

建筑中的 噪声控制

曹孝振
姚安子

水利电力出版社

内 容 提 要

本书第一篇扼要地介绍了有关噪声和噪声控制的基本理论。第二编和第三篇详细介绍了工业和民用建筑中噪声控制的技术措施和设计计算方法,以及效果显著、施工简易、花费不多的实例。第四篇是附录,介绍有关名词、测量方法、数据等。

本书可供从事建筑设计、噪声控制、环保、劳保等有关人员参考。

建筑中的噪声控制

曹孝振 姚安子

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11.25印张 249千字

1988年6月第一版 1989年6月北京第一次印刷

印数0001—5280册 定价6.40元

ISBN 7-120-00598-7/TU·10

前 言

本书内容曾在各种类型的讲座、报告会等场合讲述，受到听讲者的鼓励，并进行有益的信息交流。

书中的内容主要是根据我们多年来的科研成果和实践撰写的，同时也收集了国内外的有关资料 and 参考了各兄弟单位、个人的资料。脱稿时承蒙北京市劳动保护研究所副所长、副研究员方丹群先生细心校阅，谨一并致谢。

限于水平，书中难免疏漏、错讹，恳请读者指正。

作者

1986.8.于北京

目 录

第一篇 基 本 理 论

第一章 吸声	1
第一节 多孔材料	1
第二节 薄板吸声结构	7
第三节 穿孔板吸声结构	9
第四节 特殊的吸声结构	13
第二章 隔声	15
第一节 空气声的隔绝	15
第二节 撞击声(固体声)的隔绝	56
第三章 隔振	62
第一节 概述	62
第二节 隔振和噪声	64
第三节 隔振器和隔振材料的计算	65
第四节 隔振器和隔振材料的简介	69
第四章 通风系统的消声	89
第一节 通风系统中噪声控制的设计	89
第二节 通风机噪声的估算	100
第三节 通风系统中噪声的自然衰减	104
第四节 消声器	118
第五章 噪声和振动对人体的危害及其标准	160
第一节 噪声对人体的危害	160
第二节 振动对人体的危害	165
第三节 噪声标准	169
第四节 振动标准	184

第二篇 工业建筑的噪声控制设计

第一章 生产车间	197
第一节 不同生产车间的合理布局	198
第二节 先进技术对噪声的影响	206
第三节 设备精度对噪声的影响	207
第四节 合理的建筑设计	209
第二章 控制室	223
第一节 控制室的噪声允许值	223
第二节 电厂的噪声特点	224
第三节 控制室的位置	226
第四节 隔声措施	227
第五节 吸声处理	232
第六节 控制室内噪声级的计算	234
第七节 通风消声	235
第三章 空调机房	238
第一节 通风机房的噪声控制	238
第二节 冷冻机房的噪声控制	247

第三篇 民用建筑的噪声控制设计

第一章 旅馆	260
第一节 旅馆的噪声	263
第二节 噪声控制设计	289
第三节 公共场所	308
第二章 剧场、体育建筑的噪声控制	312
第一节 通风系统的消声措施和效果	313
第二节 消声器的设计	318
第三节 隔声和隔振	323

第四篇 附 录

第一章 声学名词简介和基本概念	327
第二章 噪声测量简介	341
第一节 声级计介绍	341
第二节 测量方法	342
第三章 设备和车间的噪声	347

第一篇 基 本 理 论

第一章 吸 声

当声波传播到任何一个物体的表面时，总会有一部分能量被吸收，转化为热能而逸散。吸收的声能与入射的声能的比称为吸声系数：

$$\alpha = I_{\text{吸}}/I_{\text{入}} = 1 - I_{\text{反}}/I_{\text{入}}$$

式中 $I_{\text{入}}$ 、 $I_{\text{吸}}$ 和 $I_{\text{反}}$ 分别为入射、吸收和反射的声能。当 $I_{\text{反}} = I_{\text{入}}$ 时， $\alpha = 0$ ，表示材料是全反射的；当 $I_{\text{反}} = 0$ 时， $\alpha = 1$ ，表示材料是全吸收的。实际上是没有全反射和全吸收的材料，通常材料的吸声系数都在 $0 \sim 1$ 之间。吸声材料很多，并且都是以转换能量的方式来消耗声能的，但是它们的转化过程是根据材料种类的不同而不同的。吸声材料将阐述于以下几节中。

第一节 多 孔 材 料

多孔材料的构造特征是材料中有许多微小间隙和连续气泡，具有一定的通气性能。当声波入射到多孔材料时，声能衰减的原因，主要是由于声波引起小孔或材料纤维之间空隙中的空气的运动，另外，紧靠孔壁或纤维表面一部分的空气，由于粘性，不易运动，这样就使一部分的声能消耗在这种抵抗粘性的运动而转化为热能；其次是由于空气与孔壁或纤维之间的热传导所引起的热损失。所以多孔材料的吸声性

能是跟材料内部、材料表面的多孔性有关。影响多孔材料吸声的因素有下列几方面：

(1) 材料的空气流阻、空隙率和结构因子。

1) 空气流阻——在多孔材料中，影响材料吸声性能的最重要的因素是空气粘性，它是用空气流阻或流阻率来表示的，也就是当气流稳定地流进材料时，多孔材料两面的静压差和流速的比例。这是可以用仪器测量到的，一般的多孔材料的流阻是在 $10^1 \sim 10^7$ ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}$) 的范围内。

2) 空隙率——它是指多孔材料中空气所占的体积和材料总体积的比例。一般多孔材料的空隙率在70%以上，有的达90%。一般地讲，材料空隙率大，吸声性能就比较好，但是过大，由于密度太小，流阻就小，则使吸声性能也会变小。

3) 结构因子——为了便于研究，假定多孔材料的孔或空隙是象毛细管一样，并且是沿着厚度方向纵向地排列，但是实际的多孔材料中的小孔、空隙的形状和排列是很复杂的，并且是不规则的，因此就必须给以修正，结构因子就是修正的系数，通常是在2~10的范围内，有时可以达到25，要求正确地求出一般多孔材料的结构因子是很困难的。

(2) 材料厚度，容重。

1) 材料厚度（和刚性壁紧密连接）——多孔材料的吸声性能一般是随着频率的提高而增大，达到一定的频率时，逐渐稳定在一定值，不再增加了。假如厚度增加，中、低频的吸声系数会随之增大，并且有效的频率范围也会扩大，图1-1-1表示了木丝板的厚度对吸声性能的影响。

2) 容重——在同一种多孔材料中，当厚度一定而容重增大，低频吸声系数有所增大，而高频吸声系数则有所下

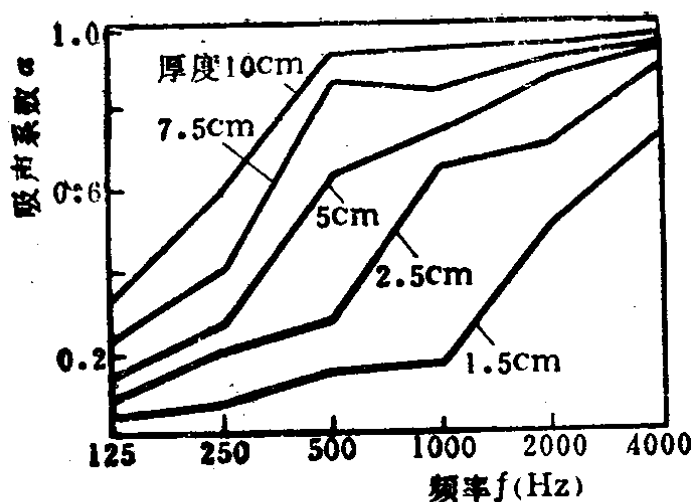


图 1-1-1 木丝板的厚度对吸声性能的影响

降。在一般情况下，容重的影响比厚度的影响要小。

(3) 材料背后的空气层和饰面。

1) 背后空气层——多孔材料的厚度、容重一定时，改变它背后空气层（简称后空）的尺寸，对它吸声性能有很大的影响。一般是后空增加，可以增大吸声系数，特别是低频范围的吸声系数是有很明显的增大。图1-1-2表示木丝板的

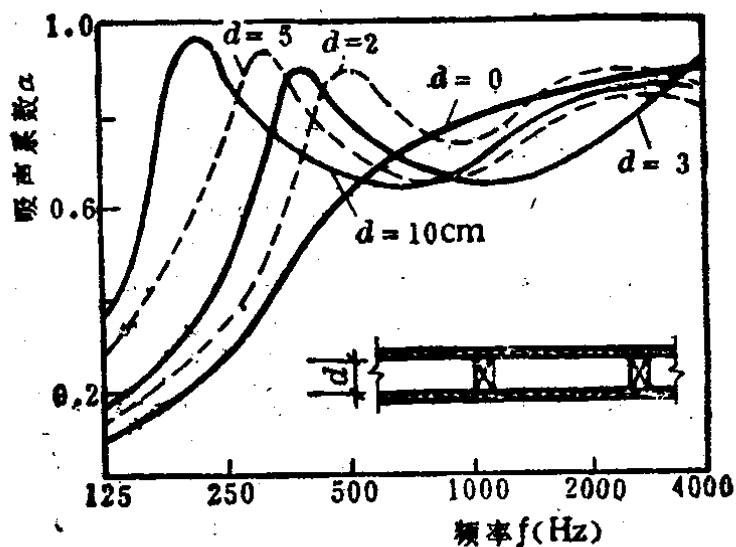


图 1-1-2 空腔厚度对吸声性能的影响

(吸声性能曲线的峰值与空腔厚度的关系: $f_{\text{峰值}}^2 \times d = 5.2 \times 10^4$)

空腔厚度对吸声性能的影响。

2) 饰面——多孔材料饰面后，它的吸声性能往往会有所变化，并且与饰面的方法有关。常见的饰面方法有下列几种：

① 钻孔、开槽——软质纤维板、半穿孔吸声装饰板、矿棉吸声板等常加工成圆孔、针孔或缝状，其深度约为材料厚度的 $2/3 \sim 3/4$ ，并不穿透，故称为半穿孔。由于增加了材料的有效吸声表面积，同时使声波容易进入材料深处，所以提高了材料的吸声能力，特别是在500Hz以上更为明显。

② 粉刷、油漆——这种方法实质上是在多孔材料表面增加了一层高流阻的材料。由于流阻过大或过小都会影响材料的吸声性能，特别对高频段的影响是很明显的。如果需要对多孔材料进行粉刷或油漆，最好采用喷涂法或对材料进行半穿孔后再油漆，或另罩一层不影响其吸声性能的其它护面材料，而不采取直接粉刷的措施，这样可以减小影响。有时多孔材料经粉刷或油漆后，虽然中、高频的吸声系数减小了，而低频的吸声系数有所提高。图1-1-3表示木丝板不同厚度的粉刷层对吸声性能的影响。

③ 护面层——多孔材料表面所用的护面层对材料吸声性能的影响是与它透气性能有关。常用的护面层有金属网，塑料窗纱、玻璃布、纱布、针织物，以及穿孔、穿缝板等。穿孔、穿缝板作为护面层，由于声波是靠穿透表面的孔、缝起作用，因此它的吸声性能是与穿孔率（或穿缝率）有关。当穿孔率大于20%时，穿孔、穿缝板对在它后面的材料吸声系数影响不大；而穿孔率小于20%时，对高频吸收性能有影响，对低频吸收有所增加。详可见关于穿孔、穿缝板的吸声特性。一般的金属网、玻璃布、针织物等，由于它们的流阻

很小，所以对材料的吸声影响并不大。对于一些在防止掉渣或防水等方面要求较高的场合可以采用塑料薄膜作为护面材料。这种情况应先将玻璃棉或颗粒的松散吸声材料装在塑料薄膜口袋内，再放置在护面材料之后。为了减小对吸声性能的影响，应采用厚度在0.05mm以下的非常薄而柔软的塑料薄膜，因为这种薄膜在声波辐射时，它的背后的声压基本保持原来的大小。使用时应注意不要对薄膜加拉力，不要与吸声材料紧贴，原则它会起油漆的效果，从而减小吸声材料的吸声性能。

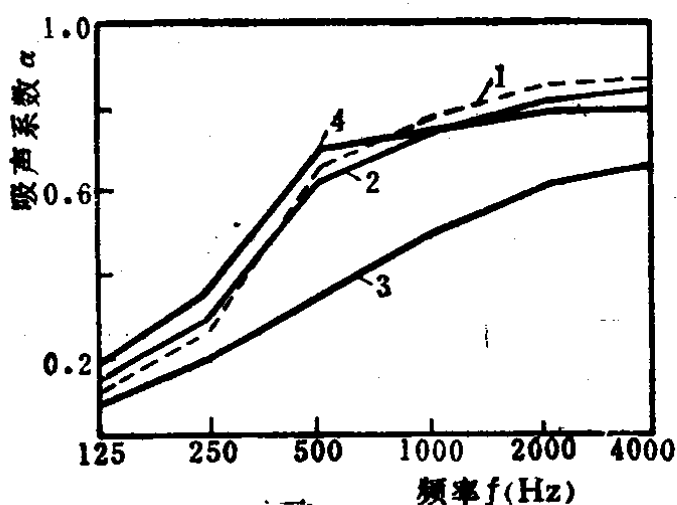


图 1-1-3 木丝板粉刷对吸声性能的影响

1—无粉刷；2—薄粉刷，对材料孔隙影响不大；3—厚粉刷，材料大部分孔隙被堵塞；4—中等厚度的粉刷

常用的多孔材料如下：

(1) 超细玻璃棉——它是目前使用最广泛的吸声材料，容重为 $18 \sim 25 \text{ kg/m}^3$ ，每层厚为 $25 \sim 50 \text{ mm}$ 。它的优点是吸声性能好 ($\bar{\alpha} = 0.7 \sim 0.8$)、不燃、容重小、耐腐蚀、防蛀、耐热抗冻、柔软、对皮肤刺激发痒感较小；缺点是吸湿性大，受潮后吸声性能要减小，但经硅油处理后，具有防潮性能。

(2) 矿棉——它是利用工业废料制成的，容重为 $120 \sim 200\text{kg/m}^3$ 。它具有吸声、隔热、防火、耐腐蚀等优点；但具有刺激皮肤发痒、易碎、施工不便等缺点。近年来已被超细玻璃棉代替。由矿棉制成的矿棉吸声板的吸声效果较好，平均吸声系数为 $0.3 \sim 0.5$ ，容重为 $250 \sim 450\text{kg/m}^3$ ，板厚为 $12 \sim 18\text{mm}$ 。

(3) 泡沫塑料——市面上常用的泡沫塑料是不吸声的，只有聚脂型的泡沫塑料和尿醛泡沫塑料（又称米波罗）是具有吸声性能的。聚酯型泡沫塑料的容重为 40kg/m^3 ，厚度为 $2.5 \sim 5\text{mm}$ 。优点是施工方便，不需要护面材料，吸声系数高（与超细玻璃棉相近）；缺点是易老化，耐火性差，吸水性强。尿醛泡沫塑料的机械强度低，易破碎（ 0.2kg/mm^2 ），要加护面材料。

(4) 软质纤维板（硬质纤维板是成型热压而成，不属于多孔材料）——它是由多种植物纤维经处理后加压成型的，容重一般为 $220 \sim 260\text{kg/m}^3$ ，结构松软，多孔略有弹性，具有隔热、吸声特点。常用的是经半穿孔具有装饰效果的板材，厚度为13、16、19、25cm不等，平均吸声系数约为0.3。由于它已是商品化，较美观，所以使用很广，但不阻燃。

(5) 木丝板——是用木丝、水泥、水玻璃胶压而成，容重为 400kg/m^3 ，厚度为15、25、50mm，平均吸声系数约为 $0.4 \sim 0.5$ 。它具有防火、防霉等特点，使用很广。

(6) 矿渣膨胀珍珠岩吸声砖——容重为 $700 \sim 800\text{kg/m}^3$ ，平均吸声系数约为0.6。它是由膨胀珍珠岩加水泥，经振动加压成型，常压蒸汽养生而成。可以承受自重，有防潮、防火性能。规格有 $400 \times 195 \times 115$ ，在大截面的消声

器和地下工程中使用很多。

还有一种常用的室内表面的处理就是水泥拉毛粉刷，认为它能起吸声作用，虽然水泥拉毛粉刷从表面来看是很粗糙，但是实际上它是很坚硬的，没有互相穿透的孔和空隙，因此是反射性很强的，平均吸声系数约为0.03，和普通粉刷相近。另外有人认为由于它的表面粗糙，可以使入射到它的表面后，形成扩散的反射。实际上它的粗糙程度和主要声频范围内的声波的波长相差很大，如1000Hz的波长为340mm，因此当1000Hz的声波射到水泥拉毛粉刷的表面时，它的表面粗糙的尺寸，由于声波绕射的关系不能引起扩散的反射，仍然像“平坦”的墙面一样地反射。因此水泥拉毛粉刷是不能吸声，也不能“扩散”的一般性的材料。

第二节 薄板吸声结构

建筑中常用的薄板吸声结构有胶合板、硬质纤维板、石膏板、石棉水泥板以及金属薄板等。通常是把它们周边固定在墙或顶棚的龙骨上，在它们的背后留有空气层，形成了共振吸声结构。当声波入射到板材上时，如果入射声波的频率和吸声结构的共振频率一致时，薄板就产生共振，也就是使声能转化为机械振动，最后转化为热能而消耗掉声能。建筑中常用的板状材料的共振频率在80~300Hz之间，其吸声系数在共振频率附近最大，大约在0.2~0.5左右。在同一材料中，板越厚，共振频率越低；其后的空气层越大，共振频率也越低。所以薄板吸声结构主要适用于低频范围。一般室内大张抹灰吊顶、大张玻璃等也具有这种低频吸声的特性，

薄板吸声构造的共振频率可按图1-1-4计算。薄板吸声构造由于撑档（龙骨）的不同而改变其吸声性能的关系可见

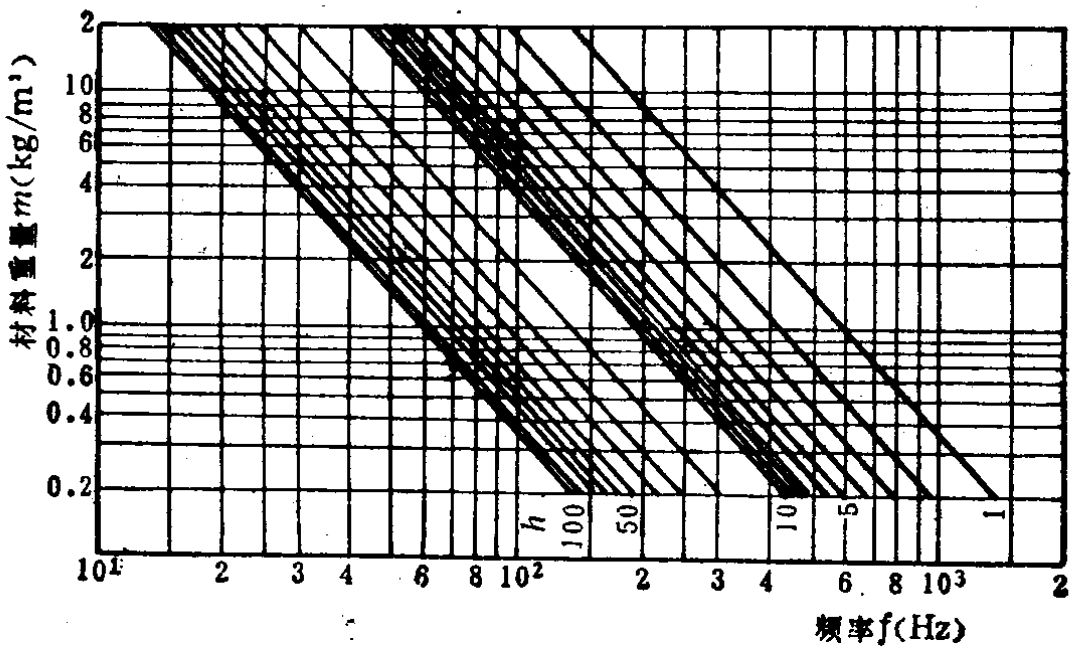


图 1-1-4 薄板吸声构造的共振频率计算图
共振频率 $f_{共振}=600\sqrt{1/mn}$ ； h —空腔的厚度(mm)

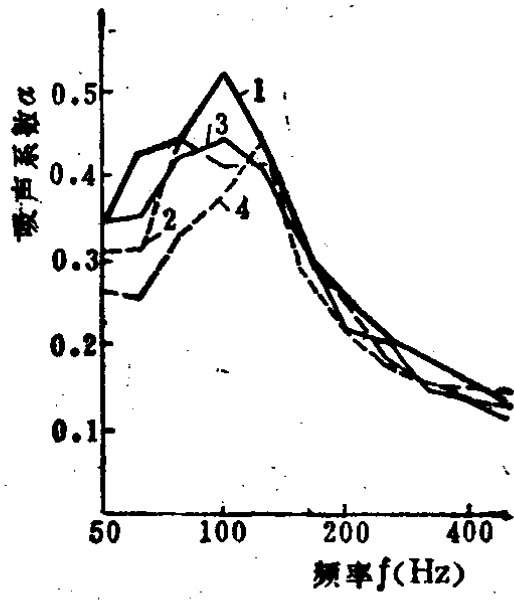


图 1-1-5 空腔和撑档的影响
1—10cm厚空气层，1条撑档；2—10cm厚空气层，3条撑档；3—7.5cm厚空气层，1条撑档；4—7.5cm厚空气层，3条撑档

图1-1-5。图1-1-6是表示在薄板吸声构造的空腔中不同的填充情况而引起吸声性能变化的关系。

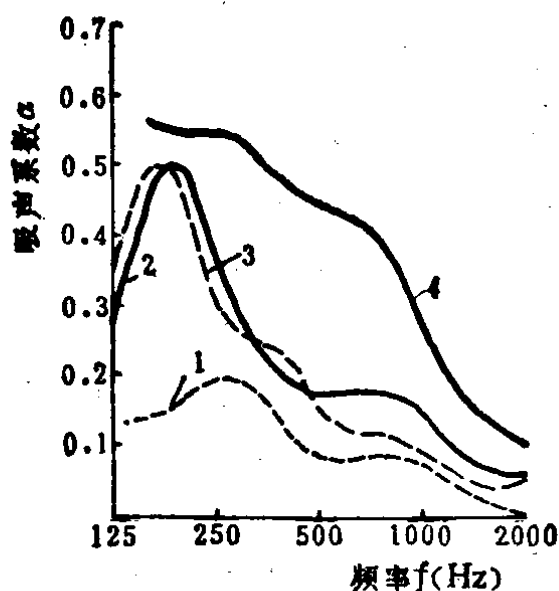


图 1-1-6 空腔中填充物的影响

1—无填充物；2—孔满填充物；3—四周加填充物；4—上述三种构造叠加在一起的吸声性能

第三节 穿孔板吸声结构

穿孔板吸声结构是目前常用的一种吸声处理方法之一，它是指厚度超过数毫米的非金属板制品，有胶合板、硬质纤维板、石膏板和石棉水泥板等，在其表面开一定数量的孔，其后具有一定厚度的封闭空气层所组成的吸声结构。它的吸声性能是和板厚、孔径、孔距、空气层的厚度以及板后所填的多孔材料的性质和位置有关。它的吸声特性是以一定的频率为中心呈“山”形，主要是吸收中、低频的声能，在空腔中填以多孔材料可以展宽它的吸声频率范围。穿孔板的吸声原理是：认为孔的两端是自由的，孔和后空的尺寸和入射声波的波长相比是很小的，因此孔内的空气可以看成是一个质

量，而后空的空气层是密闭的，成为一个弹簧，所以组成了一个共振系统。当入射声波的频率和系统的频率相当时，系统就激烈地振动，在孔径处的空气质量产生摩擦而消耗声能。穿孔板的共振频率可以按下式计算

$$f_0 = c / 2\pi \sqrt{p / (l_0 + 0.8d)h}$$

式中：c——声速， l_0 ——板厚（cm）， h ——空腔厚度（cm）， p ——穿孔率，穿孔面积和总表面积之比（穿孔板 $P < 20\%$ ，穿缝板 $p > 20\%$ ）， d ——孔径（cm）。

穿孔板的吸声系数一般是通过测量得到的。一般地说，

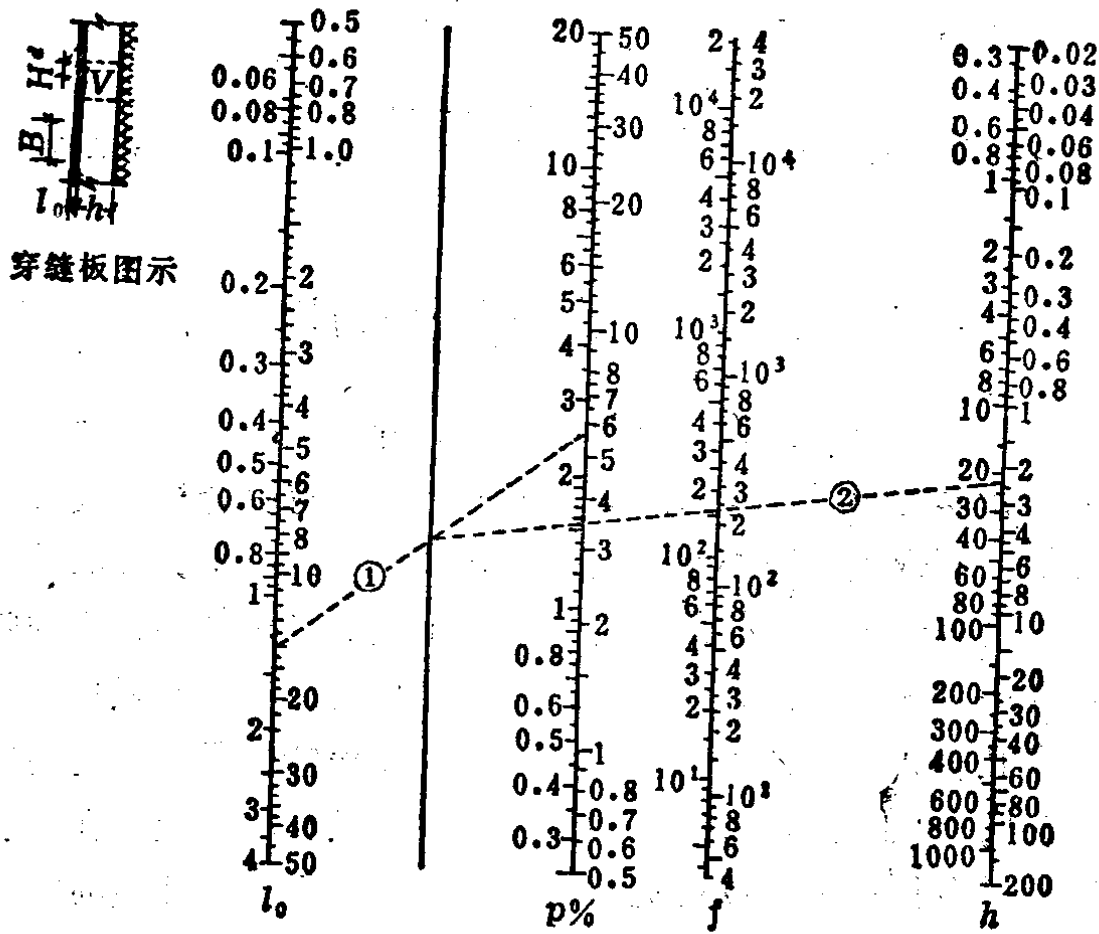


图 1-1-7 穿孔（缝）板的共振频率计算图
（图中所示的左刻度数值用于穿孔板，右刻度数值用于穿缝板）

当后空不设多孔材料，最大吸声系数大约在 0.30~0.50 左右。当后空内填充多孔材料时，在共振频率为中心的相当宽的频率范围内吸声系数会增大，并且还向低频方向移动。

穿孔（缝）板的共振频率的计算可以从图1-1-7查得。
影响穿孔板的吸声性能的因素有下列几方面：

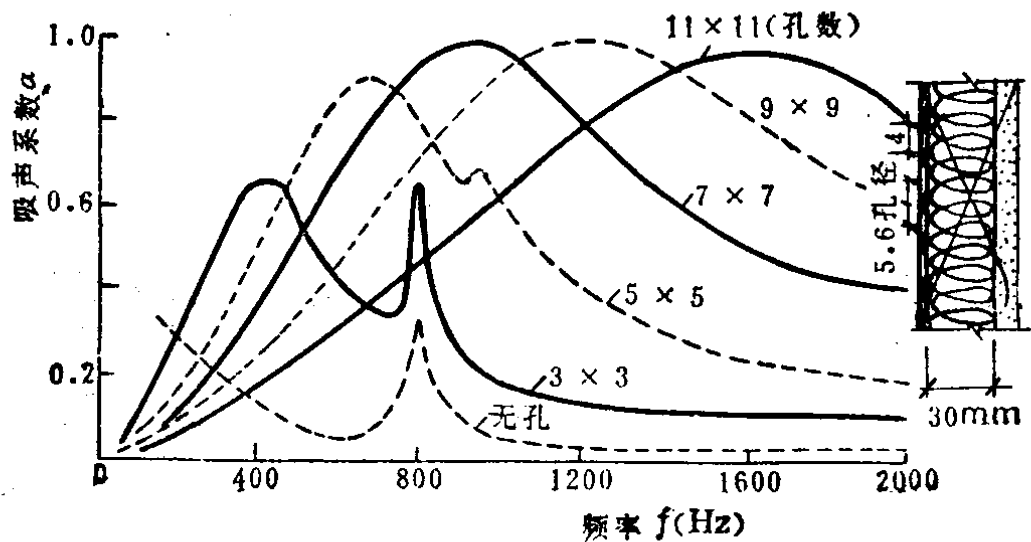


图 1-1-8 穿孔板的穿孔数对吸声性能的影响

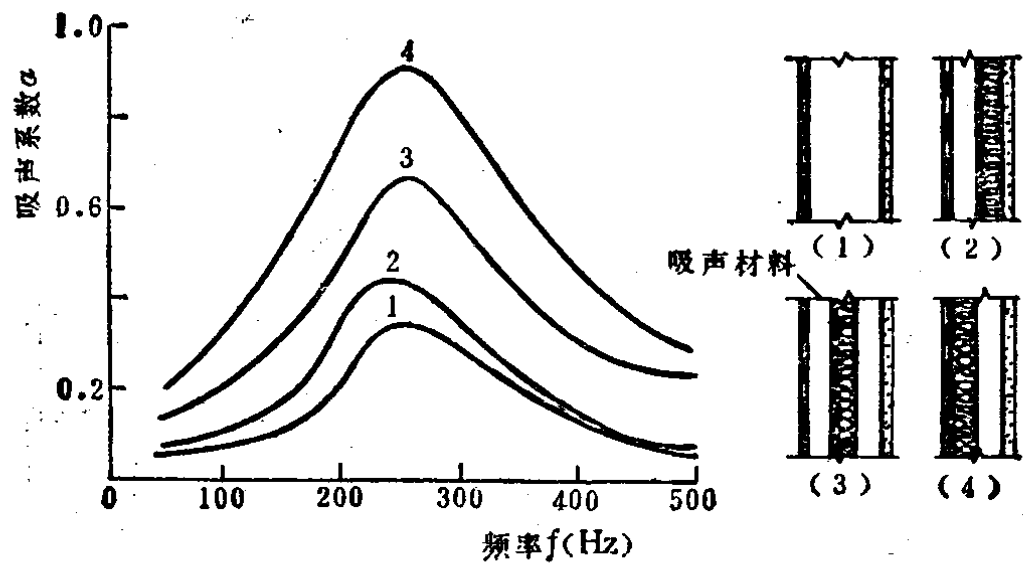


图 1-1-9 吸声材料的不同位置对吸声性能的影响

1—无吸声材料；2—吸声材料位于腔底；3—吸声材料位于腔中间；
4—吸声材料位于穿孔板处