

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

082921

「聲」「氣」勃勃—聲波滅火之原理探究與裝置
改良分析

學校名稱：高雄市新興區信義國民小學

作者： 小五 黃楷晴 小六 林庭希	指導老師： 林宇涵 胡益銘
-------------------------	---------------------

關鍵詞：聲波滅火、振幅、噴射氣流

摘要：

我們利用西卡紙製作不同孔徑與筒長的聚音筒裝置以**控制聲波前進的方向並提高音量**，並以筆電及軟體(VB_generator)控制輸出聲音的頻率及音量找出較適合的輸出功率(30%)，接下來利用分貝計測量各種孔徑與筒長的聚音筒在不同頻率與距離時的音量，且找到間歇性的噴射氣流與音量振盪之關聯性，得知聲波滅火可能與噴射氣流及聲波為疏密波有關。

從研究三到五的結果發現孔徑 4cm 的聚音筒效果最佳，而筒長越長出現最強噴射氣流的頻率越低，**筒長 25cm 時為 40Hz、筒長 20cm 時為 45Hz 且為本實驗中最強的噴射氣流。**

製作新型聲波滅火裝置，研究後發現**喇叭直徑越小，產生最大噴射氣流的頻率隨之變大；距離 3cm 且頻率在 230Hz 時擺角為最大值 29.2°**，根據新型聲波滅火裝置的滅火效果測試，**頻率為 220 和 230Hz 的聲波將蠟燭熄滅的距離最遠為 36cm。**

壹、研究動機：

在網路上看到一則新聞，兩位美國有大學生讓聲波滅火的願望成真，美國維吉尼亞州喬治梅森大學工程學系學生特蘭（Viet Tran）與電機工程學系學生羅伯森（Seth Robertson）將聲波滅火裝置縮小到可隨行攜帶的大小，引起我們想要一探究竟的動機，同時也希望進一步分析聲波滅火的原理及改良這個裝置。

貳、研究問題與目的：

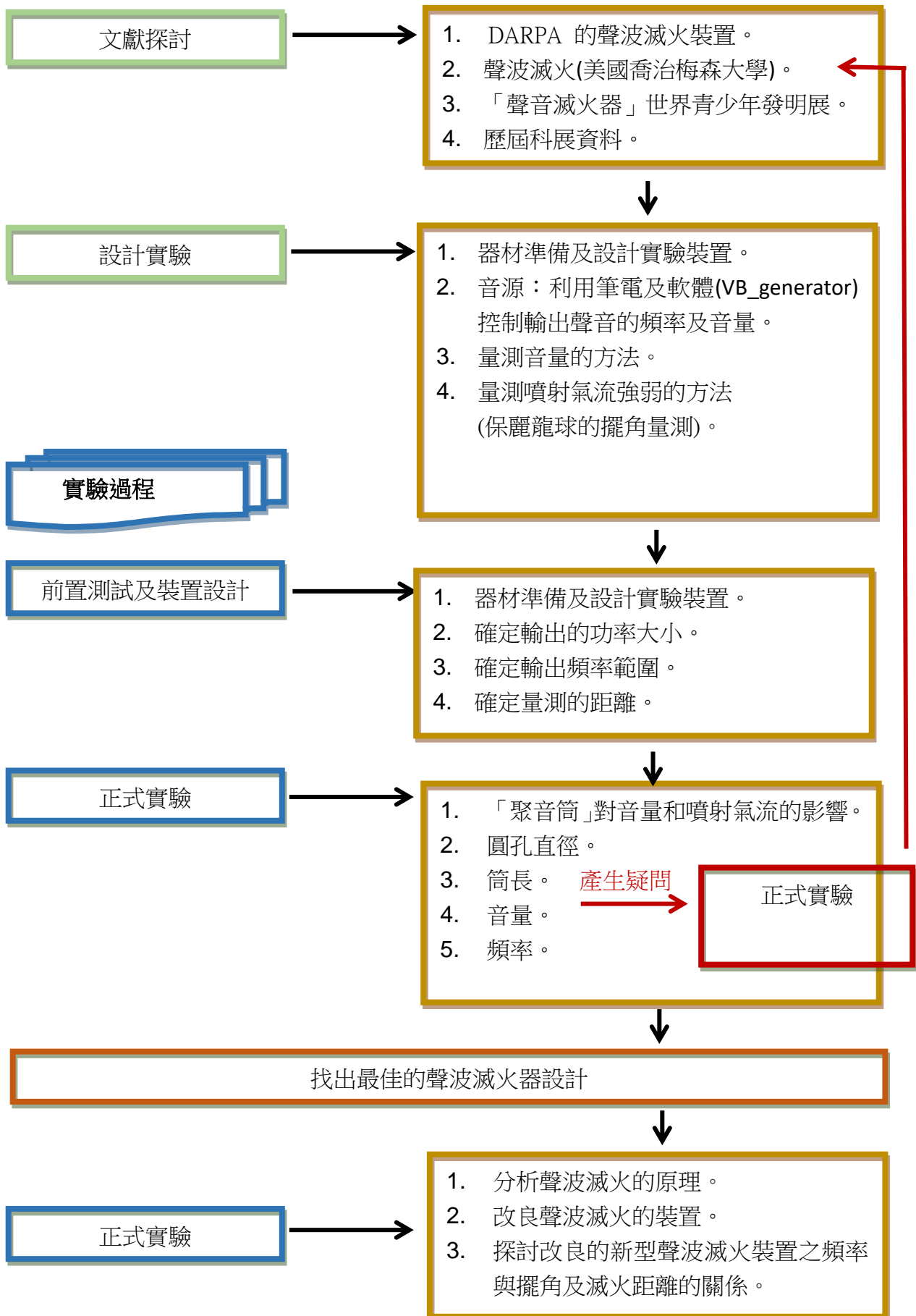
- 一、探討「功率、頻率及距離」與音量(振幅)的關係。
- 二、探討「圓柱形共振腔的筒長、圓孔直徑」與音量和距離之關係。
- 三、探究聲音滅火的原因。
- 四、利用藍芽喇叭改良新型聲波滅火裝置，提高安全性與便利性。
- 五、探討「新型聲波滅火裝置」之頻率與擺角及蠟燭熄滅距離的關係。

參、實驗設備與器材：

一、器材

			
音響	分貝計	泡棉膠	西卡紙製作的紙筒
			
筆記型電腦	發聲軟體 VB generator	鐵架	音源線
			
棉線、保麗龍球	剪刀	美工刀、直尺	圓規刀
			
藍芽喇叭	藍芽喇叭聚音筒	蠟燭	軌道

肆、研究流程：



伍、研究方法、結果與討論：

一、文獻探討：

(一) 聲波也能滅火：

說起滅火，一般人會想到的是灑水、泡沫滅火劑、乾粉或二氧化碳滅火器，但你可知聲波也能滅火？這不是科幻情節，在 2012 年美國國防高等研究計畫署（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）就示範過以聲波滅火如圖 6-1 及圖 6-2 所示；聲波滅火對一般家中的小火而言實用性很高，因為用水潑或是滅火器一噴，火是滅了，但清理卻很頭痛，不過 DARPA 的聲波滅火裝置體積龐大，卻沒辦法裝在家中拿去滅小火。



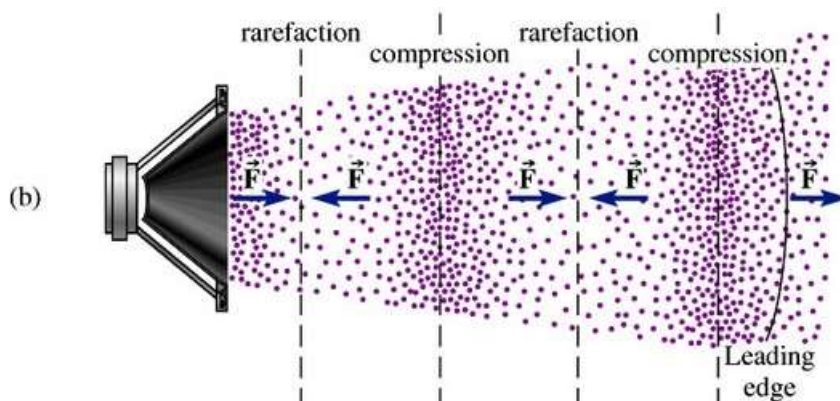
圖 6-1：DARPA 之聲波滅火裝置 (1)



圖 6-2：DARPA 之聲波滅火裝置及示範(2)

(二) 聲波滅火的原理：

滅火的基本原理是將氧氣與可燃物質隔開，不論是二氧化碳、泡沫滅火劑都是用同樣的原理，而聲波的產生來自於空氣的振動，此時空氣中的氧分子也隨著聲波一起移動，而聲波是一種疏密波，也就是在密部的位置空氣密度高，疏部的空氣密度低，因此當頻率與振幅滿足條件，聲波能產生足夠的近真空區間，使火源得不到氧氣供應而熄滅。



(三) 聲波滅火裝置縮小：

兩位美國維吉尼亞州喬治梅森大學工程學系學生，將聲波滅火裝置縮小到可隨行攜帶的大小如圖 6-3 所示。

使用單一頻率聲波時，他們發現 2 到 3 萬赫茲的高頻率聲波，只會讓火焰顫動，沒有滅火效果，這是因為頻率越高、波長越短，真空區間很快就會被高密度區間取代，無法有足夠的時間使火焰熄滅；不過當頻率低到 30 到 60 赫茲時，真空區間就足夠讓火熄滅。

2014 世界青少年發明展用「訊號產生器」發聲，製作小型聲波滅火器，撲滅火焰如圖 6-4 所示。



圖 6-3：可攜式聲波滅火裝置



圖 6-4：小型聲波滅火器

(四) 歷屆科展資料：

全國科展 53 屆「來聲相聚 ~聲音滅火與聚音器的探討」藉由聲波的反射、共振、干涉、駐波等特性，來探討聲音滅火的現象如圖 6-5 和圖 6-6 所示。但是探討聲波滅火的原因，沒有深入的探討及評估。



圖 6-5：利用聲波的反射滅火(1)

圖 6-6：利用聲波的反射滅火(2)

二、實驗方法：

(一) 實驗主要的喇叭和聚音筒：

1. 在音響喇叭外圍以泡棉膠黏附一圈寬度為 2 公分的西卡紙作為套環如圖 6-7 所示，使組裝聚音筒時可以讓兩者較為密合減少空隙。
2. 以厚紙板製作筒長依序為 5、10、15、20 和 25 公分的圓筒如圖 6-8 所示。
3. 之後在圓筒前方加上由西卡紙製作圓孔直徑為 4、6、8、10 和 12 公分的蓋子作為出聲孔，完成聚音筒的製作可讓**聲波提高振幅**且朝正前方傳播以**控制聲音的方向**如圖 6-9 與圖 6-10 所示。



圖 6-7：音響喇叭外圍黏附套環



圖 6-8：以西卡紙製作聚音筒



圖 6-9：組裝聚音筒



圖 6-10：喇叭上裝設聚音筒

(二) 測量音量：

1. 以鐵架及廣用夾架設分貝計，將分貝計的測量孔對準音響喇叭的正中央以量測音量如圖 6-11 所示。
2. 以鐵架及廣用夾架設分貝計，將分貝計的測量孔對準聚音筒的出聲孔中心以量測音量並進行探究如圖 6-12 所示。

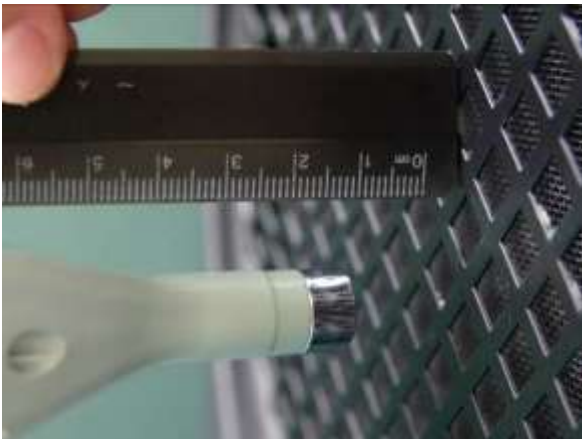


圖 6-11：喇叭正前方架設分貝計



圖 6-12：在聚音筒正前方架設分貝計

(三) 測量影響距離：

1. 改變分貝計測量孔與音響喇叭之距離並測量音量如圖 6-13 所示。
2. 改變分貝計測量孔與聚音筒的出聲孔中心之距離並測量音量並進行探究如圖 6-14 所示。

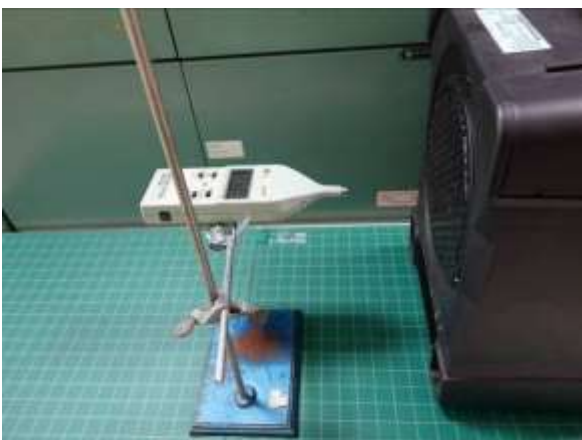


圖 6-13：測量音量與喇叭距離之關係



圖 6-14：測量音量與聚音筒距離之關係

(四) 測量聲波振幅：

1. 將保麗龍球以細線黏附在鐵架上，並調整好高度使其置於聚音筒的出聲孔中心。
2. 在鐵架左側以透明膠帶黏上一量角器，測量不同頻率及距離下保麗龍球擺盪的角度，以分析該位置的聲波振幅大小如圖 6-15 和圖 6-16 所示。



圖 6-15：測量麗龍球擺盪的角度與聚音筒距離之關係(1)



圖 6-16：測量麗龍球擺盪的角度與聚音筒距離之關係(2)

研究一、分析輸出的聲音頻率 $f(\text{Hz})$ 和功率(%)與音量(dB)的關係。

(一) 實驗步驟：

1. 利用鐵架將分貝計置於音響正前方約 1 公分的位置如圖 6-17 所示。
2. 以發聲軟體 VB-Generator 輸出 20 赫茲的聲音。
3. 調整音響上音量旋鈕至適當位置並固定之，之後利用筆記型電腦的音量控制程式控制輸出的功率為 10% 如圖 6-20 所示。
4. 觀測分貝計所顯示的音量並記錄 5 次的測量結果，再取平均值。
5. 依序調整輸出功率為 15、20、25、30、35、40、45 和 50%，並重複步驟 2 至 4 如圖 6-18 所示。
6. 依序將輸出的頻率調整為 25、30、35、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、100、120、140、160、180、200、250 和 300 赫茲並重複步驟 2 至 5。

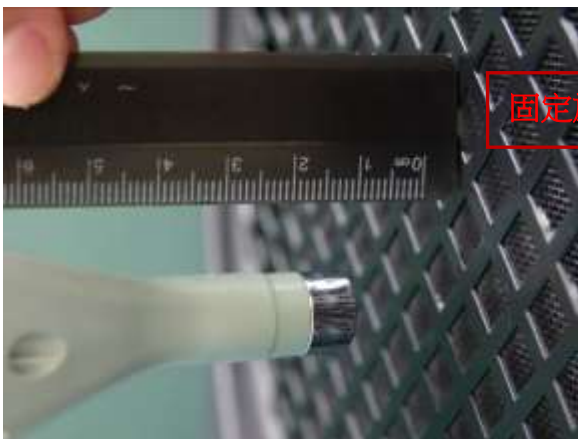


圖 6-17：調整分貝計與喇叭的距離



圖 6-18：調整喇叭的音量



圖 6-19：調整分貝計與喇叭的距離



圖 6-20：利用音量控制程式控制輸出功率為 10%

(二) 實驗結果與討論：

1. 我們利用 VB-Generator 軟體控制聲音的頻率，再以筆記型電腦的音量控制程式控制輸出的功率，以提高實驗的穩定性與準確性，之後以分貝計量測音響正前方 1 公分處的音量大小，分析音量與聲音頻率和輸出功率的關係。
2. 根據所得到的結果，隨著頻率的增加音量也跟著變大，這有可能是頻率較高的聲音方向性較佳，比較不易產生繞射的原因所導致。
3. 此外，當我們把輸出功率提高後，即調高音量的百分比(%), 所測的音量 dB 也會增大，但是當功率到達 25%後除了 20Hz 的聲音外，其餘的數據均顯示音量到達最大值，幾乎不再增大如圖-21 所示，所以在往後的實驗中，我們決定將輸出的功率固定為 30%，以維持固定的音量大小進行實驗探究。

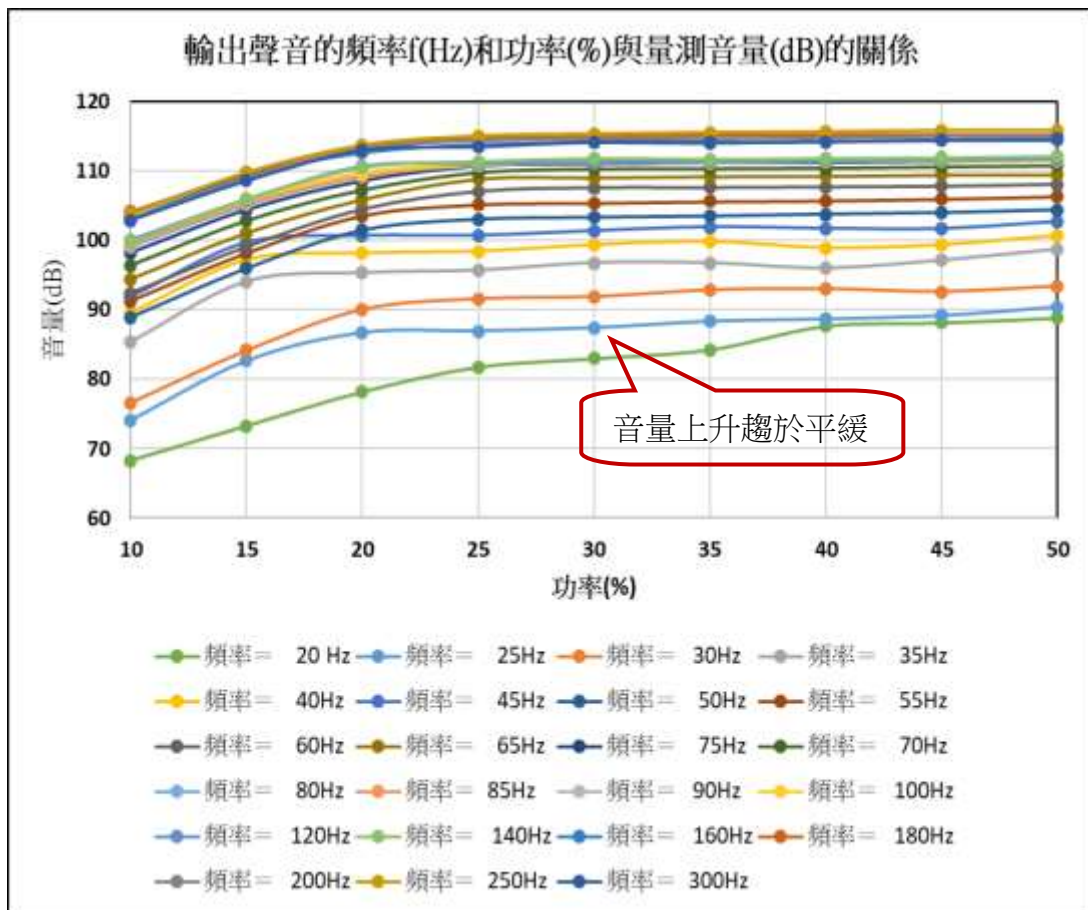


圖 6-21：輸出聲音的頻率 f(Hz)和功率(%)與量測音量(dB)的關係

研究二、探討聲音頻率 $f(\text{Hz})$ 和距離 $d(\text{cm})$ 與音量 (dB) 的關係。

(一) 實驗步驟：

1. 利用鐵架將分貝計置於音響正前方約 5 公分的距離 d 。
2. 以發聲軟體 VB-Generator 輸出 20 赫茲的聲音。
3. 調整音響上音量旋鈕至適當位置並固定之，利用筆記型電腦固定輸出的功率為 30%，觀測分貝計所顯示的音量並記錄 5 次的測量結果，再取平均值。
4. 依序將輸出的頻率調整為 25、30、35、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、100、120、140、160、180、200、250 和 300 赫茲並重複步驟 2 至 3。
5. 依序調整分貝計音響的距離 d 為 10、15、20、25、30、35 和 40 公分，並重複步驟 2 至 4。

(二) 實驗結果與討論：

1. 從實驗結果得知，當分貝計距離音響越遠，所測到的音量 dB 就越小，不過很有趣的是，某些特定頻率的音量和距離變化相較於其他頻率則略有不同，例如 160 和 180Hz 如圖-22 所示。

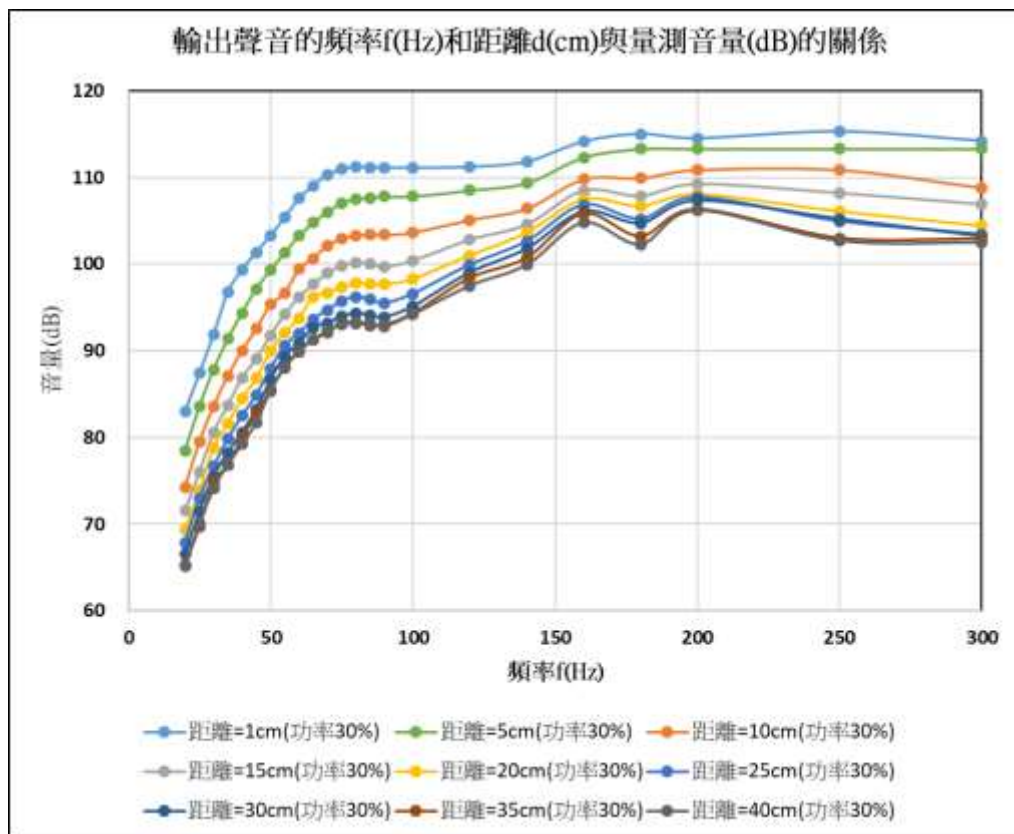


圖 6-22：輸出聲音的頻率 $f(\text{Hz})$ 和距離 $d(\text{cm})$ 與量測音量 (dB) 的關係

- 我們分析了 20~60Hz 以及 160 和 180Hz 的聲音其距離與音量 dB 的關係，其中 20~60Hz 的聲音中頻率越高音量越大，不過當距離 d 的增加音量則會變小，且下降的趨勢類似，但是到了較高的頻率，例如 160 和 180Hz，則出現特殊情況 160Hz 的音量有略微增大，180Hz 則是略微下降。
- 從實驗結果中可以發現音量(dB)會隨著距離 d (cm)增加而變小，與我們所預期的結果符合，表示本實驗所量測的結果具有很高的準確性，也有利於我們之後的探究。
- 此外我們也可以從音量(dB)與距 d (cm)的關係曲線中發現，在 0~25cm 間音量的變化較為明顯如圖 6-23 所示，表示在這個範圍裡空氣的振盪會比較劇烈，也是表較適合滅火的範圍，所以之後量測會將距離限定在距離聚音筒的出聲孔中心 0~25cm 的位置。

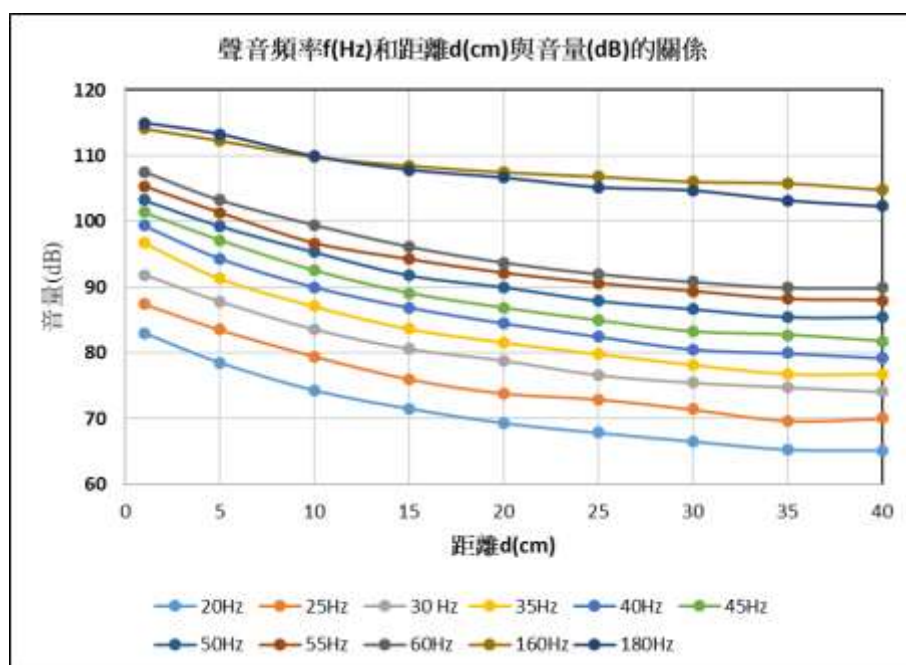


圖 6-23：聲音頻率 f (Hz)和距離 d (cm)與量測音量(dB)的關係

研究三、製作聚音筒並架設於音響前方，以提高振幅且控制聲波往正前方傳播。

構想：我們希望製作一個裝置使聲音的響度提高且可以控制聲波的傳輸方向提高其滅火的能力。

（一）聚音筒製作：

目的：使聲音集中提高振幅且控制聲波傳輸方向。

製作步驟：

1. 量測並求得音響之喇叭直徑為 24.5 公分。
2. 選定聚音器的筒長為 5、10、15、20 和 25 公分。
3. 製作聚音筒的蓋子，並依序在中央挖出圓孔直徑為 4、6、8、10 和 12 公分的圓孔以作為出聲孔。

（二）組合：

製作步驟：

1. 在音響喇叭外圍以泡棉膠黏附一圈寬度為 2 公分的西卡紙作為套環，使組裝聚音筒時可以讓兩者較為密合減少空隙。
2. 依序將 5、10、15、20 和 25 公分的圓筒裝上。
3. 之後在圓筒前方加上由西卡紙製作圓孔直徑為 4、6、8、10 和 12 公分的蓋子作為出聲孔，完成聚音筒的製作，製作可讓**聲波提高振幅**且往正前方傳播以**控制聲音的方向**。

（三）裝置架設與運行：

1. 架設筒長 25cm、出聲孔圓孔直徑 4cm 的聚音筒，並利用鐵架將分貝計置於聚音筒的出聲空中心處。
2. 以發聲軟體 VB-Generator 輸出 20 赫茲的聲音。
3. 調整音響上音量旋鈕至適當位置並固定之，利用筆記型電腦固定輸出的功率為 30%，觀測分貝計所顯示的音量並記錄 5 次的測量結果，再取平均值。
4. 依序將輸出的頻率調整為 25、30、35、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、100、120、140、160、180、200、250 和 300 赫茲並重複步驟 2 至 3。
5. 依序調整分貝計音響的距離 d 為 10、15、20 和 25 公分，並重複步驟 2 至 4。

(四) 實驗結果與討論：

1. 從輸出的聲音頻率 $f(\text{Hz})$ 和距離 $d(\text{cm})$ 與音量 (dB) 的關係結果中發現，20~60Hz 的聲波其音量大小會出現明顯的振盪如圖 6-24 所示，量測的當下分貝計的數據會不停的跳動，在架設分貝計時也能感覺到噴射氣流的作用，推測是使聲波可以滅火的關鍵因素。
2. 我們所測得的數據為五次測量後的平均值，結果顯示空氣的密度變化很大，疏密波的振幅大，如果聲波能夠讓空氣產生夠久的真空區間，使火源無法得到足夠的氧氣供應，就會讓燃燒的火源熄滅，這樣的結果令我們感到振奮，從音量 (dB) 的變化中，可以直觀的找到聲波可以滅火的原因。
3. 為了做進一步的探究，我們以容積最大的 25cm 筒長和圓孔直徑最小的 4cm 進行實驗，除了要找到聲波滅火的機制，同時也要評估適合的量測範圍和條件，以利於我們分析聲波滅火的原理；從結果中，我們得知**低頻時的聲波，才會出現噴射氣流及音量大小的振盪現象，因此我們之後的研究將以 20~100Hz 的聲波來進行實驗。**

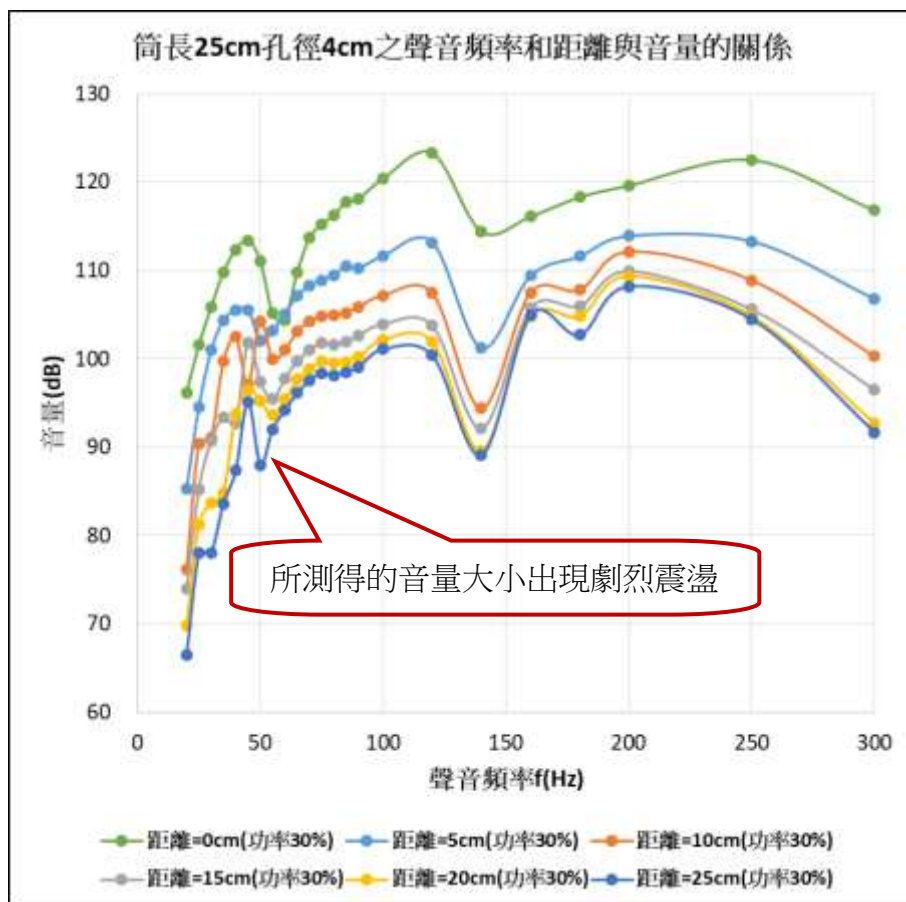


圖 6-24：筒長 25cm 孔徑 4cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

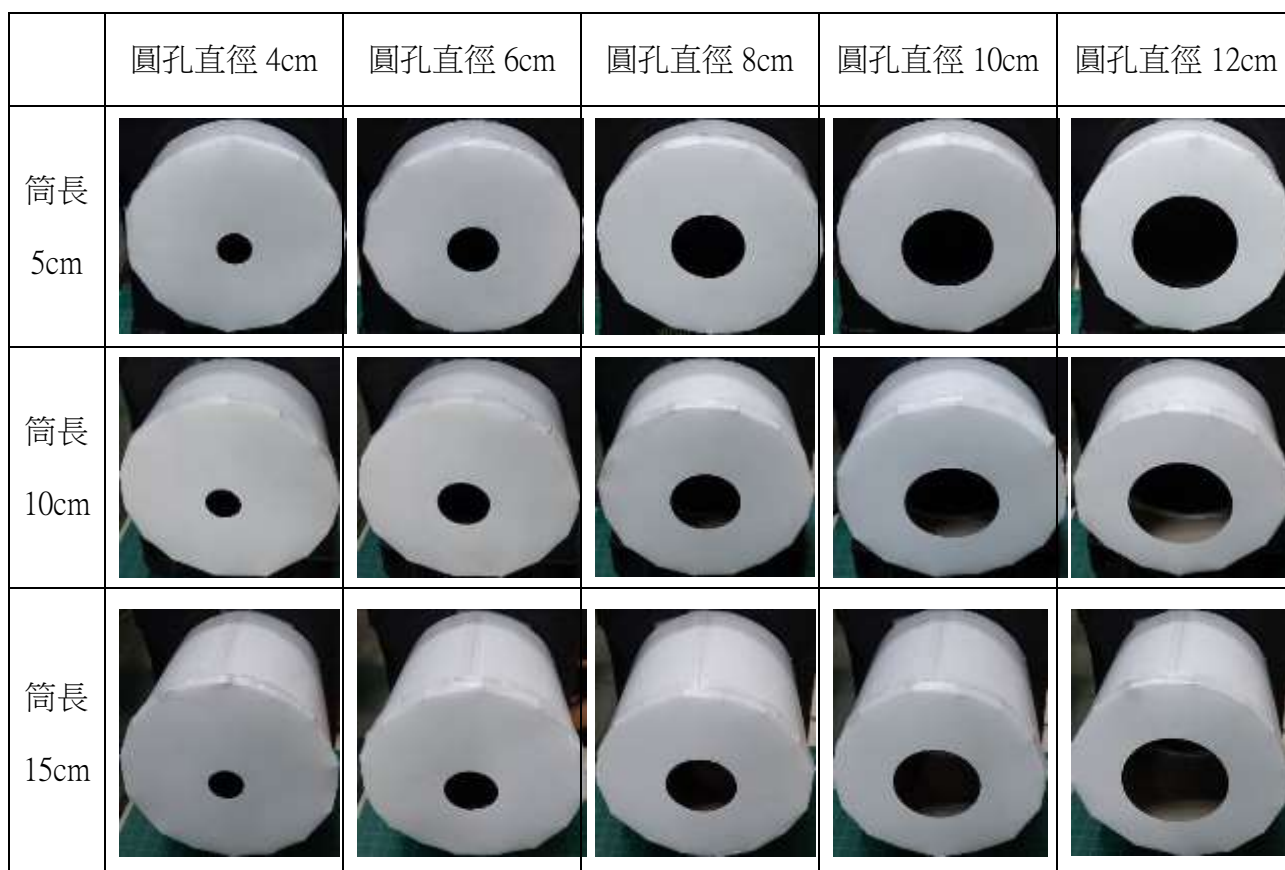
研究四、探討「圓柱形共振腔的筒長、圓孔直徑」的音量和距離之關係。

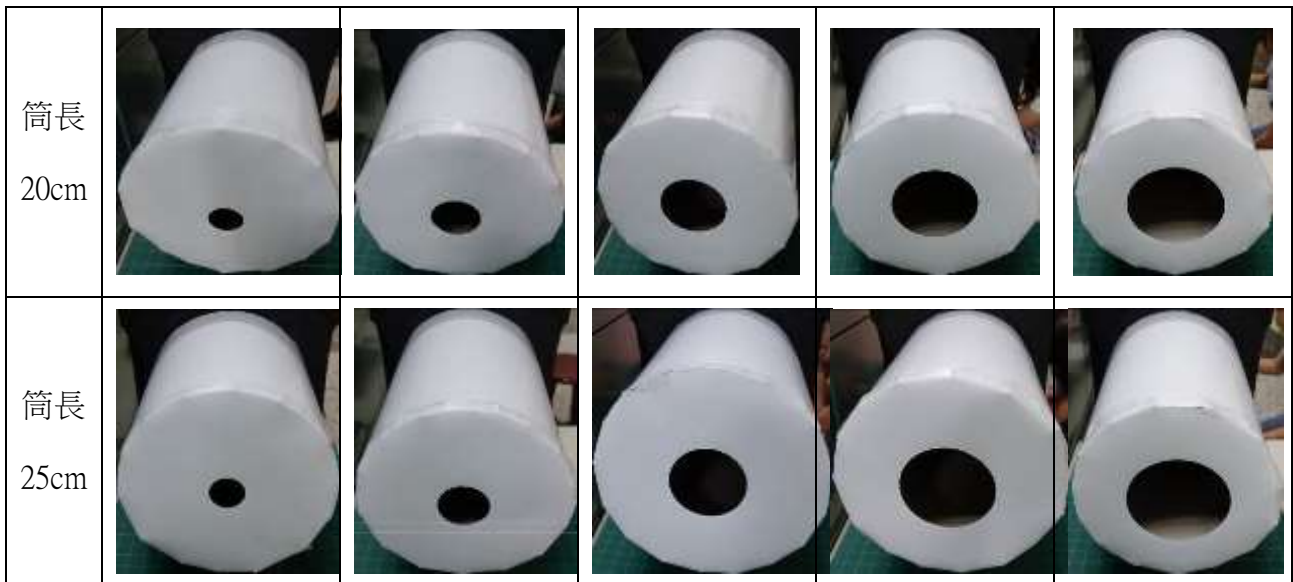
(一) 實驗步驟：

1. 架設筒長 5cm、出聲孔圓孔直徑 4cm 的聚音筒，並利用鐵架將分貝計置於聚音筒的出聲空中心處。
2. 以發聲軟體 VB-Generator 輸出 20 赫茲的聲音。
3. 調整音響上音量旋鈕至適當位置並固定之，利用筆記型電腦固定輸出的功率為 30%，觀測分貝計所顯示的音量並記錄 5 次的測量結果，再取平均值。
4. 依序將輸出的頻率調整為 25、30、35、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90 和 100 赫茲並重複步驟 2 至 3。
5. 依序調整分貝計音響的距離 d 為 10、15、20 和 25 公分，並重複步驟 2 至 4。
6. 將出聲圓孔直徑更換為 6、8、10 和 12 公分，並重複步驟 2 至 5。
7. 將聚音筒筒長更換為 10、15、20 和 25 公分，並重複步驟 2 至 6。

(二) 實驗結果與討論：

1. 不同筒長與圓孔直徑的聚音筒照片。





- 我們先討論筒長 5cm 的聚音筒其出聲孔圓孔直徑與聲音頻率和距離的關係如圖 6-25 到 6-29 所示，從結果中我們可以發現圓孔直徑為 4cm 時，從分貝計所測得的音量在頻率為 25~45Hz、距離出聲孔 5~25cm 的位置出現大幅度的震盪，而在架設裝置時也能感覺到噴射氣流的存在，因此我們發現可以根據音量(dB)的變化中找出為何聲波可以滅火的原因，並藉由完整且有系統的音量測量和歸納分析，得出最適合用來進行聲波滅火的條件。
- 當出聲孔圓孔直徑增為 6cm 時，從分貝計所測得的音量在頻率為 30~55Hz、距離出聲孔 5~25cm 的位置出現明顯的震盪，隨著圓孔直徑的增大**聲音能量的集中度減弱**，音量大小出現震盪的情況變得較不明顯，產生震盪的頻率隨之升高，噴射氣流也有變弱的趨勢。

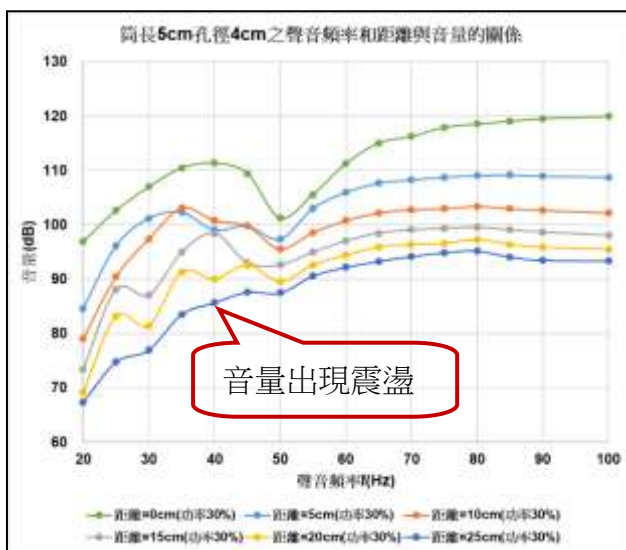


圖 6-25：筒長 5cm 孔徑 4cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

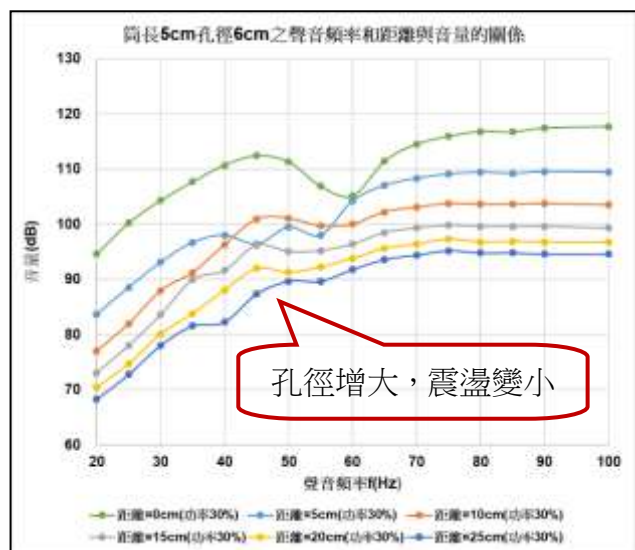


圖 6-26：筒長 5cm 孔徑 6cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

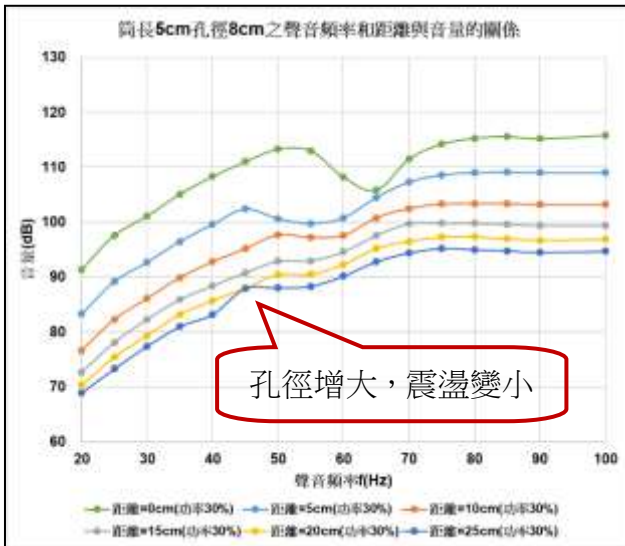


圖 6-27：筒長 5cm 孔徑 8cm 之聲音頻率
和距離與音量的關係

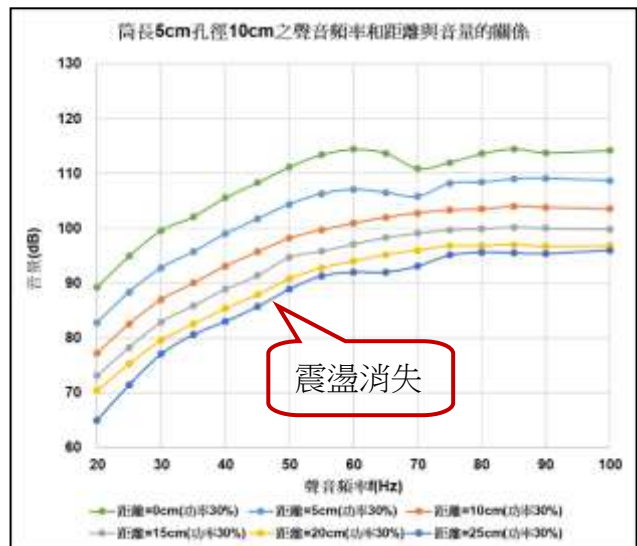


圖 6-28：筒長 5cm 孔徑 10cm 之聲音頻率
和距離與音量的關係

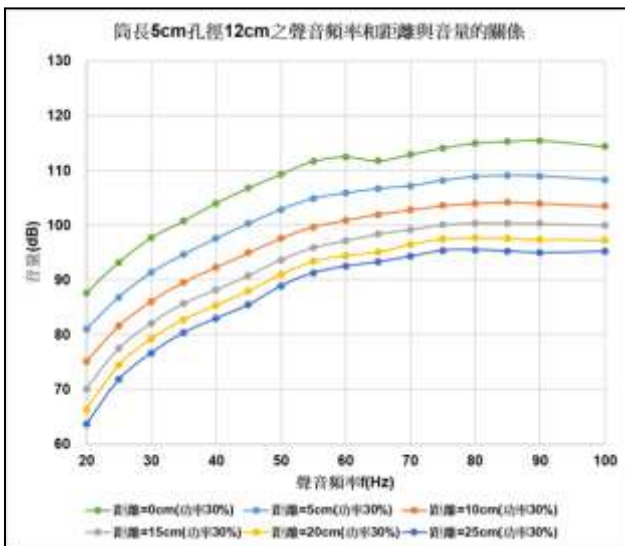


圖 6-29：筒長 5cm 孔徑 12cm 之聲音頻率
和距離與音量的關係

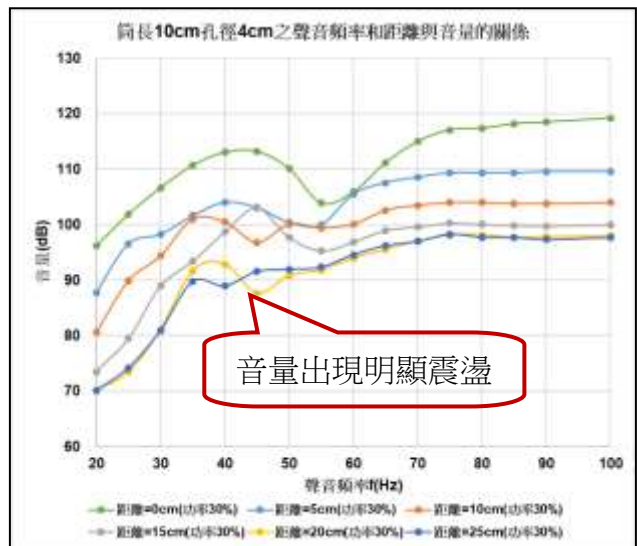


圖 6-30：筒長 10cm 孔徑 4cm 之聲音頻率
和距離與音量的關係

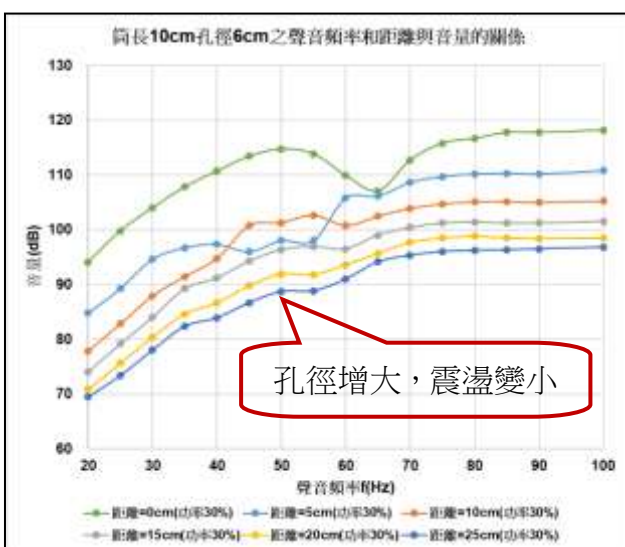


圖 6-31：筒長 10cm 孔徑 6cm 之聲音頻率
和距離與音量的關係

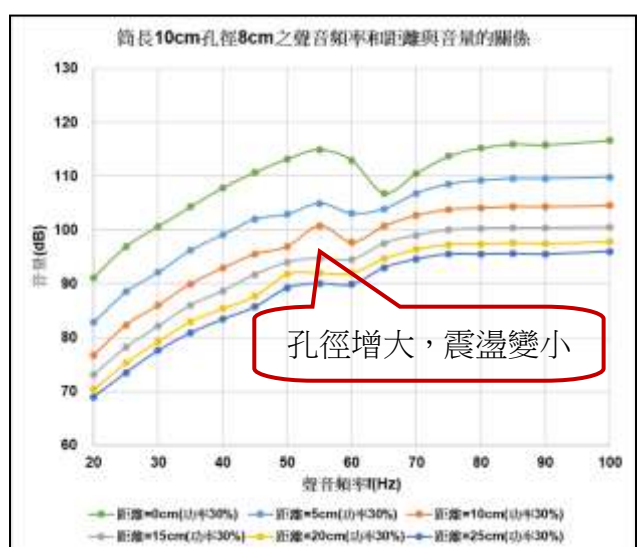


圖 6-32：筒長 10cm 孔徑 8cm 之聲音頻率
和距離與音量的關係

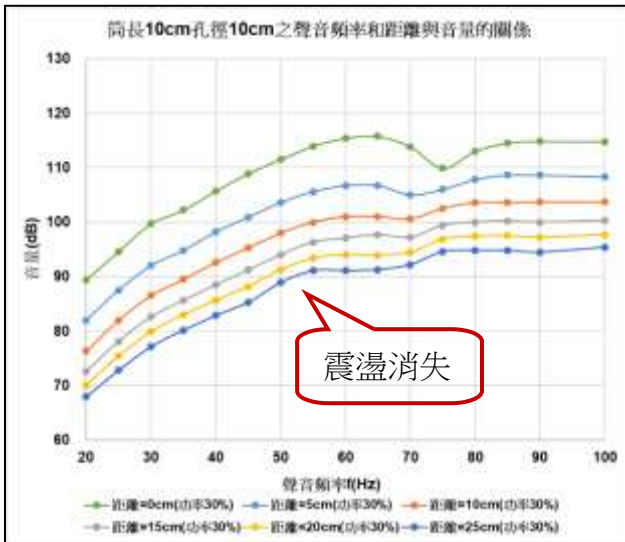


圖 6-33：筒長 10cm 孔徑 10cm 之聲音頻
率和距離與音量的關係

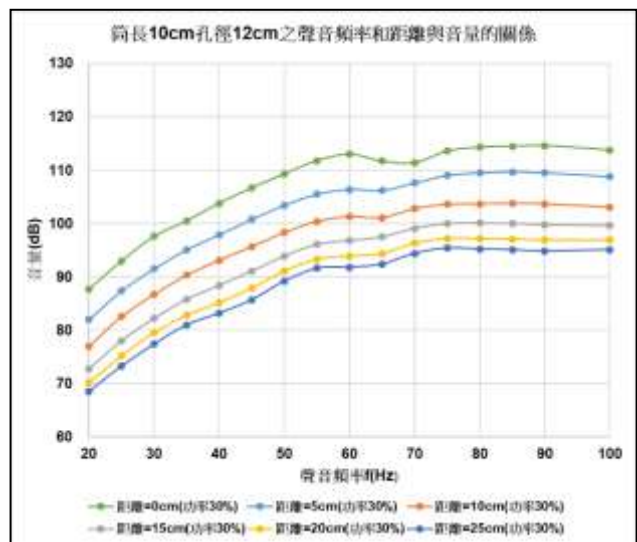


圖 6-34：筒長 10cm 孔徑 12cm 之聲音頻
率和距離與音量的關係

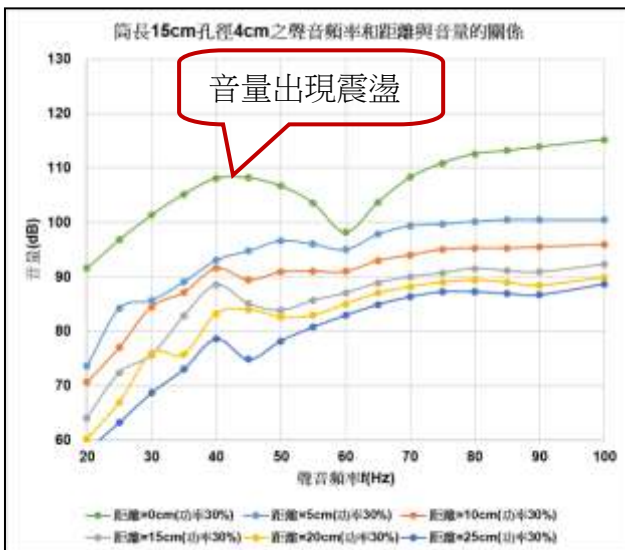


圖 6-35：筒長 15cm 孔徑 4cm 之聲音頻
率和距離與音量的關係

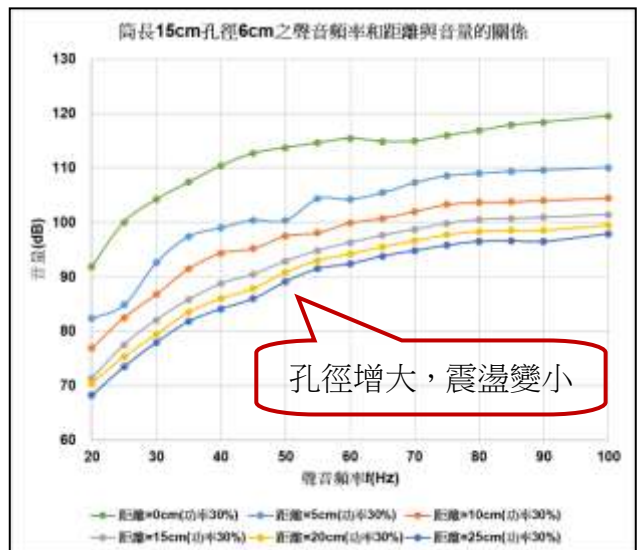


圖 6-36：筒長 15cm 孔徑 6cm 之聲音頻
率和距離與音量的關係

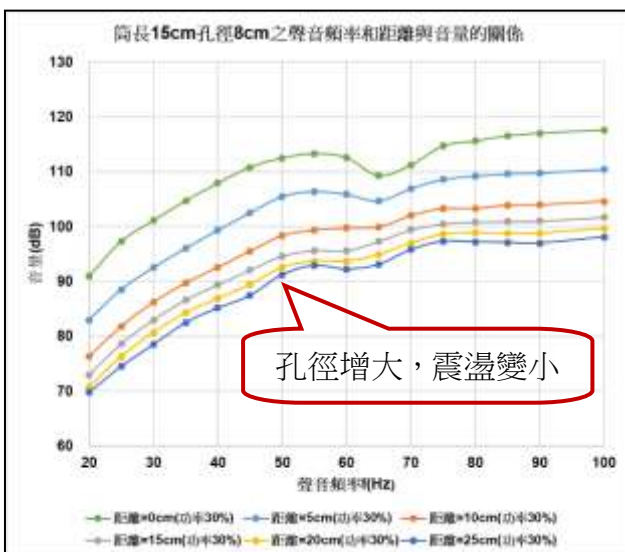


圖 6-37：筒長 15cm 孔徑 8cm 之聲音頻
率和距離與音量的關係

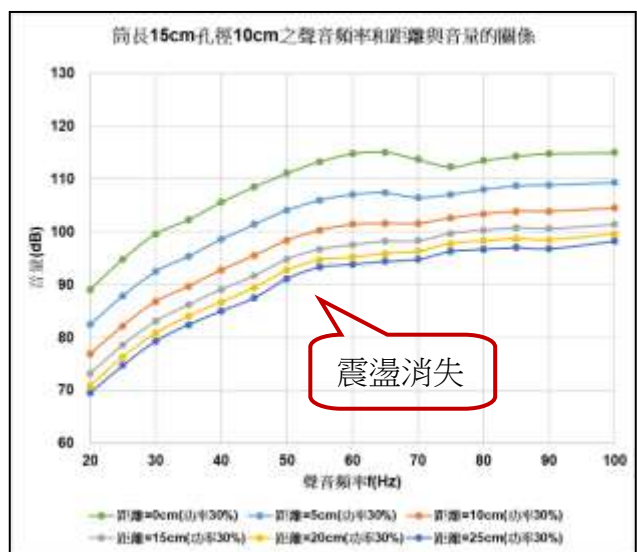


圖 6-38：筒長 15cm 孔徑 10cm 之聲音頻
率和距離與音量的關係

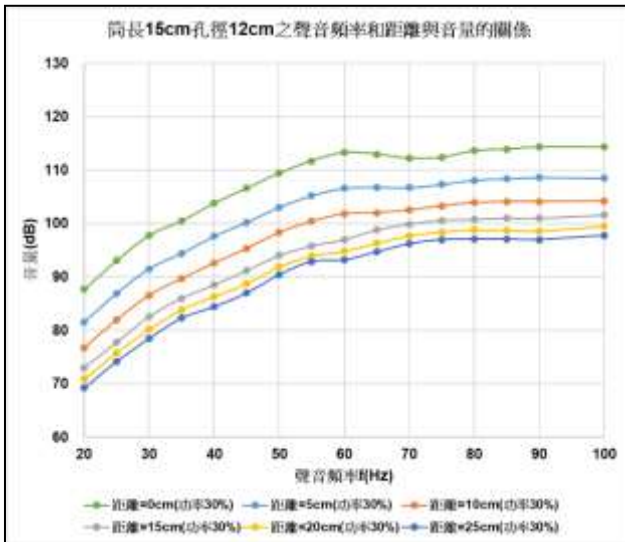


圖 6-39：筒長 15cm 孔徑 12cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

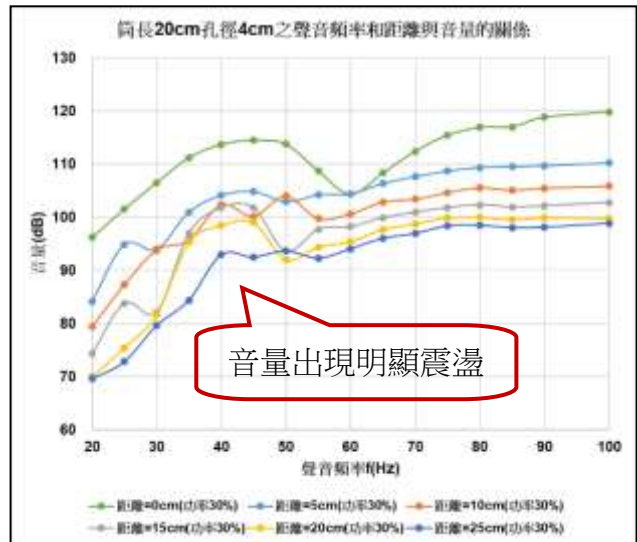


圖 6-40：筒長 20cm 孔徑 4cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

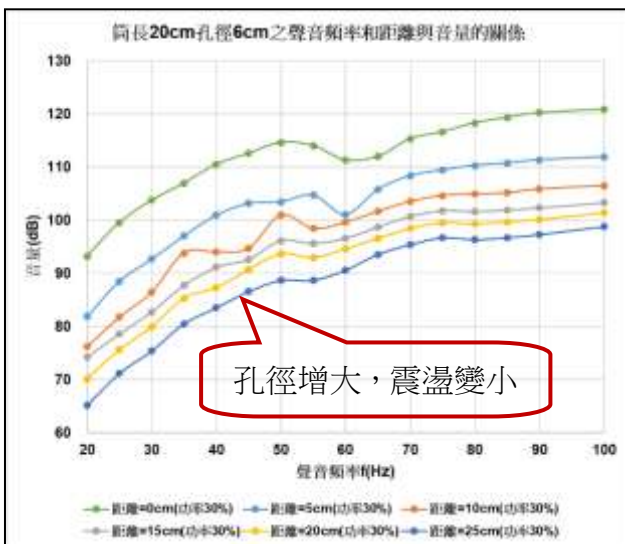


圖 6-41：筒長 20cm 孔徑 6cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

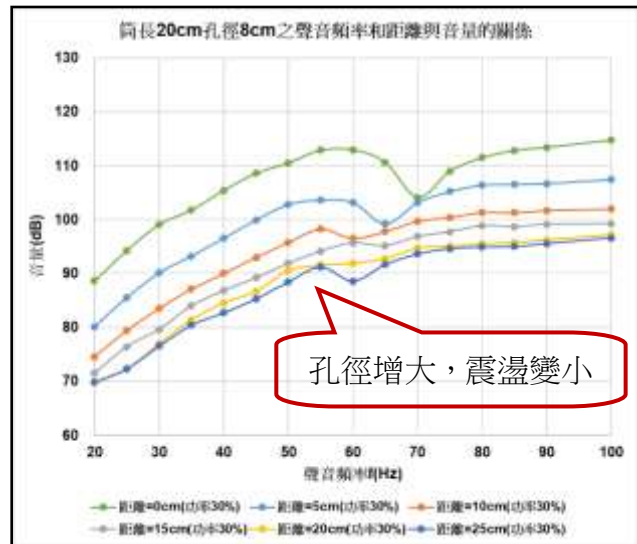


圖 6-42：筒長 20cm 孔徑 8cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

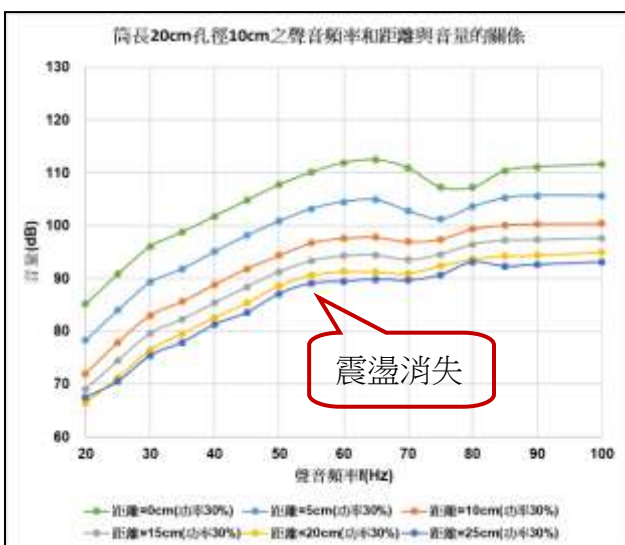


圖 6-43：筒長 20cm 孔徑 10cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

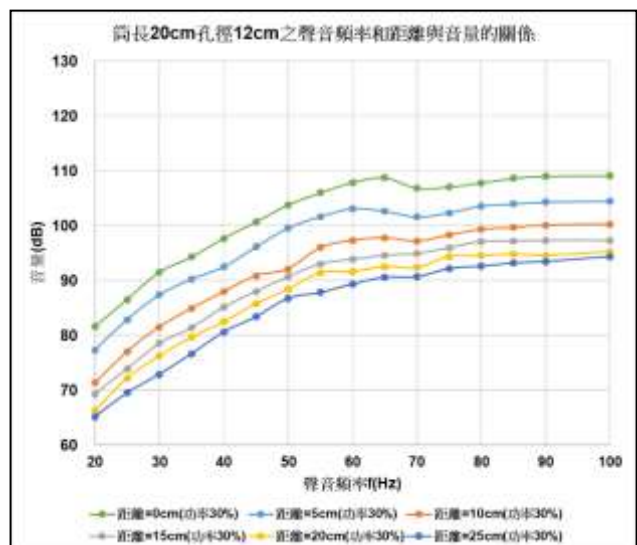


圖 6-44：筒長 20cm 孔徑 12cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

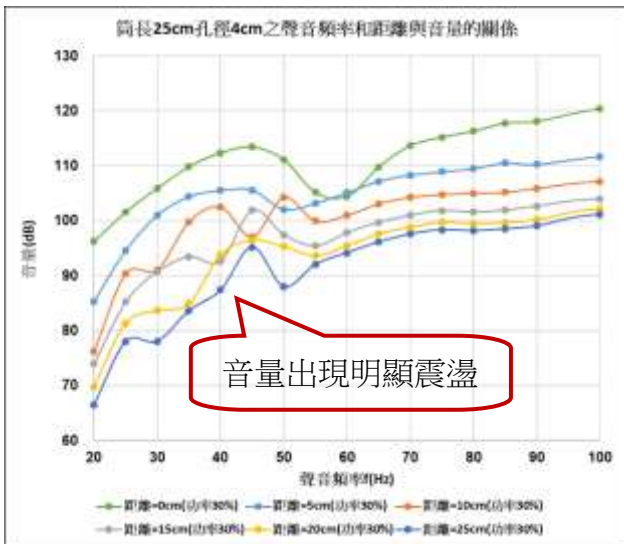


圖 6-45：筒長 25cm 孔徑 4cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

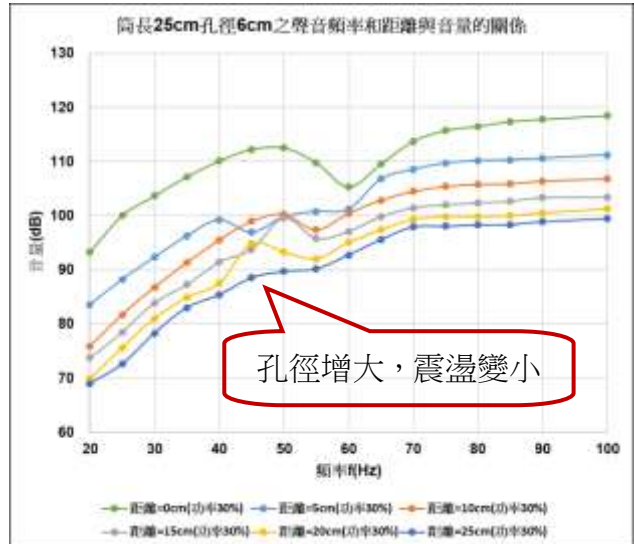


圖 6-46：筒長 25cm 孔徑 6cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

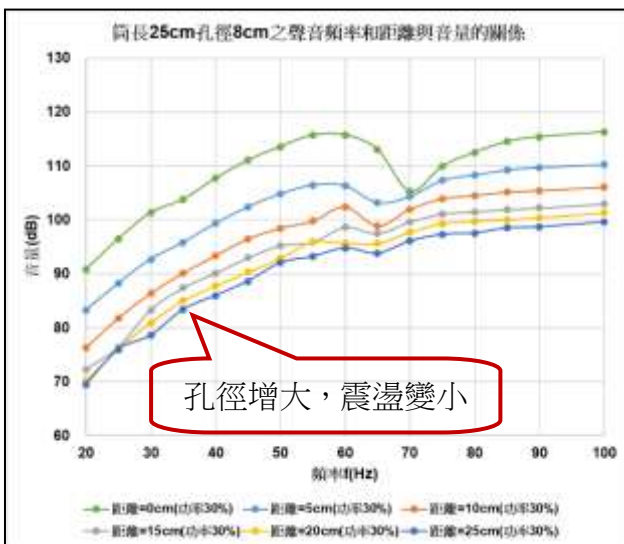


圖 6-47：筒長 25cm 孔徑 8cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

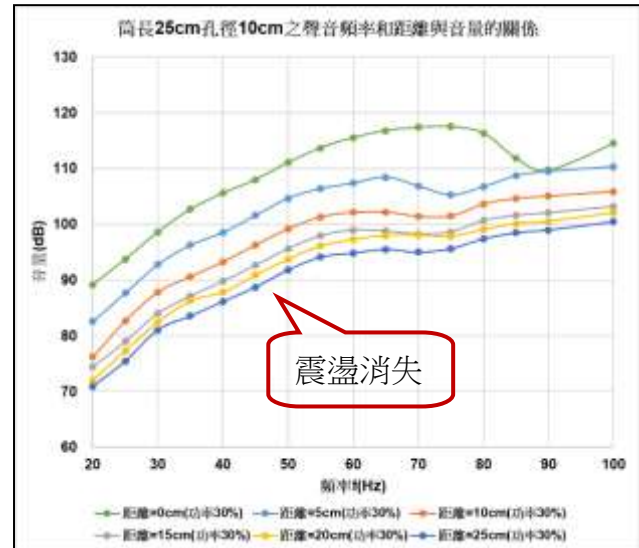


圖 6-48：筒長 25cm 孔徑 10cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

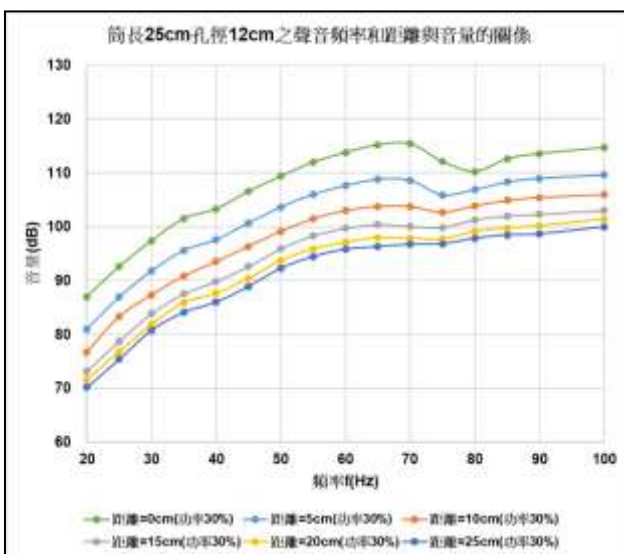


圖 6-49：筒長 25cm 孔徑 12cm 之聲音頻率和距離與音量的關係

4. 接下來我們將分貝計測量音量時產生震盪的結果進行歸納及分析：

	筒長 5cm	筒長 10cm	筒長 15cm	筒長 20cm	筒長 25cm
圓孔直徑 4cm 產生震盪的頻率	25~45Hz	25~45Hz	25~45Hz	25~55Hz	25~55Hz
圓孔直徑 4cm 產生震盪的距離	5~25cm	5~25cm	5~25cm	5~25cm	5~25cm
圓孔直徑 6cm 產生震盪的頻率	35~55Hz	45~55Hz	45~55Hz	45~55Hz	35~55Hz
圓孔直徑 6cm 產生震盪的距離	5~25cm	5~15cm	5~10cm	5~15cm	5~15cm

- 根據實驗結果圓孔直徑為 4cm 時，分貝計所測得的音量隨著筒長增加，震盪的程度增大，且產生震盪的頻率範圍也隨之變大，由 25~45Hz 增為 25~55Hz，顯示聚音筒的筒長越大內部的體積加大，測量值產生震盪的程度增加，噴射氣流的強度也有增加。
- 圓孔直徑為 6cm 時，隨著筒長增加產生震盪的頻率範圍先變小在變大，而出現震盪的距離也是先變小再略微增大；當圓孔直徑大於 8 公分時，就不在有音量出現震盪或噴射氣流的產生。
- 本實驗喇叭的直徑為 24.5cm，而經實驗解果分析筒長在 20~25cm、圓孔直徑為 4 公分時，震盪的程度最為劇烈，噴射氣流最強。
- 我們之後有另外測試筒長為 30cm 的數據，但發現由於筒常太長、體積太大，效果不如預期。

研究五、探討聚音筒的筒長和距離與噴射氣流強弱之關係。

構想：我們希望製作一個裝置使可以測量噴射氣流的強弱，以利於我們找到最佳的條件製作聲波滅火器。

(一) 噴射氣流強弱的量測裝置：

目的：利用量角器測量保麗龍球擺盪的角度以分析噴射氣流的強弱。

製作步驟：

1. 將保麗龍球黏附在兩條棉線下方，並將棉線綁在鐵架的支架上。
2. 在鐵架上裝上量角器。
3. 架設筒長 15cm、出聲孔圓孔直徑 4cm 的聚音筒，並利用鐵架將保麗龍球置於聚音筒的出聲空中心處前方 10cm 處如圖 6-50 及圖 6-51 所示。
4. 以發聲軟體 VB-Generator 輸出 30 赫茲的聲音。
5. 調整音響上音量旋鈕至適當位置並固定之，利用筆記型電腦固定輸出的功率為 30%，觀測保麗龍球擺盪的角度並記錄 5 次的測量結果，再取平均值。
6. 依序將輸出的頻率調整為 35、40、45 和 50 赫茲並重複步驟 5。
7. 依序調整保麗龍球的距離 d 為 15 和 20 公分，並重複步驟 4 至 6。
8. 將聚音筒筒長更換為 20 和 25 公分，並重複步驟 4 至 7。



圖 6-50：噴射氣流強弱的量測裝置圖(1)



圖 6-51：噴射氣流強弱的量測裝置圖(2)

(二) 實驗結果與討論：

1. 根據研究四的實驗結果得知，聚音筒長度在 15~25cm、孔徑為 4cm 且距離為 10~20cm 時，由聚音筒所傳出的噴射氣流強度最大，分貝計的音量也出現明顯的振盪，因此我們藉由懸掛的保麗龍球之擺角(θ)大小來分析噴射氣流的強弱。
2. 從圖 6-52 到圖 6-54 的結果可知，聚音筒長度 25cm 孔徑為 4cm 時，40Hz 的頻率所產生的噴射氣流強度最大，當距離為 10~20cm 時，此時擺角為最大值依序是 26.2° ~8.6° ；而聚音筒長度 20cm 孔徑 4cm 時，噴射氣流的強度則是 45Hz 最高，當距離為 10~20cm 時，此時擺角為最大值依序是 37° ~25.6° ；而筒長為 15cm 孔徑 4cm 時，保麗龍球出現擺盪，但沒有明顯的極大值出現，所以可以從擺角的大小得知，噴射氣流在聚音筒長 20 和 25cm 強度較高，且隨著筒長增加，出現最大擺角的頻率則是下降，因此我們歸納出**聚音筒的長度增加會導致產生最大噴射氣流的頻率下降**。

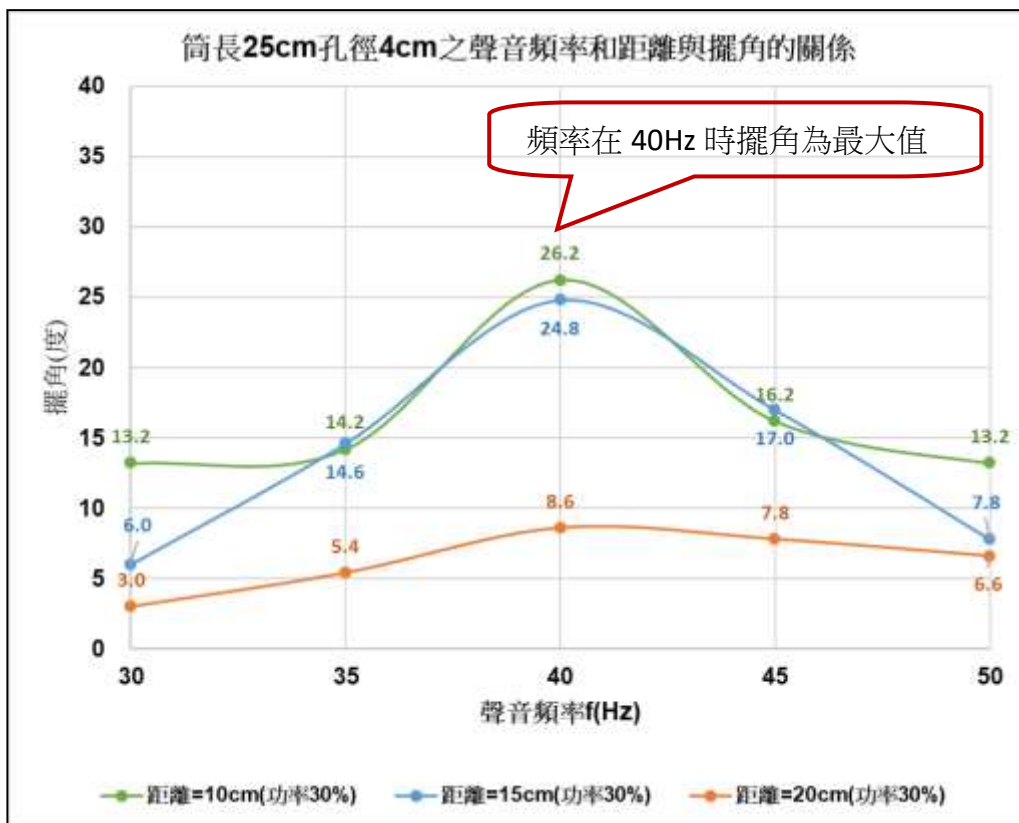


圖 6-52：筒長 25cm 孔徑 4cm 之聲音頻率和距離與擺角的關係

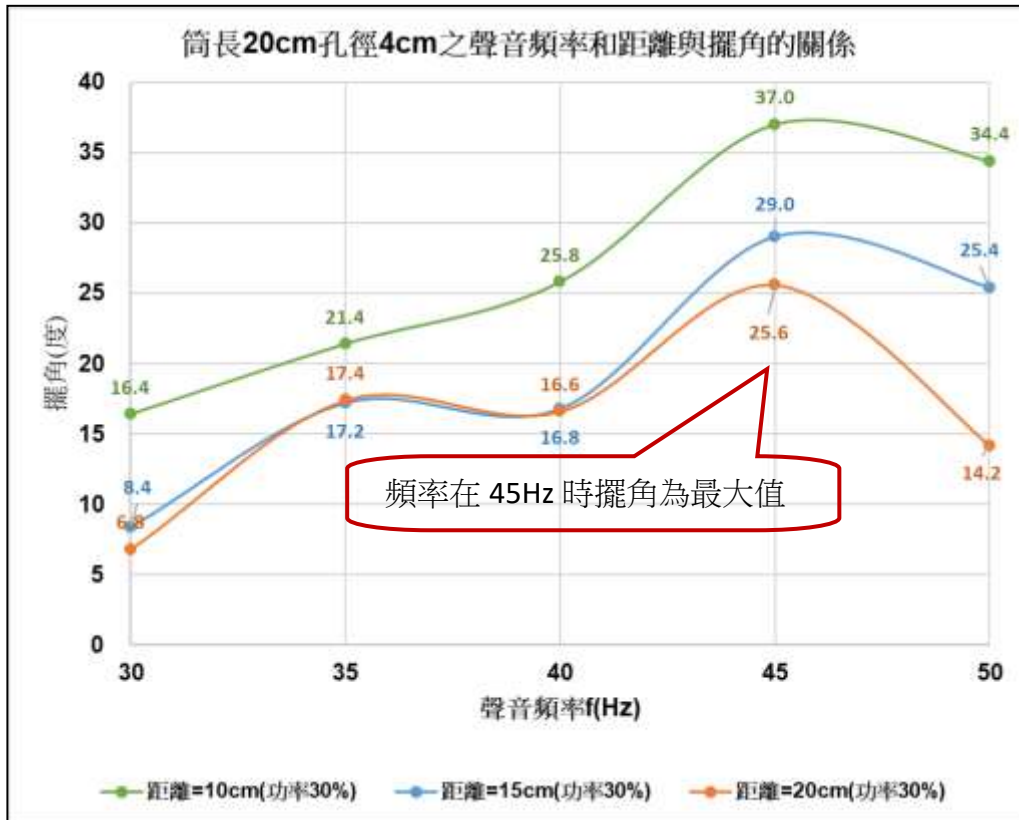


圖 6-53：筒長 20cm 孔徑 4cm 之聲音頻率和距離與擺角的關係

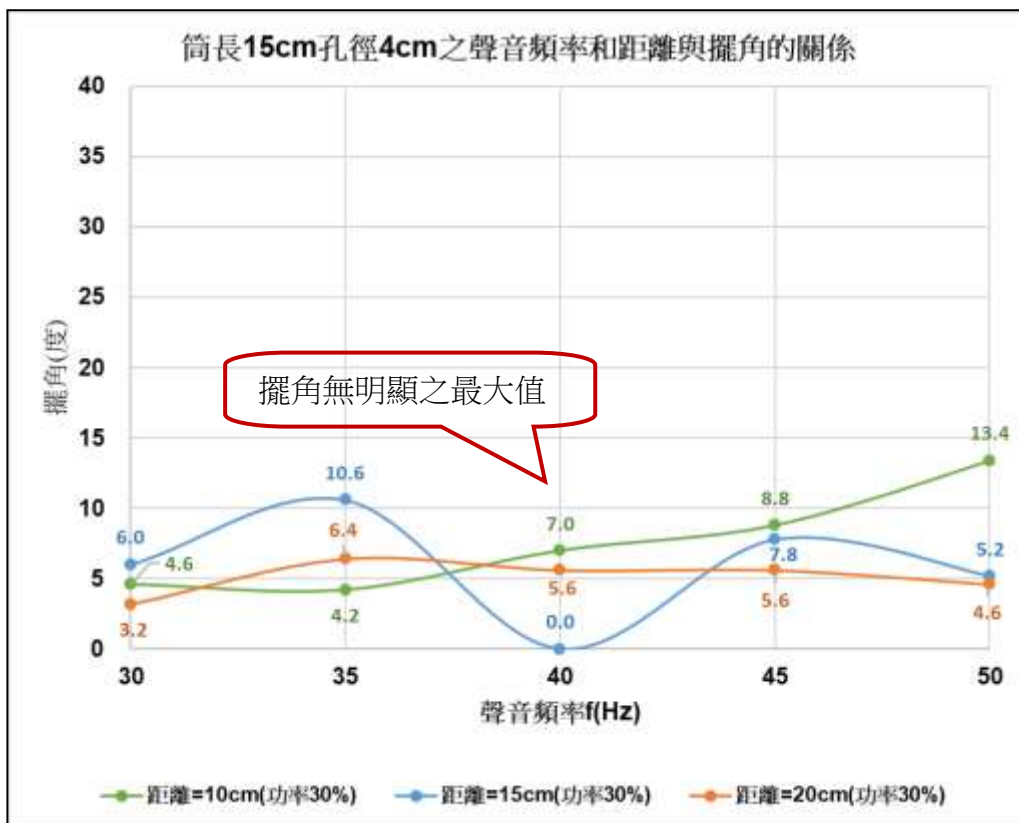


圖 6-54：筒長 15cm 孔徑 4cm 之聲音頻率和距離與擺角的關係

研究六、製作體積小、便利性高與效果更佳的新型聲波火器。

從研究三到五的結果可以得知，使用聚音筒時**低頻率的聲波會產生噴射氣流**，同時根據研究原理聲波是疏密波會使空氣密度出現高低起伏的變化，因此**噴射氣流的作用及低密度的空氣(氧氣量)會使可燃物因缺乏助燃氣體的情況下發生熄滅的結果。**

構想：我們希望製作小巧輕便的聲波滅火裝置，使撲滅火源過程變得更加安全、便利。

(一) 輕便的新型聲波滅火裝置：

製作步驟：

1. 購置一直徑約 10cm 的藍芽喇叭如圖 6-55 所示，並以瓦楞板製作孔徑 2cm 之聚音孔如圖 6-56 所示。
2. 利用透明塑膠墊製作筒長 20cm 聚音筒如圖 6-57 所示。
3. 架設筒長 20cm、出聲孔圓孔直徑 2cm 的藍芽喇叭聚音筒，並利用鐵架將保麗龍球置於聚音筒的出聲空中心處前方 10cm 處。
4. 以發聲軟體 VB-Generator 輸出 40 赫茲的聲音。
5. 調整藍芽喇叭上音量按鈕至最大音量並固定之，利用筆記型電腦固定輸出的功率 100%，觀測保麗龍球擺盪的角度並記錄 5 次的測量結果如圖 6-58 所示，再取平均值。
6. 依序將輸出的頻率調整為 40、50、60、70、80、90、100、110 和 120 直至 500 赫茲並重複步驟 4 至 5，並找出最適合進行分析的頻率範圍為 180~240Hz。
7. 依序將新型聲波滅火裝置與保麗龍球的距離調整為 3、5 和 10cm 並重複步驟 4 至 6。



圖 6-55：藍芽喇叭



圖 6-56：瓦楞板聚音孔



圖 6-57：藍芽喇叭聲波滅火裝置



圖 6-58：噴射氣流強弱的量測裝置

(二) 實驗結果與討論：

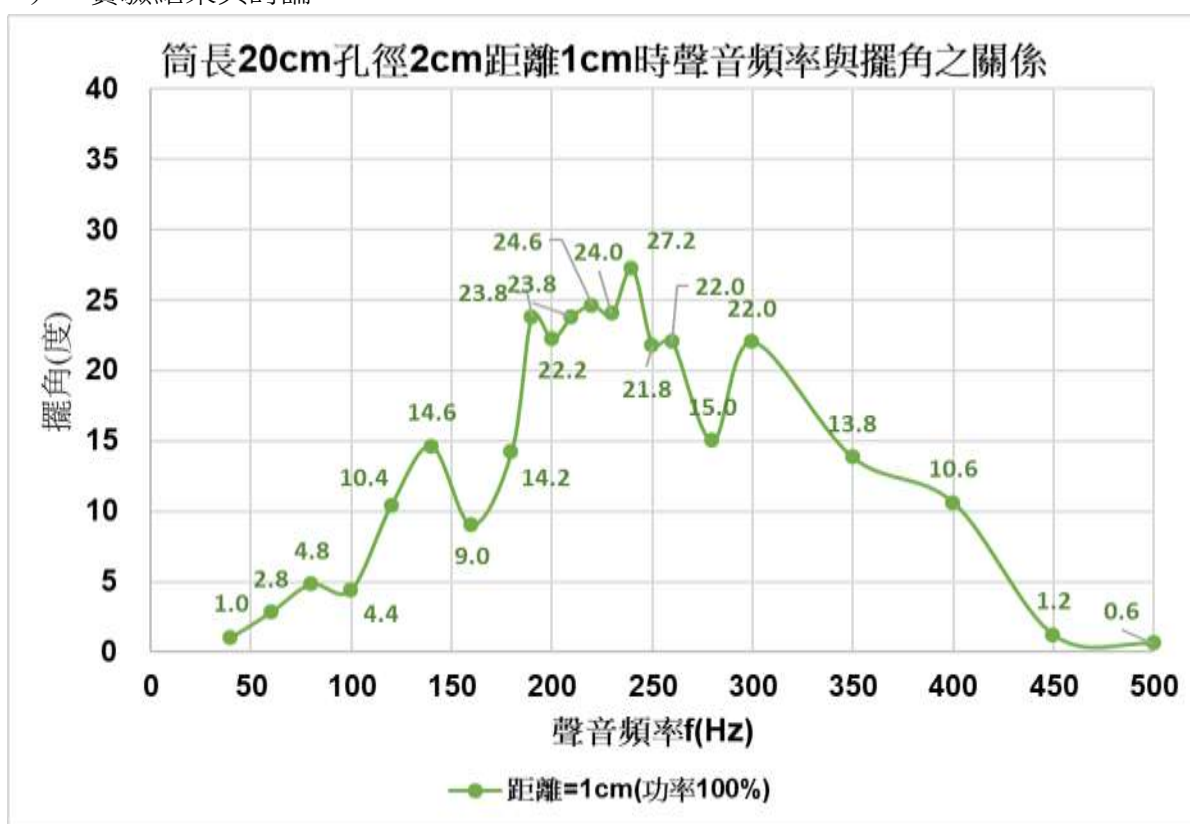


圖 6-59：新型聲波滅火裝置筒長 20cm 孔徑 1cm 距離 1cm 時之聲音頻率與擺角的關係

1. 根據研究六的實驗結果發現，新型聲波滅火裝置在頻率為 180~240Hz 時，噴射氣流強度最大，此時擺角大小範圍約在 22° ~27.2° 之間，因此我們判定**裝置的直徑越小，產生最大噴射氣流的頻率則隨之變大。**
2. 接下來我們改變新型聲波滅火裝置與保麗龍球的距離，並進行量測聲音頻率和距離與擺角的關係如圖 6-70 所示，從結果中得知噴射氣流的強弱會隨著距離先增後減，在 3cm 時出現最大值擺角約在 23.8° ~29.2° ，且**頻率在 230Hz 時為最大值。**

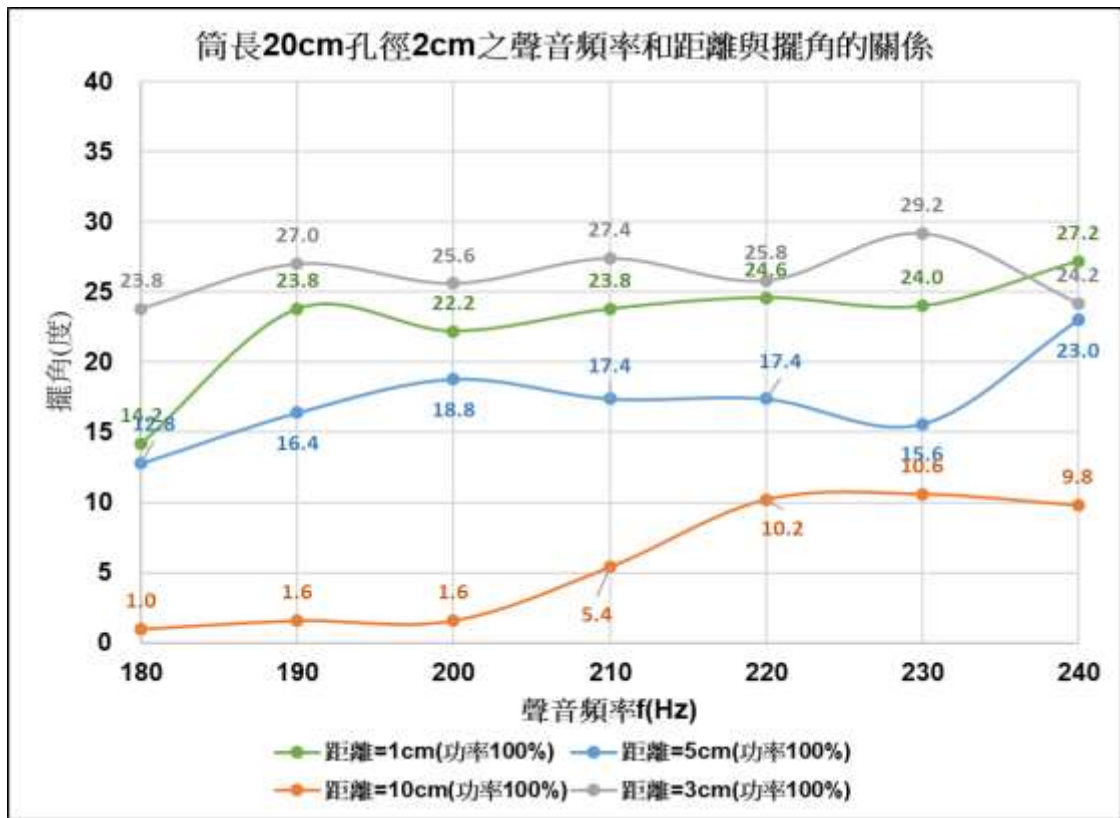


圖 6-60：新型聲波滅火裝置之距離之聲音頻率和距離與擺角的關係

(三) 新型聲波滅火裝置的效果測試：

操作步驟：

1. 架設新型聲波滅火裝置，將音量調至最大並利用發聲軟體 VB-Generator 輸出 180 赫茲的聲音。
2. 取一蠟燭將其點燃在軌道上如圖 6-61 所示移動並靠近喇叭，觀測蠟燭熄滅的距離如圖 6-62 所示，並記錄 3 次的測量結果再取平均值。
3. 依序將輸出的頻率調整為 190、200、210、220、230 和 240 赫茲並重複步驟 2。

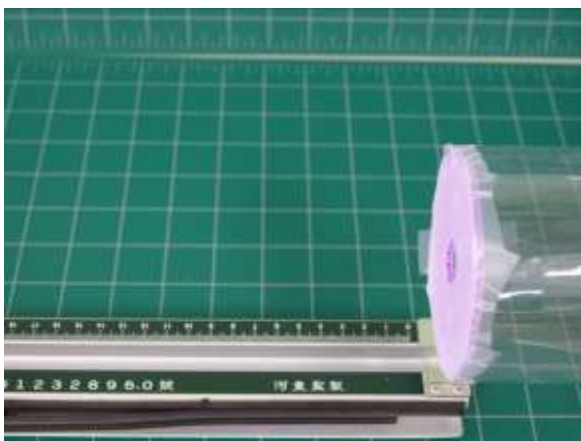


圖 6-61：新型聲波滅火裝置之距離量測裝置



圖 6-62：蠟燭熄滅距離的量測

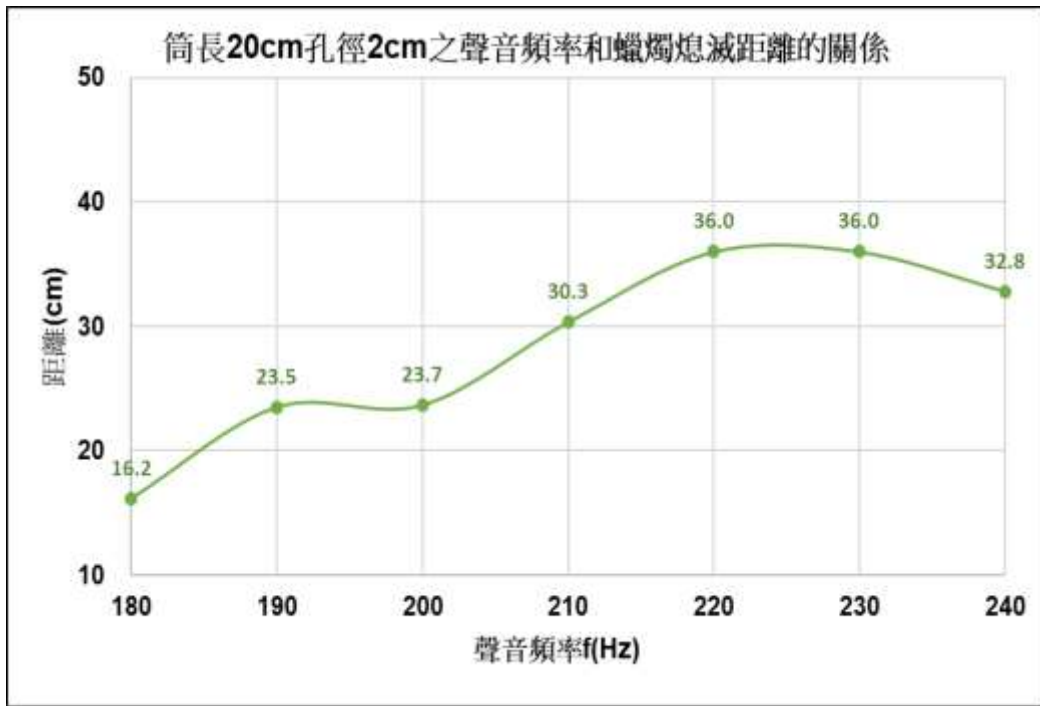


圖 6-63：新型聲波滅火裝置之聲音頻率和蠟燭熄滅距離之量測

實驗結果與討論：

1. 根據新型聲波滅火裝置的效果測試，頻率為 180~240Hz 時，蠟燭熄滅的位置約在 16.2cm~36cm，其中 220 和 230Hz 的聲波將蠟燭熄滅的距離最遠為 36cm，與保麗龍球擺角之實驗結果相符。

(四) 肯特管的觀察分析：

架設肯特管於新型聲波滅火裝置前如圖 6-63 所示，並利用發聲軟體 VB-Generator 輸出 180 赫茲的聲音，利用管中的小保麗龍球觀測駐波的形成及型態如圖 6-64 所示。

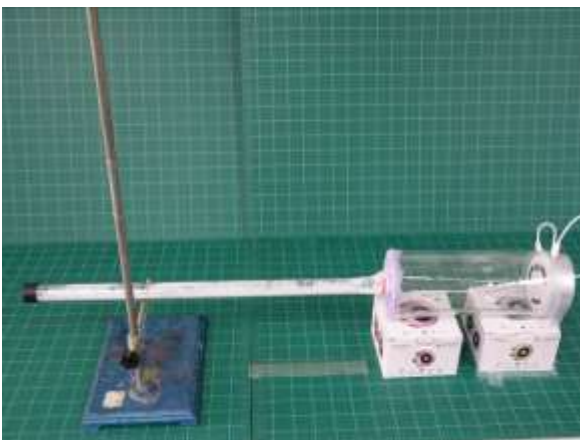


圖 6-63：架設肯特管於新型聲波滅火裝置前



圖 6-64：輸出聲音觀測駐波的形成及型態

陸、結果與討論：

1. 我們利用 VB-Generator 軟體控制聲音頻率，再以筆記型電腦控制輸出功率，提高實驗的穩定性與準確性，分析音量與頻率和輸出功率的關係，當輸出功率到達 25%後除了 20Hz 的聲音外，其餘均到達最大值，我們決定將輸出的功率固定為 30%，以維持固定的音量大小進行實驗探究。
2. 從實驗結果中發現音量(dB)會隨距離 d 增加而變小與預期結果符合，此外我們從音量與距的關係曲線中得知，在 0~25cm 間音量的變化較為明顯、空氣的振盪會較劇烈，是比較適合滅火的範圍，所以將距離限定在距離聚音筒的出聲孔中心 0~25cm 的位置。
3. 從結果中發現圓孔直徑為 4cm 時，頻率為 25~45Hz、距離出聲孔 5~25cm 的位置音量大小出現大幅度的震盪，也能感覺到有間歇式噴射氣流存在，因此可根據音量(dB)的變化得出最適合聲波滅火的條件；當出聲孔圓孔直徑增大時，聲音能量的集中度減弱，音量震盪的情況變得較不明顯，產生震盪的頻率升高，噴射氣流有變弱的趨勢。
4. 本實驗喇叭的直徑為 24.5cm，而經實驗解果分析筒長在 20~25cm、圓孔直徑為 4 公分時，震盪的程度最為劇烈，噴射氣流最強。
5. 聚音筒長度 20cm 孔徑為 4cm 時，45Hz 的頻率所產生的噴射氣流強度最大，當距離為 10~20cm 時，此時擺角為最大值依序是 37° ~ 25.6° ；隨著筒長增加，出現最大擺角的頻率則是下降，因此我們歸納出聚音筒的長度增加會導致產生最大噴射氣流的頻率下降。
6. 根據研究六的實驗結果發現，新型聲波滅火裝置在頻率在 180~240Hz 時，噴射氣流強度最大，此時擺角大小範圍約在 22° ~ 27.2° 之間，且裝置的直徑越小，產生最大噴射氣流的頻率則隨之變大；從新型聲波滅火裝置的結果中得知，距離 3cm 時擺角出現最大值約在 23.8° ~ 29.2° ，且頻率在 230Hz 時為最大值。
7. 根據新型聲波滅火裝置的效果測試，頻率為 220 和 230Hz 的聲波將蠟燭熄滅的距離最遠其大小為 36cm，與保麗龍球擺角所得之頻率相符。

柒、未來展望：

在研究聲波滅火的過程中，我們從音量(dB)分析著手去探究聲音之所以可以滅火的原因，發現了噴射氣流和聲波為疏密波可能是聲波可以滅火的關鍵，接下來我們希望從這個方向出發，研發出便宜又方便的聲波滅火器，給大家一個在遇到火災時撲滅火源的更好選擇。

捌、資料來源：

1. 陳育聖、陳新、陳瑋祥，中華民國第 53 屆中小學科展：~來聲相聚 ~聲音滅火與聚音器的探討
2. 聲波滅火不稀奇，美國大學生還把裝置縮小了
<https://technews.tw/2015/04/04/when-it-comes-to-putting-out-fire-gmu-students-show-its-all-about-that-bass/>
3. 聲音也能滅火 雙胞胎兄妹：係金ㄟ
<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20141110005808-260405?chdtv>

【評語】 082921

本研究利用西卡紙製作不同孔徑與筒長的聚音筒裝置控制聲波，運用聲波疏密波的差異產生滅火的效果，藉由國外聲波滅火的發想讓本研究進行聲波滅火的原理探究及了解功率、頻率及振幅間的相關性，並分析聲波滅火的原理，研究中可以發現學生積極的參與度，符合科展精神。建議應先針對文獻進行多方的蒐集與探討(如歷屆科展作品)，再進行實驗的設計，較能精準的了解研究的目的以及待解決的問題，且較能展現其創新性。另外，在作品說明書的撰寫上也應注意，例如標題序號有誤，有些資料未列入參考資料等。

作品簡報

科 別:生活與應用科學科二(環保與民生)

組 別:國小組

作品名稱:「聲」「氣」勃勃—

聲波滅火之原理探究與裝置改良分析

關鍵詞:聲波滅火、振幅、噴射氣流

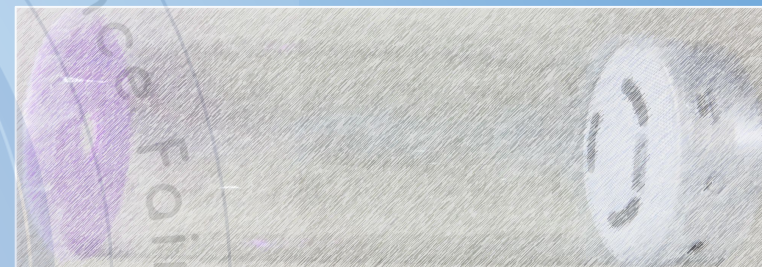
編 號:082921



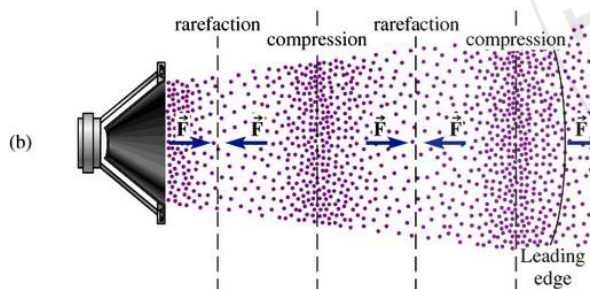
研究動機: 網路上看到新聞, 美國有兩位大學生讓聲波滅火的願望成真, 喬治梅森大學工程學系學生特蘭(Viet Tran)與電機工程系學生羅伯森(Seth Robertson)將聲波滅火裝置縮小到可隨行攜帶, 引起我們想一探究竟的動機, 也希望能進一步分析聲波滅火的原理及改良裝置。

研究目的:

1. 探討「功率、頻率及距離」與音量 (振幅)的關係。
2. 探討「圓柱形共振腔的筒長、圓孔直徑」與音量和距離之關係。
3. 探究聲音滅火的原因。
4. 利用藍芽喇叭改良新型聲波滅火裝置, 提高安全性與便利性。
5. 探討「新型聲波滅火裝置」之頻率與擺角及蠟燭熄滅距離的關係。



研究原理與應用:



疏密波示意圖



可攜式聲波滅火裝置



小型聲波滅火器

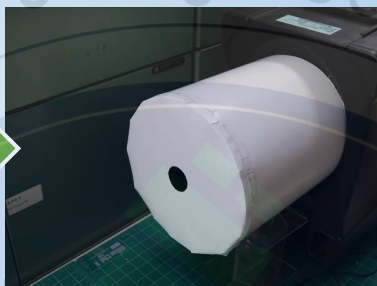
實驗裝置與操作流程：



音響喇叭外圍黏附套環



組裝套環



喇叭上裝設套環



喇叭正前方架設分貝計



聚音筒前方架設分貝計



測量音重與喇叭距離



測量音重與聚音筒距離之關係

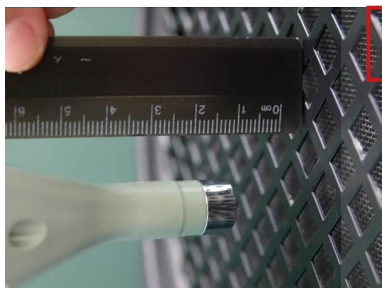


擺角與聚音筒距離之關係(1)



擺角與聚音筒距離之關係(2)

研究一、分析輸出的聲音頻率f(Hz)和功率(%)與音量(dB)的關係。



調整分貝計與喇叭的距離

固定旋鈕位置



調整喇叭的音量



調整分貝計與喇叭的距離



控制輸出功率

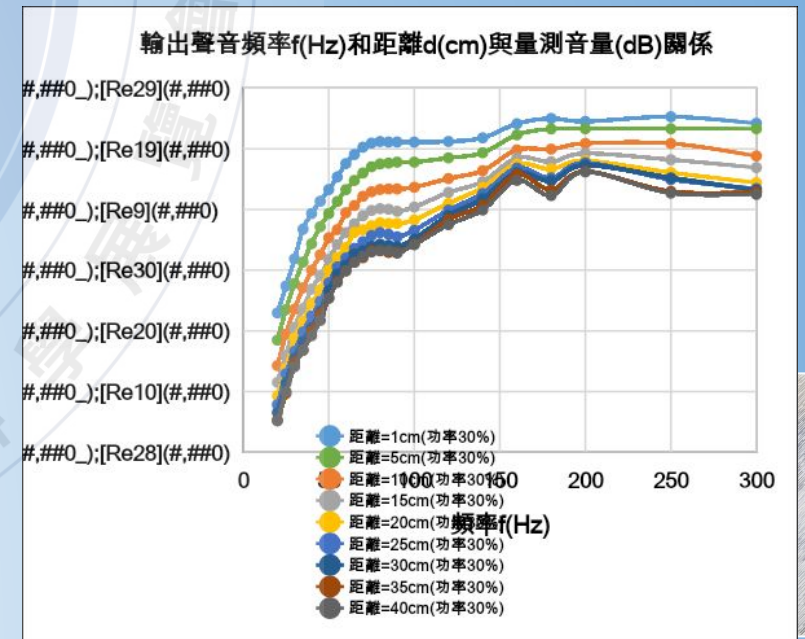
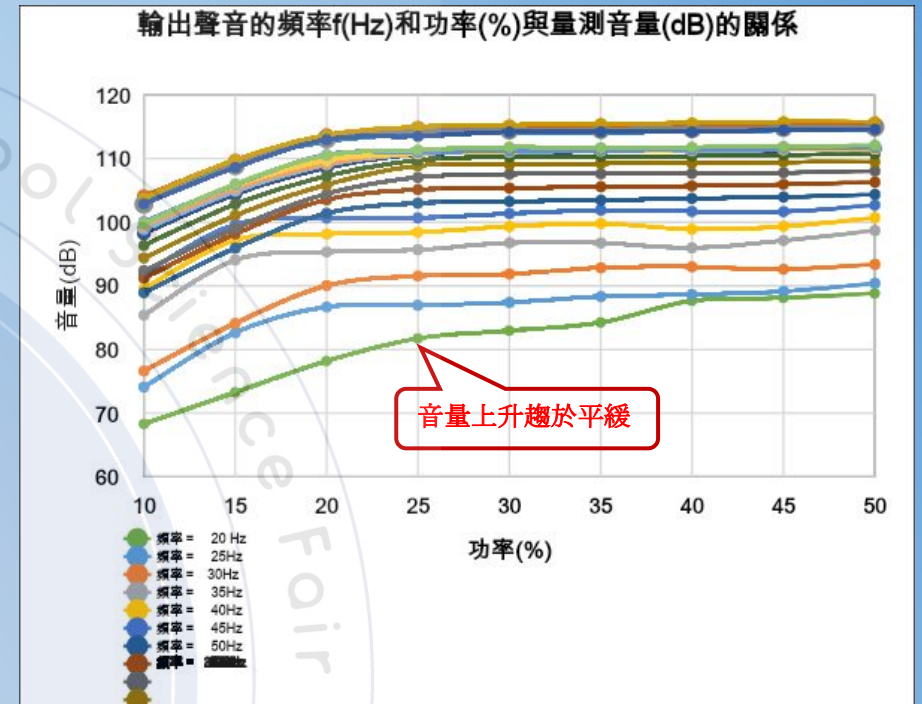
控制輸出功率為10%

實驗結果與討論：

1. 根據結果，頻率增加音量也跟著變大，這可能是頻率較高的聲音方向性較佳，較不易產生繞射。
2. 輸出功率提高後(調高音量的百分比%)，所測的音量dB也會增大，但是當功率到達25%後除了20Hz的聲音外，其餘的數據均顯示音量到達最大值，幾乎不再增大，在往後的實驗中，我們決定將輸出的功率固定為30%，以維持固定的音量大小進行實驗探究。

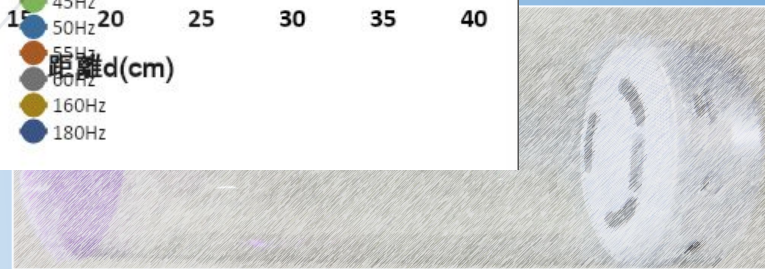
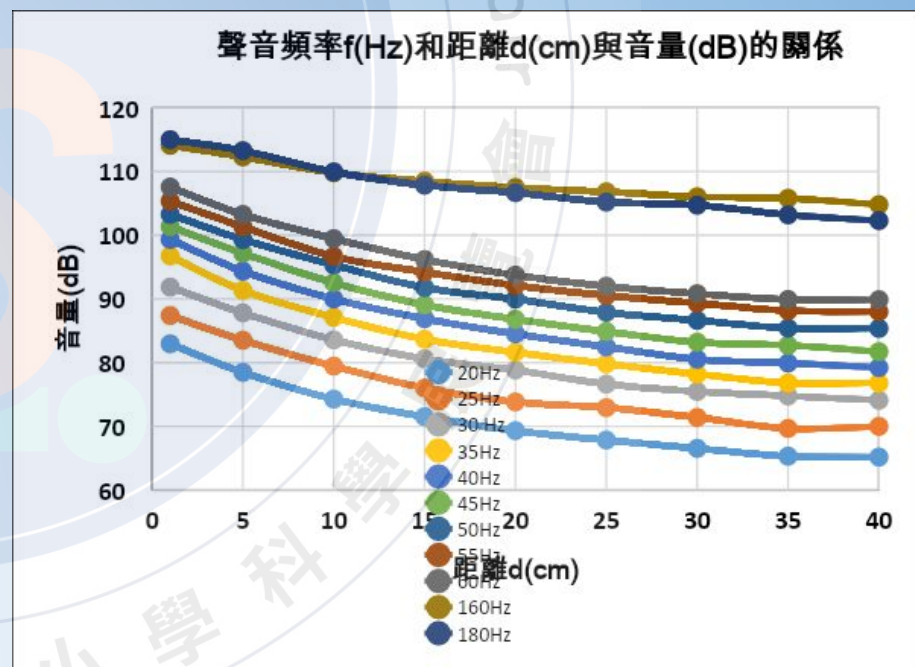
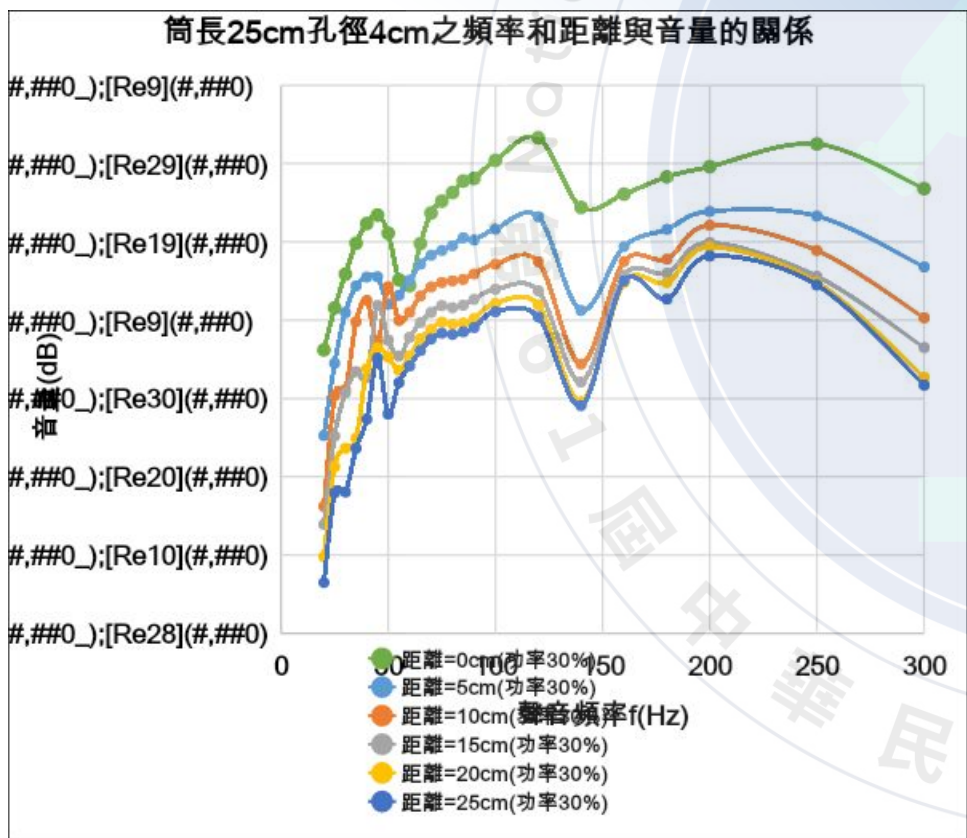
研究二、探討聲音頻率 f 和距離 d 與音量的關係。

1. 當分貝計距離音響越遠，測得音量越小，但160和180Hz的音量和距離變化則略有不同。
2. 分析20~60Hz及160和180Hz聲音距離與音量關係，20~60Hz頻率越高音量越大，當距離增加音量會變小。
3. 從結果發現音量會隨著距離增加而變小，與預期結果符合，表示量測有高準確性。
4. 我們也從音量與距離的關係線中得知，0~25cm間音量的變化較為明顯，表示在這個範圍空氣振盪較為劇烈，也是較適合滅火的範圍，之後量測會將距離限定在距離聚音筒的出聲孔中心0~25cm的位置。



研究三、製作聚音筒並架設於音響前方，以提高振幅且控制聲波往正前方傳播。

1. 從輸出聲音頻率和距離與音量的關係結果發現,20~60Hz的聲波其音量大小會出現明顯的振盪,量測時分貝計的數據會不停跳動,在架設分貝計也能感覺到噴射氣流的作用,推測是使聲波可以滅火的關鍵因素。
2. 我們的數據為五次測量後的平均值,結果表示空氣的密度變化大,疏密波的振幅大,如果聲波能夠讓空氣產生夠久的近真空區間,火源無法得到足夠的氧氣供應,會讓燃燒的火源熄滅,故從音量的變化中,可以直觀的找到聲波滅火的原因。

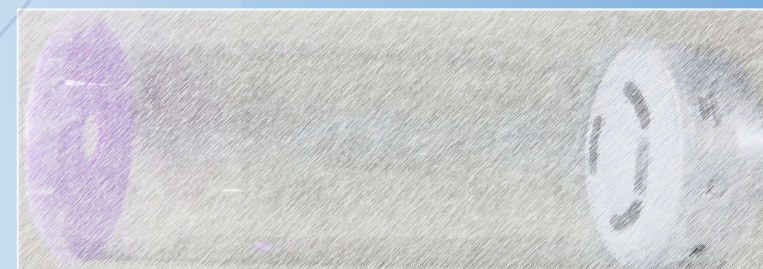


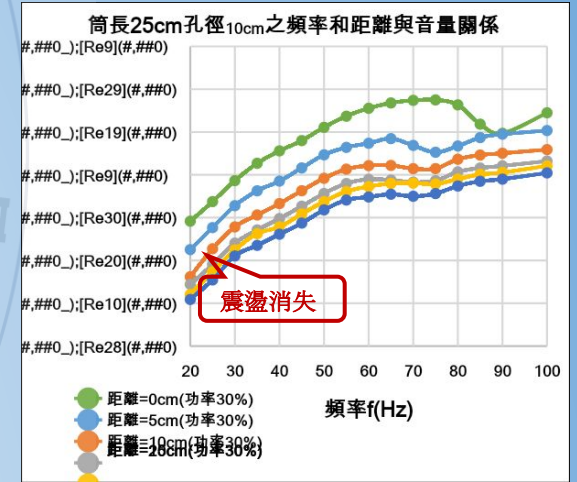
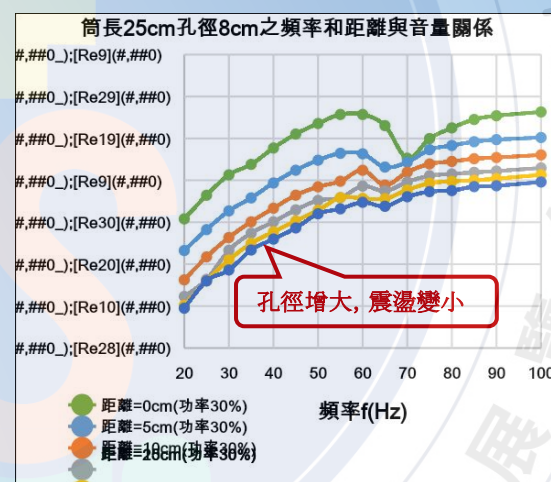
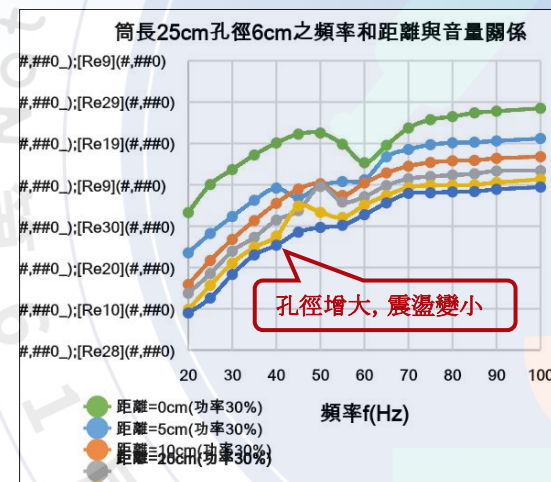
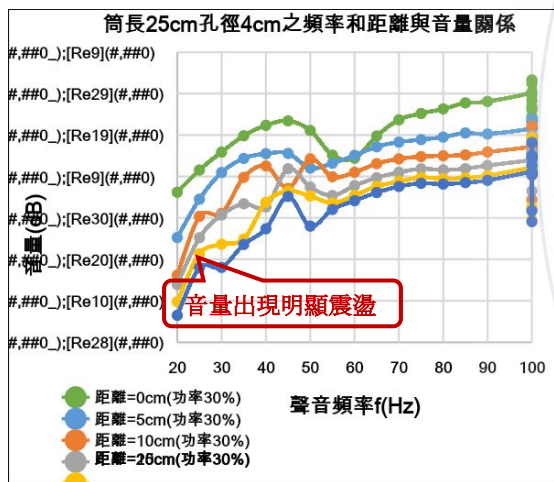
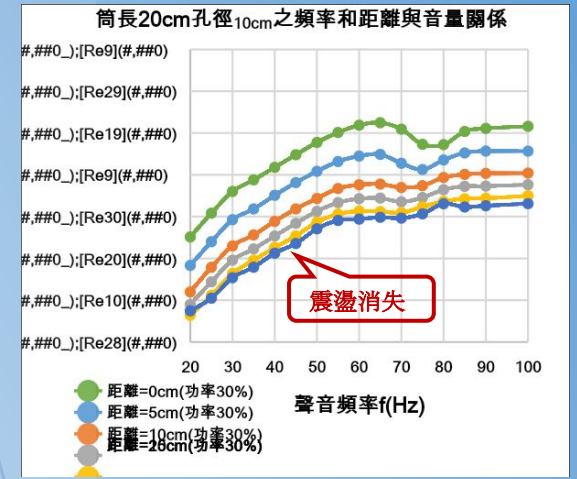
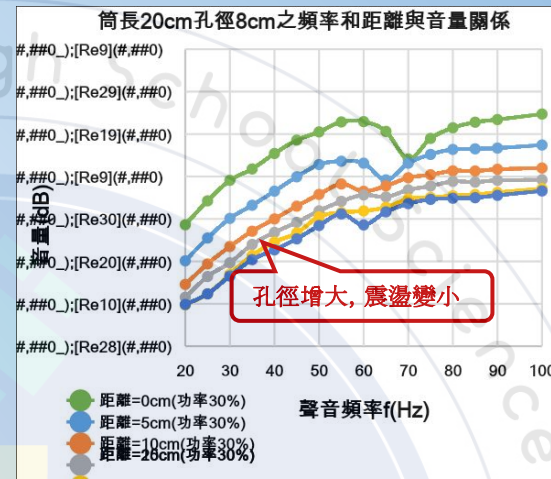
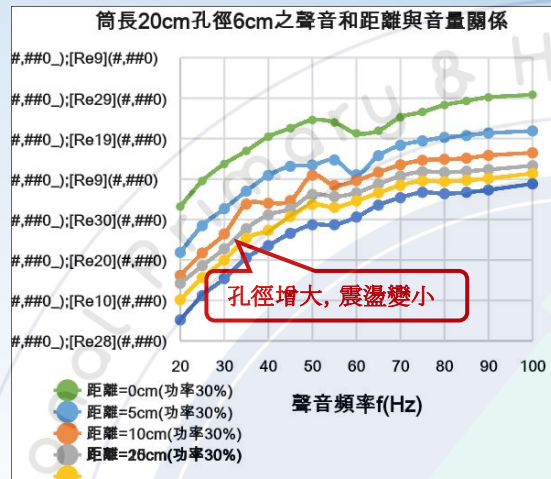
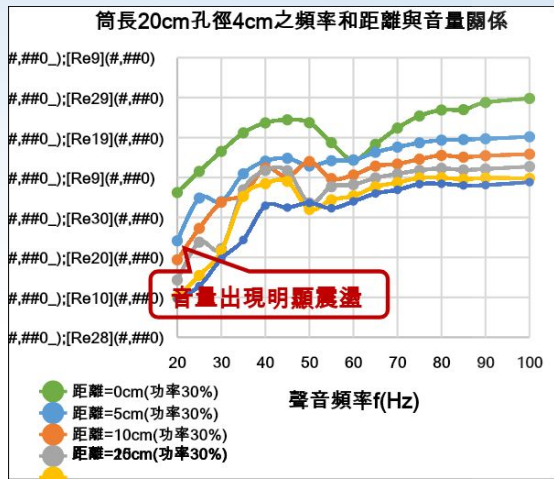
3. 為進一步探究，我們以容積最大的25cm筒長和圓孔直徑最小的4cm進行實驗，除了要找到聲波滅火的機制，同時也評估適合的量測條件，以利於我們分析聲波滅火的原理；從結果中得知低頻時的聲波，會出現噴射氣流及音量大的振盪現象，因此我們之後的研究將以20~100Hz的聲波來進行實驗。

研究四、探討「圓柱形共振腔的筒長、圓孔直徑」的音量和距離關係。

1. 不同筒長與圓孔直徑的聚音筒照片。
2. 根據筒長25cm聚音筒圓孔直徑與聲音頻率和距離的關係，發現圓孔直徑為4cm時，分貝計音量在頻率25~45Hz、距離出聲孔5~25cm的位置出現大幅度震盪，並有噴射氣流存在，根據音量的變化找出為何聲波可以滅火的原因，並得出最適合聲波滅火的條件。
3. 當出聲孔圓孔直徑增為6cm時，隨著圓孔直徑的增大聲音能量的集中度減弱，音量大小出現震盪的情況變得較不明顯，出現震盪的頻率升高，噴射氣流也有變弱的趨勢。
4. 我們以筒長20和25cm的聲音頻率和距離與音量的關係為例。

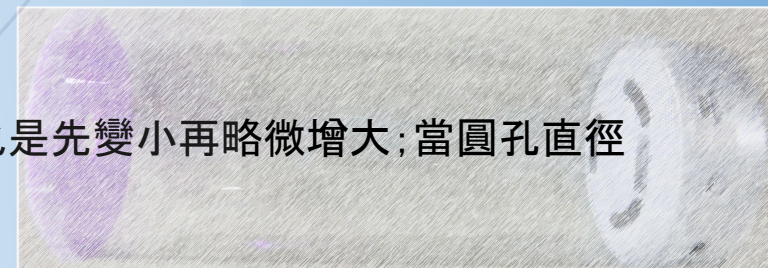
	圓孔直徑 4cm	圓孔直徑 6cm	圓孔直徑 8cm	圓孔直徑 10cm	圓孔直徑 12cm
筒長5cm					
筒長10cm					
筒長15cm					
筒長20cm					
筒長25cm					





5. 根據結果圓孔直徑為4cm時, 分貝計測得音量隨著筒長增加, 震盪程度增大產生震盪的頻率範圍也隨之變大, 由25~45Hz 增為25~55Hz, 顯示聚音筒的筒長越大, 震盪程度和噴射氣流的強度也有增加。

6. 圓孔直徑為6cm時, 筒長增加產生震盪的頻率範圍先變小再變大, 而出現震盪的距離也是先變小再略微增大; 當圓孔直徑大於8公分時, 就不再有音量出現震盪或噴射氣流的產生。



7. 接下來我們將分貝計測量音量時產生震盪的結果進行歸納及分析：

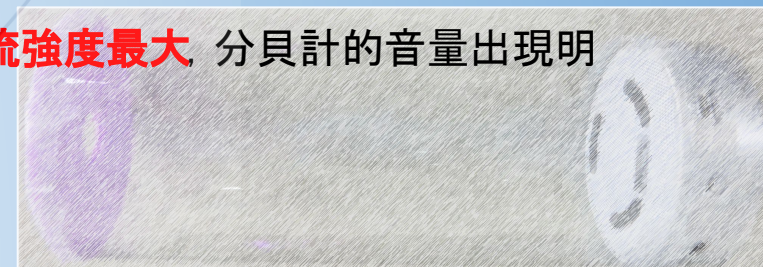
	筒長5cm	筒長10cm	筒長15cm	筒長20cm	筒長25cm
圓孔直徑4cm 產生震盪的頻率	25~45Hz	25~45Hz	25~45Hz	25~55Hz	25~55Hz
圓孔直徑4cm 產生震盪的距離	5~25cm	5~25cm	5~25cm	5~25cm	5~25cm
圓孔直徑6cm 產生震盪的頻率	35~55Hz	45~55Hz	45~55Hz	45~55Hz	35~55Hz
圓孔直徑6cm 產生震盪的距離	5~25cm	5~15cm	5~10cm	5~15cm	5~15cm

8. 經實驗結果分析筒長在20~25cm、圓孔直徑為4公分時，震盪的程度最為劇烈，噴射氣流最強。

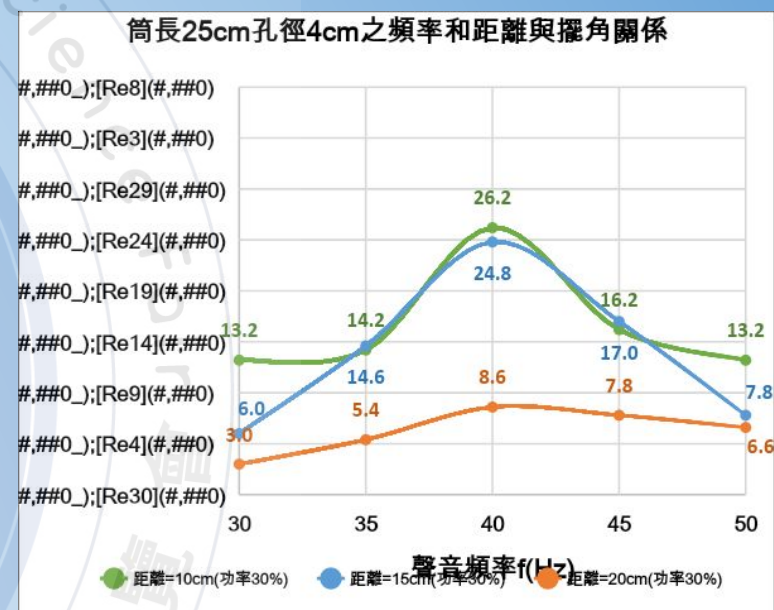
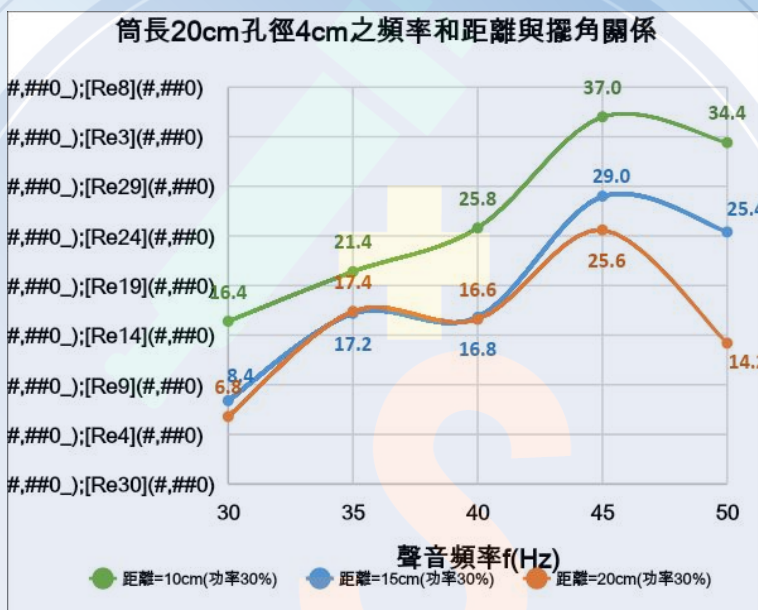
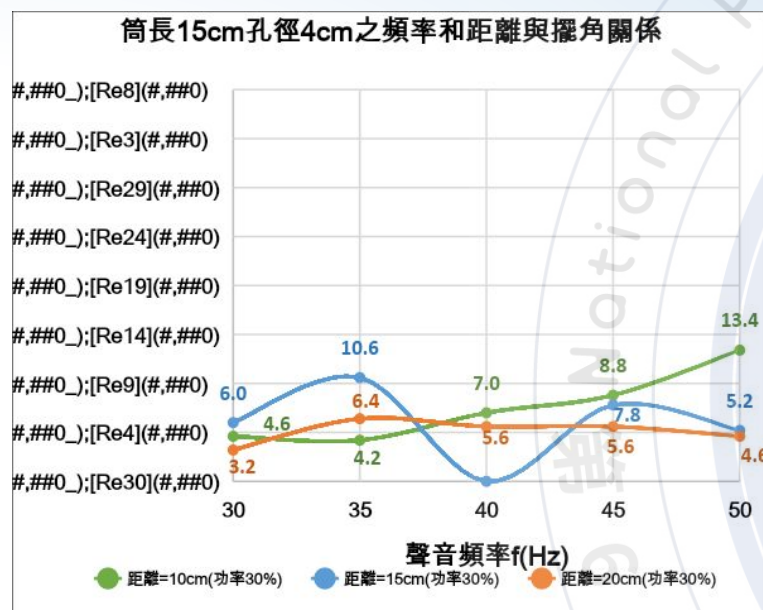
9. 筒長為30cm時由於筒常太長、體積太大，效果不如預期。

研究五、探討聚音筒的筒長和距離與噴射氣流強弱之關係。

1. 根據研究四結果得知，聚音筒長度15~25cm、孔徑為4cm距離為10~20cm時，噴射氣流強度最大，分貝計的音量出現明顯的振盪，我們以懸掛保麗龍球之擺角 θ 分析噴射氣流強弱。

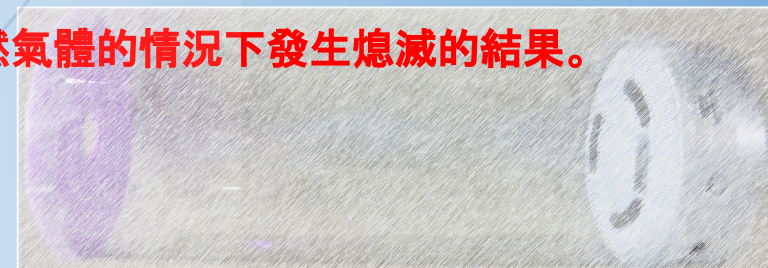


2. 聚音筒長度25cm孔徑4cm時，40Hz的頻率產生的噴射氣流強度最大；聚音筒長度20cm孔徑4cm時，噴射氣流的強度則是45Hz最高；而筒長為15cm孔徑4cm時，保麗龍球出現擺盪，但無明顯極大值，從擺角大小得知，噴射氣流在聚音筒長20和25cm時強度較高且隨筒長增加，最大擺角的頻率則是下降。



研究六、製作體積小、便利性高與效果更佳的新型聲波火器。

從研究三到五的結果可知，使用聚音筒時**低頻率的聲波會產生噴射氣流**，同時根據研究原理聲波是疏密波會使空氣密度出現高低起伏的變化，因此**噴射氣流的作用及低密度的空氣(氧氣量)會使可燃物因缺乏助燃氣體的情況下發生熄滅的結果。**



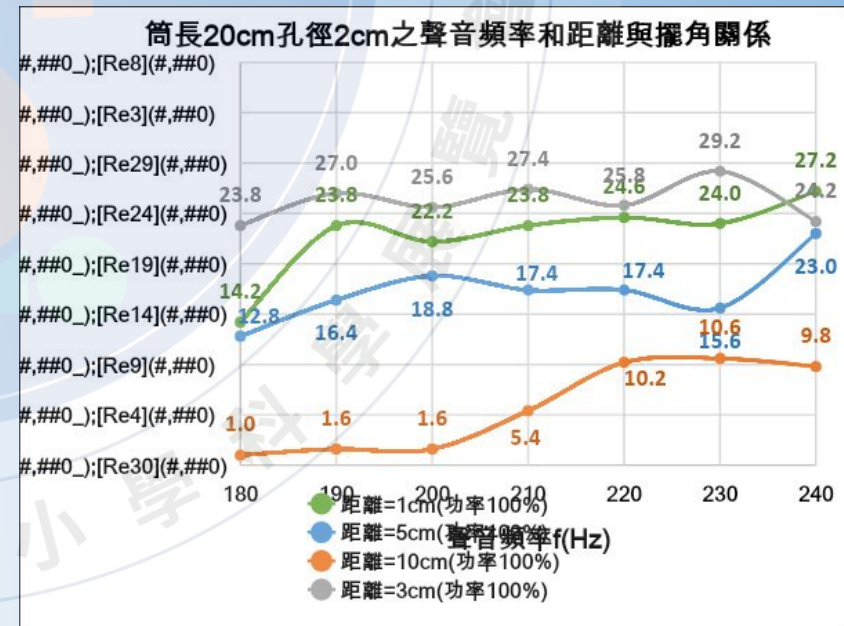
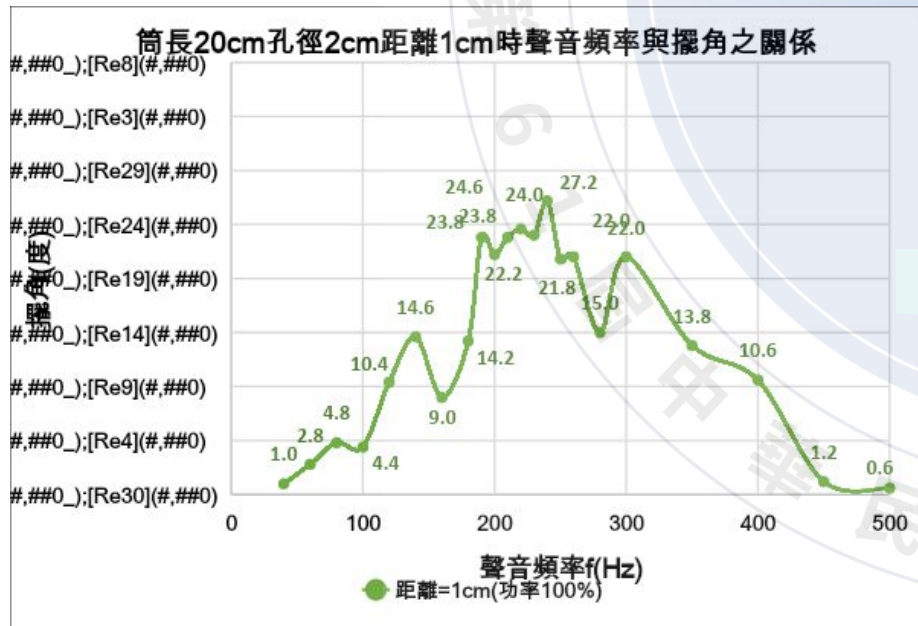


藍芽喇叭聲波滅火裝置



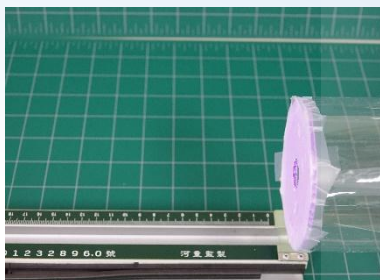
噴射氣流強弱的量測裝置

1. 新型聲波滅火裝置在**頻率為180~240Hz時，噴射氣流強度最大**，此時擺角大小範圍約在 22° ~ 27.2° 之間，因此我們判定裝置的**直徑越小，產生最大噴射氣流的頻率則隨之變大**。
2. 接我們改變新型聲波滅火裝置與保麗龍球的距離，量測聲音頻率和距離與擺角的關係，從結果中得知噴射氣流的強弱會隨著距離先增後減，在3cm時出現最大值擺角約在 23.8° ~ 29.2° ，且頻率在**230Hz**時為最大值。



新型聲波滅火裝置的效果測試：

1. 新型聲波滅火裝置的頻率為220和230Hz蠟燭熄滅的距離最遠為36cm，與保麗龍球擺角之結果相符。



新型聲波滅火裝置之距離量測



蠟燭熄滅距離的量測

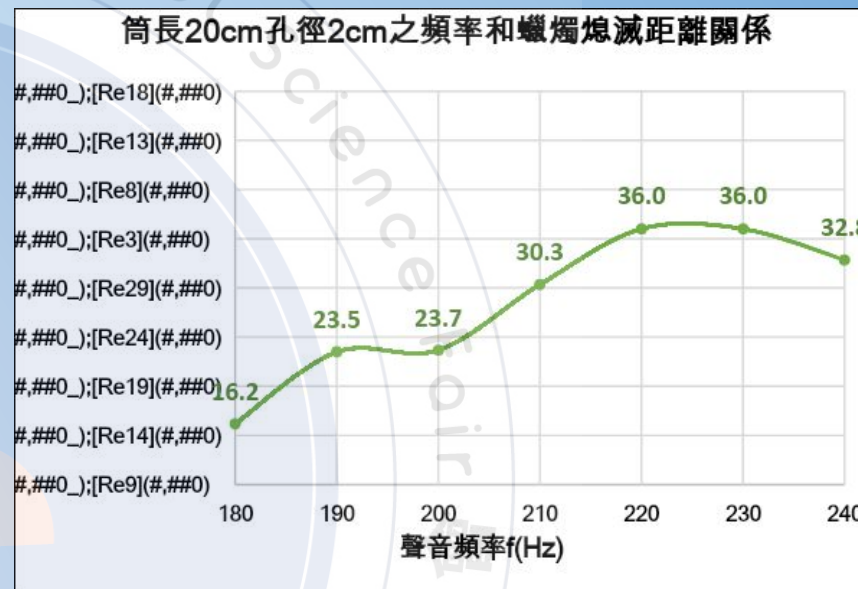
肯特管的觀察分析：



架設肯特管

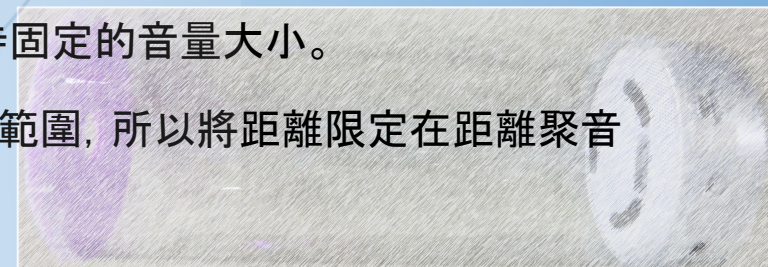


輸出聲音觀測駐波的形成及型態



結論：

1. 我們利用VB-Generator軟體控制聲音頻率，再以筆記型電腦控制輸出功率為30%，維持固定的音量大小。
2. 從實驗結果發現0~25cm間音量的變化較為明顯、空氣振盪較劇烈，是比較適合滅火的範圍，所以將距離限定在距離聚音筒的出聲孔中心0~25cm的位置。



3. **圓孔直徑為4cm時，頻率為25~45Hz、距離出聲孔5~25cm的位置音量大小出現大幅度的震盪** 能感覺到間歇式噴射氣流存在，根據音量的變化得出最適合聲波滅火的條件；出聲孔圓孔直徑增大時，能量的集中度減弱，噴射氣流有變弱的趨勢
4. 經實驗分析筒長20~25cm、圓孔直徑4公分時，震盪的程度最為劇烈，噴射氣流最強 **20cm孔徑為4cm時，45Hz的頻率所產生的噴射氣流強度最大。**
5. 根據研究六的結果，新型聲波滅火裝置在180~240Hz時，噴射氣流強度最大，擺角大小範圍約在2°~27.2°，裝置的直徑越小，產生最大噴射氣流的頻率則隨之變大；距離3cm時擺角出現最大值，且頻率為230Hz。
6. 新型聲波滅火裝置的測試，**頻率為220和230Hz的聲波將蠟燭熄滅的距離最遠為36cm**，與保麗龍球擺角所得之頻率相符。

未來展望：

在研究聲波滅火的過程中，我們從音量(dB)分析著手去探究聲音之所以可以滅火的原因，發現了噴射氣流和聲波為疏密波可能是聲波可以滅火的關鍵，接下來我們希望從這個方向出發，研發出便宜又方便的聲波滅火器，給大家一個在遇到火災時撲滅火源的更好選擇。

參考資料：

1. 陳育聖、陳新、陳瑋祥，中華民國第53屆中小學科展：~來聲相聚~聲音滅火與聚音器的探討
2. 聲波滅火不稀奇，美國大學生還把裝置縮小了
<https://technews.tw/2015/04/04/when-it-comes-to-putting-out-fire-gmu-students-show-its-all-about-that-bass/>
3. 聲音也能滅火 雙胞胎兄妹：係金ㄟ <https://www.chinatimes.com/realtimenews/20141110005808-260405?chdtv>

