

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：工程學科

作品名稱：這裡真安靜-隔音材質的探討

得獎獎項：工程學科佳作

學 校：國立臺南第一高級中學

作 者：洪其正

作者簡介



我是台南一中學生洪其正,對科學方面有濃厚的興趣,尤其是交通設施方面.個人有幸在學校的鼓勵下,能接觸到科展,針對自己有興趣的事務作實驗.這次經驗使我領悟科學之美,同時也感謝這段期間幫助過我的人.

I am Hung Chi-cheng, studying in National Tainan First Senior High School. I have had a deep interest in science, especially in the facilities of transportation. I am lucky enough to have access to the Science Fair through the chance which school offered. Thus, I could do the experiments focused on the things I like. This experience enabled me to deeply understand the beauty of science. I also sincerely thank everyone who have given me a hand.

這裡真安靜—隔音材質的探討

摘要

中文摘要：

本實驗針對隔音材質的特性，如各孔板之孔徑、開孔率，並以夾層做不同孔板配置進行研究。

本主題共進行三階段的實驗。第一階段探討不同材質的影響，因材質加工問題，實驗誤差過大；第二階段改以 PP 塑膠板探討，因儀器誤差，數據難以解析；第三階段仍以 PP 塑膠板探討，並修正實驗步驟，以降低實驗誤差。本報告乃以第三階段實驗結果做探討。

為了提高實驗準確度，將整個實驗分成若干組，在實驗前後以空白測試，以減低實驗誤差。利用 Excel 軟體，進行各組實驗數據噪音傳送損失之修正與分析。

本試驗以 125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz 及 4000Hz 六段週波頻率做測試。由分析結果顯示，孔徑與開孔率、同心圓的排列方式，對噪音傳送損失有顯著的影響。

English abstract：

This experiment is to focus on the properties of sound barriers, such as hole diameter, open areas, and the layout of holing boards.

We have performed experiments in three steps. In the first step, we discussed the differences between different kinds of material but found many errors caused from faults in the process of making boards. So in the second step, we chose the poly-propene board but still found errors from instruments. And in the final step, we used the poly-propene board again and modified the experiment procedure to lower the error from instruments. The report is based on the final step data.

With a view to raise the precision of the experiment, we divided the experiment into several parts with the blank test. We modified and transferred the original data to the noisy transfer loss (TL) in the same intensity level, and analyzed the data with Microsoft Excel.

In experiment, we detected the noise-pollution level (dB) in the frequency of 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz and 4000Hz. According to the result, the hole diameter, open area and the layout of concentric circle have a significant influence on TL.

一、前言

科技進步，帶來了便捷的交通，但其所造成的噪音是不可忽視的問題。重視環保的今天，隔音牆已經成為公共設施不可或缺的裝置。本實驗即針對隔音的材料與配置—開孔、夾層、及不同排列配置對隔音效果之影響，尋求最適合的隔音材質的配置。

本研究主題在有限的儀器、材料加工及測試環境下，前後共實施三階段的試驗。前一階段利用學校教室，但因干擾因素多，後兩階段改移至其他空間較廣，週遭干擾因素少的場地，本實驗得以順利進行。

第一階段為材質比較試驗，因保麗龍及三夾板加工品質較差，影響試驗的評估，故第二階段改以均質性較高的 PP 塑膠板做試驗。且第一階段實驗於教室中進行，周圍器物的反射等都會影響實驗精度。

第二階段試驗時，鑒於首次試驗誤差多，改移至較寬闊的場地做試驗，試驗結果仍發現誤差值過大，無法尋求出一個趨勢。經檢討發現是頻率調整器的設定誤差所致，故變更試驗過程，降低頻率設定的誤差，進行第三階段的試驗。

第三階段試驗，縮短試驗組距，增設前後空白測定比較，但有時仍會發生誤差，判斷可能是電壓不穩定所導致，故對有誤差的組數再重新做校正試驗，使試驗準確性大幅提高。

二、研究法與過程：

(一) 原理

1. 噪音的定義：

噪音通常以噪音物理量之對數值表示，有下列的表示方式：

音壓級 (L_p , Sound Pressure Level)	音強度級 (L_i , Sound Intensity Level)	音功率級 (L_w , Sound Power Level)
$L_p = 20 \log (P / P_o)$ P_o ：基準音壓，20 釐Pa。	$L_i = 10 \log (I / I_o)$ I_o ：基準音強度， 10^{-12} W/m^2 。	$L_w = 10 \log (W / W_o)$ W_o ：基準音功率， 10^{-12} W 。

2. 噪音控制材質：

	吸音材料	遮音材料
特性	質輕 ($0.5 \sim 20 \text{ lb/ft}^3$)， 多孔，孔隙互通，遮音不良。	質重 ($20 \sim 80 \text{ lb/ft}^3$)， 無孔，吸音不良。
目的	減少反射音能，將音能轉換為 熱能。	減少音能傳送，將音能衰減。
控制原理	粘滯流動損失，內部摩擦。	限制空氣音的傳動。
衡量方式	吸音係數 (α): $\alpha = (I_i - I_r) / I_i$ I_i ：入射於材料知音強度， W/m^2 。 I_r ：在材料反射知音強度， W/m^2 。	傳送損失 (TL ，單位 dB): $TL = 10 \log_{10} (1/\tau) =$ $10 \log_{10} (I_i / I_t)$ τ = I_t / I_i ：透過率。

		I_i ：入射音強度(W/m^2)。 I_t ：透過音強度(W/m^2)。
評估頻率範圍	125, 250, 500, 1000, 2000, 4000Hz。	125, 250, 500, 1000, 2000, 4000Hz。
典型材料	玻璃纖維、聚胺基甲酸酯泡棉、發泡塑膠板等多孔板。	鋼鐵、鉛、木心板、石膏板、玻璃、磚、混凝土、PVC 塑膠等均質板。
說明	<p>在各種板類開孔，在其背後設空氣層，此稱開孔板吸音構造。音入射於開孔板構造時，孔部的空氣對應於音的周波數而開始振動，背後空氣層的空氣如彈簧般反覆壓縮且膨脹運動，與孔管(可視為短管)壁摩擦，損失能量、吸收音。</p>	<p>在均質的平板因入射音而使材料成一體振動，產生透過音。音入射到材料時，施加壓縮或拉張材料的反覆外力，板因而振動，此振動使材料背面附近的空氣振動，產生對應於其振動速度的言，此即透過音。增大透過損失就是減小透過音一亦即減小音所致板的振動。</p>

(二) 器材與實驗法：

1. 實驗用具：

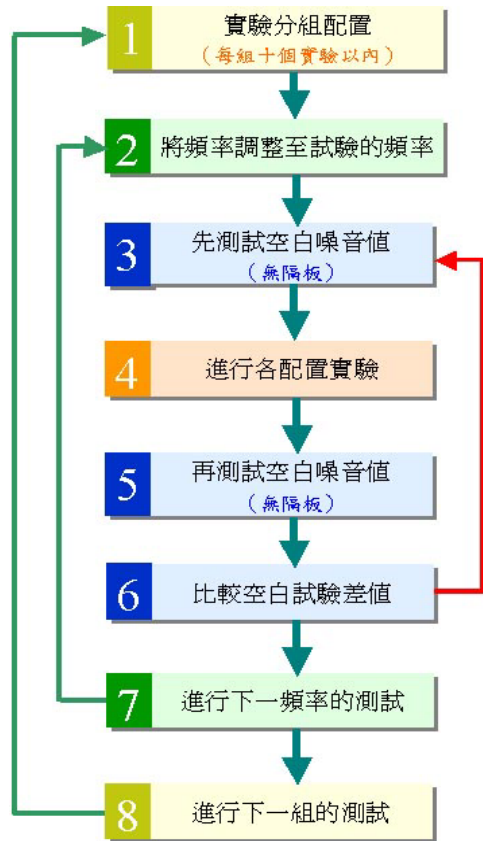
- | | |
|-----------------|----|
| (1) 頻率調整器 | 一台 |
| (2) 喇叭 (功率放大用) | 一台 |
| (3) 分貝儀 | 一支 |
| (4) 木箱 (代用殘響室) | 一組 |
| (5) 支撐箱 (支撐實驗板) | 一個 |

2. 實驗板規劃：(詳如附錄 A)

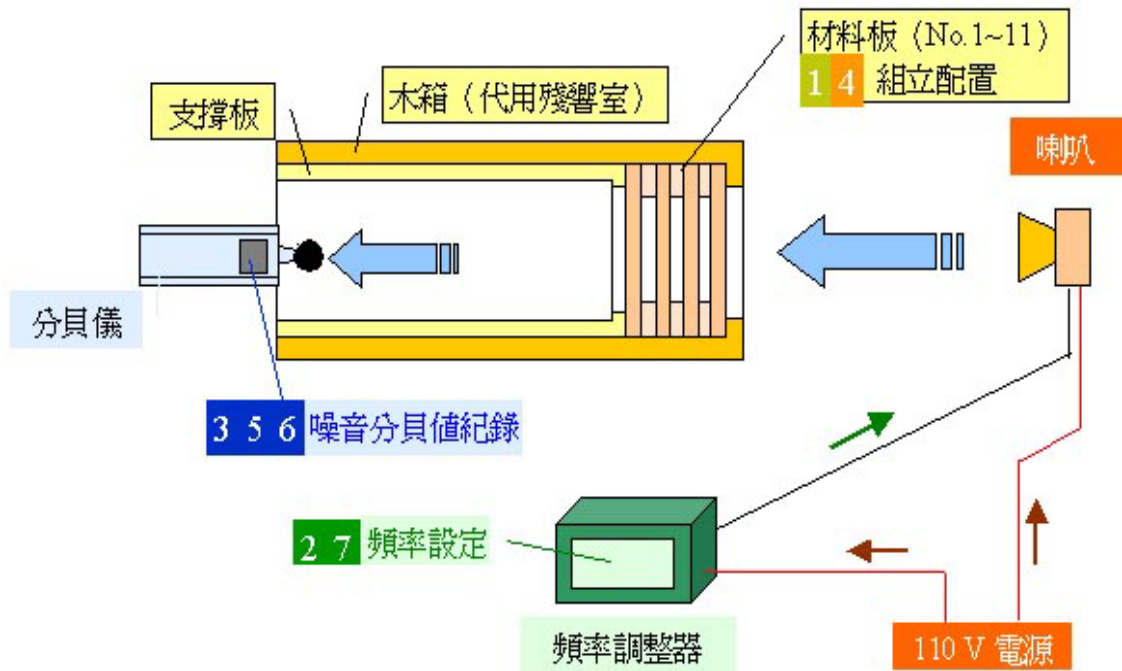
- (1) PP 塑膠板： 40 cm x 40 cm x 5 mm。
- (2) 孔徑規劃： 10 mm、5/8”、1”。
- (3) 孔數規劃： 60、88、113、158、248、481 孔。

3. 實驗步驟：

- (1) 將實驗組數做適當的分配，以每組距不超過十次實驗為原則，每組需涵蓋空白試驗。
- (2) 確認實驗的噪音頻率範圍，調整至適當位置。喇叭與木箱及分貝儀放置定位。
- (3) 先測試無隔板的空白噪音值，調整功率輸出至預定的設定值。
- (4) 依實驗規劃將測試板排列，放置於木箱內。打開電源，紀錄分貝儀之噪音值。重複三次電源開啟與關閉，讀取數據，如三次數值誤差過大，可增加次數，選取相近值。
- (5) 每組試驗完成後，須再增加一組空白試驗。
- (6) 比較前後空白試驗是否差距大，如誤差過大，整組實驗須再重複確認，如步驟(3)。
- (7) 進行下一個不同頻率的試驗，如步驟(2)。
- (8) 完成本組試驗，進行下一組試驗，如步驟(1)。



4. 組裝示意圖：



5. 注意事項：

- (1) 實驗時應避免在喇叭與殘響室間放置障礙物，以免增加干擾。
- (2) 讀取分貝儀數據時，應儘量遠離，以免干擾測定數值，須採取固定距離觀察。
- (3) 讀取分貝儀數據時，應讓數值跳動趨於穩定後才紀錄，如跳動變化大，則取最高與最低值之平均。
- (4) 流程圖中的綠色箭頭表示正常的實驗程序；若發生異常（各組實驗前後空白之 dB 值不等）時，則再調整音量功率。
- (5) 各配置的實驗板要以支撐板緊密放置，不可有排列間隙。



木箱、孔板及支撐物分解圖

三、研究結果與討論：

(一) 噪音傳送損失(Noisy Transfer Loss)

1. 由於本實驗每組數據均須以空白試驗來評定試驗之可靠度，每組實驗均需要以空白數據做適當的修正，才可以同基準來分析。因此，依據噪音測定原理，本實驗的所有數據可以噪音傳送損失做修正。
2. 噪音值之修正（音強度）

$$L_i \text{ (dB)} = 10 \log (I / I_0)$$

$$I = 10^{(L_i/10 + \log I_0)}$$

$$I_m = I - I_k + I_r$$

$$L_{im} \text{ (dB)} = 10 \log (I_m / I_0)$$

其中：

I_0 ：基準音強度 (10^{-12}W/m^2)；

I ：實測音強度 (W/m^2)；

L_i ：分貝值 (dB)，有下列三種型態：

L_{ip} ：實測分貝值 (dB)；

L_{ik} ：實測空白分貝值 (dB)；

L_{ir} ：空白參考分貝值 (dB)；

I_k ：實測空白音強度（由 **L_{ik}** 轉換，算法同 **I** 值）；

I_r ：空白參考音強度（由 **L_{ir}** 轉換，算法同 **I** 值）；

I_m ：實測音強度修正值 (W/m^2)；

L_{im} ：修正後分貝值 (dB)

3. 由以上噪音值之修正，各組數據則可與空白參考分貝值比較，以計算出修正後的噪音傳送損失(TL)。

(二) 多孔板之分析

1. 實驗數據：

編號	傳送損失 (TL, dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
245	1.69	1.61	1.95	0.89	2.60	0.71
246	1.56	1.06	0.79	0.14	1.10	0.42
247	2.75	2.15	2.01	1.72	3.28	0.95
248	1.85	1.59	1.39	0.98	2.09	0.44
249	1.32	1.11	1.22	0.14	0.74	0.01
250	2.80	2.28	3.39	1.89	4.61	1.01
251	1.72	1.72	2.84	1.15	3.63	0.66
252	1.64	1.38	2.67	0.87	2.95	0.48

編號	排列方式
245	[A01-060] (序號定義見附錄 A)
246	[A01-088]
247	[A02-113]
248	[A02-158]
249	[A02-248]
250	[A03-158]
251	[A03-248]
252	[A03-481]

2. 同孔徑：

(1)如圖 101，在 A01 孔徑時，#245 (66 孔數) 比#246 (88 孔數) 有較高的傳送損失。

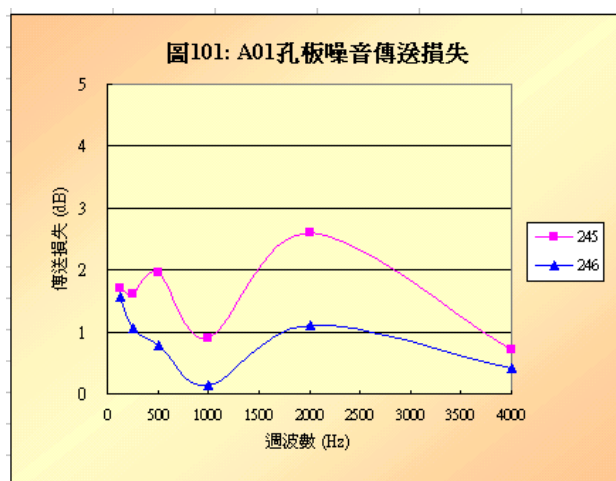
在 125Hz，#245 比#246 的差距不顯著。

在 250Hz，#245 比#246 高約 1 dB。

在 1000Hz，#245 比#246 高約 1 dB。

在 2000Hz，#245 比#246 高約 1.5 dB。

在 4000Hz，#245 比#246 高約 0.5 dB。



(2)如圖 102，在 A02 孔徑時，#247(113 孔數)比#248(158 孔數)、 #249(248

孔數)有較高的傳送損失。

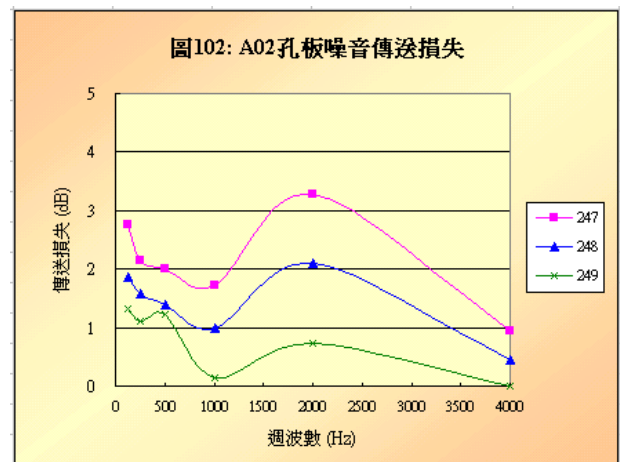
在 125Hz，約有 0.5 dB 的差距。

在 250Hz，約有 0.5 dB 的差距。

在 1000Hz，約有 0.8 dB 的差距。

在 2000Hz，約有 1.2 dB 的差距。

在 4000Hz，約有 0.5 dB 的差距。



(3)如圖 103，在 A03 孔徑時，#250(158 孔數)比#251(248 孔數)、 #252(481

孔數)有較高的傳送損失，#251 與#252 差距縮短。

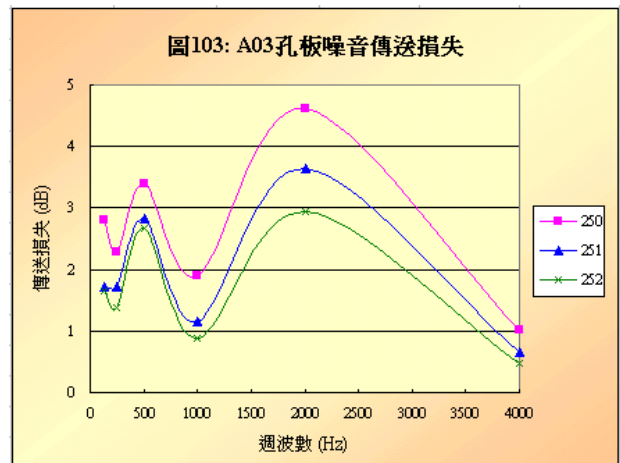
在 125Hz，#250 比#251 高約有 1 dB。

在 250Hz，#250 比#251 高約有 0.4 dB。

在 1000Hz，#250 比#251 高約有 0.8 dB。

在 2000Hz，#250 比#251 高約有 1 dB。

在 4000Hz，#250 比#251 高約有 0.3 dB。



3. 同孔數：

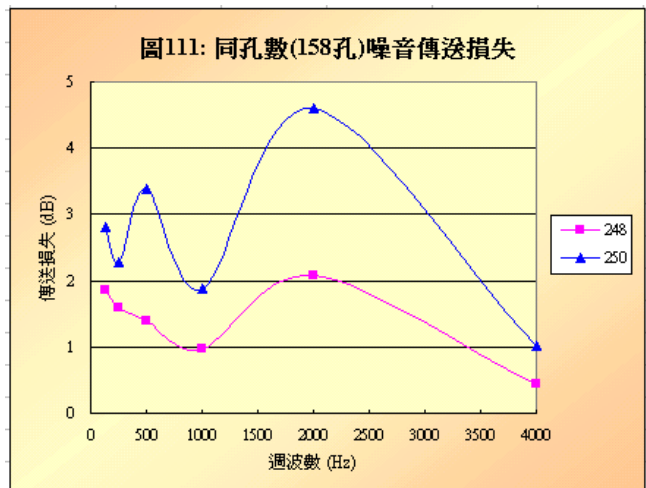
(1) 如圖 111，在同孔數 (158 孔)，小孔徑 A03 的傳送損失比大孔徑 A02 高。

在 125Hz，#250 比#248 高約有 1 dB。

在 250Hz，#250 比#248 高約有 1.8 dB。

在 1000Hz，#250 比#248 高約有 0.9 dB。

在 2000Hz，#250 比#248



高約有 2.2 dB。

在 4000Hz，#250 比#248 高約有 0.5 dB。

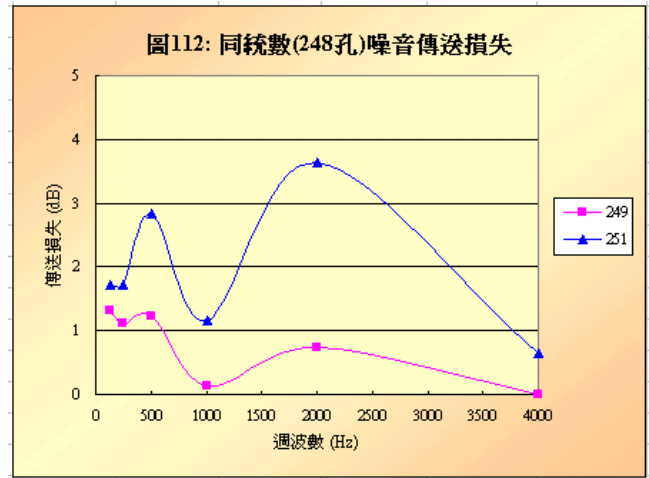
(2) 如圖 112，在同孔數（248 孔），小孔徑 A03 的傳送損失比大孔徑 A02 高。

在 125Hz，#251 比#249 高約有 0.2 dB。

在 250Hz，#251 比#249 高約有 1.6 dB。

在 1000Hz，#251 比#249 高約有 1 dB。

在 2000Hz，#251 比#249 高約有 0.6 dB。



4. 結論

- (1) 同孔徑時，低孔數比高孔數有較高的傳送損失。
- (2) 同孔數時，小孔徑比大孔徑有較高的傳送損失。
- (3) 由此可知，低開孔率的傳送損失較高。

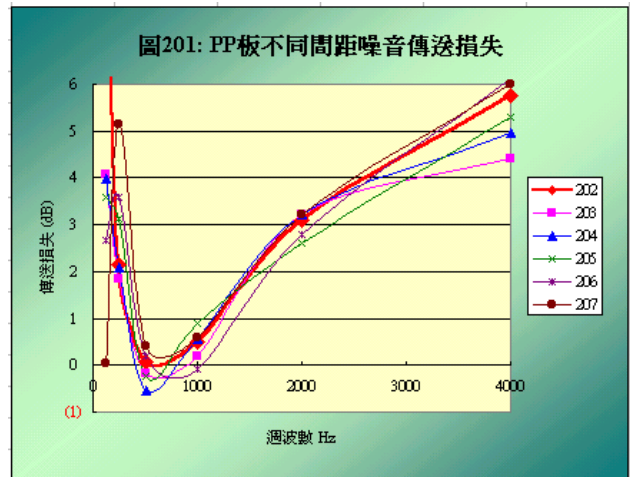
(三) 夾層排列之分析

1. 空心板夾層

編號	傳送損失 (TL, dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
202	11.33	2.15	0.07	0.50	3.08	5.75
203	4.07	1.85	-0.19	0.19	3.23	4.40
204	4.00	2.10	-0.54	0.55	3.23	4.97
205	3.58	3.12	-0.25	0.89	2.59	5.30
206	2.65	3.57	0.19	-0.07	2.79	6.12
207	0.04	5.14	0.42	0.59	3.23	6.00

編號	排列方式
202	[A0-000]-[A0-000]
203	[A0-000]-[空心板]-[A0-000]
204	[A0-000]-[空心板]-[空心板]-[A0-000]
205	[A0-000]-[空心板]-[空心板]-[空心板]-[A0-000]
206	[A0-000]-[空心板]-[空心板]-[空心板]-[空心板]-[A0-000]
207	[A0-000]-[空心板]-[空心板]-[空心板]-[空心板]-[空心板]-[A0-000]

- (1) 如圖 201，在不同空心板夾層間距裡，呈現一個趨勢，即在 500Hz 及 1000Hz 的傳送損失小，但在 2000Hz 與 4000Hz，卻有隨週波頻率增高而增加傳送損失的趨勢。
- (2) 在 125Hz 呈現隨著空心間距增加而降低傳送損失的趨勢。
- (3) 在 250Hz 呈現隨著空心間距增加，傳送損失則先降後升的趨勢。



2. 單層孔板

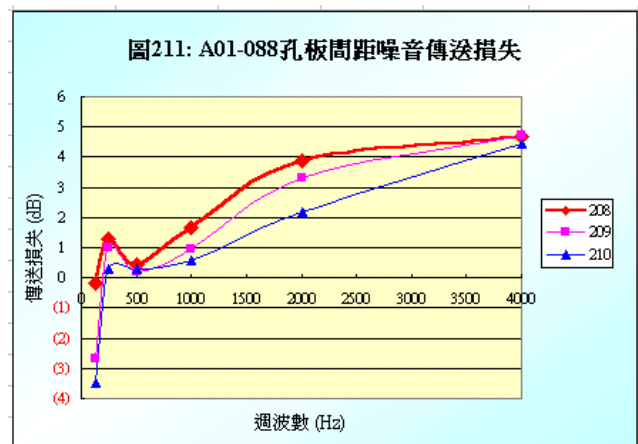
編號	傳送損失 (TL, dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
208	(0.19)	1.26	0.43	1.68	3.89	4.67
209	(2.69)	0.99	0.22	0.98	3.33	4.75
210	(3.47)	0.27	0.27	0.58	2.16	4.43
211	0.69	1.24	0.29	1.41	3.77	4.73
212	(2.56)	0.83	(0.36)	0.94	3.32	4.73
213	(3.67)	0.16	0.09	2.36	3.04	4.70
214	0.25	1.26	(0.21)	1.79	3.88	4.69
215	(2.59)	0.62	(0.37)	1.25	3.62	4.66
216	(3.60)	0.20	(0.14)	1.69	2.87	4.19
217	1.23	3.64	(1.49)	2.06	10.54	10.65
218	0.12	4.10	(1.38)	1.58	13.82	10.67
219	(1.15)	4.35	0.50	2.37	16.56	9.52
220	1.06	3.65	(1.22)	2.41	14.43	10.64
221	(0.15)	4.22	(1.15)	2.68	17.02	12.39
222	(1.38)	4.47	0.79	3.17	16.98	11.25

編號	排列分佈
208	[A00-000]-[A01-088]-[A00-000]
209	[A00-000]-[空心板]-[A01-088]-[空心板]-[A00-000]
210	[A00-000]-[空心板]-[空心板]-[A01-088]-[空心板]-[空心板]-[A00-000]

211	[A00-000]-[A02-158]-[A00-000]
212	[A00-000]-[空心板]-[A02-158]-[空心板]-[A00-000]
213	[A00-000]-[空心板]-[空心板]-[A02-158]-[空心板]-[空心板]-[A00-000]
214	[A00-000]-[A02-248]-[A00-000]
215	[A00-000]-[空心板]-[A02-248]-[空心板]-[A00-000]
216	[A00-000]-[空心板]-[空心板]-[A02-248]-[空心板]-[空心板]-[A00-000]
217	[A00-000]-[A03-158]-[A00-000]
218	[A00-000]-[空心板]-[A03-158]-[空心板]-[A00-000]
219	[A00-000]-[空心板]-[空心板]-[A03-158]-[空心板]-[空心板]-[A00-000]
220	[A00-000]-[A03-248]-[A00-000]
221	[A00-000]-[空心板]-[A03-248]-[空心板]-[A00-000]
222	[A00-000]-[空心板]-[空心板]-[A03-248]-[空心板]-[空心板]-[A00-000]

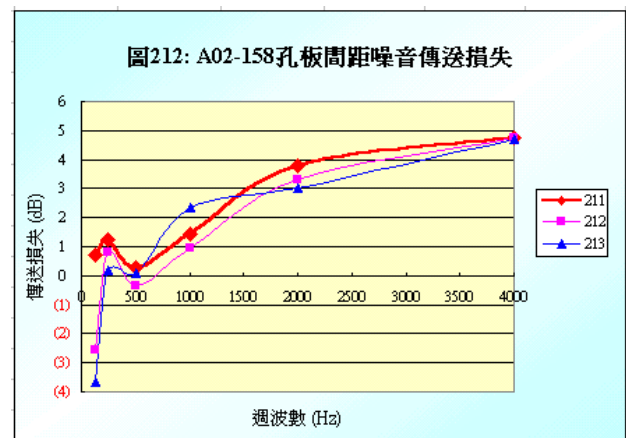
(1) 如圖 211, 單一 A01-088 孔板夾層比內夾空心板間距的傳送損失大。

在低頻範圍 125Hz、250Hz 及 500Hz 均偏低, 尤其在 125Hz 不增反減。在 1000Hz 及 2000Hz 隨著夾層間距的增加, 傳送損失則減少。在 4000Hz, 夾層間距大小對傳送損失並無顯著差距。



(2) 如圖 212, 單一 A02-158 孔板夾層的傳送損失大與 A01-088 相近, 主要差異在 1000Hz 時, 兩個空心板間距的傳送損失反比無空心板間高。

在低頻範圍 125Hz、250Hz 及 500Hz 均偏低, 尤其在 125Hz 不增反減。在 2000Hz 隨著夾層間距的增加, 傳送損失則減少。在 4000Hz, 夾層間距大小對傳送損失並無顯著



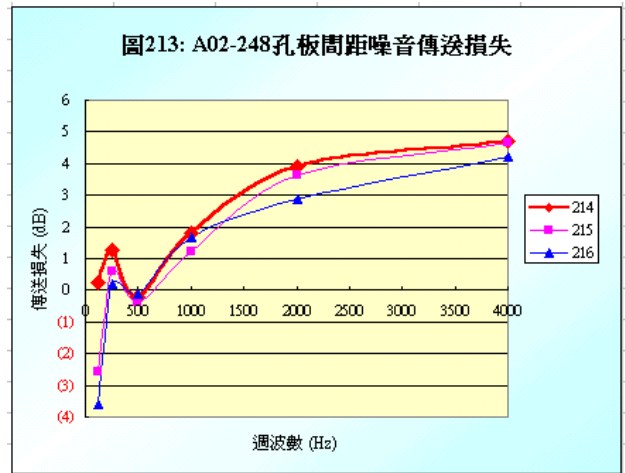
差距。

- (3) 如圖 213，單一 A02-248 孔板夾層的傳送損失大與 A01-088 相近，

主要差異在 1000Hz 時，兩個空心板間距的傳送損失略比一個空心板間高。

在低頻範圍 125Hz、250Hz 及 500Hz 均偏低，尤其在 125Hz 不增反減。

在 2000Hz 隨著夾層間距的增加，傳送損失則減少。在 4000Hz，夾層間距大小對傳送損失並無顯著差距。



- (4) 如圖 214，單一 A03-158 孔板夾層中，除在 1000Hz 時，兩個空心板間距的傳送損失最大，其次為一個。

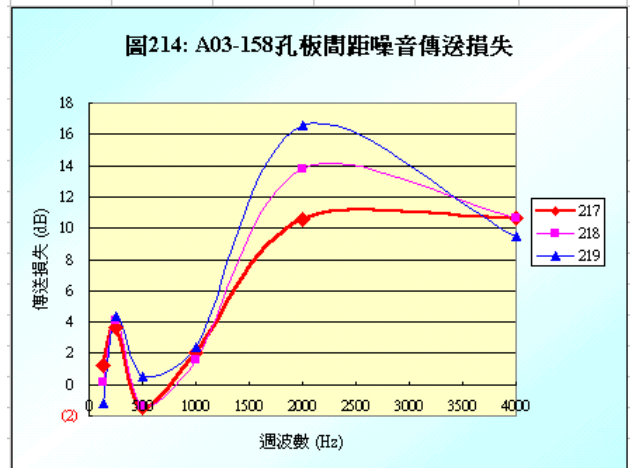
在低頻範圍 125Hz 及 500Hz 均偏低，不增反減。250Hz、1000Hz 及 4000Hz 的傳送損失與空心板間距並無顯著差異。

在 250Hz 的傳送損失約為 4 dB。

在 1000Hz 的傳送損失約為 2 dB。

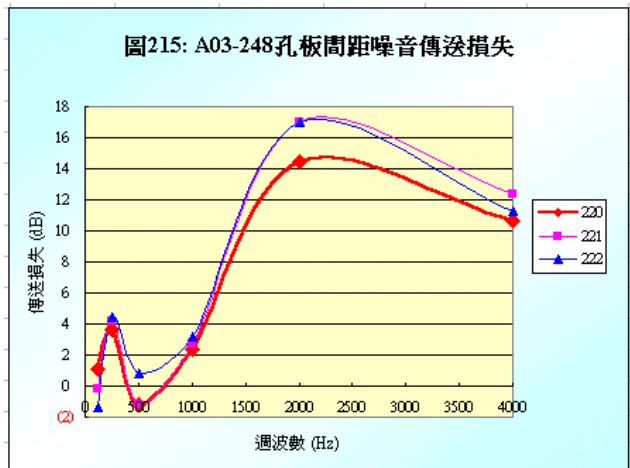
在 2000Hz 的傳送損失最高，隨著夾層空心板間距的增加，每一間距傳送損失約增加 2 dB。

在 4000Hz 一有較高的傳送損失，夾層間距大小對傳送損失並無顯著差距。



- (5) 如圖 215，單一 A03-248 孔板夾層與 A03-158 相近，除在 1000Hz 時，兩個空心板間距的傳送損失最大，與一個空心板間距相同。

在低頻範圍 125Hz 及



500Hz 均偏低，不增反減。

250Hz 及 1000Hz 的傳送損失與空心板間距並無顯著差異。

在 250Hz 的傳送損失約為 4 dB。

在 1000Hz 的傳送損失約為 2 dB。

在 2000Hz 的傳送損失最高，有夾層空心板間距的傳送損失約比無夾層空心板間距增加 3 dB。

在 4000Hz 一有較高的傳送損失，夾層間距大小對傳送損失差距不大。

3. 結論

- (1) 有夾層空心板當夾層間距，對 2000Hz 以上高週頻的噪音傳送損失有顯著的功用。
- (2) 單一孔板在 125Hz 及 500Hz 的噪音傳送損失較小，須探討其原因。

(四) 同心圓排列之分析

1. 雙層同心圓

編號	傳送損失 (TL, dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
253	3.25	0.46	(0.07)	1.88	1.58	5.86
254	3.13	(0.16)	0.40	1.55	1.57	5.62
255	1.75	0.99	0.43	1.62	1.58	5.76
256	3.23	0.16	0.03	1.91	1.57	5.71
257	3.12	0.25	0.20	1.86	1.41	5.62
258	3.09	0.50	0.20	1.83	1.55	5.73
259	3.18	0.28	0.57	1.57	1.56	5.78
260	3.33	0.71	(0.04)	1.74	1.47	5.81

編號	排列分佈
253	[A00-000]-[A01-088]-[A02-248]-[A00-000]
254	[A00-000]-[A01-088]-[A03-248]-[A00-000]
255	[A00-000]-[A02-158]-[A03-158]-[A00-000]
256	[A00-000]-[A02-248]-[A01-088]-[A00-000]
257	[A00-000]-[A02-248]-[A03-248]-[A00-000]
258	[A00-000]-[A03-158]-[A02-158]-[A00-000]
259	[A00-000]-[A03-248]-[A01-088]-[A00-000]
260	[A00-000]-[A03-248]-[A02-248]-[A00-000]

(1) 如圖 301，以大孔徑 A01-088 在前面，與小孔徑 A02-248 及 A03-248

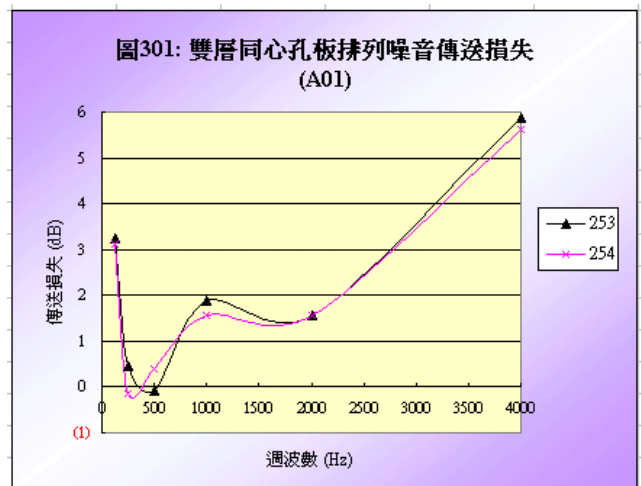
做同心圓排列，形成一收斂的阻隔作用，發現其傳送損失相近，且在 125Hz 有顯著的效果。

125Hz 的傳送損失約為 3 dB。
250Hz 的傳送損失約為 0.5 dB
較低，500Hz 的傳送損失最小。

1000Hz 的傳送損失約為 2 dB。

2000Hz 的傳送損失約為 1.5 dB。

4000Hz 的傳送損失最大，約為 6 dB。



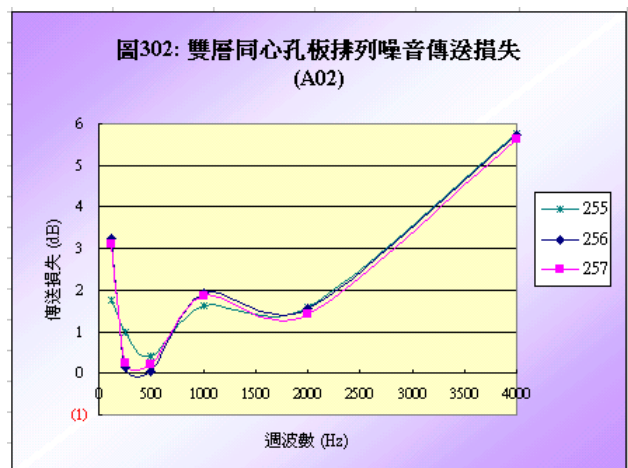
(2) 如圖 302，以中孔徑 A02 在前面，與小孔徑 A03 及大孔徑 A01 做同心圓排列，形成一收斂或發散的阻隔作用，發現其傳送損失相近，且在 125Hz 有顯著的效果，與圖 311 情況相似。

125Hz 的傳送損失約為 3 dB。
250Hz 的傳送損失與 500Hz 的最小。

1000Hz 的傳送損失約為 2 dB。

2000Hz 的傳送損失約為 1.5 dB。

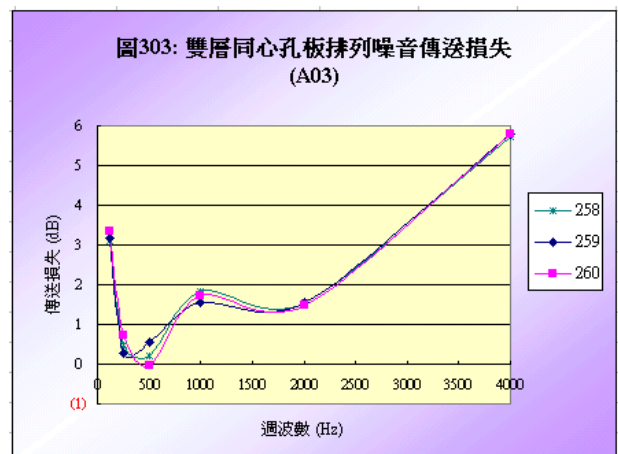
4000Hz 的傳送損失最高，約為 6 dB。



(3) 如圖 303，以小孔徑 A03 在前面，與大孔徑 A01 及中孔徑 A02 做同心圓排列，形成一發散的阻隔作用，發現其傳送損失相近，且在 125Hz 有顯著的傳送損失，與圖 312 情況相似。

125Hz 的傳送損失約為 3 dB。
250Hz 的傳送損失與 500Hz 的最小。

1000Hz 的傳送損失約為 1.5 dB。



2000Hz 的傳送損失約為 1.5 dB。

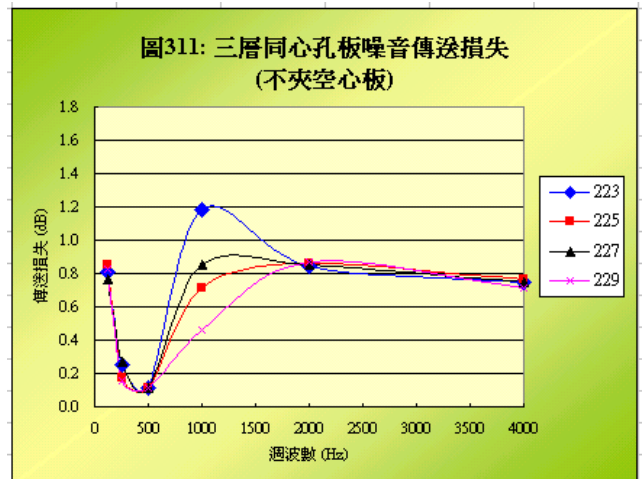
4000Hz 的傳送損失最高，約為 6 dB。

2. 三層同心圓

編號	傳送損失 (TL, dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
223	0.81	0.25	0.12	1.18	0.85	0.75
225	0.85	0.18	0.11	0.71	0.86	0.76
227	0.76	0.27	0.11	0.86	0.86	0.75
229	0.83	0.16	0.11	0.46	0.87	0.71
224	0.73	0.66	0.20	1.59	0.83	0.72
226	0.63	0.66	0.22	1.45	0.83	0.74
228	0.58	0.64	0.22	1.50	0.83	0.74
230	0.60	0.68	0.22	1.44	0.83	0.74

編號	排列分佈
223	[A00-000]-[A02-158]-[A03-158]-[A02-158]-[A00-000]
225	[A00-000]-[A03-158]-[A02-158]-[A03-158]-[A00-000]
227	[A00-000]-[A02-248]-[A03-248]-[A02-248]-[A00-000]
229	[A00-000]-[A03-248]-[A02-248]-[A03-248]-[A00-000]
224	[A00-000]-[空板]-[A02-158]-[空板]-[A03-158]-[空板]-[A02-158]-[空板]-[A00-000]
226	[A00-000]-[空板]-[A03-158]-[空板]-[A02-158]-[空板]-[A03-158]-[空板]-[A00-000]
228	[A00-000]-[空板]-[A02-248]-[空板]-[A03-248]-[空板]-[A02-248]-[空板]-[A00-000]
230	[A00-000]-[空板]-[A03-248]-[空板]-[A02-248]-[空板]-[A03-248]-[空板]-[A00-000]

- (1) 如圖 311，以同孔數（158 孔及 248 孔）做三層孔板之「收斂、發散」與「發散、收斂」排列實驗，發現在 250Hz 及 500Hz 之傳送損失均稍有提升。另除在 1000Hz 的傳送損失有較大的差異外，其餘各週波頻率之傳送損失相近。125Hz、2000Hz 及 4000Hz 的傳送損失約為 0.8 dB。250Hz 的傳送損失約為 0.2 dB，500Hz 的傳送損失約為 0.1 dB，仍為偏低。1000Hz 的傳送損失在「收斂、發散」排列較「發散、收斂」排列為高，約高 0.4 dB。



低孔數比高孔數的傳送損失，約高 0.3 dB。

(2) 如圖 312，以同孔數（158 孔及 248 孔）做三層孔板之「收斂、發散」與「收斂、發散」排列實驗，並加入空心板做間距差異實驗，發現在 250Hz 及 500Hz 之傳送損失均顯著提升。各組在各週波數之傳送損失相近。

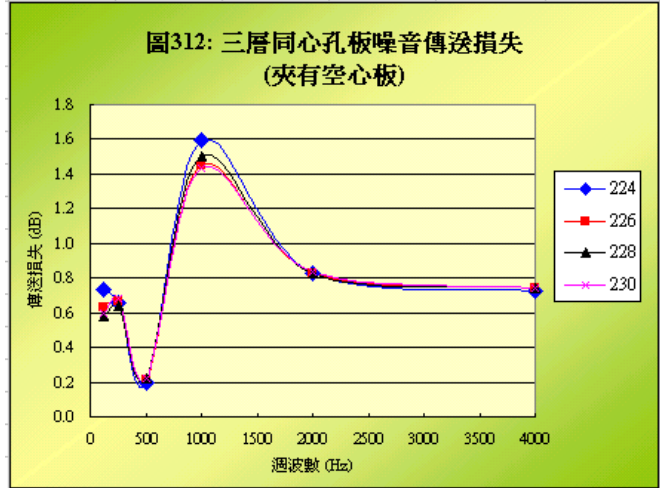
125Hz 與 250Hz 的傳送損失約為 0.7 dB。

500Hz 的傳送損失約為 0.2 dB。

1000Hz 的傳送損失最高，約為 1.5 dB。

2000Hz 的傳送損失約為 0.8 dB。

4000Hz 的傳送損失約為 0.7 dB。



3. 四層同心圓

編號	傳送損失 (TL, dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
231	2.36	2.20	1.02	0.45	2.62	1.50
233	2.30	2.20	0.96	0.67	2.69	1.54
235	2.34	2.33	1.02	0.73	2.75	1.44
237	2.32	2.31	1.01	0.56	2.71	1.48
232	0.84	2.19	1.28	1.17	3.17	1.50
234	0.88	2.22	1.27	0.98	3.15	1.51
236	0.97	2.15	1.25	1.03	3.10	1.44
238	1.05	2.20	1.23	1.06	3.13	1.44

編號	排列分佈
231	[A00-000]-[A02-158]-[A03-158]-[A02-158]-[A03-158]-[A00-000]
233	[A00-000]-[A03-158]-[A02-158]-[A03-158]-[A02-158]-[A00-000]
235	[A00-000]-[A02-248]-[A03-248]-[A02-248]-[A03-248]-[A00-000]
237	[A00-000]-[A03-248]-[A02-248]-[A03-248]-[A02-248]-[A00-000]
232	[A00-000]-[空板]-[A02-158]-[空板]-[A03-158]-[空板]-[A02-158]-[空板]-[A03-158]-[空板]-[A00-000]
234	[A00-000]-[空板]-[A03-158]-[空板]-[A02-158]-[空板]-[A03-158]-[空板]-[A02-158]-[空板]-[A00-000]
236	[A00-000]-[空板]-[A02-248]-[空板]-[A03-248]-[空板]-[A02-248]-[空板]-[A03-248]-[空板]-[A00-000]
238	[A00-000]-[空板]-[A03-248]-[空板]-[A02-248]-[空板]-[A03-248]-[空板]-[A02-248]-[空板]-[A00-000]

- (1) 如圖 321，以同孔數（158 孔及 248 孔）做 四層孔板之「發散、收斂、發散」與「收斂、發散、收斂」排列實驗，並加入空心板做間距差異實驗，發現在 250Hz 及 500Hz 之傳送損失均顯著提升。各組在各週波數之傳送損失相近。

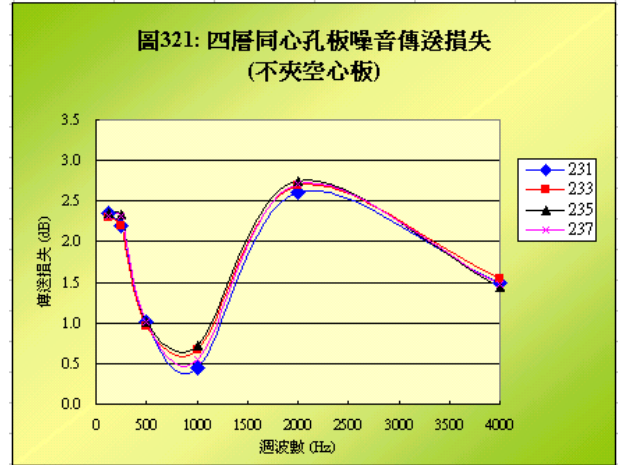
125Hz 與 250Hz 的傳送損失約為 2.2 dB。

500Hz 的傳送損失約為 1.0 dB。

1000Hz 的傳送損失約為 0.6 dB。

2000Hz 的傳送損失最高，約為 2.6 dB。

4000Hz 的傳送損失約為 1.5 dB。



- (2) 如圖 322，以同孔數（158 孔及 248 孔）做 四層孔板之「發散、收斂、發散」與「收斂、發散、收斂」排列實驗，並加入空心板做間距差異實驗，發現在 250Hz 及 500Hz 之傳送損失均顯著提升。各組在各週波數之傳送損失相近。

125Hz 的傳送損失約為 0.8 dB，比上圖稍降。

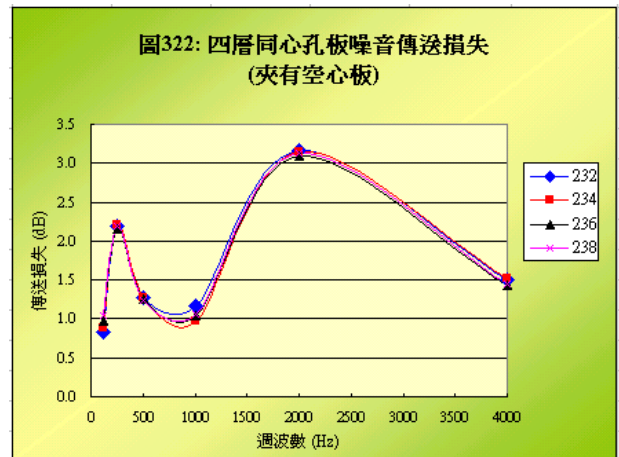
250Hz 的傳送損失約為 2.2 dB。

500Hz 的傳送損失約為 1.3 dB。

1000Hz 的傳送損失約為 1.2 dB。

2000Hz 的傳送損失最高，約為 3.0 dB。

4000Hz 的傳送損失約為 1.5 dB。



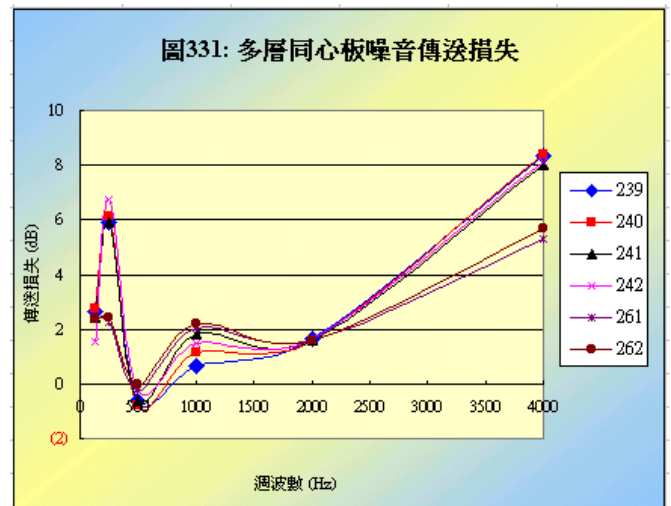
4. 多層同心圓

編號	傳送損失 (TL, dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
239	2.65	5.88	-0.63	0.64	1.62	8.36
240	2.75	6.12	-0.78	1.13	1.61	8.41
241	2.40	5.91	-0.60	1.79	1.61	8.00

242	1.55	6.71	-0.21	1.49	1.63	8.13
261	2.47	2.28	(0.23)	2.04	1.60	5.27
262	2.37	2.43	0.01	2.20	1.60	5.68

編號	排列分佈
239	[A00-000]-[A01-088]-[A02-248]-[A03-248]-[A02-248]-[A01-088]-[A00-000]
240	[A00-000]-[A03-248]-[A02-248]-[A01-088]-[A02-248]-[A03-248]-[A00-000]
241	[A00-000]-[A01-088]-[A02-248]-[A03-248]-[A01-088]-[A02-248]-[A03-248]-[A00-000]
242	[A00-000]-[A03-248]-[A02-248]-[A01-088]-[A03-248]-[A02-248]-[A01-088]-[A00-000]
261	[A00-000]-[A01-088]-[A02-248]-[A01-088]-[A03-248]-[A02-248]-[A03-248]-[A00-000]
262	[A00-000]-[A03-248]-[A02-248]-[A03-248]-[A01-088]-[A02-248]-[A01-088]-[A00-000]

(1) 如圖 331，以不同孔數（88、158 及 248 孔）做五、六層孔板之「收、收、發、發」、「發、發、收、收」與「收、收、發、收、收」、「發、發、收、發、發」、「收、發、收、發、收、收」、「發、收、發、收、收」、「發、收、發、收、發」排列實驗。



(2) 以整體觀察，在 4000Hz 有較高的傳送損失，但在 500Hz 卻有負面的效果，其傳送損失不增反減。

5. 孔板交錯組合

編號	傳送損失 (TL, dB)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
243	2.96	6.15	0.09	1.53	1.54	7.84
244	3.83	5.53	0.39	1.35	1.61	7.57

編號	排列分佈
243	[A00-000]-[A03-248]-[A02-248]-[A02-248 倒]-[A03-248 倒]-[A00-000]
244	[A00-000]-[A01-088]-[A02-248 倒]-[A02-248]-[A01-088 倒]-[A00-000]

(1) 如圖 332，將具有同心圓性質的孔板，部分倒轉 180 度，使孔徑成不規則阻擾作用，發現除在 500Hz 的傳送損失無功用外，其餘各段頻率皆有增強的效果。

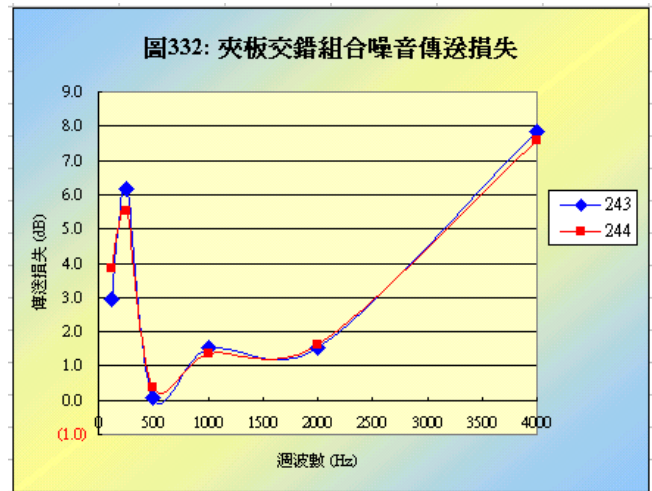
(2) 125Hz 的傳送損失約為 3.5 dB。

250Hz 的傳送損失約為 5.5 dB。

500Hz 的傳送損失無效果。

1000Hz 與 2000Hz 的傳送損失相近，約為 1.5 dB。

4000Hz 的傳送損失約為 7.5 dB。



6. 結論

- (1) 同心圓的「收斂」與「發散」組合對噪音傳送損失有其阻隔的功用。
- (2) 以四層四層孔板之「發散、收斂、發散」與「收斂、發散、收斂」排列，並加上空心板間距之排列，對噪音傳送損失均能有效增大，尤其在 125Hz 及 500Hz 比其他各組實驗都高。

(五) 實驗檢討

1. 本階段的試驗發現除在 500Hz 的傳送損失較差，及 125Hz 與 250Hz 差異性高外，其他在 1000Hz、2000Hz 及 4000Hz 都有較大的傳送損失的排列組合。低頻率的傳送損失偏低原因的探討，及如何降低低頻率的傳送損失，是未來另一階段試驗應思考的方向。

2. 以聲波在空氣中傳遞的速度每秒 340 公尺為基準，各段頻率的波長計算如下：

頻率	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
波長	272 cm	136 cm	68 cm	34 cm	17 cm	8.5 cm

本實驗是以正弦波作為聲源功率發出，其音量經喇叭做放大輸出，在 500Hz 之半波長為 34 cm，與木箱的開口寬度 32 cm x 32 cm 相近，會發生共鳴現象，此為 500Hz 之傳送損失較小的主要原因之一。

3. 木箱外圍尺寸為 44cm x 44cm，其高度不足以抵擋波長大於 44cm 的低頻率，而本實驗是在室內測試，室內空間的長度、寬度及高度，都會因迴音反射造成實驗的誤差，此情況在 125Hz、250Hz 及 500Hz 低頻率較為嚴重。以本實驗而言，應以 3m x 3m 的隔牆來降低實驗誤差。
4. 另在喇叭與木箱開口處距離為 118cm，木箱開口處至分貝儀間之距離為 62 cm，總距離為 180 cm，約為 250Hz 半波長的三倍，可能是影響雙同心圓孔板排列，在 250Hz 的傳送損失較小的主因。木箱與支撐板的接觸尺寸為 40cm x 40cm，其間隙與尺寸可能會產生木箱內共鳴現象。
5. 分貝儀之精密度與數據的讀取，亦是影響實驗的結果。本實驗是以目視讀取分貝值，因缺少連續紀錄器供實驗數據的判讀，如在數據跳動變化大的情況，容易發生讀取誤差。另在目視的距離亦影響分貝儀的檢測，觀測基準點不易控制。
6. 本實驗如增加一只分貝儀，則可檢測出音源的分貝值變動，降低實驗數據的誤差。選用功能性較優的分貝儀，將訊號輸出與電腦連線，則可避免目視上的誤差，並可做有效的篩選分析。

四、結論與應用

(一) 一般隔音牆的高度介於 2m~6m，特殊需求亦高達 8m~10m，其傳送損失之效果介於 5~12dB。本實驗係以簡易的木箱作為隔音裝置，木箱尺寸未考慮音源波長對實驗之影響，以致於在低頻率（125Hz、250Hz、500Hz）的效果較不顯著，但在高頻率（1000Hz、2000Hz、4000Hz）時，各種孔板在適當的排列配置下，均能發揮其增加傳送損失效果。

(二) 將來應用方向：

1. 本實驗係以均質板 PP 塑膠板易加工的特性，採兩層均質板間夾孔板與中空板，尋求最優的隔音配置。孔徑與孔數決定孔板開孔率，開孔率的規劃與空心板對隔音的效果，將影響隔音材質用量的成本。
2. 隔音牆在材料應用上，若選用可回收的塑膠材質，除資源回收及經濟外，塑膠的耐候特性比金屬或木質物品強，易加工，可降低的維修成本。另在外觀設計上，塑膠材料的色彩的變化與可塑性又比其他材質佳，是為將來隔音牆主要的建構材料。

五、參考文獻：

- (一) 中野有朋著、黃忠良譯，噪音工學的基礎，復漢出版社，P.14~27，P.58~91，P.124~150，2001。
- (二) 張錦松、韓光榮著，噪音振動控制法，高立圖書公司，P.6~9，P.135~165，P.189~219，2001。
- (三) 陳金文著，噪音量測與控制技術應用，科技圖書公司，P.45~56，P.277~297，1998。

六、附錄：

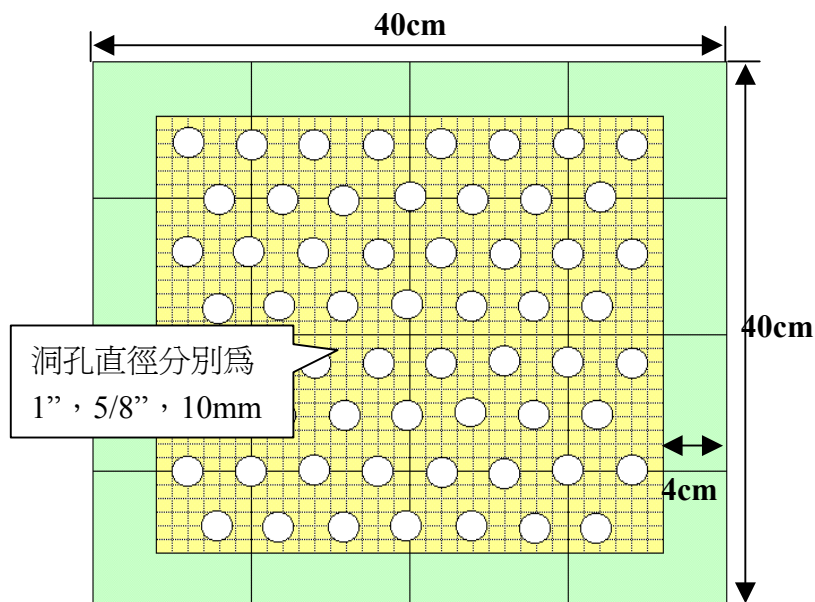
A：實驗板規劃和孔板編號解釋

B：噪音傳送損失修正後數據

A：實驗板規劃和孔板編號解釋

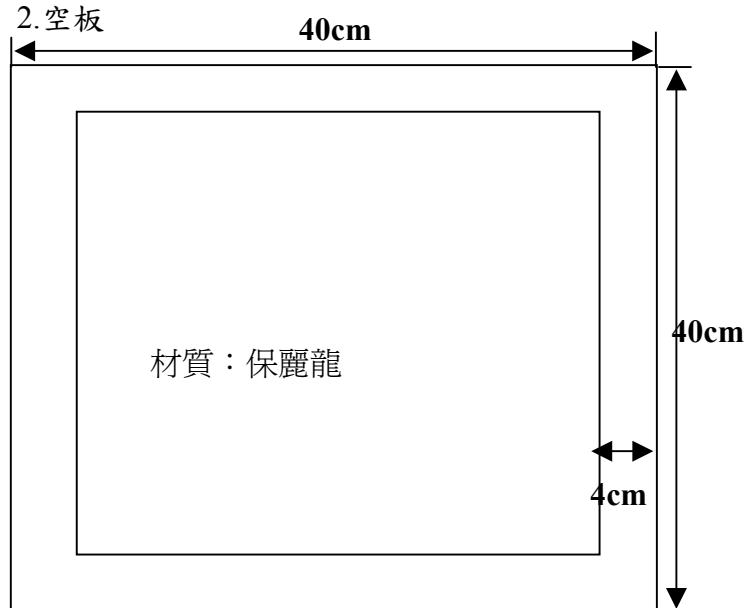
(一) 孔板設計

1. 孔板



- (1) 孔板 40cm x 40cm 配合 4 尺 x 8 尺 (121.2cm x 242.4cm) 市售規格裁切，共切 18 片。
- (2) 洞孔數量以不同開孔率設計為前提；旁邊留白 4cm 是為了與殘響室的前緣密合。
- (3) 此種洞孔分布在特定總孔數下在板子反過來放置時(反轉)，恰可與未反轉著錯開洞孔。

2. 空板



(二) 孔板編號解釋：

序號	孔徑	孔數	每孔面積	單位面積	開孔率
	D (cm)	Hole	H (cm ²)	H(cm ²)	p(%)
A00-000	0	0	0.00	0	0%
A01-060	2.54	60	5.07	304.03	29.69%
A01-088	2.54	88	5.07	445.90	43.55%
A02-113	1.59	113	1.98	223.66	21.84%
A02-158	1.59	158	1.98	312.73	30.54%
A02-248	1.59	248	1.98	490.87	47.94%
A03-158	1.00	158	0.79	124.09	12.12%
A03-248	1.00	248	0.79	194.78	19.02%
A03-481	1.00	481	0.79	377.78	36.89%
空板	保麗龍製，開孔率 100%				

【說明】

1. 序號 **A0x-xxx** 中：

A: PP板

00: 不開孔

01: 1"孔徑

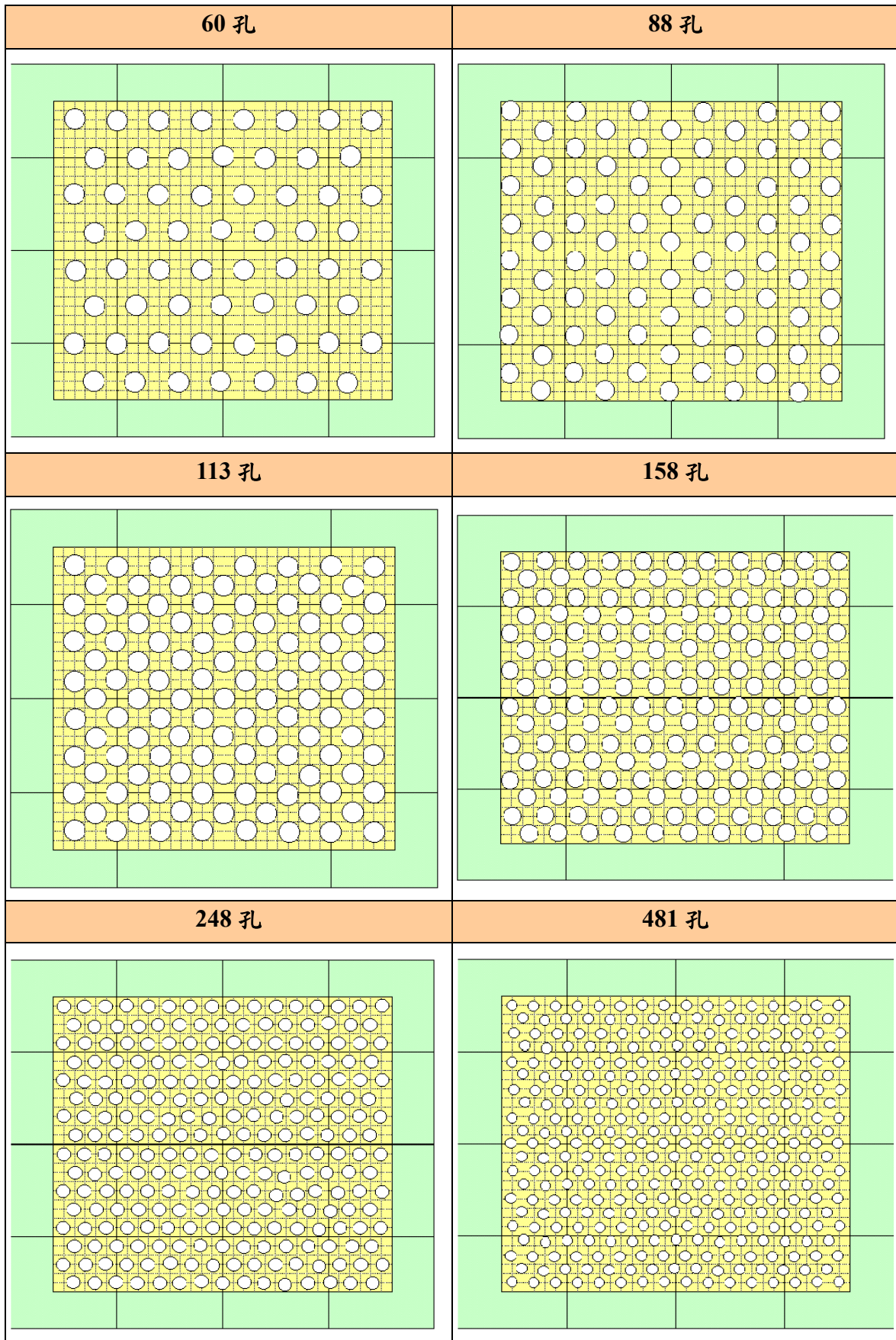
02: 5/8"孔徑

03: 10mm 孔徑

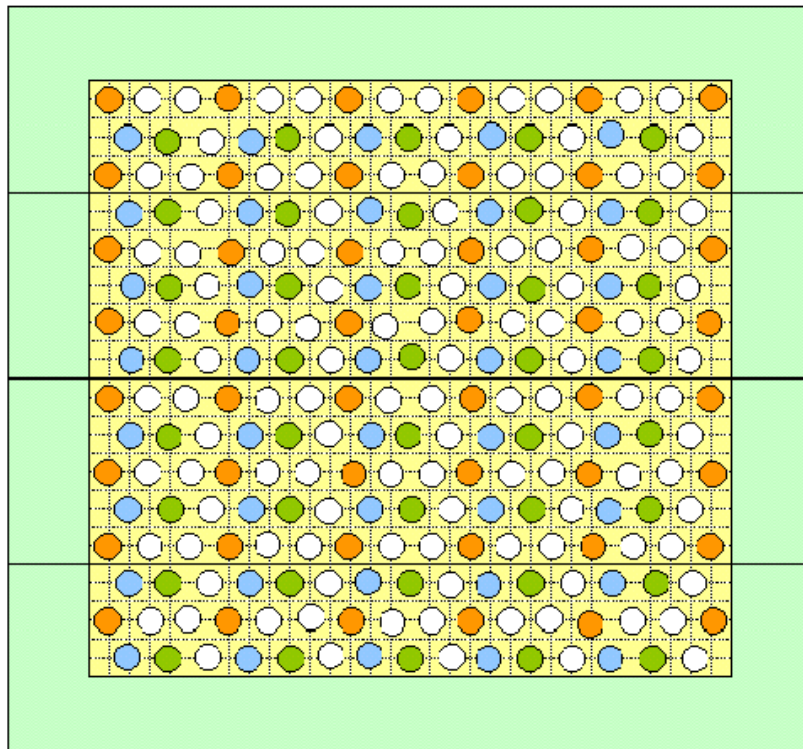
xxx: 總孔數

2. 開孔率計算以木箱接觸範圍 32cm x 32cm 做基準。

(三) 孔板洞孔分布情況：



(四) 同心圓規劃圖



上圖全部孔洞為 248 孔數之配置。

- 1 「●」與「●」為 158 孔板與 248 孔板兩板同心圓部分，共 88 孔。
- 2 「●」與「●」為 88 孔板 248 孔板兩板同心圓部分，共 88 孔。
- 3 「●」為 88 孔板與 158 孔板兩板同心圓部分，共 48 孔。

B. 噪音傳送損失修正後數據：

表101：多孔板

編號	實驗配置											傳送損失 (TL, dB)					
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
245	A01-066	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1.69	1.61	1.95	0.89	2.60	0.71
246	A01-088	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1.56	1.06	0.79	0.14	1.10	0.42
247	A02-113	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2.75	2.15	2.01	1.72	3.28	0.95
248	A02-158	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1.85	1.59	1.39	0.98	2.09	0.44
249	A02-248	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1.32	1.11	1.22	0.14	0.74	0.01
250	A03-158	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2.80	2.28	3.39	1.89	4.61	1.01
251	A03-248	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1.72	1.72	2.84	1.15	3.63	0.66
252	A03-481	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1.64	1.38	2.67	0.87	2.95	0.48

表102：夾層-空心板

編號	實驗配置											傳送損失 (TL, dB)					
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
201	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10.60	2.29	(0.06)	0.40	3.15	5.90
202	A00-000	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	x	x	11.33	2.15	0.07	0.50	3.08	5.75
203	A00-000	x	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	x	4.07	1.85	(0.19)	0.19	3.23	4.40
204	A00-000	x	x	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	4.00	2.10	(0.54)	0.55	3.23	4.97
205	A00-000	x	x	x	A00-000	x	x	x	x	x	x	3.58	3.12	(0.25)	0.89	2.59	5.30
206	A00-000	x	x	x	x	A00-000	x	x	x	x	x	2.65	3.57	0.19	(0.07)	2.79	6.12
207	A00-000	x	x	x	x	x	A00-000	x	x	x	x	0.04	5.14	0.42	0.59	3.23	6.00

表108：同心圓-多層孔板交錯組合

編號	實驗配置											傳送損失 (TL, dB)					
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
243	A00-000	A03-248	A02-248	A02-248b	A03-248b	A00-000	x	x	x	x	x	2.96	6.15	0.09	1.53	1.54	7.84
244	A00-000	A01-088	A02-248b	A02-248	A01-088b	A00-000	x	x	x	x	x	3.83	5.53	0.39	1.35	1.61	7.57

表103：夾層－單層孔板

編號	實驗配置											傳送損失 (TL, dB)					
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
208	A00-000	A01-088	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	x	(0.19)	1.26	0.43	1.68	3.89	4.67
209	A00-000	x	A01-088	x	A00-000	x	x	x	x	x	x	(2.69)	0.99	0.22	0.98	3.33	4.75
210	A00-000	x	x	A01-088	x	x	A00-000	x	x	x	x	(3.47)	0.27	0.27	0.58	2.16	4.43
211	A00-000	A02-158	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	x	0.69	1.24	0.29	1.41	3.77	4.73
212	A00-000	x	A02-158	x	A00-000	x	x	x	x	x	x	(2.56)	0.83	(0.36)	0.94	3.32	4.73
213	A00-000	x	x	A02-158	x	x	A00-000	x	x	x	x	(3.67)	0.16	0.09	2.36	3.04	4.70
214	A00-000	A02-248	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	x	0.25	1.26	(0.21)	1.79	3.88	4.69
215	A00-000	x	A02-248	x	A00-000	x	x	x	x	x	x	(2.59)	0.62	(0.37)	1.25	3.62	4.66
216	A00-000	x	x	A02-248	x	x	A00-000	x	x	x	x	(3.60)	0.20	(0.14)	1.69	2.87	4.19
217	A00-000	A03-158	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	x	1.23	3.64	(1.49)	2.06	10.54	10.65
218	A00-000	x	A03-158	x	A00-000	x	x	x	x	x	x	0.12	4.10	(1.38)	1.58	13.82	10.67
219	A00-000	x	x	A03-158	x	x	A00-000	x	x	x	x	(1.15)	4.35	0.50	2.37	16.56	9.52
220	A00-000	A03-248	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	x	1.06	3.65	(1.22)	2.41	14.43	10.64
221	A00-000	x	A03-248	x	A00-000	x	x	x	x	x	x	(0.15)	4.22	(1.15)	2.68	17.02	12.39
222	A00-000	x	x	A03-248	x	x	A00-000	x	x	x	x	(1.38)	4.47	0.79	3.17	16.98	11.25

表104：同心圓－雙層孔板

編號	實驗配置											傳送損失 (TL, dB)					
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
253	A00-000	A01-088	A02-248	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	3.25	0.46	(0.07)	1.88	1.58	5.86
254	A00-000	A01-088	A03-248	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	3.13	(0.16)	0.40	1.55	1.57	5.62
255	A00-000	A02-158	A03-158	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	1.75	0.99	0.43	1.62	1.58	5.76
256	A00-000	A02-248	A01-088	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	3.23	0.16	0.08	1.91	1.57	5.71
257	A00-000	A02-248	A03-248	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	3.12	0.25	0.20	1.86	1.41	5.62
258	A00-000	A03-158	A02-158	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	3.09	0.50	0.20	1.83	1.55	5.73
259	A00-000	A03-248	A01-088	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	3.18	0.28	0.57	1.57	1.56	5.78
260	A00-000	A03-248	A02-248	A00-000	x	x	x	x	x	x	x	3.33	0.71	(0.04)	1.74	1.47	5.81

表105：同心圓—三層孔板

編號	實驗配置											傳送損失 (TL, dB)					
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
223	A00-000	A02-158	A03-158	A02-158	A00-000	x	x	x	x	x	x	0.81	0.25	0.12	1.18	0.85	0.75
224	A00-000	x	A02-158	x	A03-158	x	A02-158	x	A00-000	x	x	0.73	0.66	0.20	1.59	0.83	0.72
225	A00-000	A03-158	A02-158	A03-158	A00-000	x	x	x	x	x	x	0.85	0.18	0.11	0.71	0.86	0.76
226	A00-000	x	A03-158	x	A02-158	x	A03-158	x	A00-000	x	x	0.63	0.66	0.22	1.45	0.83	0.74
227	A00-000	A02-248	A03-248	A02-248	A00-000	x	x	x	x	x	x	0.76	0.27	0.11	0.86	0.86	0.75
228	A00-000	x	A02-248	x	A03-248	x	A02-248	x	A00-000	x	x	0.58	0.64	0.22	1.50	0.83	0.74
229	A00-000	A03-248	A02-248	A03-248	A00-000	x	x	x	x	x	x	0.83	0.16	0.11	0.46	0.87	0.71
230	A00-000	x	A03-248	x	A02-248	x	A03-248	x	A00-000	x	x	0.60	0.68	0.22	1.44	0.83	0.74

表106：同心圓—四層孔板

編號	實驗配置											傳送損失 (TL, dB)					
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
231	A00-000	A02-158	A03-158	A02-158	A03-158	A00-000	x	x	x	x	x	2.36	2.20	1.02	0.45	2.62	1.50
232	A00-000	x	A02-158	x	A03-158	x	A02-158	x	A03-158	x	A00-000	0.84	2.19	1.28	1.17	3.17	1.50
233	A00-000	A03-158	A02-158	A03-158	A02-158	A00-000	x	x	x	x	x	2.30	2.20	0.96	0.67	2.69	1.54
234	A00-000	x	A03-158	x	A02-158	x	A03-158	x	A02-158	x	A00-000	0.88	2.22	1.27	0.98	3.15	1.51
235	A00-000	A02-248	A03-248	A02-248	A03-248	A00-000	x	x	x	x	x	2.34	2.33	1.02	0.73	2.75	1.44
236	A00-000	x	A02-248	x	A03-248	x	A02-248	x	A03-248	x	A00-000	0.97	2.15	1.25	1.03	3.10	1.44
237	A00-000	A03-248	A02-248	A03-248	A02-248	A00-000	x	x	x	x	x	2.32	2.31	1.01	0.56	2.71	1.48
238	A00-000	x	A03-248	x	A02-248	x	A03-248	x	A02-248	x	A00-000	1.05	2.20	1.23	1.06	3.13	1.44

表107：同心圓—多層孔板

編號	實驗配置											傳送損失 (TL, dB)					
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
239	A00-000	A01-088	A02-248	A03-248	A02-248	A01-088	A00-000	x	x	x	x	2.65	5.88	(0.63)	0.64	1.62	8.36
240	A00-000	A03-248	A02-248	A01-088	A02-248	A03-248	A00-000	x	x	x	x	2.75	6.12	(0.78)	1.13	1.61	8.41
241	A00-000	A01-088	A02-248	A03-248	A01-088	A02-248	A03-248	A00-000	x	x	x	2.40	5.91	(0.60)	1.79	1.61	8.00
242	A00-000	A03-248	A02-248	A01-088	A03-248	A02-248	A01-088	A00-000	x	x	x	1.55	6.71	(0.21)	1.49	1.63	8.13
261	A00-000	A01-088	A02-248	A01-088	A03-248	A02-248	A03-248	A00-000	x	x	x	2.47	2.28	(0.23)	2.04	1.60	5.27
262	A00-000	A03-248	A02-248	A03-248	A01-088	A02-248	A01-088	A00-000	x	x	x	2.37	2.43	0.01	2.20	1.60	5.68

評語

本作品自製實驗裝置，進行隔音板吸音隔音之實驗，探討不同孔徑孔數之隔音板，在不同頻率下的隔音效果，有一系列的實驗數據，只是物理意義的解釋較欠缺，特別是低頻時的現象，應作更仔細的觀察與解釋。