

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第二名

最佳(鄉土)教材獎

031604

魔笛機密

學校名稱：臺北縣立板橋國民中學

作者： 國二 楊舒媛 國二 莊曉萍 國二 林宛瑩	指導老師： 莊順源
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：陶笛 頻率 聲音

作品名稱：魔笛機密

摘要

本作品在於探討陶笛音階變化的變因，並利用石膏粉根據所推得的原理實作出石膏笛。本研究中，我們了解了影響陶笛音調高低的變因有：

- (一) 氣切孔面積越大，音調越高。
- (二) 指孔的面積越大，音調越高。
- (三) 空腔越大，音調越低。

另外也得到了幾個觀念：

- (一) 指孔開孔的位置不會直接影響音調的高低。
- (二) 陶笛的音調高低，和指孔開孔的數量無關，只要開孔總面積相同，音調高低即相同。
- (三) 空腔愈大，開孔要更大才有較大的音調變化，但開孔太大即無法吹出聲音，因此空腔愈大，音域愈小，這也是為什麼市面上的陶笛都小小的原因。
- (四) 根據空腔大小、氣切孔開孔的面積，可以找到指孔面積與音調的關係，即可實作出一支石膏笛。

壹. 研究動機

到台北縣鶯歌老街，遠遠地就聽到悠揚的陶笛之聲，每次總令我們嚮往，對那精巧玲瓏的小笛子產生了莫大的好奇，比起直笛、排笛…之類的笛樂器，陶笛的體積自然小的多，但是它依然吹得出多種音階、演奏許多歌曲，而且升上八年級後，理化課曾有一章節是討論聲音的頻率、響度、波形…更是引起我們一探陶笛奧秘的興趣。

所以我們決定以陶笛為這次研究的主題，研究到底是什麼變因使得陶笛的音調產生改變，以及影響它的音高、響度等其他因素，進而製造出自己的陶笛。

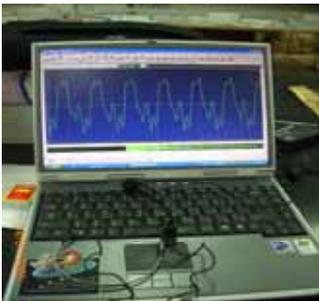
貳. 研究目的

- 一、實驗一：陶笛氣切孔面積與其頻率及響度的大小關係。
- 二、實驗二：陶笛指孔開孔面積與其頻率及響度的大小關係。
- 三、實驗三：陶笛空腔大小與其頻率及響度的大小關係。
- 四、實驗四：陶笛指孔開孔位置與其頻率的大小關係
- 五、實驗五：陶笛指孔開孔數量與其頻率關係
- 六、實驗六：進一步找出指孔開孔面積與其頻率的關係。
- 七、實驗七：依據實驗六得到的指孔開孔面積與其頻率的關係，推算要發出各音階所必須開孔面積，實作出能吹出音階變化之石膏笛。

參. 研究設備與器材

項次	名稱	項次	名稱	項次	名稱
1	石膏粉	10	手搖鑽	19	氣球
2	攪拌匙	11	各式鑽尾	20	塑膠瓶
3	磅秤	12	電鑽	21	市售陶笛

項次	名稱	項次	名稱	項次	名稱
4	塑膠碗	13	塑膠管	22	保麗龍球
5	燒杯	14	游標尺	23	音叉
6	量筒	15	砂紙	24	分析頻譜軟體
7	刷子	16	木板	25	錄音軟體
8	沙拉油	17	美工刀	26	分貝計
9	小水盆	18	保力龍膠	27	筆記型電腦






肆. 實驗過程

一、市面上現有陶笛分析：



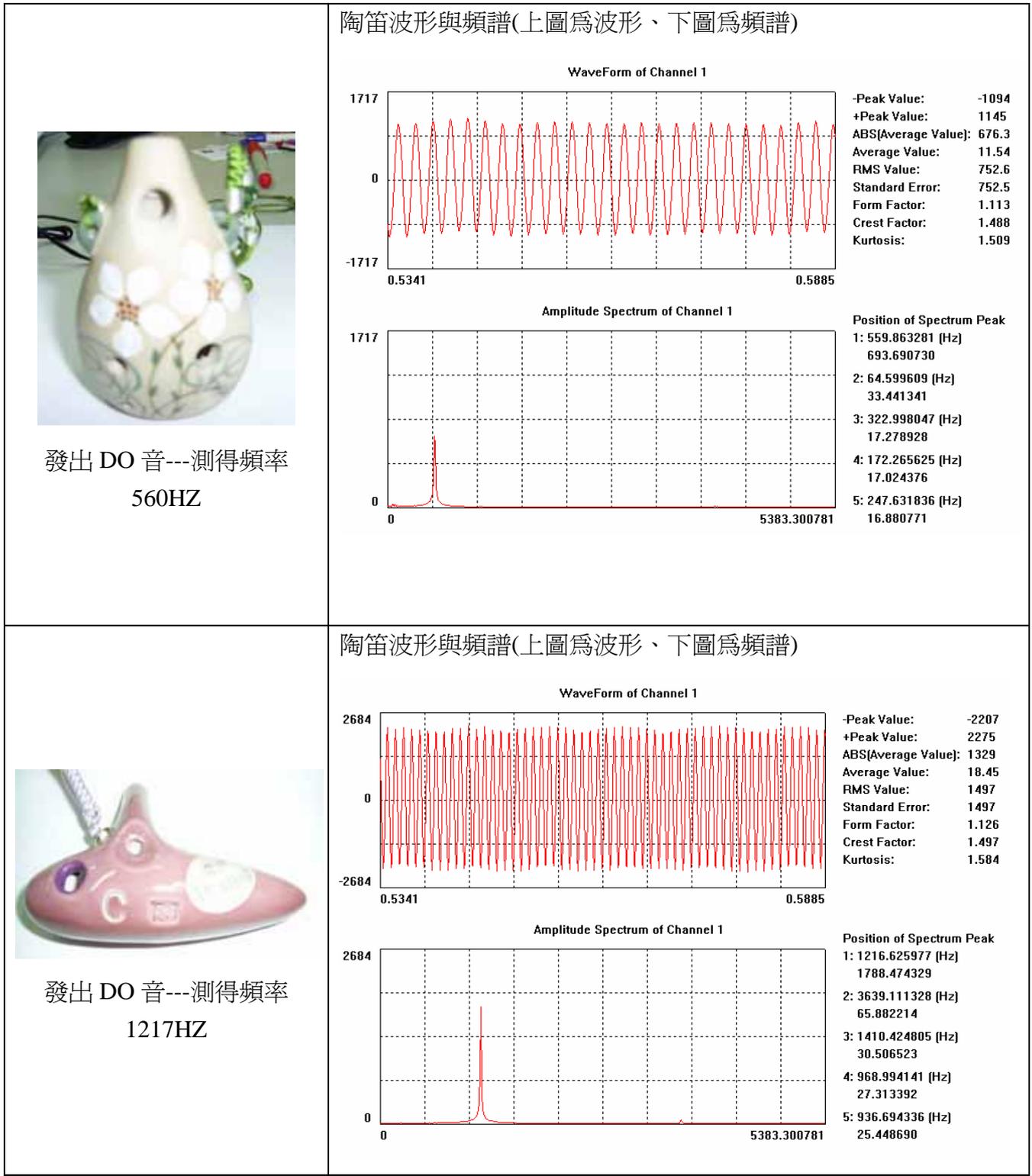
(一) 上圖兩種陶笛經仔細分析後有幾個重點：

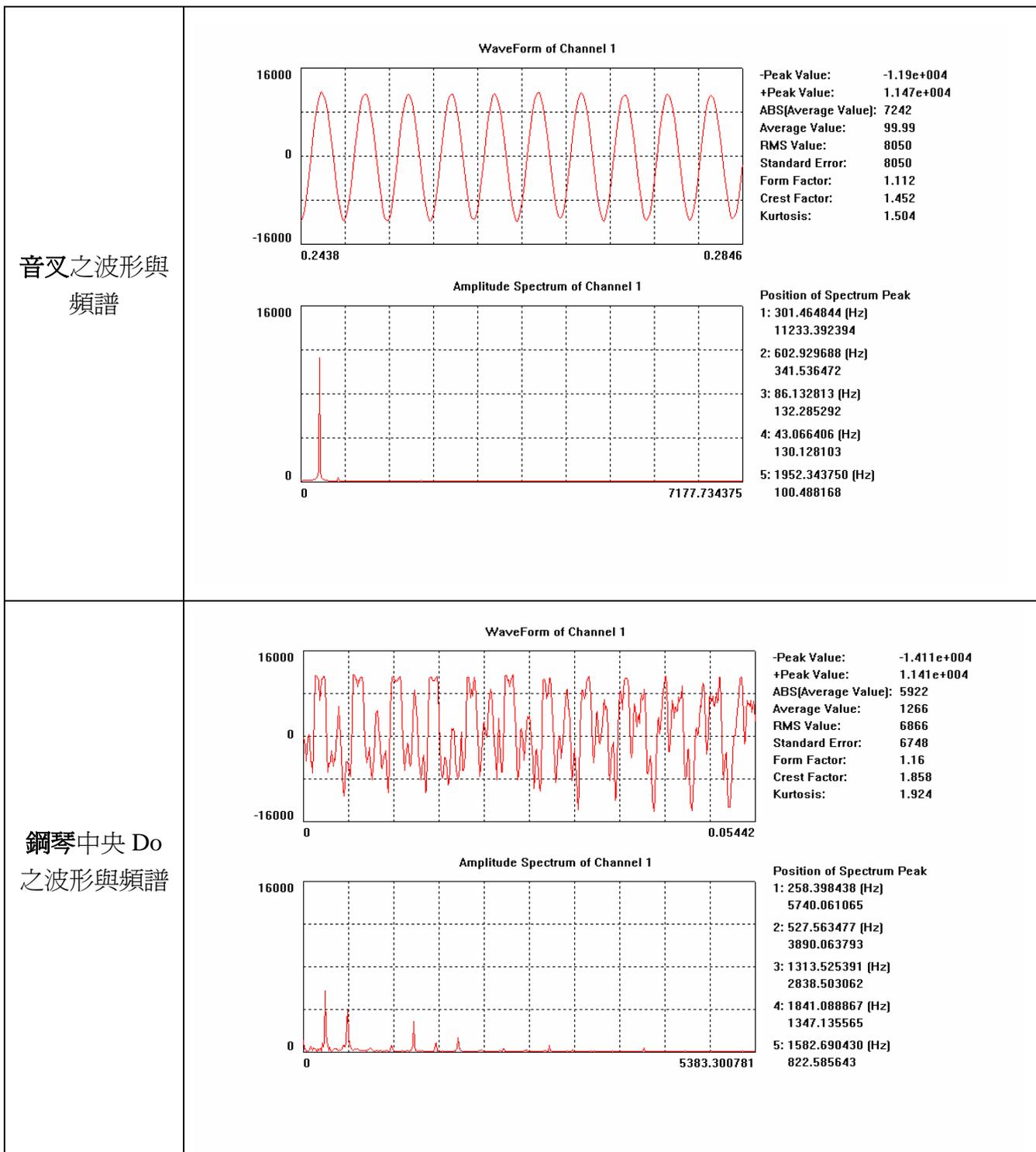
1. 空腔愈大音調愈低。
2. 空腔愈大氣切孔開得愈大、指孔也開的愈大。
3. 笛唇主要功能應為將吹嘴吹出的空氣切割成兩邊，兩道空氣內外壓力不同

而造成振動而發音。

4. 要吹愈高音，指孔開放面積愈大。
5. 上圖兩種陶笛都各開有 7 個指孔，其面積互相搭配共可吹出 10 至 11 種不同音階。也就是說音高由指孔開放總面積決定。

(二) 觀察陶笛發音波形與鋼琴及音叉作比較





➤ 我們驚訝發現陶笛的波形竟然跟音叉波形相似，都是那麼單調，不像鋼琴有許多的泛音。

二、實作一個石膏笛

(一) 經過一番摸索決定用石膏取代陶土，原因是

1. 石膏粉便宜容易購得。
2. 石膏調水灌模後約 15 分鐘可凝固。
3. 石膏修補容易。
4. 石膏容易控制各項變因。

(二) 實作石膏笛步驟：

<p>1.抹油</p> 	<p>2.調漿</p> 	<p>3.套模</p> 
<p>4.約 15 分鐘後翻轉脫模</p> 	<p>5.將兩個半圓中空石膏模接合起來</p> 	<p>6.依需要開氣切孔並裝上吹嘴。</p> 

三、探討石膏笛各項變因

(一) 實驗一：陶笛氣切孔面積與其頻率及響度的大小關係

1. 先做出可發聲之石膏笛。
2. 測量空腔容積。
3. 改變氣切孔面積。
4. 測量頻率、響度之值。

※ 容積測量法：

- 用水注滿石膏笛，再將裡面的水倒至燒杯，讀出燒杯中的水量為其容積，亦為空腔的大小。

※ 測量頻率儀器：筆記型電腦、Gold Wave5.05 軟體、Audacity1.2.6 軟體。

※ 測量響度儀器：分貝計。

編號	空腔大小 (cm ³)	氣切孔面積 (mm ²)	頻率(Hz)	響度(dB)
1—1	306	196	350	98
1—2	306	271	387	94
1—3	306	372	405	97
1—4	306	438	422	94
1—5	306	596	442	97

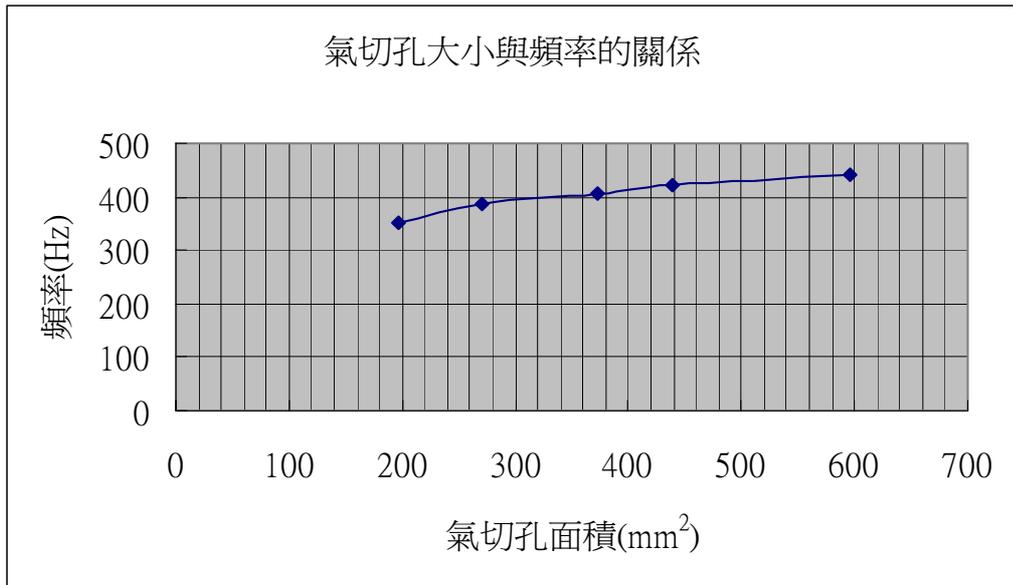


圖 1-1

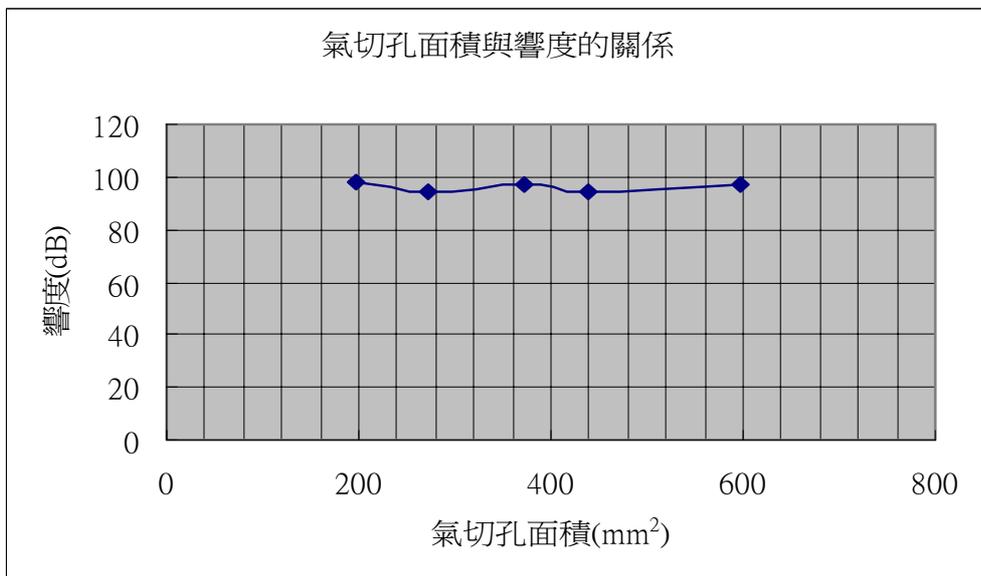


圖 1-2

● **實驗結果：**

1. 石膏笛的氣切孔面積越大，其頻率越大，音調也越高。
2. 石膏笛氣切孔面積的大小對響度沒有明顯的影響。

(二) 實驗二：陶笛指孔開孔面積與頻率及響度的大小關係

1. 先做出可發聲之石膏笛
2. 固定氣切孔面積。
3. 固定空腔容積。
4. 固定指孔開孔位置。
5. 改變開孔大小。
6. 測量頻率、響度之值。

編號	空腔容積 (cm ³)	氣切孔面 積(mm ²)	指孔開孔 直徑(mm)	指孔開孔 面積(mm ²)	頻率(Hz)	響度(dB)
2-0	195	182	0	0.0	441	98
2-1	195	182	4.4	15.2	495	96
2-2	195	182	6.3	31.2	505	95
2-3	195	182	8.8	60.8	564	99
2-4	195	182	11.6	105.6	579	100
2-5	195	182	13.5	143.1	592	99
2-6	195	182	14.4	162.8	626	100

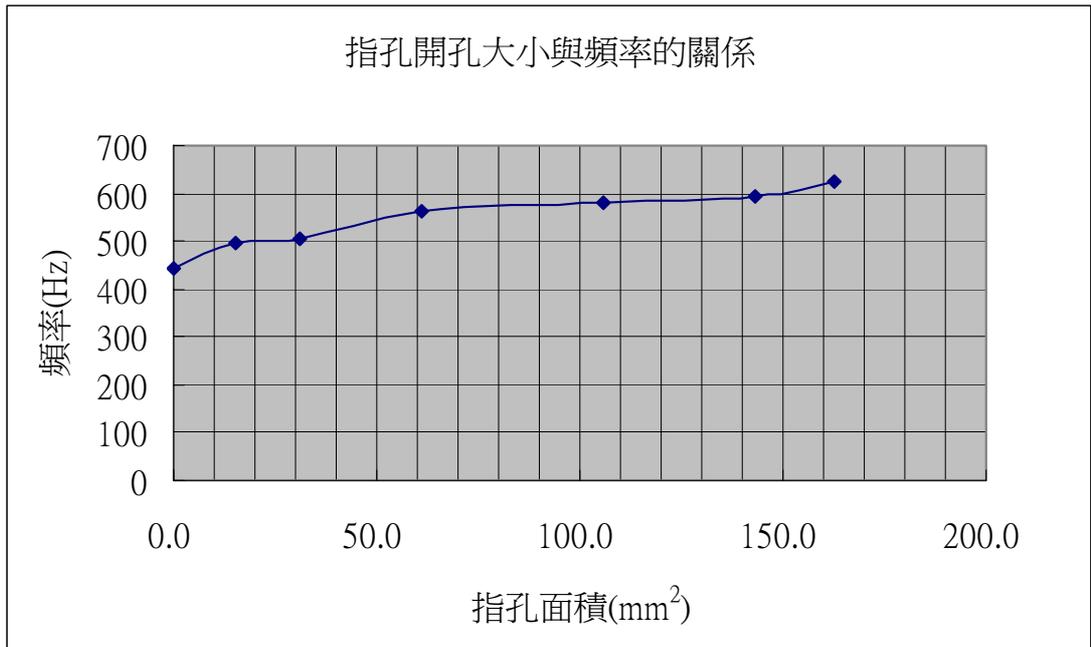


圖 2-1

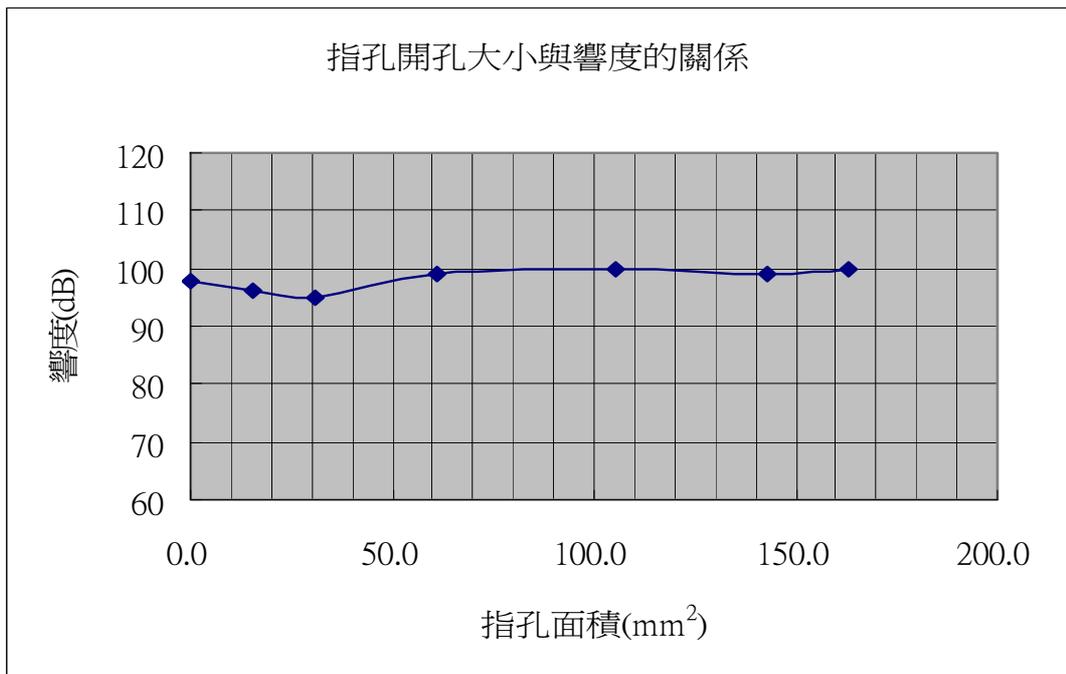


圖 2-2

● **實驗結果：**

1. 指孔開孔愈大，頻率愈高。
2. 指孔開孔愈大，響度無明顯變化。

(三) 實驗三：陶笛空腔大小與其頻率及響度的大小關係

1. 做出可發聲之石膏陶笛。
2. 固定氣切孔面積。
3. 改變不同空腔之大小。
4. 測量頻率、響度之值。



編號	空腔容積 (cm ³)	氣切孔面積 (mm ²)	頻率(Hz)	響度(dB)
3—1	1283	113	146	81
3—2	947	113	193	84
3—3	334	113	271	91
3—4	184	113	328	91
3—5	111	113	435	96
3—6	85	113	523	100
3—7	55	113	624	93

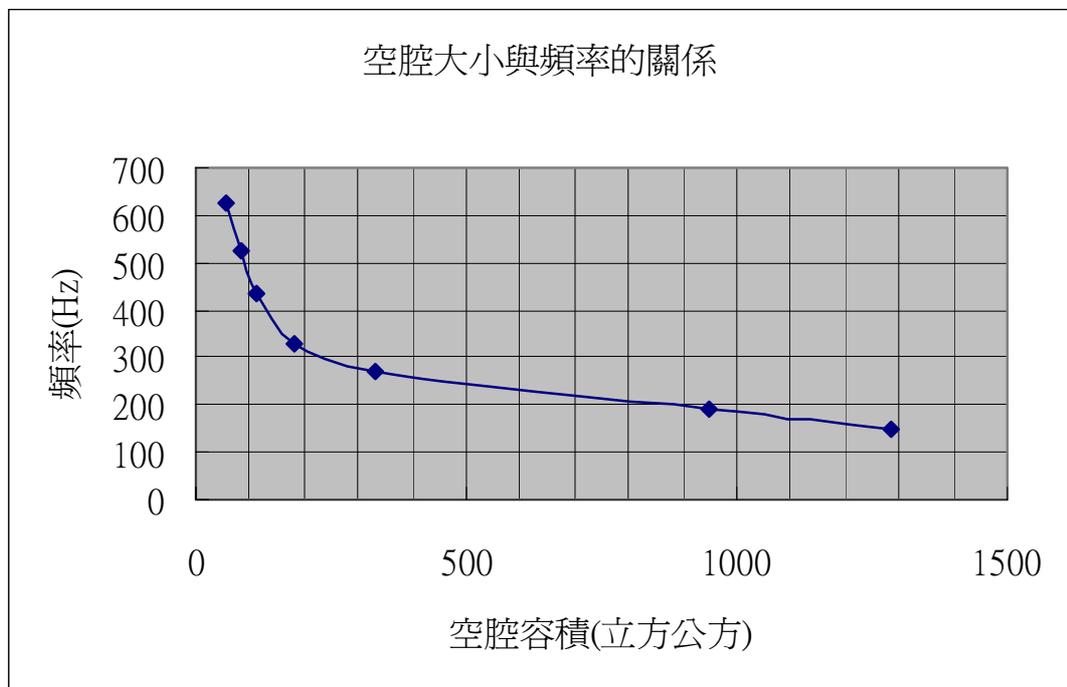


圖 3-1

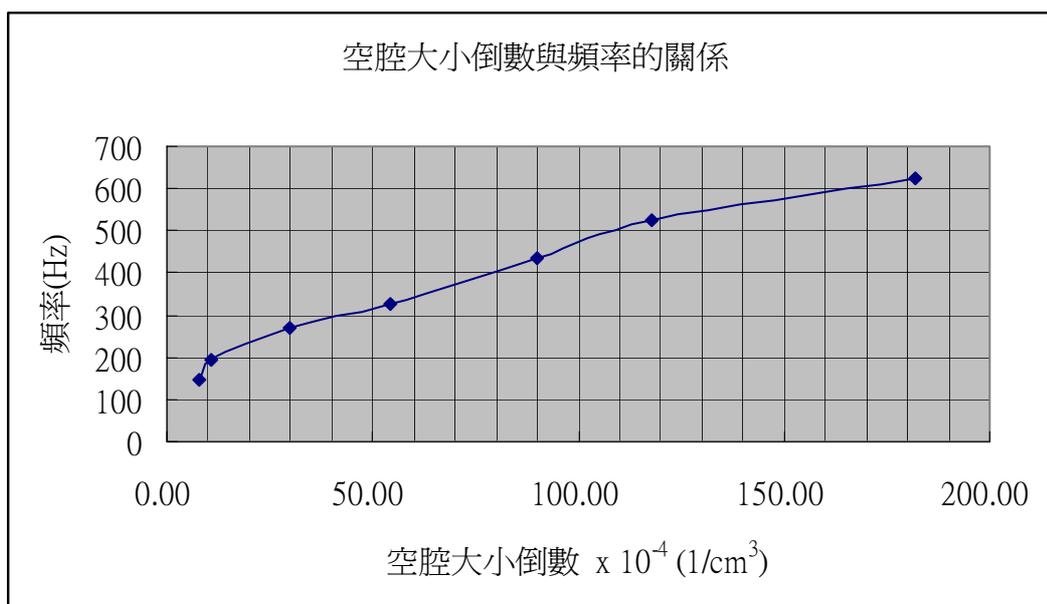


圖 3-2

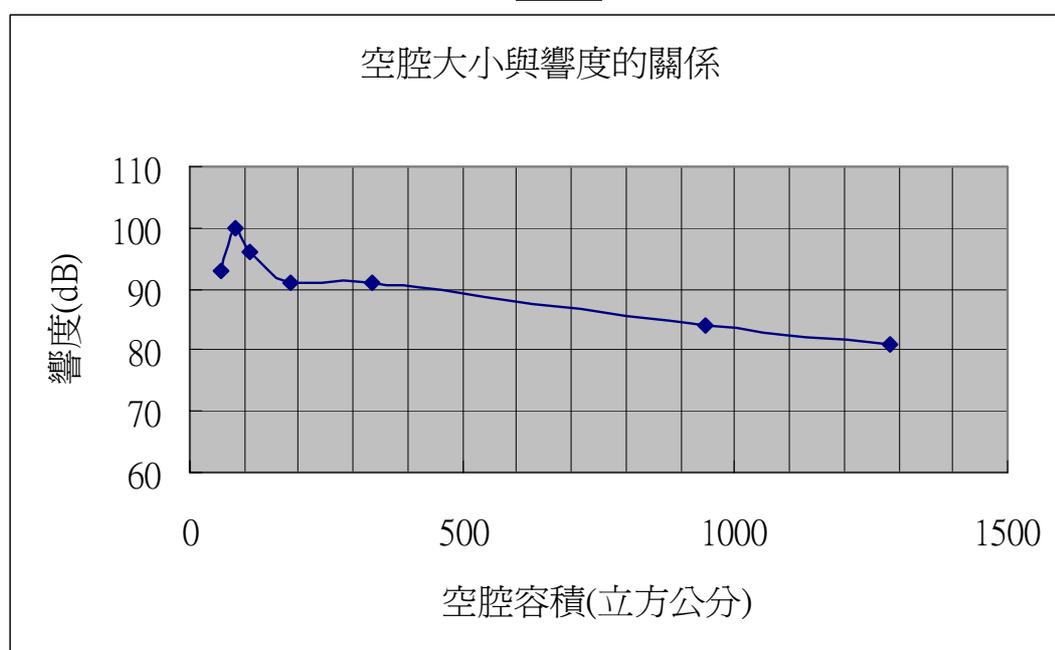


圖 3-3

● **實驗結果：**

1. 石膏笛的空腔越大，其頻率越低。
2. 石膏笛的空腔大小與響度沒有特別的關係。

(四) 實驗四：陶笛指孔開孔位置與其頻率的大小關係

1. 先做出可發聲之石膏笛。
2. 固定氣切孔面積。
3. 固定空腔容積。
4. 分別在氣切孔左右兩邊，沿氣切孔往下延伸一直線，每隔一公分開一指孔。固定開大小



一定之指孔。

5. 測量頻率。

編號	指孔開孔位置	空腔容積 (cm ³)	氣切孔面積 (mm ²)	指孔開孔面積(mm ²)	開孔與頂點距離(cm)	頻率(Hz)
4-1-0	面對吹	157	113	10	0	392
4-1-1	嘴在氣	157	113	10	1	392
4-1-2	切孔左邊	157	113	10	2	388
4-1-3		157	113	10	3	390
4-1-4		157	113	10	4	390
4-1-5		157	113	10	5	392
4-2-0		面對吹	157	113	10	0
4-2-1	嘴在氣	157	113	10	1	391
4-2-2	切孔右邊	157	113	10	2	388
4-2-3		157	113	10	3	393
4-2-4		157	113	10	4	393
4-2-5		157	113	10	5	392

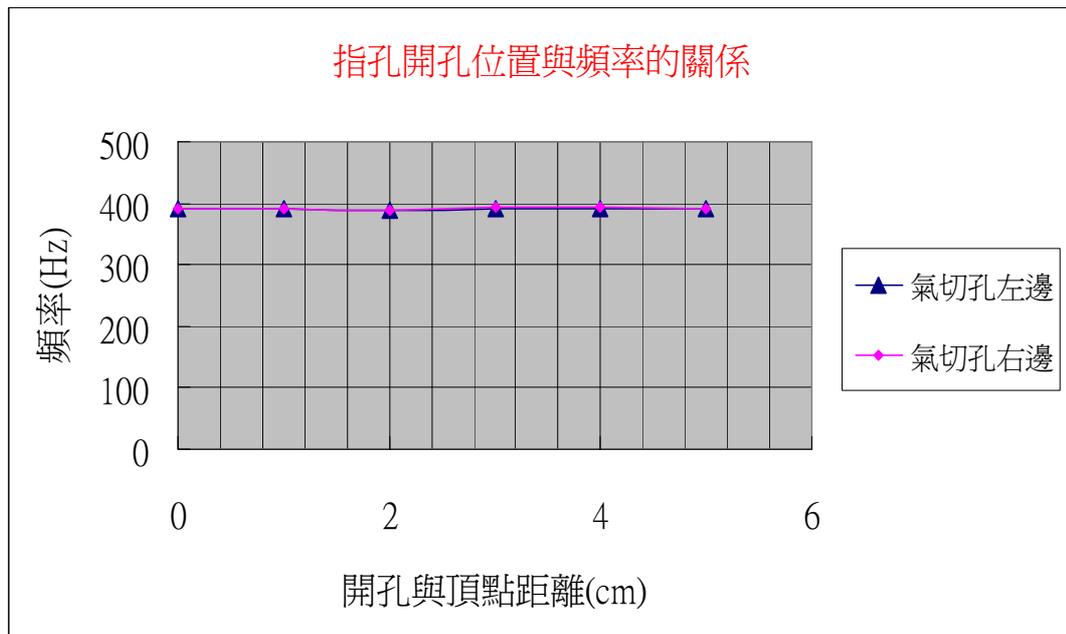


圖 4-1

- **實驗結果**：開孔位置與其頻率無明顯關係。

(五) 實驗五：陶笛指孔開孔數量與其頻率的關係

1. 先做出可發聲之石膏笛。
2. 固定氣切孔面積。
3. 固定空腔容積。

4. 改變指孔開孔數量，但固定指孔開孔總面積不變。
5. 測量頻率、響度之值。

編號	空腔容積 (cm ³)	氣切孔面積 (mm ²)	開孔數(個)	開孔大小組合方式	開孔總面積 (mm ²)	頻率(Hz)	響度(dB)
5—1	348	113	2	16 π +16 π	804	363	91.1
5—2	348	113	5	4 個 4 π +16 π	804	365	94.9
5—3	348	113	6	3 個 π +4 π +9 π +16 π	804	367	92.2
5—4	348	113	7	2 個 π +3 個 4 π +2 個 9 π	804	372	98.8
5—5	348	113	8	8 個 4 π	804	373	96.1
5—6	348	113	9	3 個 π +5 個 4 π +9 π	804	369	100.7

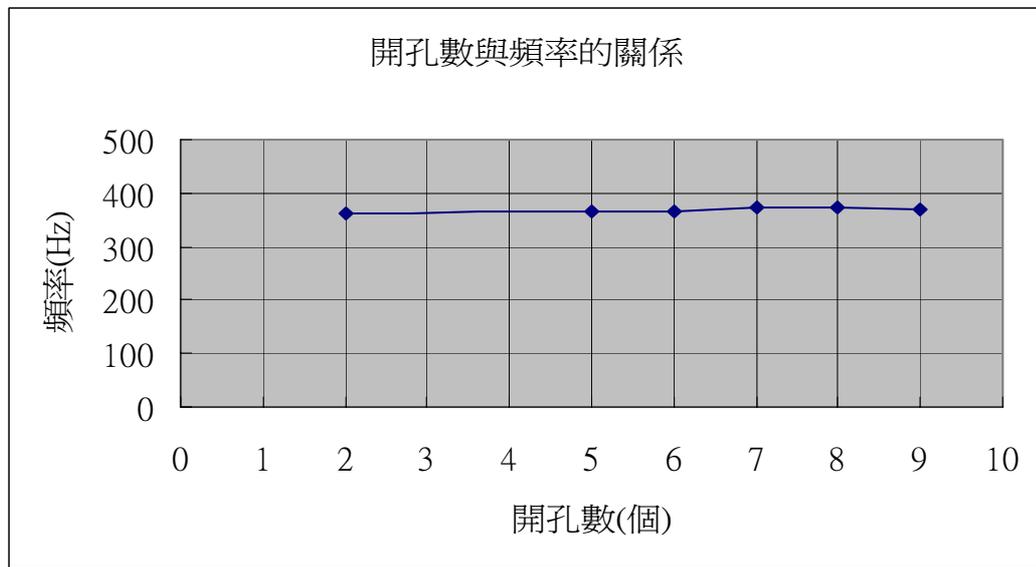


圖 5-1

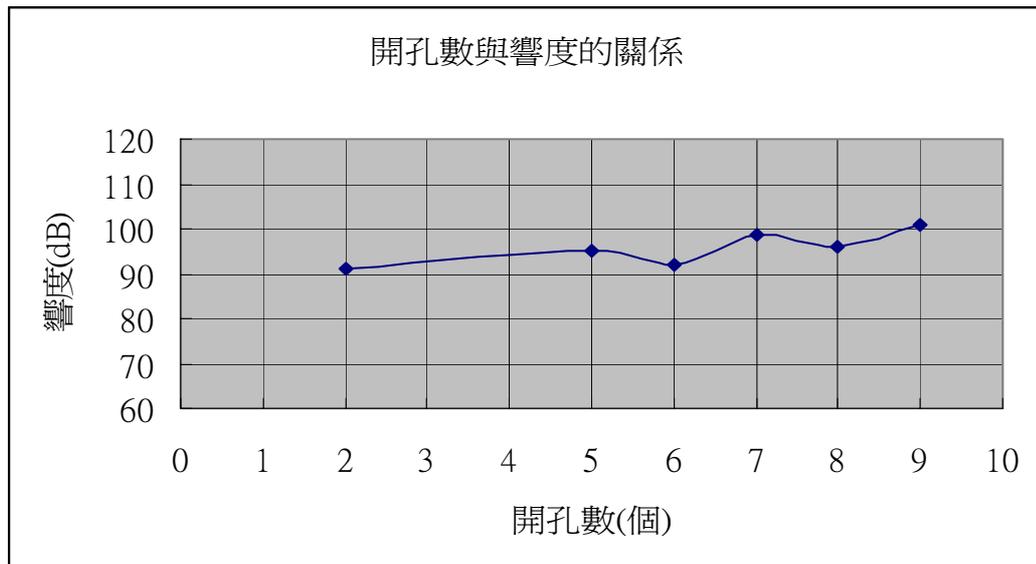


圖 5-2

● **實驗結果：**

1. 指孔開孔總面積相同，其頻率幾乎相同，即開孔數與頻率無關，只要開孔總面積相同頻率即相同。
2. 指孔開孔總面積相同，響度無規則的變化。

(六) 實驗六：進一步找出指孔開孔面積與其頻率的關係。

1. 先做出可發聲之石膏笛。
2. 固定空腔容積。
3. 先開較小之氣切孔。
4. 分別開 1 至 10 個指孔，分別測量頻率之值。
5. 增加氣切孔面積，以黏土分別堵住 1 至 10 個指孔，分別測量頻率之值。
6. 再增加氣切孔面積，重複步驟 5。

編號	空腔大小 (cm ³)	氣切孔直徑 (mm)	氣切孔面積 (mm ²)	指孔開孔個數	指孔開孔直徑 (mm)	指孔開孔面積 (mm ²)	開孔總面積 (含氣切孔) (mm ²)	頻率 (Hz)
6-1-0	249	13	132.7	0	8	0.0	132.7	374
6-1-1	249	13	132.7	1	8	50.2	182.9	443
6-1-2	249	13	132.7	2	8	100.5	233.2	477
6-1-3	249	13	132.7	3	8	150.7	283.4	515
6-1-4	249	13	132.7	4	8	201.0	333.7	545
6-1-5	249	13	132.7	5	8	251.2	383.9	575
6-1-6	249	13	132.7	6	8	301.4	434.1	616
6-1-7	249	13	132.7	7	8	351.7	484.4	634
6-1-8	249	13	132.7	8	8	401.9	534.6	664
6-1-9	249	13	132.7	9	8	452.2	584.9	698
6-1-10	249	13	132.7	10	8	502.4	635.1	729
6-2-0	249	形狀不規則，利用方格法測量面積。	280	0	8	0.0	280.0	441
6-2-1	249		280	1	8	50.2	330.2	486
6-2-2	249		280	2	8	100.5	380.5	529
6-2-3	249		280	3	8	150.7	430.7	567
6-2-4	249		280	4	8	201.0	481.0	580
6-2-5	249		280	5	8	251.2	531.2	619
6-2-6	249		280	6	8	301.4	581.4	650
6-2-7	249		280	7	8	351.7	631.7	663
6-2-8	249		280	8	8	401.9	681.9	690
6-2-9	249		280	9	8	452.2	732.2	709
6-2-10	249		280	10	8	502.4	782.4	753
6-3-0	249	形狀不	582	0	8	0.0	582.0	544

編號	空腔大小 (cm ³)	氣切孔直徑 (mm)	氣切孔面積 (mm ²)	指孔開孔個數	指孔開孔直徑 (mm)	指孔開孔面積 (mm ²)	開孔總面積 (含氣切孔) (mm ²)	頻率 (Hz)
6-3-1	249	規則, 利用方格法測量面積。	582	1	8	50.2	632.2	575
6-3-2	249		582	2	8	100.5	682.5	623
6-3-3	249		582	3	8	150.7	732.7	654
6-3-4	249		582	4	8	201.0	783.0	683
6-3-5	249		582	5	8	251.2	833.2	711
6-3-6	249		582	6	8	301.4	883.4	728
6-3-7	249		582	7	8	351.7	933.7	768
6-3-8	249		582	8	8	401.9	983.9	780
6-4-0	850	形狀不規則, 利用方格法測量面積。	438	0	8	0.0	438.0	261
6-4-1	850		438	1	8	50.2	488.2	278
6-4-2	850		438	2	8	100.5	538.5	299
6-4-3	850		438	3	8	150.7	588.7	315
6-4-4	850		438	4	8	201.0	639.0	326
6-4-5	850		438	5	8	251.2	689.2	353
6-4-6	850		438	6	8	301.4	739.4	357
6-4-7	850		438	7	8	351.7	789.7	366
6-4-8	850	438	8	8	401.9	839.9	379	

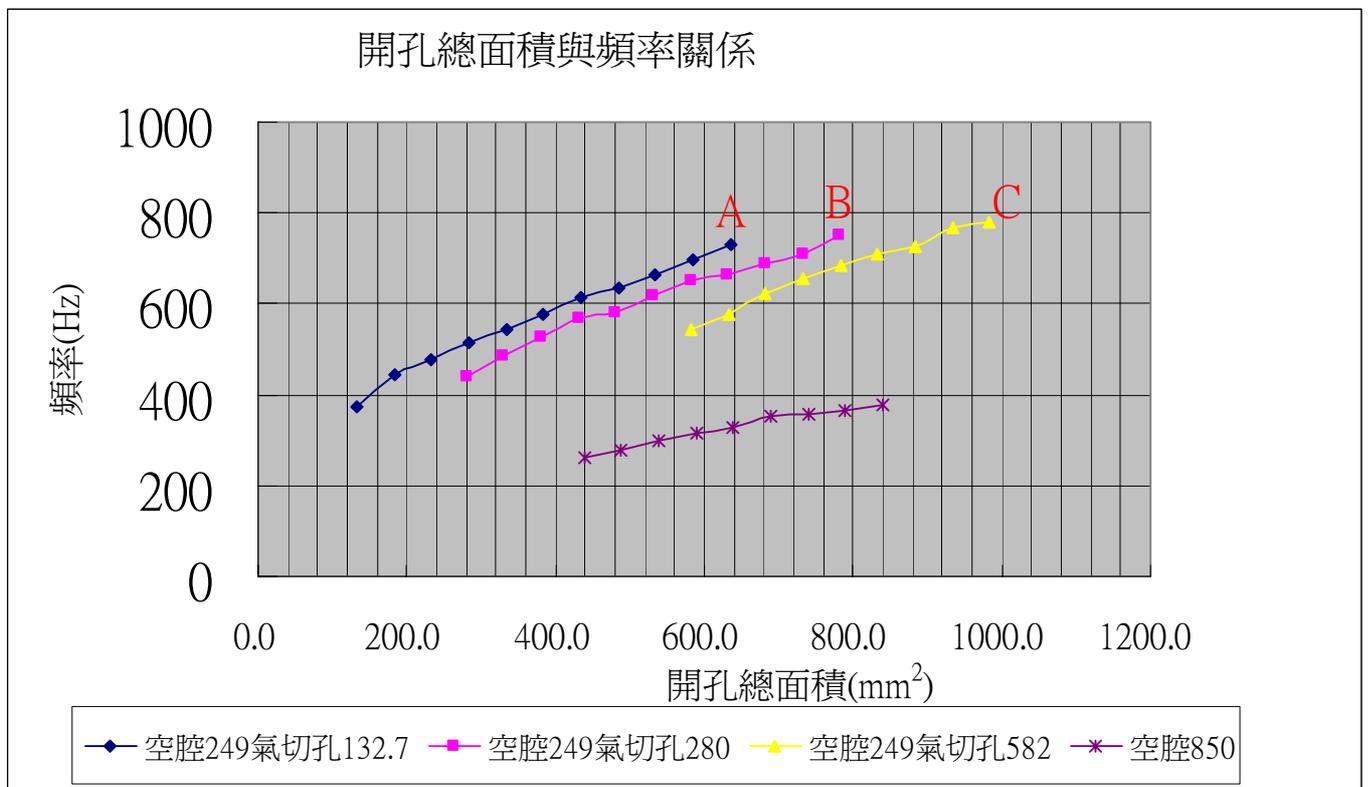


圖 6-1

● **實驗結果：**

1. 同一種空腔大小，開孔總面積與頻率呈線性關係，因此可據以推算多高的音調需開多大的孔。
2. 同一種空腔大小，但不同氣切孔大小(圖中 A、B、C)，本來期望會重疊，但只是斜率大致相同。由圖可看出指孔開孔大小對頻率的影響比氣切孔來的大，即同樣開孔總面積，氣切孔小的頻率較高。

(七) 實驗七：依據實驗六『開孔總面積與頻率的關係』，實作出可音階變化之石膏笛。

1. 先做出可發聲之石膏笛。
2. 先開較小之氣切孔。
3. 測量空腔容積。
4. 依據實驗六的方法作出『開孔總面積與頻率的關係』圖。
5. 依據關係圖推算發出各音階所需開指孔面積。
6. 實際開孔並測試微調。

● **實驗結果：**

➤ 實作一支 A 調石膏笛

編號	空腔大小 (ml)	氣切孔面積(mm ²)	開孔個數	開孔直徑(mm)	開孔面積 (mm ²)	開孔總面積 (mm ²)	頻率 (Hz)
7-0	124	136	0	8	0	136	449
7-1	124	136	1	8	50.2	186.2	495
7-2	124	136	2	8	100.5	236.5	550
7-3	124	136	3	8	150.7	286.7	583
7-4	124	136	4	8	201.0	337.0	625
7-5	124	136	5	8	251.2	387.2	675
7-6	124	136	6	8	301.4	437.4	712
7-7	124	136	7	8	351.7	487.7	752

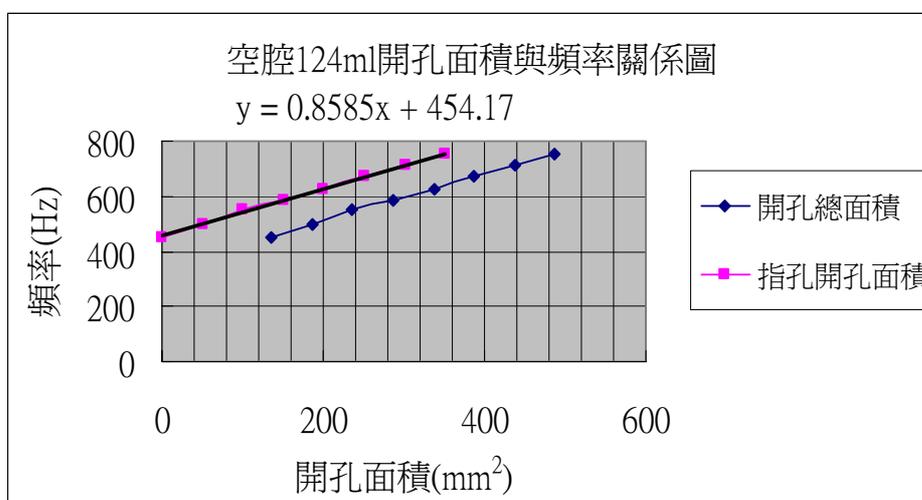


圖 7-1

音名	唱名 (C 調)	頻率 (Hz)	唱名 (A 調)	簡譜 記號	指孔面積 (mm ²)	指孔面積 差(mm ²)	增加指孔直 徑(mm)	備註
中央 A	La	440	Do	1	0	0	0	✓
中央 B	Si	494	Re	2	46.4	46.4	7.7	✓
高音*C#	升 Do	556	Mi	3	118.6	72.2	6.8、6.8	✓
高音*D	Re	588	Fa	4	155.9	37.3	6.9	✓
高音*E	Mi	660	Sol	5	239.8	83.9	10.3	✓
高音*F#	升 Fa	741	La	6	334.1	94.4	11.0	✓
高音*G#	升 Sol	832	Si	7	440.1	106.0	11.6	×
高音*A	La	880	1		496.0	55.9	8.4	

➤ 指孔按法說明

唱名	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La
簡譜記號	1	2	3	4	5	6
按法	● ● ● ● ● ●○	● ● ○ ● ● ●○	● ○ ○ ○ ● ●○	○ ○ ○ ○ ● ●○	○ ○ ○ ○ ● ○	○ ○ ○ ○ ○ ○

➤ 練習曲

| 3 2 1 2 | 3 3 3 | 2 2 2 | 3 5 5 | 3 2 1 2 | 3 3 3 | 2 2 3 2 1 |

● **實驗討論：**

1. 分析後發現 124cm³空腔大小，其能發音之音域太小，只能吹出 6 個音，開孔再大即無法吹出聲音。
2. 推算開孔時還必須注意手指頭能按住的洞直徑最大不能超過 9mm。拇指按孔最大不能超過 11mm。
3. 若要有比較大的音域，需要小一些的空腔，難怪市面上的陶笛都是小小的。

伍. 研究結果

- 一、陶笛的音調高低，和其氣切孔開孔的面積有關，孔的面積越大，音調越高。
- 二、陶笛的音調高低，和其指孔開孔的面積有關，孔的面積越大，音調越高。
- 三、陶笛的音調高低，和其空腔大小也有關聯，空腔越大，音調越低。
- 四、陶笛的音調高低，和指孔開孔的位置並無決定性的影響，孔所在的位置並不會直接的影響音調的高低。
- 五、陶笛的音調高低，和指孔開孔的數量並無關，只要開孔總面積相同，音調即相同。

- 六、空腔愈大，開孔要更大才有較大的音調變化，但開孔太大即無法吹出聲音，因此空腔愈大，音域愈小，這也是為什麼市面上的陶笛都小小的原因。
- 七、根據空腔大小、氣切孔開孔的面積，可以找到指孔面積與音調的關係，即可實作出一支石膏笛。

陸. 討論

- 一、為什麼空腔愈大音調愈低？氣切孔愈大或指孔愈大音調愈高？
我們認為空腔內空氣愈多振動愈慢因此頻率較小，而氣切孔愈大或指孔愈大空氣振動較容易因此頻率較大。但氣切孔大小跟指孔大小卻不等值，即氣切孔增大一平方公分對頻率的影響小於指孔增大一平方公分，這一點我們百思不得其解。另外空腔大小與頻率的關係是否存在一定的數學關係？這也是我們無法獲得的答案。
- 二、一定空腔大小，當氣切孔或指孔開大到某一程度，即無法順利吹出聲音，這時候開孔面積是否與空腔體積存在特定關係？這也是我們無法獲得的答案。
- 三、另外下列問題也是有待更深入研究的：
 - (一) 氣切孔開孔**笛唇**斜度是否影響陶笛音高？
 - (二) 吹嘴形狀、吹嘴氣孔大小是否影響陶笛音高？
 - (三) 吹氣速率是否影響陶笛音高？
 - (四) 陶笛材質是否影響？
 - (五) 陶笛厚度是否影響？

柒. 結論

經由這次科展的實驗過程，我們發現陶笛的一些原理，也更佩服當初發明陶笛的人，因為單單要考慮挖多大的洞，挖幾個如何組合，還要考慮使用者好不好操作，夠不夠按，要發幾個音...學問還不少呢！另外也讓我們作中學，更了解空氣振動與聲音的特性。雖然這項科展實驗也許不會有很大的科學貢獻，但我們能從中學到各種課外知識，收穫也十分豐富。還能體認到科學實驗的精神，使我們有努力不懈的動力。總而言之，這次的科展讓我們學會研究的科學方法與態度，以及從中獲得的成就感。

捌. 參考資料

- 一、 台北縣立板橋國民中學 著 台北縣 93 學年度中小學科學展覽會作品說明書
- 二、 翰林出版社 主編 20064 自然與生活科技國中 2 上 翰林出版社
- 三、 桃園縣立竹圍國民中學 著 中華民國第 42 屆中小學科學展覽會作品說明書
- 四、 省立嘉義高中 著 中華民國第 39 屆中小學科學展覽會作品說明書
- 五、 陶韻山莊 網頁 <http://ocarina.kys.com.tw/html/>

【評語】 031604 魔笛機密

1. 就市面上流行之魔笛發聲機制進行系統性的研究。
2. 研究歸結出數項重要發現，如開孔面積是控制音調的重要參數，而位置並不是；展現出魔笛共振與直(橫)笛共振並非相同。
3. 可惜未能提出發音音調與面積相關之原因亦無法就共振模式提出可能的模式，然此題目確為現今未完全了解之現象，值得再深入研究。