

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080120

「聲」獲好「頻」

--探討影響紙喇叭音頻變化之因素

學校名稱：國立臺南大學附設實驗國民小學

作者：  小六 陳頌翰  小五 王嘉信  小五 陳燕清  小六 姜羽庭	指導老師：  廖俊達  蔡岱芬
---	-----------------------------

關鍵詞：音頻、頻譜、紙喇叭

## 摘要

我們知道紙喇叭有擴音效果，聲音的三要素包含音色、音頻、振幅，本組想進一步研究紙喇叭對音頻分佈變化的影響。先了解市面上紙喇叭的類型及特徵，探討聽感與音頻分佈之關係，了解不同材質、長度和形狀對低、中、中高音頻分佈變化的影響。將通過紙喇叭出來的單音，以軟體轉化成頻譜進行分析。

研究發現，低音頻實驗長度的影響大，長的紙喇叭共振效果佳。中、中高音頻實驗紙材的影響大，瓦楞紙適合製作中、中高音頻效果的紙喇叭。

白棉紙 40cm 三角形低頻效果佳，具家庭劇院音感，適合聆聽熱門音樂。瓦楞紙 20cm 三角形，能提升響度展現中音頻音質特色，適合聆聽人聲及管絃樂。白棉紙 40 cm 四邊形及所有瓦楞紙紙喇叭，聲音清晰乾淨，適合聆聽長笛或洞簫等音樂。

## 壹、研究動機

去年暑假，我們一起去露營，晚餐時間，大家提議要聽音樂，但手機音量不夠大聲，無法讓所有人聽到，所以我們異想天開，將手機放入茶葉罐裡，真的有擴音的效果。我們想起五年級自然課的聲音與樂器單元中提過聲音發音時會有震動現象，同時有大小、高低及音色之差別。於是我們將手機又放入餅乾紙盒，赫然發現同一首歌曲在不同的容器內音色真的改變了，令我們嘖嘖稱奇。

回家後，我們上網查了關於自製喇叭的資料，我們發現許多人都利用生活中隨手可得的『紙』來作為喇叭的材料。關於紙喇叭的研究，歷年科展都以其擴音效果為研究對象，並沒有以音調、音質或音色的改變為探討的主題。

所以，我們想要藉由這次做科展的機會，更深入了解及探討不同紙材、長度和形狀的紙喇叭對低、中、中高音頻的強度和高低變化的影響。

表 1-1 主題研究與教材關聯性

課程教材	章節	單元內容	內容相關性
自然與生活科技 (南一版五下)	4	聲音的探討	了解聲音組成，探討聲音大小與物體震動的強弱有關。

自然與生活科技 (康軒版五下)	4	聲音與樂器	聲音發音時有震動現象，同時有音色、大小及高低的區別。
自然與生活科技 (翰林版六上)	4	聲音與樂器	聲音的產生與傳播，製作簡易樂器。

## 貳、研究目的

本組先收集目前市面上紙喇叭的資料進行研究，進而探討不同紙材、不同長度和不同形狀的自製紙喇叭，對低、中、中高音頻分佈變化的影響。

## 參、研究架構

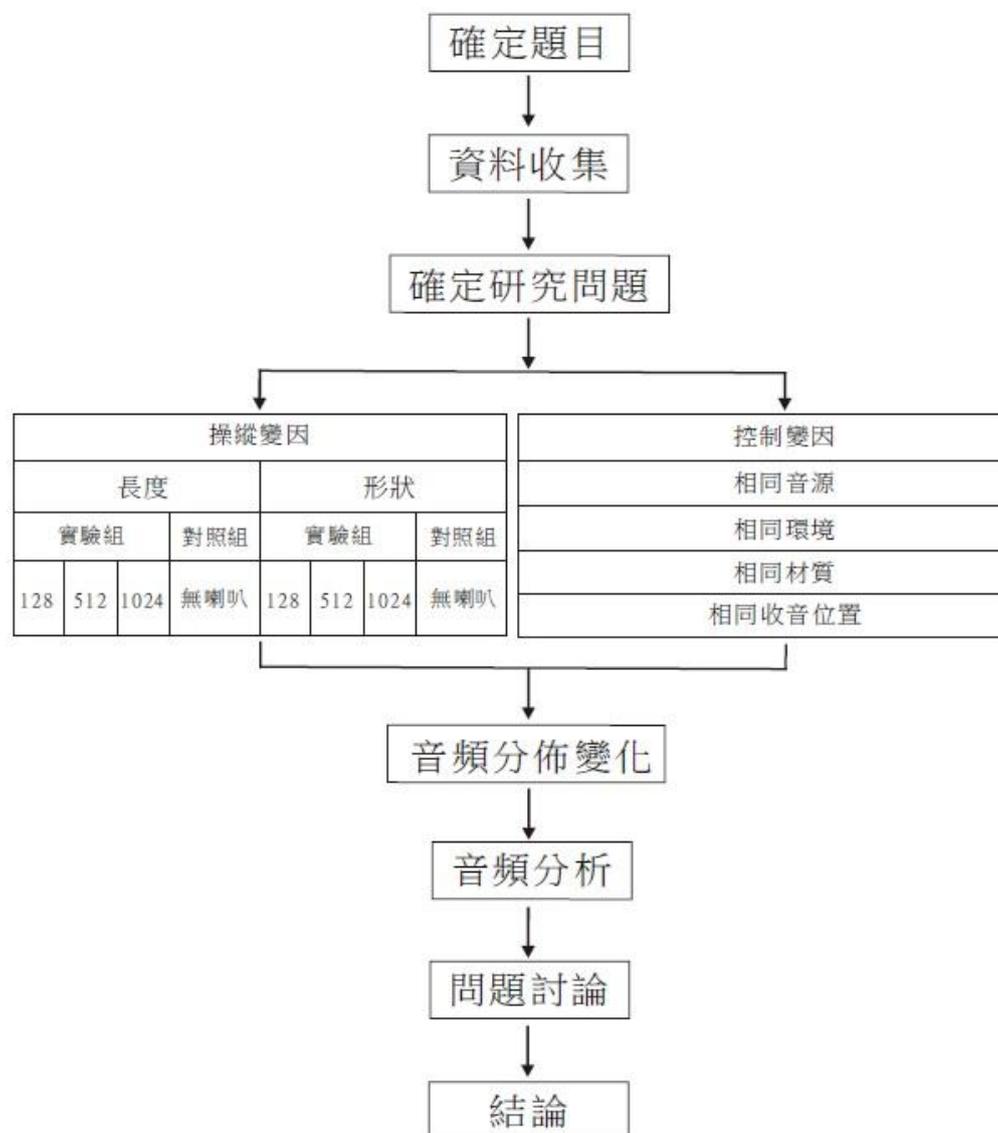


圖 3-1 研究架構流程圖

## 肆、研究設備及器材

本組研究實驗器材如下表：

表 4-1 研究設備及器材

1.灰銅卡紙	2.瓦楞紙	3.白棉紙	4.筆記型電腦	5.直尺
6.測試音頻軟體 Audacity	7.手機 i-phone	8.收音麥克風	9.麥克風腳架	10.美工刀
11.切割墊	12.隱形膠帶	13.示波器	14.訊號產生器	15.泡棉膠

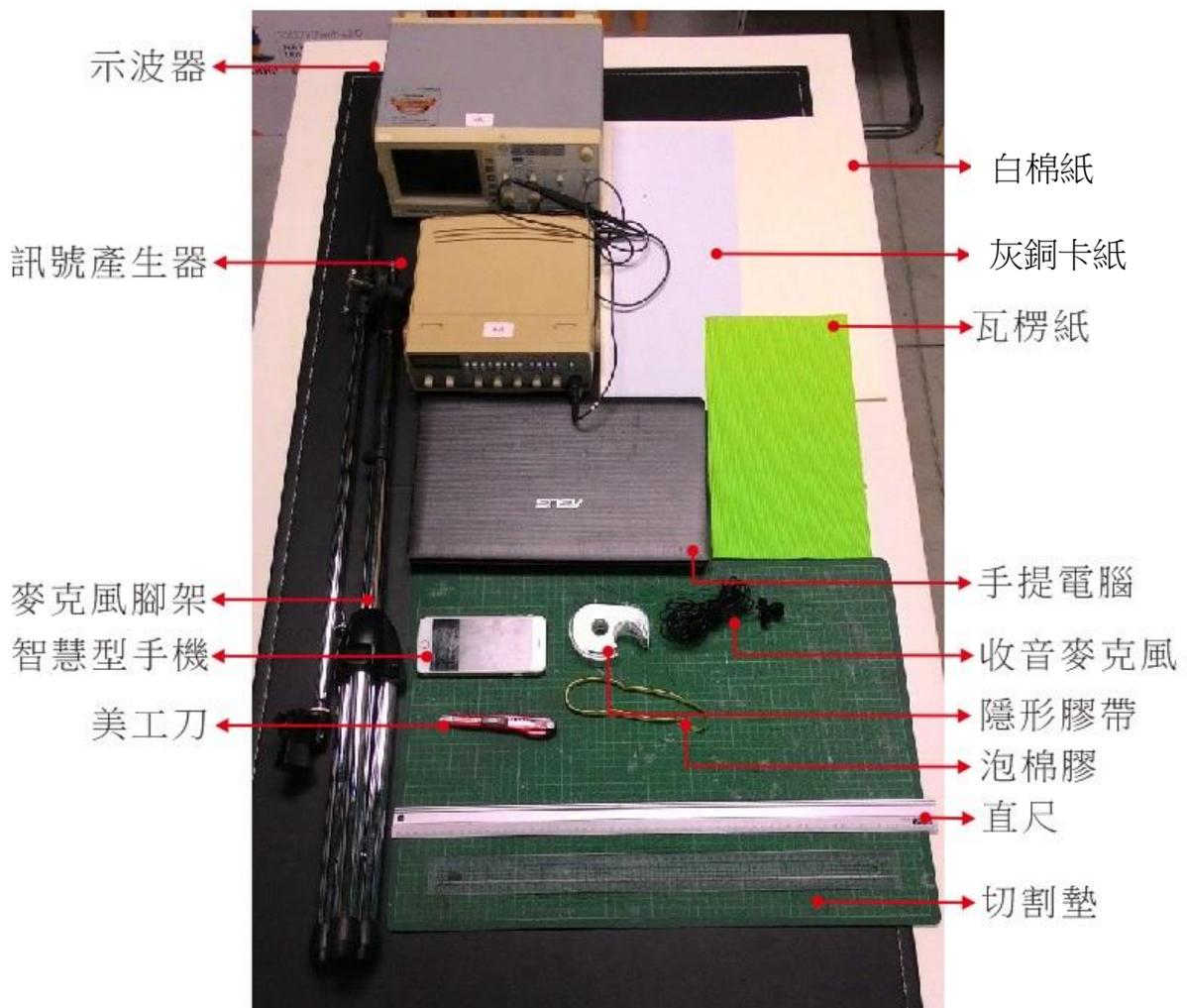


圖 4-1 實驗器材

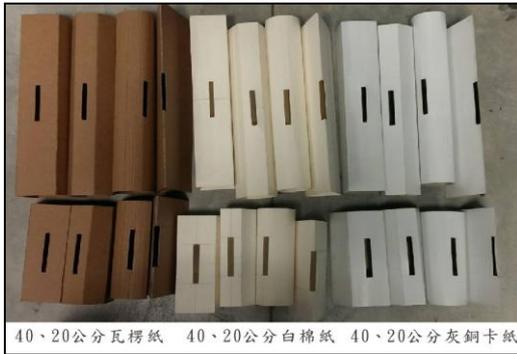


圖 4-2 各材質紙喇叭實驗模型

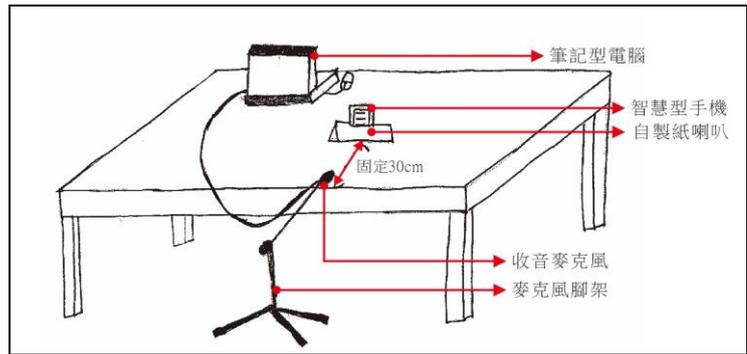


圖 4-3 實驗裝置圖

## 伍、研究問題

- 一、研究問題一：市面上常見的紙喇叭類型及特徵研究。
- 二、研究問題二：音頻的分類與聽感的研究。
- 三、研究問題三：各種變因對音頻分佈變化的影響。

### 變因一：不同長度對低、中、中高音頻分佈變化的影響。

從文獻得知，發音體的質量、厚薄、長短、鬆緊等因素都會影響發音的頻率，因此我們想了解喇叭的長短對聲音頻率分佈變化的影響。

### 變因二：不同形狀對低、中、中高音頻分佈變化的影響。

在自然課中學到聲音的三要素有：音色(波形)、音調(音頻)、響度(振幅)，從文獻資料中得知音箱的形狀會影響聲音的響度，因此我們也想了解喇叭的形狀是否也會影響聲音頻率分佈變化。

### 變因三：不同材質對低、中、中高音頻分佈變化的影響。

文獻得知，材質表面的軟硬程度會影響聲音的反射與吸收，且從第 52 屆科展作品「步步高聲-探討不同因素對擴音效果的影響」中發現：材質表面愈光滑，其擴音效果愈佳，因此我們想進一步了解喇叭的材質是否會影響聲音的頻率分佈。

## 陸、研究過程、方法及結果

### 一、研究問題一：市面上常見的紙喇叭類型及特徵研究

經由我們的資料收集與分析，得知一般紙喇叭主要區分為兩大類，第一類是在紙材中內夾電子材料，第二類則是純粹由紙材折製而成的紙喇叭（如圖 5-1）。本研究是以第二類為研

究對象，我們從目前紙製音箱或紙喇叭的紙材，發現一般常見的紙音箱所用的紙材多為瓦楞紙，而手機用紙喇叭則以銅板紙或灰銅卡紙為多數，銅板紙一般作為印刷時用紙，取得較為不易。而灰銅卡紙在一般文具店即可購買，符合本實驗較易取得紙材原則。經由討論後本實驗選擇經常應用於紙音箱與紙喇叭的 3mm 瓦楞紙、500 磅灰銅卡紙(厚紙板)及厚度介於兩者之間的 1mm 白棉紙（奶瓶紙）作為實驗紙材。

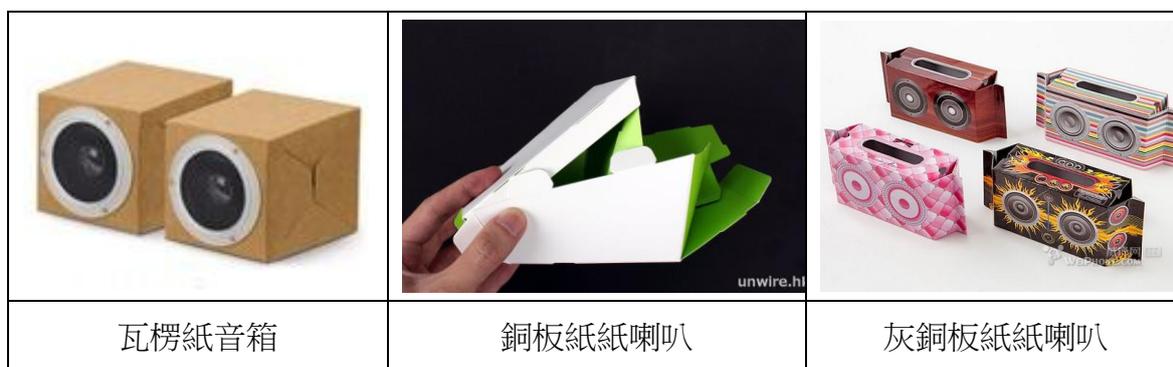


圖 6-1 常見不同材質的音箱、紙喇叭

資料顯示市面上的紙喇叭有圓形、四邊形、六邊形等，其長度也不一。我們從文獻資料中得知發音體的質量、厚薄、長短、鬆緊等因素都會影響發音的頻率，因此我們想進一步研究紙喇叭的長短、形狀對聲音頻率的影響。

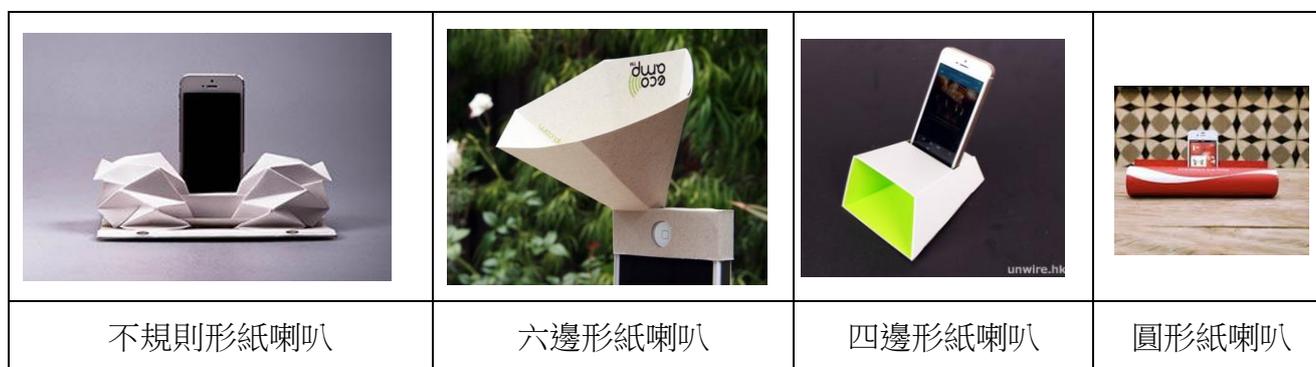


圖 6-2 市面上不同形狀的紙喇叭

## 二、研究問題二：音頻的分類與聽感的研究

從文獻資料中我們了解聲音可以被分解為不同頻率，而一般的聲音總是包含一定的頻率範圍，稱之為音頻。亦即音頻指的是聲音在每秒鐘，發生變化的次數或頻率，它的單位是赫茲(Hz)。而人耳可以聽到的聲音的頻率範圍在 20 到 2 萬赫茲(Hz)之間。整體來說音響系統的播放聲音的音域範圍一般可以分為超低音、低音、中低音、中音、中高音、次高音、高音、特高音八個音域。音頻頻率範圍一般可以分為四個頻段，即低頻段(30~150 Hz)；中頻

(150~500 Hz)；中高頻段(500~5000Hz)；高頻段(5000~20000 Hz)。

經由專家訪談，專家告訴我們一般專業音響測試參考頻率是以 **32Hz** 為最低音頻，並以 32Hz 的倍數為單位做為測試基準，因此本組**低音頻**的單音測試則選擇以 32Hz 的 4 倍 **128Hz** 作為測試音頻。中音頻的單音測試則選擇以 32Hz 的 16 倍 **512Hz** 作為測試音頻。從文獻資料得知 1000Hz 是人耳最為敏感的頻率，也是音響器材測試的標準參考頻率。我們徵求專家意見及和老師討論後決定以 32Hz 的 32 倍 **1024Hz** 作為中高音頻的單音測試音頻。

我們將文獻資料中聲音的聽感分類整理如表 6-1。

表 6-1 聲音的聽感分類表

音頻	範圍	說明
低音	40Hz~150Hz	聲音的基礎部份，能量占整個音頻能量的 70%，是表現音樂風格的重要成份。適當時低音張弛得宜，聲音豐滿柔和，不足時聲音單薄。
中音	150Hz~500Hz	聲音的結構部分，人聲位於這個位置，不足時，演唱聲會被音樂淹沒，聲音軟而無力，適當提升時會感到渾厚有力，提高聲音的力度和響度。
中高音	500Hz~2KHz	包含大多數樂器的低次諧波和泛音，是小鼓和打擊樂器的特徵音。適當時聲音透徹明亮，不足時聲音朦朧。

資料來源：參考賴建宇，ACID 調音(EQ)與混音(MIX)，本研究整理

### 三、研究問題三：各種變因對音頻分佈變化的影響。

(一)操縱變因：變因一：不同長度的紙喇叭。

變因二：不同形狀的紙喇叭。

變因三：不同材質的紙喇叭。

(二)控制變因：音源、地點、音量。

(三)應變變因：音頻分佈改變。

(四)實驗器材：500 磅灰銅卡紙(厚紙板)、1mm 白棉紙(奶瓶紙)、3mm 瓦楞紙、筆記型電腦、測試音頻軟體 Audacity、手機 i-phone、收音麥克風、麥克風腳架、隱形膠帶。

(五)實驗步驟：

- 1.運用訊號產生器分別產生 128Hz、512Hz 和 1024 Hz 的單音。
- 2.再以示波器中的方形波校正。
- 3.將校正後之 128Hz、512Hz 和 1024 Hz 的單音匯入電腦，再傳送至手機 i-phone，手機放音校正。



圖 6-3 128Hz、512Hz 和 1024 Hz 單音產生流程

- 4.製作實驗所需 1mm 白棉紙組（40cm、20cm）的紙喇叭，四種形狀紙喇叭體積相同。

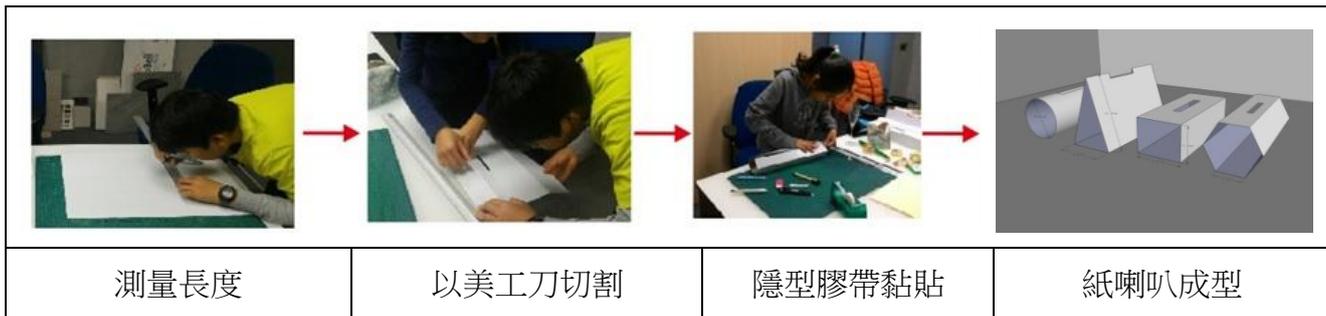


圖 6-4 紙喇叭模型製作

- 5.收音麥克風和麥克風腳架及要實驗的紙喇叭擺在固定位置上，並連線至筆記型電腦。
- 6.建立對照組：以手機 i-phone 直接播出 128Hz、512Hz 和 1024 Hz，並用收音麥克風錄進筆記型電腦的測試音頻軟體 Audacity，每一個頻率各作三次。
- 7.將手機 i-phone 放入各個不同形狀（不同長度、不同紙質）的白棉紙喇叭中間的位置，分別播出 128Hz、512Hz 和 1024 Hz，並用收音麥克風錄進筆記型電腦的測試音頻軟體 Audacity，每一個頻率各作三次。



圖 6-5 音頻實驗操作流程

8.將音頻軟體 Audacity 中的波形圖轉換成頻譜圖。

9.依據文獻及頻率特性圖表分析頻譜圖，頻譜圖的選定方式是多次實驗取實驗中再現性最高的圖形，作為分析用圖。

10.將頻譜圖匯出頻率、響度數據表，選擇最接近 128Hz、512 Hz、1024 Hz 的數據來分析頻率響度，並取三次數據資料平均值，作為分析數據。

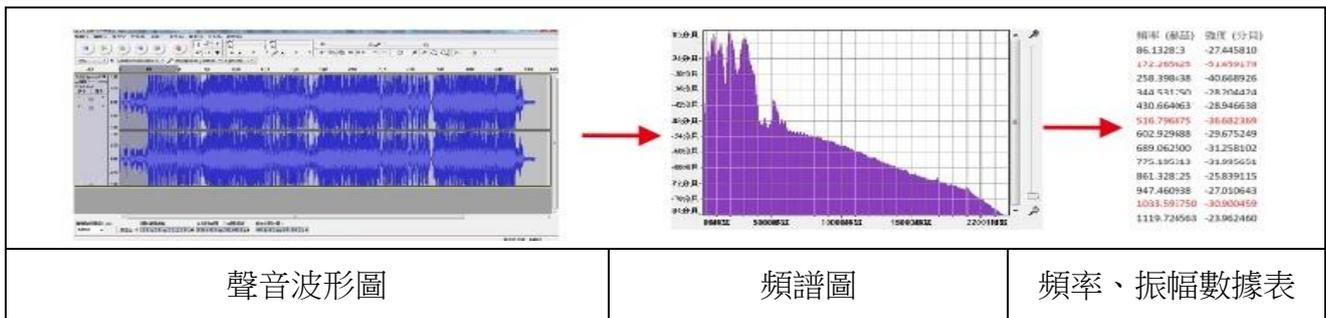


圖 6-6 波形圖轉換為分析資料流程

11. 500 磅灰銅卡紙組（40cm、20cm）重複到第十步驟。

12.3mm 瓦楞紙（40cm、20cm）重複到第十步驟。

(六)實驗結果：

1.對照組

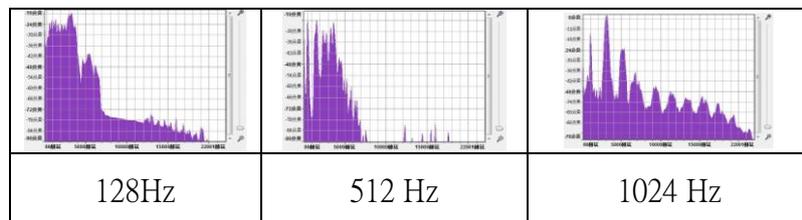


圖 6-7 無紙喇叭的單音對照組頻譜圖（縱軸單位為分貝，橫軸單位為頻率）

2. 1mm 白棉紙（奶瓶紙）組

(1)白棉紙 40cm

A.白棉紙 128 Hz

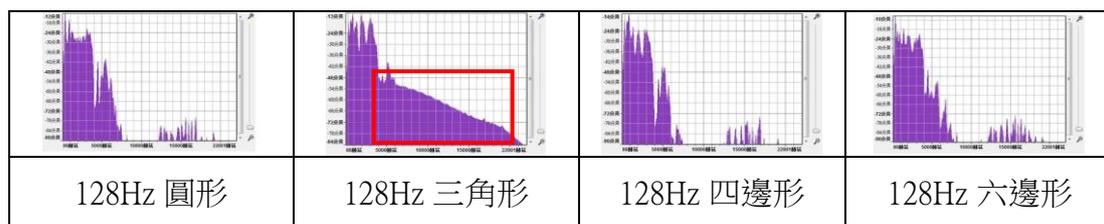


圖 6-8 128Hz40cm 白棉紙組不同形狀與對照組頻譜圖

從圖 6-8 中看出在白棉紙 40cm 低音頻（128Hz）實驗中，白棉紙 40cm 三角形在 6000Hz 後共振增加很多，白棉紙 40cm 圓形、四邊形和六邊形在 6000Hz 後聲音被吸收許多，共振都明顯減少。

B. 白棉紙 512 Hz

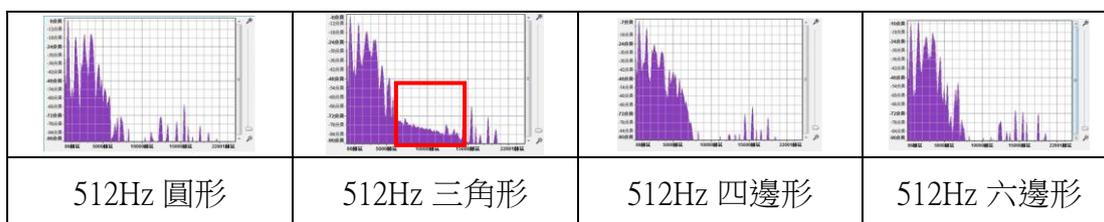


圖 6-9 512Hz40cm 白棉紙組不同形狀與對照組頻譜圖

從圖 6-9 中看出在白棉紙組 40cm 中音頻（512Hz）實驗中，白棉紙 40cm 三角形在 6000Hz 到 15000Hz 共振明顯增加，而其他圖形與對照組差異小。

C. 白棉紙 1024 Hz

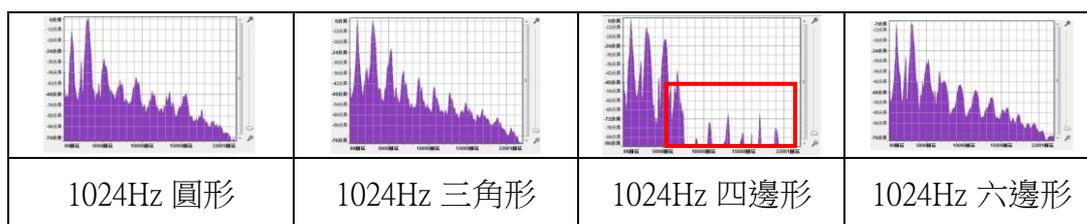


圖 6-10 1024Hz40cm 白棉紙組不同形狀與對照組頻譜圖

從圖 6-10 中看出在白棉紙組 40cm 中高音頻（1024Hz）實驗中，白棉紙 40cm 四邊形在 6000Hz 共振減少，聲音被吸收的狀況比白棉紙 40cm 圓形、三角形、六邊形多，而其他圖形的頻譜圖與對照組頻譜圖差異不大。

(2)白棉紙 20cm

A. 白棉紙 128 Hz

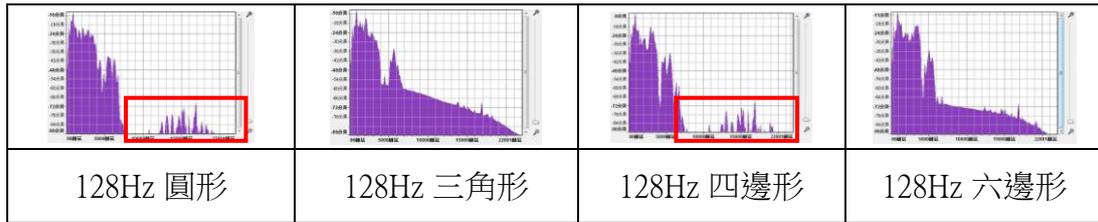


圖 6-11 128Hz20cm 白棉紙組不同形狀與對照組頻譜圖

從圖 6-11 中看出在白棉紙組 20cm 低音頻（128Hz）實驗中，白棉紙 20cm 圓形和四邊形在低頻實驗中共振減少，而白棉紙 20cm 三角形和白棉紙 20cm 六邊形共振增加。

B. 白棉紙 512 Hz

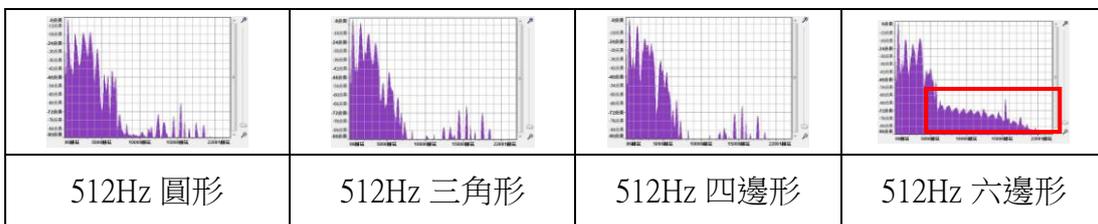


圖 6-12 512Hz20cm 白棉紙組不同形狀與對照組頻譜圖

從圖 6-12 中看出在白棉紙組 20cm 中音頻（512Hz）實驗中，白棉紙六邊形在 6000 Hz 後共振明顯增加，其頻譜圖呈現許多小峰谷。

C. 白棉紙 1024 Hz

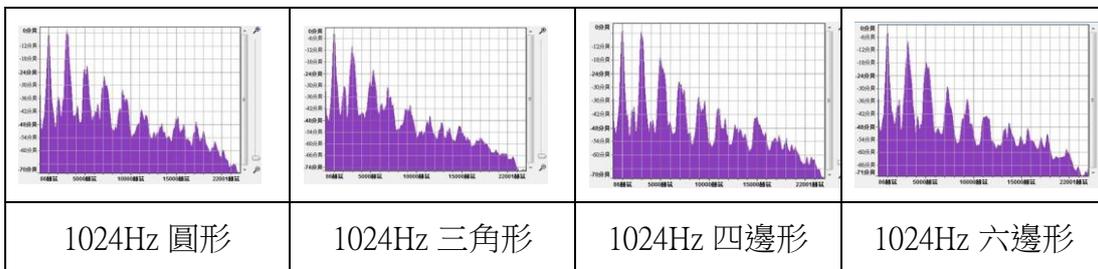


圖 6-13 1024Hz20cm 白棉紙組不同形狀與對照組頻譜圖

從圖 6-13 中看出在白棉紙組 20cm 中高音頻（1024Hz）實驗中，白棉紙 20cm 所有形狀之紙喇叭頻譜圖與對照組之頻譜圖差異不大。

(3) 白棉紙單點振幅數據

表 6-2 白棉紙最高振幅平均數據表

cm	形狀	128Hz	512 Hz	1024 Hz
對照組數據		-46.033	-18.057	-10.744
40cm	圓形	-43.827	-4.998	-11.340
	三角形	-44.558	-6.546	-5.561
	四邊形	-47.464	-8.684	-7.132
	六邊形	-37.400	-17.368	-7.429
20cm	圓形	-47.088	-7.015	-6.170
	三角形	-44.328	-8.033	-1.471
	四邊形	-44.346	-8.249	-2.406
	六邊形	-41.146	-4.087	-0.304

表 6-2 白棉紙在低音頻（128Hz）實驗中，最高振幅平均數值中顯示，白棉紙 40cm 六邊形單點振幅最高，白棉紙 20cm 六邊形次之。白棉紙在中音頻（512Hz）實驗中最高振幅平均數值中顯示，白棉紙 20cm 六邊形單點振幅最高，白棉紙 40cm 圓形次之。而白棉紙在中高音頻（1024Hz）實驗中最高振幅平均數值中顯示，白棉紙 20cm 六邊形單點振幅最高，白棉紙 20cm 三角形次之。

### 3. 灰銅卡紙組

#### (1) 灰銅卡紙 40cm

##### A. 灰銅卡紙 128 Hz

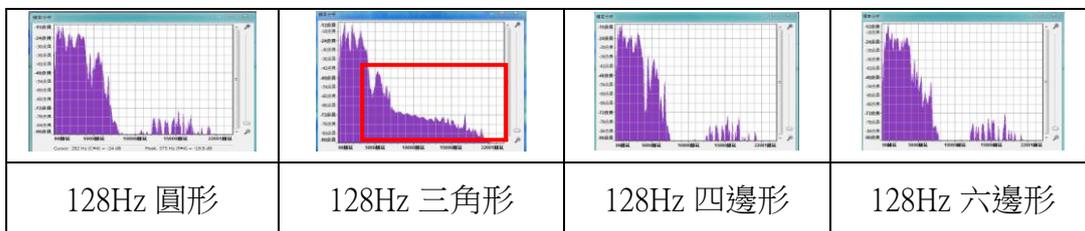


圖 6-14 128Hz40cm 灰銅卡紙組不同形狀與對照組頻譜圖

從圖 6-14 中看出灰銅卡紙組 40cm 低音頻(128Hz)實驗中，灰銅卡紙 40cm 三角形在 6000Hz 之後與對照組圖形最為接近，而灰銅卡紙 40cm 圓形、四邊形、六邊形在 6000Hz 之後聲音都被吸收了。

## B. 灰銅卡紙 512 Hz

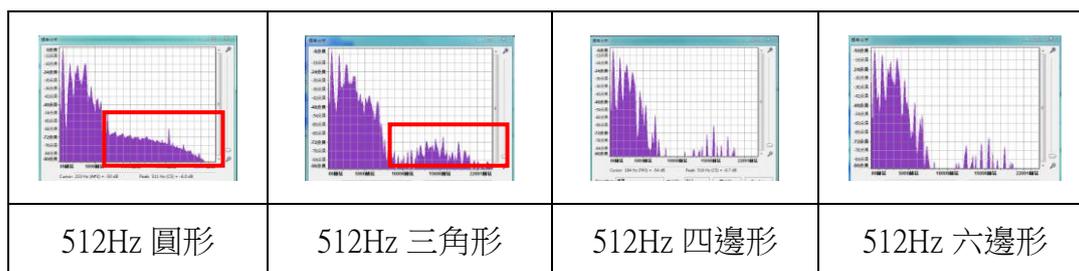


圖 6-15 512Hz40cm 灰銅卡紙組不同形狀與對照組頻譜圖

從圖 6-15 中看出灰銅卡紙組 40cm 中音頻 (512Hz) 實驗中，灰銅卡紙 40cm 圓型在 6000Hz 之後共振增加最多，灰銅卡紙 40cm 三角形次之，而其他圖形與對照組差異不大。

## C. 灰銅卡紙 1024 Hz

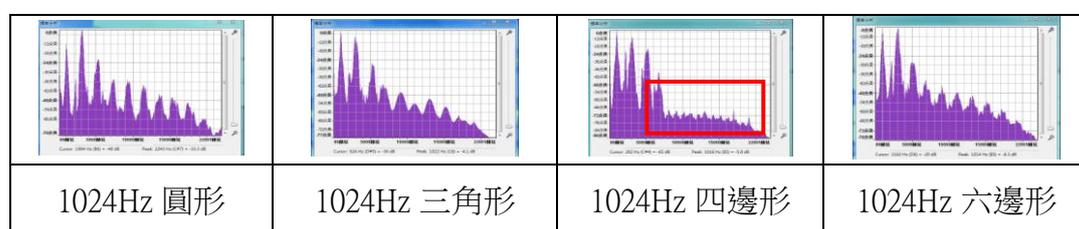


圖 6-16 1024Hz40cm 灰銅卡紙組不同形狀與對照組頻譜圖

從圖 6-16 中看出灰銅卡紙組 40cm 中高音頻 (1024Hz) 實驗中，灰銅卡紙 40cm 四邊形在 6000Hz 之後峰谷小而多且密集，灰銅卡紙 40cm 三角形谷峰看起來比照對照組較為圓潤。

### (2) 灰銅卡紙 20cm

#### A. 灰銅卡紙 128 Hz

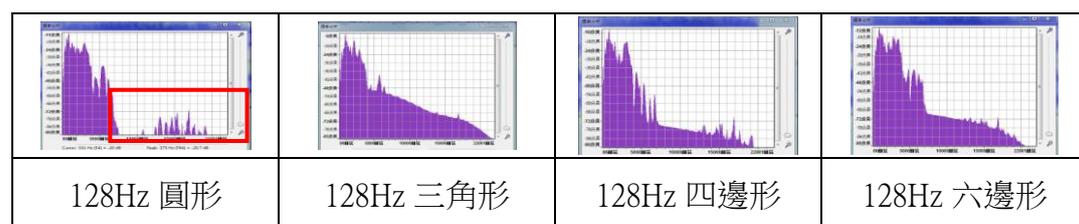


圖 6-17 128Hz20cm 灰銅卡紙組不同形狀頻譜圖

從圖 6-17 中看出灰銅卡紙組 20cm 低音頻 (128Hz) 實驗中，灰銅卡紙 20cm 圓形在 6000Hz 之後聲音明顯被吸收，灰銅卡紙 20cm 三角形在 6000Hz 之後共振增加。

#### B. 灰銅卡紙 512 Hz

從圖 6-18 中看出灰銅卡紙組 20cm 中音頻 (512Hz) 實驗中，灰銅卡紙 20cm 所有形狀的喇叭之音頻圖和對照組差異不大。

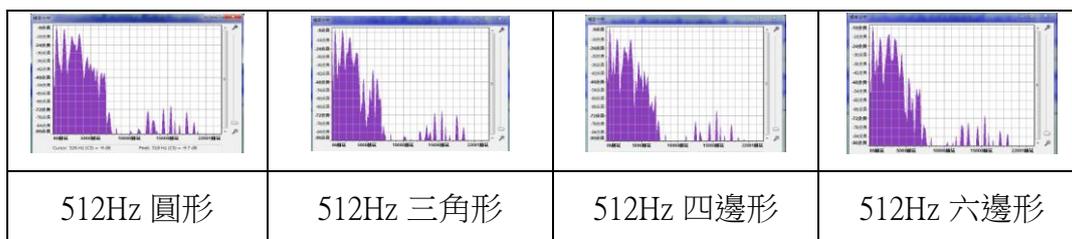


圖 6-18 512Hz20cm 灰銅卡紙組不同形狀頻譜圖

C. 灰銅卡紙 1024 Hz

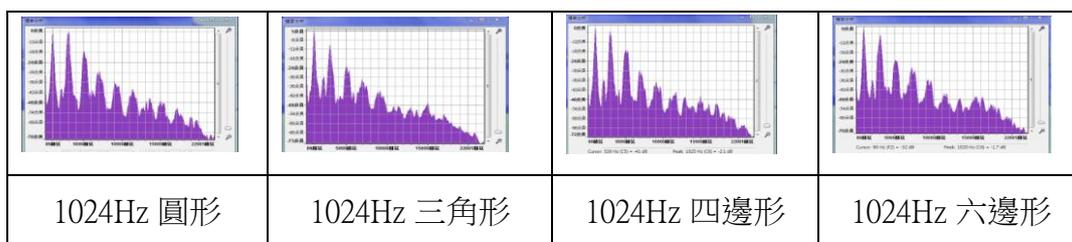


圖 6-19 1024Hz20cm 灰銅卡紙組不同形狀頻譜圖

從圖 6-19 中看出灰銅卡紙組 20cm 中高音頻（1024Hz）實驗中，灰銅卡紙 20cm 所有形狀的喇叭之音頻圖和對照組差異不大。

(3)灰銅卡紙單點振幅數據

表 6-3 灰銅卡紙最高振幅平均數據表

cm	形狀	128Hz	512 Hz	1024 Hz
對照組數據		-46.033	-18.057	-10.744
40cm	圓形	-44.841	-5.995	-12.851
	三角形	-44.974	-8.764	-6.388
	四邊形	-46.235	-7.040	-6.720
	六邊形	-50.560	-10.454	-5.706
20cm	圓形	-50.153	-9.636	-4.712
	三角形	-44.150	-9.774	0.742
	四邊形	-47.322	-9.371	-1.805
	六邊形	-50.244	-10.565	-1.115

表 6-3 灰銅卡紙在低音頻（128Hz）實驗中，最高振幅平均數值中顯示，灰銅卡紙 20cm 三角形單點振幅最高，灰銅卡紙 40cm 圓形次之。在中音頻灰銅卡紙（512Hz）實驗中最高振

幅平均數值中顯示，灰銅卡紙 40cm 圓形單點振幅最高，灰銅卡紙 40cm 四邊形次之。而灰銅卡紙在中高音頻（1024Hz）實驗中最高振幅平均數值中顯示，灰銅卡紙 20cm 三角形單點振幅最高，灰銅卡紙 20cm 六邊形次之。

#### 4.瓦楞紙組

##### (1)瓦楞紙 40cm

##### A.瓦楞紙 128Hz

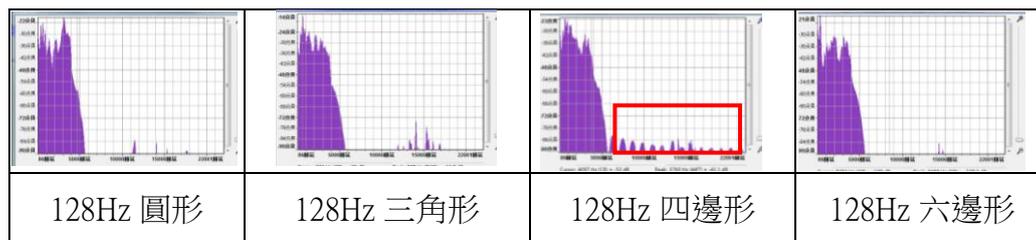


圖 6-20 128Hz40cm 瓦楞紙組不同形狀頻譜圖

從圖 6-20 中看出瓦楞紙組 40cm 低音頻（128Hz）實驗中，瓦楞紙 40cm 所有形狀的紙喇叭在 5000Hz 之後聲音幾乎都被吸收。

##### B. 瓦楞紙 512Hz

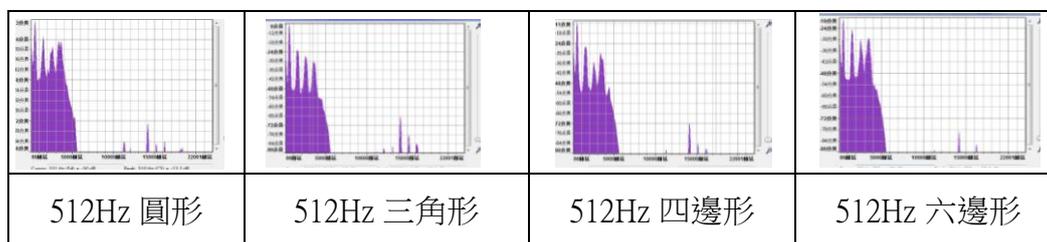


圖 6-21 512Hz40cm 瓦楞紙組不同形狀頻譜圖

從圖 6-21 中看出瓦楞紙組 40cm 中音頻（512Hz）實驗中，瓦楞紙 40cm 所有形狀的紙喇叭之頻譜圖與對照組頻譜圖差異性不大。

##### C.瓦楞紙 1024Hz

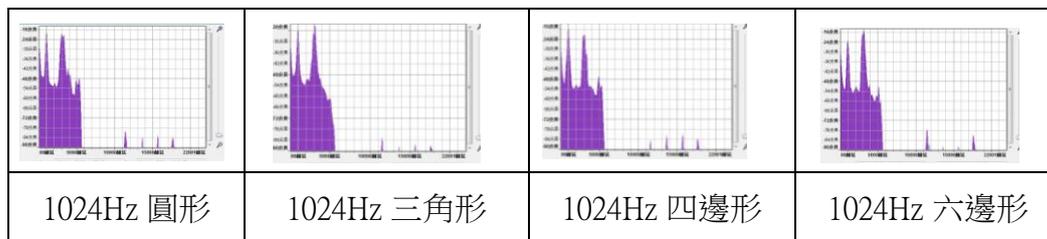


圖 6-22 1024Hz40cm 瓦楞紙組不同形狀頻譜圖

從圖 6-22 中看出瓦楞紙組 40cm 中高音頻（1024Hz）實驗中，瓦楞紙 40cm 所有形狀的紙

喇叭在 6000Hz 後，聲音幾乎完全被吸收。

(2)瓦楞紙 20cm

A.瓦楞紙 128Hz

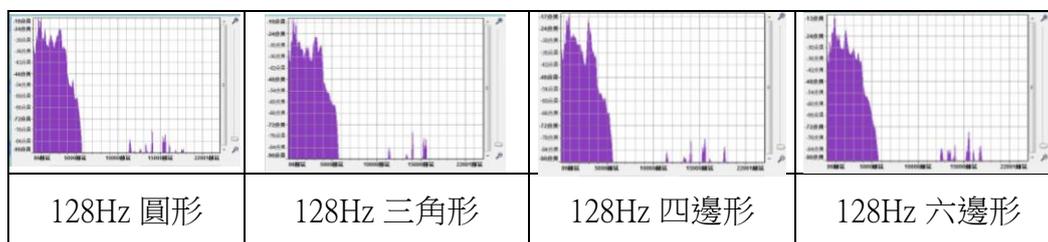


圖 6-23 128Hz20cm 瓦楞紙組不同形狀頻譜圖

從圖 6-23 中看出瓦楞紙組 20cm 低音頻（128Hz）實驗中，瓦楞紙 20cm 所有形狀的紙喇叭在 6000Hz 後，聲音幾乎完全被吸收。

B.瓦楞紙 512Hz

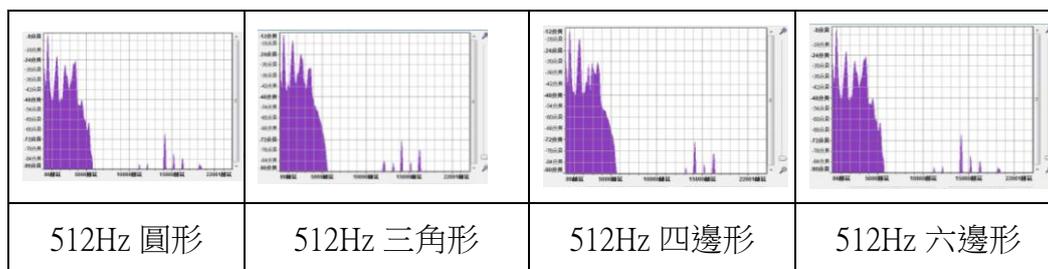


圖 6-24 512Hz20cm 瓦楞紙組不同形狀頻譜圖

從圖 6-24 中看出瓦楞紙組 20cm 中音頻（512Hz）實驗中，瓦楞紙 20cm 所有形狀的紙喇叭之頻譜圖與對照組頻譜圖差異性不大。

C.瓦楞紙 1024Hz

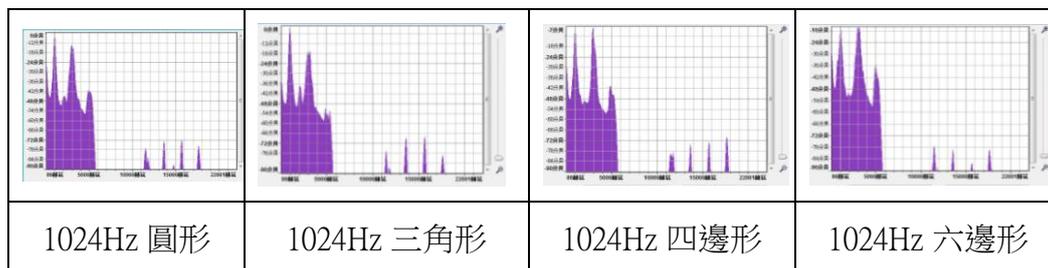


圖 6-25 1024Hz20cm 瓦楞紙組不同形狀頻譜圖

從圖 6-25 中看出瓦楞紙組 20cm 中高音頻（1024Hz）實驗中，瓦楞紙 20cm 所有形狀的紙喇叭在 6000Hz 後，聲音幾乎完全被吸收。

### (3)瓦楞紙單點振幅數據

表 6-4 瓦楞紙最高振幅平均數據表

cm	形狀	128Hz	512 Hz	1024 Hz
對照組數據		-46.033	-18.057	-10.744
40cm	圓形	-36.021	-13.619	-16.483
	三角形	-34.046	-18.466	-18.438
	四邊形	-35.329	-12.015	-16.640
	六邊形	-33.904	-18.466	-24.549
20cm	圓形	-34.130	-13.517	-6.212
	三角形	-34.853	-12.426	-1.790
	四邊形	-35.622	-12.384	-7.620
	六邊形	-34.975	-8.729	-18.017

表 6-4 瓦楞紙在低音頻（128Hz）實驗中，最高振幅平均數值中顯示，瓦楞紙 40cm 六邊形單點振幅最高，瓦楞紙 40cm 三角形次之。在中音頻瓦楞紙（512Hz）實驗中最高振幅平均數值中顯示，瓦楞紙 20cm 六邊形單點振幅最高，瓦楞紙 40cm 四邊形次之。而瓦楞紙在中高音頻（1024Hz）實驗中最高振幅平均數值中顯示，瓦楞紙 20cm 三角形單點振幅最高，瓦楞紙 20cm 圓形次之。

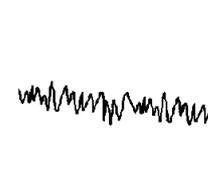
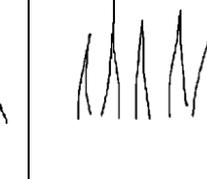
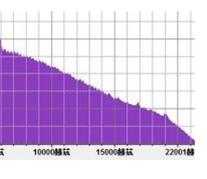
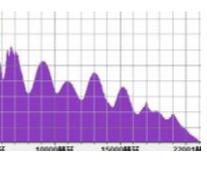
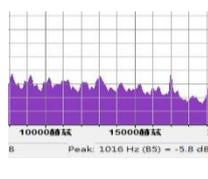
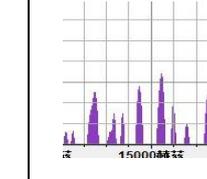
## 柒、討論

### 一、頻譜圖判讀說明

依據文獻資料與專家訪談，並經專家指導實際試聽後，我們發現當頻譜圖上的曲線較為平緩且在 6000Hz 後範圍較廣高度較高時表示共振較多，其聲音的聽感較為厚實且豐厚。頻譜圖上的曲線表現多峰谷且起伏大，其聲音的聽感較為粗糙、混濁。當頻譜圖上的曲線看起來峰谷小而密集時，其聲音的聽感呈現較為吵雜。如果頻譜圖上的曲線呈現峰高而獨立的圖形時，其聲音的聽感是每個單音清晰明顯且乾淨。

本組將頻譜圖上所呈現的圖形歸納後繪出其圖形特徵，並說明頻譜圖上不同圖形與聽感的對應關係如表 7-1。

表 7-1 頻譜圖上不同圖形與聽感的對應關係

圖形				
圖例				
說明與聽感	曲線平緩、共振較多、聲音厚實、豐厚	多峰谷且起伏大、聲音粗糙、混濁	峰谷小而密集、聲音吵雜	峰高而獨立、聲音清晰明顯、乾淨

## 二、低、中、中高音頻頻譜圖對照組說明

在低音頻(128 Hz)的對照組圖形中我們發現在其 6000 Hz 後共振圖形明顯，經文獻資料及詢問專家後，我們得知低音頻能量大，所以當低音頻(128Hz)共振效果越好，在聽感上愈具震撼性，且增加聲音的豐富性。

在中音頻（512Hz）的對照組音頻圖形中，6000Hz 後僅剩幾個單音呈現，經文獻資料及詢問專家後，我們了解一般我們所聽到的聲音主要介於 300-500 Hz，所以些微的共振加上清楚的單音，在聽感上聲音豐富又清晰。

在中高音頻（1024Hz）的對照組音頻圖形中，專家認為我們的中高音頻頻譜圖對照組在 6000 Hz 後應該呈現與 512Hz 相似圖形。經由我們多次的實驗與檢核，我們發現在中高頻實驗過程，當我們以手機播放 1024Hz 音頻時，手機震動明顯，與專家、老師討論後發現，中高音頻對照組頻譜圖在 6000 Hz 後所呈現的圖形應該是手機震動與桌面所產生的共振雜訊。

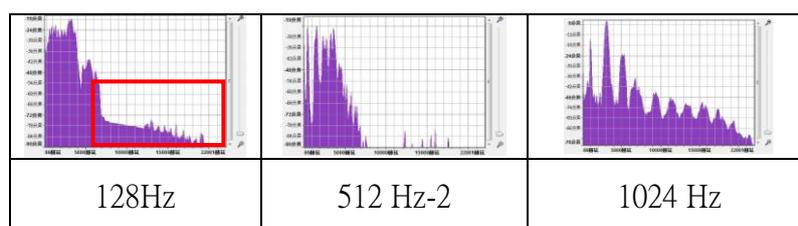


圖 7-1 不同 Hz 對照組不同形狀與對照組頻譜圖

### 三、討論紙喇叭不同變因對音頻分佈變化的影響

本組將實驗結果依白棉紙、灰銅卡紙、瓦楞紙三種不同紙材歸納如下：

#### (一)白棉紙

表 7-2 白棉紙音頻圖比較表

cm	形狀	128Hz	512 Hz	1024 Hz
對照組				
40cm	圓形			
	三角形			
	四邊形			
	六邊形			
20cm	圓形			
	三角形			
	四邊形			
	六邊形			

1.從白棉紙音頻比較表中我們發現白棉紙製作而成的三角形紙喇叭，在低音頻實驗中，不管是 20cm 或 40cm 其共振都比對照組增加很多，頻譜圖上的圖形呈現曲線平緩，故其聲音厚實且豐厚。而 20cm 六邊形的頻譜圖形與對照組圖形相似度很高，所以我們推測以

20cm 六邊形紙喇叭聽樂器演奏或音樂時，其所呈現的低音頻聲音與原音最為接近。白棉紙製作而成的圓形和四邊紙喇叭，不管是 20cm 或 40cm，聲音都變得清晰、乾淨。

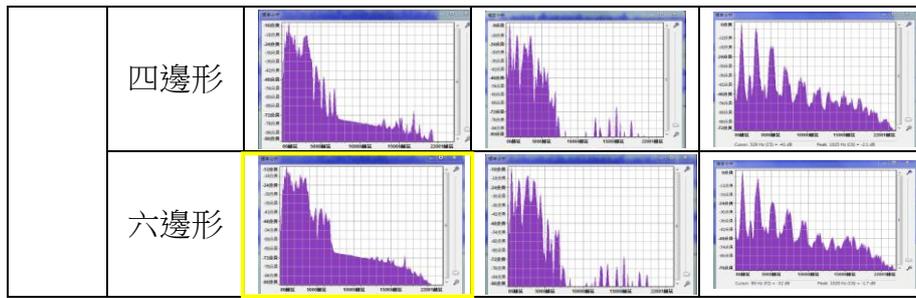
2.在中音頻實驗中，我們發現白棉紙 20cm 六邊形紙喇叭，共振增加很多，頻譜圖上的曲線看起來峰谷小而密集，故其聲音聽起來應該較為吵雜。40cm 三角形則共振增加，頻譜圖 6000Hz 到 15000Hz 中曲線較 40cm 六邊形平緩，15000Hz 後峰高而獨立，我們推測 40cm 三角形紙喇叭聽樂器演奏或音樂時，其中音頻聲音呈現豐厚且單音清楚。

3.中高音頻實驗中，我們發現白棉紙 40cm 四邊形紙喇叭，頻譜圖 6000Hz 後峰高而獨立，故以白棉紙 40cm 四邊形紙喇叭，聽樂器演奏或音樂時，其所呈現的中高音頻聲音，單音清晰明顯且乾淨。

## (二)灰銅卡紙

表 7-3 灰銅卡紙音頻圖比較表

cm	形狀	128Hz	512 Hz	1024 Hz
對照組				
40cm	圓形			
	三角形			
	四邊形			
	六邊形			
20cm	圓形			
	三角形			

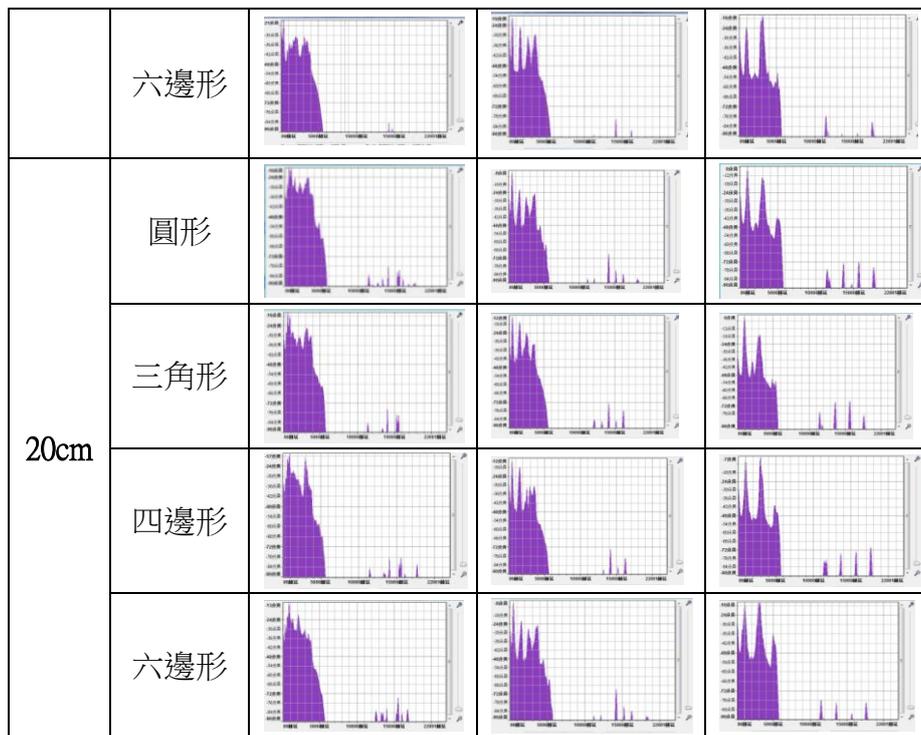


- 1.從灰銅卡紙音頻比較表中我們發現灰銅卡紙製作而成的 20cm 三角形紙喇叭，在低音頻實驗中，共振比對照組增加很多，頻譜圖上的圖形呈現曲線平緩，故其聲音厚實且豐厚。20cm 六邊形的頻譜圖形與對照組圖形相似度很高，所以我們推測以 20cm 六邊形紙喇叭聽樂器演奏或音樂時，其所呈現的低音頻聲音與原音最為接近。而 40cm 圓形、四邊形、六邊形和 20cm 圓形聲音都變得清晰、乾淨。
- 2.在中音頻實驗中，我們發現灰銅卡紙 40cm 圓形紙喇叭在 6000Hz 後，共振增加很多，聲音變得更厚實。其他形狀和長度的紙喇叭與對照組圖形相似度很高，其所呈現中音頻聲音與原音最為接近。
- 3.在中高音頻實驗中，40cm 四邊形在 6000Hz 後出現小而多的峰谷，在聽感雖然吵雜但尖銳度減低。

### (三)瓦楞紙

表 7-4 瓦楞紙音頻圖比較表

cm	形狀	128Hz	512 Hz	1024 Hz
對照組				
40cm	圓形			
	三角形			
	四邊形			



- 1.從瓦楞紙音頻比較表中，我們發現以瓦楞紙製作而成的紙喇叭，在低、中高音頻實驗中，6000Hz 後的聲音都被吸收掉了。聲音皆呈現清晰、乾淨。
- 2.以瓦楞紙製作而成的紙喇叭在中頻實驗中，6000Hz 後差異不大，但 6000Hz 前聲音較原音清晰。

#### (四)頻譜圖綜合討論

- 1.低音(128Hz)頻實驗中，白棉紙和灰銅卡紙製成的 40cm 三角形、20cm 三角形與六邊形的紙喇叭，共振效果都比對照組明顯提升。其中白棉紙製成 40cm 三角形紙喇叭共振效果最好。三角形與六邊形製成的紙喇叭，共振效果比其它形狀好。
- 2.文獻中我們得知喇叭的體積愈大，愈能推動足夠的空氣，低頻效能愈佳。在本組在低音頻實驗中，發現 40cm 紙喇叭比 20cm 紙喇叭共振效果佳。
- 3.在中音頻(512Hz)實驗中，我們發現所有的紙喇叭除了白棉紙 40cm 三角形、白棉紙 20cm 六邊形、灰銅卡紙 40cm 圓形和灰銅卡紙 40cm 三角形外，皆與對照組相似。
- 4.在中高音頻(1024Hz)實驗中，白棉紙 40cm 四邊形和灰銅卡紙 40cm 四邊形，在 6000Hz 共振減少。
- 5.瓦楞紙所製成的紙喇叭，聲音都被吸收了，我們推測因其紙質較厚，紙材夾層結構成波浪形，可吸收手機震動的雜音，可忠實呈現出中、中高频的聲音。聆聽中、中高频音樂時，

聲音皆呈現清晰、乾淨的音感。

6.從文獻中我們得知喇叭愈輕薄，震動速度愈快，高頻性能愈好，但卻與實驗結果不符。

經與專家、老師討論後，可能因為手機播放中高音頻時，高音頻的能量造成手機震動進而影響手機與桌面共振，本實驗白棉紙與灰銅卡紙製成的紙喇叭都無法提升高頻性能，但瓦楞紙夾層結構可吸收手機震動的雜音，可忠實呈現出中、中高頻的聲音。

#### 四、討論紙喇叭不同變因對單點振幅的影響

##### (一)白棉紙組

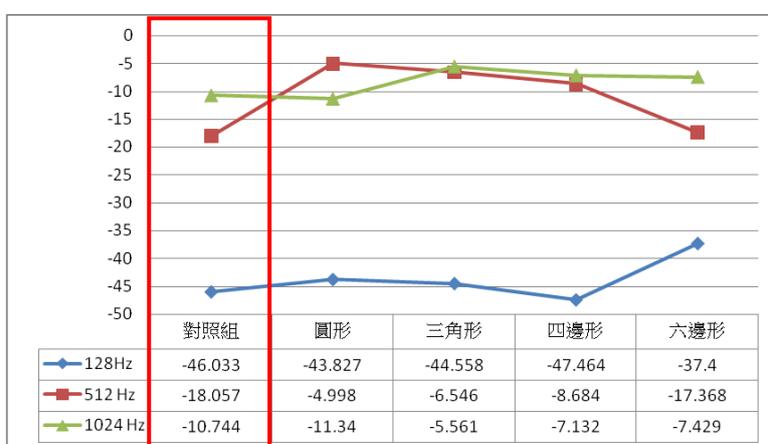


圖 7-2 白棉紙 40cm 單點振幅曲線圖

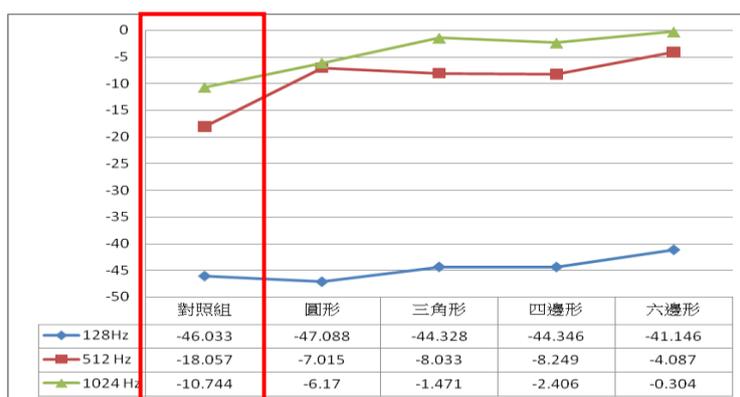


圖 7-3 白棉紙 20cm 單點振幅曲線圖

- 1.白棉紙所製作而成 20cm 或 40cm 的四種形狀紙喇叭，在中頻單點振幅都提升。
- 2.白棉紙所製作而成 40cm 的四種形狀紙喇叭，在中高頻單點振幅都提升。
- 3.20cm 白棉紙六邊形紙喇叭在中、中高音頻的單點振幅都提升最多。所以當我們聆聽音

樂時，若想要提升中、中高音頻的響度，就應使用 20cm 白棉紙六邊形紙喇叭。

4.若只想要提升低音頻的響度，就應使用 40cm 白棉紙六邊形紙喇叭。

### (二)灰銅卡紙組

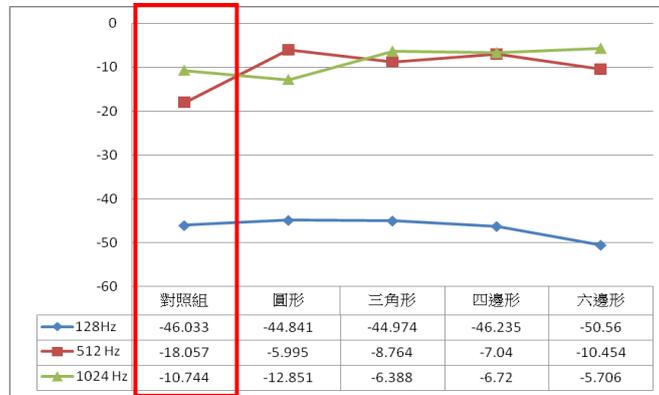


圖 7-4 灰銅卡紙 40cm 單點振幅曲線圖

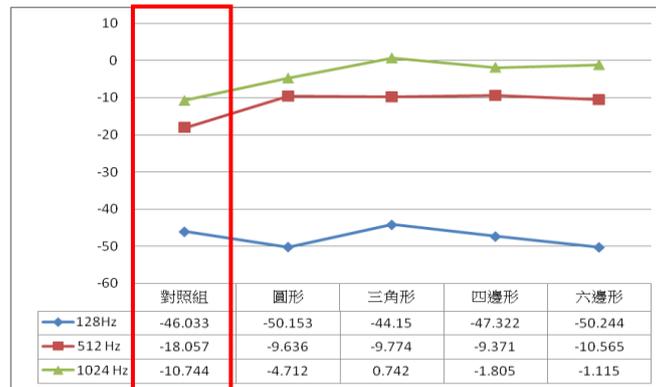


圖 7-5 灰銅卡紙 20cm 單點振幅曲線圖

- 1.灰銅卡紙所製作而成 20cm 或 40cm 的四種形狀紙喇叭，在中頻單點振幅都提升。
- 2.灰銅卡紙所製作而成 20cm 的四種形狀紙喇叭，在中高頻單點振幅都提升。
- 3.若想要提升低音頻或中高音頻的響度，就建議使用 20cm 灰銅卡紙三角形紙喇叭。
- 4.若想要提升中音頻的響度，就建議使用 40cm 灰銅卡紙圓形紙喇叭。
- 5.當我們聆聽音樂時，若想要提升整體音頻的響度，應使用 20cm 灰銅卡紙三角形紙喇叭。

### (三)瓦楞紙組

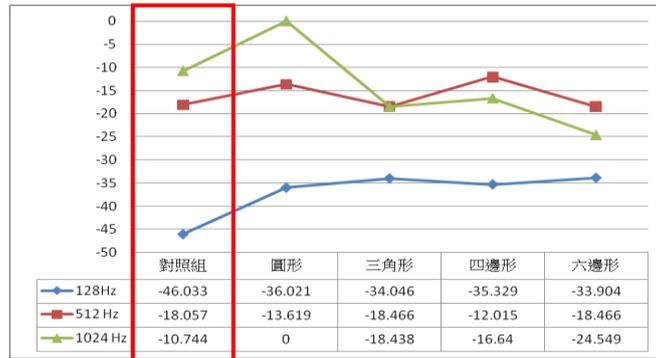


圖 7-6 瓦楞紙 40cm 單點振幅曲線圖

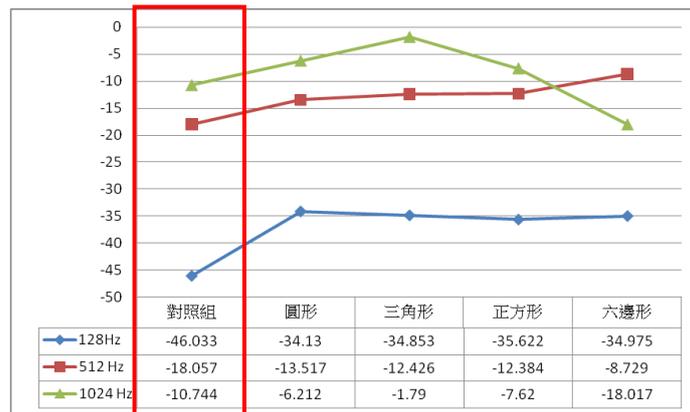


圖 7-7 瓦楞紙 20cm 單點振幅曲線圖

- 1.瓦楞紙所製作而成 20cm 或 40cm 的四種形狀紙喇叭，在低音頻單點振幅都提升。
- 2.瓦楞紙所製作而成 20cm 的四種形狀紙喇叭，在中音頻單點振幅都提升。
- 3.當我們聆聽音樂時，要提升整體低音頻的響度，就應使用 40cm 瓦楞紙六邊形紙喇叭。
- 4.當我們聆聽音樂時，要提升整體中音頻的響度，就應使用 20cm 瓦楞紙六邊形紙喇叭。
- 5.如果只想要提升整體中高音頻的響度，就應使用 20cm 瓦楞紙三角形紙喇叭。

#### (四)圓形紙喇叭

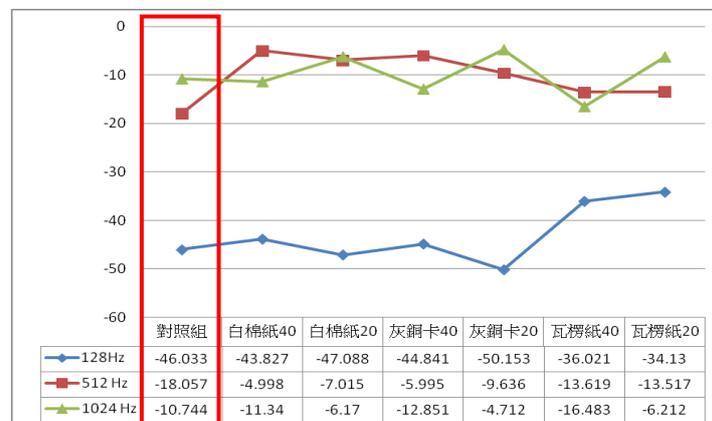


圖 7-8 圓形紙喇叭單點振幅曲線圖

- 1.所有 20cm 圓形三種紙材的紙喇叭，都會增加中高頻的單點振幅。
- 2.圓形 20cm、40cm 三種紙材的紙喇叭，都會增加中頻的單點振幅。
- 3.瓦楞紙 20cm 圓形紙喇叭，在低音單點振幅增加最多，響度最高。白棉紙 40cm 圓形紙喇叭，在中音頻響度最高。灰銅卡紙 20cm 圓形紙喇叭，在中高音頻響度最高。

### (五)三角形紙喇叭

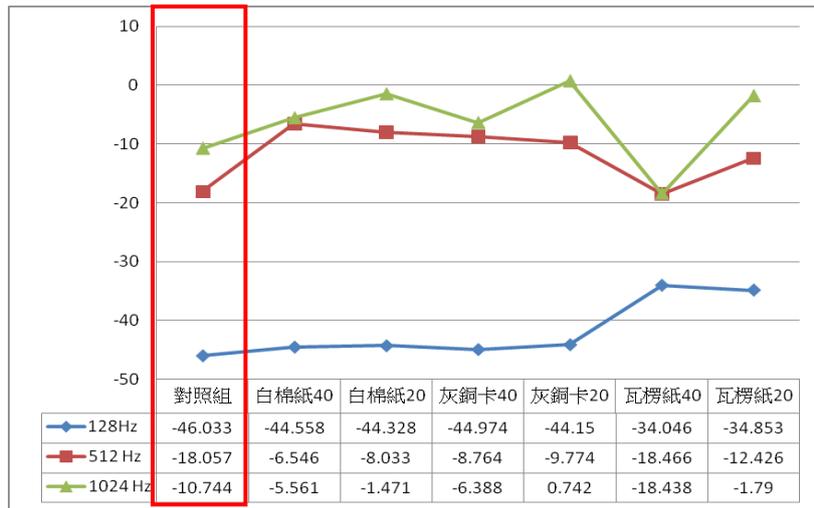


圖 7-9 三角形紙喇叭單點振幅曲線圖

- 1.三種紙材 20cm 的三角形紙喇叭都比 40cm 三角形紙喇叭更能增加中高頻的響度。
- 2.瓦楞紙不論 20cm 或 40cm 三角形紙喇叭，低頻響度都較其他紙材高。
- 3.白棉紙不論 20cm 或 40cm 三角形紙喇叭，中頻響度都較其他紙材高。

### (六)四邊形紙喇叭

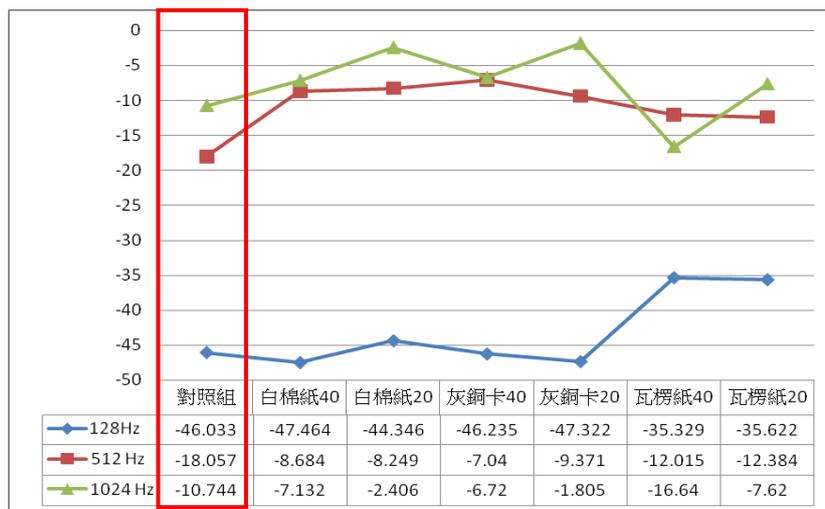


圖 7-10 四邊形紙喇叭單點振幅曲線圖

- 1.三種紙材 20cm 的四邊形紙喇叭都比 40cm 四邊形紙喇叭更能增加中高頻的響度。
- 2.瓦楞紙不論 20cm 或 40cm 四邊形紙喇叭，低頻響度都較其他紙材高。
- 3.灰銅卡紙 40cm 四邊形紙喇叭，中頻響度都較其他紙材高。

### (七)六邊形紙喇叭

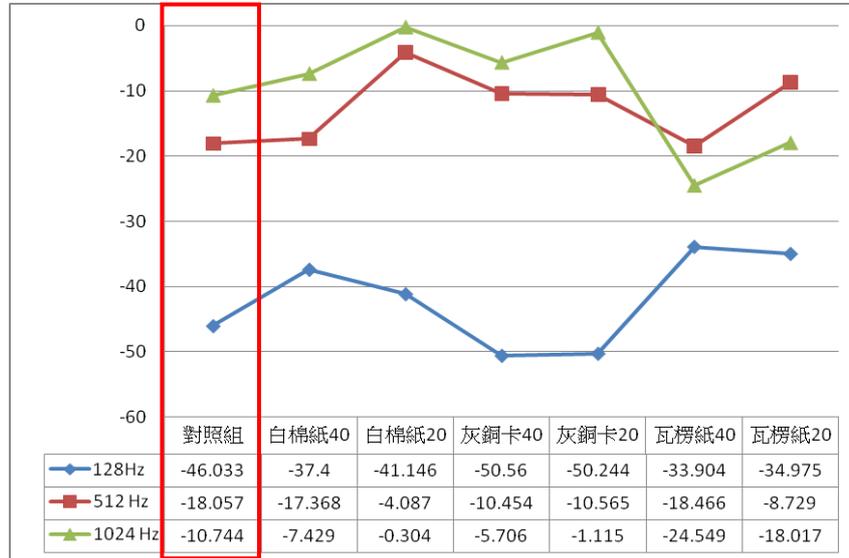


圖 7-11 六邊形紙喇叭單點振幅曲線圖

- 1.三種紙材 20cm 的六邊形紙喇叭都比 40cm 六邊形紙喇叭更能增加中高頻的響度。
- 2.瓦楞紙不論 20cm 或 40cm 六邊形紙喇叭，低頻響度都較其他紙材高。
- 3.白棉紙 20cm 六邊形紙喇叭，中頻響度都較其他紙材高。

### (八)單點振幅綜合討論

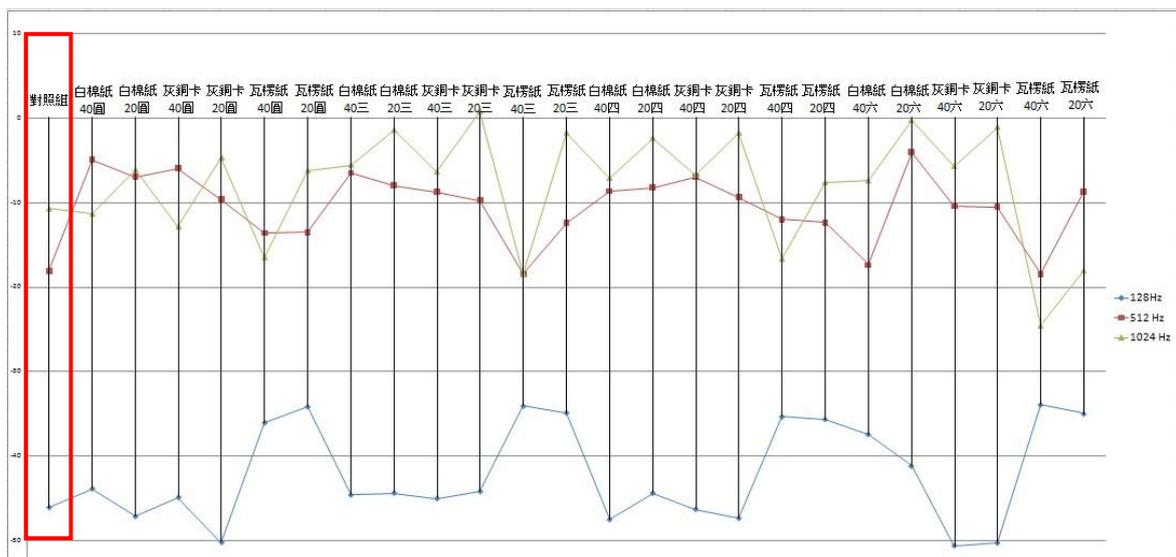


圖 7-12 紙喇叭單點振幅曲線圖

- 1.低音頻的單點振幅數據中，以瓦楞紙 40cm 六邊形最高，三種紙材中不論形狀或長度都以瓦楞紙最高，但從其頻譜圖形中我們發現瓦楞紙會減少低頻的共振效果。
- 2.在中音頻的單點振幅數據中，三種紙材中不論形狀或長度都以白棉紙製成的紙喇叭較高，其中以 20cm 六邊形最高。但從白棉紙 20cm 六邊形頻譜圖的圖形中我們發現共振多且多峰谷，所以聲音較為吵雜。白棉紙 40cm 三角形單點振幅提升且從其頻譜圖得知其中其聲音豐厚且單音清楚，最能展現中音頻音質特色。
- 3.在中高音頻的單點振幅數據中，以灰銅卡紙 20cm 三角形最高，三種紙材不論形狀 20cm 都比 40cm 高。其中以瓦楞紙製成 20cm 三角形紙喇叭，其單點振幅高於對照組，從頻譜圖判讀其可吸收手機與桌面共振的雜音，既能提升響度，又能展現中高音頻音質特色。
- 4.中高音頻中，我們發現瓦楞紙製成 40cm 四種形狀之紙喇叭，單點振幅都明顯低於對照組很多，符合文獻資料顯示愈輕薄短小的喇叭，愈能提升中高音頻得響度。

## 五、從頻譜對照圖印證紙喇叭對音頻的影響

### (一)適合聆聽熱門音樂、大鼓的紙喇叭（白棉紙 40cm 三角形）

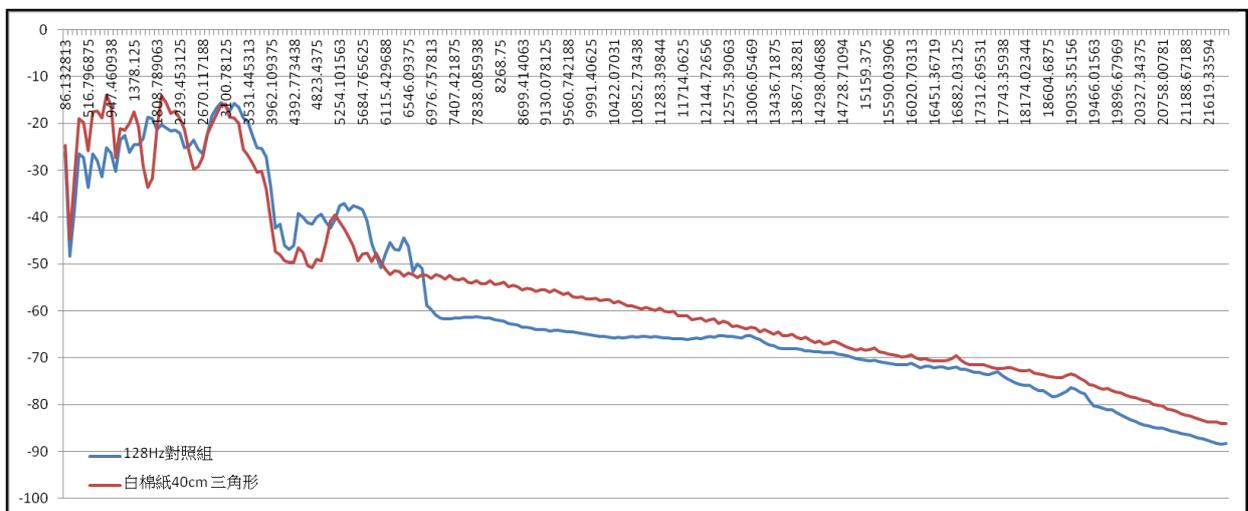


圖 7-13 對照組與白棉紙 40cm 三角形對照圖

1. 從圖 7-13 發現低音頻(128Hz)經由白棉紙 40cm 三角形紙喇叭放出的聲音比對照組在 128Hz~1000Hz 聲音強度明顯增加，在 4000~6000 Hz 相對下降，高頻雜音相對減小，使主聲音較為清晰。在 6000 Hz 後呈現規則性波形，由此可證此紙喇叭能增強低音頻的強度，並具震撼效果，適合聆聽熱門音樂、大鼓等音樂類型。

### (二)適合聆聽人聲、管絃樂、長笛、洞簫的紙喇叭（瓦楞紙 20cm 三角形）

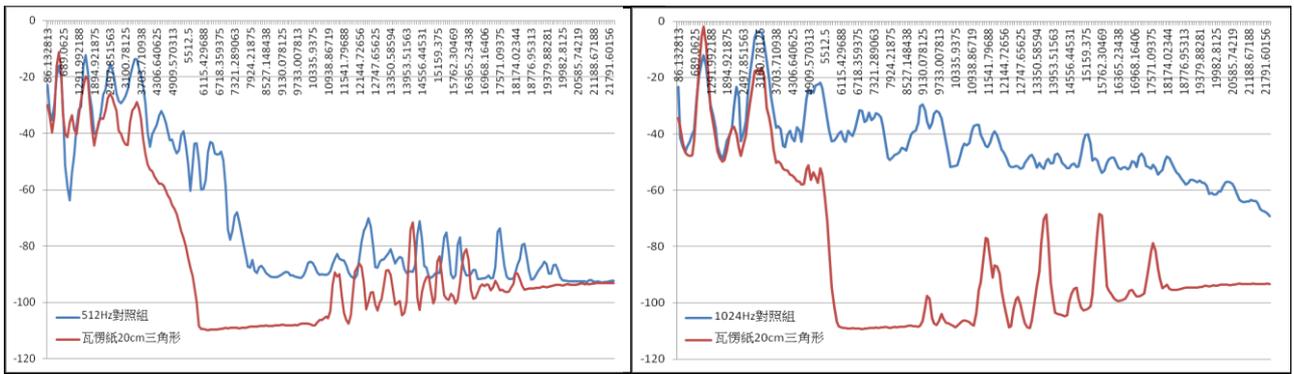


圖 7-14 對照組與瓦楞紙 20cm 三角形對照圖 圖 7-15 對照組與瓦楞紙 20cm 三角形對照圖

1.由圖 7-14、7-15 得知，中（512Hz）、中高(1024 Hz) 音頻經由瓦楞紙 20cm 三角形紙喇叭在 512 Hz 和 1024 Hz 強度皆明顯增強，且其它屬於較尖銳之不規則高音頻（通常為大於 5000Hz 的雜音）則相對減弱，既能提升響度，又能展現中、中高音頻乾淨、清晰的音質特色。適合聆聽人聲、管絃樂、長笛、洞簫等吹奏型音樂。

## 捌、結論

### 一、低音頻：

- (一)白棉紙 40cm 三角形紙喇叭所產生低頻震撼效果最佳，有類似家庭劇院的效果，適合聆聽熱門音樂、大鼓等音樂類型。
- (二)瓦楞紙 40cm 六邊形紙喇叭在低音頻的單點振幅最高，響度最高但共振少，所呈現的聲音單音清晰、乾淨，適合聆聽類似非洲鼓等小型敲擊樂器。
- (三)以三種紙材比較，白棉紙最適合製作要提升低音頻效果的紙喇叭。以形狀比較，三角形最適合製作要提升低音頻效果的紙喇叭。以長度比較，40 cm 較適合製作要提升低音頻效果的紙喇叭。

### 二、中音頻：

- (一)以瓦楞紙製成的 20cm 三角形紙喇叭，既能提升響度，又能展現中音頻音質特色。適合聆聽人聲及管絃樂的音樂類型。
- (二)以三種紙材比較，瓦楞紙最適合製作要提升中音頻效果的紙喇叭。以形狀、長度比較，我們發現形狀與長度對中音頻影響不大。

### 三、中高音頻：

- (一)白棉紙 40 cm 四邊形紙喇叭和瓦楞紙 20cm 三角形、圓形、四邊形，中高音頻中共振都減

少甚多，聲音顯得清晰、乾淨，適合聆聽**長笛、洞簫等吹奏型音樂**。

四、我們發現紙喇叭的形狀、長度和紙材對各音頻有不同程度的影響，在低音頻實驗中長度的影響較大，40cm 共振效果佳，三種紙材比較，白棉紙最適合製作要提升低音頻的紙喇叭。以形狀比較，三角形最適合製作提升低音頻效果的紙喇叭。但在中、中高音頻時紙材的影響大於形狀與長度，瓦楞紙最適合製作要提升中、中高音頻效果的紙喇叭。

五、從本實驗中我們發現，可以不同的形狀、長度、材質製作出**適合單一音頻需求之紙喇叭**，但**無法製作出適合全音頻的紙喇叭**。經由我們的研究結果整理如表 8-1、圖 8-1。

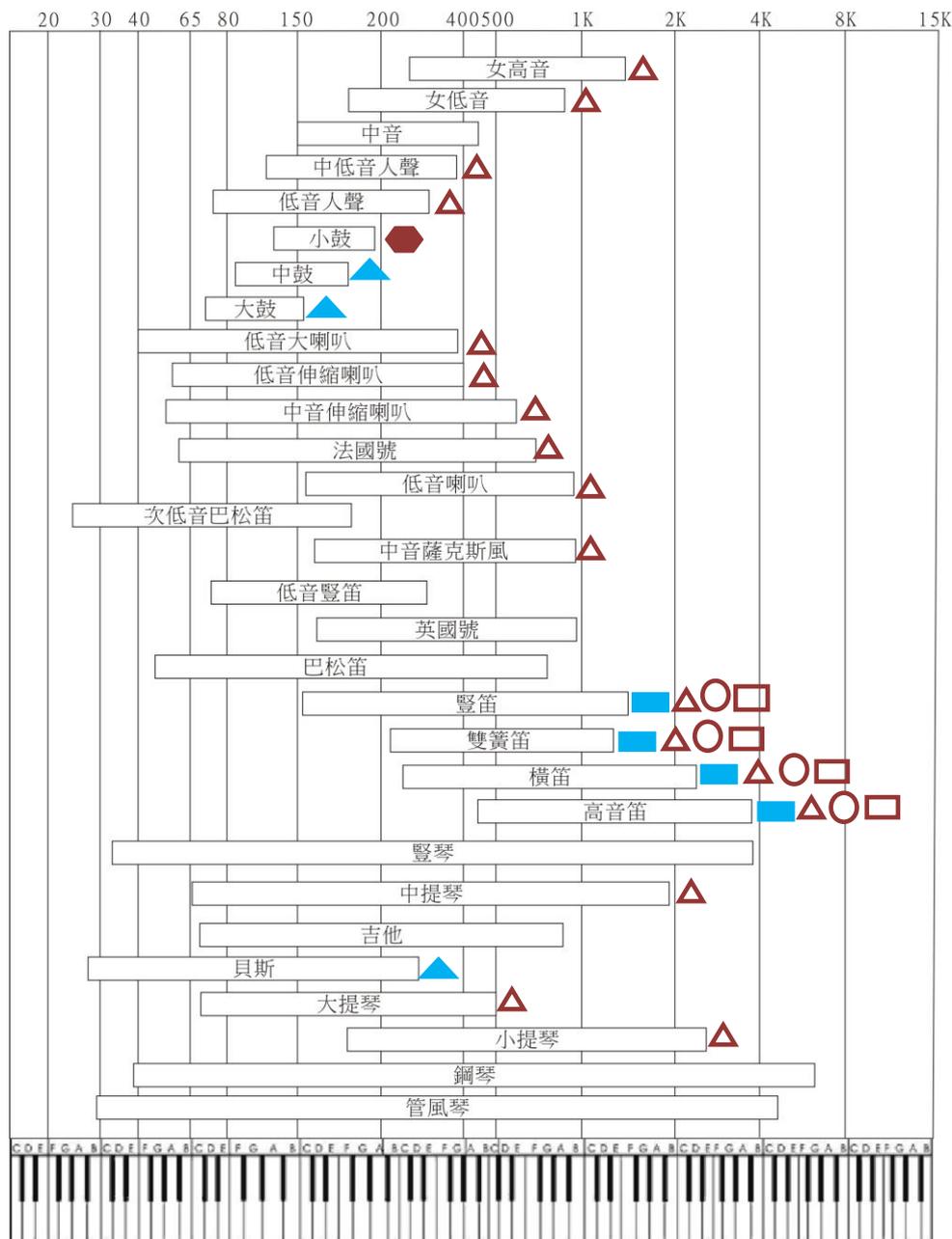


圖 8-1 適合聆聽不同樂器與人聲之紙喇叭

資料來源：參考 [http://stingsti.blogspot.tw/2013/07/blog-post\\_24.html](http://stingsti.blogspot.tw/2013/07/blog-post_24.html)，本研究整理

表 8-1 適合聆聽不同音頻之紙喇叭分類表

音頻	紙喇叭	圖例	適合聆聽音樂類型
低音頻	白棉紙 40cm 三角形		具家庭劇院的音效、大鼓、熱門音樂
	瓦楞紙 40cm 六邊形紙喇叭		非洲鼓等小型敲擊樂器
中音頻	瓦楞紙 20cm 三角形		人聲演唱、管弦樂
中高音頻	白棉紙 40 cm 四邊形		長笛、洞簫等吹奏型音樂
	瓦楞紙20cm三角形、圓形、四邊形		

## 玖、未來展望

- 一、本實驗只探討四種形狀紙喇叭、三種紙材，建議未來可以增加其他形狀與紙材的研究。
- 二、在未來研究可嘗試將不同形狀紙喇叭組合，以符合全方位音頻紙喇叭為目標。

## 拾、參考資料及其他

- 一、聲音探討(2015 年 11 月 20 日) · 取自: <http://samba.dges.tc.edu.tw/nature/voice/index.html>
- 二、國立台灣師範大學 物理系 黃福坤(2011/06/20) · 聲音的三要素—響度、音調、音品、共振和共鳴、聲波的波形與頻率的關係、聲音的產生與傳播 · 取自  
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=modules/sound/section2>
- 三、朱則剛(1995 年 12 月) · 頻率範圍 Frequency Range · 國家教育研究院 · 取自  
<http://terms.naer.edu.tw/detail/1679826/>
- 四、方波 · 維基百科 · 取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%96%B9%E6%B3%A2>
- 五、各種樂器以及人聲的頻率表(2015) · 取自  
[www.alteam.com.tw/zh-hant/blog/2011/09/29/instrument](http://www.alteam.com.tw/zh-hant/blog/2011/09/29/instrument)
- 六、賴建宇 · ACID 調音(EQ)與混音(MIX) · 取自 <http://www.midi.twmail.net/ltu09.htm>
- 七、等化器的調整方法(2013 年) · 取自 [http://stingsti.blogspot.tw/2013/07/blog-post\\_24.html](http://stingsti.blogspot.tw/2013/07/blog-post_24.html)

## 【評語】 080120

本作品從生活影音需求出發，設計適用於各種頻段的選擇性共振腔，值得更進一步設計實驗進行科學探究。