

# 第五屆原住民華碩科教獎

## 研究成果報告

團隊編號：2013017

主辦單位：華碩文教基金會

國立清華大學

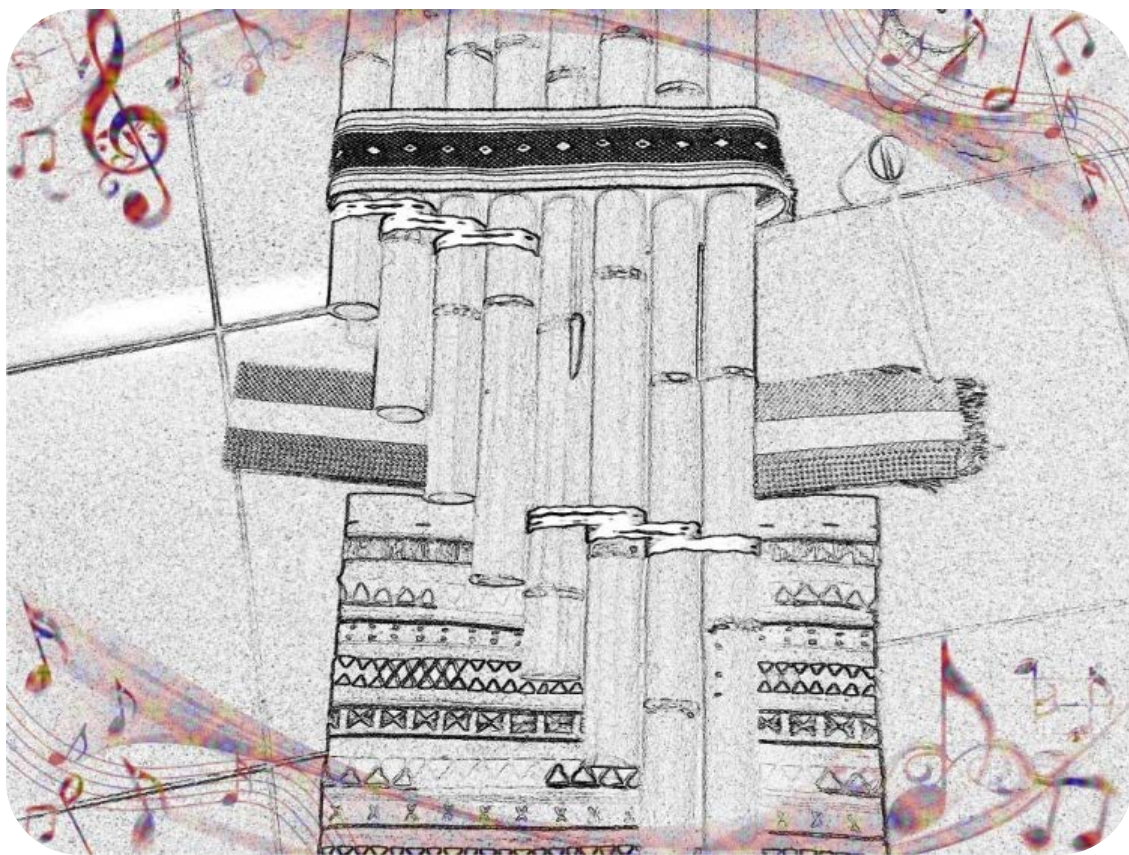
行政院原住民族委員會

原住民族電視台



## 第五屆原住民華碩科教獎

「飛鼠部落」部落傳統音樂的文化與科學：聲東擊西 — 竹筒琴



參展團隊名稱	澤敖列
團隊指導教師	謝淵捷
	詹蕙林
	李耘陞
參展團隊成員	謝穎傑
	謝沛軒
	柯榮碩
	涂少均

# 聲東擊西—竹筒琴

## 摘要

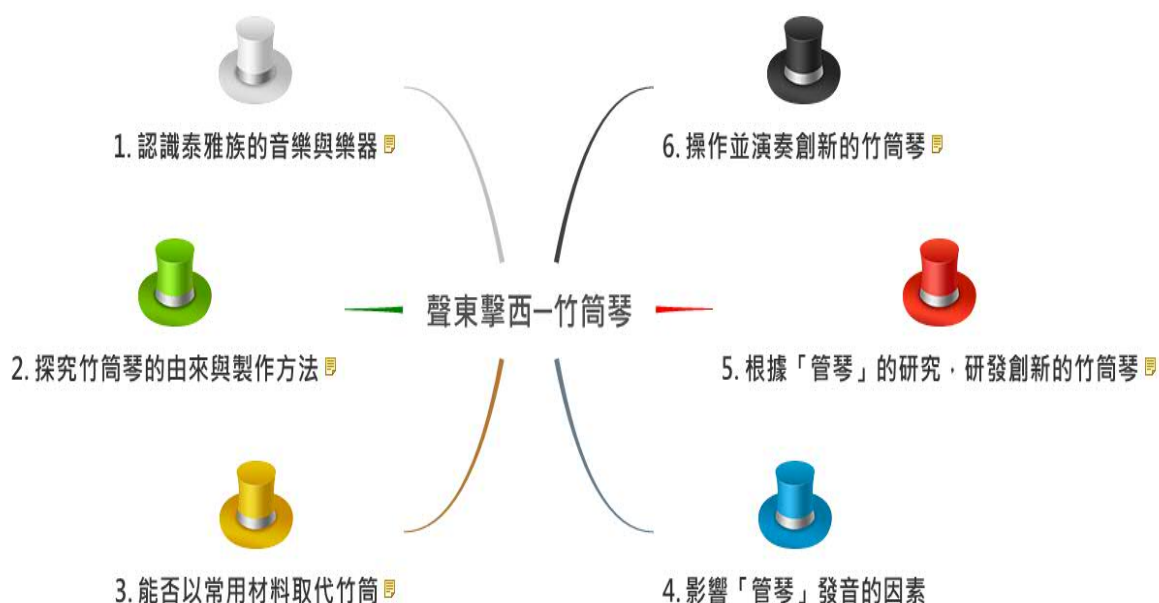
我們是一群熱愛泰雅傳統音樂的小勇士，為了圓夢，踏上了尋訪耆老，探究傳統竹筒琴之祕的旅途。發現這發出響亮靈魂之聲的樂器，竟蘊含了諸多科學原理。我們從竹筒琴的構造入手，發現了造就聲音變化的奧祕，並活用這個發現，創造了更進步的竹筒琴。現在就讓我們來帶路，讓您經歷這一趟驚奇之旅。

## 壹、 研究動機

我們是一群喜歡自己的文化，對音樂很有興趣的泰雅族小勇士，為了更加了解泰雅族傳統樂器，所以展開了這次研究。我們查找了很多資料，發現口簧琴的記錄最豐富、最廣為人知，所以我們想要研究其他較不被大家知道的泰雅族傳統樂器。有一次我們看到一個國小團隊表演泰雅族的傳統歌謠，表演的小朋友都背著一個很大的樂器。樂器由四根長短不一，但粗細相同的竹管綑綁而成。小朋友用拍子拍打竹管的開口，沒想到竟然可以發出音階不同的聲音，並組合成一首首的曲子。我們覺得非常新奇，所以「聲東擊西—竹筒琴」這個主題便應運而生。

## 貳、 研究目的




- 一、 認識泰雅族的音樂與樂器
- 二、 探究竹筒琴的由來與製作方法
- 三、 能否以常用材料取代竹筒
- 四、 影響「管琴」發音的因素
- 五、 根據「管琴」的研究，研發創新的竹筒琴
- 六、 操作並演奏創新的竹筒琴





### 參、 研究設備及器材






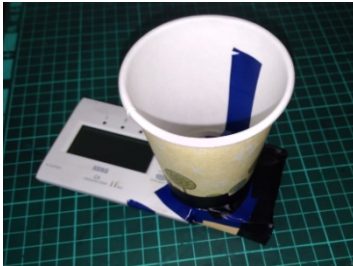
#### 一、 實驗耗材：

耗材照片			
名稱	竹子	PVC 塑膠管	紙管
功能	製作竹筒琴	製作水管琴	製作紙管琴

#### 二、 實驗工具

工具照片			
名稱	鋸子	鋸片	繩子
功能	切割竹子	切割水管、紙管	將切好的管子繫在一起

#### 三、 記錄與量測器材

器材照片			
名稱	照相機	電子游標尺	皮尺
功能	拍攝與記錄	進行管壁與管徑的測量	丈量管子長度
器材照片			
名稱	自製拍擊器	自製「加強收音分貝計」	自製「加強收音調音器」
功能	使拍擊力道相同	降低環境雜音的干擾	降低環境雜音的干擾

四、 自製量測器材的製作過程、細部說明，與使用方法

(一) 自製拍擊器

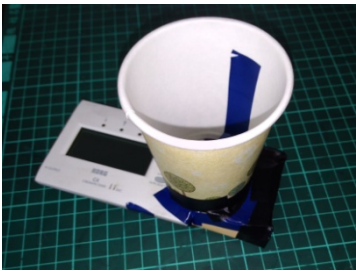







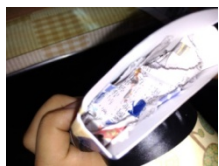
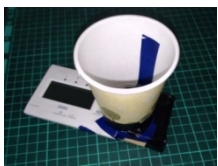

	目的	減少人為拍擊時產生的誤差，包含拍擊位置與拍擊的力量、速度……等。		
	製作過程			
		將塑膠地板剪成圓形，形成拍擊板。	在拍擊板上畫出拍擊前設置拍擊器，與管琴位置的校正圈。	在拍擊板背面黏上適合小管徑琴的小圓板。
				
		將富有彈性的釣竿前端塗上膠水，並塞入拍擊板中。	水管挖洞後，插入拍擊板固定。	將水管固定在木架上。
	測量方式		將拍擊板上的圓圈對準管口。	
		一人踩住木架，另一人扳開拍擊器，扳開的距離：「以 18cm 的吸管，一端碰到管口邊緣上做記號的點，一端碰到拍擊板中央的點為準。」最後鬆手拍擊。		



(二) 自製「加強收音分貝計」

	目的	降低環境雜音的干擾		
	製作過程			
		將紙筒用膠帶黏在分貝計上。	剪開紙杯底，將紙筒穿過紙杯。	用熱熔膠固定紙杯與紙筒。
測量方式		將杯口對齊管口(但不能碰觸)後鬆手，接著進行測量。		

(三) 自製「加強收音調音器」

	目的	降低環境雜音的干擾		
	製作過程			
		背面黏上紙板	正面	固定紙板
				
		將紙杯挖空	將紙杯黏在調音器正面。	側面也黏上
				
		中間有空洞	塞入報紙減少噪音影響。	完成圖
測量方式		杯口如果緊靠竹筒，會抑制竹筒震動，影響共鳴效果。所以使杯口距離管口 3cm，進行測量。		

## 肆、 研究過程與方法

### 一、 文獻探討

(一) 泰雅族的音樂〔資料來源：張秀美(2005)。苗栗縣泰雅族·賽夏族原住民部落歌謠。苗栗縣：苗栗縣文化局〕

1. 泰雅族是台灣原住民中擴散範圍最遼闊的族群，而人口僅次於阿美族。由於發源傳說、社會組織、語言及風俗的差異，泰雅族又分為「泰雅亞」與「賽德克亞」兩大族。泰雅亞族又分為「賽考列克」群和「澤敖列」群。苗栗縣境的泰雅族屬於澤敖列群。我們也以澤敖列作為我們的隊名。

2. 根據黑澤隆朝的看法，泰雅族音樂的特色是：旋律簡單、歌詞即興、拍子節奏隨著歌詞改變，非常自由。

3. 作者從苗栗縣泰安鄉及南庄鄉泰雅族部落田野採集的歌謠中，歸納發現，這兩地的歌謠仍保有泰雅族傳統音樂的特色：

(1) 音階及音域窄少：

泰雅族原始音樂的結構是三音組織(La、Do、Re 或 Mi、So、La)，是在小三度的上或下方加大二度音，若是四個聲音就成為 Sol、La、Do、Re；Re、Mi、So、La 或 Do、Re、Fa、So，因此許多傳統歌曲很少超過三度的音型，而音域只有四度或五度間。若自由移高或低八度的音程，應屬於近代編創歌曲或是流行歌曲。(作者根據苗栗縣泰安鄉各部落及南庄鄉東河村鹿場部落等，兩個部落群實地所採集的音樂，經分析歸納後，發現兩個部落群同屬於澤敖列語系統，歌謠的曲調大致相同，使用的音組幾乎都是 D(Re)、E(Mi)、G(So)、A(La)四音，而沒有三音的譜例。)

(2) 樂句短而同節奏：

泰雅族原始音樂的組成，完全是與語言相結合，因此曲調的進行及節奏，機乎是隨著說話的語調及歌詞而變化。而每個樂句常是同節奏，反覆多次才轉入新節奏。

(3) 演唱方式：

由於泰雅族人的概念中，並沒有所謂音樂的說法，只有將所有的歌唱方式稱為 Mkwaw(唱歌)等概念，甚至歌唱內容也未有設定吟唱的標題，更沒有歌唱分類的概念。除了特定的日子，並無禁忌問題，平日可隨興的唱出心中的歌，若逢慶典或豐收聚集時，三五成群就隨興演唱，機乎不曾透過練習，也沒有演出者或聽眾之分，只要願意任何人都可以加入吟唱的行列。因此，傳統的泰雅族音樂，比較接近原始的型態——屬於單音旋律的唱法，演唱的形式也相較簡單。傳統念謠式都以獨唱為主，除了有齊唱、領唱(一人領唱眾人和)與對唱的形式外，還有用卡農式頑固音形的模仿唱法，但幾乎是沒有合唱的音樂。

(二) 泰雅族的樂器(資料來源：1.維基百科—霍恩博斯特爾-薩克斯分類

法。<http://zh.wikipedia.org/wiki/霍恩博斯特爾-薩克斯分類法>；2.95 台灣原住民族文化知識網—泰雅族傳統樂器介

紹。<http://www.sight-native.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=1001694&CtNode=17241&mp=cb01>；3.飛鼠部落—原住民科學教學模組—泰雅傳統樂器好好



玩。<http://www.yabit.org.tw/WOLF/PDF/087-tseng.pdf>

1. 霍恩博斯特爾-薩克斯分類法（Hornbostel-Sachs，簡稱 H-S 分類法）將樂器分為五大類，以近似杜威圖書分類法的方式編碼。此方法廣泛應用於民族音樂學和樂器學。
  - (1) 體鳴樂器：由樂器本身固體振動的發聲法，包括棒振動、板振動等。
  - (2) 膜鳴樂器：聲音由緊繃的膜發出，譬如鼓。
  - (3) 弦鳴樂器：包括弦樂器和部分鍵盤樂器。
  - (4) 氣鳴樂器：藉由空氣振動簧管或簧舌，發出聲音的樂器。
  - (5) 電鳴樂器：借由電子控制、電子放大，或電子產生聲音的樂器。
2. 泰雅族傳統樂器，除了口簧琴，還有其它樂器，例如「獵首笛」、「杵臼樂器」、「木琴」、「竹琴」、「木鼓」、「四弦琴」、「竹膜笛」、「風之琴」、「竹筒鼓」、「弓琴」……等。
  - (1) 泰雅族傳統樂器的種類依地區各具有地方色彩，例如：苗栗泰安地區，有一種以竹製或木製互擊發聲的節奏樂器—響棒；桃園復興地區，有竹筒鼓「ta-kan」（綠竹）與竹膜笛「b'r'bal」。以上均非廣泛流傳者，而普遍存在於各聚落的泰雅族傳統樂器，可以分為體鳴樂器（口簧、木鼓、木琴）與氣鳴樂器（口笛）兩大類。

(2) 體鳴樂器

- A. 口簧琴：口簧琴「luvu」或「lubu」是靠扯動樂器本身帶動簧琴發聲。口簧琴是一種彈撥樂器，以口為共鳴箱，右手拉繩，左手將竹片固定於口邊。
- B. 木鼓：木鼓原是織布機上的零件，持棍棒撞擊而發聲。
- C. 木琴：木琴原為驅鳥之物，後發展為打擊樂器。



(3) 氣鳴樂器

「口笛」又稱為「縱笛」，以細長竹管製成，由單孔至六孔皆有。吹奏時以口控制氣流、手指按孔發出不同頻率的聲音。伊能嘉矩又進一步將其分為功能略有不同的長笛與短笛兩種類型，短笛長約 15、16 公分，是一般男子自娛或追求女友時所吹的樂器，長笛長約 30 公分，僅限於獵首祭典和獵首凱旋歸來時，頭目或獵首勇士才能吹奏。

(三) 竹筒琴

1. 什麼是竹筒琴：

竹筒琴是泰雅傳統樂器，製作方式是將粗細相同的桂竹切成長短不一四個長度，利用工具貫穿竹節，使竹筒形成中空的管子。接著由長到短排列，利用繩子或其他方式繫緊固定。演奏時採站姿，用前端有一個圓盤的棒狀物，拍擊竹筒的開口，拍擊板的大小約比竹筒開口大一些，使能夠在拍擊時完全蓋住竹筒開口。四根竹筒由長到短發出的聲音依序為：D4(Re)、E4(Mi)、G4(So)、A4(La)。

2. 竹筒琴的演變過程：

泰雅族製作樂器的材料大都能就地取材，而且製作過程簡易不繁複，在構造與型式上亦如其生活器物一樣簡單、樸實。譬如木鼓原本是織布機上的零件，

後來演變成為樂器，這現象說明泰雅文化乃人文生態與自然環境平衡發展下的一種典型範例。而根據：寒溪國民小學—泰雅樂器介

紹。<http://blog.ilc.edu.tw/blog/blog/5889/trackbacks/388700>。網頁內記載，竹筒琴原是泰雅傳統社會做為汲水器具，繫以揹帶，用於長途揹負運水。現今演變為泰雅樂器，作為表演用。

3. 竹筒琴的發音原理：

竹筒琴發出聲音是因管內空氣柱震動所引起的，空氣柱越長發出的聲音越低，空氣柱越短發出的聲音越高。

4. 竹筒琴在原住民傳統樂器上的分類：

根據：呂鈺秀(2010)。臺灣大百科全書—原住民樂器。<http://taiwanpedia.culture.tw/web/content?ID=21267>。中提到，黑澤隆朝將竹筒琴歸類為：體鳴樂器。

二、 拜訪耆老

(一) 聯絡耆老：

由於想對竹筒琴有進一步的認識，所以我們請教父母有無這方面的資訊，沒想到一位組員的媽媽立刻有點子，她說泰安鄉司馬限多乃工作坊的梁玉水老師(多乃老師)，是泰雅族音樂的專家，如果能夠去拜訪他的話，一定對我們的研究很有幫助。所以我們就開始想辦法與多乃老師聯絡。並與老師相約 102 年 10 月 6 日在他的工作室向他請教。

(二) 多乃老師簡介：

多乃老師是泰雅族木雕工藝創作者，當了二十九年警察，退休後，拾起雕刻刀，致力於泰雅雕刻傳承。除了木雕外，多乃老師還致力保存泰雅傳統樂器，如：口簧琴和竹筒琴；他還非常喜愛向人傳講部落裏的神話故事和傳統文化，興致一來拿起口簧琴和竹筒琴來演奏，展現泰雅原住民風情，讓更多人了解泰雅文化。

(三) 拜訪耆老過程：

過程照片			
說明	<u>多乃</u> 老師的工作坊	<u>多乃</u> 老師向我們介紹他自製的竹筒琴。	<u>多乃</u> 老師示範演奏竹筒琴。
過程照片			
說明	演奏竹筒琴用的拍擊棒	竹筒琴的竹節要打通(天然的竹筒容易裂開)	<u>多乃</u> 老師除了演奏外，也是做口簧琴的高手。



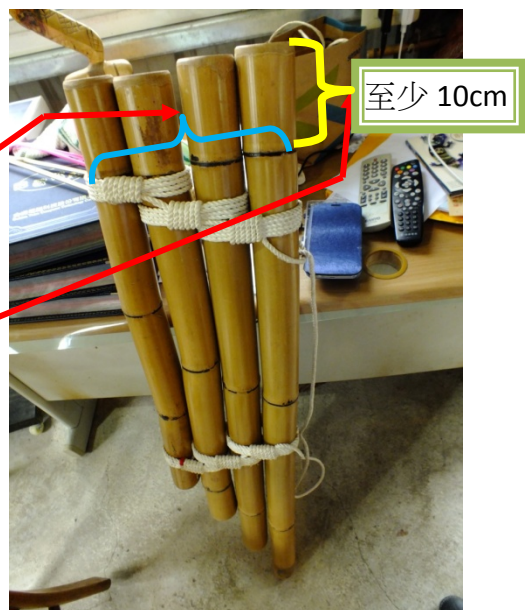
過程照片			
說明	<p>工作坊裡還有展示口簧琴的製作流程。</p>	<p>我們把玩竹筒琴。</p>	<p>離開前我們與多乃老師合照。</p>

(四) 請教耆老獲得的寶貴知識：

1. 多乃老師指導我們敲擊竹筒琴時，要大力且快速，竹筒琴發出的聲音才會乾淨響亮，可是我們練習了一個多小時，敲的時候還是經常漏風。

2. 多乃老師告訴我們製作竹筒琴的方法，首先找到四根外徑一樣粗的竹子，分別鋸成 71cm、82cm、99cm 和 112cm，接著把竹筒中的竹節打通，再用童軍繩把 4 個竹筒由長到短排列好緊緊就完成了。除此之外，還有一些小細節：

- (1) 四根竹子的第一竹節要對齊，否則製作出的竹筒琴聲音不美。
- (2) 第一竹節離最上方要留 10 公分，不然琴音會怪怪的。
- (3) 選用竹子時要先敲一敲用耳朵仔細聽聲音是否乾淨。粗細大約是外徑 80mm



3. 在我們即將離開前，多乃老師有感而發的說：「現在這些泰雅樂器會演奏的人越來越少，大家都去學鋼琴、小提琴、吉他甚至烏克麗麗，而不知道珍惜祖先留下來的的美好樂器，真是可惜。」我也深深覺得如此，所以我們必須要更認真地看待這次的研究，並且不斷堅持把 Atayal 的文化繼續傳承給下一代。

※註：以下將從耆老那邊獲得的竹筒琴管身長度資料簡稱為「標準尺寸」

三、 實驗一「嘗試自製竹筒琴」

過程照片			
說明	<p>雖然有一大片竹林，但剛剛好外徑 80mm 的竹子卻不好找，而且竹林裡充斥著蚊子，防不勝防。</p>	<p>找到合適的竹子，趕快出動鋸子鋸下。</p>	<p>使用實心木棍把竹節打通。</p>



過程照片			
說明	按著老給我們的長度鋸下的竹筒，還要經過打通竹節與磨竹筒開口的過程。	爸爸指導我如何使用雙套結將四根竹筒用童軍繩綁起來。	製作完成的竹筒琴
過程照片			
說明	將飛機木鋸短，準備製作拍擊棒。	飛機木一端用鋸片鋸開，留一個細縫準備用來黏拍擊板。	將拍擊板突出的一截塞入飛機木的細縫，並用膠水固定，即完成拍擊棒。


#### 四、 實驗二「找出合適的拍面材質」

實驗名稱	找出合適的拍面材質		
設計源起	我們想找出最適合當拍面的材質，所以我們就拿手邊的材料一一地嘗試。		
前置作業	製作拍面材質不同的拍擊棒。分別為：巧拼地墊、地毯地墊、紙碗、墊板、餅乾罐的圓形鐵蓋。		
實驗方法	前置作業完成後，手持拍擊棒進行拍擊，並進行分析比較。		

## 五、 實驗三「水管可否製成水管琴」

實驗名稱	水管可否製成水管琴	
設計源起	由於製作竹筒琴要耗費相當多工夫，我們想試試生活中容易取得的管狀物(水管)是否也可以製成類似竹筒琴的裝置，並把製作的經驗與實驗的發現應用在製作竹筒琴上，發揮事半功倍的效果。	
前置作業	<ol style="list-style-type: none"> <li>我們去水電行購買與我們製作的竹筒琴粗細(外徑 80mm)最接近的水管數支。</li> <li>購買的水管規格為： <ol style="list-style-type: none"> <li>外徑：60mm</li> <li>內徑：56mm</li> <li>管壁厚度：2mm</li> </ol> </li> <li>仿照竹筒琴的長短，將水管依標準尺寸裁成 4 支。並綁成竹筒琴的樣子。</li> </ol>	
實驗方法	前置作業完成後，手持拍擊棒進行拍擊，並用「加強收音調音器」進行測量。 <ol style="list-style-type: none"> <li>實驗組：水管琴</li> <li>對照組：竹筒琴</li> </ol>	

## 六、 實驗四「水管壁的厚薄會不會影響音高」

實驗名稱	水管壁的厚薄會不會影響音高	
設計源起	由於製作竹筒琴時我們只是挑選相同外徑的竹筒來製作，所以我們想了解竹筒長度一樣，但邊緣厚度有差異時，會不會產生不同的音高？由於取得竹筒的不易，所以我們便先以整體厚薄一致的水管進行研究。	
前置作業	<ol style="list-style-type: none"> <li>我們去水電行購買與我們製作的竹筒琴粗細(外徑 80mm)最接近的水管數支，並挑選厚薄不同的兩種規格。</li> <li>兩種管壁厚度不同的水管，外徑均為 60mm，厚度則不同。 <ol style="list-style-type: none"> <li>實驗組：管壁厚度 4mm，內徑：52mm</li> <li>對照組：管壁厚度 2mm，內徑：56mm</li> </ol> </li> <li>將管壁厚薄不同的水管按照標準尺寸裁切，然後綁成竹筒琴的樣子。</li> </ol>	
實驗方法	前置作業完成後，手持拍擊棒進行拍擊，並用「加強收音調音器」進行測量。 <ol style="list-style-type: none"> <li>實驗組：管壁厚度 4mm，內徑：52mm</li> <li>對照組：管壁厚度 2mm，內徑：56mm</li> </ol>	

### 七、 實驗五「水管壁的厚薄會不會影響音量」

實驗名稱	水管壁的厚薄會不會影響音量
設計源起	由於拍擊器製作完成，所以我們終於可以比較準確地比較管子發出音量的差異，以下開始進行音量的實驗探究，首先是探究水管壁厚薄的影響。
前置作業	1. 使用實驗四「水管壁的厚薄會不會影響音高」中製作的 2 把水管琴。 (1) 實驗組：管壁厚度 4mm，內徑：52mm (2) 對照組：管壁厚度 2mm，內徑：56mm
實驗方法	前置作業完成後，使用「拍擊器」進行拍擊，並用「加強收音分貝計」進行測量。共拍擊 4 次並記錄結果，然後取平均值。 1. 實驗組：管壁厚度 4mm，內徑：52mm 2. 對照組：管壁厚度 2mm，內徑：56mm

### 八、 實驗六「水管的長短會不會影響音高」

實驗名稱	水管的長短會不會影響音高	
設計源起	我們想試看看水管的長度會不會影響水管琴的音高。	
前置作業	<p>1. 我們使用外徑 60mm、內徑 56mm、管壁厚度 2mm 的水管進行探究。</p> <p>2. 將水管裁切成 2 套，其中一套為標準尺寸，另一套的管身長度則為標準尺寸的一半。裁切完成後，綁成竹筒琴的樣子。</p> <p>(1) 實驗組：56cm、49.5cm、41cm、35.5cm (2) 對照組：112cm、99cm、82cm、71cm</p>	 
實驗方法	前置作業完成後，手持拍擊棒進行拍擊，並用「加強收音調音器」進行測量。 1. 實驗組：短組，水管長度為標準尺寸的一半 2. 對照組：標準尺寸	



### 九、 實驗七「水管的長短會不會影響音量」

實驗名稱	水管的長短會不會影響音量
設計源起	我們想了解拍擊不同長度的水管，發出的音量會不會不同。
前置作業	1. 使用實驗六「水管的長短會不會影響音高」中製作的 2 把水管琴。 (1) 實驗組：56cm、49.5cm、41cm、35.5cm (2) 對照組：112cm、99cm、82cm、71cm



實驗方法	前置作業完成後，以「拍擊器」進行拍擊，並用「加強收音分貝計」進行測量。 1. 實驗組：短組，水管長度為標準尺寸的一半 2. 對照組：標準尺寸
------	--


#### 十、 實驗八「水管的粗細會不會影響音高」

實驗名稱	水管的粗細會不會影響音高	
設計源起	我們想試看看水管的粗細會不會影響水管琴的音高。	
前置作業	<ol style="list-style-type: none"> <li>我們使用粗細不同，但管壁厚度相同的水管進行比較研究：           <ol style="list-style-type: none"> <li>細：外徑 22mm、內徑 16mm、管壁厚度 4mm</li> <li>粗：外徑 60mm、內徑 52mm、管壁厚度 4mm</li> </ol> </li> <li>將水管裁切成 2 套，2 套均為標準尺寸，裁切完成後綁成竹筒琴的樣子。</li> </ol>	 
實驗方法	前置作業完成後，使用拍擊器進行拍擊，並用「加強收音調音器」進行測量。 1. 實驗組：細水管 2. 對照組：粗水管	

#### 十一、 實驗九「水管的粗細會不會影響音量」

實驗名稱	水管的粗細會不會影響音量	
設計源起	我們想試看看水管的粗細會不會影響水管琴的音量。	
前置作業	<ol style="list-style-type: none"> <li>我們使用實驗八「水管的粗細會不會影響音高」中製作的 2 把水管琴。           <ol style="list-style-type: none"> <li>細：外徑 22mm、內徑 16mm、管壁厚度 4mm</li> <li>粗：外徑 60mm、內徑 52mm、管壁厚度 4mm</li> </ol> </li> </ol>	
實驗方法	前置作業完成後，使用拍擊器進行拍擊，並用「加強收音分貝計」進行測量。 1. 實驗組：細水管 2. 對照組：粗水管	

## 十二、 實驗十「紙管可否製成紙管琴」

實驗名稱	紙管可否製成紙管琴	
設計源起	我們想了解更容易裁剪的紙管可不可以製成紙管琴。	
前置作業	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 我們使用粗細兩種不同的紙管進行探究。粗：外徑 42mm、內徑 34mm、管壁厚度 4mm。細：外徑 30mm、內徑 17mm、管壁厚度 6.5mm。</li> <li>2. 將粗細兩種紙管裁切成標準尺寸，並綁成竹筒琴的樣子。</li> </ol>	
實驗方法	<p>前置作業完成後，以「拍擊器」進行拍擊，並用「加強收音調音器」與「加強收音分貝計」進行測量紀錄。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實驗組：             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 細水管</li> <li>(2) 粗水管</li> </ol> </li> <li>2. 對照組：標準尺寸竹筒琴</li> </ol>	

## 伍、 研究結果

### 一、 實驗一「嘗試自製竹筒琴」

#### (一) 測量結果：

我們依據耆老給我們的竹筒長度資料製作好竹筒琴，進行多人拍擊測試，使用加強收音調音器反覆測量多次，發現發出的聲音的確是：

竹筒長度	112cm	99cm	82cm	71cm
發出音高	D4(Re)	E4(Mi)	G4(So)	A4(La)

#### (二) 討論：

1. 只要使用正確的方式拍擊竹筒琴，不管大小力，竹筒琴都會發出相同的音高。
2. 我們經由文獻探討知道泰雅族的音樂大部分都是由四個音階組成，而最常用的就是：D4(Re)、E4(Mi)、G4(So)、A4(La)，與傳統四管竹筒琴發出的音高相同，實在太神奇了！

### 二、 實驗二「找出合適的拍面材質」

#### (一) 測量結果：

經過我們實地測試，發現不管是哪種拍擊板，只要拍擊方式正確，不管大小力，都會得到相同的音高。我們整理出各個拍擊板的優缺點如後：

拍面材質	優點	缺點
巧拼地墊	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製作容易。</li> <li>2. 材料取得方便。</li> <li>3. 拍擊時能夠完整覆蓋竹筒。</li> <li>4. 堅固，可承受連續大力拍擊。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 只要做一個就必須耗用一片巧拼地墊。</li> </ol>
地毯地墊	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製作容易。</li> <li>2. 材料取得方便。</li> <li>3. 拍擊時能夠完整覆蓋竹筒。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 只要做一個就必須耗用一片地毯地墊。</li> <li>2. 較軟，無法承受連續大力的拍擊。</li> </ol>
紙碗	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製作容易。</li> <li>2. 材料取得方便，而且可以廢物利用。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 拍幾下就會凹陷變形。</li> <li>2. 凹陷變形後，就無法讓竹筒琴發出響亮的共鳴。</li> </ol>
墊板	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製作容易。</li> <li>2. 材料取得方便。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不堅固，無法進行大力拍擊。</li> </ol>
圓形鐵蓋	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製作容易。</li> <li>2. 材料取得方便，而且可以廢物利用。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 雖然堅固，但敲太大力會變形。</li> <li>2. 拍擊時金屬的聲音會蓋過竹筒琴的聲音。</li> </ol>

(二) 討論：

根據實驗結果，綜合優缺點來判斷，以巧拼地墊當作拍擊板是最好的。所以我們使用的拍擊棒，拍面就是使用巧拼地墊。而之後為了實現拍擊力道一致的目標，所設計的拍擊器，也以巧拼地墊當作拍擊板。

三、 實驗三「水管可否製成水管琴」

(一) 測量結果：

材質	管身長度 與音高	112cm	99cm	82cm	71cm
	水管琴 (實驗組)		D4(Re)	E4(Mi)	G4(So)
竹筒琴 (對照組)		D4(Re)	E4(Mi)	G4(So)	A4(La)

經過我們實地測試，發現同樣長度的水管與竹筒，會發出相同的音高。所以確認水管可以製成水管琴。

(二) 討論：

1. 除了拍擊相同長度的水管及竹筒會發出相同的音高外，我們也發現不管拍打管子的哪一側，發出的音高都是相同的。
2. 用手堵住管口再敲擊，竹筒會發出悶悶、低沉的聲音。
3. 目前我們還沒有找到適合測量「音量」的方法，等待找到後再來比較管子的材質不同，對「音量」會不會有影響。



#### 四、 實驗四「水管壁的厚薄會不會影響音高」

(一) 測量結果：

管壁厚度 \ 管身長度 與音高	112cm	99cm	82cm	71cm
	D4(Re)	E4(Mi)	G4(So)	A4(La)
4mm(實驗組)	D4(Re)	E4(Mi)	G4(So)	A4(La)
2mm(對照組)	D4(Re)	E4(Mi)	G4(So)	A4(La)

經過我們實地測試，發現雖然水管的管壁厚薄不同，但同樣長度的水管依然會發出相同的音高。

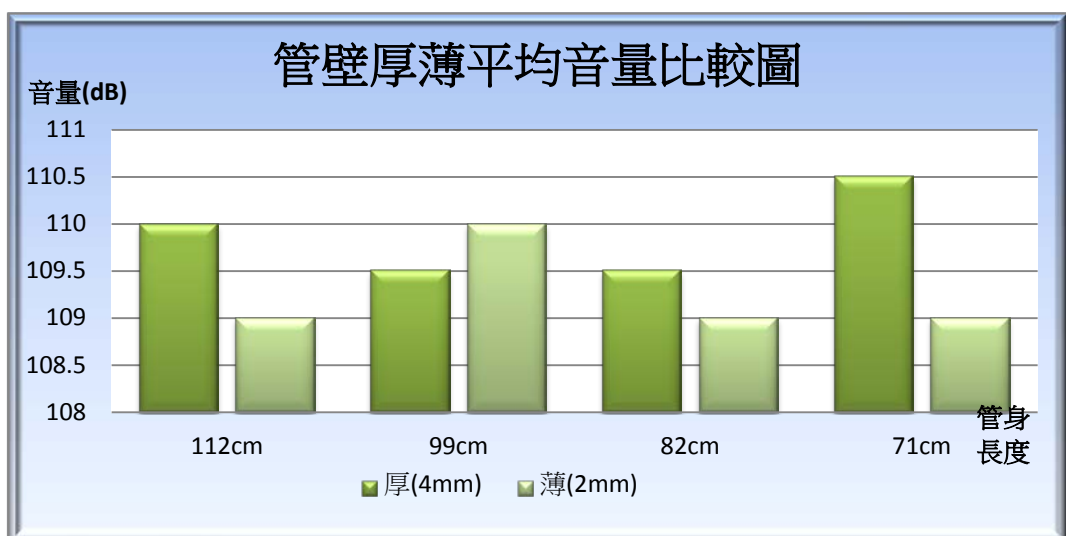
(二) 討論：

我們想要進行力量一致的拍擊，才有辦法得知管子規格的改變對音量的影響。於是把這個構想跟一位組員的爸爸討論，並一起製作了拍擊器。我們也準備讓拍擊器在之後的實驗中登場。

#### 五、 實驗五「水管壁的厚薄會不會影響音量」

(一) 測量結果：

管身長度(cm) \ 拍擊次		測得音量(單位：dB)				平均
		第一次	第二次	第三次	第四次	
4mm(厚) (實驗組)	112	108	108	112	112	110
	99	108	106	112	112	109.5
	82	104	112	110	112	109.5
	71	112	112	110	108	110.5
2mm(薄) (對照組)	112	110	110	108	108	109
	99	110	110	110	110	110
	82	110	106	110	110	109
	71	110	110	108	108	109



1. 透過紀錄分析，我們發現拍擊 4mm 與 2mm 的水管，管壁 4mm 的組別只有在管身 99cm 時音量平均較管壁 2mm 小，其餘均比較大。
2. 我們自己拿拍擊棒演奏時也發現管壁 4mm 的水管琴發出的聲音較響亮。而我們製作的竹筒琴(竹筒外徑 80mm)，的管壁厚度大於 2mm，敲出時發出的聲音同樣也比 2mm 的水管響亮。

(二) 討論：

1. 我們發現這兩種水管拍擊後產生的音高完全相同，音量則以管壁 4mm 的水管琴較佳。既然水管都可以拿來製作水管琴了，那更容易加工的紙管就成了我們下一個研究的對象。
2. 竹筒琴演奏起來的聲音很響亮，我們測量它的管壁厚度，發現都會 > 4mm。

## 六、 實驗六「水管的長短會不會影響音高」

(一) 測量結果：

		管身長度(cm)與音高			
標準尺寸的一半(實驗組)	管身長度(cm)	56	49.5	41	35.5
	音高	C5(Do)	E5(Mi)	F5(Fa)	G5(So)
標準尺寸(照組)	管身長度(cm)	112	99	82	71
	音高	D4(Re)	E4(Mi)	G4(So)	A4(La)

經過我們實地測試，發現水管的長度改變，拍擊時就會有不同的音高。管身愈短發出的聲音愈高，愈長則聲音愈低。

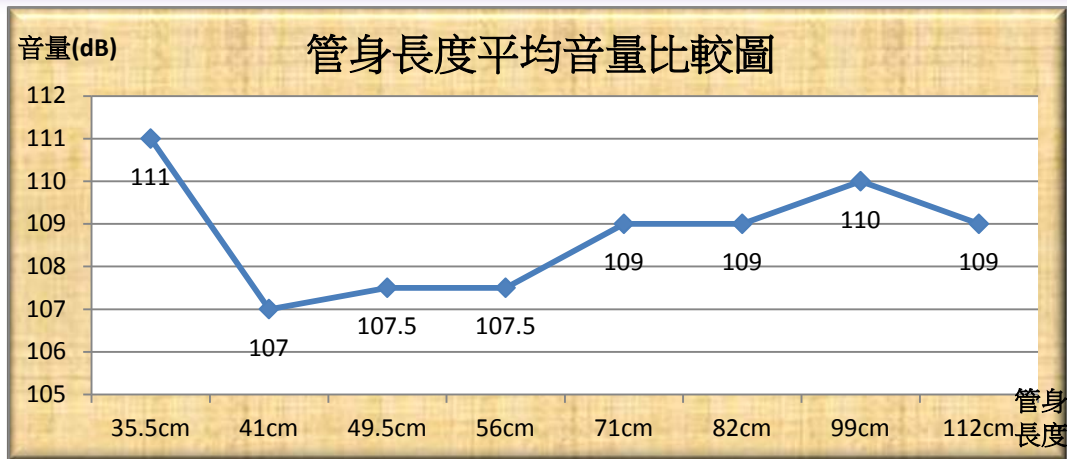
(二) 討論：

我們發現實驗結果與文獻探討中提到：「竹筒琴發出聲音是因管內空氣柱震動所引起的，空氣柱越長發出的聲音越低，空氣柱越短發出的聲音越高。」的描述一致，激起了我們想要設計「多管竹筒琴」，甚至單管，但可以發出不同音高的竹筒琴的想法！

## 七、 實驗七「水管的長短會不會影響音量」

(一) 測量結果：

管身長度(cm) \ 拍擊次		測得音量(單位：dB)				平均
		第一次	第二次	第三次	第四次	
短組 (實驗組)	56	108	110	106	106	107.5
	49.5	108	106	108	108	107.5
	41	110	106	104	108	107
	35.5	110	112	112	110	111
標準尺寸 (對照組)	112	110	110	108	108	109
	99	110	110	110	110	110
	82	110	106	110	110	109
	71	110	110	108	108	109



經過我們實地測試，發現拍擊水管時，水管長度在 41cm~99cm 之間，音量呈現緩步地爬升，但 35.5cm 時卻又衝地很高，112cm 時則下降。

(二) 討論：

傳統的竹筒琴長度分別是 112cm、99cm、82cm、71cm，我們推測除了竹筒太長會太重，不方便演奏外，是不是太短也不太好？要有很好的共鳴，管身長度必須在一定的範圍內？

八、 實驗八「水管的粗細會不會影響音高」

(一) 測量結果：

水管外徑 \ 管身長度與音高	112cm	99cm	82cm	71cm
	細，22mm(實驗組)	D4(Re)	E4(Mi)	G4(So)
粗，60mm(對照組)	D4(Re)	E4(Mi)	G4(So)	A4(La)

經過我們實地測試，發現雖然水管的粗細不同，但同樣长度的水管依然會發出相同的音高。

(二) 討論：

透過紀錄，我們知道雖然水管的粗細不同，但相同的长度音高卻也是一樣。比較特別的是，我們發現細水管發出的音量似乎比粗水管的小很多，所以我們趕緊進行下一個實驗。

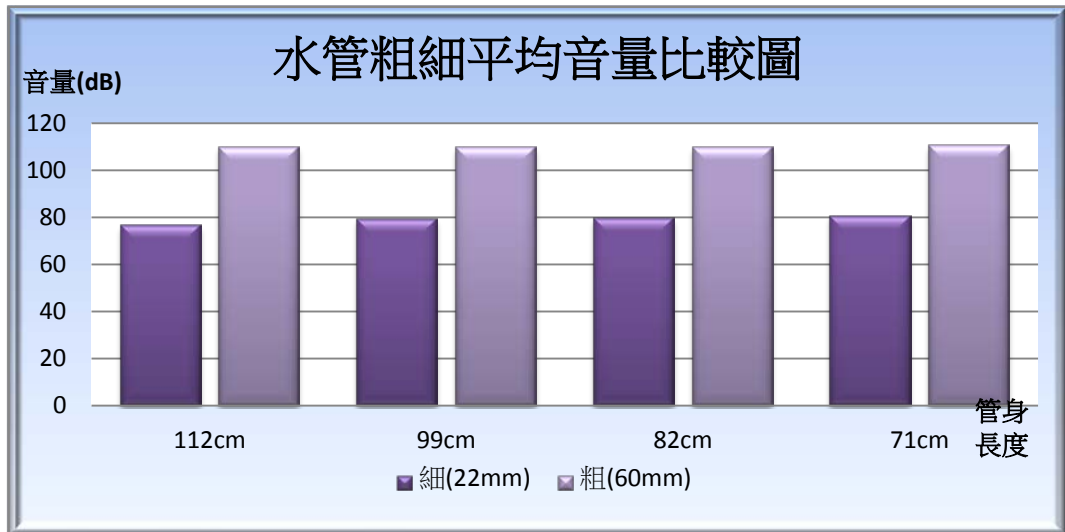
九、 實驗九「水管的粗細會不會影響音量」

(一) 測量結果：

水管外徑 (mm)	拍擊次	測得音量(單位：dB)				平均
		第一次	第二次	第三次	第四次	
細，22mm (實驗組)	112	74	76	78	78	76.5
	99	76	81	80	80	79.25
	82	76	80	80	82	79.5
	71	82	80	80	80	80.5



粗，60mm (對照組)	112	108	108	112	112	110
	99	108	106	112	112	109.5
	82	104	112	110	112	109.5
	71	112	112	110	108	110.5



經過我們實地測試，發現細水管發出的音量平均下來都會比粗水管少 20 分貝以上，用耳朵仔細聽就能夠分出大小聲。

(二) 討論：

透過一連串探就水管琴發音的實驗我們歸納了幾個現象：

1. 我們用來進行實驗探究的水管中，以外徑 60mm、內徑 50mm、管壁厚 4mm 發出的聲音最響亮，而最細的水管發出的聲音最小聲。
2. 我們總共使用了三種不同規格的水管，只要裁切成相同的長度，發出的聲音就會相同。

十、 實驗十「紙管可否製成紙管琴」

(一) 測量結果：

1. 音高

(1) 測量結果：

材質	管身長度 與音高	112cm	99cm	82cm	71cm
	細紙管		A3 <sup>#</sup>	E4	F4 <sup>#</sup>
粗紙管		D4	E4	G4	G4 <sup>#</sup>
竹筒琴(對照組)		D4	E4	G4	A4

我們發現細水管發出的音高與粗水管、竹筒琴相差很多，粗水管則只有 1 管與竹筒琴不同，其他均相同。

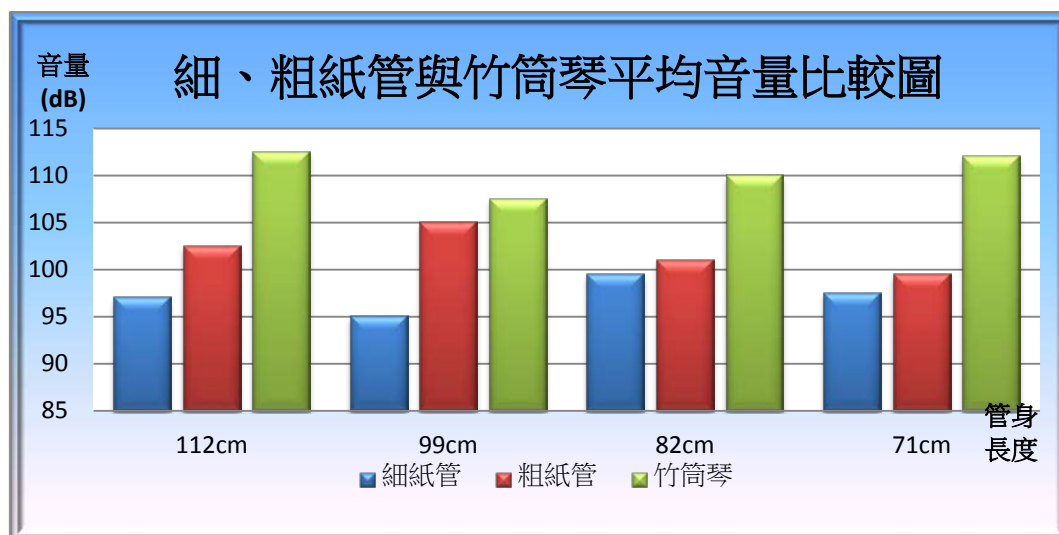
(2) 討論：

進行水管琴的探究時，我們發現長度相同的水管拍擊後，發出的音高是沒有差異的，可是在紙管上竟有這樣的分別。不知道是不是紙管本身吸震能力較好，所以減低了空氣柱的共鳴所導致？而且我們也沒有看過紙做的樂器。

## 2. 音量

### (1) 測量結果：

管身長度(cm)	拍擊次	測得音量(單位：dB)				平均
		第一次	第二次	第三次	第四次	
細紙管 (實驗組 1)	112	94	100	94	100	97
	99	94	94	92	100	95
	82	100	98	100	100	99.5
	71	98	96	100	96	97.5
粗紙管 (實驗組 2)	112	100	110	100	100	102.5
	99	98	108	104	110	105
	82	100	101	102	101	101
	71	98	100	100	100	99.5
竹筒琴 (對照組)	112	110	110	110	120	112.5
	99	110	102	108	110	107.5
	82	110	110	110	110	110
	71	110	110	114	114	112







我們發現竹筒琴發出的音量是全部最大的，平均都有 105dB 以上。接著是粗紙管，然後才是細紙管。這點與之前研究水管琴得到的經驗是相同的。

### (二) 討論：

我們推測紙管不同於竹筒和塑膠管，是用膠水黏合纏繞而成，所以吸震能力較好，以致共鳴較差。而且紙製品如果碰到水後，就會改變自身質量，應該也會影響發出的聲音。

## 十一、 統整與創新

統整	我們大致把研究的結果歸納下來，並進行創新研究：
研究	1. 管身的長度決定發出的聲音高低，愈長則拍擊時聲音愈低，反之則愈高。
發現	2. 實驗中使用的管子均有管身愈粗，發出的音量愈大的特性。

目的	探究單管 4 音水管琴的可能性		
想法	由於 4 支水管琴的體積很大，所以我們想試試看水管琴可不可以像笛子一樣，只用 1 支就把 4 個音階都表現出來。如果可以的話，就能應用在竹筒琴上了！		
製作過程		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 首先將外徑 22mm 的水管裁切成 112cm。</li> <li>2. 在距離拍擊處 99cm、82cm、71cm 的管壁上鑽 3 個洞，即完成。</li> </ol>	
發現	剛開始我們在水管上打的洞用手壓住，發現音高竟然不是跟標準尺寸發出的聲音相同，一位組員說：「或許是洞不夠大吧！」於是我們把洞口加大，結果水管就真的發出正確的聲音了！		
檢討	我們在演奏單管水管琴時，因為按壓的孔距太長，沒辦法邊拍邊按住洞口，必須兩人合作才行。而且可能因為手指按壓管子，會吸取一些震動的能量的關係，造成聲音不夠響亮。所以獨筒琴在實際運用上是有困難度的。		
改進	如果一把琴演奏上很困難，那麼換個角度，把琴做成很多音階，然後放在架子上，演奏起來一定可以更多變，相信也比較不會累！		
想法	既然筒琴會隨著管長而發出不同的音高，所以我們想把常用的 C4(Do)到 B4(Si)，共 7 個音用筒琴表現出來！		
製作過程		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 112cm 的音高為 D4、99cm 的音高為 E4、82cm 的音高為 G4、71cm 的音高為 A4。</li> <li>2. 我們先使用最容易裁切，音高也不會差很多的粗紙管進行管身長度的測試。</li> <li>3. 根據我們實驗結果，我們知道管子越長聲音越低，所以 C4 音的管子一定比 112cm 還長；F4 音的管子會介於 99cm--82cm 之間；B4 音的管子會比 71cm 短。所以我們推論，先找 F4 音，直接用 <math>(99+82)/2</math> 計算出 90.5，趕快拿水管鋸一段試試，結果是 F4<sup>#</sup>，所以我們又拿了一段鋸成 92cm 就成功了！這讓我們信心大增。</li> </ol>	
	七音紙管琴		我們製作的「管琴」大軍。
			
	按照測試七音紙管琴所測到的管身長度，我們再去竹林尋找合適的竹子。	透過實驗研究，我們知道影響竹筒琴最重要的是長度，只要不是太細，仍	



	<p>舊可以發出悅耳的聲音，所以我們這次改用外徑 50mm 的竹子。</p>	<p>4. 接著，D4、E4 之間差 13cm，我們設想 C4、D4 之間會差的多一些，假設 14 cm，C4 的管子就會是 126 cm，一試之下又 bingo，真是太高興了。</p>
		<p>5. 接著找B4，因為F4、G4 差 10cm，G4、A4 之間差 5cm，所以我們先假設A4、B4 也差 5cm，如果不對再修改。後來得到的結果是A4<sup>#</sup>，我們再用 71cm去試，結果就成功了！</p>
<p>剛綁好的七音竹筒琴，外觀還是綠色的，過幾天就會變黃了！</p>	<p>竹筒琴雖然變瘦一些，但還是可以發出響亮的共鳴聲。</p>	<p>6. 所以從 C4(Do)、D4(Re)、E4(Mi)、F4(Fa)、G4(So)、A4(La)、B4(Si)的管身長分別為 126 cm、112 cm、99 cm、92 cm、82 cm、77 cm、71 cm。</p>
		

## 陸、 討論

- 一、 我們透過不斷拍擊測試不同的拍擊棒、竹筒琴、水管琴，發出的音高。發現只要拍擊方式正確(拍擊時讓拍擊板確實蓋住管口，拍擊後拍擊板不能壓住管口，手要像彈簧一樣，拍擊板一拍到就要彈起)，發出的音高都會一致。所以我們測量音高只會測試一次。
- 二、 我們發現水管琴發出的音高與水管長度關係最大，一開始多乃老師告訴我們竹筒的第一節要對齊、第一節與管口至少要距離 10cm，經過我們的實驗觀察，我們研判這應該是為了美觀與固定時的便利性，所以有這種不成文的規定。
- 三、 粗、細紙管拍擊後產生的聲音均會與竹筒、水管有差異，不適合拿來當「筒琴」。
- 四、 竹筒琴如果沒有經過防腐處理，會因為乾燥、潮濕、昆蟲蛀食等等的緣故，而產生龜裂，使聲音變調，或是共鳴效果降低。我們自己製作的竹筒琴就有這樣的情形產生，裂了好長一條，結果就沒辦法敲出跟原本一樣好聽的聲音了。

## 柒、 結論

- 一、 根據文獻探討的資料,我們知道竹筒琴是源自桃園縣復興鄉泰雅族部落的特色樂器,並不是所有的泰雅族部落都有這種傳統樂器。而通用於各泰雅族部落間的樂器則有:口簧琴、木琴、木鼓、口笛。
- 二、 根據文獻探討的資料,我們知道製作泰雅族傳統竹筒琴所使用的材料為桂竹,將粗細相同的桂竹,砍成長度不同的竹管,打通竹節後,用繩子繫緊或木片夾住。最後再用有彈性的拍擊棒,拍擊竹筒開口即可發出不同音高。拍擊棒的拍擊面必須比竹筒開口大,發出的聲音才會響亮,音高才會正確。
- 三、 竹筒琴的發音原理是是因管內空氣柱震動所引起的,空氣柱越長發出的聲音越低,空氣柱越短發出的聲音越高。即竹管愈長,聲音愈低;竹管愈短,聲音愈高。傳統四管竹筒琴的長度由長到短分別是 112cm、99cm、82cm、71cm,而發出的音高則依序為 D(Re)、E(Mi)、G(So)、A(La)。
- 四、 在本研究製作竹筒、水管、紙管琴使用的管狀物,都有管子愈粗,發出的音量愈大的特性。愈細則發出的音量愈小。
- 五、 除了拍擊相同長度的竹筒、水管、紙管會發出相同的音高外,我們也發現不管拍打管子的哪一側,發出的音高都是相同的。
- 六、 製作七音竹筒琴,發出的音高從 C4(Do)、D4(Re)、E4(Mi)、F4(Fa)、G4(So)、A4(La)、B4(Si)的管長分別為 126 cm、112 cm、99 cm、92 cm、82 cm、77 cm、71 cm。
- 七、 我們把研究的結果和多乃老師分享,多乃老師也覺得我們的水管琴比較輕巧又方便收藏,適合推廣給原鄉的學校練習,讓每個原住民學童都能輕鬆學會這原住民的傳統樂器,將來也可以在歲時祭或其他節慶場合演奏,讓更多的人能聽見這美妙的聲音。

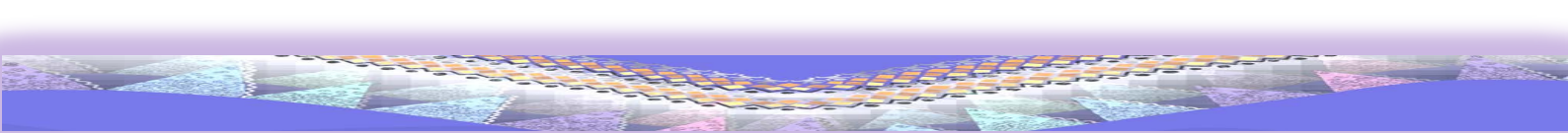
## 捌、 參考資料及其他

### 一、 參考資料

- (一) 泰雅族的音樂。張秀美(2005)。苗栗縣泰雅族·賽夏族原住民部落歌謠。苗栗縣:苗栗縣文化局。

### 二、 參考網站

- (一) 維基百科—霍恩博斯特爾-薩克斯分類法。<http://zh.wikipedia.org/wiki/霍恩博斯特爾-薩克斯分類法>。
- (二) 台灣原住民族文化知識網—泰雅族傳統樂器介紹。<http://www.sight-native.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=1001694&CtNode=17241&mp=cb01;3>。
- (三) 飛鼠部落—原住民科學教學模組—泰雅傳統樂器好好玩。<http://www.yabit.org.tw/WOLF/PDF/087-tseng.pdf>
- (四) 寒溪國民小學—泰雅樂器介紹。<http://blog.ilc.edu.tw/blog/blog/5889/trackbacks/388700>。
- (五) 呂鈺秀(2010)。臺灣大百科全書—原住民樂器。<http://taiwanpedia.culture.tw/web/content?ID=21267>。



### 三、謝誌

感謝多乃老師的鼎力相助讓我們可以更了解泰雅族的傳統樂器，並且順利地完成這次的研究。