

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

聲納換能器探頭測試及製作 (I)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2611-E-002-047

執行期間：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

計畫主持人：宋家驥

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：台灣大學造船及海洋工程學系

中 華 民 國 90 年 12 月 19 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

國科會專題研究計畫成果報告撰寫格式說明

Preparation of NSC Project Reports

計畫編號：NSC 89-2611-E-002-047

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：宋家驥 台灣大學造船及海洋工程學系

共同主持人：

計畫參與人員：張育銘、羅際君 台灣大學造船及海洋工程學系

一、中文摘要

超音波換能器依其工作方式，即壓電陶瓷材料元件的結構安排及數目，可分為單一元件(single element)及陣列式(array)兩種，本文利用厚度模態(thickness mode)振動的單一圓片換能器進行漁探機探頭的樣品製作。文中包含了理論的探討、實際的製作、以及靈敏度的最佳化，最後與市售漁探機探頭做比較與討論。

Abstract

Based on the structural arrangement and number of elements, the ultrasonic transducer can be classified into single element and array transducer. A single disk type ultrasonic transducer vibrating in thickness mode is manufactured and tested in this project. The manufacturing principle, sensitivity optimization and the influence of each individual part to the entire performance are discussed and investigated respectively. Throughout this study, comparison with theory is achieved, manufacturing technology is enhanced and the produce of a better transducer can be expected in the next step.

二、概論

我們在超音波儀器上所處理的原始訊號都需經過超音波探頭來發射和接收，因此在超音波探頭的設計與製造時，就決定了超音波訊號的品質。超音波因為它的非破壞性、檢查方便、只要能夠傳播超聲波的介質就可以成像，使得超音波技術在工業或醫學上均被廣泛應用，本計畫乃針對魚探機探頭進行設計及製造。魚探機探頭是利用高壓脈波激發壓電陶瓷片，將電能轉換成聲能，並經由水當介質的傳播，傳遞到欲探測的目標物上，由於目標物的聲阻抗與水不同，造成反射回波，再經由壓電陶瓷片接收回波訊號，轉換成電壓訊號。由聲場時域的計算，再利用影像處理，即可將魚群位置顯像。雖然有很多特殊形式的探頭設計，但大多數的影像處理系統都採用厚度模態的振動方式(thickness mode)。本文在魚探機的實做上，參考鄭健華等人[1]聯合發表的超音波壓電換能器的設計與製造，以單一圓片陣元換能器進行實際的製作，並將製作理論、靈敏度的最佳化、換能器各個結構成分影響來個別討論。

在平板式活塞聲場部分，則是參考Freedman [2]及 Kinsler [3]等人發表的文章。討論一個完整的聲場分佈大致可以分

成兩個不同的區域。靠近探頭部分的鄰近區(near field)以及遠離探頭部分的遠離區(far field)。至於在有關於超聲學理論上的公式推導，則是參考[3]及[4]。圖 1 表示探頭所造成音波場的鄰近區(near field)及遠離區(far field)之示意圖。

超音波換能器的設計上，一般均希望能達到高靈敏度、短波長、寬頻寬。本文針對魚探機的超音波換能器，做一系列的探討分析。首先對市售魚探聲納頭做非破壞性的檢測，以驗證上匹配層與壓電片的厚度，是否與設計預期值相同。之後依據設計值，製作一超音波換能器，並將製作流程，做一系列的說明。接著再針對靈敏度的最佳化，對市售以及自製的超音波換能器作一分析比較與討論。最後則是針對換能器的製造做一總結。

三、壓電換能器的製造原理

魚探聲納頭的結構，如圖 2 所示，可分為匹配層(matching layer)、壓電陶瓷片(PZT)、背膠層(backing)等 3 個主要部分。以下分別探討各個部分的設計要求。

3.1 匹配層的設計

壓電陶瓷片的前端有一模組化合物做為匹配層，以用來來匹配聲傳介質。根據聲學理論[4]，當匹配層聲阻抗為傳遞介質與壓電陶瓷片個別聲阻抗的乘積方根時，則聲阻抗為最佳匹配。除了阻抗外，匹配層的厚度必須為 $(\frac{\lambda_m}{4})$ ，其中 λ_m 表示聲波在化合物裡的波長。

3.2 壓電陶瓷片(PZT)的設計

當聲波傳遞至換能器之壓電片時，由於應力造成壓電片的形變而產生了電場。因為開路時電流不隨時間而變，因此當

$L = \frac{2n+1}{2} \lambda$ ，n 為整數時，電壓為最大值，

此時取 $n=0$ ，則 $L = \frac{\lambda}{2}$ ，其中 λ 表示聲波在

壓電陶瓷片的波長，L 表示壓電陶瓷片的厚度。

3.3 背膠層(Backing)的設計

背膠層的功能，主要是將反向發射的聲波，亦即是往背膠層方向傳遞的聲波加以吸收。因此，背膠層必須具有強烈的衰減特性，才能使在背膠層內傳遞的聲波完全被背膠層所吸收，而不致影響向前傳遞的聲場。

背膠層與壓電片之交界面應該盡量避免反射波的發生，因為這將影響壓電陶瓷片受激發時，往背膠層方向傳遞的波。若背膠層與壓電陶瓷片的聲阻抗差異太大，造成嚴重的反射，而與壓電陶瓷片前端聲波合成，將影響發射聲波的長度、頻寬與靈敏度。所以，為了減低背膠層與壓電陶瓷片交界面產生回波，背膠層的阻抗要盡量與壓電片相同。

3.4 市售魚探聲納頭構造

使用 5MHz 直徑為 0.9cm 的非破壞檢測用探頭來檢測市售魚探聲納頭，藉由內部結構的反射聲波來推測內部構造，實驗的置如圖 3 所示。PZT (銦鈦酸鉛系列)壓電片聲速約為 $C = 3950 \sim 4000$ m/s，市售魚探機探頭的頻譜其中心頻率約為 180kHz，由圖 4 和圖 5 非破壞檢測用 5MHz 探頭的原始信號和檢測魚探聲納的信號比較，可以估測得到壓電片厚度約為 1~1.1cm 左右，符合以 1mm 厚的 PZT 厚度共振約為 2MHz 的公式推算。由於匹配層的來回時間為 $2 \sim s$ ，若假定匹配層聲速為 3000m/s，則匹配層厚度約為 3mm 左

右，有了這些基本資料，將可做為我們實際製作上的依據。

四、市售魚探聲納頭聲性量測

魚探聲納頭在聲性方面主要是量測聲束圖形。聲納頭固定於水槽中，先將聲壓探針置於探頭的形心位置，對超音波換能器作聲軸的校正。接著移動探針，量測出平面各點的聲壓大小，並以各點對應的軸線上聲壓值為基準做正規化，可得聲場的等高線圖，而軸線的聲壓值如圖 7 所示。由圖 7 我們可以得知近場的邊界約在 16 公分處，此時聲波強度才開始緩緩下降，觀測市售的魚探聲納頭外觀直徑約為 8.2cm，理論上近、遠場交界約在 $z = a^2/\lambda$ ，將實際量測值近、遠場交界的數值 16 公分，量測得的中心頻率為 180kHz，水中聲速為 1500m/s 代入，得到壓電陶瓷片半徑約為 3.5 公分。因為數值合理，證明聲場量測的正確性，並提供了壓電片的尺寸。

五、實際製作

魚探聲納頭的製作簡言之可分為兩個步驟，一是根據理論要求調製並灌入匹配層，以獲得最佳的靈敏度。之後再將消音的背膠層灌入壓電片的另一面上，待其硬化，魚探聲納探頭即完成。因為實際製程煩瑣，以下只是概要描述。

5.1 匹配層的製程

首先將蠟黏在壓電片上，經由用千斤鼎使得壓電陶瓷片上各面等高，之後把壓電陶瓷周圍圍上，再將調製好的匹配層材料灌入，厚度控制在 3.0mm 左右，並使平面上各點等高。

5.2 背膠層的製程

將模具外殼外側黏貼膠帶，內側用軟

木塞貼雙面膠固定。將已灌注好匹配層的壓電片的另一面焊好電極後，置於外殼中心固定，再灌入調配好的背膠層，待其硬化即完成。

六、匹配層厚度的影響

探頭靈敏度受匹配層的影響相當大，但是先前提及的理論估測是以連續波、介質無窮遠為假設。故須由實驗精確量測在理論厚度附近變化的靈敏度，以其變化曲線，來決定我們的匹配層的最佳厚度。利用脈波測試，以探頭同時兼做發射與接收裝置，在其他環境因素不變之下，記錄市售以及自製探頭每次接收聲波的聲壓波形，並轉換成頻譜。將回波聲壓波形的峰 - 峰振幅做成一個趨勢圖，即可得到匹配層最佳厚度，如圖 8 所示。由趨勢圖可以看出匹配層厚度在 3.43mm 時，自製探頭的聲壓值和市售探頭的聲壓值相當。

七、結果與討論

本文利用厚度模態(thickness mode)振動的單一圓片換能器進行漁探機探頭的樣品製作。文中包含了理論的探討、實際的製作、以及靈敏度的最佳化，最後與市售漁探機探頭做比較與討論。

由於超音波探頭有很多設計參數，有些設計參數稍微改變，整個換能器的聲性和聲場就會有很大的改變，本文對匹配層的控制厚度做一比較完整的討論。理論上當匹配層的厚度為 $1/4$ 波長的厚度，可獲得最佳的靈敏度(sensitivity)，即此時透過匹配層的聲波強度為最大值。但是在模擬的過程中，是假設為連續波、介質無窮遠，因此另外藉由實驗量測來決定匹配層實際的最佳厚度。而由結果可以得知厚度只要相差少許，聲波強度的變化就非常明顯，因此匹配層對整個換能器的聲學特性有相

當大的影響。

八、結論

本計畫藉由一市售漁探機探頭的比較，進行實驗室的漁探機探頭樣品的製作及測試。除了對市售漁探機探頭做相關的測試以得知其聲學及電學特性外，也根據這些特性做樣品的製作。經由對製成成品的測試後發現，除靈敏度比市售稍差外，其餘特性不是類似就是較佳，而本計畫的經驗將有助於下一個樣品的製作。

九、參考文獻

1. 鄭健華，張建中，賴文斌，游益龍，”超音波壓電換能器的設計與製造”，檢測科技，第十四卷第五期，p252~262，(1996)
2. Freedman, ”Sound field of Plane or Gently Curved Pulsed Radiators” *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol.48, no.1, pp.221-227, (1970).
3. L. E. Kinsler, *FUNDAMENTALS OF ACOUSTICS*, Wiley, New York, (1962)
5. 李百祺，*醫用超音波原理講義* (2000)

十、誌謝

本計畫在國科會經費補助(NSC 89-2611-E-002-047)下完成，在此誌謝。

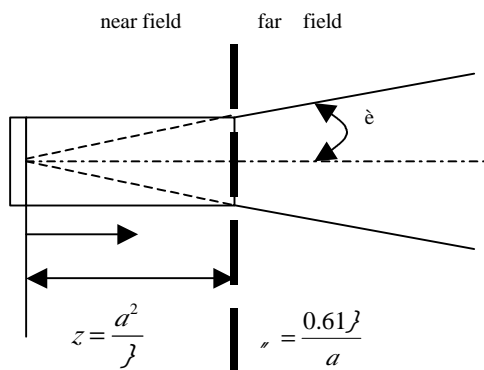


圖 1 直徑 2a 的圓形探頭，聲場中的近場與遠場交界

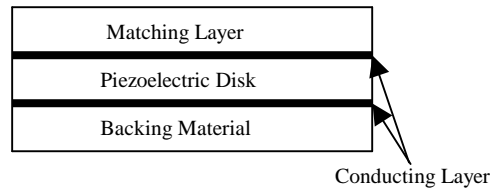


圖 2 單一圓片陣元超音波換能器的構造

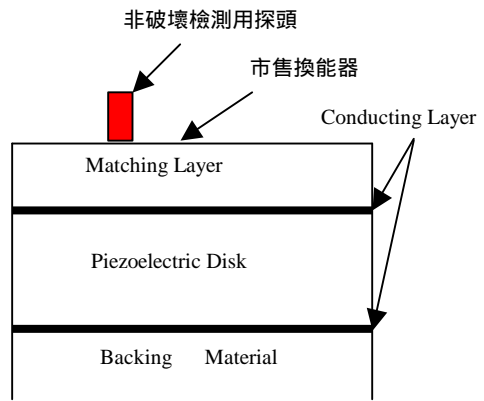


圖 3 非破壞性檢測魚探機的探頭構造

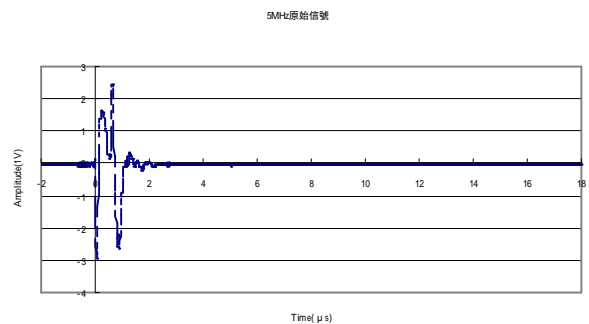


圖 4 非破壞檢測用 5MHz 探頭的原始信號

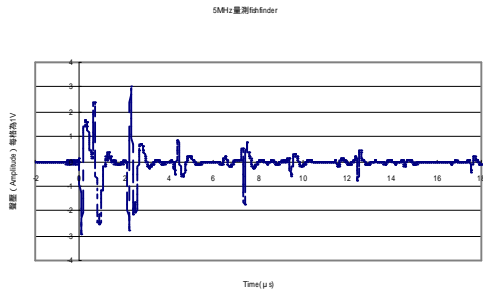


圖 5 非破壞檢測用 5MHz 探頭檢測魚探聲納的信號

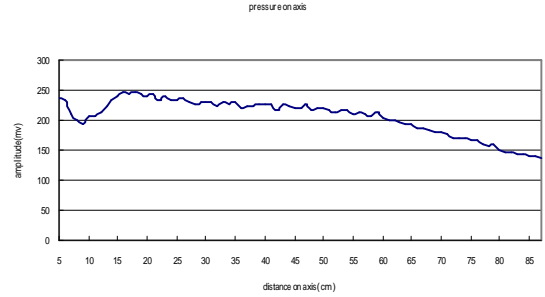


圖 7 市售超音波換能器中心軸線的聲強圖以此值為比較值的基準

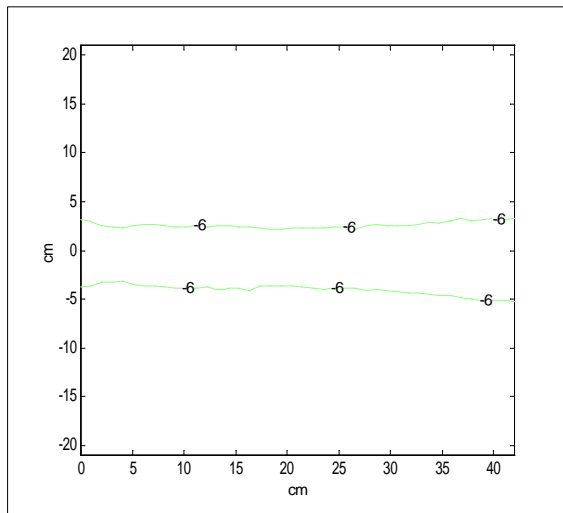


圖 6 市售超音波換能器 -6dB beam shape 在尺寸長 - 寬 - 高 分別為 80cm-60cm-65cm 的水槽內的量測

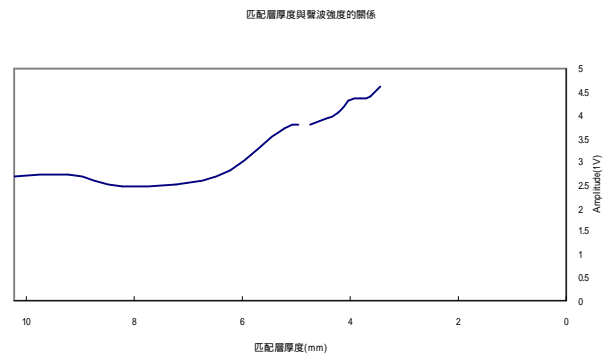


圖 8 匹配層厚度與聲波強度的關係圖