

# 第五屆原住民華碩科教獎

## 研究成果報告

團隊編號：2013034

主辦單位：華碩文教基金會

國立清華大學

行政院原住民族委員會

原住民族電視台



# 『弦情意致』 研究成果報告

- ◇ 團隊名稱：沙依茲列
- ◇ 團隊成員：林于謙、吳欣儒
- ◇ 指導教師：莊順源、蕭麗真、林瑞櫻

# 摘要

五弦琴可以說是簡單的弦樂器，與原住民單純、質樸與世無爭的特性不謀而合，因為簡單的構造也很適合初學國中科學課程的我們，作為探討科學原理的入門材料。從製作中也進一步揣摩先人們的生活歷程，體會祖先們心靈世界。

本研究讓我們了解到弦線發聲頻率與張力的平方根成正比、與弦線長度及線徑成反比；並與是否加裝音板、音箱無甚關係。弦線發聲響度影響最大的還是撥彈的力道，但加裝音箱具有擴大音量的效果。音箱對弦線發聲頻率沒影響，但有擴大聲音的作用，而且有修飾音質的作用，好材質的音箱會使音色更加優美。另外適當大小的開孔面積，有助聲音的擴大，而開孔形狀以圓形較佳。音箱空腔深度淺一些，擴音效果較好。最後我們依據文獻資料實際製作出一把傳統五弦琴，感覺很有成就感。

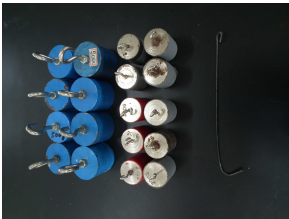
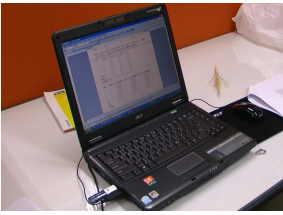

## 壹、研究動機：

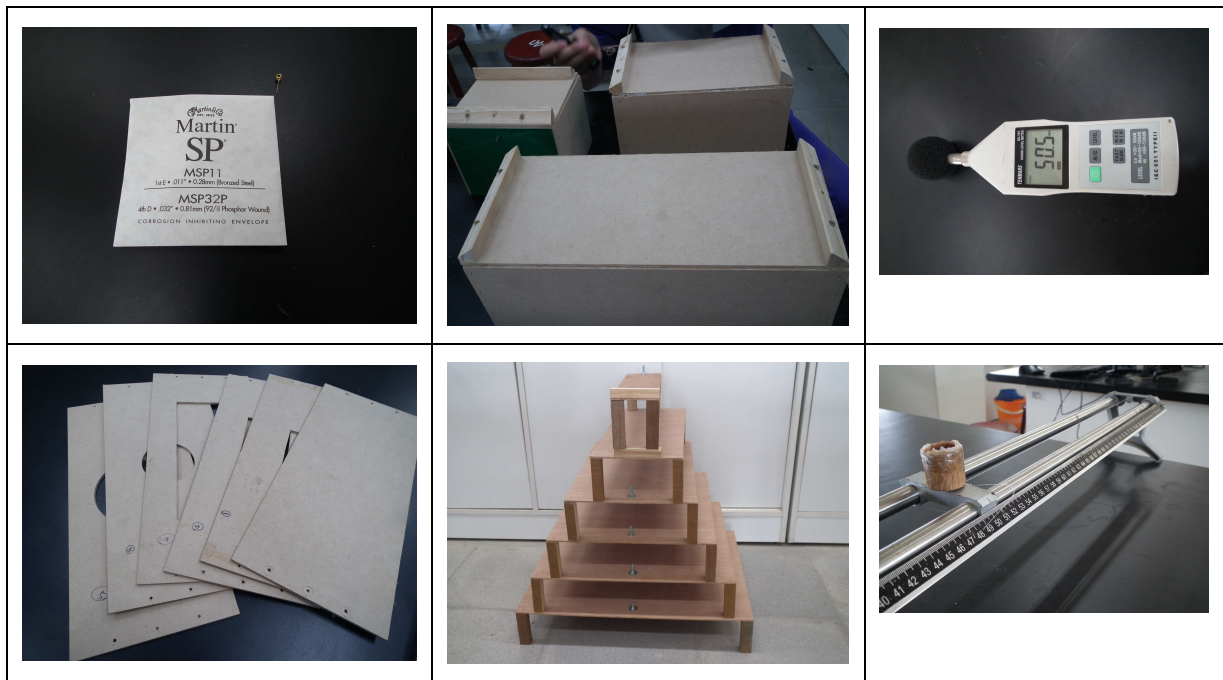
每個民族都有它自己獨特的音樂表現方式，累積先人的文化與智慧，透過手工之技巧製成代表其民族的傳統樂器。布農族長期世代居住於高海拔山區，山區與世無爭的日子，透過簡單的樂器，抒發自己的心情。布農族的傳統樂器在構造及形式上簡單樸實，大都就地取材，透過簡單的物理原理發出聲音。基本樂理也都不複雜，很適合初學理化課程的之國中生，作為探討聲音的相關原理與特性，理論與實際應用的教材。另外藉由傳統樂器歷史的追尋，製作方法的請教及演奏技巧的探討，不但增進對傳統文化尋根及了解，也體會先人之生活智慧。因此本研究選定五弦琴作為研究的主題。希望藉由原理的探討、製作及演奏了解背後的文化內涵。

## 貳、研究目的

- 一、從文獻查詢及拜訪耆老瞭解五弦琴。
- 二、探究弦線發音原理：
  - (一) 查詢文獻資料。
  - (二) 實際觀察。
- 三、探討影響弦線發音頻率高低、響度大小的變因：
  - (一) 張力
  - (二) 弦線長度
  - (三) 弦線粗細
  - (四) 種類
- 四、探討音箱對弦樂器的影響：
  - (一) 音箱長度
  - (二) 音箱厚度
  - (三) 音箱開孔面積與形狀
  - (四) 音箱空腔深度的影響
- 五、製作一把傳統五弦琴
- 六、改良五弦琴

## 參、研究器材

1	電腦	4	直尺	7	鐵釘	10	吉他線	13	砝碼
2	分貝計	5	木板	8	美工刀	11	尼龍線	14	相機
3	錄音筆	6	鐵鎚	9	木板	12	聲音處理軟體：Audacity		
									



## 肆、研究過程與方法

### 一、從文獻查詢及拜訪耆老瞭解五弦琴：

#### (一) 文獻資料：

#### 1. 五弦琴是什麼樣的樂器：

##### (1) 五弦琴的構造是在一塊平面的木板

上，一端釘上五支成排的鐵釘，相對地

另一端則安置五個弦軫，五條弦即在這

兩端上繫緊。音高設定完全符合巒社群人的音階概念，即

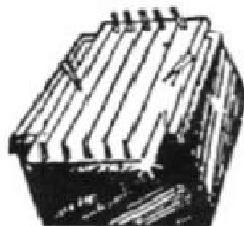
mahosgnas(Sol)、manda(Mi)、mabonbon(Re)、lagnisgnis(Do)。

至於卡社群的五條是在這四條弦之下再設一低音(La)，它是用來合音的弦。

##### (2) 形制古老的五弦琴，分上、下兩個

部分，由音板、弦釘、弦柱、琴弦和共鳴箱等構成。上部的音板，多使用質地較軟的松、杉木

料制作，板長 40 釐米、寬 12 釐米、厚 2 釐米，在距音板兩端 2 釐米處，一端釘有五個鐵釘作為系弦的弦釘，釘距 2 釐米；另一端置有五個鐵或木制小棍作為拴弦的弦柱，柱距 2 釐米。弦釘與弦柱之間，張以五條琴弦，弦下不設柱馬。古時的琴弦，多采用麻絲撚合而成；後來才逐步改



為絲弦或鋼絲弦。下部的共鳴箱，呈長方匣形，多用質地較硬的木板釘制而成，長 32 釐米、寬 16 釐米、高 12 釐米，也有使用洋鐵桶代用的。五弦琴的音板與共鳴箱既分離、又合用的樂器形制，與中國湖北隨縣曾侯乙墓出土的 2400 年前的琴、瑟、築的結構相似，概不是巧合吧。

- (3) 從文獻資料知道布農族其實有四弦跟五弦琴，文獻資料表示卡社群的五條弦是在四條弦之下在加一個低音，主要是用來合音的弦。

## 2. 五弦琴如何演奏：

- (1) 演奏時，演奏者蹲在弦的一端，卡社群是用兩支削尖的竹尖挑起琴弦，第五弦通常只在第一拍時跟 mahosgnas 一起挑彈，挑彈第三弦時，只用單手挑彈，此時第五弦是不挑彈的；而在巒社群卻只用單手持竹枝挑撥琴弦，琴弦只有四條而已。



- (2) 演奏時，將五弦琴平置於地面上，奏者席地而坐、傾身彈奏。左、右手各執一根小木棍或木制撥片彈撥琴弦發音。五弦琴是根據布農部族特有的民歌音調來定弦的，琴弦依次定為：g、c1、d1、e1、g1。發音柔和，音色圓潤，音量不大。可用於獨奏或為民歌、民間舞蹈伴奏。
- (3) 五弦琴演奏時，通常都會在琴的下方放置一個中空的容器或竹筒做為簡單的共鳴箱。
- (4) 可以用單手拿著或是放置在桌面上，琴身的兩端分別是木製的轉軸以及鐵釘，鐵釘的功能是用來綁弦，使用的是大約 12 公分左右的細木頭，進行彈弦的動作，由於琴身上，木製的轉軸較長，所以四弦琴放置桌面上的時候會呈現一個角度。彈奏時，使用尾端已削尖的細木，輕彈較為靠近自己的一端。

## 3. 五弦琴的文化意義：

- (1) 原住民的許多歌謠器樂本來就不是為了表演而存在的，往往都是跟生活息息相關，五弦琴與弓琴、口簧琴一樣都是屬於自己娛樂自己的樂器，不外乎都是排擠寂寞、空虛，所以他們的音量都是屬於很小聲的，而且由於布農族人天性害羞內斂的原因，他們的樂器不像排灣族或是魯凱族一樣還會有裝飾或是雕刻，布農族的樂器大多都是樸實、簡單的路線。
- (2) 五弦琴彈奏曲範例：

### 明德村四弦琴演奏

1 st. pinch - E

無調性 彈譜

$\text{♩} = 90$

全部的調子皆由 Mi、Re、Do、Sol 這四個音組成，節奏從頭到尾都是一樣的。這裡面的四個音，是布農族音階概念中最基礎的，以全阿蓮女士的述說，演奏四弦琴只需熟記上一輩傳承下來的旋律，在演奏上較無特別技巧。在布農族中是唯一一個，可以單靠轉軸而調音的樂器。在木製的轉軸上，據全阿蓮女士表示，轉軸的長短也是會影響四弦琴的音高。

#### 4. 文獻資料來源：

- (1) 中文百科在線：<http://www.zwbk.org/MyLemmaShow.aspx?lid=182795>
- (2) 花蓮縣古風國小 呂必賢 校長(兼任卓楓國小校長)、花蓮縣卓楓國小布農博物館。
- (3) 南華大學民族音樂學系學士論文-布農族的傳統器樂文化研究，作者張凱婷。

#### (二) 拜訪耆老：

我們透過各種關係努力多方搜尋，終於找到一位曾經看過、聽過五弦琴的耆老，他非常熱心地教導我們，熱情地想將他所知道的原民文化傳承給我們，真令我們感動，下面以問答方式呈現我們的訪談內容，我們只摘錄與本研究相關內容。



訪問來自台東縣海端鄉新武呂(村)的耆老:余明輝老師

Q1. 有部落或認識的族人知道五弦琴嗎?

A: 有阿，可是快要沒有了，因為現在他們(老人家)都一個個走了。

Q2. 他們有演奏過五弦琴嗎?

A: 有阿他們有演奏過。

Q3. 你有看過、碰過五弦琴嗎?

A: 小時後是有看過，(看到有人在演奏)小孩子就會說”他在彈什麼”，就好奇跑過去看。

但是我們外人(外孫)只能看不能摸，因為他們怕不是自己人，東西會弄壞掉。

Q4. 所以在你們那個時候五弦琴還在?

A: 對，還是有在，現在就沒有看到了。

Q5. 你有聽過五弦琴所發出的聲音嗎?

A: 有，就很像我們彈那個吉他，只是那調調很單調而已，沒有很響亮，只是自己快樂彈的，這樣而已。



**Q6. 一般什麼時候演奏五弦琴?**

A: 在唱歌的時候根本就很小聲，就是一個人無聊的時候、寂寞的時候，自己娛樂的。或是聚在一起喝酒啦，就會拿出來，沒有說特別，就是隨性在用。可能想念誰阿，就用得到了。有時候難過會掉眼淚阿，有時候會想起一些快樂，就會把那個感覺放到裡面，沒有說大家一起來上音樂課(指一起演奏)，那是各家各的(意思是指自己演奏不會和別人合奏)。

**Q7. 你對五弦琴的認識是甚麼?**

A: 它是弧形的，沒有一樣的音，它的音會不一樣，為甚麼，因為短的(弦)更短，長的(弦)更長。

**Q8. 可是五弦琴不是用木板做的嗎? 為什麼是有弧度的?**

A: 因為我看小時候是弧形的，它是用竹片不是用木頭做的。

**Q9. 你會製作五弦琴嗎?**

A: 不會。

**Q10. 那你印象中的五弦琴要怎麼做?**

A: 要把竹片折彎，然後要在竹片前後鑽洞，把銅線穿進去，打一個結，要記得把它(銅線)鎖住固定，如果(弦)鬆了，音樂不好聽，你在彈的時候就不協調，它會(演奏)比較慢。

**Q11. 五弦琴的五條弦粗細一樣嗎?**

A: 不一樣，細的話(聲音)比較響亮，粗的話(聲音)比較低沉而已。

**Q12. 製作五弦琴有什麼要特別注意的地方嗎?**

A: 五弦琴的弦線可以用鐵線，可是聲音就會比較不好聽，所以會用黃銅線，就跟口黃琴一樣(製作口黃琴是用黃銅片)。

**Q13. 五弦琴的演奏位置有固定嗎?**

A: 如果你喜歡彈哪裡，可能就會固定在那邊，不會像吉他一樣跑來跑去，演奏的時候就是彈同一個位置。

**Q14. 五弦琴會放音箱嗎?**

沒有，因為合音(歌唱)就很好聽，就不必了。

大家都要唱啦，你也不需要一直去調(調五弦琴的音)，那是你專用的。

**Q15. 要怎麼樣讓五弦琴發出不同的音調?**

A: 要轉那個轉軸(改變弦線的張力)

**Q16. 一般演奏五弦琴有譜嗎?**

A: 我們以前沒有譜，自己照感覺(演奏)。

**Q17. 五弦琴的演奏方式?**

A: 如果用手，手會很痛，摩擦的話手會受傷，所以就曾用那個尖尖的木頭(來撥弦)。

**Q18. 所以黃銅線跟吉他弦不一樣，不能直接用手彈?**

A: 對，如果用手的話，不是像彈吉他一樣長繭喔，是會破皮。

**Q19. 五弦琴分別由哪幾個音組成?**

A: 我記得四弦琴是由 Sol、Mi、Re、Do 組成的，然後五弦琴就是多加一個音(La) 這樣。

Q20. 演奏五弦琴有什麼禁忌嗎？

A: 沒有，純娛樂的。

Q21. 那如果家裡有人去世，很傷心的時候可以演奏五弦琴嗎？

A: 不行，我們以前如果有人往生，都要待在家裡不能出去看，小孩子不能出去玩，要關門關窗戶。

Q22. 五弦琴相較於布農族其他傳統樂器的特色是什麼？

A: 音比較多，旋律比其他的(樂器)多樣。

Q23. 四弦琴跟五弦琴一樣嗎？

A: 不一樣，而且這種的(樂器)一弦到五弦都有。

Q24. 所以不只有五弦琴和四弦琴？

A: 對，只是那個四弦跟五弦的音比較多，比較常用。

Q25. 五弦琴為什麼會失傳？

A: 這種東西學會了就放一邊，沒有想(傳授製作五弦琴技術)太多，以前的小孩，沒有自己空閒的時間，小孩子都要做事，挑水挑菜，所以沒有多的時間來學這項技藝。

## 二、探究弦線發音原理：

### (一) 查詢文獻資料：

文獻資料顯示，一般弦樂器之所以能發出固定音階之聲音，主要是由於弦線振動產生駐波，其理論摘要如下：

1. 在一介質中，若有兩波波長相同，且相向而行，則可互相干涉形成駐波(standing wave)。一般入射波與反射波之間的相互干涉即為駐波；弦線振動可形成駐波的最低頻率稱為基音，其餘較高頻率則稱為泛音。

2. 兩端都是固定端之弦線形成的駐波：

設弦線長度為  $L$ ，而掛起的法碼質量為  $m$ ，則弦線張力為  $T = mg$

根據公式，在弦線的橫波進行速度為  $v = \sqrt{T/\mu}$ ，其中  $\mu$  為線性密度，即每單位長度的弦線的質量 (kg/m)

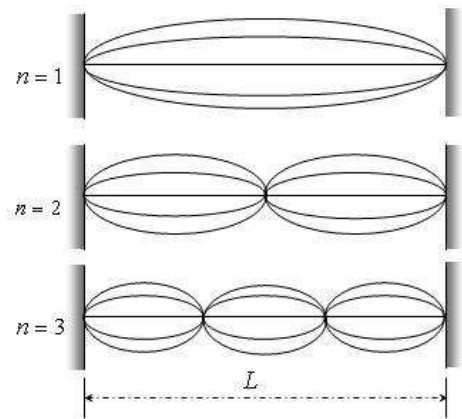
在基頻駐波時， $L$  為  $\lambda/2$ ， $\lambda$  為波長，所以：

$$L = \lambda/2 = v/2f \quad (v = \text{波速} = f\lambda) = (1/2f) \sqrt{T/\mu}$$

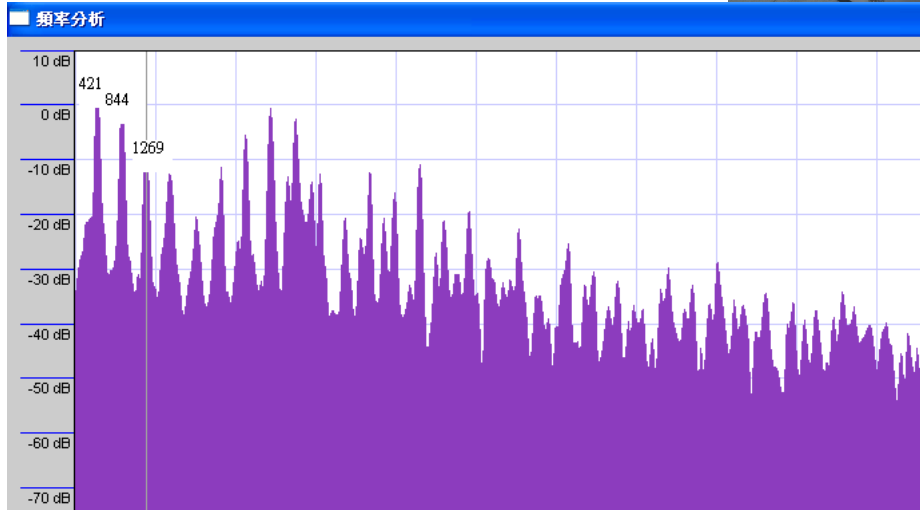
$$f = (1/2L) \sqrt{mg/\mu}$$

之後，第一泛音， $L = \lambda$ ，即  $f = (1/L) \sqrt{mg/\mu}$ ，此為基頻的兩倍，第二泛音時，就會變成基頻的三倍，如此類推。

### (二) 實際觀察：



1. 我們利用右圖的裝置，利用砝碼拉緊弦線使弦緊繃，用手撥彈弦線，錄下聲音利用聲音軟體分析頻譜，並利用分貝計測量音量，以便了解弦線發聲機制及相關影響的變因。
2. 頻譜分析案例：

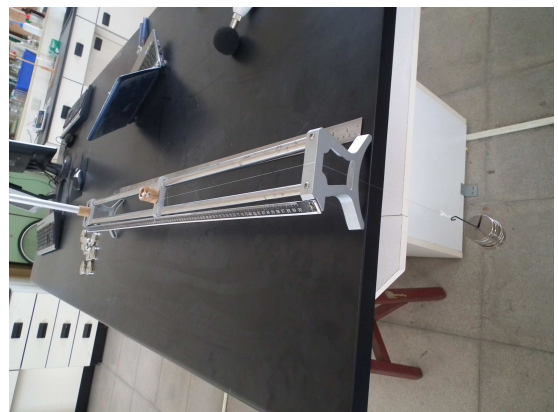
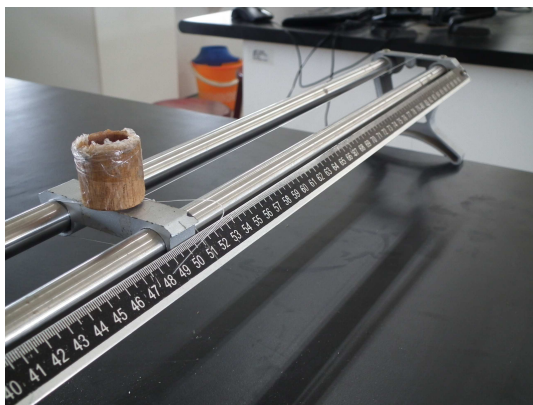


聲音軟體分析頻譜的畫面如上所示，其中縱座標為相對響度，橫坐標為頻率，其中每一個峰值代表一特定頻率，本例表示第一峰值頻率為421Hz、第二峰值頻率為844Hz、第三峰值頻率為1269Hz，其中421為基音頻率，844與1269分別為第一泛音及第二泛音頻率。在摸索中我們逐漸了解影響弦線發聲頻率變因，因此作了下面的探究。

### 三、探討影響弦線發音頻率高低、響度大小的變因：

#### (一) 張力的影響

1. 如下圖裝置，將弦線一端固定，另一端利用吊掛砝碼改變弦線張力。



2. 於固定位置以一定大小的力波動弦線，測量響度並錄下聲音進行頻譜分析。

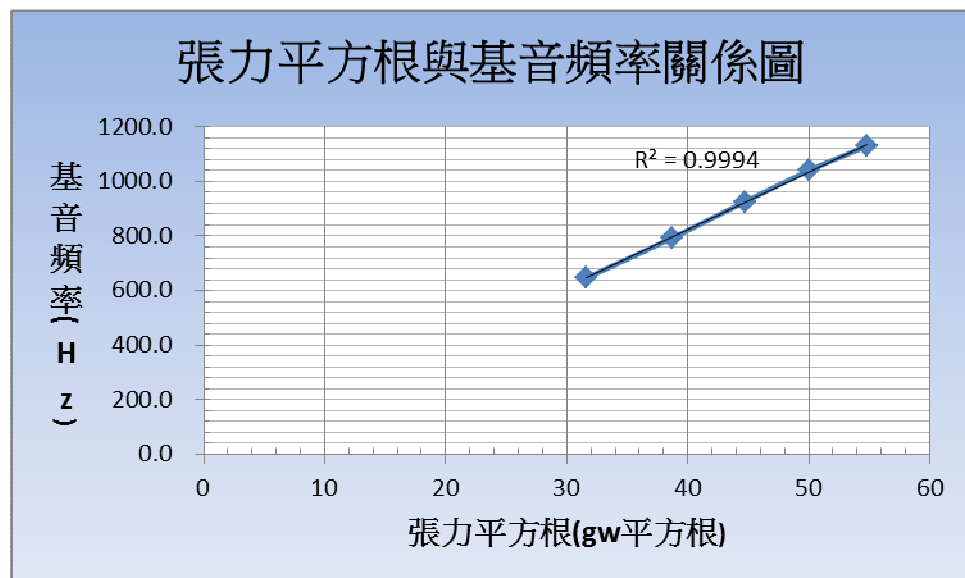
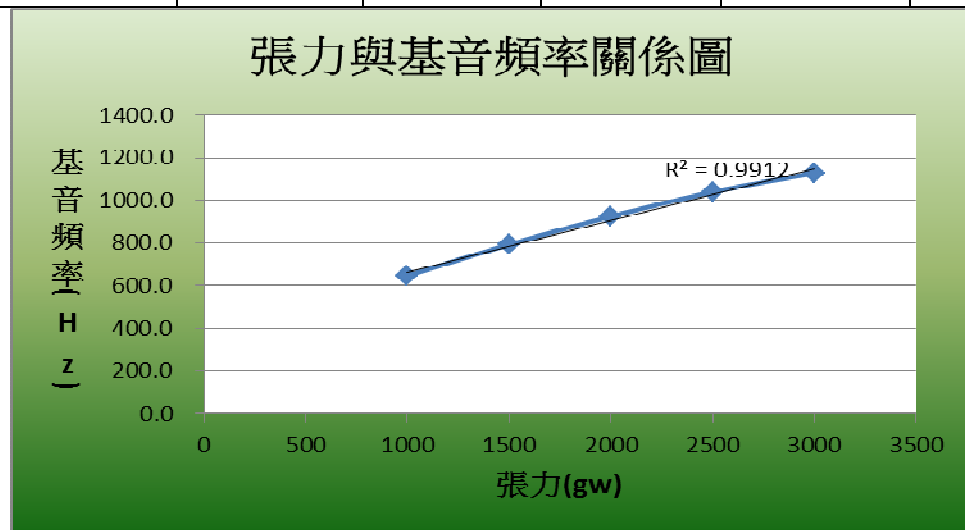
#### 實驗結果：

- 控制的變因：

弦線長度(cm)	40	音板	中空架
弦線材質	尼龍線(風箏線)	琴橋	無

彈撥位置	頂端後 5cm	分貝計測量位置	頂端後 50cm 器具旁 5cm
------	---------	---------	---------------------

砝碼重 (gw)	基音頻率(Hz)				響度(dB)
	第一次	第二次	第三次	平均	
1000	647	644	648	646.3	49.3
1500	800	786	795	793.7	50.7
2000	926	915	936	925.7	50.3
2500	1036	1040	1044	1040.0	51.8
3000	1130	1127	1130	1129.0	61.6



**小結論：**

1. 基音頻率與弦線張力平方根成正比，與理論相當吻合。
2. 響度大小與弦線張力關係似乎不大，而且響度受到撥弦的力道影響最大，而這一項變因不容易控制，因此響度的數據僅供參考，因此本研究我們把重心放在基音頻率的變化上。

(二) 弦線長度的影響

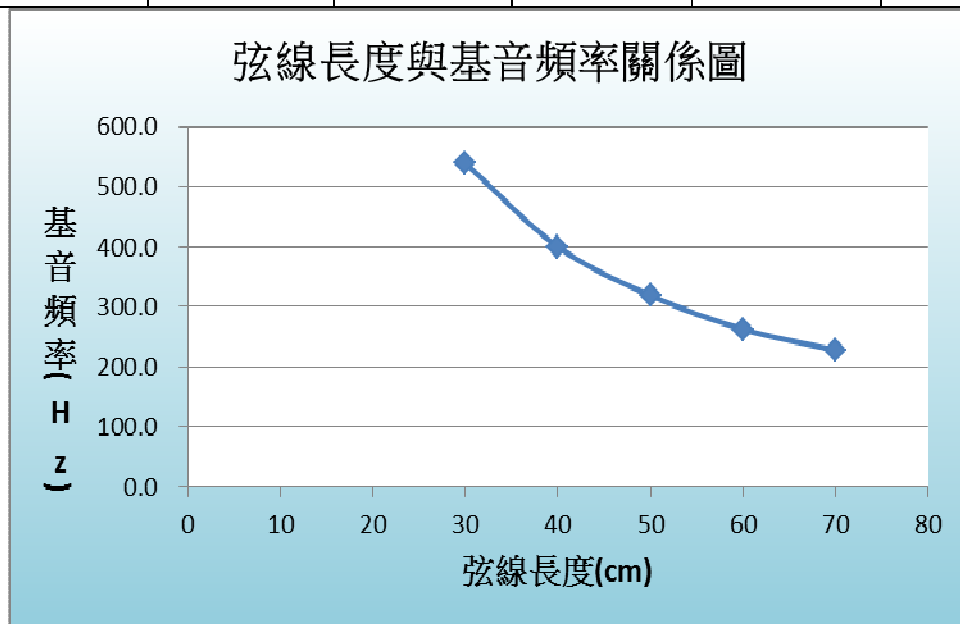
1. 裝置同上，因尼龍繩長度較長時，發出之聲音較破，頻譜分析看到許多雜訊，難以讀取特定頻率，因此改用吉他弦重作本實驗。
2. 吉他鋼弦要發出較好的聲音張力要更大，故張力改為 5000gw，改變弦線長度，分別測量基音頻率與響度。

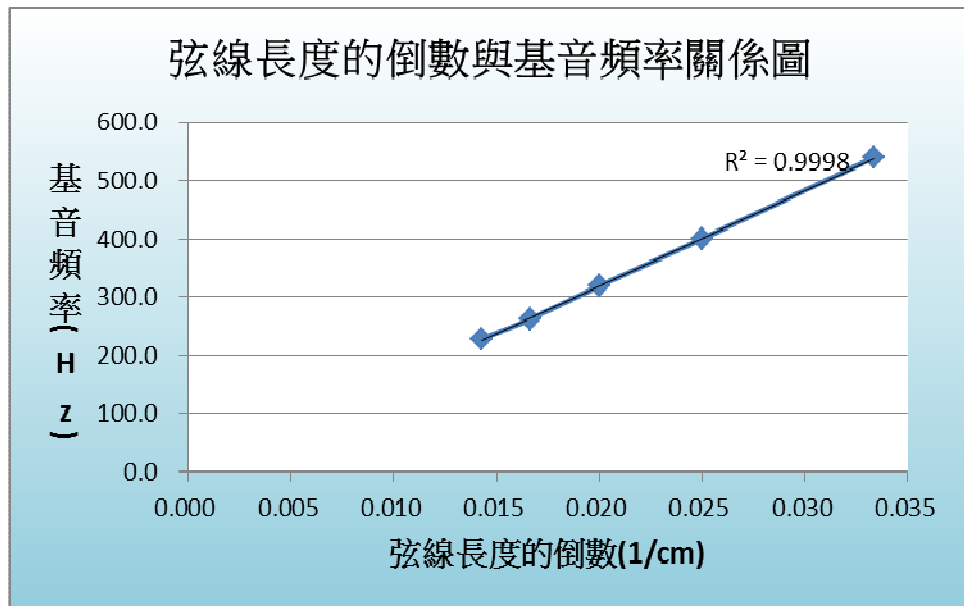
**實驗結果：**

● 控制的變因：

砝碼重(gw)	5000	音板	中空架
弦線材質	鋼弦(吉他弦)	琴橋	無
彈撥位置	頂端後 5cm	分貝計測量位置	頂端後 50cm 器具旁 5cm

弦線長度 (cm)	基音頻率(Hz)				響度(dB)
	第一次	第二次	第三次	平均	
30	539	540	539	539.3	46.5
40	400	400	401	400.3	60
50	319	318	321	319.3	57
60	262	263	264	263.0	58.5
70	226	230	228	228.0	63.4





#### 小結論：

1. 本實驗我們發現，不同的弦線長度太長或張力不夠發出的聲音都會破掉，所謂聲音破掉可由頻譜分析看出特定共振頻率不明顯，雜訊較多，不容易讀出基音頻率即。
2. 本實驗得到基音頻率與弦線長度倒數成相關，即基音頻率與弦線長度應成反比關係，與理論相當吻合。

#### (三) 弦線粗細的影響

1. 我們發現加了音箱以及琴橋發聲效果更好，於是做了音箱如右圖。
2. 分別以不同粗細的吉他弦固定一端，另一端以砝碼配重提供一定的張力，探討弦線粗細對發聲頻率及響度的影響。



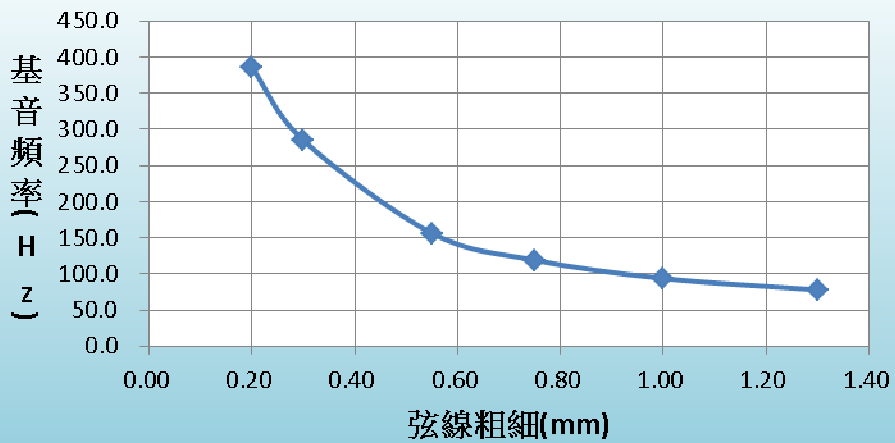
#### 實驗結果：

- 控制的變因：

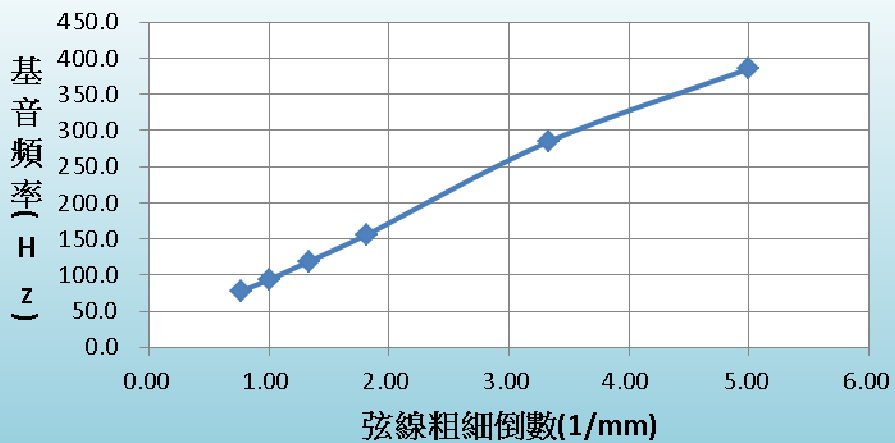
砝碼重(gw)	5000	音箱長度	30cm
弦線材質	鋼弦(吉他弦)	琴橋	有
彈撥位置	中間	分貝計測量位置	中間音箱旁 5cm

弦線粗細 (mm)	基音頻率(Hz)				響度(dB)
	第一次	第二次	第三次	平均	
0.20	386	385	386	385.7	73.2
0.30	285	286	284	285.0	75.0
0.55	157	154	158	156.3	71.7
0.75	118	121	118	119.0	69.0
1.00	93	94	94	93.7	64.4
1.30	79	77	78	78.0	64.9

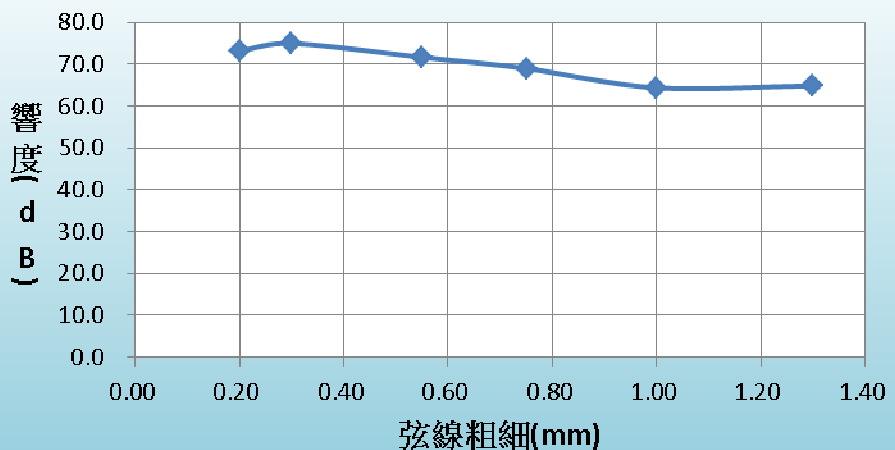
### 弦線粗細與基音頻率關係圖



### 弦線粗細倒數與基音頻率關係圖



### 弦線粗細與響度關係圖



#### 小結論：

1. 本實驗我們發現，弦線愈粗頻率愈低，弦線粗細應與基音頻率成反比關係，我們所用 6 種粗細弦線都是吉他鋼弦，材質相同，單位長度密度與

線徑平方成正比，因此可得基音頻率與單位長度密度(線密度)平方根成反比，與理論吻合。

2. 至於響度方面似乎影響不大，況且手撥彈力道難以精密控制，因此無法判斷弦線粗細與響度的關係。
3. 本實驗我們自製音箱，發現頻譜分析泛音較顯著，聲音聽起來較穩定而不會破破的有雜訊，顯然音箱對聲音的輔助相當重要，因此下面針對音箱的影響作進一步的探討。

(四) 弦線種類的影響：

1. 如右圖裝置，分別取用 6.5mm 的銅線、7.5mm 的鐵線及 6mm 的吉他弦線(因現成的弦線沒有剛好一樣粗細的)，錄下聲音並測量響度。
2. 分析頻譜及波形，比較不同種類弦線的差異。

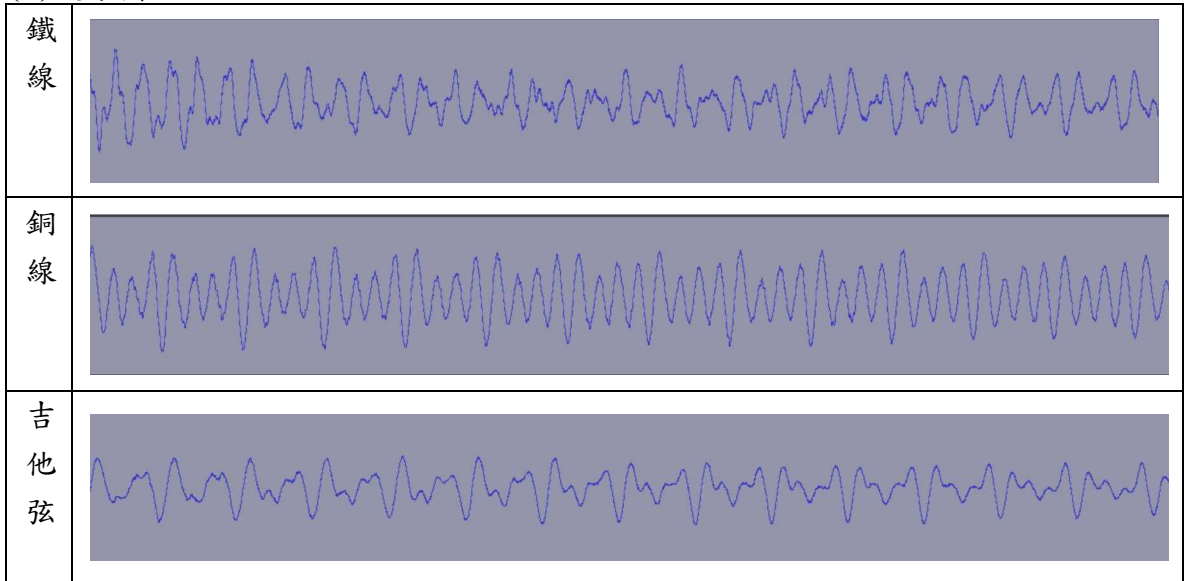


**實驗結果：**

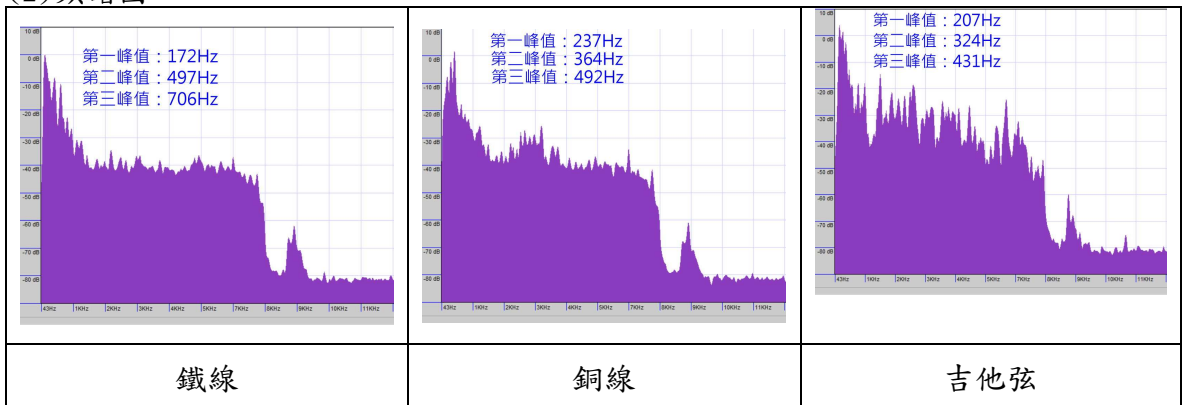
● 控制的變因：

砝碼重(gw)	3000	音板長度	45cm
彈撥位置	中間	琴橋	有

(1) 波形圖：



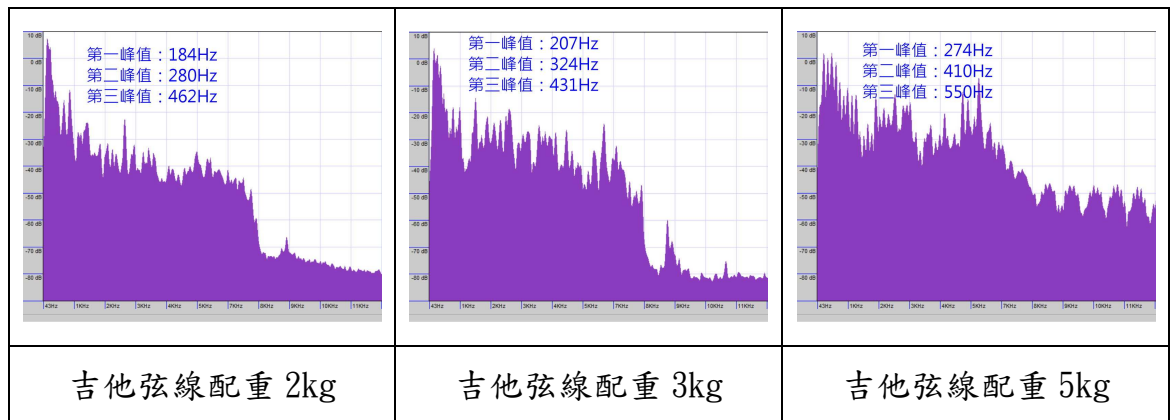
(2) 頻譜圖





### 小結論：

1. 本實驗我們發現，從頻譜圖比較吉他弦線發出的聲音泛音較多，組合出的波形較複雜，聽起來較好聽。
2. 響度方面，音彈撥力道影響較大，較難控制變因，但以一般力道比較起來吉他弦發出的響度(約 80~85 分貝)約比鐵線銅線(約 75~80 分貝)多 5~10 分貝。
3. 鐵線及銅線彈撥力道大一些容易出現破音，所謂破音從頻譜圖看來即泛音規律性被破壞，聽起來較不和諧。
4. 銅線較脆弱，配重超過 3Kg 重就扯斷了，但配重小的時候容易出現破音，因此其音域較小，而吉他弦線配重超過 6kg 重仍不會扯斷，音域較大。
5. 吉他弦線共振良好，響度較大，音色較好聽，因此下面的研究都以吉他弦線為主。下面列出吉他弦線在不同的配重下之頻譜圖，可比較發現配重愈重頻譜較複雜，音色也較好。



#### 四、探討音箱對弦樂器的影響：

##### (一) 單片板子的影響：

1. 比較弦線架空與架在板子上聲音有什麼不同。

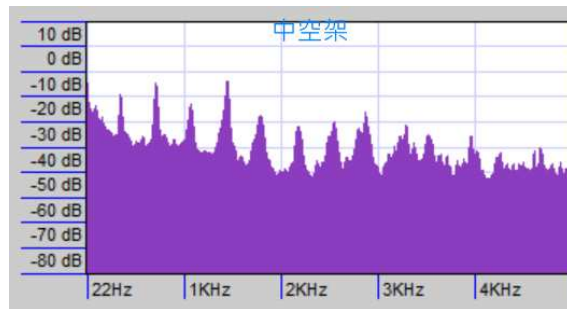
(1) 分別將相同長度弦線固定在如下圖中空架與木板上，以砝碼拉住弦線固定相同張力。



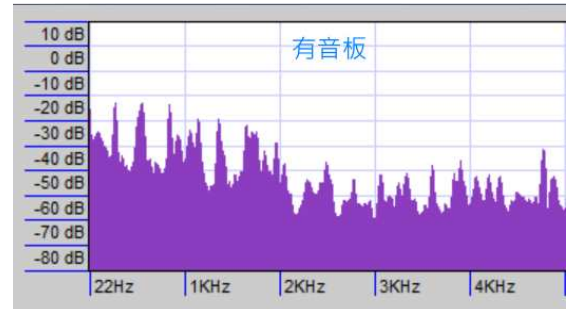
(2) 撥彈弦線錄下聲音分析頻譜並測量音量。

**實驗結果：**

40 公分吉他弦固定在中空架上，張力 5 公斤重所發聲之頻譜。



40 公分吉他弦固定在中空架上，張力 5 公斤重所發聲之頻譜。



**小結論：**

- (1) 由兩張頻譜圖比較有音板者基音較明顯，但雜訊反而較多，與我們原先預期的不一樣。
- (2) 至於響度方面，有音板的似乎響度較大，我們設計下面的實驗進一步驗證。

2. 音板面積的影響

- (1) 如右圖裝置，改變不同木板面積，其他因素控制不變。
- (2) 撥彈弦線錄下聲音分析頻譜並測量音量。

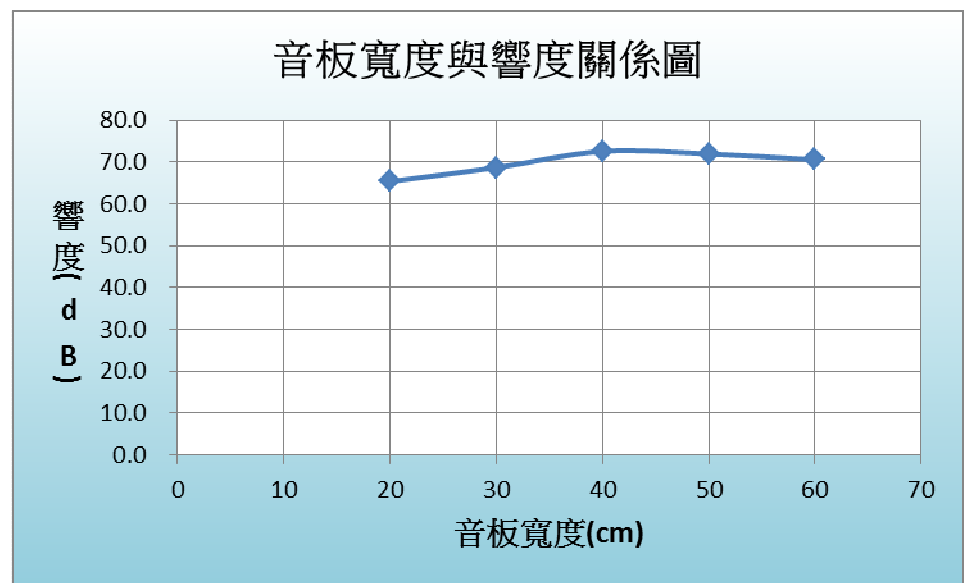
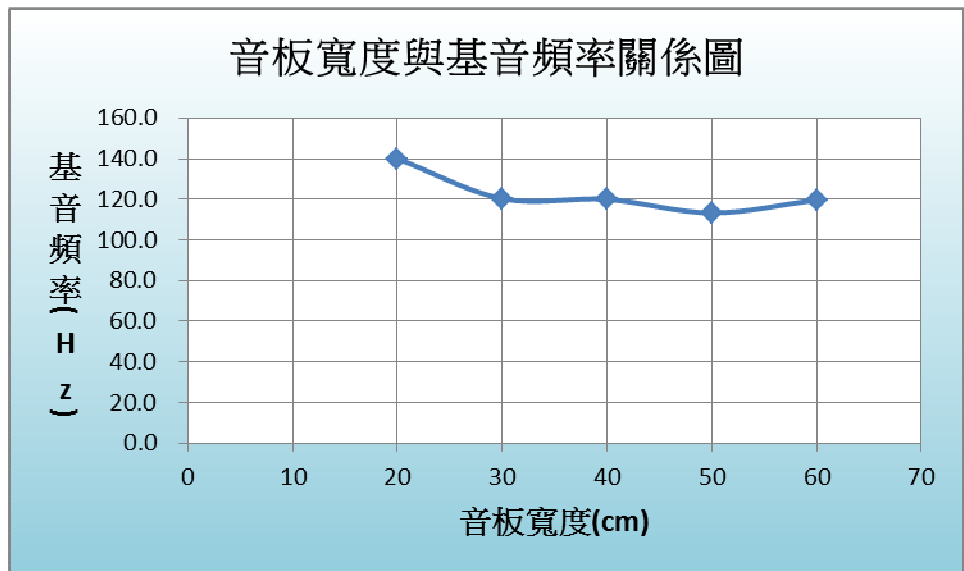


**實驗結果：**

● 控制的變因：

砝碼重(gw)	6000	弦線長度	45cm
弦線材質	鋼弦(吉他弦)	琴橋	有
彈撥位置	中間	分貝計測量位置	中間音箱旁 5cm

音板寬度 (cm)	基音頻率(Hz)				響度(dB)
	第一次	第二次	第三次	平均	
20	140	140	140	140.0	65.4
30	120	121	120	120.3	68.7
40	119	118	123	120.0	72.6
50	114	113	113	113.3	72.0
60	119	121	119	119.7	70.6



#### 小結論：

- (1) 我們原先預期音板面積愈大，響度愈大，但由實驗結果看來，音板面積的影響不是那麼明顯，我們認為弦線振動要帶動板子振動似乎沒那麼容易。
- (2) 至於頻率部分，音板對頻率影響也不大，我們認為應無影響，實驗的數據差別應在誤差範圍。

#### 2. 板子厚度的影響

- (1) 如右圖裝置，改變不同木板厚度，其他因素控制不變。
- (2) 撥彈弦線錄下聲音分析頻譜並測量音量。



#### 實驗結果：

● 控制的變因：

砵碼重(gw)	6000	弦線長度	45cm
弦線材質	鋼弦(吉他弦)	琴橋	有
彈撥位置	中間	分貝計測量位置	中間音箱旁 5cm


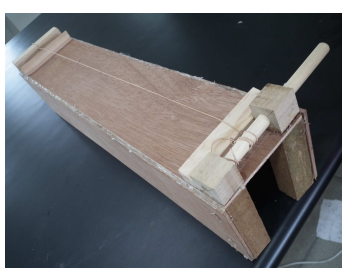
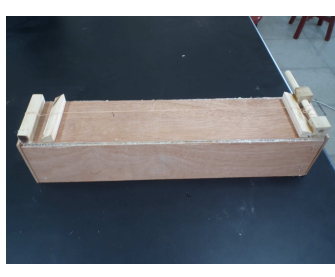
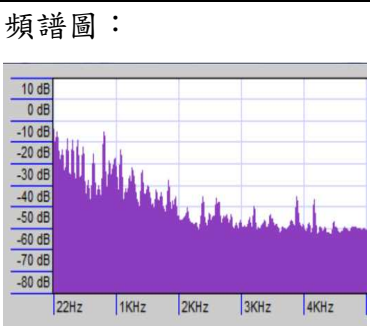
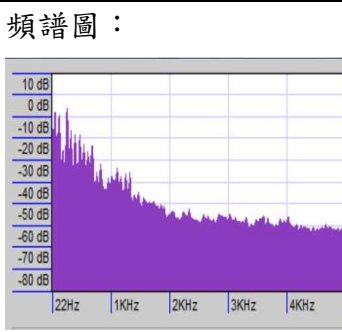

音板厚度 (cm)	基音頻率(Hz)				響度(dB)
	第一次	第二次	第三次	平均	
0.3	195	190	197	194.0	78.7
0.45	205	204	203	204.0	78.8
0.95	186	189	190	188.3	75.5

**小結論：**

- (1) 我們原先預期音板厚度愈小，響度愈大，但由實驗結果看來，音板的影響不是那麼明顯，可能是我們的木板厚度都太厚了。
- (2) 至於頻率部分，音板對頻率影響也不大，我們認為應無影響，實驗的數據差別應在誤差範圍。

(二) 逐漸將音板封住成音箱的變化

1. 如右圖裝置，我們想逐漸將音板封住成音箱，看看響度與頻率會如何變化。(弦線長 43.5cm、張力 6kgw)

		
基音頻率：88Hz 響度：63.4dB	基音頻率：74.3Hz 響度：64.8dB	基音頻率：70.6Hz 響度：72.5dB
頻譜圖： 	頻譜圖： 	頻譜圖： 

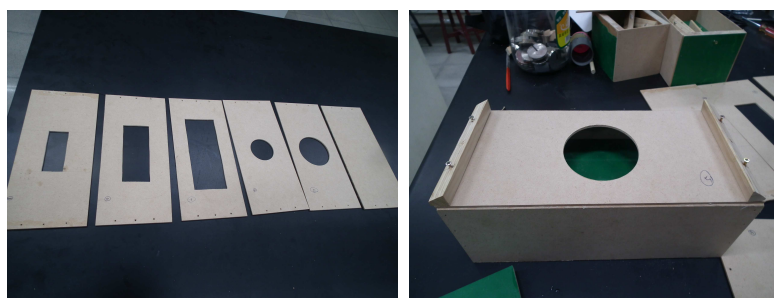
**小結論：**

- (1) 頻率部分，似乎有影響，數據差別還在誤差範圍內，因此不敢斷定有影響，基於長久摸索我們認無應無影響。
- (2) 至於響度方面，聽起來是封成音箱後響度較大。

(3) 比較其頻譜，全封閉成音箱其雜訊似乎較少，基音頻率較明顯，聽起來的感覺較好聽，

### (三) 音箱開孔面積與形狀

1. 如右圖裝置，分別改變音箱上板開孔形狀與面積，看看響度與頻率會如何變化。(弦線長 30cm、張力 6kgw)



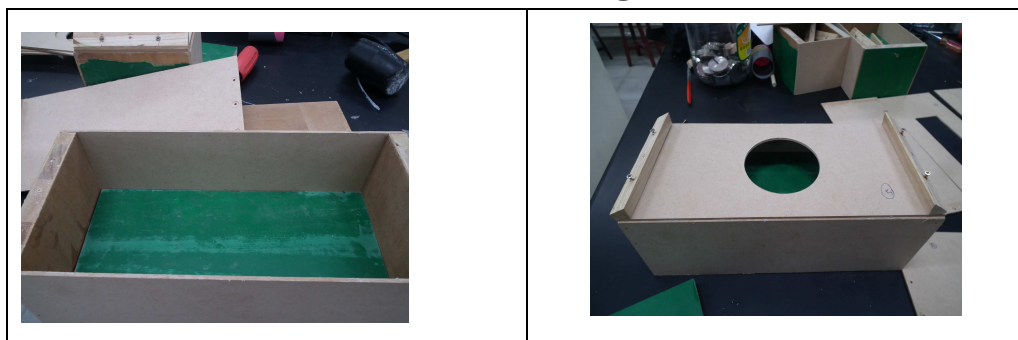
#### 實驗結果：

編號	形狀	面積( $\text{cm}^2$ )	基音頻率(Hz)	響度(dB)
1	方形	40	102.7	71.2
2	方形	90	99.3	72.5
3	方形	160	98.3	64.8
4	圓形	32.9	97	68.2
5	圓形	66.2	98.3	74.3

#### 小結論：

- (1) 頻率部分，似乎沒有影響。
  - (2) 響度部分，不是開孔愈大響度愈大，我們還沒有發現它的規律性，但圓形的孔稍大一些似乎較好，音色也較優。
- (四) 音箱空腔深度的影響

1. 如下圖裝置，分別在音箱內加放木板以改變音箱空腔深度，看看響度與頻率會如何變化。(弦線長 30cm、張力 6kgw，空腔原本大小 30x15x10cm)



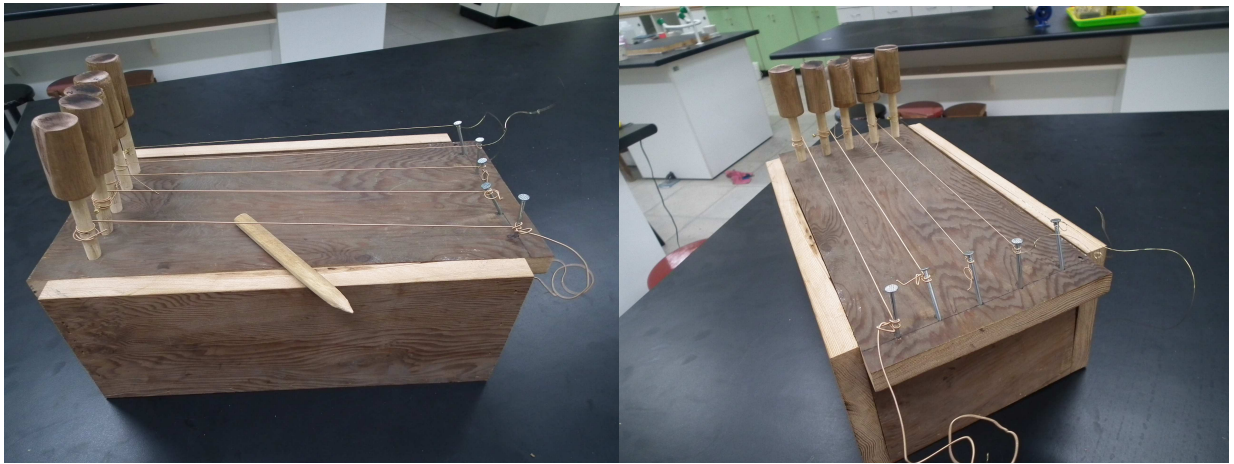
#### 實驗結果：

增加木板片數	空腔深度(cm)	基音頻率(Hz)	響度(dB)
0	10	106.3	69.7
1	8.2	103.7	72.1
2	6.4	97.3	80.0
3	4.6	94.7	82.9

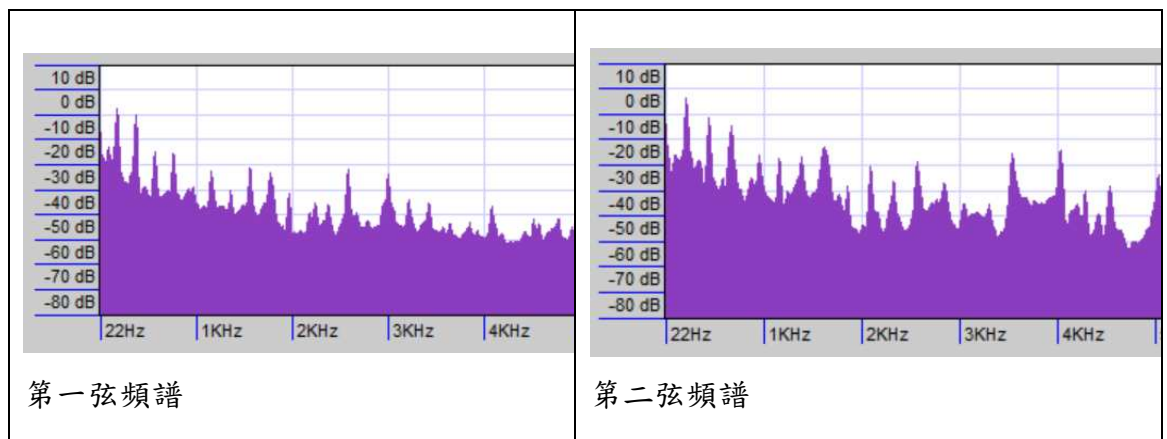
#### 小結論：

- (1) 頻率部分，似乎影響不大。
- (2) 響度部分，音箱深度愈淺響度愈大。

## 五、製作一把傳統五弦琴



- (一) 我們利用舊櫃子的原木隔板，依據文獻查得的資料，依照傳統尺寸製作了一組五弦琴如右圖。
- (二) 我們以吉他線為弦線，依布農族傳統歌謠音階調音，試著撥彈出布農族歌謠，感覺還不錯，希望能跟大家分享。



- 由頻譜看到泛音還算豐富，聽起來音色不錯，可見音箱木材材質對音色影響很大。

## 六、改良五弦琴

- (一) 我們於製作傳統五弦琴過程中發現幾個可以進一步改良的地方：

1. 我們發現有音箱共振效果較好，音色較美，因此上面製作時即加了音箱，事實上我們製作的是活動式的，弦線板可單獨拆下或裝在音箱上彈奏。
2. 弦線直接綁在鐵釘上，音弦線受力頗大鐵釘容易變形，影響音準，因此我們將鐵釘釘到側面，並加上琴橋。
3. 我們發現有琴橋聲音較好聽，因此在轉軸前也加了琴弦，也可減輕轉軸受力過大而變形，減少影響音準情形。

4. 依據前面的研究，音箱開孔音色較好，因此我們在音板上開了孔。

5. 做後成品如下圖。



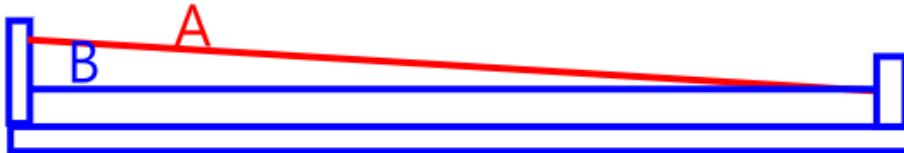
## 伍、研究結果

- 一、從文獻查詢及拜訪耆老使我們更加瞭解五弦琴，也對其歷史意義有更深的體會，布農族樸實的民族性充分表現在簡單的樂器上。
- 二、從弦線發音原理的探究中，我們實際操作一一驗證影響弦線發聲的變因：
  - (一) 弦線發聲頻率與張力的平方根成正比、與弦線長度成反比、與線徑成反比。
  - (二) 弦線發聲頻率與是否加裝音板、音箱應無甚關係。
  - (三) 弦線發聲響度影響最大的還是撥彈的力道，但加裝音箱具有擴大音量的效果。
- 三、從探討音箱對弦樂器的影響，我們發現：
  - (一) 音板或音箱對弦線發聲頻率影響不大，或說沒影響。
  - (二) 音箱有擴大聲音的作用，而且有修飾音質的作用，好材質的音箱會使音色更加優美，其原因是泛音的修飾作用。
  - (三) 音箱適當大小的開孔面積，有助聲音的擴大，而開孔形狀以圓形較佳。

(四) 音箱空腔深度淺一些，擴音效果較好。

四、我們實際製作出一把傳統五弦琴並加以改良，感覺很有成就感。

五、在第 5 頁文獻探討中提到『據全阿蓮女士表示，轉軸的長短也是會影響四弦琴的音高』，經實驗發現會影響音高的變因主要有弦線種類、粗細、長度及鬆緊度，對同一條弦線來說，音高只受鬆緊度影響，愈緊愈高，轉軸長度應不影響音高，除非弦線被提高而影響了鬆度。如下面示意圖，A 弦較高需要長度較長，不改變長度之下就必須繃得較緊，因此音高就較高了，但只要放鬆些就可調回音高，因此轉軸高低並無妨。



## 陸、參考資料

- 一、中文百科在線：<http://www.zwbk.org/MyLemmaShow.aspx?lid=182795>
- 二、花蓮縣古風國小 呂必賢 校長(兼任卓楓國小校長)、花蓮縣卓楓國小布農博物館。
- 三、南華大學民族音樂學系學士論文-布農族的傳統器樂文化研究，作者張凱婷。



◆ 精采照片

