

中華民國音響學會
九十八年會員大會暨第二十二屆學術研討會
2009 Annual Meeting and 22th Symposium of
Acoustical Society of the Republic of China

壁龕效應於隔音量之影響預估及驗證

The Prediction and Validation of Sound Insulation Influence
by Niche Effect

陳金文/中山科學研究院

摘 要

試件安裝於實驗室間之測試口所面臨之壁龕效應，為影響隔音量準確度良窳與否成因之一。本文探討因測試口深度及面積大小所造成之壁龕效應，其影響之隔音量預估及驗證。預估之壁龕效應修正量，可讓採用不同測試口之實驗室單位，於量測完成後，計算單一數值參量宣告值前修正之用。預估結果顯示於試件厚度 5cm、壁龕深度 60cm、面積大小 1m² 及 2m² 條件下，於 200Hz 之 1/3 倍頻帶隔音量，將隨試件位置之不同而有 4~7 dB 之差異；面積大小 5~10m² 條件下，於 100~500Hz 之 1/3 倍頻帶隔音量差異，將可有效控制於±1 dB 之內。試件厚度及面積 150mm、10.5m²；壁龕深度 124cm 與 60cm 條件下，加深壁龕深度後，100~125Hz 隔音量將有 3 dB 之差異，其他倍頻帶之差異仍可控制於±1 dB 之內。

關鍵字：穿透損失，隔音，輕隔間，壁龕效應，隧道效應

A b s t r a c t

The specimen installs between the acoustical testing labs will induce the niche effects to result the in-accuracy data at the low frequency band of sound insulation. The prediction of difference level by such niche effects can be used as a corrective data for the acoustical labs with the different sizes of aperture testing to calculate the single number rating of sound insulation for uniformity of material qualification. The predication results show the 4~7 dB difference at the 200 Hz of 1/3 octave band under the testing condition by 5 cm thickness of specimen, 60cm depth of aperture with area 1m² and 2m². The difference level can be controlled inside the ±1 dB acceptable tolerance if the area is greater than 5m². The different niche depth under the same thickness of specimen 150mm and area 10.5m², one is including the automatic testing frame 124 cm, another one is the traditional niche depth 60 cm. The

deep niche one will increase more 3 dB of the sound insulation between 100~125 Hz band, and others bands inside the ± 1 dB

Keywords : Sound Transmission Loss, Sound Insulation, Partition, Niche Effect, Tunneling Effect.

一、前言

國內外聲學實驗室籌建之數量多不甚屬，實驗室之測試開口及試件大小不同者也不在少數，而各國之要求標準也不一致，測試之結果便存在一定之差異。而影響材料隔音量試驗之準確度除包括迴響室內之振動模態數、擴散性、側向音傳播等因素外，上述所規範之測試開口面積、深度與安裝位置，所引起低頻之壁甕效應(或稱隧道效應)，也是影響宣告隔音量單一數值參量之重要變異因子。因此，本文擬藉由解析數值法預估此一壁甕效應之影響量，除與實驗數值比較驗證其定量數值外，藉由面積大小、深度、位置等參數之探討，瞭解其可影響之範圍，並可將其視為修正量，有助於強化實驗室隔音量宣告之一致性。

二、研究目的

牆面開口之壁甕效應起初由實驗室比較試驗發現後[1-2]，陸續便有學者分別提出解析解法[3-4]，其中以 Roman 所提出之物理概念及數學推演較為簡化及有效。本文主要之目的擬以其推演之結果，模擬計算此低頻之影響數量，並以蘇聯莫斯科聲學實驗室的隔音玻璃測試數據，作為驗證上述預估之比對。研究步驟說明如次：

1. 蒐集及研讀相關壁甕效應研究之經驗與解析解。
2. 以軟體程式撰寫該解析數值解，模擬不同面積、深度等，各窄頻及 1/3 倍頻帶聲壓位準之隔音差異量。
3. 以國外發表論文之實驗數據，驗證程式之適當性。
4. 以內政部建築研究所國家聲學實驗室自動測試架開口面積為參考尺寸，探討國際標準訂定之測試開口面積之合理性。

三、基本理論

本文主要理論係依據 Roman 之推導式為基礎，Roman 將兩實驗室間安裝之試件視為活塞移動之輻射效應，以解析解推導包含壁甕效應之穿透損失，並導入壁甕效應之影響係數，其詳細推導過程可參考原著[4]。兩實驗室間試件之入射、反射及穿透聲壓 $P_1 \sim P_7$ 詳如圖 1 所示，穿透係數可以式 1 表示，其為試件穿透係數與試件前後壁甕聲場影響係數 Q 之乘積。該聲場影響係數主要由聲場輻射阻抗 Z_a 所控制，包括實部聲阻 X_a 及虛部聲抗 Y_a ，其特性掌握壁甕之低頻輻射效率。試件於壁甕內不同位置之穿透損失 $TL(f_c)$ 、中間位置與邊緣位置之穿透損失差值 $\Delta TL(f_c)$ 詳如式 2。

式中 $\tau, \rho, c, k, r, S, J_1, K_1, Z_w, d$ 分別代表穿透損失係數、聲波密度、聲速、聲波波數、

等值輻射半徑、試件面積、1 階 Bessel 函數、1 階 Struve 函數、試件之聲阻抗、試件與壁甕邊緣之距離。 f_c, f_1, f_2, D_{net} 分別代表 1/3 倍頻帶之中心頻率、下限頻率、上限頻率、壁甕總厚度與試件厚度之差值。

$$\tau(f) = \left| \frac{p_7}{p_1} \right|^2 = \left| \frac{2\rho c Xa(2\beta)}{Z_w} \right|^2 Q(2\beta, \alpha_1) Q(2\beta, \alpha_2)$$

$$Q(2\beta, \alpha)^2 = \frac{1}{\cos^2(\alpha) + Ya(2\beta) \sin(2\alpha) + [Xa^2(2\beta) + Ya^2(2\beta)] \sin^2(\alpha)}$$

$$Xa(2\beta) = 1 - \frac{J_1(2\beta)}{\beta} \quad Ya(2\beta) = \frac{K_1(2\beta)}{\beta}$$

$$\beta = kr = \frac{k\sqrt{S}}{\pi} \quad \alpha = kd$$

式 1

$$TL(f_c) = -10 \log \left(\frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} \tau(f) df \right) = -10 \log \left(\frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} \left| \frac{2\rho c Xa(2\beta)}{Z_w} \right|^2 P(2\beta, \alpha_1, \alpha_2) df \right)$$

$$\Delta TL(f_c) = 10 \log \left(\frac{\bar{P}_{edge}(f_1, f_2)}{\bar{P}_{center}(f_1, f_2)} \right)$$

$$\bar{P}_{center}(f_1, f_2) = \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} Q^2(2\beta, \alpha_{center}) df$$

$$\bar{P}_{edge}(f_1, f_2) = \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} Q^2(2\beta, \alpha_{edge}) df$$

$$\alpha_{center} = k \left(\frac{D_{net}}{2} \right) \quad \alpha_{edge} = k(D_{net})$$

式 2

四、壁甕效應下之隔音量預估與驗證

先以莫斯科中央研究院建築物理所建築聲學實驗室之量測數據作為驗證對象，該實驗室採用 60m³(3.3m*6m*3m)及 80m³(4.5m*6m*3m)之迴響室，試件為三層隔音玻璃(10mm 玻璃+20mm 空氣層+5mm 玻璃+2mm 空氣層+6mm 玻璃)，壁甕深度為 60cm，壁甕面積為 1.17m²(1.3m*0.9m)，分別安裝於左右邊緣及中央 3 個位置。試驗結果詳如圖 2，顯示於 125 ~400Hz 有明顯之差異量，其左右邊緣位置之隔音量高於中央位置所測得之隔音量。圖 3 為預估及量測兩者差異量之比較圖，量測結果顯示於 200 Hz 之差異量為 5 dB，預估量計算結果為 6.5 dB，且 300 Hz 以下之預估量高於量測值，300 Hz 以上之預估量低於量測值。原則上，預估及量測結果均顯示，不同安裝位置於低頻之隔音量差值，所顯現之峰型趨勢一致。

其次，為瞭解不同測試開口面積之差異效應，預估計算以一般壁甕深度 60cm、試件厚度 5cm、開口面積 1m²/2m²/5m²/7m²/10m² 為條件。圖 4 顯示於面積大小 1m² 及 2m²

條件下，於 200Hz 之 1/3 倍頻帶隔音量，將隨試件位置之不同而有 4~7 dB 之差異；面積大小 5~10m² 條件下，於 100~500Hz 之 1/3 倍頻帶隔音量差異，將可有效控制於±1 dB 之內。由此瞭解 ASTM 及 ISO 等標準[5-9]各別規定試件面積至少需有 5.5 m²/10m² 要求之合理性。

由於試件之安裝自動化需求及試驗執行效率要求，執行試件及備用試件需同時進行，因此，自動測試架之定位於兩實驗室間，勢必將加深壁龕之深度。為瞭解此一實際需求及衍生之差異，以試件厚度及面積 150mm、10.5m² 為條件，比較有自動測試架定位後之壁龕深度 124cm 與一般實驗室 60cm 壁龕深度之差異性，圖 5 顯示於壁龕深度加深後，100~125Hz 將有 3 dB 之差異，其他頻率之差異約於±1 dB 之內。

五、結論

藉由活塞幅射效應所納入影響係數之計算與修正，小型開口面積之壁龕效應可以事先預估。將此 100~400Hz 之差異量視為修正項，納入單一數值參量之隔音值計算，將有助於不同測試開口實驗室，於宣告隔音量試驗結果之一致性。

六、誌謝

本文感謝李新欉博士之指導及修正。

七、參考文獻

1. R. W. Guy, P. Sauer, The Influence of Sills and Reveals on the Sound Transmission Loss, *Applied Acoustics*, Vol.17, pp.453-476, 1985.
2. A.C.C. Warnock, Influence of Specimen Frame on Sound Transmission Loss Measurement, *Applied Acoustics*, Vol.15, pp.307-314, 1982.
3. Kim, Bong-Ki; Kang, Hyun-Ju; Kim, Jae-Seung; Kim, Hyun-Sil; Kim, Sang-Ryul, Tunneling Effect in Sound Transmission Loss Determination: Theoretical Approach, *JASA*, Vol.115(5), pp. 2100-2019, 2004.
4. Roman Vinokur, Mechanism and Calculation of the Niche Effect in Airborne Sound Transmission, *JASA*, Vol.119(4), pp.2211-2219, 2006.
5. ASTM E336-2008, Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Attenuation between Rooms in Buildings,
6. CNS-15160-3, 聲學-建築物及建築構建之隔音量量測-建築構件空氣音隔音之實驗室量測, 97 年 1 月 14 日公布。
7. ISO 140-3, Acoustics-Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements-part 3:Laboratory Measurements of Airborne Sound Insulation of Building Elements, 1995.
8. CNS 8465-1, 聲學-建築物及建築構建之隔音量評定-空氣音隔音, 96 年 5 月 14 日公布。
9. ISO 717-1, Acoustics-Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements-Part 1:Airborne Sound Insulation, 1996。

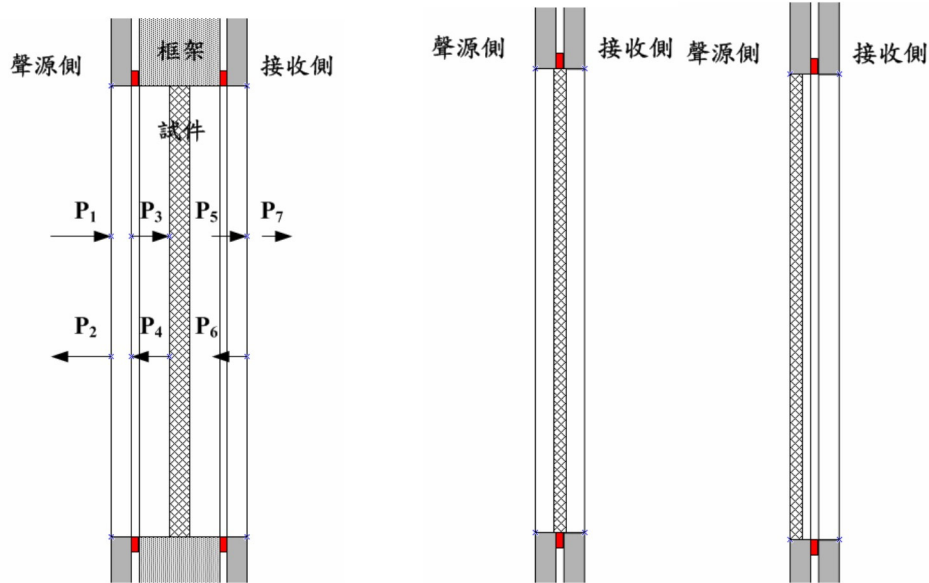


圖 1 不同區塊之壁龕聲波效應
(左圖為包含自動測試框架, 右圖為傳統測試開口)

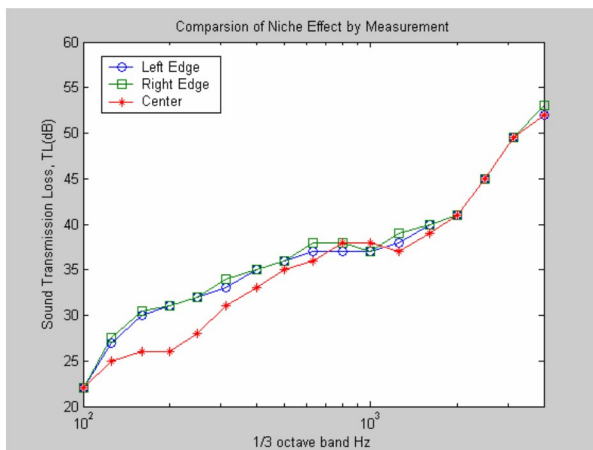


圖 2 多層玻璃於不同開口位置之隔音量

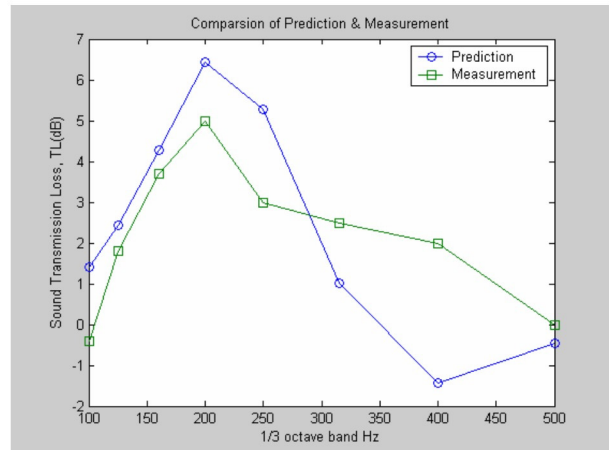


圖 3 不同位置壁龕效應之預估與量測比較

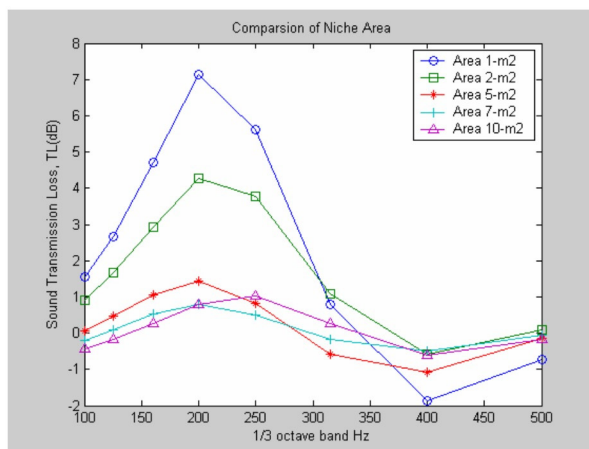


圖 4 不同開口面積條件下之壁龕效應比較

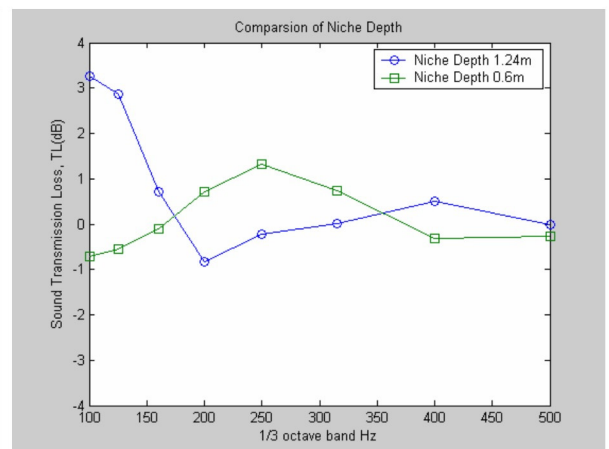


圖 5 不同開口深度條件下之壁龕效應比較