

木質裝修材聲音散射性能之實驗分析

Experiments of the Sound-scattering Properties of Wood Based Materials

林芳銘¹

江哲銘²

賴榮平³

沈美惠⁴

洪培瑜⁵

摘 要

關鍵字：木質裝修材、散射係數、表面塗裝、構造變因

木質材料為永續與健康之室內裝修材料，其音響特性為室內聲場設計的重要影響因子。室內裝修表面的良好散射性能有助音能量在空間分佈的一致性，獲得較佳的擴散聲場，以改善音響品質。本研究於迴響室進行木質材料之隨機入射散射係數實驗分析，探討不同木質裝修材料之不同表面塗裝與不同形狀構造對聲音散射性能之影響。實驗結果顯示，木質材料表面塗裝與構造變因對其散射性能均有一定程度的影響。本實驗結果可作為室內音響性能設計之參考依據。

A b s t r a c t

Keywords : wood based materials、scattering coefficient、coating、structure factor

Wood based materials are the sustainable and healthy materials for interior decorations. The acoustic properties of materials surfaces are important factors for interior design. The scattering property of room surfaces can affect and improve the sound quality in the indoor environment. This research was analyzing the random-incidence scattering coefficient of wood based materials in the reverberation test room. However, the sound scattering properties could be depended on the types, coating, and shapes of wood based materials. The results shown that the coating and shapes of wood based materials had significant effects upon the scattering properties. The results of this research will be useful to the building acoustic design.

¹ 林芳銘，國立屏東科技大學木材科學與設計系副教授

² 江哲銘，國立成功大學建築系教授

³ 賴榮平，國立成功大學建築系教授

⁴ 沈美惠，國立屏東科技大學木材科學與設計系碩士

⁵ 洪培瑜，國立屏東科技大學木材科學與設計系碩士生

一、 研究緣起與目的

隨著全球永續議題蔚為風潮，環境品質與健康亦為國人追求的重心。建築室內建材的選擇對居住環境健康與舒適性，具有直接性的影響。木質材料為綠建築指標中最符合室內健康與環境指標的材料之一。因此基於上述背景，本研究進行木質室內裝修材料之音響性能探討。

在室內音響設計之應用，除吸音、隔音係數外，近年來室內裝修材料表面之隨機入射散射係數(random-incidence scattering coefficient)亦成為重要之室內音質設計參數，作為空間音響設計與電腦模擬輸入條件。本研究參照 ISO17497-1 (2004) 規範進行材料隨機入射散射係數量測方法之應用與探討，於迴響室進行木質裝修材之隨機裝修材散射係數實驗分析，建立以縮尺模型量測之評估系統。本研究以業界常用之室內裝修材為主要試材，探討不同材種之表面塗裝處理、形狀變化、溝槽間距以及溝槽深度變化等變化因子，比較木質裝修材之散射效果，以掌握國內木質裝修材料之擴散性能，作為室內音響性能之依據。

二、 聲音散射性能量測原理

室內表面散射程度是室內音響設計音質重要影響因子，表面良好的散射性能有助於獲得較佳之擴散聲場。早期量測散射聲能和總反散射聲能比值的方法，是於室形對稱空間內將對稱軸及兩側對稱放置聲源與兩個感應器，直接音與鏡像反射的部份呈高度相關性，以求得散射聲能和總反散射聲能的比例。而 Warusfel et.al. (1992) 提出入射波和反射波的能量於一時間分布的分析方法，藉以獲得界面吸音的能量損失比例和反射聲波中散射聲能之比值。Lam (1999) 以等比例縮尺模型，其迴響時間的量測值與電腦模型的預測值兩者關係的方式法計算與評估射聲能。迴響室中，通過脈衝響應同步平均法來量測隨機入射散射聲能和總反射聲能的比例是 Vorlaeder 後來提出的新方法。此法在量測精度上大大提高且得到認同，ISO 故以此法為基礎 (Vorlander and Mommertz, 2000)。

ISO17497-1 (2004) 規定之隨機入射散射係數量測，是由於材料表面粗糙所導致的散射效果，量測結果是描述非鏡面反射之聲音能量。隨機入射散射係數(S)的定義為在迴響室擴散聲場量測，1 減去鏡面反射聲音能量與總入射聲音能量的比值。

三、 木質裝修材之吸音性能

(一) 木質材料吸音特性

木材主要以木質素、纖維素、半纖維素所構成。依木質材料橫切面吸音係數的音頻特性可分為分多孔性材質型、板膜振動型與共鳴吸音型三種類型 (莊純合, 1988)。

木材之吸音係數會依頻率之不同而有差異。木材及木質材料將依其構造顯示其頻率特性。木材與木質材料的吸音特性，渡邊治人等 (1967) 指出木材吸音特性會依其解剖學特徵與其音波入射面的不同而有差異。當入射面與木理方向成 67° - 90° 時，因橫切面孔隙大小、分部與排列對音波入射的影響甚大，孔隙性多組織會將入射音波藉與孔隙周圍的摩擦或黏性抵抗而將聲能轉為熱能，產生吸音作用 (陳載永等, 1996; 張豐丞, 2001) 即在橫切面之吸音係數最大；而 0° 時，即在弦切面或徑切面時為最小 (渡邊治

人等, 1967; 王松永, 2003)。

(二) 木材塗裝對於吸音特性之影響

木材塗裝為木製品加工過程中所必要的之方式, 木材塗料可分為透明塗料與不透明塗料, 尚能彰顯木材紋理與色澤之美感, 亦可增加木材使用年限, 是簡單又有效的保護方法(張上鎮, 1995; 陳載永; 1996)。傳統上木器家具廣泛使用之塗料之為硝酸纖維素(Nitrocellulose lacquer) NC塗料以及聚-酯塗料(Polyurethane coating) PU。其中以NC塗料滲透性較佳, 易滲入木材內形成塗膜較薄, 故其影響較PU者為小(丁昭義, 1982; 黃金城等, 1997; 劉正宇; 2000)。相較於不同塗料間, 塗裝後會引起內部摩擦之增大有PU優於NC之趨勢, 因PU較柔韌易吸收能量, 而NC較脆, 不易吸收能量之故(丁昭義, 1983)。而本研究表面選擇以NC與PU塗裝以測試聲音散射性能之研究。

四、 研究方法

(一) 試驗材料

本測試以柳杉(Japanese cedar)、白木(Ramin)、市售木心板(Block board)為基材。試驗構件以600mm×600mm為一單元, 每一單元試驗構件在底板上方以市售聚醋酸乙烯酯(Polyvinyl Acetate; PVAc)膠合劑貼製(長×寬×厚)600×30×30 mm木質桁條10支, 由4單元組構一完整實驗試體。該試體排列如圖1所示, 本試驗之裝修材變因設計如表1所示。

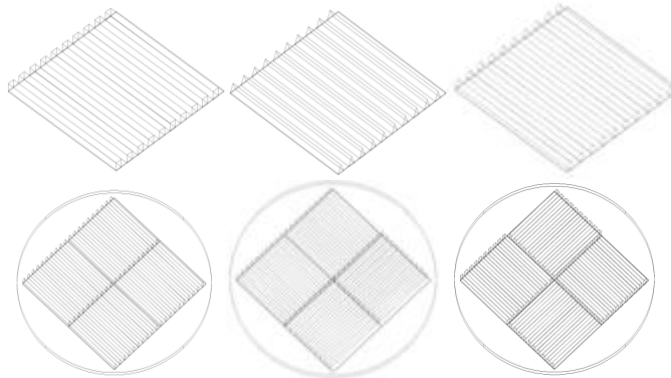


圖 1 試材之組合

表 1 試驗變因設計

| 裝修材 | 闊葉材 | 針葉材 | 組合板 |
|------|----------------------------------|-----|-----|
| 探討因子 | 白木 | 柳杉 | 木心板 |
| 表面塗裝 | 素料、NC、PU、柚木皮貼面 | | |
| 形狀變化 | 木質桁條斷面形狀個別為：方形、圓形、三角形 | | |
| 溝槽深度 | 18、30、36、54、60、72 (mm)、QRD變化 | | |
| 溝槽間距 | 30、45、60、90 120、150、210、270 (mm) | | |

(二) 測試樣品面積與結構深度要求

本研究依照 ISO 17497-1(2004)提出材料隨機入射散射係數量測方法，於國立成功大學建築系迴響室以 1/3 octave band 進行，木質裝修材之隨機入射散射係數實驗分析如圖 2 所示。本實驗室由 ISO 17497-1 規定迴響室容積計算，縮小倍率為 $N=2$ 。試材直徑尺寸為 120 cm 之正方形，轉盤之底板直徑則為 180 cm。

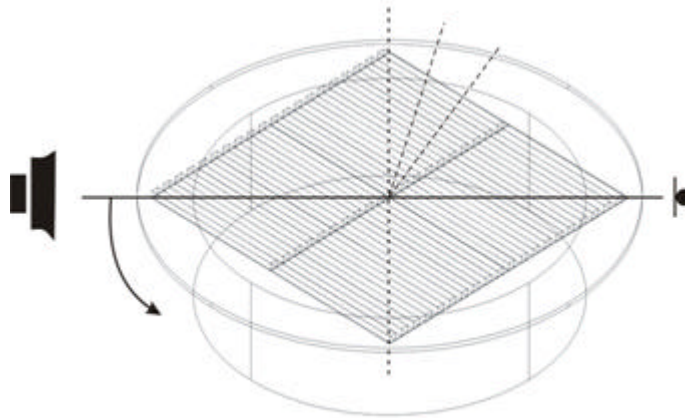


圖 2 迴響室內轉盤與底板示意圖

(三) 量測方法與散射係數公式計算

音源與麥克風之安置原則與 ISO 354 相同，為兩個音源位置、三個麥克風位置配置。量測儀器以雙頻道即時分析系統以 1/3 octave band 量測，本研究量測中心頻率範圍為 200 Hz - 10k Hz。

各音源 (MLS) 與接收器位置的組合，以轉盤轉動時重複之週期性虛擬隨機訊號將持續發送與接收，總量測時間為轉盤旋轉一次的時間。每次量測之刺激訊號須完全相同，得到不因時間而改變的反應，本試驗作 6 次量測固定相位的平均。由試驗結果得知，一組音源與麥克風在訊號發射後可得到之 RT (Reverberation Time) 值。以連續方式轉動轉盤，包括底板，但不含測試樣品，所得的量測結果為迴響時間 T_3 。如果含有旋轉的測試樣品，其量測結果為迴響時間 T_4 ，如表 2 所示。

表 2 四組不同迴響時間中的量測

| 迴響時間 | 測試樣品 | 轉盤狀態 |
|-------|------|------|
| T_1 | 未置入 | 不轉動 |
| T_2 | 置入 | 不轉動 |
| T_3 | 未置入 | 轉動 |
| T_4 | 置入 | 轉動 |

本試驗為縮尺模型之量測，故本文在求得試驗結果後，將縮尺之頻率換算實際頻率。首先以底盤散射係數 S_{base} 計算合乎規範標準後，再以隨機入射吸音係數 a_s 與鏡面吸音係數 a_{spec} 計算求得隨機入射散射係數 s ，如下列各公式所示：

$$\text{底盤散射係數： } S_{base} = \frac{V}{S} \left(\frac{1}{C_3 T_3} - \frac{1}{C_1 T_1} \right) - \frac{4V}{S} (m_3 - m_1) \quad (1)$$

$$\text{隨機入射吸音係數： } a_s = 55.3 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{C_2 T_2} - \frac{1}{C_1 T_1} \right) - \frac{4V}{S} (m_2 - m_1) \quad (2)$$

$$\text{鏡面吸音係數： } a_{spec} = 55.3 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{C_4 T_4} - \frac{1}{C_3 T_3} \right) - \frac{4V}{S} (m_4 - m_3) \quad (3)$$

$$\text{隨機入射散射係數： } s = \frac{a_{spec} - a_s}{1 - a_s} \quad (4)$$

式中，

V ：迴響室體積，單位立方公尺 (m^3)

S ：測試樣品之面積，單位平方公尺 (m^2)

$C_1 \sim C_4$ ：於 $T_1 \sim T_4$ 量測時間內，聲音在空氣中傳播的速度 (m/s)

$m_1 \sim m_4$ ：空氣能量衰減係數，單位 (m^{-1})，根據 ISO 9613-1 計算，在 $T_1 \sim T_4$ 溫度與相對濕度之量測

S ：散射係數

a_{spec} ：隨機入射鏡面吸音係數

a_s ：隨機入射吸音係數

五、結果與討論

(一) 材種與塗裝對散射性能之影響

本研究以不同材種之表面塗裝變化對聲音散射效果之影響結果顯示，木心板與白木其表面塗裝變化對於聲音散射性能整體而言並無顯著之影響。但表面塗佈 NC 相較於未塗裝之柳杉試體，於 4k、5 k Hz 高頻帶具較佳之散射效果（如圖 3）。

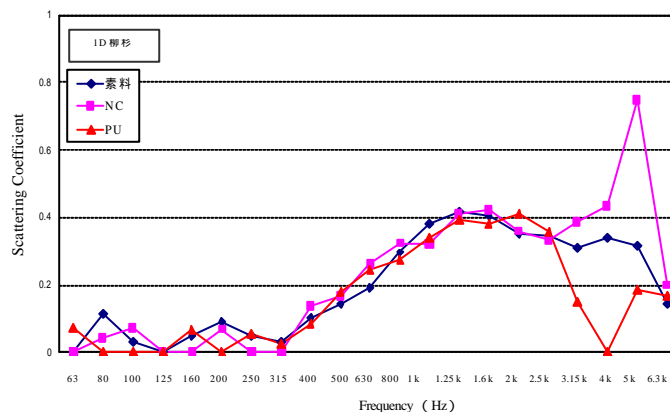


圖 3 柳杉塗裝變化之散射係數頻率特性圖

以不同塗料對散射性能之影響而言，木心板與柳杉在表面塗裝 NC 與 PU 後相較於未塗佈之試材，於高頻之散射值有明顯增加之效果，其中以 NC 柳杉試體於 5 k Hz 達 0.75 之散射效果為最佳（如圖 4），白木則較不明顯。

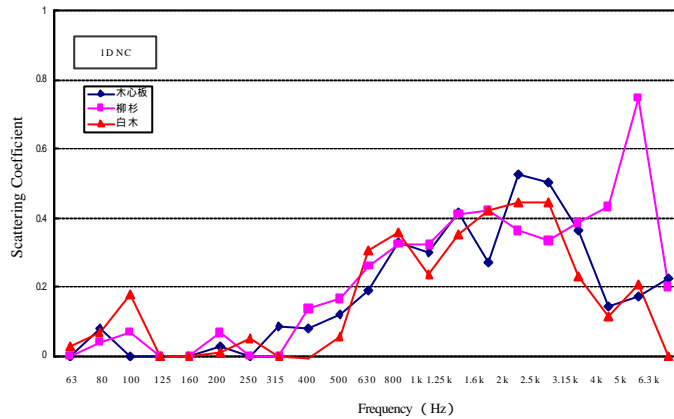


圖 4 NC 塗料變化之散射係數頻率特性圖

(二) 形狀變化對散射性能之影響

白木試材依其桁條斷面形狀分別為方形、圓形、三角形。就方形、三角形與圓形三組不同桁條之形狀變化對散射性能之影響而言，以方形桁條於 1 k - 3.15 k Hz 呈現較佳散射效果，而三角形桁條則於 2k - 4 k Hz 有較佳之散射效果，圓形條相對較差 (圖 5)。

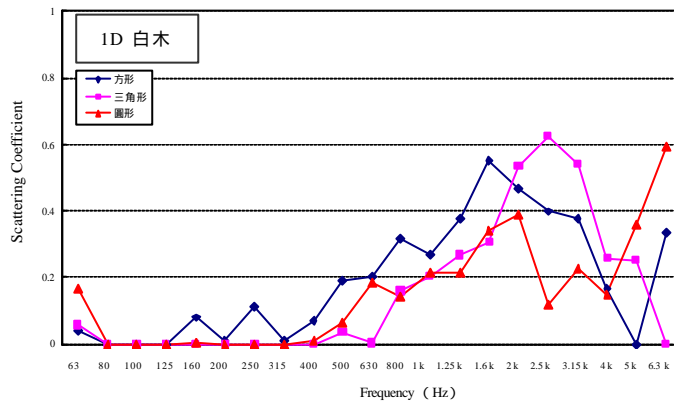


圖 5 形狀變化散射係數頻率特性圖

(三) 溝槽間距變化對散射性能之影響

如圖 6 就整體散射係數頻率特性顯示，增加間距變化以 $W=27$ cm 時，其散射係數值最小；而以 $W=3.0$ cm 間距散射係數值為最高。

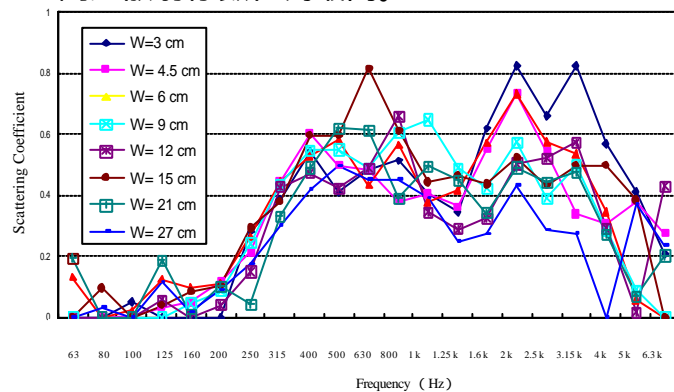


圖 6 溝槽間距變化散射係數頻率特性圖

將不同溝槽間距試材之散射係數平均值，以 63Hz -6.3k Hz 共 21 組進行迴歸分析，其 R^2 柱狀圖如圖 7 所示。間距變化與散射係數於 1.6k Hz 與 2 k Hz 其 R^2 介於 0.58-0.94，顯示該 2 個頻帶有具有顯著正相關性，亦即上述 2 個頻帶間距變化越小散射係數越高。

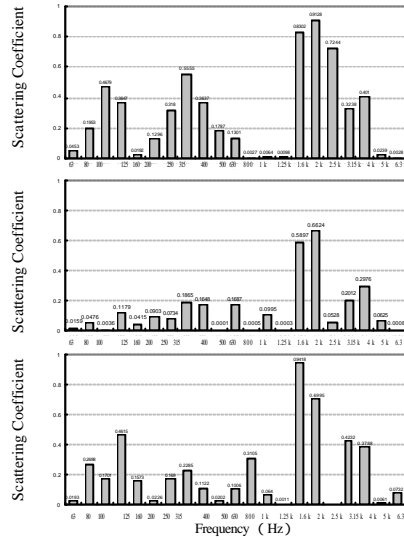


圖 7 1/3 倍頻帶線性迴歸關係柱狀圖

(四) 溝槽深度變化對散射性能之影響

溝槽深度試驗變因以 1.8、3.0、3.6、5.4、6.0 以及 7.2 cm 為深度變化，結果顯示深度越大散射效果越好。等深度 7.2 cm 與 QRD 散射特性之比較，則以 QRD 為佳(圖 8)。

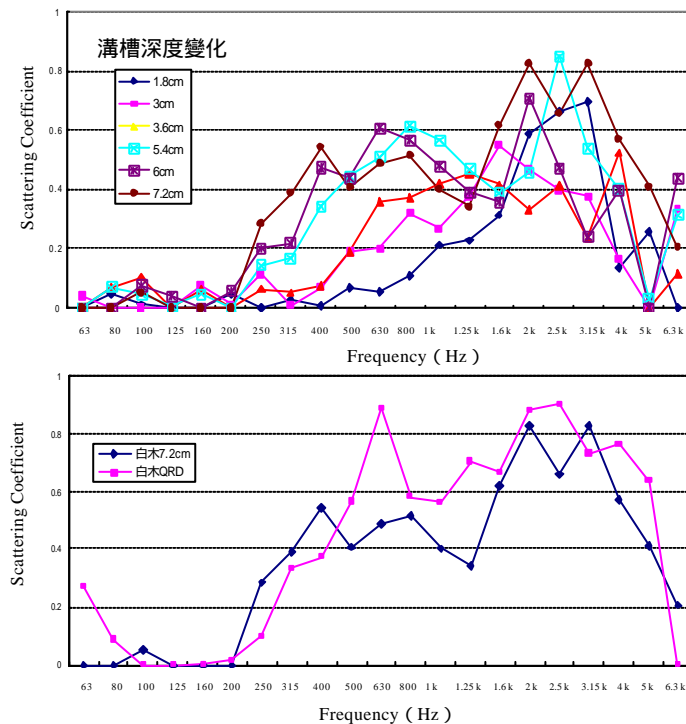


圖 8 溝槽深度變化散射係數頻率特性圖

本研究以三種頻率範圍 63 Hz -6.3 k Hz、250 Hz -6.3k Hz 與 250 Hz -4k Hz，將不同溝槽深度與散射係數進行迴歸分析結果顯示，各頻帶迴歸之 R^2 各為 0.88、0.90 與 0.90，均呈現顯著相關性，顯示溝槽深度變化與散射效果具有顯著相關性（圖 9）

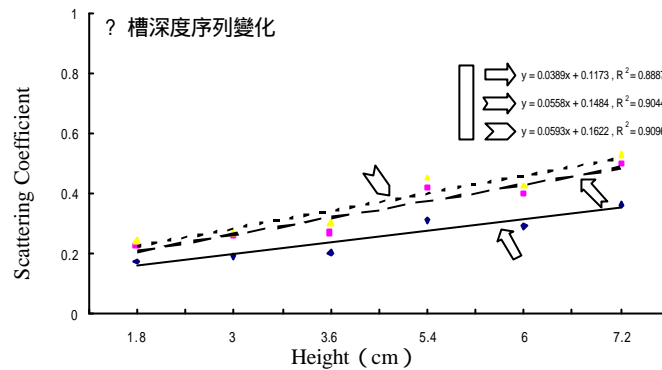


圖 9 溝槽深度與散射係數於各頻帶之線性迴歸分析

六、 結論

本研究進行木質裝修材之聲音散射性能實驗分析，並探討木質裝修材之材料、塗裝及構造變因對散射係數之影響，結論如下：

1. 試材表面塗裝變化對於聲音散射性能整體而言並無顯著之影響，但試材表面塗佈NC則可能提升高頻之散射效果。
2. 試材木質桁條斷面形狀之散射性能以方形最佳，三角形次之，圓形較差。
3. 桁條溝槽間距變化以 $W=27.0$ cm之散射係數值最小， $W=3.0$ cm之散射係數值為最高。經間距變化與散射係數之迴歸分析，顯示於 1.6 k與 2 k Hz兩個頻率，間距與散射係數具有顯著相關性，間距越小散射效果越好
4. 桁條溝槽深度增加散射效果亦隨之提升，而 QRD 試體與等深度之試體相較下其散射特性較佳。

七、 參考文獻

1. 王松永，國立編譯館，「木質環境科學」，第 453-533 頁，2003。
2. 安藤四一，???????????????? 東京株式會社，「建築音響學~音樂廳演奏~音響空間? 聽眾? 融合」，第 115-129 頁，2000。
3. 林容聖，國立台灣科技大學建築研究所碩士論文，「擴散性材料在簡單矩形廳堂之應用」，第 13-15 頁，1999。
4. 陳載永、莊純合、王姿玫、范振德，「木質材料改善室內音響特性之實例，木質構造建築之結構與室內居住性研討會論文集」，第 88-98 頁，1996。
5. 張上鎮，中華林學季刊，「透明塗料抑制木質材料劣化效能之評估」，28 (2) : 117-134, 1995。
6. D'Antonio, P., C. J. Trevor (2000) Diffusor application in rooms. Applied Acoustics 60 : 113-142.
7. K. Fujiwara, K. Nakaib and H. Toriharaa, "Visualization of the sound field around a Schroeder diffuser", Applied Acoustics 60 : 225-235, 2000.
8. C. H. Haan and K. Kwon, "A method of evaluating surface diffusivity of rooms - computer modeling and field measurement", Applied Acoustics. 62 (1) : 1313-1327, 2001.
9. M. R. Schroeder, "Binaural dissimilarity and optimum ceilings for concert halls: more lateral diffusion", J. Acoust. Soc. Am. 65 : 958-963, 1979.
10. M. Vorlander and E. Mommertz, "Definition and measurement of random-incidence scattering coefficient", Applied Acoustics 60 (2) : 187-199, 2000.

【致謝】感謝成功大學賴榮平教授、雲林科技大學鍾松晉老師在實驗室及量測儀器上的協助。