

# 音质模型试验所用材料的声吸收特性模拟

叶恒健 崔顺生 叶素娟

(中国建筑科学研究院)

1981年8月10日收到

本文概括介绍音质模型试验所用某些材料的声吸收模拟结果,其中包括有多孔性材料、穿孔吸声构造和薄板共振吸声构造等。模拟试验的结果表明,通过适当控制模拟条件和进行大量测试,可以寻找到某些适用于音质模型试验的材料。

## 一、引言

音质模型试验这门测试技术,在厅堂或播音室的音质设计中,得到广泛的应用。近年来,为了提高这一试验方法的准确度,声学工作者对吸声材料的模拟试验,进行了深入的研究,取得了一定的成果<sup>[1,2]</sup>。本文结合我们在这方面所作的试验研究工作,作一概括的介绍,列举我们常用的几种吸声材料和构造的模拟结果。

## 二、吸声材料的模拟条件

要使模型试验能够复演实际建筑的音质概况,除了模型的尺寸,测试频率和空气吸收要满足模拟条件外,很关键的是要使模型中各种材料的声吸收满足 $\alpha(f_M) = \alpha(f_0)$ ,符号 $M$ 代表模型,0代表实际建筑, $f$ 代表频率。要使所有的材料均能完全满足这个条件,实际上是很困难的。由于实际建筑对混响时间的要求,允许有一定的变动范围,因此通过吸声材料的模拟试验,寻找一些材料和构造能基本上满足上述条件,则模型试验和实际建筑对比所产生的误差不会很大。

在实际建筑中常用的吸声材料和构造包括多孔性吸声材料、穿孔吸声构造和薄板共振吸声构造,现分别来讨论它们的模拟条件。

### 1. 多孔性吸声材料

如果声波垂直入射于多孔性材料,则沿着 $x$ 方向的传播可用下列方程来描述:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = [j\chi\rho\omega + r]u \quad (1)$$

式中 $p$ ——声压; $\chi$ ——结构因素; $\rho$ ——空气密度; $\omega$ ——角频率; $r$ ——流阻率; $u$ ——声波在多孔性材料内的平均速度。若模型的比例为 $1:n$ ,则以 $n$ 乘(1)式可得

$$-\frac{\partial p}{\partial x/n} = [j\chi\rho(\omega n) + rn]u \quad (2)$$

因模型试验时,模型的尺度缩小 $n$ 倍,测试频率提高 $n$ 倍,从(2)式看出,在模型中若使用模拟多孔性材料的材料时,对应(1)式满足模拟条件为:

$$r_M = r_0 n \quad (3)$$

式中 $r_M$ ——模型所用材料的流阻率; $r_0$ ——实际建筑所用材料的流阻率。

上述是按波动声学观点来考虑。我们在模型试验中所感兴趣的是材料的吸声系数,因此要在混响室模型测量各种材料,寻找对应实际建筑所用材料的吸声系数。如果事先掌握材料的流阻特性,能符合(3)式的模拟条件,则这种材料的模拟试验会简便一些。

### 2. 穿孔吸声构造

确定穿孔吸声构造的主要吸声范围的共振频率 $f_0$ ,可用下式计算:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{e}{(t + 0.8d)L}} \quad (4)$$

式中  $c$ ——声速； $e$ ——穿孔板的穿孔率； $t$ ——板的厚度； $d$ ——孔径； $L$ ——空气层的厚度。

以  $n$  乘(4)式得

$$nf_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{e}{\left(\frac{t}{n} + \frac{0.8d}{n}\right)L}} \quad (5)$$

对比(4)和(5)式可知，穿孔吸声构造的模拟条件为：板的厚度、孔径和空气层的厚度均要缩小  $n$  倍。

### 3. 薄板共振吸声构造

在薄的板材背后设置空气层，把板的周边固定在框架上，当板的刚度因素和空气层厚度都比较小时，这种薄板共振吸声构造的共振频率  $f_0$  近似为

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{mL}} \quad (6)$$

式中  $m$ ——薄板的单位面积质量。

以  $n$  乘(6)式得

$$nf_0 = \frac{600}{\sqrt{\frac{m}{n} \cdot \frac{L}{n}}} \quad (7)$$

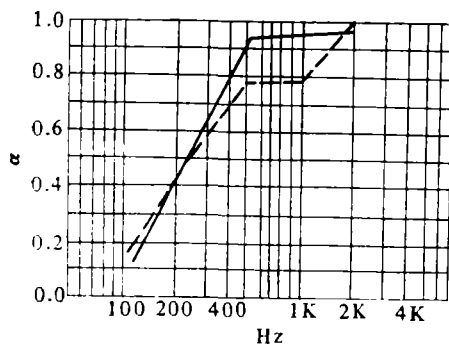
从对比(6)和(7)式可看出，薄板共振吸声构造的模拟条件，是要使  $m$  和  $L$  均缩小  $n$  倍。

## 三、模拟试验的结果

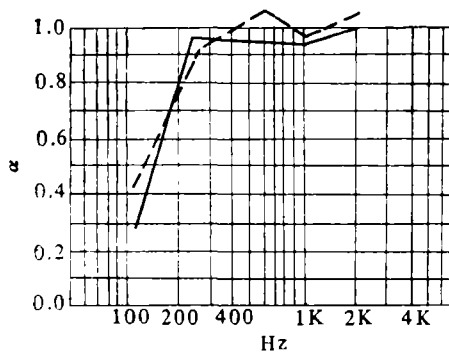
因近来国际上趋向于用 1/10 模型进行试验，以扩展测试频率的范围，因此我们按照本院体积为 248 立方米的混响室尺寸，用有机玻璃制作一个 1/10 的混响室模型进行对比试验，相应也装置了扩散体以模拟实际情况。进行模拟试验的各种吸声材料和构造，分别在混响室和模型进行测量。由于测量设备的限制，模型试验的测试频率只到 20 千赫(相应实际建筑 2 千赫)。

图 1 为模拟多孔性材料的几个例子。图 1-(1) 所示实际建筑所用材料为 5 厘米厚的泡沫

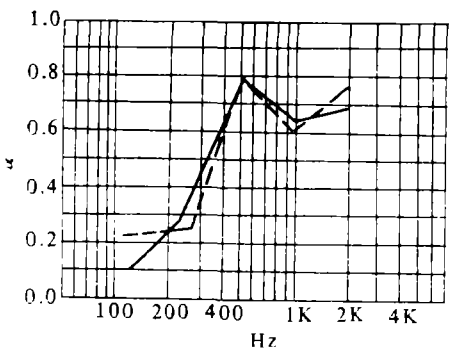
塑料，流阻率为 7 Rayl/cm，模拟材料为另一种比较密实的泡沫塑料，厚 5 毫米，流阻率为 83 Rayl/cm。两者流阻率的差别，基本上符合(3)式的模拟条件，它们的吸声特性是相似的，



(1) ——实物，5 cm 泡沫塑料，流阻率 7 Rayl/cm  
-----模型，5 mm 泡沫塑料，流阻率 83 Rayl/cm。



(2) ——实物，5 cm 超细棉，5 cm 空腔  
-----模型，5 mm 超细棉，5 mm 空腔。



(3) ——实物，5 cm 木丝板，5 cm 空腔。  
-----模型，5 mm 聚乙烯泡沫塑料，5 mm 空腔。

图 1 几种多孔性吸声材料和构造的模拟特性。

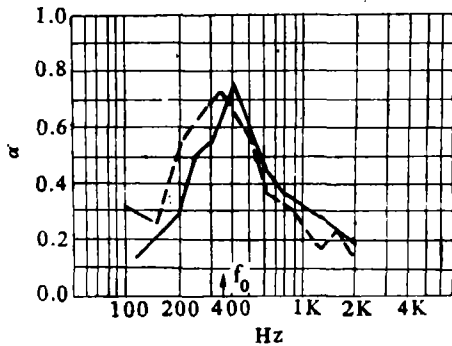
但在某些频率还有差异。产生差别的原因是因为控制多孔性材料吸声特性的主要因素，包括有流阻、空隙率、结构因素、材料厚度、材料背后

的条件、声波的频率和入射条件,其中流阻起着重要的作用,但其它因素也产生一定影响,因此,只考虑流阻率这一因素是会受到局限的。基于这些原因,进行材料模拟时,除了适当控制(3)式的模拟条件外,还可以通过大量测试,寻找吸声特性基本相符的模拟材料。图1-(2)和(3)是另外两种材料的模拟结果,虽然吸声特性在某些频率有差别,但其形状大体上是相似的。因为影响多孔性材料的吸声特性的因素很多,要模拟完全相同实际上是很困难的,文献[1,2]所得的结果,也有类似这种情况。此外,把多孔性材料装置在龙骨上,带有不同厚度的空腔,则成为吸声构造,这样就难以遵循(3)式的模拟条件,因此,这种吸声构造的模拟,只能通

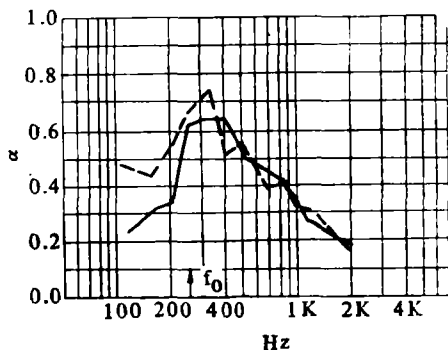
过大量试验来寻找。

通常,通过公式计算空腔不大的穿孔吸声构造的共振频率,与试验所得的结果是比较符合的,我们进行这类构造的模拟试验时,它的共振频率与计算值基本上也是相符的(见图2)。

我们还进行了几种狭缝共振吸声构造的模拟试验,在空腔不大的情况下,共振频率的实测值与计算值是比较相符的,随着空腔的增大,由于受边缘效应的影响,两者的差别便比较大。

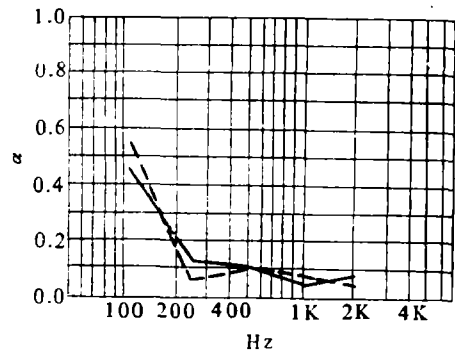


(1) ——实物,石棉穿孔板,厚4 mm,穿孔率2.5%,空腔5 cm,内填5 cm超细棉。  
-----模型,铁皮穿孔板,厚0.3 mm,穿孔率2.5%,空腔5 mm,内填3.5 mm泡沫塑料,  $f_0 = 368$  Hz (计算值)

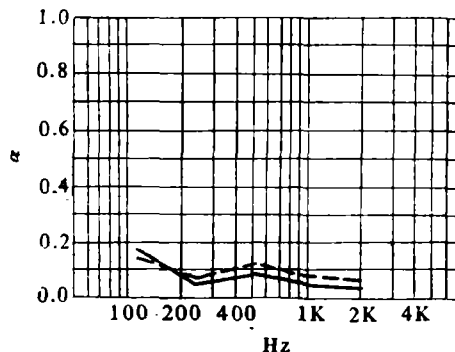


(2) ——实物,石棉穿孔板,厚4 mm,穿孔率2.5%,空腔10 cm,内填5 cm超细棉。  
-----模型,铁皮穿孔板,厚0.3 mm,穿孔率2.5%,空腔10 mm,内填5 mm超细棉,  $f_0 = 261$  Hz (计算值)

图2 穿孔吸声构造的模拟特性。



(1) ——实物,石棉水泥板,厚4 mm,  $7.6 \text{ kg/M}^2$ ,空腔10 cm。  
-----模型,塑料板,厚0.4 mm,  $0.85 \text{ kg/M}^2$ ,空腔10 mm。



(2) ——实物,木花板油漆,厚5 mm,  $3 \text{ kg/M}^2$ ,空腔10 cm。  
-----模型,塑料板厚0.4 mm,  $0.64 \text{ kg/M}^2$ ,空腔10 mm。

图3.薄板共振吸声构造的模拟特性。

图3列出两种薄板共振吸声构造的模拟结果,其中图3-(1)的例子基本满足上述的模拟条件,相似的情况较好。图3-(2)所示的结果表明,虽然材料单位面积质量的模拟条件不大符合,但控制好空腔这一因素,也还可以得到相似的吸声特性。

## 四、讨 论

综上所述,吸声材料的模拟试验,原则上要遵守各自的模拟条件,但影响材料模拟的准确度的因素很多,有时虽然符合了模拟条件,而模拟的吸声特性不一定能完全相同,因此还得通过大量测试来寻找。我们体会若控制好模拟条件,则寻找合适的模拟材料就简便些。一般说来,吸声构造的共振峰比较容易模拟,要使得整个吸声特性完全相同则比较困难。在两个实际的混响室测量同一种材料的吸声特性,往往也存在差异,因此在模拟材料的吸收时,也允许有

一定的误差范围。

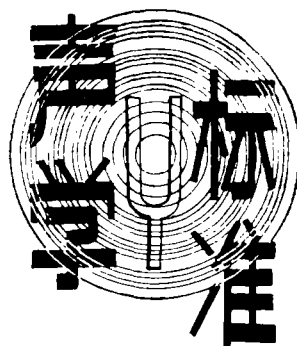
通常实际建筑所使用的吸声材料和构造的种类繁多,我们所进行模拟的是一些常用材料,文中列举只是几个典型例子,今后还要通过不断的试验研究,以充实这方面的内容。

### 参 考 文 献

- [1] 橘秀树、石井聖光。“Simulation of the sound absorption characteristics of the absorbents for acoustic scale model experiment”, 日本音响学会誌, 28—4 (1972), 169.
- [2] 木村翔。“Sound absorbing characteristics of materials for acoustic model experiment”, 音响技术, 5 (1976), 143.

---

## 全国声学标准化技术委员会 第二次会议在京召开



全国声学标准化技术委员会第二次会议于1981年12月14—21日在北京召开,出席会议的委员共30人,因故缺席2人。在此期间技术委员会的四个分技术委员会也召开了会议。

会议是在主任委员马大猷同志主持下进行的,国家标准总局董跃先副局长出席了会议。这次会议的主要任务是:研究分析与声学有关的国际标准;审查声学方面的国家标准草案,讨论和审批秘书处关于1981年度的工作总结及1982年工作要点、1982年制订国家标准项目计划、五年滚动计划、标准体系表以及国家标准制订工作程序的技术文件等。这次会议批准了超声水声分技术委员会成立超声、水声两专业组,并增设一名副主任,还通过了增补七名分会委员。

为了加速国家标准的制订工作,技术委员会研究分析了55个国际标准(ISO标准和IEC标准),对符合我国国情,能全部采用的国际标准,决定直接转写或

改写成国家标准。会议特别分析了ISO-389“校准纯音听力计用的标准零级”,一致认为此标准适合我国情况,可以直接用作我国的国家标准,因此对于我国的听力计,应以ISO的标准零级作为听力零级,不能使用没有成为国家标准的其他标准零级,以免引起混乱。

技术委员会审查通过了“声学量与单位”、“声学量的级及其基准值”、“声学测量中的常用频率”、“空气中声和噪声强弱的主观和客观表示法”、“声和振动分析用1/1和1/3倍频程滤波器”、“城市区域环境噪声标准”、“城市环境噪声测量方法”、“混响室法吸声系数测量规范”、“水声换能器自由场校准方法”等九个国家标准草案,由秘书处审订后报国家标准总局审批颁布。

会议还对今后加强声学标准化的工作提出了意见和建议。最后,会议确定技术委员会的第三次会议将于1982年9—10月在杭州召开。

(徐唯义)