

# 木質擴散板構造及形狀變化對聲音散射特性之影響

## The Sound Scattering Properties of Wooden Diffusers Used Different Structures and Shapes

林芳銘<sup>1</sup>、葉柏宏<sup>2</sup>、洪培瑜<sup>2</sup>、江哲銘<sup>3</sup>、賴榮平<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國立屏東科技大學木材科學與設計系副教授

<sup>2</sup> 國立屏東科技大學木材科學與設計系碩士生

<sup>3</sup> 國立成功大學建築系教授

### 摘要

室內裝修構造之聲能散射特性為室內聲場擴散性能之重要影響因素之一，良好的裝修材散射性能有助於提升室內聲學環境品質。本研究參考 ISO17497-1 之量測方法，於實驗室建置試材隨機入射散射係數自動量測系統，探討木質擴散板之聲音散射性能。以柳杉材、合板擴散板為試材，探討其不同構造變因對於散射性能之影響。結果顯示，在測試條件方面，當底板加上與試材構造深度相等之鏡面邊框能改善邊緣效應產生之影響。本研究進一步探討有、無翼板對擴散板散射性能之影響，結果顯示，有翼板之散射性能比無翼板佳，另依方面增加擴散板溝槽深度可獲得之較大之散射係數頻帶範圍。

**關鍵字：**木質擴散板、散射係數、邊緣效應

### Abstract

Interior decoration for the scattering performance is very important, especially to build a good sound field in the interior environment. This study consult ISO 17497-1 standard (2004) to test the scattering coefficients in reverberation lab. There are three different wooden materials used to change structures and shapes for getting scattering coefficients of different type models. Add the reflection frame on the base turntable could reduce the edge effect, and this study also test the effects of add flutter or not add flutter what scattering coefficients will be on three different test samples. The result exhibits add flutter better than no flutter. It could get the better scattering frequency width when the groove of diffusers more and more deep, this result also prove the groove more deeper what can handle lower frequency level.

**Keywords :** Wooden diffuser, Scattering-coefficient, Edge effect

## 壹、前言

木質材料為最符合室內健康指標的綠建材之一，推廣木質材料作為裝修材符合全球永續健康潮流。本研究基於此一背景，進行木質室內裝修材料聲學特性之相關研究。有關建築聲學材料吸音或隔音性能之研究，國內外已有許多成果，而裝修材料表面之隨機入射散射係數 (Random-incidence scattering coefficient) 之研究則在近年來逐漸受到重視，亦成為重要之室內音質設計參數。室內裝修影響空間聲場之擴散性因素包含擴散係數 (Diffusion coefficient,  $d$ ) 及散射係數 (Scattering coefficient,  $s$ )。擴散係數為反射聲能在空間分布之均勻性，散射係數則為散射聲能與總反射聲能之比值，兩者意義不同。在鏡面反射為主的情況下，反射聲有很強的方向性，對聲場不會帶來擴散效果，只有在穩態聲音條件下，經過一定時間的多次鏡面反射，可達到充分的擴散之聲音環境，若室內表面具有散射性能則可較早達到理想的擴散條件 (Vorlander and Mommertz, 2000)。ISO 17497-1 規定聲音隨機入射散射係數量測標準，定義散射性能是由於材料表面粗糙所導致的效果。在迴響室擴散聲場量測試材之散射係數為 1 減去鏡面反射聲音能量與總入射聲音能量的比值 (Warusfel *et al.*, 1992; Lin and Shen, 2007; Lam, 1999)。本研究以木質擴散板為研究對象，參考 ISO17497-1 之量測方法，自行設計隨機入射散射係數自動量測系統，探討木質擴散板之聲音散射性能，研究結果將作為木質建材應用於室內聲學設計之參考。

## 貳、材料與方法

### (一) 試驗材料

#### 1. 測試基材及底板

本研究自行研製試驗用試材為柳杉 (Japanese cedar, *Cryptomeria japonica*)，取自新竹林區管理處第 7 林班地之造林木，伐採時樹齡約為 25 至 30 年，心材為主氣乾比重 0.43 含水率 12.84%；合板 (Plywood) 為市售材料，氣乾比重為 0.54，含水率為 11.39 %，如圖 1 所示。

#### 2. 試驗材料變因設計

本研究探討柳杉材擴散板 (二次剩餘擴散板 Quadratic Residual Diffuser, QRD) 之構造高度變化及有無翼板對於散射係數的影響，如表 1 所示。



◎柳杉擴散板試材



◎合板擴散板試材

圖 1 測試樣品照片

表 1 試材構造

規格	有翼板	無翼板
平 8cm		
平 6cm		
平 4cm		

## (二) 試驗方法

### 1. 實驗室與試驗裝置

本研究之木質材料隨機入射聲音散射係數是於國立成功大學建築系迴響室進行測試，該試驗室為不整形六面之幾何空間，室容積 171.6 m<sup>3</sup>，試材、底板與轉盤之構成如圖 2 所示。本試驗參照 ISO 17497-1 規定迴響室容積與試材比率之計算，試材製作之縮小倍率 N 值定為 2，亦即為 1/2 縮尺模型。試材為 134.0 cm×134.0 cm 之正方形置放於直徑為 200.0 cm 底板上，底板置於可自動旋轉之轉盤上，所有試材之構造深度 h≤8.0 cm。

每組試材散射係數量測是採用 2 個聲源位置與對應之 6 個麥克風位置進行 6 次量測，求其平均值。

### 2. 試驗儀器與條件設定

#### (1) 量測散射係數試驗之儀器如下

- A. 雙頻道分析儀 (Real Time Analyzer, 型號: 01dB Symphonie)。
- B. 麥克風 (Microphone, 型號: MCE212)。
- C. 校正器 (Calibrator, 型號: CAL21S)。
- D. 功率放大器 (Amplifier, 型號: PRE 21A)。
- E. 聲學 12 面體喇叭 (Sound source, 型號: OS002)。

#### (2) 量測中心頻帶

量測儀器以雙頻道即時分析儀以 1/3 倍頻帶量測，本試驗試材縮小倍率 N=2，依 ISO17497-1 量測頻率範圍 1/3 octave band 須涵蓋 200~10k Hz，轉換為實際頻率則為 100~5k Hz。本研究試驗操作頻率為 125~12.5k Hz，轉換為實際頻率則為 63~6.3k Hz。

#### (3) 訊號週期

聲源採最大長度序列 (MLS) 訊號，於轉盤轉動時重複之週期性虛擬隨機訊號持續發送與接收。總量測時間為轉盤旋轉一次的時間。

#### (4) 迴響時間量測

轉盤 (包括底板) 於不轉動與連續轉動條件下，在不含測試樣品可分別測得迴響時間  $T_1$  與  $T_3$ ，含有測試樣品則可分別測得迴響時間  $T_2$  與  $T_4$ ，如表 2 所示。

表 2 四個不同條件之迴響時間量測

迴響時間(sec)	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

### 3. 隨機入射散射係數之計算

首先以底盤散射係數  $S_{base}$  計算合乎標準後，再以隨機入射吸音係數  $a_s$  與隨機入射鏡面吸音係數  $a_{spec}$  計算求得隨機入射散射係數  $s$ ，如公式 (1) ~ (4) 所示。另外由於本試驗試材為縮尺模型之量測，故求得試驗結果後，依縮尺比率換算成實際頻率對應之散射係數。

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

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

$$\alpha_{spec} = 55.3 \frac{V}{S} \left( \frac{1}{C_4 T_4} - \frac{1}{C_3 T_3} \right) - \frac{4V}{S} (m_4 - m_3) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha_s = \frac{\alpha_{spec} - \alpha_s}{1 - \alpha_s} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中

$V$ ：迴響室容積 ( $m^3$ )

$S$ ：測試樣品之面積 ( $m^2$ )

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

$m_1 \sim m_4$ ：於  $T_1 \sim T_4$  測試期間之溫濕度條件，依 ISO 9613-1 規定計算之空氣能量衰減係數 ( $m^{-1}$ )

$\alpha_s$ ：隨機入射散射係數

$\alpha_{spec}$ ：隨機入射鏡面吸音係數

$\alpha_s$ ：隨機入射吸音係數

### (三) 方形試材邊緣效應對量測結果影響之探討

本研究為探討邊緣效應可能造成散射係數不準確之問題，分別以兩種不同測試方法進行比較如圖 2 及圖 3 所示，於底盤上加上鏡面邊框使與試材高度等高，於量測時聲源所放射出音波只單純於擴散板本身之溝槽進行繞射、反射，擴散板之邊框不會產生散射效果；另一種方式則直接於鏡面之底盤上測試擴散板之散射效果，當聲源放射出音波時不僅擴散板之溝槽產生繞射及反射，擴散板之邊框也有聲波繞射之產生。

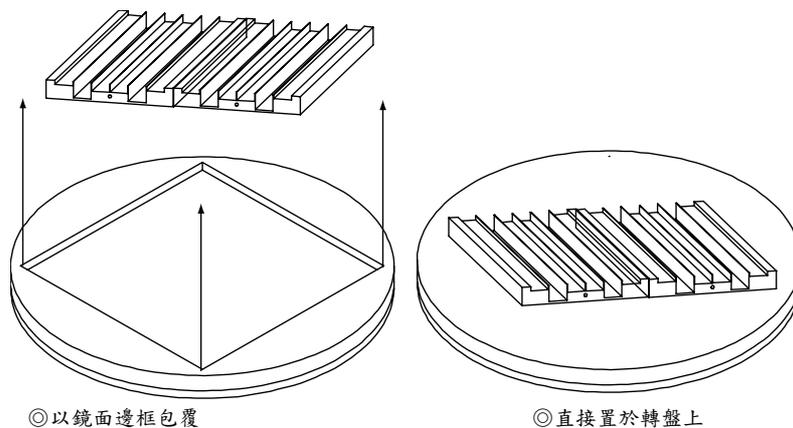


圖 2 試材邊框之安裝條件示意圖



圖 3 試材之不同安裝方式

## 參、結果與討論

本研究以三種不同木質材料作為測試之基材，進行聲音散射性能之測試，探討不同木質材料於溝槽深度、形狀、角度及有、無翼板之構造變化下與聲音散射效果之關係。本實驗於迴響室內進行木質裝修材縮尺模型之聲音散射性能量測，結果如下。

### (一) 邊緣效應對測試之影響

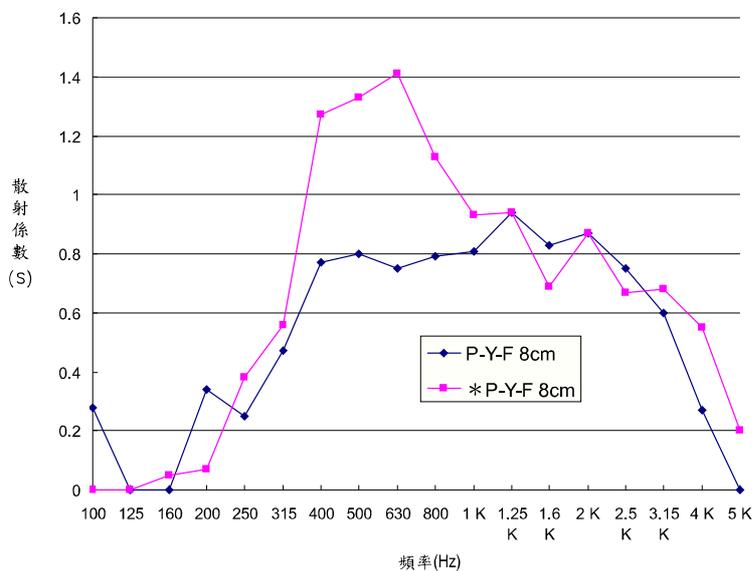
以無鏡面邊框設置之擴散板進行測試，於 400~800 Hz 時散射係數值發生  $s > 1$  之不合理數值(圖 4)，參照 ISO 17497-1 所述此現象為邊緣效應之影響。以有邊框進行相同試材之測試(圖 27)，則所有頻率之散射係數值皆在 1 以下，明顯降低邊緣效應之影響。

### (二) 擴散板構造深度對散射性能之影響

試材構造最大深度 8 cm 之擴散板於 125 Hz 散射係數為 0.28 (圖 5)，於 200 Hz 時開始有大幅上升之趨勢，至 1.6 kHz 時產生  $s=1$  之最佳散射效果，高頻 5 kHz 時散射值為 0.46。深度 6 cm 之擴散板於 125 Hz 時僅有 0.13 之散射值，於 400 Hz 時散射係數持續增加，最佳散射效果 0.91 於 1 kHz，高頻 5 kHz 時仍有 0.40 之散射效果；深度 4 cm 之擴散板於 125 Hz 時僅有 0.03 之散射值，至 2 kHz 時有 0.84 之最佳散射效果，至高頻 5 kHz 時仍有 0.37 之散射值。由圖 6 所示，於 125、250、315、400、500、630 Hz、1 k、1.25 k、2 k 以及 4 kHz 之迴歸分析  $R^2$  值均有大於 0.7，顯示於大部分頻率擴散板溝槽深度變化與散射係數有相關性。

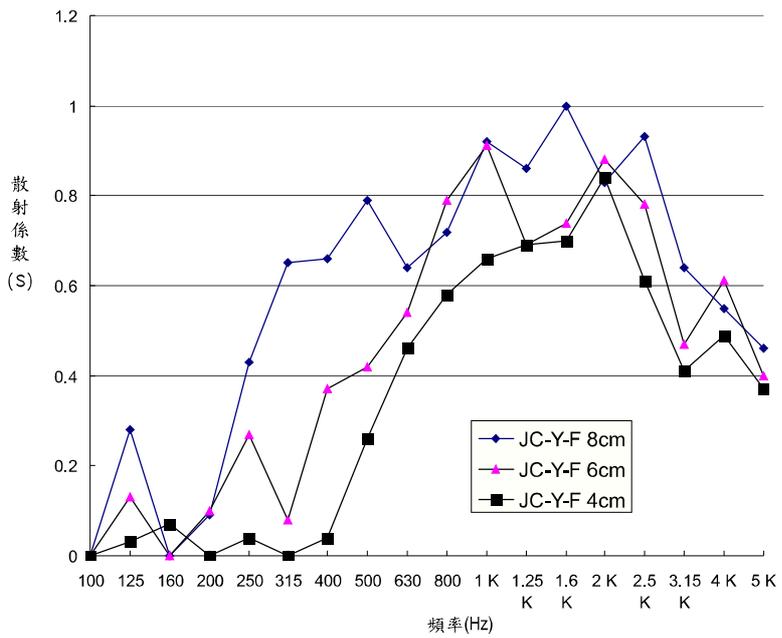
### (三) 有無翼板對擴散板散射性能之影響

有翼板之擴散板於 200 Hz~5 kHz 均有散射(圖 7)，最高之係數 1 於 1.6 kHz 產生；無翼板之擴散板於 315 Hz 產生散射效果，相較於有翼板之擴散板其散射效果僅有 160 Hz 及 630 Hz 有較高之效果，較良好之散射係數 0.89 於 1 kHz 產生，由圖 8 看出，無翼板之擴散板於 100、160、630 及 800 Hz 時有比較高之散射效果，於其他頻帶皆以有翼板之擴散板良好，最大改善量 0.36 於 2.5 kHz 時產生。



編號說明：合板=P，有翼板=Y，無翼板=N，平板=F，無邊緣效應=\*。

圖 4 邊緣效應對散射係數量測之影響



編號說明：柳杉=JC，有翼板=Y，平板=F，無邊緣效應=\*。

圖 5 深度變化之散射係數之比較

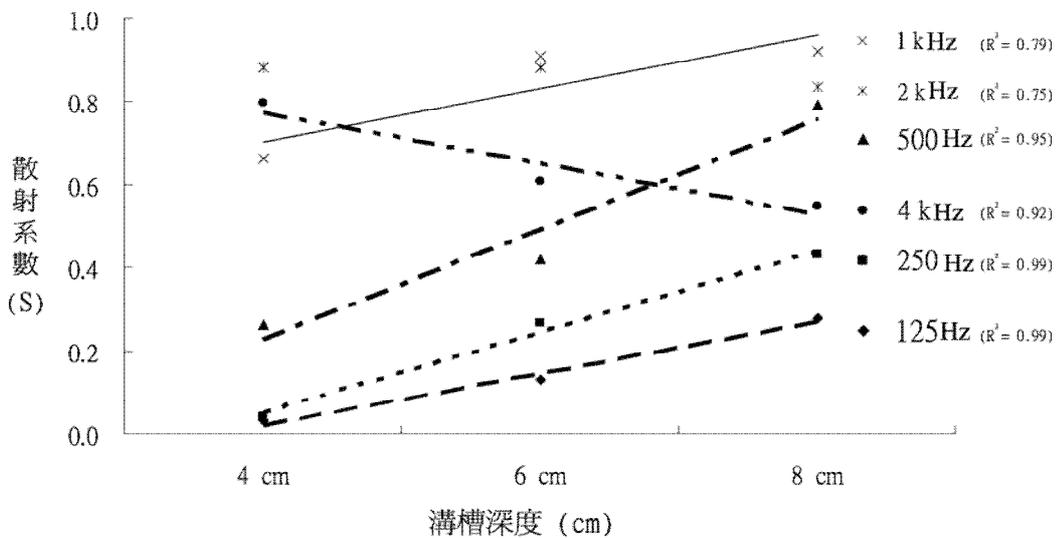
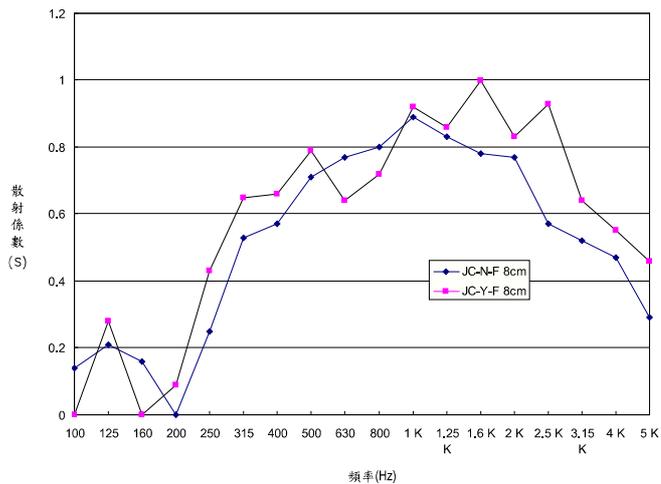


圖 6 深度變化於 1/1 倍頻帶線性迴歸關係



編號說明：柳杉=JC，有翼板=Y，無翼板=N，平板=F。  
圖 7 有、無翼板(平)柳杉擴散板散射係數之比較

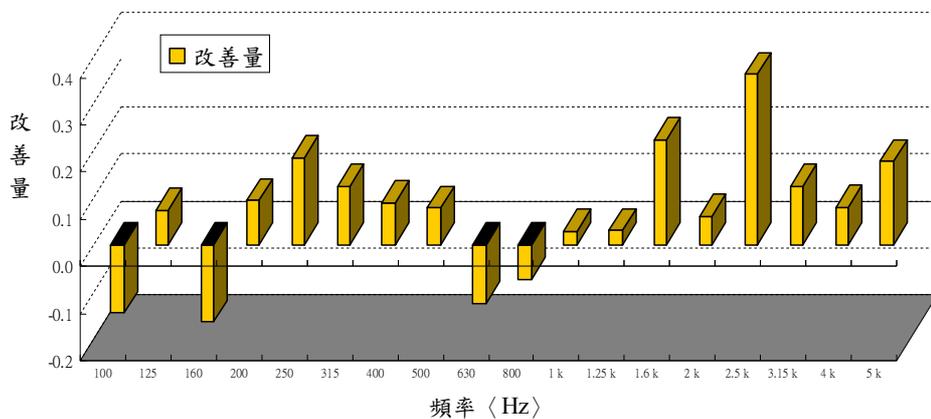


圖 8 有、無翼板柳杉材擴散板散射係數改善量

#### 肆、結論

本研究探討不同構造變因對木質擴散板散射特性之影響，結論如下：

1. 不同的溝槽深度所測得之散射係數趨勢符合 Mr. Schroeder 所提出之溝槽越深能影響之頻率範圍越低之理論。深度 8 cm 之柳杉擴散板散射係數頻帶範圍包含較寬，於 1.6 kHz 時產生  $s=1$  之最佳散射效果；6 cm 擴散板最佳散射效果 0.91 於 1 kHz 時產生；4 cm 擴散板於 2 kHz 時有 0.84 之最佳散射效果。
2. 參照 ISO 17497-1 所述，深度較大之方形試材直接置於底盤上進行散射性能之測試，會因試材邊框之邊緣效應影響量測結果。本研究比較有無鏡面邊框設置之擴散板進行散射係數，結果顯示採用於底盤上加設鏡面邊框使其與試材高度等高之測試方法，使邊緣效應之影響明顯降低。
3. 本研究探討有、無翼板構造變因之比較，經測試顯示有翼板構造因可增加聲波繞射及反射路徑之關係進而使其散射性能提升。

【謝誌】感謝國科會提供專題研究經費補助(NSC 97-2221-E-020-028-)本文為計畫部分內容。

## 伍、參考文獻

1. 林芳銘、江哲銘、賴榮平、沈美惠、洪培瑜(2007) 木質裝修材聲音散射性能之實驗分析。中華民國音響學會學術研討會論文集 20(B2) :110-118。
2. Fujiwara, K., K. Nakaib, and H. Toriharaa (2000), Visualization of the sound field around a Schroeder diffuser. *Applied Acoustics*, 60:225-235
3. Schroeder, M. R. (1979), Binaural dissimilarity and optimum ceilings for concert halls:more lateral diffusion, *J. Acoust. Soc. Am.* 65:958-963.
4. Schroeder, M. R. (1986), Number Theory in Science and Communications, *J. Acoust. Soc. Am.* 65:958-963.
5. Tristan, J., J. Hargreaves, T. J. Cox., and Y. W. Lam (2000), Surface diffusion coefficients for room acoustics:Free-field measures, *J. Acoust. Soc. Am.* 108 (4):1710-1720.
6. Vorlander, M., and E. Mommertz (2000), Definition and measurement of random-incidence scattering coefficient. *Applied Acouarica*, 60(2):187-199.
7. Lam, Y. W. (1999) A boundary integral formulation for the prediction of acoustic scattering from periodic structures. *J. Acoust. Soc. Am.* 105 (2) :762-769.
8. Lin, F. M. and M.H.Shen (2007) Experiments of the Sound-Scattering Properties of Wood Based Materials. IUFRO Division 5 Conference. p. 223.
9. Warusfel, O., R. Denayrou and J. P. Jullien (1992) Validation of a computer model environment for room acoustics prediction. *Proceedings 14th International Congress on Acoustics. Beijing.* p.6-5.