

# 铝合金穿孔装饰吊顶板的吸声特性

钟祥璋 刘继凯

(同济大学声学研究所 上海·200092)

铝合金穿孔条板是现代建筑中一种新型的吊顶及墙面装饰材料。而且还可以组成良好的吸声体,常用于宾馆大堂、机场候机厅、地铁车站、商场、展览大厅、计算机房等建筑。本文介绍了两种吸声结构,在五种种空腔条件下的吸声特性,其中包括 500mm 和 1000mm 的大空腔。同时还分析了吸声峰值频率,其预计值和实测值基本相符。

关键词: 铝合金穿孔板,吸声

## Absorption properties of perforate decorative aluminum ceiling strips

ZHONG Xiangzhang, LIU Jikai

(Institute of Acoustics Tongji University, Shanghai · 200092)

Perforate aluminum ceiling strips is a new decorative material of ceiling and wall in modern buildings. It also can be made into good absorber. It often used for the ceilings of hotel lobby, airport, subway station, supermarket, exhibition hall, computer room, etc. This article introduces the absorption properties of this kind of absorbing structure with five kinds of air gaps behind the absorbing layer, in which there are 500mm and 1000mm gaps. At the same time, this article analyzes absorbing peak frequency, its estimative data are in accordance with the data resulted from the experiments.

**Keywords:** perforate aluminum strips, sound absorption

### 1 前言

铝合金穿孔装饰吊顶板是以高标准的预着色(瓷型聚酯漆)铝合金板为主要原料,表面光洁、色彩丰富、造型美观,而且自重轻、不燃、防潮、组装灵活、施工快捷、检修方便。该金属吊顶被认为是轻钢龙骨的升级换代产品,现应用很广。当其背后设置多孔吸声材料后,这种装饰吊顶板既有良好的吸声性能又有隔热作用。值得指出:铝合金穿孔装饰板除作吊顶外,也可作墙面装饰材料,有利于降低环境噪声,因此适用于宾馆和酒店大堂、机场候机厅、车站(特别是地铁车站)、商场、展览

大厅、现代化开敞式景观办公室、计算机房、实验室、设备用房、民居等的装饰界面。同时,该板还可用于影剧院、电视演播室、广播录音室、歌舞厅、体育馆、室内游泳馆等有音质要求的设计中,作为控制混响时间的措施。

本文主要介绍铝合金穿孔装饰板在其后覆设吸声材料时的吸声特性。我们于混响室内对该板后贴一层不燃无纺布和离心玻璃棉板,在一般空腔以及大空腔的条件下进行吸声特性测量,并分析了吸声峰值频率,结果表明这种吸声结构在很宽的频带范围内具有很好的吸声性能。

\* 收稿日期: 1996-9-2

## 2 吊顶板的构造

吊顶板是由铝合金板加工的一种条板,板幅宽度有多种规格,最小幅宽 30mm,最大幅宽 297mm。板厚 0.7mm,长度加工不受限制,但太长会给运输带来困难,一般为 6m,重量  $1.7\text{kg}/\text{m}^2$  (不包括龙骨和吸声材料),板孔直径为 2mm,穿孔率一般为 15%。

测试试件选用宽幅板,板幅宽度为 297mm,吸声构造分两种,一种是穿孔板后仅覆贴一层不燃无纺布,另一种是在板后再放置一层厚 30mm,容重为  $32\text{kg}/\text{m}^3$  的离心玻璃棉,试件构造如图 1 所示。

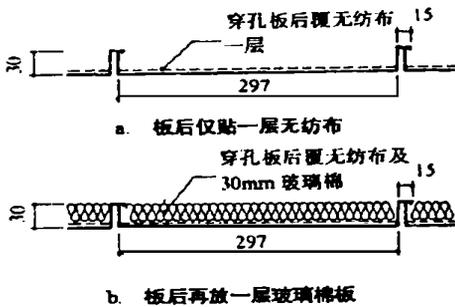


图 1 铝合金穿孔板吸声吊顶板构造

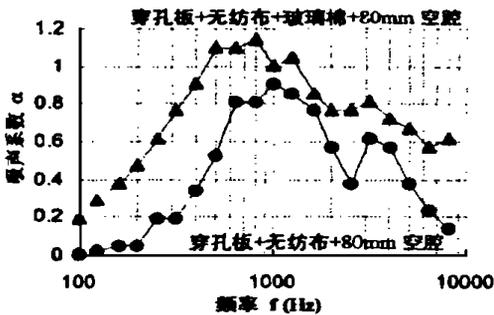


图 2 80mm 空腔穿孔铝合金板的吸声特性

这种材料在作为墙面装饰吸声板时,其背后空腔不能留得太大(考虑到空腔会影响到建筑室内的使用面积),再由于实验室构成空腔的木框架的高度模数为 50mm,试件直接放置于木框上,所以穿孔板选取三种空腔:80, 130 和 230mm。该材料作为吊顶时,根据实际情况,有些建筑吊顶上空高度较大,甚至数米用作设备层。基于此,为了了解大空腔的

吸声特性,我们分别对 500 和 1000mm 两种空腔也进行了吸声特性测试。大空腔用厚 10mm 的木板围成的方框组成,当 1000mm 空腔时,方框木板的面积达  $12\text{m}^2$ ,面积较大,其腔壁板振动可能引起的低频吸声计入混响室的空室吸声。试件面积为  $9\text{m}^2$  ( $3\text{m} \times 3\text{m}$ ),混响室体积为  $268\text{m}^3$ 。

图 2 80mm 空腔穿孔铝合金板的吸声特性

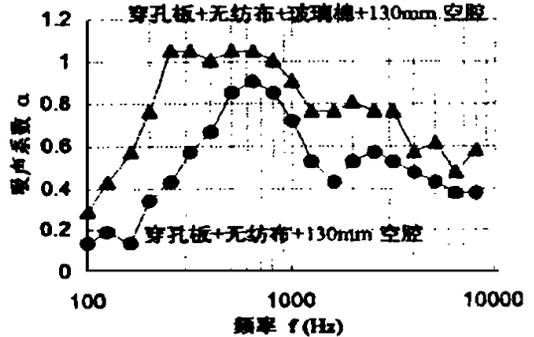


图 3 130mm 空腔穿孔铝合金板的吸声特性

## 3 测试结果及分析

### 3.1 测试结果

穿孔铝合金吊顶板覆贴一层无纺布和再放一层离心玻璃棉板五种空腔测试的吸声特性如图 2~6 所示。结果表明吊顶板是有良好的吸声效果,即吸声频带宽,吸声系数高,其平均吸声系数  $\alpha$  和降噪系数 (250, 500, 1k, 2k 吸声系数的算术平均值) NRC 分别达 0.43 ~ 0.56 和 0.55 ~ 0.69。

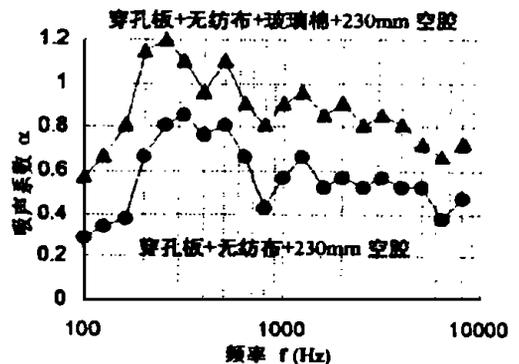


图 4 230mm 空腔穿孔铝合金板的吸声特性

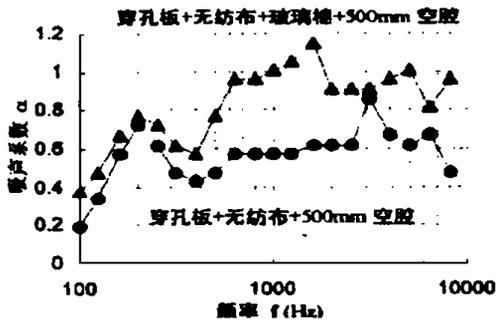


图5 500mm 大空腔穿孔铝合金板的吸声特性  
 图 5. 500mm 大空腔穿孔铝合金板的吸声特性

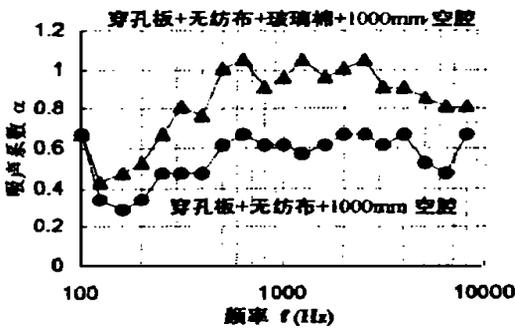


图6 1000mm 大空腔穿孔铝合金板的吸声特性

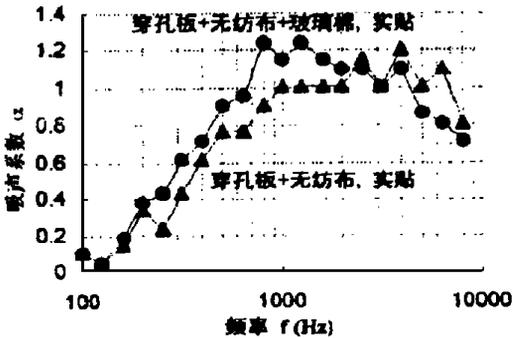


图7 穿孔板对玻璃棉板吸声特性的影响

30mm 离心玻璃棉板贴实(无空腔)及加穿孔板后所测吸声系数示于图7,可见加穿孔板后 2000Hz 以下中低频吸声系数有所提高,4000Hz 以上高频则降低,其平均吸声系数  $\alpha$  和降噪系数 NRC 分别为 0.97、0.90 与 0.73、0.76,因中频吸声特性提高比较显著,故降噪系数增加了 18% 左右。

### 3.2 材料对吸声性能的作用

图 2~6 所示结果表明,穿孔板后放置 30mm 厚的离心玻璃棉板使吸声特性有明显提高,为了便于分析,采用平均吸声系数  $\alpha$  和降噪系数 NRC 作比较。穿孔板后覆贴一层无纺布和再放一层 30mm 玻璃棉板的平均吸声系数  $\alpha$  和降噪系数 NRC 见表 1。而放置玻璃棉板后吸声系数增加的百分数见表 2,结果表明,玻璃棉板能使  $\alpha$  和 NRC 分别提高 50% 左右,但空腔 80mm 增加较大,分别达 72% 和 60%。

表 1 穿孔板后不同吸声材料的平均吸声系数和降噪系数

吸声材料	覆贴一层无纺布					再放 30mm 厚玻璃棉板				
	80	130	230	500	1000	80	130	230	500	1000
空腔 (mm)										
平均吸声系数 $\bar{\alpha}$	0.43	0.50	0.57	0.56	0.56	0.74	0.74	0.88	0.83	0.83
降噪系数 NRC	0.55	0.64	0.69	0.57	0.60	0.88	0.96	1.03	0.85	0.91

表 2 放置玻璃棉板比贴一层无纺布吸声增加的百分数

空腔 (mm)	80	130	230	500	1000
$\alpha$ 增加百分数	72	48	54	48	48
NRC 增加百分数	60	50	49	49	52

### 3.3 空腔对吸声的影响

一般来说低频的吸声系数随穿孔板后空腔的增加而提高,但中高频的吸声系数有时又会降低,为便于分析,我们仍用平均吸声系数  $\alpha$  如图 8 所示,降噪系数 NRC 如图 9 所示。由图可见,无论是穿孔板后覆贴一层无纺布,还是再放玻璃棉板,空腔 230mm 时平均吸声系数  $\alpha$  和降噪系数 NRC 均达最大值,分别为 0.57、0.88 与 0.69、1.03。

## 4. 吸声峰值的频率

### 4.1 穿孔板的共振频率

穿孔板与刚性壁面之间当留一定距离的空腔时,就形成了共振吸声结构。在共振频率处具有最大的吸声系数,即共振吸声峰值。在穿孔板后放置吸声材料,因增加阻尼使共振

吸声峰值下降,但吸声频带拓宽,一般空腔穿孔板的共振频率可用式(1)计算<sup>[1]</sup>。

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \frac{p}{(t + 0.8d)L} \quad \text{Hz} \quad (1)$$

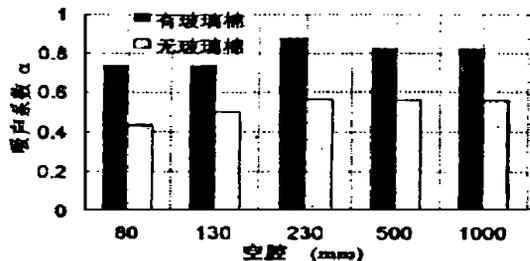


图8 不同空腔平均吸声系数比较

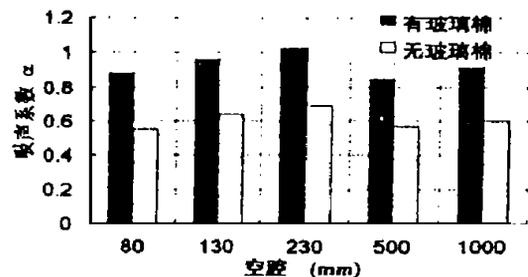


图9 不同空腔降噪系数比较

式中:  $L$  为板后空气层(空腔)厚度  $m$ ,  $t$  为板的厚度  $m$ ,  $d$  为孔径  $m$ ,  $c$  为空气中声速  $m/s$ ,  $p$  为穿孔率(穿孔面积/总面积)  $\times 100\%$ 。

对于大空腔,其共振频率<sup>[1]</sup>。由式(1)、(2)得五种空腔的共振频率见表3。

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \frac{p}{(t + 0.8d)L + pL^3/3} \quad \text{Hz} \quad (2)$$

表3 铝合金穿孔板五种空腔计算的共振频率

空腔 $L$ (mm)	80	130	230	500	1000
共振频率 $f$ (Hz)	1542	1209	909	153	93

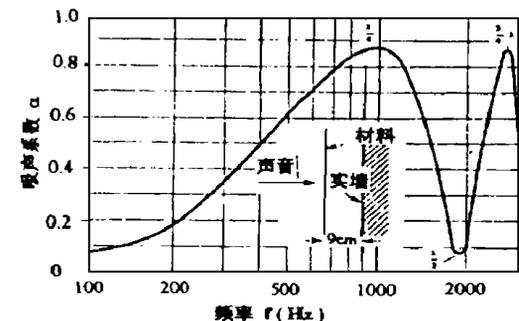


图10 空腔为9cm时材料的吸声特性

## 4.2 吸声材料离刚性壁 $\lambda/4$ 放置

多孔材料最大的吸声将出现在质点速度最大的地方。离刚性壁  $\lambda/4$  处的质点速度最大,因此材料设置在该处可获得最大的吸声效果。图10为空腔9cm时的吸声特性<sup>[2]</sup>,其所对应频率为:  $f_n = 4c/(2n+1)\lambda$  ( $n=0, 1, 2, \dots$ )

五种空腔按  $(2n+1)\lambda/4$  所对应的吸声峰值频率见表4。

表4 各空腔相应  $(2n+1)\lambda/4$  所对应的吸声峰值频率

空腔 (mm)	80	130	230	500	1000
$f_0$ (Hz)	1062	654	370	170	85
$f_1$ (Hz)	3186	1962	1110	510	255
$f_2$ (Hz)	5310	3270	1850	850	425

表5 五种空腔实测的吸声峰值频率

空腔 (mm)	80	130	230	500	1000
贴无纺布	1000	630	315	200	100*
加玻璃棉板1层	800	500	250	200	100*
贴无纺布	3150	2000	1250	3150	630
加玻璃棉板2层	3150	2500	1250	1600	630

\* 测量所用仪器为B&K4417型建筑声学分析仪,其最低频带的中心频率为100Hz,吸声峰值频率实际上是低于100Hz。

## 4.3 实际测量的吸声峰值频率

铝合金五种空腔实测吸声峰值频率见表5。表4和表5所示的吸声峰值频率比较一致,但表3和表5所示的相差较大。这是由于放置吸声材料后,空腔的有效厚度和穿孔的有效长度增加,因此用式(1)计算的共振频率比实测值偏高。

## 5 结论

(1) 穿孔铝合金板因穿孔率高,后背覆贴材料对吸声影响很大,如贴一层无纺布可使平均吸声系数和降噪系数分别达0.43~0.57和0.55~0.69,加一层30mm厚玻璃棉板的平均吸声系数和降噪系数高达0.74~0.88和0.85~1.03,可获得强吸声效果。

(2) 空腔大小对吸声特性有一定变化,

(下转75页)

和开口的直径与长度可根据扬声器参数利用计算机进行设计。原则上应使两个腔的谐振频率相同。理论计算和实验验证结果如下：

### 3.1 声压频率响应为 Butterworth 响应

系统各参数如下：

扬声器参数： $f_{0s} = 80\text{Hz}$ ,  $Q_{TS} = 0.38$ ,  $V_{eq} = 3.5\text{L}$ . 箱体参数： $V_1 = 1.10\text{L}$ ,  $V_2 = 1.00\text{L}$ ,  $M_{A2} = 125\text{kg/m}^4$

计算声压频响曲线和阻抗曲线形状同图 5~6, 计算各参数如下： $f_B = 166\text{Hz}$ ,  $f_L = 107\text{Hz}$ ,  $f_H = 258\text{Hz}$ ,  $f_0 = 166\text{Hz}$ ,  $f_1 = 107\text{Hz}$ ,  $f_2 = 258\text{Hz}$ .

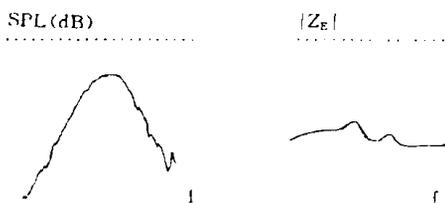


图 11

图 12

在南京大学声学研究所消声室, 使用全套 B&K 仪器进行测量。实测声压频率响应曲线和阻抗曲线如图 11~12。

实测各参数如下： $f_B = 172\text{Hz}$ ,  $f_L = 115\text{Hz}$ ,  $f_H = 266\text{Hz}$ ,  $f_0 = 175\text{Hz}$ ,  $f_1 = 112\text{Hz}$ ,  $f_2 = 264\text{Hz}$  计算结果与实测结果吻合很好。

### 3.2 声压频响曲线有波纹

系统各参数如下：

扬声器参数： $f_{0s} = 78\text{Hz}$ ,  $Q_{TS} = 0.54$ ,  $V_{eq} = 3.22\text{L}$ . 箱体参数： $V_1 = 1.01\text{L}$ ,  $V_2 = 1.12\text{L}$ ,  $M_{A2} = 125\text{kg/m}^4$ .

计算声压频响曲线和阻抗曲线形状同图

7~8。计算各参数如下： $f_B = 159.5\text{Hz}$ ,  $f_L = 99\text{Hz}$ ,  $f_H = 259\text{Hz}$ ,  $f_{PL} = 124\text{Hz}$ ,  $f_{PH} = 207\text{Hz}$ ,  $f_0 = 159.5\text{Hz}$ ,  $f_1 = 107\text{Hz}$ ,  $f_2 = 239\text{Hz}$  实测声压频响曲线和阻抗曲线如图 13~14。

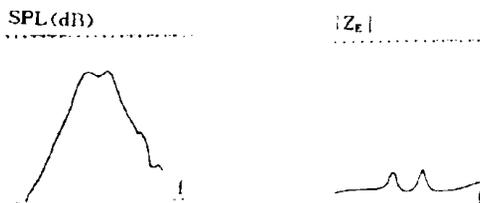


图 13

图 14

实测各参数如下： $f_B = 157\text{Hz}$ ,  $f_L = 96\text{Hz}$ ,  $f_H = 266\text{Hz}$ ,  $f_{PL} = 121\text{Hz}$ ,  $f_{PH} = 209\text{Hz}$ ,  $f_0 = 156\text{Hz}$ ,  $f_1 = 111\text{Hz}$ ,  $f_2 = 233\text{Hz}$  计算结果与实测结果吻合很好。

## 4 结 论

- (1) 本文给出了声压频率响应函数的计算公式；
- (2) 本文给出了阻抗函数的计算公式；
- (3) 分析了声压频率响应曲线与阻抗曲线在各种情况下的对应关系；
- (4) 对两种典型情况进行了验证, 理论计算与实测结果吻合很好。

### 参考文献

- 1 E. R. Geddes. An introduction to band-pass loudspeaker systems. J. A. E. S., 1989; 37(5): 308~342
- 2 曹水轩, 沙家正. 扬声器及其系统, 江苏科学技术出版社, 1991; 60~78.

(上接 72 页)

但从平均吸声系数  $\alpha$  和降噪系数来看, 空腔的变化影响不大。从总的吸声效果来看, 空腔为 230mm 左右最佳。

(3) 利用材料离刚性壁  $N/4$  估计吸声峰值频率简单方便, 估计值与实测值相符。

### 参考文献

- 1 中国建筑科学研究院建筑物理研究所, 建筑声学设计手册, 142~143, 中国建筑工业出版社, 1987年7月。
- 2 K. B. Ginn, Architectural Acoustics, P54, B&K Publications, 1978.