

不織布吸音性之研究

紡織工程科 潘毅鈞

摘 要

在現今追求高品質之社會，一個免受外界噪意干擾，及一個人聆聽音樂之環境，是每個人之夢想，因此研發吸音材料是一重要課題。過去由於相關實驗硬體，對於吸音材料作定量而客觀之測定較缺乏，所以國內一直缺乏完整可信賴之吸音性能資料庫，以供設計、規劃之用。

本研究主要利用成功大學建研所實驗設備，以一真空管阻抗干擾儀（Impedance tube interferometer）探討不織布基重厚度，透氣性對噪音吸收之影響，藉定量化之實驗測定結果，以探討不織布之吸音性能。本研究之主要內容如下：

第一部分：噪音吸收理論說明（第二章）

介紹吸音性定義與其理論，並推導吸音公式；並以不同製程之不織布，不同基重，不同透氣度來探討對吸音性能之影響。

第二部份：實驗設備與實驗方法（第三章）

說明吸音測試儀之操作，與不織布基重、厚度、透氣度之測法。

第三部份：結果與討論（第四章）

探討各種不同製程不織布之吸音性能，並針對基重、厚度、透氣度不同之變因於各頻率下對吸音性能之影響。

第一章 前 言

1-1 研究動機

由於人類文明高發展，人們生活步調加快，生活緊張忙碌；再外加上高使用密度之都會區的噪音公害，易使人們精神渙散，甚至崩潰。因此，在人們長期居住或上班的地方，便需要使用到吸音材，以減少噪音；或使聲音清晰，不混濁。以下列舉吸音材之使用時機：



1-1-1 隧道內之噪音

在交通量大的幹線道路、高速公路隧道，車輛在隧道內行駛時，車輛成爲音源，反覆反射，噪音值上升；司機易因噪音而有精神負擔，發生事態時，廣播、救護車、警笛的聲音不清楚，司機聽不見，可能造成大事故。

爲減輕此種問題，必需使隧道內部製成吸音性，以降低音壓級值及提升聲音清晰度，而吸音法有二種：(1)直接在隧道內壁張設內吸音材，(2)用有孔硬板或塑膠板在與內壁之間設10~15cm的間隙而施工；前者利用吸音材料的吸音特性，後者藉共鳴把特定周波數的聲音消除。而本研究是利用直接鋪設吸音材之方法。

1-1-2 地下道、大廳內的噪音

在機場通道爲使乘客能清晰地聽到廣播，並減少吵雜噪音，可利用從天花板鉛直垂下吸音材，以增大吸音材之表面積。

另外，對於演講廳、音樂廳便是需要一個低失真的聆聽空間，因此吸音材料之選擇與設計便是一個極重要的課題。

1-1-3 辦公室的噪音

隨著辦公大樓的智慧化，辦公室內人員的配置，機器的設置變動，較易使用。近代化辦公室職場區分，成開放空間，以便在一個樓層工作，而每個職員各自擁有電腦終端機、語言處理機、電話、傳真機等以提升工作效率。

但是，這些機器發生的噪音，電話，會議聲等擴散到周邊，空間全體的噪音級值上升，爲減低此種機器的發生音，通常使隔板兼具吸音音與隔音功能。

1-1-4 電話亭內之吸音

在使用相連之電話機，一方面不想讓旁人聽到自己的講話聲，且不要別人的說話聲影響到自己的談話，因此吸音材與隔音材組合之隔板，便是一項必需品。

1-1-5 田徑場殘響音的減低

在田徑場內，爲了使廣播聲清晰，且需使觀眾之歡呼聲清楚而不使聲音反覆反射，造成噪音級值上升，亦需使用吸音材來達到此目的。⁽⁶⁾

1-2 研究目的

- (一)利用不織布取代玻璃纖維棉。因玻璃棉爲目前最普遍採用之吸音材，但玻璃纖維會造成皮膚過敏及其加工性較差等原因，因此吸音良好之不織布的研究爲今後重要課題。
- (二)探討各種不同製程之不織布，對吸音性質之影響，以供使用業者參考之用。
- (三)檢討影響吸音性之變數，並藉實驗測試之數據檢測其影響之程度，以提出改善吸音性設計之建議。

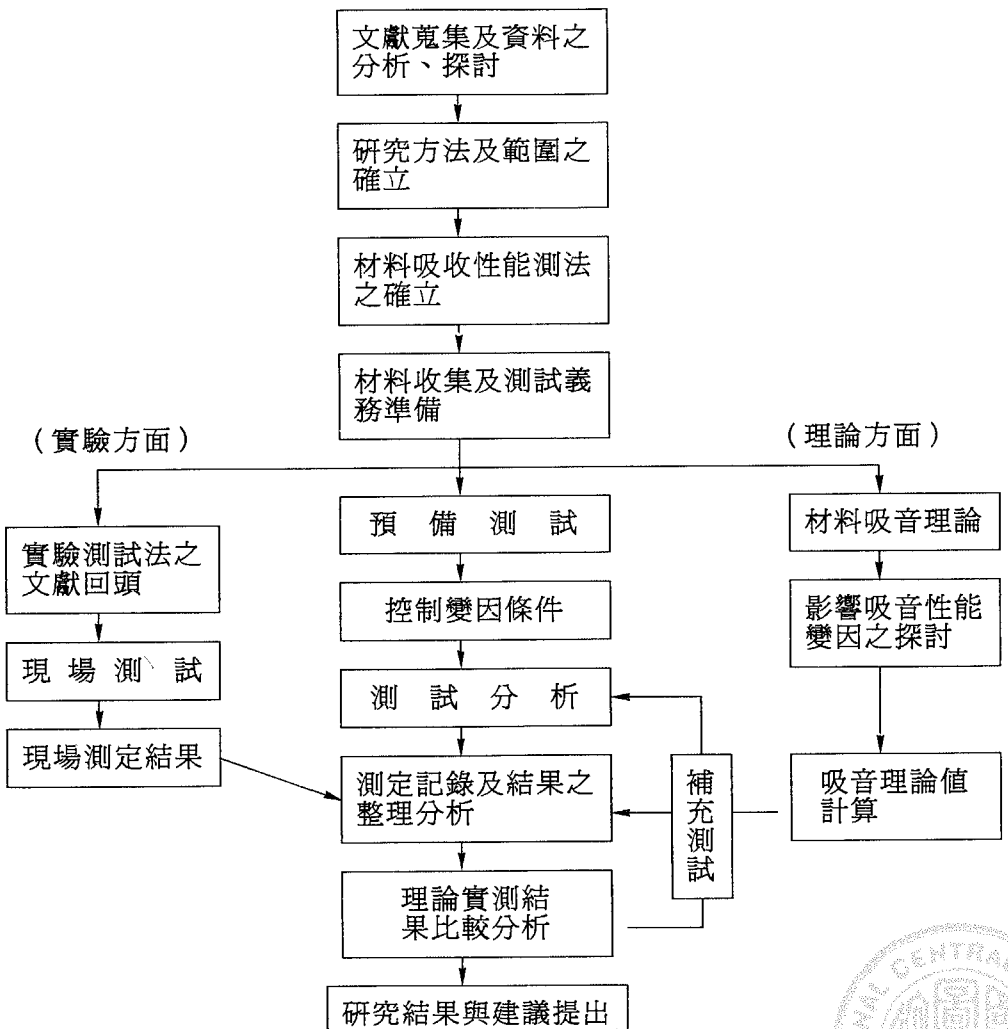


(四)不織布為臺灣現今幾年新興之工業，採用不織布來做研究，一方面因其比重低且價格低廉，可大量投資；一方面可增大不織布之市場需求。

1-3 研究範圍

對於噪音控制工程上可分為隔音，與吸音兩部份；而吸音工程又可分為(1)直接使用吸音材來達吸音功能(2)使用有孔硬板或塑膠板在與內壁之間設間隙而施工，利用共鳴現象來吸音。本研究擬探討不織布直接鋪設對吸音性能的影響，並探討不織布不同製程，不同厚度，不同基重，不同透氣度等變因，於頻率125、250、500、1000、2000、4000 Hz 下之吸音率，最後更以各種不織布之疊層，來檢測吸音性能，以期得到最好吸音效果之試樣。

1-4 研究架構流程：



第二章 吸音性之基本理論

本章節旨在說明，材料吸音性之定義，計算理論及建構不織布之吸音模式，分別針對空孔、透氣度來說明，並探討聲音能量於吸音測試管內之衰減問題。

2-1 吸音性之基本定義

吸音性的好壞以吸音率（ α 值）的大小來度量，依我們所用的系統，最大為1，最小為0。

根據第三章之實驗儀器說明，我們可正確地假設在駐波管中，有一音響平面於波循法向入射於試片，考慮於某一特定參考點，當於一特定時間，其入射波之聲壓方程式為

$$P_i = A \sin 2\pi ft \quad (1)$$

而於同一瞬間（在不考慮入射波與反射波之相角下），於同一參考點之反射波聲壓方程式為：

$$P_r = B \sin 2\pi f \left(t - \frac{2y}{c} \right) \quad (2)$$

其中： P_i = 入射波之聲壓，單位 P_a

P_r = 反射波之聲壓，單位 P_a

f = 正弦波之發生頻率，Hz

y = 觀測點至樣品表面之距離，m

c = 吸音管內之聲速，單位 $m^{s^{-1}}$

t = 測量時間，單位s

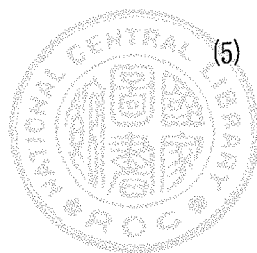
所以該點之總聲壓 P_y 為：

$$P_y = P_i + P_r = A \sin 2\pi f \left(t - \frac{2y}{c} \right) \quad (3)$$

由差角公式： $\sin(\theta - \phi) = \sin\theta \cos\phi - \cos\theta \sin\phi$ 代入(3)式

$$P_y = A \sin 2\pi ft + B \left[\sin 2\pi ft \cos 2\pi f \frac{2y}{c} - \cos 2\pi ft \sin 4\pi f \frac{y}{c} \right]$$
$$y = \frac{\lambda}{4} \text{ 時, } P_y = (A + B) \sin 2\pi ft \equiv P_{\max} \text{ 爲最大值} \quad (4)$$

$$y = \frac{\lambda}{4} P_y = (A - B) \sin 2\pi ft \equiv P_{\min} \text{ 爲最小值} \quad (5)$$



其中 $\lambda \equiv \text{波長} \equiv c/f$

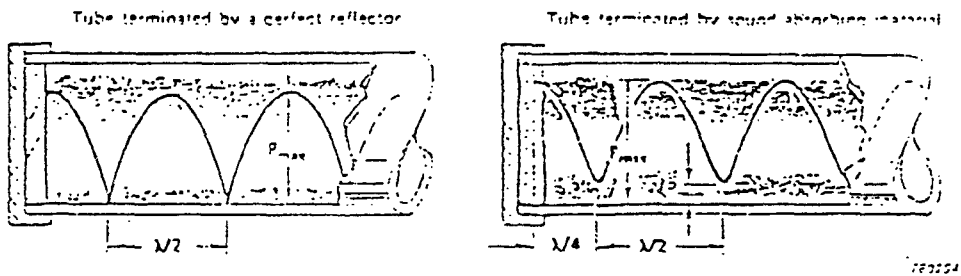


圖2-1 吸音管中駐波壓力型式與受吸音材吸音後之情形。

因此將麥克風（觀測點）置於離試樣表面 $\lambda / 2$ 處，便可測得頻率 f 時之最大振幅（ $A+B$ ）。

樣本之吸音係數（ α ）定義為：試樣吸收之能量與聲波入射能之比值，而能量正比於聲壓之平方，所以

$$\alpha \equiv \frac{\text{吸收能}}{\text{入射能}} = \frac{A^2 - B^2}{A^2} = 1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2 \quad (6)$$

$$= 1 - r^2 \quad (7)$$

其中 $\lambda \equiv \frac{B}{A}$ (8)

是入射波與反射波振幅之比重。

若定義駐波比（standing wave ratio）： n 為吸音管中所測得之最大與最小聲壓之比值

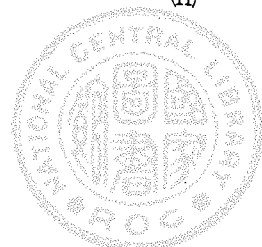
$$n \equiv \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \quad (9)$$

$$\therefore n = \frac{A+B}{A-B} \quad (10)$$

$$\text{由(10)} \Rightarrow \frac{n}{1} = \frac{A+B}{A-B} \quad \therefore \frac{n}{n+1} = \frac{A+B}{2A}$$

$$\frac{2n}{n+1} = \frac{A+B}{A} \Rightarrow \frac{n-1}{n+1} = \frac{B}{A} \quad (11)$$

因此由(6)(11)，則噪音吸收係數可以駐波比來表示：



$$\alpha = 1 - \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \quad (12)$$

$$\therefore \alpha = 1 - \frac{4n}{(n+1)^2} \quad (13)$$

(13)式：吸收係數與駐波比之關係可由圖2-2看出^[4]

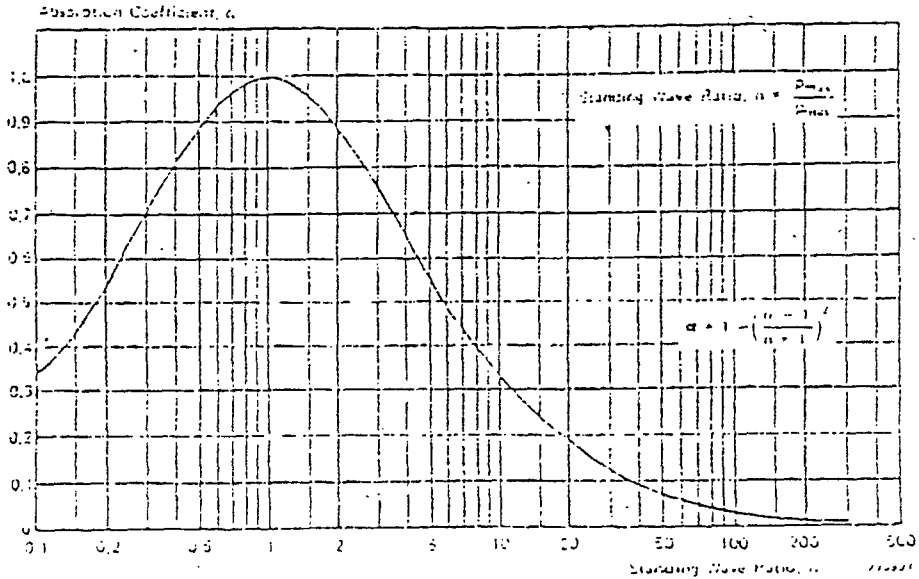


圖2-2 吸音係數與駐波比之關係圖

2-2 實驗所用之吸音係數計算理論

人耳對壓力現象是一種十分敏銳的測量器，其可感覺頻率範圍約於16 Hz~20,000Hz之間。對於相同之聲位壓力之下，人耳所能容忍之感覺並不一致，一般是低頻率比高頻感受強。

而入耳所能聽到之最低壓力為 $20 \mu \text{ N/m}^2 = 20 \mu \text{ Pascal}$ 因此定義

$$20 \mu \text{ Pa} \equiv 0\text{dB} \quad (14)$$

$$\text{即聲音壓力位準 } L_p = 10 \log \frac{P^{2(5)}}{P_0} \quad (15)$$

其中：P為實際壓力，單位 $\mu \text{ Pa}$

P_0 為參考值，即 $20 \mu \text{ Pa}$

L_p ：單位dB（分貝）



(由於聲音係以波動方式傳播，壓力位準應取其RMS 值〔註〕故以 P^2 表示聲壓於準)

$$\text{由(15)式 } P = 20 \cdot 10^{\frac{L_3}{20}} \quad (\mu \text{ Pascal}) \quad (16)$$

本實驗利用Bruel & Kjaer阻抗干擾儀，可測得駐波之最大壓力位準 L_{\max} 單位dB，與最小壓力位準 L_{\min}

$$\text{代入(16)} \Rightarrow P_{\max} = 20 \cdot 10^{\frac{L_{\max}}{20}} \quad (\mu \text{ Pa}) \quad (17)$$

$$P_{\min} = 20 \cdot 10^{\frac{L_{\min}}{20}} \quad (\mu \text{ Pa}) \quad (18)$$

將(17)(18)代入式(9)可得以聲壓位準表示之駐波比

$$n \equiv \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{10^{\frac{L_{\max}}{20}}}{10^{\frac{L_{\min}}{20}}} = 10^{\frac{L_{\max} - L_{\min}}{20}}$$

因此又有一駐波比 L (單位dB) 之定義：

$$L = L_{\max} - L_{\min} \quad (20)$$

將(19)(20)式代入(13)式

$$\alpha = \frac{4n}{(n+1)^2} = \frac{4 \cdot 10^{\frac{L}{20}}}{(10^{\frac{L}{20}} + 1)^2}$$

(21)式即本實驗所應用計算吸音係數 α 之方法

2-3 不織布之吸音模式

而空孔、透氣性等物性對吸音性能影響之原因是：當聲波衝擊在多孔性物質表面時，材料表面之小孔將承受振動，這種小孔內之流體阻力，將聲波能轉化為熱能，而達吸音效果。

另外吸音材料將音能轉變為熱能過程有三種：

- (1)熱傳導所致的衰減。
- (2)空氣粘性所致的衰減。
- (3)材料機械振動所致的衰減。^[8]

2-4 衰減問題

因吸音測試管內表面光滑，且質堅硬，可將吸音管所吸收之音能忽略，因此可於吸音測試管之中量測到數個相等大小之最大聲壓 (L_{\max}) 與最小聲壓 (L_{\min})，如圖2-3， L_{\max} 與 L_{\min} 將為兩互相平行之水平線。但是，實際上 L_{\max} 仍可視為水平線，而 L_{\min} 將隨距試樣之距離而逐漸上升，因此若能測得 L_0 值，便可不用考慮吸音管所吸收之聲能。



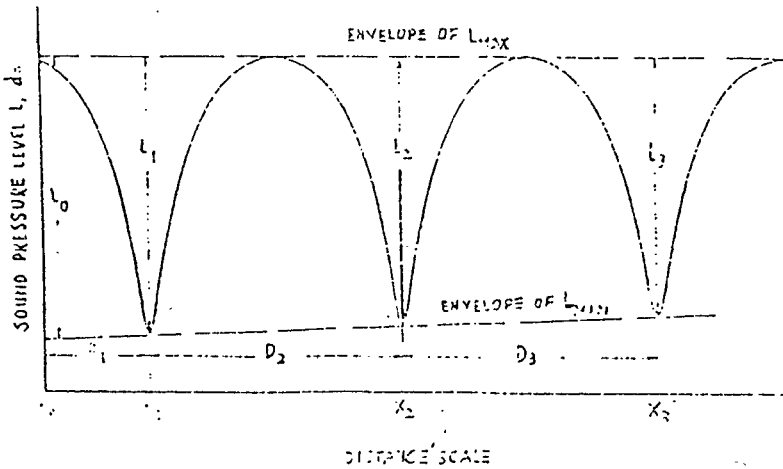


圖2-3 聲壓級 (dB) 與距試樣表面距離之關係圖

經實驗，可測得第一個最大值位置 X_0 ，與第一個、第二個最小值位置 X_1 ， X_2 ；另外第二個、第三個駐波比 L_1 ， L_2 亦可測得，最後利用外差法：

$$L_0 = L_1 + \frac{X_1 - X_0}{X_2 - X_1} (L_1 - L_2)$$

便可得到入射波與由吸音材反射後之聲波所造成之駐波比，而且可以不顧慮到吸音測試管本身之吸音導致音壓衰減所產生的影響。^[11]

〔註〕 RMS SOUND Pressure：最普之聲音，均含有自平衡，壓力值所度量之迅速，不規則連續之壓力擾動（壓縮），及負壓力擾動（稀薄）。若吾人欲度量聲音壓力擾動之平均值，由於有若干個正壓縮便有若干稀薄，故此平均值必為零。因之，聲音壓力平均值並非有用之法。吾人之必需尋求一種方法，使得稀薄之效用加諸壓縮之效用，而非自壓縮中減去。

此法即均方根（Root-mean-square）聲音壓力 P_{rms} 係將每一瞬間之聲音壓力擾動值予以平方而得。此項平方值予以相加，而平均分佈於抽樣時間，此項均方根聲音壓力乃是時間平均之平方根。由於平方作業，將所有負聲音壓力變成正平方值，是以均方根聲音壓力是一種音波大小有用而非零之度量。^[9]

第三章 實 驗

3-1 吸音率測試儀器

本研究係採用 Bruel & Kjaer 公司生產之吸音管阻抗干擾儀測試材料之吸音性；此



套設備計有型號1023之正弦波發生器，2606測量放大器；1618：固定頻寬濾波器；與4002之測試管加上揚聲器。

3-1-1 型號1023正弦波發生器 (Sine Generator)

一台低失真的正弦波發生機，穩定輸出頻率可由8HZ至22.5KHz，且每0.1sec可回饋一次，以校正輸出之頻率。而輸出頻率有粗調，及二個微調鈕以直接控制，亦可用外接電子訊號加以控制。而其頻率調整可依對數型式變化，因此對較常使用之頻率範圍（31.5HZ—8KHz）可調得更精確數值，且其輸出頻率具有中數位式電子顯示器，讀取頻率極方便。

3-1-2 型號2606訊號放大器 (Measure Amplifier)

一台可於2Hz~200KHz操作之訊號放大器，對於一般使用時，具有將225KHz以下及225KHz以上之雜訊消除之功能（22.5Hz High pass filter與225KHz Low pass filter）。

此機台之運作是將型號4002之台車送回之電壓加以放大，顯示於儀表上，在儀表上並有直接換算為分貝之刻度，並可於0.125sec時間內，將所讀取之音壓取均方根（RMS）一次後、而顯示於儀表上。另外利用ext鈕與訊號線可與1618濾波器連接，讀取設定頻率附近之訊號。

3-1-3 型號1618通帶式濾波器 (Band pass filter)

此台可於頻率2Hz至20KHz依1/3標準八度頻率（1/3 standard octave bands）規格，直接地調到中央頻率，而其二相鄰頻率刻度之上頻率永遠是下頻率之 $\sqrt[3]{2}$ 倍（ie.500Hz之上相鄰頻率為630Hz），且具一數位顯示器，可直接讀出現今所調之中央頻率。另外，此機台之濾波通帶也滿足最嚴格之規格，如IEC 225-1966, DINC 45651（1/1 oct.）與45652（1/3oct）^[3]，ANS S1.11-1966級數II（1/1-oct.）與等級III（1/3-oct）。

由放大器將訊號送至濾波器，其濾波頻帶寬為1/3-oct為定比幅式頻寬，即若其濾波中心頻率為 f_n ，則其切離頻率上限 f_u （Upper cut-off frequency）為 $\sqrt[6]{2} f_n$ 而切離頻率下限 f_l （Lower cut-off frequency）為 $\frac{1}{\sqrt[6]{2}} f_n$ ，即 $f_n = \sqrt[3]{2} f_l$ ，所以其頻寬（B

$$\cdot \text{W}\%) = \frac{f_u - f_l}{f_n} \times 100\% \approx 23\% \text{。}^{[5]}$$

因此若其中心頻率為1000Hz則濾波頻寬為230Hz。

3-1-4 型號4002

揚聲器：將1023所產生之各頻率正弦波，以平面波之方式傳送進入吸音測試管。



吸音測試管：此測試管內表面光滑，內壁結實、剛硬，其因聲能通過產生之振動衰減，可忽視。可分大管（內直徑99mm），其適合量測頻率範圍為90Hz至1800Hz；小管（內直徑29mm），適合量測頻率為800Hz至6500Hz此係需滿足

$$f < 0.586 \ c/d \tag{3-1}$$

$$\text{or } d < 0.586 \ c/f = 0.586 \ \lambda \tag{3-2}$$

其中 f：頻率，Hz

d：管之內徑，m

c：管中之聲速，m

λ ：給定頻率之波長，m

乃因：當頻率大於以上之規定時，則波會向截面力向行進，因此入射波與反射波便不為平面波；另外若頻率小於該範圍時，雖非入射平面波，但沿管內行進一段短距離後，便變為平面波。

管長度，最好以可容納測得2個最小值為要求，因此管長必須滿足

$$3\lambda / 4 < (l - d) \tag{3-3}$$

l：管長，m

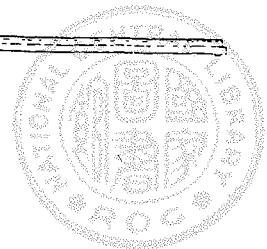
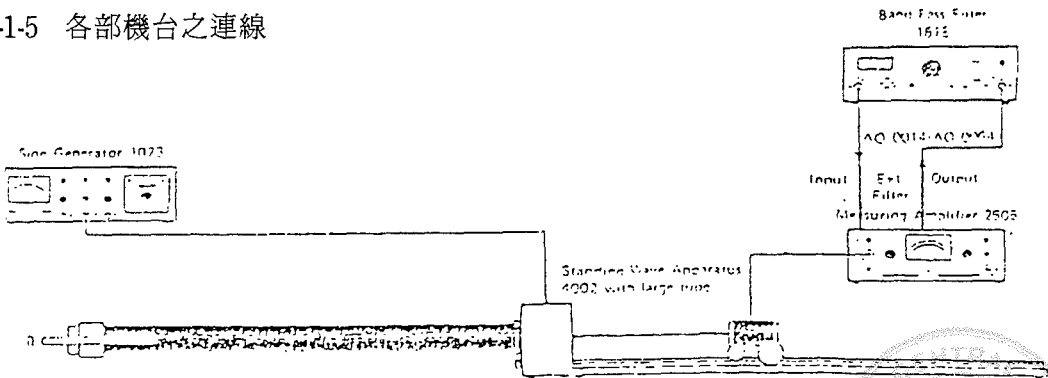
因此大管之長度為1m；小管為280mm。

另外，大、小管之裝置試樣容器可容納試樣0至95mm之厚度。

台車：一具探針之台車，可沿已做好之軌道行進，且軌道上具一刻度至1mm之長尺可量測出音壓最大，最小值間之距離與位置，而軌道長達1.15m。

音壓這入探針後，使台車中之薄膜振動而產生微小電壓，經訊號線送至2606，將訊號加以放大。另外因探針有一支架支撐，使其永遠位於管之中心軸，故所測得為正向之音壓級。

3-1-5 各部機台之連線



3-2 實驗步驟

3-2-1 吸音性測試

(1)依3-1-5之連線，裝置機台。

(2)機台設定：

1.1023之設定：

Generator	"Off"
Ref. Signal	"Off"
Sweeh Control	"Manual/Ext.Mech." and "log"
Compressor Speed	"Off"
Modulation Frequency	"Mod.Off"
Counting Time	"0.1s"
Power	"On"

2.2606之設定：

Gain Control	"Cal"
Filters	"Ext"
Output Section Attenuator	"×1"
Meter Function	"RMS Fast"
Input	"Direct"
Power	"On"

3.1618之設定：

Bandwidth	"1/3 Octave"
Range	"2Hz-20KHz-A-Lin"
Filter Control Mode	"Manual"
Power	"On"

依大、小管之內徑、剪好試樣。

(3)裝置數片樣品加以疊層，不施加任何應力。

(4)將2606 Input Section Attenuation (ISA鈕)調至"10V"，以避免台車送回之電壓放大後過大，使保險絲燒掉。

(5)將1023之輸出頻率調至125Hz，且1618之濾波中心頻率配合之。

(6)將1023之Generator打開，並將其Output Voltage調至2V，此時揚聲器便會發出聲響

。



- (7)滑動台車，並適度地調整2606之Input Section Attenuation (I.S.A鈕)使其量測分貝表上之指針可於安全區間操作，大約是探針接近試樣時可得一最大之音壓，紀錄分貝表上之數值 L_{max} (dB)，並視此時台車上刻痕之位置 X_0 。
- (8)將滑車後滑，調整ISA鈕，可得一最小值 L_{min} (dB)，此時台車位置於 X_1 。
- (9)再將台車往後滑可得一最大值 L_{max2} 與最小值 L_{min2} ，其最小值位置為 X_2 ，記錄之（但12-5Hz時此些值無法測出）。
- (10)代入第二章式(28)，便可求得 L_0 ，再代入式(2)即可求出吸音率。
- (11)將(5)之125Hz改為250Hz，重覆步驟(4)~(10)。
- (12)同(11)，但頻率250%改換為500Hz。
- (13)改變(3)之層數，重覆(4)~(12)。
- (14)改變試樣，重覆步驟(4)~(13)。
- (15)將大管換成小管，但小管測量頻率為1000，2000，4000Hz，其他同大管之步驟(3)~14。
- 。
- (16)將(3)~(15)再重覆一次，將所得之二個 α 值取平均。

3-2-2 基重測定

利用基重切割刀，可裁出一片 10cm^2 口之圓，將材料切割出20個試樣，任取片10片疊層，利用電子秤測重，將數但乘以十倍之重，即不織布之基重，單位(g/m^2)將2個基重取平均。

3-2-3 厚度測定

將材料疊10片，利用游標尺之量外徑夾頭，輕碰材料，讀取數值至刻度 0.1mm ，將數值除10，即單片之厚度；再重複以上步驟十次，將十個數據平均後，即可得到厚度。

3-2-4 透氣度測定

使用KES-F8-API機型之材料空氣抵抗測定裝置(Air Permpability Tester)，其測定原理是將一定體積的空氣流量 $4\text{c.c}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ，造成試片二端壓力差 $P(P_a)$ ，而測得空氣抵抗性 $R(\text{kpa} \cdot \text{s})$ ，此值對於一材料為常數值。

若照J.I.S之標準，材料之透氣度是施加一定壓力差 $P'=124P_a$ ，所透過的空氣流量 $V(\text{c.c}/\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ，因 R' 為常數，若定義 $R' \equiv 1000R(R: P_a \cdot \text{s}/\text{m})$ 則

$$1000R [P_a \cdot \text{s}/\text{m}] \equiv \frac{P' [Pa]}{(V \times 10^{-2}) [m/s]} \quad (3-4)$$

所以 $(V \times 10^{-2}) [m/s] = \frac{124 [P_a]}{1000R [P_a \cdot \text{s}/\text{m}]} = \frac{124}{1000R} [m/s]$



$$\text{則： } V \text{ [cm/s]} = \frac{124}{10R} = \frac{12.4}{R} \text{ [cm/s]} \quad (3-5)$$

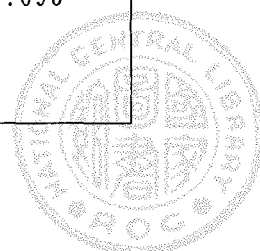
因此方氣度 V (c.c./s · cm²) 便可藉3-3與測出之 R 值代入而得。^[13]

3-3 實驗材料

實驗材料如表1所示。唯試樣取得不易，均用疊層後再測試。各疊層材料之資料均以一片試樣之資料與疊層片數相乘後而得。

表1 各試樣一片時之基本資料

試樣 (一片)	材 質	基重 (g/m ²)	厚度 (mm)
熔噴不織布 (MELTBLOWN)	P. P.	222.53	1.936
紡黏不織布 (SPUNBOND)	P. P.	38.37	0.346
紙纖不織布 (PULP)	紙 漿	70.76	1.562
針 軋 棉 (NEEDLE PUNCH)	P. P.	170.74	3.349
軟 本 片 (CORK)	軟 木	536.24	2.750
起 毛 布	毛絨：PAN 底部：PET	482.60	10.340
氈 子	毛絨：PAN 底部：PET	292.60	1.980
S. M. S.	SPUNBOND + MELTBLOWN + SPUNBOND 二種材料複合	189.03	1.695



第四章 結果與討論

本實驗依照理論，控制不織布之吸音性的變化因子有：基重、厚度、透氣度與其製程、材質，且於各頻率下其影響程度又有所差別；茲於以下做各別討論，說明變化因素對吸音性能之影響，以作為吸音工程設計之參考依據。

4-1 固定製程下，不同片數對吸音性之影響

圖1到圖14中，不考慮材料的基重、厚度、透氣性等因素，取1片到15片測試其吸音性，以做為往後測試取樣的依據。

從圖中可明顯看出，當頻率增加時，材料之吸音性有漸漸上升的趨勢，而且，疊層片數增加時，吸音性亦有上升趨勢。

除了紡黏不織和軟片之外，我們所測試的材料吸音率在高頻（ $f \geq 2000\text{Hz}$ ）皆有達到0.8以上的現象。因為紡黏不織布在疊層15片時厚度遠較其它試樣為薄；而軟木片其透氣性極差，所以高頻時之吸音率不如其它材料理想。

4-1-1 熱風與熱壓之比較

熱風與熱壓是自工廠取得同基重，同材質、不同製法的二種試樣，做為對照組使用。因為熱風較具膨鬆性，空孔較多，所以其吸音率較熱壓為高。

（參考圖11、12與13、14）

4-2 基重對吸音性的影響

（參考圖15~19）

4-2-1 針對各別試樣討論

吸音率於各頻率下皆隨著基重增加而增加，但於低頻（ $f \geq 250\text{Hz}$ ）吸音率並無顯著之增加；高頻於基重大約 $1000\text{g}/\text{m}^2$ 時達最大吸音效果，隨後稍有下降之趨勢而達一定值。 $f=500\text{Hz}$ 於基重大於 $700\text{g}/\text{m}^2$ 有較顯著之上升，達某一值後吸音效果比 $f=1000\text{Hz}$ 之吸音效果良好。

4-2-2 相同基重範圍內，不同試樣吸音之比較

在取基重 $100\text{g}/\text{m}^2$ 到 $1600\text{g}/\text{m}^2$ 之間，針軋棉與紙漿呈現較好之效果，而且於高頻時可達到0.9以上，因兩者透氣性良好，孔隙較多，而有良好吸音效果。

紡黏不織布，SMS和熔噴不織布則因其透氣性較差而有較差的吸音率。雖然熔噴不織布於高頻時，其吸音率皆較其他試樣為低，但其於基重 $700\text{g}/\text{m}^2$ 時，便可使中高頻時之



吸音效果達最大，而且於此基重範圍內，吸音率隨基重之增加的增加率較紡黏不織布與SMS顯著（即其曲線的斜率增加速度較快），且與紙漿、針軋棉有相近之效果，因此市場上大多選用熔噴不織布為吸音材，所以我們往後選用熔噴不織布充當底層材料來做疊層測試。

4-2-3 同一基重範圍內，試樣於各頻率之吸音比較

在我們所取基重範圍內，當基重增加時，吸音率皆有上升的現象。

（參考圖20~25）

- 1.125Hz：圖20中雖可以看到曲線起伏很大，但因為是y軸吸音率經過放大，實際上其差距是非常小的，所以我們可忽略基重對125Hz的影響，而將其視為一平滑直線看待。
- 2.250Hz：當基重大於 $500\text{g}/\text{m}^2$ 時，各曲線皆有上升趨勢，而以針軋棉和紙纖不織布表現最好，因為這二種試樣在厚度上都比其它三者厚，而且透氣性也比較優越。
- 3.500Hz：基重大於 $700\text{g}/\text{m}^2$ 時，除了各曲線顯著上升之外，產生了一個意外的現象，即熔噴不織布吸音比針軋棉和紙纖不織布好。如果只比較厚度和透氣性是無法解釋這一特殊現象，我們認為因為熔噴不織布的纖維較細，可能產生較明顯的材料機械振動，並與頻率產生吻合效果（coincidence effect），如果產生吻合效果，會使吸音率大大的提昇，這一現象的發生，也可能是市面上音響吸音材料採用熔噴不織布的原因。唯這一因素我們並無法控制，也無法做有效的測試來驗證，是本實驗中一大缺憾！
- 4.1000Hz：在圖23中，所有曲線從最輕的基重開始便保持一直上升的趨勢，可見在1000Hz，增加基重還是可以有效地使吸音率上升。而且各吸音率高低順序也與厚度大小順序符合，印證了厚度增加對中頻吸音率有顯著效果（即厚度對中頻之吸音率影響較大）。而熔噴不織布在1000Hz時的吸音率不像500Hz時優於針軋棉和紙纖不織布，而與厚度關係呈現正比的情形，足見其吻合效果不如500Hz時強烈。
- 5.2000Hz：圖24中，在基重未達到 $800\text{g}/\text{m}^2$ 時，其效果與原因和在1000Hz時並無多大區別；但在 $800\text{g}/\text{m}^2$ 之後，即更增加熔噴不織布的基重，也無法使吸音率上升，換句話說，熔噴不織布在2000Hz於基重 $800\text{g}/\text{m}^2$ 時，便已達到最大的吸音率。如果針對2000Hz的疊層要使用熔噴不織布在並不須要超過 $800\text{g}/\text{m}^2$ 的基重。
- 6.4000Hz：圖25中熔噴不織布達到吸音率水平上限的基重又比2000Hz時為輕，而且其它的試樣也出現了水平上限值，甚至針軋棉和紙纖不織布都可達到吸音率的最佳狀況，可見同一試樣同一基重在越高頻率時，吸音率越好，換句話說，越高頻率的聲音越容易消除。如果已達到最佳的吸音率，即使再增加厚度或增加基重，也不能再使吸音率提高，所以頻率增高時，厚度便會漸漸失去主導的地位。

至於各試樣達到吸音率水平上限的部份，稍後有詳細的討論。



4-3 厚度之影響

(參考圖32~36)

4-3-1 針對各別試樣探討

吸音率於各頻率，皆會隨著厚度之增加而上升；其中所有測試試樣於低頻 ($f \geq 250$) 下，吸音率皆很小，因此無法明顯看出厚度的影響；但於中高頻時，厚度之影響便相當顯著。

由圖32至36可發現，於4000Hz時吸音率會達最大值，而後下降，但達最大值之厚度：紙漿與針軋棉相近，約為23mm厚；而紡黏不織布、SMS，熔噴不織布較相近，約為8mm厚。此因針軋棉、紙纖不織布之氣度相近，但卻遠較其地三者為高。

當紙纖不織布和針軋棉厚度為23mm時、二者基重大約相同，但針軋棉透氣性比較高，所以他們在4000Hz最大吸音率針軋棉略高。而另外三者厚度8mm，紡黏不織布和SMS基重相近，前者透氣性略高，所得到最大吸音也較高，二者也都比熔噴不織布高一些，故有較高的吸音。

4-3-2 於相同厚度範圍內，不同試樣之吸音比較

取厚度於1.3mm至12之範圍：紡黏不織布，SMS，熔噴不織布皆可達最大值，即於4000Hz時吸音率可達0.7~0.8左右；且於達最大值之前，吸音率隨厚度增加之變化率皆比針軋棉、紙纖不織布還大，因此在有厚度限制下（取7mm以內）則紡黏不織布，SMS，熔噴不織布之吸音率於各頻率皆會比針軋棉、紙纖不織布還好。其中熔噴不織布於500-Hz~4000Hz之吸音率隨厚度增加之變化率又高於紡黏不織布與SMS，因此再度說明選用熔噴不織布單片為疊層之底層的想法。

但若在要求吸音性能前題下，針軋棉與紙纖不織布的厚度達17mm以上時便可於各頻率下吸音率超過紡黏不織布與SMS，可惜的是於500Hz與1000Hz時，無論針軋棉與紙纖不織布疊層至多厚，仍較熔噴不織布遜色，再由此更可說明熔噴不織布於500、1000Hz時之優越吸音性。

4-4 透氣度的影響

透氣度是一個可以代表孔隙多寡的物理量。對於具相同厚度，基重下，若透氣度愈大即孔隙愈多，便可獲致相對較好之吸音性。由圖37可看出：各試樣於基重110g/m²左右時，透氣性好壞依次為針軋棉、紙纖不織布、紡黏不織布、SMS、熔噴不織布，而且於頻率4000Hz時吸音率之最大值順序亦如以上之排列，因此可歸納出：透氣性愈大，於切4000Hz時會更最大之吸音率愈高。



另外由圖37可看出，各材質透氣度隨基重之增加而減小，但由前幾節敘述知：吸音性隨基重之增加而增加，似乎有所矛盾？其實不然，因吸音效果取決於材料之室孔多寡，若採吻合效果來解釋：孔孔愈多則剛好可以吸收聲源放射出之各頻率聲波而產生其振之孔隙也會隨著愈多；但若將試樣壘層，則會因阻力愈大而使透氣度減小，而壘層後之材料其孔隙非但不會減少而會隨其壘層之層數而增加。因此，針對同一試樣：基重愈大，吸音效果愈好，而透氣度主卻愈差（但其孔隙仍愈多）。

4-5 複合壘層

本節想利用各種試樣於各頻率之吸音特性，組合出一種於各頻率皆吸音良好之樣品，以為廠商之參考而從事之研究。

4-5-1 以熔噴不織布為底層之效果（參考圖26、27）

於4-2與4-3可知熔噴不織布於厚度7mm以內，吸音率隨厚度增加而迅速上升達一最大值，且市場上皆以熔噴不織布為音響材料，因此我們選取熔噴不織布作為底層材。

因紙漿、針軋棉之吸音率可達較高之值，因此選用二者與熔噴不織布作壘層加以比較。

(一)數層紙織不織布+熔噴不織布底層：（參考圖26）

於基重較小時，可明顯顯示出熔噴不織布於中頻時之優越特性；而於其地頻率以熔噴不織布為底與於同基重下純織不織布吸音性質差不多，且於較大基重時，吸音率甚至可超過純紙織不織布。

(二)數層針軋棉+熔噴不織布底層：（參考圖27）

與(一)之性質相近，但(二)於頻率1000、2000Hz時，皆比純針軋棉要差得多。

4-5-2 以起毛布和氈子為表層之效果（仍以熔噴不織布為底）

紙織不織布、針軋棉雖吸音性良好，但紙織不織布怕水，不耐磨，且有時市場需求，更要求美觀，因此作起毛布或氈子於布表層對吸音效果之探討：

(一)起毛布+數層紙織不織布+熔噴不織布底層：（參考圖30）

除了於頻率125Hz時比未加起毛布之吸音性還好外，頻率4000Hz於較高基重尚能達到未加起毛布之效果外，其他吸音效果皆較差。

(二)起毛布+數層針軋棉+熔噴不織布底層：（參考圖31）

與(一)之效果相似。

(三)氈子+數層紙織不織布+熔噴不織布為底：（參考圖28）

同(一)，但於4000Hz於較低基重時，便可達“紙織不織布+熔噴不織布”之吸音效果。



(四)氈子+數層針軋棉+熔噴不織布爲底：(參考圖29)

第五章 結論與建議

本研究旨在對各種製程，不同基重、厚度、透氣度等變化因子，探討其對吸音性之影響，以作爲吸音工程設計之參考依據。

5-1 結 論

(一)製程之影響：

- 1.以熱風、熱壓爲例，二者同基重，但因熱風較膨鬆、因此具有較好之吸音性。
- 2.針對同一試樣：吸音率會隨頻率之增加而上升，吸音率亦會隨片數增加而有上升之趨勢。
- 3.紙纖不織布、針軋棉之吸音效果較好。

(二)基重之影響：

針對各別試樣：吸音率於各頻率皆有隨基重增加而提高之趨勢。

(三)厚度之影響：

- 1.厚度增加，對中高頻之吸音率影響較明顯。
- 2.熔噴不織布於厚度7mm以內，吸音率可隨厚度增加而迅速上升達一最大值，因此選用二層以內之熔噴不織布與針軋棉、紙纖不織布做疊層，可改善二者之吸音效果。

(四)透氣度之影響：

- 1.透氣度愈大於4000Hz之最大吸音率愈高。
- 2.同一試樣，當基重愈大，吸音效果愈好，而透氣度卻愈差。

(五)複合疊層：

- 1.以熔噴不織布爲底層，稍可使針軋棉、紙漿於各頻率之吸音性變好。
- 2.加起毛布或毛氈於不織布上，稍會使吸音率變差。

(五)於各頻率下之吸音效果：

- 1.於125Hz時，吸音效果不佳，不予討論。
- 2.於250Hz時，針軋棉具最佳吸音率。
- 3.於500Hz時，以熔噴不織布爲最佳。
- 4.1000Hz、2000Hz皆爲紙漿較佳。
- 5.4000Hz：紙漿、針軋棉皆有極好之效果。



5-2 後續研究與建議

5-1-2 建議

- 1.本實驗的變數有基重、厚度、透氣度與不同的製程，受限於材料的取得，很難改變單一變因而予以詳細討論。故必須能取得更多只改變單一變因的材料做測試、比對，而得更正確詳盡的結果。
- 2.材料疊層時因具有某程度的膨鬆性，所以其疊層之間間隙將比較難以控制，況且目前所測試厚度較薄，又因是疊層，材料本身之間缺乏牽引力而易於測試時滑落，如果能取得實驗所需厚度的材料，將使實驗更為可靠。
- 3.溫、濕度會影響聲波的傳遞速度，如果在能控制溫濕度的實驗室中進行，將能真正忽略它們的影響。

5-2-2 後續研究

- 1.目前尚無不織布吸音性的測試報告，亟需建立完整的資料庫以供參考，俾能促進不織布的應用及減少噪音污染。
- 2.吸音良好之不織布尚須有表面材來保護及增加美觀，所以組合型的測試將有很大的發展空間。



誌 謝

非常感謝黃堂義與詹國琴兩位同學全程參與研究，由北到南花費不少心力而完成此研究。而成功大學建築研究所提供國內僅有的檢測儀器，使本研究得以順利進行，在此獻上十二萬分之謝意！



參考文獻：

- 1.必凱科技1023機型使用手冊。
- 2.必凱科技2606機型使用手冊。
- 3.必凱科技1618機型使用手冊。
- 4.必凱科技4002機型使用手冊。
- 5.林美東，“噪音控制”，徐氏基金會。
- 6.賴耿陽，“環境噪音防止技術”，復漢出版社。
- 7.鐘孟動，“建築物外牆開口部隔音性能之研究—窗構件構造因子變化對透過損失值之影響”，成大建研碩論。
- 8.牧田康雄，“現代音響科學”，復漢出版社。
- 9.勃藍納克，“噪音與振動控制”，協志工業叢書。
- 10.“噪音的測定·評價”，衛生署環境保護局。
- 11.ASTM, C384-90a, "Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method."
- 12.ASTM, C423-90a, "Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method."
- 13.KATO TECH. CO., LTD., "Instruction Manual for KES-F8-API Air Permeability Tester."
- 14.YAKIR Z SHOSHANT, "Effect of Nonwoven Backing on the Noise Absorption Capacity of Tufted Carpets.", Textile Reserch Journal August 1990.

