

2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：「噪」去叨位？~探討以氣球進行低頻噪音減噪的可能性

一、摘要

我們自製網架並填充上彈性、大小不同的空心球後放入水中，進行減噪效果比較並理解可能原因。實驗發現氣球對於水下聲音具有會聚作用，如同凸透鏡一般將音量放大了，在氣球尺寸方面，小氣球對應的減噪頻率較低，隨著空心球尺寸增加，減噪頻率也提高；在表面是否具有彈性的表現上，堅硬且缺乏彈性的乒乓球反而造成增噪，顯示彈性對於共振減噪的重要；氣球網架位置則無明顯影響；在體積分率方面，以棋盤(22.5%)和隔直(23.5%)的排列能夠 100Hz、200Hz、300Hz 的低頻聲音發揮良好的減噪效果，最佳可達 30dB，不僅驗證更讓我們理解到氣球幕在水下減噪的可行性。

二、探究題目與動機

生科課時，老師不斷提到風力發電是環保且無害的能源，但真是如此嗎？維修及設置風電機時的噪音，對聽覺十分敏感的鯨豚造成了極大的傷害。我們在國立海洋生物博物館發行的奧秘海洋季刊 109 期閱讀到：**光靠視覺並無法滿足牠們的需求，白鯨也因此發展出獨特的聽覺系統來「看」水下世界。**更上網搜尋發現國外有一群科學家設計氣泡幕與氣球牆放到海下進行減噪以求減少對海中生物的影響。文中提到，氣泡大小對整體效能影響深遠，但在水壓等因素下，其大小難以控制。所以我們選擇氣球牆做為我們的探究主題。同時我們很好奇，到底什麼樣的組合能達到減噪的效果？在不同的條件下，該如何讓其發揮最大的效能呢？



圖 1 氣球幕，圖片取自 161st Acoustical Society of America Meeting

三、探究目的與假設

我們從查閱的影片以及資料中得知，氣球透過共振達到水下減噪。在國二理化的波動與聲音課程中，我們學習到聲音在水中的行進速度比在空氣中快了很多，且速率的變化讓波動產生偏折，也由課堂上的甩繩活動認知到共振現象與駐波的形成條件。因此，我們好奇氣球是否如同凸透鏡一般造成水下聲音的會聚？沒有彈性的乒乓球也能減噪嗎？氣球的大小與氣球在水中的體積分率又有何影響呢？我們依序進行了相關實驗來解開我們的疑惑，實驗目的如下：

- (一) 探討水下聲音通過圓形空氣柱的折射結果
- (二) 探討是否具有彈性對於水下減噪的影響
- (三) 探討氣球牆距離對於水下減噪的影響

(四) 探討氣球大小對於水下減噪的影響

(五) 探討氣球在水中的體積分率大小對於水下減噪的影響

四、探究方法與驗證步驟

(一) 探究方法

1. **實驗環境**：我們實驗用的水缸尺寸為：長 178cm，寬 58cm，高 30cm，在水缸外側上緣黏貼捲尺提供定位用，播音裝置於水缸中央位置進行播音，水聽器則固定在距離播音裝置 60cm 處進行收音。
2. **播音與收音**：我們將藍芽喇叭放入塑膠筒內，進行負重後做為水下播音設備

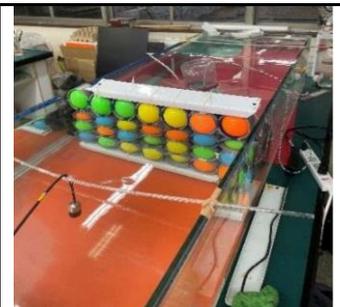


圖 2 放置網架進行收音

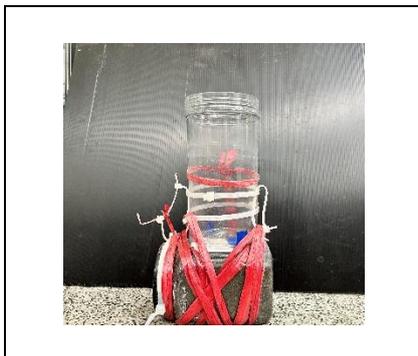


圖 3 罐中裝滿沙子連結在塑膠筒的下方，便可進行水下的播音



圖 4 下載 app 頻率產生器，進行單一頻率聲音的播放

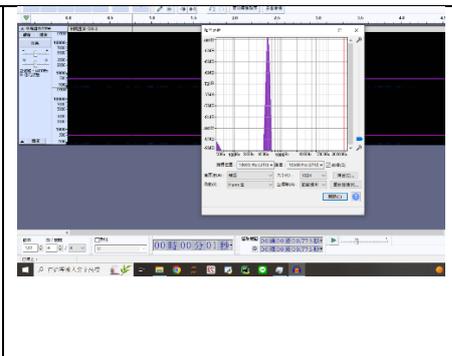


圖 5 以 audacity 進行音檔分析，紀錄音量進行比較

3. **六種空心球**：我們採用抽獎用的乒乓球作為硬殼小球，遊戲球池常見的大、小兩種塑膠球作為空心中球和空心大球，再以打入等量空氣的氣球作為小氣球、中氣球和大氣球，共 6 種空心球。



圖 6 直徑 43.2mm 的小氣球和小球



圖 7 直徑 61.8 mm 的中氣球和中球



圖 8 直徑 64.6 mm 的大氣球和大球

4. **大、中、小空架，共三種氣球網架**：



圖 9 利用 PVC 水管做成大球網架



圖 10 利用鐵網做成中球網架

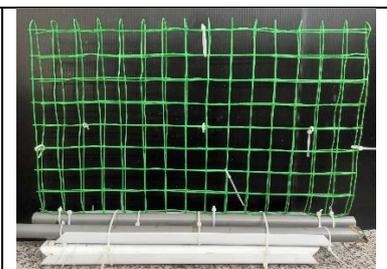


圖 11 利用鐵網做成小球網架

5. 五種體積分率：全滿、棋盤、隔直、隔橫以及全空，共五種。

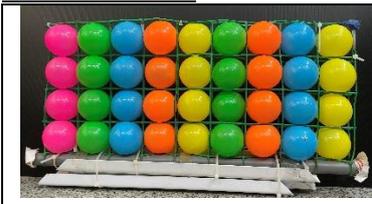


圖 12 全滿的中球網架

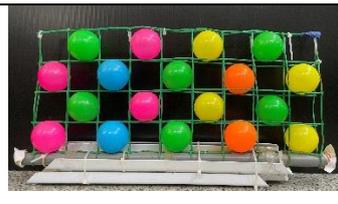


圖 13 棋盤排列的中球網架

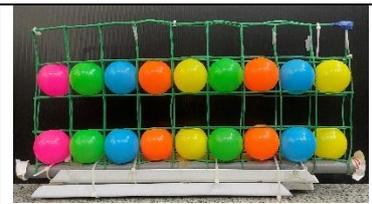


圖 14 隔橫排列的中球網架



圖 15 棋盤排列的小氣球網架

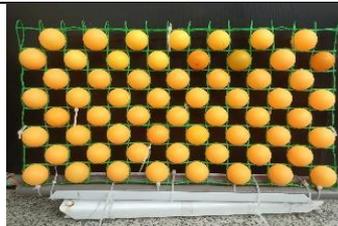


圖 16 棋盤排列的小球網架



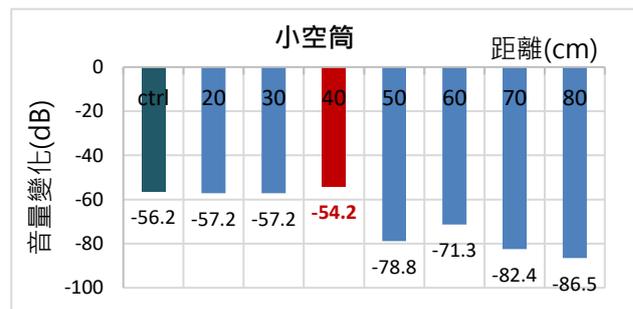
圖 17 棋盤排列的大氣球網架

(二) 驗證步驟

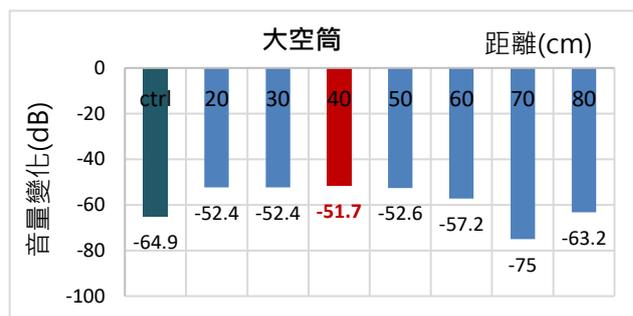
1. 步驟一：探討水下聲音通過圓形空氣柱的折射結果

(1) 定音頻為 400Hz，透過播音裝置進行水下播音。

(2) 設定播音裝置位置為 0cm，分別利用爆米花筒做為小空筒、5L 大燒杯作為大空筒，依序固定在 20、30、40、50、60、70、80cm 處，水聽器固定於 90cm 處進行收音，且播音裝置、小空筒和水聽器連成一線。



(3) 我們選用的空桶均不易變形且缺乏彈性。結果為兩個空筒均於 40cm 處造成最大音量，收到的音量分別為-54.2dB(小)和-51.7 dB(大)，減噪量為 2 dB(小)和 13.2 dB(大)，顯示水中的空氣柱對聲音具有會聚放大的效果。



(4) 實驗時的水溫為 27°C 左右，查表得知水中聲速為 1501m/s，以頻率為 400Hz

代入 $v = f \times \lambda$ ，得到波長=3.75m，大於障礙物處尺寸，因此也會伴隨繞射現象發生。

(5) 水下聲波行進時，遇到空氣不僅發生折射和反射，也伴隨繞射和射散，最後的音場抽象也複雜。因此，我們先忽略聲音的繞射和射散，透過 google 的線光學模擬器呈現出水下聲波的反射和折射結果，將抽象的音場視覺化，雖然簡化了實際的音場，但能幫助我們理解實驗結果。

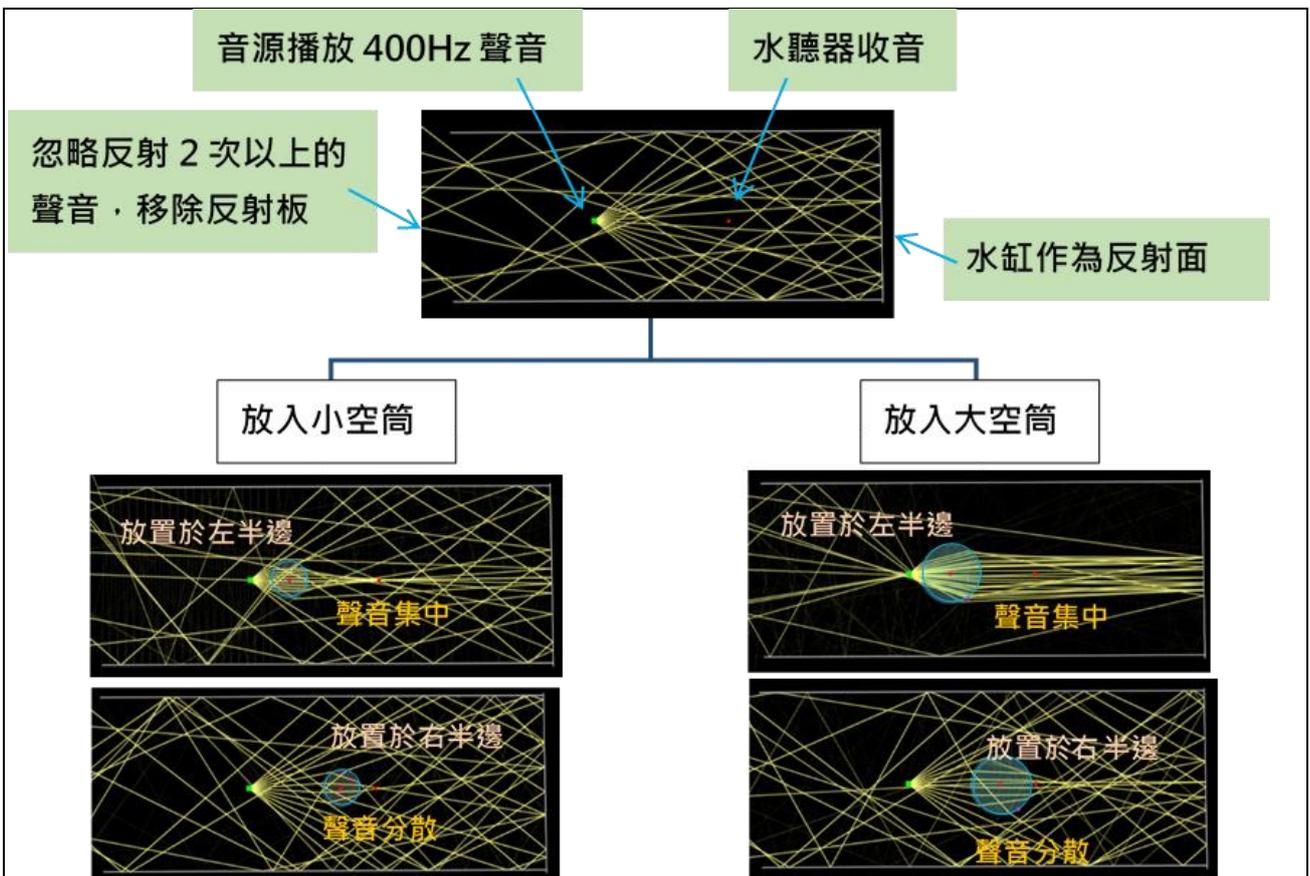


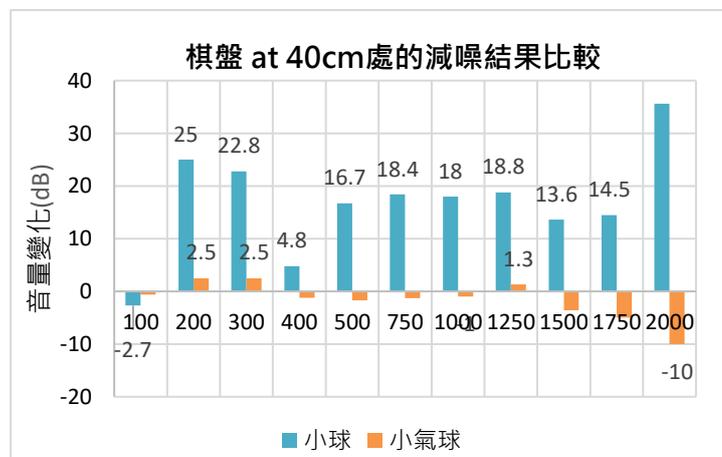
圖 18 以 google 的線光學模擬器將音場視覺化(只考慮折射與反射)

2. 步驟二：探討是否具有彈性對於水下減噪的影響

確認圓筒狀空氣對於水下聲音具有會聚放大效果，接著我們想知道若改為表面具有彈性的氣球，收音結果是否相同？因此進行此一步驟：

- (1) 考量水下打樁噪音落在 100~500Hz，我們選擇實驗音頻為 100、200、300、400、500、750、1000、1250、1500、1750 以及 2000Hz，共 11 種音頻。
- (2) 利用鐵網加載重物，採棋盤排列方式，分別塞入乒乓球和等體積的小氣球後置於 40cm 處作為氣球幕，水聽器則於 60cm 處收音，進行各種音頻減噪結果比較。

- (3) 結果顯示，棋盤的體積分率為 22.5%，無彈性的乒乓球能對 100Hz 聲音發揮 2.7dB 的減噪效果，對於其他音頻卻造成嚴重的增噪，推測主要因為無彈性的表面無法透過共振消耗



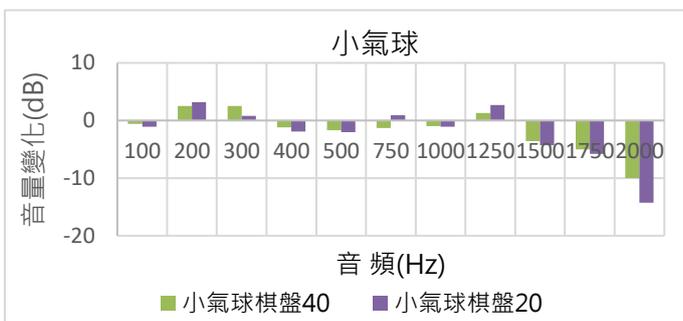
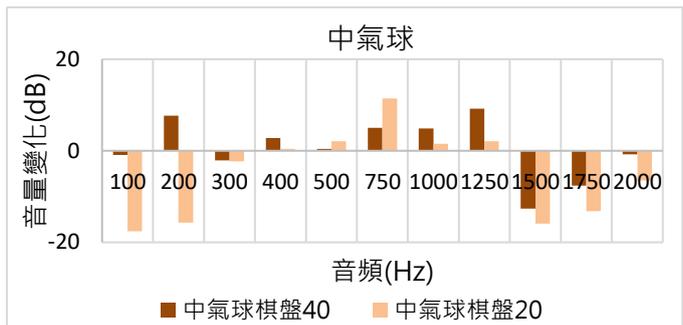
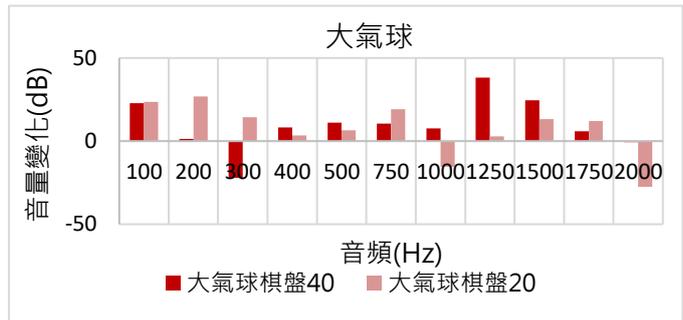
能量來減噪，加上球形空氣造成聲音會聚，雖然部分聲音被反射，但還是增噪了。

- (4) 小氣球對於 100Hz 與 400Hz 及其之後的音頻都發揮了減噪效果，且最佳減噪效果達

10dB，顯示出以彈性表面共振減噪對於水下減噪的重要性。

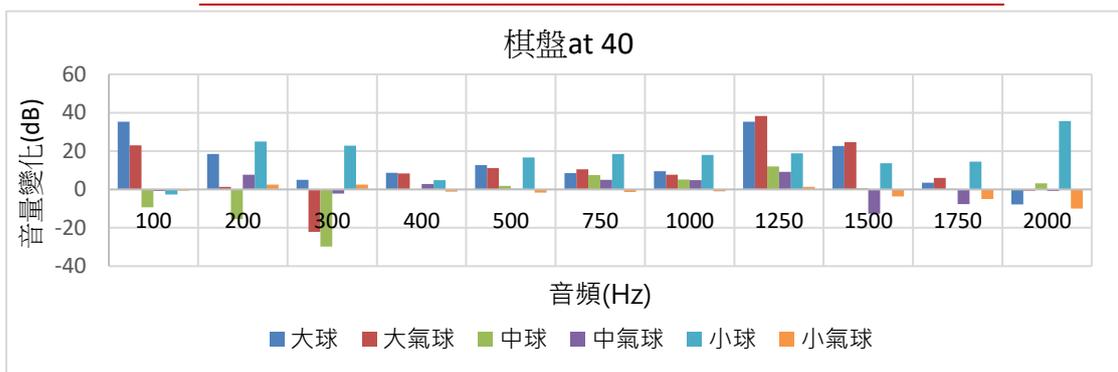
3. 步驟三：探討氣球牆距離對於水下減噪的影響

- (1) 選用材料製作網架並採棋盤排列方放入大氣球、中氣球和小氣球，共三種網架。
- (2) 依序將三種網架放置於 20cm 及 40cm 處，進行 11 種音頻的收音，透過 audacity 分析音檔，比較減噪效果。
- (3) 實驗結果顯示，氣球網架位置改變，並未呈現相同的減噪趨勢：位於 40cm 處的大氣球棋盤網架展現出對低頻聲音(300Hz)的減噪效果；位於 20cm 與 40cm 處的中氣球棋盤網架都能具有低頻聲音(100Hz、200Hz、300Hz)的減噪效果，且以近處的位置為佳；位於兩個位置的小氣球棋盤網架都具有對 100Hz 聲音的減噪效果。
- (4) 實驗發現氣球幕位置對減噪效果似乎沒有絕對影響，但發現隨著氣球直徑增加，最低可減噪音頻有變高的趨勢。



4. 步驟四：探討氣球大小對於水下減噪的影響

- (1) 依序將六種空心球(小球、中球、大球、小氣球、中氣球、大氣球)採棋盤排列方式放入網架並固定於 40cm，於相同播放模式下進行 11 種音頻的播音，水聽器於 60cm 處進行收音，再以 audacity 分析音檔，分析各種情形下的減噪效果。
- (2) 結果顯示，小和中的氣球具有 100Hz 音頻的減噪效果，而大氣球於 300Hz 時才展現出減噪效果，顯示隨著氣球尺寸增加，對應的減噪音頻也有增加的趨勢。



5. 步驟五：探討氣球在水中的體積分率大小對於水下減噪的影響

我們選用上個實驗中對於低頻聲音較具有減噪效果的中球接續進行體積分率的探討。

(1) 中球網架依序採取全滿(57.9%)、棋盤(22.5%)、隔直(23.7%)以及隔橫(26.7%)四種不同體積分率的排列方式並擺放於 40cm 處，依序播放 11 種單一頻率的聲音，收錄音檔後進行減噪效果的比較。

(2) 結果顯示，具有相近體積分率的棋盤(22.5%)和隔直排列(23.7%)具有良好的減噪效果，100Hz 時減噪約 10dB，200Hz 時減噪 14dB 左右，300Hz 時隔直排列可達 30dB，較全滿(57.9%)時為佳。



五、結論與生活應用

我們自製網架並填充上彈性、大小不同的空心球後放入水中，進行氣球網牆在不同條件下的減噪效果比較，來了解真實世界中採用氣球幕水下減噪背後深奧的原理，結果如下：

1. 水下的氣球如同光學凸透鏡一般，透過聲音速率在氣球中變慢而產生會聚聲音的效果。而且我們透過 google 的線光學模擬器將聲音反射和折射後的音場視覺化，幫助我們快速理解實驗結果的意義。
2. 在彈性重要性的實驗中，表面硬且無彈性的乒乓球反而發生增噪現象，顯示彈性表面對於共振減噪的重要。
3. 在氣球尺寸上，小球對應到的減噪頻率較低，且隨著空心球尺寸增加，減噪頻率也提高。
4. 在體積分率上，採取棋盤或是隔直方式排列，體積分率為 22.5%的棋盤排列與 23.7%的隔直排列，能對 100Hz、200Hz、300Hz 的低頻聲音能發揮良好的減噪效果，最高達 30dB。由此次的探究歷程讓我們體認到發展風電與保護水下生物兩者兼顧的迫切與重要，也讓我們想到可以在下一階段繼續探究氣球幕的交錯與混搭，來嘗試來提升減噪效果。

參考資料

1. 船隻與鯨豚的距離 讓白海豚悠游關心的不只是風機打樁噪音，取自環境資訊中心。
2. 為白海豚減噪，學者模擬風機真實打樁噪音，證實可能傷及海豚免疫力，取自環境資訊中心。
3. 奧秘海洋季刊 109 期內容試閱，取自國立海洋生物博物館網站。
4. 近白海豚棲地 保護區包夾 中能離岸風機環評將補考，取自國立海洋生物博物館網站