中華民國第54屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　物理科

第三名

030115

如鈴聲曼妙

～賽夏族臀鈴與安克隆竹琴的律動共鳴協奏曲

學校名稱：臺中市立豐東國民中學

作者：	指導老師：
國二 劉欣霈 國一 林郁媗 國三 劉欣玫	賴月琴

關鍵詞：臀鈴、安克隆竹琴、音頻及共鳴

如鈴聲曼妙~賽夏族臀鈴與安克隆竹琴的律動共鳴協奏曲

中文摘要

我們用音頻分析軟體 Syaku8 測定自製安克隆竹琴管長並以 Excel 試算各音名標準音頻，比較出的實際偏差率，可做各竹琴組修正管長的參考。

以力矩平衡原理及合弦伴奏想法來組合安克隆竹管－自製「安克隆風鈴」，並分析其共振關係，實際搖動此風鈴所產生的共振音頻聽起來也很悅耳動聽，

我們創新整合安克隆竹琴、風鈴及賽夏族臀鈴的想法，經電腦音頻測定軟體及麥克風收音，記錄安克隆竹琴、風鈴、臀鈴的單一音頻及共振音頻圖後，已可以準確的將臺灣最大的天然資產－三~五年生『竹子』轉換成校園律動的節奏樂器，希望以後能大力推廣到其它學校，讓我們臺灣的學子都能自己製作出安克隆竹琴及創新的賽夏族臀鈴，快樂的享受學校表演藝術課帶來的音樂與律動的美感！

壹、研究報告

去年和姊姊及學姊一起做粉筆陶笛，雖然用學校丟棄的短粉筆和陶土混合製作陶笛，製作技巧高、還要高溫電窯燒製及上釉再燒一次，材料成本低但製作成本高，我覺得還不是很理想！

今年和志同道合的學妹一直很想有所突破，除了想回歸竹材的理由是竹子是世界上生長速度最快的減碳植物，也是臺灣賴以為傲最大的天然資產，恰好，我的阿嬤家有一片竹林，這實在是太棒了。而且，根據查資料可知，有些竹子的空心莖每天可長 40 公分，完全成長後的高度，甚至可達 35~40 公尺！這樣的材料不好好利用不是太可惜了嗎？

不過，我和學妹比較喜歡打擊樂，討論決定後，與其「吹」竹笛不如「敲」竹琴；但只有手動也不夠有節奏，我們的表演藝術教室常有律動的學習…。

最後，我們上網查了所有和竹子有關的樂器後，覺得兩支竹子為一組的安克隆樂器很特別；塞夏族獨步全球的伴奏樂器－臀鈴也很不錯，前者是手搖或敲擊竹子的樂器；後者是竹管隨身體律動的樂器，兩者樂器都很特別，我們決定自己來做做看，並且找出兩者可以連結的相關性，希望能夠以創新的想法，組合出舞動的旋律，自娛也娛人。

貳、研究目的

1.了解安克隆樂器及賽夏族臀鈴的特色及發聲方式

2.比較竹材的不同處理方式及敲擊後產生音頻的差異

3.探討安克隆竹琴的製作及其發聲音頻的比較及修正

4.以安克隆竹琴結構組合成不同和弦風鈴的共振樂音

5.賽夏族的臀鈴開發設計與音頻分析

參、研究設備及器材

（一）設備及器材：大煮鍋及瓦斯爐、水、氫氧化鈉、竹子、美工刀、雕刻刀、鋸子、奇異筆、游標尺、量角器、電鑽、電腦、棒鎚、麥克風、水桶、竹籤、壓舌板、3 秒膠、魔線、尼龍線、熱熔槍及膠條

（二）電腦軟體：Syaku8、Excel 試算、Microsoft Word Starter 2010

（三）自製器材：隔音箱及敲擊單擺、安克隆竹管、安克隆竹琴、安克隆風鈴、改良式賽夏族臀鈴

肆、研究過程及方法

研究一、了解安克隆竹琴及賽夏族臀鈴的特色及發聲方式[1、2]

(一)安克隆竹琴

1.安克隆手搖竹琴（Angklung–Bamboo shaker），簡稱搖竹，為印尼的民族樂器，在東南亞地區的流傳極為普遍，它是利用調音後竹筒和下置竹竹筒孔端的相互碰撞而發音的。

資料來源：葉月珠
http://cyberfair.ccjh.tp.edu.tw/net09901/meirs04.htm

2.安克隆琴單音琴鍵平置組裝，將手搖改以敲擊方式演奏則與竹管木琴原理相似，以竹管單側L 形切削後調出管腔與竹體共鳴，故以竹管木琴(Bamboo Xylophone) 通稱。

3.發音體越輕、薄、短、細、緊，則振動頻率越大，發音越高，竹琴鍵由發音體和共鳴體兩部分組成，管內空氣共鳴以空氣柱之縱振動為音源，可藉由不同長短與粗細之竹管振動持性，產生音高之差異。

4.搖竹下部是一根橫放的竹筒，此竹筒面上開有2個長方形的孔洞，在每個孔洞中都插入一個藉由上端修削成半圓形調音後相距8度音，並製成可搖動之框架。當演奏者搖動框架時，調音竹筒就與橫置竹筒架之端面互相碰撞而發出「格隆、格隆」的聲音。連續搖奏時音色顫動，華麗悅耳，宛如流動不息的潺潺溪水，十分動聽。

5.搖竹上插入的竹筒長度不同，就會產生不同的音高，竹筒長發音低，竹筒短發音高，一個搖竹上兩根竹筒的發音一般相差8度。

6.樂器分「體鳴、膜鳴、絃鳴、氣鳴」等體系，竹管會被運用於發音機構有關之樂器用材，主要乃是結合竹體及竹管腔空氣振動共鳴原理，倘應用竹管之「管、腔共鳴」特性，即可製作一系列竹管打擊樂器(行政院文化建設委員會，2007)。

(二) 賽夏族臀鈴

資料來源：
http://projl.sinica.edu.tw/~video/main/tribe-art/festival/ss/ss-all.html

1.阿美族及賽夏族主要樂器為竹筒琴，利用竹莖中空有節之特性使竹管空氣共鳴(打擊樂器竹琴為體鳴原理) ，竹管受另一物體敲擊時，以竹材本身作為發音體，藉短音敲擊、長音搖動之振動共鳴原理，竹管越細，音階越高，因此，不同長短與粗細之竹管空氣柱之縱振動次數不同而產生音高之差異。

2.賽夏族的矮靈祭：在台灣原住民各族中是極為特殊的祭典。矮靈祭是一種全族姓的祭儀活動，通常在小米收穫之後，稻米已熟但未收穫時舉行，是賽夏族人心目中最重要的祭儀活動。

3.矮靈祭的整個儀式是神聖敬畏的，儀式的舞步沒有花俏的動作，主要是強調整體性的踏步，徹夜的歌舞維持著漩渦狀的隊形，隨著祭歌腔調轉折引發出來的舞步，鄉寧靜的夜晚特吸顯出其震攝人心的氣氛。[3]

4.原住民音樂除了應用肢體發出聲音外，以竹、木、銅為主要材料製成的樂器有許多。其中臀鈴為賽夏族特有樂器，主要由竹管與薏仁的果實穿綴而成，藉舞動撞擊而發出聲響。

研究二、比較竹材的不同處理方式及敲擊後產生音頻的差異

(一)參觀竹山地區業界處理桂竹蒸氣蒸煮(製程溫度 180℃)的炭化製程

以貨櫃車載送採集竹山之新鮮桂竹　新鮮桂竹由墨綠至草綠色　於蒸餾槽外卸下的桂竹

鐵製的大蒸餾槽　　新鮮桂竹送入大蒸餾槽　　以熱蒸氣蒸餾 180℃炭化後的桂竹

以托板車載走整綑已低溫炭化後的桂竹材　　桂竹材呈茶褐色

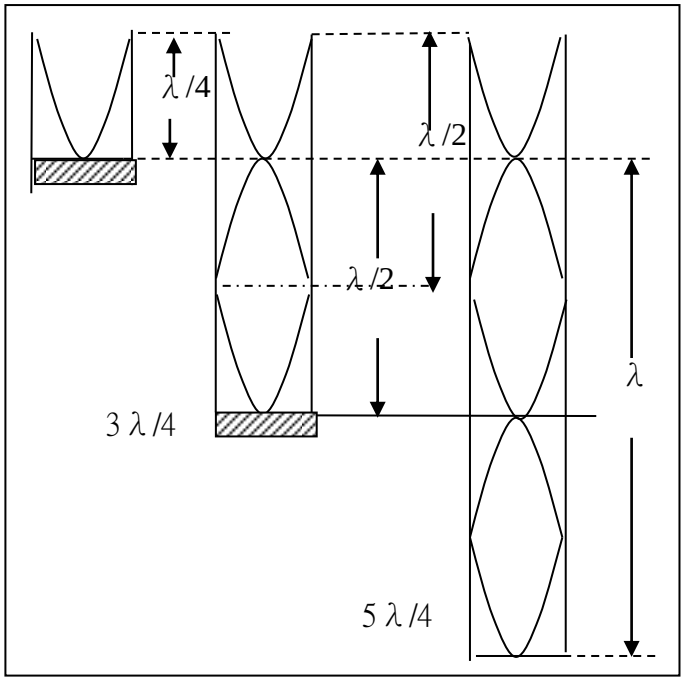
(二)比較竹材的不同處理方式及敲擊後產生音頻的差異

1. 自然生物性的處理方式：自然乾燥法
   (1)用同一支管徑大小的竹子，取中段，每一段先以油性簽字筆做上記號。
   (2)以鋸子鋸下只有一端有竹節，而另一端則開口的竹管備用。
   (3)將直徑各為 5cm、7cm、10cm 的閉管竹子，分成四組，一組放在太陽下曬；一組放在陰涼的地方　，使它自然乾燥。
2. 物理性的處理方式：蒸煮法
   (1)如上頁圖示的蒸氣蒸煮桂竹的方式，縮小為用大鍋子放安克竹管，鍋子高度需大於安克隆竹管高度。
   (2)將竹子以水蒸煮的方式，煮滾後悶至冷卻。
   (3)以竹節在上、竹口在下的方式斜放至自然乾燥。
3. 化學性的處理方式：浸泡 1%NaOH 藥劑法
   (1)以 10 克加水一升的比例配製約 1%的 NaOH 水溶液：先將 NaOH 倒入水中溶解後，再加水稀釋至 1%的濃度。
   (2)竹子浸泡在 1%的 NaOH 水溶液中至翌日。
   (3)以竹節在上、竹口在下的方式斜放至自然乾燥。

研究三、探討安克隆竹琴的製作及其發聲音頻的比較及修正

(一)了解閉管標準音頻及標準管長、修正管長的推算原理

利用共鳴空氣柱的實驗原理找出不同口徑吸管的波速、波長及波腹



1.**空氣柱的共鳴原理**：即為波的重疊原理。右圖為一端封閉的管，若縱波由管的開口端進入管內，到達閉端時，會被反射，使波重疊，此兩反向而行的波合成一駐波。此空氣柱內，波速 v 與頻率 f 及波長 λ的關係為： $v = f\times\lambda$

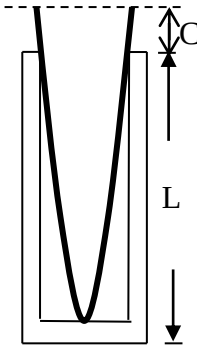
2.閉端附近空氣不能外移而位移為零，此即為縱波駐波的波節；開口端附近的空氣，振動位移最大，此為波腹。所以，**與一固定頻率的聲源所發聲波產生共鳴的最短管長應為波長 λ 的 1/4**。管長若為最短管長的三倍 3/4 λ 或五倍 5/4 λ 時亦能產生共鳴，∴**任何半封閉管的長度，若為四分之一波長的奇數倍，即能產生共鳴，音量會較高。**

若管長為 L，波長為 λ，則 $L = n \times \lambda / 4$ (n＝1,3,5,…)。

例如，氣溫為20℃ 聲波v =331+ 0.6 t = 343 m/s，管長L為空氣柱長 = 1/4 λ 聲波波長

∴**理論頻率**$f = v / \lambda = 34300 / (4\times L)$ ，**L的單位為公分。**

3.**偏差率＝（理論頻率－實測頻率）÷ 理論頻率 × 100%**



4.開口端的空氣分子有**最大**的運動自由度是為波腹，也可藉此設定開管、閉管的管口修正量。因此，當空氣以基頻振動時，管內的空氣柱形成駐波時，管口並非位移波的波腹 $\lambda/4 = (L+ c)$ ，

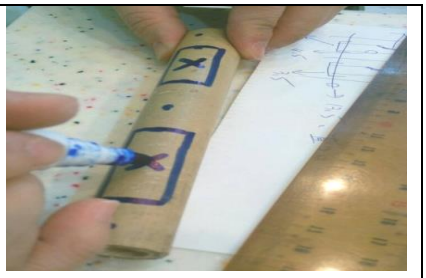
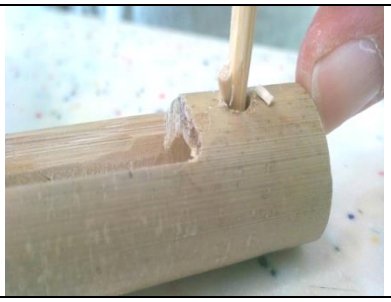
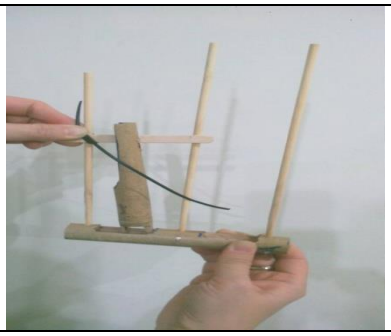
閉管的管口修正量的波速為 $V = f \times \lambda = f \times 4 \times (L+ c)$

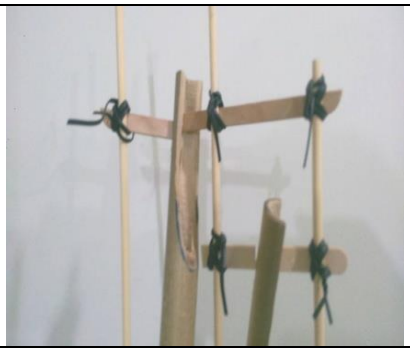
(二)安克隆竹琴製作的設計過程

1. 將煮沸碳化和泡氫氧化鈉的竹子切成所需長度。(如圖一)
2. 將裁切好的竹段去除多餘竹眼。(圖二)
3. 裁切好的竹段將需挖洞及孔的部份做記號。(圖三)
4. 用電鑽將標記處打洞（圖四)，再將多餘不平整用美工刀修平。(圖五)
5. 將其他材料如:竹籤、壓舌板備齊（圖六)，用美工刀將凹槽挖出，以利固定竹子。(圖七)
6. 先將竹籤固定在底座的孔洞中（圖八)，因孔洞不合，故將碎竹片塞入縫隙中以利固定。
7. 備齊所有竹子。(圖九)
8. 先將竹籤固定在位子上，(圖十)，但因縫隙太多導致竹籤不直，故用 3 秒膠固定。(圖十一)
9. 所有竹籤及竹子都歸位，即可用黑魔繩用交叉方式固定。(圖十二)

10. 固定好的安克隆成品。(圖十三)
11. 因要支撐竹子的壓舌板材質較軟，密度較低，所以再綁黑魔繩時力道不平均則容易使壓舌板斷裂。(圖十四)
12. 以固定能量搖動每支的安克隆管，以 Syaku8 電腦軟體測量音頻後，按音階，將製作好的各組安克隆管，並排掛接，完成安克隆琴的組裝。

組裝一組安克隆的圖示對照如下：

		
圖一	圖二	圖三
圖四	圖五	圖六
		
圖七	圖八	圖九
		
圖十	圖十一	圖十二

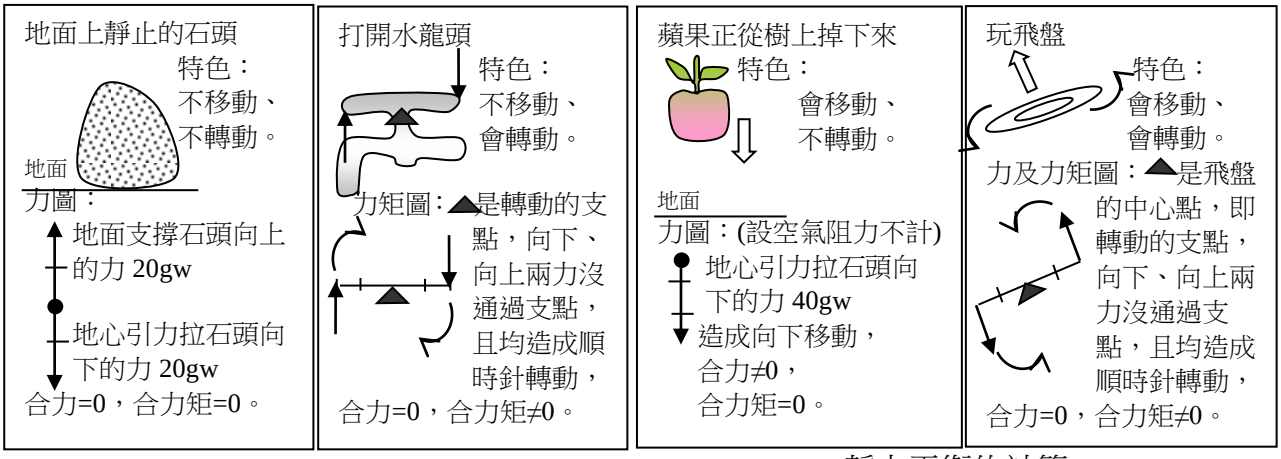
		
圖十三	圖十四	圖十五

研究四、以安克隆竹琴結構組合成不同和弦風鈴的共振樂音

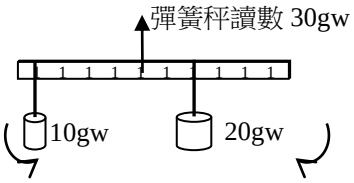
(一)風鈴的製作與力矩平衡原理

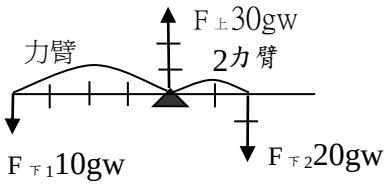
1.區別移動與轉動的概念及圖示分析

線段代表大小，箭頭代表方向(↑表向上移動，↓表向下移動，↻表順時針轉，↺ 表逆時針轉)



2.示例





靜力平衡的計算

1.合力=0，$F_{上}=F_{下1}+F_{下2}$

$30=10+20$

2.合力矩=0，$L_{逆}=L_{順}$，

$10\times4=20\times2$

(二)自製的安克隆風鈴

1.依據前面製作安克隆竹琴組的經驗，經過修正管 長後，製作出二組合弦的安克隆竹管，第一組竹管 1~3，音名為 Do 6、Mi 6、Fa 6；第二組竹管 4~6，音名為 Do 6、Sol 6、La 6。

2.將每支竹管底的竹節下鑽出適當的孔洞，穿線後備用。

3.再將報廢衣架以尖嘴鉗夾繞成螺旋管狀，把綁好線的安克隆竹管依序分好兩組，排序組裝如右圖。

4.將製備好的安克隆風鈴，以同樣的擺動幅度使其互相碰撞，再以連接電腦，打開音頻測定軟體後，以麥克風收音，記錄安克隆風鈴的共振音頻圖。

研究五、賽夏族的臀鈴開發設計與音頻分析

臀鈴共振區竹排的製作步驟：

1.將處理過的竹子避開竹節，切下製作安克隆竹管(含舌長)的竹管長度。

2.再把每支竹管對切後備用。

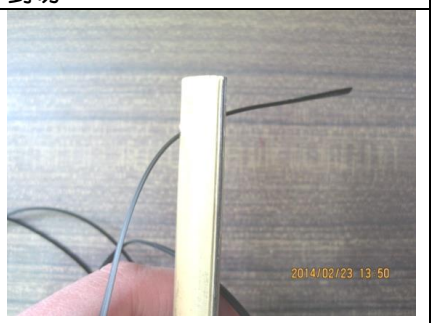
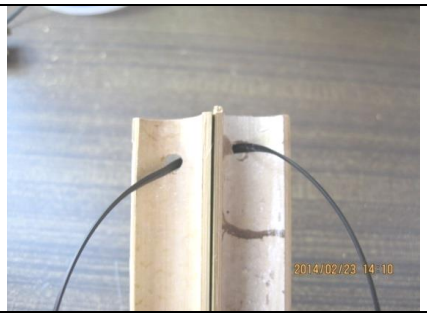
3.以鑽孔器將對切後的竹片各端穿洞。

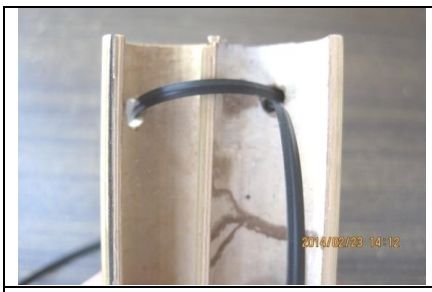
4.再將十五片的半片竹片以魔帶連好固定。

5.將 6 支安克隆竹管固定在竹片上，排序組裝如右圖，藉竹管與竹片彼此互相撞擊而發出聲音。

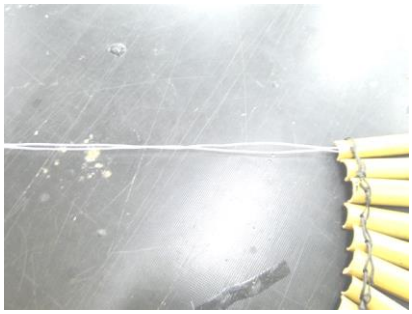
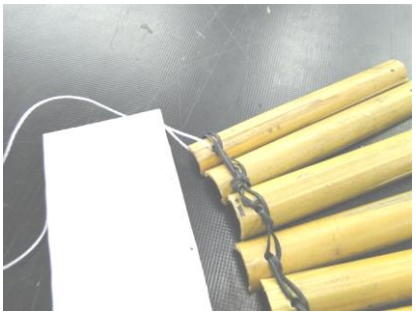
6.將製備好的臀鈴主體，以同樣的擺動幅度使其互相碰撞，再以連接電腦，打開音頻測定軟體後，以麥克風收音，記錄安克隆風鈴的共振音頻圖。

(一) 共振區竹排的製作

將竹子裁成適當長短	裁下來的竹子	利用特別製作的箱子,將每一段竹子對切
		
對切後的竹子	準備十五片裁好的半片竹子	步驟一 1 將魔帶穿過第一片竹子
		
一 2 將魔帶穿過第二片竹子(正面)	(背面)	一 3 由左邊的線穿到右邊的洞

		
背面	一 4 將左邊的線再穿入右邊的洞,與另一條線打結	步驟二 1 將魔帶穿過第三片竹子
二 2 由左邊的線穿到右邊的洞，再將將左邊的線再穿入右邊的洞,與另一條線打結	三按照以上的步驟,將十五片連在一起	竹排成品

(二)安克隆竹管加竹排的臀鈴製作

		
1 將尼龍繩穿過已製作好的竹排孔中	2 將尼龍繩對齊，使其等長	3 將尼龍繩穿過已事先打好孔距的冷氣封板塑材，打結固定
4 尼龍繩打結後無法完全固定，故用熱溶膠將打結處固定	5 將 15 片半片的竹子上孔迂迴穿合排成一列並完成敲擊臀鈴的竹排共鳴區	6 敲擊臀鈴的竹排背面

伍、結果與討論

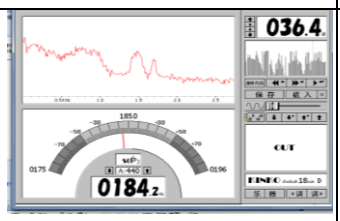
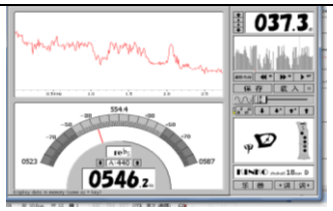
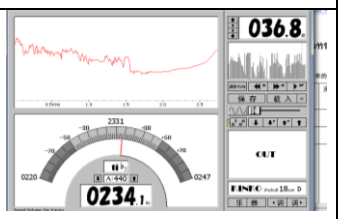
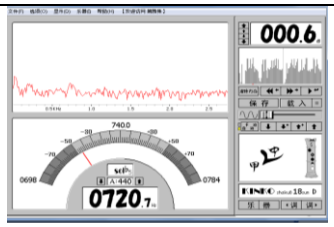
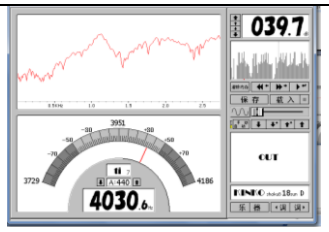
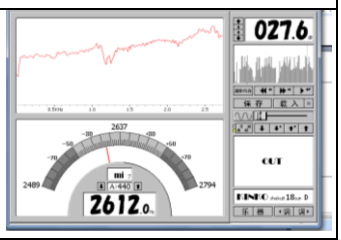
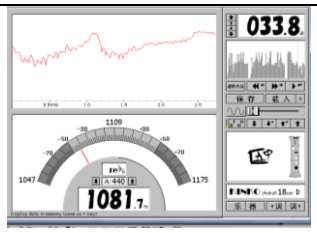
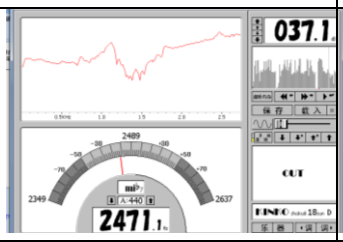
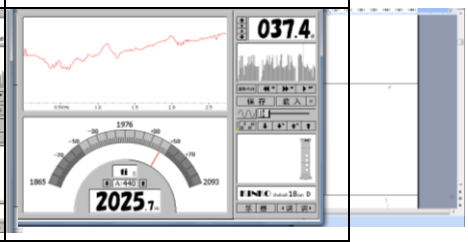
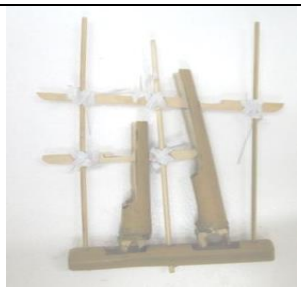
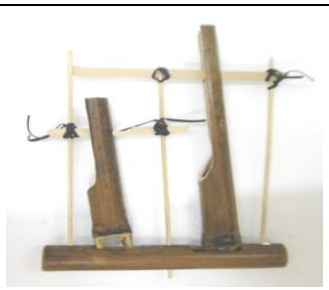
一、比較竹材的不同處理方式及敲擊後產生音頻的差異

1.我們選用至少三年生的竹子來做竹樂器的材料。

2.生物法「自然乾燥法」：竹子放在太陽下曝曬容易龜裂，而放在陰涼的地方，乾燥時間太久，且因生材富含有機質，容易發霉及腐爛。

3.物理性「蒸煮法」要耗費不少的電力及操作空間及大，但是比較後的音頻及音量均較佳。

4.化學性「浸泡 1%NaOH 藥劑法」雖較簡易，但有廢液，並且竹管乾燥後仍有藥劑味，最後大家還是決定以物理「蒸煮法」來做竹材的處理。

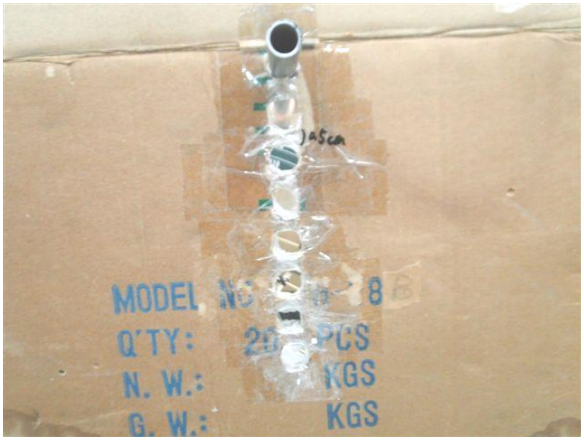
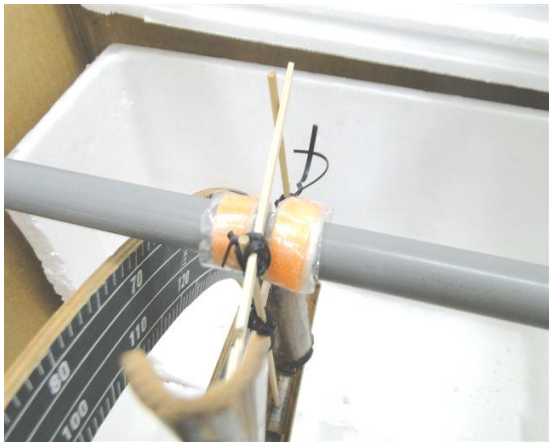
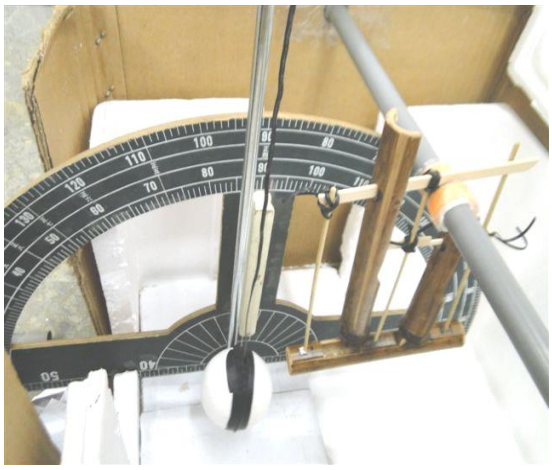
處理方式	自然乾燥法	蒸煮法	浸泡 1%NaOH 藥劑法
相同閉管等長 10 cm 直徑竹管敲擊出來的聲音音調			
5 cm			
7 cm			
製作成品			
缺點	放在太陽下曬容易龜裂；放在陰涼的地方，乾燥時間太久，且因生材富含有機質，容易發霉及腐爛。	這是我們親自到竹山參觀學習的竹子炭化方式，但是管長較長就不易找到更大的鍋子蒸煮。	也是要找大桶子，才能一次把竹子全長都浸泡到，雖然處理方式較簡易，但處理後竹子的藥劑味並不好聞。

5.不同竹材處理方式的音頻、製成品及缺點比較作表如下：

我們發現，不管是 5cm、7cm 或 10cm 直徑的等長一端閉管竹管，敲擊出來的聲音音調高低均是竹子處理方式：碳化蒸煮法＞化學藥劑處理法＞自然乾燥法。簡易初測是音量部份則碳化蒸煮法及化學藥劑處理法較為穩定。若要製作出音頻誤差小的竹琴，產生竹管音頻的敲擊測量方式還需再研究及設計。

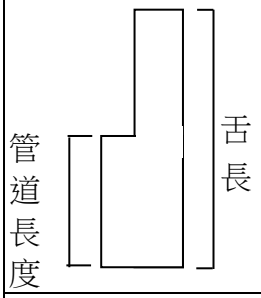
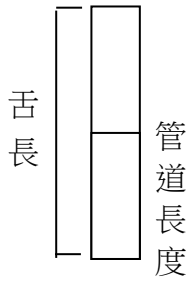
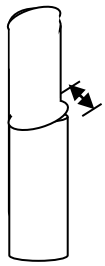
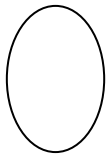
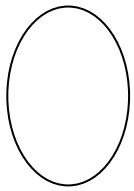
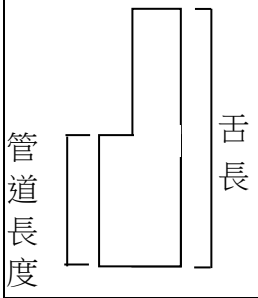
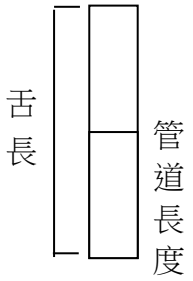
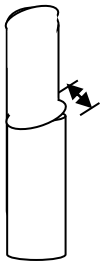
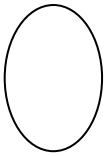
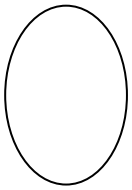
6.因在實驗室裡有許多聲音干擾，為避免影響數據結果，製作一個利用保麗龍達到隔音效果的隔音箱，如右圖

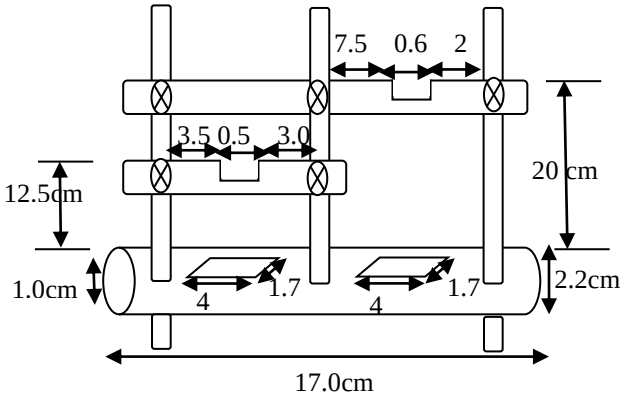
隔音箱內各構造圖示說明

	
1 因應各組安克隆的長短、高低，所設計的孔總共有 8 個水管支架孔	2 固定安克隆在音箱內的位子，架設水管，設立凹槽
	
3 將大顆的保麗龍球內部挖空，裝填 150 克的鐵沙，再用膠帶封住後，做為單擺撞擊安克隆竹琴組的重錘	4 只留一側做實測的通道面，架設量角器，使重錘的擺角相同，不僅可以調整力道大小，也可使每一次敲擊竹琴的能量相同

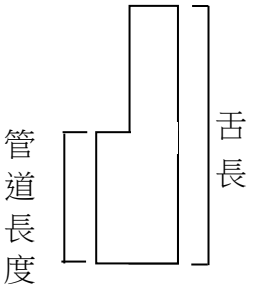
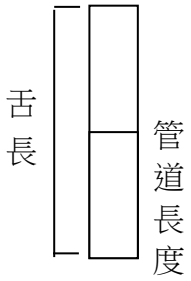
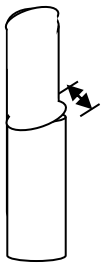
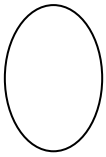
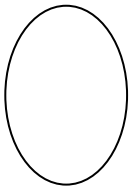
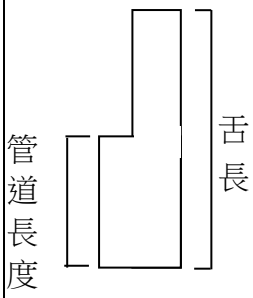
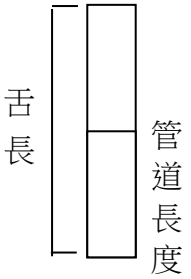
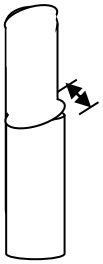
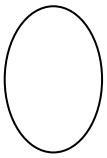
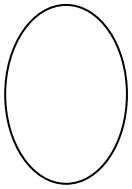
二、我們研發自製的安克隆竹琴的製作尺寸及其發聲音頻的比較及修正結果如下：

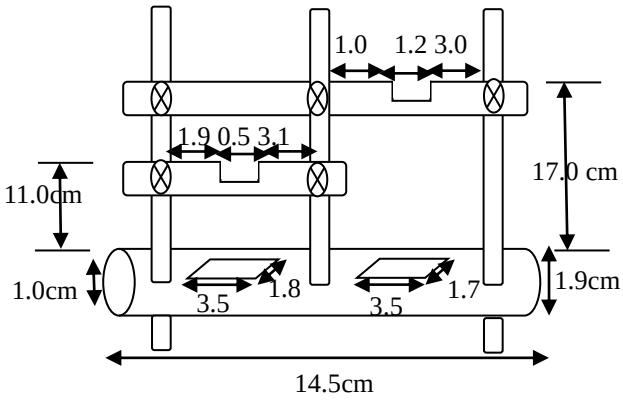
1.第一組安克隆竹管單鍵尺寸

第一組 短管單鍵尺寸 音調為 **Do 7**				
正面圖	側面圖	斜側立體圖	俯視內徑	俯視外徑
				
管道長度 6.5cm、舌　長 14.8cm 修正長度 5.0cm、修正舌長 13.7cm		L 型凸距 0.5cm 切削角度約 22°	X 軸長度 1.2cm Y 軸長度 1.2cm	X 軸長度 2.2cm Y 軸長度 2.2cm
第一組 長管單鍵尺寸 音調為 **Do 4**				
正面圖	側面圖	斜側立體圖	俯視內徑	俯視外徑
				
管道長度 9.4cm、舌　長 23.4cm 修正長度 8.5cm、修正舌長 22.6cm		L 型凸距 0.5cm 切削角度約 22°	X 軸長度 1.4cm Y 軸長度 1.4cm	X 軸長度 2.2cm Y 軸長度 2.2cm

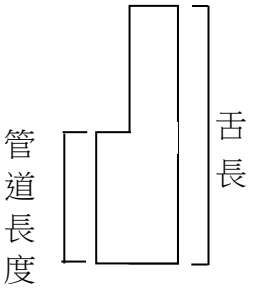
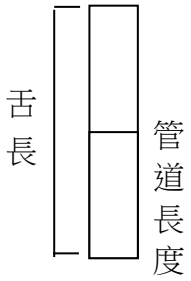
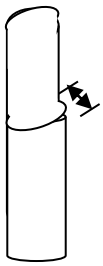
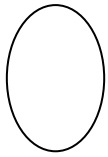
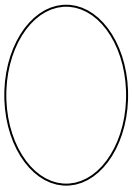
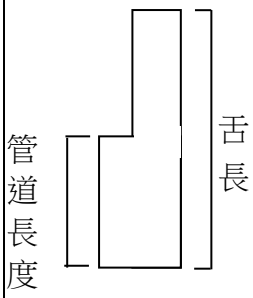
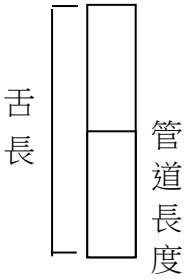
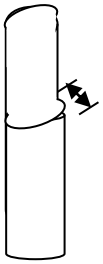
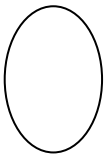
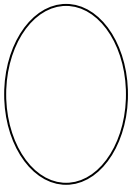
第一組竹管琴支架尺寸	第一組安克隆竹管琴圖示
	

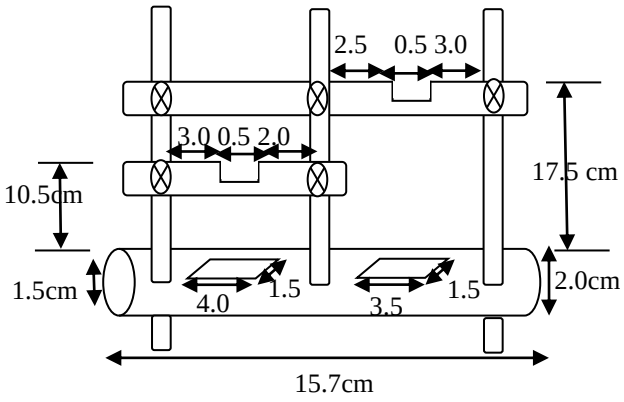
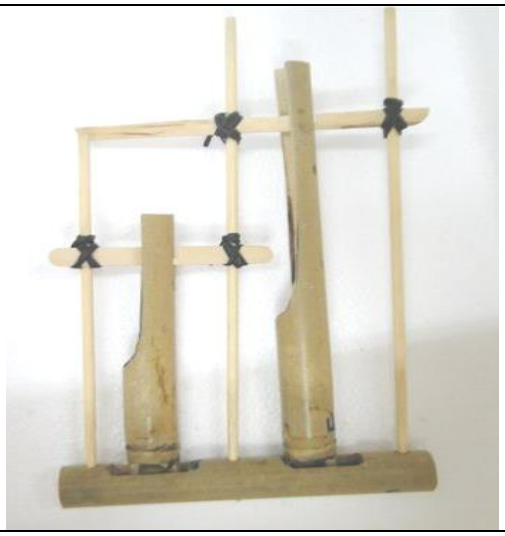
2.第二組安克隆尺寸

短管音調為 **Re 7**				
正面圖	側面圖	斜側立體圖	俯視內徑	俯視外徑
				
管道長度 4.0cm、舌　　長 13.5cm 修正長度 4.0cm、修正舌長 12.8cm		L 型凸距 0.7cm 切削角度約 20°	X 軸長度 1.5cm Y 軸長度 1.5cm	X 軸長度 2.2cm Y 軸長度 2.2cm
長管音調為 **Re 4**				
				
管道長度 8.0cm、舌　　長 19.0cm 修正長度 7.0cm、修正舌長 19.0cm		L 型凸距 1.0cm 切削角度約 20°	X 軸長度 1.3cm Y 軸長度 1.3cm	X 軸長度 2.3cm Y 軸長度 2.3cm

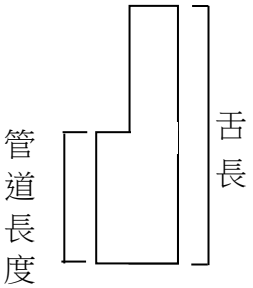
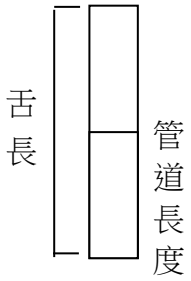
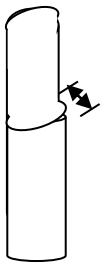
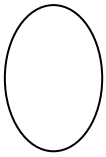
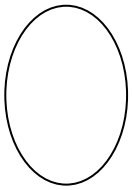
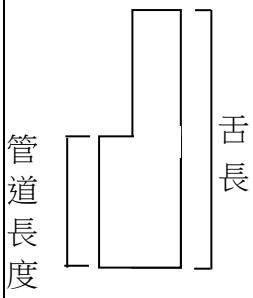
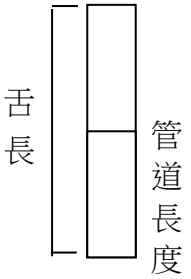
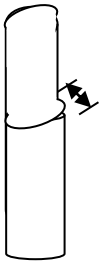
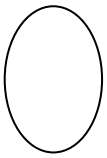
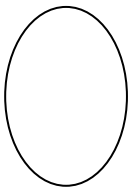
第二組竹管琴支架尺寸	第二組安克隆竹管琴圖示
	

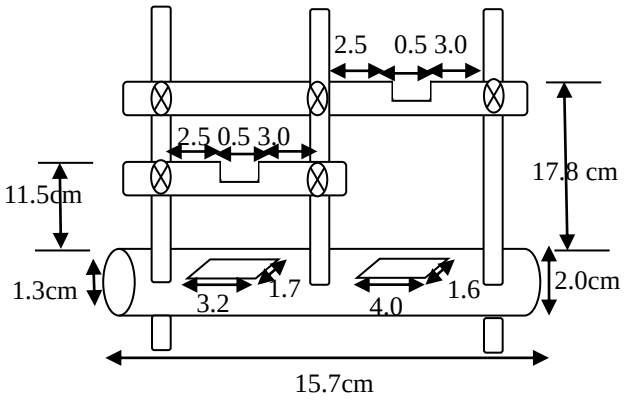
3.第三組安克隆尺寸

短管音調為 **Mi 7**				
正面圖	側面圖	斜側立體圖	俯視內徑	俯視外徑
				
管道長度 5.5cm、舌　長 13.05cm 修正長度 3.6cm、修正舌長 11.7cm		L 型凸距 0.8cm 切削角度約 25°	X 軸長度 1.5cm Y 軸長度 1.5cm	X 軸長度 2.1cm Y 軸長度 2.1cm
長管音調為 **Mi 5**				
				
管道長度 8.0cm、舌　長 21.0cm 修正長度 7.0cm、修正舌長 19.5cm		L 型凸距 1.0cm 切削角度約 24°	X 軸長度 1.5cm Y 軸長度 1.5cm	X 軸長度 2.1cm Y 軸長度 2.1cm

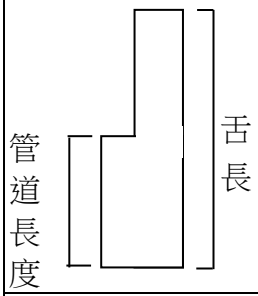
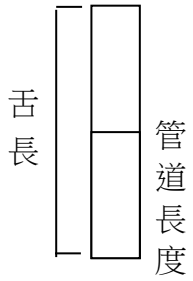
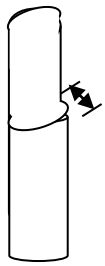
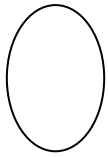
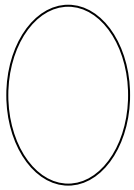
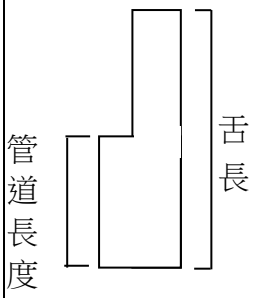
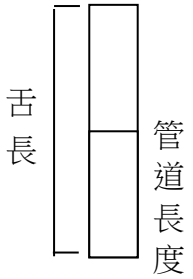
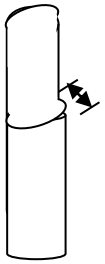
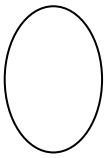
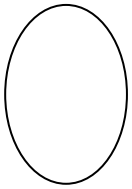
第三組竹管琴支架尺寸	第三組安克隆竹管琴圖示
	

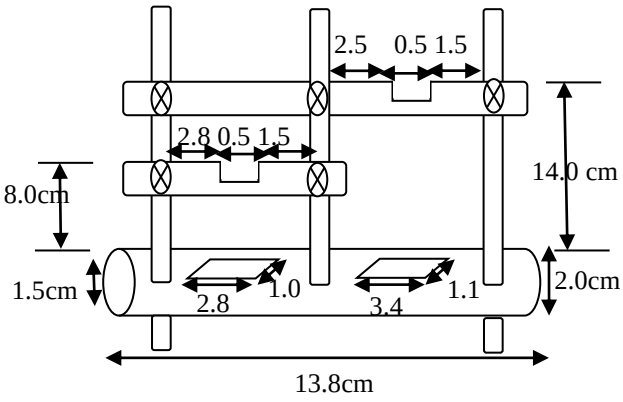
4.第四組安克隆尺寸

短管音調為 **Fa7**				
正面圖	側面圖	斜側立體圖	俯視內徑	俯視外徑
				
管道長度 6.0cm、舌　長 13.75cm		L 型凸距 0.8cm 切削角度約 24°	X 軸長度 1.0cm Y 軸長度 1.0cm	X 軸長度 2.0cm Y 軸長度 2.0cm
長管音調為 **Fa 5**				
				
管道長度 9.0cm、舌　長 20.40cm		L 型凸距 0.7cm 切削角度約 35°	X 軸長度 1.2cm Y 軸長度 1.2cm	X 軸長度 2.1cm Y 軸長度 2.1cm

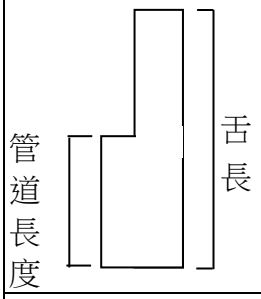
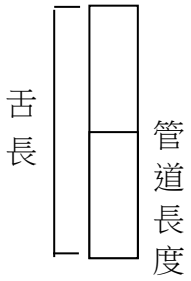
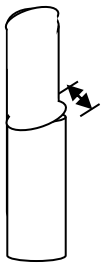
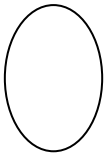
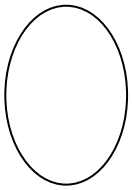
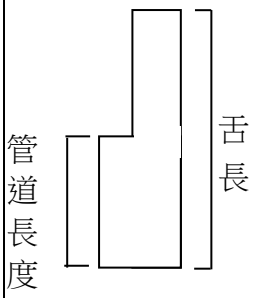
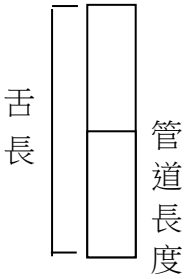
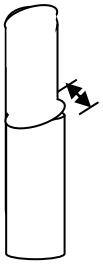
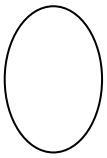
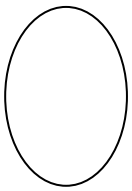
第四組竹管琴支架尺寸	第四組安克隆竹管琴圖示
	

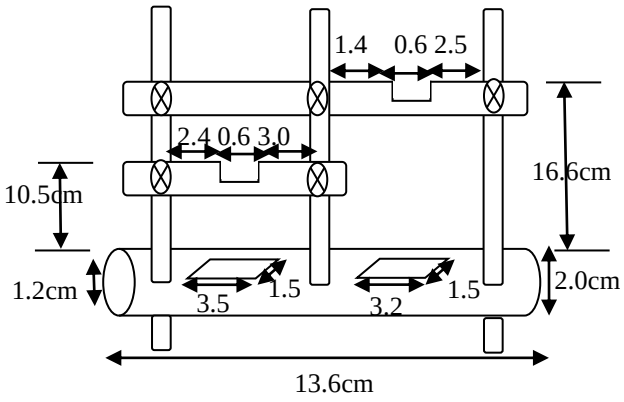
5.第五組安克隆尺寸

短管音調為 **Sol 7**				
正面圖	側面圖	斜側立體圖	俯視內徑	俯視外徑
				
管道長度 3.4cm、舌　長 10.6cm		L 型凸距 0.5cm 切削角度約 25°	X 軸長度 1.3cm Y 軸長度 1.3cm	X 軸長度 1.7cm Y 軸長度 1.7cm
長管音調為 Sol 6				
				
管道長度 6.5cm、舌　長 17.2cm		L 型凸距 0.7cm 切削角度約 35°	X 軸長度 1.7cm Y 軸長度 1.7cm	X 軸長度 2.2cm Y 軸長度 2.2cm

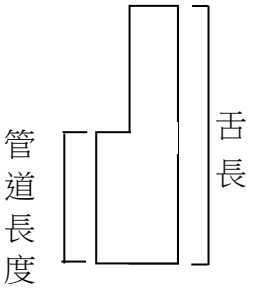
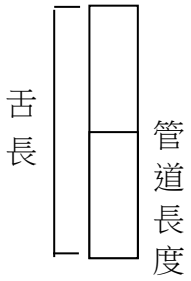
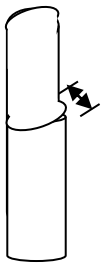
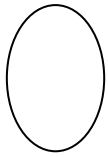
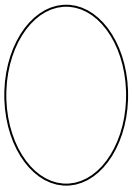
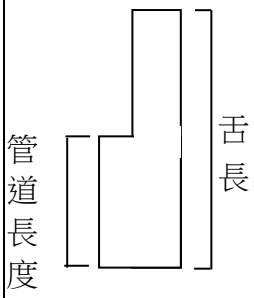
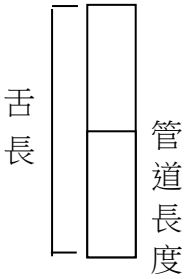
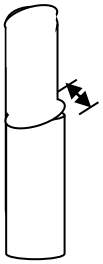
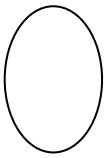
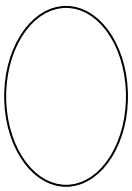
第五組竹管琴支架尺寸	第五組安克隆竹管琴圖示
	

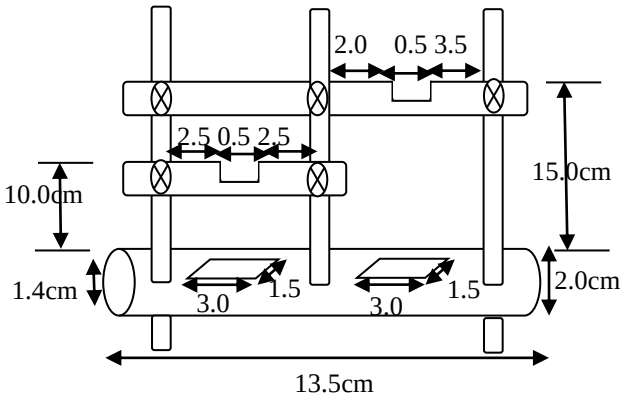
6.第六組安克隆尺寸

短管音調為 **La 7**				
正面圖	側面圖	斜側立體圖	俯視內徑	俯視外徑
				
管道長度 5.5cm、舌　長 12.6cm		L 型凸距 0.8cm 切削角度約 25°	X 軸長度 1.3cm Y 軸長度 1.3cm	X 軸長度 2.2cm Y 軸長度 2.2cm
長管音調為 **La 6**				
				
管道長度 9.5cm、舌　長 19.0cm		L 型凸距 0.7cm 切削角度約 28°	X 軸長度 1.0cm Y 軸長度 1.0cm	X 軸長度 2.0cm Y 軸長度 2.0cm

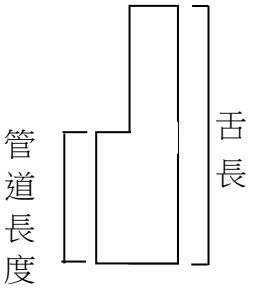
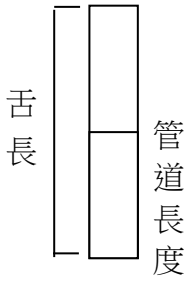
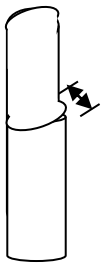
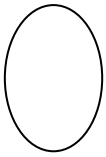
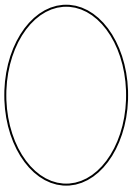
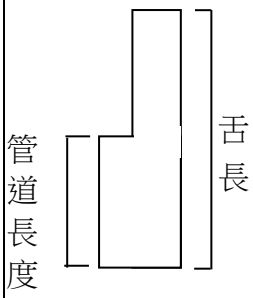
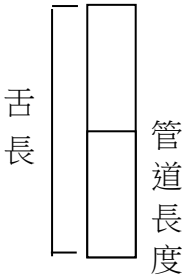
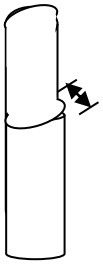
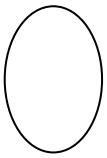
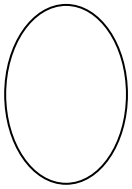
第六組竹管琴支架尺寸	第六組安克隆竹管琴圖示
	

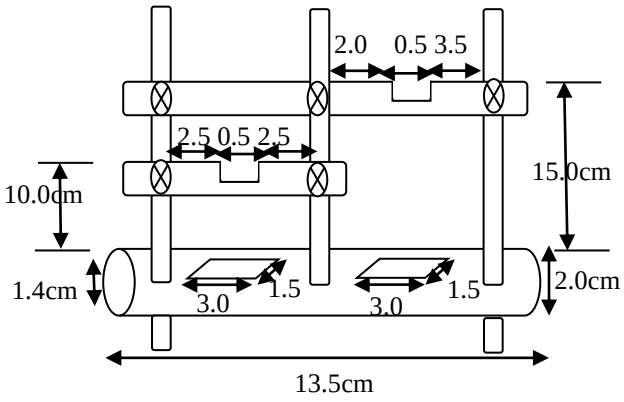
7.第七組安克隆尺寸

短管音調為 Si 7				
正面圖	側面圖	斜側立體圖	俯視內徑	俯視外徑
				
管道長度 5.5cm、舌　長 11.4cm 修正長度 2.4cm、修正舌長 8.9cm		L 型凸距 0.6cm 切削角度約 33°	X 軸長度 1.2cm Y 軸長度 1.2cm	X 軸長度 2.0cm Y 軸長度 2.0cm
長管音調為 Si 6				
				
管道長度 9.5cm、舌　長 19.0cm 修正長度 4.5cm、修正舌長 14.3cm		L 型凸距 0.5cm 切削角度約 24°	X 軸長度 1.3cm Y 軸長度 1.3cm	X 軸長度 2.1cm Y 軸長度 2.1cm

第七組竹管琴支架尺寸	第七組安克隆竹管琴圖示
	

8.第八組安克隆尺寸

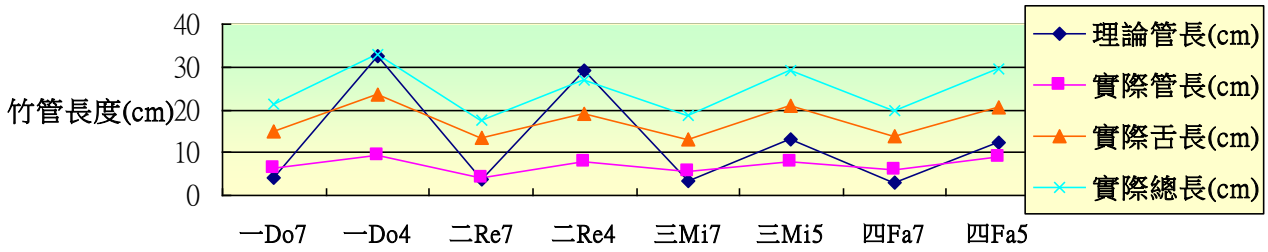
短管音調為 **Do 8**				
正面圖	側面圖	斜側立體圖	俯視內徑	俯視外徑
				
管道長度 4.5cm、舌　長 9.9cm		L 型凸距 1.7cm 切削角度約 25°	X 軸長度 1.1cm Y 軸長度 1.1cm	X 軸長度 1.8cm Y 軸長度 1.8cm
長管音調為 **Do 7**				
				
管道長度 6.5cm、舌　長 15.1cm		L 型凸距 1.7cm 切削角度約 22°	X 軸長度 1.8cm Y 軸長度 1.8cm	X 軸長度 2.0cm Y 軸長度 2.0cm

第八組竹管琴支架尺寸	第八組安克隆竹管琴圖示
	

9.自製安克隆竹琴組的管長、舌長與理論管長及音頻的分析如下圖表：

安克隆竹琴組	一 Do7	一 Do4	二 Re7	二 Re4	三 Mi7	三 Mi5	四 Fa7	四 Fa5
理論管長(cm)	4.1	32.7	3.7	29.2	3.3	13.0	3.1	12.3
實際管長(cm)	6.5	9.4	4.0	8.0	5.5	8.0	6.0	9.0
實際舌長(cm)	14.8	23.4	13.5	19.0	13.05	21.0	13.7	20.4
實際總長(cm)	21.3	32.8	17.5	27	18.55	29	19.7	29.4

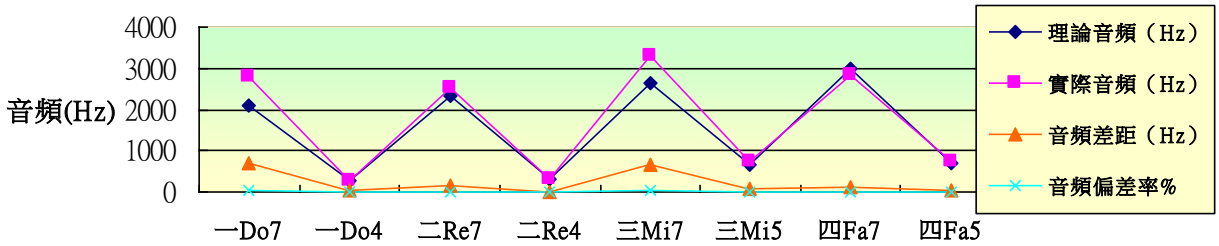
自製安克隆竹琴的各竹管實際管長、舌長與理論管長無舌長音頻的比較圖



第一組至第四組安克隆竹管及音名

安克隆竹琴組	一 Do7	一 Do4	二 Re7	二 Re4	三 Mi7	三 Mi5	四 Fa7	四 Fa5
理論音頻(Hz)	2093	262	2349	294	2637	659.26	2974	698.46
實際音頻(Hz)	2783.0	288.2	2523.0	298.4	3295.9	725.7	2850.3	734.8
音頻差距(Hz)	690	26.2	174	4.4	658.9	66.44	123.7	36.34
音頻偏差率%	32.9	10.0	7.4	1.49	25.0	10.1	4.15	5.2

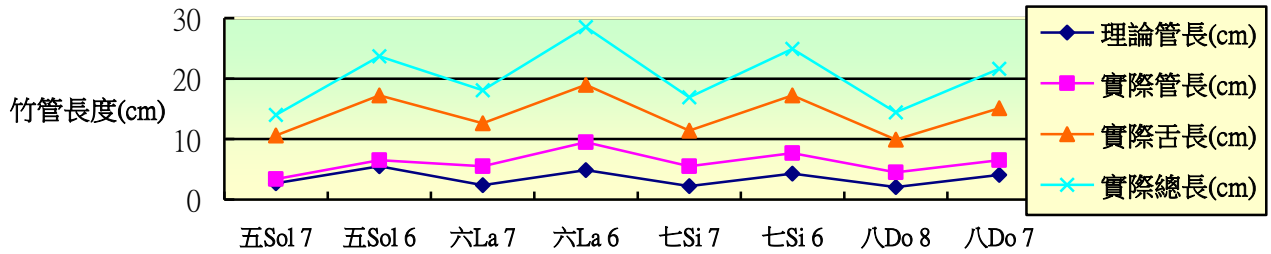
自製安克隆竹琴的各竹管實際音頻與理論音頻及差距的比較圖



第一組至第四組安克隆竹管及音名

安克隆竹琴組	五 Sol 7	五 Sol 6	六 La 7	六 La 6	七 Si 7	七 Si 6	八 Do 8	八 Do 7
理論管長(cm)	2.7	5.5	2.4	4.9	2.2	4.3	2.05	4.1
實際管長(cm)	3.4	6.5	5.5	9.5	5.5	7.7	4.5	6.5
實際舌長(cm)	10.6	17.2	12.6	19.0	11.4	17.2	9.9	15.1
實際總長(cm)	14	23.7	18.1	28.5	16.9	24.9	14.4	21.6

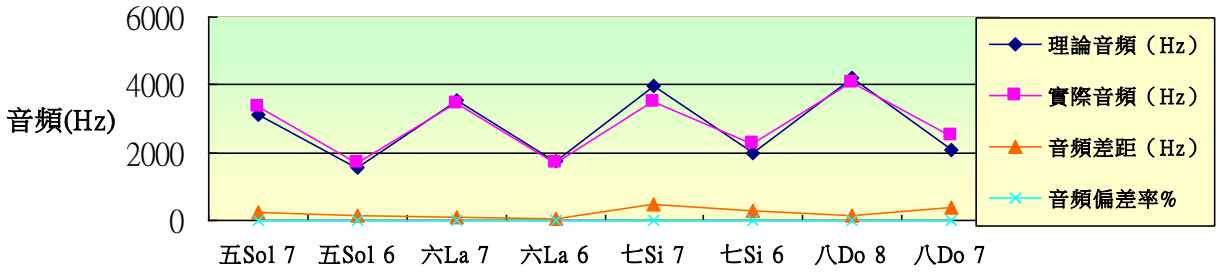
自製安克隆竹琴的各竹管實際管長、舌長與理論管長無舌長音頻的比較圖



第五組至第八組安克隆竹管及音名

安克隆竹琴組	五 Sol 7	五 Sol 6	六 La 7	六 La 6	七 Si 7	七 Si 6	八 Do 8	八 Do 7
理論音頻(Hz)	3136	1568	3520	1760	3952	1976	4186	2093
實際音頻(Hz)	3349.0	1704.4	3441.2	1713.9	3473.1	2247.7	4065.9	2489.6
音頻差距(Hz)	213	136.4	79	46.1	478.9	271.7	120.1	396.6
音頻偏差率%	6.8	8.7	2.24	2.61	12.11	13.75	2.86	18.9

自製安克隆竹琴的各竹管實際音頻與理論音頻及距差的比較圖



第五組至第八組安克隆竹管及音名

10.安克隆之單鍵調音修正：

(1)每支竹管先輕敲，測音頻後對照音名，找出最接近的發音頻率而逐次由管口向下鋸削短筒長以調整筒音，敲擊管口端之筒內空氣柱振動頻率共鳴頻率與檢測竹管體振動頻率相同之共鳴為止。如此可將原本不合諧的高頻泛音調整到與基頻合諧之結果。

(2)第一組短管音頻偏差率為 32.9%，所以，我們修正管長為 5.0cm、修正舌長為 13.7cm，已經將音頻偏差率降至 10 %以下。

第一組長管音頻偏差率為 10.0%，所以，我們略為修正管長為 8.5 cm、修正舌長為 22.6 cm，已經將音頻偏差率降至 10 %以下。

(3)第二組短管音頻偏差率為 7.4%，所以，我們不修正管長、只修正舌長為 12.8cm，音頻偏差率降至 5 %以下。

(4)第三組短管音頻偏差率為 24.98%，果然管道長度 5.5cm 實在與理論管長差太多了，所以，我們修正管長為 3.6cm、修正舌長為 11.7cm，已經將音頻偏差率降至 10 %以下。

第三組長管音頻偏差率為 10.1%，所以，我們略為修正管長為 7.0cm、修正舌長為 19.5 cm，已經將音頻偏差率降至 10 %以下。

(5)第四組短管音頻偏差率為 5.0%以下，雖然它與理論管長相差較多，但前面已發現舌長對於低音頻有絕對的影響，所以，我們先暫不修正管長及舌長。

第四組長管音頻偏差率為 5.2%，雖然它與理論管長相差較多，與短管說明相同，所以，我們先暫不修正管長及舌長。

(6)第五組短管及長管音頻偏差率均為 10%以下，所以，我們均暫時不修正管長及舌長。

(7)第六組短管及長管音頻偏差率均為 3%以下，所以，我們均暫時不修正管長及舌長。

(8)第七組短管音頻偏差率為 12.11%，果然管道長度 5.5cm 實在與理論管長差太多了，所以，我們修正管長為 2.4cm、修正舌長為 8.9cm，已經將音頻偏差率降至 10 %以下。

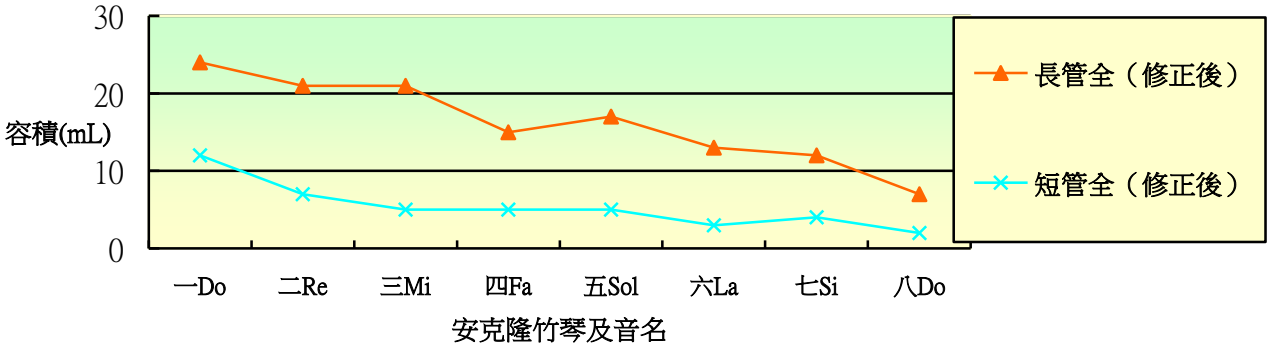
第七組長管音頻偏差率為 13.75%，所以，我們略為修正管長為 4.5cm、修正舌長為 14.3 cm，已經將音頻偏差率降至 10 %以下。

(9)第八組短管音頻偏差率均為 3%以下，所以，我們均暫時不修正管長及舌長。

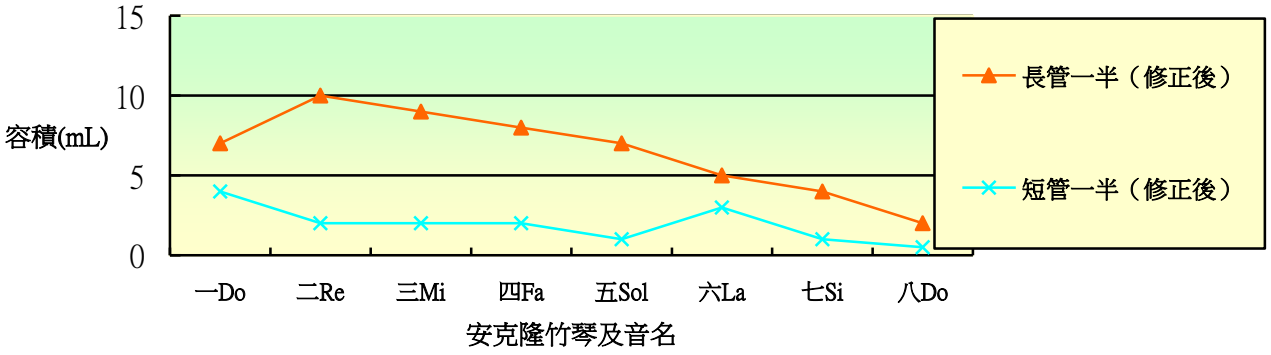
第八組長管音頻偏差率為 18.9%，我們將管道長度下削為修正管長 4.7cm、修正舌長為 13.3cm，已經將音頻偏差率降至 10 %以下。

11.因以前使用的竹子只選擇用管長做操縱變因，未經篩選過的竹子內外徑差不一，我們覺得除了修正管長外，敲擊振動時，若樂器「輕、薄、短、小、緊」音較高，所以，我們比較每組安克隆竹琴修正前後的容積與質量的關係，果然，修正竹琴管長後，質量與音階高低比管內容積共鳴較有線性關係。

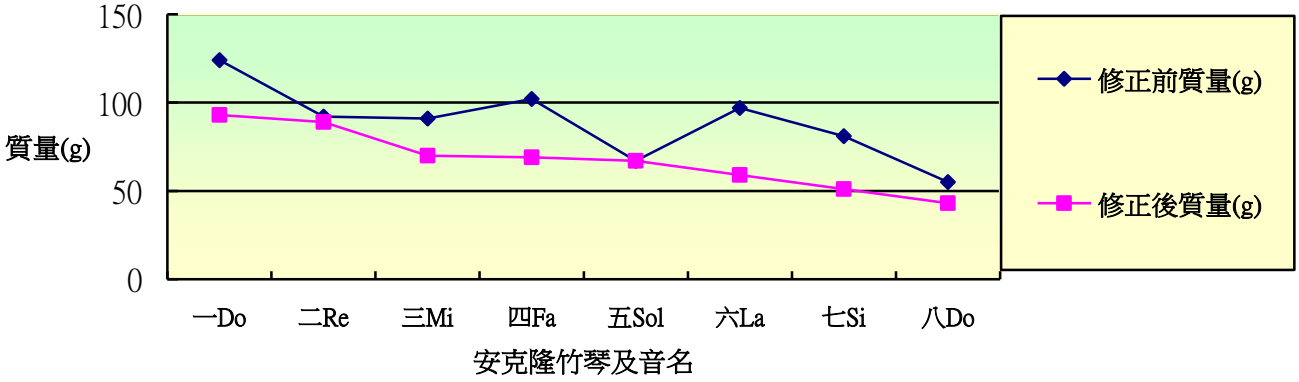
修正後安克隆竹琴管長加舌長總容積關係圖



修正後安克隆竹琴只有管長的容積關係圖



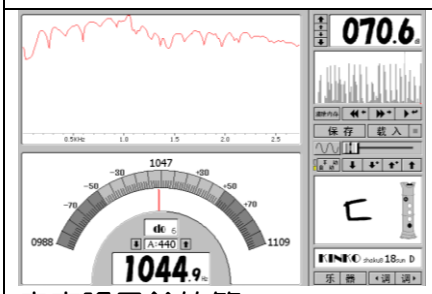
修正前與修正後安克隆竹琴組總質量關係圖



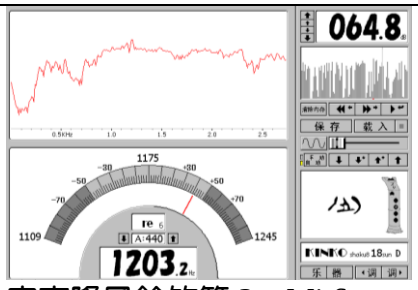
三、自製的安克隆風鈴

1. 六支安克隆風鈴竹管的音頻比較如下圖：

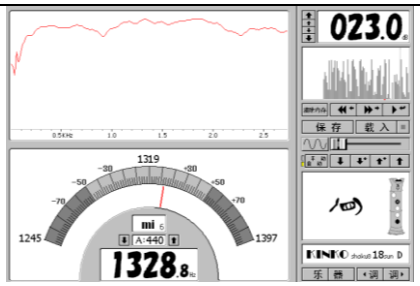
安克隆風鈴六支竹管的音頻代表圖示如下



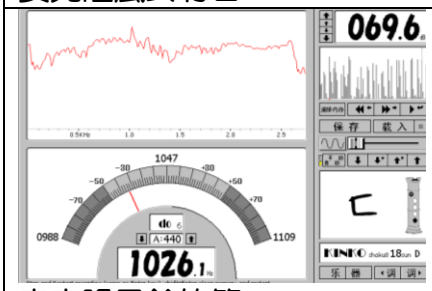
安克隆風鈴竹管 1　Do 6



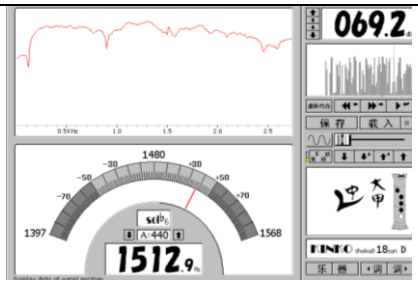
安克隆風鈴竹管 2　Mi 6



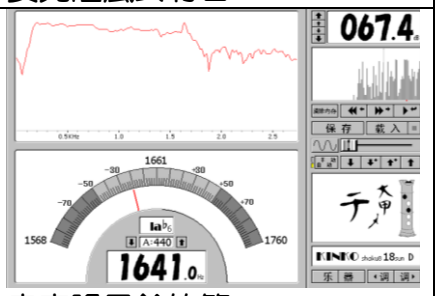
安克隆風鈴竹管 3　Fa 6



安克隆風鈴竹管 4　Do 6



安克隆風鈴竹管 5　Sol 6

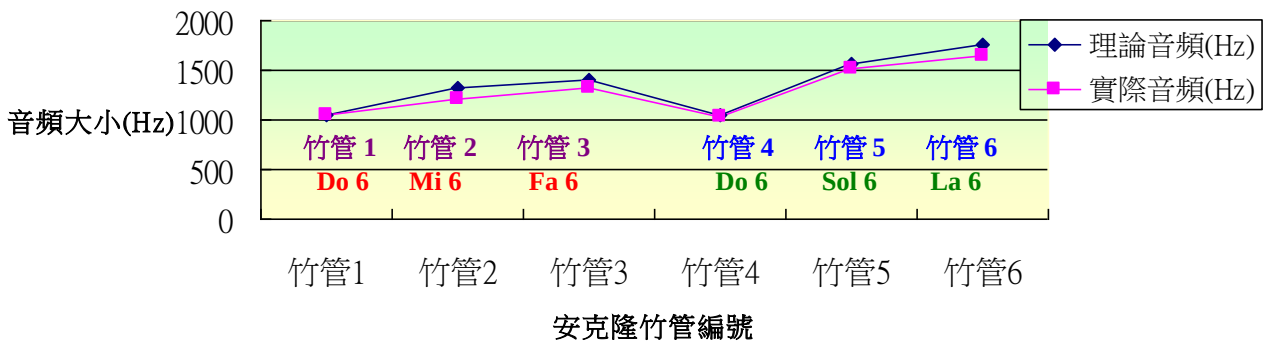


安克隆風鈴竹管 6　La 6

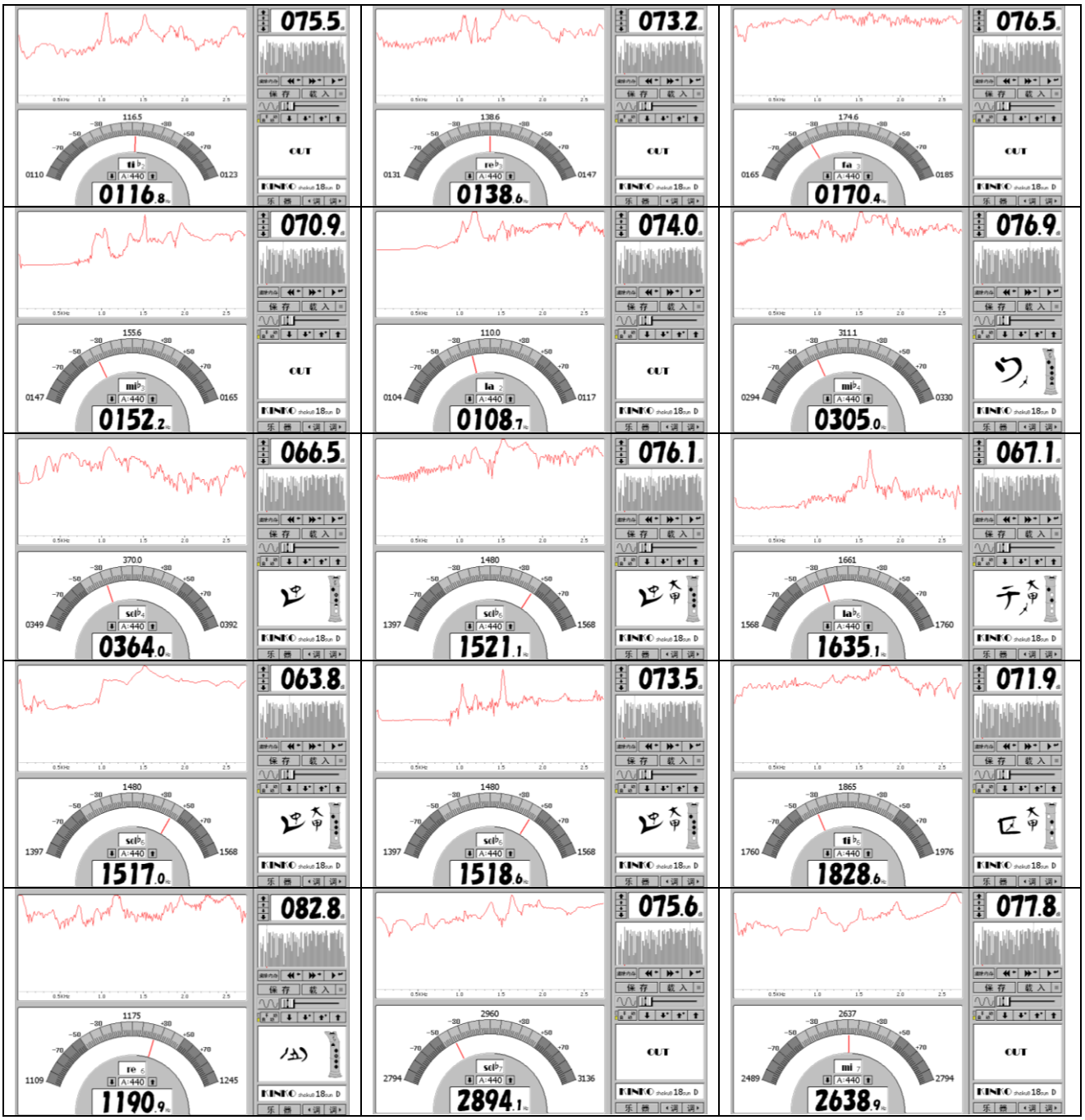
2.安克隆風鈴的這六支安克隆竹管的音名、音頻及共振圖表列表如下：

安克隆風鈴	音名	理論音頻(Hz)	實際音頻(Hz)	音頻差(Hz)	偏差率%
風鈴竹管 1	Do 6	1046.5	1044.9	1.6	0.15
風鈴竹管 2	Mi 6	1318.52	1203.2	115.3	8.75
風鈴竹管 3	Fa 6	1396.92	1328.8	68.1	4.88
風鈴竹管 4	Do 6	1046.5	1026.1	20.4	1.95
風鈴竹管 5	Sol 6	1568	1512. 9	55.1	3.51
風鈴竹管 6	La 6	1760	1641	119	6.76

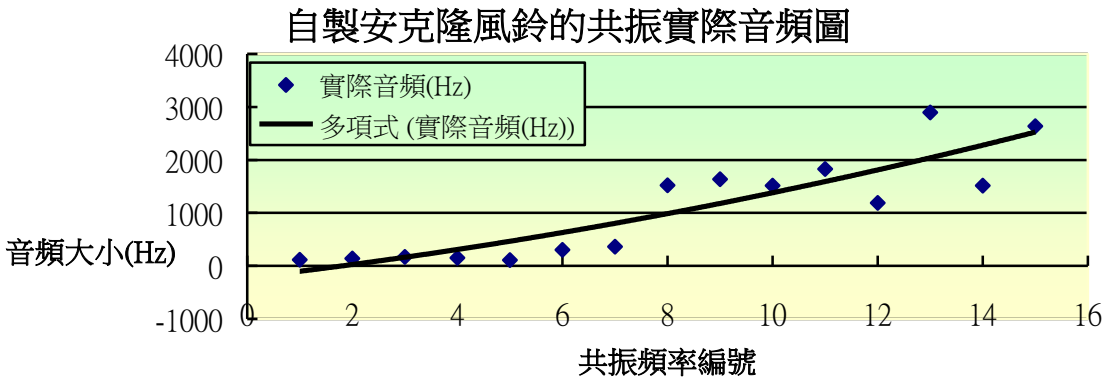
自製安克隆風鈴的各竹管實際音頻與理論音頻的比較圖



3.安克隆風鈴六支竹管 15 個共振音頻代表圖示如下



共振 100~200HZ 共 5 個　300~400HZ 共 2 個　1000~2000HZ 共 6 個 2000~3000HZ 共 2 個音頻圖，平均音量為 74.14 分貝。

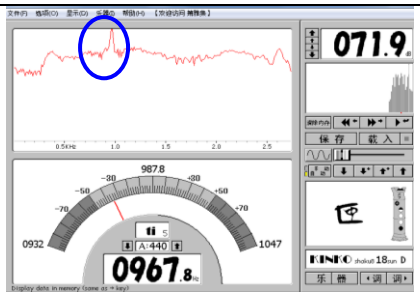


四、賽夏族的臀鈴開發設計與音頻分析

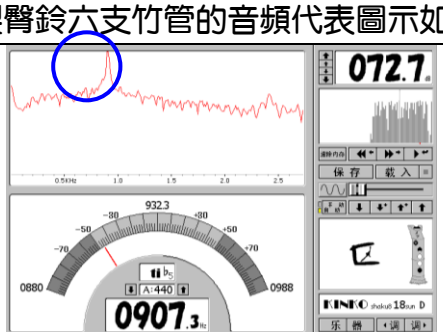
1.自製臀鈴的這六支安克隆竹管的音名、音頻及共振圖表列表如下：

臀鈴	音名	理論音頻(Hz)	實際音頻(Hz)	音頻差(Hz)	偏差率%
竹管 1	Si 5	987.77	967.8	20.0	2.0
竹管 2	La 5	880	907.3	27.3	3.1
竹管 3	Do 6	1046.5	1149.3	102.8	9.8
竹管 4	Re 6	1174.66	1268.5	93.8	8.0
竹管 5	Mi 6	1318.52	1278.2	40.3	3.1
竹管 6	Fa 6	1396.92	1420.5	23.6	1.7

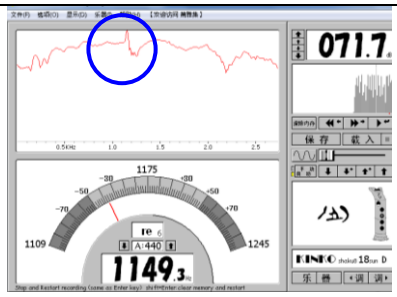
自製臀鈴六支竹管的音頻代表圖示如下



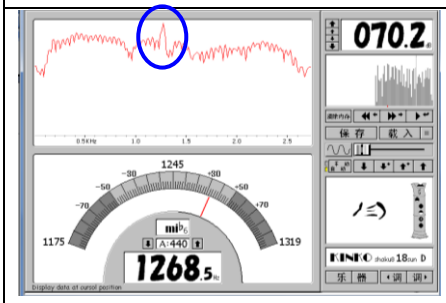
臀鈴竹管 1 的 Si 5



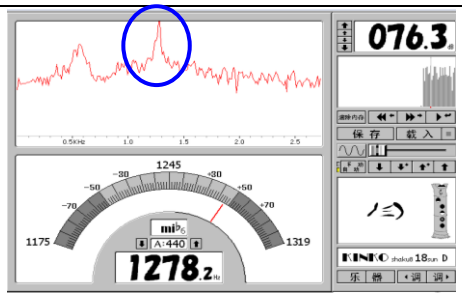
臀鈴竹管 2 的 La 5



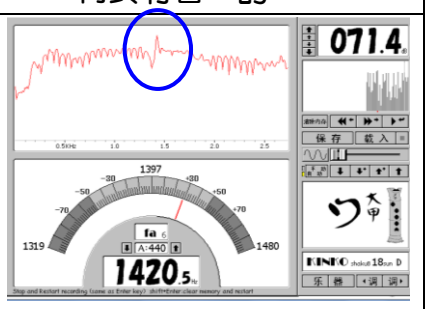
臀鈴竹管 3 的 Do 6



臀鈴竹管 4 的 Re 6

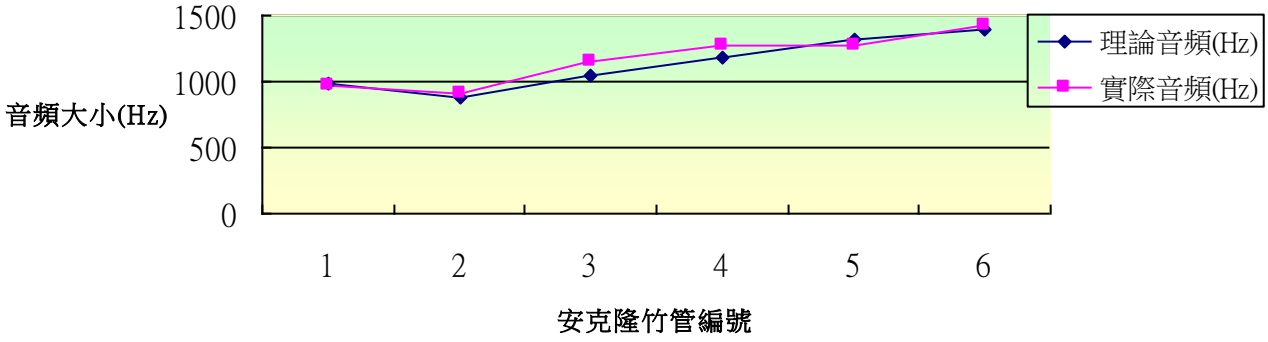


臀鈴竹管 5 的 Mi 6

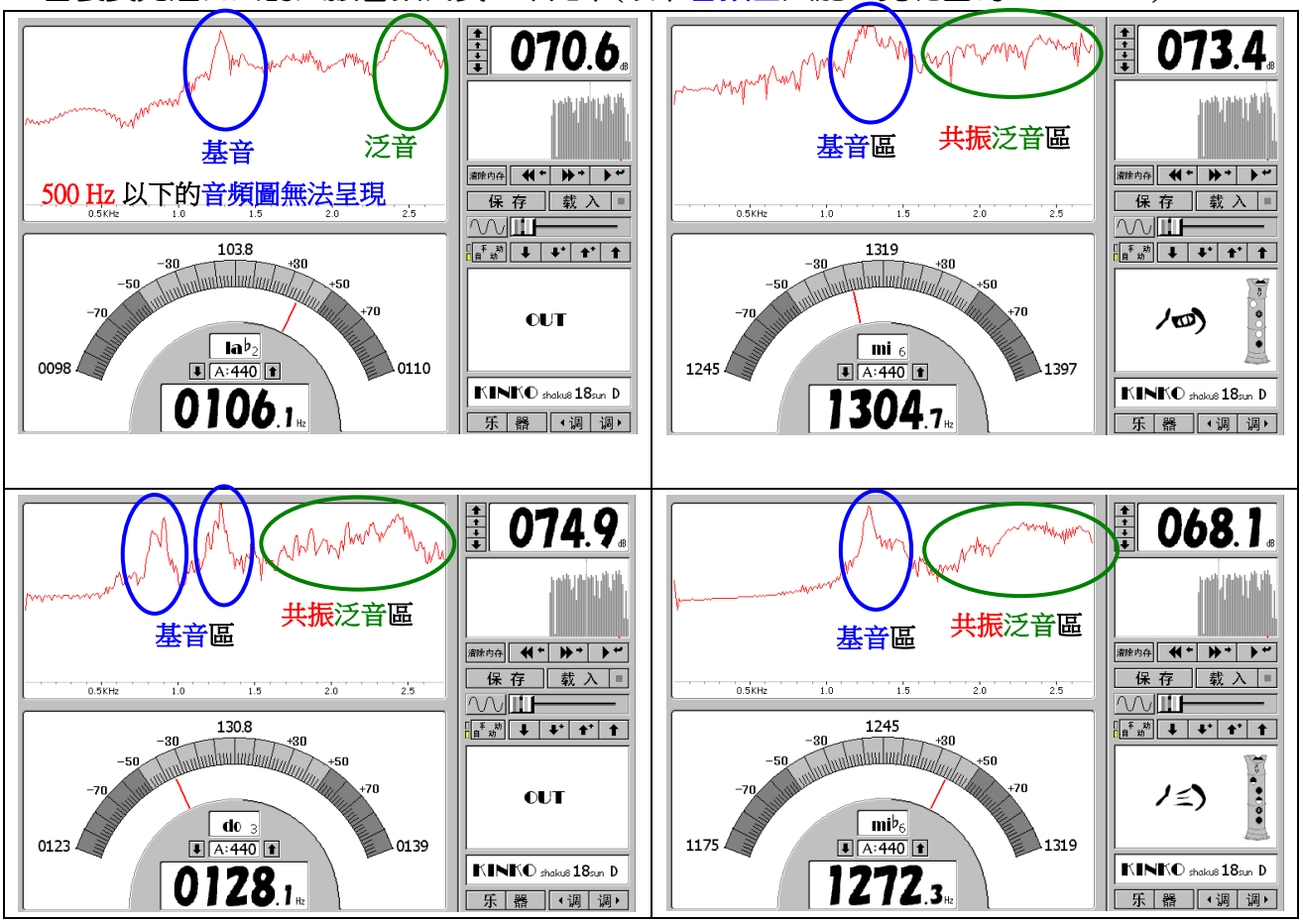


臀鈴竹管 6 的 Fa 6

自製臀鈴的各竹管實際音頻與理論音頻的比較圖



2.自製安克隆臀鈴的共振音頻代表圖示如下(以下**音頻圖**只能看見範圍為 **500~2500Hz**)



安克隆竹管長：音名為管 1 的 Si 5＞管 2 的 La 5＞管 3 的 Do 6＞管 4 的 Re 6＞管 5 的 Mi 6＞管 6 的 Fa 6 管。

實際音頻大小：音名為管 1 的 Si 5＜管 2 的 La 5＜管 3 的 Do 6＜管 4 的 Re 6＜管 5 的 Mi 6＜管 6 的 Fa 6 管。

3.我們特別選擇六支音程接近的安克隆竹管 Si 5~La 5、Do 6~Fa 6 竹管與竹片凸面彼此互相撞擊而發出聲音，由音頻圖示可知，最大收音的共振振幅音頻只出現 100~200Hz 及 1000~2000Hz，平均音量為 71.75 分貝。

4.我們發現 106.1 或 128.1Hz 的音頻是比 Si 5~ Fa 6 差 24 度音 Si 2 的 123.47Hz~ Fa3 的 174.62 Hz 更小音頻，我們推測，會每秒振動音頻 100 多的，可能是安克隆竹管敲擊竹片後產生竹片振動的發音。

陸、心得與結論

一、在安克隆之單鍵調音比較上：

1.我們以敲擊法敲擊安克隆竹琴，使其自然振動而自由衰減，以麥克風以聲頻訊號接收後，以頻譜分析儀來測定其自然或共振頻率。

2.安克隆竹琴屬於以竹材本身作為發音體的體鳴樂器，振動原理就是藉敲擊之竹管內空氣柱與竹體頻率共振，使聲音能量疊加而共鳴。

3.我們每個音階的竹琴調音作法是：每支竹管先輕敲，測音頻後對照音名，找出最接近的發音頻率而逐次由管口向下鋸削短筒長以調整筒音，敲擊管口端之筒內空氣柱振動頻率共鳴頻率與檢測竹管體振動頻率相同之共鳴(測出最大聲)為止。如此可將原本不合諧的高頻泛音調整到與基頻合諧之結果。

二、在安克隆風鈴之製作設計上：

1.我們以和弦伴奏的概念，以二組合弦(音名為 Do 6、Mi 6、Fa 6 及 Do 6、Sol 6、La 6)來製作安克隆風鈴。每支風鈴竹管因為有了製作安克隆竹琴組的經驗後，以修正管長的概念，成功的製作出實測音頻與理論音頻的音頻偏差率均低於 10%以下的安克隆竹管，對於不斷嘗試錯誤摸索中的我們，能製作出可以更接近理論音頻的安克隆竹管，真是令人高興。

2.我們了解力矩平衡原理後，聯想到可以用合弦的想法來組合安克隆竹管－自製風鈴，我們實際製作的安克隆竹管可當作風鈴的材料，而搖動自製的安克隆風鈴後，所產生的共振音頻聽起來也很悅耳動聽，大家覺得成就感還不小哩~

3.不過，如果我們將研發自製安克隆竹琴及風鈴同時推廣到學校的表演藝術課裡，感覺上好像有點手忙腳亂，因為安克隆竹琴及風鈴都要用手搖…。經過我們查竹製樂器資料、腦力激盪及討論後，原住民手足舞蹈的畫面讓我們再次想到賽夏族的臀鈴，臀鈴圖片中顯示的是薏仁串珠下整排的竹管，這些竹管看起來都一樣長，如果將這些竹管改成配合合弦的安克隆竹管，再製作成臀鈴，那上表演藝術課時，就不只可以手搖，身體也可以動一動，想到就真是身心愉快啊！

三、在臀鈴之製作設計上：

1.我們想要自製校園樂器的想法已經傳承到第三年，搜集研究資料也非常的多，國三的我還好有能幹的學妹鍥而不捨的共同製作、研究及助編，也感謝家人辛苦的陪伴、老師三年來辛勤的研究、耐心的指導及修正方向，我們終於成功的首創研發(除了參考資料提及的資訊，歷年全國作品均沒有學校對於安克隆竹管或賽夏族臀鈴做詳細的研究及開發的作品)、製作出可以為學校表演藝術課使用的自製律動樂器，對於參加管樂全國賽比賽前夕，還和樂團請假奮戰的我們，辛苦卻非常的甘甜！

2.我們研究整合安克隆竹琴、風鈴及結合賽夏族臀鈴的想法，經過我們以電腦音頻測定軟體，一一的以麥克風收音，記錄安克隆竹琴、安克隆風鈴、創新賽夏族臀鈴的單一音頻圖及共振音頻圖後，我們已可以準確的將臺灣最大的天然資產－三~五年生的『竹子』轉換成校園律動的節奏樂器，這些安克隆竹管的尺寸及製法圖示說明，希望能推廣到其它學校，讓我們臺灣的學子都能自己製作出可手搖及敲擊的安克隆竹琴，搭配可讓身體律動的改良後的賽夏族臀鈴，快樂的享受學校表演藝術課裡，所帶來的音樂律動之美感與健康！

3.最後，我們將研究五臀鈴主體的每條預留尼龍繩處，接上漂亮的串珠、設計肩帶再整合成外背裙，也可以設計穿繫在腰上，成為隨著音樂律動的伴奏臀鈴！

柒、參考資料

[1]「淺談南島竹管打擊樂文化－以搖竹及竹管馬林巴琴為例」陳駿銘■行政院退輔會森林保育處副技師 吳四印■國立宜蘭大學自然資源學系副教授（通訊作者**台灣林業***74* ■ **九十六年八月號**

[2]國立宜蘭大學自然資源學系碩士論文「**竹管打擊樂器振動特性之探討**」
指導教授：吳四印博士 研究生：陳駿銘 中華民國九十七年一月

[3] 資料來源：http://projl.sinica.edu.tw/~video/main/tribe-art/festival/ss/ss-all.html

[4]**http://163.26.16.5/e_paradise/relics_08.html**

[5] 高中物理實驗復習寶典 實驗 15 共鳴空氣柱 吳笛、李興精編 台芝文化事業

[6].自然與生活科學第三冊，第三章波動與聲音 康軒文教

[7].歷屆全國物理科科展 國立台灣科學教育館

[8].本校歷屆科展作品

【評語】030115

1. 活潑有趣的說明與展示，也充分掌握竹琴的發聲原理。

2. 建議可在製造材質方面加以探討泛音與材料間的關係，使整個計畫更豐富。

3. 進行補充說明改進，頗佳。

4. 團隊精神佳，作者對研究有熱忱且可以立刻回答問題。