

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

(鄉土)教材獎

082817

「管」它如何「響」，「嘯」一下

學校名稱：新北市三重區正義國民小學

作者：	指導老師：
小六 高翊瑄	吳季芬
小五 邱品霏	吳嘉雄
小四 許書菲	
小四 吳秉昱	
小四 蔡欣諺	
小四 林子琳	

關鍵詞：波紋管、頻率

摘要

學校農作區經常出現大量鳥類破壞作物，我們想到利用聲響來驅趕，結果發現生活中常見的波紋管甩動它會發出奇特嘯叫聲。因此，我們想透過實驗了解波紋管它發出聲響機制，並構思可否利用這種奇特的嘯叫聲來驅趕鳥類。研究過程使用不同種類、口徑、長度波紋管測試能否發出嘯叫聲與聲響頻率高低，透過改裝電扇了解波紋管發出嘯叫聲是因為轉動引起兩端管口產生不同壓力差；再以線香煙霧模擬波紋管道內氣流受管壁凸起，形成擾流而發出嘯叫聲；最後改裝廢棄吊扇製成風車帶動波紋管發出嘯叫聲，做出環保驅鳥裝置。

壹、研究動機

學校農作區經常出現非常多的麻雀、白頭翁、黑領掠鳥、白翅八哥、喜鵲等鳥類在該處覓食，雖然讓我們看到豐富生態環境，但也困擾幫助農作的老師和志工，因為那些鳥類會把種植的作物或剛播下的種子吃掉無法收成農作。我想幫老師與志工解決問題，有一回我看到有人在玩一種波紋管，拉長或壓縮變短它會發出「啵」、「啵」、「啵」的叫聲玩具，我也買一個來玩，發現甩轉它還會發出奇特的嘯叫聲，感覺甩愈快聲音越高。我心想這聲音可以用來驅趕學校農作區的鳥類嗎？我把構想告訴老師，老師說很值得試試，透過實驗我們想知道波紋管的發聲機制並規畫應用這種嘯叫聲。

貳、研究目的與問題

一、了解波紋管發出嘯叫聲特性。

- (一)、什麼樣種類塑膠管可以發出嘯叫聲？
- (二)、還有什麼方式也可以使紋管施發出嘯叫聲？
- (三)、不同口徑波紋管發出的嘯叫聲相同嗎？
- (四)、波紋管長度是否會影響嘯叫聲出現差異？
- (五)、甩轉速度是否會影響波紋管發出的嘯叫聲？

二、想知道空氣在波紋管管道內的流動變化。

- (六)、波紋管發出嘯叫聲會有多少空氣流出管口？

(七)、波紋管發出嘯叫聲，進出管道的空氣流速有變化嗎？

(八)、空氣在波紋管內是如何流動的？

三、製作使波紋管發出嘯叫聲的裝置並加以應用

(九)、波紋管嘯叫聲如何應用於生活物品？

(十)、波紋管嘯叫聲可否做出驅趕動物裝置？

參、研究器材

本研究使用器材及相關用途如表參-1 所示。

表參-1 研究器材及相關用途

名稱	各類口徑波紋管	普通軟質水管	電子數字游標尺	頻譜分析 APP
用途	測試嘯叫聲	測試嘯叫聲	測波紋凸起高度	測頻率
名稱	電扇	橡皮筋	15 公升垃圾袋	打氣機
用途	轉動波紋管	綁縛波紋管	測空氣流量	灌空氣入垃圾袋
名稱	鼓風機	風速計 APP	直流電供應器	線香
用途	製造氣流	測鼓風機風速	鼓風機電源	觀察氣流流動
名稱	轉速計	直流散熱風扇	打火機	照相機
用途	測波紋管轉速	吸煙霧	點燃線香	觀察煙霧流動
名稱	綠光手電筒	笛音壺	琴音壺	透明寬膠帶
用途	做光源使用	了解嘯叫聲差異	拆解觀察內部	觀察管道內煙霧

肆、研究過程與方法

一、研究流程架構

圖肆-1 為本研究流程架構，用於檢核研究過程可能遭遇困難與改進研究方法，分析實驗結果撰寫研究成果。

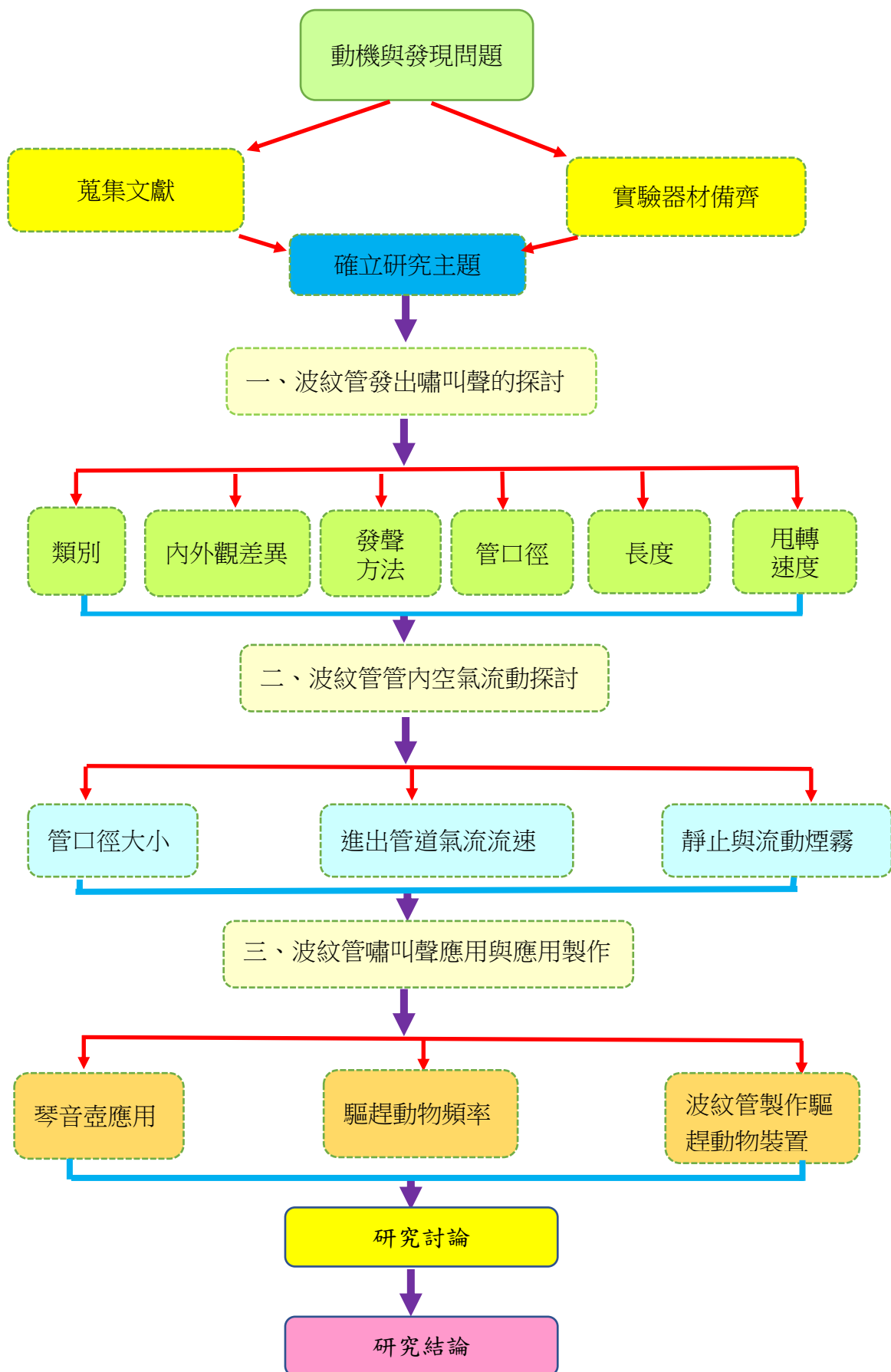


圖 肆-1 研究流程架構

二、文獻探討

(一)波紋管

波紋管和管材通常用於許多工程和工業應用中，因為它們提供全局靈活性和局部剛性。使用波紋管的一些工程系統是液化天然氣 (LNG) 存儲系統、海上石油和天然氣行業的立管、熱、通風和空調系統、航空航天和汽車駕駛艙冷卻系統，以及某些家用吸塵器等電器。通過短或長波紋管的氣流會導致管道在某些臨界流動條件下發出響亮而清晰的音調或哨聲。這些聲波與渦旋脫落流不穩定性的相互作用和耦合會導致嚴重的噪聲和結構振動問題。在名為蜂鳴、龍之聲或魔法哨子的兒童玩具中也觀察到波紋管中產生聲音的現象。(文字引自 Acoustics of Corrugated Pipes: A Review)

(二)波紋管嘯叫聲

當我們甩動旋轉管子時，空氣分子會從手持甩轉端向上拉出移動到自由旋轉端。管子的自由旋轉端和固定的手持端之間的速度差異會產生氣壓差。手持甩轉端壓力較高，自由移動端壓力較低。這種差異將空氣拉過管子，空氣的速度隨著旋轉的速度而變化(使音調發生變化)。聲音的音高、響度和音調來自管子的長度和直徑，波紋管中每個脊(凸起)之間的距離以及管子旋轉的速度，這使得空氣在管子中更快或更慢地移動，從而逐步改變音頻。(文字與圖肆-2 引自 scienceworld.ca/resource/whirly-tubes/)

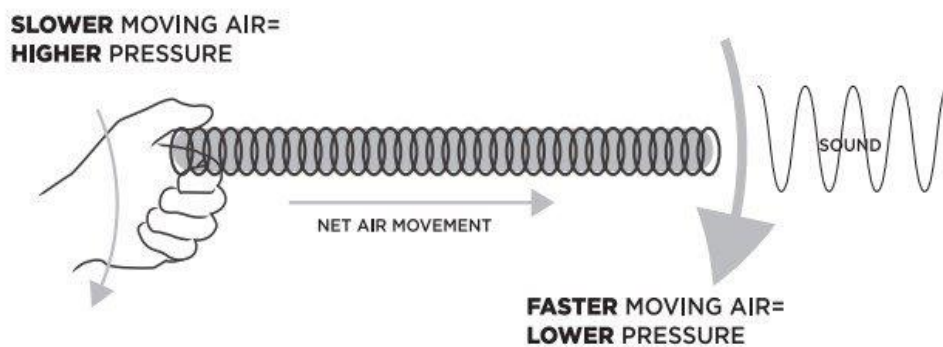


圖 肆-2 波紋管發聲機制示意圖

(三)聲音與動物

學者Ellen K., Daniel T. (2014)應用熱帶王鳥叫聲1kHz到5 kHz純音、正弦波音嘯聲和白噪聲，使用音量85 dB，距離半徑40公尺範圍內以0.1~0.5秒簡短的刺激，然後是60

秒的沉默，測試白冠麻雀的聽力，因為許多鳴禽類在聲波3kHz該範圍都聽得很清楚聲音（Konishi，1970；Knudsen 等，2010），測試其高度警戒飛離與放鬆行為停留原地繼續覓食做實驗探究。測試結果，該次測試麻雀聽到熱帶王鳥純音無反應，但以正弦波音嘯聲和白噪聲會有明顯強烈反映警戒飛離。(文字引自 What is the sound of fear? Behavioral responses of white-crowned sparrows *Zonotrichia leucophrys* to synthesized nonlinear acoustic phenomena)

三、研究方法概要

(一)搜集各種類型長度 1 公尺波紋管與水管共 12 種。

(二)以手機音頻頻譜分析 APP 測量不同長度、口徑波紋管嘯叫聲頻率。

方法 1：如圖肆-3 所示，甩轉長度都是 1 公尺，口徑的 1.5cm、2.2cm、2.5cm 波紋管。請三位同學甩轉並且利用音頻頻譜分析 APP，測試三種不同波紋管發出的嘯叫聲頻率。

方法 2：如圖肆-4 所示，以口徑 1.5 cm 配電用波紋管，測試長度 150cm、110cm、70cm，3 種度長，音頻頻譜分析 APP 測量 3 種長度波紋管甩轉後發出的頻率。

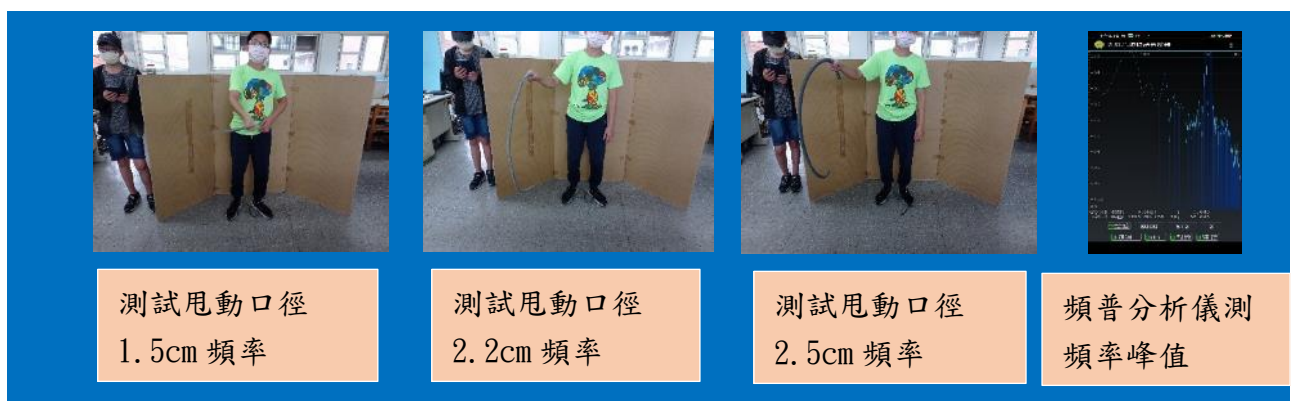


圖 肆-3 測試同長度不同口徑波管頻率

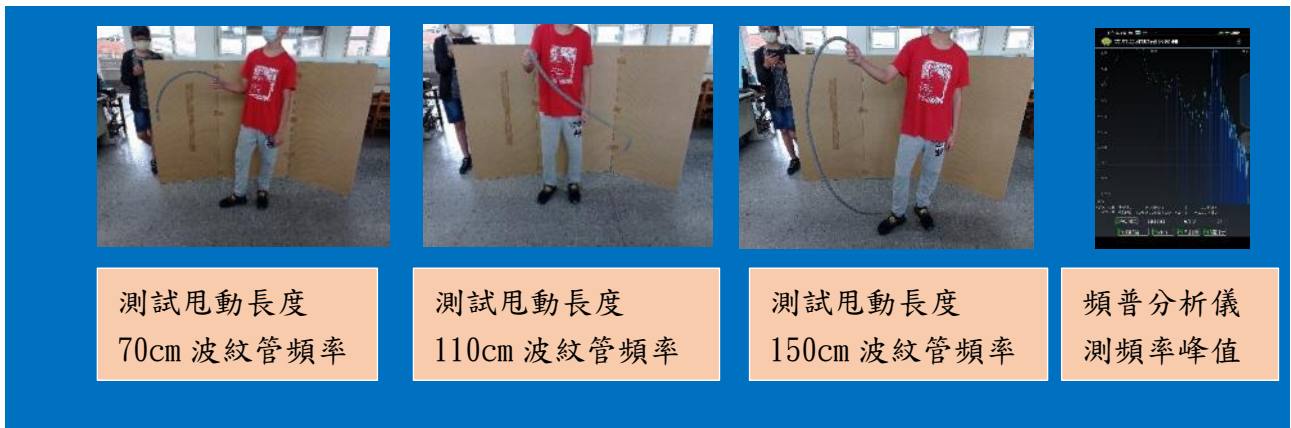


圖 肆-4 測試同口徑不同長度波管頻率

(三)改裝家用電扇，拆除扇葉網罩，把電扇並固定在學校報廢桌子上，測試此改裝電扇能帶動何種尺寸波紋管發出嘯叫聲。

方法 1：如圖肆-5 所示拆除電扇風罩後先將電扇扇葉邊以電器膠帶黏貼，可避免劃傷身體，並在扇葉上貼一塊約長 5cm 寬 5cm 鋁箔，用作測量轉速使用。

方法 2：測量改裝電扇開啟電源低、中、高轉速可以帶動何種長度波紋管，使其發



圖 肆-5 改裝電扇用於測量甩動速度與嘯叫聲頻率

(四)驗證甩動波紋管每次有多少空氣量在管內流動。

方法：如圖肆-6 所示，分別以口徑 1.5cm、2.5cm、3.2cm 長度 1m 波紋管各別套在 15 公升小垃圾袋口一邊，袋口其他部分以膠帶黏貼。將 15 公升垃圾袋以打氣機充滿空氣，再分別甩動波紋管，紀錄甩動多少次後波紋管不再發出聲響與垃圾袋空氣耗盡。

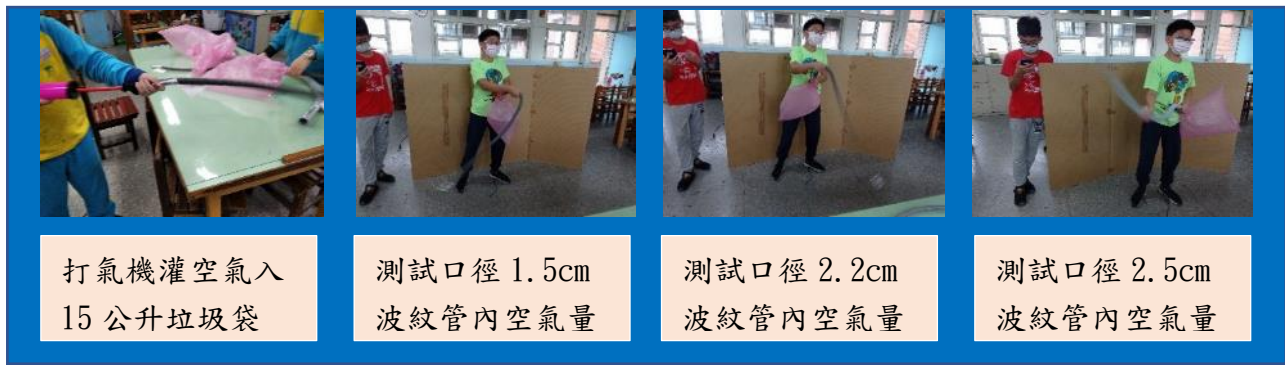


圖 肆-6 測量波紋管發出嘯叫聲有多少空氣量在管內流動

(五)先以鼓風機吹入最大風速測試可否模擬甩動波紋管發出嘯叫聲，再測試出風口風速大小，了解波紋管甩轉後出口風速快慢。

方法：如圖肆-7 所示，把 21w，12~18vDC 鼓風機接上直流電源，先以風速計測量鼓風機吹出 5 秒鐘的最強平均風速，把波紋管一端接觸鼓風機出口，測試能否發出嘯叫聲。三種波紋管發出嘯叫聲後，再用風速計測量出風口的風速。

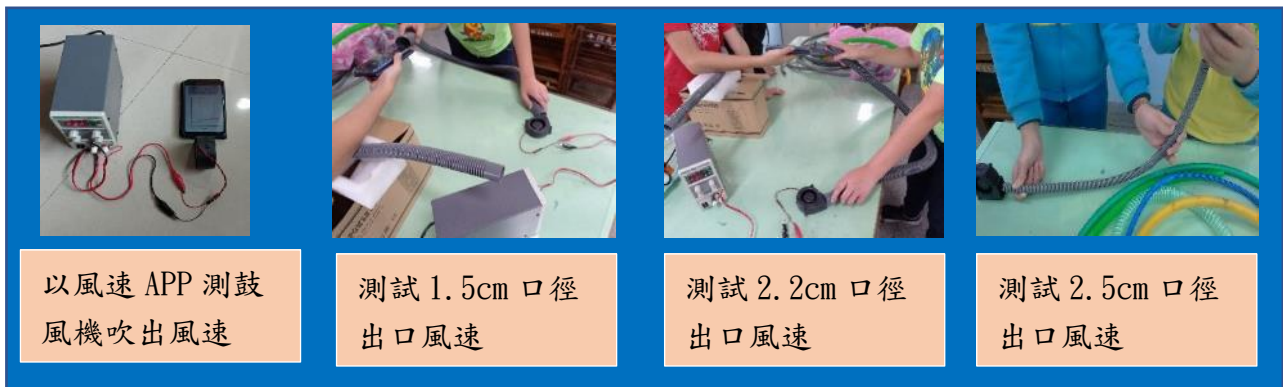


圖 肆-7 測量波紋管發出嘯叫聲有多少空氣量在管內流動

(六)測試可否以煙霧模擬空氣在波紋管內流動狀態。

方法：如圖肆-8 所示在口徑 3.5cm 長度 40cm 伸縮波紋管中央部分裁切一個長 5cm 寬 3cm 開口，開口以大型透明膠帶黏貼，在較黑暗環境操作。再以點燃線香製造煙霧使用散熱風扇把煙霧吸出管道，模擬空氣在管道中流動，煙霧出口端以綠色光照射入管道內部，了解氣流如何在波紋管內流動。

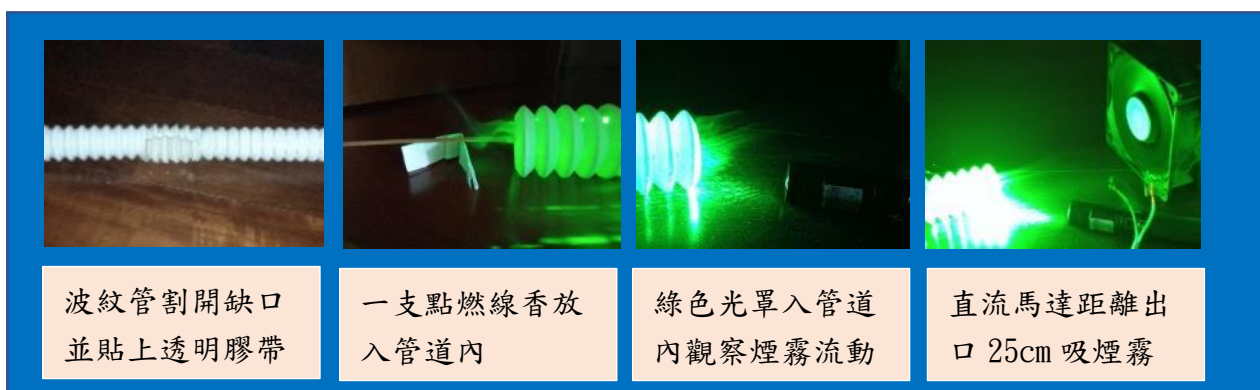


圖 肆-8 以線香煙霧模擬空氣在波紋管道內流動並作觀察紀錄

(七)波紋管如何在生活中應用

1. 如圖肆-9 所示，拆解琴音燒水壺了解發音部件組成，並以音頻測量器分別測量，琴音壺與笛音壺壺水燒開時嘯叫聲的音頻。

照片				
說明	外觀	內部	不含壺蓋共 5 構件	燒開水運作

圖 肆-9 拆解琴音壺了解內部構件

2. 以手機錄製波紋管嘯叫聲，測試可否以環保方法驅趕農作區鳥類。
3. 以廢棄吊扇製作風力波紋管驅鳥裝置。

伍、研究過程與結果

一、波紋管發出嘯叫聲的探討

波紋管甩動會發出「嘯」叫聲，我們也想了解其他管子甩轉是否也會發出聲響，管子口徑、長度、甩動速度發出的聲響如何變化，透過以下實驗了解波紋管嘯叫聲頻率變化，並把初步的探索以備作為後續發展應用研究。

研究問題(一)：什麼樣種類塑膠管可以發出嘯叫聲？

研究結果：圖伍-1 為測試 11 種不同種類塑膠管，與 1 種金屬波紋管是否能發出嘯叫聲實驗圖(○表可聽到發出嘯叫聲，×表無法聽到發出嘯叫聲)

編號與名稱	①綠色塑膠水管	②黃色塑膠水管	③洗衣機用波紋管	④吸塵器波紋管
照片				
嘯叫聲	×	×	×	×
名稱	⑤口徑 2.2cm 玩具波紋管	⑥口徑 1.5cm 玩具波紋管	⑦流理台口徑 3.5cm 波紋管	⑧洗衣機用口徑 2.5cm 波紋管
照片				
嘯叫聲	○	○	○	○
名稱	⑨白色口徑 2.2 cm 伸縮波紋管	⑩配電用 1.5cm 波紋管	⑪配電用 2.5cm 波紋管	⑫金屬波紋管
照片				
嘯叫聲	○	○	○	○

圖 伍-1 測試甩轉 12 種管子能否發出嘯叫聲

結果說明：

1. 測試甩轉 12 種各式塑膠管，有 8 種波紋管會發出嘯叫聲，觀察管子內壁與外部都有凸起的皺褶，內壁皺褶間距約 5~7mm。
2. 一般接水用的綠色與黃色塑膠管以及洗衣機排水管與吸塵器波紋狀管子，4 種管子無法發出嘯叫聲。因為觀察一般水管內壁完全平滑，洗衣機排水管内壁也是完全平滑但外部有凸起皺褶，吸塵器管子內壁有凸起皺褶但是皺褶間距約 1mm。

研究問題(二)：還有什麼方式也可以使波紋管發出嘯叫聲？

操縱變因：不同操作方式(胸前畫×、吹氣、一端綁繩甩)

應變變因：出現嘯叫聲與否

控制變因：波紋管口徑 2.2cm 長度 80cm

研究結果：圖 伍-2 是以長度 80cm 口徑 2.2cm 的波紋管測試，還有什麼方法也可

以使波紋管發出嘯叫聲，方法：(1).拉直波紋管在胸前交叉甩動。(2).彎曲波紋管一端吹氣。(3).取一條長 100cm 球鞋繩綁住波紋管最邊一端，在身體一側甩圈轉動。：(○表耳朵可聽到嘯叫聲；×表無法聽到嘯叫聲)




操作方式與圖號	①胸前交叉甩動	②一端吹氣	③一端綁繩甩轉
照片			
測試 1	○	×	○
測試 2	○	○	○
測試 3	○	×	○

圖 伍-2 測試還有何種方法也可使波紋管發出嘯叫聲

結果說明：不使用手握甩轉方式，改成以胸前交叉甩動一樣可以使波紋管發出嘯叫聲響，以此方式操作發出的聲音是斷續；吹氣方式有二次無法發出嘯叫聲，一次可以發出嘯叫聲；把波紋管一端綁住繩子甩動也可以發出嘯叫聲。

研究問題(三)：不同口徑波紋管發出的嘯叫聲相同嗎？

操縱變因：波紋管口徑大小

應變變因：出現嘯叫聲與否

控制變因：波紋管長度 1 公尺、手握波紋管 0~10cm 位置

研究結果：表伍-1 與圖伍-3 為測試同長度不同口徑嘯叫聲頻率紀錄表與統計圖 (單位赫茲)

表伍-1 不同口徑嘯叫聲頻率

管口徑	1.5cm	2.2cm	2.5cm
測試 1	1162	939	646
測試 2	1147	948	639
測試 3	1158	934	643
測試 4	1139	942	649
測試 5	1159	941	644
平均	1153	940.8	644.2

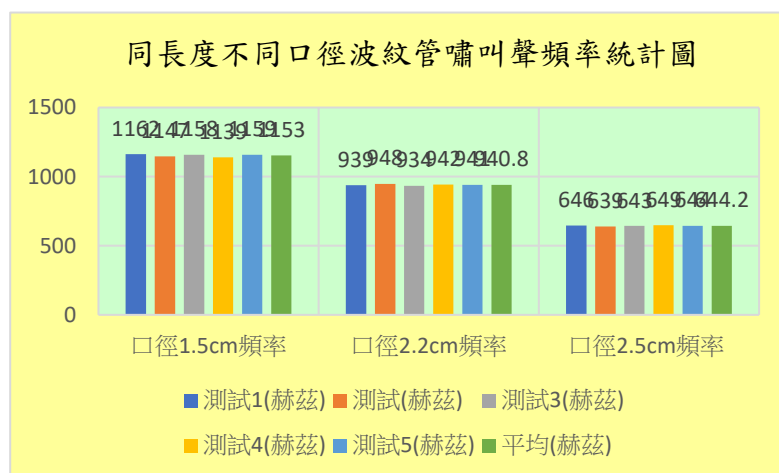


圖 伍- 3 測試同長度不同口徑嘯叫聲頻率統計圖

結果說明：同長度不同口徑波紋管甩轉後發出嘯叫聲頻率，口徑 1.5cm 波紋管平均 5 次頻率 1153 赫茲，2.2cm 波紋管頻率 940.8 赫茲，口徑 2.5cm 波紋管頻率 644.2 赫茲，口徑愈小波紋管發出的頻率愈高。

研究問題(四)：波紋管長度是否會影響嘯叫聲出現差異？

操縱變因：波紋管長度(150cm、110cm、70cm)

應變變因：嘯叫聲頻率高低

控制變因：波紋管口徑 1.5 cm、手握波紋管 0~10cm 位置

研究結果：表伍-2 與圖伍-4 為 3 種長度波紋管發出嘯叫聲頻率紀錄表與統計圖。

(單位赫茲)

表 伍-2 不同長度波叫聲頻率

管長度	70cm	110cm	150cm
測試 1	1247	980	796
測試 2	1296	994	768
測試 3	1279	1162	779
測試 4	1288	1009	765
測試 5	1300	989	772
平均	1282	1026.8	776

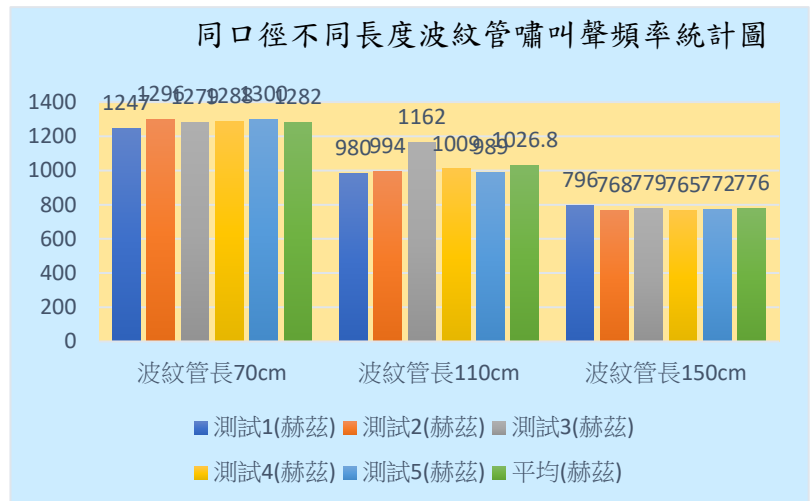


圖 伍- 4 測試同口徑不同長度嘯叫聲頻率統計圖

結果說明：以手機頻譜儀測量口徑相同的不同長度波紋管頻率，長度 150 cm 平均 5 次 776 赫茲，長度 110cm 平均 5 次 1025.6 赫茲，長度 70 cm 平均 5 次 1383 赫茲。

研究問題(五)：轉動速度是否會影響波紋管發出的嘯叫聲？

操縱變因：波紋管綁縛轉盤位置與甩轉轉速(電扇低、中、高速)

應變變因：發出嘯叫聲

控制變因：波紋管口徑 1.5 cm、波紋管長度 40 cm、6 條橡皮筋綁縛

研究結果：表伍-5 為改裝電扇帶動波紋管轉動速度，與能否發出嘯叫聲統計表 (轉速：轉/分 頻率：赫茲)

表 伍-5 測試改裝電扇帶動波紋管轉動速度與能否發出嘯叫聲統計表

位置	波紋管正中央綁縛在轉盤中央						波紋管一端 10cm 綁縛在轉盤中央					
	低轉速		中轉速		高轉速		低轉速		中轉速		高轉速	
轉速與 頻率	轉速	頻率	轉速	頻率	轉速	頻率	轉速	頻率	轉速	頻率	轉速	頻率
測試 1	668	189	1074	254	1675	308	576	789	988	925	1559	1136
測試 2	751	154	967	236	1589	304	479	856	904	907	1602	1158
測試 3	772	137	1038	207	1507	279	493	729	1008	985	1598	1099
測試 4	623	169	1067	218	1621	288	512	813	991	1004	1612	1132
測試 5	705	176	996	237	1617	291	558	826	925	1012	1553	1127
平均	703	165	1028	230.4	1601	294	523	802.6	963.2	966.6	1584	1030

結果說明：

1.玩具波紋管中央固定在電扇轉盤上，測試 5 次低轉速平均測得頻率 165 赫茲、中轉速平均測得頻率 230 赫茲、高速平均測得頻率 294 赫茲，波紋管都隨電扇扇葉快速轉動，但是波紋管都無法發出嘯叫聲。

2.波紋管一端 10 cm 位置綁縛在轉盤中央開啟電扇低、中、高三種轉速，低轉速測試 5 次平均測得頻率 802.6 赫茲、中轉速平均測得頻率 963.2 赫茲、高速平均測得頻率 1030 赫茲。以此方式綁縛波紋管電扇扇葉轉速都變慢，但是波紋管都可以發出嘯叫聲。

二、波紋管管內空氣流動的探討

前一大項了解到波紋管發出「嘯」叫聲，是因為甩轉使空氣流動管口兩端產生壓力差，我們想透過實驗知道管子內空氣的流動量、流動速度變化、甚至想看清楚波紋管內部空氣流動的變化過程，因此設計下列三項實驗。

研究問題(六)：波紋管發出嘯叫聲會有多少空氣流出管口？

操縱變因：波紋管口徑

應變變因：嘯叫聲消失

控制變因：塑膠袋 15 公升、波紋管長度 100 cm、手握波紋管位置

研究結果：表伍-4 與圖伍-5 為測試 15 公升空氣，經 3 種口徑波紋管甩動後嘯叫聲

消失紀錄表與統計圖單位(次)

表 伍-4 15 公升空氣經波紋管
甩動後嘯叫聲消失紀錄表

口徑	1.5 cm	2.2cm	2.5m
嘯聲	消失	消失	消失
測試 1	71	62	48
測試 2	70	59	49
測試 3	71	60	50
測試 4	71	59	49
測試 5	69	57	48
平均 (次)	70.4	59.4	48.8

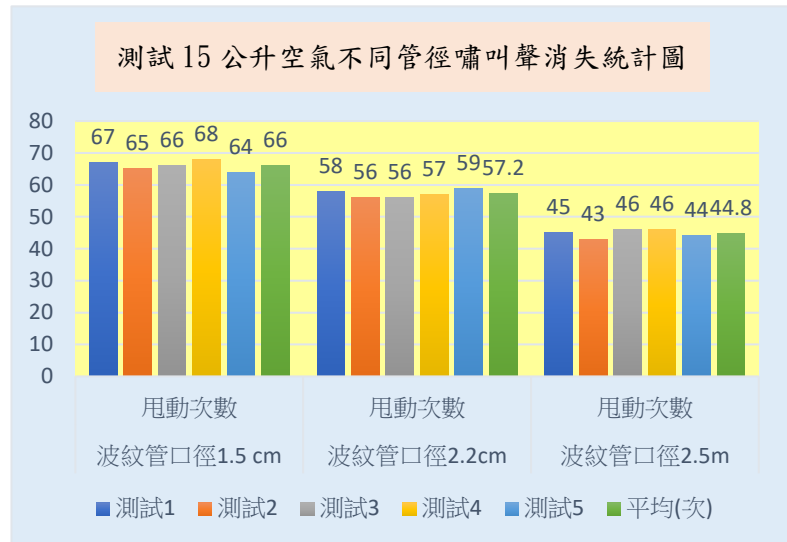


圖 伍- 5 以 15 公升空氣測試 3 種口徑波紋管甩動
多少次後嘯叫聲消失統計圖

結果說明：測試 3 種不同口徑波紋管甩動過程管子空氣流量，使用 15 公升塑膠袋裝滿空氣，再以口徑 1.5 cm 長度 1m 波紋管甩動，並記錄平均甩動 70.4 次空氣耗盡(每次 227c.c.量空氣被甩出)，以口徑 2.2 cm 長度 1m 波紋管甩動並記錄平均甩動 59.4 次空氣耗盡(每次 254c.c.量空氣被甩出)，以口徑 2.5 cm 長度 1m 波紋管甩動並記錄平均甩動 48.4 次空氣耗盡(每次 312c.c.量空氣被甩出)。

研究問題(七)：波紋管發出嘯叫聲，進出管道的空氣流速有變化嗎？

操縱變因：3 種不同口徑波紋管

應變變因：管道出口氣流流速

控制變因：波紋管長度 100cm，波紋管彎成半圓弧

研究結果：表伍-5 與圖伍-6 為以固定風速吹入波紋管內，測試三種口徑出口端氣流流速紀錄表與統計圖。(單位 m/s)

表伍-5 3種口徑波紋管出口端
風速測試5次紀錄表

口徑	1.5 cm	2.2 cm	2.5 cm
測試 1	8.9	9.7	10.2
測試 2	8.5	9.8	9.9
測試 3	8.7	9.6	9.8
測試 4	8.4	9.4	10.1
測試 5	8.8	9.6	9.9
平均 (m/s)	8.66	9.62	9.98

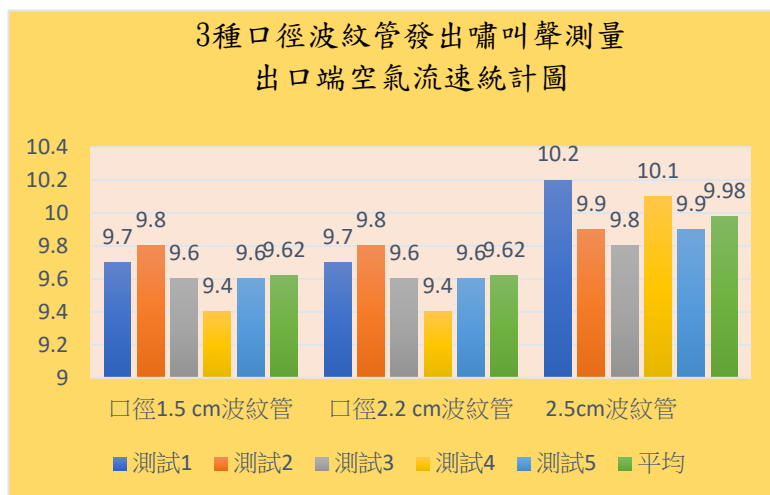


圖 伍-6 測試 3 種口徑波紋管發出嘯叫聲，出口端
空氣流速統計圖

結果說明：以每秒 13 公尺固定相同風速，分別吹入 3 種不同口徑波紋管使其發出嘯叫聲，測量另一端空氣流出管口速度，結果：口徑 1.5 cm 波紋管出風口端平均風速 8.66m/s；口徑 2.2 cm 波紋管出風口端平均風速 9.62m/s；口徑 2.5cm 出風口端平均風速 9.9m/s，管口徑愈大出口風速愈強。

研究問題(八)：空氣在波紋管內是如何流動的？

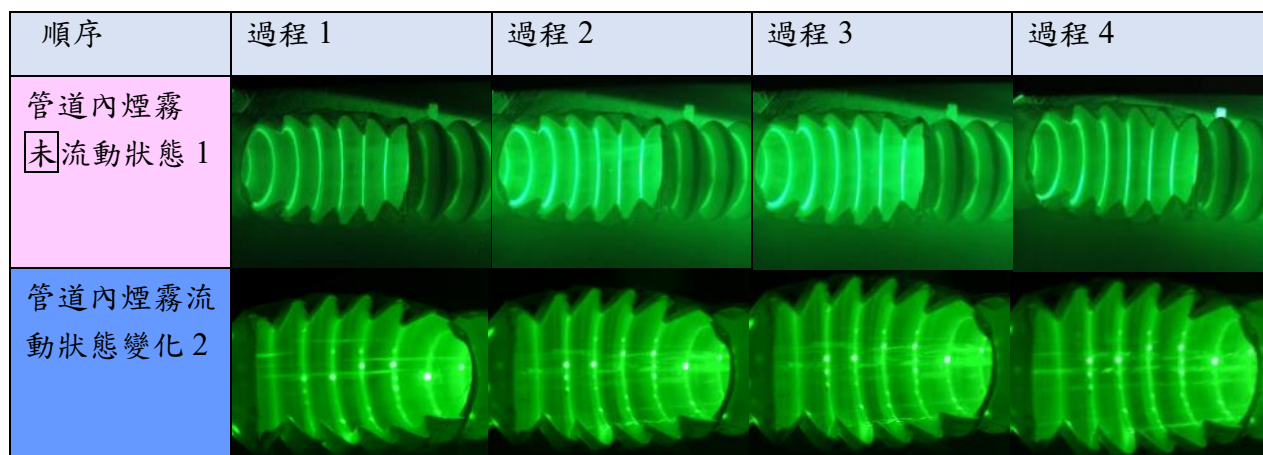
操縱變因：靜止與流動煙霧

應變變因：煙霧流動狀態改變

控制變因：線香深入管口內 5cm、波紋管長度 40 cm，波紋管口徑 3.5cm

研究結果：圖伍-7 為靜止煙霧與流動煙霧在波紋管內與出口端，觀察與影像拍攝

圖



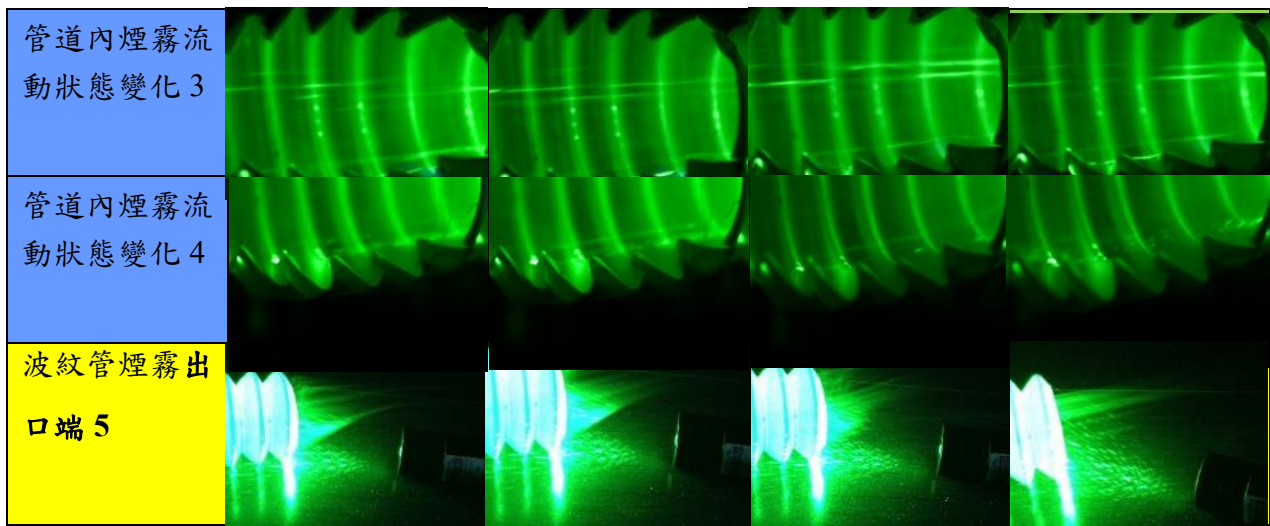


圖 伍-7 煙霧模擬空氣在波紋管內，靜止、流動與出口端 3 種狀態觀察圖

結果說明：觀察 1 次煙霧靜止與 3 次煙霧流動，模擬煙霧空氣在波紋管管道內的狀態，沒有抽氣煙霧靜止在管道內狀似一層薄煙霧在管道內(如上圖 1)。透過抽氣管道內煙霧可以明顯看到煙霧，在經過凸出的波紋管壁時煙霧時出現斷續與捲旋狀的擾流(圖伍-7 流動狀態 2、3、4) 出口端瞬間煙霧受擾動也很明顯(圖伍-7 出口端 5)。

三、波紋管嘯叫聲應用與應用製作探討

探索文獻發現燒煮開水的茶壺也應用到波紋管，透過拆解我們想知道它發聲原理，我們還想到農民為驅趕為害農作物的野生動物，時常應用放鞭炮或沖天砲響聲作防治方法，查閱文獻也有外國學者應用不同聲響做驅趕鳥類研究。因此，以下繼續嘗試應用波紋管「嘯」叫聲實驗可否驅趕鳥類，驗證若可行則設計波紋管自動發聲裝置。

研究問題(九)：波紋管的嘯叫聲應用在琴音壺與笛音壺水開時嘯叫聲頻率一樣嗎？

操縱變因：發音位置(琴音壺在壺蓋，笛音壺在壺嘴)

應變變因：嘯叫聲頻率

控制變因：水量 4 公升，水壺容量 5 公升、火力 3，水溫常溫

研究結果：表伍-6 與圖伍-8 為琴音壺與笛音壺，燒煮相同水量水開後嘯叫聲的頻率紀錄表與統計圖。(單位赫茲)

表 伍-6 琴音壺與笛音壺燒開水發出嘯叫聲頻率表

名稱	琴音壺	笛音壺
測試 1	516.5	2243
測試 2	517.3	2228
測試 3	516.3	2237
測試 4	515.5	2265
測試 5	517.4	2275
平均	516.6	2249.6

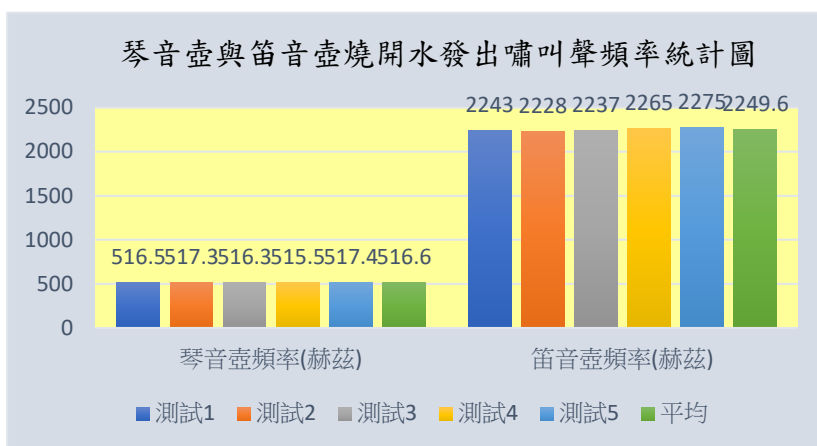


圖 伍-8 以琴音壺與笛音壺燒開水，水開時頻率統計圖 (赫茲)

結果說明：琴音壺由 6 種部件組成，笛音壺由兩片圓蓋中央打洞組成，琴音壺發出頻率平均 5 次 516.6 赫茲，笛音壺 2249.6 赫茲。

研究問題(十)：鳥類動物是否會避開波紋管的「嘯」叫聲？

實驗操作 1.：以研究問題三甩動口徑 1.5cm、2.2cm、2.5cm 波紋管發出的嘯叫聲，以手機錄音功能錄製各 10 秒，各停止甩動 10 秒靜音，再錄製 10 秒。以小米 note10 4G 手機當作播放裝置，測試學校養的公雞是否對波紋管嘯叫聲有反應。

操縱變因：不同頻率(口徑 1.5cm、2.2cm、2.5cm 波紋管嘯叫聲)

應變變因：避開或不敢靠近

控制變因：音量大小 80 分貝，播放聲音時間 10 秒停 10 秒 3 個循環共 1 分鐘、放置位置雞舍入口

研究結果：表伍-7 與圖伍-9、圖伍-10 為利用 3 種波紋管發出的嘯叫聲錄音後，以手機播放嘯叫聲測試校園養的大公雞是否會出現避開行為。

表伍-7 三種不同頻率嘯叫聲播放後公雞行為紀錄表錄

口徑	1.5	2.2	2.5
頻率	1153	940.8	644.2
公雞反映	避開	避開	無反應



圖 伍-9 手機撥放嘯叫聲公雞出現避開行為



圖 伍-10 比較有無手機播放嘯叫聲公雞離舍行為

結果說明：由上表紀錄與操作實驗圖示(紅色箭頭手機播放聲音)可知，播放嘯叫聲公雞會出現避開行為(圖 伍-9)；再驗證聲音是否會影響公雞離舍行為，將手機置於雞舍門口(圖伍-12 左圖)雞不敢離舍；手機嘯叫聲拿開(圖伍-10 右圖)公雞準備離開雞舍走出來。

實驗操作 2：同樣以研究問題三甩動口徑 1.5cm、2.2cm、2.5cm 波紋管發出的嘯叫聲，測試校園農作區其他鳥類是否也會對波紋管嘯叫聲出現避開行為，先測試在農作區放置鳥類吃食的穀類三盤，觀察鳥類是否會來吃食，再放置手機播方嘯叫聲觀察鳥類行為反應。

操縱變因：有、無波紋管嘯叫聲

應變變因：避開或不敢靠近

控制變因：音量大小 85 分貝，播放聲音時間 10 秒停 10 秒連續播放

研究結果：表伍-8 與圖伍-11、圖伍-12 為播放三種頻率嘯叫聲，測試校園農作區鳥類是否避開行為紀錄表與拍攝鳥類行為照片。

表 伍-8 三種不同頻率播放學校農作鳥類行為紀錄表

口徑	1.5	2.2	2.5
頻率	1153	940.8	644.2
鳥類反映	避開	避開	無反應



圖 伍-11 校園農作區經常出現麻雀、黑領掠鳥、喜鵲(紅色箭頭)吃食農作圖



圖 伍-12 在農作區放置三盤穀類觀察鳥類吃食，與播放嘯叫聲後觀察鳥類出沒狀況圖

結果說明：

1.在校園農作區(圖 伍-11)經常會看到麻雀、黑領掠鳥、喜鵲出沒，吃食學校志工、老師協助耕耘的農作物或吃掉土壤中的蚯蚓。實驗先放置三盤穀物(圖伍-12-1-2)，觀測紀錄鳥類是否會來吃食，果然鳥類很快就被穀物吸引前來把穀物吃食乾淨。

2.接著放置手機嘯叫聲(圖伍-12-3)，驗證結果頻率 940 赫茲與 1153 赫茲，音量 85 分貝，鳥類會避開不敢繼續前來吃穀物。但是較低的 644 赫茲嘯叫聲，會看到有黑領掠鳥前來吃食(圖 伍-12-4)

實驗操作 3：我們利用學校廢棄吊扇改裝成風車，固定在廢棄課桌上，製作好先測

試風吹能否轉動，再搬至學校農作區，安裝研究問題(四)長度 70cm 口徑 1.5cm 與長度 50cm 口徑 1.5cm 波紋管綁縛在扇葉上，同樣在農作區放三盤穀物吸引鳥類吃食，記錄風車轉動後鳥類活動狀況。

操縱變因：風車轉動速度

應變變因：避開或不敢靠近

控制變因：風車放置位置固定離穀物盤 2 公尺

研究結果：表伍-9 與圖伍-13、圖 伍-14 為利用改裝吊扇製作風車，透過自然風使風車高速旋轉帶動 2 種長度波紋管發出嘯叫聲，記錄農作區鳥類行為紀錄表與實際觀察到之照片。

表 伍-9 二種長度波紋管綁縛在自製風車，5 次不同風速下測得轉速與嘯叫聲頻率及鳥類行為紀錄表

管長度	50cm				70cm			
	測量項目	風速 (m/s)	轉速 (轉/分)	頻率 (赫茲)	鳥類避開	風速 (m/s)	轉速 (轉/分)	頻率 (赫茲)
測試 1	10.5	1203	1106	✓	10.6	1187	1098	✓
測試 2	8.6	986	879	✓	9.7	1033	1004	✓
測試 3	9.8	1064	1021	✓	8.4	906	936	✓
測試 4	8.4	972	898	✓	8.6	925	843	✓
測試 5	10.1	1102	1076	✓	9.6	1076	1115	✓



圖 伍-13 風車轉動測試與安裝在學校農作區，並安裝波紋管(綠色)在扇葉上，透過自然風高速轉動發出嘯叫聲



圖 伍-14 風車帶動波紋管轉動發出嘯叫聲，黑領掠鳥、白翅八哥、麻雀轉移陣地到校園其他地方覓食

結果說明：

1. 測試自製吊扇風車轉動速度與頻率，因前項實驗(三、四)實驗知口徑越小發出頻率越高，所以使用口徑 1.5cm 長度 70cm 與 50cm 波紋管測試。兩種長度波紋管測得在風速 8 公尺以上，嘯叫聲都可達到 840 赫茲以上，嘯叫聲清晰且響亮，可以達成驅趕鳥類效果很好。
2. 安裝風車到學校農作區，原本農作區經常看到喜鵲、黑領掠鳥、白翅八哥、麻雀出沒區，都不再出現，我們認為可能是風車帶動波紋管發出嘯叫聲，嘯叫聲趨趕走鳥類(圖 伍-15)，另外我們也發現離農作區約 50 公尺外的草地上還是有麻雀、黑領掠鳥與白翅八哥出現，可以驗證此風車帶動波紋管發出嘯叫聲是環保趨鳥裝置。

陸、研究討論

- 一、為了解是否管子甩動都會發出嘯叫聲，本實驗收集 12 種類別管子，分別請 3 位同學甩轉。結果一般水管無法發出嘯叫聲，但是可以聽見甩動水管與空氣摩擦聲；而吸塵器波紋管，同樣的甩動就是與一般水管一樣發出與空氣摩擦聲，其他 8 種不同類型與口徑波紋管都會發出大小不一的嘯叫聲，8 種管子內壁有間距 5mm，高度約 3~5mm 凸起褶皺是共同特徵。
- 二、波紋管除了以甩轉方式發出嘯叫聲，本實驗還嘗試 3 種方法了解能否使它發出嘯叫聲。以長度 80cm 口徑 2.2cm 的波紋管測試：方法(一)、拉直波紋管在胸前交叉畫「X」甩，3 次都發出聲響。方法(二)、拉直波紋管在上端用力吹氣，結果有 1 次吹出嘯叫聲，有 2

次無法吹出聲響；再嘗試把波紋管彎曲如甩動的一端彎曲狀，再次吹氣則 3 次都吹出嘯叫音。方法(三)、在波紋管一端約 3cm 位置綁一條 100cm 長布鞋帶甩動，波紋管也可以發出嘯叫聲。

由以上實驗可知：在胸前交叉 甩動、用力吹氣也可以使波紋管發出嘯叫聲，但是不如甩轉動聲音有連續性。一端綁繩子後甩轉動與單獨用手握波紋管一端甩轉動發聲效果相同。要使波紋管產生嘯叫聲必須使波紋管產生轉動(如圖 陸-1)。

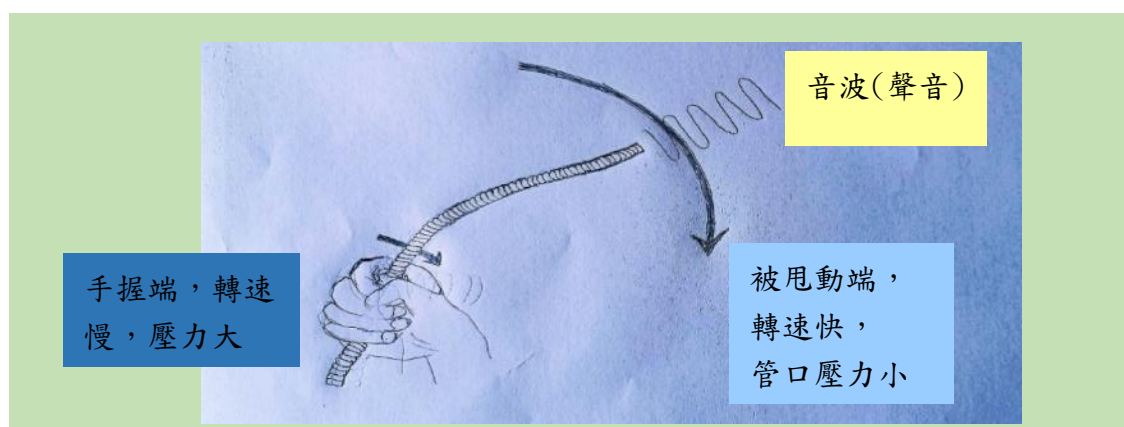


圖 陸-1 波紋管發出嘯叫聲手繪圖

三、為探究不同口徑波紋管發出的嘯叫聲是否有差異，利用手機 Physics Toolbox Suite App 測量 3 類型長度 1 公尺波紋管：口徑 1.5cm 波紋管 5 次平均 1153 赫茲；口徑 2.2cm 波紋管 5 次平均 940 赫茲；口徑 2.5cm 波紋管 5 次平均 644.2 赫茲。

由以上實驗之口徑愈大的波紋管發出的頻率愈小，聲音愈低沉。

四、波紋管長度是否會影響發出嘯叫聲頻率，以口徑 1.5cm 長度分別為 150cm、110 cm、70cm 三種長度配電波紋管操作實驗。長度 150cm 波紋管 5 次平均頻率 776 赫茲；長度 110 cm 波紋管 5 次平均頻率 1026.8 赫茲；長度 70cm 波紋管 5 次平均頻率 1282 赫茲。

由此實驗可知比較短的波紋管，發出的嘯叫聲頻率比較高，反之則比較低。

五、為了解甩轉速度是否影響波紋管發出的嘯叫聲頻率，需要可調整轉速快慢且固定施力產生的裝置，因此想到改裝電扇，操作過程如下。

(一)製作可帶動波紋管轉動裝置

1.改裝電扇，因為電扇馬達轉動不會發出噪音幾乎是靜音運轉，而原本以為把扇葉

罩拆除，留下中心直徑 6cm 可鎖緊扇葉的轉盤，就可帶動波紋管轉動，結果測試中心轉盤可以帶動波紋管轉動，但轉速非常慢無法使波紋管發出嘯叫聲。

2.再測試裝回扇葉，扇葉邊以絕緣膠帶包覆，可避免轉動時造成傷害，以口徑 1.5 cm 長度 40cm 波紋管，再以 6 條橡皮筋纏繞固定在轉盤與扇葉上，開啟電扇低轉速開關，波紋管開始轉動。

(二)測試裝置帶動波紋管發出頻率

1.分別把長度 40cm 口徑 1.5cm 波紋管中央位置，綁縛在波紋管固定綁縛在中央轉盤與扇葉上，再分別開啟電扇低、中、高轉速，結果三種轉速波紋管全部無法發出嘯叫聲。

2.與同學討論後想到，甩動波紋管會發出嘯叫聲是因為如研究問題(三)，要使波紋管兩端空氣維持甩轉一進一出的模式，就可發出嘯叫聲。因此我們想到把波紋管，改為一端 10cm 一端 30cm 不對稱綁縛固定扇葉轉盤中心與端一端彎折綁在轉盤周圍，測試電源 各檔位(低、中、高)轉速平均 5 次，結果低(523 轉/分)、中(963 轉/分)、高(1584 轉/分)都可以使波紋管發出嘯叫聲。反觀波紋管對稱綁縛電扇轉盤中心，低轉速 5 次平均 703 轉/分，轉速較高但是無法發出嘯叫聲，原因在於管道兩端無法產生足夠壓力差。

六、波紋管發出嘯叫聲會有多少空氣流出管口，以長度 1m，口徑 1.5cm、2.2cm、2.5cm 三種波紋管各別套在 15 公升小垃圾袋口，測試 5 次嘯叫聲與空氣耗盡甩動次數結果：

(一)口徑 1.5 cm 波紋管，平均甩動 66 次嘯叫聲消失，空氣耗盡平均甩動 70.4 次。

(二)口徑 2.2cm 波紋管，平均甩動 57.2 次嘯叫聲消失，空氣耗盡平均甩動 59.4 次。

(三)口徑 2.5cm 波紋管，均甩動 44.8 次嘯叫聲消失平，空氣耗盡平均甩動 48.8 次。

由實驗可知，甩動愈大口徑的波紋管，管內每次消耗的空氣量愈多，也愈難甩出嘯叫聲音。

七、波紋管發出嘯叫聲，進出管道的空氣流速是否有變化，實驗以口徑 1.5cm 波紋管、口徑 2.2cm 波紋管、口徑 2.5cm 波紋管，三種管徑長度取 100cm，先測試鼓風機製造強氣流，可否使口徑 1.5 配電波紋管發出嘯叫聲，試驗可行。因此，本項實驗以鼓風機吹出固定

風速 13 公尺/秒做測試，各實驗 5 次，結果：口徑 1.5 cm 波紋管，出口風速 8.66 公尺/秒；口徑 2.2 cm 波紋管，出口風速 9.62 公尺/秒；口徑 2.5 cm 波紋管，出口風速 9.98 公尺/秒公尺/秒。

由實驗可知以固定風速吹入波紋管內，管口大者比管口小的吹出風速強；另實驗過程也發現波紋管彎成弧形，嘯叫聲會更加明顯響亮。

八、波紋管管道內空氣是如何流動，實驗結果：

(一)未抽氣煙霧迷漫管道中無法看到氣流流動。

(二)在有光照環境無法看清煙霧在管內如何流動，因此需在較暗環境實驗，並以綠色光照進管道內。

(三)要使線香煙霧由管道一進一出，原認為可以請同學在煙霧入口吹氣，或裝置小型 DC 風扇把煙霧吹入，然而實驗後發現以吹入方式，煙霧流動過快瀰漫管道不易觀察，改為在出口端把 DC 風扇反向離管口 15cm 以吸出煙霧方式操作，煙霧在管內流動過程非常明顯。

(四)線香煙霧在流動經過波紋管內時，煙霧流經管壁凸起會形成捲旋的擾流(如圖 陸-2-1)，流經管內中央則呈直線平滑的層流(如下圖 陸-2-2)直接流出管口，空氣出口端煙霧碰觸管壁也有明顯擾流狀空氣流出(如圖陸-2-3)。

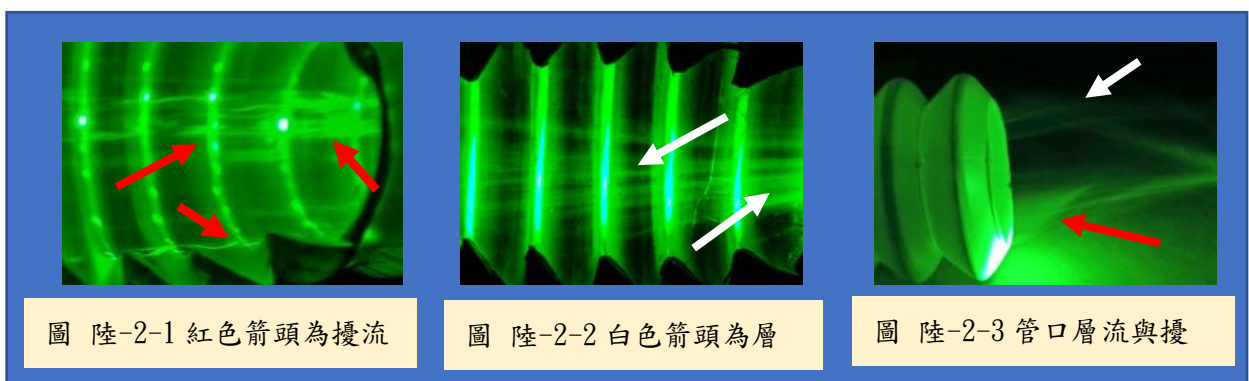


圖 陸-2 煙霧在波紋管內流動與出口形成擾流、層流說明圖

九、琴音壺與笛音壺發出的嘯叫聲。

(一)拆解琴音壺可以發現由 6 項部件組成，由外而內為：膠木把手、把手墊片、壺蓋、

圓形響片、圓形墊片、螺絲；把手墊片有三個高 3mm 寬 4cm 門狀開口，圓形響片是在其上開出長 2.5cm 寬 2 mm 溝槽組成的三角形，並用同溝槽大小的三銅片做為發聲簧片，要使琴音壺發聲，關鍵是要使簧片朝壺水。

(二)觀察笛音茶壺的壺嘴，可以發現它有兩個圓盤，中間有一個短間隙，上下圓盤的中心都有一個孔。當空氣或蒸汽流過第一個孔，然後再流過第二個孔時，它會以渦流的形式離開，從而在空氣中產生振盪壓力，人耳可以聽到類似汽笛的聲音。

(三)以手機音頻測量 App 測量琴音壺發出的嘯叫聲，測量五次頻率 516.6HZ；而笛音壺測得嘯叫聲頻率五次平均 2249.6 HZ，音頻比較高。

十、為了解鳥禽類是否會避開波紋管嘯叫聲，我們錄製相同長度 1 公尺，口徑 1.5cm 頻率 1153 赫茲，口徑 2.2cm 頻率 940 赫茲，口徑 2.5cm 644 赫茲三種波紋管嘯叫聲，先以手機播放三種頻率測試學校養的大公雞是否會避開嘯叫聲，結果：

(一)波紋管發出的頻率 1153 與 940 赫茲非常明顯使大公雞躲避，644 赫茲公雞無反應。

(二)再把手機錄音放置在學校農作區，以穀物誘鳥前來吃食，並比較有無嘯叫聲，是否影響鳥類吃食穀物，結果穀物旁播放嘯叫聲，鳥類也會避開嘯叫聲不敢前來吃食穀物。

(三)因為兩項實驗發現嘯叫聲確實會使鳥類避開，我們想到如果把波紋管綁縛在改裝吊扇上應該也會使波紋管發出嘯叫聲響，因為前項實驗(五)改裝家用電扇可以使波紋管發出嘯叫聲。因為吊扇扇葉長，吊扇的扇葉經過大自然風吹動後，扇葉受風範圍更大轉速會更快，改裝好以後測得轉速很快，可以達到 1200 轉/分以上，使長度 70 與 50 公分口徑 1.5cm 波紋管發出高頻嘯叫聲，在改裝風車旁 2 公尺同樣放置三盤穀物誘鳥，我們連續一周下課時間前往記錄觀察，都沒看見鳥類出沒，因為我們裝的三盤誘鳥穀物都保存完好，沒有被鳥類吃食過，由此可知利用改裝吊扇製作風車帶動波紋管發出嘯叫聲，這種嘯叫聲可以達到驅趕鳥類效果。

柒、研究結論

一、研究後心得與收穫

- (一)波紋管會發出「嘯」叫聲主要是旋轉運動產生的，因為甩轉管子後兩端產生，我們也發現以吹氣或一端綁繩子甩轉也會發出「嘯」叫聲。
- (二)波紋管發出「嘯」叫聲會因為管子長短、口徑大小、甩轉速度快慢而發出高低不同頻率「嘯」叫聲。
- (三)以鼓風機吹出固定風速進入波紋管，量測另一端波紋管出口風速，可以了解波紋管發出嘯叫聲，空氣流經管道後快慢變化，本實驗僅對同長度不同口徑做驗證，未來可繼續以同口徑不同長度做相關研究。
- (四)研究以煙霧模擬空氣在波紋管內流動，再以綠光照射入管內，在較暗環境中操作可明顯觀察到管壁凸起結構致使煙霧產生擾流，此簡單裝置可驗證波紋管甩動為何會發出「嘯」叫聲。

二、波紋管「嘯」叫聲應用

- (一)手機錄製波紋管發出的嘯叫聲會使學校養的大公雞，出現明顯避開行為。
- (二)相同的波紋管嘯叫聲也會使學校農作區出現的鳥類，在播放嘯叫聲後不敢接近吃食放置的誘鳥穀物。
- (三)透過改裝廢棄吊扇，自然風吹動吊扇可使波紋管發出嘯叫聲，此裝置環保不用任何電力即可達成驅趕野生動物效果，我們認為此簡單裝置非常值得推廣給農民讓農民受益。

捌、參考資料

- 一、物理馬戲團 π 沃克 著 2000 p194~195 天下文化 台北
- 二、Blesdoe, E. K. and Blumstein, D. T. (2014). What is the sound of fear? Behavioral responses of white-crowned sparrows *Zonotrichia leucophrys* to synthesized nonlinear acoustic phenomena. *Curr. Zool.* 60, 534-541. <https://doi.org/10.1093/czoolo/60.4.534>

- 三、Cardoso, G. C. (2011). Paradoxical calls: the opposite signaling role of sound frequency across bird species. *Behav. Ecol.* 23, 237-241. <https://doi.org/10.1093/beheco/arr200>
- 四、D. Tonon, G. Nakiboglu , A Hirschberg Published(2010) Engineering. Voice of the dragon: the mystery of the missing fundamental mode
<http://isma2010.phys.unsw.edu.au/proceedings/papers/p29.pdf>
- 五、Hee-Chang Lim and Faran Razi *Energies* 2018, 11(8)Experimental Study of the Flow-Excited Acoustical lock-in in a Corrugated pipe
http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICSV14/papers/p565.pdf
- 六、M. E. Amorim, Teresa Delmira Sousa, Adriano Sampaio e Sousa Published 24 August (2011) The Physics Teacher A Simple Experiment to Explore Standing Waves in a Flexible Corrugated Sound Tube <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/81250/2/49051.pdf>
- 七、Michael J Ruiz and James Perkins (2017)The monster sound pipe *Physics Education*, Volume 52 Number 2
https://www.academia.edu/75849797/The_monster_sound_pipe
- 八、Stefania Serafin and Juraj Kojs,(2003) “The voice of the dragon: A physical model of a rotation corrugated tube,” <http://dafx.de/paper-archive/2003/pdfs/dafx57.pdf>
- 九、Sounds Like Fun <http://www.exo.net/~pauld/activities/AAAS/aaas2001.html>
- 十、Whirly – The wirling Sound Hose <https://www.scienceworld.ca/resource/whirly-tubes/>
- 十一、Twirling sound hose experiment (Sound tubes create low air pressure)
https://www.youtube.com/watch?v=u6uEqsZlaZM&ab_channel=KidsFunScience
- 十二、Tube Resonance - Standing Sound Waves
https://www.youtube.com/watch?v=bHdHaYNX4Tk&ab_channel=JamesLincoln

【評語】 082817

為了解決校園農作區遭到鳥類吃掉作物的問題，本作品研究波紋管製造聲響對驅趕鳥類的影響，具鄉土研究精神。利用旋轉波紋管產生的聲響為出發點，討論不同轉速、流速、口徑等對聲響的影響，並研究空氣在波紋管內的流動方式，藉由實驗結果應用於驅趕鳥類等動物的裝置。以波紋管驅鳥想法富有創意，同學對於了解波紋管發聲的原理與設計的實驗也值得鼓勵；若能討論自然風吹動吊扇產生聲響的影響，以及如何控制風向與風力等因素，將可顯著提升本作品的實用性。

作品簡報

「管」它如何「響」，「嘯」一下

科 別：生活應用科學(一)

組 別：國小組

關鍵詞：波紋管、頻率

編 號：082817

研究動機及目的



SDGs

- 糧食安全
- 消除飢餓
- 永續農業



鳥類

- 糧食減產
- 稻草人、光碟片、防鳥網
- 效果有限或危害生命



波紋管

- 嘯叫聲特性
- 空氣流動變化
- 聲音驅鳥



驅鳥裝置

- 低成本
- 有效果
- 不傷害鳥類

研究過程與方法-波紋管嘯叫聲探討(一)

哪些種類塑膠管可以發出嘯叫聲？

- 內部管壁有明顯凸出皺褶的管子會發出嘯叫聲。

還有什麼方式也可以使其發出嘯叫聲？

- 胸前交叉甩動、吹氣、綁住繩子甩動也都可以

不同口徑發出的嘯叫聲的相同嗎？

- 口徑愈小波紋管發出的頻率愈高。

長度是否會影響嘯叫聲出現差異

- 長度愈短頻率愈高。

同長度不同口徑波紋管嘯叫聲頻率統計圖



同口徑不同長度波紋管嘯叫聲頻率統計圖



研究過程與方法-波紋管嘯叫聲探討(二)

波紋管轉動速度是否會影響嘯叫聲出現差異

- 轉速愈高，波紋管發出的嘯叫聲頻率也愈高。

位置	波紋管一端10cm綁縛在轉盤中央					
	低轉速		中轉速		高轉速	
轉速與 頻率	轉速	頻率	轉速	頻率	轉速	頻率
測試1	576	789	988	925	1559	1136
測試2	479	856	904	907	1602	1158
測試3	493	729	1008	985	1598	1099
測試4	512	813	991	1004	1612	1132
測試5	558	826	925	1012	1553	1127
平均	523	802.6	963.2	966.6	1584	1030



請校務助理改裝電扇



改裝固定在廢棄桌子上並測轉速



為安全起見扇葉包覆電器膠帶



使用音頻APP測嘯叫聲頻率

研究過程與方法-波紋管管內空氣流動的探討(一)

不同口徑波紋管發出嘯叫聲
會有多少空氣流出管口

- 口徑越大，流出空氣量越多

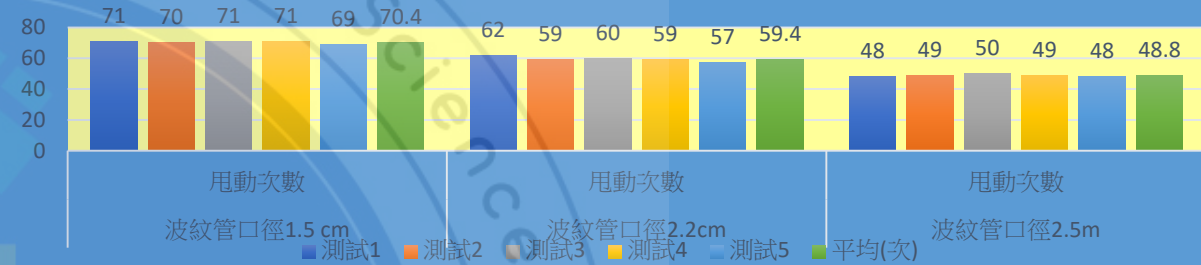
波紋管發出嘯叫聲，進出管
道的空氣流速有變化嗎？

- 口徑愈小出口風速也愈小

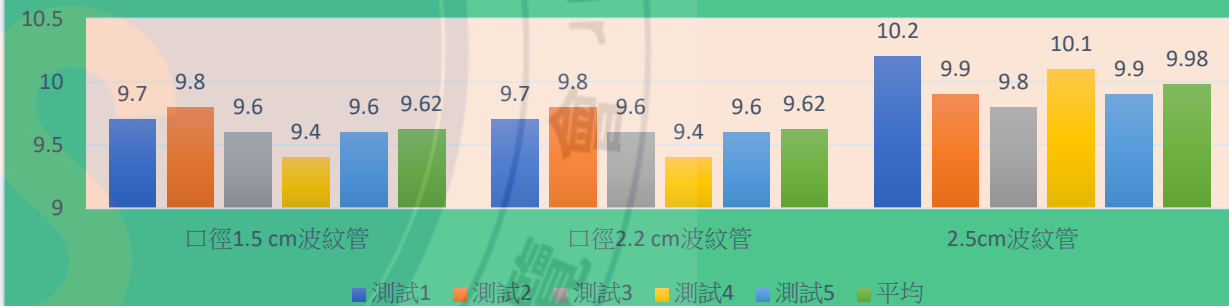
空氣在波紋管內是如何流動
的？

- 經過凸出的波紋時，煙霧出現斷
續與捲旋

15公升空氣以不同管徑用動空氣耗盡
統計圖



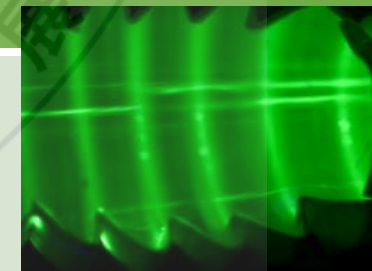
3種口徑波紋管發出嘯叫聲測量
出口端空氣流速統計圖



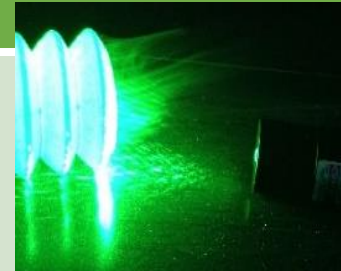
煙霧未流動



煙霧流動



煙霧流出



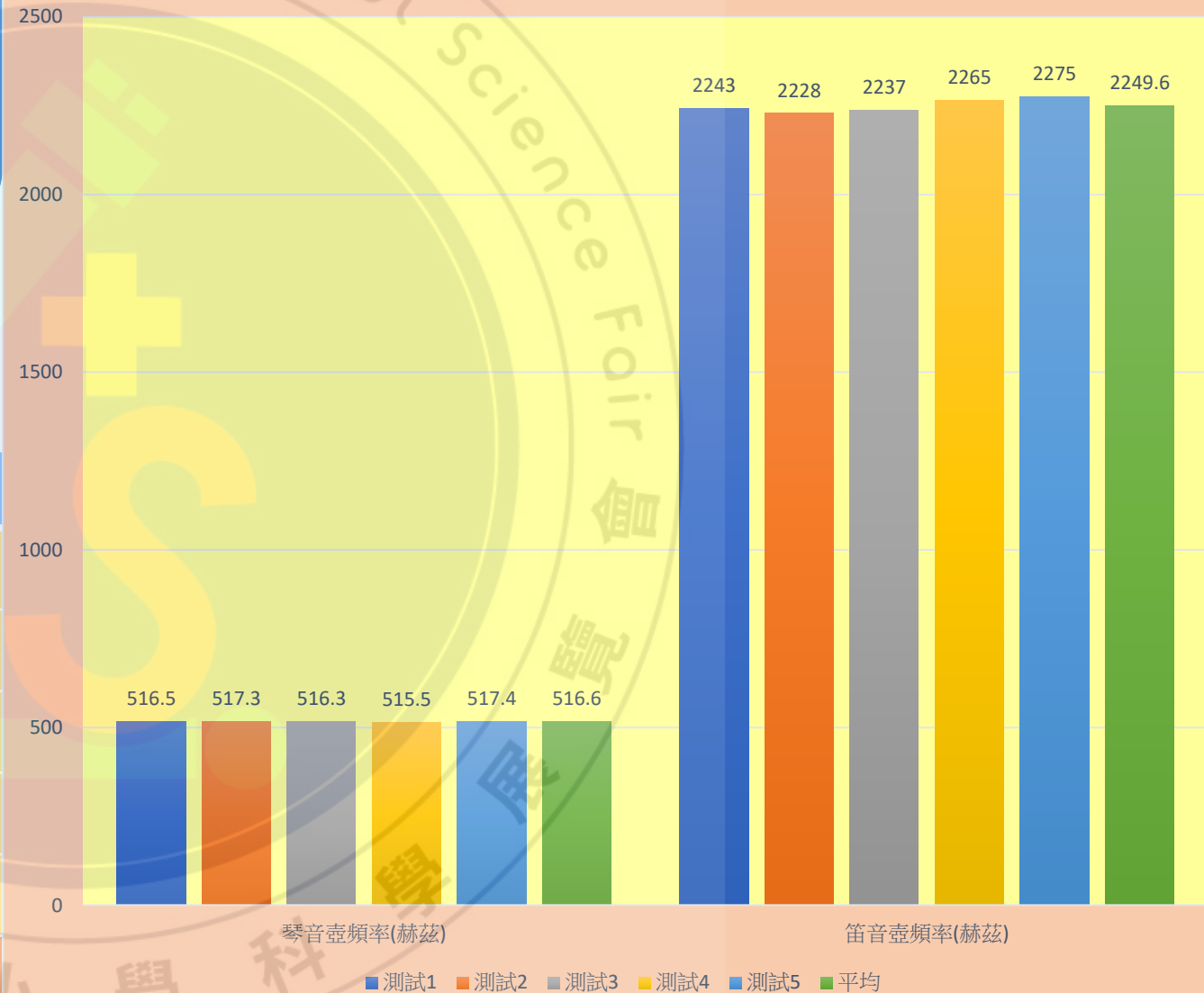
嘯叫聲生活上的應用-琴音壺與笛音壺

琴音壺與笛音壺水開時嘯叫聲頻率一樣嗎

- 笛音壺2249.6赫茲比琴音壺516.6赫茲高

名稱	琴音壺	笛音壺
測試1	516.5	2243
測試2	517.3	2228
測試3	516.3	2237
測試4	515.5	2265
測試5	517.4	2275
平均	516.6	2249.6

琴音壺與笛音壺燒開水水開後發出嘯叫聲頻率統計圖



鳥類對嘯叫聲頻率的反應-以雞為研究對象

錄製三種口徑嘯叫聲

測試公雞對嘯叫聲的反應

結果

940赫茲以上公雞有避開



口徑	1.5cm	2.2cm	2.5cm
頻率	1153赫茲	940.8赫茲	644.2赫茲
公雞反映	避開	避開	無反應

鳥類對嘯叫聲頻率的反應-以校園鳥類(麻雀、黑領琿鳥、喜鵲為研究對象

錄製三種口徑嘯叫聲

以穀物當誘餌

比較有無嘯叫聲是否會影響鳥類吃食

結果

無嘯叫聲：鳥會吃食

有嘯叫聲：鳥會避開不敢吃食



口徑	1.5cm	2.2cm	2.5cm
頻率	1153赫茲	940.8赫茲	644.2赫茲
鳥類反映	避開	避開	無反應

驅鳥裝置-以大風扇帶動波紋管

設計

改裝吊扇以自然風帶動波紋管轉動

測試

以長度50cm及70cm，口徑1.5cm的波紋管

結果

風速8m/s以上-頻率可達840赫茲

驅趕鳥類效果顯著



管長度	50cm				70cm			
	風速(m/s)	轉速(轉/分)	頻率(赫茲)	鳥類避開	風速(m/s)	轉速(轉/分)	頻率(赫茲)	鳥類避開
測試1	10.5	1203	1106	✓	10.6	1187	1098	✓
測試2	8.6	986	879	✓	9.7	1033	1004	✓
測試3	9.8	1064	1021	✓	8.4	906	936	✓
測試4	8.4	972	898	✓	8.6	925	843	✓
測試5	10.1	1102	1076	✓	9.6	1076	1115	✓

研究討論與結論

轉動、轉速

- 轉速快-頻率高
- 轉速慢-頻率低
- 空氣流經管壁凸起會形成捲旋的擾流。

口徑

- 口徑大-頻率低、流速大、流出空氣量多
- 口徑小-頻率高、流速小、流出空氣量少

長度

- 長度長-頻率低
- 長度短-頻率高

應用

- 琴音壺與笛音壺
- 利用嘯叫聲風車裝置成功驅趕鳥類

研究結論

研究實驗後心得與收穫

- (一)「嘯」叫聲，主要是旋轉運動使管子兩端產生壓力差。
- (二)長短、口徑大小、用轉速度會影響它發出高低不同頻率「嘯」叫聲。
- (三)以煙霧模擬空氣在波紋管內流動產生擾流，可驗證波紋管為何會發出「嘯」叫聲。

波紋管「嘯」叫聲應用

- (一)波紋管發出的嘯叫聲會使學校養的大公雞，出現明顯避開行為。
- (二)相同的波紋管嘯叫聲也會使學校農作區出現的鳥類，不敢接近吃食放置的誘鳥穀物。
- (三)改裝廢棄吊扇，可使波紋管發出嘯叫聲，此裝置環保不用任何電力即可達成驅趕野生鳥類效果，我們認為此簡單裝置非常值得推廣給農民讓農民受益。

參考文獻

- 一、物理馬戲團n 沃克 著2000 p194~195 天下文化 台北
- 二、Blesdoe, E. K. and Blumstein, D. T. (2014). What is the sound of fear? Behavioral responses of white-crowned sparrows *Zonotrichia leucophrysto* synthesized nonlinear acoustic phenomena. *Curr. Zool.* 60, 534-541
<https://doi.org/10.1093/czoolo/60.4.534>
- 三、Cardoso, G. C. (2011). Paradoxical calls: the opposite signaling role of sound frequency across bird species. *Behav. Ecol.* 23, 237-241.
<https://doi.org/10.1093/beheco/arr200>
- 四、D. Tonon, G. Nakiboglu , A Hirschberg Published(2010) Engineering. Voice of the dragon: the mystery of the missing fundamental mode
<http://isma2010.phys.unsw.edu.au/proceedings/papers/p29.pdf>
- 五、Hee-Chang Lim and Faran Razi *Energies* 2018, 11(8)Experimental Study of the Flow-Excited Acoustical lock-in in a Corrugated pipe
http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICSV14/papers/p565.pdf
- 六、M. E. Amorim, Teresa Delmira Sousa, Adriano Sampaio e Sousa Published 24 August (2011) The Physics Teacher A Simple Experiment to Explore Standing Waves in a Flexible Corrugated Sound Tube <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/81250/2/49051.pdf>
- 七、Michael J Ruiz and James Perkins (2017)The monster sound pipe *Physics Education*, Volume 52
Number 2 https://www.academia.edu/75849797/The_monster_sound_pipe
- 八、**Sounds Like Fun** <http://www.exo.net/~pauld/activities/AAAS/aaas2001.html>
- 九、Whirly - The whirling Sound Hose <https://www.scienceworld.ca/resource/whirly-tubes/>