

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

佳作

030110

音箱 別有洞天

學校名稱：桃園市立光明國民中學

作者： 國二 張幼蓁 國二 李育烜 國二 簡均芳	指導老師： 謝秉桓 吳建萱
---	-----------------------------

關鍵詞：音箱、音孔、響度

摘要

本研究自行發展了自製音箱與撥弦工具，並試圖對不同形狀的音箱、不同的音孔數和不同的音孔形狀進行操縱，最後我們獲得了 16 組實驗數據並進行交叉比對，同時對各種組合音箱的最大響度進行比較。結果發現最大響度順序為：正方形音箱搭配正方形單孔音孔板 > 長方體音箱搭配正方形雙孔音孔板 > 橢圓柱體音箱搭配正方形單孔音孔板 > 圓柱體音箱搭配正方形雙孔音孔板，由此得知：底面為矩形的音箱 > 底面為圓形橢圓形的音箱，且單孔效果較雙孔好，正方形音孔表現最佳。

壹、研究動機

在討論科展題目時，老師建議我們從日常生活經驗來發想，因為大家都有學習樂器的經歷，所以對樂器的外觀與聲音表現間的關係感到疑惑。

在練習貝斯時，常常覺得接電子音箱很麻煩，但彈奏烏克麗麗時，不用接電子音箱，聲音就夠大聲，仔細觀察貝斯和烏克麗麗的構造，一個是實心的琴身，一個則有中空的音箱。剛好 8 上理化課（康軒文教，2017）正學到共鳴箱的原理，也就是琴弦震動帶動面板震動，最後強迫箱內空氣振動，使響度變大，所以我們想知道各種形狀的音箱會如何影響響度。

另外，我們還好奇同樣是有音箱的樂器，烏克麗麗只有一個大大的圓孔在中央，小提琴卻是兩個 f 孔（圖 1-1）對稱在弦的兩側，因此也想探討不同的音孔數量、形狀會如何影響到響度的表現。（見表 1-1）



圖 1-1

小提琴 f 形音孔

文獻搜尋中，我們發現吳昱頡等人（2011）的科展所製作音箱都是紙質的，但是一般的樂器音箱大部分為木質，像是吉他、小提琴，所以我們實驗選擇用木屑製成的壓縮板來製作音箱；在彈奏樂器時，撥弦力道大小會有不同的聲音表現，因此發想製作可以控制撥弦力道的工具進行實驗探討。

表 1-1 貝斯、烏克麗麗和小提琴比較表

	貝斯	烏克麗麗	小提琴
擴音方式	電子音箱	共鳴箱	共鳴箱
音孔數量	無	1 個	2 個
音孔形狀	無	圓形	f 孔
音箱材質	木頭	木頭	木頭

貳、研究目的

大部分的弦樂器都有音孔，正如烏克麗麗有一個大圓孔位於音箱中間。而小提琴的音孔則是兩個對稱的「f」孔。弦樂器的音孔，讓共鳴板可以更自由的振動，使得樂器內部的振動能夠傳出樂器外（維基百科，2015）。加上學校剛好購入了雷射切割機，我們認為能夠用雷射切割的方式製作較精準的實驗器材以利分析，而開始了我們研究的想法。

我們討論出來的研究目的如下：

- 一、發展自製音箱、撥弦工具及隔音箱，以探討音孔與響度的關係
- 二、探討正方體音箱在不同音孔差異下之最大響度差異
- 三、探討長方體音箱在不同音孔差異下之最大響度差異
- 四、探討圓柱體音箱在不同音孔差異下之最大響度差異
- 五、探討橢圓柱體音箱在不同音孔差異下之最大響度差異
- 六、比較四種音箱在不同音孔差異下的最大響度以探討共振效果

參、研究器材

在我們的實驗中，我們利用手機應用程式來測量數據，因為一個手機就可以測量分貝、頻率，不需要更換實驗器材。

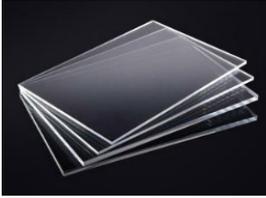
而我們為了解決用手撥弦力道的不固定，使用樂高機器人製作撥弦工具，因為樂高可以編寫程式來控制馬達每次撥弦的速度，讓它每次撥弦的力道是相同的，這又剛好符合 108 課綱希望能培養模組化程式設計與問題解決實作的能力（教育部，2018）。

以下是我們的研究器材：

一、自製音箱

我們所使用的壓縮板是由木屑緊密壓製而成，質地較原木木板平均。琴枕的部份我們選用壓克力板為材料，因為壓克力板較堅硬且不容易磨損。表 3-1 為自製音箱所使用的材料：

表 3-1 自製音箱所需材料及工具

			
電鑽	壓克力板	壓縮板 (厚度 0.5 公分)	老虎鉗
			
螺絲、螺帽及墊片	鐵鎚	鋼弦	
			
鐵釘	木工膠	雷射切割機	

二、撥弦工具

實驗早期我們用手來撥弦，但是使用人力撥弦力道不穩定，經過討論，我們決定使用樂高機器人來製作我們的撥弦工具，表 3-2 為我們所使用的材料：

表 3-2 撥弦工具所需材料

		
樂高零件	樂高主機	pick

三、自製隔音箱

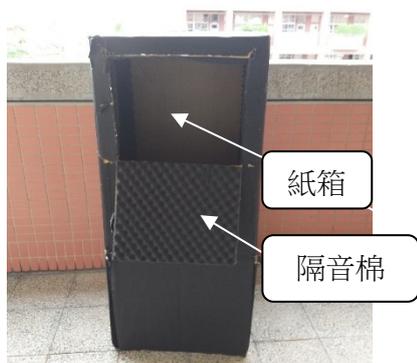


圖 3-1 自製隔音箱

早期的實驗，我們是在實驗室旁的藥品室進行，環境已經較實驗室安靜隱密，但仍會有外在聲音的干擾。因此，我們將回收紙箱內部貼上隔音棉，並將實驗器材置入此自製實驗空間中進行數據收集，盡可能地減少外在聲音干擾，而影響實驗結果。

四、各種應用程式與收音器材

「聲級器」是測量響度的手機應用程式；「調音器」則是用來固定弦的頻率高低的手機應用程式。另外，早期我們使用手機內建的麥克風來測量數據，但麥克風敏銳度較差，數據波動大，因此我們將手機接上外接式麥克風，最後也得到較為穩定的數據。

「Coreldraw」則是一種向量繪圖程式，使用雷射切割機切割必須使用向量圖檔才可切割，一般的點陣圖檔則無法切割。

「NXT」則是樂高主機程式設計軟體，被我們使用在撥弦工具上。

表 3-3 實驗所需應用程式及收音器材

 dB		
手機應用程式 聲級計(Sound Meter)	手機應用程式 調音器，節拍器	麥克風
		
NXT 程式	Coreldraw	

肆、研究方法

一、發展自製音箱、撥弦工具及隔音箱，以探討音孔與響度的關係

(一) 發展自製音箱

1. 第一代音箱

這是我們早期實驗的正方體音箱及長方體音箱（如圖 4-1-1、圖 4-1-2），製作的方式是用雷射切機將壓縮板直接切出音箱的六個面並鑲嵌而成。

然而，當時為了完成第一代音箱卻忽略了许多細節，因此我們整理出幾個缺點：

- (1) 沒有將長方體音箱及正方體音箱的高度統一。
- (2) 長方體音箱的長寬比為 31：13，並沒有參考任何資料。
- (3) 因為製作方式的限制，我們無法製作出有弧度的音箱。
- (4) 音箱使用瞬間黏著劑進行黏合，但瞬間膠的缺點是，一不小心就會瞬間黏住其他與實驗無關的東西，操作十分不方便。

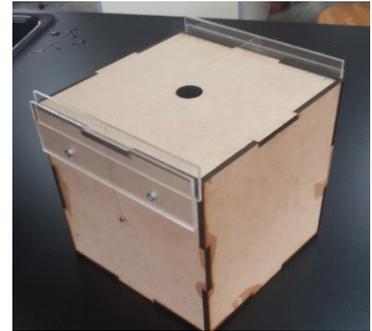


圖 4-1-1
第一代正方體音箱



圖 4-1-2
第一代長方體音箱

2. 第二代音箱

第二代音箱高度皆為 19.5 公分，長方體音箱的長高比、寬高比遵循黃金比例，橢圓形音箱的長軸和短軸比亦然。且四種音箱的內部體積皆接近 6331.625 cm^3 （正方體內部邊長 18.5 cm 的三次方）。另外，我們改用木工膠進行黏合，原因是因為木工膠比白膠快乾，操作上又比瞬間膠方便。

(1) 正方體音箱

用雷射切割機切割出底板及堆疊側板用的木條。以正方形壓縮板為底（圖 4-2-1），再以（圖 4-2-2）的方式堆疊 37 層木條。為了方便替換音箱最上層的音孔板，所以我們在第 38 層時使用（圖 4-2-3）的方式將 L 型木條固定在第 37 層四周以製作出音孔板的接合卡榫。完全固定後在音箱內層貼上白紙。最後，加上雷射切壓克力板做成的琴枕並架上鋼弦即完成（圖 4-2-4）正方體音箱。

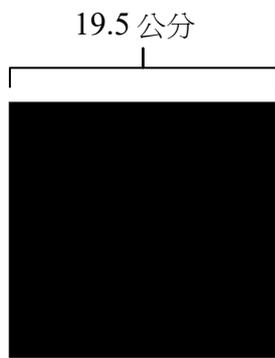


圖 4-2-1 底板

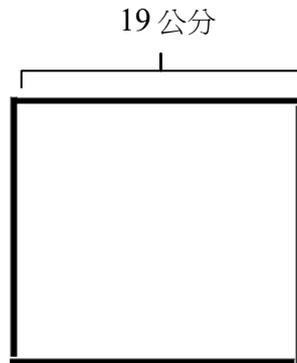


圖 4-2-2 側板
(第 1~37 層)

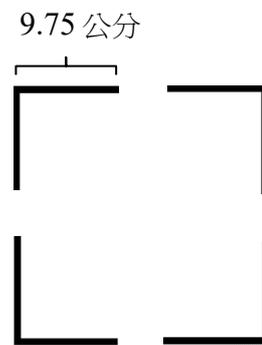


圖 4-2-3 側板
(第 38 層)



圖 4-2-4
正方體音箱完成圖

(2) 圓柱體音箱

用雷射切割機切割出底板及堆疊側板用的木條。以圓形壓縮板為底（圖 4-3-1），以（圖 4-3-2）的方式用弧形木條交錯堆疊 37 層，第 38 層使用（圖 4-3-3）方式將木條固定在 37 層四周製作出音孔板的接合卡榫，固定後在音箱內層貼上白紙。最後，加上雷切壓克力板做成的琴枕並架上鋼弦即完成（圖 4-3-4）圓柱體音箱。

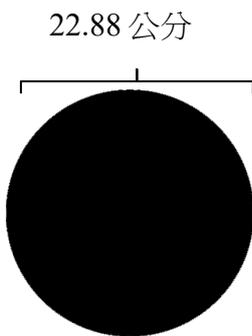


圖 4-3-1 底板

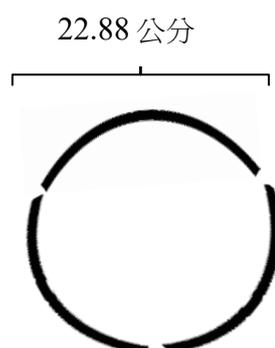


圖 4-3-2 側板
(第 1~37 層)

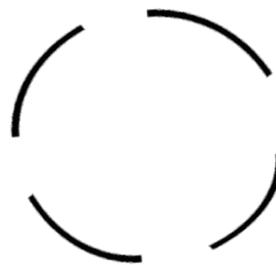


圖 4-3-3 側板
(第 38 層)



圖 4-3-4 圓柱體音
箱完成圖

(3) 長方體音箱

在設計長方體音箱的長高寬時，要如何取長度呢？我們發現市面上的樂器都常有黃金比例，又為了實驗時能使用同一組撥弦工具，我們調整四個音箱高度，使其相同，最後就決定長高寬的比例為 1 : 0.618 : 0.385。（圖 4-4-2 及圖 4-4-3 長寬相同，壓縮板寬度皆為 0.5 公分）。

用雷射切割機切割出底板及堆疊側板用的木條。以長方形壓縮板為底（圖 4-4-1），1 到 37 層中，將木條以（圖 4-4-2）的方式堆疊奇數層，以（圖 4-4-3）的方式堆疊偶數層，第 38 層用（圖 4-4-4）方式將 L 型木條固定在第 37 層

四周以製作出音孔板的接合卡榫，固定後在音箱內層貼上白紙。最後，加上雷切壓克力板做成的琴枕並架上鋼弦即完成（圖 4-4-5）長方體音箱。



圖 4-4-1 底板

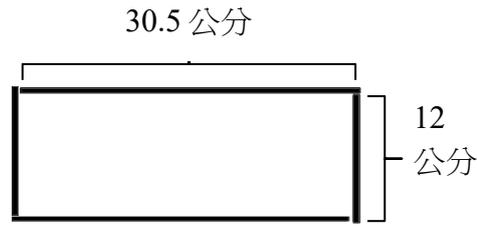


圖 4-4-2 側板（奇數層）



圖 4-4-5
長方體音箱
完成圖

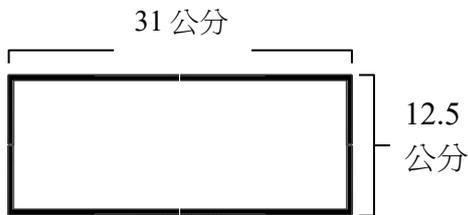


圖 4-4-3 側板（偶數層）

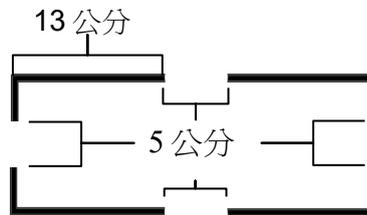


圖 4-4-4 側板（第 38 層）

(4) 橢圓柱體音箱

用雷射切割機切割底板及堆疊側板用的木條。以橢圓形壓縮板為底（圖 4-5-1），在第 1 到第 37 層中，將弧形木條以（圖 4-5-2）的方式堆疊奇數層，以（圖 4-5-3）的方式堆疊偶數層，以此類推。第 38 層使用（圖 4-5-4）方式將弧形木條固定在 37 層四周以製作出音孔板的接合卡榫。固定後在音箱內層貼上白紙，最後，加上雷切壓克力板做成的琴枕並架上鋼弦即完成（圖 4-5-5）橢圓柱體音箱。

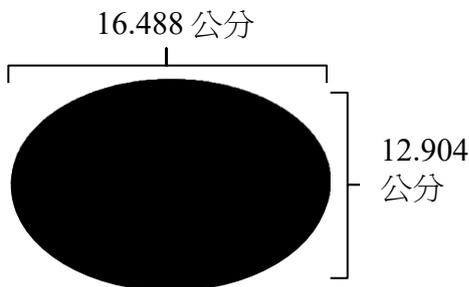


圖 4-5-1 底板

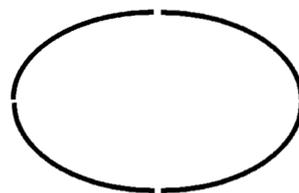


圖 4-5-2 側板
（奇數層）

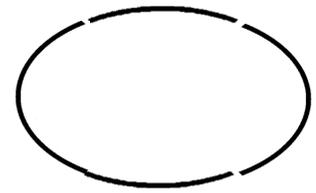


圖 4-5-3 側板
（偶數層）

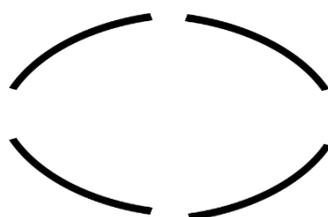


圖 4-5-4 側板
（第 38 層）



圖 4-5-5
橢圓柱體完成圖

3. 第一代音箱及第二代音箱的差異

第一代音箱和修正過的第二代音箱的比較如下（表 4-1）：

表 4-1 第一代音箱與第二代音箱差異比較表

	第一代音箱	第二代音箱
音箱形狀	正方體及長方體音箱	正方體、長方體、圓柱體及橢圓柱體音箱
製作方式	切出音箱的六個面並鑲嵌而成	大量的木條堆疊並在音箱內側貼紙
黏合材料	瞬間膠	木工膠
音箱高度	長方體音箱 13.5 公分 正方體音箱 17.83 公分	皆為 19.5 公分

實驗結果也發現第二代音箱的響度趨勢結果較為一致。

（二）發展撥弦工具

1. 第一代撥弦工具

第一代撥弦工具（圖 4-6-1、圖 4-6-2），當時正方體音箱跟長方體音箱的高度沒有統一，所以我們只好做出兩組撥弦工具來分別進行長方體音箱及正方體音箱的實驗。

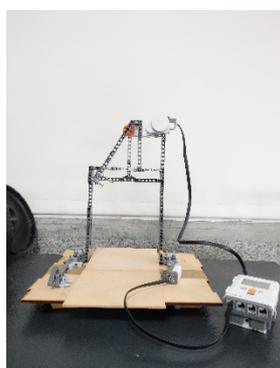


圖 4-6-1 第一代長方體音箱撥弦工具



圖 4-6-2 第一代正方體音箱撥弦工具

2. 第二代撥弦工具

第二代撥弦工具（圖 4-7）可讓四種第二代音箱全部放入使用，增加我們的實驗效率。

3. 第一代撥弦工具及第二代撥弦工具的差異

第一代撥弦工具使用時有許多問題，包含：撥弦時會震動、需實驗者親自動手按弦……等，這些都可能影響實驗結果。表 4-2 為兩代撥弦工具差異表：

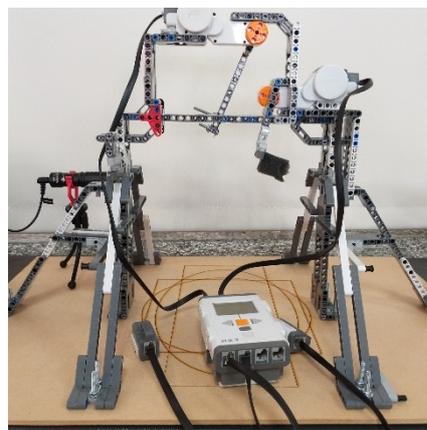


圖 4-7 第二代撥弦工具

表 4-2 第一代撥弦工具與第二代撥弦工具差異表

第一代撥弦工具	第二代撥弦工具
長方體音箱與正方體音箱的高度沒有固定，所以需要製作出兩組撥弦工具。	將四個音箱的高度固定（19.5 cm），製作出一組符合音箱高度的撥弦工具。
程式只有寫一個，每個數據都需要人力啟動程式，實驗效率差。	寫出兩個程式，兩者差別在於：前者是按一次撥弦一次，後者是重複無限次。大幅增加實驗效率。
用手壓弦，力度大小無法固定相同，可能影響實驗結果。	製作出 stopper 代替手壓弦。
無法確保每次音箱放的位置皆相同。	用雷切機將音箱形狀雕在撥弦工具底部的壓縮板上，每次實驗時，可將音箱放在相對應的形狀上，確保音箱擺放的位置皆相同。



(三) 隔音箱

原先我們是在實驗室旁的藥品室進行數據的測量，但是發現外在聲音會影響實驗數據收取的可信度，有鑑於此，我們利用回收紙箱製作了隔音箱，在箱內貼滿隔音棉，且內部空間足夠放進整組實驗器材及工具，可以減少測量數據時外在聲音的干擾。我們的隔音箱有一個別稱：舊衣回收箱，是因為它立起來時非常像舊衣回收箱。



圖 4-7 隔音箱

二、各種音孔板編碼、實驗流程及數據分析比較

(一) 音箱音孔編碼規則

我們對實驗中所有音箱和音孔的配對關係進行編碼整理，一共有 16 種編碼結果，而編碼規則與範例如下：

正	雙	圓
第一個字代表音箱形狀。實驗中有正方體、長方體、圓柱體和橢圓柱體四種音箱，因此由「正」、「長」、「圓」、「橢」分別代表。	第二個字代表音孔數量。實驗中有單孔和雙孔，因此由「單」和「雙」分別代表。	第三個字代表音孔形狀。實驗中有圓形和正方形，因此由「圓」和「正」分別代表。

(二) 探討四種音箱在不同音孔差異下之響度差異

1. 四種音箱搭配四種音孔響度實驗（四種音孔分別為圓形單、雙孔，正方形單、雙孔）
 - 音箱實驗流程（以正方體音箱為例，以下實驗皆遵從此方式）
 - a. 先將音箱放入撥弦工具內，並對齊底板正方形的雕紋。
 - b. 測量正方體音箱在沒有蓋上音孔板狀態下的頻率，確認音箱無音孔板頻率為 415 赫茲，如果頻率太高或太低的話可用琴枕調整弦的鬆緊。
 - c. 蓋上欲測量的音孔板。
 - d. 啟動撥弦工具撥弦，同時用手機測量響度，並紀錄實驗數據。

- e. 一個音孔板進行十次實驗，測量十個數據。
- f. 將數據輸入 Excel，並計算標準差。
- g. 分別測試面積約為 2、4、6、8、10、12、14、16、18、20 平方公分的圓形單孔，重複步驟 c~f。
- h. 換上圓型雙孔、正方形單、雙孔，並重複步驟 c~g。
- i. 依序換上長方體、圓柱體及橢圓柱體音箱，並重複步驟 c~h。
- j. 比較四種音箱與四種音孔的搭配，所測得的響度數據。

(三) 比較四種音箱在不同音孔差異下的最大響度以探討共振效果

正方體音箱、長方體音箱、圓柱體音箱及橢圓柱體音箱的最大響度進行比較。

三、撥弦工具的程式設計

我們的撥弦工具使用樂高機器人製作，而樂高機器人的主機是採用 NXT 這個軟體進行程式設計。在之前我們只寫了一個程式，當按下觸控感應器時，馬達會轉一圈，但是這樣每次測一個數據就要按一下觸控感應器，很沒有效率，因此我們在改善撥弦工具時，製作了兩個程式，而這兩者差別在於，前者是按一次轉一次，後者是重複無限次。可以視情況而決定。

圖 4-8 及圖 4-9 為程式設計流程圖，程式一是為了一開始測量頻率而設計的：一號觸控感應器按下時，撥弦馬達會轉一圈，重複輪迴直到二號觸控感應器按下，進入程式二。程式二是為了進行響度實驗而設計的，程式分為兩種情況，如果按下一號觸控感應器，馬達會轉一圈，stopper 壓弦，不重複；如果按下二號觸控感應器，則間隔 0.5 秒重複執行。

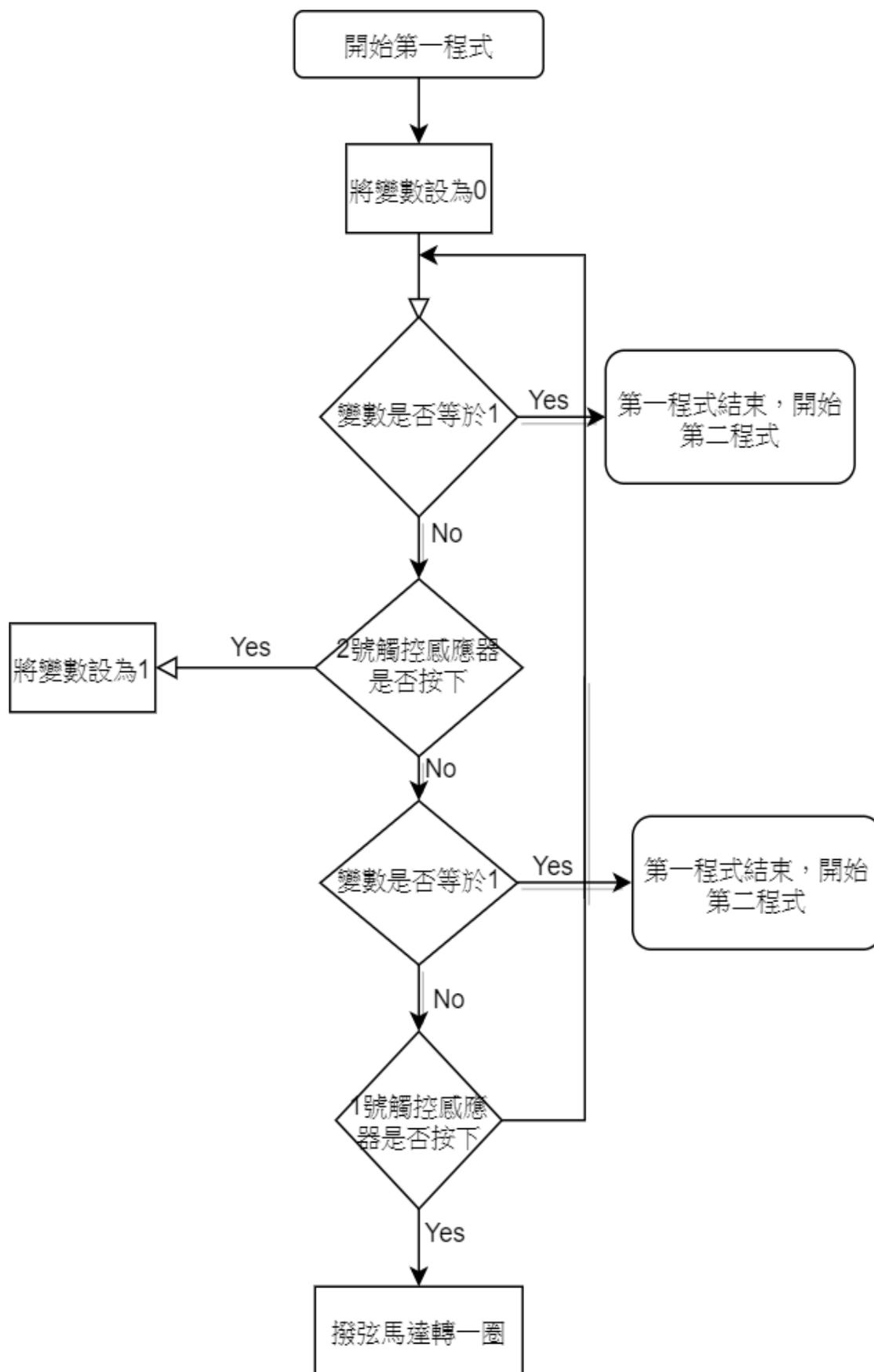


圖 4-8 程式一流程圖

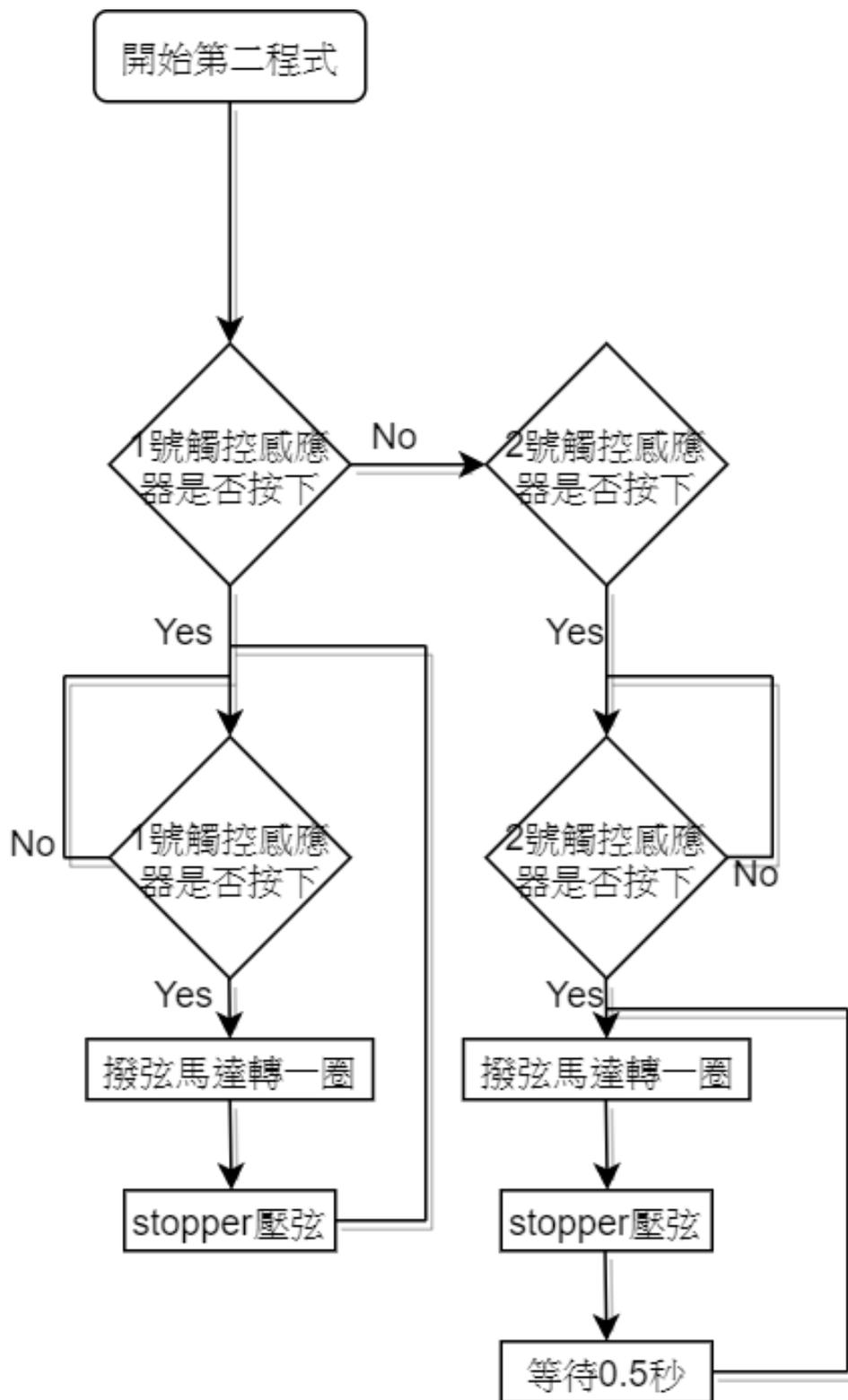


圖 4-9 程式二流程圖

伍、研究結果

一、發展自製音箱、撥弦工具及隔音箱，以探討音孔與響度的關係

以下圖表為第一代音箱的所得數據趨勢圖，當時並沒有搭配隔音箱進行實驗：

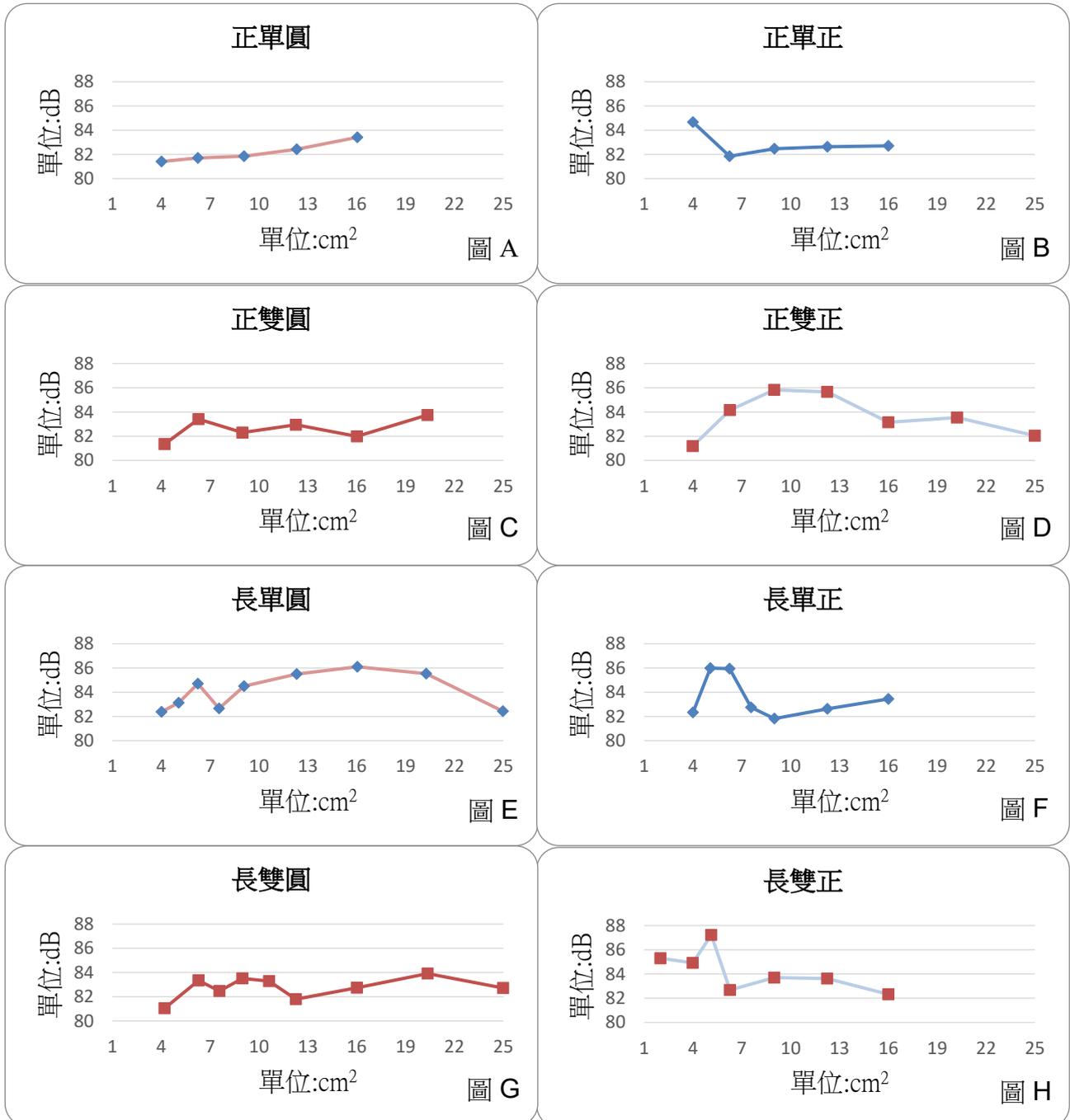


圖 5-1 第一代音箱數據趨勢圖

在第一代音箱實驗得出的響度趨勢圖中，趨勢無規律性。

為了使實驗更精準，我們進一步改進實驗器材，增加控制變因，避免環境噪音等因素影響數據結果，從而縮小實驗誤差，。

經由實驗測試後，撥弦工具、音箱及隔音箱製作成功（圖 5-2）。

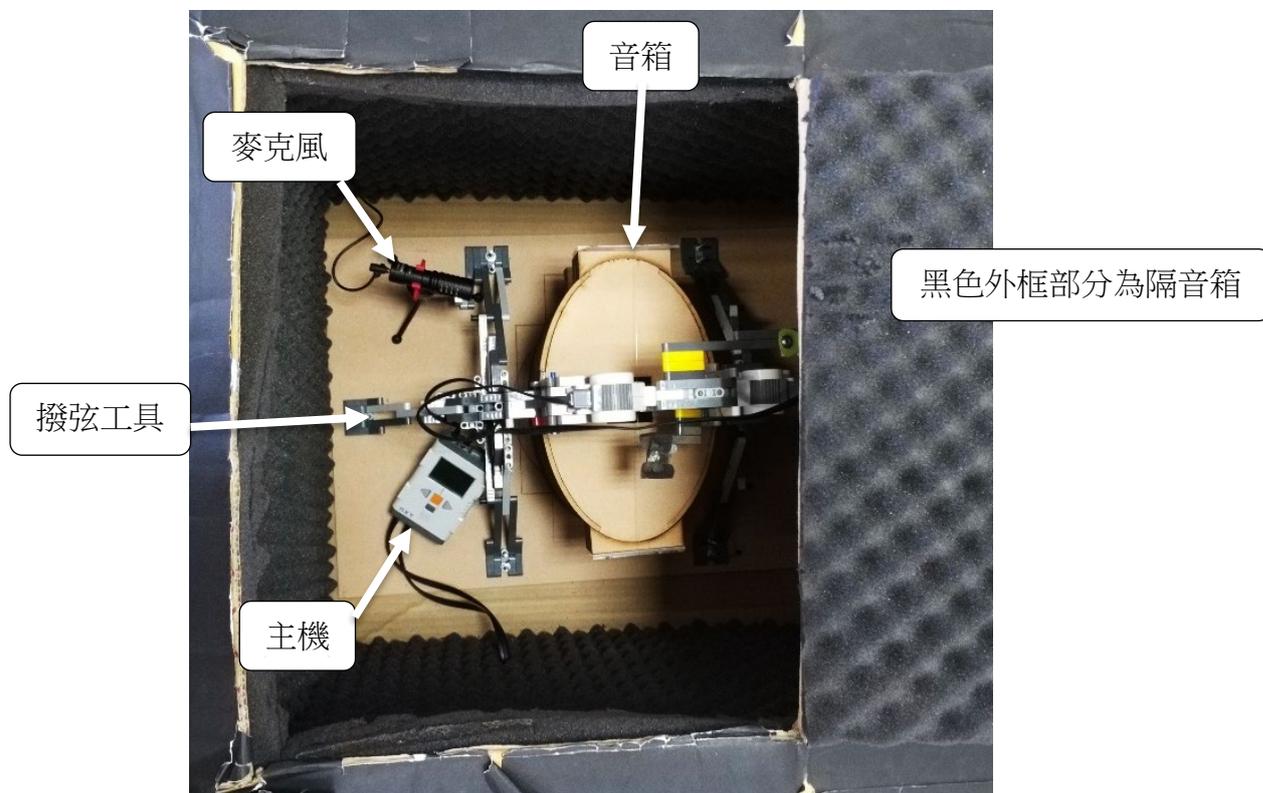


圖 5-2 架設完成實驗裝置俯瞰圖

每個種類的音孔之頂板皆可裝在音箱上，並且能成功的經由自製的撥弦工具彈撥後發出聲音。而實驗時，我們將撥弦工具及自製音箱放入隔音箱內，以利於數據的收取及可用性。

二、 探討正方體音箱在不同音孔差異下之響度差異

將各音孔頂板測得的十個數據輸入 Excel 算出平均，並繪製折線圖。

（當天溫度：32°C；當天濕度：74%；固定頻率：415Hz）

表 5-1 正單圓之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	82.66	82.57	82.54	83.25	82.72	84.27*	83.15	82.67	82.98	83.23

面積單位：cm² 響度單位：dB

最大響度為面積 12 公分的 84.27 分貝。

表 5-2 正單正之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	86.15	81.72	81.57	82.74	82.51	86.78*	85.88	82.79	81.58	86.07

面積單位：cm² 響度單位：dB

最大響度出現在面積為 12 平方公分的 86.78 分貝。

表 5-3 正雙圓之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	85.5	83.02	81.12	82.14	81.64	84.91	81.57	82.97	83.2	86.75*

面積單位：cm² 響度單位：dB

最大響度出現在 20 平方公分的 86.75 分貝。

表 5-4 正雙正之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	82.33	82.72	82.95*	80.88	82.48	81.98	81.59	82.43	81.93	82.78

面積單位：cm² 響度單位：dB

最大響度出現在面積為 6 平方公分的 82.95 分貝。

使用表 5-1、表 5-2、表 5-3、表 5-4 分別製作圖 5-3、5-4、5-5、5-6

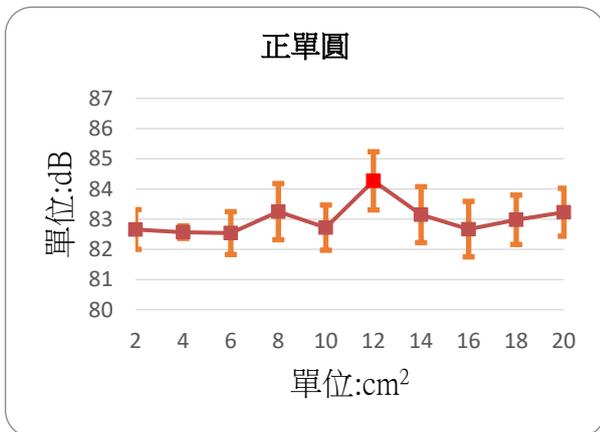


圖 5-3 正單圓趨勢圖

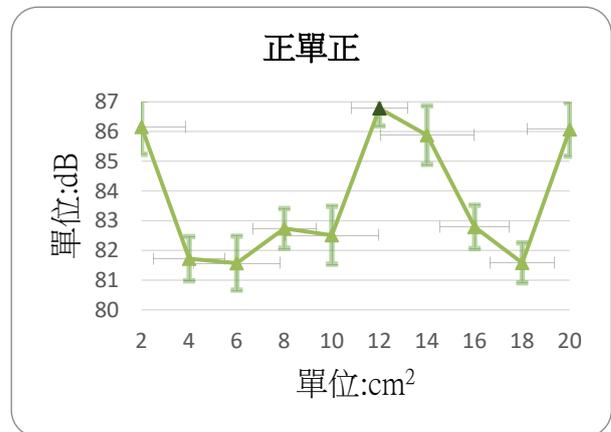


圖 5-4 正單正趨勢圖

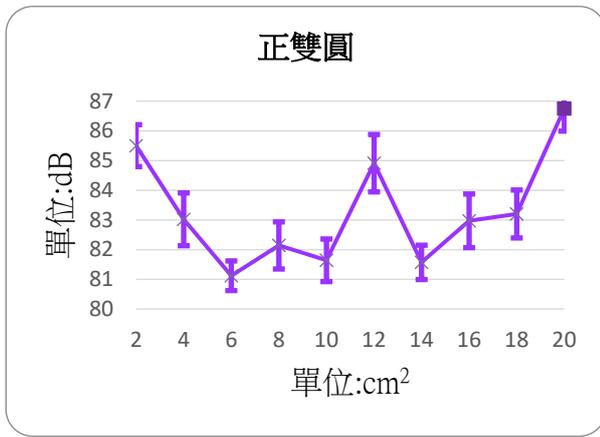


圖 5-5 正雙圓趨勢圖

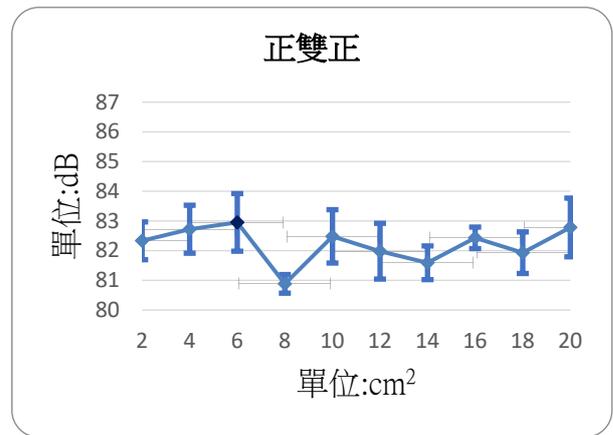


圖 5-6 正雙正趨勢圖

分別比較各種音孔在各面積下的響度，取最大響度：

表 5-5 正方體各音孔比較表

音孔種類	正單圓	正單正	正雙圓	正雙正
最高響度	84.27	86.78	86.75	82.95

單位：dB

四者比較得出正單正的 86.78 分貝最高。

另外，趨勢方面則呈波浪狀，大多出現 1.5~2 個波。

三、長方體音箱因音孔所造成的響度差異

將各音孔頂板測得的十個數據輸入 Excel 算出平均，並繪製折線圖。

(當天溫度：32°C；當天濕度：74%；固定頻率：415Hz)

表 5-6 長單圓之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	84.35*	81.76	83.51	83.38	84.2	82.61	82.56	81.08	83.57	82.47

最大響度出現在面積 2 平方公分的 84.35 分貝。

面積單位：cm² 響度單位：dB

表 5-7 長單正之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	83.24	83.52	81.78	83.78	83.97*	83.24	82.01	82.35	82.42	83.48

面積單位：cm² 響度單位：dB

最大響度為面積 10 平方公分的 83.97 分貝。

表 5-8 長雙圓之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	84.43	84.36	83.44	85.53*	83.72	84.18	83.16	82.8	82.39	83.01

最大響度為 8 平方公分的 85.53 分貝。

面積單位：cm² 響度單位：dB

表 5-9 長雙正之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	81.69	81.68	82.87	85.25	82.67	83.83	86.03*	82.97	83.16	84.32

最大響度為 14 平方公分的 86.03 分貝。

面積單位：cm² 響度單位：dB

利用表 5-6、5-7、表 5-8、表 5-9 分別製作圖 5-7、5-8、5-9、5-10

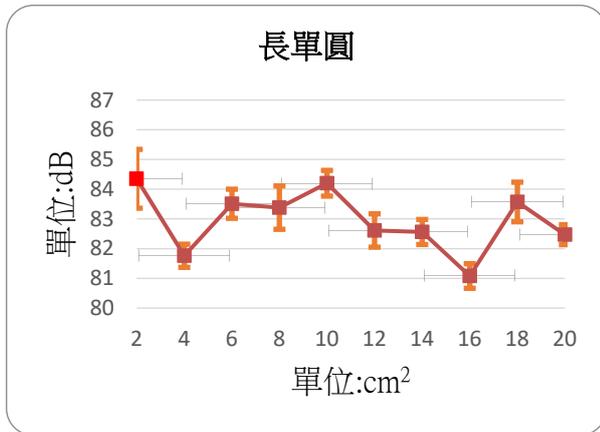


圖 5-7 長單圓趨勢圖

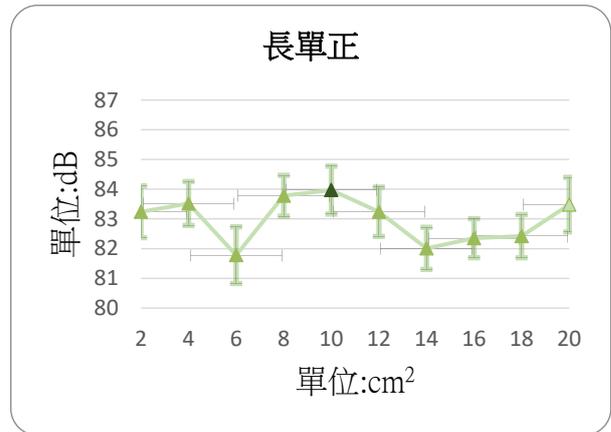


圖 5-8 長雙圓趨勢圖

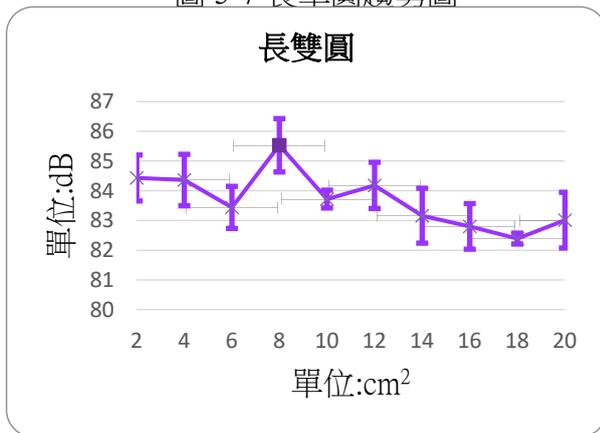


圖 5-9 長單正趨勢圖

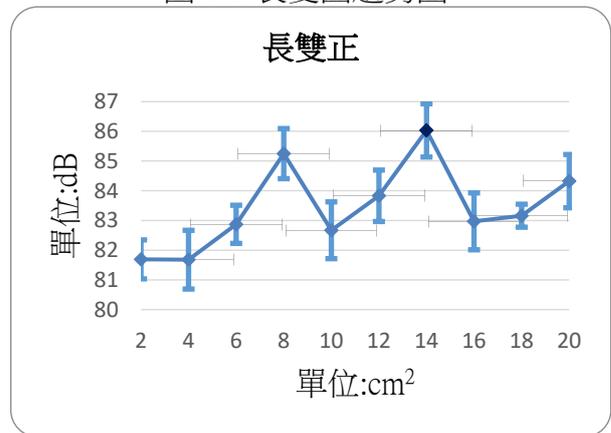


圖 5-10 長雙正趨勢圖

分別比較各種音孔在各面積下的響度，取最大響度：

表 5-10 長方體各音孔比較表

音孔種類	長單圓	長單正	長雙圓	長雙正
最高響度	84.35	83.97	85.53	86.03

單位：dB

四者比較得出長雙正的 86.03 分貝最高。

另外，趨勢方面則呈波浪狀，會出現 1.5~2 個波。

四、圓柱體音箱因音孔所造成的響度差異

將各音孔頂板測得的十個數據輸入 Excel 算出平均，並繪製折線圖。

(當天溫度：32°C；當天濕度：77%；固定頻率：415Hz)

表 5-11 圓單圓之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	82.76	81.71	82.82	83.78*	83.77	82.54	82.11	81.44	81.49	83.44

面積單位：cm² 響度單位：dB

最大響度出現在 8 平方公分的 83.78 分貝。

表 5-12 圓單正之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	80.47	82.55	84.59*	81.28	83.16	83.1	82.93	83.8	81.66	82.52

面積單位：cm² 響度單位：dB

最大響度為面積 6 平方公分的 84.59 分貝。

表 5-13 圓雙圓之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	81.7	82.71	83.41	83.43	84.4*	83.47	82	83.69	82.99	83.4

面積單位：cm² 響度單位：dB

最大響度在面積為 10 平方公分的 84.4 分貝。

表 5-14 圓雙正之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	82.93	82.08	81.9	82.2	83.15	83.31	85.27*	83.82	82.93	82.81

最大響度為面積 14 平方公分的 85.27 分貝。

面積單位：cm² 響度單位：dB

使用表 5-11、表 5-12、表 5-13、表 5-14 分別製作圖 5-11、5-12、5-13、5-14

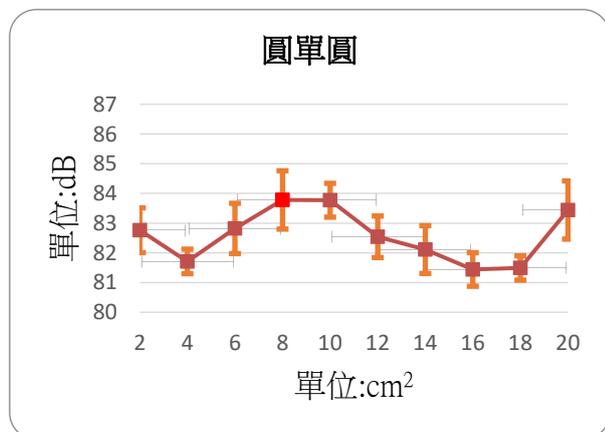


圖 5-11 圓單圓趨勢圖

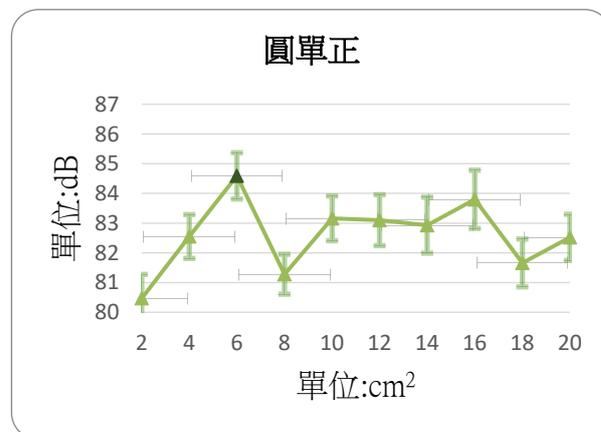


圖 5-12 圓雙圓趨勢圖

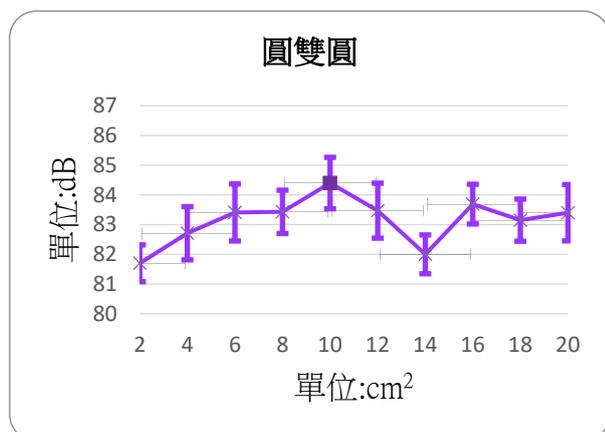


圖 5-13 圓單正趨勢圖

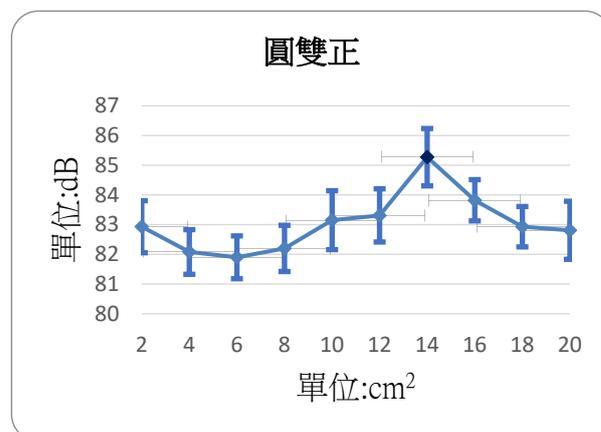


圖 5-14 圓雙正趨勢圖

分別比較各種音孔在各面積下的響度，取最大響度：

表 5-15 圓柱體各音孔比較表

音孔種類	圓單圓	圓單正	圓雙圓	圓雙正
最高響度	83.78	84.59	84.4	85.27

單位：dB

四者比較得出圓雙正的 85.27 分貝最高。

趨勢方面則呈波浪狀，都出現 1.5~2 個波。

五、 橢圓柱體音箱因音孔所造成的響度差異

將各音孔頂板測得的十個數據輸入 Excel 算出平均，並繪製折線圖。

(當天溫度：32°C；當天濕度：77%；固定頻率：415Hz)

表 5-16 橢單圓之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	85.72*	81.54	82.9	83.48	81.88	83.38	83.22	81.9	83.32	82.37

最大響度在面積 2 平方公分的 85.72 分貝。

面積單位：cm² 響度單位：dB

表 5-17 橢單正之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	81.9	82.61	83.73	81.75	84.01	81.82	83.15	85.87*	81.5	81.78

最大響度出現在面積 16 平方公分的 85.87 分貝。

面積單位：cm² 響度單位：dB

表 5-18 橢雙圓之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	81.54	82.76	82.01	82.08	82.93	82.66	83.34*	83.15	81.97	81.61

最大響度為面積 14 平方公分的 83.34 分貝。

面積單位：cm² 響度單位：dB

表 5-19 橢雙正之實驗數據

面積	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
響度平均	82.52	81.7	82.86	82.94	85.36*	82.48	82.85	81.43	82.63	82.97

最大響度出現在面積 10 平方公分的 85.36 分貝。

面積單位：cm² 響度單位：dB

使用表 5-16、表 5-17、表 5-18、表 5-19 分別製作圖 5-15、5-16、5-17、5-18

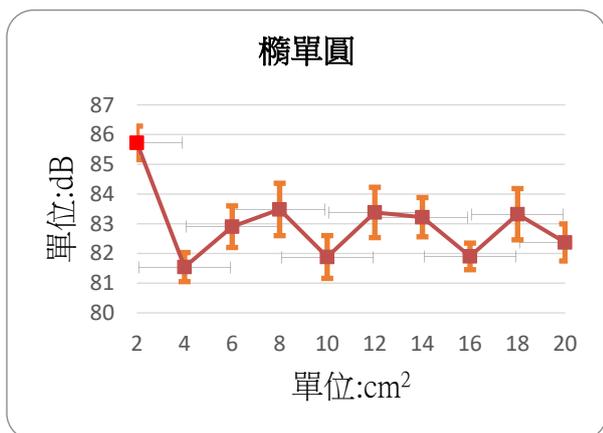


圖 5-15 橢單圓趨勢圖

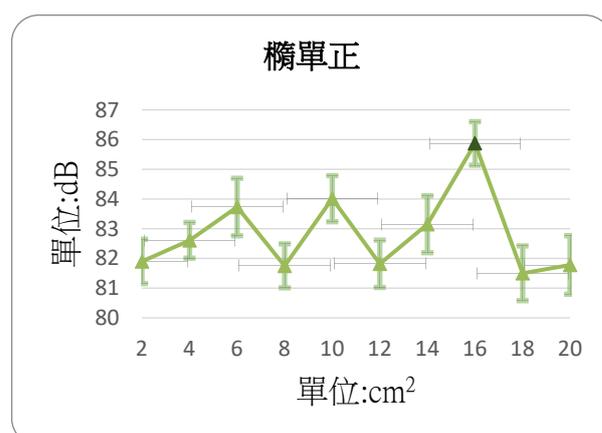


圖 5-16 橢雙圓趨勢圖

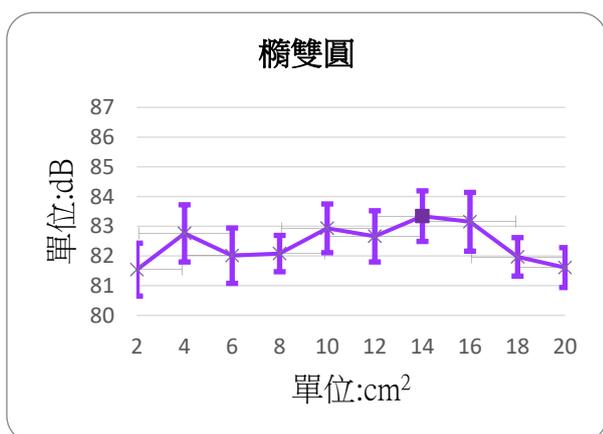


圖 5-17 橢單正趨勢圖

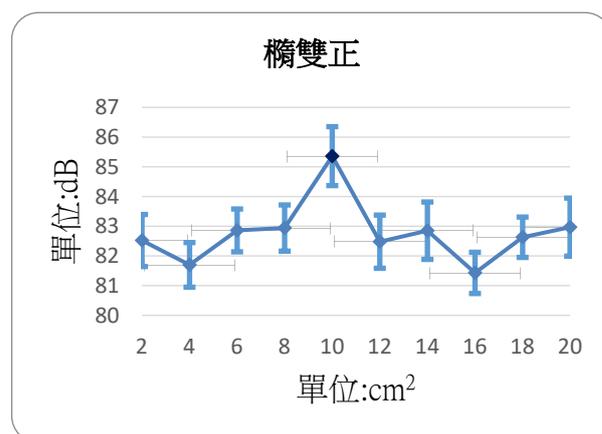


圖 5-18 橢雙正趨勢圖

分別比較各種音孔在各面積下的響度，取最大響度：

表 5-20 橢圓柱體各音孔比較表

音孔種類	橢單圓	橢單正	橢雙圓	橢雙正
最高響度	85.72	85.87	83.34	85.36

單位：dB

四者比較得出橢單正的 85.87 分貝最高。

另外，趨勢方面呈波浪狀，大多出現 1.5~2 個波。

六、 比較四種音箱在不同音孔差異下的最大響度以探討共振效果

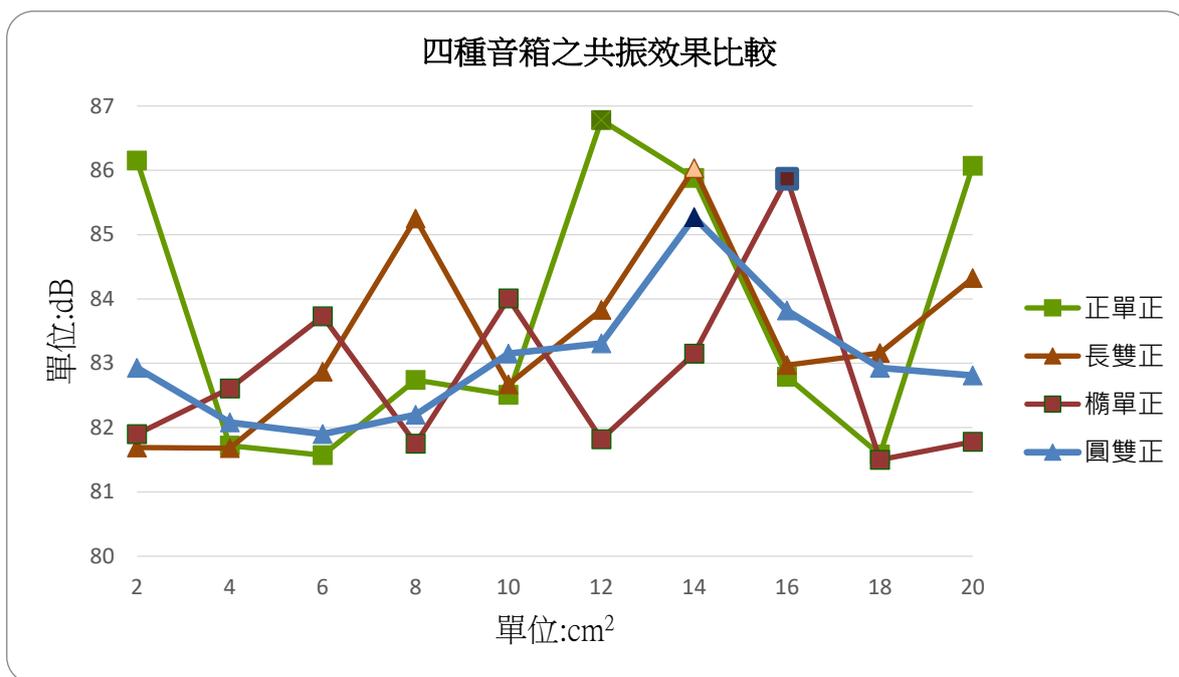


圖 5-19 各音箱最大響度之音孔趨勢圖

利用表 5-2、表 5-9、表 5-12、表 5-19 製作圖 5-19

我們發現四種音箱的最大響度都出現在正方形音孔，但正方體及橢圓柱體音箱是單孔，長方體及圓柱體音箱則是雙孔。比較表如下：

表 5-12 各音箱最大響度比較表

音箱種類	正單正	長雙正	橢單正	圓雙正
最高響度	86.78	86.03	85.87	85.27

單位：dB

由比較表可知，四種音箱最大響度大到小依序為：正單正 > 長雙正 > 橢單正 > 圓雙正。

陸、討論

一、發展自製音箱與撥弦工具，以探討音孔與響度的關係

(一) 為什麼選擇使用交錯堆疊方式製作音箱？

在第一代音箱中使用之鑲嵌方式僅用少量瞬間黏著劑固定音箱，但此方法只適用平面和平面的組成，無法製作有弧度的音箱，但坊間樂器都是有弧度的音箱，因

此我們把音箱製作方式改為將壓縮板切出木條形狀並以木工膠黏合而成，成功製作出有弧度的音箱。而壓縮板本身在製作時就已添加過膠，因此木工膠的黏貼是沒有影響的。而在實際實驗過程中，也發現第二代音箱相對於第一代音箱所測得的數據更有規律性和使用價值。

(二) 為什麼要更換原本的撥弦工具？

第一代撥弦工具的缺點在並沒有完全的固定，撥弦時會稍有搖晃，而分散力的大小進而影響實驗結果，且於撥弦後需以手壓弦抑制弦的震動，使聲音靜止，音箱也無法確保固定在相同位置。第二代撥弦工具針對這些問題進行改善，另外加裝 6 個固定點，總共 8 個固定點，以增加撥弦工具的固定性，並且安裝 stopper（見圖 6-1），以工具代替人力，減少誤差、增加實驗效率。而在實驗過程中，也發現第二代撥弦工具相對於第一代撥弦工具更能有效控制變因。



圖 6-1 stopper

(三) 為何要製作隔音箱，並量取實驗時的濕度？

在第一代音箱時的實驗並沒有使用隔音箱，由於在學校實驗，在下課時總會有環境噪音使分貝莫名的提高，因此在第二代音箱的實驗，我們增加了內部有隔音棉的隔音箱，控制實驗環境。而為了更加強控制數據收取時的環境變因，除了原先的溫度量取紀錄外，也將濕度列入紀錄考量，因為弦的狀況與濕度有密切關係。在加入了這些控制變因後，確實也使得實驗更加嚴謹，實驗數據也更有規律。

二、 探討正方體音箱在不同音孔差異下之響度差異

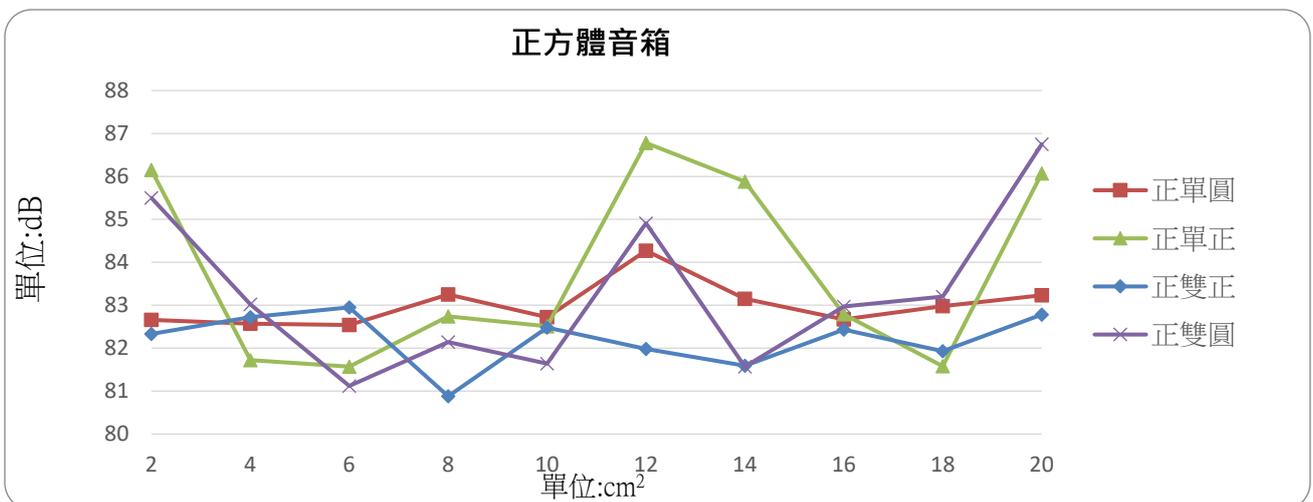


圖 6-2 正方體音箱不同音孔之響度差異

由圖 6-2 可知，面積 2-20cm²時，在正方體的四種組合中，峰值經常出現 12cm²，單圓、單正及雙圓都於此面積出現峰值，在響度最高峰值為正單正的 86.78 dB，第二高峰為正雙圓的 86.75 dB。正單正的三個高點在前段、中段及後段都有一個，大致呈波浪狀。而正雙圓中，也能看到類似於正單正的趨勢，且高峰亦於前段、中段及後段。

三、 探討長方體音箱在不同音孔差異下之響度差異

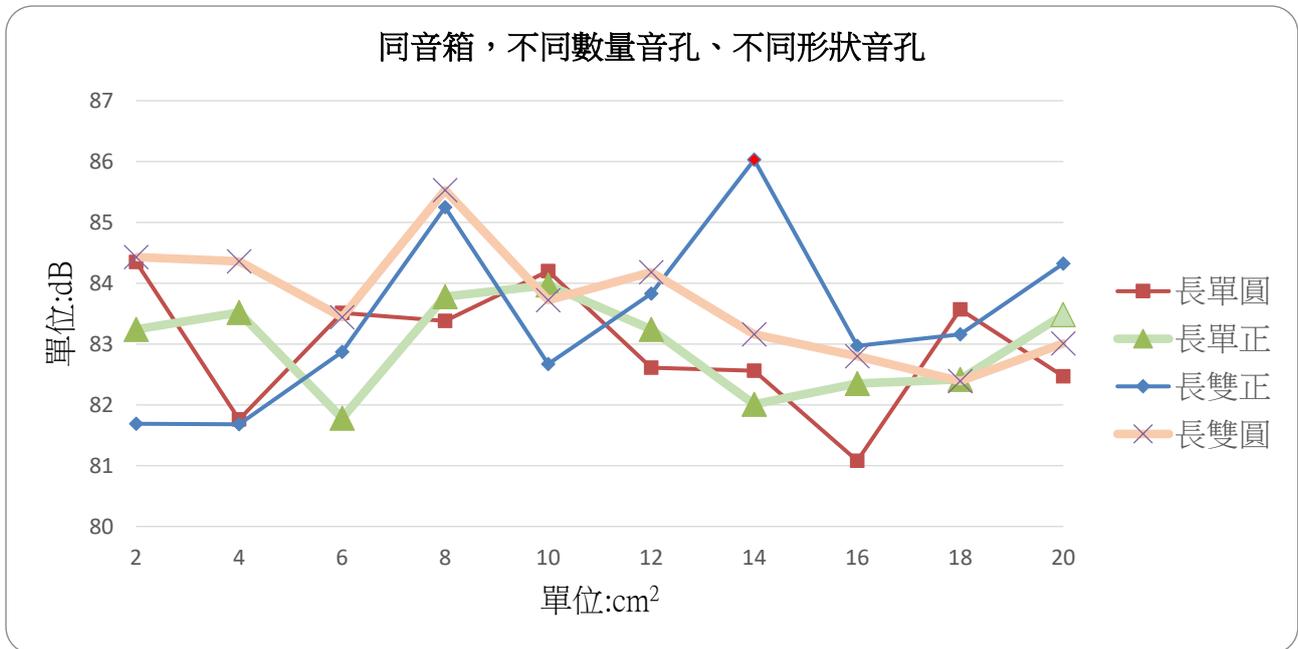


圖 6-3 長方體音箱不同音孔之響度差異

由圖 6-3 可知，面積 2-20cm²時，在長方體的四種組合中，最大響度為長雙正的 86.03 dB，出現在 14cm²，而第二高峰為長雙圓的 85.53 dB，出現在 8 cm²，而兩組都有兩個隆起。

四、 探討圓柱體音箱在不同音孔差異下之響度差異

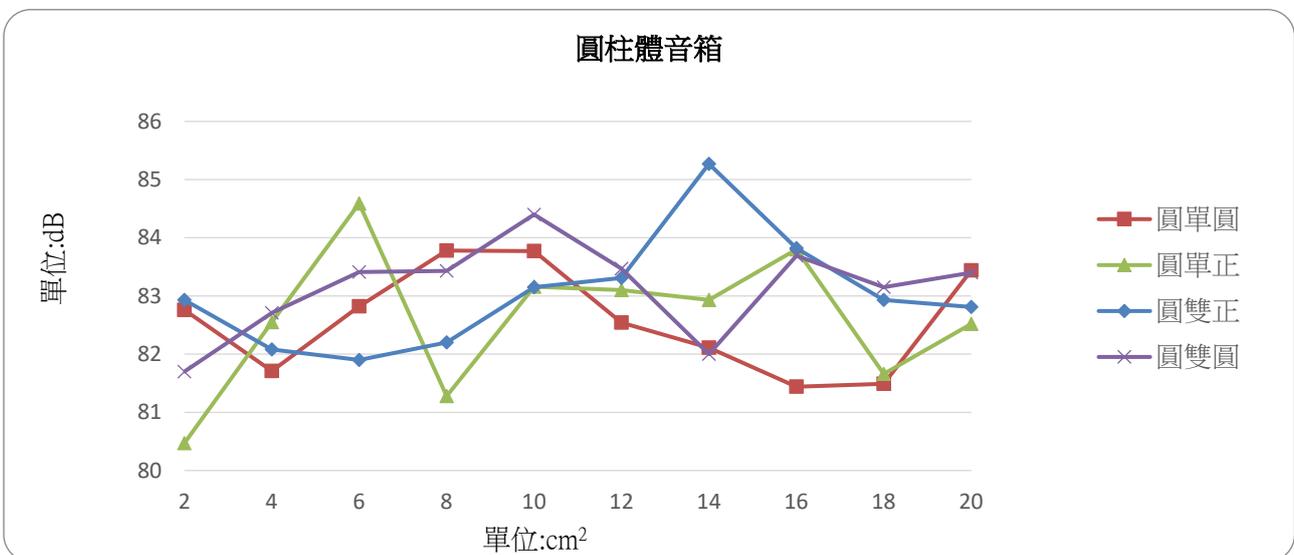


圖 6-4 圓柱體音箱不同音孔之響度差異

由圖 6-4 可知，面積 2-20 cm²時，圓柱體的四種組合中，最大響度為圓雙正的 85.27 dB，出現在 14 cm²，而第二高峰為圓單正的 84.59 dB，出現在 6 cm²，而兩組都有兩個隆起，且兩者皆為正方形音孔。

五、 探討橢圓柱體音箱在不同音孔差異下之響度差異

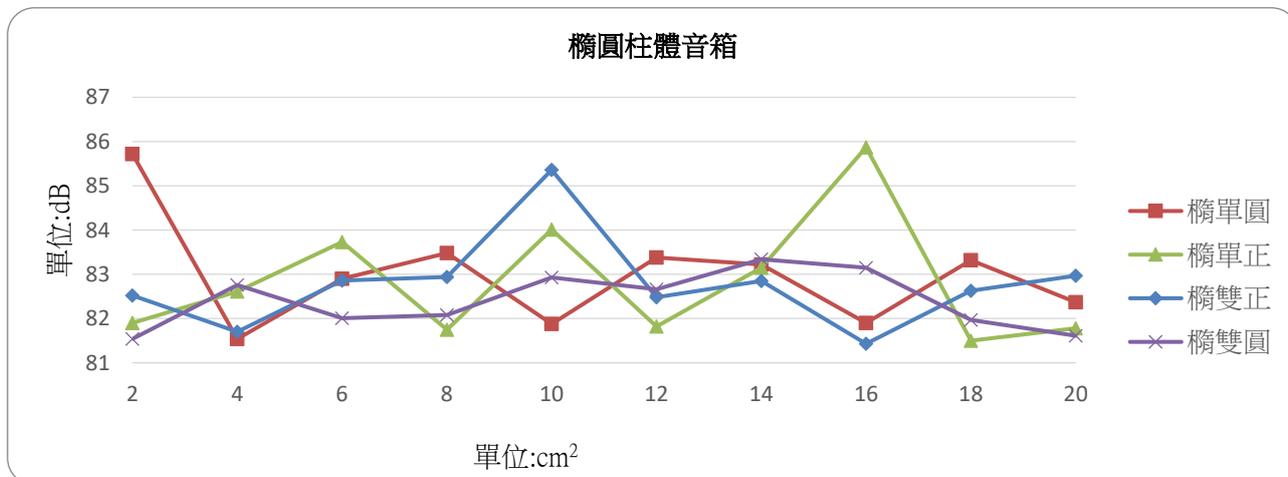


圖 6-5 橢圓柱體音箱不同音孔之響度差異

由圖 6-5 可知，面積 2-20 cm²時，在橢圓柱體的四種組合中，最大響度為橢單正的 85.87 dB，出現在 16 cm²，第二高峰為橢單圓的 85.72 dB，出現在 2 cm²，在最高點之組合和正方形體音箱相同皆為單正。

六、 比較四種音箱在不同音孔差異下的最大響度以探討共振效果

由圖-19 可知，面積 2-20 cm²時，我們將四種音箱的最高峰之組合，進一步進行比較，結果中發現：正單正 86.78 dB > 長雙正 86.03 dB > 橢單正 85.87 dB > 圓雙正 85.27 dB，

(一) 在四組音箱的比較中，我們發現底面為矩形的音箱較底面為圓形橢圓形的音箱響度較大。

(二) 將底面為矩形的音箱及底面為圓形橢圓形的音箱分類比較發現：

1. 兩類中，單孔共振效果比雙孔好。
2. 正方形音孔共振效果最好。

在此次的研究中，我們發現正方體音箱、正方形音孔共振效果也較佳以及單孔的效果大於雙孔，因此建議其他老師們在進行類似實驗時，可選用正方體音箱或正方形音孔進行實驗。

柒、結論與展望

壹、結論

- 一、建議進行類似實驗時，使用雷射切割機及壓縮板等較為精準之器材進行實驗，對於撥弦工具的部分，則可使用樂高或其他市面上的機器人製作，利用程式控制，可大幅度增加實驗精準度。
- 二、聲音相關實驗很容易受到環境噪音影響，因此加強隔音效果特別重要。我們選擇自製隔音箱並於箱內施測，實驗結果也更加規律。
- 三、正方體音箱及橢圓柱體音箱如果出現波浪狀的趨勢，且有兩個峰值的單孔多半容易出現極高點。長方體音箱及圓柱體音箱的最大響度較易出現在正方形雙孔的後段面積。
- 四、四種音箱間的最大響度比較結果為：正單正 > 長雙正 > 橢單正 > 圓雙正
因此得知：底面為矩形的音箱 > 底面為圓形橢圓形的音箱
最後分類比較後得知：單孔效果大於雙孔；正方形音孔最佳。
- 五、我們發現正方體音箱、正方形音孔及單孔的組合共振效果最佳，建議老師們在指導時，可多加利用正方形元素進行實驗。

貳、展望

我們期待能夠將本實驗中所取得共振效果最好之音箱組合，融入目前最受注目的能源議題，若能改良風力發電機，取代目前風力發電所使用的扇葉，運用共振原理將共振能量帶動面板震動促使渦輪發電機啟動，達到風力發電之效果，期待能改善現今風力發電噪音及影響鳥類之問題。

捌、參考文獻

小提琴作房 (2017) 小提琴音孔對於音色的影響。

取自 <http://www.xtqzf.com/21119.html>

山谷樂器有限公司 (n.d.) 古典與鋼弦吉他專有名詞。

取自 <http://www.yamahamusic.com.tw/instrument/guitar/guitar%20manual/guitar-manual-202.htm>

王嘉信、姜羽庭、陳頌翰、陳燕清 (2016) 「聲」獲好「頻」--探討影響指喇叭音頻變化之因素。

取自 <https://activity.ntse.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/080120.pdf>

李承恩、吳昱韻、吳程峻、林崇堯、陳廷瑜、游茜雯（2011）比比誰最吵！不同音箱的響度差異研究。

取自 [https:// activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/080123.pdf](https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/080123.pdf)

邱劭亭、蔡苑珊（2009）『肚』裡乾坤，不同凡『響』。

取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/080108.pdf>

徐宇潔、張哲嘉、曾俊璋（2010）當號角響起~探究影響自製喇叭聲音之因素。

取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/080813.pdf>

教育部（2018）十二年國民基本教育課程綱要國民中學暨普通型高級中等學校—科技領域。
國箏文化（2018）古箏的結構。

取自 <https://m.guzheng.cn/jiemu/175.html>

黃紫涵、黃敬哲、廖雅芳（2007）大聲公，不用錢-探討紙杯喇叭的外型與放置地點對擴音器效果影響。

取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activiy/race-1/47/high/031607.pdf>

鄭融駿(n.d.) 吉他發聲原理。

取自 <http://eportfolio.lib.ksu.edu.tw/~4990N093/blog?node=000000040>

【評語】 030110

1. 能從生活出發，探討樂器的相關科學因素，變因控制精確，能提出有效結論。
2. 能以雷射雕刻製作所需研究器材，充分運用創客相關資源於科學研究，值得肯定。
3. 同學表現有大將之風，報告得體有自信。
4. 建議可結合更多的物理原理，來佐證所得之結論，將可讓作品更加精采。

研究動機

我們好奇烏克麗麗有一個大大的圓孔在中央；小提琴卻是兩個 f 孔對稱在弦的兩側，因此想探討不同的音孔數量、形狀會如何影響到響度的表現。一般的樂器音箱大部分為木質，所以我們實驗選擇用木屑壓縮而成的壓縮板來製作音箱；在彈奏樂器時，撥弦力道大小會影響響度，因此發想製作可以控制撥弦力道的工具進行實驗探討。

編碼規則

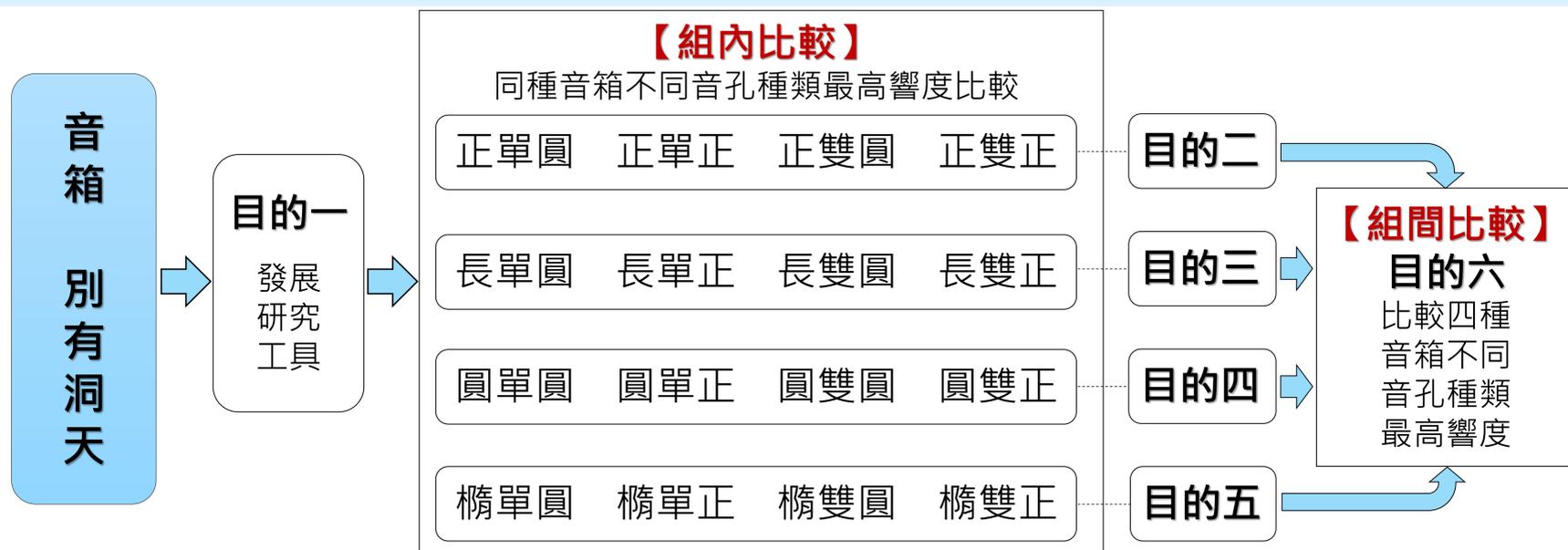
正
雙
圓

第一個字代表音箱形狀
例如：正、長、圓、橢

第二個字代表音孔數量
例如：單、雙

第三個字代表音孔形狀
例如：正、圓

研究目的與流程

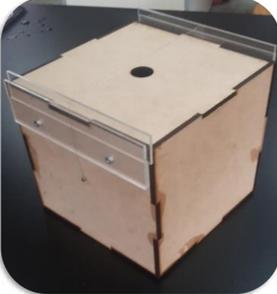


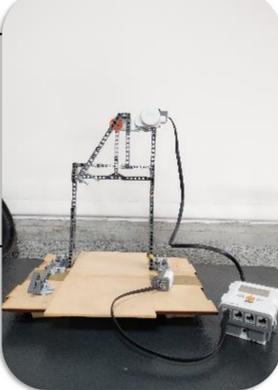
研究工具

第一代實驗我們以鑲嵌的方式製作音箱，因此無法製造圓柱體和橢圓柱體音箱，且早期實驗有許多控制變因導致的實驗誤差，因此我們進行許多的修正而產生第二代實驗。而第二代實驗中，不論是長方體音箱的寬高比、長高比，或是橢圓柱體音箱的長軸短軸比皆遵守數學上的黃金比例。

第一代實驗

第二代實驗

音箱形狀	正方體音箱 長方體音箱		正方體音箱 長方體音箱 圓柱體音箱 橢圓柱體音箱		
製作方式	切出音箱的六個面 並鑲嵌而成		木條堆疊 並鋪平內側		
音箱高度	長方體音箱13.5公分 正方體音箱17.83公分		皆為19.5公分		
黃金比例	無		長方體音箱的寬高比、長高比； 橢圓柱體音箱的長軸短軸比		

音箱個數	兩組 有兩種高度的音箱，因而製作出兩種		一組 音箱高度固定，只需一種	
撥弦程式	一個程式 每個數據都需人力啟動程式，效率差		兩個程式 1. 按一次撥弦一次 2. 重複無限次	
壓弦	人工壓弦 力道無法控制		機械壓弦 樂高製作Stopper代替手壓弦	
音箱位置	沒有固定		固定 雕刻音箱形狀於底板，確保音箱擺放位置	

收音環境	藥品室 隔音不佳，背景噪音多		自製隔音箱 紙箱內部貼上隔音棉，隔絕環境噪音
------	-------------------	---	---------------------------

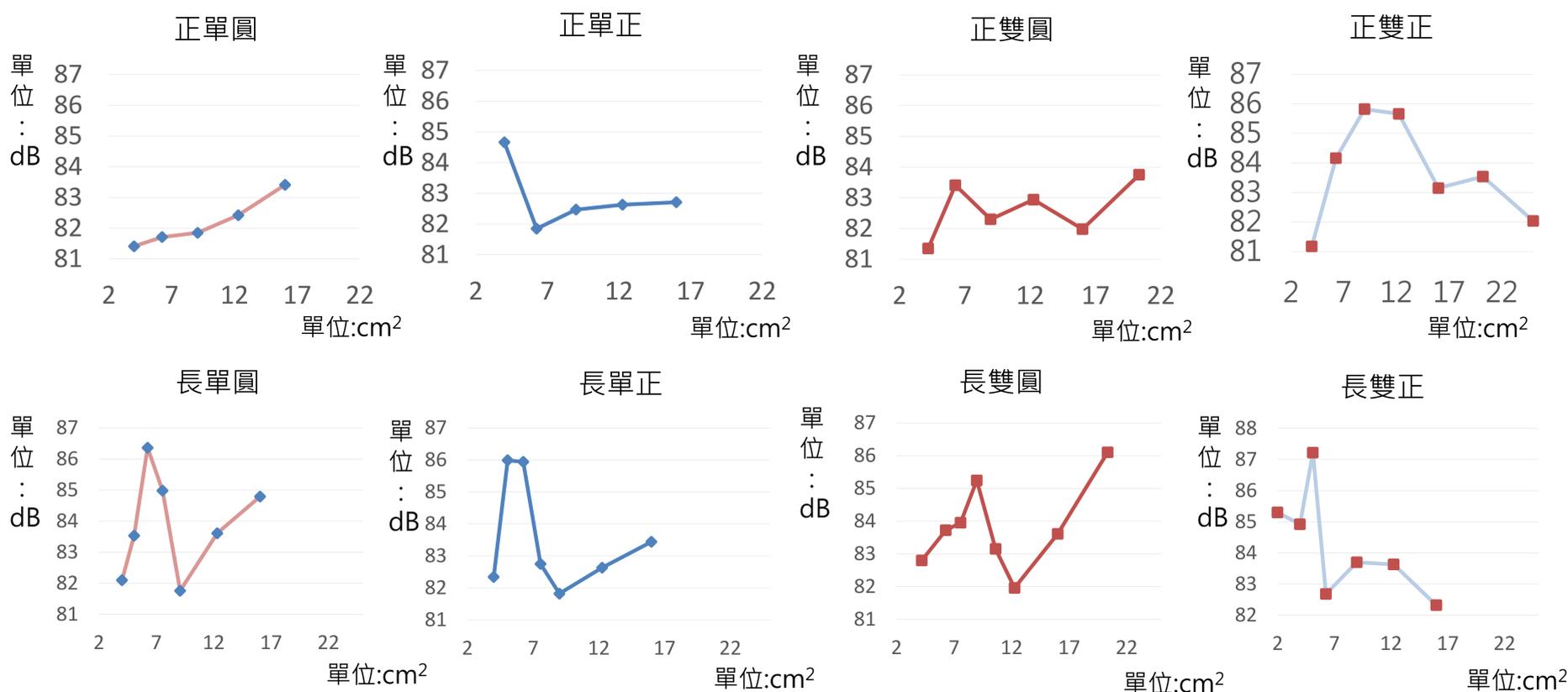
實驗流程

◆ 以正方體音箱為例，其他實驗皆遵從此方式

1. 先將音箱放入撥弦工具內，並對齊底板正方形的雕紋。
2. 測量正方體音箱在沒有蓋上音孔板狀態下的頻率，調整並確認**頻率為 415 赫茲**（其他音箱都固定此頻率）。
3. 蓋上欲測量的音孔板。
4. 啟動撥弦工具撥弦，同時用手機測量響度，並紀錄實驗數據。
5. 一個音孔板進行十次實驗，測量十個數據。
6. 將數據輸入Excel，並計算平均及標準差。
7. 分別測試面積約為 2、4、6、8、10、12、14、16、18、20 平方公分的圓形單孔，重複步驟 3 ~ 6。
8. 換上圓型雙孔、正方形單、雙孔，並重複步驟 3 ~ 7。
9. 依序換上長方體、圓柱體及橢圓柱體音箱，重複步驟 3 ~ 8。
10. 比較四種音箱與四種音孔所有搭配測得的數據。

研究結果與討論

一. 第一代實驗結果

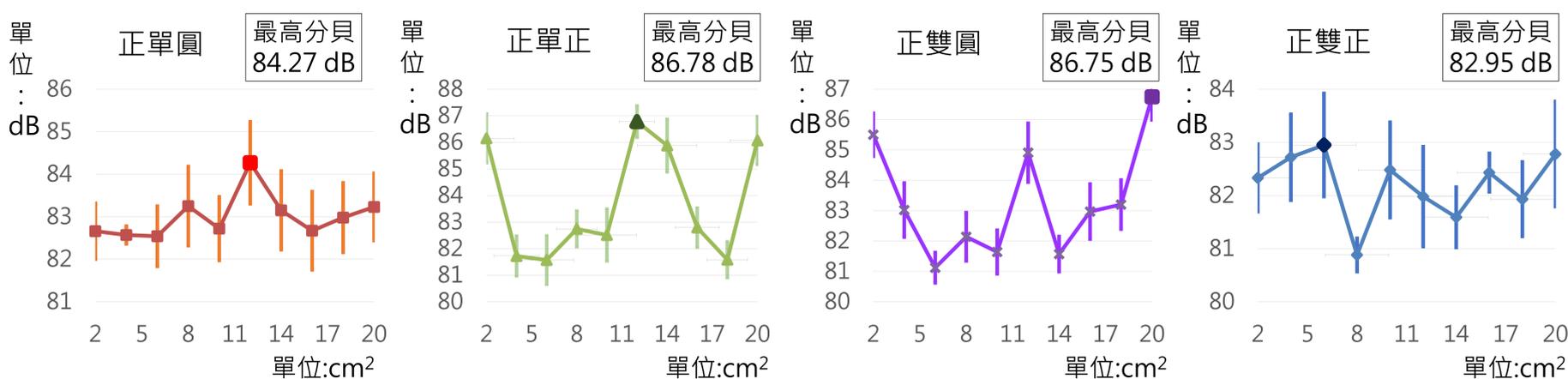


二. 第二代實驗裝置與實驗結果



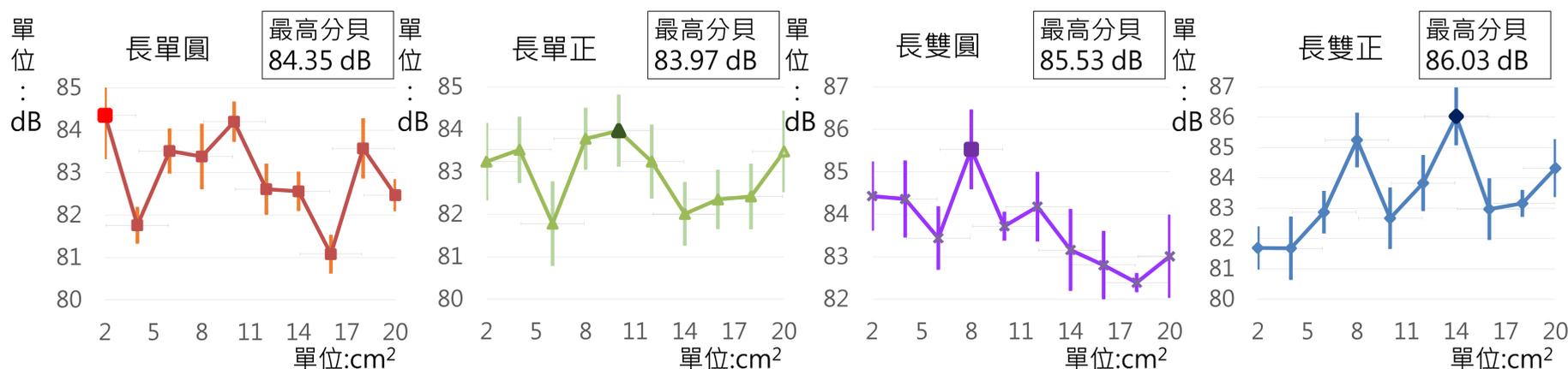
組內比較

正方體音箱不同音孔種類最高響度比較：



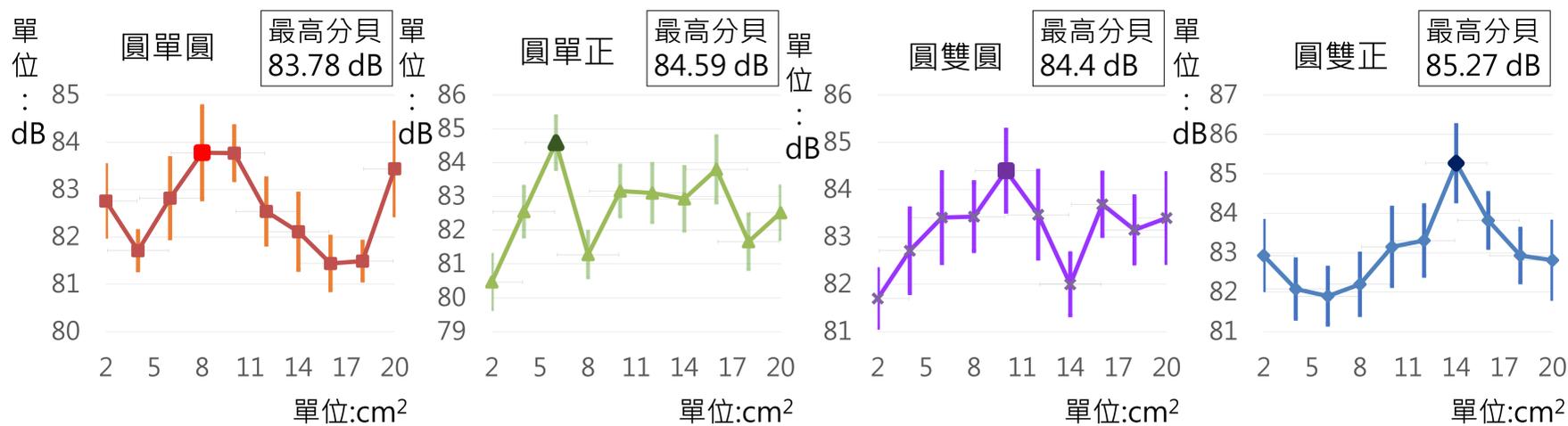
最高響度排序為：正單正 > 正雙圓 > 正單圓 > 正雙正。

長方體音箱不同音孔種類最高響度比較：

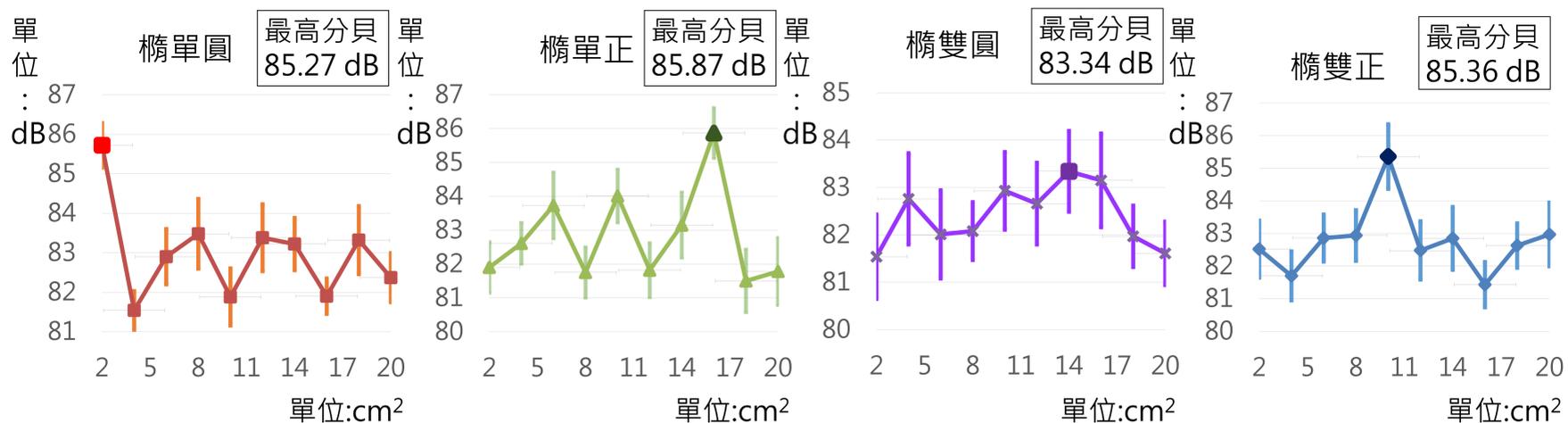


最高響度排序為：長雙正 > 長雙圓 > 長單圓 > 長單正。

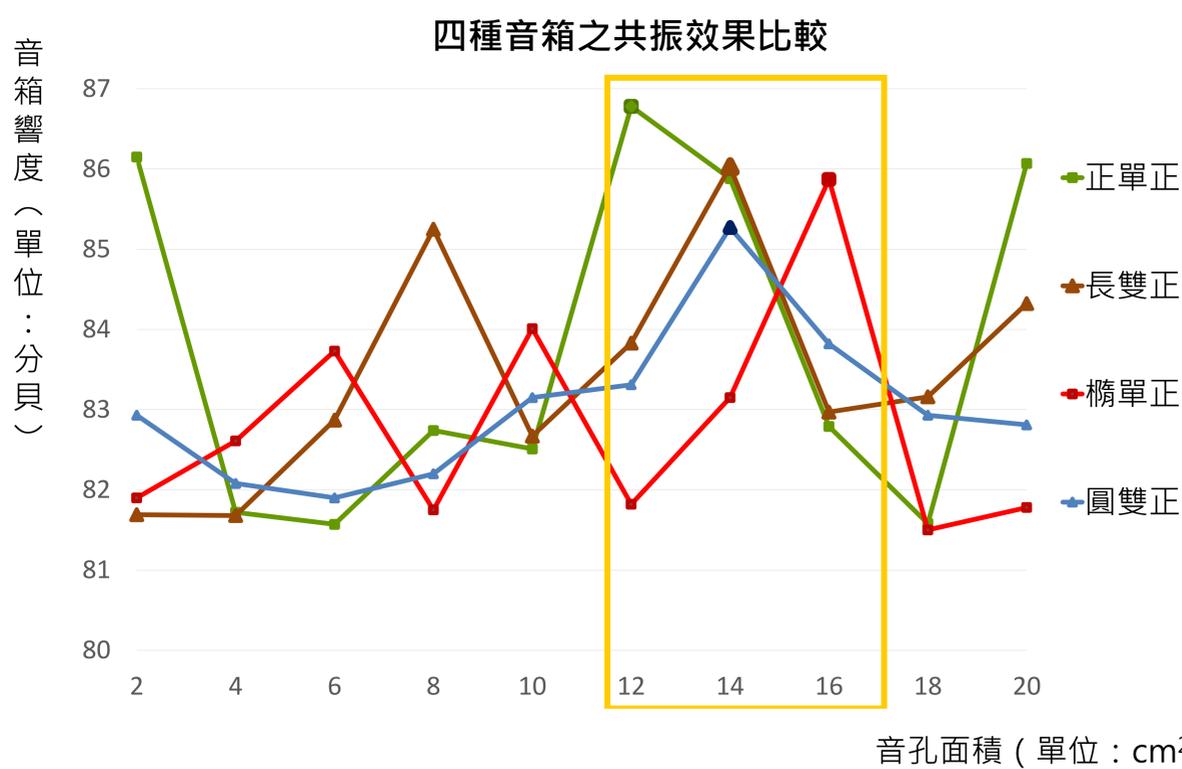
圓柱體音箱不同音孔種類最高響度比較：



橢圓柱體音箱不同音孔種類最高響度比較：



組間比較



在四種音箱的最高響度比較中，得到：

正單正 86.78 dB >
長雙正 86.03 dB >
橢單正 85.87 dB >
圓雙正 85.27 dB

且發現四個最高響度數據恰好都落在音孔面積 12 到 16 平方公分的區間。

結論與展望

結論：

- 各種音箱和音孔板的組合，其響度和音孔面積的關係皆呈波浪狀的趨勢。而本研究中四種產生最大值的音箱音孔組合中，最大響度都出現在音孔面積 12 到 16 平方公分的區間。
- 四種音箱間的最大響度比較結果為：**正單正 > 長雙正 > 橢單正 > 圓雙正**
 因此得知：**底面為矩形的音箱 > 底面為圓形橢圓形的音箱**
 最後分類比較後得知：**單孔效果大於雙孔；正方形音孔最佳。**
- 我們發現正方體音箱、正方形音孔及單孔的組合共振效果最佳，建議老師們在類似實驗中，可多加利用正方形元素進行實驗。

展望：

我們期待能夠將本實驗中所取得共振效果最好之音箱組合，融入目前最受注目的能源議題，改良風力發電，取代目前風力發電所使用的扇葉。運用共振原理將共振能量帶動面板震動進行發電 (Sodano et al., 2004)，期待能改善現今風力發電噪音及影響鳥類的問題。

參考文獻

王嘉信、姜羽庭、陳頌翰、陳燕清 (2016) 「聲」獲好「頻」--探討影響指喇叭音頻變化之因素。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/080120.pdf>
 李承恩、吳昱韻、吳程駿、林崇義、陳廷瑜、游茜雯 (2011) 比比誰最吵！不同音箱的響度差異研究。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/080123.pdf>
 邱劭亭、蔡宛珊 (2009) 『肚』裡乾坤，不同凡『響』。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/080108.pdf>

徐宇潔、張哲嘉、曾俊璋 (2010) 當號角響起~探究影響自製喇叭聲音之因素。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/080813.pdf>
 教育部 (2018) 十二年國民基本教育課程綱要國民中學暨普通型高級中等學校-科技領域。
 黃紫涵、黃敬哲、廖雅芳 (2007) 大聲公·不用錢-探討紙杯喇叭的外型與放置地點對擴音器效果影響。取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/47/high/031607.pdf>
 Sodano H.A., Inman D.J. and Park G., "A review of power harvesting from vibration using piezoelectric materials," *The Shock and Vibration Digest*, v. 36(3), p. 197-205, 2004