

嘉義縣第五十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：「哨子不只是哨子」－哨子發音的探討

關 鍵 詞：振動、共振

編 號：

目 錄

一、摘要	02
二、研究動機	02
三、文獻探討	03
四、研究目的	05
五、研究設備及器材	06
六、研究過程及方法	07
七、研究結果及討論	12
(一)實驗 1-1：探討不同的音室大小對哨子發音的影響	12
(二)實驗 1-2：探討不同的音室形狀對哨子發音的影響	13
(三)實驗 2-1：探討不同的滾珠數量對哨子發音的影響	14
(四)實驗 2-2：探討不同的滾珠比重對哨子發音的影響	15
(五)實驗 2-3：探討不同的滾珠大小對哨子發音的影響	16
(六)實驗 3-1：探討不同尖端之角度與位置對哨音頻率之影響	17
(七)實驗 4-1：探討不同分氣孔數量對哨音頻率之影響	20
(八)實驗 5-1：哨子發音時的空氣流動	21
(九)實驗 5-2：不同形狀之哨子所產生的振動	21
(十)實驗 5-3：不同尖端位置之哨子所產生的振動	22
八、結論與建議	23
九、參考資料	24

一、摘要

本研究欲探討哨子結構及使用方式對於哨音頻率及聲音變化的影響。從實驗結果發現：(一)音室直徑愈大，哨音頻率愈高。(二)音室的形狀愈接近圓形，所產生愈快且穩定的變頻效果。(三)哨子水平放置，變頻週期更快且穩定，而多邊形音室則易阻礙滾珠運行。(四)滾珠會使哨子出現較低變頻頻率，使哨音有變化。(五)滾珠愈多，變頻週期愈短，但數量過多時，滾珠速度反而變慢。(六)滾珠比重愈重或體積愈大時，變頻週期就會愈長。(七)位置適當且較尖銳的尖端會產生較高頻哨音。(八)吹氣速度愈快，能提高哨音頻率及縮短變頻週期。(九)改變音室形狀或大小，會使內部振動有特殊變化。我們藉由這些結果發展哨子的新功用，例如可發出特定頻率。

二、研究動機

放學回家時，常常看到導護老師使用哨子來引導學生過馬路，我心想：為什麼用哨子吹出的聲音並不是很悅耳？為什麼哨子只能吹出響亮且尖銳的聲音？於是我決定和其他同學，在老師的協助下一起研究哨子的發音方式，以及開發它所具有的發展性，讓哨子不只是哨子，除了原本緊急時的用途之外，也能像其他樂器一樣有更多的聲音變化。



被剖開的滾珠哨



製作完成的 Do-La 音階哨子



使用哨子吹奏樂曲



使用哨子吹奏包含 DO Mi Sol 的 C 和弦

三、文獻探討

在本研究的探討過程中，涉及一些物理相關的概念，為了能更正確的針對實驗結果進行討論，我們需先進行相關概念的探討，包含了三個主題，以下分段敘述。

(一) 聲音的產生

聲音的產生是因為我們的耳朵感受到特定範圍頻率的振動，其來源可能是空氣、水或固態的物體，而這個振動在物質傳遞時，分子間產生了疏密的變化，因而形成了縱向波，也就是所謂的聲波，我們生活中，有許多的事物正在進行或變化，也因此產生了許多種類的振動，而這些振動藉由聲波形式向四面八方傳播，所以我們便可藉由聽覺感受到週遭環境發生的事情，經科學研究發現一般人的耳朵能接收 20~20,000Hz 的聲音。

(二) 共振與駐波

許多管樂器或者有共鳴腔的物品藉著共振原理，可以產生較大的聲響，而所謂的共振原理就是當外界的頻率能在共鳴腔內產生駐波，則能量就可以被匯聚，所產生的振動也就相當明顯。另外，依據共鳴管的開口與封閉差異，產生的駐波可以分為二大類，如果是兩端開口（如圖 3-1），可以發出的頻率為 $f_n = \frac{v}{\lambda} = n\frac{v}{2L}$ ；如果是一端開口一端封閉，則可以發出的頻率為 $f_m = \frac{v}{\lambda} = (2m-1)\frac{v}{4L}$ ，也因此同樣的結構可能會因為外界所傳來的不同振動狀態，而能明顯發出數種不同頻率的聲音。

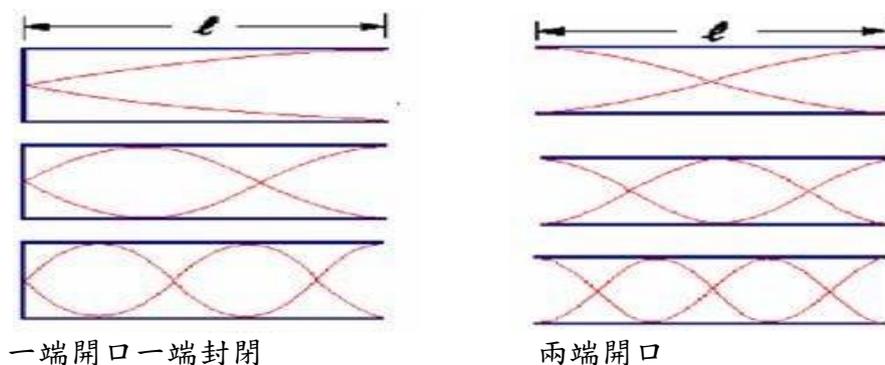


圖 3-1 駐波示意圖

引自 <http://home.phy.ntnu.edu.tw/~eureka/contents/elementary/chap%204/4-4-1.htm>

(三) 哨子的特性

哨子是一種能吹出尖銳聲音的器物，可用於團隊操練、競技比賽及求生用途中，不同的用途會有不同設計的哨子，市面上常見的哨子包含了音爆哨、滾珠哨、低音哨及胸帶哨（如圖 3-2），其中，音爆哨吹起來最為費力，但吹氣力道充足時，所產生的哨音也最為大聲且尖銳；滾珠哨最為便宜，且吹起來較音爆哨輕鬆；低音哨則是最易吹出哨音，但音量較低；而胸帶哨效果則最為不佳。



圖 3-2 市面上常見的哨子

<http://tw.taobao.com/product/>

(四) 哨子發音的原理

哨子是利用人體吹出的高速氣流通過狹窄的縫隙，一部份的氣流向吹口外散去，一部份則進入到吹口，然後產生紊亂的氣流及振動，當這個振動與哨子內壁形成共振現象時，則哨子便會發出明顯的聲響，而校園內最為常被使用的滾珠哨更利用內部的珠子來使聲音產生變化，以增加傳遞的效果。

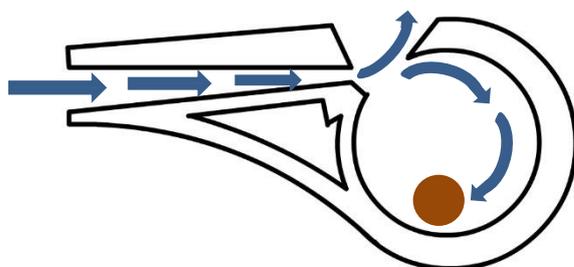


圖 3-3 哨子發音之氣流流動示意圖

四、研究目的

依據文獻探討之內容，我們可以大致獲得哨子的相關知識，但是如果要进一步的探討哨子各部位結構對哨音的影響，或者要發展獨特功用的哨子，則需要自己動手實驗，因此我們將本研究的目的分為四個主要項目，共計七項子實驗，條列如下：

實驗一：探討不同的音室對哨子發音的影響。

1-1 不同的音室大小對哨子發音的影響。

1-2 不同的音室形狀對哨子發音的影響。

實驗二：探討不同的滾珠狀態對哨子發音的影響。

2-1 不同的滾珠數量對哨子發音的影響。

2-2 不同的滾珠大小對哨子發音的影響。

2-3 不同的滾珠比重對哨子發音的影響。

實驗三：探討尖端狀態對哨子發音的影響。

3-1 不同的尖端位置與角度對哨子發音的影響。。

實驗四：探討吹氣量對哨子發音的影響。

4-1 不同的吹氣量對哨子發音的影響。

實驗五：探討哨子發音時的氣流及振動。

5-1 哨子發音時的空氣流動。

5-2 不同形狀之哨子所產生的振動。

5-3 不同尖端位置之哨子所產生的振動。

五、研究設備及器材

表 5-1 實驗設備所需工具及材料

隔音箱	工具	焊槍、毛筆、螺絲起子
	材料	隔音墊、壓克力板、塑膠握把、螺絲、螺帽、金屬後鈕、氣仿
吹氣設備	工具	焊槍
	材料	雙向吸塵器、扁平式吸塵口、PVC 水管、油性黏土
哨子模型	工具	熱融膠槍、磨砂紙、壓克力加熱器、各式圓形物品、手套
	材料	壓克力板、熱融膠條
滾珠	工具	保麗龍切割器、電子秤
	材料	保麗龍、樹脂土、油性黏土、保麗龍膠

表 5-2 實驗器材所需工具及材料

聲波測量及記錄之器材	平板電腦、運動攝影機、電腦
使用之軟體	Spectrum Analyzer、會聲會影、Office Excel 2013、Office Word 2013

六、研究過程及方法

(一) 研究流程

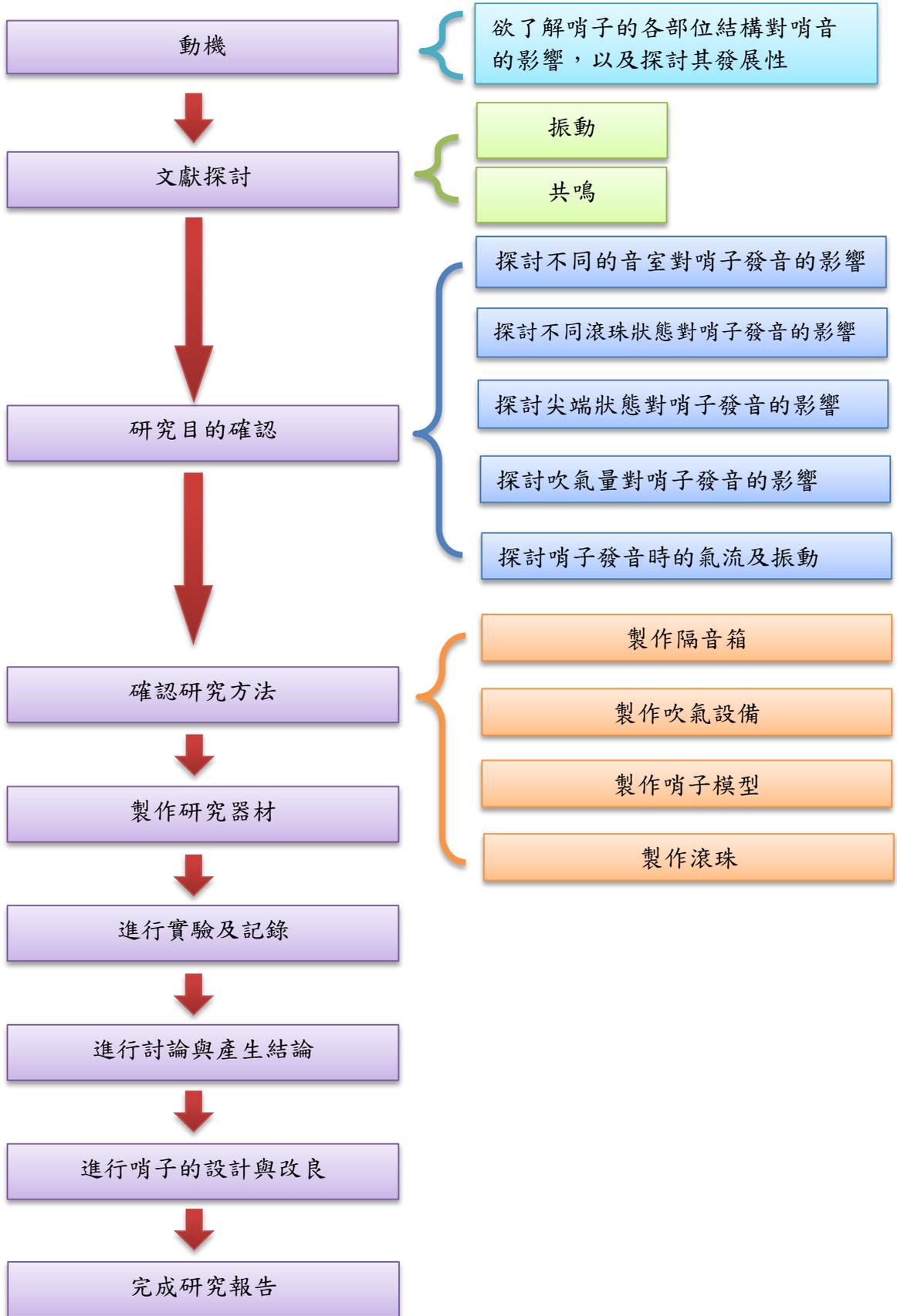


圖 6-1 研究流程圖

(二) 研究設計

整個研究共分為五個主要項目，分別是探討不同音室、滾珠狀態、尖端狀態及吹氣量對於哨子發音之影響。研究的主要實驗設備有三項，分別為隔音箱、吹氣設備及哨子模型，以下將針對整體的實驗設備以圖片介紹，並說明隔音箱、吹氣設備及哨子模型的製作方法。

1. 實驗設備介紹：以下詳細說明各項實驗設備之結構與名稱

(1) 隔音箱：



圖 6-2 隔音箱介紹

(2) 吹氣設備：



圖 6-3 吹氣設備介紹

(3) 哨子模型：

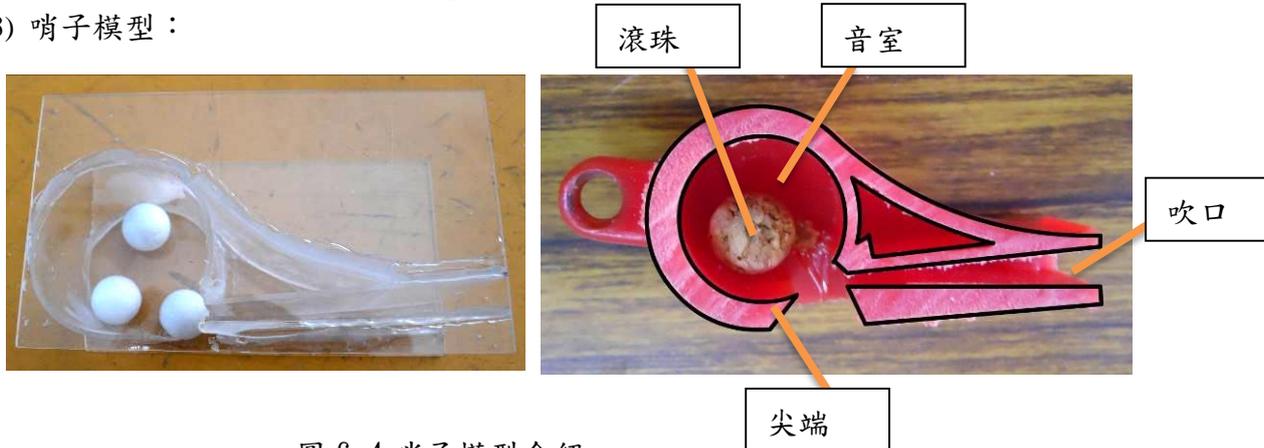


圖 6-4 哨子模型介紹

(4) 滾珠：



圖 6-5 哨子模型介紹

(5) 整體設備放置方式：



圖 6-6 整體設備介紹示意圖

2. 隔音箱的製作：進行實驗時，吹氣設備會產生大量的噪音，為了能使聲波測量器材接收到最正確、不受干擾的實驗哨音，我們設計了一個可以放置哨子模型的隔音箱，使實驗結果更正確單純。

- (1) 規劃隔音箱外殼所需大小，接著進行壓克力板的採購，請店家協助裁切適當尺寸。
- (2) 以膠帶固定相鄰之壓克力板，確保位置與角度正確，接著用毛筆沾氣仿進行黏合(圖 6-7)。
- (3) 測量隔音箱的內部邊長，然後剪下適當大小的隔音墊，並將隔音墊之背膠撕下，小心黏貼於隔音箱內壁(圖 6-8)。
- (4) 在上蓋裝上握把，並使用金屬後鈕來結合隔音箱上蓋與側板，方便箱子開閉(圖 6-9)。
- (5) 最後，確認哨子模型吹口位置並畫上記號，接著使用焊槍及美工刀穿出吹氣口，以利後續實驗的進行。



圖 6-7 黏合相鄰壓克力板



圖 6-8 在箱子內貼上隔音墊



圖 6-9 結合上蓋及側壁

3. 吹氣設備的製作：為能依照實驗所需進行充足且穩定的吹氣，於是我們嘗試設計了適當的吹氣設備，原本使用打氣筒來做為吹氣器材，但發現打氣速度不足，而後採用雙向吸塵器，並結合適當的連接管與吸塵口，則能提供不同大小且穩定的氣流。

- (1) 我們原採用木板及打氣筒來製作吹氣設備，但仍然無法提供足夠的氣流(圖 6-10~6-12)。



圖 6-10 組裝吹氣設備支架



圖 6-11 完成吹氣設備器材



圖 6-12 以重物來推動吹氣設備

- (2) 將雙向吸塵器的吸塵管改接到出氣口，以達到吹氣效果(圖 6-13)。
- (3) 為了能因應實驗中吹氣量之調整，我們在吹氣管上加接一段水管，並在上方穿出 10 個相同大小的洞，以達到吹氣量的控制(圖 6-14)。
- (4) 最後在吹氣管的末端接上扁平式吸塵口，可加強吹氣強度，並且能配合哨子模型的吹口形狀(圖 6-15)



圖 6-13 吸塵管改接到出氣口



圖 6-14 在水管上穿出 10 個小洞



圖 6-15 接上扁平式吸塵口

4. 哨子模型的製作：哨子模型是本研究主要實驗器材，也是大部份變因調整的位置，因此需要依據哨子原形來進行仔細的規劃。

- (1) 為了對哨子結構有精確內部結構(圖 6-16)，以哨子的內部結構圖當作底圖黏貼在哨子模型的右側側壁上，以確保結構正確，接著將吹口上下夾板以熱融膠固定在右側側壁上。
- (2) 接著取一塊長方形壓克力板，先以自製的斜角製作器來磨出所要的尖端角度(圖 6-17)。
- (3) 以壓克力板加熱器將板子軟化，並使用大小適當的圓柱形物品協助彎曲成圓形，然後固定在右側側壁上(圖 6-18)，最後放入自製滾珠，並將左側側壁蓋上固定。



圖 6-16 可透視內部的哨子



圖 6-17 使用斜角製作器磨邊

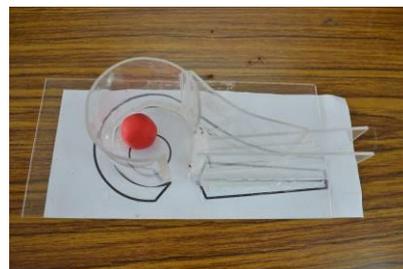


圖 6-18 大致完成的哨子模型

5. 滾珠的製作：滾珠是滾珠哨內相當重要的物件，也是本研究重要的實驗項目，我們利用下列方法來製作實驗所需的各式滾珠。

- (1) 取一塊軟木塞，使用電子秤稱重得 1.7 g，然後用樹脂土做成與軟木塞相同大小形狀(圖 6-19)，接著將此樹脂土塊塑形成正方體，計算其體積，接著將軟木塞重量除以樹脂土體積 4.913 cm^3 ，以求得軟木塞之比重 0.346 g/cm^3 。
- (2) 取大小不同的保麗龍球，然後藉由(1)所推算之比重，計算相同大小的軟木塞應有之重量，然後用適量的樹脂土包覆保麗龍球(圖 6-20)，以獲得不同大小的滾珠。

- (3) 取五顆 3.0cm 的保麗龍球，然後使用保麗龍切割器將球剖半，然後將每一組半球挖去不等的空間，填入比重較重的油性黏土(圖 6-21)，再將每一組半球黏合，並用樹脂土包覆，使每一顆保麗龍球重量不同，以獲得不同比重的滾珠。



圖 6-19 相同形狀大小的樹脂土與軟木塞



圖 6-20 以樹脂土將保麗龍球包覆起來



圖 6-21 將填入油性黏土的保麗龍半球黏合

(三)實驗方法：為了能正確的分析哨子的頻率變化，以及滾珠的運動情形，我們採取了下列的實驗方式，進行變因操作、噪音隔離、哨音測量與記錄。

1. 放置哨子模型：將調整好變因之哨子模型放置入隔音箱中，接著將平板電腦開啟 Spectrum Analyzer 軟體，並且放置適當位置(圖 6-22)。
2. 固定攝影器材：將攝影機放入隔音箱中，並將鏡頭對準平板電腦之螢幕，接著開啟錄影功能，以利錄下哨音動態的變化(圖 6-23)。
3. 進行吹氣：將吹氣設備的吹氣管插入隔音箱的吹氣口中，然後將隔音箱上蓋關上，避免吸塵器的運作噪音干擾到實驗結果(圖 6-24)。
4. 實驗分析：我們要從攝影機錄下的畫面中獲得實驗所需的資料，包含哨音的頻率以及滾珠的運動週期，因此我們使用會聲會影程式來開啟實驗影片，從每一個畫格中去觀看平板電腦上的頻率數據，以及滾珠在共鳴箱繞行一週之耗費時間，每個實驗皆從影片中獲取 3 次較為穩定的數據，進行平均及進一步的討論分析。

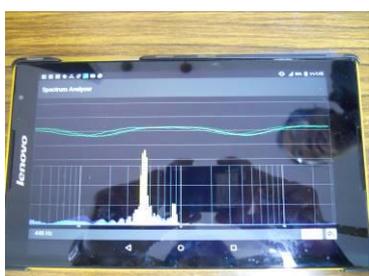


圖 6-22 Spectrum Analyzer 軟體



圖 6-23 攝影機擺放於箱內



圖 6-24 開啟吸塵器進行吹氣

七、研究結果及討論

以下針對各實驗的方法進行說明，並討論其實驗結果

(一)實驗 1-1：探討不同的音室大小對哨子發音的影響

我們想要探討在不同的音室大小狀態下，哨音會有什麼樣的變化，所以在製作哨子模型時，我們改變音室的大小，其直徑分別為 4.1、5.2、6.5、7.5、8.5 公分，但皆維持為圓形，實驗後得到了表 7-1 的結果。

表 7-1 實驗 1-1 結果

實驗類別	變項	直徑 4.1cm	直徑 5.2cm	直徑 6.5cm	直徑 7.5cm	直徑 8.5cm
音室大小	影像					
	第 1 次	1135	903	771	641	569
	第 2 次	1131	907	779	647	566
	第 3 次	1134	917	775	637	565
	平均	1133.3	909.0	775.0	641.7	566.7

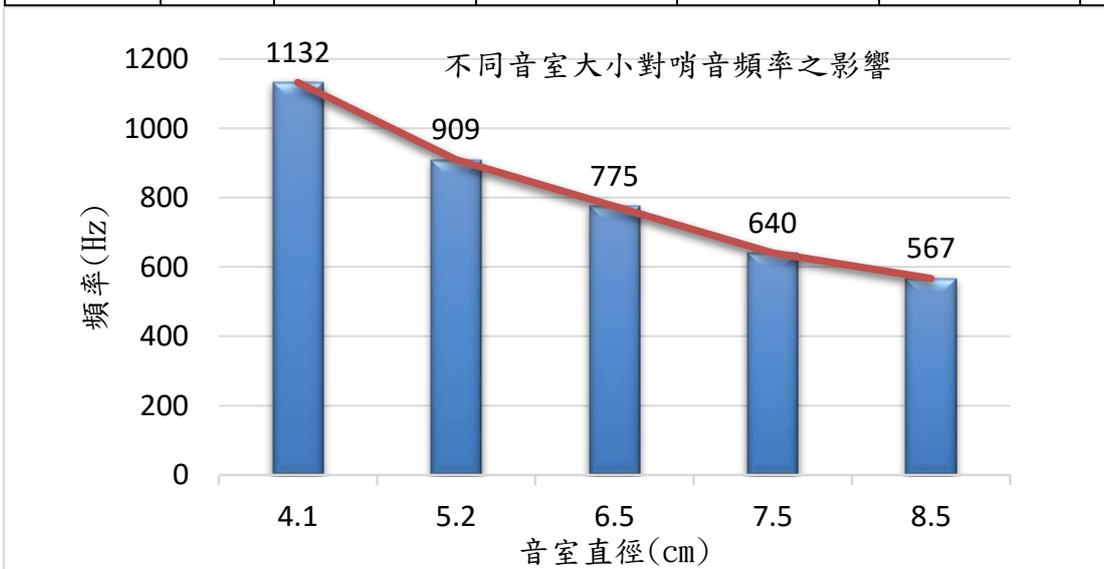


圖 7-1 實驗 1-1 直方折線圖

討論：

從圖 7-1 中的折線變化，我們發現頻率與直徑似乎呈現反比，因此我們推測波的頻率與波長是呈現反比，直徑可代表波長，所以也會有 $F(\text{頻率}) \times L(\text{直徑}) = K$ 之關係，我們若將每一個狀態的頻率與直徑相乘可獲得表 7-2 結果， K 值皆相當接近，所以頻率與直徑應該存在反比關係，同時也可藉此製作特定頻率的音室。

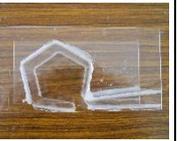
表 7-2 $F(\text{頻率}) \times L(\text{直徑}) = K$

頻率	直徑	乘積
1133.3	4.1	4646.5
909.0	5.2	4726.8
775.0	6.5	5037.5
641.7	7.5	4812.8
566.7	8.5	4817.0

(二)實驗 1-2：探討不同的音室形狀對哨子發音的影響

我們想要探討在不同的音室形狀狀態下，哨音會有什麼樣的變化，所以在製作哨子模型時，我們設計 5 種不同的幾何形狀的音室，分別為圓形、橢圓、正三角形、正方形、正五邊形，但周長皆相同，實驗後得到了表 7-3 的結果。

表 7-3 實驗 2-1 實驗結果

實驗類別	變項	圓形	橢圓	正三角形	正方形	正五邊形
音室形狀	影像					
	第 1 次	671	651	657	638	600
	第 2 次	670	648	659	641	610
	第 3 次	661	660	651	631	601
	平均	667.3	653.0	655.7	636.7	603.7

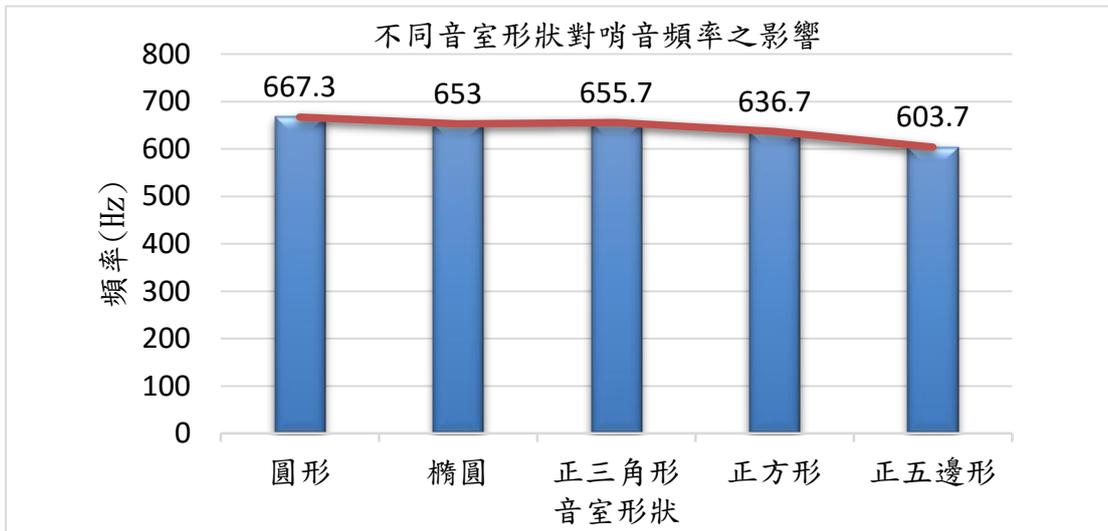


圖 7-2 實驗 1-2 結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們可以發現不同的音室形狀會有不同的頻率，其中圓形的頻率最高，橢圓則略低一些，而正多邊形的部份可發現，正三角形最高，正五邊形最低，所以由此我們也可大致推測出一個規律，形狀接近圓形之音室，能產生愈高的頻率，可能是愈圓滑的形狀較不會干擾共振的進行。

我們針對滾珠的運動進行觀察(表 7-4)，發現哨子直立放置時，圓形與橢圓皆能快速的轉動，但是多邊形則都無法完整的繞行，於是我們將哨子平放時，則可發現每個哨子的滾珠皆能繞行音室，且速度更快，代表平放時，滾珠較易運動，而多邊形的內角會減緩滾珠的運行。

表 7-4 不同形狀音室滾珠運動週期

頻率	直立放置	水平放置
圓形	0.105	0.087
橢圓	0.138	0.108
三角形	動彈不得	0.412
正方形	原處抖動	0.465
五邊形	只跳到一半高度	0.303

(三)實驗 2-1：探討不同的滾珠數量對哨子發音的影響

我們欲了解若放置不同數量的滾珠，對於哨音會有什麼變化，因此我們放置大小相同的自製滾珠 1~5 顆，然後測量其頻率的變化以及滾珠的運動情況，實驗後得到了表 7-5 的結果。

表 7-5 實驗 2-1 實驗結果

實驗類別	變項	一顆滾珠	二顆滾珠	三顆滾珠	四顆滾珠	五顆滾珠
滾珠數量	影像					
	第 1 次	0.167	0.133	0.133	0.15	0.093
	第 2 次	0.167	0.150	0.133	0.158	0.087
	第 3 次	0.200	0.150	0.133	0.150	0.087
	平均	0.178	0.144	0.133	0.153	0.089

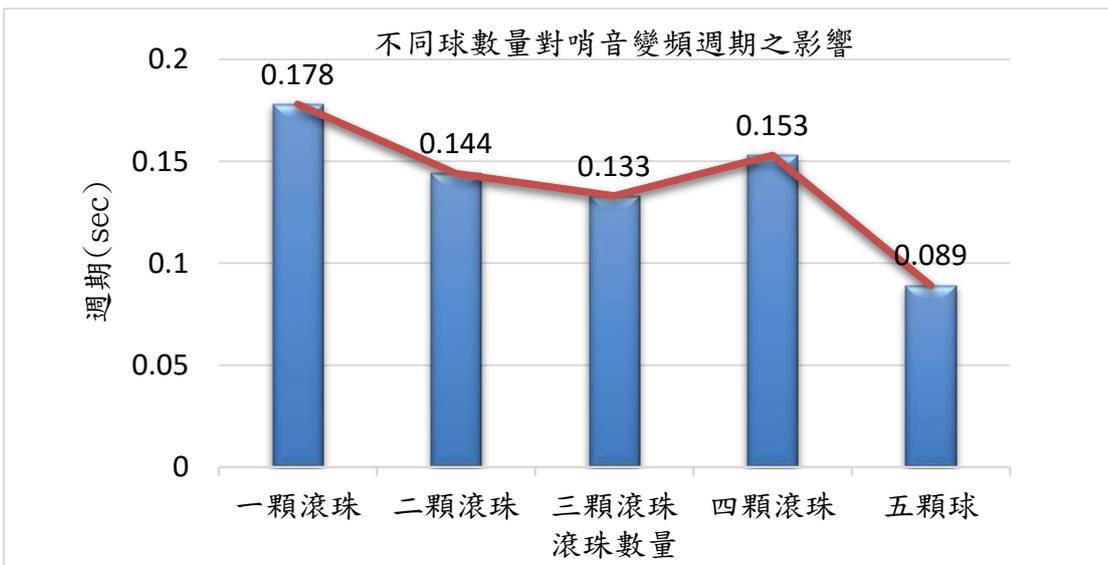


圖 7-3 實驗 2-1 結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們可以發現改變滾珠的數量並不會影響其哨音的一般頻率，在此實驗中皆約為 572 Hz，但因為滾珠的干擾，造成在特定週期下便會出現較低的頻率 565 Hz。

而我們從哨音變頻週期的結果發現，從一顆滾珠調整至二顆或三顆滾珠時，因為滾珠數量變多，所以變頻週期就縮短了，但是放置四顆滾珠時，可能因為重量較重，所以也造成滾珠的速度明顯變慢，而放置五顆滾珠則又因為有一顆珠子被擠到音室中央(圖 7-4)，而使其他四顆滾珠滾動更順暢，因而又讓變頻週期變短，所以滾珠的大小、重量以及音室的大小之相互關係皆會影響其變頻週期。



圖 7-4 五顆滾珠實驗示意圖

(四)實驗 2-2：探討不同的滾珠比重對哨子發音的影響

我們想要探討如果放置的滾珠具有不同的比重，對於哨音會有什麼變化，因此我們放置直徑皆為 3 cm 滾珠，體積 14.13 g，但是重量分別為 5.1、5.9、7.0、8.2 及 11.9 公克的自製滾珠，因此分別具備了 0.36、0.42、0.50、0.58 及 0.84 g/cm³ 的比重，然後我們測量滾珠的運動情況，實驗後得到了表 7-6 的結果。

表 7-6 實驗 2-2 實驗結果

實驗類別	變項	0.36 g/cm ³	0.42 g/cm ³	0.50 g/cm ³	0.58 g/cm ³	0.84 g/cm ³
滾珠比重	影像					
	第 1 次	0.147	0.158	0.172	0.200	0.278
	第 2 次	0.133	0.167	0.161	0.194	0.275
	第 3 次	0.140	0.158	0.167	0.192	0.26
	平均	0.138	0.161	0.167	0.195	0.271

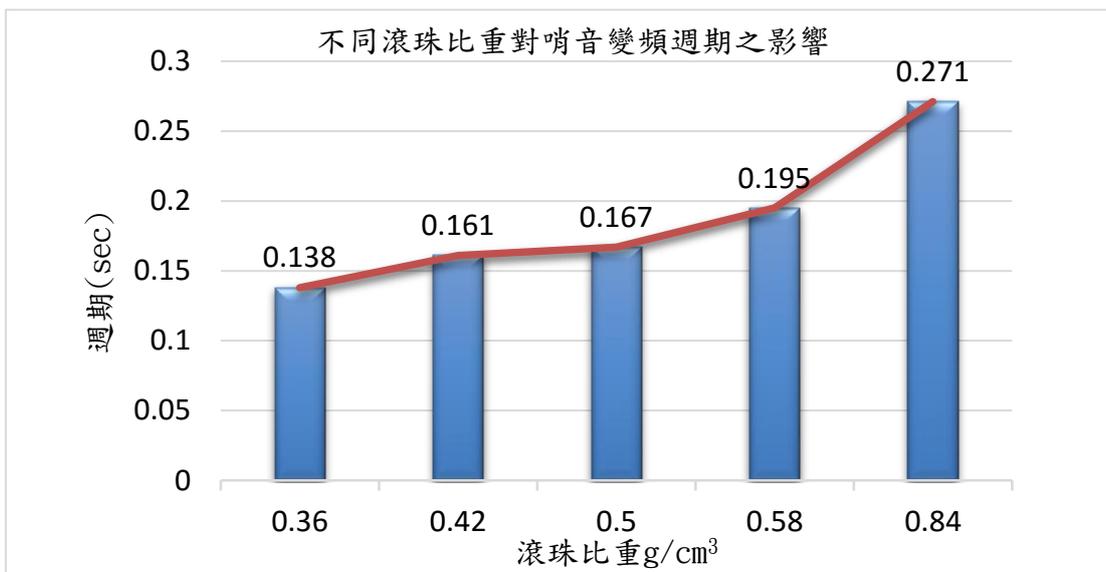


圖 7-5 實驗 2-2 結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們可以發現改變滾珠的比重同樣不會影響其哨音的一般頻率，皆約為 572 Hz，而變頻頻率約為 561 Hz。

而我們從哨音變頻週期的結果發現，滾珠的比重愈重時，則繞行一週的週期則愈長，產生這樣結果的可能原因是在同樣的氣流下，滾珠愈重，則滾速愈慢，所以產生變頻的週期也就會愈長。

(五)實驗 2-3：探討不同的滾珠大小對哨子發音的影響

我們想要探討如果放置各種不同大小的滾珠時，對於哨音所產生的差異，因此我們放置相同比重，而直徑分別是 1.5、2.0、2.5、3.0 及 3.5 公分的滾珠，然後我們測量滾珠的運動情況，實驗後得到了表 7-7 的結果。

表 7-7 實驗 2-3 實驗結果

實驗類別	變項	1.5cm	2.0cm	2.5cm	3.0cm	3.5cm
滾珠大小	影像					
	第 1 次	0.175	0.194	0.208	0.207	0.242
	第 2 次	0.160	0.180	0.210	0.217	0.227
	第 3 次	0.167	0.180	0.193	0.217	0.233
	平均	0.167	0.185	0.204	0.213	0.234

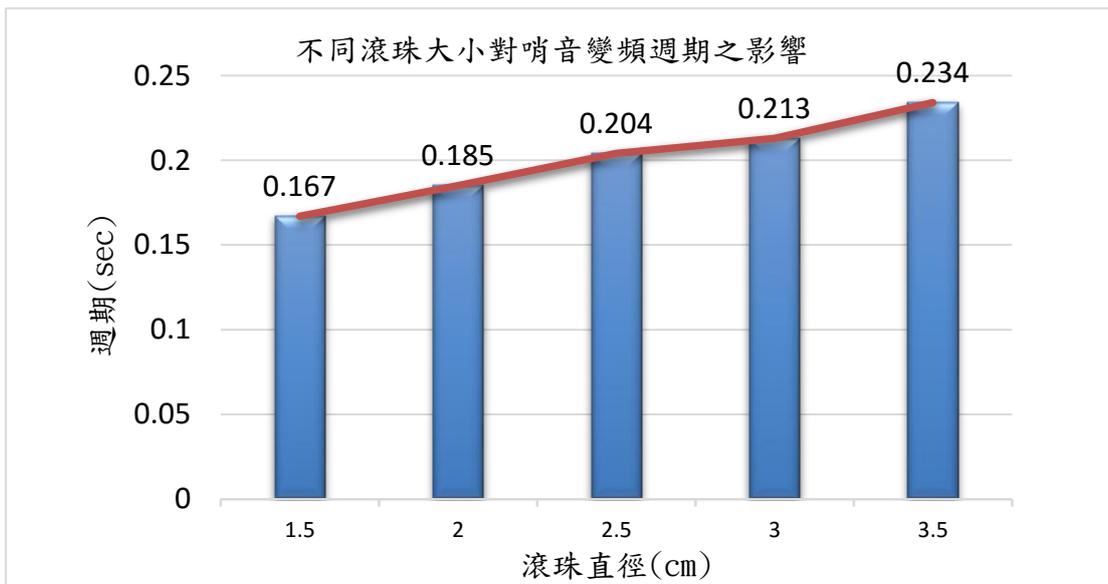


圖 7-6 實驗 2-3 結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們可以發現改變滾珠的大小時，哨音的一般頻率仍維持在 572 Hz 左右，而變頻頻率約為 561 Hz。

而我們從哨音變頻週期的結果發現，滾珠的體積愈大時，繞行一週的週期則愈長，產生這樣結果的可能原因是在同樣的氣流下，滾珠愈大，同樣造成重量增加，使滾速也隨之愈慢，所以產生變頻的週期也就會愈長。

(六)實驗 3-1：探討不同尖端之角度與位置對哨音頻率之影響

對於哨子的發音而言，尖端是一個相當關鍵的結構，並且尖端的角度及位置會相互的影響，因此我們調整尖端的角度為 20、30、40、50、60 及 70 度，並在尖端的每一種角度下，改變它的位置，每次調整 0.1 公分，然後我們測量哨音的頻率，實驗後得到了表 7-9 的結果。

表 7-8 各種角度之尖端

尖端角度	20 度	30 度	40 度	50 度	60 度	70 度
影像						

表 7-9 實驗 3-1 實驗結果

	20 度				30 度				40 度			
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
0.0	598	594	601	597.7	617	620	617	618.0	603	608	594	601.7
0.1	590	591	593	591.3	610	615	612	612.3	610	608	606	608.0
0.2	621	620	626	622.3	619	620	616	618.3	609	609	607	608.3
0.3	631	630	628	629.7	621	625	628	624.7	613	612	613	612.7
0.4	633	635	631	633.0	632	635	633	633.3	612	612	614	612.7
0.5	635	637	634	635.3	645	647	643	645.0	613	612	614	613.0
0.6	638	646	641	641.7	637	639	639	638.3	622	619	918	719.7
0.7	656	650	648	651.3	642	641	640	641.0	626	626	622	624.7
0.8	654	660	658	657.3	636	633	635	634.7	625	625	629	626.3
0.9	650	654	650	651.3	630	633	628	630.3	629	629	629	629.0
1.0	638	640	642	640.0	X	X	X	X	633	635	627	631.7
1.1	634	632	637	634.3	X	X	X	X	630	632	627	629.7
1.2	636	635	633	634.7	X	X	X	X	618	618	617	617.7
1.3	596	600	601	599.0	X	X	X	X	614	618	619	617.0
1.4	X	X	X	X	X	X	X	X	604	601	599	601.3
1.5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	50 度				60 度				70 度			
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均
00	587	589	584	586.7	544	544	546	544.7	543	539	541	541.0
01	599	597	596	597.3	563	559	560	560.7	594	588	593	591.7
02	603	601	602	602.0	599	598	598	598.3	598	598	596	597.3
03	608	608	608	608.0	611	612	608	610.3	599	600	603	600.7
04	612	608	609	609.7	614	614	615	614.3	608	609	609	608.7
05	615	618	614	615.7	622	622	623	622.3	611	612	612	611.7
06	629	628	631	629.3	632	631	632	631.7	614	612	613	613.0
07	631	632	630	631.0	621	623	621	621.7	617	618	616	617.0
08	629	629	628	628.7	629	633	632	631.3	625	626	623	624.7
09	631	630	628	629.7	633	632	632	632.3	625	618	618	620.3
10	625	626	625	625.3	632	632	632	632.0	617	618	618	617.7
11	605	606	609	606.7	621	623	621	621.7	616	616	614	615.3
12	X	X	X	X	602	603	604	603.0	601	601	606	602.7
13	X	X	X	X	601	600	600	600.3	600	599	603	600.7
14	X	X	X	X	599	600	602	600.3	597	599	598	598.0
15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

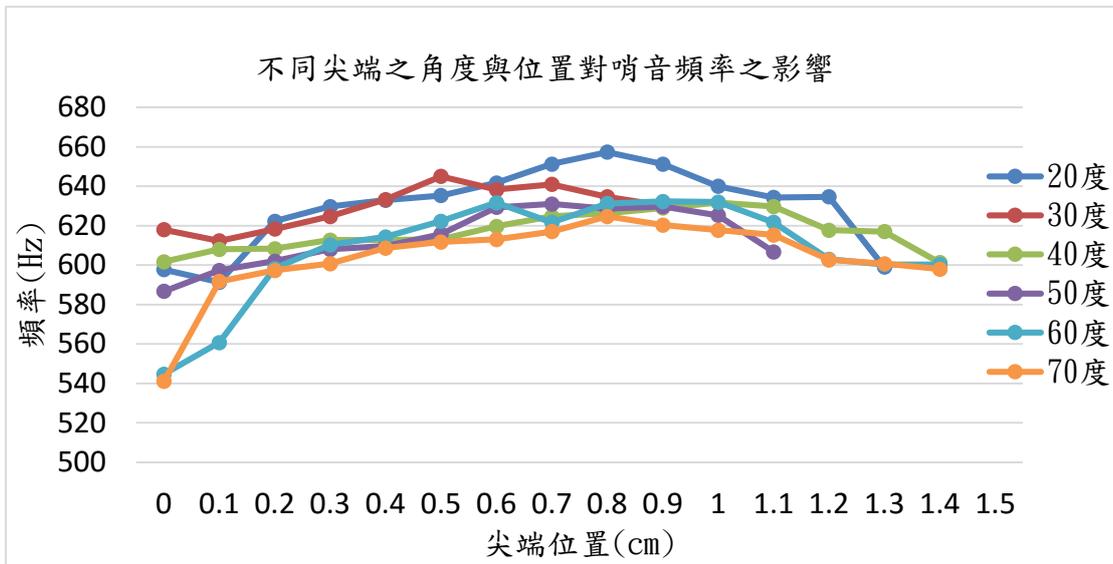


圖 7-7 實驗 3-1 結果直方折線圖

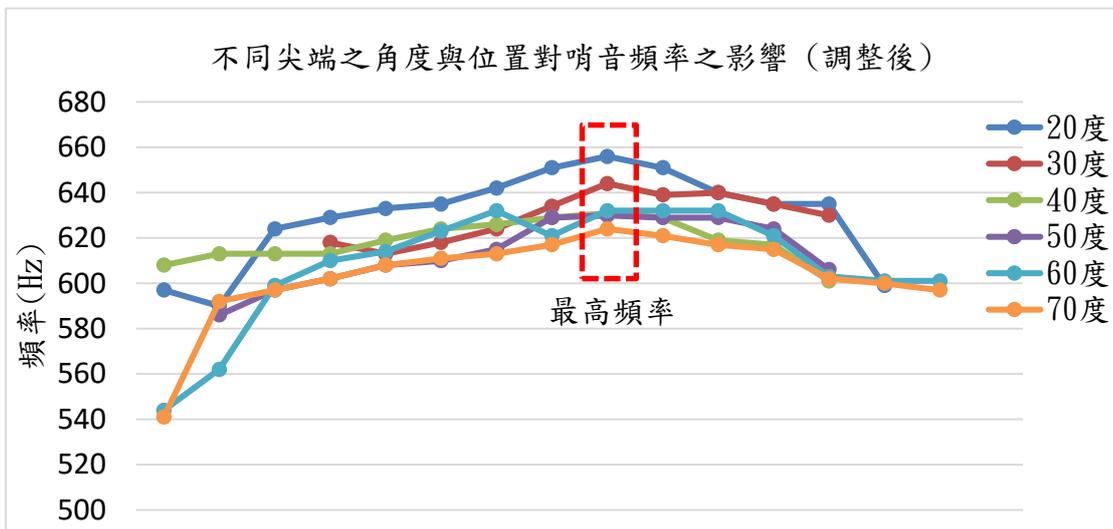


圖 7-8 實驗 3-1 結果直方折線圖(調整後)

討論：

從實驗結果中，發現在每一種尖端的角度下，其位置皆會影響哨音的頻率，例如 20 度尖端時，位置為 0.8 公分時，會有最高頻率的哨音，因此適當的尖端位置相當重要。

另外，我們也發現尖端 20 度時，其頻率最高可達到 657.3Hz，而在尖端為 70 度時，則最高音頻就只能達到 624.7 Hz，因此尖端愈尖可產生愈高的哨音頻率。

考量到不同的尖端之哨子模型皆需重新製作，所以會產生一些誤差，造成分析的困難，因此我們將圖 7-7 進行調整，將每一個尖端角度之最高頻率調整成相同位置，重新得到圖 7-8，也讓我們發現，尖端的角度與位置會相互作用而影響哨音頻率，並且適當的位置及較尖銳的尖端會產生較高頻率的哨音。

(七)實驗 4-1：探討不同分氣孔數量對哨音頻率之影響

在我們平常使用哨子時，吹氣速度好像也會影響到哨音頻率及變頻的情況，因此我們決定探討在不同的吹氣速度下，哨音頻率及變頻週期的改變，我們採取的方法是調整吹氣管上的分氣孔數量為 0、2、4、6、8 與 10 個，當分氣孔愈多時，則代表吹氣速度愈慢，然後我們測量哨音的頻率以及滾珠的運動，實驗後得到了表 7-10 及表 7-11 的結果。

表 7-10 實驗 4-1 哨音頻率實驗結果

實驗類別	變項	開 10 個洞	開 8 個洞	開 6 個洞	開 4 個洞	開 2 個洞	開 0 個洞
分氣孔數量	影像						
	第 1 次	599	611	639	655	667	667
	第 2 次	603	606	635	653	663	667
	第 3 次	594	611	637	656	655	664
	平均	598.7	609.3	637	654.7	661.7	666

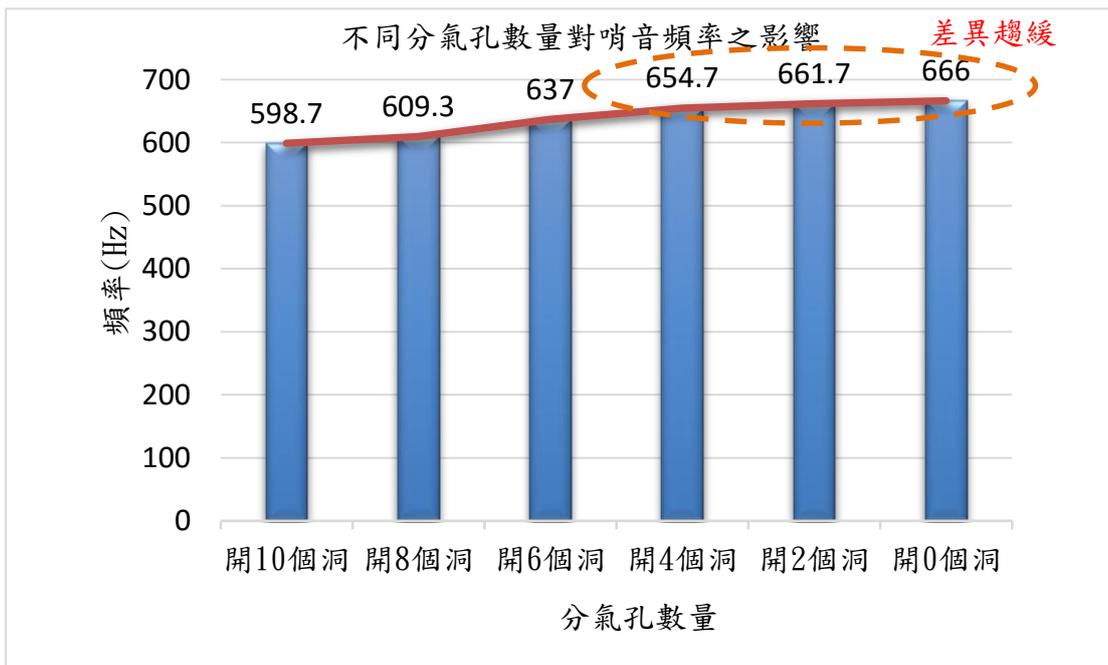


圖 7-9 實驗 4-1 哨音頻率結果直方折線圖

討論：

從實驗結果中，我們可以發現當吹氣速度愈快時，會使哨音的頻率愈高，但是增快的幅度有變小的趨勢，因此代表吹氣速度愈快會提升哨音頻率，但仍有其極限。

另外，在哨音變頻方面，我們也一併觀察滾珠的運動狀態，從結果中發現，吹氣速度愈快，變頻週期愈短，但仍然可看到在開 2 個洞與 0 個洞時，已看不出差異，所以代表吹氣速度對於加快變頻週期是有極限存在。

表 7-11 實驗 4-1 哨音變頻週期實驗結果

實驗類別	變項	開 10 個洞	開 8 個洞	開 6 個洞	開 4 個洞	開 2 個洞	開 0 個洞
分氣孔數量	第 1 次	0.143	0.13	0.121	0.103	0.091	0.092
	第 2 次	0.153	0.133	0.127	0.103	0.091	0.091
	第 3 次	0.15	0.14	0.124	0.11	0.094	0.093
	平均	0.149	0.134	0.124	0.106	0.092	0.092

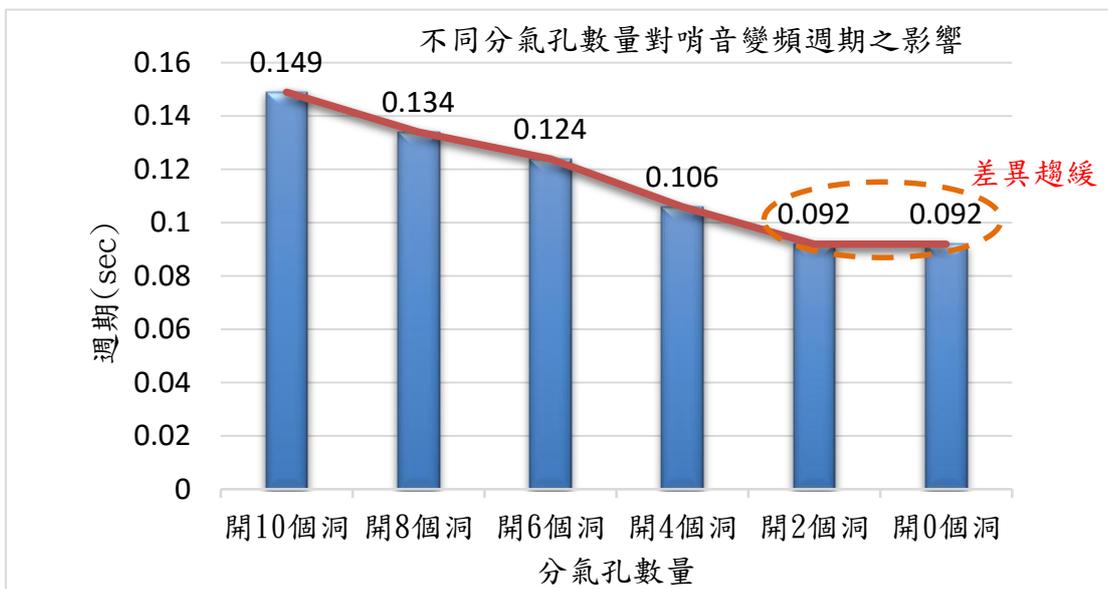


圖 7-10 實驗 4-1 哨音變頻週期結果直方折線圖

(八)實驗 5-1：探討哨子發音時的氣流及振動

我們除了探討哨音的頻率及變頻週期外，也對於哨子發出聲音時，空氣的流動以及哨子的振動感到好奇，所以我們注入煙霧及放置細砂來分別觀察氣流及振動情形，結果如下。

在實驗 5-1 中，我們使用煙霧機，將煙霧注入吸塵器之吸氣口，再由吹氣口進入哨子內，可以從影片中觀察到煙霧由吹口進入後，被尖端分為上下二道氣流，與文獻探討所得到的概念相同。



圖 7-11 將煙霧注入哨子中

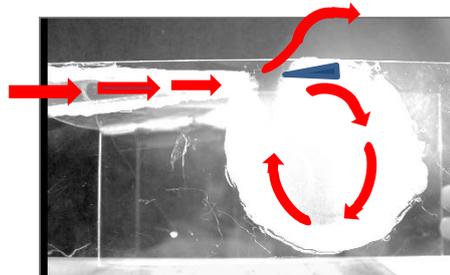


圖 7-12 氣流流動示意圖

(九)實驗 5-2：不同形狀之哨子所產生的振動

我們平放哨子，並在上方鋪上細砂，接著開始吹鳴哨音，觀察砂子在振動下所形成的圖案(如表 7-12)，由各個不同音室的哨子所產生的圖形，我們發現不論是形狀或大小的改變，皆會使內部的振動有了特殊的變化。其中圓形音室的部份，可以明顯看到音室部份的砂子大多因為振動而移動到音室外圍，由此可知哨音的產生主要來自於音室內的振動，而多邊形音室內的區域仍殘留許多的砂子，也代表多邊形的音室部份空間的振動情形相當微弱，所以仍有砂子停留在上面。

另外，我們在音室外的區域觀察到一些突出的尖角，也許是共振的特殊結果。

表 7-12 砂子在振動下所形成的圖案

音室種類	圓形直徑 5.2cm	圓形直徑 6.5 cm	圓形直徑 7.5 cm	圓形直徑 8.5 cm
振動圖案				
音室種類	橢圓形	正三角形	正方形	正五邊形
振動圖案				

(十)實驗 5-3：不同形狀之哨子所產生的振動

我們進一步討論後，想要探討當尖端位置不同時所產生的不同頻率是否會形成不同的砂子圖形，所以我們同樣平放哨子(直徑 9.3 公分)，開始吹鳴哨子，並調整尖端位置，我們發現在三個位置是哨子相對清楚，其頻率分別是 426Hz、2160Hz 以及 3800Hz，此時砂子的形狀變得具有規律性(如表 7-13)

表 7-13 砂子在振動下所形成的圖案

頻率	426Hz	2160Hz	3800Hz
振動圖案			

依據文獻探討中的一端開口一端封閉之駐波公式 $f_m = \frac{v}{\lambda} = (2m - 1)\frac{v}{4L}$ ，我們將砂子的圖形進一步分析，觀察其中的節點分別為 0 個、2 個及 4 個，此時 m 值分別為 1、3 及 5，換算頻率大約與測得之頻率吻合，分別為 1 倍、5 倍及 9 倍(如表 7-14)。

但是，發現 m 值為 2 及 4 的頻率並沒有相當清晰，我們討論後認為可能是其他的共振頻率較容易在圓形共鳴腔中形成駐波，而覆蓋過了 m 值為 2 及 4 的駐波，所以也無法形成節點數為 1 及 3 的砂子圖形

從此實驗可以了解，哨子的聲響的確是來自於氣流遇到尖端所產生的振動，而共鳴腔將這些符合其頻率的振動聚集並釋放出來，所以相同的共鳴腔是可以產生多種不同的頻率之聲響的。

表 7-14 砂子在振動下所形成的圖案

節點分析			
節點數	0	2	4
m 值	1	3	5
頻率倍數	1	5	9

八、結論與建議

綜合本研究五大目的之九個實驗所獲得之結果及討論，我們推論出下列十二項結論及三項建議，以下依序說明。

(一)結論：

1. 哨音的頻率與音室的直徑呈現反比，如果改變音室的大小則可以改變哨子的頻率。
2. 音室的形狀愈接近圓形，所產生的變頻愈穩定，週期愈短。
3. 哨子水平放置時，可以使滾珠滾動或變頻週期加快且穩定，而多邊形音室則易阻礙滾珠的運行。
4. 滾珠不會影響其哨音的一般頻率，而會出現較低的變頻頻率，使哨音有變化。
5. 當滾珠少量時，則滾珠愈多，變頻週期愈短，但數量過多時，滾珠的速度反而變慢。
6. 滾珠的比重愈重時，變頻的週期也就會愈長。
7. 滾珠的體積愈大時，變頻的週期也就會愈長。
8. 適當的尖端位置以及較尖銳的尖端會產生較高頻率的哨音。
9. 吹氣速度愈快，能提升哨音的頻率，但仍有其極限。
10. 吹氣速度愈快，能縮短哨音變頻週期，同樣具有極限。
11. 音室形狀或大小的改變，皆會使內部的振動有了特殊的變化。
12. 相同的音室會因為外來振動的差異，而產生不同駐波及頻率。

(二)建議：

1. 本研究只針對校園最為常用之滾珠哨進行研究，未探討其他種類的哨子，所以未來可針對其他的哨子進行研究。
2. 本研究只針對哨子的五個主要項目來討論，但是應該還有許多方面改變留待未來研究進一步探討。
3. 本研究有關哨子的發展，我們只設計可發出特定音高的不同音室大小的哨子，也許仍有許多的變化可待發展。

九、參考資料

津田妍子 (民 89 年)。科學遊戲大圖鑑。台北市。益群書店。

各類哨子。痞客邦。民 104 年 12 月 6 日，取自：
[http://golavagogi.pixnet.net/blog/post/214048004-各類哨子\(求生哨\)](http://golavagogi.pixnet.net/blog/post/214048004-各類哨子(求生哨))

為啥麼吹哨子會出聲音??。Yahoo 奇摩知識⁺。民 104 年 12 月 10 日，取自：
<https://tw.answers.yahoo.com/question/index?qid=20090404000010KK06798>

為什麼從前的哨子裡有個小球?。知乎。民 104 年 12 月 10 日，取自：
<https://www.zhihu.com/question/20913678>

聲音。維基百科。民 102 年 2 月 12 日，取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/聲音>