

## 圓筒形空間吸音體設置方式對吸音力之影響研究

賴聖智<sup>1</sup>、賴榮平<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立成功大學建築系碩士

<sup>2</sup>國立成功大學建築系教授

國立成功大學建築系

701 台南市東區大學路 1 號

電話：06-2757575 轉 54168 Fax：06-2757575 轉 54168

E-mail：abraham-138@yahoo.com.tw

### 摘要

由於空間吸音體的吸音機制有別於傳統吸音材料或吸音構件，因此空間吸音體之設置方式對其本身的吸音力影響甚鉅。在空間吸音體做為業界廣泛使用之吸音構件的同時，國內音響工程廠商在設置時尚引用既有國外文獻與資料，缺乏針對空間吸音體設置方式的實驗與測試，顯示國內對於空間吸音體吸音力的要求程度，以及其相關資訊仍未普及。

本研究以圓筒形吸音體為對象，探討各種設置方式對其個別吸音力的影響，包括吸音體設置方向、距反射面距離、排列方式及排列密度等。

**關鍵字：**噪音控制、空間吸音體、吸音力

### Abstract

Due to the difference between mechanism of functional sound absorbers and conventional sound absorbing material, the arrangement of functional sound absorbers and the sound absorption are cause and effect. In Taiwan, functional sound absorbers have been widely put into actual practice; the set-up although always uses datum from abroad yet lacks considerable amount of experiments and testing. This indicates that not only the demands of sound absorption but the information in regards to functional sound absorbers are uncommon in Taiwan.

This study discusses the arrangements that affect the sound absorption of cylindrical sound absorbers; these include direction, forms, densities of arrangement, and distance between absorbers and reflecting surface.

**KEY WORDS :** Noise Control, Functional Sound Absorbers, Sound Absorption

## 一、研究動機與目的

傳統吸音材料或吸音構造在使用上，必需固著於室內頂部或牆面等部位，對於某些大形空間如體育館、航空站等，礙於功能上之需要，其室內牆面無法裝設傳統吸音材料。針對此種狀況，可使用設置於天花板下方之空間吸音體，以增加室內吸音力。然而空間吸音體在設置時，因為吸音體間對於聲音傳播的相互遮蔽，使空間吸音體吸音力隨著設置方式的不同而有所差異。

關於空間吸音體吸音特性的相關研究，可以回溯至 1946 年 Harry F. Olson 的論文[1]，近五十年來具有相當的發展[1]- [7]。如 Harry F. Olson 提出空間吸音體吸音效果受吸音體本身尺寸與形狀所影響，並且指出當吸音體之表面積與體積之比最小時，有最佳的吸音效果[1]；R. J. Orłowski 提出當吸音體於音場中之排列密度超過 0.5 個/m<sup>2</sup>時，吸音體對於聲音的吸收將產生互相遮蔽的作用，並且發現吸音體排列密度由 0.5 個/m<sup>2</sup>，增加 4 倍至 2 個/m<sup>2</sup>時，整體吸音力僅增加大約一倍[2]；A. Cops 發現在 500Hz 以上時，垂直設置之空間吸音體吸音效果優於水平設置者；而在 500Hz 以下時，水平設置之空間吸音體吸音效果將優於垂直設置者，但效果並不顯著[3]；鍾祥瑞與劉伯倫提出玻璃棉管的吸音效果與設置方式有關，特別是與排列間距大小有密切關係，並且發現當吸音體貼頂設置時，在 400Hz 以下，其吸音效果較懸空設置者佳；而在 400Hz 以上時，懸空設置之吸音體吸音效果較貼頂設置者佳[4]；陸風華等人提出角錐形空間吸音體以距離天花板高度 750mm、間距 1000mm 時有較好的吸音效果，並且以分散棋格式排列，吸音效果最為顯著[5]；王季卿發現懸吊吸音板排列間距加密對中頻的吸音效率下降效果最為明顯[7]。

基於以上所述，本研究主要目如下：

1. 提出並探討空間吸音體排列方式對吸音力的影響。
2. 綜合探討空間吸音體各種設置方式（包含距反射面距離、排列方式、排列密度）對吸音體個別吸音力的影響。
3. 提供國內音響工程之相關廠商於設置空間吸音體時之參考。

## 二、研究範圍與方法

由於本研究主要探討空間吸音體之設置方式對其吸音力之影響，因此對於吸音體尺寸與構成材料對吸音力所造成的影響，本研究暫不探討；在吸音體形式方面，本研究將空間吸音體依其外觀分為具固定形狀與不具固定形狀兩種形式。而基於國外文獻頻繁提及者，以及實驗試體取得的方便性，因此本研究以圓筒形空間吸音體為對象，探討不同設置方式對其吸音力的影響。

本研究採 CNS A 3165 餘響室法吸音率測定法 (Method for Measurement of Sound Absorption Coefficients in a Reverberation Room) 進行量測，將測得之圓筒形空間吸音體總吸音力除以總個數，求得吸音體之個別吸音力，如下式所示：

$$A = \frac{55.3V}{c \cdot n} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

A = 吸音體個別吸音力 (m<sup>2</sup>/個)

T<sub>1</sub> = 吸音體設置前，餘響室之餘響時間 (sec)

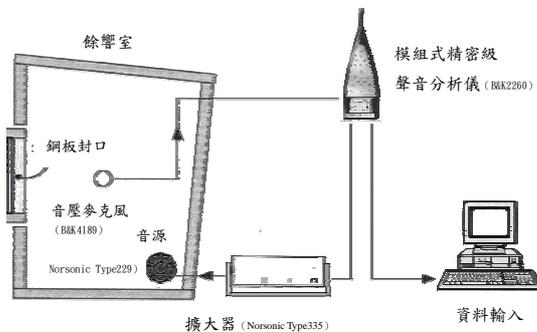
T<sub>2</sub> = 吸音體設置後，餘響室之餘響時間 (sec)

V = 餘響室之容積 (m<sup>3</sup>)

n = 實驗試體之個數

c = 空氣中之音速 (m/s)，c=331.5+0.61t

在實驗室方面，係利用成功大學建築系音響實驗室之餘響室（Reverberation Room）作為測試場所，量測之儀器設備係利用實時分析儀Real Time Analyser（B&K 2260），用來量測餘響室內聲音的衰減特性，即餘響時間。儀器一端連接音源（Norsonic Type 229），用以控制喇叭的發聲；另一端連接麥克風（B&K 4189），用以接收聲音之衰減訊號，其量測流程如【圖1】所示。



【圖1】餘響室內餘響時間量測系統圖

### 三、影響圓筒形空間吸音體吸音力之設置方式設定

由於本研究之對象為空間吸音體設置方式對其吸音力之影響，因此本研究首先固定其他影響吸音體吸音力之因子，諸如吸音體形式、尺寸與構成材料等。再由影響吸音體吸音力之設置方式中，進行吸音體距反射面距離、排列方式、排列密度之設定，藉以決定實驗階段空間吸音體設置方式之組合型式；其影響吸音力之設置方式，本研究整理如【表1】所示：

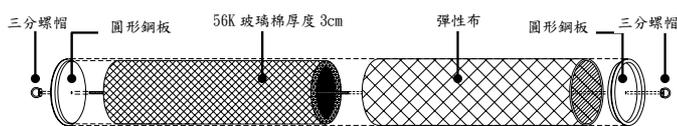
【表1】影響空間吸音體吸音力之設置方式

研究對象	影響吸音力之設置方式	
空間吸音體 之設置方式	吸音體長軸 垂直反射面	距反射面距離
		排列方式
		排列密度
	吸音體長軸 平行反射面	距反射面距離
		排列方式
		排列密度

#### （一）本研究使用之圓筒形空間吸音體

由於具固定形狀之空間吸音體以圓筒形為最普及，因此本研究以圓筒形空間吸音體為研究對象，其尺寸與構造方式如下所述：（如【圖2】）

1. 空間吸音體形式：圓筒形空間吸音體
2. 空間吸音體尺寸：直徑 22cm，長度 100cm
3. 空間吸音體表面積： $0.69\text{m}^2$
4. 空間吸音體體積： $0.038\text{m}^3$
5. 空間吸音體構成之材料：
  - （1）支承購件：以三分螺桿鋼棒，兩端套接圓形鍍鋅油漆鋼板撐製成形。
  - （2）內填材料：厚度 3cm，密度  $56\text{kg}/\text{m}^3$  之玻璃棉捲製成圓筒型。
  - （3）護面層：玻璃棉外覆彈性布，防止玻璃棉鬆散飛散。
  - （4）吊件：以三分螺帽固定之。



【圖 2】圓筒形空間吸音體構造示意圖

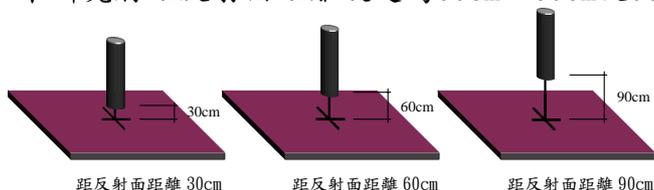
## (二) 空間吸音體設置方式之設定

本研究將實驗試體與餘響室內距離最近之平面，稱之為反射面。而考慮到試體安裝之便利性，故本研究將餘響室地板面設定為反射面，並將圓筒形空間吸音體之設置方式，依照其長軸與反射面之關係，分為吸音體長軸垂直反射面與長軸平行反射面兩種設置狀況。

### 1. 空間吸音體長軸垂直反射面之設置方式

#### (1) 距反射面距離之設定

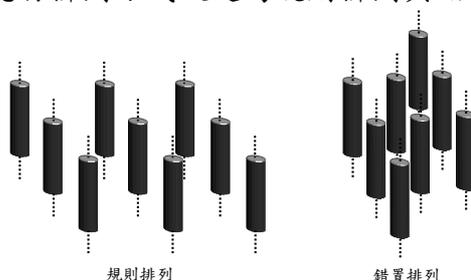
如【圖 3】所示，本研究將距反射面距離設定為 30cm、60cm 及 90cm。



【圖 3】空間吸音體長軸垂直反射面之狀況下，距反射面距離之設定示意圖

#### (2) 排列方式之設定

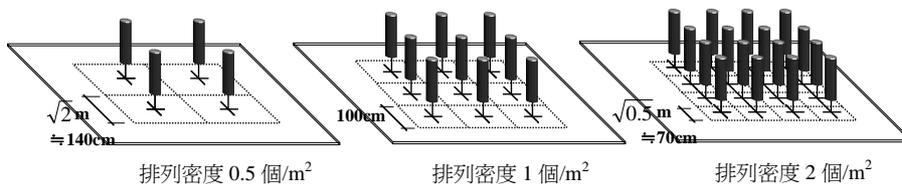
如【圖 4】所示，本研究將排列方式設定為規則排列與錯置排列。



【圖 4】空間吸音體長軸垂直反射面之狀況下，排列方式之設定示意圖

#### (3) 排列密度之設定

如【圖 5】所示，本研究將排列密度設定為 0.5 個/m<sup>2</sup>、1 個/m<sup>2</sup> 與 2 個/m<sup>2</sup>。

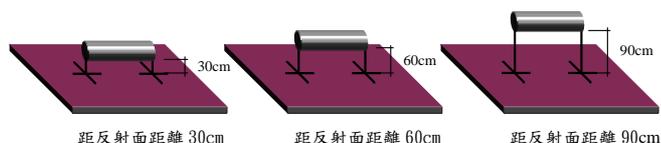


【圖 5】空間吸音體長軸垂直反射面之狀況下，排列密度之設定示意圖

### 2. 空間吸音體長軸平行反射面之設置方式

#### (1) 距反射面距離之設定

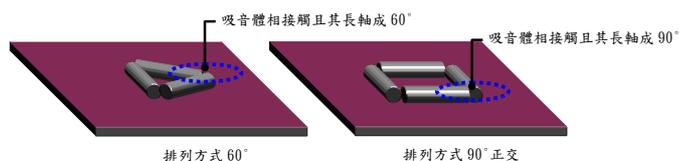
如【圖6】所示，本研究將距反射面距離設定為30cm、60cm及90cm。



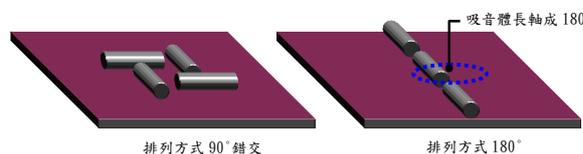
【圖6】空間吸音體長軸平行反射面之狀況下，距反射面距離之設定示意圖

## (2) 排列方式之設定

如【圖7】、【圖8】所示，本研究將排列方式設定為 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 正交、 $90^\circ$ 錯交、 $180^\circ$ 。



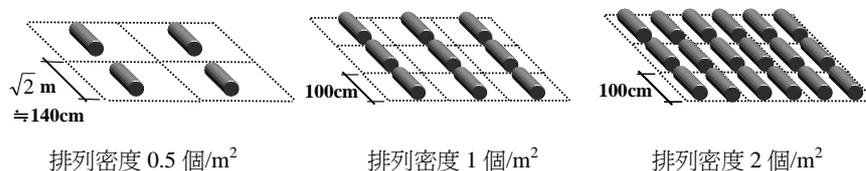
【圖7】空間吸音體長軸平行反射面之狀況下，排列方式之設定示意圖（一）



【圖8】空間吸音體長軸平行反射面之狀況下，排列方式之設定示意圖（二）

## (3) 排列密度之設定

如【圖9】所示，本研究將排列密度設定為 $0.5$ 個/ $m^2$ 、 $1$ 個/ $m^2$ 與 $2$ 個/ $m^2$ 。



【圖9】空間吸音體長軸垂直反射面之狀況下，排列密度之設定示意圖

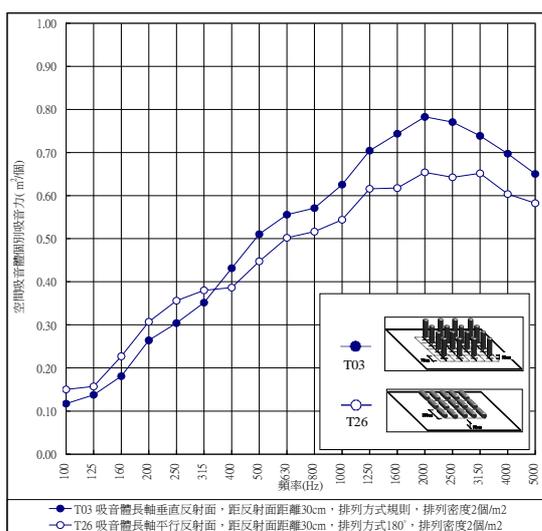
## 四、實驗量測結果分析

### (一) 空間吸音體長軸與反射面之關係對吸音力的影響

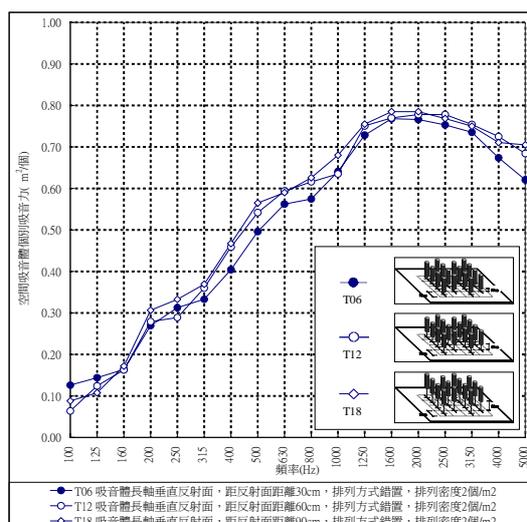
1. 如【圖10】所示，相同條件下，相較於長軸垂直反射面之狀況，圓筒形空間吸音體在長軸平行反射面之狀況下，於中高頻（400Hz 以上）時，其吸音體個別吸音力較小，但低頻（315Hz 以下）較大。
2. 另外，本研究亦發現，隨著吸音體距反射面距離的增大，上述特性越不明顯。

### (二) 距反射面距離對吸音力的影響

如【圖11】所示，在吸音體長軸垂直反射面之狀況下，圓筒形空間吸音體之個別吸音力隨著距反射面距離的增加而增大。



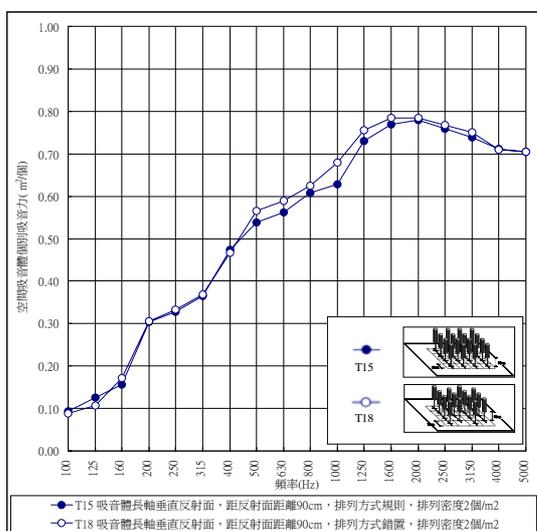
【圖10】不同設置方向，各頻之吸音體個別吸音力比較圖



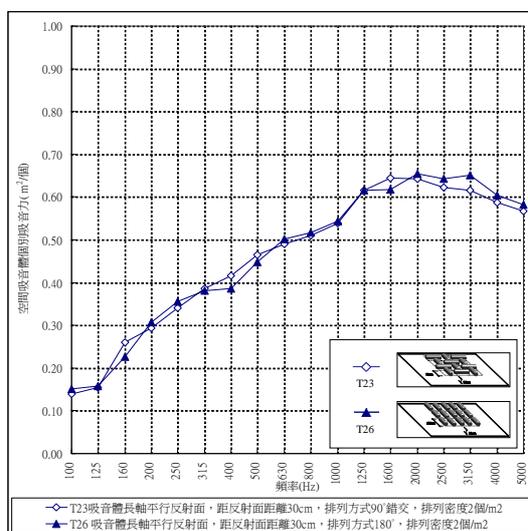
【圖 11】不同距反射面距離，各頻之吸音體個別吸音力比較圖

### (三) 排列方式對吸音力的影響

如【圖12】、【圖13】所示，不論圓筒形空間吸音體長軸與反射面之關係為何，排列方式對吸音體個別吸音力的影響均不大。



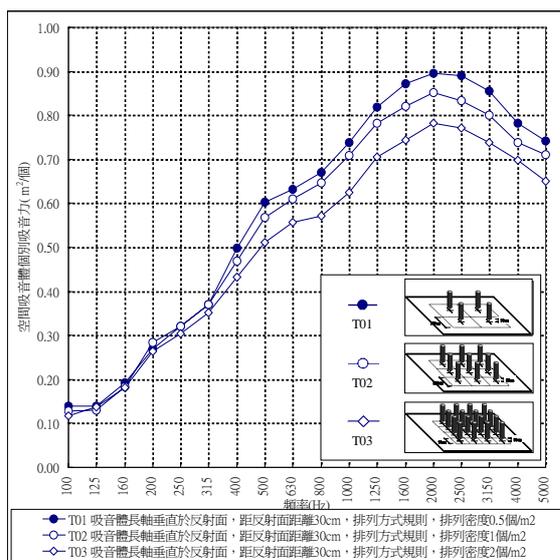
【圖12】吸音體長軸垂直反射面之狀況下，不同排列方式，各頻之吸音體個別吸音力比較圖



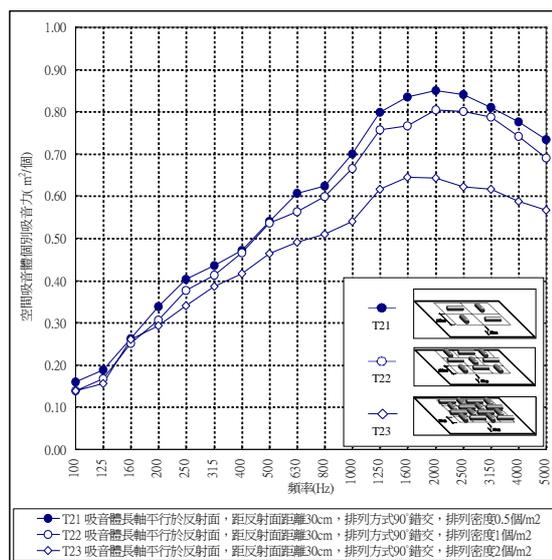
【圖13】吸音體長軸平行反射面之狀況下，不同排列方式，各頻之吸音體個別吸音力比較圖

### (四) 排列密度對吸音力的影響

不論圓筒形空間吸音體之長軸垂直反射面或平行反射面，其吸音體個別吸音力均隨著排列密度的增加而減小；而隨著排列密度逐漸增加時，吸音體個別吸音力的增大趨勢將逐漸減緩。



【圖14】吸音體長軸垂直反射面之狀況下，不同排列密度，各頻之吸音體個別吸音力比較圖



【圖15】吸音體長軸平行反射面之狀況下，不同排列密度，各頻之吸音體個別吸音力比較圖

## 五、結論

一、圓筒形空間吸音體以其長軸平行於反射面之方式設置，較長軸垂直於反射面之設置，於低頻（250Hz）以下具有較大之個別吸音力；但在中頻（500Hz）以上反而較小。

此種現象的產生，本研究認為，可能由於圓筒形空間吸音體以長軸平行於反射面設置時，吸音體與反射面間，形成類似背後空氣層之效果，因此相較於長軸垂直於反射面之設置，其對低頻具有較佳之吸音效果。

二、距反射面距離增大時，空間吸音體在中頻（500Hz）以上之個別吸音力隨之增大。且隨著距反射面距離的增加，設置方向對吸音力的影響逐漸減小。

三、不同排列方式對於以吸音體長軸垂直於反射面之設置方式影響有限（差值小於5%）；而對於以吸音體長軸平行於反射面之設置方式的影響，除了90°正交之排列方式，其個別吸音力於中頻（500Hz）以上相對較大外，其他排列方式無明顯差異（差值小於7%）。

四、不同排列密度對吸音體個別吸音力的影響，不論以長軸垂直於反射面或平行於反射面之方式設置，其個別吸音力均隨著排列密度的減小而增大，中頻（500Hz）以上尤其明顯。且當排列密度逐漸減小時，吸音體個別吸音力的增大趨勢將逐漸減緩。

此項實驗結果印證了文獻[2]中，以毛氈為材料、比例為1/16實驗所得之結果，證實空間吸音體在不同材料、尺寸及形式下，排列密度對吸音力仍有相同性質的影響。

## 六、建議

基於以上四點結論所述，本研究提出圓筒形空間吸音體較適之設置方式，如下所述：

一、若室內高度允許，宜將圓筒形空間吸音體以長軸垂直室內頂部之方式設置；若室內高度不足，或使用之者之喜好而以長軸平行室內頂部之方式設置時，宜儘可能的加大距頂部距離，以期得到較好之全頻吸音效率。

二、減少空間吸音體排列密度，雖然可得到較大之吸音體個別吸音力，但可能造成室內吸音力

不足之情形；因此，若非室內空間強調高吸音力，為兼顧室內吸音力與吸音體之吸音效率，本研究建議，空間吸音體宜以 1 個/ $m^2$ 之排列密度設置。

另外，本研究將實驗所得之空間吸音體個別吸音力，除以本研究所使用之圓筒形空間吸音體表面積時，所得之吸音率（即 $m^2/m^2$ ），在 500Hz 達 0.78 ( $m^2/m^2$ )；1KHz~4KHz 更在 1.01~1.15 ( $m^2/m^2$ ) 之間，顯示本研究所使用之圓筒形空間吸音體比傳統的面狀吸音材具有較佳之吸音效果。

## 七、參考文獻

1. Harry F. Olson., "Functional Sound Absorbers", *RCA REVIEW*, America, Vol.7, No.4, pp. 503-521. (1946)
2. R. J. Orłowski., "The Arrangement of Sound Absorbers for Noise Reduction—Results of Model Experiments at 1 : 16 Scale", *Noise Control Eng. J.*, America, Vol.22, No.2, pp. 54-61 (1984)
3. A. Cops, "Absorption Properties of Baffles for Noise Control in Industrial Halls", *Applied Acoustic*, England, Vol.18, pp. 435-448. (1984)
4. 鍾祥璋、劉伯倫，〈離心法超細玻璃棉管套吸聲性能的研究〉，《應用聲學》，中國，卷11，期2，第24-27頁（1990）。
5. 陸風華等，〈角錐吸音體的特性與應用〉，《聲學技術》，中國，卷13，期3，第106-110頁（1994）。
6. 章奎生，〈圓筒式電動可調吸音體的設計與試驗〉，《聲學學報》，中國，卷21，期2，第97-106頁（1996）。
7. 王季卿，〈空間吸聲體的設計與應用〉，《聲學技術》，中國，卷22，期4，第213-218頁（2003）。