

臺北市第 52 屆中小學科學展覽會  
作品說明書封面

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：雞鳴不舍-尖叫雞發聲原理探討

關 鍵 詞：聲波、音高



哈囉!大家好!我是林沛弘，今年 12 歲，就讀於吉林國小五年一班。我的興趣是打籃球和打電動，我的專長是競走、畫畫和打球。我是一位活潑、有趣、調皮的小五生，但是我一旦想要解決一件事情時，我會下定決心、努力的去完成。

我做完了這次科展後，心得是：即使遇到困難我也不會放棄，因為實驗時經常遇到許多困難、挫折，例如：我們算出空氣柱能發出 Do、Re、Mi、Fa、So、La、Si、低音 Do 的長度時，實際能發出的聲音是 Do、Do#、Re、Re#，我們也不知道為什麼？詢問音樂老師後，就算知道了有哪些問題，也沒有能力改進，當時我以為實驗失敗了、無法再繼續做下去了，好險！最後有 3D 列印機前來支援，我們才得以把實驗做完。

「就算遇到了困難，也不能放棄」這就是我的原則，或許就是這個原則讓我的科展可

以順利完成，也可以進市內比賽吧。



大家好，我是黃建維，今年 11 歲，興趣是打電動和騎腳踏車。

我這次做的科學展覽是尖叫雞的實驗。我覺得這個實驗很特別，因為平常我們都把尖叫雞拿來按好玩而已，可是沒想到尖叫雞可以變成唱歌的工具!不過，為了可以完成尖叫雞唱歌的任務，我們必須把尖叫雞的脖子給剖開，把發聲器中的發音管和響笛拔掉，用 3D 列印機印製新的發聲管，響笛的方向轉 180 度，按下去的時候發出不同的聲音。研究過程雖然很困難，但是我們還是盡全力完成，獲得美好的成功經驗。



大家好，我是五年五班吳艾潼，喜歡做實驗、交朋友、畫圖和了解自己喜愛的事物。我是固執的處女座，對任何事情都追求完美，所以通常畫一小張的畫，就要花上半天呢。

這是我第一次嘗試做科展，以前我認為科展只是一種既無聊又浪費時間的活動，現在我體驗過科展後，才發現科展這麼好玩!

透過這個有趣的實驗，了解尖叫雞可發出的音階數量、空氣管柱、簧片位置、管壁材質和聲音的關係，我深入瞭解：因為不同簧片位置還有音高的表現差異，讓這個世界上誕生了畢氏音程和十二平均律。

在這次的科展中，我不僅學到了許多新知識，更領悟了團隊合作的重要!



大家好，我叫吳彥辰，今年 11 歲，我是天秤座，我喜歡打籃球和打桌球，只要聽到和籃球有關的事，我就會跑過去一探究竟。我目前正就讀吉林國小 4 年級，是個好奇又好動的孩子，除了運動之外，還喜歡玩樂高，自己組合積木拼出各種造型，例如飛機、快艇等，看到成品就覺得很開心又有成就感。

在這次實驗中我學到了無論有多大的困難，都要勇敢面對，不能逃避；像這次實驗在吹氣量和音高的表現是很難控制，最後我們還是完成了，我覺得這個有關尖叫雞能發出這麼多的聲音的實驗，很有趣。



哈囉！大家好，我叫蔡承安，今年 10 歲，我是金牛座，我喜歡的顏色是黑色，我喜歡打棒球、踢足球，我最喜歡看科學實驗王或科學發明王，我是一個活潑好動的男孩，以前只要有困難的時候，我就會放棄，現在只要有我想做的事，我一定會完成它。

這一次我的實驗心得是：無論是多大的的困難，我一定要去克服它。我們常常在實驗時碰壁，像是說我們在做塑膠管時，會突然跳過 Fa 跟 So，我們不管用什麼材質，我們都沒辦法找到全部的音，可是我們並沒有放棄這份決心，我們最後還是完成他了。



我名叫謝家豪，今年 11 歲，我的星座是天蠍座，目前就讀吉林國小五年級，我喜歡田



徑運動、跑步、打籃球還有扯鈴，最喜歡閱讀有關科學和動物相關的書籍。

我覺得我藉由這次的科展，讓我了解到尖叫雞的構造和發聲原理，原來一個小小不起眼的玩具，可以讓我們做這麼多的研究，像是裡面簧片的位置，和裡面管子的管徑、管子長度還有管壁的材質，都會影響到尖叫雞發出聲音的高低，連按壓尖叫雞位置的不同都會影響發出的聲音，這次的科展真是讓我覺得好玩又有趣。

## 目錄

作品名稱 雞鳴不舍-尖叫雞發聲原理探討

壹、研究動機	11
貳、研究目的	11
參、研究設備與器材	12
肆、研究流程	12

伍、研究結果與討論	13
陸、研究結論	28
柒、參考資料	30

# 作品名稱 雞鳴不舍-尖叫雞發聲原理探討

## 摘要

前一陣子網路上流傳運用尖叫雞來吹奏流行歌曲、結婚進行曲或卡農，所以我們想到如果用尖叫雞表演應該會令人耳目一新。因此我們以尖叫雞為題材進行實驗，了解尖叫雞可發出的音階數量、空氣管柱、簧片位置、管柱材質和聲音的關係。實驗結果發現發聲管材質會對於空氣柱的長短有很大的影響，空氣柱越短音高越高；此外，簧片的位置與簧片和管壁間隙也會影響音高，簧片位置越靠近吹口，簧片的震幅越大，音高也越高。最後，我們認為網路上僅使用一隻或二隻尖叫雞應該無法吹奏完整的流行樂曲，僅能使用尖叫雞奏音階數量較少的童謠。

本研究與康軒版自然與生活科技六年級上學期『聲音與樂器』單元相關聯。





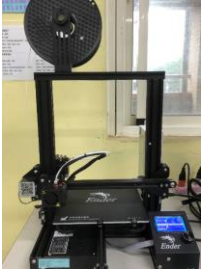



## 壹、研究動機

在網路上看 Youtube 影音平台影片時，我看到有人用尖叫雞（又稱吶喊雞或慘叫雞）當作樂器演奏結婚進行曲，也有人用尖叫雞幫歌手鄧紫棋和五月天的歌曲進行配樂，真的很有趣！因此我想在期末才藝發表會的時候，如果能用尖叫雞來演奏流行歌曲應該會讓大家耳目一新，所以我們決定用尖叫雞當作主題，除了了解尖叫雞的發聲原理，還可以了解尖叫雞是如何發出各種不同的聲音，最後在用尖叫雞來演奏一首歌曲。

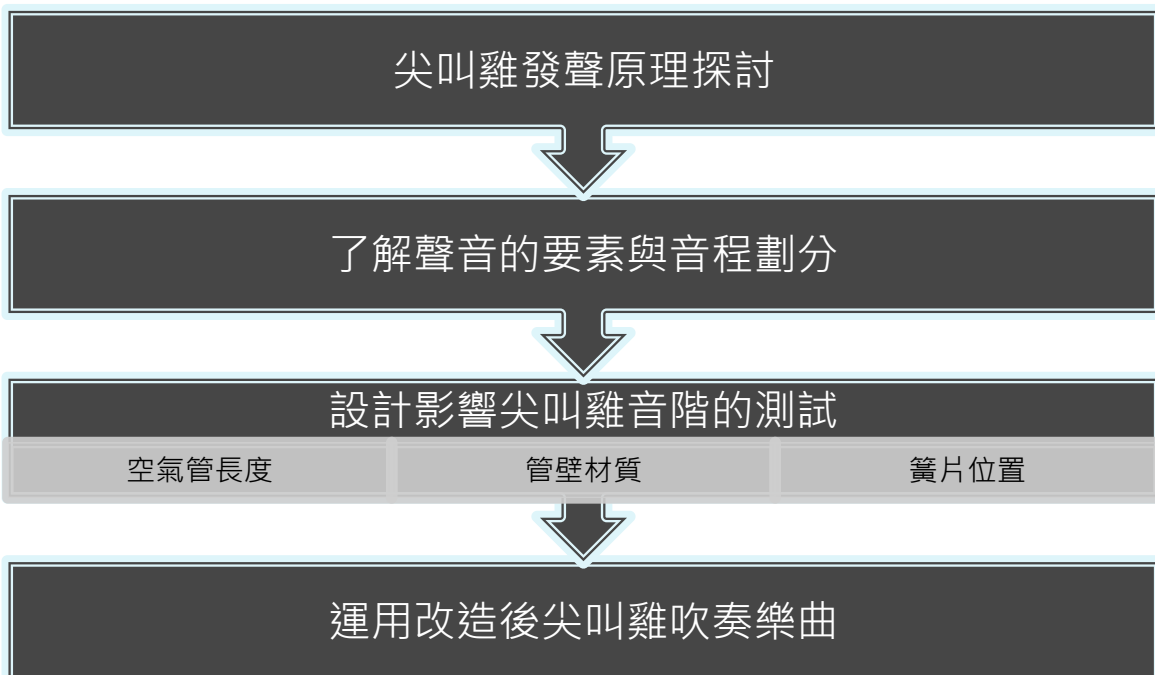
## 貳、研究目的

- 一、比較不同長度的空氣柱，其音高表現的差異情形。
- 二、比較不同材質的發音管，其音高表現的差異情形。
- 三、比較不同簧片位置，其音高表現的差異情形。
- 四、能運用改造過的尖叫雞演奏歌曲。

### 參、研究設備與器材

			
平板電腦	尖叫雞	竹籤	熱溶膠槍
			
3D 列印機	塑膠管	矽膠管	球形麥克風

### 肆、研究流程



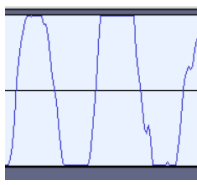
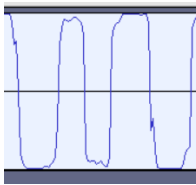
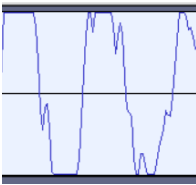

## 伍、研究結果與討論

### 一、實驗一 尖叫雞發音的頻率

#### (一) 尖叫雞聲音的頻率

剛開始研究的時候我們去買了一隻尖叫雞來按壓，想試著讓尖叫雞發出不同的聲音，一開始我們按了雞的肚子，結果雞發出「嗚～嗚～」的聲音，再按大力一些則發出「嗚～啊」的聲音，我們覺得力氣的大小和聲音的高低有關，所以又分別從雞的翅膀、胸口、雞腳、雞屁股來壓，我們發現相同力氣時，不論是哪個位置都是「嗚～」，力氣大一些時，雞的聲音聽起來是「嗚～啊～」，最大力時聽起來是「啊～嗚～啊」或「啊～啊～」的音。根本就和我在 youtube 影片上聽到很多音調的尖叫雞唱歌影片不同。我們跟老師討論後，老師覺得我們用耳朵聽可能不準，先借我們錄音專用的球型麥克風，並教我們使用 Audacity 軟體記錄不同位置聲音的頻率和聲音的波形，頻率與波形如表一所示。

表一 按壓尖叫雞不同位置之聲音頻與波形表

位置	胸部	腹部	翅膀	腿部
頻率 (Hz)	1260	441	1075	441
波形				

表一為 Audacity 軟體分析頻率和波形的記錄表，波形擷取方法是在按壓尖叫雞後，波形音量顯示到穩定與最大值後進行擷取，擷取時間為 2 毫秒(ms)之片段波形。由表一可知按壓胸部和翅膀的頻率較高且接近，而按壓腹部和腿部的頻率相同；而按壓胸部和腹部的波形較為相似，按壓翅膀則和腿部位置波形較相似。顯示按壓尖叫雞應該可以產生 3 種左

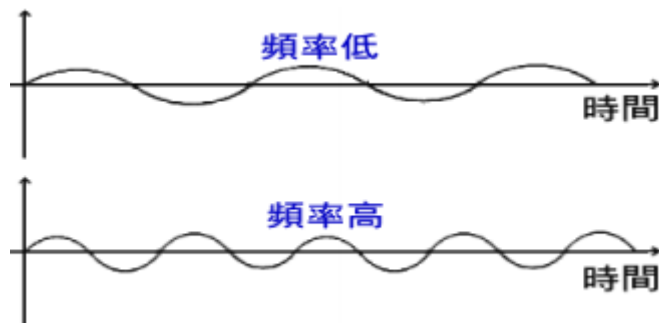
右的音高，但由於胸部和翅膀的頻率相似，可以了解為什麼我們在聽尖叫雞的時候有時候是「嗚～」，有時候是「啊～」，或是「啊～嗚～阿」的音。

## （二）聲音的要素

我們和老師討論後發現，不管尖叫雞怎麼按都只能聽出三種音高，從表一也證實尖叫雞應該沒辦法發出一個完整的八度音階，為了解網路影片的尖叫雞發出那麼多聲音的原理？老師建議我們應該把尖叫雞的發聲器拿出來看看，並了解聲音是怎麼產生了。

原來聲音是一種波動，動物或人類可以聽到聲音是因為物體震動的結果，而固體、液體和氣體都可以震動，當聲波傳道耳朵造成壓力改變，使耳朵裡的鼓膜產生震動，所以我們就聽到了「聲音」，探討聲音時要注意三個要素：

- 1.音調：音調又稱為音高，也就是聲音的高低。聲音的高低是由震動的頻率所決定的，在相同時間下震動的次數越多，頻率也就越高；反之，如果震動的次數越少，則頻率越低。測量音調的單位叫做赫茲（Hz）。



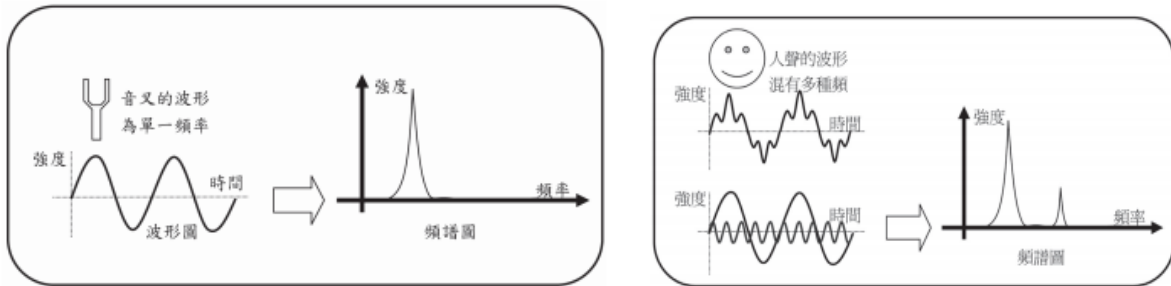
圖一 震動頻率與時間關係圖

資料來源：科學小芽子，2013。

- 2.音色：可以區辨不同樂器和不同聲音的原因就在於，每種樂器或人的聲音不同。但樂器和人的聲音都是由好幾個不同的頻率值震動組成的，綜合不同聲音的頻率後，不同樂器或人的聲音聽起來有不同的感覺，這種感覺就是音色，而音色是不是一樣就是由「泛音」的結構所決定，泛音的結構是由泛音的數目、強度還有位置分布所組成的（葉麗如，2013）。如果以弦樂器來看，頻率震動最低者則是基音，頻率較高者則稱做泛音，混合多個泛音的稱之為諧音，而人和樂器的波形通常都混有好幾個種

類，所以除了圖二音叉是很純的單頻聲音，所以頻譜圖只看到一個高峰（峰值）以外，如果是人類的聲音會出現兩個以上的峰值（金佳龍，2008）。

3.響度：響度與就是聲音的大小，又稱為音量。也就是發音物體震動的幅度，如果震動的幅度越大那麼聲音就越大聲，震動的幅度越小則越小聲。



圖二 音叉與人聲的波形及其頻譜圖  
資料來源：余佳龍，2008

## 二、實驗二 空氣管長度與音高的關係

### （一）變項說明與流程

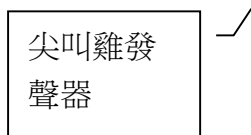
我們以塑膠管的空氣長度作操縱變因，尖叫雞發聲器、發聲器沒入管子長度為控制變因，應變變因為平版電腦調音器顯示之音階。其流程如下：

- 1.量取可塞入尖叫雞之最長軟管長度 60 公分。
- 2.發聲器沒入管子 1 公分。
- 3.吹奏發聲器，並用錄音軟體記錄。
- 4.用調音器測量音階。

### （二）環形空氣柱與聲音的關係

了解聲音的組成要素後，我們把尖叫雞的發聲器拿出來，發現尖叫雞發聲器的構造（如圖三所示）是最下端（前端）有一個響笛，所以按壓尖叫雞的時候空氣流入讓響笛發出聲音。再把響笛打開後發現，發現它是由一個半月形的塑膠和一小片透明的塑膠片組成，所以我們推測有幾個原因會影響尖叫雞的聲音：1.響笛上方（後端）管子的長短。2.響笛的透明塑膠片和半月形塑膠。





圖三 尖叫雞聲音構造圖

這次在實驗前，我們把聲音要素的資料拿出來看，還有重新上網找空氣柱和聲音的關係。文獻上說共鳴和共振都有固定的頻率，其中一個物體震動引起另一個物體也同時震動時稱為共振，共振發出聲音時則稱為共鳴。管樂器的共鳴和空氣管的長度、形狀和管樂器兩端是否口有關，管樂器一端開一端閉稱為閉管，兩端皆開有開口稱為開管，而空氣柱越長裡面的空氣比較不容易振動，所以音高比較低；而空氣柱越短，代表裡面的空氣較少，因此較容易產生振動，音高也比較高。這也是為什麼用玻璃杯當成打擊樂器時，水放的越多，聲音越高，杯子裡面的水越少，聲音比較低的原因。

### (三) 環形空氣柱與聲音關係研究結果

我們拿出尖叫雞的發音構造後，發現尖叫雞的發聲構造長長的（圖三），用嘴巴直接吹氣時會有空氣從另一端跑出來，所以我們認為尖叫雞應該是開口的管樂器，也就是空氣管的長度會影響吹出來的音高，所以我們把尖叫雞的管子拿出來，發現發聲構造的總長度是 17.3 公分，而響笛的長度是 3 公分，扣除前端固定發聲器的管子，環形空氣柱的長度是 13.8 公分，但最末端的大環形柱共有 18 個圓圈，總長度為 7.2 公分，如果我們一環一環的剪掉，也就是每次少 0.4 公分，那麼音調應該會越來越高才對。環形空氣柱縮短與聲音變化的關係如表二所示。

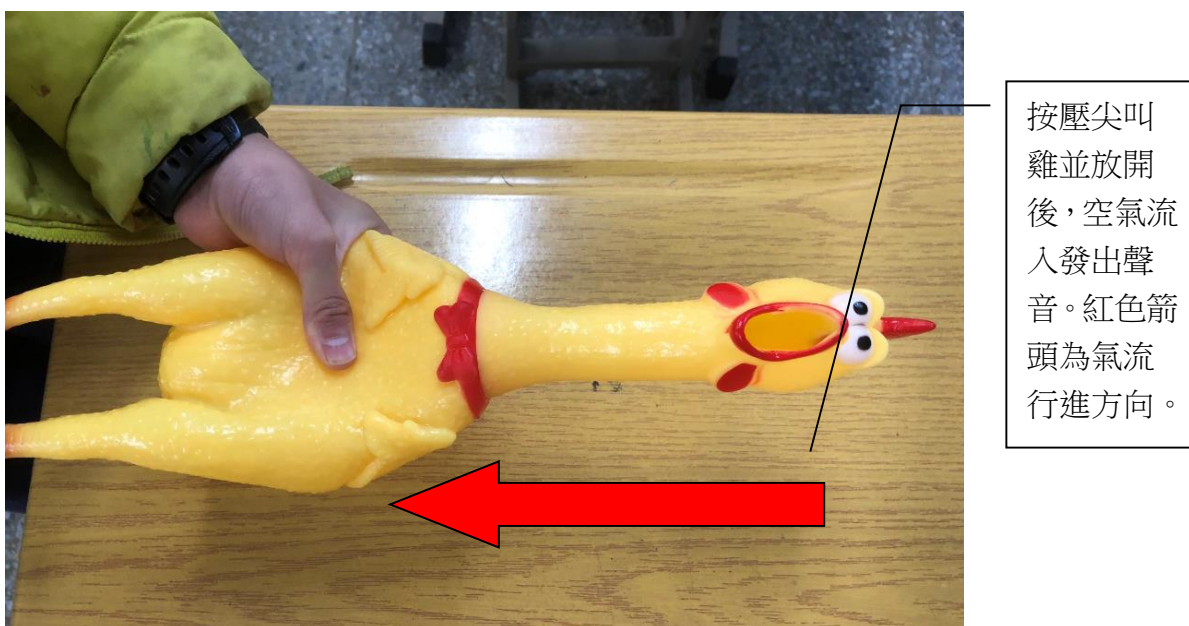
表二 環形空氣柱長度與音高的關係

	環形空氣柱長度（單位：公分）							
	13.8	13.4	13	12.6	12.2	11.8	11.4	11.0
頻率（Hz）	565	565	572	568	565	583	565	565

由表二可以發現，我們在相同口形和相同音量吹的情形下，空氣柱的長度不斷減少，但是聲音的頻率並沒有越來越高，即便我們吹的很大聲，頻率也只有到 612Hz。換言之，



音高好像是跟我們吹氣的大小有關，而不是跟空氣柱有關，和我們手邊所有的資料都不一樣。我們拿音樂課用的高音笛來比較差異，結果我們發現笛子在吹的時候吹嘴在上面，手裡按的孔洞在下方，而我我們吹尖叫雞的發聲構造時，必須從環形空氣柱的地方吹才有聲音（因為尖叫雞是按下去沒聲音，放開吸入空氣才有聲音，所以空氣是從環形開口進入，如圖四）。換言之，我們從環形開口吹，改變的是進入響笛的空氣量，但響笛後方沒有空氣柱，也就是我們測量到頻率的一些差異，應該是吹氣大小造成的，而不是空氣柱差異造成的結果，所以我們要改變的應該是響笛後方的空氣柱長度，而不是去改變環形柱子的長度。



圖四 尖叫雞氣流行進方向

### 三、實驗三：塑膠管空氣柱實驗

#### （一）畢氏音程和塑膠管空氣柱的關係

由文獻中我們發現空氣柱應該是接到響笛的後方，所以我們把響笛從尖叫雞的發聲構造裡取出，我們測量響笛的管徑長度是 0.8 公分，所以買了管徑內徑長度為 0.8 公分的塑膠管以方便最後塞回尖叫雞肚子時可以彎曲。

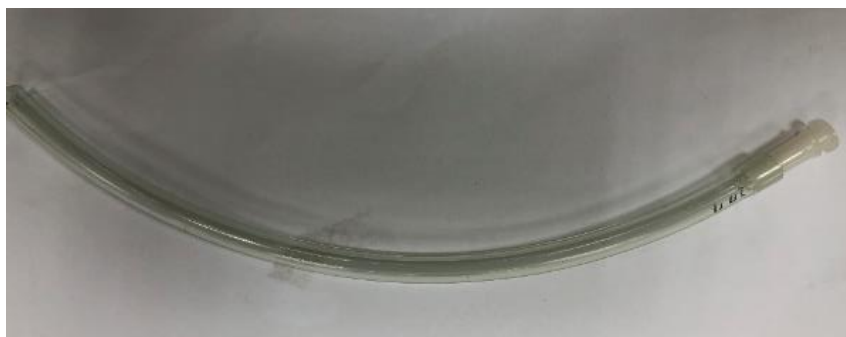
因為不了解空氣柱應該要多長才會發出音程中 Do 的聲音，所以又繼續上網查資料。發現音樂的音階（音調）與畢達哥拉斯有關，據說畢達哥拉斯經過打鐵舖時，聽到鐵匠打鐵發出的聲音有些是和諧的，有些是刺耳的，因此進行實驗發現，人們可以隨便創造一個音階，再用這個音階的弦長當作基準，運用 1:2 形成一個八度音程，再運用 2:3 可以發現新

的音。舉例來說，如果我們將某段弦長所發出的聲音訂為  $x$ ，把  $x$  乘以 2，變可以得到低一個八度的  $x$ ，如果乘以  $3/2$  變可以得到一個新的音，再把這個新的音乘以  $3/2$  就可以再得到一個新的音，不過  $3/2$  和  $3/2$  相乘會跑到下一個八度，因此必須在除以 2 回到原來的音程，如此周而復始計算就可以得出完整的八度，也就是畢氏音程。

基於前面的數學計算方法，如果我們先選取一段塑膠管的長度當作基準，把他的聲音用調音器記錄下來，再依照畢氏音階的演算方式，就可以得出一個八度音程。換言之，只要決定好空氣柱的長度後，理論上經過計算後的塑膠管長度應該要等同於畢氏音階演算後的音。

## (二) 依據畢氏音程理論之管長度計算結果

由於我們進行尖叫雞演奏時，所有的發聲構造還是要塞回雞的肚子，經測量後發現塑膠管最大長度為 60 公分，所以 60 公分長的塑膠管為基準的低音 Do，再依照畢氏音程，推算出其他音階，其長度依序為 54、47、45、40、36、32 和 30，則可以得到依序為 Re、Mi、Fa、So、La、Si 與高音 Do 等八個音，塑膠管與發聲器連接方式如圖五所示。



圖五 塑膠管與發聲器連接圖

表三 畢氏音程與塑膠管空氣柱長度的關係

塑膠管長度	60	54	47	45	40	36	32	30
畢氏音階	C'(Do)	D(Re)	E(Mi)	F(Fa)	G(So)	A(La)	B(Si)	C(Do)
調音器音階	C' #	D #	C'	C' #	C'	C' #	C' #	D
頻率 (Hz)	565	612	518	565	525	544	565	572

由表三可知，將 60 公分的空氣柱長度所發出的音當作低音 Do，它在調音器的表現為升 Do，其頻率為 565Hz，而 30 公分的空氣柱發出的聲音在調音器為 Re，頻率為 572Hz，雖然有往上一個音階，但並沒有像畢氏音階有高八度，而其他依照畢氏音程所推算的音階，調

音器顯示為低音 Do、升 Do、Re 或升 Re。再從頻率來看，也沒有隨著空氣柱的縮短而頻率逐漸上升。因為我們看了空氣柱和畢氏音程的資料，發現空氣柱縮短聲音的頻率應該要越高，所以我們跟音樂老師討論，認為可能有以下原因：

1. 材質的關係造成未能符合畢氏音程理論。
2. 吹奏力氣的大小造成音高的差異。
3. 畢達哥拉斯用弦長調整音階，有沒有可能空氣柱長度上並不相同。

### (三) 塑膠管空氣柱實驗結果

為了解決吹奏力氣的大小問題，我們使用氣球進行實驗，我們將氣球固定打氣五下，使得氣球內的空氣容量盡量相同，再將氣球套上吹口，接著放開氣球進行錄音和調音器的確認。結果發現氣球送氣的狀況並不穩定，調音器的數值不停的跳動無法穩定記錄，因此只好再改回由人來吹氣，但盡量控制送氣的穩定性並在分析時擷取波形穩定歷時 1 秒鐘的音頻進行分析。此外，為了避免畢氏音階弦長和空氣柱的差異造成不合理的理論情形，所以我們改成從 60 公分，一次只剪取 1 公分，並進行記錄，了解不同空氣柱長度可能在音高上的變化，其結果如表四所示。

表四 塑膠管空氣柱長度在調音器的表現情形

長度	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50
音階	D	D	D	D <sup>#</sup>	D <sup>#</sup>	D <sup>#</sup>	D	D <sup>#</sup>	B	C'
頻率	572	573	570	620	620	621	568	639	501	261
長度	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40
音階	B	C'	C'	C'	C' #	C' #	B	C'	C'	C'
頻率	987	512	510	530	560	565	506	518	520	522
長度	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30
音階	C'	C'	C' #	C' #	C' #	C' #	C' #	C' #	C' #	D
頻率	525	526	551	563	565	564	551	565	550	572
長度	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
音階	D	D	D	D <sup>#</sup>	D <sup>#</sup>	D <sup>#</sup>	E	E	E	A
頻率	568	570	572	630	635	630	321	322	322	222
長度	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
音階	A <sup>#</sup>	A <sup>#</sup>	B	B	B	C	C <sup>#</sup>	D	E	E
頻率	227	225	490	490	488	518	551	588	324	324

長度	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
音階	D <sup>#</sup>	D <sup>#</sup>	D <sup>#</sup>	C	C	C	C	C	C	C
頻率	606	604	604	512	512	525	525	531	537	531

#### 四、實驗四：空氣管材質和音高的關係

##### (一) 變項說明與流程

我們以矽膠管的空氣長度、空氣管材質當作操縱變因，尖叫雞發聲器、發聲器沒入管子長度為控制變因，應變變因為調音器顯示之音階。其流程如下：

- 1.量取可塞入尖叫雞之最長軟管長度 60 公分。
- 2.發聲器沒入管子 1 公分。
- 3.吹奏發聲器，並用錄音軟體記錄。
- 4.用調音器測量音階。
- 5.比較實驗三與實驗四結果。

由實驗三可以發現，塑膠管空氣柱長度並未符合畢氏音程的理論，而有學樂器的同學跟我們說銅管和木管發出的聲音並不相同，因此我們覺得這可能是因為材質不同造成的結果，由於受到銅管、木管取得和挖出孔洞的限制，所以我們選取更為柔軟、彈性較佳內徑為 0.8 公分的矽膠管當作空氣管進行測量。

##### (二) 矽膠管空氣柱實驗結果

由表五可知，在 60-58 公分時，矽膠管吹奏的音階為升 Do；56-51 公分時，吹奏的音階為 Re 或升 Re，但到了 50-48 公分則為升 So，至於在 47-39 公分時其音階在 Si 或 La 之間跳。如果空氣柱縮短，而音階是逐漸上升，那麼依序應該是 Do、Re、Mi，而不是由 Re 直接變為 So。換言之，我們發現用矽膠管作為管子，其音階部分符合畢氏音程與文獻中對於空氣柱的概念，也就是空氣柱越短，則聲音越高，但卻無法解釋為什麼會跳過部分音階。

再從表四和表五可知，矽膠管在音階的上升上，相較於塑膠管更符合文獻中對於空氣柱與聲音關係的描述，相較於塑膠管，每上升一個音階時，矽膠管必須縮短的長度短於矽膠管，因此採用矽膠管作為尖叫雞的空氣管，似乎比塑膠管來得好。

當我們剪到第 39 公分時，老師告訴我們他覺得有些音聽起來是明明是兩個不同的音，

但調音器顯示的卻都是相同的音，我們一起聽了幾次，發現的確有這樣的情形。此外，我們也發現矽膠管的音階會直接從 Re 跳升至 So，所以去請教音樂老師。結果發現手機調音器無法顯示其他不同音程的 Do，換言之，調音器顯示的 Do，很有可能是高八度或低八度，但看不出來高幾個或低幾個八度。我們跟老師討論後發現，有沒有可能畢氏音程當初是用弦樂來計算出來，那麼管樂有可能不同呢？所以我們查了十二平均律的資料，以便了解在音樂領域高八度、低八度這些音程和音階是怎麼決定的，因此矽膠管進行到 39 公分後，我們決定停止找下去，因為我們無法確定我們找出的 Do、Re、So、Si、La 是同一個音程下的音階。

表五 矽膠管空氣柱長度在調音器的表現情形

長度	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50
音階	C' #	C' #	C' #	D	D	D	D	D#	D	D#	B
頻率	551	558	565	595	595	588	587	622	587	639	490
長度	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39
音階	G#	G	B	B	B	A	B	A	B	A	A
頻率	426	402	506	510	506	440	485	441	512	451	443

## 五、實驗五 不同管徑、長度對音高的影響

### (一) 變項說明與流程

我們以十二平均律理論計算管徑與管長，因此管徑與管長為操縱變因，尖叫雞發聲器、發聲器沒入管子長度為控制變因，應變變因為調音器音階、錄音軟體分析之頻率。其流程如下：

- 1.計算不同音階之管徑與管長。
- 2.製作發音管。
- 3.將管子套上發聲器。
- 4.用調音器與錄音軟體測量音階與頻率。

我們發現十二平均律可追溯自明朝朱載堉，他用珠算的方式進行開方計算，算出以 $\sqrt[12]{2}$

將八度音等分為十二等分的方法。他為了驗證所創的十二平均律理論，所以用竹子計算出所需的長度和內徑，分別創造出世界上最早的十二平均律律管 36 根，分別為倍率管、正律管和半律管，而每一根竹管的內徑長度為上一根竹管竹管的直徑除以 $^{24}\sqrt{2}$ 。

由於塑膠管和矽膠管當作管子所製造出的音階不符合畢氏音程或網路上的五聲音程資料，因此我們認為是不是畢氏音程和五聲音程是用計算弦長（弦樂）的緣故？所以如果控制管徑，應該就可以符合十二平均律的音階，如果找出了這些音階，就可以運用尖叫雞來吹奏音樂。由於我們不知道要從哪裡取得竹子或木頭，而就算取得要把這些竹子挖成中空，可能管徑也沒有辦法很光滑，所以我們使用 3D 印表機製作需要的管子（圖六）。



圖六 不同管徑與長度之發音管

因為 3D 印表機印出的管子沒有辦法像矽膠管或塑膠管可以彎曲塞進尖叫雞的肚子裡，所以我們計算出可放進尖叫雞肚子的管長最長為 12 公分（超過 12 公分因為空氣無法流動所以不會有聲音），再請老師幫我們用 Eexcel 計算管子長度和管徑後，我們依照老師給的長度和管徑用 3D 繪圖後再列印出來進行測量。

## （二）不同管徑與長度之發音管實驗結果

表六是運用 3D 列印機所列印的管子所測量的結果，我們發現即便把管徑因素考慮進去，我們用調音器所測出的音階也沒有依照十二平均律理論依序排列。我們討論後發現，造成這樣差異的可能原因在於以下幾點：

- 1.實驗的管子都必須套上尖叫雞的發聲器，和原十二平均律僅使用中空的竹管不同。
- 2.管徑寬度較寬的管子無法直接套在尖叫雞的發聲器上，這些管徑較粗的管子和尖叫雞的發聲器有空隙，而這樣的間隙則會影響聲音的共鳴，所以在粗管子裡的聲音比較大聲，而管徑長度小的管子聲音則較小聲一些。
- 3.吹氣的大小會影響聲音的音高。

表六 長度、管徑與音階的關係表

長度(cm)	12	10.68	9.52	8.98	8.00	7.13	6.35
管徑(cm)	1.10	1.03	.98	.95	.90	.84	.79
理論音階	Do	Re	Mi	Fa	So	La	Si
調音器音階	C <sup>#</sup>	C	B	A	C <sup>#</sup>	D	C <sup>#</sup>
頻率(Hz)	551	531	506	217	565	572	544

為解決管徑過大造成管子無法接上尖叫雞發聲器的問題，以及吹氣的大小會影響聲音音高的問題。我們又去問了音樂老師，想了解管樂器裡的單簧管和雙簧管是怎麼解決調音的問題，音樂老師跟我們說單簧管樂器會使用竹片作為簧片，雖然有時吹奏前會使用調音器調音，但由於吹奏時會因為吹奏力氣的大小造成音高會有差異，所以平常樂團吹奏時多半是用人耳來調整吹奏的力氣，並不會過度依賴調音器，但尖叫雞是用按壓的方式發出聲音，而按壓的力道和位置會影響氣流，如果我們要製造不同的音階，應該要先確定尖叫雞發聲器的基準音是不是相似，而就音樂表演上見我們先把調音器放一邊，先用耳朵聆聽的方式了解每個發音器的音高是否相似。此外，音樂老師也告訴我們，因為氣流的大小會影響音高，但尖叫雞是按壓的方式發出聲音，因此聲音剛出來的時候可能會是一個音階，但快結束時可能發出的另一個音階，所以建議我們要把尖叫雞改造成一按就叫的尖叫雞才容易維持聲音的準度。

在經歷這麼多的過程後，我們認為使用尖叫雞來唱歌的網路影片應該是有經過後製處理，才有可能運用一隻或二隻尖叫雞就可以吹奏一首完整的流行歌曲。因此我們將原先計畫用尖叫雞吹奏流行歌曲的想法，改成吹奏大家耳熟能詳的小星星等童謠，所以必須找出一個完整的八度音程的音階。

## 六、實驗六 不同簧片位置和音高的關係

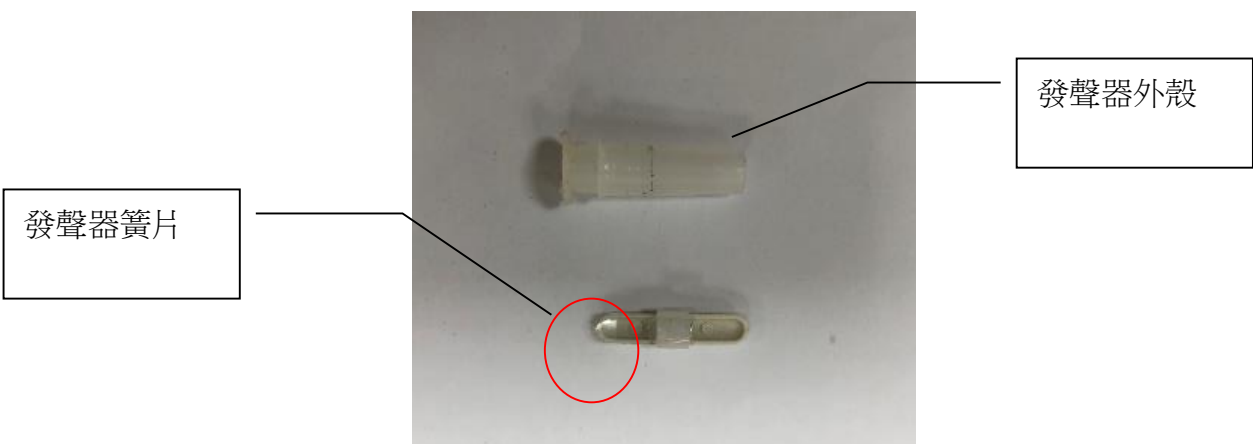
### （一）變項說明與流程

我們先計算尖叫雞發聲器總長，以及使用竹籤可推入的最大範圍。因此簧片推入距離為操縱變因，發聲器長度為控制變因，應變變因為調音器音階、錄音軟體分析之頻率。其流程如下：

- 1.計算尖叫雞發聲器總長度。
- 2.以 0.1 公分為單位推入簧片。
- 3.用調音器與錄音軟體測量音階與頻率。

### （二）不同簧片位置之實驗結果

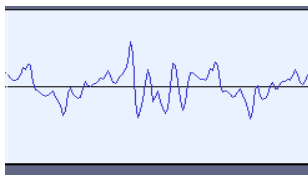
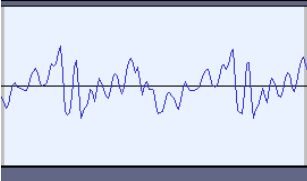
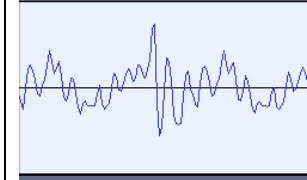
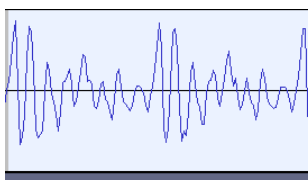
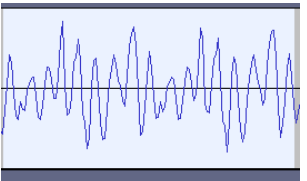
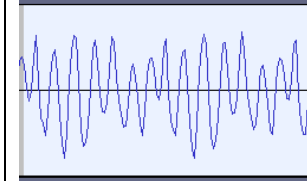
但再找出完整的八度音程前，我們必須將尖叫雞發聲器所產生的聲音調整至相似的位置，在調整尖叫雞發聲器的過程中，我們發現簧片（圖七）的密合程度會影響尖叫雞的音高，如果將簧片往上扳起，使間隙擴大，那麼音高會下降，如持續向上扳起，氣流完全無阻塞時，則會發不出聲音；如果將簧片向下壓，使間隙縮小，那麼音高會變高，直至完全密合發不出聲音。除了簧片的間隙外，我們也發現簧片在發聲器的前後位置也會影響音高，簧片位置的記錄如表七所示。



圖七 尖叫雞發聲器結構



表七 簧片位置與聲音頻率及波形關係表

簧片位置 (cm)	0	0.1	0.2
頻率(Hz)	580	588	604
波形			
簧片位置 (cm)	0.3	0.4	0.5
頻率(Hz)	678	700	801
波形			

由表七可知，隨著簧片不斷向前推動接近吹口，其頻率由 580Hz 上升至推入 0.5 公分的 801Hz，由每 3 毫秒所擷取的波形也可以了解，推進簧片的位置越多，出現的波密度越大，顯示尖叫雞發聲器簧片越接近吹嘴，簧片（透明塑膠片）震動的速度越快，因此如果需將調升音高則需要推入簧片，降低音高則反之。

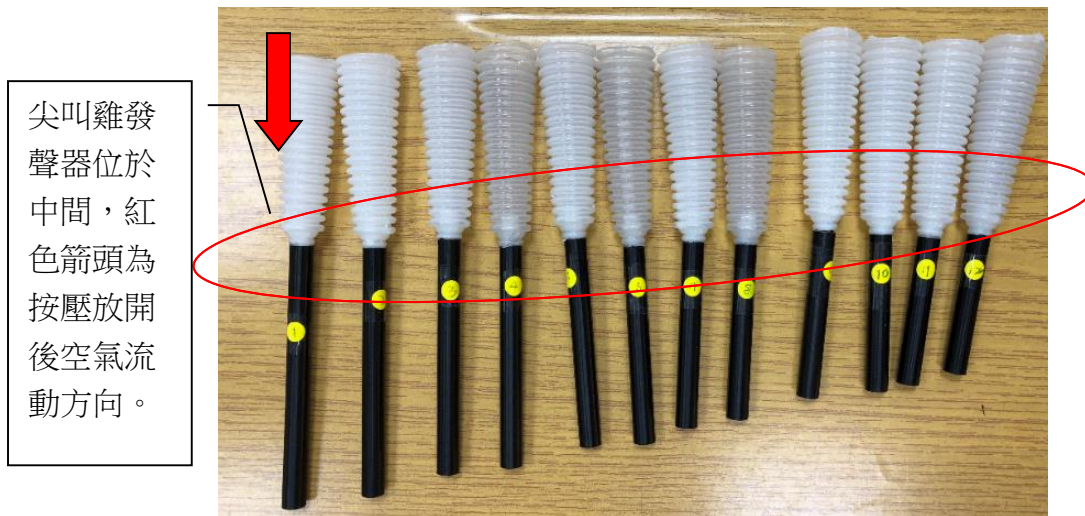
最後我們調整簧片位置，並請音樂老師協助聆聽後，將所需的尖叫雞發聲器調整到 551Hz 左右，在音階上為 C' #，屬於升 Do 的音階。

## 七、實驗七 改造後尖叫雞在八度音程的表現情形

### （一）變項說明與流程

我們以十二平均律理論計算管長，以管長為操縱變因，尖叫雞發聲器音階、發聲器沒入管子長度為控制變因，應變變因為調音器音階、錄音軟體分析之頻率。其流程如下：

- 1.依理論計算不同管長並製作發音管。
- 2.調整原尖叫雞環形空氣管，並將管子套上發聲器（圖八）。
- 3.用調音器與錄音軟體測量音階與頻率。



圖八 改造之第一代尖叫雞發音管構造

## (二) 不同管徑在尖叫雞內聲音實驗結果

### 1. 第一代尖叫雞

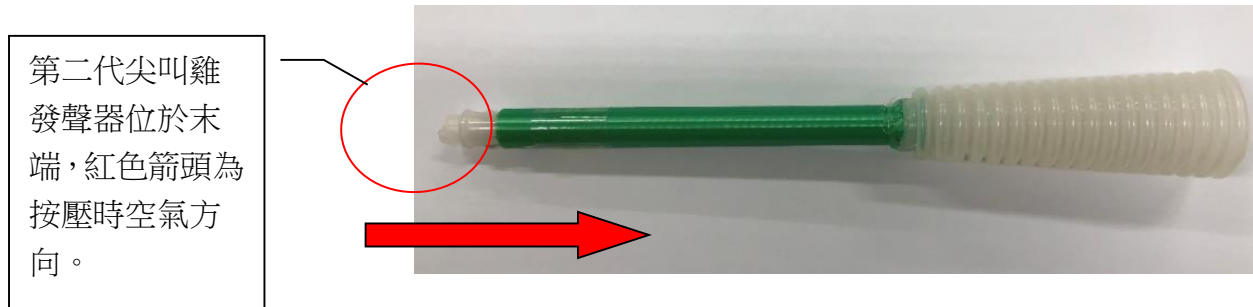
為了避免尖叫雞發聲器與管徑的間隙，造成按壓尖叫雞時的音階受到共鳴影響，我們重新測量適合的管徑，經過測量後發現管徑 0.826 公分與尖叫雞發聲器能緊緊密合，因此依據表六的管子長度以及十二平均律的計算方式，重新繪製 3D 圖，製作了一個完整八度音程的發聲器。為了避免塞回尖叫雞肚子內，按壓時共鳴的影響與未塞回尖叫雞肚子時的音階不同，所以我們把所有的發聲器都塞回尖叫雞肚子中，請音樂老師協助聆聽。

結果發現十二隻尖叫雞的聲音表現差異很大，每個發聲器在外部測試時並無問題，但放入尖叫雞中卻有破音或是聲音不穩定的情形。此外，音樂老師也跟我們說這群尖叫雞的聲音普遍有音樂領域提到的「泛音」問題，也就是可以從聲音中直接到兩個或兩個以上不同的聲音，因此我們改變氣流進入的方式，尋找其他方法改善音樂老師說的「泛音」問題。

### 2. 第二代尖叫雞

第一代尖叫雞所發出的聲音可以聆聽出兩個以上的音，我們推測這是因為尖叫雞的發聲器在中間，按壓後所吸入的空氣無法均等的流入，造成音高改變。比較理想的方式是把尖叫雞的發聲器改到尾端，變將簧片位置翻轉 180 度，將整隻尖叫雞變成按壓立即發音，

也就是按一下馬上發出聲音。換言之，原先空氣流動的方向必須改變。而改造過的第二代尖叫雞其空氣管如圖九所示。



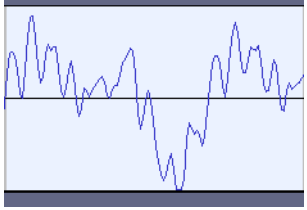
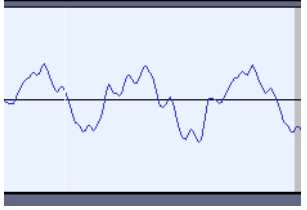
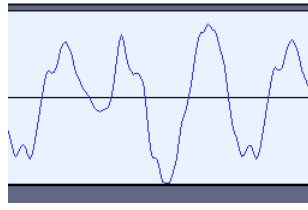
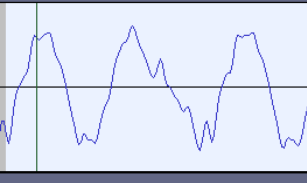
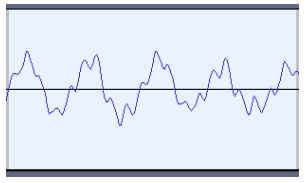
圖九 改造之第二代尖叫雞發音管構造

第二代尖叫雞發音管改造完成後，我們將所有的發音管在放回尖叫雞肚子裡，在請音樂老師聆聽後，發現泛音的情形改善很多，但音樂老師也告訴我們按壓不同位置，聲音會有些微差異，而部分尖叫雞不同位置聲音差異較大，部分尖叫雞的差異則不顯著。我們跟老師討論後，推測這樣的原因可能是每隻雞在工廠製作時誤差的結果，因為每隻雞雖然外觀相似，但雞體本身的彈性、肚子的空間大小略有差異，從實驗六亦可知簧片的些微差異，就會造成音高改變很大。

最後第二代尖叫雞共出現 10 個音階，其音階分別為 C'、C' #、D、D#、E、G#、A、A#、B。但音樂老師建議我們使用一個連續性完整的音階為 Do、升 Do、Re、升 Re 和 Mi，也就是如果我們以這五個音來演奏小蜜蜂，聽眾會聽出音階上的些微不同，但會像是走音的小蜜蜂，因此音樂老師建議我們改演奏英文童謠「瑪莉有隻小綿羊」，該曲子只需要三個音階即可吹奏，而曲調易於讓聽眾分辨。

表八可知依照十二平均律理論所計算出的管長，其音階分別為 Do、Fa、So、La、Si，但我們放入尖叫雞後所測出的音階為 Do、Do#、Re、Re#、Mi 五個音階，並未完全符合理論上的音階，但的確隨著空氣柱越短，音高不斷上升。

表八 改造後尖叫雞發音管與音階、聲音頻率的關係

管長 (cm)	12	9.52	8.00
頻率(Hz)	512	544	591
理論音階	Do	Fa	So
音階	Do	Do#	Re
波形			
管長 (cm)	7.13	6	
頻率(Hz)	629	648	
理論音階	La	高音Do	
音階	Re#	Mi	
波形			

## 陸、研究結論

### 一、尖叫雞吹奏流行樂曲的網路影片後製可能性較高

在改造尖叫雞前，我們使用未改造的尖叫雞進行不同位置的按壓，測量後發現尖叫雞至多出現三個不同頻率的音階，而音階在尖叫雞的按壓過程還會改變，因此我們開始懷疑運用一隻或兩隻尖叫雞應該無法演奏完整的流行音樂。我們在最後一個運用管子長度改變音高的實驗中發現，如果維持尖叫雞按壓後再放開的原始狀態，在尖叫雞發出聲音的過程會有好幾個頻率的音，如果將尖叫雞改為按壓隨即發出聲音，並依據十二平均律的理論，運用數學計算並用 3D 印表機製作相對印的管長的管子，發現至多在連續三個音階中出現五個音（包含兩個半音），也就是即便演奏五個音階的童謠「小蜜蜂」，在聆聽時也會有失去音準的情形。因此，即便在改造尖叫雞的情形下，一隻雞也無法在同一個八度音程中出現連續性的不同音階，換言之，再依十二平均律理論所改造的情形下，一隻雞不容易發出具

有音準的兩個不同音階，使用一隻、兩隻或四隻尖叫雞無法同時按壓出一個完整的八度音程，更遑論流行樂曲中會使用到高一個或第一個八度的音階。基於此，我們認為網路影片應該有使用錄音軟體進行後製調音。

## 二、不同長度的空氣柱，會影響音高表現

雖然我們在塑膠管和矽膠管的實驗中，我們發現雖然管子依照畢氏音程所計算出的長度進行剪裁，但在調音器上卻未出現理論上的音階，這很可能是我們忽略了簧片以及無法控制尖叫雞材質與尖叫雞內部空氣容量的緣故。再使用 3D 印表機列印管長、控制管徑，並調整每個尖叫雞發聲器的音高後，發現由三個音階與兩個半音所組成的連續音階的確符合空氣柱越長音高越低，空氣柱越短音高越高的理論。

再檢視塑膠管與矽膠管的聲音實驗，雖然調音器無法區分發出的聲音是在相同的八度音階，還是高一個或低一個八度音階，但從表四和表五中可發現隨著空氣柱越短，音高也越高的情形，大致上與空氣柱和聲音關係的理論相符。

## 三、不同材質的發音管，會影響音高表現

由表四和表五矽膠管和塑膠管的實驗中，可以發現無論是矽膠管和塑膠管，在管長縮短的情形下，音高的確變高。但相較於矽膠管，塑膠管要縮短較大的長度才会有明顯音高的改變，顯示材質的確會影響聲音的頻率，由於發音管內的聲音是由管內的空氣、簧片震動與管壁震動等不同頻率的音頻所合組形成的，因此本研究可以推斷不同材質的發音管，的確會影響音高表現，其中矽膠管縮短影響的音高比塑膠管大。

## 四、簧片位置會影響音高表現

在將不同尖叫雞的發聲器調整至相近頻率聲音的過程中，由實驗六我們發現簧片與管壁接觸的間隙大小會影響音高，間隙越大則聲音越低，間隙越小則聲音越越高。此外，將簧片從後端往前推入，越接近吹口則音高越高，顯示接近吹口因氣流較大，造成透明塑膠片（簧片）震動的越厲害，其音高也越高。

## 五、尖叫雞可演奏五個音階左右的樂曲

由改造尖叫雞管長的實驗三可知，管長越短則音階越高，雖然其結果並不符合由十二

平均律理論中所計算出的管長，但由實驗三、四可知不同材質的管子會影響音高，因此表八顯示空氣柱越短音高越高，亦支持空氣柱與聲音關係的理論。

另外從實驗七也可以了解，雖然調整後的尖叫雞會因為按壓不同的位置而在音階上有所差異，但按壓出的音階並不穩定，也就是一個聲音在初始和結束的音高並不相同，而尖叫雞半音之間的聆聽差異並不明顯，因此要以尖叫雞演奏樂曲以全音較佳，不然就會聽起來像是走音的樂曲。

## 柒、參考資料

十二平均律。取字維基百科

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8D%81%E4%BA%8C%E5%B9%B3%E5%9D%87%E5%BE%8B>。

金佳龍（2008）。吸管笛的諧音研究與發展。麗山高中學報第二期。

科學小芽子。取自[http://www.bud.org.tw/e\\_news.htm](http://www.bud.org.tw/e_news.htm)。