木质装饰微孔板声学特性的预测

盛胜我，莫方朔
(同济大学声学研究所，上海 200092)

摘要：对一种木质装饰微孔板的声学特性进行了理论预测，导出了各项结构参数与表面声阻抗率和法向吸声系数之间的关系。与驻波法的实验结果比较表明，两者良好吻合。通过预测可以得出木质微孔板的开槽深度，条纹宽度与间隔等对吸声性能的影响，从而优化其结构。这种木质微孔板特别适用于厅堂的音质设计，它可以兼顾室内装饰和声学处理两种效果。

关键词：微孔板；声学特性；表面声阻抗率；法向吸声系数
中图法分类号：O427.1 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-3630(2008)-02-0251-04

Prediction of acoustical characteristics of wooden micro-perforated panels

SHENG Sheng-wo, MO Fang-shuo
(Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Sound absorption characteristics of wooden micro-perforated panels are theoretically predicted. Predictions of sound absorption coefficient and impedance are well consistent with the measurement results in impedance tube. The factors affecting the absorption characteristics of such wooden micro-perforated panels are further discussed. And it is especially recommended to use them in auditorium acoustics design due to good performances in both interior decoration and acoustics.

Key words: micro-perforated panel; acoustical characteristic; surface specific acoustic impedance; normal sound absorption coefficient

1 引 言

微穿孔板结构以其吸声性能优越，无需其他背衬吸声材料等特点，被广泛应用于噪声控制与建筑声学工程设计中。但是，微穿孔板的制作与应用中都还存在一些问题，主要有以下两方面：一是在加工制作上还比较困难。采用普通的钻孔，孔径一般只能达到与板厚大致相等，因此对于木质的面板来说，难以进一步减小孔径。另一方面，目前常用的微穿孔板，无论是金属的还是塑料的，都缺乏装饰性。即使采用彩色涂料等工艺，仍然感到较为单调，缺少美感。因此，这也影响了微穿孔板作为吸声结构，在厅堂音质与建筑声学设计中的应用。

收稿日期：2007-04-30；修回日期：2008-01-28
作者简介：盛胜我(1946-)，男，上海人，教授，研究方向：建筑声学。
通讯作者：盛胜我，E-mail: sheng_sw@163.com

近来出现的一种木质装饰微孔板，是采用在普通木夹板的正，反两面，分别沿两个相互垂直的方向开槽，槽的截面呈倒三角形，开槽深度略超过夹板中性面，因此加工后自然形成一系列矩形排列的小孔，夹板的表面呈梯形截面的条纹(如图 1)。只要根据木质夹板的厚度，适当选取开槽的深度和宽度，就能制作出具有良好吸声性能的穿孔结构。这样的制作方法简单实用，制作后的面板条纹图案适合于室内装潢，同时满足了声学和装修的两种效果。

本文对这种木质装饰微孔板的声学特性进行理论计算和分析，借助于微穿孔板的成熟理论，导出了这种微孔板的各项结构参数与声阻抗率和吸声特性之间的关系，并与驻波法的实验结果进行了比较。结果表明，两者良好吻合。本文还分析了开槽深度以及条纹宽度，条纹间隔等对吸声性能的影响。这对于在室内声学工程中，设计与应用这种木质装饰微孔板具有指导意义。

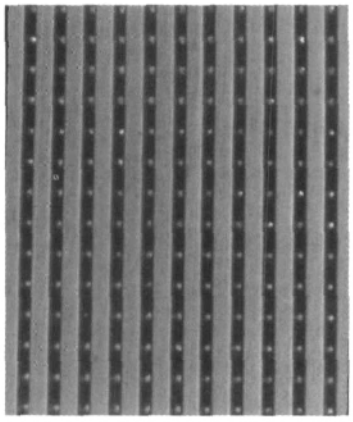


图 1 木质装饰微穿孔板
Fig.1 Wooden micro-perforated panel

2 木质装饰微孔板的吸声特性

对典型的木质装饰微孔板(木质板厚度 6mm, 开槽深度 3.2mm, 条纹的宽度与间隔均为 2.5mm), 我们在阻抗管中进行了声阻抗和吸声系数的测定[1]。当背后留有 5cm 的空腔时, 针对板后粘贴无纺布和不粘贴无纺布的两种条件, 分别测量了木质装饰微孔板的法向入射吸声系数以及声阻抗率。结果如图 2 和图 3 所示。由图可见, 这类木质微孔板在一定的频带内具有较高的吸声特性, 其吸声规律与共振吸声结构一致, 共振频率与板后空腔的深度有关。这种结构的相对声阻率在 0.3 左右, 如在背后粘贴无纺布能增加一定的声阻, 其相对声阻率能控制在 1 附近, 此时将达到最佳的吸声效果。

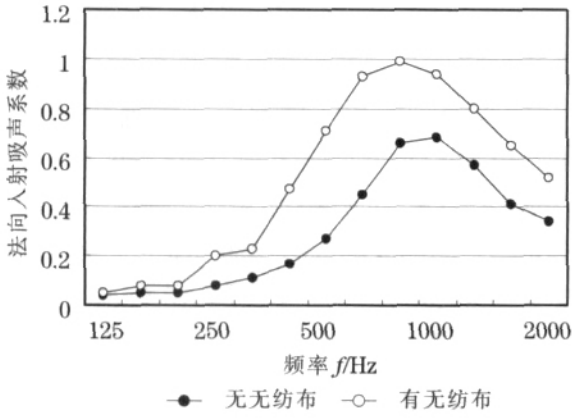


图 2 木质装饰微孔板的吸声性能
Fig.2 Sound absorption coefficients of wooden micro-perforated panels

3 木质装饰微孔板的理论预测

为了掌握木质装饰微孔板的吸声规律, 进一步优化这种吸声结构, 我们对其进行了理论计算。由于穿孔板的吸声机理主要来源于声波通过穿孔时的壁面粘滞损耗, 因此其声学特性与穿孔的孔径和穿孔的深度密切相关。以下作简要的分析。

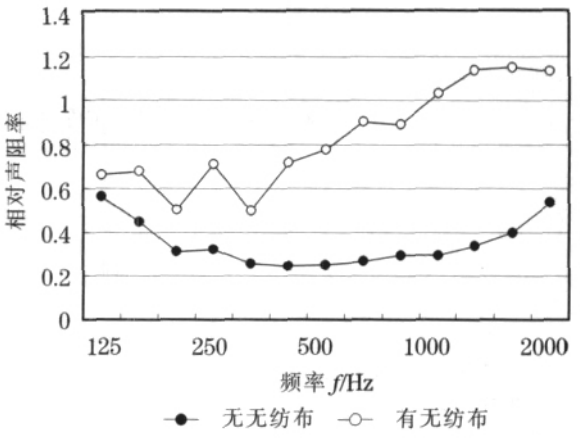


图 3 木质装饰微孔板的相对声阻率
Fig.3 Relative specific acoustic resistances of wooden micro-perforated panels

3.1 木质微孔板等效孔径的估值

木质装饰微孔板结构如图 4 所示。夹板的厚度为 2H, 表面开槽的深度为 h, 条纹的宽度为 l, 条纹间隔为 L。由于开槽的深度 h 略大于夹板的半厚度 H, 夹板正反表面开槽的方向相互垂直, 构成一系列正方形排列的微孔。孔的形状呈不规则图形, 如图 5 所示。孔口为 a, b, c, d 四点组成的空间折线, 其形成孔的截面积沿法线方向变化, 随截切的位置而呈不同形状。精确计算声波沿这种微孔而形成的声衰减是相当复杂的。在这里, 以圆形等截面管道作估算, 其相应的等效孔径 d 可由下式决定

$$d=Q\frac{L(h-H)}{h} \tag{1}$$

其中 Q 是一个估值, 表示沿声传播方向, 在不同截面上孔径的某种平均, 可由实测结果拟合加以估计。

微孔的深度 t 与微孔板的穿孔率 p 分别可表示为

$$t=2(h-H) \tag{2}$$

$$p=\frac{\pi}{4}\left(\frac{d}{l+L}\right)^2 \tag{3}$$

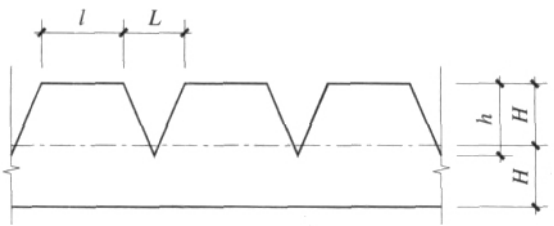


图 4 木质装饰微孔板结构示意图
Fig.4 Configuration of wooden micro-perforated panel

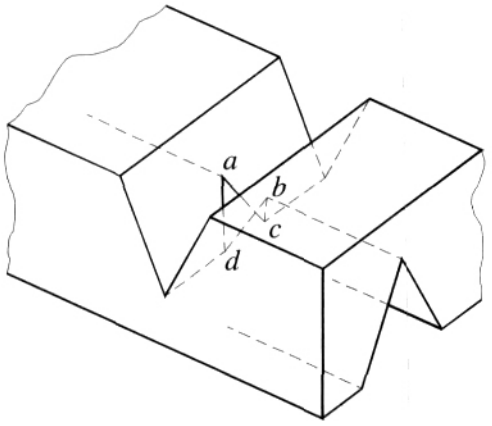


图 5　微孔的形状示意图
Fig.5　Sketch of perforation shape

3.2　木质微孔板的共振频率与声阻抗率

设在木质装饰微孔板的背面留有空腔 D，可得这种共振吸声结构的共振频率 f_r 为

$$f_r=\frac{c_0}{2\pi}\sqrt{\frac{p}{D(t+\beta_0 d)}} \tag{4}$$

其中 c_0 为声速，$\beta_0=\frac{8}{3\pi}(1-\frac{5}{4}\sqrt{p}+\frac{p^2}{4})$ 为圆孔的末端修正系数[2]，取决于穿孔率 p。

根据微穿孔板的成熟理论，木质装饰微孔板的相对声阻率与声质量分别由下式决定[3]

$$r=\frac{0.147t}{Pd^2}[(1+\frac{k^2}{32})^{\frac{1}{2}}+\frac{\sqrt{2}}{8}\frac{d}{t}k] \tag{5}$$

$$m=\frac{2.94*10^{-3}t}{P}[1+(9+\frac{k^2}{2})^{-\frac{1}{2}}+0.85\frac{d}{t}] \tag{6}$$

其中 d, t, p 分别由式(1)，(2)，(3)确定。k 为微穿孔板常数，且有：

$$k=d\sqrt{\frac{f}{10}} \tag{7}$$

其法向入射吸声系数 α 为

$$\alpha=\frac{4r}{(1+r)^2+(\omega m)^2} \tag{8}$$

其中 ω 为圆频率。

在木质装饰微孔板背后贴一层无纺布，如选择适当，将会提供有效的声阻，而不明显增加声质量。穿孔板背后紧贴吸声材料层的声阻抗率计算，可参阅文献[4]。

3.3　与实测结果的比较

上述的理论预测与典型的木质装饰微孔板的吸声系数实测结果作了比较。木质微孔板的尺寸为夹板厚度 6mm，开槽深度 3.3mm，条纹宽度 2.5mm，条纹间隔 2.5mm，板后空腔 4cm。图 6 表示木质装饰微孔板法向入射吸声系数测量值与计算值的比较，其中圆点表示实测结果。由图可见，实测结果与计算值吻合良好。借助于上述的理论预测，可以较好地分析木质装饰微孔板的声学特性，以及对其进行优化。

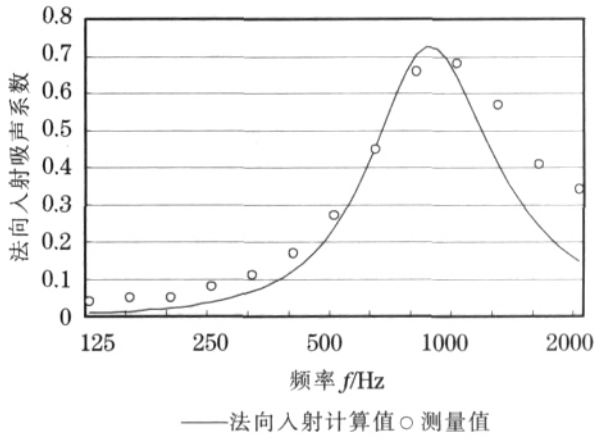


图 6　测量值与计算值的比较
Fig.6　Comparison between theoretical results and experimental data

4　木质装饰微孔板的结构参数对声学特性的影响

由上述关系式可知，对于一定厚度的木夹板，这种装饰微孔板的声学特性主要取决于开槽的深度，条纹的宽度与间隔。图 7 示出木质微孔板相对声阻率随开槽深度的变化，其中夹板厚度 6mm，板后空腔 4cm，条纹宽度与间隔均为 2.5mm。开槽深度分别为 3.2mm, 3.3mm, 3.4mm。由图可见，在条纹宽度与间隔确定的条件下，木质微孔板的相对声阻率随不同的开槽深度具有明显变化。在上述情况中，开槽深度为 3.2mm 的微孔板，其相对声阻率接近于 1，表明有较高的吸声特性。图 8 表示出木质微孔板相对声阻率随条纹宽度与间隔的变化，其中夹板厚度与板后空腔保持不变，开槽深度 3.3mm，条纹宽度与间隔从 0.5mm 到 5mm。由图可见，微孔板的相对声阻率也随条纹宽度与间隔发生变化，对应于 3.3mm 的开槽深度，条纹宽度与间隔选取 1mm，其相对声阻率接近于 1。

图 9 表示木质微孔板法向入射吸声系数随开槽深度的变化，其中夹板厚度与板后空腔保持不变，条纹宽度与间隔均为 2.5mm。开槽深度分别由 3.1mm 变化到 3.4mm。图 10 表示木质微孔板法向入射吸声系数随条纹宽度的变化，其中夹板厚度与板后空腔保持不变，开槽深度为 3.3mm，条纹宽度与间隔由 0.5mm 变化到 5mm。由图明显可见，对于不同开

槽深度,不同条纹宽度与间隔,木质微孔板的吸声特性将会有显著变化。因此,可以根据上述的理论预测来优化木质装饰微孔板的设计,以期达到最佳的吸声效果。

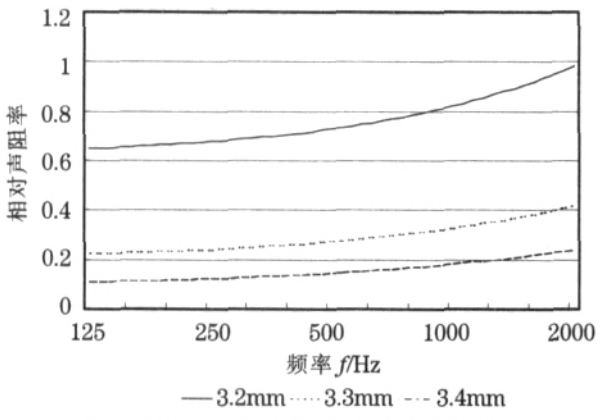


图 7 木质微孔板相对声阻率随开槽深度的变化

Fig.7 Variations of relative specific acoustic resistance with depth of slots

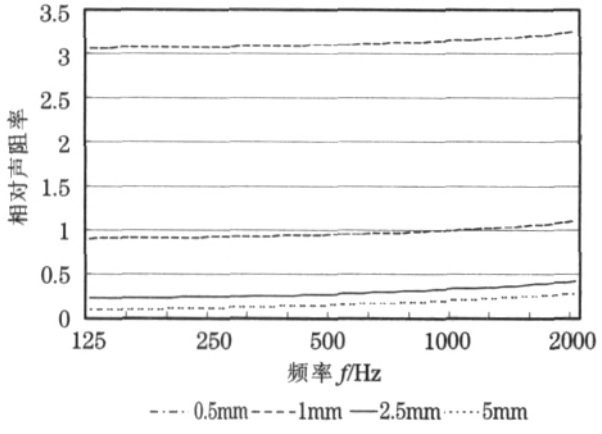


图 8 木质微孔板相对声阻率随条纹宽度与间隔的变化

Fig.8 Variations of relative specific acoustic resistance with width and interval of stripes

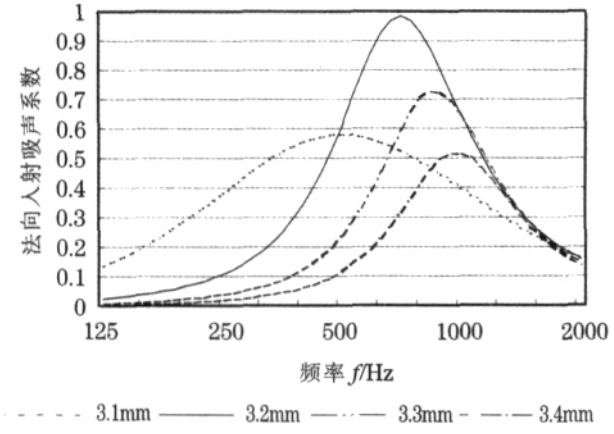


图 9 木质微孔板法向入射吸声系数随开槽深度的变化

Fig.9 Variations of sound absorption coefficient with depth of slots

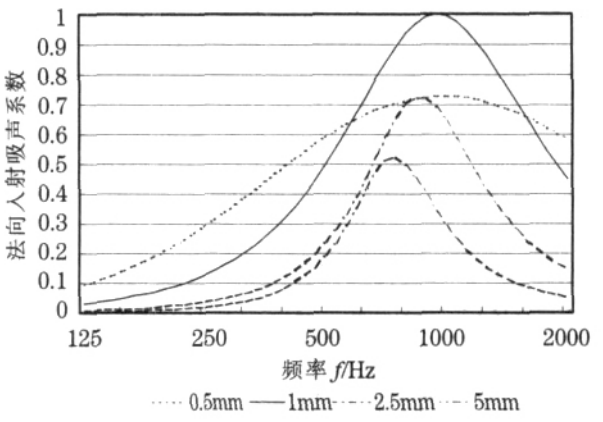


图 10 木质微孔板法向入射吸声系数随条纹宽度的变化

Fig.10 Variations of sound absorption coefficient with width of stripes

5 结 论

本文对木质装饰微孔板的声学特性进行了理论预测,导出了微孔板的结构参数与声阻抗率以及吸声特性之间的关系。驻波法的实验结果与理论预测良好吻合。根据理论预测,分析了开槽深度以及条纹宽度,条纹间隔等对吸声性能的影响。由分析可知,这种木质装饰微孔板具有优良的吸声特性。同时,针对不同的工程需求,可以借助以上的理论计算,选取不同的结构参数,得到最佳的优化结构。由于这种木质微孔板具有良好的装饰效果,因此可望在建筑厅堂声学设计中发挥更大的作用。

参 考 文 献

[1] GB/T 18696. 1-2004 声学阻抗管中吸声系数和声阻抗的测量 第一部分: 驻波比法[S].
GB/T 18696.1-2004 Acoustics-determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part 1: Method using standing wave ratio[S].

[2] 赵松龄. 噪声的降低与隔离(上册)[M]. 同济大学出版社, 1985, 99, 115.
ZHAO Songling. Noise reduction and insulation(Vol.1)[M]. Tongji Univ. Press, 1985, 99, 115.

[3] 马大猷. 微穿孔板吸声体的准确理论和设计[J]. 声学学报, 1997, 22(5): 385-393.
MA Dayou. General theory and design of micro-perforated panel absorbers[J]. ACTA Acoustica, 1997, 22(5): 385-393.

[4] 盛胜我. 穿孔板背面紧贴吸声薄层时的声学特性[J]. 声学技术, 2003, 22(1): 52-54.
Sheng Shengwo. Acoustic properties of perforated panels closely pasted with an absorptive thin layer[J]. Technical Acoustics, 2003, 22(1): 52-54.