中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　自然科

081513

拍出旋律-自製號笛管樂器研究

學校名稱：彰化縣伸港鄉伸仁國民小學

作者：	指導老師：
小五 周柏勳	吳守仁
小五 張雅婷	陳盈佑
小五 張博皓	
小五 曾于蜻	

關鍵詞：管子　號笛

拍出旋律~自製號笛管樂器研究

壹、摘要

爲了研究號笛，我們針對管子端口做拍打，發現：

1.拍打後手仍密合和拍打後手馬上放開，發出的聲音高低差異性頗大。

2.短管子下，管內徑大小會影響聲音高低，而較長管子時，管內徑大小對頻率影響不明顯。

3.溫度會影響聲音高低。

4.拍打物會影響聲音結果。

5.管子長度影響聲音高低頗大。

6.比較同長度的彎、直管，管子長時音調高低大致一致；但管子短時，差異會較大。

7.音調高低大致與管長倒數成線性關係，做號笛時可以用低溫下的頻率、管長的關係方程式求得初步管長，再以紙圈套貼管口補長不夠的管子長來調整出我們要的頻率高低。

貳、研究動機

在自然與生活科技課中，我們上過「自製樂器」單元，當時老師要我們自製一種樂器。很多同學多用吸管或罐子裝水來做樂器，但音都不是很準，這也是我們在自製樂器時最頭痛而難以解決的問題，因此我們請教老師。正好老師問我們誰有意願做科展，我們幾個便自告奮勇參加了，經過資料的蒐查與討論，我們決定來研究「大型的排笛」，也就是拍打管端的「號笛」。

參、研究目的

一、哪些因素會影響直管子的聲音高低

二、加轉接頭對管子的聲音高低有影響嗎

三、怎樣用管子自製管樂器－「號笛」

肆、研究設備及器材

一、測量聲音：電腦、錄音麥克風、Audasity 軟體、分貝計、塑膠水管、白鐵管、鍍鋅鋼管

二、工具：切斷機、墊子、尺、游標卡尺、溫溼度計、計算機、excel

伍、研究過程或方法

一、資料研讀與分析

聲音是大自然奇妙的現象，風聲、雨聲、人聲、音樂聲……，大自然中有太多太多的聲音了！雖然聲音無所不在，但我們還是不是很了解它，尤其我們對於管樂器它產生聲音的高低變化仍不是很清楚，所以我們找了一些資料來研讀[二]、[三]、[四]，彙整重點如下：

（一）聲音的產生

1.聲音的產生是因爲物體振動的關係。

2.物體振動會產生一種波，具有能量，可以藉由空氣或其他物質向外傳送出去。

3.聲音來自物體的振動，每秒鐘振動的次數就叫做「頻率」。每秒鐘振動一次，稱爲 1 赫茲（1Hz）。

（二）聲音的三要素—響度、音調、音品

1.聲音的強弱稱爲「響度」，通常以「分貝」(dB)來表示響度的大小。

2.聲波振幅愈大，表示聲波的能量越高，則響度愈大，可以用「噪音計」來測分貝值。

3.聲音的高低稱爲「音調」，由發音體的振動頻率決定，頻率愈高則音調愈高。

4.聲音的獨特性稱爲「音品」，又稱「音色」。不同的發音體產生不同的波形，而形成不同的音品。

（三）認識管樂器

1.管樂器又稱爲氣鳴樂器，以空氣柱的振動發聲。

以「吹瓶子」爲例子，以嘴吹瓶口會發出聲音（見圖一）。陳玉珊等人的自製排笛的研究[三]有做過吹瓶子的實驗，而廖品蘭與賴育光的水中號手－菱角樂器[四]，以菱角發聲也是利用同樣的道理。

圖一　吹瓶子

2.改變空氣柱的長、短、粗、細可發出各種不同音調的聲音。

一般管樂器如：伸縮喇叭、小號、直笛等（見圖二），都是改變空氣柱來達到改變音調的目的。伸縮喇叭是利用拉長縮短的方式來改變空氣柱的長短；小號是利用按鈕活塞來改變管子長度；而直笛則是利用孔的開閉來改變管的長度，進而影響聲音的高低。

圖二　伸縮喇叭、小號、直笛

以「直笛」爲例子，吹直笛時，洞全按，管內空氣柱長，空氣較不容易振動，所以聲音低；洞全放，管內空氣柱短，空氣較易振動，所以聲音高（見圖三）。

圖三　直笛高低音

二、Audasity 軟體頻率擷取正確性確認

進行此項研究我們需要能夠量測音調高低（頻率）的儀器，我們學校沒有此類的儀器，所以我們必須找到其他替代品來進行我們的研究，在網路免費軟體中，我們找到 Audasity 軟體，它可以顯示出聲音的頻率高低，我們決定使用它來量測聲音頻率。

可是我們也懷疑，Audasity 軟體測的數值真的正確嗎？因爲我們也沒有頻率產生器來做確認，週遭最方便的確認物品就是樂器，我們詢問過音樂老師，音樂老師說鋼琴一陣子就可能要調音，音會跑掉，電子琴的音更不準，而在我們學校中，音磚的音階會比較準，所以我們決定敲擊音磚並且用 Audasity 軟體來分析音階的頻率。

我們在音樂教室找到一些音磚（見圖四），並且對照我們在書[一]中找到的音階頻率數據表，敲擊音磚後錄音分析來確認 Audasity 軟體的正確性。經實驗結果如下：

音階唱名	C4	D4	E4	F4	G4	A4	B4	C5	D5	E5	F5	G5	A5	B5
音階音名	Do	Re	Me	Fa	So	La	Si	Do	Re	Me	Fa	So	La	Si
標準頻率	261.6	293.7	329.6	349.2	392.0	440.0	493.9	523.3	587.3	659.3	698.5	784.0	880.0	987.8
測得頻率	268	299	336	355	396	447	499	531	590	661	702	788	886	990
誤差率	2.4%	1.8%	1.9%	1.6%	1.0%	1.5%	1.0%	1.5%	0.5%	0.3%	0.5%	0.5%	0.7%	0.2%

由上表可知誤差皆在 3%內，尤其是在較高頻的音階中，誤差更在 1%內，所以以 Audasity 軟體來分析聲音的頻率應是可行的。

圖四　確認 Audasity 軟體正確性用的音磚

三、哪些因素會影響直管子的聲音高低

（一）管子選取定

因爲我們要自製號笛管樂器，一般都是拍打管端讓空氣進入管子裡面來發出聲音，而不是用敲打管子的壁面來發出聲音的，所以我們先拿一些圓管來試，發現太大的管子不太好拍打管端面來產生聲音；而較細的管子拍打管端面聲音很小，很難聽到聲音。所以我們初步決定：實驗用的管徑不宜太大或太小，管徑以不超過手掌大小爲宜。

圖五　起初試探用的管子

（二）拍打力量大小的影響

我們使用長度是約 30 公分的白鐵管、鍍鋅管及塑膠管來做研究，使用手掌用不同力量來拍打管端，拍打完後手密合不立刻放開，錄音麥克風及分貝計距離另一管端約 5 公分來記錄量測實驗數值，拍打之後記錄其結果如下：

表一、大小力對聲音高低（頻率）的影響

管子種類	音量（分貝）	頻率（Hz）
白鐵管（內徑 3.0 公分）長度 30.1cm	90.2	279
	94.3	279
	99.8	279
鍍鋅鋼管（內徑 4.4 公分）長度 30.1cm	92.7	276
	97.8	276
	103.4	277
塑膠水管（內徑 1.6 公分）長度 30.5cm	85.3※	276
	93.2	277
	98.7	277

※註：不能太小聲，否則電腦難以判讀。

由表一的資料我們可以看出，拍打力量大小對聲音高低（頻率）似乎沒有影響，只是太小聲量測出來的結果較差，外界干擾較大。所以往後實驗我們可以不用考慮拍打力量因素，不要太小聲就好了。

圖六　實驗拍打力量大小所使用的管子

（三）拍擊物的影響

因爲我們要用管子來做樂器，塑膠管在成本及加工上較具優勢，所以我們使用兩組大小不同的塑膠管來做研究，並以手、書本、海綿墊三種不同敲擊物來敲擊，拍打完後敲擊物不立刻放開，錄音麥克風及分貝計距離另一管端約 5 公分，拍打之後記錄其結果如下：

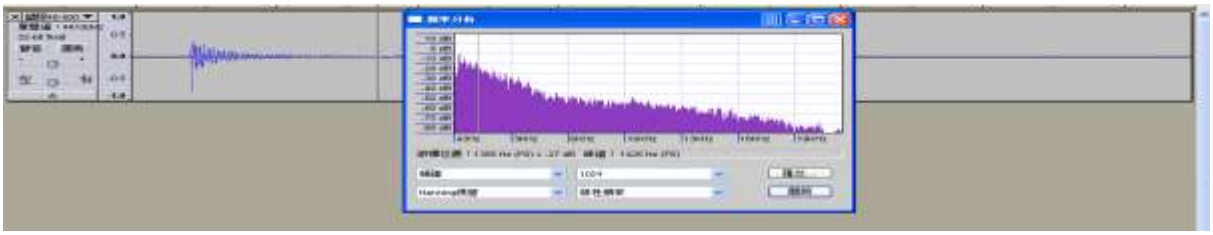
表二、不同拍擊物對聲音高低（頻率）的影響

管子種類		敲擊物	分貝	3 次平均頻率（Hz）
A	塑膠水管（內徑 1.6 公分）外徑 2.2 公分 長度 10 公分	手	100.5	823.3(824、823、823)
		書本	96.1	波形亂無法判讀
		海綿墊	95.7	62.3(57、66、65)或 823(823、815、831)
B	塑膠水管（內徑 1.6 公分）外徑 2.2 公分 長度 50 公分	手	94.7	171.3(171、172、171)
		書本	80.8	難以判讀
		海綿墊	85.8	169.7(171、168、170)
C	塑膠水管（內徑 4.4 公分）外徑 4.8 公分 長度 10.1 公分	手	99.3	760.3(756、762、763)
		書本	93.6	難以判讀
		海綿墊	99.8	756(751、777、740)
D	塑膠水管（內徑 4.4 公分）外徑 4.8 公分 長度 49.9 公分	手	99.6	172.3(172、172、173)
		書本	91.4	294.3(289、299、295)
		海綿墊	93.4	169.7(163、168、178)

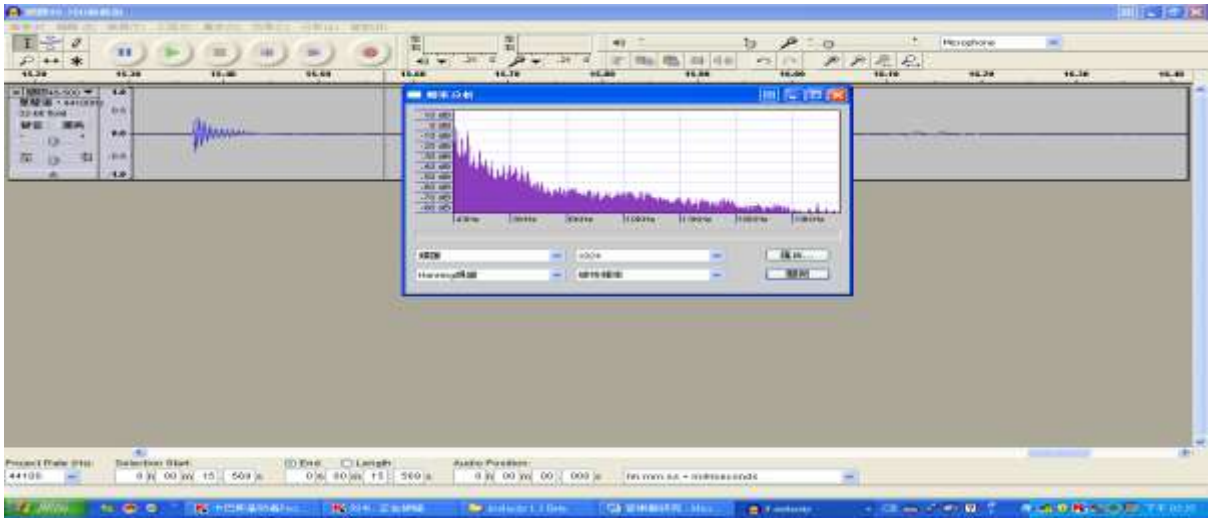
由表二的資料我們可以看出，不同拍擊物對聲音高低（頻率）有明顯的影響。而且發現，管徑較大，管長較長的管子拍擊出來的較容易判讀實驗數據。所以未來要做樂器可能要選用管徑大一些，長度長一點的管子效果會較好。

另外來看拍擊物，用書本拍打得到的數據是最亂的，幾乎都無發判讀，而用手拍打所得到的數據一致性最高，誤差最小，所以要找拍擊物還是以手效果最好。

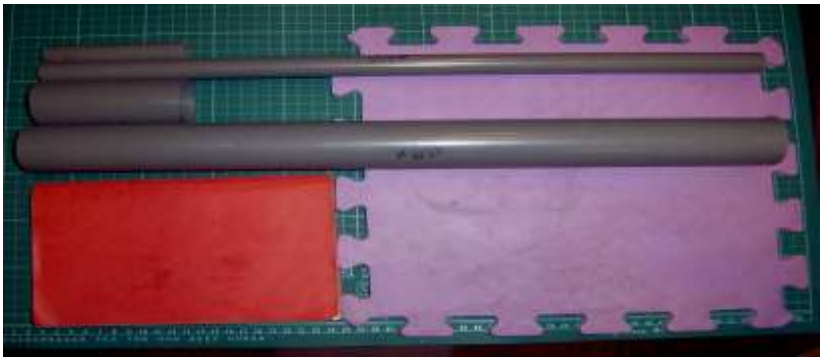
圖七　用手拍管 D（粗、長管）的頻率分析圖



圖八　用書本拍管 D（粗、長管）的頻率分析圖



圖九　用海綿墊拍管 D（粗、長管）的頻率分析圖



圖十　不同拍擊物實驗所使用的材料

（四）量測距離的影響

我們使用白鐵管、鍍鋅鋼管及塑膠水管來做研究，改變量測端與麥克風的距離，拍打完後手與管端密合不立刻放開，相關資料及拍打之後記錄其結果如下表所示：

表三、大小力對聲音高低（頻率）的影響（21 度）			
管子種類	量測端與麥克風的距離（公分）	分貝	頻率（Hz）
白鐵管（內徑 3.0 公分）外徑 3.2 公分 長度 30.1cm	約 2cm	100.3	278.7
	約 5cm	99.2	279
	約 10cm	92.0	278
鍍鋅鋼管（內徑 3.8 公分）外徑 4.2 公分 長度 30.1cm	約 2cm	103.8	278.7
	約 5cm	101.8	279
	約 10cm	97.6	277
塑膠水管（內徑 1.6 公分）外徑 2.2 公分 長度 30.3cm	約 2cm	98.8	277
	約 5cm	95.3	277.3
	約 10cm	87.7	277.7

由表三的資料我們可以看出，量測距離遠近對聲音高低（頻率）似乎影響不大，只是太遠量測的音量較小，相對的外在干擾可能影響的成分會較大；而太近拍打則容易打到錄音機。所以往後實驗我們可以不用太在意量測距離，約在 5cm 左右即可。

圖十一　鍍鋅鋼管量測端與麥克風距離 2 公分時軟體測量結果圖

圖十二　塑膠水管量測端與麥克風距離 10 公分時軟體測量結果圖

圖十三　實驗過程圖

（五）手握位置的影響

我們使用白鐵管、鍍鋅鋼管及塑膠水管來做研究，分別握在管子的上、中、下端三處，錄音麥克風及分貝計距離另一管端約 5 公分處，拍打完後手與管端密合不立刻放開，相關資料及拍打之後記錄其結果如下表所示：

表四、手握位置對聲音高低（頻率）的影響（19 度）

管子種類	手握位置	3 次平均頻率（Hz）
白鐵管（內徑 3.0 公分）外徑 3.2 公分 長度 30.1cm	距離上端 2 公分	277.3
	中央	277.3
	距離下端 2 公分	276.7
鍍鋅鋼管（內徑 4.4 公分）外徑 4.8 公分 長度 30.1cm	距離上端 2 公分	275.3
	中央	275
	距離下端 2 公分	274.3
塑膠水管（內徑 1.6 公分）外徑 2.2 公分 長度 30.3cm	距離上端 2 公分	275.7
	中央	276.7
	距離下端 2 公分	276.7

由表四的資料我們可以看出，手握的位置對聲音高低（頻率）似乎影響不大，但手握上端最穩，而尾端最不穩，為求實驗穩定及審慎起見，往後實驗我們盡量將手握在上端，以統一握管手對氣體流動的影響性。

圖十四　手握位置變換位置實驗圖

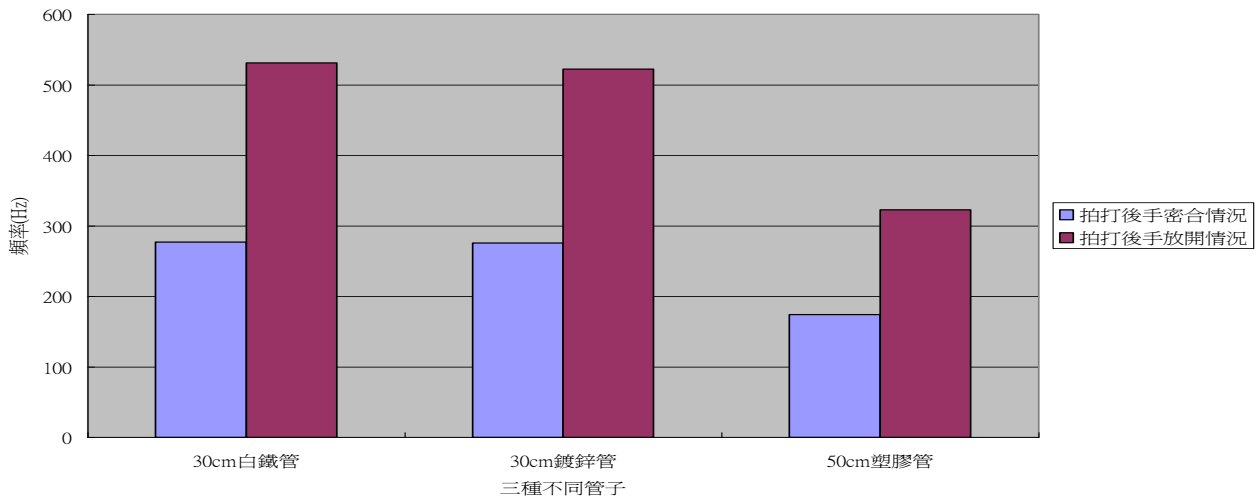
（六）手密合與放開的影響

我們仍使用白鐵管、鍍鋅鋼管及塑膠水管來做研究，手握在管子的上端，錄音麥克風距離另一管端各約 5 公分處，拍打完後分兩種情況，即手與管端密合不立刻放開與馬上放開兩種，相關資料及拍打之後記錄其結果如下表所示：

表五、手密合與放開對聲音高低（頻率）的影響（19 度）

管子種類	手密合與馬上放開	3 次平均頻率（Hz）
白鐵管（內徑 3.0 公分）外徑 3.2 公分 長度 30.1cm	手密合	277(277、277、277)
	馬上放開	531.3(530、534、530)
鍍鋅鋼管（內徑 4.4 公分）外徑 4.8 公分 長度 30.1cm	手密合	275.7(276、276、275)
	馬上放開	522.3(521、524、522)
塑膠水管（內徑 1.6 公分）外徑 2.2 公分 長度 30.3cm	手密合	275(275、275、275)
	馬上放開	528.6(519、537、530)
塑膠水管（內徑 4.4 公分）外徑 4.8 公分 長度 30.3(後才補 22 度)	手密合	275(275、275、275)
	馬上放開	486.3(489、484、486)
塑膠水管（內徑 4.4 公分）外徑 4.8 公分 長度 49.9(後才補 22 度)	手密合	174(173、174、175)
	馬上放開	322.7(322、323、323)

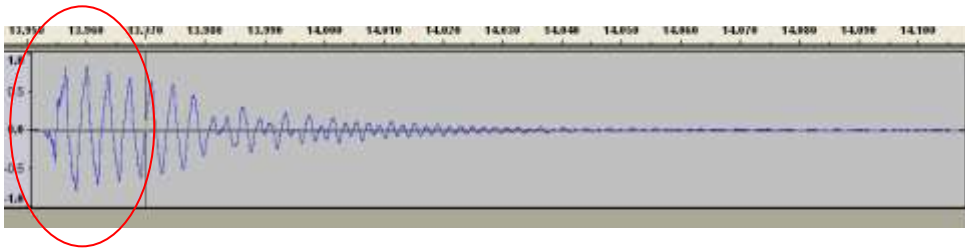
圖表一 比較拍打管端後手密合或放開對頻率的影響圖



由表五的資料我們可以看出：拍打完手是密合或馬上放開對聲音高低（頻率）有很大的影響，手密合的聲音（頻率）較低；而手放開後的聲音（頻率）較高。

另外從實驗過程中我們發現：手密合的聲音較穩定；而手放開時的聲音（頻率）較不穩定，特別是較細較短的管。舉例如下兩圖（圖十五、十六），上圖爲鍍鋅鋼管手密合的聲音波圖，而下圖爲鍍鋅鋼管手打完馬上放開的聲音波圖，可以發現，手密合的聲音強度是逐漸遞減的，波形很漂亮，經擷取前、後段波形來分析，頻率是一致的；而手馬上放開的聲音在放開那一瞬間波形產生了變化，影響了聲音的頻率，量取變化後段的頻率，如上表變成 5 百多，約增加了快一倍。

圖十五　鍍鋅鋼管（內徑 4.4 公分）手密合的聲音波形圖



圖十六　鍍鋅鋼管（內徑 4.4 公分）手打完馬上放開的聲音波形圖

而較小的管徑見下兩圖（圖十七、十八），可能因爲出聲比較小要判斷或測量受放開手的頻率比較不容易，而且管中的空氣量也較小，受干擾產生誤差的可能性也比較大。

圖十七　塑膠水管（內徑 1.6 公分）手打完密合的聲音波圖

圖十八　塑膠水管（內徑 1.6 公分）手打完馬上放開的聲音波圖

而且由上兩圖可見，我們不太能清楚的看出手是在什麼地方放開的，而由軟體的頻率分析，得到的頻率誤差也較大(519、537、530)，所以往後的實驗我們都採用手密合的方式來進行。如果要進行拍即完手放開的實驗，那麼管徑要比較大的才好。

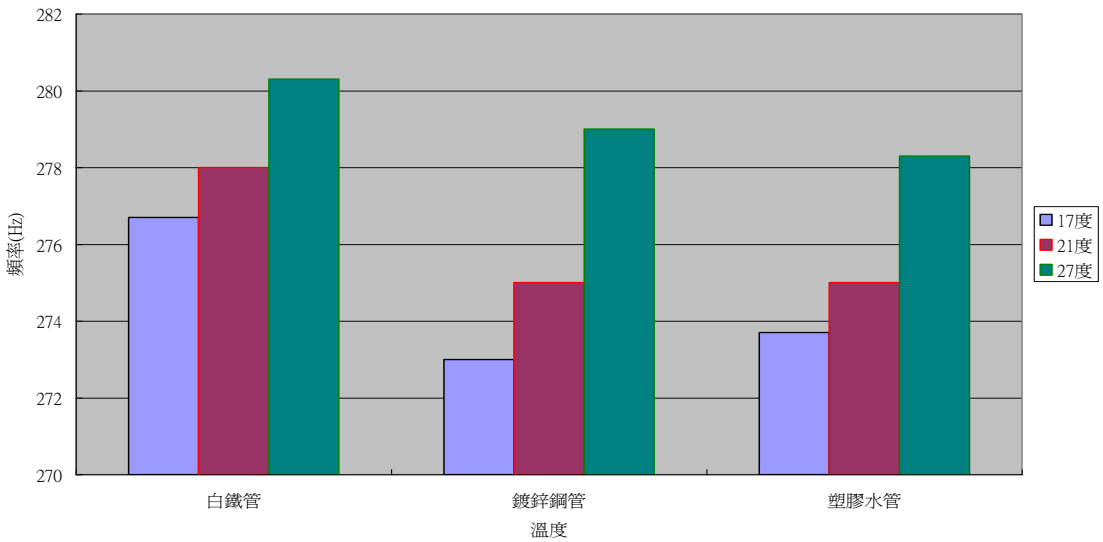
（七）溫度高低的影響

我們用不同材質的管子三支，分別記錄在高溫日子下的視聽教室內、室內及在冷鋒來的室外，錄音麥克風及分貝計距離另一管端約 5 公分處，拍打完後手與管端密合不立刻放開，相關資料及拍打之後記錄其結果如下表所示：

表六、溫度高低對聲音高低（頻率）的影響

管子種類	溫度高低	3 次平均頻率（Hz）
白鐵管（內徑 3.0 公分）外徑 3.2 公分 長度 30.1cm	熱 27 度	280.3
	21 度	278
	冷 17 度	276.7
鍍鋅鋼管（內徑 4.4 公分）外徑 4.8 公分 長度 30.1cm	熱 27 度	279
	21 度	275
	冷 17 度	273
塑膠水管（內徑 1.6 公分）外徑 2.2 公分 長度 30.3cm	熱 27 度	278.3
	21 度	275
	冷 17 度	273.7

圖表二 三種材質在不同溫度下之頻率



由表六的資料我們可以知道，溫度對聲音高低（頻率）有頗大的影響，溫度低聲音頻率也低，溫度高聲音頻率也高。因為我們對環境溫度不好控制，因此，我們盡量在短時間內完成同系列的實驗工作，以避免溫度的影響。

圖十九　在冷鋒來的走廊低溫量取實驗數據

（八）管子外包覆物的影響

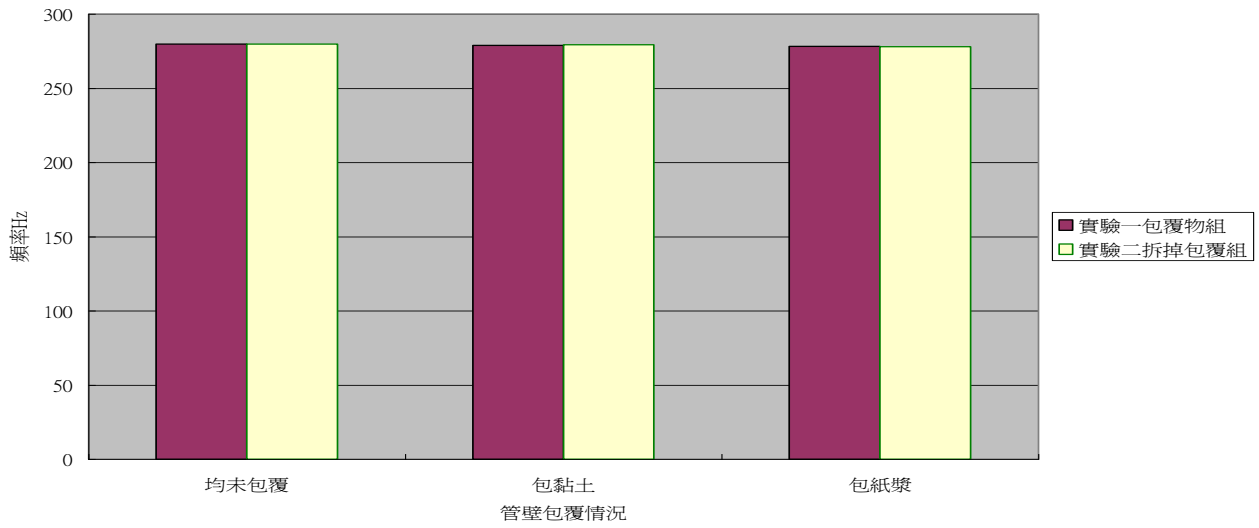
因爲安裝問題，管外可能會有其他包覆物或手會握住，所以我們必須實驗以了解管外紮包他物的影響。我們將管子外面包覆黏土和紙漿，研究探討他們的影響。

我們使用內徑 1.6 公分，長度爲 30.3 公分的塑膠水管 3 支來做研究，使用手掌來拍打管端，拍打完後手仍密合著，第一次實驗一支包覆黏土一支包覆紙漿一支不包覆，第二次實驗 3 支管子都不包覆，拍打之後記錄其結果如下：

表七、管子外包覆物對聲音高低（頻率）的影響

管子種類	3 次平均頻率（Hz）23 度	管子種類	3 次平均頻率（Hz）23 度	相差頻率（Hz）
塑膠水管 1	279.7	塑膠水管 1	279.7	0
塑膠水管 2	279.3	塑膠水管 2 外包黏土	279	0.3
塑膠水管 3	278.0	塑膠水管 3 外包紙漿	278.3	0.3

圖表三　管外包覆勿對頻率的影響圖



由表七的資料我們可以看出，管子外有沒有包覆物對聲音高低（頻率）似乎沒有影響，些微的差異應是實驗誤差所致。

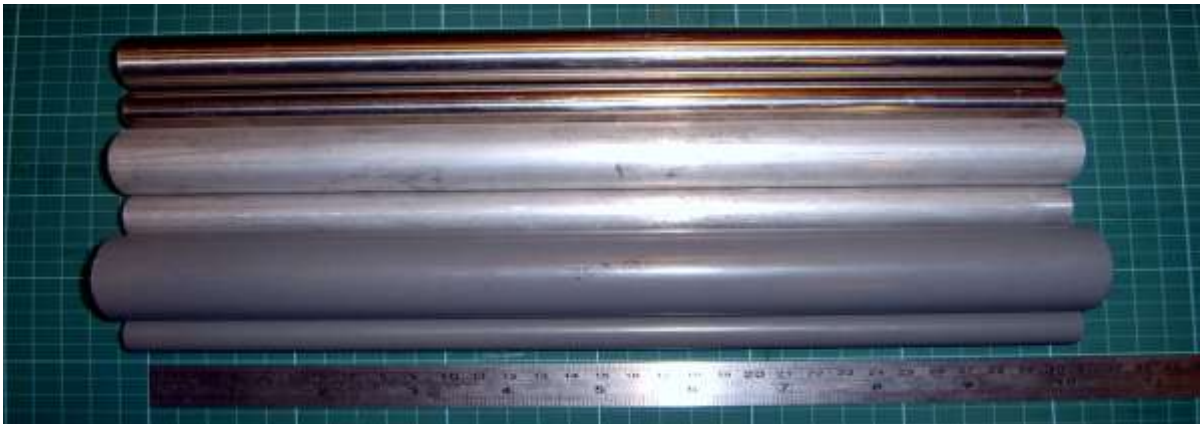
圖二十　管子外包覆物實驗所使用的管子

（九）管內徑大小的影響

我們用不同材質的管子三組，每組等長但管徑大小不同，數據如下表，用手掌拍擊端口而且密合，錄音麥克風及分貝計距離另一管端約 5 公分來記錄量測實驗數值，拍打之後記錄其結果如下：

表八、管徑大小對聲音高低的影響（23 度）		
管子種類	管徑大小	3 次平均頻率（Hz）
白鐵管（長 30.1 公分）	內管徑（3.0 公分）	279.7(279、280、280)
	內管徑（2.2 公分）	280(280、280、280)
鍍鋅鋼管（長 30.1 公分）	內管徑（3.2 公分）	280(280、280、280)
	內管徑（1.9 公分）	280.7(280、281、281)
塑膠水管（長 30.3 公分）	內管徑（4.4 公分）	277(276、278、277)
	內管徑（1.6 公分）	279.3(279、279、280)

由表八的資料我們可以知道，管徑大小對聲音高低（頻率）似乎有影響，同樣的長度下管徑大的頻率較低些，管徑小的頻率較高些，但不明顯。



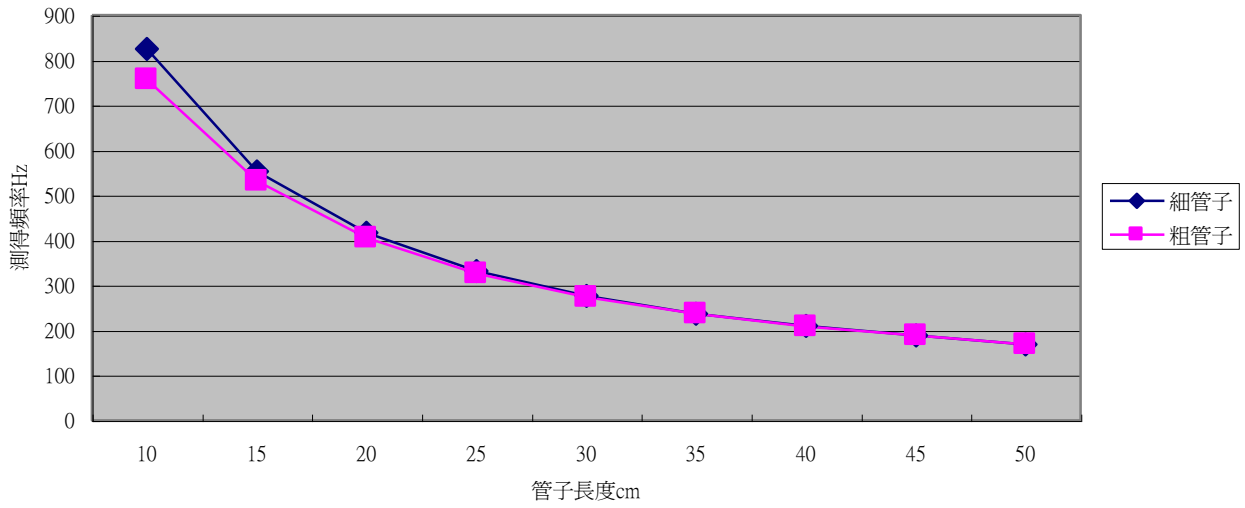
圖二十一　實驗管內徑大小影響所使用的管子

（十）管子長度的影響

我們用內徑分別為 1.6 公分及 4.4 公分的兩種塑膠水管來做實驗，擷取的管子長度數據如下表，用手掌拍擊端口而且手密合不馬上放開，記錄實驗結果如下表：

表九、管子長度對聲音高低的影響（20 度）			
內徑 1.6 公分塑膠管子長度 cm	3 次平均頻率（Hz）	內徑 4.4 公分塑膠管子長度 cm	3 次平均頻率（Hz）
10.0	825	10.1	756.7
15.0	553.3	15.1	531
19.9	417	20.1	404.7
25.1	331	25.0	326
30.3	277	30.3	274
35.3	237.3	35.2	236.3
40.0	210	40.0	209
44.9	188.3	44.8	188.3
50	168.7	49.9	168.3

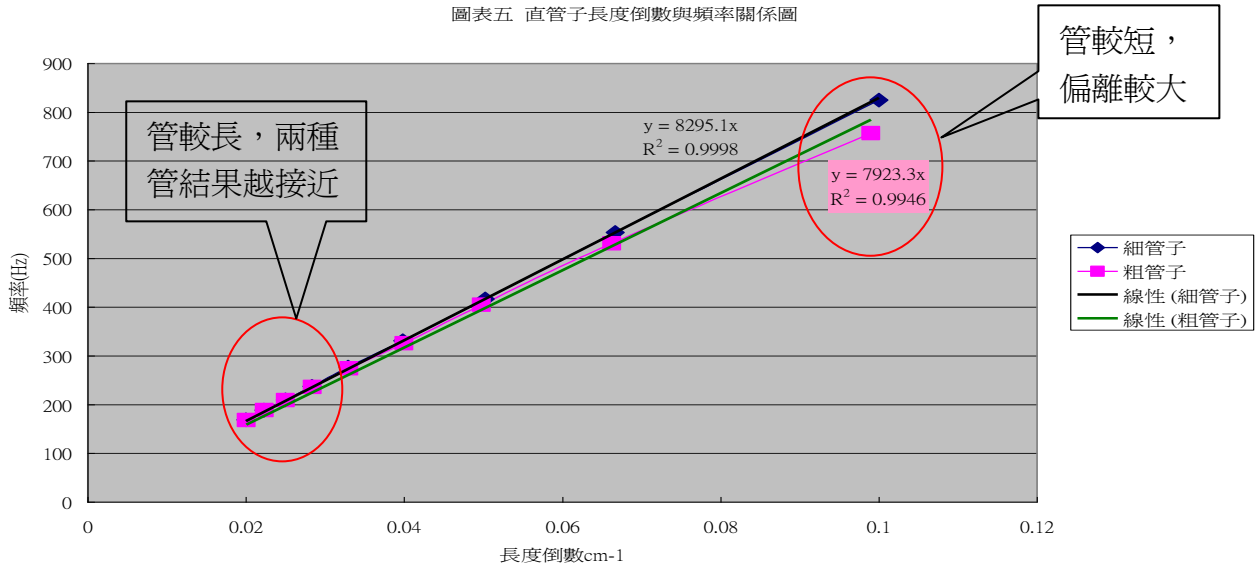
圖表四 管子長度對聲音高低(頻率)的影響



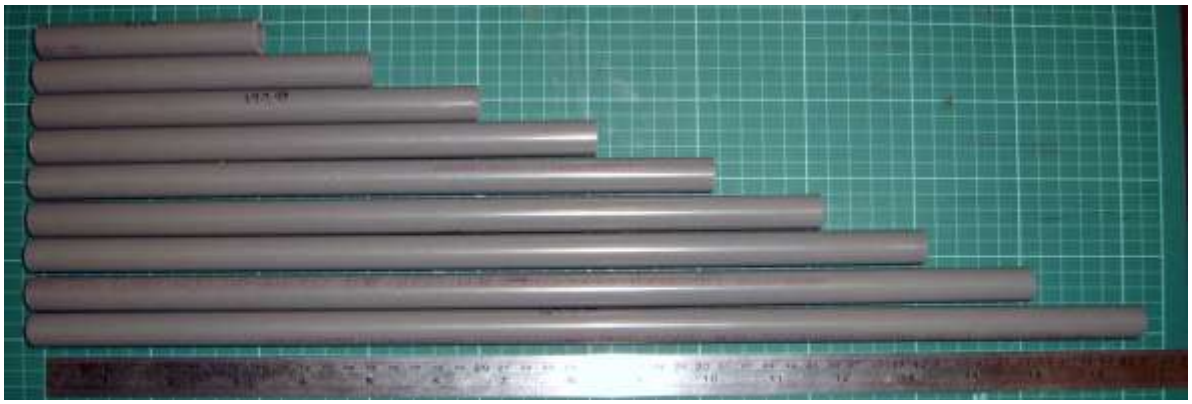
由圖表的管子長度變化來看，管子越長頻率越低；管子越短頻率越高。

另外，在前面一個實驗我們認為的：「同樣的長度下管徑大的頻率較低些，管徑小的頻率較高些」的現象在長度短的管子較明顯，但在管子越長時差異就漸漸變小了。

圖表五 直管子長度倒數與頻率關係圖



又由上面圖表可以看出，頻率與長度倒數的關係爲一條通過原點直線，只是在管長較短時，偏離此關係會較遠些，由此推論，管徑對頻率有影響，但它的影響力遠小於長度，所以管長越長，管徑的影響越小，甚至可以忽略。



圖二十二　本實驗所用內徑 1.6 公分塑膠管

圖二十三　本實驗所用內徑 4.4 公分塑膠管

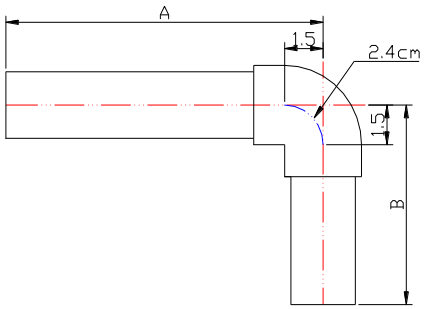
四、加轉接頭對管子的聲音高低有影響嗎

（一）一個 90 度彎管子的影響

1.細管子

我們使用內徑 1.6cm 的細塑膠水管作爲我們研究的對象。

截取兩段水管分別接在 90 度彎管兩端，長段一端到彎管中心長度我們稱做 A 段長度；短段一端到彎管中心長度我們稱做爲 B 段長度，詳細如下圖所示。

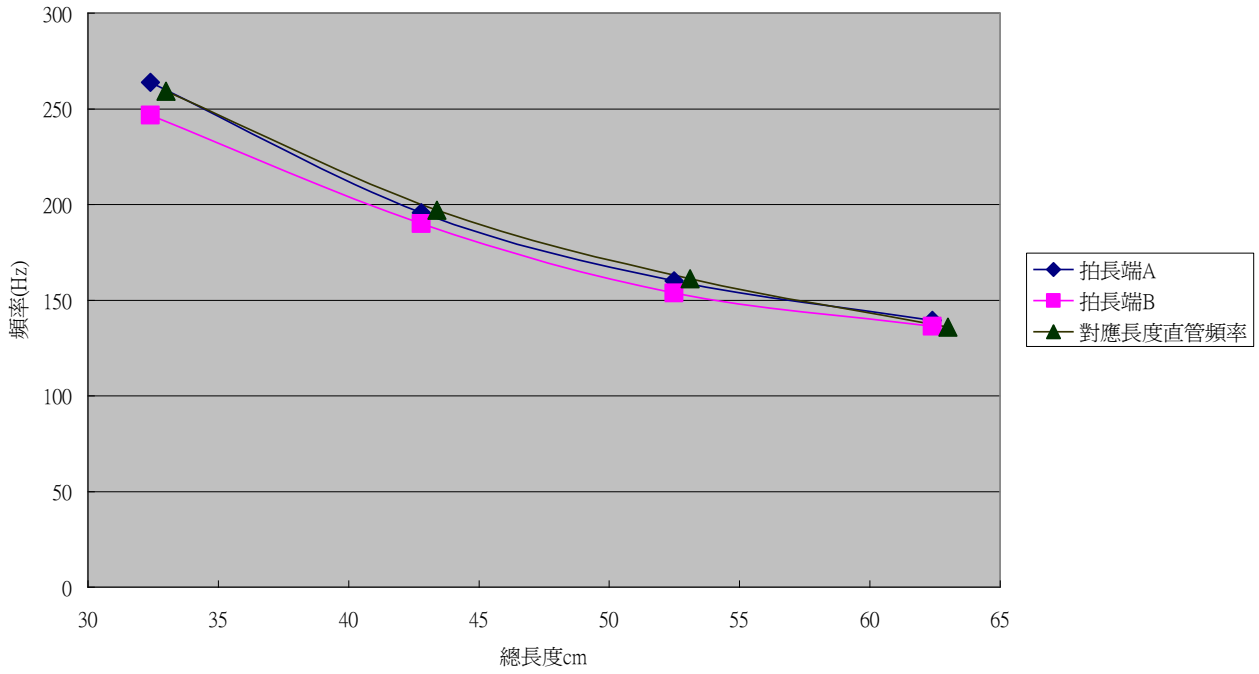


B 段我們選定 3 種長度，每一種長度我們變化不同的 A 段長度，實驗數據我們列在下表，實驗中我們分別拍打長、短(A、B)兩端，拍打後手密合不馬上放開，分別記錄所產生的頻率高低如下：

表十、內徑 1.6cm 的細塑膠水管彎管子對聲音高低的影響（20 度）								
A 段長度 cm	B 段長度 cm	總長度 cm	拍 A 段端頻率（Hz）	分貝	拍 B 段端頻率（Hz）	分貝	欲對應比較的直管長度 cm	對應直管頻率（Hz）
21.5	11.5	32.4	263.7	115.5	246.7	115.7	33.0	259.1
31.9		42.8	195.7	113.4	190	115.5	43.4	196.9
41.6		52.5	160	115.5	153.7	114.8	53.1	161.1
51.5		62.4	139.3	114.8	136.3	111.8	63.0	135.8
31.7	21.3	52.4	157.7	116.6	154.3	113.9	53.0	161.1
41.4		62.1	140.7	114.1	139.3	115.1	62.7	136.4
51.4		72.1	110.3	118.5	109.3	114.0	72.7	117.7
41.4	31.4※	72.2	113.7	115.6	110.7	113.9	72.8	117.7
51.5		82.3	104.3	109.8	103	107.1	82.9	103.2

※註：管子太長測量效果又變差，所以 B 段長度 31.4cm 組只做二種。

圖表六 內徑1.6cmAB不等長B=11.5cm拍打兩端與對應長度直管頻率比較

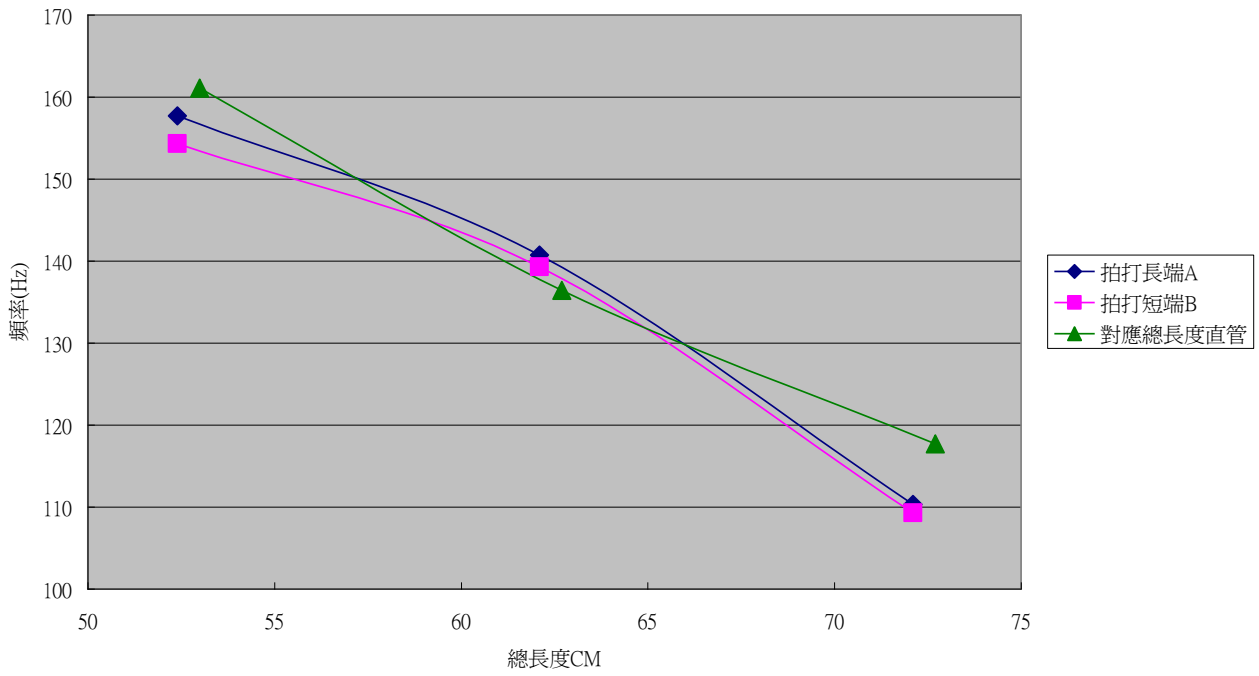


由上表圖實驗數據我們發現：在 B 段是 11.5cm，A、B 段不同長狀況下，管子的總長度越長拍擊 A、B 兩端所得到的頻率越一致；而管子的總長度越短，拍擊 A、B 兩端所得到的頻率差異越多。

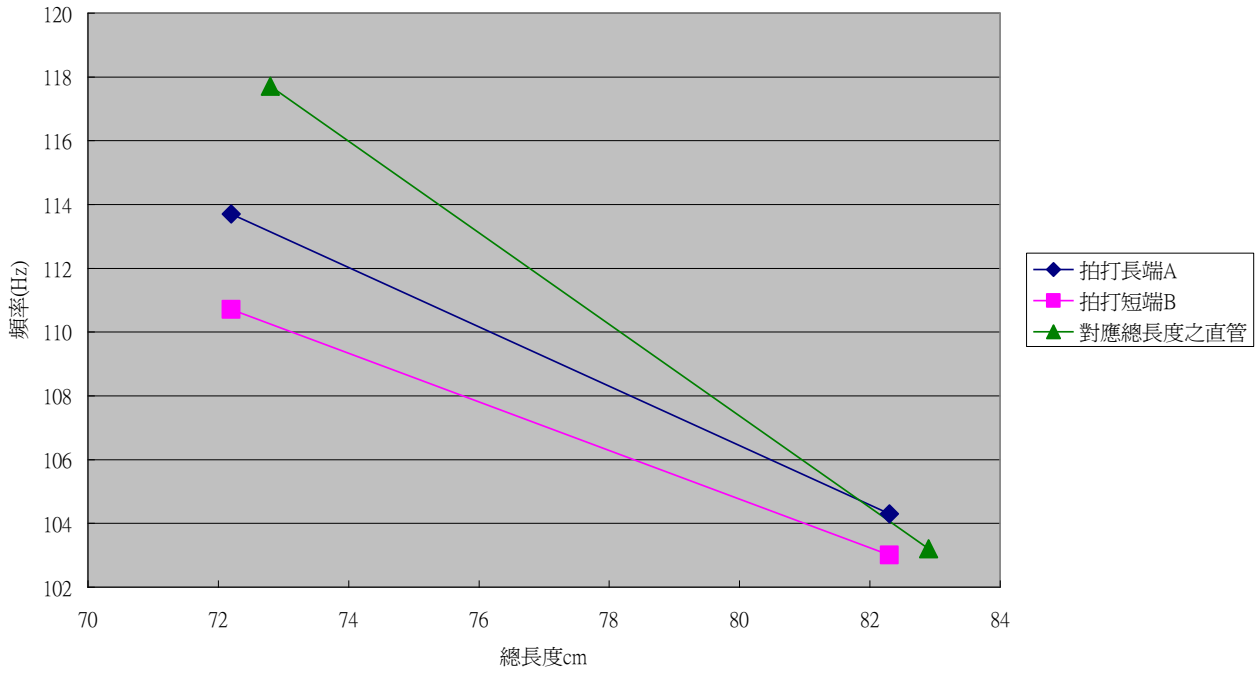
在 B 段是 21.3cm 或 31.4cm 狀況下也有一樣的情形，如下圖表。所以如果要兩端都能演奏（頻率音高相同），管子要長一些才行。

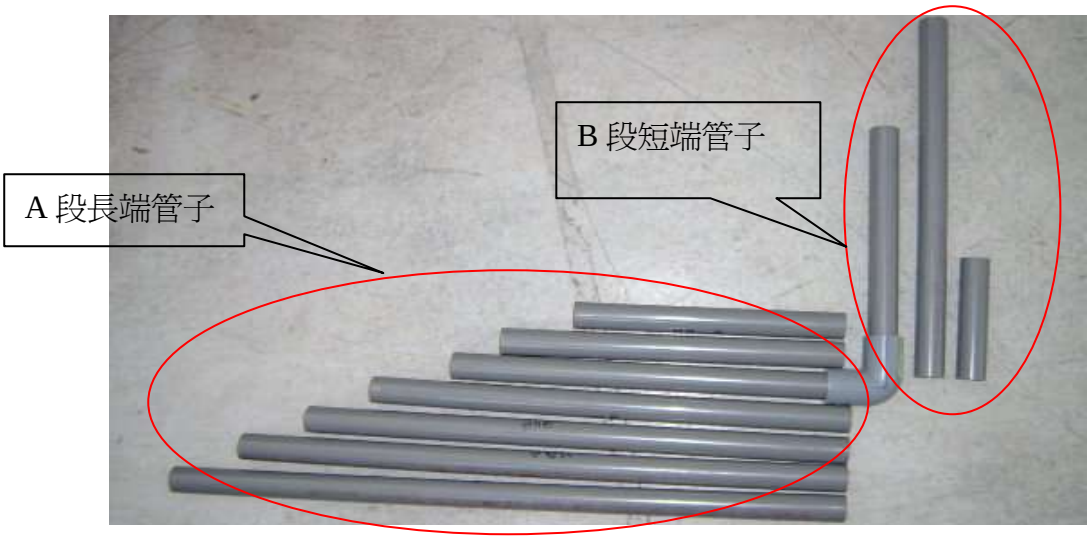
另外，與對應總長度直管比較，在 B=11.5cm 狀況下，大致上拍打較長一端所得到的頻率與拍同長度直管的頻率較接近，在 B 段是 21.3cm 或 31.4cm 狀況下也有類似的情形。所以如果要以彎管代替直管，管子要長一些誤差才能縮小。

圖表七 內徑1.6cmAB不等長B=21.3cm拍打兩端與對應長度直管頻率比較



圖表八 內徑1.6cmAB不等長B=31.4cm拍打兩端與對應長度直管頻率比較

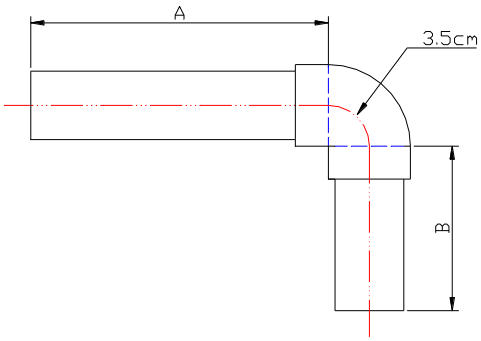




圖二十四　此實驗所使用的管子

2.粗管子

我們使用內徑 4.4cm 較粗的塑膠水管作爲我們實驗的對象。截取兩段水管分別接在 90 度彎管兩端，長段一端我們稱做 A 段；短段一端我們稱做爲 B 段，情形與上面細管子實驗略有不同（因爲細管子很難裝，有些無法裝到底，粗管子好裝多了，大致都能裝接近底部）。



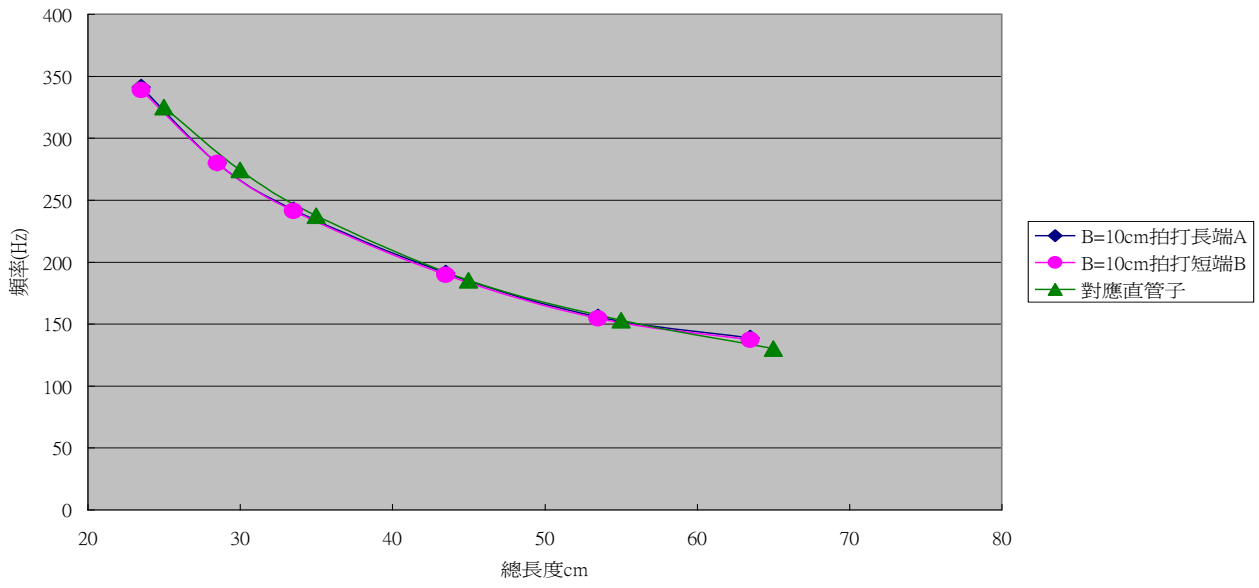
B 段我們選定 2 種長度，每一種長度我們變化不同的 A 段長度，實驗數據我們列在下表，由於之前有直管子實驗的經驗，這裡的實驗中我們除了分別拍打長、短(A、B)兩端，拍打方式我們又分手掌密合與開放兩種，並比較相對應直管應有的頻率，分別記錄所產生的頻率高低，實驗數據如下表：

表十一、一彎管對聲音高低的影響（溫度 22）粗管

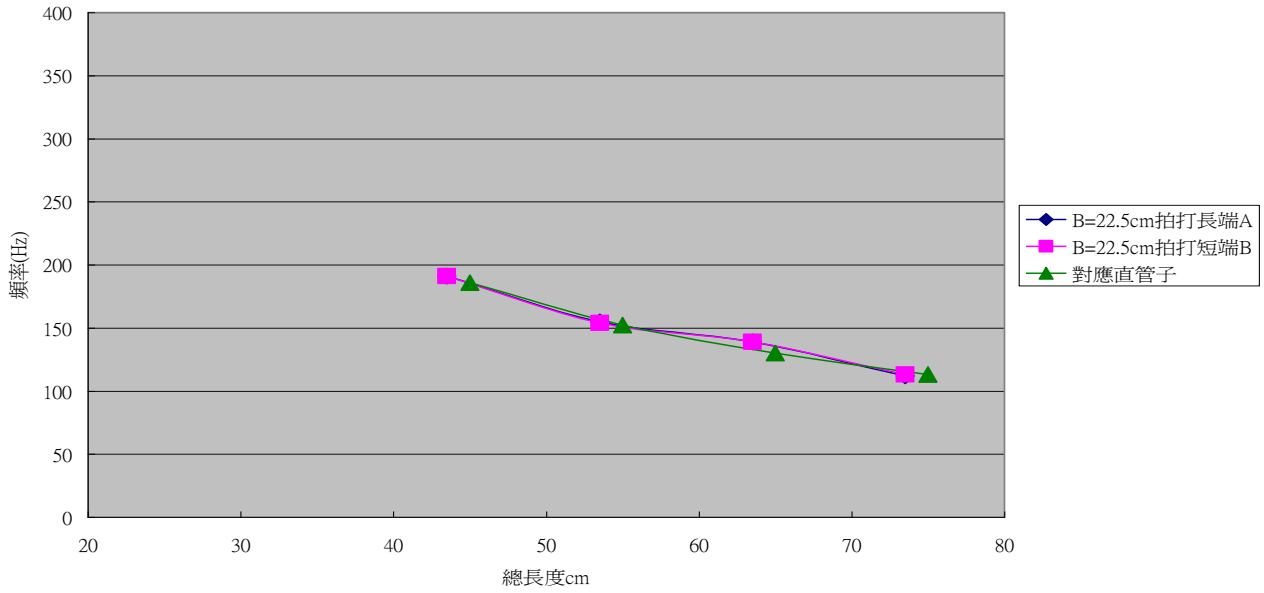
A 段長度 cm	B 段長度 cm	總長度 cm	拍 A 段端頻率（Hz）			拍 B 段端頻率(Hz)		直管子長度 cm	直管頻率（Hz）	
			手密	分貝	手開	手密	手開		手密合	手打開
10	10	23.5	341	116.8	576.3*	338.7	544.7*	25	325.0	619.0
15		28.5	280	114.8	522.3	280	507.7*	30	274.3	526.3
20		33.5	242	115.1	451.7	241.3	450.3	35	237.3	458.0
30		43.5	191	116.8	362	189.7	362	45	185.3	360.3
40		53.5	155.7	115.9	308	154.3	308.3	55	153.0	299.0
50		63.5	138.7	117.1	263	137	263	65	130.0	254.7
20	20	43.5	191	115.6	363.3	191	361.7	45	186	361.7
30		53.5	154.7	115.2	300	154	301.7	55.	152.3	298.0
40		63.5	139	116.4	262	139	261	65	130.0	254.7
50		73.5	112	116.7	227	113	227	75	113.0	222.3

註：*爲三次差異在 5Hz 以上

圖表九 內徑4.4cmAB不等長一彎管B=10cm拍打兩端與對應長度直管頻率比較



圖表十 內徑4.4cmAB不等長一彎管B=22.5cm拍打兩端與對應長度直管頻率比較



由實驗過程數據及上面圖表我們發現：

（1）管子短時量測效果差，要長管子下量測效果才較好(三次數據較一致)，尤其是手開放時，量測得的數據差異性更大，管子要長一些才不會有這個問題。

（2）雖然兩端長短可能不一樣，但是不管從長端(A)或短端(B)拍打，聲音的頻率都差不多一樣，這點與內徑 1.6cm 的細管子的實驗結果有些差別。

（3）同長度的直管與彎管的頻率差不多。

圖二十五　此實驗所使用的管子

（二）兩彎管的實驗

1.旋轉角度的影響

我們使用內徑 4.4cm 的粗塑膠水管作爲我們實驗的對象。截取三段水管分別接在兩個 90 度彎管上，成爲一個類似 U 字型的連接管，但旋轉彎管接頭成三種狀況：長段與短段分別在同平面且出口同方向（差 0 度）（如下圖右下）、長段與短段交錯 90 度（如下圖左）、長段與短段同平面但出口相反方向（差 180 度）（如下圖右上）。

圖二十六　此實驗所使用的管子

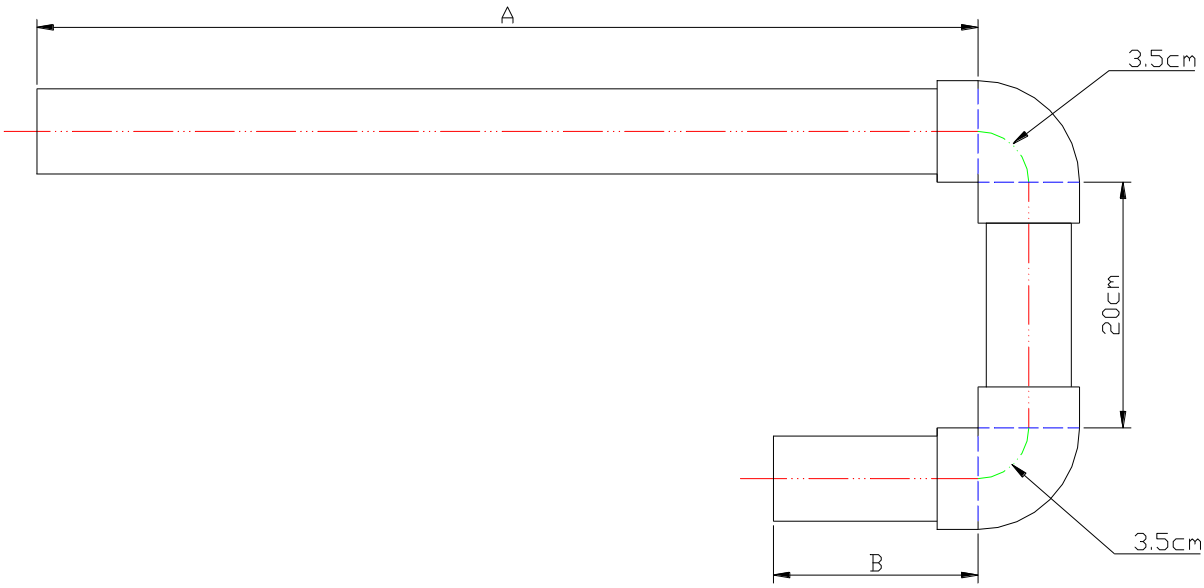
實驗數據我們列在下表，實驗中我們拍打長(A)端，拍打方式又分手密合與手馬上開放兩種，分別記錄所產生的頻率高低，實驗數據如下表：

表十二、兩彎管不同轉向對聲音高低的影響				
總長度 90 公分（19、20 度）				
長短管關係	拍短段端手密合頻率（Hz）	分貝	拍短段端手放開頻率（Hz）	分貝
同方向	97.7	98.0	189	97.3
相差 90 度	97.3	97.4	187.7	97.7
相反方向	97.3	95.3	188.3	96.2

由上表我們發現，旋轉角度對頻率沒什麼影響。所以實驗時我們不用很計較管子是否有確實裝在同一平面上。

2.管子長度的影響

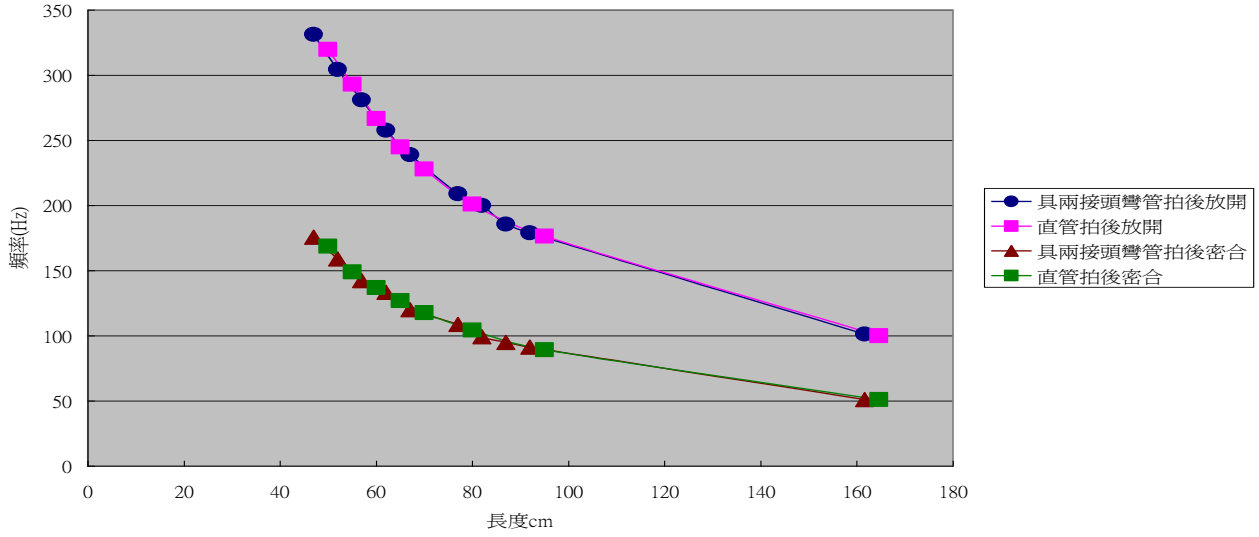
我們仍舊使用內徑 4.4cm 的粗塑膠水管作爲我們實驗的對象。截取三段水管分別接在兩個 90 度彎管上，成爲一個類似 U 字型的連接管，相關尺寸記號如下圖所示。



實驗數據我們列在下表，實驗中我們拍打長(A)端，拍打方式又分拍完手仍密合與馬上開放兩種，分別記錄所產生的頻率高低，實驗數據如下表：

表十三、兩彎管對聲音高低的影響							
前段 10cm 中段 20cm 變化尾段							
短段（B）長度 cm	變換段（A）長度 cm	總長度 cm	拍 A 段端密合頻率（Hz）18 度	拍 A 段端放開頻率（Hz）18 度	直管長度 cm	對應等長直管拍打後密合頻率（Hz）18 度	對應等長直管拍打後放開頻率（Hz）18 度
10	10	47	175.7	331.3	50	168.7	319.7
10	15	52	159	304.3	55	149	293
10	20	57	142.3	281	60	137	266.7
10	25	62	133.3	257.7	65	127	245
10	30	67	120	239	70	117.7	228
10	40	77	108.7	209	80	104.3	201
10	45	82	99.3	200	85	沒做	沒做
10	50	87	95	185.7	90	沒做	沒做
10	55	92	91.3	179	95	89.3	176.3
10	124.6	161.6	51	101.3	164.6	51	100

圖表十一 內徑4.4cm同長度的兩接頭彎管與直管手拍後頻率比較（18度）



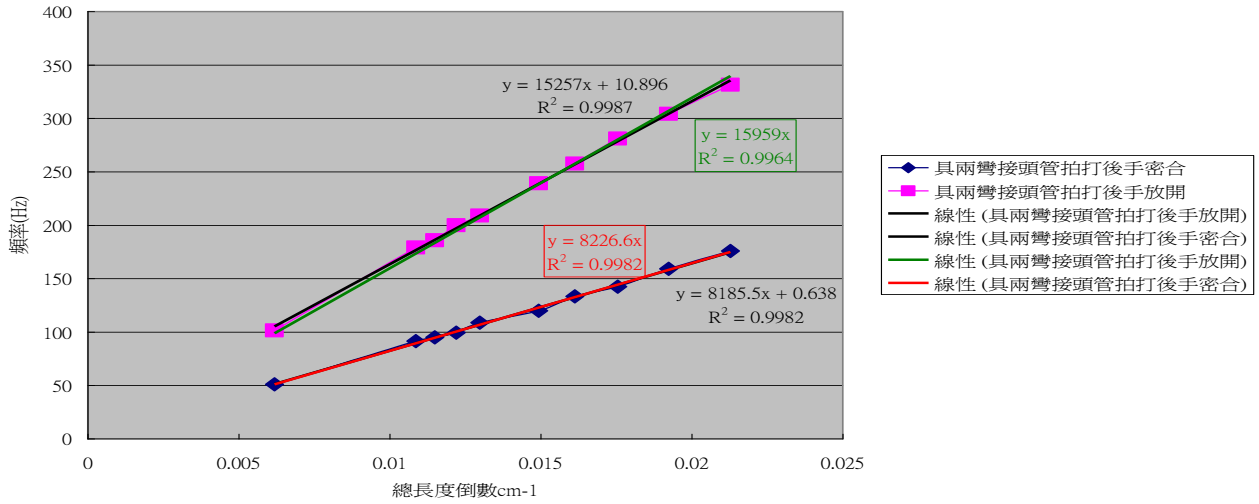
（1）彎管與直管的差異：

由圖表明顯的看出，同樣的長度下，直管的頻率與彎管的差不多，不管是拍完手是密合或是放開。

（2）長度的影響：

由圖表明顯的看出，兩彎管者長度越長拍打出來的頻率如同直管一樣越低，手拍打完放開後的頻率仍比手密合爲高，做長度倒數與頻率關係圖，發現仍趨近線性關係。

圖表十二 內徑4.4cm兩彎接頭管子總長度倒數與頻率關係（18度）



圖二十七　此實驗對應所使用的直管

五、怎樣用管子做號笛

（一）推估長度：

由於直管子要做拍打的樂器會使出口朝下，這樣不容易聽見，而一個 90 度彎管的方式也較佔空間，所以我們決定做二個 90 度彎管的號笛。

我們又重做一次上面的實驗並取得另一組方程式，依倒數趨勢線的方程式我們來推估我麼要的頻率的對應管子總長度如下表：

音名	標準頻率	推估手密合總長度 cm				推估手分開總長度 cm			
		A	B	C	D	E	F	G	H
		y = 8185.5x + 0.638（18 度）	y =8226.6x（18 度）	y =8182.4x + 1.3828（24 度）	y =8271.4x（24 度）	y =15257x + 10.896（18 度）	y =15959x（18 度）	y =15391x + 10.845（24 度）	y = 16089x（24 度）
C1	32.7	255.3	251.6	261.3	252.9	699.7	488.0	704.2	492.0
D1	36.7	227.0	224.2	231.7	225.4	591.3	434.9	595.3	438.4
E1	41.2	201.8	199.7	205.5	200.8	503.5	387.4	507.0	390.5
F1	43.7	190.1	188.3	193.4	189.3	465.1	365.2	468.5	368.2
G1	49.0	169.3	167.9	171.8	168.8	400.4	325.7	403.4	328.3
A1	55.0	150.6	149.6	152.6	150.4	345.9	290.2	348.6	292.5
B1	61.7	134.1	133.3	135.7	134.1	300.3	258.7	302.6	260.8
C2	65.4	126.4	125.8	127.8	126.5	279.9	244.0	282.1	246.0
D2	73.4	112.5	112.1	113.6	112.7	244.1	217.4	246.0	219.2
E2	82.4	100.1	99.8	101.0	100.4	213.4	193.7	215.1	195.3
F2	87.3	94.5	94.2	95.2	94.7	199.7	182.8	201.3	184.3
G2	98	84.1	83.9	84.7	84.4	175.2	162.8	176.6	164.2
A2	110.0	74.8	74.8	75.3	75.2	153.9	145.1	155.2	146.3
B2	123.5	66.6	66.6	67.0	67.0	135.5	129.2	136.6	130.3
C3	130.8	62.9	62.9	63.2	63.2	127.2	122.0	128.3	123.0
D3	146.8	56.0	56.0	56.3	56.3	115.0	108.7	113.2	109.6
E3	164.8	49.9	49.9	50.1	50.2	99.1	96.8	100.0	97.6
F3	174.6	47.1	47.1	47.2	47.4	93.2	91.4	94.0	92.1
G3	196	41.9	42.0	42.0	42.2	82.4	81.4	83.1	82.1
A3	220.0	37.3	37.4	37.4	37.6	73.0	72.5	73.6	73.1
B3	246.9	33.2	33.3	33.3	33.5	64.6	64.6	65.2	65.2
C4	261.6	31.4	31.4	31.4	31.6	60.9	61.0	61.4	61.5

由兩次實驗推估的公式計算的結果來看，拍完手密合（A、B、C、D）的數據差不多，但拍完手放開（E、F、G、H）的數據差異就較大，尤其頻率越低差距就越大，所以我們採用拍完手密合的方式來做號笛。

又外插可靠性較低，所以選擇範圍以內插方式來尋求我們要的數據，配合音階我們取用標註顏色區域的管長爲宜。

針對拍完手密合部分來看，溫度會影響頻率，同樣的要求頻率下，溫度高者管長越長，所以我們決定參考溫度低的管長數值來做（A、B），當溫度變高時，需要管子長一些時我們再加紙圈來補長。

A、B 是兩種不同線性趨勢線，雖然我們推估：當管長無限長時，頻率應該爲 0Hz，所以採 B 方程式才是，不過由之前的研究我們知道：長度越短，管徑的影響越大，所以頻率不單

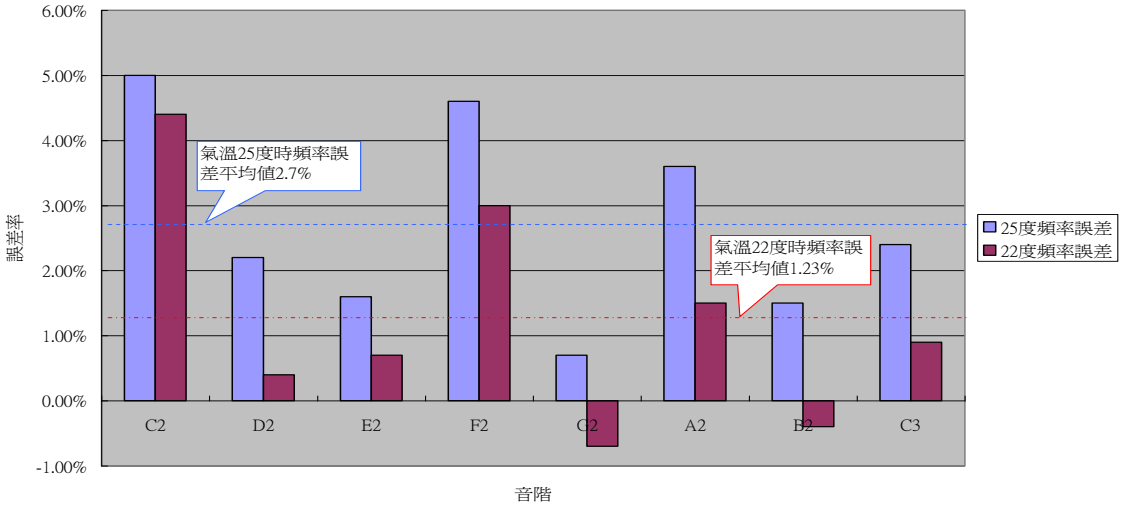
單與長度相關而已，我們使用的管子也不是很長，所以不要求線一定要通過座標原點，故我們決定採用 Excel 軟體中不強迫通過原點，自然找出的趨近直線，也就是 A 方程式。（事實上 A、B 兩方程式得到的管長在我們要的有顏色區內幾乎一樣）

（二）實驗確認：

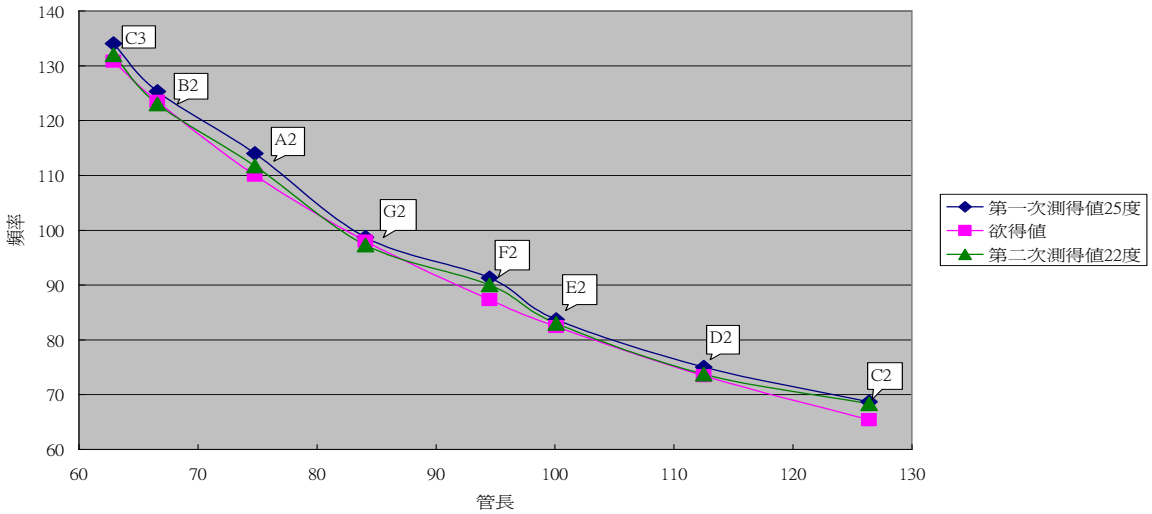
爲確認推估結果的正確性，我們鋸出我們要的管長，在二種不同溫度下，且重新組裝後拍打測出頻率如下：

管子長度 cm	短段（B）長度 cm	變換段（A）長度 cm	欲得頻率		頻率（實驗一）25 度	誤差一	頻率（實驗二）22 度	誤差二
126.4	10	89.4	C2	65.4	68.7	5.0%	68.3	4.4%
112.5	10	75.5	D2	73.4	75	2.2%	73.7	0.4%
100.1	10	63.1	E2	82.4	83.7	1.6%	83	0.7%
94.5	10	57.5	F2	87.3	91.3	4.6%	90	3.0%
84.1	10	47.1	G2	98.0	98.7	0.7%	97.3	-0.7%
74.8	10	37.8	A2	110.0	114	3.6%	111.7	1.5%
66.6	10	29.6	B2	123.5	125.3	1.5%	123	-0.4%
62.9	10	25.9	C3	130.8	134	2.4%	132	0.9%

圖表十三 不同溫度下實驗頻率與欲得頻率誤差



圖表十四 初做號笛頻率與欲得頻率比較



依推估，溫度高（25、22 度比 18 度）頻率應較高些，但由上面圖表發現，只有 C3、A2 和 F2 及 C2 有明顯比我們要的頻率高些，而 G2、B2 在 22 度時反而還略低於我們要的頻率。

而頻率誤差略有震盪現象，是什麼原因造成的我們並不明瞭，需要進一步探討。

（三）裝架修正後實驗確認：

由於我們鋸出的管長，拍打測出的頻率與我們要的有些差距，因此我們在裝架後，需再進行修正。

首先，我們製作一些紙圈，再將紙圈套在短端（緊緊的，但沒有黏住，以方便上下移動調整增加的管長）以增加管長，將麥克風放在紙圈端，拍打長端後手仍密合，記錄拍打後頻率。

上下移動紙圈，再拍打長端記錄拍打後頻率，直至得到我們要的頻率，並記錄增加的紙圈長度，由實驗我們得到的數據如下：

音階唱名	C2	D2	E2	F2	G2	A2	B2	C3
音階音名	Do	Re	Me	Fa	So	La	Si	Do
標準頻率 Hz	65.4	73.4	82.4	87.3	98.0	110.0	123.5	130.8
25℃時增加紙圈長度約	6cm	4cm	2.5cm	5cm	0cm	4cm	1.5cm	3cm
測得頻率 Hz	65.7	73.3	82.3	87.0	98.7	110.7	124.0	131.0
誤差率	0.5%	0.1%	0.1%	0.8%	0.7%	0.6%	0.4%	0.2%
30℃時增加紙圈長度約	8.5cm	6cm	4cm	6.5cm	2.5cm	5cm	2cm	3.5cm
測得頻率 Hz	66	73.3	82.0	87.7	98.0	109.0	124.0	131.0
誤差率	0.9%	0.1%	0.5%	0.5%	0%	0.9%	0.4%	0.2%

增加管長後，頻率明顯與我們要的較一致（誤差均在 1%內），這表示加紙圈的效果是明顯有效的。

隨著溫度的變化，我們可以微調我們的紙圈長度來達到我麼所要的頻率。由於時間的關係，我們還沒做出 35℃時需增加的紙圈長度量，待夏天氣溫升高時，再記錄 35℃時所需增加的紙圈長度量，我們就可以依表調整出 25℃~35℃間號笛的長度了。

圖二十八　組裝後的號笛（紙圈未黏死，可依溫度調整高低）

陸、研究結果

實驗名稱	影響頻率	研究發現	啓示
拍打力量大小的影響	很小	拍打力量大小對聲音高低（頻率）似乎沒有影響，只是太小聲量測出來的結果較差，外界干擾較大。	不用考慮拍打力量因素，不要太小聲就好了。
拍擊物的影響	很小	書本拍打得到的數據是最亂的，幾乎都無發判讀，而用手拍打所得到的數據一致性最高，誤差最小。	所以要找拍擊物還是以手效果最好。
量測距離的影響	很小	對聲音高低（頻率）似乎影響不大，只是太遠量測的音量較小，相對的外在干擾可能影響的成分會較大，太近拍打則容易打到錄音機。	不用太在意量測距離，約在 5cm 左右即可。
手握位置的影響	很小	手握的位置對聲音高低（頻率）似乎影響不大，但手握上端最穩，而尾端最不穩。	爲求實驗穩定及審慎起見，往後實驗我們盡量將手握在上端，以統一握管手對氣體流動的影響性
手密合與放開的影響	很大	手密合的聲音（頻率）較低；而手放開後的聲音（頻率）變高。	因手放開速率可快可慢，所以，以拍打後手仍密合爲佳
溫度高低的影響	大	溫度低聲音頻率也低，溫度高聲音頻率也高。	盡量在短時間內完成同系列的實驗工作，以避免溫度的影響。
管外包覆物的影響	很小	管子外有沒有包覆物對聲音高低（頻率）似乎沒有影響。	
管內徑大小的影響	小	在 30cm 長度下，管徑大的頻率較低，管徑小的頻率較高，但差異不大。	
管子長度的影響	很大	①管子越長頻率越低；管子越短頻率越高。 ②配合上一實驗：管內徑大小的影響在短管子較明顯，管長越長影響越小。	選用越長的管子越不用考慮管徑。
一個 90 度彎管子的影響(細管)	小	①管子的總長度越長拍擊 A、B 兩端所得到的頻率越一致。 ②如果要以彎管代替直管，管子要長一些誤差才能縮小。	管子長些，彎曲的影響就漸漸變小。
一個 90 度彎管子的影響(粗管)	很小	①不管從長端或短端拍打，頻率都差不多一樣，這點與細管子的實	管子粗些，彎曲的影響比細管時要小。

		驗結果有些差別。 ②同長度的直管與彎管的頻率差不多。	
兩彎管旋轉角度的影響	很小	旋轉角度對頻率沒什麼影響。	不用很計較管子是否有確實裝在同一平面上。
兩彎管管子長度的影響	很大	直管的頻率與彎管的差不多。 長度越長拍打出來的頻率越低。	管子長些，彎曲的影響就漸漸變小。
推估管子號笛長度	①由實驗發現頻率與管長倒數約呈線性關係，尤其在較長時，我們以線性趨勢線內插方式推估我們要的音頻管長。 ②溫度會影響管長，我們採低溫下的管長，溫度變高時以加厚紙圈方式增加管長。		
製做號笛	①以木材製作支架，拍打出來的頻率仍在，沒有跑掉。 ②頻率誤差略有震盪現象，原因是什麼要進一步探討才知。 ③仍以手拍打效果較好。 ④拍打多次管子接合處易鬆脫，要黏牢。 ⑤可以紙圈作修正，若有需要可做溫度與紙圈長度的對照表。		

柒、討論與結論

一、拍打力量大小、量測距離、手握位置、管外包覆物的影響很小。

二、拍擊物的影響略大，找拍擊物還是以手效果最好。可能因為手較軟，較不會有撞擊的干擾聲，而且密合度較高，聲音較清楚；如果要以海綿來拍打，管子要選粗且長的效果才比較好些，這可能與管內傳遞聲音的空氣量有關。

三、手拍打完密合或馬上放開的影響很大，手密合的聲音（頻率）較低；而手放開後的聲音（頻率）變高，手放開的速度會影響頻率變化的快慢，不是很穩定，所以做樂器以拍打完後手仍密合為宜。

四、經由實驗，影響拍打管子發聲頻率較大的其他因素尚有：管內徑、管長、溫度及轉接頭。但當管子較長時，管徑與轉接頭的影響就變小了。且由圖表知，聲音頻率與長度倒數略呈線性關係，推測原因可能影響頻率大小與長度單位較相關，與面積（長度二次方）及體積（長度三次方）單位較無關，而長度包括管長與管徑，至於組合比例為何，有待進一步分析。

五、一個 90 度彎管子時，細管子管子的總長度越長拍擊 A、B 兩端所得到的頻率才能越一致，而粗管子則較無此一問題。另外，總長度越長與對應的直管子的頻率也越一致。差異應是彎管造成的，管子長度越長彎管的影響比重就越小了。

六、當接兩彎管時，彎管旋轉角度不會影響頻率，所以我們不用很計較管子是否有確實裝在同一平面上。

七、兩彎管管子頻率與等長的直管的頻率差不多，趨勢也一樣，都是長度越長拍打出來的頻率越低。可是由局部放大圖發現，具兩彎管者雖然頻率大致仍隨著管長變長而遞減，但卻不是很平滑，而是略有起伏的，有震盪現象，這點與直管子者有所不同，是什麼原因造成的要進一步探討才可能知道。

八、由實驗發現頻率與管長倒數約呈線性關係，尤其在較長時，我們以線性趨勢線內插方式

推估我們要的音階頻率的管長，我們取約 60~130cm 的長度來做，也就是約在 C2~C3 區段。

九、溫度會影響管長，我們鋸水管時採較低溫下的管長，溫度變高時以加厚紙圈方式增加管長。

十、製做號笛時以木材製作支架，拍打出來的頻率仍在，沒有跑掉。拍打多次後管子接合處易鬆脫，所以要黏牢。另外，拍打號笛時，有些會有撞擊木頭聲音來干擾，這部份仍要再做改善。

捌、未來展望

一、頻率誤差有震盪現象，原因要進一步探討。

二、若能進一步找出彎管長度、管徑與頻率的關係方程式，則做號笛就可以更單純化。

三、溫度會影響頻率，建立更詳細的溫度與欲增加的紙圈長度關係表，會較方便。

四、因變因控制能力的關係，我們沒有作溼度與氣壓相關的實驗，若有能力，溼度、氣壓因素應考慮進去。

玖、參考資料

一、左卷健男、瀧川洋二。譯者：王政友（民 94）。愛上物理實驗課（上）。台灣：世茂。

二、馬爺爺 23：漫談聲音。http://www.bud.org.tw/Ma/Ma23.htm

三、陳玉珊、陳柔萍、林苡辰、陳俊佑、林峻揚、何緯綸　自製排笛的研究　台中縣第四十六屆科學展覽會生活與應用科學科　國小組　第二名

四、廖品蘭、賴育光　水中號手---菱角樂器　中華民國第四十五屆中小學科學展覽會　國小組　自然科　第一名

【評　語】　081513　拍出旋律-自製號笛管樂器研究

1. 以紙筒伸縮調整管長，頗具創意。
2. 雙彎管之有效長度可能比直管長，以致音高普遍偏低，作品中並無清楚交待，現場學生亦表示不清楚，實屬可惜。
3. 建義研究內容能有系統化，將會更佳。
4. 結果中數據所呈現的意涵，並不能任意以所謂「差不多」就乎略不計。