

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

第一名

081502

水中號手---菱角樂器

國立花蓮師範學院附設實驗國民小學

作者姓名：

小六 林珮筠 小六 劉彥苹 小六 蕭語荷
小六 劉昕 小六 鄭之瑄 小六 陳祉霏

指導老師：

廖品蘭 賴昱光

水中號手---菱角樂器

壹、研究動機

五上自然「自製樂器」的單元，我們了解吹奏樂器主要是靠吹奏者送出空氣，使氣流在管中震動而發聲。六上藝文課老師要我們自製樂器，當時恰好是菱角盛產的季節，我們就想試看看菱角是否可以吹出音階，成為菱角樂器？



圖 1、水中號手-菱角樂器

貳、相關學習經驗的整合與資料的研讀

由於我們對「為何會產生音高？」以及「如何讓樂器產生音高？」的原理還不太了解，因此蒐集與閱讀整理了以下資料及重點：

一、吹管樂器音高差異的原因分析

(一) 空氣柱長短，是吹管樂器產生不同音高的主因

以排笛為例，長短不同的管子正是排笛發出不同音高的關鍵。長的管子因管內空氣柱高，氣流的震動不易，所產生的聲音比較低。短的管子則因管內空氣柱短，氣流的震動容易，因此可以產生高音。



圖 2、長短不一的管子，是排笛發出高、低音的主因

(二) 改變「空氣柱長短」可改變音高

運用透明的試管裝水測試發現，當試管內的空氣柱越高，所吹奏出的聲音越低，空氣柱越短，吹奏的聲音就越高。

另外，我們也可以運用「改變按孔位置」的方式，來改變吹奏器管內空氣柱的長短，使樂器產生不同的音高變化。



圖 3、簡易的音高測試實驗

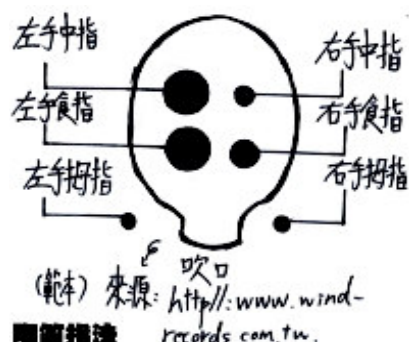


圖 4、陶笛藉由按孔改變音高

以陶笛為例，我們發現陶笛上按孔的位置與大小各有不同，可透不同的指法改變陶笛的音階。因此，我們也將探討按孔的「位置」與「大小」這兩個因素，是否會影響菱角樂器的音高表現。

二、菱角樂器的特性與研究方向

由於文獻上對於吹管樂器發聲原理的探討，都屬於造型平整，且空氣柱較為明確的例子（如長笛、排笛等）。對於類似菱角樂器這種造型奇特且空間結構特殊的例子則較為缺乏，因此，菱角是否可以製作成可以發出音階的樂器？以及菱角樂器的發聲原理為何？便值得我們進一步探究！

三、名詞解釋

(一) **音階 (Scale)**：根據音樂辭典記載，音階就是依照 Do、Re、Me、Fa、Sol、La、Si、高八度 Do 次序排列的一組音。本研究用 C、D、E、F、G、A、B 七個音名來代表 Do、Re、Me、Fa、Sol、La、Si 七個音。

(二) **音高(pitch)**：是指聲音的高與低。本研究所採用的音高值，是以國際標準音的頻率（赫茲：Hz）來表示，各音階相對的音高頻率與鍵盤的對照，請參考下圖。

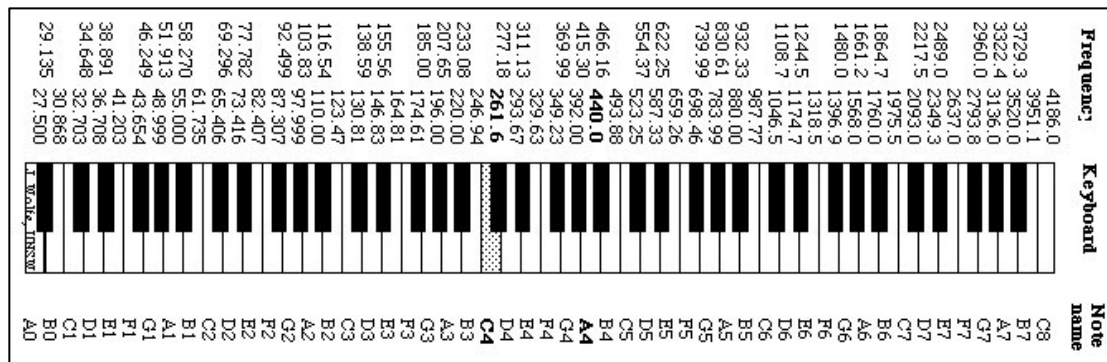


圖 5、音階與音高頻率對照

參、研究目的

依據上述的文獻探討，我們的研究預計達成三個目的：

- 一、製作可以吹出音階的菱角樂器。
- 二、了解影響菱角樂器「音高」改變的原因。
- 三、運用菱角樂器音高改變的因素，製作另一種吹管樂器，以檢證其原理。

肆、研究問題

- 一、是不是每一個挖空後的菱角，都可以吹出聲音？
- 二、怎樣的吹氣角度，較能順利吹出聲音？
- 三、吹孔的大小，會不會影響菱角樂器的音高表現？
- 四、菱角內部空間的大小，會不會影響菱角樂器的音高表現？
- 五、不同按孔大小，是否會影響菱角樂器的音高表現？
- 六、不同的按孔排列方式，是否會影響菱角樂器的音高表現？
- 七、有那些變因影響菱角樂器的音高？
- 八、菱角樂器的發聲原理是否可以應用在另一種特殊外型的吹管樂器上？

伍、研究設備及器材

我們所需要的設備及器材如下：
菱角、耳挖、電子天平、音頻器、尺、小剪刀、奇異筆、乾燥箱。



圖6、本研究需使用的設備與器材

陸、研究流程與結果

一、菱角樣本的取樣與編號程序

(一)、菱角樣本各部位的命名

開始進行研究之前，爲了方便討論，我們需要將菱角的各個部份加以命名（參考右圖）。

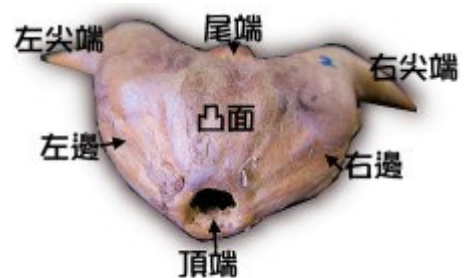


圖7、菱角各部位命名

(二) 菱角樣本的編號與測重

1. 編號：實驗的菱角樣本分兩批購買，第一批菱角樣本 18 個(編號 X1-X18)；第二批菱角樣本共 31 個(編號 X19-X49)。
2. 測重：除了編號之外，我們運用電子天秤測量菱角的原始重量，以利後續研究進行。(編號與測重資料參考附件一)。

編號	原始	殼	差(容量)
1	20.81	5.28	15.53
2	16.98	3.58	13.40
3	21.99	6.96	15.03

圖 8、菱角樣本的編號與測重過程



(三) 決定菱角樣本的吹口位置與大小

爲了方便操控以及掌控吹氣氣流，我們決定將菱角樂器的吹口設定在菱角的頂端，吹口大小設定在直徑爲 0.5 公分左右。



圖 9、吹孔設在頂端較容易操控

(四) 將菱角挖空並進行乾燥處理

先用剪刀在頂端挖一個洞，然後用耳挖將內部果肉挖空，之後將外皮剝皮乾燥。



圖 10、菱角挖空的步驟

剪一個洞
①用剪刀剪一個洞，洞不可以太大，大概直徑 0.5 公分就好了。

挖肉
②用挖耳朵的東西(耳挖)把裡面的東西(菱角肉)挖乾淨！一定要乾淨！不然吹不出來。

吹
③完成之後倒著吹，吹出來之後，成功的聲音是：呼~呼~。

二、研究方法與結果

(一)、問題一：是不是每一個挖空後的菱角，都可以吹出聲音？

1. 研究方法：實驗法（實驗架構圖請參考附件二）

2. 研究步驟：

- (1) 將每一個挖空的菱角拿來吹氣。
- (2) 紀錄每個菱角是否可以吹出聲音。

3. 研究結果：如表一，我們將每一個挖空的菱角拿來吹氣之後發現，每個菱角都可以吹出聲音。

表一、不同的菱角樣本可否吹出聲音的測試表

第一 批 樣 本	編號	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
	可否吹 出聲音	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	編號	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	可否吹 出聲音	√	√	√	√	√	√	√	√	√
第二 批 樣 本	編號	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27
	可否吹 出聲音	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	編號	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36
	可否吹 出聲音	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	編號	X37	X38	X39	X40	X41	X42	X43	X44	X45
	可否吹 出聲音	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	編號	X46	X47	X48	X49					
	可否吹 出聲音	√	√	√	√					

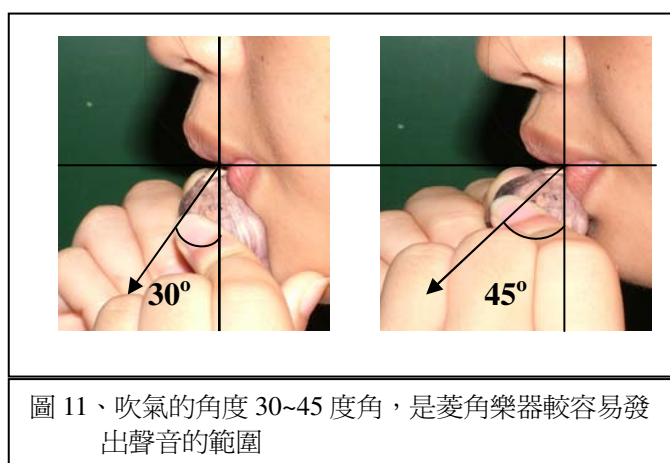
(二)、問題二：怎樣的吹氣角度，較能順利吹出聲音？

1. 研究方法：實驗法

2. 研究步驟：

- (1) 找出一顆菱角，並調整菱角的角度，進行吹氣。
- (2) 觀察並拍照記錄最大與最小角度。
- (3) 運用量角器測量氣流進氣角度。

3. 研究結果：吹氣角度介於 30~45 度之間，可以順利吹出聲音。



(三)、問題三：吹孔的大小，會不會影響菱角的音高表現？

1. 研究方法：實驗法（實驗架構圖請參考附件二）

2. 研究步驟：

- (1) 將菱角依照大小排列，並抽取容量最大及最小的菱角作為樣本。
- (2) 試吹吹口 0.5 公分大小的菱角五次，並量測記錄音高。
- (3) 將樣本吹口擴大為 0.75 公分，每個樣本試吹五次，並量測記錄音高。
- (4) 再將樣本吹口擴大為 1 公分，每個樣本試吹五次，並量測記錄音高。

3. 研究結果：菱角吹口的大小，會影響菱角的音高表現。吹口越大者，音較高。缺口小者，音較低。

表二、不同吹口大小的菱角樣本音高表現測試表(單位：赫次 (Hz))

吹口 容量	吹口為 0.5cm				吹口為 0.75 cm				吹口為 1.0 cm			
	大容量		小容量		大容量		小容量		大容量		小容量	
編號	X37	X30	X13	X7	X37	X30	X13	X7	X37	X30	X13	X7
1次	B 246.9	C 261.6	D# 311.13	C# 277.2	D 293.7	D 293.7	A 440.4	G 392.0	E 329.63	F# 369.99	B 493.88	B 493.88
2次	B 246.9	B 246.9	D# 311.13	C# 277.2	D 293.7	D 293.7	A 440.4	G 392.0	E 329.63	F# 369.99	B 493.88	B 493.88
3次	B 246.9	B 246.9	E 329.63	C# 277.2	D 293.7	D# 311.13	A 440.4	G 392.0	E 329.63	F# 369.99	B 493.88	B 493.88
4次	B 246.9	B 246.9	D# 311.13	C# 277.2	D 293.7	D# 311.13	A 440.4	G 392.0	E 329.63	F# 369.99	B 493.88	B 493.88
5次	B 246.9	B 246.9	D 293.7	C# 277.2	D 293.7	D# 311.13	A 440.4	G 392.0	E 329.63	F# 369.99	B 493.88	B 493.88
平均	246.9 Hz	249.8 Hz	311.3 Hz	277.2 Hz	293.7 Hz	304.2 Hz	440.4 Hz	392.0 Hz	329.63 Hz	369.99 Hz	493.88 Hz	493.88 Hz

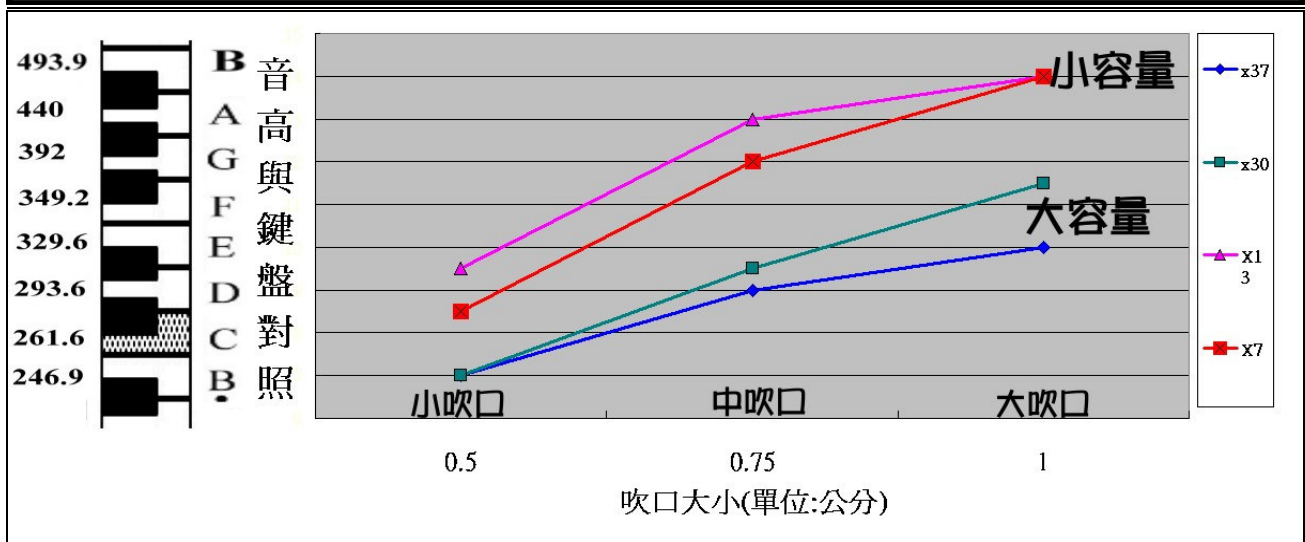


圖 12、吹口大小與音高表現關係圖

將表二的數據轉化成圖12之後，可以更清楚的看到吹口越大，聲音越高的現象。我們推論：造成吹孔越大，聲音越高現象的主要原因應是吹口變大後，進入的氣流越多，使得氣流震動的頻率加高，聲音亦隨之提高。

(四)、問題四：菱角樂器內部空間的大小，是否會造成音高的不同？

1. 研究方法：實驗法（實驗架構圖請參考附件二）

2. 研究步驟：

- (1) 測量菱角的淨重（原始重量-空殼重量=淨重）。
- (2) 將所有樣本依照容量大小排列，並抽取前、後各五個最大及最小的菱角作為樣本。
- (3) 每個菱角樣本吹氣五次，並測量及記錄音高。

3. 研究結果：菱角內部的空間大小，會影響菱角的音高表現。空間越大，聲音越低；空間越小，聲音越高。

從表三與圖13發現，大容量的五個菱角（X37、X30、X42、X17、X40）的平均音頻（229.6 Hz）均低於小容量的五個菱角（X6、X23、X12、X7、X13）（271.32 Hz），可見菱角內部空間的大小，會影響菱角的音高。

表三、菱角內部空間大小是否影響音高表現的測試表

組別	大容量					小容量				
編號	X37	X30	X42	X17	X40	X6	X23	X12	X7	X13
1次	G 196.0	C 261.6	A# 233.1	A# 233.1	A# 233.1	B 246.9	C# 277.2	C 261.6	C# 277.2	D 293.7
2次	G 196.0	C 261.6	A# 233.1	A# 233.1	A# 233.1	B 246.9	C# 277.2	C 261.6	C# 277.2	D 293.7
3次	G 196.0	B 246.9	A# 233.1	A# 233.1	A# 233.1	B 246.9	C# 277.2	B 246.9	C# 277.2	D 293.7
4次	G 196.0	B 246.9	A# 233.1	A# 233.1	A# 233.1	B 246.9	C# 277.2	C 261.6	C# 277.2	D 293.7
5次	G 196.0	B 246.9	A# 233.1	A# 233.1	A# 233.1	B 246.9	C# 277.2	C 261.6	C# 277.2	D 293.7
平均音頻	196.0 Hz	252.8 Hz	233.1 Hz	233.1 Hz	233.1 Hz	246.9 Hz	277.2 Hz	261.6 Hz	277.2 Hz	293.7 Hz
各組平均	229.6 Hz					271.32 Hz				

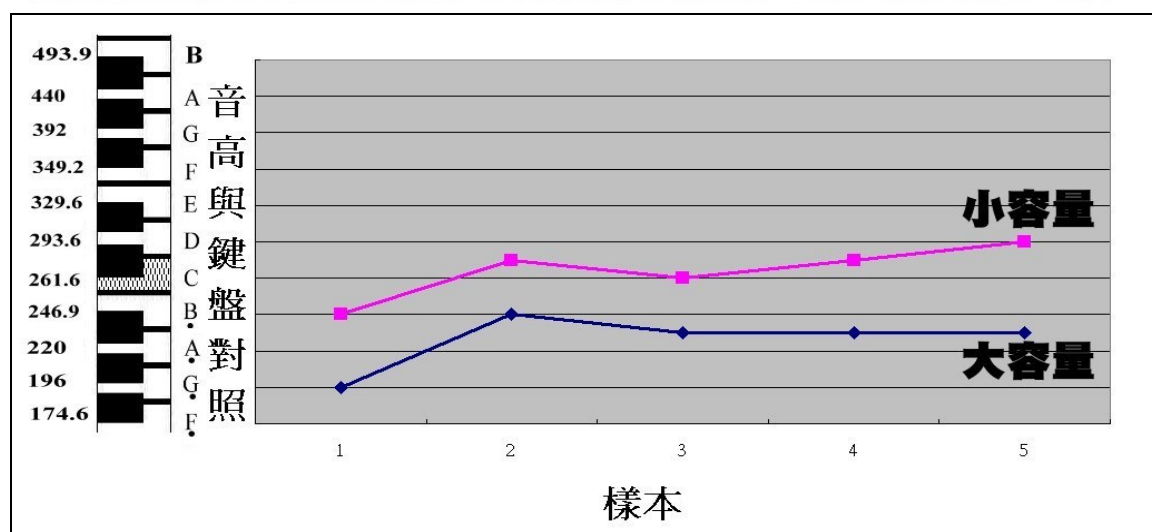


圖13、菱角內部空間大小與音高表現關係圖

我們在分析菱角內部空間音高差異來源時，發現 X30 號菱角（平均音頻為 252.8Hz）的音高比起其它四顆容量大的菱角還要高音，探究其原因發現 X13 號菱角的內部空間較為扁平，中央凸面至中央凹面的垂直距離為 1.5 公分。



圖 14、菱角的中央垂直距離會影響音高。較厚實、音較高。較薄、音較低。

相對的，X42 號菱角（平均音頻為 233.1Hz）與 X17 號菱角（平均音頻為 233.1Hz）較厚實，其內部空間中央垂直距離較大（1.8 公分），所測出的聲音較低。因此可知菱角內部空間的垂直距離會影響音高。

(五)、問題五：不同按孔大小，是否會影響菱角樂器的音高表現？

1. 研究方法：實驗法（實驗架構圖請參考附件二）

2. 研究步驟：

- (1) 隨機選擇 12 個樣本，並凸面中央開一個直徑 0.4 公分與 0.6 公分的按孔。
- (2) 由同一測試者對每個菱角吹奏 5 次，並量測記錄音高。

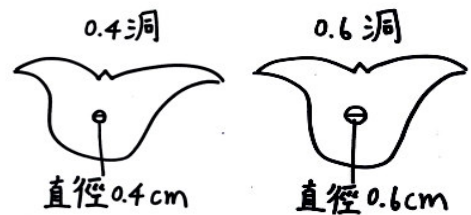


圖 15、菱角開孔大小與位置範本

3. 研究結果：兩種按孔所產生的音高並沒有明顯的差異，因此我們推論按孔大小並不會影響音高。

表四、0.4 洞與 0.6 洞音高表現測試表

0.4 洞			0.6 洞		
樣本編號	淨重(g)	平均值	樣本編號	淨重(g)	平均值
X3	11.67	E (329.6Hz)	X1	11.35	F (349.2Hz)
X9	8.08	D (293.7Hz)	X5	12.35	D (293.7Hz)
X11	8	D# (311.1Hz)	X6	8.16	D# (311.1Hz)
X12	10.92	C# (277.2 Hz)	X8	9.94	D# (311.1Hz)
X15	9.64	D# (311.1Hz)	X10	8.67	D (293.7Hz)
X17	15.66	G (392Hz)	X13	7.57	F# (3707Hz)

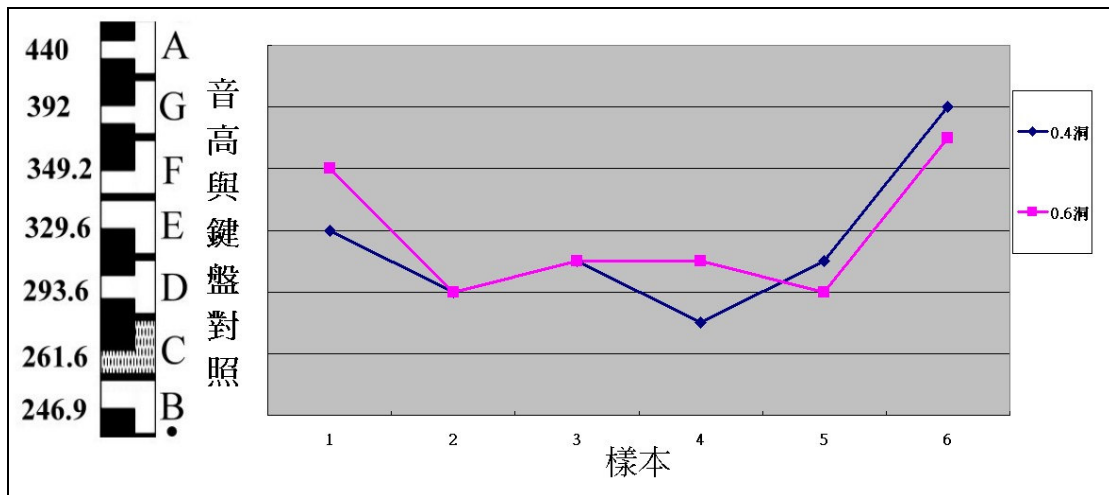


圖16、按孔大小(0.4 與 0.6 洞)音高表現測試圖

※ 得到這個結果後，我們將後續實驗的按孔大小直接設定為直徑 0.4 公分，不再探討按孔大小與音高變化的關係。

(六)、問題六：不同的按孔位置與排列方式，是否會影響菱角樂器的音高表現？

要了解菱角的按孔位置與排列方式對音高的影響，我們需要考量「開幾個按孔」與「開在哪一個位置」兩個問題。

1. 要開幾個按孔呢？

由於每個按孔可以有三種指法（全按●●、半開●○、全開○○），因此開一個按孔就可能出現三種不同的音階；開兩個按孔，就有九種不同的指法

（左右全按●●、左右全開○○、左右半開●○、左全開右半開○●、左半開右全按●●、左全按右半開●○、左全開右全按○○、左全按右全開●○、左半開右全開○●），也就是可能出現九個音階。一個八度音才 12 個半音的音階，因此我們認為開一個及兩孔按孔就可以看出音域的變化了。

2. 按孔的位置應該開在哪裡呢？

開一個按孔，我們想了解吹口到按孔的距離是否會影響音高的表現？因此決定將按孔設計在菱角的凸面中央以及底端，並命名為「中洞」與「底洞」！開兩個按孔的方式與位置應該設在哪裡呢？由於我們想了解按孔的排列方式是否會影響到音高表現？因此決定將兩個按孔設計在菱角的中央，並分別探討「中直兩孔」及「中橫兩孔」的排列方式，是否影響菱角的音高表現？

(七)、實驗六-1：底洞的指法與音高表現分析

1. 研究方法：實驗法（實驗架構圖請參考附件二）

2. 研究步驟：

- (1) 隨機選擇 6 個樣本，並在底部開一個直徑 0.4cm 的孔。
- (2) 測試並記錄（全按●、半開◐、全開○）三種指法的音高表現。



圖17：底洞的三種指法。

3. 研究結果：按越多，聲音越低沉；按越少，聲音較高；也就是「底洞全按」的聲音較低、而「底洞全開」的聲音較高。

表五、底洞指法與音高表現測試表

底洞	樣本編號	淨重 (g)	指法		
			底洞全按	底洞半按	底洞全開
	X19	15.53	D# (311.1Hz)	E (329.6Hz)	G# (415.3Hz)
	X20	13.4	D# (311.1Hz)	E (329.6Hz)	G (392Hz)
	X21	15.03	C (261.6Hz)	D (293.7Hz)	F (349.2Hz)
	X22	13.99	C (261.6Hz)	D (293.7Hz)	F (349.2Hz)
	X23	8.3	E (329.6Hz)	F# (3707Hz)	A (440Hz)
	X24	13.81	C (261.6Hz)	D# (311.1Hz)	F# (3707Hz)
平均音頻(單位:赫次, Hz)			297.7Hz	321.3Hz	376.1Hz

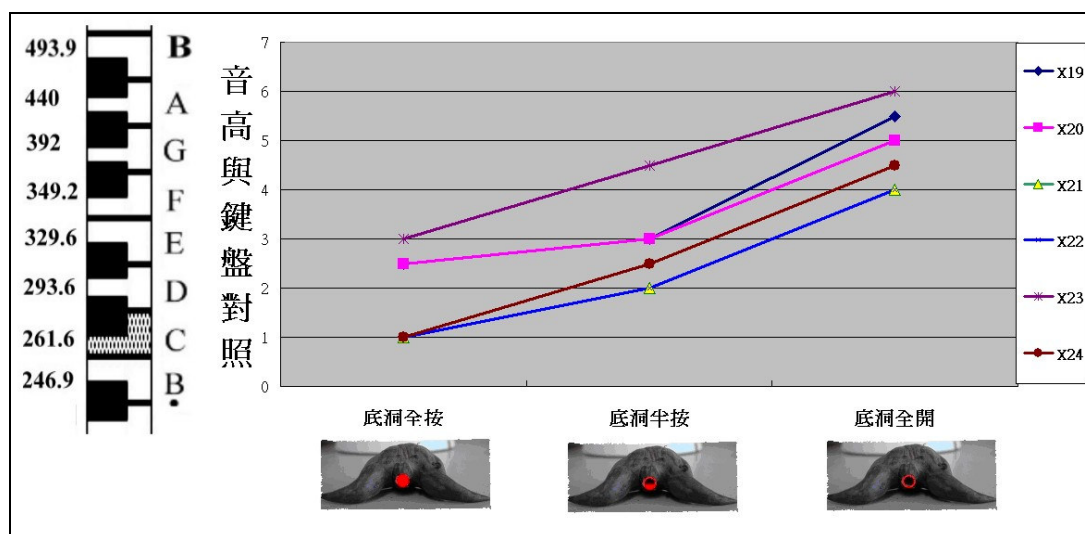


圖18、底洞指法與音高表現關係圖

(八)、**實驗六-2**：「中洞」的指法與音高表現分析

1. **研究方法**：實驗法（實驗架構圖請參考附件二）
2. **研究步驟**：



圖19、中洞的三種指法

- (1) 與實驗六-1 配對，選擇與實驗六-1 菱角大小相當的樣本 6 個，並在凸面中央開一個直徑 0.4cm 的孔。
 - (2) 測試並記錄（全按●、半開◐、全開○）三種指法的音高表現。
3. **研究結果**：「中洞」所測出的音高與底洞一樣，按越多，聲音越低沉；按越少，聲音較高；也就是「中洞全按」的聲音較低、而「中洞全開」的聲音較高。

表六、中洞指法與音高表現測試表

中洞	樣本編號	淨重 (g)	指法		
			中洞全按	中洞半按	中洞全開
	X38	15.58	F (349.2Hz)	F# (370.7Hz)	G# (415.3Hz)
	X45	13.32	D# (311.1Hz)	E (329.6Hz)	G (392Hz)
	X46	15.05	F (349.2Hz)	F (349.2Hz)	G (392Hz)
	X36	13.85	F (349.2Hz)	F# (370.7Hz)	A# (466.2Hz)
	X6	8.16	F (349.2Hz)	G (392Hz)	G# (415.3Hz)
	X28	13.77	D# (311.1Hz)	E (329.6Hz)	F# (370.7Hz)
平均音頻(單位:赫次, Hz)			336.5Hz	357.0Hz	408.6Hz

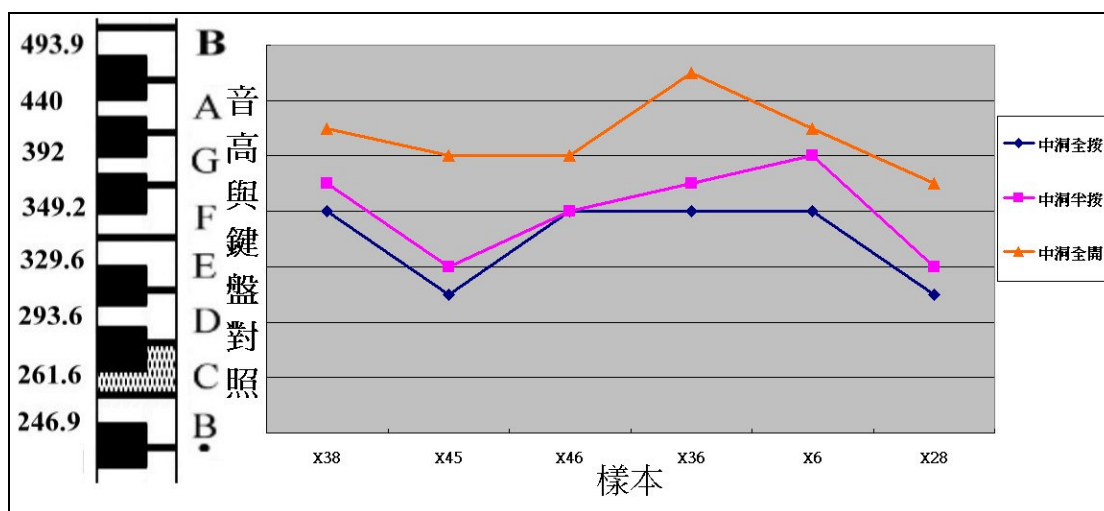


圖20、中洞指法與音高表現分析

爲了探討吹口到按孔的距離是否會影響音高的表現，我們將表五及表六的結果轉畫成圖21。從圖21我們可以發現，中洞的音高都比底洞的音高高，因此我們推論吹口到按孔的距離會影響到菱角樂器的音高表現，距離越長，音越低；距離越短，音越高。

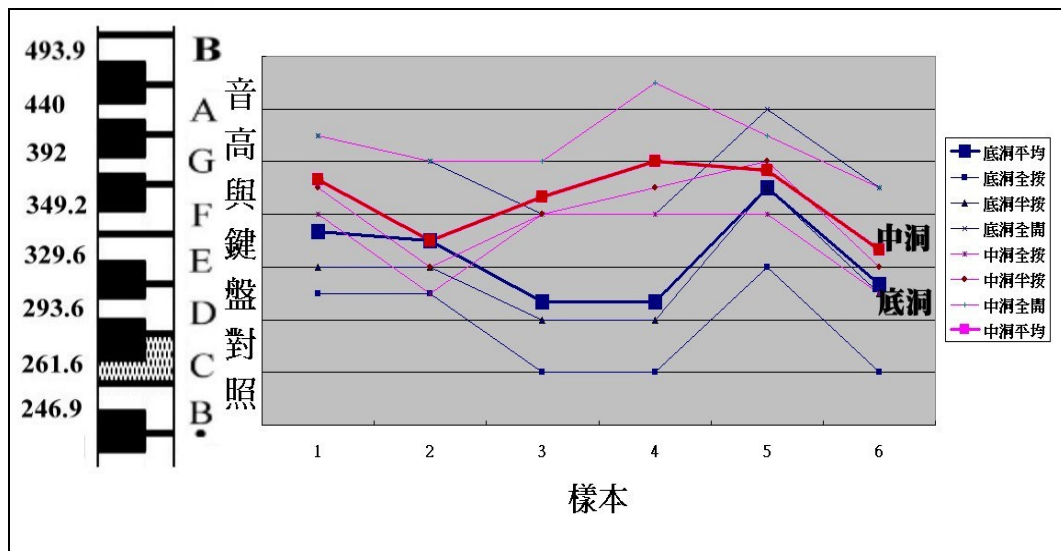


圖21、底洞與中洞指法的音高比較分析圖。

(九)、實驗六-3：「中橫兩孔」的指法與音高表現的分析

1. 研究方法：實驗法（實驗架構圖請參考附件二）

2. 研究步驟：

(1) 隨機選擇 6 個樣本，並在中央凸面的中央橫線上取 1/3、2/3 處，各開一個直徑 0.4cm 的孔。

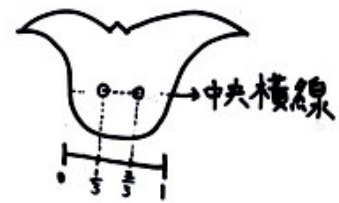


圖22、中橫兩孔開孔方式

(2) 測試下列九種指法的音高表現。

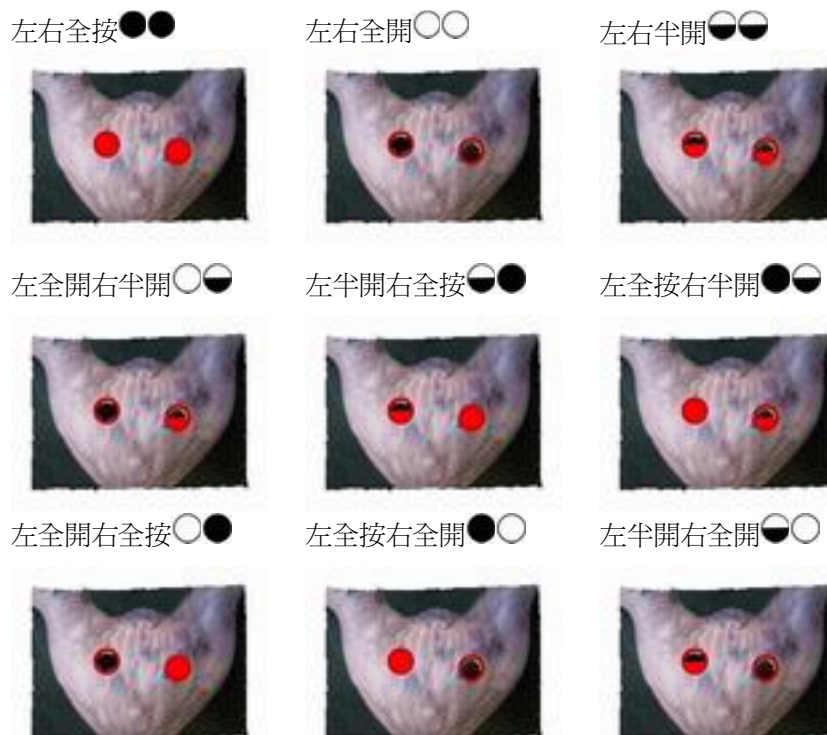


圖23、中橫兩孔的九種指法

3. 研究結果：九種指法中「全按」的音較低、「全開」的音較高。音高表現從低到高的指法，參見圖24及圖25。

表七、中橫兩孔指法與音高表現分析表

標本編號	淨重(g)	左右全按	左半開、右全按	左全開、右全按	左全按右半開	左右半開	左半開、右全開	左全按右全開	右半開左全開	左右全開
X25	13.12	C# 277.2Hz	C# 277.2 Hz	C# 277.2 Hz	D 293.7 Hz	D, D# 302.4 Hz	F# 370 Hz	F# 370 Hz	F 349.2 Hz	G 392 Hz
X28	13.77	D# 311.1Hz	D# 311.1 Hz	D# 311.1 Hz	E 329.6 Hz	F 349.2 Hz	G# 415.3 Hz	G# 415.3 Hz	A 440 Hz	A 440 Hz
X29	12.27	D 293.7Hz	G# 415.3 Hz	G# 415.3 Hz	F 349.2 Hz	F# 370 Hz	F# 370 Hz	F# 370 Hz	A 440 Hz	A# 466.2 Hz
X30	18.27	C# 277.2Hz	D# 311.1 Hz	D# 311.1 Hz	F# 370 Hz	D 293.7 Hz	F 349.2 Hz	F 349.2 Hz	A 440 Hz	A# 466.2 Hz
X31	15.32	C 261.6Hz	C 261.6 Hz	C 261.6 Hz	D# 311.1 Hz	G# 415.3 Hz	C# 277.2 Hz	C# 277.2 Hz	D# 311.1 Hz	F# 370 Hz
X32	15.14	D 293.7Hz	D 293.7 Hz	D 293.7 Hz	D 293.7 Hz	D 293.7 Hz	F# 370 Hz	F# 370 Hz	F# 370 Hz	G 392 Hz
平均音頻		285.8Hz	311.7 Hz	311.7 Hz	324.6 Hz	337.4 Hz	358.6 Hz	358.6 Hz	391.7 Hz	421.1 Hz

音高表現由低到高的指法分別為

左右全按	左半開、右全按	左全開、右全按	左全按右半開	左右半開	左半開、右全開	左全按右全開	右半開左全開	左右全開
●●	●●	○●	●●	●●	●○	●○	○●	○○

圖24、中橫兩孔音高由低到高排序圖

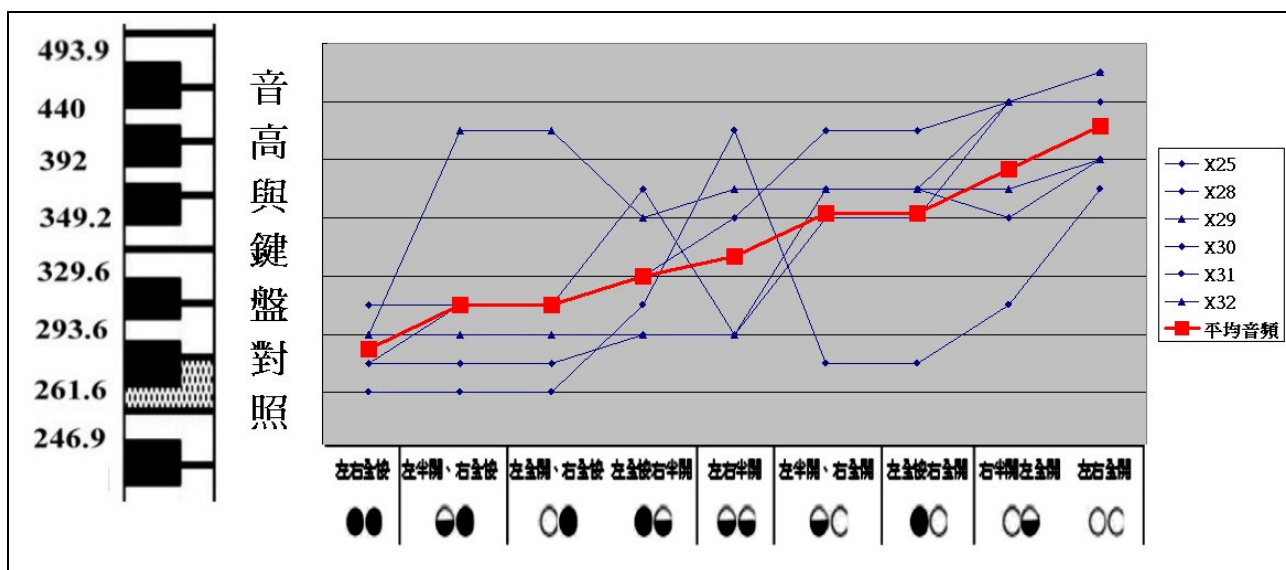


圖25、中橫兩孔指法音高表現分析圖

我們進一步比較左按孔全按及右按孔全按的音高差異後發現，菱角左右邊厚薄程度的不同，會影響菱角樂器的音高表現。例如：X25 號菱角的左側邊較為厚實，所測得的聲音較為低沉（C#，277.2Hz）；右半邊較為薄小，所產生的聲音較高（F#，370Hz）。



圖26、菱角左右兩側的厚薄不同，會影響音高。較厚的邊，音較低，較薄的邊，音較高。

(十)、**實驗六-4**：「中直兩孔」的指法與音高表現分析

1. 研究方法：實驗法（實驗架構請參考附件二）

2. 研究步驟：

- (1) 隨機選擇 6 個菱角樣本，並在中央直線的中央橫線上取 1/3、2/3 處，各開一個直徑 0.4cm 的孔。
- (2) 測試下列九種指法的音高表現。

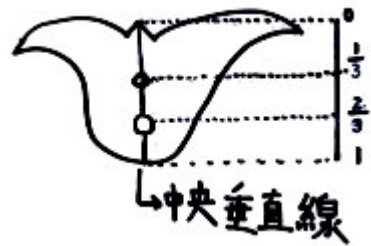


圖27、中直兩孔的開孔方式

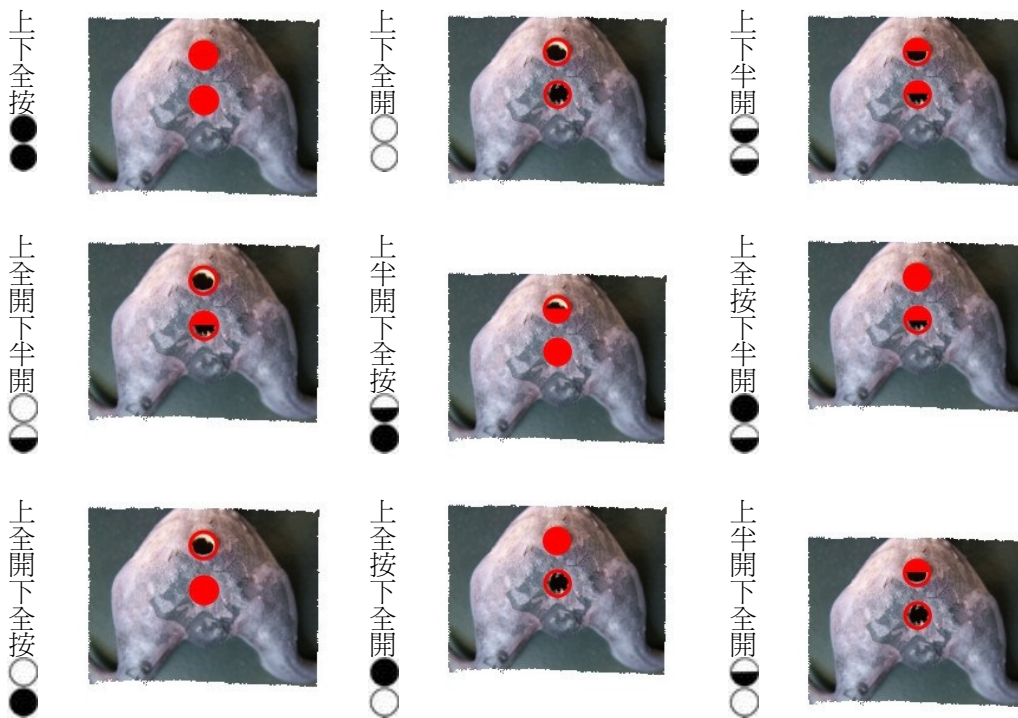


圖28、中直兩孔的九種指法

上下全按	上全按下半開	上半開下全按	上下半開	上全按下全開	上全開下半開	上半開下全開	上全開下全按	上下全開

圖29、中直兩孔的九種指法

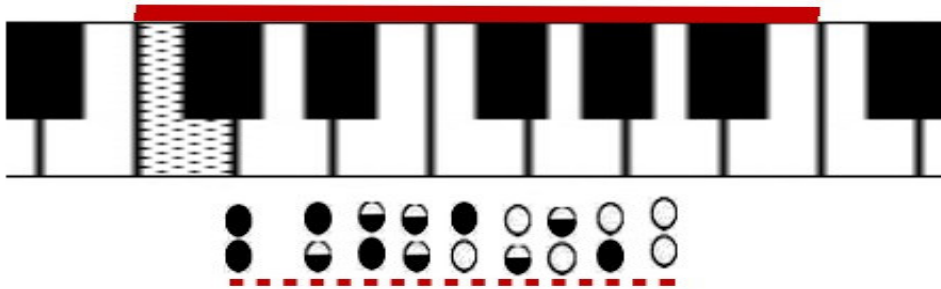


圖30、中直兩孔指法音高表現與鍵盤對照圖

3. 研究發現：九種指法中「全按」的音較低、「全開」的音較高。指法的音高表現由低到高請參考表八、圖31。

樣本	淨重 (g)	上下全按	上全按下半開	上半開下全按	上下半開	上全按下半開	上全開下半開	上半開下全開	上全開下全按	上下全開
X33	15.43	D# 311.1Hz	G 392 Hz	D# 311.1 Hz	F# 370 Hz	G 392 Hz	G# 415.3 Hz	G# 415.3 Hz	G 392 Hz	A 440 Hz
X35	13.78	C# 277.2Hz	E 329.6 Hz	E 329.6 Hz	C# 277.2 Hz	G 392 Hz	A 440 Hz	A 440 Hz	A# 466.2 Hz	G# 415.3 Hz
X36	13.85	D 293.7Hz	C 261.6 Hz	E 329.6 Hz	D# 311.1 Hz	G# 415.3 Hz	G# 415.3 Hz	A、A# 453.1 Hz	G# 415.3 Hz	A 440 Hz
X37	18.33	D# 311.1Hz	C# 277.2 Hz	D 293.7 Hz	A# 466.2 Hz	D 293.7 Hz	D# 311.1 Hz	D# 311.1 Hz	A# 466.2 Hz	G# 415.3 Hz
X38	15.58	C 261.6Hz	C# 277.2 Hz	C# 277.2 Hz	D 293.7 Hz	E 329.6 Hz	D 293.7 Hz	G 392 Hz	D# 311.1 Hz	A 440 Hz
X39	14.85	D 293.7Hz	D 293.7 Hz	D# 311.1 Hz	D# 311.1 Hz	E 329.6 Hz	D# 311.1 Hz	D# 311.1 Hz	D# 311.1 Hz	D# 311.1 Hz
平均音頻		291.4Hz	305.2 Hz	308.7 Hz	338.2 Hz	358.7 Hz	364.4 Hz	387.1 Hz	393.7 Hz	410.3Hz

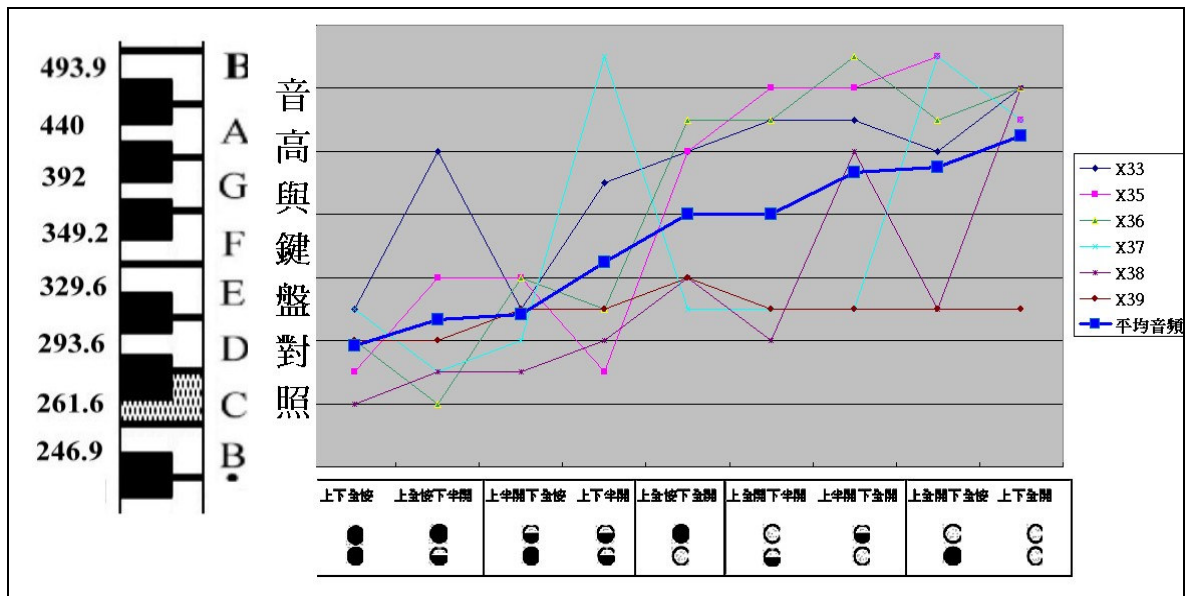


圖31、中直兩孔指法音高表現分析圖

(十一)、問題七：影響菱角樂器音高的主要變因有哪些？

1. 研究方法：資料分析與統整歸納

2. 研究結果：

從表九發現影響菱角樂器音高的變因可分成「吹孔」、「空間結構」、「吹孔到按孔距離」及「指法」等四類。原因說明如下：

表九、本研究各實驗變因是否會影響菱角樂器音高的統整摘要表。

	操控變因	是否影響音高	研究發現	變因主要類別
實驗三	吹孔大小	是	吹孔越大，音越高。	吹孔
實驗四	菱角內部空間	是	空間越大、音越低。	空間結構
	菱角內部垂直距離	是	垂直距離較大聲音較低，垂直距離較小，聲音較高。	空間結構
實驗五	按孔大小	否	按孔大小不影響音高。	
實驗六-1	底洞的指法	是	全開音最高，全按音最低。	指法
實驗六-2	中洞的指法	是	全開音最高，全按音最低。	指法
實驗六-1 實驗六-2	吹孔到按孔的距離	是	距離越短音越高，距離越長音越低。	吹孔到按孔距離
實驗六-3	中橫兩孔的指法	是	全按的音最低，全開的音最高。	指法
	菱角左右邊厚薄度	是	較厚音較低，較薄音較高。	空間結構
實驗六-4	中直兩孔的指法	是	全按的音最低，全開的音最高。	指法
	吹口到按孔的距離	是	距離越短音越高，距離越長音越低。	吹孔到按孔距離

(1)「吹孔」影響菱角樂器音高的原因：

由實驗三，我們發現「吹孔」越大，音高越高。這可能是因為吹孔加大，進氣的氣流增多，使得氣流在菱角內部空間的震動頻率增高，產生較高的音階。

(2)「空間結構」影響菱角樂器音高的原因：

經由實驗四及實驗六-3發現，菱角內部空間大小、垂直距離及左右邊結構的厚薄度不同，都會影響音高。簡單的說，空間越大、垂直距離越長及、較為厚實的一邊，聲音較低；相反的，空間小、垂直距離較短、及較為薄的一邊音高較高。其原因，應是空間大小限制氣流的振動頻率所致。空間大者，氣流震動較緩，音就較低；空間小者，氣流震動較為快速，音就越高。

(3)「吹孔到按孔距離」影響菱角樂器音高的原因：

經由實驗六-1、六-2及實驗六-3發現，吹孔到按孔距離越短音越高，距離越長音越低。這應該是菱角內部空氣柱長短所造成的結果。當吹孔到按孔的距離越長，空氣柱也越長，氣體震動的頻率較低，因此發出的聲音就較為低沉。

(4)「指法」影響菱角樂器音高的原因：

經由實驗六-1、六-2、六-3、六-4我們發現，指法會影響菱角樂器的音高。指法為全按的時候音最低，全開的時候音最高。這應該是指法改變菱角樂器內部空氣柱長短的現象所造成的結果。

綜合上述四項影響菱角樂器發音原理的探討，由於「吹孔到按孔距離」及「指法」影響菱角樂器音高的現象，都是因為「改變空氣柱長短」所造成的結果，因此我們可以將影響菱角樂器音高的原因在簡化歸納成三點：

第一、為吹孔的大小，第二、為空間結構特徵，第三、空氣柱的長短。

(十二)、問題八：菱角樂器的發音原理可以應用在製作造型特殊的吹管樂器嗎？

※為了回答這個問題，組員們都很努力的在尋找合適的樣本。有一次假日我們出遊時，我意外發現許多造型奇特的葫蘆，我迫不及待的和老闆要了電話，隔天到校就和組員及老師討論運用葫蘆作為樣本的可行性。最後我們一致同意以葫蘆作為我們延伸研究的樣本……

1. 研究方法：實驗法（實驗架構圖請參考附件二）

2. 研究步驟：

(1) 找到葫蘆作為我們研究樣本

(2) 將葫蘆挖空並乾燥：葫蘆挖空的方法同菱角的處理流程。

(3) 依照「吹孔大小」、「空間結構特徵」及「空氣柱長短」三組操縱變因的順序，比較葫蘆樂器與菱角樂氣的發音原理。



圖 32、我們選擇當季盛產的葫蘆作為我們繼續研究的樣本。

表十、菱角樂器及葫蘆樂器在「吹孔」、「空間」、「空氣柱長短」三項變因對照表

	吹孔大小	空間結構				空氣柱長短	
		空間大小	垂直距離	左右邊厚薄度	上下音箱	按孔距離	指法
菱角樂器	吹孔越大音越高。	內部空間越大、音越低。 內部空間越小、音越高。	垂直距離大，聲音低 垂直距離小，聲音高	較厚(音較低) 較薄(音較高)	無此構造，因此無法實驗	距離越短音越高 距離越長音越低。	全按音最低 全開音最高
葫蘆樂器	吹孔越大音越高。	內部空間越大、音越低。 內部空間越小、音越高。	葫蘆底部垂直距離大，聲音低 垂直距離小，聲音高。	無此構造，因此無法實驗。	上音箱可出現音階 下音箱無法出現音階。	距離越短音越高， 距離越長音越低。	全按音最低 全開音最高



圖 33 左邊葫蘆空間大，聲音較低沉。
右邊葫蘆空間較小，聲音較高。



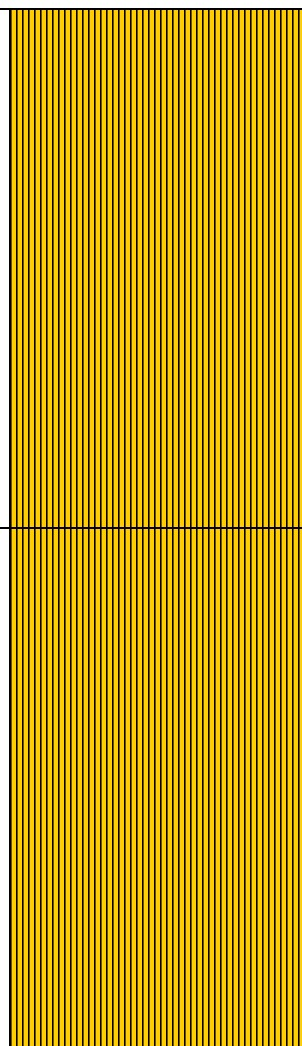
圖 35 葫蘆樂器的上音箱有音階
下音箱無法出現音階。



圖 34 左邊葫蘆底部垂直距離大，聲音較低；
右邊葫蘆垂直距離小，聲音較高。



圖 36 葫蘆樂器的按孔
距離越短音越高，距離越長音越
低。



3. 研究結果：

(1) 從表 4發現：葫蘆樂器的發音原理與菱角樂器的發音原理大致上是相同。唯有在「空間結構」變因中，「左右厚薄」、「上下音箱」部份，無法比較。

(2) 綜合上述發現，我們推論影響菱角或者葫蘆等特殊造型物體的發音原理，應可簡化成「基本原理」及「特殊原理」兩個部份。

基本原理，是指控制氣流震動頻率的「吹孔」、「空氣柱長短」及「空間結構」中的「容量大小」等變因，這方面的基本原則是吹孔越大、空氣柱越短、容量越小、氣流的震動頻率越高，聲音的頻率也越高。反之，則聲音越低！這些原則並不會因為器材的不同而有不同的結果，例如陶笛、直笛或者本研究測量的菱角與葫蘆樂器等，均符合此發音原理。

另有一種根據物體本身的特徵所形成的「特殊原理」，在影響著這類物體的發音，例如，兩邊不對稱、造型奇特的菱角，以及具有上下雙層音箱的葫蘆樂器！

柒、研究結論

- 一、所有的菱角經過挖空與乾燥處理後，都可以吹出聲音。
- 二、菱角樂器最佳的吹氣角度，大約介於 30~45 度之間。
- 三、菱角樂器的吹口大小，會影響其音高表現。吹口越大者聲音就越高。吹口較小聲音就越低。
- 四、菱角內部空間的大小，會影響菱角的音高。空間越大，聲音越低。空間越小，聲音越高。菱角內部空間的垂直距離，會影響菱角的音高。容量相同，厚、薄不一的兩個菱角比較，較厚的菱角聲音較低；較薄的菱角聲音較高。
- 五、直徑 0.4 及 0.6 公分按孔所產生的音高並沒有明顯的差異，因此推論按孔大小並不會影響它的音高。
- 六、「底洞全按」的聲音較低、而「底洞全開」的聲音較高。
- 八、「中洞全按」的聲音較低、而「中洞全開」的聲音較高。
- 九、吹口到按孔的距離會影響到菱角樂器的音高表現；按孔的距離越長，空氣柱越高，音就越低；距離越短，空氣柱也越短，音就越高。
- 十、中橫兩孔九種指法中「全按」的音較低、「全開」的音較高。菱角左右邊厚薄度的不同，會影響菱角樂器的音高表現。
- 十一、中直兩孔九種指法中「全按」的音較低、「全開」的音較高。菱角吹口到按口距離不同，會影響菱角樂器的音高表現。
- 十二、影響菱角樂器音高的原因可以簡化成三類，第一類為吹孔的大小，第二類為空間結構特徵，第三類則為空氣柱的長短。
- 十三、菱角發音原理可以運用在製作葫蘆樂器上。

十四、菱角與葫蘆的發聲原理可分為---基本原理與特殊原理。基本原理影響物體的發聲現象乃在於：「吹孔」、「空氣柱長短」及「容量大小」三個因素。

十五、菱角與葫蘆發聲的特殊原理，乃在於物體空間結構的改變，物體外型的左右厚薄度、音箱的個數(單音箱、雙音箱……)，不同的構造對於物體的發聲現象有所影響。

捌、牛刀小試—改良與推廣

由於吹孔的限制與樣本來源的限制，因此我們針對此困境進行了改良實驗，以下分別說明之：

一、改良實驗一：菱角與葫蘆樂器的吹氣方式改良

表 十一、菱角及葫蘆樂器的吹氣方式改良實驗結果

	原始送氣方法	送氣方法改良一	送氣方法改良二	
菱角樂器	作法 嘴巴直接對吹口，如圖 37： 	模仿直笛的原理，設計連接吹孔的吹管。如圖 38： 	運用吸管找到固定的吹氣角度，並加以固定。如圖 39： 	
	優點	製作簡單，且保有樂器的原始音色，可操控音高，聲量較大。	容易吹奏，且聲量較大。	製作與演奏都很容易。且可操控音高。
	缺點	吹奏必須技巧。	原音消失，且無法吹出音階。	聲量過小。
葫蘆樂器	作法 嘴巴直接對吹口，如圖 40： 	模仿直笛的原理，設計連接吹孔的吹管。如圖 41： 	運用吸管找到固定的吹氣角度，並加以固定。如圖 42： 	
	優點	製作簡單，且保有樂器的原始音色，可操控音高，聲量較大。	容易吹奏，且聲量較大。	製作與演奏都很容易。且可操控音高。
	缺點	吹奏必須技巧。	原音消失，且無法吹出音階。	聲量過小，不適合演奏。

三種吹氣方式各自由其優缺點。其中，直接用嘴巴對吹孔吹氣的方式，可保有原材料的音色，而且可控制樂器的高低音及聲量較大的優點。但吹氣的技巧較難，因此較不容易推廣。其次，模仿直笛設計吹管的方式，雖然聲量大且容易吹奏，但原音消失，且無法吹出音階。運用吸管找到固定的吹氣角度，並加以固定的方式。具有可操控音高及容易吹奏的方式，但其演奏的聲量小，仍有難以克服的困難。

二、改良實驗二：菱角陶笛的試驗

如果可以將最穩定、結構最佳的菱角樂器樣本翻模製作成陶土菱角笛，那麼我們就可以不受季節的限制，進行菱角樂器的複製、生產與推廣囉！

製作的步驟如下：

- (一) 包覆陶土：先將免燒窯的陶瓷土包覆在菱角外殼上。
- (二) 風乾：放在陰涼處風乾。
- (三) 切割與粘合：將包覆的菱角陶切開，取出菱角翻膜，並進行黏合。
- (四) 開孔：在適當位置鑽開按孔。
- (五) 美工設計：塗上美美的顏色並噴上亮光漆。



圖33、陶土菱角笛的創作。



圖34、陶土菱角笛的製作模型圖。

試著吹吹看，沒想到用陶土做成的菱角笛所發出的聲音更加的響亮，而由於運用陶土所做的菱角陶笛比實際的菱角大些，抓握更為方便。因而在吹奏的技法上，陶土菱角笛更為簡易與多變化。

玖、研究心得

還記得當時我們還在為研究什麼而煩惱，而如今我們的研究已進入尾聲了，現在回想起來覺得一切都發生的太快，還記得每次在測音高時，都要吹好久好久，吹到嘴唇發麻、臉頰又酸又痛還是得吹，劉壩曾經說過：「在你放棄之前，再試一次」。所以我們一再的努力，因為我們都秉持著同一個信念，就是“我們一定要讓這個研究做到最好”，所以我們不能放棄！

這一路走來，我們大家都收穫非常多，我們知道了發聲的原理，也讓自己吹奏的技巧更進一步。我們也知道了菱角不止可以拿來吃，還可以當樂器吹！我也知道一個研究者就該有研究者的樣子，不應該輕言放棄。在這個研究中，大家都非常盡心盡力，也學習到許多寶貴的經驗(隊長的研究日誌，2005年4月20日)。

拾、參考資料

南一書局(民 92)，高一基礎物理(全)：聲音。

牛頓版自然與生活科技教學指引，第 120-141 頁。

國編版自然與生活科技教學指引，第 75-96 頁。

貓頭鷹出版社，大學辭典系列---音樂辭典。查有關音階、音名、音高等名詞的定義。

游學志(民 93)，話陶笛，談指法。

<http://www.wind-records.com.tw/shop/person/you/ocarina.htm>

Brad White 的 Pan-Flute 網站，當中提供排笛的演奏技法指導、排笛音樂欣賞。網址：<http://pan-flute.com/home.html>

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

國小組 自然科

第一名

081502

水中號手---菱角樂器

國立花蓮師範學院附設實驗國民小學

評語：

本件作品使用菱角做為樂器，探究菱角樂器的發聲原理，無論是材料之鄉土性、創意，科學方法或學術實用性均是難得的科學創造，故評審團們一致給予本作品第一名。