

2016 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160033
參展科別 物理與天文學
作品名稱 樂器研究—雙音箱柳琴
得獎獎項 大會獎：四等獎

就讀學校 臺北市立麗山高級中學
指導教師 張良肇、馮愛蓮
作者姓名 楊絮如、楊舒閔、蘇庭萱

關鍵字 柳琴、雙音箱、響應

作者簡介



我是楊絮如，就讀麗山高中二年級，本身有學過一點音樂，對樂理頗為熟悉，又剛好組員對柳琴熟悉，正好藉此機會能對柳琴做研究，在研究過程中遇到了不少阻礙和困難，在老師的協助及組員的共同努力下，也順利度過了，很感謝一路上幫助、支持我們的人，很開心能參加這次比賽，入選對我們來說便是一大肯定，給予我們更大的動力把研究做得更完整。



我是楊舒閔，麗山高中二年級的學生，很喜歡有關於音樂的事情，所以這次的實驗主體我很樂在其中。本身就有在學柳琴，因此對於柳琴的構造以及發聲原理、聲音特色都算是頗熟悉，所以在做實驗的時候可以很快就上手。

頗熱衷於親手做實驗、對於不懂的事情總是追問到底，很喜歡嘗試新的事物，新的事物對我來說就是進步的一動力。



我是蘇庭萱，就讀麗山高中二年級，這次參賽所研究的主題是雙音箱柳琴，很高興能參加這次比賽。我本身就對樂器很感興趣，剛好有同學會彈柳琴，就一起做了這項實驗，謝謝指導老師的教導、夥伴們間互相幫助、還有朋友們的支持和鼓勵，不管這次得獎與否，都會是一個美好的經驗。

摘要

雙音箱柳琴和單音箱柳琴的不同處在於雙音箱柳琴比單音箱柳琴多加裝了一個共鳴板。我們想要了解單音箱和雙音箱柳琴的結構、發聲原理的不同。首先測量單音箱柳琴的頻率。之後把面板取下，並沿琴緣加高五公分。再次測量加高後柳琴的頻譜，又分別測量有加裝直徑十公分和直徑十八公分的圓形共鳴板的頻譜。本實驗測量三種柳琴，單音箱柳琴、加高音箱的柳琴、雙音箱柳琴。整理過測量到的頻譜圖後，發現雙音箱柳琴比單音箱柳琴更容易產生高頻，在單音箱柳琴、加高音箱的柳琴、雙音箱柳琴這三種類型的柳琴中，只有雙音箱柳琴的高頻最為顯著。另外，十八公分的共鳴版比十公分的共鳴版更能在高頻達到共鳴效果，四條弦中一弦(最細弦)可以產生最高頻率、最大響度。透過此雙音箱柳琴的實驗，希望可以將其原理應用在其他弦樂器上。

Abstract

On account of wanting to realize the comparism of the structure and the sounding theory between single sounding box liuquin and double sounding box liuquin. Double sounding box liuquin is an instrument that has a sounding board put inside the sounding box, which can makes two frequency to rhyme a better sound.

So first, we determined the frequency of single sounding box liuquin, using the application called spectrum analyzer, and cut down the panel. Then we added up the backplane for five centimeters. After that, we put the ten and eighteen centimeters in diameter into the sounding box and measure each of the three types of liuquin again.

Through the frequency we get, we found that double sounding box liuquin can make higher quality frequency. Between single sounding box, the single sounding box of added up the backplane, and double sounding box liuquin, only the frequency of high quality of double sounding box liuquin is the most obvious. And the sounding board, the vibration of the eighteen centimeters in diameter is better than the ten centimeters in diameter. Also, the most delicate string makes the most prominent vibration. Of all the above, we wish we can use our experiment on other stringed instruments.

壹、研究動機與目的

一、研究動機

柳琴的發聲方式是由琴碼將弦震動的聲音傳遞到面板，經面板震動共鳴箱內的空氣使聲波向內傳遞。聲波碰到背板產生反射在共鳴箱內使聲波產生駐波的現象，藉以放大音量，而後從音窗傳出。雙共鳴箱柳琴的內部結構與傳統柳琴最大的差異，就在於雙共鳴箱柳琴在共鳴箱內多了一層木製的共鳴板，這一層板最大的功能是改變共鳴箱的空間大小和位置，藉由音柱傳震的作用，使得

共鳴板亦能產生聲波的作用，但也同時提供反射的作用，類似小提琴發聲的效果。

雖然兩柳琴的結構除了音箱差異之外，大致都相同，但彈奏出來的聲音卻有頗大不同。雙音箱柳琴所彈奏出的聲音與單音箱柳琴相較之下，明顯音量大聲了許多，製造出的雜音也相對減少，且各音區的發聲更為平均，讓柳琴所發出的琴聲更加動聽。

貳、研究目的

一、研究目的

- (一) 雙音箱柳琴的共鳴板對柳琴的發聲有何影響
- (二) 共鳴板的大小對雙音箱柳琴的發聲有何差異
- (三) 共鳴板的擺設位置對雙音響柳琴所發出的聲音有何影響
- (四) 共鳴板的形狀對雙音箱柳琴的發聲有何影響
- (五) 雙音箱柳琴琴弦的時間延遲為？如何影響琴弦發出的聲音
- (六) 統整以上幾點問題，什麼大小、形狀、位置的共鳴板，能使柳琴發出的聲音最為好聽

參、研究方法

一、研究物體

- (一) 雙音箱柳琴(如圖一)



(圖一，自製雙音箱柳琴)

介紹:單音箱柳琴的改造，兩者間的差異為雙音箱柳琴在其共鳴腔中增加一
共鳴板，產生兩共振腔，以此改變單音箱柳琴的結構，使柳琴發出的聲音
更加好聽。

二、研究過程

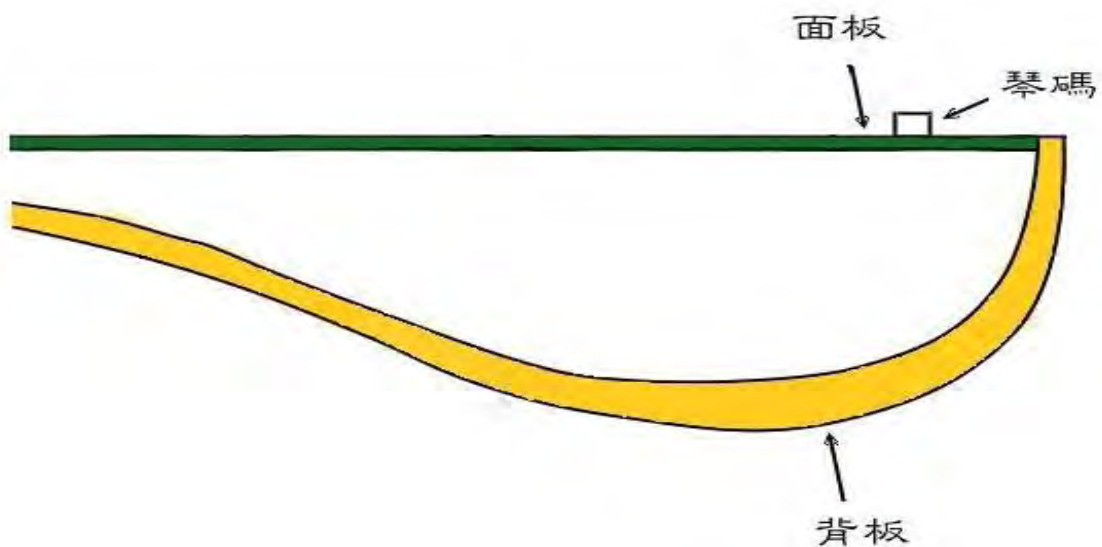
(一)單、雙共振腔研究

1. 比較單、雙共振腔間的差異

(1)自製一單空腔(如圖二)，測量其振動頻率



(圖二，單音箱柳琴)

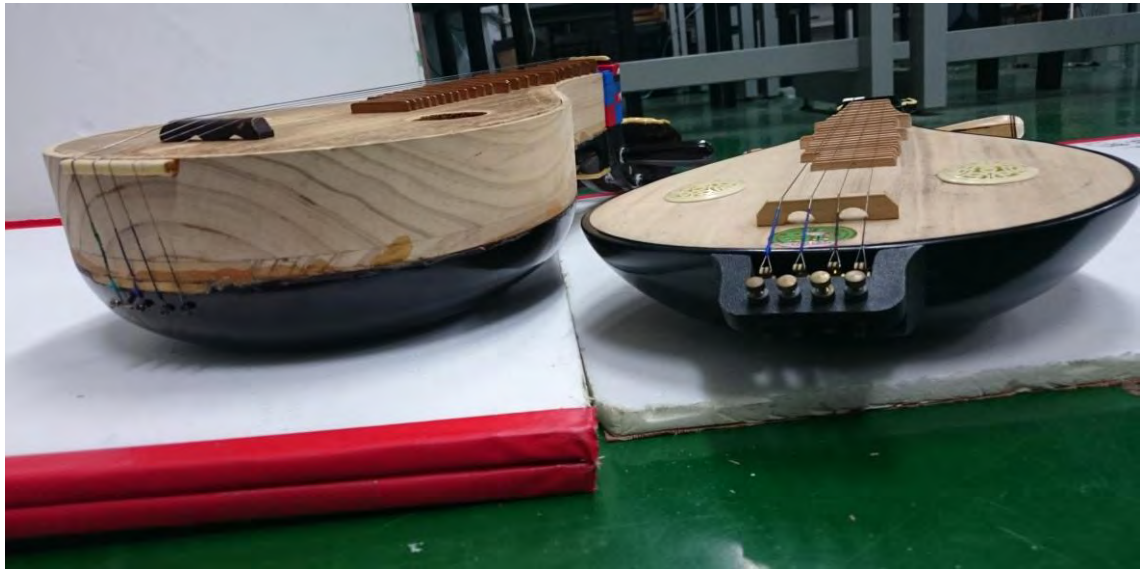


(圖三，單音箱柳琴空腔示意圖)

- 拿一單音箱柳琴，將其四條弦的定弦調成 GDGD (Sol Re Sol Re)
- 彈奏單音箱柳琴，用一量測頻率的手機 app-Spectrum Analyzer 量測柳琴四條弦的頻率頻譜圖
- 記錄柳琴的特徵頻率值與分貝大小

(2)自製一增大體積之空腔，測量其振動頻率

- 用雕刻刀將舊單音箱柳琴的面板取下，以便改變單音箱柳琴之結構
- 在單音箱柳琴的琴緣上以木板增高 5 公分(如圖四)，增大共鳴板體積

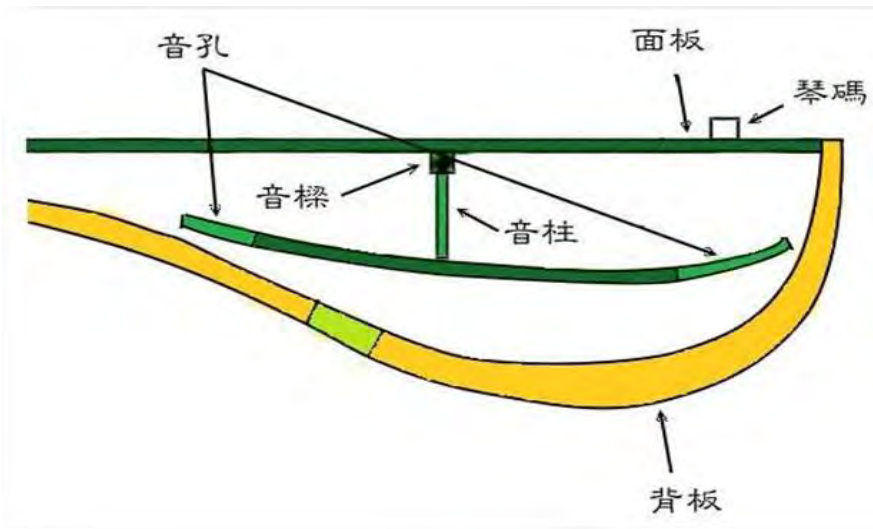


(圖四，增高 5 公分之單音箱柳琴和原始單音箱柳琴示意圖，左方為增高後的柳琴，右方為原本的單音箱柳琴)

- c. 以白膠黏回柳琴面板，回復成單音箱柳琴的原使樣貌
 - d. 將琴弦定弦調稱 GDGD
 - e. 彈奏增高之單音箱柳琴，用手機 app-Spectrum Analyzer 量測柳琴四條弦的頻率
 - f. 記錄柳琴的頻率數據
- (3) 自製一雙空腔，測量其振動頻率
- a. 用雕刻刀將增大體積之單音箱柳琴的面板割下，以便改變柳琴之結構
 - b. 在面板的背面以黏土黏上一木條，做為柳琴之音樑
 - c. 以螺絲在音樑上栓上一琴柱
 - d. 共鳴板以鐵釘釘在琴柱上(如圖五)



(圖五，面板背面與弦樑、弦柱、共鳴板相連知示意圖)



(圖六、雙音箱柳琴內部空腔示意圖)

- e. 以白膠黏回柳琴面板，回復成單音箱柳琴的原使樣貌
- f. 將琴弦定弦調稱 GDGD
- g. 彈奏改造之雙音箱柳琴，用手機 app-Spectrum Analyzer 量測柳琴四條弦的頻率
- h. 記錄柳琴的頻率數據

(4) 整理數據做出結論

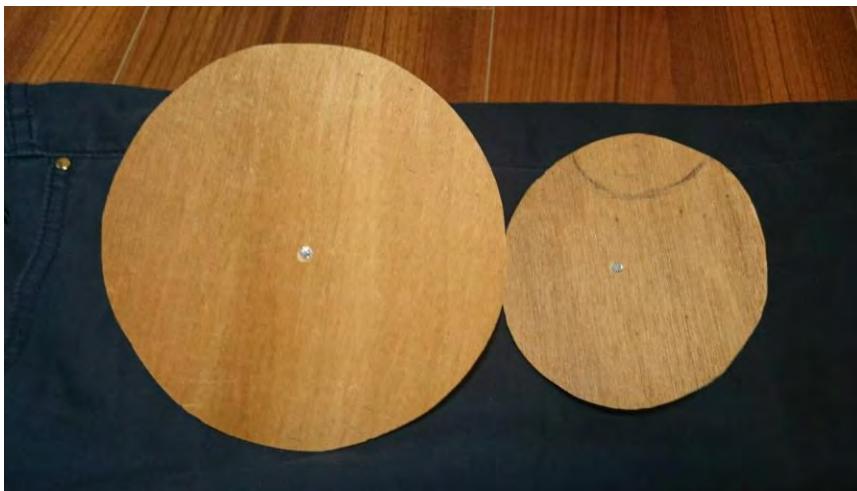
- a. 比較三種柳琴的特徵頻率位置
- b. 比較強度變化與強度分布

(二) 共鳴板大小研究

1. 比較不同大小共鳴板對雙音箱柳琴發出之差異

(1) 準備兩不同大小之共鳴板

- a. 拿放入共鳴板之柳琴，用雕刻刀柳琴的面板取下，以便改變柳琴之結構
- b. 以木板製作直徑分別為 10 公分、18 公分的共鳴板各一(如圖七)



(圖七，10 公分、18 公分共鳴板示意圖)

(2) 裝上直徑 10 公分之共鳴板

- a. 將 10 公分的共鳴板以鐵釘釘在琴柱上
- b. 以白膠黏回柳琴面板，回復成柳琴的原使樣貌
- c. 將琴弦定弦調稱 GDGD
- d. 彈奏裝 10 公分共鳴板之雙音箱柳琴，用手機 app-Spectrum Analyzer 量測柳琴四條弦的頻率
- e. 記錄柳琴的頻率數據

(3) 裝上直徑 18 公分之共鳴板

- a. 拿放入共鳴板之柳琴，用雕刻刀將柳琴的面板割下，以便改變柳琴之結構
- b. 將 18 公分的共鳴板以鐵釘釘在琴柱上
- c. 以白膠黏回柳琴面板，回復成柳琴的原使樣貌
- d. 將琴弦定弦調稱 GDGD
- e. 彈奏裝 18 公分共鳴板之雙音箱柳琴，用手機 app-Spectrum Analyzer 量測柳琴四條弦的頻率
- f. 記錄柳琴的頻率數據

(4) 整理數據做出結論

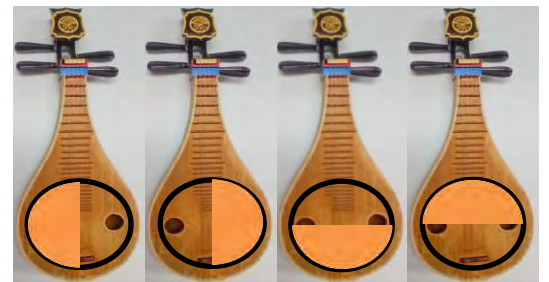
- a. 整理兩份數據並加以分析
- b. 分析數據並做出結論

(三) 共鳴板的擺設位置研究

1. 取直徑 18cm 的半圓形共鳴板做研究

(1) 分別置於不同位置(如圖八)

- a. 左邊
- b. 右邊
- c. 底部
- d. 上部



(圖八，不同位置之共鳴板)

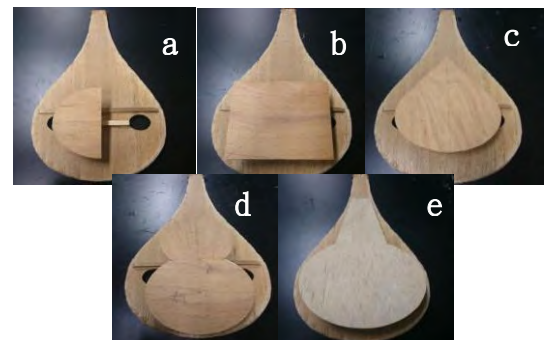
(2) 整理數據做出結論

(四) 共鳴板的形狀研究

1. 比較不同形狀共鳴版對雙音箱柳琴發音之差異

(1) 準備不同形狀之共鳴板(如圖九)

- a. 半圓(右)
- b. 長方形
- c. 水滴型
- d. 雪人型(兩大小不同的圓)
- e. 最接近腔體之形狀



(圖九，各形狀之共鳴板)

(2) 整理數據做出結論

(五) 量測及觀察琴弦的時間延遲

1. 測量琴弦的時間延遲

- (1) 架設錄影機，錄下頻譜的頻率變化

2. 觀察琴弦的時間延遲

(1) 從影片中擷取，1/10 秒一張

(2) 比較分析頻率的衰減

(六) 求出共鳴板最佳大小、形狀、位置

1. 分析以上實驗數據

2. 求出共鳴板最適合的大小、形狀、位置

肆、研究結果及討論

一、單、雙共振腔研究

(一) 以四弦的頻譜作比較

1. 單音箱柳琴的低頻響應較為明顯，但高頻部分較不顯著。

2. 空腔的低頻響應減弱，但高頻時有較單音箱顯著。

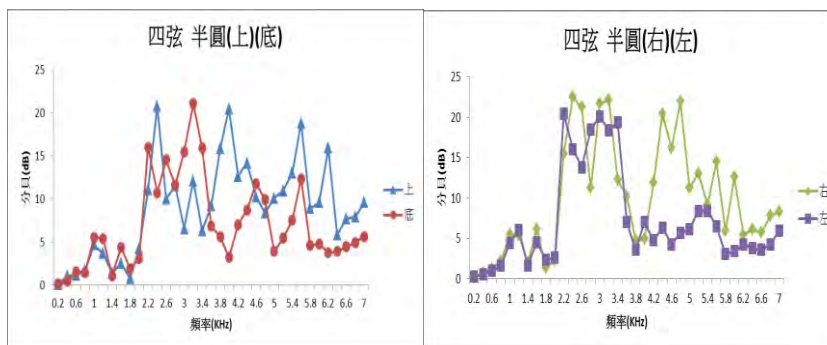
3. 雙音箱的低頻響應較單音箱明顯減弱，但在高頻響應最強。

二、共鳴板大小研究

(一) 以四弦(最粗弦)及一弦(最細弦)的頻譜作比較

1. 直徑 10cm 圓在低頻時響應較顯著，但在高頻時差直徑 18cm 圓一點。

三、共鳴板的擺設位置研究

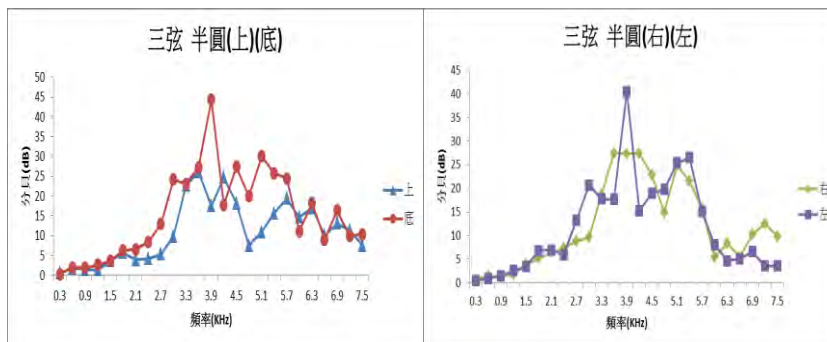


(圖十，四弦之不同位置共鳴板比較)

(一) 以四弦頻譜作比較(如圖十)

1. 上、底部相比，底部在低頻時響應較強，上部則是在高頻時響應較強。

2. 左、右邊相比，右邊響應較強。

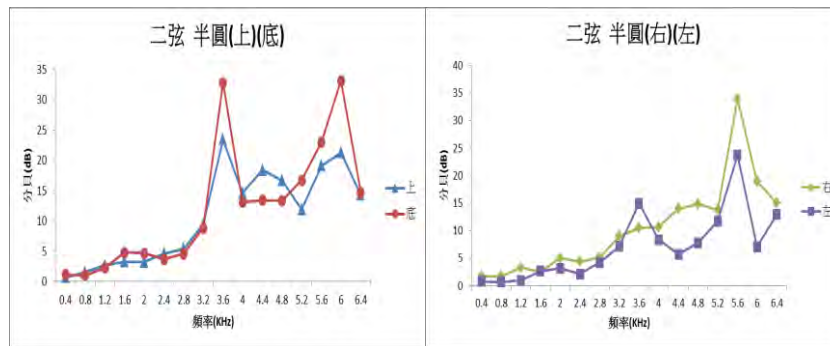


(圖十一，三弦之不同位置共鳴版比較)

(二) 以三弦頻譜作比較(如圖十一)

1. 底、上部相比，底部響應大多較強，且在 3.9KHz 時有高峰值出現。

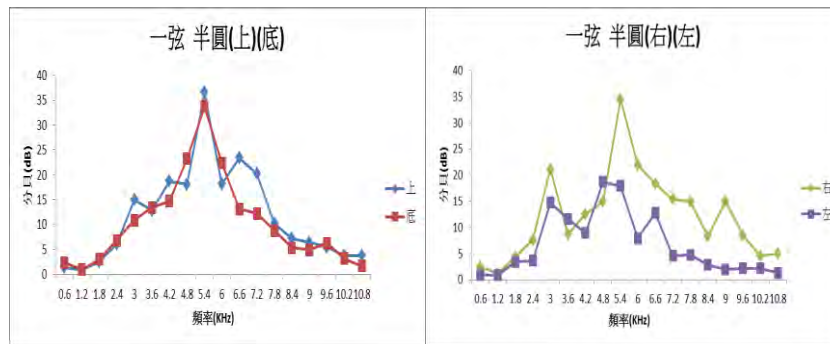
2. 左、右邊相比，左邊在 3.9KHz 時出現高峯值，但右邊在高頻響應較強。



(圖十二，二弦之不同位置共鳴版比較)

(三)以二弦頻譜作比較(如圖十二)

1. 上、底部相比，在 3.6KHz、6.0KHz 時，底部共鳴板使響應加強。
2. 左、右邊相比，右邊普遍響應較強。

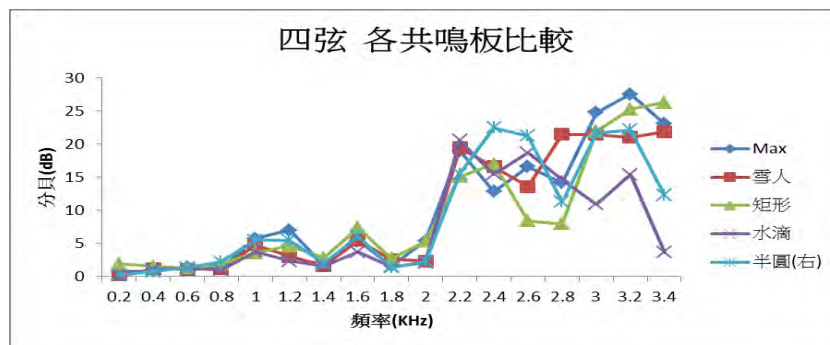


(圖十三，一弦之不同位置共鳴板比較)

(四)以一弦頻譜作比較(如圖十三)

1. 上、底部相比，兩趨勢極為相似，唯上部響應略強一點，且在 6.6KHz、7.7KHz 有較強的響應。
2. 右邊相比，兩音頻趨勢相似，但右邊響應明顯較左邊強。

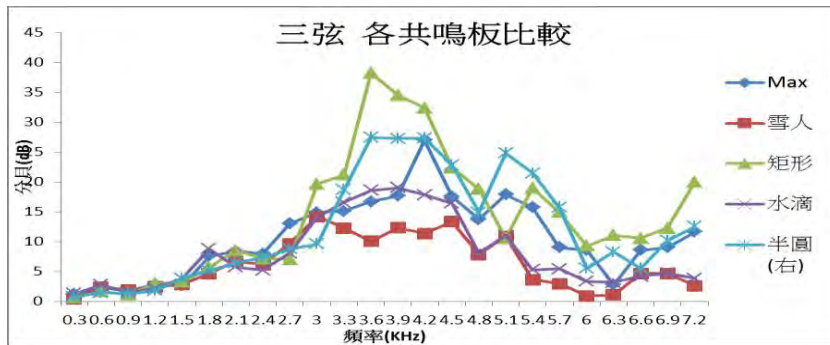
四、共鳴板的形狀研究



(圖十四，四弦之各共鳴板比較)

(一)以四弦頻譜作比較(如圖十四)

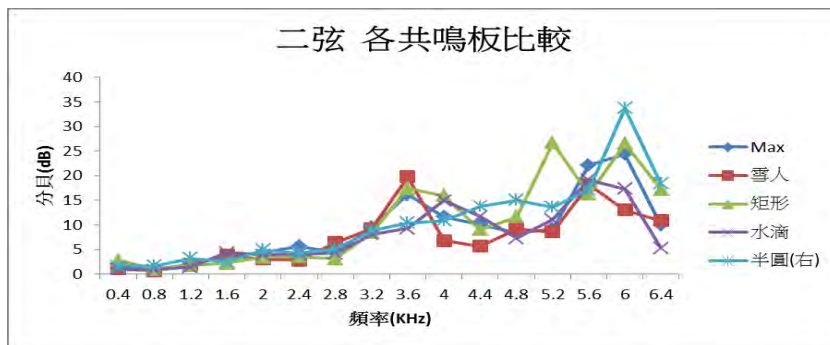
1. 水滴形在高頻時，響應最弱，半圓次之。
2. 最大面積和水滴形的趨勢變化相像，但最大面積在高頻時響應較強。



(圖十五，三弦之各共鳴板比較)

(二)以三弦頻譜作比較(如圖十五)

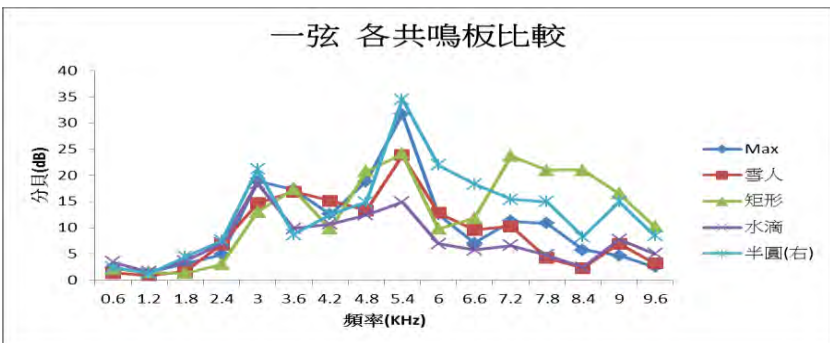
1. 皆在高頻處響應明顯增強，反而在 4.8KHz、6.0KHz 失去響應增強。
2. 矩形在高頻響應最強，半圓(右)次之。



(圖十六，二弦之各共鳴板比較)

(三)以二弦頻譜作比較(如圖十六)

1. 最大面積和水滴形趨勢變化相像，且數值接近，但最大面積在高頻響應較水滴形強。
2. 半圓(右)在高頻響應最強，最大面積次之，但最大面積的響應較平均。

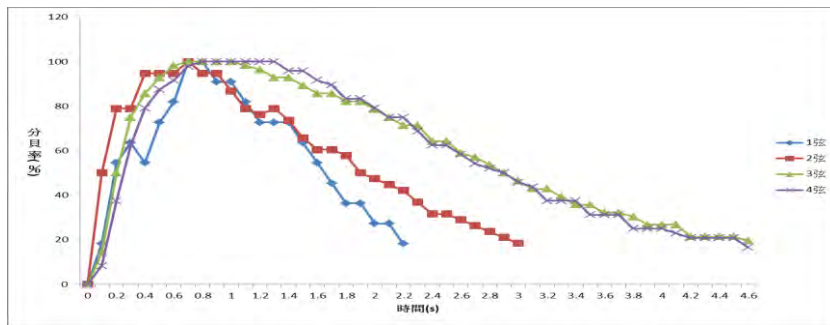


(圖十七，一弦之各共鳴板比較)

(四)以一弦頻譜作比較(如圖十七)

1. 半圓(右)和雪人形趨勢變化相似，但半圓的響應較強。
2. 雪人形和水滴形趨勢變化相似，但雪人形響應較強。
3. 矩形在五者之中，在高頻的響應較強。

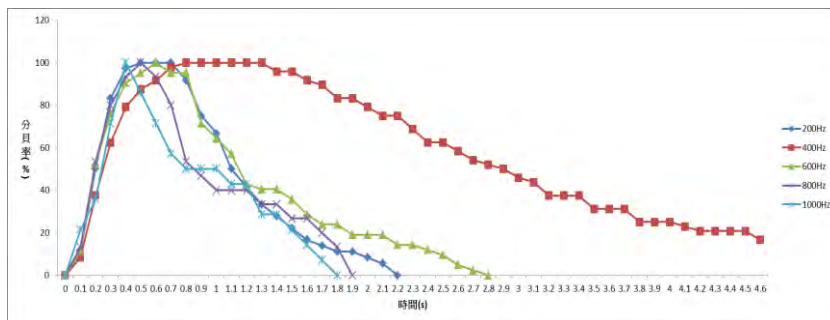
五、量測及觀察琴弦的時間延遲



(圖十八，四條弦之時間延遲)

(一)以每條弦時間延遲最久的頻譜作比較(如圖十八)

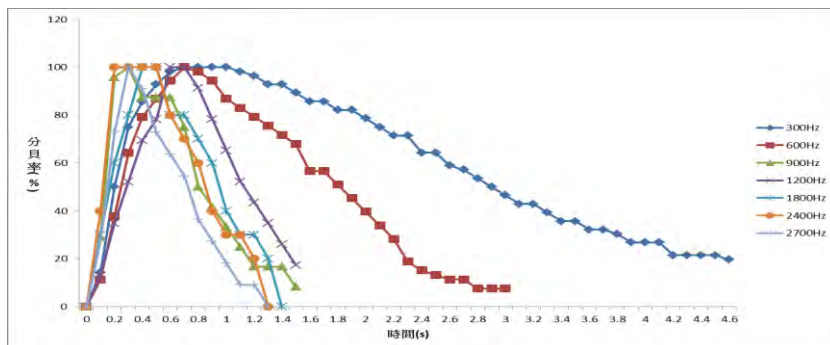
1. 三弦和四弦(較粗)時間可延遲較久。
2. 每條弦在衰減時都會有滯留期使其聲音可以延遲較久。
3. 弦的衰減週期平均為 0.2 秒。



(圖十九，四弦之各頻率時間延遲)

(二)以四弦頻譜作比較 (如圖十九)

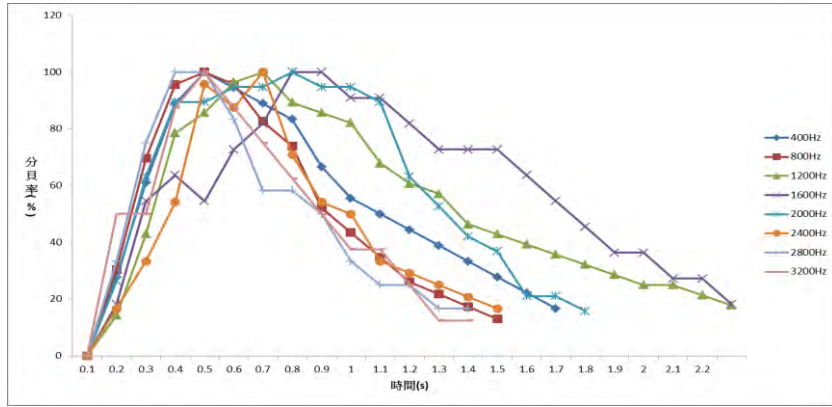
1. 最早出現頻率(基頻, 200Hz)和時間延遲最久之頻率(400Hz)相差兩倍。
2. 200Hz 和 1000Hz 成互補關係。



(圖二十，三弦之各頻率時間延遲)

(三)以三弦頻譜作比較(如圖二十)

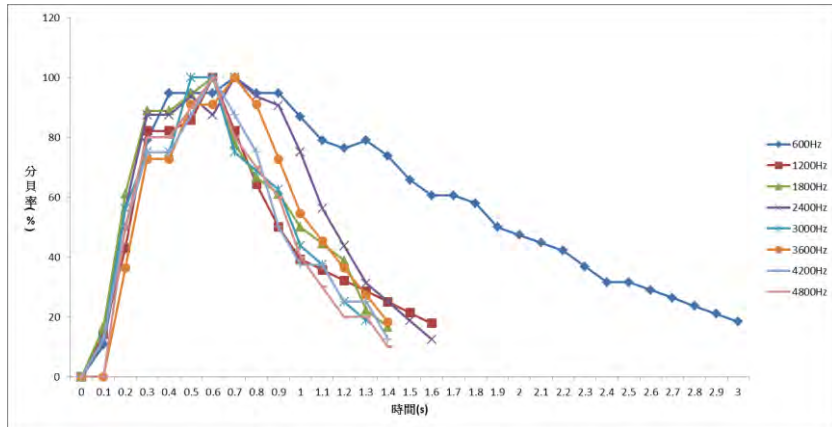
1. 最早出現頻率(900Hz)和時間延遲最久之頻率(基頻, 300Hz)相差三倍。
2. 900Hz 和 1800Hz 成互補關係。



(圖二十一，二弦之各頻率時間延遲)

(四)以二弦頻譜作比較(如圖二一)

1. 最早出現的頻率(基頻, 400Hz)和時間延遲最久之頻率(1600Hz)相差四倍。
2. 800Hz 和 2400Hz、1200Hz 和 2400Hz 成互補關係。



(圖二十二，一弦之各頻率時間延遲)

(五)以一弦頻譜作比較(如圖二十二)

1. 最早出現的頻率(3000Hz)和時間延遲最久之頻率(基頻, 600Hz)相差五倍。
2. 600Hz 和 1200Hz、600Hz 和 1800Hz、600Hz 和 2400Hz、600Hz 和 3000Hz、1200Hz 和 2400Hz 成互補關係。

伍、結論

一、雙音箱柳琴的共鳴板對柳琴的發聲有何影響？

- (一)單音箱柳琴的低頻響應明顯，將腔體加大後，低頻響應會減弱，但高頻響應會些微增加。
- (二)在腔體中加入共鳴板後，低頻響應又再減弱，但高頻響應明顯增加，可知加入共鳴板可使高頻產生，增加頻率的豐度。

二、共鳴板的大小對雙音箱柳琴的發聲有何差異？

(一)以大、小兩圓作比較，小圓在低頻響應較為顯著，而大圓則能產生高頻，可知小圓對柳琴的發聲影響不大，換言之，因為單音箱柳琴本身就是低頻響應較強，所以要一定面積的共鳴版才會對雙音箱柳琴造成影響。

三、共鳴板的擺設位置對雙音響柳琴所發出的聲音有何影響？

(一)左、右邊相比，右邊的響應在四條弦中普遍較強。

(二)在四弦中，上、底部相比，底部在低頻時響應較強，上部則是在高頻時產生較強的響應，但因為四弦本屬於較低音頻的弦，故若能使高頻率響應較強，四弦的聲音便越豐富，聽起來就會更悅耳，故認為半圓(上)之共鳴板對四弦會有較佳效果。

(三)在三弦中，在左邊及底部的共鳴板皆發現在 3.9KHz 的響應特強，推測可能是因為三弦的位置靠近左側，且彈撥位置靠近底部，所造成與右側及上部共鳴板的差異。而上、底部共鳴板相比，因底部響應較上部強，故認為半圓(底)的共鳴板對三弦會有較佳效果。

(四)在二弦中，上、底部相比，底部能使原高峰值的響應再增強，但在其他頻率則幾乎和上部一樣，某些頻率特別突出會使聲音聽起來不和諧，故認為半圓(上)之共鳴板對三弦會有較佳效果。

(五)在一弦中，上、底部共鳴板相比，兩響應強度幾乎一樣，但上部在 6.6KHz、7.2KHz 有較強的響應，因為在 5.4KHz 時的響應太強，故若有其他較強響應的頻率才能使聲音聽起來較為和諧，所以認為半圓(上)對一弦會有較佳效果。

四、共鳴板的形狀對雙音箱柳琴的發聲有何影響？

(一)因(三)可知，半圓(右)較半圓(左)對雙音箱柳琴能達較佳的效果，又半圓(上)、半圓(底)對雙音箱柳琴的影響較不穩定，故在這選擇半圓(右)做一不同的形狀。

(二)在四弦時，最大面積之共鳴板對其頻率產生較為穩定，且在高頻時響應較其他四者強，故認為最大面積之面板對四弦能有最佳效果。

(三)在三弦時，發現在 4.8KHz、6.0KHz 響應減弱，有討論空間，而矩形和半圓(右)在高頻時響應增強。

(四)在二弦時，半圓(右)之共鳴板又比最大面積之共鳴板更為穩定，且在高頻時響應較強，故認為半圓(右)之共鳴板對二弦能有最佳效果。

(五)在一弦時，半圓(右)之共鳴板較為穩定，故認為半圓(右)之共鳴板對一弦能有最佳效果。

(六)矩形共鳴板較其他四者沒有明顯的關係變化，在各弦中皆有特殊之峰值產生，推測可能是共鳴板本身較其他四者有稜有角，故會有其他四者沒有峰值產生。

(七)綜上可發現，在會對高頻產生影響的一定面積面板中，較大面積對三、四弦(較低頻)影響較大，較小面積對一、二弦(較高頻)影響較大。

五、雙音箱柳琴琴弦的時間延遲為？如何影響弦發出的聲音？

- (一) 頻率差整數倍關係時會互補
- (二) 延遲最久的頻率和基頻成整數倍關係
- (三) 一、三弦最久的時間延遲皆出現於基頻中，但二弦的是出現在第三泛音，而四弦的是出現在第一泛音
- (四) 量測各弦的質量、繩張力、線密度，根據公式

$V = \sqrt{F/\mu}$ V : 速度 F : 繩張力 μ : 線密度，求得以下表(一)的數據

弦	質量	長度	繩張力	$\mu = \text{kg/m}$	$V = \sqrt{F/\mu}$
4	0.0021kg	0.733m	10.675kg	0.0028649386	191.0905983414m/s
3	0.001kg	0.738m	10.635kg	0.0013550136	227.3383694505m/s
2	0.0005kg	0.767m	7.66kg	0.0006518905	339.3439389334m/s
1	0.00005kg	0.779m	7.02kg	0.0000641849	1035.2974860851m/s

(表一, V : 速度 F : 繩張力 μ : 線密度)

由數據推論: 速度越快, 時間延遲越短, 但比對我們的實驗結果, 可能是我們的實驗過程有誤差, 導致結果與理論值不同。

1. 三弦在撥弦時, 因有移動到撥弦器和琴之間的高度, 使三弦的時間延遲和 4 弦的差不多。
2. 二弦極容易生鏽, 而我們測量的二弦並非全新的, 上面的鐵鏽影響了琴弦的震動, 導致二弦的時間延遲最短。

陸、未來應用

藉由了解不同位置之共鳴板對柳琴發出的聲音改變與影響, 未來可以發明出手動共鳴板, 從音窗口放置一個旋轉軸, 和共鳴板相連, 即可從外部直接改變共鳴板的位置, 也可以改變共鳴板的高低, 讓雙音箱柳琴的聲音能做出更多不同的變化。

柒、參考資料及其他

- 一、施怡如、黃柏瑄(100 學年度)。多模態空腔共震與非線性動態耦合之探討。中學生科學研究獎助計劃, 高中組, 物理科。
- 二、M China Minyue international。 <http://www.minyueguoji.com>
- 三、再續柳琴二三事。 <http://suona.com/instr/ph001129.htm>
- 四、楊啟昕、劉羿彥(99 學年度)。鋸琴的震動聲音頻率之探討。
- 五、陳泓文、許戴文、蔡佳哲(96 學年度)。口琴簧片震動與氣流的影響。

【評語】 160033

本作品很細心地使用不同形狀的木片，放入柳琴中，來改變柳琴的音色。作品是很用心地呈現，對於各種共振頻率和其對應的振幅也都有很詳盡的報告，可見作者的用心。只是這些現象在物理上，我們都已經非常瞭解，本作品若能真能製作能產生不同音色的柳琴，則放在工程組更加適當。