

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030112

~來聲相聚~聲音滅火與聚音器的探討

學校名稱：苗栗縣立頭份國民中學

作者： 國二 陳育聖 國二 陳 新 國二 陳偉祥	指導老師： 吳慧娟
---	------------------

關鍵詞：波的干涉、共振、聚音器

摘要

本實驗希望藉由聲波的反射、共振、干涉、駐波等特性，來探討聲音滅火的原理。過程中我們從探討喇叭迴音孔的設計原理，進入亥姆霍茲共振(Helmholtz Resonator)的世界。我們具體的研究聚音器的特性，找出效率最佳的聚音器---讓聲音成爲快速、有效、低成本、無污染的滅火器。

壹、研究動機

從 YouTube 看到一則美國國防部公佈「聲音滅火」的神奇影片(參考一)，引發了我們對燃燒與聲波特性的探討。

聲音是波，波是能量的傳遞，聲波對物質的破壞有兩種現象，一種是和物質產生共振現象(被物質吸收)，另一種是能量密度高直接破壞物質(直接打壞)。我們推測聲波滅火是後者。爲了研究此主題，我們設計不同形狀的聚音器(聚集聲音能量)，探討能量密度提升與滅火的關係。

從燃燒的火焰被震滅的實驗過程，揭開了我們對聲波的精彩研究之門---具體發現聲波的反射、共振、干涉、駐波，竟然可以簡便並有效的控制燃燒流場，聲音確實可以成爲快速、簡便、無污染的滅火器。

貳、研究目的

本研究目的是探討聲音滅火的原理及可行性。我們探討亥姆霍茲共振原理，用不同形狀的聚音器以不同頻率的聲波來探討聚音器聲波滅火的效果。

參、研究設備及器材

我們使用的研究設備及器材如下：

- 線圈式喇叭 (高音；重低音；0.3W、7W、8 W 全音域)，含迴音孔
- 筆記型電腦(Goldwave 軟體)
- 蠟燭、酒精燈、線香、尺、打火機、木板、鐵板、紙、電鑽、熱熔槍、熱熔膠
- 透明塑膠管、鐵製軌道、塑膠 BB 彈(0.1g、直徑 5mm) 、乒乓球(1.5 g、直徑 25mm)
- 分貝計、溫度計、水平儀
- 玻璃材質聚音器 (漏斗形、弧形、圓球形)

肆、研究過程與結果

一、前置聲波滅火實驗：

(一)實驗架構(圖 1-1、2、3)



圖 1-a

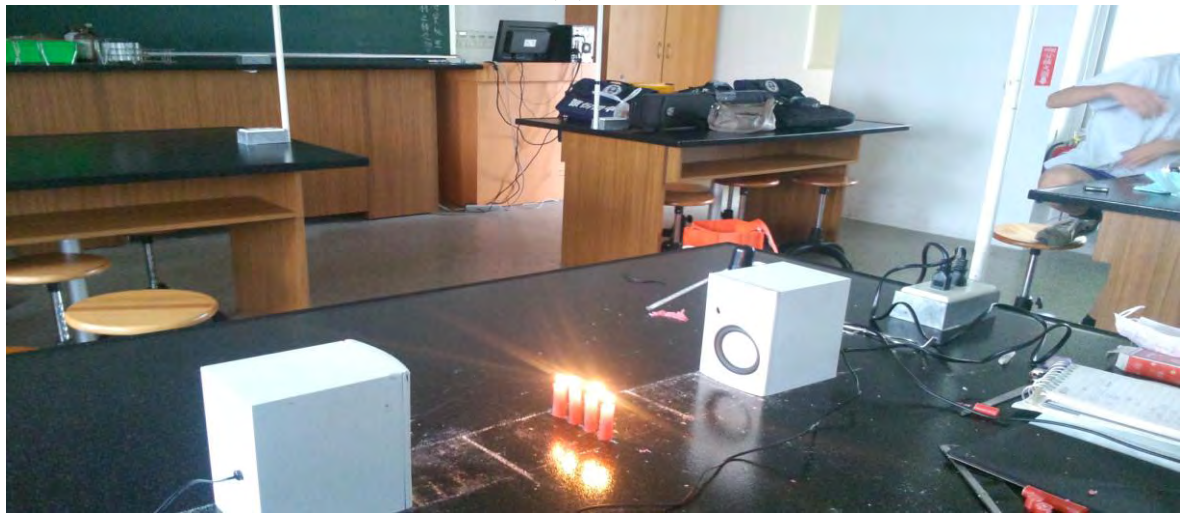


圖 1-b



圖 1-c

1. 為要確實控制聲波的頻率、播放的振幅(音量)與播放時間長短，我們以筆電作為輸出聲音的裝置(已用示波器作確認波形的穩定)。
2. 使用的軟體為 Goldwave(圖 2)，可準確的設定上述控制變因，操作畫面如下:

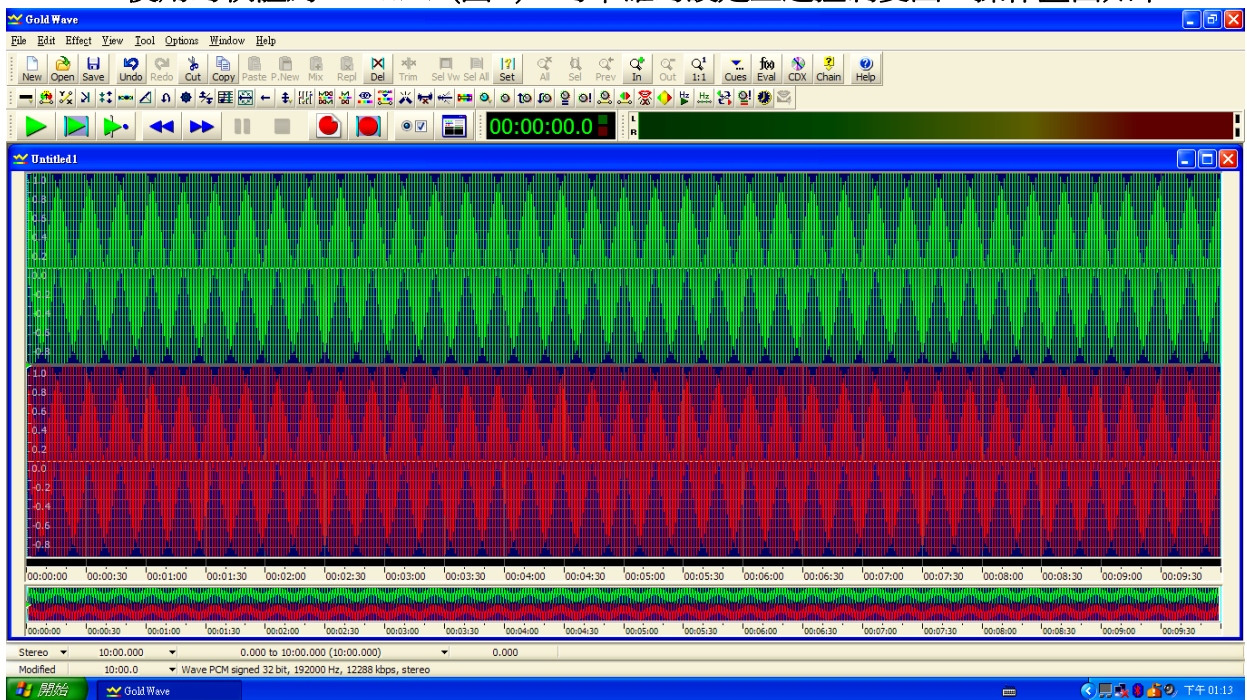


圖 2

3. 首先，我們用全音域功率 7W 的喇叭作測試，發現溫度在 23°C、60Hz、喇叭與蠟燭、酒精燈的距離 20cm 時(圖 1)，火源皆立刻熄滅，使我們振奮不已。
4. 到底甚麼樣的條件和喇叭(圖 3)才能達到滅火功能? 是高、重低音、還是全音域喇叭? 還是迴音孔的設計呢? 和頻率、功率、溫度、角度、波形...有否關聯?

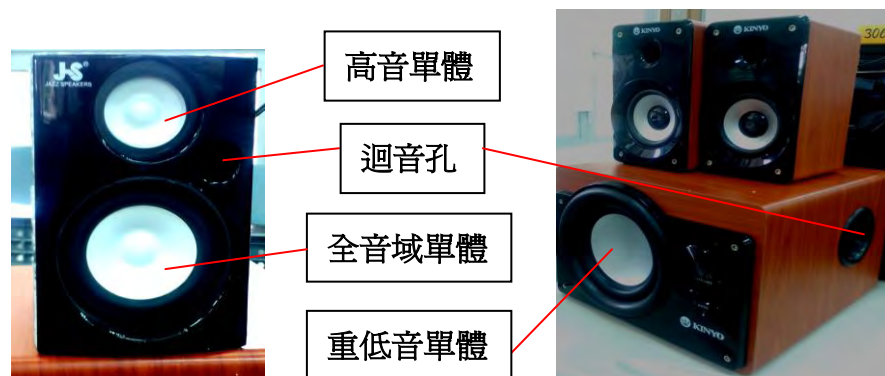


圖 3

(二)實驗過程：我們收集幾款不同的音響，分別將高音、重低音、全音域喇叭輸出孔和迴音孔調整好(其它的出聲孔以膠帶封住)(圖 4)，量測在不同輸出頻率下，逐漸將喇叭向火源靠近，記錄蠟燭熄滅距離。



圖 4

(三)實驗數據：

溫度21℃	火源熄滅距離(cm)								
	全音域8W	全音域7W	全音域0.3W	重低音單體	高音單體	迴音孔1.2cm	迴音孔4.0cm	全音域7W+迴音孔1.2cm	全音域0.3W+集音器
30	X	X	X	火振動偏斜	X	X	18.0	6.0	16.0
35	X	X	X	火振動偏斜	X	X	45.0	7.0	20.0
40	X	X	X	火振動偏斜	X	X	80.0	7.0	20.0
45	X	X	X	X	X	X	14.0	11.5	21.0
50	X	X	X	X	X	X	X	18.0	21.0
55	火變小	X	X	火振動	X	X	X	18.5	22.0
60	4.5cm	X	X	X	X	X	X	20.0	22.0
65	X	X	X	X	X	X	X	16.5	23.0
70	X	X	X	X	X	3	X	21.0	22.0
75	火變小	X	X	X	X	X	X	18.0	21.0
80	火變小	X	X	X	X	X	X	20.0	19.0
85	X	X	X	X	X	X	X	19.0	21.0

表 1

(註:X 表 NA)

(四)數據歸納：

1. 分析喇叭出音孔不可加裝鐵網，會破壞震波、滅火效果幾乎為 0，所以我們研判金屬網罩讓聲音發散，會干擾實驗。
2. 封住迴音孔的喇叭，除全音域(8W)的喇叭在頻率 60Hz 外，皆無法滅火。
3. 單純的迴音孔，只有重低音的迴音孔在 30~45Hz 有滅火效果。
4. 重低音喇叭(12W)雖無法滅火，但我們觀察到在 30~40Hz、55Hz 時，火焰形狀明顯改變，細長且劇烈擺動並偏斜。
5. 全音域(7W)的喇叭和 1.2cm 的迴音孔合併一起，滅火效果明顯好很多，因此，我們以此款喇叭作為第二階段實驗的聲源。
6. 0.3W 的 USB 喇叭結合聚音器滅火效果明顯，我們將在第三階段對聚音器作進一步實驗。

(五) 聲音滅火原理探討：

1. 燃燒三元素:空氣(氧)、燃料、溫度。



蠟油揮發燃燒

燭心吸附蠟油

液態蠟燭

固態蠟燭

圖 5

2. 滅火原因:震波將達到燃燒溫度的燃料震散，切斷燃燒循環。

二、設計實驗探討聲波滅火的特性。

(一)實驗目的：探討火源大小、溫度、聲波頻率、振幅、發聲角度等因素與滅火的相關性，找出聲波滅火的原理與最佳條件。

(二)實驗過程：

1. 實驗 2-1:不同火源(蠟燭、酒精燈)，播放特定頻率的聲音下，移動喇叭，記錄火源熄滅時兩個喇叭相對距離，找出火源大小與蠟燭熄滅距離的關係。



圖 6



圖 7

(1) 實驗數據：

溫度20°C		火源熄滅距離	
頻率(Hz)	蠟燭	酒精燈	
30	X	X	
35	X	X	
40	29.0	15.4	
45	34.0	20.6	
50	48.3	25.0	
55	51.0	22.0	
60	58.0	18.7	
65	56.0	18.6	
70	57.5	20.3	
75	X	X	
80	X	X	

表 2 (註:X 表 NA)

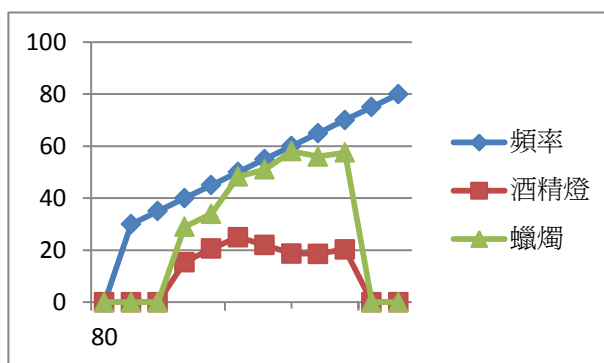


圖 8

(2) 數據歸納分析:

- a. 酒精燈熄滅時，兩個喇叭相對距離比較穩定且距離明顯變小。
 - b. 蠟燭會隨燃燒時間而變短，增加實驗誤差，因此酒精燈適合作實驗的穩定火源。
2. 實驗 2-2: 在不同溫度下以酒精燈為穩定火源，播放特定頻率的聲音下，移動喇叭，記錄火源熄滅時兩個喇叭相對距離，找出頻率與溫度與蠟燭熄滅距離的關係。

(1)實驗數據：

溫度(°C)	20	17
頻率(Hz)	平均	平均
30	X	21.5
35	29.0	28.0
40	34.0	35.0
45	48.3	46.8
50	51.0	53.3
55	58.0	53.5
60	56.0	55.9
65	57.5	72.0
70	X	65.9
75	X	46.5
80	X	47.5

表 3 (註:X 表 NA)

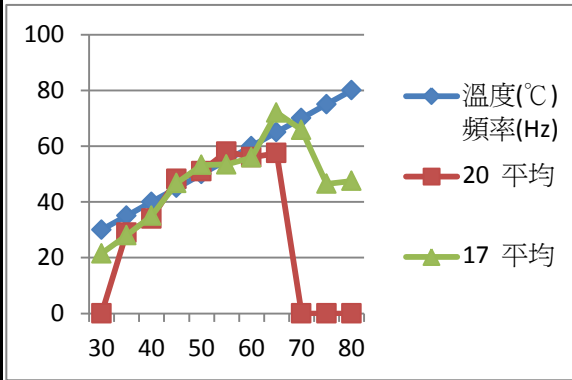


圖 9

(2) 數據歸納分析:

a. 溫度會影響火源熄滅距離。

b. 根據公式: 溫度影響波速, 同溫下, 頻率和波長呈反比,

$$V=331+0.6T \text{ 和 } V=f \cdot \lambda$$

因此我們推測: 兩相對的喇叭(聲源), 相同頻率所發出的波形(疏部與密部)所產生的干涉現象, 可能與火源熄滅距離有關。

3. 實驗 2-3: 室溫 22°C, 固定一側喇叭與火源的距離 15cm, 另一側喇叭則移動固定距離, 聲源發出 50Hz、55 Hz、60Hz 三種頻率, 記錄發出這三種頻率時火源的熄滅秒數, 找出火源熄滅的最佳實驗頻率與距離。

(1) 實驗照片:



圖 10

(2) 實驗數據:

一邊固定十五公分找出頻率與距離的關係(秒數*10)														
頻率Hz \ 距離15	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
50	11	11	23	16	22	10	16	16	14	15	9	39	12	16
55	5	3	8	11	7	6	6	8	7	9	7	8	7	13
60	4	3	9	5	7	8	6	4	8	7	10	6	7	10

表 4

(3) 實驗數據分析:

a. 室溫 22°C, 聲源發出 50 Hz、55 Hz、60Hz 三種頻率, 兩聲源相距在 45~80cm 間, 頻率 55Hz 的火源熄滅時間較穩定, 因此我們選定 55Hz 是室溫 22°C 的實驗頻率。

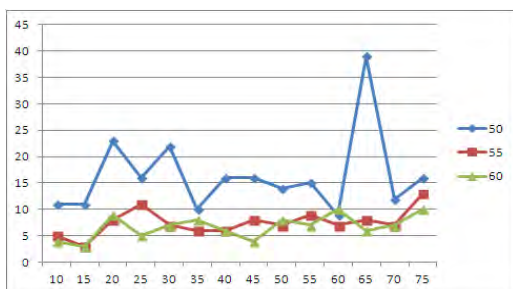


圖 11

4. 實驗 2-4: 室溫 22°C ，固定兩側喇叭的距離為 100cm 、 110cm 、 120cm ，朝著一排蠟燭發出頻率 55Hz 的聲源，觀察蠟燭的燃燒情形。

(1) 實驗照片：



圖 12

(2) 實驗分析:

- 此實驗清楚呈現干涉現象:兩個發出同頻率、同振幅的波，因著**改變其相對位置，改變了波的線性疊加，造成不同的波形**。
 - 我們注意到，在第一、二個照片中，距離迴音孔比較近的蠟燭並沒有熄滅。
 - 我們也觀察到火焰有大小,表示聲波的確改變了燃燒的流場(助燃物的濃度不同)，可是我們不禁思考那些熄滅的蠟燭，其熄滅的原因是助燃氣體不足還是燃燒溫度降低所致?
 - 為了再次確認，我們又設計另一個實驗：定溫(21°C)下，固定兩側喇叭相對的距離(100cm)，朝著一排蠟燭發出頻率 $45\sim 110\text{Hz}$ 的聲源，波形與蠟燭的燃燒情形，果真隨著頻率不同而改變。(已錄製，可現場播放)
5. 實驗 2-5: 酒精燈一側為木板，距離十五公分，另一側為喇叭，在聲源發出特定頻率的聲波，移動喇叭，直到火源熄滅，測量距離。

(1) 實驗照片：



圖 13

(2). 實驗數據：

- 單個喇叭完全無法熄滅酒精燈的火。

b. 雙個喇叭數據如下：

2013/2/17					
24.2°C					
火源兩側十五公分分別為木板與兩個喇叭					
頻率	火源熄滅秒數				平均
30	X	X	X	X	
35	X	X	X	X	
40	X	X	X	X	
45	X	X	X	X	
50	X	X	X	X	
55	2.0	3.1	3.7	0.8	2.4
60	2.2	2.9	3.3	5.4	3.5
65	10.5	12.9	7.4	4.1	8.7
70	5.7	7.5	34.8	X	16.0
75	X	X	X	X	
80	X	X	X	X	

表 5 (註:X 表 NA)

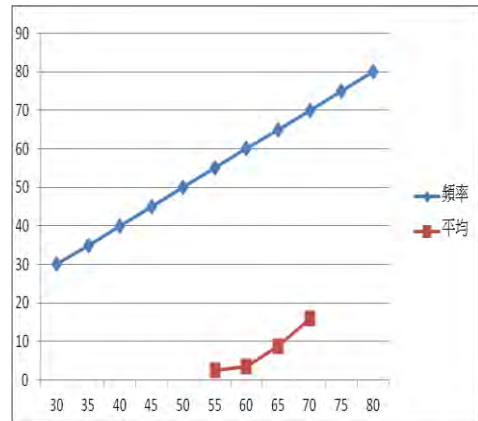


圖 14

(3)數據歸納分析:

- 單個喇叭(7W)無法熄滅，而兩個喇叭(14W)可在頻率 55~70Hz 之間才可熄滅，所以功率(振幅)大，滅火效果較好。
- 我們本期待在一端用木板屏蔽的狀態下，利用木板的反射效果並雙喇叭的聲音輸出下，應有不錯的滅火效果。但結果卻出現在頻率 55~60Hz，火源熄滅較快(秒數較少)，其他皆無法滅蠟燭的火源。相較於(表 1)的數據，單個同款喇叭,在無任何遮蔽下反而從 30Hz~85Hz 都有滅火效果，我們推測原因可能是**木板的表面造成的聲波漫射現象或因著與反射的波，產生的干涉節點，干擾、破壞燃燒流場所致。**

6.實驗 2-6:利用兩個鐵板做出不同角度的夾角，在固定聲源頻率 30-80Hz 的條件下，調整喇叭角度，測量可讓火源熄滅的最佳角度，找出反射牆面的角度與火源熄滅的關係。

(1) 實驗照片：



圖 15



圖 16

(2)實驗數據:

溫度21℃															
鐵板夾角30、60、90度(迴音口在內)				鐵板夾角60度(迴音口在外)				鐵板夾角90度(迴音口在外)				鐵板、喇叭的夾角皆90度(迴音口在外)			
頻率	火源熄滅秒數		平均	頻率	火源熄滅秒數		平均	頻率	火源熄滅秒數		平均	頻率	火源熄滅秒數		平均
30	X	X	x	30	X	X	x	30	X	X	x	30	X	X	x
35	X	X	x	35	X	X	x	35	X	X	x	35	X	X	x
40	X	X	x	40	X	X	x	40	X	X	x	40	X	X	x
45	X	X	x	45	X	X	x	45	X	X	x	45	2.3	X	2.3
50	X	X	x	50	X	X	x	50	6.9	6.3	6.6	50	2.1	1.6	1.85
55	X	X	x	55	X	X	x	55	3.4	5.2	4.3	55	1.4	1.1	1.25
60	X	X	x	60	X	X	x	60	3.1	4.4	3.75	60	0.8	1.1	0.95
65	X	X	x	65	X	X	x	65	9.1	8.1	8.6	65	0.7	0.6	0.65
70	X	X	x	70	22	22	22	70	25	X	25	70	1.7	2.1	1.9
75	X	X	x	75	X	X	x	75	X	X	x	75	X	X	x
80	X	X	x	80	X	X	x	80	X	X	x	80	X	X	x

表 6

(註:X 表 NA)

(3)數據歸納分析:

- 兩片鐵板夾角 30、60、90 度(迴音孔朝內)，兩個喇叭平行放置，完全無滅火效果。
- 兩片鐵板夾角 90 度(迴音孔朝外)，兩個喇叭平行放置，在頻率 45~70Hz 間，產生滅火效果，相較於實驗 2-6，光滑的鐵板有助於火源熄滅。
- 兩片鐵板夾角 90 度(迴音孔朝外)，兩個喇叭垂直放置，如圖 12；滅火效果顯著，在頻率 45~70Hz 間，火源瞬間熄滅。可見聲源角度和障礙物角度會影響火源的熄滅，也就是可利用角度來製造流場幫助滅火。
- 綜上所述，我們推測迴音孔的功能與位置，也是火源熄滅的重要影響因子。

三、設計不同形狀的聚音器---收集聲波能量，並量測他們的滅火效果：

(一)源起：在第二階段實驗中，我們發現低功率或無迴音孔或有網罩的喇叭，很難產生滅火效果，主要原因在於能量不足或能量分散或風壓不足所致；同時我們發現迴音孔的設計是讓聲波在音箱中產生共振，使聆聽音樂的人有餘音繞樑的效果，而且音箱中產生的聲波共振也造成箱內氣體與外部氣體的壓差，因此迴音孔+喇叭滅火效果佳(表 6)。

(二)聚音器設計原理: 利用波的反射與共振等特性，增強能量產生風壓，達到滅火效果。

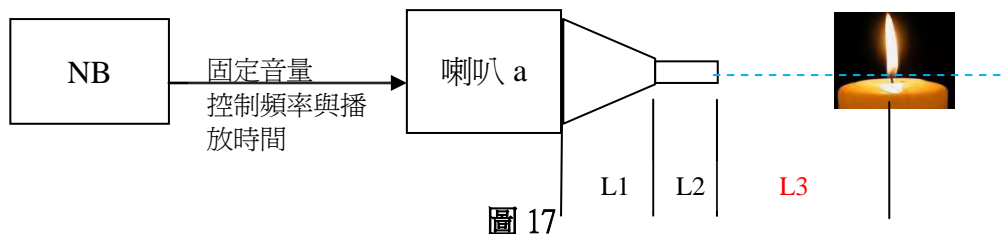


圖 17

1. 控制變因如下:

- 輸出音量:不加放大機，直接用 NB 耳機孔輸出，音量調到最大。
- 喇叭功率: 選定一普通全音域喇叭 a(0.3W)
- 聚音器入口直徑: 50 mm、出口直徑: 5mm
- 使用相同大小的蠟燭，觀察燭火熄滅或 BB 彈的彈射距離

2. 操作變因:

- 輸出頻率
- 播放時間

(3) 聚音器形狀變數:

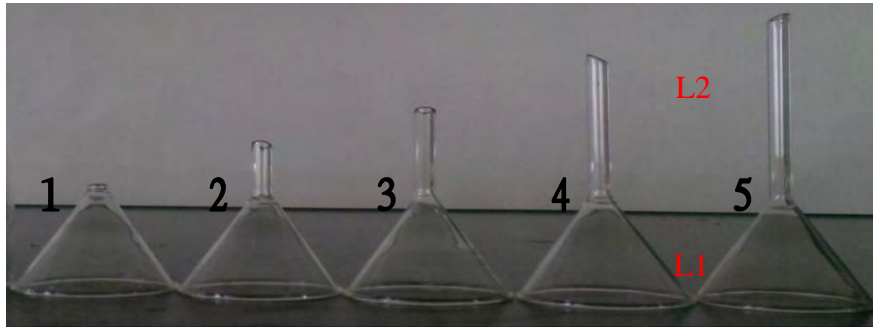


圖 18

漏斗形聚音器 (mm)	1 號	2 號	3 號	4 號	5 號
入氣孔直徑	65	65	65	65	65
出口管直徑	5	5	5	5	5
第一段聚音長度 L1	55	55	55	55	55
第二段出口管長度 L2	0	30	50	80	105

表 7

3. 聚音器效果評價方式:

由於實驗過程中發現，當距離拉遠之後，不容易控制出風口對準蠟燭燈芯，會造成量測誤差。所以改變量測模式為：將固定的 BB 彈穩定擺在出風口前方 1mm 處，量測其彈射距離作為對聚音器效果的判斷依據。



圖 19

(三) 實驗過程：

1. 實驗 3-1: 在喇叭 a 出口處，黏接漏斗形聚音器(1~5 號)，如圖 19；聚音器管口朝著軌道上的 BB 彈，聲源發出 30Hz~600Hz 的聲音 30、0.1 秒，量測 BB 彈彈射距離。

(1) 實驗照片：



圖 20

(2) 實驗數據:

條件: 溫度22°C、聲波播放30秒之 BB彈道彈射距離(cm)						條件: 溫度22°C、聲波播放0.1秒之 BB彈道彈射距離(cm)							
頻率	型號	1號	2號	3號	4號	5號	頻率	型號	1號	2號	3號	4號	5號
30	47	39.8	52.1	65.1	73.2	30	1.4	11.7	3.4	15.9	23.5		
35	55.5	50.2	64.2	79.1	80.2	35	0.7	13	5.9	16.1	24		
40	55.8	56.2	90.9	91	96.5	40	0.1	20.9	7.8	33.3	26.6		
45	69.9	64.6	96.9	95.7	94.7	45	2.8	23.5	13.5	34.3	29.6		
50	90.2	82.6	99.9	97.5	77.8	50	11.9	32.5	15.6	36.6	28		
55	89.1	90	110.6	98.5	90.9	55	11.6	51.2	20.3	38.4	25.6		
60	104	86.3	120.8	96.3	70.7	60	3.7	65.8	27.8	40	19.2		
65	99.3	102.9	91.5	71.3	62.5	65	5.1	46	30.6	40.6	14.7		
70	115.6	126.3	106.4	99.1	56.2	70	2.5	56.8	30.5	33.6	14.9		
75	102.9	126.3	99	63.3	52.4	75	2.1	60	33.3	26.8	9.9		
80	107.2	121.6	103.3	77.6	47.4	80	6.4	54.3	32.9	25.5	10.1		
85	115	121.5	114	66.3	40.6	85	6.9	51.5	49.8	21.7	10.4		
90	123.3	120.7	116	60.5	43.4	90	14.5	57.7	50.7	20.8	6.4		
95	126.6	123.1	103	51.6	42.4	95	29.3	58	52.6	14.4	6.9		
100	129.4	120.4	106	52.8	34.8	100	34.8	46.1	39.5	11.7	4.7		
105	127.7	116	95.5	48.4	33.1	105	33.5	37.1	27	8.8	X		
110	131.1	129.6	96.1	59.1	26.2	110	36.5	51.3	23.5	9.7	X		
115	> 133	121.6	86.6	41.4	26.7	115	34.4	45.2	26.6	8	X		
150	> 133	80.4	64.4	18.7	X	150	60.5	24.7	13.1	1.9	X		
200	> 133	70.2	25.8	11.1	X	200	78.5	14.6	1.9	X	X		
250	> 133	50.7	19.2	X	X	250	64.9	10	3.7	X	X		
300	> 133	50.2	18	X	X	300	61.8	13.8	X	X	X		
350	> 133	80.2	26.5	X	X	350	74.8	20.4	X	X	X		
400	> 133	54	X	X	X	400	65.3	16.6	X	X	X		
450	> 133	X	X	X	X	450	64.4	X	X	X	X		
500	114.1	X	X	X	X	500	36.8	X	X	X	X		
550	54.1	X	X	X	X	550	12	X	X	X	X		
600	X	X	X	X	X	600	X	X	X	X	X		

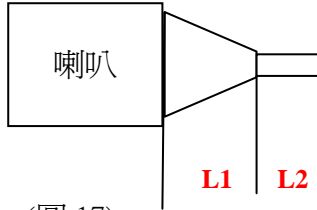
表 8

表 9

(3) 數據歸納分析:

- a. 聲波連續發出時間 30 秒，BB 彈的彈射距離明顯大於 0.1 秒的距離
 - ☞ 從能量觀點，30 秒的能量是 0.1 秒能量的 300 倍，但因 BB 彈被彈飛距離主要是第一段聲波能量決定，所以並未與持續時間成 300 倍對應。
- b. 觀察 30Hz 的聲波在各聚音器的效率排序為:#1<#2<#3<#4<#5;隨頻率增高，狀況會逐漸反轉，在 50Hz 效率最佳，然後明顯轉變成:#1>#2>#3>#4>#5;

- c. 單單比較 1 號聚音器的彈射距離，在 115~450Hz 有距離較大值；
 2 號，在 65~115Hz 有較大值；
 3 號，在 55~100Hz 有較大值；
 4 號，在 45~70Hz 有較大值；
 5 號，在 35~55Hz 有較大值。
- d. 綜合以上實驗數據結果，和吹笛子時，按壓的管長越長音調越低有非常雷同之處；吹笛時，進入笛子的氣流呈螺旋方式打轉前進，過程中管內空氣柱依管腔的直徑和長度，產生不同頻率的共鳴，這就是笛子的共鳴效應。所以，如圖 17 所示， $L1+L2$ 越大，其所表現的頻率較低， $L1+L2$ 越小，其所表現的頻率越高。



(圖 17)

2.實驗 3-2: 改變聚音器形狀。喇叭 a 出口黏接漏斗形 1 號、弧形(a、b、c 號)聚音器，管口朝著軌道上的 BB 彈，聲源發出 30~600Hz 的聲音，量測 BB 彈彈射距離。

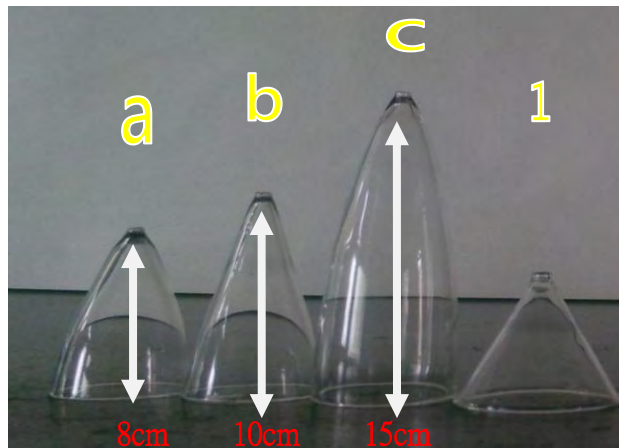


圖 21

(1) 實驗照片：



圖 22



圖 23

(2)實驗數據:

溫度22°C、聲波播放30秒之BB彈彈射距離(cm)			
頻率\型號	漏斗形1號	弧形a號	
30	47.0	69.5	
35	55.5	114.2	
40	55.8	109.6	
45	69.9	117.1	
50	90.2	114.1	
55	89.1	118.8	
60	104.0	115.1	
65	99.3	123.2	
70	115.6	>133	
75	102.9	112.2	
80	107.2	117.2	
85	115.0	120.8	
90	123.3	>133	
95	126.6	>133	
100	129.4	128.2	
105	127.7	126.0	
110	131.1	129.7	
115	>133	>133	
150	>133	110.3	
200	>133	>133	
250	>133	>133	
300	>133	>133	
350	>133	>133	
400	>133	>133	
450	>133	119.7	
500	114.1	73.6	
550	54.1	31.9	
600	X	X	

表 10

溫度20°C、聲波播放0.1秒之BB彈彈射距離(cm)					
頻率\型號	漏斗形1號	弧形a號	弧形b號	弧形c號	
30	6.2	20.0	7.5	3.3	
35	10.9	32.5	11.9	5.1	
40	13.6	38.1	15.2	5.9	
45	15.2	43.8	17.5	10.8	
50	17.8	63.7	27.0	18.6	
55	19.3	82.0	28.1	26.0	
60	25.2	92.0	44.2	41.3	
65	25.5	88.0	44.9	35.5	
70	36.4	101.6	48.1	36.2	
75	31.5	96.7	47.8	41.9	
80	45.1	94.8	51.7	49.9	
85	39.0	93.0	57.5	41.7	
90	48.2	94.2	56.6	55.6	
95	50.0	92.5	50.3	45.5	
100	52.4	93.3	45.4	58.6	
105	47.8	93.0	38.3	76.5	
110	59.5	85.2	46.1	67.4	
115	64.5	76.2	58.3	53.8	
150	59.1	58.9	56.6	46.6	
200	60.2	82.2	52.3	59.4	
250	76.8	92.3	72.0	67.0	
300	69.9	110.6	46.6	93.0	
350	58.0	111.2	61.2	34.5	
400	57.0	112.5	54.3	8.5	
450	47.0	48.6	13.7	1.3	
500	45.0	19.4	4.5	X	
550	10.1	9.0	X	X	
600	X	1.3	X	X	
650	X	X	X	X	

表 11

(3)數據歸納分析:

- 從表 10，弧形聚音器效果比漏斗形好($\leq 95\text{Hz}$)。
- 從表 11，弧形聚音器效果比漏斗形好很多。
- 弧形長度似乎不該往拉長的方向設計。
- 聚音器形狀應該以更接近圓弧的方向設計，好收集聲波波前匯聚到出口。

3.實驗 3-3：全音域單體(7W、8W)，單體直徑一樣(3")、發出同頻率(150Hz)、同分貝(115dB)、黏接同型的漏斗型聚音器，管口朝著軌道上的 BB 彈，量測其彈射距離。

(1) 實驗照片：



圖 24



圖 25

(2)實驗數據：

溫度22°C、聲波播放30秒之 BB彈彈射距離(cm)			
頻率	型號	全音域(7W)	全音域(8W)
30		13.6	104.0
35		25.4	132.0
40		29.4	>133
45		41.0	>133
50		32.0	>133
55		41.2	>133
60		42.3	>133
65		30.5	>133
70		26.5	>133
75		26.6	>133
80		14.7	>133
85		12.3	>133
90		10.6	>133
95		9.1	>133
100		x	>133
105		x	>133
110		x	114.8
115		x	64.3
150		x	29.5
200		x	15.3
250		x	x
300		x	x

表 12

(3)數據歸納分析：

a. 分貝越大 BB 彈彈射距離越遠

頻率 100Hz	喇叭 a+漏斗形聚音器 3 號	
分貝(dB)	104	86
BB 彈彈射距離(cm)	63.4	22.7

表 13

b. 本實驗聚音器規格

實驗室漏斗	(mm)
入氣孔直徑	75
出氣孔直徑	8
形狀	漏斗形
第一段長度 L1	65
第二段出口管長度 L2	85

表 14

- c. 分貝越大 BB 彈彈射距離越遠，使用漏斗形聚音器的 7W 喇叭僅測到 95Hz，8W 喇叭測到 200Hz。
- d. 本實驗特意控制兩個喇叭的溫度頻率和輸出分貝皆相同，且避開迴音孔，加上同尺寸漏斗形聚音器，結果 BB 彈的彈射距離竟有很大的差異，我們只能判定和喇叭本身的設計有關。

4.實驗 3-4：改變聚音器形狀。在喇叭 a 出口黏接圓形 1、2 號聚音器，管口朝著軌道上的 BB 彈，量測其彈射距離。

(1)實驗照片：

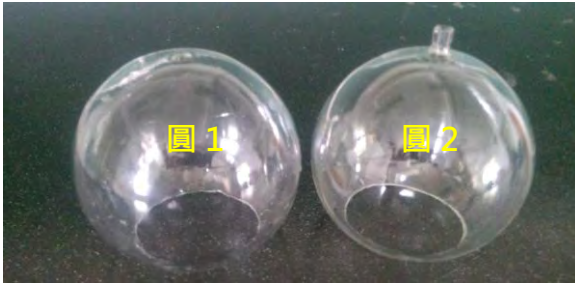


圖 26

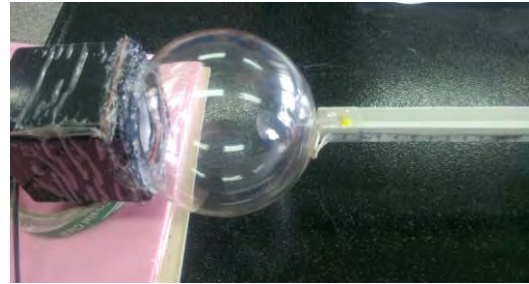


圖 27

(2)實驗數據：

28°C 聲源播放30秒		
頻率	BB彈彈射距離(cm)	
	圓1(600ml)	圓2(600ml)
30	32.5	39.3
35	49.5	56.3
40	59.0	79.3
45	62.1	88.0
50	63.5	95.8
55	83.9	98.5
60	75.6	93.5
65	79.0	100.0
70	80.5	91.9
75	80.1	94.5
80	89.8	102.8
85	95.8	104.0
90	83.4	105.1
95	89.6	97.0
100	77.6	91.2
105	80.2	97.0
150	87.0	92.0
200	114.3	82.5
250	123.2	48.5
300	62.1	11.0
350	26.1	X
400	X	X
450	X	X
500	X	X
550	X	X
600	X	X

表 15

(3)數據歸納分析：

a.圖示：(以下皆同)

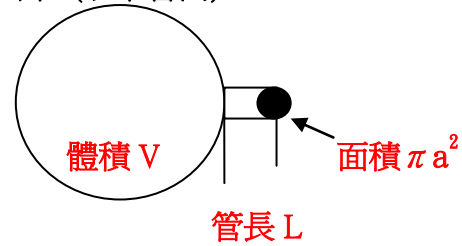


圖 28

b. 聚音器規格：

規格	V (ml)	L (cm)	2a (cm)
圓 1	600.0	0	0.5
圓 2	600.0	1.0	0.5

表 16

c. 相同體積 600ml 的圓 1 和圓 2，圓 2 在 30~150Hz 的 BB 彈的彈射距離較遠，圓 1 在 200~350Hz 的 BB 彈的彈射距離較遠。

d. 圓 1 在 250Hz 有距離最大值，圓 2 在 90Hz 有距離最大值。

5.實驗 3-5：改變圓形聚音器規格。在喇叭 a 出口黏接圓形 3、4、5 號聚音器，聚音器管口朝著軌道上的 BB 彈，量測其彈射距離。

(1) 實驗照片：



圖 29

(2) 實驗數據：

24°C 聲源播放30秒			
頻率	BB彈彈射距離(cm)		
	圓3(617ml)	圓4(304ml)	圓5(81ml)
30	30.5	40.5	56.0
35	43.2	58.2	71.3
40	57.2	70.6	76.7
45	60.7	79.7	93.9
50	72.0	86.1	92.3
55	72.5	89.4	106.5
60	85.3	86.4	108.4
65	82.8	95.3	109.8
70	82.0	104.1	118.8
75	84.1	100.9	116.6
80	84.9	103.8	116.9
85	86.0	108.0	>133
90	90.4	107.8	122.6
95	81.4	106.1	126.3
100	79.9	110.0	>133
105	80.6	101.0	>133
150	69.5	100.9	129.7
200	66.2	108.0	128.6
250	44.0	112.5	>133
300	10.6	41.0	>133
350	X	7.0	>133
400	X	X	116.1
450	X	X	30.0
500	X	X	X
550	X	X	X
600	X	X	X

表 17

(3)數據歸納分析：

a. 聚音器規格：

規格	V (ml)	L (cm)	2a (cm)
圓 3	617.0	1.0	0.5
圓 4	304.0	1.0	0.5
圓 5	81.0	1.0	0.5

表 18

b.圓 5 的 BB 彈的彈射距離最遠，表圓球體積愈小其聲能應用效果效果越好。

6.實驗 3-6：探討聚音器的體積和出口管半徑何者是影響聲能轉換率較大的因素。在喇叭 a 出口黏接圓形 5、6、7 號聚音器，管口朝著軌道上的 BB 彈，量測其彈射距離。

(1) 實驗照片：



圖 30

(2) 實驗數據：

24.5°C 聲源播放30秒			
頻率	BB彈彈射距離(cm)		
	圓5(81ml)	圓6(88ml)	圓7(88ml)
30	41.8	74.2	22.0
35	59.1	81.6	28.4
40	65.6	95.6	33.2
45	83.0	101.1	44.6
50	116.3	108.2	51.3
55	116.3	108.6	66.3
60	121.4	111.2	84.0
65	128.6	114.7	89.1*
70	126.1	110.6	85.5*
75	114.2	125.2	91.5
80	117.1	116.7	100.2
85	>133	109.8	105.9
90	>133	95.7	125.8
95	133.0	96.8	126.6
100	>133	94.5	125.7
105	>133	107.1	131.2**
150	>133	86.4	>133**
200	>133	90.7	>133
250	>133	99.1	124.2
300	>133	>133*	125.1
350	>133	125.6*	>133
400	>133	44.0	92.7**
450	48.8	X	X
500	X	X	X
550	X	X	X
600	X	X	X

表 19

(3)數據歸納分析：

a. 聚音器規格：

規格	V (ml)	L (cm)	2a (cm)
圓 5	81.0	1.0	0.5
圓 6	88.0	1.0	0.3
圓 7	88.0	1.0	0.7

表 20

b.在相同體積的條件下發現:出口管內徑 0.3cm 在 45~85Hz 有較遠彈射距離，出口管內徑 0.7cm 在 90~400Hz 有較遠彈射距離。

c.我們觀察到出口管內徑 0.7cm 的圓 7 在 65Hz 出口管會把 BB 彈吸回再彈射出去的現象，其中 105Hz 和 150Hz 吸力最強也最久。

d.我們也發現：雖然圓 5 的內徑介於圓 6 和圓 7 之間，可是從實驗數據顯示在 30~45Hz BB 彈的彈射距離的確和出口管內徑有相關性，可是一旦頻率大於 50Hz 就發現體積較小的變因讓 BB 彈的彈射距離大大提升。

7.實驗 3-7： 探討聚音器的形狀和體積何者是影響聲能轉換率較大的因素。在喇叭 a 出口黏接漏斗 1、弧形 a、圓 5 聚音器，管口朝著軌道上的 BB 彈，量測其彈射距離。

(1) 實驗照片:

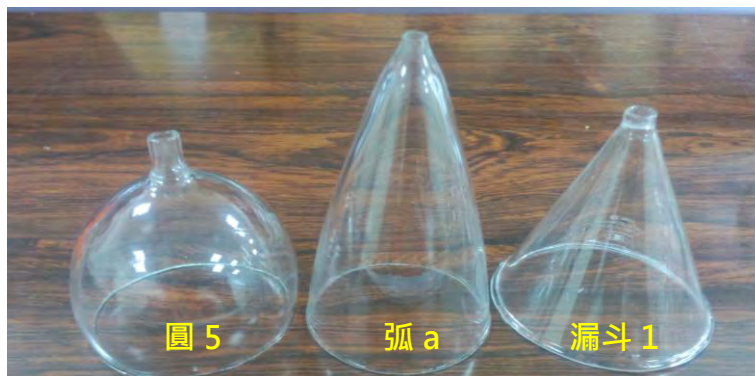


圖 31

(2) 實驗數據：

26°C 聲源播放30秒			
頻率	BB彈彈射距離(cm)		
	漏斗1(61.5ml)	弧形a(74ml)	圓5(81ml)
30	42.0	62.4	65.0
35	54.1	105.0	70.0
40	70.4	103.3	95.1
45	76.2	104.4	106.7
50	84.7	109.9	114.5
55	104.6	115.8	129.9
60	107.6	122.9	134.5
65	109.4	134.5	135.9
70	117.0	128.9	135.2
75	109.6	133.9	135.3
80	108.6	128.4	134.9
85	119.9	134.9	139.2
90	133.8	120.9	137.2
95	133.8	122.6	139.1
100	134.1	131.2	135.6
105	133.7	124.3	138.9
150	137.0	134.0	140.1
200	138.9	137.1	141.9
250	139.8	136.3	142.9
300	140.6	140.8	146.4
350	141.3	137.1	144.8
400	139.1	137.6	141.0
450	115.6	96.1	44.8
500	77.4	43.9	11.4
550	25.6	22.1	X
600	X	X	X

表 21

(3)數據歸納分析:

a. 聚音器規格：

規格	V (ml)	L (cm)	2a (cm)
漏斗 1	61.5	0.0	0.5
弧 a	74.0	0.0	0.4
圓 5	81.0	0.0	0.5

表 22

- b. 弧形 a 的聚音器在 30~85Hz BB 彈彈射距離優於漏斗形聚音器；35~40Hz 較優於漏斗 1 和圓 5。
- c. 漏斗 1 體積雖最小，BB 彈彈射距離在 90~550Hz BB 彈彈射距離優於弧形 a 的聚音器；450~550 Hz 則優於弧形 a 和圓 5。
- d. 圓 5 的 BB 彈彈射距離在 30Hz、45~400Hz 優於弧形 a 和漏斗 1。

8. 實驗 3-8：探討聚音器的出口管數是否是影響聲能轉換率的因素。在喇叭 a 出口黏接圓形 8、9、10 號聚音器，管口朝著圓管道中的乒乓球，量測其滾動距離。

(1) 實驗照片：



圖 32



圖 33

(2) 實驗數據：

25°C 聲源播放30秒		
頻率	乒乓球滾動距離(cm)	
	圓8(出口管X1)	圓10(出口管X3)
30	125.0	11.0
35	147.5	24.0
40	161.4	138.8
45	165.4	157.7
50	166.8	156.4
55	170.5	164.5
60	175.2	168.6
65	177.5	159.8
70	178.9	174.5
75	185.9	178.5
80	189.3	172.5
85	163.7	192.4
90	145.2	174.0
95	166.2	186.2
100	169.5	186.3
105	166.2	195.6
150	158.3	186.5
200	180.2	203.5
250	171.4	172.9
300	193.3	182.9
350	190.3	265.5
400	141.1	263.3
450	17.0	156.5
500	0.0	0.0

表 23

(3) 數據歸納分析：

a. 聚音器規格：

規格	V (ml)	L (cm)	2a (cm)
圓 8	88.0	1.0X1	0.4
圓 10	88.0	1.0X3	0.4

表 24

- b. 圓 8 在 30~80Hz 有較優的乒乓球滾動距離。
- c. 圓 10 在 85~250Hz、350~450Hz 有較優的乒乓球滾動距離，且在 350Hz 出現最遠距離。
- d. 圓 9 因為出口管 1 直 1 彎(畸形)，數據不採計。

伍、討論

一、燃燒物體的三個條件缺少一個，即會使燃燒的物體熄滅。例如：

- 1.可燃物：移走燃燒中的火源。
- 2.助燃物：隔開空氣中的助燃物——氧氣。
- 3.到達燃點：澆水或吹風在燃燒的火源，降低火源的溫度。

因此，我們將實驗設計分三階段：

- (一) 第一階段找出合適的軟體(Goldwave)和聲源、火源，作實驗的控制變因。
1. 我們先用示波器確認筆電和軟體輸出的聲波穩定度後，為提升數據的精準度，我們所有的量測數據都是增加量測次數並取最大值，因為滅火，所以~~滅了就算。
 2. 聲源的部分，低音喇叭和高音喇叭其喇叭振動的頻率範圍有限(低頻或高頻)，因此我們採用全音域喇叭(30~600Hz)作實驗的輸出聲源。
 3. 蠟燭的火會受燭芯長短變大變小、燭身也隨燃燒變短，因此，火源的穩定以酒精燈為佳(第 2 階段實驗)。
 4. 但是當我們喇叭與聚音器結合後(第 3 階段實驗)，滅火距離可達 79cm，要瞄準火源實在不易且增加誤差，因此我們量測 BB 彈在水平軌道的彈射距離作為對聚音器效果的判斷依據。
 5. 在實驗 3-8，因著出口管數量增加，水平軌道過窄(本實驗最大的誤差是玻璃行老闆，其中 9 號聚音器出口管還吹歪變形)，我們改用圓管式隧道形透明軌道，然後量測乒乓球滾動距離作為對聚音器效果的判斷依據。
- (二) 第二階段，運用 Goldwave 軟體調整頻率以控制波長，並測量火源熄滅之距離或秒數，找出聲波滅火與溫度、頻率、波形、助燃物、聲源角度、聲源功率、迴音孔和聲波的反射與干涉等現象與燃燒流場的相關性，探討聲波滅火的因素。在本階段的實驗中，我們很興奮的看見聲波的反射與干涉的特性與聲音滅火的關係。(討論二)
- (三) 第三階段，探究迴音孔功能並參考亥姆霍茲共振體，我們推估聚音器滅火可能跟此有關，所以我們設計出不同形狀的聚音器結合 0.3W 的全音域喇叭作聲源---聚音器收集聲波增加能量密度，以及出口管流體速度與聲壓的增加，讓聲波透過聚音器輸出造成的連續擾動，對球體作功(產生位移)。因此，我們藉由水平軌道 BB 彈的彈射和乒乓球滾動距離，探討頻率與各聚音器的形狀其聲能應用率的相關性。同時探討亥姆霍茲共鳴器和我們聚音器滅火效果的相關性。

二、在我們作第二階段實驗中發現：

(一) 7W 的全音域無網罩有迴音孔的線圈式喇叭作為聲源，發出 104dB 的聲音條件下：

- 1、當兩相對聲源發出同頻的聲波，兩波重疊產生的干涉現象，若能產生建設性干涉，其產生的合成波振幅最大，空氣中的助燃物濃度改變(波包的火焰大小)，並且靠近迴音孔的火源並沒有熄滅也可推知，火源的熄滅並不單純是疏密振動產生的壓差(風)造成火源溫度降低而已；波的干涉現象破壞了燃燒流場也是因素之一。

2.當兩個聲源無法相對時(例如火災現場)，也可利用角度來達加強滅火效果。

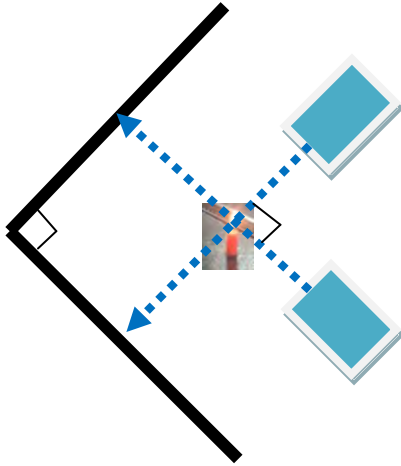
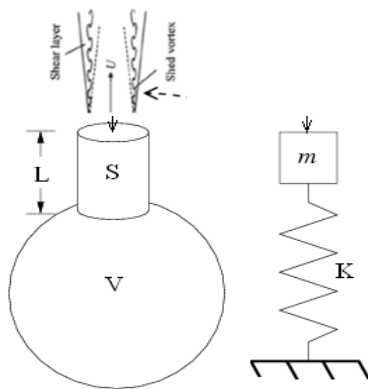


圖 34

3.實驗發現在牆面、兩喇叭呈 90° 夾角時會有較佳的滅火效果。原因是兩片光滑的鐵板讓聲波入射波與反射波相干涉。

三、從表 1、6 的實驗中迴音孔在聲波滅火中扮演其中一項重要角色，我們發現了亥姆霍茲共振原理：(ω 為腔體共振頻率、V 為腔體體積、L 為出口管長、S 為管體積) 亥姆霍茲共鳴器可受外聲場的激發消耗其能量成為吸聲體；並且空腔內的振動又可以通過短管發出聲波加強外面聲場，也就是說亥姆霍茲共鳴器是一種完全不需其他能量的一種高效率聲能轉化裝置。



$$\omega^2 = \frac{S}{LV}$$

s = area of neck

-公式 1

圖 35 Helmholtz resonator (參考三)

(一)原理介紹:：線圈式喇叭會向前、後兩個方向輻射聲波，當我們將喇叭嵌在一密閉空間中 V，當受聲波作用時，在聲波波長遠大於音箱的幾何尺度下，箱體內空氣被強制壓縮，在迴音孔內高速共振 K，此空氣振動的脹縮變化推動迴音孔外附近的空氣振動，這個系統的整體結構就是亥姆霍茲共鳴器。其厲害之處有：(參考四)

1.可放大空氣振動速度 Au 倍。(λ 為聲波波長、a 為迴音孔管半徑)

$$Au = \lambda^2 / \pi^2 a^2$$

-公式 2

2.可放大聲壓 Pv 倍。(λ 為聲波波長、V 為音箱體積)

$$Pv = \lambda^3 / (2\pi)^2 V$$

-公式 3

⇒ 空氣振動速度和聲壓都被放大。解釋了有迴音孔滅火效果較好的實驗結果。

$$3. \text{共鳴器的吸聲面積 } A = \frac{\lambda^2}{2\pi}$$

2π

-公式 4

低頻時共鳴器的面積要比迴音孔管口大很多倍(A/a)，由於共鳴器的共振很尖銳，在共振頻率吸聲能力很強，頻率不同吸聲面積就會迅速降低。

⇒ 解釋了溫度改變或頻率改變滅火的效果或火源熄滅距離也不同的實驗結果，當然還必須考慮到兩個相對聲源所產生的干涉現象造成燃燒流場改變的因素。

⇒ 解釋了實驗數據(表1)4cm迴音孔為何只有在低頻30~45Hz有滅火效果。為低頻設計的音箱當然無法滿足所有的頻率。

四、我們以實驗一、二階段的結果和迴音孔為發想，設計出漏斗形和弧形聚音器。其功能是要將聲音轉換成能量來達到滅火的效果。因此，在第三階段的漏斗形和弧形聚音器實驗結果，我們發現並推測：

(一) 聲波波速在 22°C 時為 $331+0.6T=344\text{m/sec}$ ，30Hz 的波長為 1147.3mm=>遠大於聚音器長度，但每一聲波在通過聚音器時經過多次反射波前疊加干涉，在裡面產生共振音爆，紅色為波峰，黑色為波谷，藍色圓圈為共鳴強度示意圖。

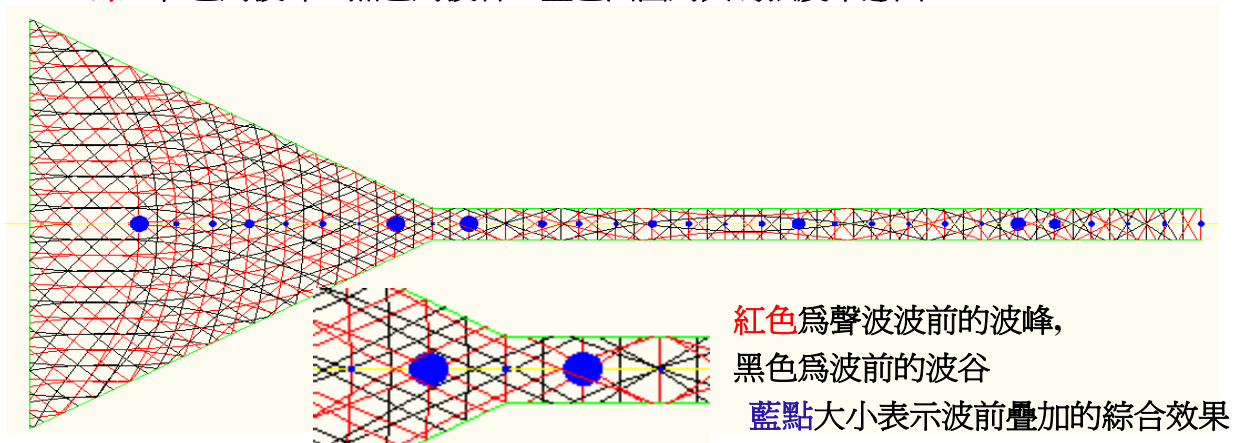


圖 36

(二) 隨著頻率增加到 150Hz~600Hz 以上，各聚音器竟然逐漸失效，研判事先前發出的聲波在聚音器內的共振波產生的節點阻礙了後面要發出的聲波前進，類似在喇叭前面加了鐵網，雖然我們仍然可以聽到聲音，但是共鳴已經無法形成。

(三) 弧形聚音器滅火效能優於漏斗形聚音器的原因在於漏斗形聚音器因著平整的管壁，波反射產生的干涉節點較多，而弧形的聚音器管壁呈凹面，且反射較不規律產生的干涉節點較少，所以能有較好的滅火效果。

(四) 比較實驗 3-1 和 3-3 的實驗數據發現：高功率(7W)的喇叭應該有較遠的 BB 彈彈射距離，但當裝上體積不同的漏斗形聚音器，竟是 0.3W 的喇叭有較遠的 BB 彈的彈射距離(圖 37)，可見聚音器所提高的聲波能量密度，產生的滅火效果遠勝過大功率的喇叭。

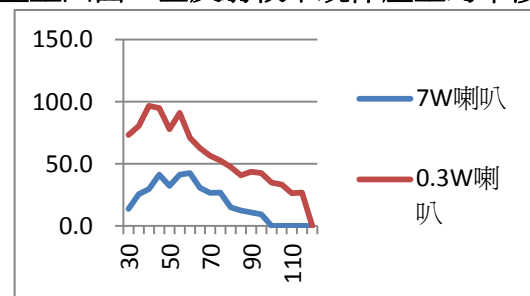
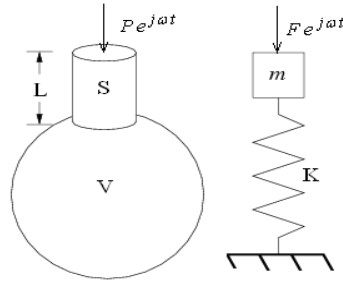


圖 37

五、在第三階段的聚音器實驗中我們也對照亥姆霍茲的共振原理(圖 35)： V 表共振器體積、 L 表出口管長度、 S 表是出口管的體積、 K 表示聲波在腔體中因共振所產生的能量、 m 表空氣有效質量、 c 表管口氣體的流體速度；爲了更深入的了解並研發更好的聚音器，我們探討了 V 、 L 、 S 、頻率和聚音器形狀與聲波能量密度的關係。



(參圖 35)

Helmholtz resonator

(一)探討圓球形聚音器，出口管的功用。

規格	V (ml)	L (cm)	2a (cm)
28°C			
圓 1	600.0	0	0.5
圓 2	600.0	1.0	0.5

表 25

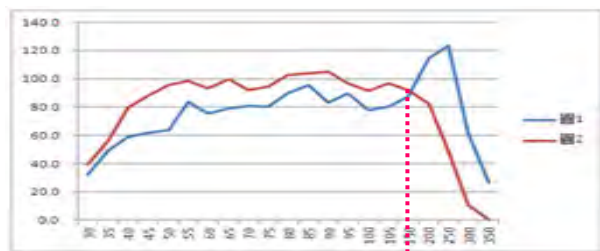


圖 38 200 Hz

1. 同體積圓球形聚音器，有短管(管長 1cm) 聚音器在 $\leq 200\text{Hz}$ 時，BB 彈彈射距離較無短管遠，無短管的圓球形聚音器在 $> 200\text{Hz}$ 則較遠。
2. 也就是說短管(管長 1cm) 的功用能在 200Hz 內提高圓球形聚音器的滅火效果，但特別的是無短管的圓球形聚音器卻能在 250Hz 附近出現最大值，並在高頻($\geq 250\text{Hz}$)表現較優。
3. 此結果與圖 39 所示--管長越短在高頻表現優，是相互呼應的。

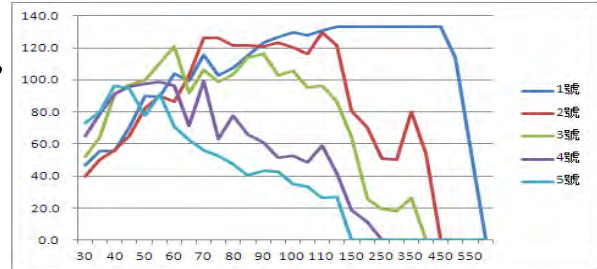


圖 39(實驗 3-1)

(二) 探討圓球形聚音器，體積與聲能應用率的關係。

規格	V (ml)	L (cm)	2a (cm)
24°C			
圓 3	617.0	1.0	0.5
圓 4	304.0	1.0	0.5
圓 5	81.0	1.0	0.5

表 26

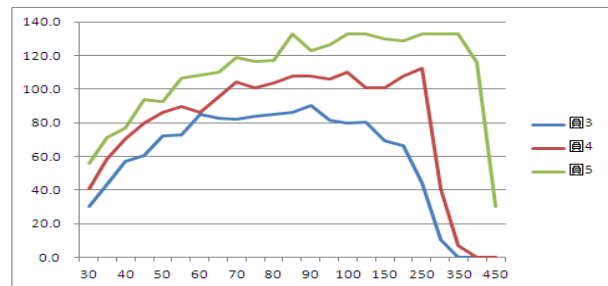


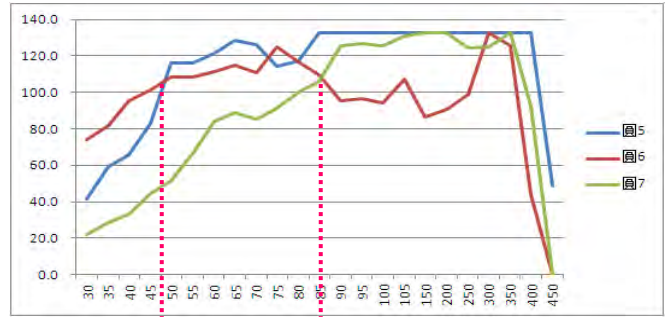
圖 40

1. 圓球形聚音器體積越小，BB 彈的彈射距離越遠，因此推測圓球形聚音器的體積越小，聲波能量密度越高。

(三) 探討聚音器的體積和出口管半徑何者是影響聲能應用率較大的因素。

規格 24.5°C	V (ml)	L (cm)	2a (cm)
圓 5	81.0	1.0	0.5
圓 6	88.0	1.0	0.3
圓 7	88.0	1.0	0.7

表 27



45 Hz 85Hz 圖 41

1. 比較圓 6、7 發現出口管半徑較小的圓 6 在 $\leq 85\text{Hz}$ 聲能轉換率較佳，之後出口管半徑較大的圓 7 聲能應用率較佳，這表示同體積的共鳴腔出口管徑較小者，在低頻部分 ($\leq 85\text{Hz}$) 聲能應用率較佳，而出口管徑較大者，在高頻部分 ($\geq 90\text{Hz}$) 聲能應用率較佳，這是很奇特的，因為我們都知道就直笛而言，管徑小的是高音直笛、管徑大的是低音直笛，從此實驗數據我們了解：原來決定笛子的高音或低音不是在於管徑大小，而是在於共鳴腔的大小，和吹口哨有異曲同工之妙也。所以我們意外的發現：**同樣體積的共鳴腔，出口管半徑較大者，高頻率反而有較佳聲波能量密度。**

根據亥姆霍茲共鳴器(公式 1)和馬大猶先生聲學技術的理論推導(公式 2)

$$\omega = \sqrt{\frac{S}{Vl}} \quad \text{-公式 1}$$

Au 是放大空氣振動速度倍數。(λ 為聲波波長、**a** 為出音孔管半徑)

$$Au = \frac{\lambda^2}{\pi^2 \cdot a^2} \quad \text{-公式 2}$$

因此，我們推測：就理論而言，出口管半徑越大能量不易集中，但就此實驗數據而言，一個特定體積的圓球體聚音器，在定溫下，其 **a 值應該有一個範圍**，且在這範圍內有一個最大值，就是在此值能讓特定的頻率(波長)產生最大的聲能應用率，產生最強的滅火效果。此外， $a \uparrow$ ， $S \uparrow$ ， $\omega \uparrow$ 所以，**出口管半徑較大者**，共振頻率升高，所以，**高頻率反而有較佳聲波能量密度。**

2. 比較圓 5 的數據發現：在頻率 30~45Hz，BB 彈的彈射距離的確隨出口管半徑增大而減弱；當頻率持續增強，就發現**體積較小的**變因讓整個 BB 彈的彈射距離大大提升。
3. 所以我們推測在較**低頻率時**，**聚音器出口管半徑會影響聲能應用率**，且隨管徑增加而降低，但是一旦**頻率升高**，體積大小對聲能應用率的影響變大，**即體積越小小大大強化聚音器的聲波能量密度。**

(四) 探討聚音器的出口管數目是否影響其聲能應用率。

規格	V	L	2a
25°C	(ml)	(cm)	(cm)
圓 8	88.0	1.0X1	0.4
圓 10	88.0	1.0X3	0.4

表 28

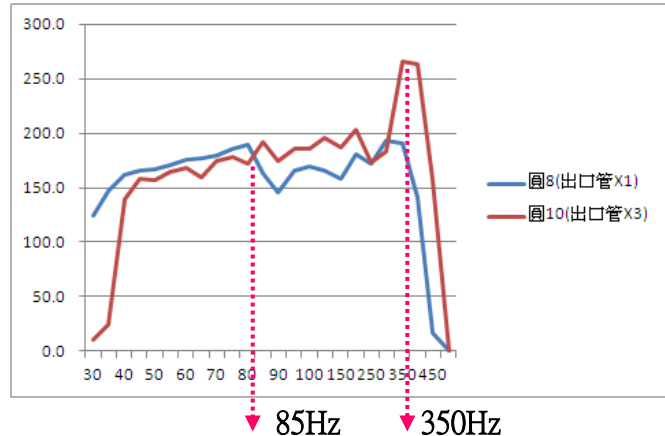


圖 42

1. 由實驗我們發現出口管數目會影響聲能轉換率，特別在 85Hz 之後，3 個出口管的聚音器聲能應用率增加，尤其在 350Hz 出現最大值。
2. 所以在此實驗條件中，隨著頻率增加，出口管數增加，可提高聲音能量密度，也就是出口數目會影響聚音器的聲能應用率。

(五) 探討聚音器的形狀和體積何者是影響聲能轉換率較大的因素。

規格	V	L	2a
26°C	(ml)	(cm)	(cm)
漏斗 1	61.5	0.0	0.5
弧形 a	74.0	0.0	0.4
圓 5	81.0	0.0	0.5

表 29

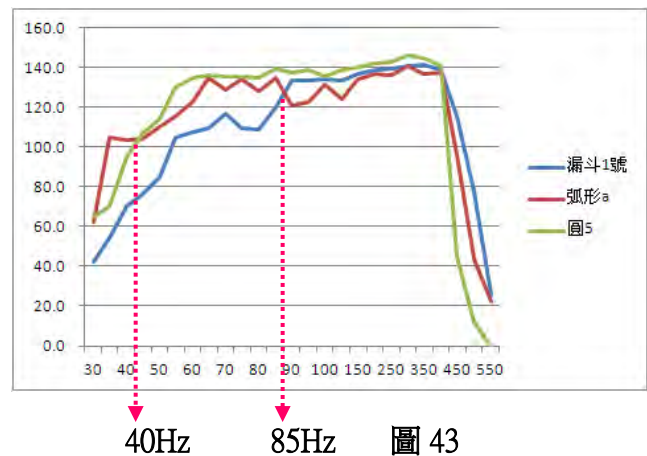


圖 43

1. 我們發現在 26°C 時，弧形 a 聚音器在低頻(30~40Hz)有較好的聲能應用率，可能和其管徑(2a)較小有關(如討論五-(三),見圖 41)； $\leq 85\text{Hz}$ 弧形 a 聚音器皆優於漏斗形聚音器。
2. 圓 5 聚音器雖體積較大，聲能應用率理應較差(如討論五-(二), 見圖 40)，但我們卻發現當頻率突破 40Hz 時，聲能應用率明顯提高，甚至遠優於體積最小的漏斗形聚音器。
3. 在本實驗條件中，我們推測聚音器的形狀對聚音器聲能應用率的影響比體積較大。

陸、結論

一、根據九個多月的實驗發現聲音的確可以滅火。其滅火因素有：

- (一)兩相聲源波與波之間產生的建設性干涉現象與風壓，降低了溫度並阻滯燃燒流場。
- (二)我們可藉調整聲源角度影響波的疊加現象，達到聲場控制燃燒流場的效果(隔煙牆)。
- (三) 聚音器是運用聲波反射與共振的原理，有效的收集聲波的能量以達到滅火的效果。

二、以往從煽風點火的觀念中，我們認為聲波擾動會帶入燃燒氣流，反倒幫助燃燒。但是聚音器將原本微弱的聲波匯聚成超乎想像的共鳴震波，這絕非風扇帶動氣流或藉加壓器產生氣壓所能做到的，因這通過聚音器聲能轉換的共鳴振波，不僅能以音速瞬間將

BB 彈飛好幾公尺，還形成阻絕燃燒流場的風，達到聲波滅火的效果。

三、以聚音器匯聚聲波產生共鳴震波(聲能轉換)的優點如下:

- (一)傳輸速度最快(音速)、效率最佳，
- (二)不會帶進所謂燃燒氣流，反而會形成阻絕音場，讓空氣不易流通。
- (三)瞬間的震波擾亂燃燒循環，使燃燒物質的溫度迅速低於燃點而熄火。
- (四)完全不會造成直接與間接汙染。

四、從我們有限的實驗數據歸納出聚音器的設計要點如下:

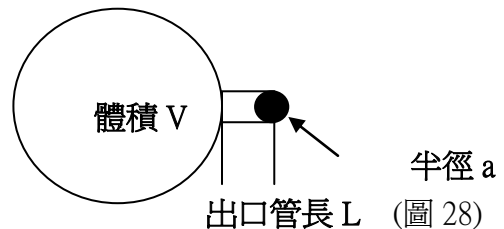
- (一)從實驗一的數據得知喇叭功率提升能會直接增加聲波能量。
- (二)為要確保震波不外漏，能產生較佳的匯聚與共鳴，聚音器的材質要堅固厚重。

玻璃漏斗> 塑膠板> 紙

- (三)從實驗二的數據得知聚音器的尾端長度，在 $\leq 50\text{Hz}$ 時，有較好的加強效果。
- (四)以目前實驗的聚音器尺寸而言，頻率高的效果佳，但必須縮短聚音器整體長度。
- (五)從實驗三的數據得知，聚音器前端的形狀以圓弧為佳。

五、就影響聚音器的聲能應用率的因素而言：(在溫度影響的波速由頻率來控制的前提下)

- (一)出口管有無：短管(管長 1cm) 在 200Hz 內聲能應用率較佳，無短管的聚音器在 250Hz 附近出現最大值，並在高頻($\geq 250\text{Hz}$) 有較佳的聲能應用轉換率。



- (二)出口管長度：管長越短在高頻表現優，管長越長，低頻表現較優，且聲能應用率急速減弱。
- (三)體積：聚音器的體積越小，聲波能量密度越高。
- (四)出口管半徑：出口管半徑較小者，聲能應用率較佳($\leq 85\text{Hz}$)；出口管半徑較大者，聲波波長較小有較佳的聲能應用率($\geq 90\text{Hz}$)。
- (五)出口管數目：出口管數增加，頻率增加，可提高聲能應用率。
- (六)聚音器的形狀：圓形聚音器應用轉換率較佳，弧形在低頻($\leq 40\text{Hz}$) 較佳。
- (七)影響聚音器的聲能應用率的因素：聚音器的形狀 > 體積 V > 出口管半徑 a
- (八)出口管長越短、管數越多在高頻會出現聲能應用率的最大值。

六、根據亥姆霍茲共振原理，聲波在腔體內的共振現象，加上由馬大猶先生所導出在出口管口的空氣振動速度和聲壓都被放大的現象(見 P22 公式 1.2.3)，在我們有關聚音器聲能應用率的實驗中驗證：

- (一) 聚音器出口管長度(L)越小，共振頻率上升，所以在高頻聲波能量密度提高；出口管長度加長，共振頻率降低，因此在低頻有較佳聲能應用率。
- (二) 聚音器體積(V)越小，共振頻率提高、聲壓放大倍數增加且在高頻聲波能量密度增高，聲能應用率提高； V 增加，共振頻率下降且聲波能量密度下降，聲能應用率大降。
- (三) 出口管半徑越小($S \downarrow$)，共振頻率降低，因此在低頻有較高聲能應用率，但和空氣振動速度沒有正相關。

柒、未來展望

- 一、聲音滅火與聚音器的探討，讓我們看見非常高的實用價值，我們將繼續研發、設計出：
 - (一)、**輕巧簡便的手持式聲波滅火器**並提出專利。
 - (二)、**火場控制**：在大樓、住宅、賣場、或停車場等能利用廣播系統的場所，如何利用聲場來控制燃燒流場的應用，例如：隔煙牆來控制火場，使火苗無法擴散。
- 二、在本次實驗中，氣壓、濕度是我們尚未探討的變因，我們將進一步實驗並設計出更好的聚音器。

捌、參考資料

- 一、美國防部演示用聲音滅火
<http://www.youtube.com/watch?v=nKNsR1rKIDY>
- 二、Helmholtz Resonator (a Band-reject Acoustic Filter)
<http://www.deicon.com/Helmholtz%20Resonator%20a%20tuned%20acoustic%20absorber.pdf>
- 三、CONSIDERATIONS ON THE HELMHOLTZ RESONATOR SIMULATION AND EXPERIMENTTHE
/PUBLISHING HOUSE OF THE ROMANIAN ACADEMY /PROCEEDINGS OF THE ROMANIAN ACADEMY,
Series A,Volume 13, Number 2/2012, pp. 118 - 124
<http://www.acad.ro/sectii2002/proceedings/doc2012-2/05-Lupea.pdf>
- 四、亥姆霍茲共鳴器 馬大猷 - 声学技术, 2002 - 210.32.33.238
<http://210.32.33.238/resource/wfdata/expertpapers/%E9%A9%AC%E5%A4%A7%E7%8C%B7%5C%E4%BA%A5%E5%A7%86%E9%9C%8D%E5%85%B9%E5%85%B1%E9%B8%A3%E5%99%A8.pdf>
- 五、科學發展 2008 年 3 月，423 期 (聲波滅火)
http://ejournal.stpi.narl.org.tw/NSC_INDEX/Journal/EJ0001/9703/9703-08.pdf
- 六、聲波 Sound Waves Copyright (C) 1998-2001. HKIEd [HAS Centre](http://www.ied.edu.hk/has/phys/sound/). All rights reserved
<http://www.ied.edu.hk/has/phys/sound/>
- 七、揚聲器 維基百科，自由的百科全書
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%8F%9A%E8%81%B2%E5%99%A8>
- 八、東南科技大學電子工程系畢業實務專題報告--桌上型主動式喇叭研製
The Reseach and Implement for Active Speakers of Desktop
<http://www.tnu.edu.tw/ee/upimages/file/Std-99/1009/index.htm>
- 九、亥姆霍茲共鳴器
<http://baike.baidu.com/view/1289890.htm>
- 十、Resonance and Neck Length for a Spherical Resonator / ISB Journal of Physics / June 2011
<http://www.isb.ac.th/HS/JoP/index.html>

【評語】 030112

1. 本作品很用心的製作不同的玻璃聚音器，並探討他們共振的特性，十分用心。
2. 在探討聲波滅火部分可以更深入些，以便了解火滅的原因，據以評估聲波滅火的可行性。
3. 可以探討說明聲壓分布與滅火特性的關係。