

## 駐波管實驗—水下聲波之可視化

吳昱瀚<sup>3</sup>、黃成鷗<sup>2</sup>、陳金汎<sup>3</sup>、陳琪芳<sup>1</sup>

### 摘要

雖然人人都聽過「聲波」此一概念，但聲波並不如水波，無法以肉眼觀察而得。若能將「聲波」這種概念視覺化，利於觀察各種變化，將有助於理解及發現更多聲波的原理及現象。本篇期透過駐波管原理將聲波可視化，令觀察者可以肉眼觀察聲波所產生的變化，並將此結果推廣至至國、高中教學內容中，以利學生了解聲波之概念。本論文首先描述駐波管實驗，並將駐波管注入水，留有少量空氣構為氣室，藉氣室推引水中之聚乙烯碎粒之聚散來觀察駐波的節點。實驗結果顯示，低頻聲源使得氣室移動所造成聚乙烯碎粒之聚散較為明顯，可有效將水下聲波之傳遞現象可視化。

---

<sup>1</sup>台灣大學工程科學及海洋工程學系教授

<sup>2</sup>台灣大學工程科學及海洋工程學系碩士

<sup>3</sup>台灣大學工程科學及海洋工程學系大學部學生

## 一、前言

提升國內基礎、進階教育，因而產生將水中聲波可視聲波之駐波概念一般較不易為學習者理解，若能將駐波現象透過更清楚的展示，將可化此一動機。國內學者[1]簡志宇碩士論文—以駐水彈性阻抗管測量材料之水中聲學特性研究中，測量以及討論過鋼管、鋁管管壁之反射係數與其他性質，但此兩種材料並不適用於教學展示。

本篇選定以透明無色之壓克力製成駐波管，利於觀察。

## 二、實驗理論

此實驗由駐波管一端放置聲源，由聲源產生一聲波，並於自駐波管另一端反射之反射聲波疊加，產生駐波。以下是用兩正弦波(行進方向相反)疊加後所產生駐波的方程式表示式。[2]

假設聲源位於橫躺之駐波管的右側  $y_1$ 、 $y_2$  為主聲波、反射聲波的壓力，以正弦函數的型態來表示。

$$y_1 = y_0 \sin(kx - \omega t) \quad (1)$$

$$y_2 = y_0 \sin(kx + \omega t) \quad (2)$$

此時，將兩聲波的方程式疊加，產生一  $y$  之複合波。

$$y = y_1 + y_2 \quad (3)$$

將(1)、(2)式代入，

$$y = y_0 \sin(kx - \omega t) + y_0 \sin(kx + \omega t) \quad (4)$$

上式整理後，

$$y = y_0 [\sin(kx - \omega t) + \sin(kx + \omega t)] \quad (5)$$

利用三角函數之和差化積定理整理上式

$$y = y_0 [\sin(kx) \cos(\omega t) - \sin(\omega t) \cos(kx) + \sin(kx) \cos(\omega t) + \sin(\omega t) \cos(kx)] \quad (6)$$

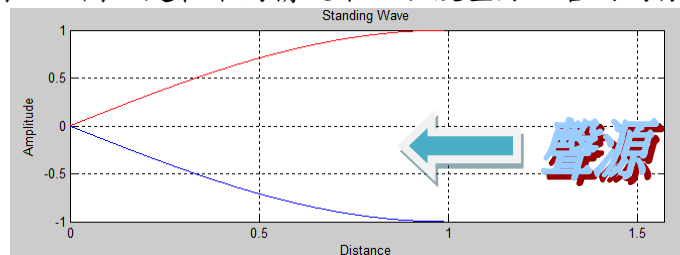
$$y = 2y_0 \sin kx \cos \omega t \quad (7)$$

本實驗屬一端為自由端另一端為固定端的駐波形式，假設管長為  $L$  (在此實驗中管長為 99.0cm)， $n$  為結點數， $f$  為頻率， $V$  為聲速。由式(7)可得，形成駐波之條件為

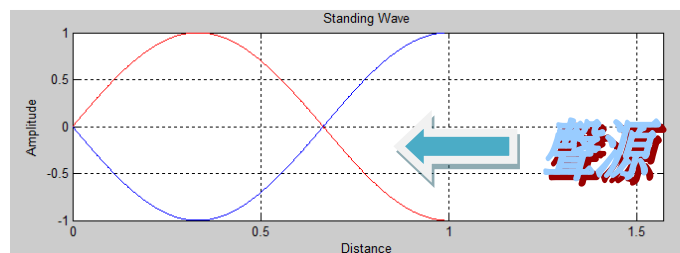
$$L = (2n-1) \frac{\lambda}{4} \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (8)$$

$$f = V/\lambda = (2n-1)V/4L \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (9)$$

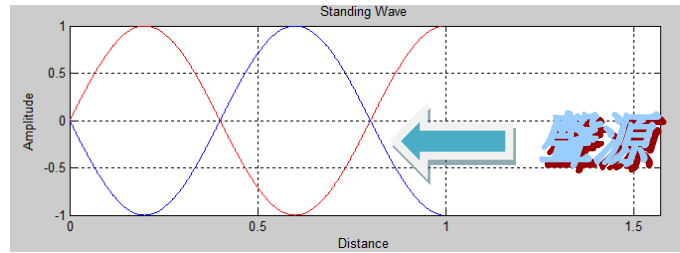
圖一、圖二、圖三是在不同情況下，駐波壓力於管內的分布情形。



圖一 駐波壓力於管內的分布模擬圖—單一節點  $L=1/4 \lambda$   $n=1$   $f_1=1/4L \cdot V$  基音

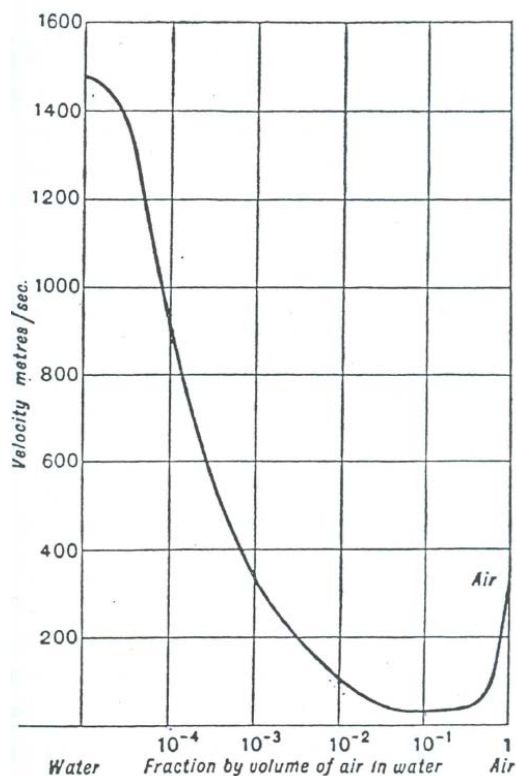


圖二 駐波壓力於管內的分布模擬圖—雙節點  $L=3/4 \lambda$   $n=2$   $f_2=3/4L \cdot V$  1<sup>st</sup> 泛音



圖三 駐波壓力於管內的分布模擬圖—三節點  $L=5/4\lambda$   $n=3$   $f_3=5/4L \cdot V$  2<sup>nd</sup> 泛音

此實驗目標在於將於水中傳遞之聲波所產生之駐波可視化，自然要考慮到水中的聲速變化。參考 Wood[3]分析實驗之結果(圖四)，雖然在純水中，聲速為 1480m/s，若摻雜萬分之一體積的空氣於水中，聲速就急遽下降至 900m/s 左右。表示實驗中需考慮實際水中聲速，無法以理想值代之。



圖四、聲速在水與空氣混合界質中的變化，由圖可得知，空氣溶於水中將對聲速造成劇烈的影響[3]。

### 三、實驗內容

本章介紹實驗器材及實驗步驟。

#### 1. 實驗器材(圖五)

- (1) 接收麥克風 B&K 8103
- (2) 壓克力駐波管
- (3) 音鼓 J9 Argotec (含擴大機)
- (4) 示波器
- (5) 訊號產生器



圖五、駐波管與音鼓 J9 Argotec

## 2. 實驗步驟

本實驗將展示有兩節點之駐波，實驗步驟如下：

- (1)將駐波管直立，並將密封蓋打開
- (2)將駐波管注滿水
- (3)放入聚乙烯粒(如圖六)
- (4)將密封蓋闔起，同時放入麥克風(穿過密封蓋上一孔洞)
- (5)將駐波管橫躺，利用通氣閥將適量水流出
- (6)搖晃管身，盡量使聚乙烯粒平均分布於水面
- (7)打開音鼓，並測試氣泡與聚乙烯粒之浮動情形
- (8)觀察氣泡較明顯之停駐點，並記錄數據



圖六、放入聚乙烯粒

## 四、實驗結果與討論

本實驗最初設計以水充滿駐波管後加入聚乙烯粒，藉以觀察聲波在水中推動質點之情形，達到聲波可視化的目的。但實驗後發現，聚乙烯球因為浮力停留於駐波管頂部，受聲波推動之效果不明顯。

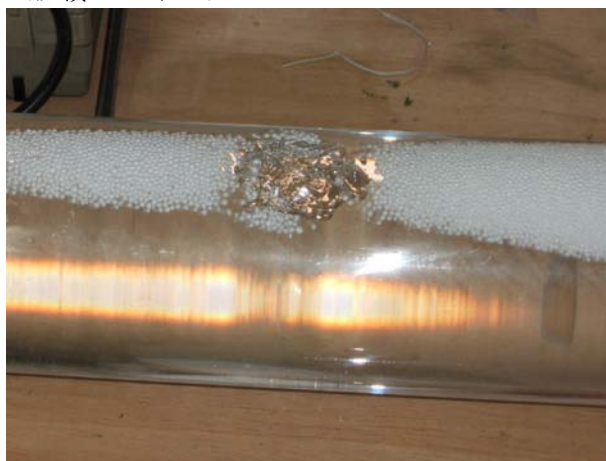
改良方式為駐波管內保留一體積不以水充滿，成為一小氣室，聲波推動氣室移動，即可觀察聲波之影響。並保留少許聚乙烯粒，因其會聚集在氣泡之邊界，有利觀察。

經過實驗改良與設計，利用聲波推動的不是聚乙烯粒，而是殘留在駐波管內之空氣。而依然放入聚乙烯粒的原因是聚乙烯粒。

本實驗所產生之駐波形態為駐波管內產生兩個波峰。經由實驗結果，推測氣泡聚集之處即為兩波峰之間，即節點。原因在於兩波峰處壓力較大，對氣泡造成推擠，最後使得氣泡停留在節點處。

由實驗測得，第一個節點位於距離音源 0.598m 處 (圖七)。駐波管全長  $L=0.99\text{m}$ ，

聲音頻率為 370Hz， $1/(4\lambda)=0.598\text{m}$ 。推得聲速  $V=885.04\text{ m/s}$  (完全無氣泡時  $V=1480\text{m/s}$ )，由圖四可知，水和空氣之體積比比值約  $10^{-4}$ 。



圖七、受聲壓推擠之氣泡

若在水和空氣比值為  $10^{-3}$ ，聲速將降至  $330\text{ m/s}$ ，頻率同樣為  $370\text{Hz}$ ，此時波長為  $0.892\text{m}$ ，此時在距離音源  $0.223\text{m}$  處將產生一節點，氣泡聚集於此處。

## 五、結論

本次實驗在量化描述上，十分不足。我們並沒有很精確的刻度來量測氣泡位置，也沒有計量氣閥來量測空氣的含量，及聲速量測。但在聲波的可示化上面，可明顯觀察氣泡及粒子聚合及消散的效應。

進一步研究可朝更精確量化方面改進。

## 六、誌謝

本次實驗感謝臺大水下聲學實驗室的成員邱永盛博士、楊韋申、劉侑憲、吳璧君、蘭斯芳的協助幫忙。

## 七、參考資料

- [1]簡志宇. (2005 年 7 月). 以注水彈性阻抗管測量材料之水中聲學特性之研究. 台灣大學工程科學及海洋工程學系研究所碩士論文.
- [2] L.E.Kinsler, A.R.Frey, A.B.Coppens, J.V.Sanders, (2000) `Fundamentals of Acoustics`, John Wiley & Sons, Inc., 4<sup>th</sup> Ed.,
- [3]Wood B.A. (1960). ATextbook of Sound. London: G. Bell and Sons, Ltd.
- [4]陳理邦. (2005). 吸音材料受壓後之性能探討. 台灣大學工程科學及海洋工程學系研究所碩士論文.