強度量測可計算出平板的聲音輻射功率與聲音強度分佈，比較主動式控制前後平板聲音輻射功率，顯示主動式控制能有效抑制受線力矩激振之簡支撐平板的聲音輻射，主動式控制前後平板聲音強度分佈，顯示主動控制的機制為模態抑制與模態重組。

### 三. 研究方法

#### 1. 實驗裝置

本實驗所用的簡支撐平板係大小為 0.4 米×0.3 米×0.002 米的鋼板所架設而成，其四周邊界為符合簡支撐條件，採用具夾邊的中空環管套，每邊數個均勻套接於剛性極強的圓柱框上，再將中空環管套的夾邊以螺絲固鎖於鋼板，如此則各個環管套相對於剛性圓柱框能轉動而固鎖鋼板的夾邊能防止鋼板移動，達到模擬簡支撐的邊界條件。為減少簡支撐平板振動所引發空氣的雙極效應及阻隔其他儀器噪音的影響，將在簡支撐平板的四周外圍延伸架設大小為 3.6 米×2.4 米×0.02 米的三夾板作為隔音板。

欲模擬出受線力矩激振之效果，於平行於 0.3 米邊且距 0.3 米邊 0.15 米處的簡支撐平板上焊置垂直鋼板，其大小為

0.3 米×0.15 米×0.002 米，利用 B&K 4809 振動激振器頂激在垂直鋼板距焊接線 0.15 米處，此可於簡支撐平板的焊接線位置產生線力矩。一個正方形大小為 0.025 米×0.025 米×0.002 米的壓電陶瓷(PZT)，以絕緣 AB 膠將其黏固於簡支撐平板，其中心點在座標(0.2 米，0.3 米)位置並延展出正負極線作為輸入控制電壓用。一個長條型大小為 0.1 米×0.01 米×0.0001 米的壓電薄膜(PVDF)，以絕緣銀膠將其黏固於簡支撐平板，其四角座標分別為(0.03 米，0.25 米)，(0.04 米，0.25 米)，(0.04 米，0.35 米)，及(0.03 米，0.35 米)並延展出正負極線作為輸出訊號電壓用。此壓電薄膜輸出電壓甚低，須經自製放大器後再輸入數位訊號處理器。

#### 2. 共振頻率分析

簡支撐平板的共振頻率將因焊置一塊垂直鋼板而有重要的改變，本文使用 RECEPTANCE METHOD[4]來計算焊置垂直鋼板後簡支撐平板的共振頻率。設單獨簡支撐平板的共振頻率為 $\omega_{mn}$ ，焊置垂直鋼板後簡支撐平板的共振頻率為 $\omega_k$ ，經由理論推導出

$$\omega_k^2 = \omega_{mn}^2 \frac{1 + \left(\frac{2M_s}{M}\right) \left(\frac{\omega_m}{\omega_{mn}}\right)^2 \sin^2\left(\frac{n\pi y^*}{b}\right)}{1 + \left(\frac{2M_s}{M}\right) \sin^2\left(\frac{n\pi y^*}{b}\right)}$$

其中 $M_s$ 為垂直鋼板的質量， $M$ 為簡支撐平板的質量， $\omega_m$ 為垂直鋼板的共振頻率， $b$ 與 $y^*$ 分別表示簡支撐平板的一個邊長與沿 $b$ 邊上垂直鋼板所產生的線力矩的作用位置。由理論計算與實驗量測所得的焊置垂直鋼板後簡支撐平板的最低模態(1,1)共振頻率分別為 154.8 Hz 與 152 Hz。

#### 3. 適應性控制

由壓電薄膜所得的電壓經放大器放大

後輸入 TMS320C4X 即時數位訊號處理器作為誤差訊號  $e_l$ ，於數位訊號處理器內經計算出控制訊號電壓，經放大器放大後輸入壓電陶瓷作為控制激振訊號，此儀器組合如圖一所示。由最小平方誤差訊號所導出的適應性濾波器係數  $\beta$  修正式為

$$\beta_{mi}(n+1) = \beta_{mi}(n) - \mu \sum_{i=1}^L e_l(n) r_{im}(n-i)$$

其中  $\mu$  為收斂係數， $m$  表第  $m$  個激振器， $l$  表第  $l$  個感測器， $L$  為感測器數目， $r_{im}$  為輸入參考訊號。

#### 4. 實驗步驟

本研究將對低頻的共振與非共振模態作實驗，比較主動式控制前後聲音輻射能量與聲音強度分佈的變化。由理論分析出共振模態頻率後，將加速度規置於共振模態的反節點上，調變激振器頻率使加速度規量得平板反應為最大者即為實測共振模態頻率。於選定的共振模態頻率啟動激振器，量取控制前與控制後的聲音強度，來比較控制前與控制後的聲音輻射能。

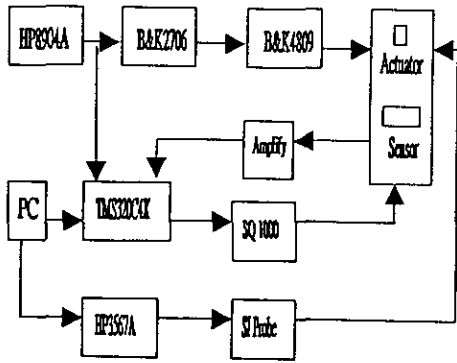
#### 四. 結果與討論

本研究以探討最低振動模態的主動控制性能為主，此模態的共振頻率為 152 Hz。圖二為受線力矩激振平板表面輻射聲音強度分佈，此圖除受線力矩作用處因接有剛性強的結構體使振動模態較不明顯外，其餘位置均能顯示平板的振動模態為最低模態(1,1)，又由圖二 a 與圖二 b 顯示控制前後有相同的聲音強度分佈得知，控制前後平板表面振動模態並無改變，即最低模態(1,1)輻射能的控制機制應非模態重建而為模態振幅抑制。圖三與圖四分別顯示控制前後平板表面各點的聲音強度值，其單位 dB 是以  $10^{-12} W/m^2$  為參考值，由各點數值得

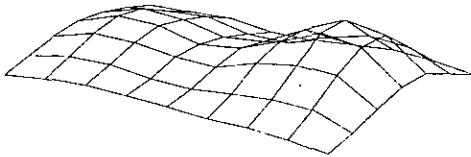
知未控制前最大聲強為 138 dB，而控制後為 121 dB，故此最低模態(1,1)的輻射能量衰減值能由平均聲強差乘上平板表面積而求得，其結果應約為 2.04 dB。圖五顯示主動控制前(實線)後(虛線)受線力矩激振平板的最低模態輻射能量，其單位 dB 是以  $10^{-12} W$  為參考值。圖中顯示未控制時平板在 152 Hz 的最低模態輻射能量為 112.5 dB，經控制後為 110.2 dB，而此種以降低振幅為主的輻射能量控制會有能量轉移，故圖中的其他頻率有控制後的輻射能量反而高於控制前的輻射能量。從上述結果得知，受線力矩激振平板的最低模態輻射能量主動式控制衰減機制為振幅抑制，其衰減值較小，且有控制輻射能量轉移至其他頻率的現象。

#### 五. 參考文獻

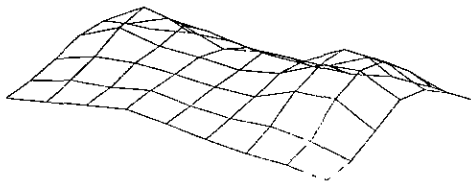
- [1] Lee, J.-C. and J.-C. Chen, "Active Control of Sound Radiation from a Rectangular Plate Excited by a Line Moment," J. of Sound and Vibration (1999) 220(1), 99-115.
- [2] Lee, J.-C. and J.-C. Chen, "Active Control of Sound Radiation from Rectangular Plates using Multiple Piezoelectric Actuators," J. of Applied Acoustics (1999) 57, 327-343
- [3] Clark, L. and C.R. Fuller, "Experiments on Active Control of Structurally Radiated Sound using Multiple Piezoceramic Actuators," J. Acoust. Soc. Am. (1992) 91(6), 3313-3320.
- [4] Soedel W., "Vibrations of Shells and Plates," (1993) Marcel Dekker, Inc.



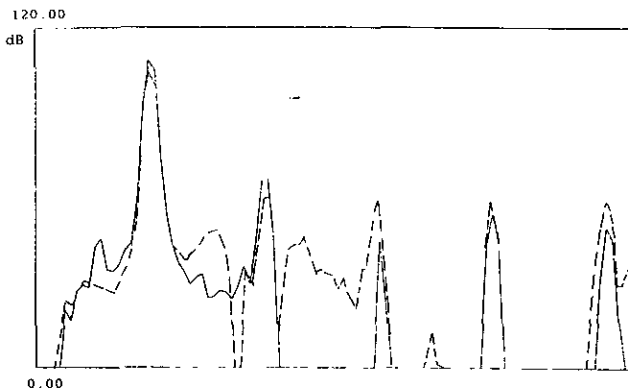
圖一. 儀器裝置



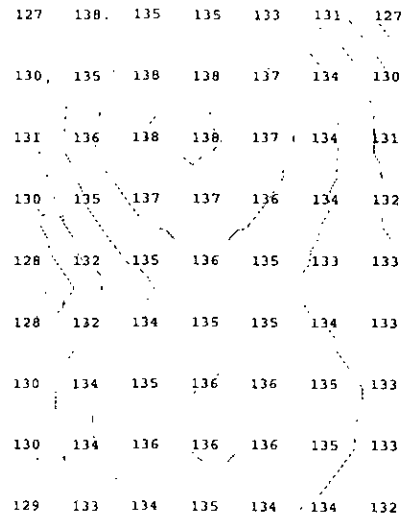
圖二 a. 共振頻率 152 Hz 且未控制時的聲強分佈。



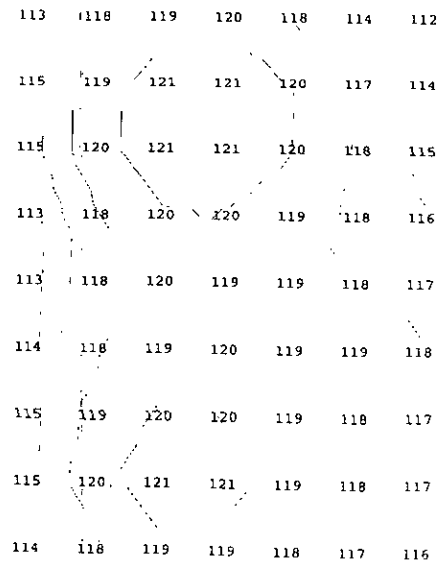
圖二 b. 共振頻率 152 Hz 且經控制後的聲強分佈。



圖五. 平板聲音輻射能, 控制前(實線), 控制後(虛線)。



圖三. 共振頻率 152 Hz 且未控制時的等強度線與聲強值。



圖四. 共振頻率 152 Hz 且經控制後的等強度線與聲強值。