

建筑隔声设计 ——空气声隔声技术

中国航空工业规划设计研究院

康玉成 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑隔声设计——空气声隔声技术/中国航空工业规划设计研究院 康玉成编著. —北京: 中国建筑工程出版社, 2004

ISBN 7-112-06705-7

I. 建... II. 中... III. 建筑—空气声—隔声—声学设计 IV. TU112.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 059238 号

建筑隔声设计——空气声隔声技术

中国航空工业规划设计研究院

康玉成 编著

*

中国建筑工程出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京建筑工程印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10 1/4 字数: 257 千字

2004 年 9 月第一版 2004 年 9 月第一次印刷

印数: 1—3,500 册 定价: 18.00 元

ISBN 7-112-06705-7

TU·5859(12659)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

目 录

第一章 绪论	1
第二章 相关知识	3
第一节 空气声	3
第二节 人耳听觉的频率特性	3
第三节 质量和重量	4
第四节 声音的基本量度	4
第五节 A 声级	5
第六节 噪声评价量	9
第七节 隔声量	10
第三章 质量定律	12
第一节 质量定律的假定条件	12
第二节 质量定律	12
第四章 单层构件的隔声频率特性	14
第一节 构件隔声的三个频率控制区	14
第二节 劲度控制区 (I 区)	14
第三节 质量控制区 (II 区)	16
第四节 临界频率控制区 (III 区)	16
第五节 综合分析	19
第五章 单层构件隔声量计算公式	21
第一节 国外声学家的论述	21
第二节 国内声学家的论述	24
第三节 隔声量计算公式的归纳	27
第四节 隔声量公式的几点分析	28
第五节 推荐隔声量计算公式	30
第六章 m 与 R 关系图线判断隔声量	32
第一节 折线关系图线	32
第二节 直线关系图线	33
第三节 弧线关系图线	34
第四节 三种类型关系图线的综合分析	36
第七章 实测图表判断隔声量	37
第一节 概述	37
第二节 构件隔声量实测图表	37
第三节 分析说明	69

第八章 构件隔声的平台作图法	71
第一节 概述	71
第二节 平台作图法	71
第三节 平台作图法举例	72
第四节 几点分析	73
第九章 隔声指数——计权隔声量	75
第一节 概述	75
第二节 隔声指数	75
第三节 计权隔声量	78
第十章 计量单位的转换	80
第一节 关于“级”值不统一	80
第二节 统一“级”值探索	80
第十一章 双层墙的隔声	83
第一节 概述	83
第二节 双层墙的隔声频率特性	84
第三节 双层墙的共振频率	85
第四节 双层墙的吻合效应区及临界频率	86
第五节 双层墙隔声量经验计算公式	86
第六节 关于附加隔声量	88
第七节 关于双层墙中填充吸声材料	90
第八节 高隔声量结构的隔声	91
第九节 双层墙隔声量的实测举例	97
第十节 小结	100
第十一节 关于吊顶	100
第十二章 多层材料复合构件的隔声	102
第十三章 轻型墙体的隔声	104
第一节 概述	104
第二节 微孔块状材料轻墙的隔声	104
第三节 大孔块状材料轻墙的隔声	107
第四节 薄板板状材料轻墙的隔声	110
第五节 轻薄帘幕材料的隔声	114
第十四章 门窗的隔声	117
第一节 概述	117
第二节 门的隔声	117
第三节 窗的隔声	132
第十五章 组合墙板的隔声	142
第一节 概述	142
第二节 隔声量计算	142
第三节 孔洞、缝隙对隔声的影响	146

第十六章 围护构件的实际隔声量..... 148

第一节 单片构件的噪声降低量..... 148

第二节 整个房间围护构件的综合噪声降低量..... 149

第三节 隔声室..... 150

附录（一） 部分民用建筑及工业建筑隔声标准..... 155

附录（二） 各类建筑的允许噪声级（供参考）..... 158

附录（三） 国外建筑隔声标准简介..... 161

主要参考文献..... 163

第一章 绪 论

一、概述

建筑师在工业与民用建筑工程设计中,常遇到围护结构隔绝空气声的问题,并且一般都知道围护构件越厚重隔声效果越好,这种对隔声原理的认识,就是对“质量定律”的基本认识。

在对建筑围护构件隔声设计中,建筑师多是以“建筑物理”课本的阐述为依据,该课本从60年代初至今,已正式出版过数种版本。还有大量的国内外声学专著、论文、手册、资料集等,这些书籍对围护构件隔绝空气声理论以及计算公式的阐述,也给建筑师从不同角度提供了大量的设计依据。但是这些阐述尽管都是围绕质量定律,所表述的内容、视角却不尽相同。如隔声量计算公式差别就很大,对同一面密度构件的隔声量计算,按不同时期出版的《建筑物理》或声学书籍中提供的公式,其计算差值可达12dB以上。对此类问题,建筑师们一般都不会花更多的时间去探讨。

尽管建筑隔声普遍存在于各类建筑中,而且在技术上都能解决,但现实中却往往不被重视,忽视人的生产、生活环境,这也势必给建筑师的隔声设计实践带来影响。然而随着国家经济实力的增强、规范的健全、认识的提高,建筑隔声已经成为建筑设计中非解决不可的问题。

应该说要求高的、比较复杂的、特殊的隔声工程,例如隔声罩、隔声屏、高效隔声构件、高效隔声门窗等,宜由声学家主持设计,建筑师配合完成。而普遍存在于各类建筑中的围护构件隔绝空气声的设计,由于各设计单位不可能都有专业声学家及建筑声学专业组,所以一般要由建筑师来完成,这就要求建筑师也要具备较充实、完整、全面的空气声隔声知识。马大猷院士说:“建筑师要懂一些声学……”,这是对建筑师们的有益教诲。笔者多年来从事建筑设计及声学工程设计实践,深感有必要从实用出发编撰此书,以提供给建筑师们,作为其进行建筑围护结构构件隔绝空气声设计时的参考。

半个世纪以来,我国声学家们通过研究和实践,创造性地开拓和发展了我国的建筑声学及噪声控制工程技术,理论上取得了很大的进展,并积累了丰富的实践经验,显示出较高的学术和应用水平,跻身于国际声学界的先进行列,这些成就,是本书编著的基础。本书编写中,引用了有关单位及声学家们编著的建筑声学书籍中的图表等内容,在此仅向他们表示衷心的感谢。

这是一本立意实用,写给建筑师们的书,由于建筑师都学习过《建筑物理》课,所以本书未像很多声学书籍那样,从声学的最基础知识写起。

二、几点说明

1. 就笔者所知,多年来我国出版的与建筑设计有关的国内外各类声学著述是很多的,

而笔者所读过的显然是有限的、不全面的，但本书拟尽力反映空气声隔声理论与实践的现代水平。

2. 本书所指的建筑围护结构，是室内声场三维空间的围护构件，即内墙、外墙、楼板、顶板，以及门、窗等，并统一称之为构件。本书把楼板、顶板也明确包括在构件内，因为楼板不仅对隔绝撞击声很重要，对空气声的隔绝也是与墙一样重要的，建筑设计实践和建筑使用过程也都证明了楼板、顶板隔绝空气声的重要性，一点也不比墙的要求差。

3. 各类声学著述中使用的声学符号、汉语名词很不一致，本书则尽力使其统一于国家标准声学的量和单位（GB3102.7—93）。如对围护结构隔声量的称谓就有“传输损失”、“透射损失”、“隔声量”等，本书则统一采用“隔声量”。又如面密度（面质量）的符号则有“G”、“P”、“m”等，按国标力学的量和单位（GB3102.3—93）法定面密度符号应为 ρ_A 或 ρ_S ，但考虑到多年来大部分声学书籍都用 m ，本文也采用 m 。

4. 笔者是建筑师，不是专职的声学工作者，声学知识和实践都有限，所以本书仅是笔者的读书笔记和声学工程设计实践的心得体会。限于水平，不当之处在所难免，请专家和建筑师们多提宝贵意见。

第二章 相关知识

第一节 空气声

本文所指建筑围护结构构件的隔声，单指质量定律下空气声的隔绝。声音从声源传至人耳，要通过弹性媒质才能传播，传播的媒质是物质。气态的、液态的、固态的物质都可以作为媒质传播声音，没有物质的空间，如真空就不能传播声音。声音通过围护结构的传播，按传播规律有两种途径。一种是振动直接撞击围护结构，并使其成为声源，通过围护结构构件作为媒质，使振动沿固体构件而传播，这种传播方式，一般称为固体传声、撞击声，或称结构声，声音在固体媒质中的传播比在空气中的传播衰减得慢，传播得远，速度也更快；另一种是空气中的声源发声后，激发周围的空气振动，以空气为媒质，形成声波，传播至构件（大部分被反射），并激发构件这一媒质的振动，使小部分声能被透射传播到另一空间去，这种传播方式一般称为空气传声或称空气声。

实际上，不管是固体传声还是空气传声，最后都是通过空气这一媒质，传至人耳。

第二节 人耳听觉的频率特性

声的源头是振动，振动就具有频率（符号 f ），即每秒种振动的次数，单位是赫兹，简称赫（符号 Hz）。人耳能接受的声从频率上讲，不是所有频率都能感觉到，而是有一定的范围，正常人耳的听觉特性表明，只有振动频率为 20Hz（一说 16Hz）~ 20000Hz 的声，人耳才能有声觉。20Hz 的声对人耳的感受叫听阈或闻阈，20Hz 以下振动频率所产生的“声”叫次声。20000Hz 的声对人耳的感受叫痛阈，20000Hz 以上振动频率所产生的“声”叫超声。低于 20Hz 或高于 20000Hz 频率的振动，人耳都不会有声的感觉。在建筑声学中，一般把频率在 200 ~ 300Hz 或以下的声称为低频声，500 ~ 1000Hz 的声称为中频声，2000 ~ 4000Hz 或以上的声称为高频声。在 20 ~ 20000Hz 这么宽的频段中，经研究对人最为敏感、最有影响的声频是 100 ~ 3150Hz，也有的文献中说是 125 ~ 4000Hz、100 ~ 4000Hz 等。如此宽的频率范围，我们不可能也不必要对每个频率都去研究，所以就把很宽的声音频率变化范围，划分成几个小的频段，这就是平常所说的频程或频带，并取其中心频率为代表来研究。声学工程中常用的有 1/1 倍频程和 1/3 倍频程，而在隔声研究、设计实践中最常用的是六个倍频程，其中心频率是 125Hz（90 ~ 180Hz）、250Hz（180 ~ 355Hz）、500Hz（355 ~ 710Hz）、1000Hz（710 ~ 1400Hz）、2000Hz（1400 ~ 2800Hz）、4000Hz（2800 ~ 5600Hz），括号内数字表示这六个倍频程中心频率所代表的频率范围。这六个倍频程基本上代表了常用的声频范围，从而大大简化了研究、测量和计算。

第三节 质量和重量

构件隔绝空气声的基本理论是质量定律，但建筑师在运用质量定律及隔声量计算公式时，常把构件的质量习惯地说成重量，因而存在着质量和重量这两个不同物理概念的术语含混使用的问题，比如常说 24cm 厚砖墙的“重量”是 500kg/m^2 。

什么是质量：质量是量度物体（构件）惯性大小和引力特性的物理量，质量的值一般是用物体所承受的外力以及由此外力而引发的物体运动的加速度比来表示： $m = f/a$ ，惯性越大的物体，质量越大。物体受力后具有了速度，有了速度的质量 m 与速度为零时的质量 m_0 是不一样的，速度越大质量越小，但通常 m 和 m_0 相差极小，所以质量可以近似地看成是一个不变的量。质量的量度单位是克（g）、千克（kg）。

什么是重量：重量即重力的大小，重量是量度物体（构件）所受地球引力大小的物理量，由于地球上的不同纬度、不同高度，引力不同，同一物体在地球不同纬度、不同高度的重量也稍有不同，越接近南北极和地球表面重量越大。同时物体的重量还受到因地球自转而产生的惯性离心力的微小影响。重量的量度单位是牛（顿）（N），（ $1\text{N} = 0.1\text{kg}$ ）。

重量和质量的关系：物理学上重量与质量的关系表示为 $W = mg$ ，其中 W 为重力或称重量， m 为物体的质量， g 为重力加速度，约等于 9.8m/s^2 。两个物体的质量之比等于它们的重量之比即 $\frac{m_2}{m_1} = \frac{W_2}{W_1}$ ，但条件是用梁式秤比较物体质量的基础。

质量定律以及质量定律下的隔声量计算公式，都是以质量为基础。我们在工程设计、隔声设计中，常把构件、墙、楼板等的容重、面密度等习惯地说成是重量，这是不确切的，这里所说的重量，从物理学的角度讲，实际上是质量。例如，我们常说 1m^3 钢筋混凝土的重量是 2400kg ，24cm 厚砖墙的面密度是重 500kg/m^2 ，去市场买 5kg 重的鸡蛋等，这里 2400kg 、 500kg/m^2 和 5kg 都是质量的大小，而不是重量。由于将质量说成重量已经习以为常了，所以我们把其实是质量而在口头上常说成为重量，用在质量定律的理论及设计实践中，也是可以理解的。但概念上还是要清楚，质量定律中的面密度 m 是质量而不是重量。

第四节 声音的基本量度

1. 声强级：

单位分贝（dB）。声音作为一种能量具有一定强度，单位时间通过单位面积上的平均声能通量，就是声强（ I ）。声强的单位是瓦/米²（ W/m^2 ），例如点声源发出的球面波声场中某点的声强 $I = W/4\pi r^2$ （ W/m^2 ）。声强级是：

$$L_1 = 10\lg \frac{I}{I_0} \quad (2-1)$$

I_0 为基准声强，在本文限定的空气声隔声中， $I_0 = 10^{-12}\text{W/m}^2$ ，这是人耳对 1000Hz 单音的可听阈声强，则可听阈声强级为： $L_1 = 10\lg (I_0/I_0) \text{ dB} = 0\text{dB}$ 。将 $I_0 = 10^{-12}\text{W/m}^2$ ，代入（2-1）式则可得：

$$L_I = 10\lg \frac{I}{I_0} = 10\lg I + 120\text{dB} \quad (2-2)$$

L_I 是声场中某点的声强级。

2. 声压级:

单位分贝 (dB)。声音具有压力叫声压 (P)，声压的大小反映了声波的强弱，声压的单位是帕 (Pa)， $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ ，声压级是：

$$L_p = 10\lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20\lg \frac{p}{p_0} \quad (2-3)$$

p 有效声压， p_0 基准声压，规定为 $p_0 = 2 \times 10^{-5}\text{Pa}$ ，则基准声压级为： $L_p = 20\lg (p_0/p_0) \text{dB} = 0\text{dB}$ 。这里基准声压 $p_0 = 2 \times 10^{-5}\text{Pa}$ 与基准声强 $I_0 = 10^{-12}\text{W/m}^2$ 是相对应的，将 $p_0 = 2 \times 10^{-5}\text{Pa}$ ，代入 (2-3) 式则可得：

$$L_p = 20\lg \frac{p}{p_0} = 20\lg p + 94\text{dB} \quad (2-4)$$

L_p 是声场中某点的声压级。

3. 声功率级:

单位分贝 (dB)。声功率是声源本身所具有的，声源的声功率是单位时间内声源辐射的总声能量，单位是瓦 (W)，声功率级是：

$$L_w = 10\lg \frac{W}{W_0} \quad (2-5)$$

W_0 为基准声功率，规定为 $W_0 = 10^{-12}\text{W}$ ，则基准声功率 W_0 的声功率级为： $L_w = 10\lg W/W_0 = 10\lg W_0/W_0 = 0\text{dB}$ 。基准声功率 $W_0 = 10^{-12}$ 与基准声强 $I_0 = 10^{-12}\text{W/m}^2$ 是相对应的。将 $W_0 = 10^{-12}\text{W}$ 代入 (2-5) 式则可得：

$$L_w = 10\lg \frac{W}{W_0} = 10\lg W + 120\text{dB} \quad (2-6)$$

4. 三个“级”的相互关系:

声强与声压的相互关系是 $I = p^2/\rho c$ ， ρ ——空气密度， c ——声速，由此式可导出声强级与声压级的关系是 $L_I \approx L_p$ ，即声强级与声压级基本相等，但条件是大气温度和大气压力是在标准条件下，由于温度和压力的影响只约为 $\pm 0.75\text{dB}$ ，可以忽略，所以一般称 $L_I = L_p$ 。

声功率级 L_w 与声强级 L_I 的关系是 $L_w = L_I + 10\lg S$ S 为包围声源的某一假想表面的总面积当声强是沿着 S 均匀分布而取 S 为 1m^2 时，则 $L_w = L_I$ 。

第五节 A 声 级

1. 国际上对噪声进行评价，其方法是不断改进的，它的发展历史大致有三个阶段。当前声学界广泛采用的是 A 声级 (包括等效连续 A 声级)，因为它能很好地模仿人耳的听

觉频率特性。

(1) “总声压级阶段”：在 1950 年以前为“总声压级阶段”，即用噪声频谱的总声压级作为评价噪声的指标，那个时期是防噪声研究的初始阶段。

(2) “倍频带声压级阶段”：由于用总声压级评价噪声比较笼统，不能反映噪声某些频率的影响，所以从 1950 年到 1966 年发展为“倍频带声压级阶段”，即用噪声频谱的倍频带声压级作为评价噪声指标，那个时期防噪声研究在国际上形成了高潮。

(3) “A 声级阶段”：用倍频带声压级评价噪声尽管比较符合实际情况，但比较复杂，不适合推广应用，所以从 1966 年至今又发展为“A 声级阶段”，即用噪声频谱的 A 声级作为评价指标。

当前，还有作为参考评价量的噪声评价数 NR 、隔声指数 I_a 、计权隔声量 R_w 等。

2. A 声级是考虑到人耳对不同声频率不一样敏感的特点，而模仿响度级 40 方 (Phon) 的等响曲线形成了 A 计权网络，引入 A 声级是为了使评价的声音尽力摆脱客观，接近人的听觉特性。我们从表示声音响度级的等响曲线图 2-1 可知，同一声压级值的纯音，由于频率不同，人的感受是不一样的，人耳对低频声的敏感程度比较迟钝，而对高频声，特别是 3000 ~ 4000Hz 的高频声比较敏感，也就是说，同样声压级的两个声，高频声比低频声

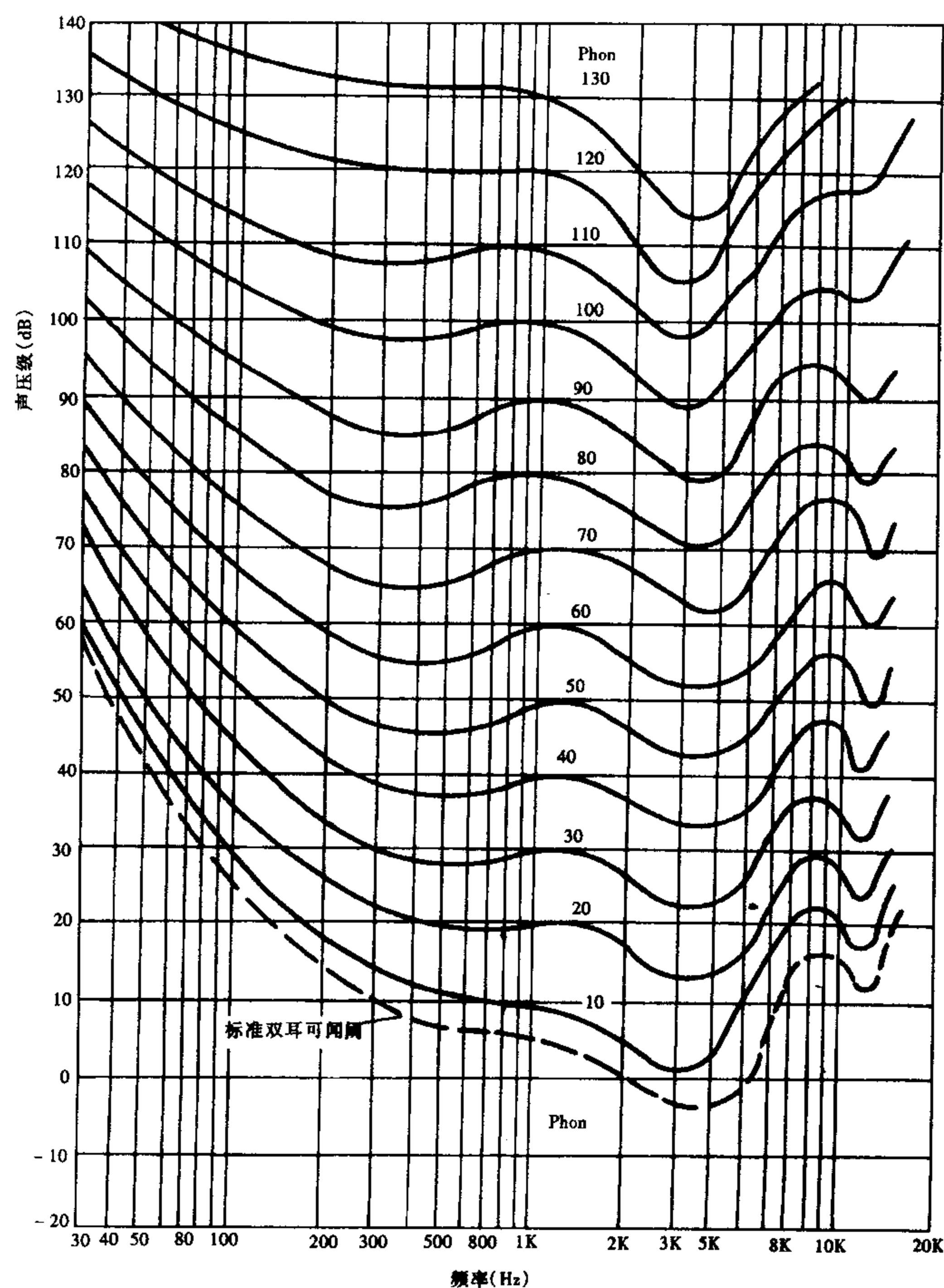


图 2-1 等响曲线图

听起来更响。例如同是 40dB 声压级的声，1000Hz 时的响度级是 40 方，而 100Hz 时就降为 25 方，主观感觉相差 15 方，这是人耳听觉特性造成的。

等响曲线提出了一个响度级的量，响度级是表示声音响度的量，是模仿声压级引入的概念，它将声压级和频率用一个单位统一起来，既考虑声音的客观物理效应，又考虑声音对人耳听觉的主观生理效应，是人们对声进行主观评价的基本量之一，响度级的单位是方 (phon)，它是以 1000Hz 纯音为基准声音，以其他频率的纯音和 1000Hz 的纯音相比较，调整前者的声压级，直到听者判断两个纯音一样响，则称该纯音的响度级方值在数值上等于那个等响的 1000Hz 纯音的声压级 dB 数。

3. 国际上通用的等响曲线，为国际标准化组织 ISO/R226—1961 采用的等响曲线，是由鲁宾逊和达逊提出的，曲线均为测试所得。A 声级是人耳对 40 方纯音的响应，与 40 方等响曲线倒立后的形状相接近，它使接收通过的低频段即 $f = 500\text{Hz}$ 以下的声音有较大的衰减。

设置计权网络的原意是对低于 55dB 的声音用 A 声级计量，对于 55 ~ 85dB 的声音用 B 声级计量，B 网络是模拟人耳对 70 方纯音的响应，对于高于 85dB 的声音用 C 声级计量，C 网络是模拟人耳对 100 方纯音的响应，其等级线近乎平直。可以看出，A 声级对低频而且是在 55dB 以下声压级的声，人耳听觉对其衰减得大，但对于 55dB 以上的声衰减并没有那么大，所以从理论上讲，A 声级尽管考虑了人耳的听觉特性，但只是对 55dB 以下声压级才比较适用。然而近年来的研究发现，不管多大声级的声音，由 A 声级测得的结果，都与人耳对声音的响度感觉相近，因此，当前人们就把 A 声级作为评价噪声的主要指标。

4. A 声级与声压级的级值都是声音量级的大小，但是物理概念不同。A 声级是经过 A 计权网络计权，反映了人的“主观”听觉的量级，称为声级，量级单位写法为 dB (A)。声压级是“客观”的物理量级，就称为声压级，量级单位写法为 dB。

5. 声级的叠加和 A 声级的 A 计权值：

(1) 声级的叠加：若声场中有两个或两个以上的声源，则声级的叠加不能简单地认为是各声级的算术和，这是因为用分贝表示的声级并不是一个线性标度，而是一个对数标度，所以声级的叠加可按下式：(设 $L_{p1} > L_{p2}$)

$$L_p = L_{p1} + A$$

与两个声源的差值 $L_{p1} - L_{p2}$ (dB) 相对应的附加 A 值见表 2-1、图 2-2，设声场中某点 B 同时收到三个单独的声级分别是 60dB、56.2dB、55dB，可按表 2-2 所示的次序按从小到大顺序依次叠加，最后求出的总叠加声级为 62.4dB。当得知某声源倍频带声压级后也可以计算出总声压级，例如已知某声源倍频带声压级为表 2-3 所示，运用图 2-3 可以计算出总声压级为 85.3dB。

相应于 $L_{p1} - L_{p2}$ 的 A 值

表 2-1

$L_{p1} - L_{p2}$ (dB)	A (dB)	$L_{p1} - L_{p2}$ (dB)	A (dB)	$L_{p1} - L_{p2}$ (dB)	A (dB)
0	3	6	1.0	12	0.3
1	2.5	7	0.8	13	0.2
2	2.1	8	0.6	14	0.2
3	1.8	9	0.5	15	0.1
4	1.5	10	0.4	16	0.1
5	1.2	11	0.3	> 16	0

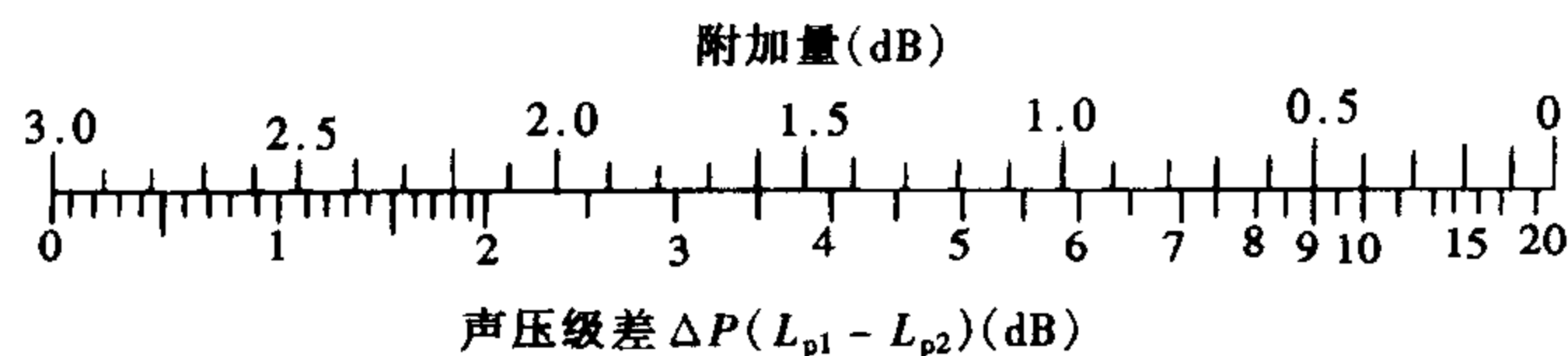


图 2-2 声压级叠加对线图

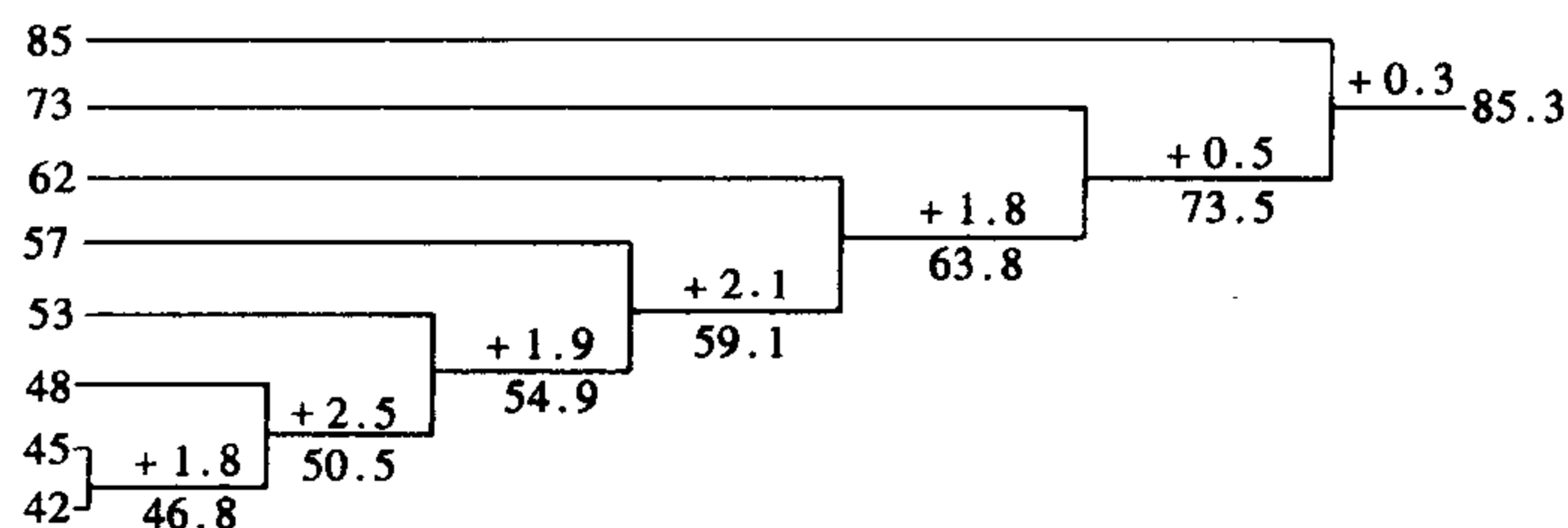


图 2-3 从倍频带声压级计算总声压级计算步骤

声级叠加顺序

表 2-2

L_{p1}	L_{p2}	L_{p3}	$L_{p2} - L_{p3}$	A_1	$L_p (2+3)$	$L_{p1} - L_p (2+3)$	A_2	L_{pT}
60	56.2	55	$56.2 - 55 = 1.2$	2.5	$56.2 + 2.5 = 58.7$	$60 - 58.7 = 1.3$	2.4	$60 + 2.4 = 62.4$

频谱相应的倍频带级

表 2-3

倍频带中心频率 (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
倍频带级 (dB)	73	85	62	57	53	48	45	42

(2) A 声级的 A 计权值:

任何一个宽带声音, 其 1/1 或 1/3 倍频带声压级谱, 都可以通过 A 计权转换为 A 声级, 但窄带噪声或只有可辨纯音的噪声, 一般不用 A 声级。由于不同频谱的声音可以具有相同的 A 声级, 所以 A 声级不可能返回求出确定的频带声压级谱。A 声级对正常人耳的听觉反映很好, 即 A 声级越高, 听起来越响, 对人耳的损伤越重。A 计权网络的 A 计权值如下:

频谱 (Hz): 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000

A 计权 (dB): -26.2 -16.1 -8.6 -3.2 0.0 1.2 1.0 -1.1

例如已知某声源倍频带声压级为表 2-3 所示, 运用表 2-4 及上述计算总声压级的逐次叠加方法, 可将表 2-4 中第四行叠加计算出 A 声级为 69.3dB。

频谱相应的倍频带级和 A 计权倍频带级

表 2-4

倍频带中心频率 (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
倍频带级 (dB)	73	85	62	57	53	48	45	42
A 计权 (dB)	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0.0	+1.2	+1.0	-1.1
A 计权倍频带级 (dBA)	46.8	68.9	53.4	53.8	53.0	49.2	46.0	40.9

6. 对任何一个声源，当已知其声压级频谱后便可根据以上所述，计算出总声压级、平均声压级以及 A 声级。但 A 声级与总声压级、平均声压级、声强级、声功率级之间没有量值上的规律性的互相换算关系。举例说明：

例 1 某声源：(低频为主要成分)

频谱 (Hz):	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
倍频带级 (dB):	73	85	62	57	53	48	45	42

经计算：平均声压级为 58dB A 声级为 69dB 总声压级为 85dB

例 2 某声源：(高频为主要成分)

频谱 (Hz):	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
倍频带级 (dB):	56	56.5	66	70	70	81	78	72

经计算：平均声压级为 69dB A 声级为 85dB 总声压级为 83.5dB

例 3 某声源：(频谱基本平直)

频谱 (Hz):	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
倍频带级 (dB):	90	90	90.5	92	90.5	89	88	72

经计算：平均声压级为 88dB, A 声级为 96dB, 总声压级为 98.5dB。

以上三例表明：当声源声压级频谱低频占主要成分时，平均声压级低于 A 声级，A 声级低于总声压级。当声源声压级频谱高频、特别是 2000Hz、4000Hz 占主要成分时，由于 A 计权值为正值 1.2、1.0，所以，A 声级往往大于总声压级，平均声压级低于 A 声级。当声源声压级频谱基本平直时，平均声压级低于 A 声级，A 声级低于总声压级。总而言之，平均声压级、A 声级、总声压级三者之间无确定规律性的数量之间的关系。

第六节 噪声评价量

评价噪声对人的危害以及对噪声的防治，都必须有评价标准，对此常用统计的方法。目前世界上有上百种噪声评价量，这包括例如 L_A 、 L_B 、 L_C 、 L_D 、 L_E 声级，等效连续 A 声级 L_{eq} ，统计声级 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} ，噪声污染级 L_{NP} ，交通噪声指数 T_{NI} ，昼夜等效声级 L_{dn} ，语言干扰级 SIL ，社会等效噪声级 $CNEL$ ，噪声次数指数 NNI ，复合噪声评价数 CNR ，噪声暴露预报 NEF ，感觉噪声级 L_{Pn} 、噪声冲击，噪声评价曲线 NC 、 PNC 、 NR (或称 N) 等等，我们这里仅简单地介绍 NR 噪声评价曲线。

国际标准化组织 ISO TC43 于 1961 年提出的噪声评价曲线，亦称噪声评价数或 NR 曲线，见图 2-4，它主要用于评价噪声对听觉损伤、语言干扰和周围环境的影响。噪声评价数是中心频率等于 1000Hz 时，倍频程声压级的分贝数，曲线考虑了高频噪声比低频噪声对人的影响更为严重，所以图中分贝数越高，曲线越平缓。曲线还表明，同一条 NR 曲线上各倍频程的噪声级对人的影响是相同的。

如果我们知道了某声音的 8 个倍频带中心频率的声压级值，我们便可以将测量的这个图，等比例地标注在画有 NR 曲线的坐标图上，这时测量得到的频谱折线图，接触到的最

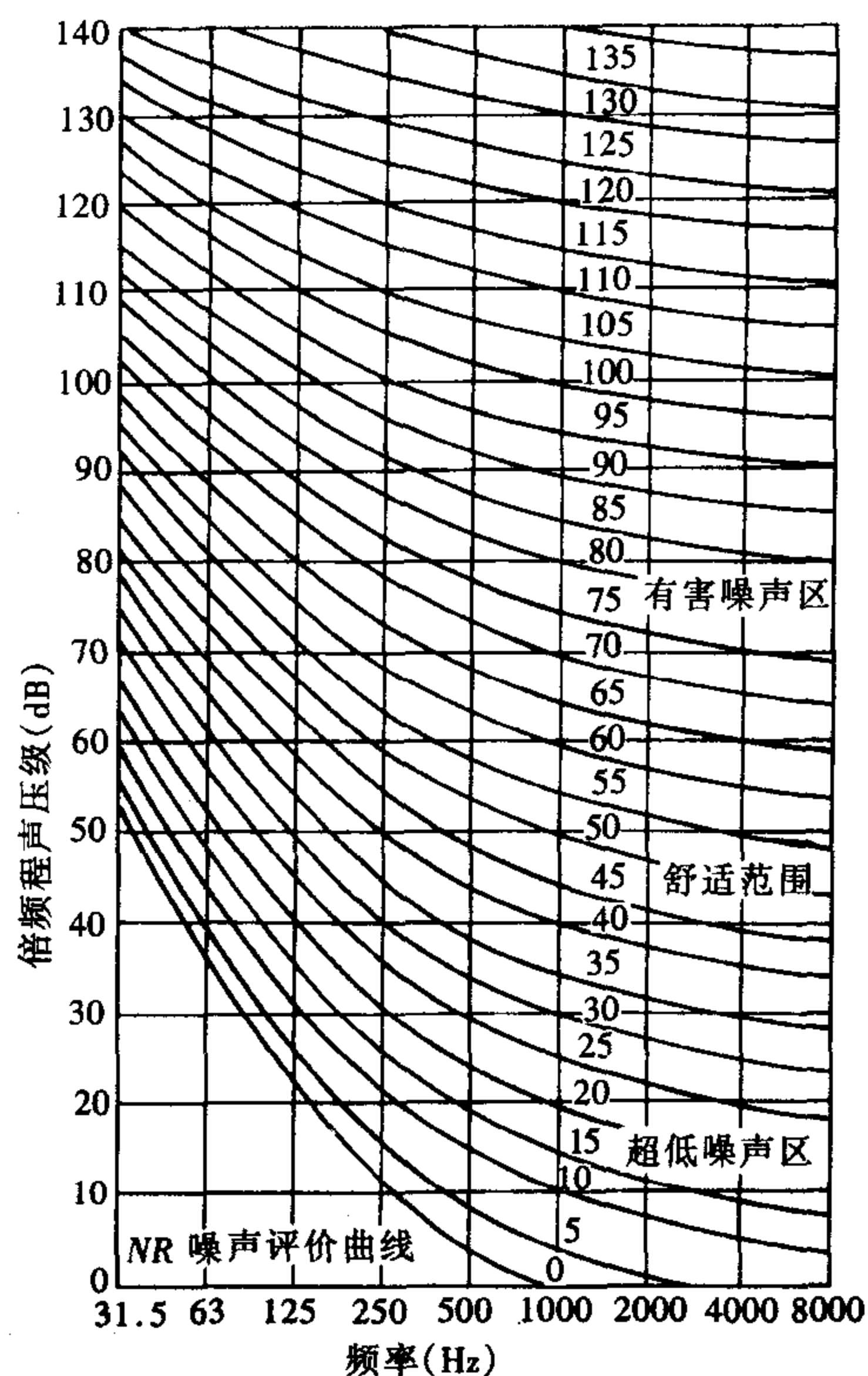


图 2-4 NR (或称 N) 噪声评价曲线

高一条 NR 曲线的 NR 数, 就是被测噪声的评价数。 NR 曲线的每一条曲线代表一组噪声评价标准, 比如说某消声室的本底噪声要求不大于 $NR15$, 即表示该消声室本底噪声的每一个频段中心频率的声压级值都不能高于 $NR15$ 所显示的值。研究发现, NR 数与 A 声级 L_A 有如下的关系: $NR = L_A - 5$, 如 A 声级为 $80\text{dB}(A)$, 这个噪声可用 $NR75$ 来评价; 反之, 某噪声 NR 数为 85 , 它的 A 声级就是 $90\text{dB}(A)$ 。尽管规范中没有规定用噪声评价数 NR 作为噪声限制指标, 但设计中却常用噪声评价数 NR 作为噪声限制指标。在进行建筑围护结构构件的隔声量计算时, 建筑师还会发现声学书籍、声学规范中, 对构件的隔声量, 受声室内的允许噪声, 所采用的“级”是不一致的, 对此本书将在第十章中加以论述。

第七节 隔 声 量

假设隔声构件为密实、均质、各向同性, 且无限大, 则入射的平面声波, 由构件的一侧空间向另一侧空间传播时, 传播的声波方向垂直于构件板, 则声波传过构件板时必须通过两个界面, 一个是从空气到固体的界面, 一个是从固体到空气的界面。由于声波在同一种媒质中传播不会有反射, 只有遇到不同媒质时才会有反射, 所以声波在传过固体媒质时, 上述两个界面上的特性阻抗 ρc 骤然变化 (ρ 为媒质密度, c 为声波在媒质中的传播速度), 声波将产生两次反射, 所以透射过媒质的声能量就变得微弱, 只是入射声能的很

小部分，然而，声级的降低却不是相同比例的。例如，一片构件，若其只能透射过入射声能的百分之一时，构件的隔声量并不是入射声级的 99%，而是 20dB，即入射声级是 50 dB 时，隔掉的是 20 dB，入射声级是 80 dB 时隔掉的也是 20 dB。构件隔声量的大小取决于构件的透射系数，上述的百分之一，即 0.01 为透射系数，用 τ 表示，它是入射声能 E_i 与透射声能 E_t 的比值：

$$\tau = \frac{E_t}{E_i} \quad (2-7)$$

隔声量定义为：

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} \quad (2-8)$$

当 $\tau = 0.01$ 时：

$$R = 10 \lg \frac{1}{0.01} = 20 \text{dB}$$

现有声学书籍、资料等对隔声量定义是从不同角度提出的，除上述定义之外，还有用声强 I 来定义的： $R = 10 \lg (I_i/I_t)$ ；用声压 P 来定义的： $R = 10 \lg (P_i/P_t)$ ；用声功率 W 来定义的： $R = 10 \lg (W_i/W_t)$ 。国标《声学的量和单位》(GB—3102.7—93) 定义隔声量为： $R = 0.5 \lg 1/\tau$ 是不确切的。

构件隔声量的表示有多种方式，如有的取各频程中心频率的分频隔声量表示构件隔声量；有的取单值隔声量表示，如取 125 ~ 4000Hz 各频程中心频率隔声量的算术平均值；有的以 100 ~ 3200Hz 的中点 500Hz (接近平均值) 或 550Hz 隔声量表示构件隔声量，有的以计权隔声量 R_w 或隔声指数 I_a 表示构件隔声量。

第三章 质量定律

第一节 质量定律的假定条件

以质量定律为基础的空气声隔声理论及隔声量计算公式，是构件的面密度加倍或入射声频加倍，隔声量增加 6dB，但这个规律是在对围护结构构件本身及环境作出“假设”、“限定”的理论前提条件下，运用声传播中的波动理论的物理概念而推导出的，这些限定条件可归纳为以下几点：

1. 围护结构构件是无限大的，这样就可以忽略构件的边界条件对隔声的影响，忽略侧向透射。
2. 构件是均质的、密实的，即没有透声孔隙，没有空鼓，构件的各部分密度都是相同的。
3. 声波垂直入射于构件（也可以推出无规入射条件下的公式）即入射角 $\theta = 0^\circ$ 。
4. 构件把空间分成两个半无限大的空间，而且构件的两侧均为通常状态下的空气。
5. 把构件看作一个质量体系、柔顺的板，不考虑构件本身的刚度，从而忽略构件内应力与弹性。
6. 构件被声波激发后，振动的大小只与构件的惯性即质量有关，构件本身的波动可不予考虑。
7. 构件上的各点均以相同的速度振动。
8. 质量定律仅适用于可听声频中由质量控制的声频区，不适用于构件的固有频率及吻合效应区。

第二节 质量定律

建筑围护结构构件对空气声的隔绝理论，长期以来一直遵循“质量定律”，尽管多年来某些声学家也做过试图超越质量定律，想从理论上开辟新的蹊径的尝试，但至今仍无很大的实用价值，所以凡涉及到围护结构隔绝空气声，还是以质量定律作为基本理论。

什么是空气声隔绝中的质量定律？生活的常识以及声学理论都证实，围护结构构件的面密度越大，声频越高，构件的隔声量就越大。理论证实构件面密度增加一倍，或噪声频率增加一倍，即提高一个倍频程，隔声量都会相应增加 6dB，这就是质量定律。美国著名声学家哈里斯（M·A·Hariss）在他所著的《噪声控制手册》（Hand Book of Noise Control）一书中，也将质量定律作了解释，全文直译为：“质量定律：依据质量定律，单一材料隔墙的传声损失，仅依赖于隔墙的单位面积质量。此定律通常仅适用于低频区，在这个低频区，声音频率或构件的单位面积质量增加一倍，该构件的隔声量增加 5 ~ 6dB。例如，假定墙的每平方米质量由 10kg/m^2 增加为 20kg/m^2 ，则隔声量增加约 6dB”。这就是哈里斯先

生对质量定律的解释。可以看出，这里哈里斯对质量定律的解释已不完全是纯理论的，而是包含了哈里斯的“经验”了。因为理论和理论公式证实，质量 m 或声频 f 加倍，隔声量值的相应增加应是 6dB，哈里斯在这里既举例说明了质量加倍隔声量增加 6dB 的例子，但同时他又说了质量加倍或声频加倍，构件隔声量的增加是 5 ~ 6dB。之所以产生这个矛盾，是因为哈里斯已经知道现场隔声的实际情况与理论的不一致了，所以他在给质量定律的解释中，隐隐约约地加进了“经验”的内涵，这说明哈里斯是一位十分重视实践、重视实验的声学家。

入射于构件的声频是客观的，是欲被隔绝的噪声，其频率的组成、各声频的声压级的大小，建筑师无法变更，所以在给定的噪声频谱及声级下，建筑师进行隔声设计，主要是对构件的面密度 m 进行设计，因为质量是决定构件隔声量的主要因素。理论和实测都表明：不同的构件，不管是由什么材料组成，不管如何构造，其隔声的频率特性是相同的，即都是隔低频差隔高频好。隔低频差隔高频好也就验证了构件在面密度 m 相同的条件下，声频 f 越高越易被隔绝的质量定律理论。

第四章 单层构件的隔声频率特性

第一节 构件隔声的三个频率控制区

单层匀质构件的隔声与频率有关，按照质量定律，一定面密度 m 的构件，其隔声量是随频率的提高而提高，但这仅仅是概括的表示，因为构件的隔声不是在全部声频范围内都按质量定律控制，而是还受共振和吻合效应的影响，从而分成三个频率控制区，如图 4-1 所示。

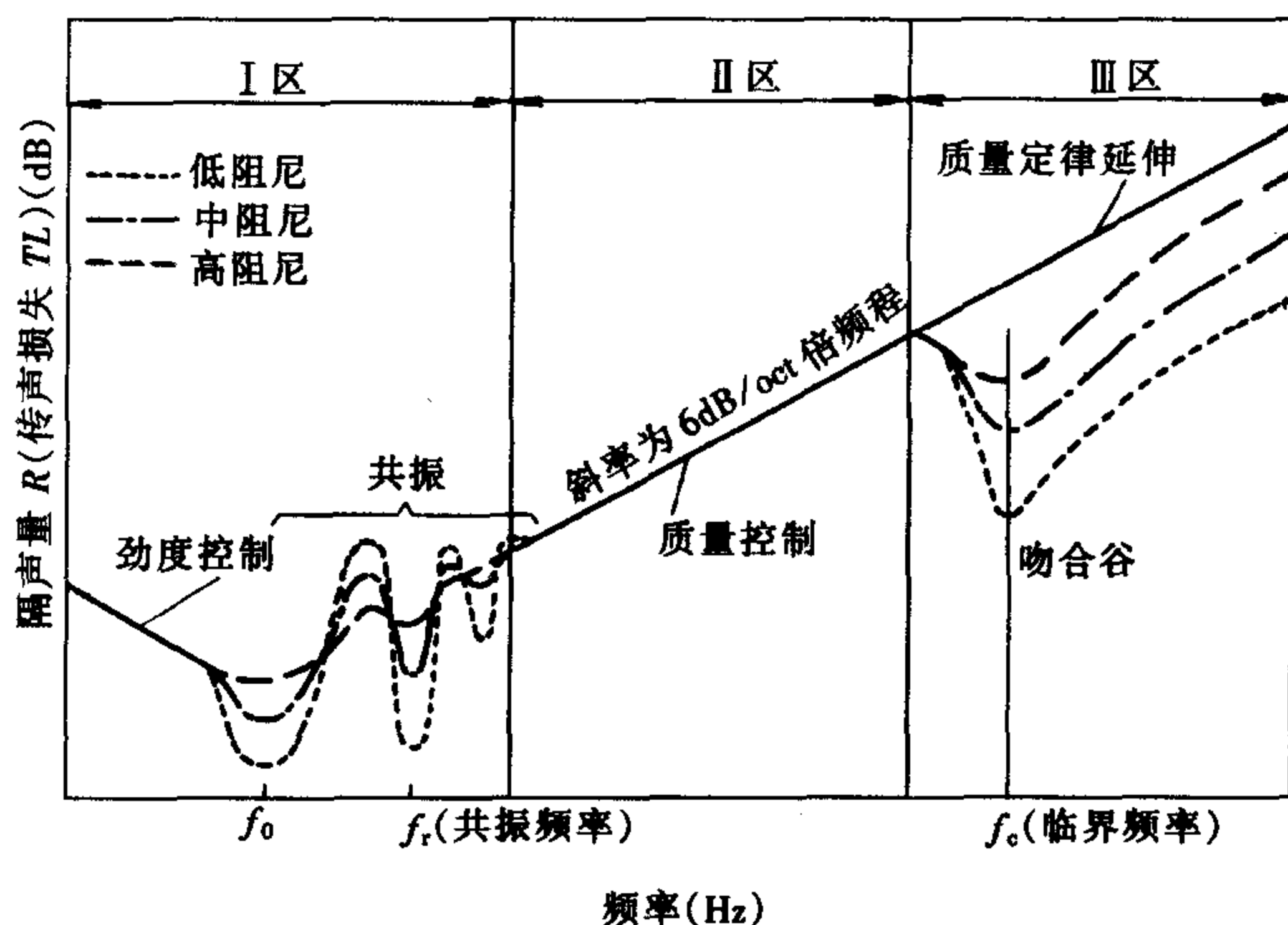


图 4-1 单层匀质墙典型隔声频率特性曲线

这个图在许多声学书籍、专著、课本、手册、资料集中都有，但图的冠名却不一样，如“单层均质墙典型隔声频率特性曲线”、“单层均匀介质隔声特性曲线”、“典型薄板的隔声频率特性曲线”等。本书认为，冠名“典型薄板的隔声频率特性曲线”更为确切，尽管有关文献对薄板这一概念的定量含义是什么，未加解释，但在本章的下述中，建筑师们将会看到，这个特性曲线尽管对厚重的构件也有一定的适用性，但更适用于薄板。

第二节 劲度控制区 (I 区)

任何建筑围护构件都有固有的自振频率，当外界干扰频率与构件的固有自振频率相同时，构件便发生共振。图 4-1 I 区，显示了构件在隔绝很低频率即比共振频率低的噪声时，构件对声波的作用就像一个弹簧，其振动速度反比于 B/f ，(B 为构件的劲度， f 是声频)，构件的隔声量大小与构件本身的劲度成正比，在这一劲度控制区内，构件的隔声量是随频率的增加而以每倍频程 6dB 的速率下降 (见图)。当声频频率增高，隔声便进入共

振区，即构件的固有振动频率和入射声频相同而发生共振，在共振区内，隔声量下降到最小。共振区有一系列的共振频率，其中影响最大的是第一共振频率（用 f_0 表示），设计应使共振频率区的范围尽量地窄，并使第一共振频率低于敏感的，即常用的声频范围。共振频率用 f_r 表示，它与构件的劲度 B 、面密度 m 、构件的尺寸 a 、 b 有关。周边固定的矩型板，其共振频率 f_r 可用下式表述：

$$f_r = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B}{m} \left(\frac{p^2}{a^2} + \frac{q^2}{b^2} \right)} \tag{4-1}$$

式中 a 、 b ——构件的两个边长， p 、 q ——任意正整数（如 1、2、3…）， m ——构件面密度；劲度 $B = \text{弹性模量 } E \times \text{惯性矩 } I$ ， $I = t^3/12$ ， t 为构件厚度（m），常用构件的弹性模量 E 见表 4-1。

常用建筑材料的表观密度和弹性模量 E 表 4-1

材料名称	表观密度 (kg/m³)	弹性模量 (N/m²)	材料名称	表观密度 (kg/m³)	弹性模量 (N/m²)
钢铁软钢	7900	2.1×10^{11}	颗粒板	1000	3.0×10^9
铸铁	7900	1.5×10^{11}	软质纤维板 A	400	1.2×10^9
钢	7900	2.1×10^{11}	软质纤维板 B	500	7.0×10^9
铜	9000	1.3×10^{11}	石膏板	800	1.9×10^9
铝	2700	7.0×10^{10}	石棉板	1900	2.4×10^{10}
铅	11200	1.6×10^{10}	石棉水泥平板	1800	1.8×10^{10}
玻璃	2500	7.1×10^{10}	柔质板	1900	1.5×10^{10}
普通钢筋混凝土	2300	2.4×10^{10}	石棉珍珠岩板	1500	4.0×10^9
轻质混凝土	1300	4.5×10^9	水泥木丝板	600	2.0×10^8
泡沫混凝土	600	1.5×10^9	玻璃纤维增强塑料板	1500	1.0×10^{10}
砖	1900	1.6×10^{10}	氯化乙烯板	1400	3.0×10^9
砂岩	2300	1.7×10^{10}	弹性橡胶	950	$(1.5 \sim 5.0) \times 10^6$
花岗石	2700	5.2×10^{10}	乙烯基纤维	43	1.7×10^7
大理石	2600	7.7×10^{10}	氯乙烯泡沫	77	1.7×10^7
橡木	850	1.3×10^{10}	氨基甲酸乙酯泡沫	45	4.0×10^6
杉木	400	5×10^9	苯乙烯泡沫	15	2.5×10^6
胶合板	600	$(4.3 \sim 6.3) \times 10^9$	尿素泡沫	15	7.0×10^5
硬质板	800	2.1×10^9			

注：弹性模量的换算单位：
 $\text{kg/cm}^2 \approx 10^{-5} \times (\text{上表数值})$ ；
 $\text{dyn/cm}^2 \approx 10 \times (\text{上表数值})$ ；
 $\text{lb/in}^2 \approx 1.5 \times 10^{-4} \times (\text{上表数值})$ 。

第一共振频率 f_0 的计算式：

$$f_0 = 600 \sqrt{\frac{S}{\rho S V}} = 600 \sqrt{\frac{S}{m V}} \tag{4-2}$$

其中 S 、 m 、 V 分别为构件的面积、面密度和体积。

现以一片 24cm 厚双面抹灰砖墙为例单面抹灰厚 2cm，计算其共振频率 f_r 及第一共振频率 f_0 。设砖墙 $m = 530\text{kg/m}^2$ ， $S = 3 \times 6 = 18\text{m}^2$ ， $V = 18 \times 0.28 = 5.04\text{m}^3$ ， $p = 1$ 、 $q = 1$ ，用上述式 (4-1)、式 (4-2) 计算分别得 $f_r = 43\text{Hz}$ 和 $f_0 = 49\text{Hz}$ 。

第一共振频率 f_0 对隔声影响最大，所以在隔声设计中，我们总是希望共振频率越低

越好，低于对人敏感的声频范围的低限（约 100Hz），这就取决于构件的材质、形状、支撑方式和构件的自身阻尼的大小。机械阻尼越大，对共振振幅的抑制作用越强。重且厚的砖墙、混凝土板等构件的共振频率常低于常用的声频低限 100Hz，甚至为 $f_r = 15 \sim 20\text{Hz}$ 或更低，只接近于人耳的听阈。所以对厚重构件而言，一般不会出现由共振引起的常用声频范围内的隔声量的下降。但是，一般的薄板其共振频率常大于常用的声频范围的低限 100Hz，其共振频率 f_r 比厚重的墙等构件要高得多，一般在 $f_r = 100 \sim 300\text{Hz}$ ，在入射声频与薄板的固有振动频率相同时，便会发生共振，从而大大降低薄板的低频隔声量。这就是说，薄板的隔声，在低频区由于共振的影响一般都很差；而厚重构件的隔声，由于在低频区一般不会出现共振，因而不存在共振的影响。这是薄板与厚重的墙在低频区隔声的重大差别。

为了改善薄板的隔声性能，抑制薄板的共振振幅，在板面涂抹阻尼层，使板的阻尼增大，板的隔声就越接近质量定律，隔声效果越好。例如在有高噪声的车间中设控制室时，常用涂抹阻尼层的薄钢板作围护墙，这类墙的隔声性能仍可按质量定律确定。阻尼材料的制备主要由以沥青、橡胶、树脂、水溶物为基底的胶粘剂、填料及少量的辅助剂组成，常用的填料有石棉绒、石棉粉、蛭石粉、石墨、云母粉、碳酸钙、砂子等，辅助剂有氧化锑、硬脂酸铅等。阻尼材料厚度一般要超过钢板厚的三倍，1mm 厚的板要有 3mm 厚的阻尼层，如 3mm 厚石棉漆，4mm 厚蛭石阻尼浆，2.5mm 厚石棉沥青膏，3mm 厚聚氯乙烯胶泥，1.5mm 厚软木纸等等。厚板涂阻尼层不太经济，也不太现实。

阻尼层覆面可以减弱板的共振，提高薄板接近共振频率范围内的隔声量。阻尼层可以涂在板的一面，这种作法叫作自由阻尼涂层，另一种作法是在两板之间粘结阻尼层，这种作法叫作有约束的阻尼涂层，后者的隔声性能好，但造价高。

第三节 质量控制区（Ⅱ区）

当入射声频提高，越过劲度控制区，共振影响便逐渐消失，构件振动速度开始受惯性质量（面密度）的影响，隔声进入图 4-1 中的Ⅱ区，即质量控制区。这时构件的面密度越大，受相同频率入射声波激发引起的振动速度越小，隔声量越大。对相同面密度的构件，入射声频越高，隔声量越大，上升的速率就是理论上的 6dB/oct，即频率每增加一个倍频程，隔声量增加 6dB。通常运用围护构件降低噪声的透射，就是利用构件的这种质量控制的特性。在质量控制区内，构件的隔声量取决于质量定律，质量定律下的隔声计算公式能反映质量控制区这一频段的隔声量，无论是薄的墙、板，还是厚重的墙、板都是一致的。

第四节 临界频率控制区（Ⅲ区）

当入射声频从质量控制区提高到其上限后，质量效应与板的弯曲劲度效应相抵消，这时阻抗极小，隔声又出现了低谷，隔声量下降，即出现了吻合效应。这时构件的隔声进入了吻合效应和质量控制延伸区，或称临界频率控制区（Ⅲ区）。

在隔声理论中，构件运动主要表现为整体运动和弯曲运动。使构件作整体运动的是正入射于构件的胀缩波，波的传播方向与构件的质点振动方向一致，故是纵波。使构件作弯

曲运动的是无规入射的切变波，即弯曲波，其传播方向与质点的振动方向互相垂直，故是横波。

当入射声波以入射角 θ 入射于构件时（见图 4-2a、4-2b、4-2c），构件内除产生整体运动的胀缩波外，同时也将激发板产生弯曲运动的弯曲波。根据惠更斯原理（图 4-2a），当入射声波以入射角 θ 向板的右上方传播时，其波前形成的波阵面 AC ，使在构件上先接受声波的 A 点开始振动，并相应产生向上运动的弯曲波，经过一定时间后，弯曲波传播至板 B 处，如果这时入射声波的波前也刚好到达 B 处，当入射声波和弯曲波在 B 处的相位完全一致时，互相叠加， B 处的振动将得到加强，依此，随着弯曲波向上的传播，构件的振动将随距离越来越强烈，这种现象叫做吻合效应。它是两种类型的波在空间叠加时，相位上相互吻合的结果。

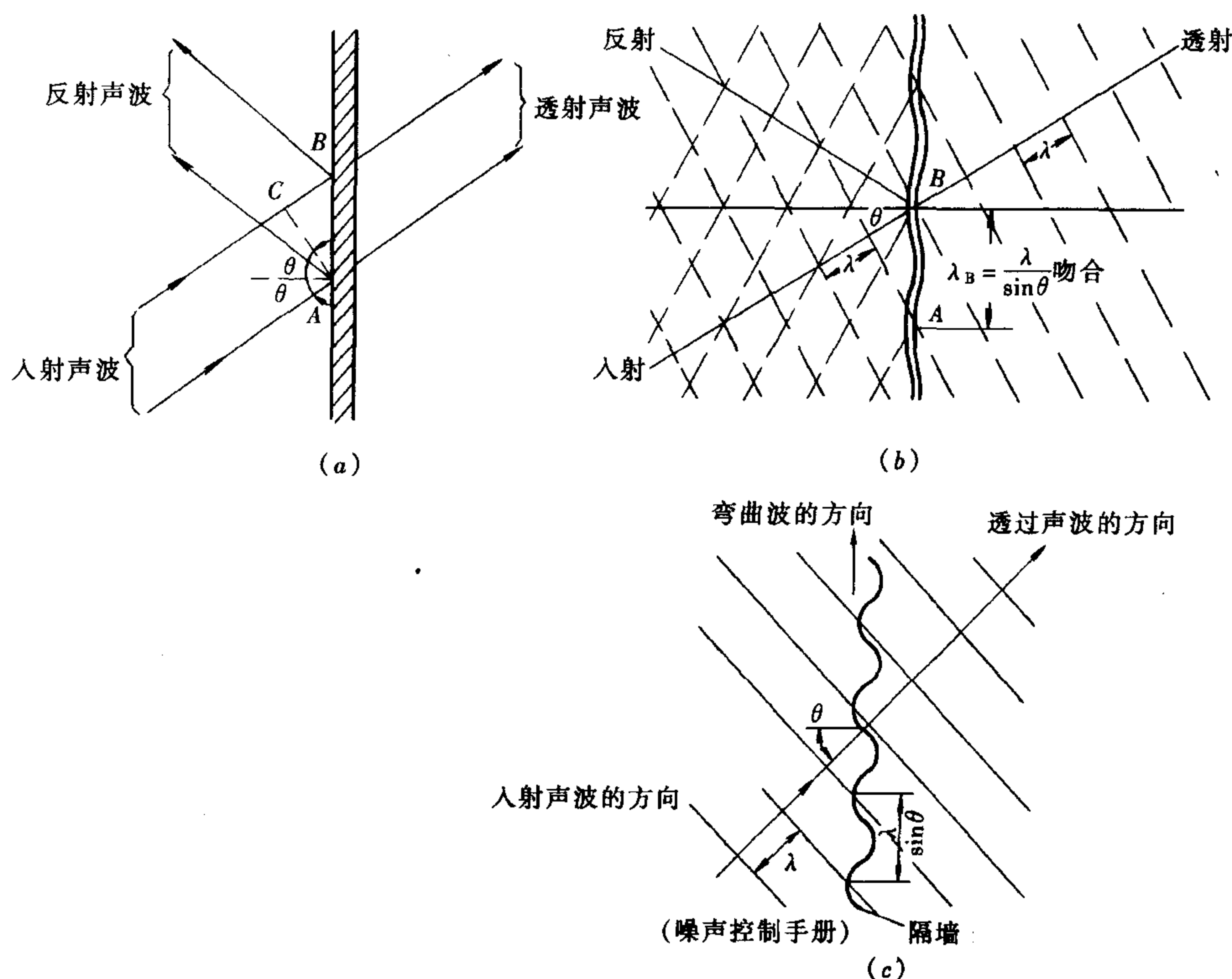


图 4-2

(a) 斜入射时的弯曲波；(b) 吻合效应原理图；(c) 吻合效应原理图

理论分析产生吻合效应的条件是声波入射角的 $\sin\theta = \frac{c}{c_b} = \frac{\lambda}{\lambda_b}$ ，式中 c 、 λ 、 c_b 、 λ_b 分别是声波在空气和构件中传播的速度和波长， θ 为入射角，即声波与构件法向的夹角。由上式可知：如果构件中弯曲波波速 c_b 小于空气中的波速 c ，此时即 $\sin\theta = c/c_b > 1$ ，但是正弦函数 $\sin\theta$ 最大值为 1，而不可能大于 1，所以当 $c > c_b$ 时，入射角相应为虚线，这表明，这时实际上不存在沿一定方向传播的平面声波，也就是说当 $\lambda > \lambda_b$ 时，便不会产生吻合效应。所以只有当 $\lambda < \lambda_b$ 即 $c < c_b$ ($\lambda = c/f$) 时才有可能出现吻合效应。

声在媒质中的传播速度，与媒质的密度有关，密度越大声速越快。声在固体中的传播可以是纵波也可以是横波，其速度都在每秒几千米以上，但在固体中的横波速度一般为纵波的 50% ~ 60%，这是因为： $c_{纵} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ $c_{横} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ 式中： ρ 为（固体）构件的密度， E 、 G 分别为构件的弹性模量（体变模量）和切变模量，因为相同构件的 $E > G$ ，所以 $c_{纵} > c_{横}$ ，即纵波波速大于弯曲波横波波速。如声在钢铁中传播的纵波速度约为 5850m/s，则钢铁中的横波弯曲波速度约为 3200m/s，都远大于空气中的声速。 $c_b > c$ 是产生吻合效应的条件，所以所有的围护结构构件都有可能产生吻合效应。在隔声设计中，常把实际声场看成近似的扩散场，声波入射于构件时，包含很多 $\theta > 70^\circ$ 角，因此，只要声场中入射于构件的声波不是垂直入射的平面波，则都有可能产生吻合效应。产生吻合效应，就意味着存在一个频率，这个确定的频率叫构件的临界频率 f_c ，也就是出现吻合效应的最低频率。当入射声频 $f < f_c$ 时，不会产生吻合效应，弯曲波影响不很显著；当 $f \geq f_c$ 时，会产生吻合效应，同时也意味着存在相应的入射角 θ 使满足产生吻合的条件 $\sin\theta = c/c_b$ ，这个与频率 f_c 相应的入射角 θ 叫临界角。产生吻合效应时，构件特别是薄板，将产生强烈的振动，隔声量将显著下降，比质量定律低十多分贝，从而呈现出隔声中的低谷，而且有一定的频带宽度，此时构件隔声不再遵守质量定律。

从理论上说，构件在产生吻合效应时，振动起来会越来越强烈，甚至使振速和振幅达到无限大，但实际上因受构件内部存在的摩擦阻尼，以及构件板振动辐射声波时，产生的辐射阻尼的抑制，构件的振动是不会无限制地增大的，这和振动系统受迫共振时，由于构件本身存在的阻尼等，使振动速度和振幅不会无限增大一样。

声波传播于围护结构构件，都会产生两种对隔声不利的共振现象，即强迫共振与吻合效应，但是概念不同。强迫共振除有第一共振频率外，还有很多共振频率，但吻合效应没有单独的吻合频率，只有临界频率；强迫共振与边界条件有关，而吻合与边界条件无关；强迫共振频率随构件厚度的加大而加大，吻合效应的临界频率随构件厚度的加大而减小；强迫共振中的振动随时间不断加强，吻合效应中的振动随空间不断加强。

同时还要说明的是：板的弯曲波理论，只是一种近似的理论，它是假定板的被考虑段承受纯弯曲，而沿厚度方向的法线应力可以忽略不计。这种理论只有当构件以板的形态出现，且板的厚度较小，即薄板时，并且是入射声频频率较低时，才近似适用，对厚而重的构件如砖墙、钢筋混凝土墙是不太适用的。板的弯曲波速度 c_b ，实际上也不会随频率增高而无限地增大，理论和实践都证明，板的弯曲波速度 c_b 随频率增大时，只是接近一个极限值。理论研究得知，临界频率的计算公式为：

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} \text{ 由于 } B \text{ (劲度)} = \frac{Et^3}{12}$$

$$\text{所以} \quad f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{12m}{Et^3}} = \frac{c^2}{2\pi t} \sqrt{\frac{12\rho}{E}} = \frac{65240}{t} \sqrt{\frac{\rho}{E}} \quad (4-3)$$

$$\text{此式经简化，可得} \quad f_c = K/t \quad (4-4)$$

$$\text{式中} \quad K = 65240 \sqrt{\frac{\rho}{E}};$$

K 为各种构件的常数, 常用材料临界频率见表 4-2, 其中分子为 K 值, t 为构件厚度 (cm)。

各种构件临界频率计算式

表 4-2

构件名称	简化计算式	举 例 一		举 例 二		举 例 三	
钢筋混凝土	$f_c = \frac{2060}{t}$	$t = 20$	$f_c = 103$	$t = 30$	$f_c = 68$	$t = 50$	$f_c = 41$
砖砌体	$f_c = \frac{2250}{t}$	$t = 28$	$f_c = 80$	$t = 41$	$f_c = 55$	$t = 54$	$f_c = 42$
泡沫混凝土	$f_c = \frac{4125}{t}$	$t = 15$	$f_c = 275$	$t = 20$	$f_c = 206$	$t = 25$	$f_c = 165$
玻璃	$f_c = \frac{1220}{t}$	$t = 0.3$	$f_c = 4066$	$t = 0.5$	$f_c = 2440$	$t = 1.0$	$f_c = 1220$
胶合板	$f_c = \frac{2200}{t}$	$t = 0.3$	$f_c = 7333$	$t = 0.5$	$f_c = 4400$	$t = 0.7$	$f_c = 3142$
石膏板	$f_c = \frac{4230}{t}$	$t = 0.9$	$f_c = 4700$	$t = 1.2$	$f_c = 3525$	$t = 1.5$	$f_c = 2823$
石棉水泥板	$f_c = \frac{2060}{t}$	$t = 0.5$	$f_c = 4120$	$t = 0.6$	$f_c = 3433$	$t = 0.8$	$f_c = 2575$
钢板	$f_c = \frac{1265}{t}$	$t = 0.06$	$f_c = 21083$	$t = 0.08$	$f_c = 15812$	$t = 0.2$	$f_c = 6325$
铝板	$f_c = \frac{1280}{t}$	$t = 0.06$	$f_c = 21333$	$t = 0.08$	$f_c = 16000$	$t = 0.1$	$f_c = 12800$

由公式及表可知, 同种材料临界频率 f_c 值与其厚度成反比。玻璃是很不好的隔声材料, 这除了其常用厚度很薄, 因而面密度小, 隔声差外, 其常用厚度的临界频率又在常用的声频范围内。一般地说除玻璃外, 其他薄板的 f_c 在其常用厚度范围都是在高频, 高于 3500Hz 以上。作为隔声设计, 构件一般要满足 $100\text{Hz} > f_c > 3500\text{Hz}$ 。

当入射声频加大, 越过构件的吻合效应区后, 隔声便进入质量控制延伸区, 构件的隔声又是按理论上的质量定律, 即质量或频率加倍, 隔声量增加 6dB 了。

第五节 综合分析

1. 薄板的密度一般并不低, 但是因为使用厚度薄, 所以面密度低, 隔声差。这些构件如薄钢板、压型板、铝板、石膏板、密度板、刨花板、纤维水泥板、胶合板等, 其共振频率一般都在低频 100 ~ 300Hz, 所以薄板对低频声的隔绝都很差, 而薄板的吻合临界频率 f_c 一般都很高, 其设计常用厚度的临界频率, 一般约在 3500Hz 左右或以上, 所以薄板构件在声频 300 ~ 3500Hz 内的隔声基本符合质量定律。建筑师在设计中采用薄板作为围护结构时, 要特别注意薄板的这一隔声频率特性。图 4-1 图形走向符合薄板的特性, 所以冠名“典型薄板的隔声频率特性曲线”才更为确切。

2. 对于重而厚的围护构件 (也是板, 因为它们的厚度比起其宽、高来讲是很小的), 如延续多年使用的实心黏土砖, 以及 KP1_{1.2}型多孔空心砖、蒸压粉煤灰砖、页岩煤矸石实

心砖、页岩实心砖、灰砂砖、页岩煤矸石多孔砖、页岩多孔砖、钢筋混凝土、岩石砌体等所构筑的墙和楼板、屋面板，其设计使用的面密度常大于 200kg/m^2 ，是建筑师们设计中常用的围护结构材料。图 4-1 不能确切地反映这些构件的隔声频率特性，因为一般地说，重而厚的围护结构构件其固有共振频率都很低，已远离常用的即对人敏感的声频范围的低限，所以对隔声一般无影响。重而厚的板作为隔声构件设计时的临界频率一般是在 100Hz 以下，也基本避开了常用的声频范围的低限，所以对重而厚的墙、板而言，不存在像薄板那样的明显的隔声频率特性曲线所描述的 I、II、III 三个分区，而只是在约 $20\text{Hz} \leq f_c \leq 100\text{Hz}$ 之间的很窄的频段内有所谓的质量控制区（II 区），而这个很窄的质量控制区又是在常用的声频低限以下，越过这个临界频率（ $f_c \approx 100\text{Hz}$ ）便是符合质量定律的“延伸”区了，而这个“延伸”区刚好在常用的声频范围内，所以对厚重构件而言，这个“延伸”区叫质量控制区也好，叫质量控制延伸区也好，这个 $f > 100\text{Hz}$ 的延伸区，才是重构件的名副其实的质量定律控制区，才是本书下述单墙诸计算公式的频率适用范围。这是轻薄板与厚重板在隔声频率特性上的重大差别。以下我们试图给出这两大类材料的隔声频率特性曲线的示意图，图 4-3、图 4-4 供建筑师参考。

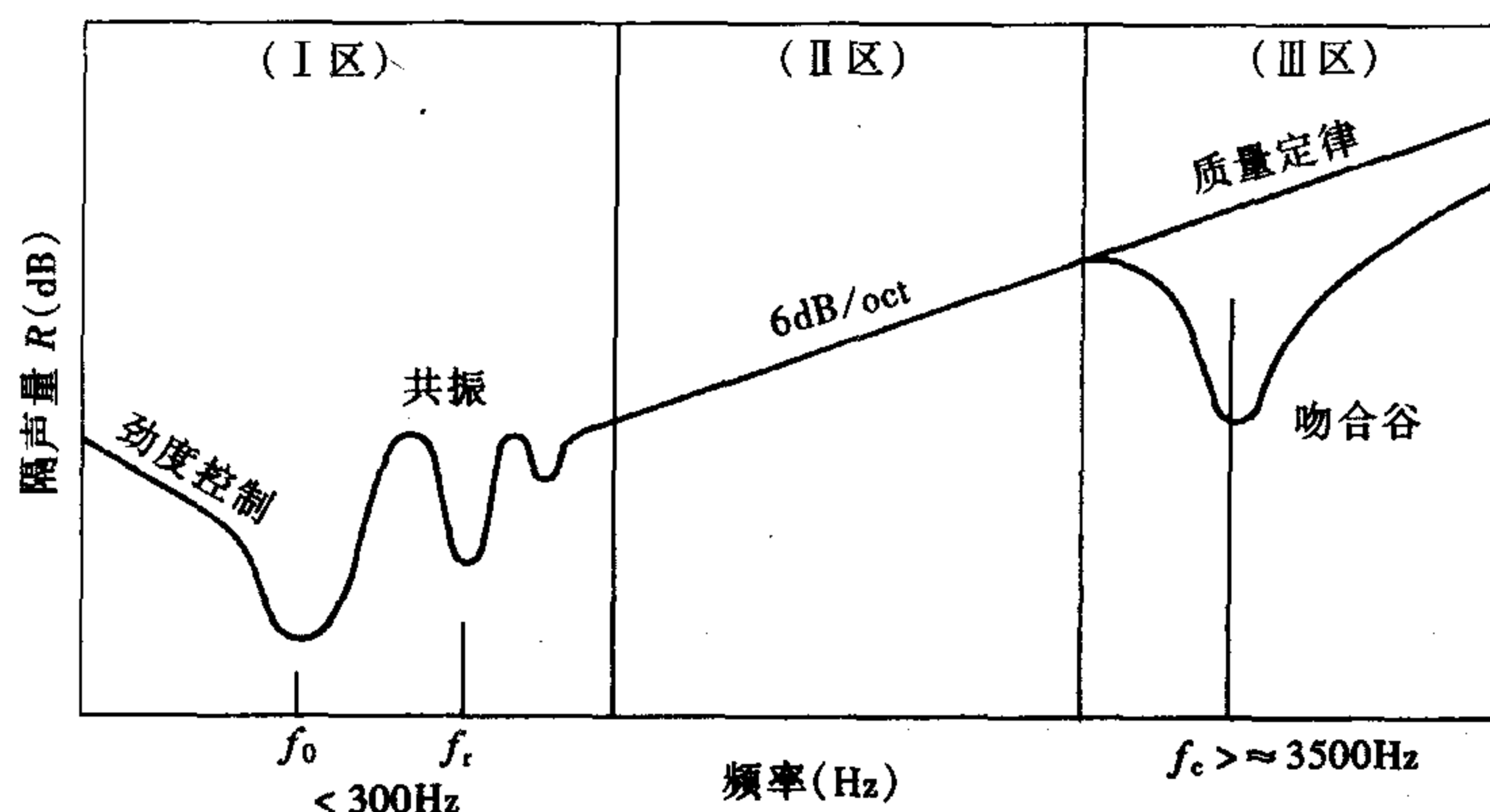


图 4-3 轻薄构件的隔声频率特性曲线示意图

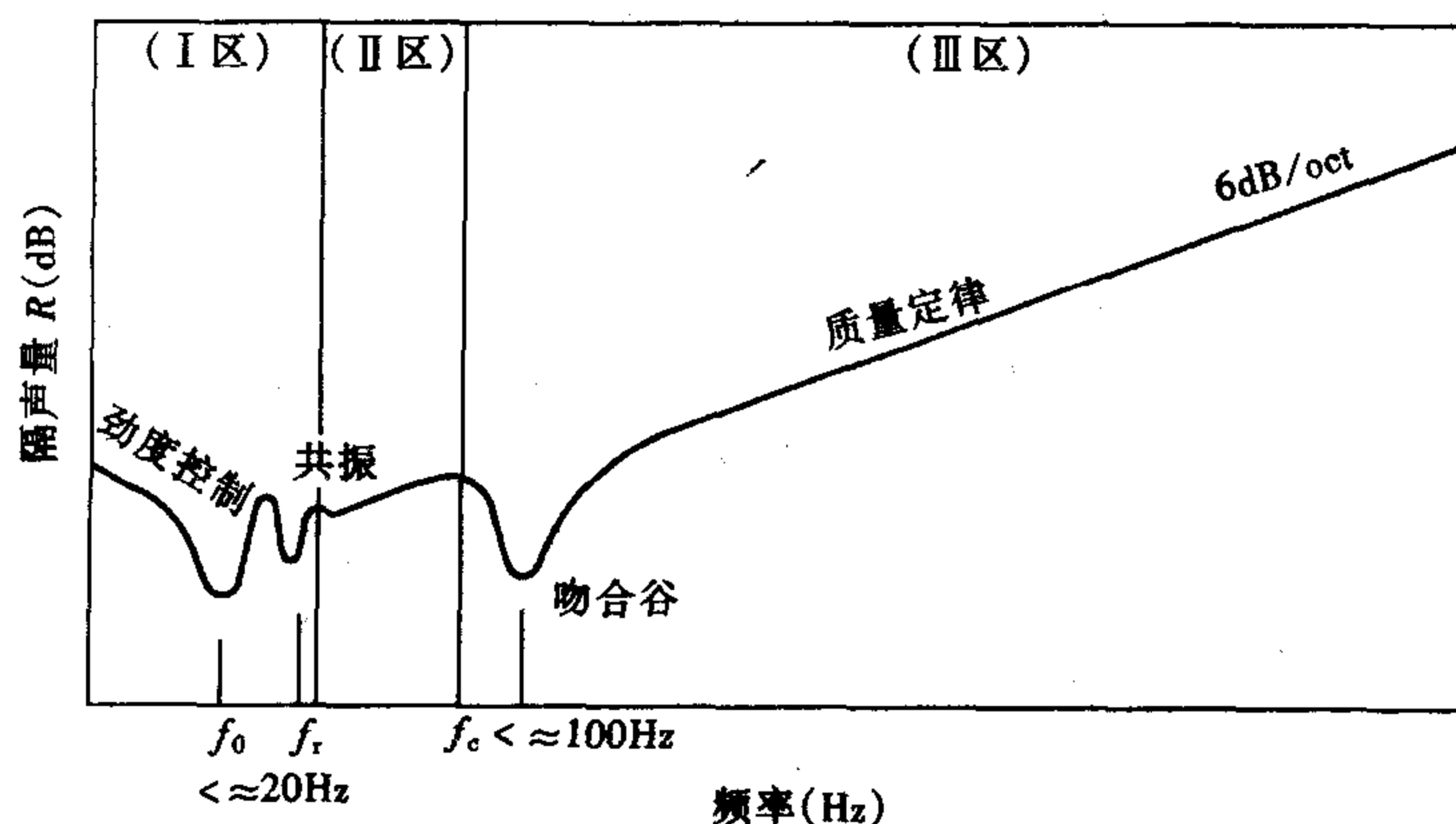


图 4-4 厚重构件的隔声频率特性曲线示意图

第五章 单层构件隔声量计算公式

建筑师在了解了构件的隔声频率特性后，要着手进行围护结构构件隔绝空气声的设计了，那么如何设计、计算、评价某构件的隔声量呢，以下介绍五种方法即：1. 公式计算法；2. 图线判断法；3. 平台作图法；4. 隔声指数法；5. 实测图表法。本章将介绍如何用公式计算法求构件隔声量 R 。

第一节 国外声学家的论述

1. 哈里斯的论述：声学家哈里斯在他的《噪声控制手册》一书中，在作出了他的关于质量定律的解释之后，还给出了他认为符合质量定律的、近似的构件隔声量理论计算公式：

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 48 \quad (5-1)$$

式中 R ——隔声量 (dB)； m ——构件的面密度 (kg/m^2)； f ——声音频率 (Hz)。

这是一个表示声波无规入射时构件隔声量的理论计算公式，该式表明：在一定的面密度 m 下，隔声量是依声频 f 的提高而提高；在一定的声频 f 下，隔声量又是随面密度 m 的增加而增加。公式还显示： m 或 f 加倍，隔声量增加 $20\lg 2 = 6\text{dB}$ ，此式还表明它是一个隔声量分频计算公式。

哈里斯说，他对质量定律的解释通常仅适用于低频区，对此，我们进一步观察公式 (5-1) 即可看出，当构件的质量 m 一定时，决定构件隔声量的变量是频率 f ，而且 f 越高隔声量越高，但这不是说明频率控制隔声量，建筑师无法控制声频，本质上还是构件本身的质量特性决定隔声量的。任何围护结构构件都对高频声易隔绝，我们从式 (5-1) 看出，甚至可以认为隔绝高频声无需强调质量定律的加大构件的面密度 m ，也可获得很高的分贝值。例如 12mm 厚纸面石膏板，其面密度仅 $m = 9\text{kg}/\text{m}^2$ ，用式 (5-1) 计算，以高频 5000Hz 为例，其隔声量竟达 45dB，这相当于 120mm 厚实心黏土砖墙双面抹灰的平均隔声量值，这就说明，对于高频声，面密度很小的构件，也可以获得很好的隔声效果。高频声穿透构件的能力差，而低频声就容易多了，因而决定构件隔声量的另一个因素面密度 m ，就显得比频率高低更重要了，也就更加符合以质量大小决定隔声量的质量定律的称谓了。哈里斯同时也给出了他的单值计算式，是频率 500Hz 时的平均隔声量：

$$R = 20\lg m + 10 \quad (5-2)$$

500Hz、1000Hz 是人耳最为敏感的声频，特别是中频 500Hz，因而用 500Hz 的隔声量代表构件的平均隔声量，是有意义的。公式 (5-1) 及公式 (5-2) 都是理论计算式，又都没有考虑共振和吻合效应的影响，所以计算值都比实测偏大，注意到这一点，哈里斯又给出了他的质量定律下的隔声量经验计算式：

$$R = 18\lg m + 18\lg f - 44 \quad (5-3)$$

由此式计算出的 R 值, 当 m 、 f 增高一倍时, 增加的隔声量不是理论上的 6dB, 而是 $18\lg 2 = 5.4\text{dB}$ 。

2. 理查逊和考斯汀的理论公式:

声学家理查逊 (E·G·Richardson), 在他主编的《声学技术概要》(Technical Aspects of Sound) 一书中, 收集了声学家考斯汀 (C·W·Koston) 的关于隔声的质量定律的理论描述, 考斯汀从声传播的波动理论入手导出了理论上的隔声计算公式, 我们这里省略公式推导过程, 只摘要其结论, 则建筑围护结构构件在理论的假定条件下的隔声量为:

$$R_0 = 10\lg \left[1 + \left(\frac{\omega m}{2\rho c} \right)^2 \right]$$

式中 R_0 ——声波垂直入射构件的隔声量; $\omega = 2\pi f$ 为角频率; ρ ——传声媒质空气的密度; c ——声波在空气中传播的速度; ρc ——空气传声的特性阻抗; 常温常压下 $\rho c = 1.2\text{kg/m}^3 \times 344\text{m/s} = 413$ (瑞利 rayl)。

由于 $\left(\frac{\omega m}{2\rho c} \right)^2 \gg 1$, 所以上式可改写为:

$$R_0 = 10\lg \left(\frac{\omega m}{2\rho c} \right)^2 = 20\lg \frac{\omega m}{2\rho c}$$

将上述各具体参量代入, 则可得:

$$R_0 = 20\lg \frac{2 \times 3.14 \times f \times m}{2 \times 413} = 20\lg m + 20\lg f - 42 \quad (5-4)$$

这是一个声波正入射, 即垂直入射于构件时的隔声量分频理论计算式。

3. 久我新一等的理论公式:

声学家久我新一在他的《建筑隔声材料》一书中给出了与式 (5-4) 完全相同的计算公式。

声学家 B·И·札包罗夫在他所著的《围护结构隔声理论》一书中, 也给出了与式 (5-4) 极相似的公式:

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 43 \quad (5-5)$$

法国声学家切列尔 (W·Zeller) 在他的《防噪声技术》(TECHNIQUE DE LA DEFENSE CONTRE LE BRUIT) 俄文版 (ТЕХНИКА БОРЬБЫ С ШУМОМ) 一书中给出了:

$$R_0 = 10\lg \frac{53.3}{10^6} (m \cdot f)^2 \text{ 此式经推导可得}$$

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42.7 \quad (5-6)$$

这些公式、都与式 (5-4) 大同小异, 可以说式 (5-1) 与式 (5-4) 两个公式, 分别表述了无规与垂直入射的两个经典的隔声量理论计算式, 它服从 m 或 f 增加一倍 R 值增加 6dB 的质量定律理论。但计算出的 R 值都比实测大, 这需要提请建筑师们注意。

4. 垂直与无规入射两理论公式的关系:

对于这两个理论式, 不少声学家还阐明了它们之间的关系:

声学家白瑞纳克 (L·L·Berenek) 在他的《声学》(Acoustics) 一书中。法国声学家康求里 (L·CONTURIE), 在他的俄文版《建筑中的声学》(АКУСТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ) 一书中, 以及札包罗夫的著作中, 都提出了构件的隔声量在声波无规入射与垂直入射下两个理论计算公式之间的关系为:

$$R = R_0 - 10\lg 0.23 R_0 \quad (5-7)$$

此式的 R 与 R_0 分别为式 (5-1) 与式 (5-4) 的 R 与 R_0 。当 R_0 越大时 R 与 R_0 之间的差值也越大, 当 $R_0 > 44\text{dB}$ 时, 差值 $10\lg 0.23 R_0$ 要大于 10dB 。但只要入射角是在 $\theta = 75^\circ$ 或 85° 以内, 修正项 $10\lg 0.23 R_0$ 就大致等于 5dB , 即 $R = R_0 - 5\text{dB}$ 。但是声学家康求里认为, 当声波入射角 $\theta = 0 \sim 80^\circ$ 时 (实际声场常是如此) $R = R_0 - 6\text{dB}$, 而不是白瑞纳克说的 5dB 。而札包罗夫说当入射声波 $\theta = 0 \sim 90^\circ$ 范围内, 同时 $R_0 > 15\text{dB}$ 时, 隔声量的关系式 $R = R_0 - 10\lg 0.23 R_0$ 式才有效, 15dB 这对于一般为隔声而设计的构件均能达到。由此可见垂直与无规入射之间的隔声量的差值一般认为是 $R_0 - R = 5 \sim 6\text{dB}$ 。现场实际声波为垂直入射的单一情况是少见的, 理论公式的意义在于让建筑师们对隔声理论的知晓、理解, 对质量定律下隔声原理的认识, 作为一名建筑师应该具备这些知识。但是理论公式因为出自许多假定, 并不完全符合现场实际, 计算值偏大, 所以对实际隔声计算, 实用价值不是很高。

5. 札包罗夫和切列尔的经验公式:

由于式 (5-1) 与式 (5-4) 两个理论公式的计算值比实际情况偏大, 因而实用价值不是很高, 于是声学家们在理论的指导下都努力寻求符合现场实际情况, 符合实测结果的隔声量计算的经验公式, 除了前述哈里斯先生提出的式 (5-3) 外, 札包罗夫对 $f = 125 \sim 2000\text{Hz}$ 声频范围, 由实测并经研究给出了他的分频计算的经验公式为:

$$R = 14.5\lg m + 14.5\lg f - 26 \quad (5-8)$$

同时又提出以中频 500Hz 为代表的单值隔声量经验计算式:

$$R = 14.5\lg m + 13 \quad (5-9)$$

法国声学家切列尔认为考虑到对人敏感的即常用声频范围, 应以中频 500Hz 代表构件的单值隔声量, 它也是在实测的基础上, 经研究给出了接近实际的隔声量成组单值经验计算公式, 并区别了重构件与轻构件, 分别为:

$$R = 15\lg 4m \quad (\text{当 } m > 200\text{kg/m}^2 \text{ 时}) \quad (5-10)$$

$$R = 13.3\lg 10m \quad (\text{当 } m < 200\text{kg/m}^2 \text{ 时}) \quad (5-11)$$

6. 艾尔杰里对公式的论述:

前苏联声学家艾尔杰里 (И·Ю·ЭРДЕЛИ) 推荐了前苏联计算隔声量的分频计算公式:

$$R = 10\lg \left[\frac{1}{10^6} (m \cdot f)^2 \right]$$

此式可简写成:

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 60 \quad (5-12)$$

但此式计算出的结果与实测相比, 计算值偏低, 而且又不是单值计算式, 为此, 艾尔

杰里同时也给出了前苏联的成组单值经验计算式:

$$R = 23\lg m - 9 \quad (m > 200\text{kg/m}^2) \quad (5-13)$$

$$R = 13.3\lg m + 13 \quad (m < 200\text{kg/m}^2) \quad (5-14)$$

艾尔杰里认为以此式代替法国声学家切列尔的式(5-10)、式(5-11)更符合实际情况。应该说,艾尔杰里的两个经验公式式(5-13)、式(5-14)影响着我国声学界,我国的不少声学书籍、文献以及早期的建筑物理课本,也常将这两个经验公式提供在书籍中,事实上,这两个经验公式直到今天也是建筑师们进行隔声设计的重要依据。

第二节 国内声学家的论述

1. 大学《建筑物理》课本中的论述:

20世纪50年代,我国科学技术发展受前苏联影响之大,是人所共知的,建筑声学领域也不例外。前苏联声学家艾尔杰里推荐的两个计算单值隔声量的经验公式,我国广为采用,在大学建筑学专业必读的《建筑物理》中,就反映了这种情况。20世纪50年代我国没有正式出版过《建筑物理》课本,当时各校基本上是用讲义作为教材并提供给学生,直到1961年才出版了我国第一本高等学校试用教材《建筑物理》,在以后的四十年中又出版了几种版本的《建筑物理》。1961年版课本中的构件隔声量计算公式,首先是带有 m 、 f 两个变量的经验公式:

$$R = 18\lg m + 12\lg f - 25 \quad (5-15)$$

经验证明,此式计算出的值比实测值偏大,书中提出此式目的使我们知晓,围护结构隔绝空气声,是与构件的面密度 m 和声频 f 两个变量有关的。同时该课本也给出了与艾尔杰里提供的成组经验计算式基本相同的经验公式即:

$$R = 23\lg m - 9 \quad (m > 200\text{kg/m}^2) \quad (5-13)$$

$$R = 13.5\lg m + 13 \quad (m < 200\text{kg/m}^2) \quad (5-16)$$

艾尔杰里的 $13.3\lg m$,这里是 $13.5\lg m$,但两者的计算差值甚微,所以此问题可以忽略。

由于众所周知的原因,到20年后的1980年,我国才又正式出版了第一版的《建筑物理》课本,该版本以及尔后于1987年、2000年分别改版为第二版及第三版时,提供的隔声计算式均是以下两个理论计算公式,即:

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42.2 \quad (5-17)$$

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 47.2 \quad (5-18)$$

这就是说自1980年以来,全国各大院校的20多届建筑学专业毕业的学生,亦即当前我国建筑设计领域的最主要的技术力量所掌握的建筑围护构件隔声量计算公式,是这两个理论公式。

在国家正式出版上述课本的同时,也有其他正式出版的《建筑物理》课本,如中国建筑工业出版社于1991年正式出版,2000年再版的另一本高等学校试用教材《建筑物理》,该书两版中均给出了与哈里斯先生提出的式(5-1)相同的理论计算式,并说明式(5-1)

是常用的隔声量计算的经验公式。

1991年北京经济学院出版的《噪声控制工程》一书阐述：“理论计算式(5-4)的计算值偏大，实际上隔声量达不到该式的计算结果”。所以该书提出的经验公式为：

$$R = 16\lg m + 14\lg f - 29 \quad (5-19)$$

同时，该书还提出在常用的声频范围内，成组单值的经验计算公式为：

$$R = 16\lg m + 8 \quad (m > 200\text{kg/m}^2) \quad (5-20)$$

$$R = 13.5\lg m + 14 \quad (m < 200\text{kg/m}^2) \quad (5-21)$$

2. 国内声学专著中的论述：

如1960年清华大学建筑系编著的《建筑声学工作手册》、《剧院中的声学设计》，1980年出版的《噪声的危害与防治》，同年中国建筑科学研究院物理所主编的《建筑围护结构的隔声》，1992年版《实用建筑声学》等书中，都给出了如下的成组单值经验计算式：

$$R = 18\lg m + 8 \quad (m > 100\text{kg/m}^2) \quad (5-22)$$

$$R = 13.5\lg m + 13 \quad (m < 100\text{kg/m}^2) \quad (5-16)$$

同时也给出了两个理论式：

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42.5 \quad (5-23)$$

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 47.5 \quad (5-24)$$

1987年出版的《噪声控制学》一书，在“建筑隔声”一章中，当讲到建筑围护结构构件隔绝空气声的隔声量计算时，给出了理论计算公式：

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 48 \quad (5-1)$$

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42 \quad (5-4)$$

而在1989年出版的《噪声的降低与隔离》一书，给出了隔声量计算的垂直入射的理论式，即相似于式(5-4)的如下公式：

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42.4 \quad (5-25)$$

书中阐述了垂直与无规入射时两值的关系式为：在入射角 $\theta = 0^\circ \sim 78^\circ$ 范围内，在 f 比较低时， $R = R_0 - 5$ 以及 $R = R_0 - 10\lg 0.23 R_0$ ，即式(5-7)。式(5-7)表明当声波正入射时，由于 m 或 f 加倍， R 增加量为6dB，而对无规入射，用此式计算则增加量不是6dB，而是小于6dB。例如 R_0 由40dB增加6dB到46dB时： $R_1 = 40 - 10\lg(0.23 \times 40) = 30.36\text{dB}$ ， $R_2 = 46 - 10\lg(0.23 \times 46) = 35.75\text{dB}$ ，则 $35.75\text{dB} - 30.36\text{dB} = 5.39\text{dB}$ 。

这说明：无规入射隔声量随频率或质量增加的速率，比正入射的情况要慢一些。

1986年出版的《噪声控制》一书中，还给出了理论公式：

$$R = 10\lg \left[1 + \left(\frac{\omega \cdot m \cdot \cos \theta}{2\rho c} \right)^2 \right]$$

θ 为入射角即入射波声线与构件法线的夹角，上式经推导可为如下的计算式：

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 42.2 + 20\lg \cos \theta \quad (5-26)$$

当声波垂直入射时, $\cos\theta = \cos 0^\circ = 1$, 则 $20\lg\cos 0^\circ = 0$ 。式 (5-26) 变为:

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42.2 \quad (5-17)$$

而当其他方向入射时 $\cos\theta$ 均小于 1, 所以理论上正入射时构件的隔声量最大。以 $m = 530 \text{ kg/m}^2$ 、 $f = 500\text{Hz}$ 为例, 代入式 (5-26) 则可得:

$$\begin{aligned} R &= 20\lg 530 + 20\lg 500 - 42.2 + 20\lg\cos\theta \\ R &= 66.265\text{dB} + 20\lg\cos\theta \end{aligned}$$

- (1) 当 $\theta = 0^\circ$ 时, $20\lg\cos 0^\circ = 0$, $R_0 = 66.265\text{dB}$ 。
- (2) 当 $\theta = 30^\circ$ 时, $20\lg\cos 30^\circ = -1.249$, $R = 65\text{dB}$ 。
- (3) 当 $\theta = 45^\circ$ 时, $20\lg\cos 45^\circ = -3.01$, $R = 63.25\text{dB}$ 。
- (4) 当 $\theta = 60^\circ$ 时, $20\lg\cos 60^\circ = -6$, $R = 60.24\text{dB}$ 。
- (5) 当 $\theta = 80^\circ$ 时, $20\lg\cos 80^\circ = -15.21$, $R = 50.06\text{dB}$ 。
- (6) 当 $\theta = 85^\circ$ 时, $20\lg\cos 85^\circ = -21.19$, $R = 45.07\text{dB}$ 。
- (7) 当 $\theta = 89^\circ$ 时, $20\lg\cos 89^\circ = -35.16$, $R = 31.1\text{dB}$ 。
- (8) 当 $\theta = 89.9^\circ$ 时, $20\lg\cos 89.9^\circ = -55.16$, $R = 11.10\text{dB}$ 。
- (9) 当 $\theta \approx 89.972146695^\circ$ 时, $R \approx 0\text{dB}$ 。
- (10) 当 $\theta > 89.972146695^\circ$ 时, R 为负值。

现场入射一般是 $\theta = 0^\circ \sim 80^\circ$, 则上述 (1+2+3+4+5) 平均 R 值为 60.96dB , 与 $\theta = 0^\circ$ 时 (即垂直入射时) 相差为:

$66.265 - 60.96 = 5.3\text{dB}$, 这正符合垂直入射与无规入射之间的差值为 $5 \sim 6\text{dB}$ 。 5.3dB 是入射角 θ 在 $0^\circ \sim 80^\circ$ 时入射角修正项 $20\lg\cos\theta$ 的平均值。

当声波入射角非常接近 90° 时, 隔声量 R 为负值, 而且绝对值很大, 这在理论上、实践上都是无意义的。

3. 声学工程设计工具书中的论述:

1987 年版《建筑声学设计手册》一书, 提出了以下三个计算式即:

声波垂直入射时为:

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42.5 \quad (5-23)$$

声波来自全方位 (即 $0^\circ \sim 90^\circ$) 无规入射时为:

$$R_r = 18.5\lg m + 18.5\lg f - 47.5 \quad (5-27)$$

声波来自 $0^\circ \sim 80^\circ$ 即现场无规入射时为:

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 47.5 \quad (5-24)$$

在 1975 年由上海工业建筑设计院与同济大学合编的《建筑设计资料手册》中, 以及有关部门于 1965 年编著, 1973 年改版, 1994 年再版的《建筑设计资料集》中的隔声部分, 都给出了与前苏联艾尔杰里相近的构件隔声量成组经验计算公式, 即:

$$R = 23\lg m - 9 \quad (m > 200\text{kg/m}^2) \quad (5-13)$$

$$R = 13.5\lg m + 13 \quad (m < 200\text{kg/m}^2) \quad (5-16)$$

《建筑设计资料集》中并给出符合质量定律的条件为日常噪声频率: $50\text{Hz} > f_c >$

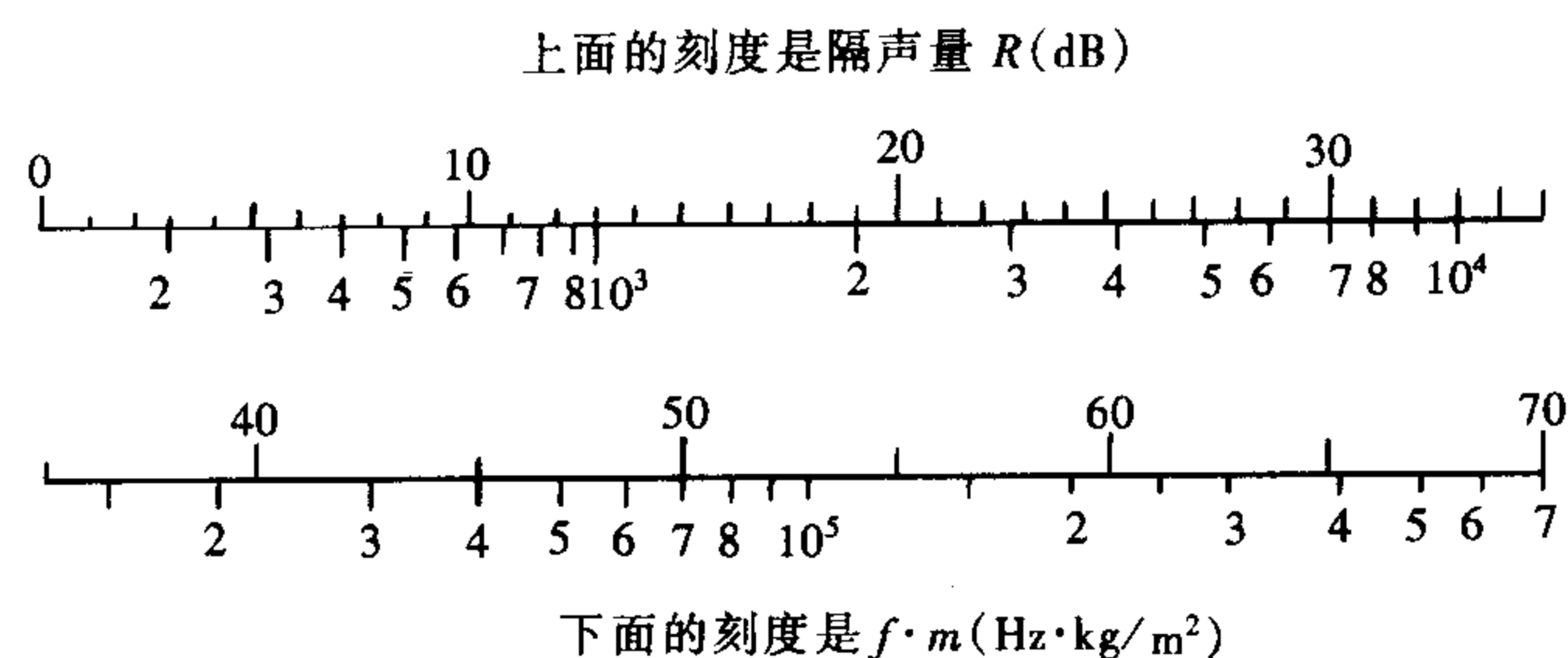


图 5-1 墙壁的质量、声频和隔声量的关系图

3200Hz。又告诉建筑师：部件的每单位面积质量 m 或入射声频 f 增加一倍时，隔声量增加 6dB，这就是质量定律，但由于吻合效应及其他影响，实际情况见图 5-1。

此图表表征的是构件的面密度、声频与隔声量之间的关系，这个关系式的图线基本是根据理论的隔声量无规入射计算公式 (5-1) 画出来的，这是个理论图线。例如 24cm 厚砖墙双面抹灰， $m = 530\text{kg}/\text{m}^2$ ，以中频 500Hz 为例， $m \times f = 265000$ ，按此数值查图 5-1 刻度线则得 $R = 61.5\text{dB}$ ，这比理论无规入射式 (5-1) 计算出的 $R = 20\lg 530 + 20\lg 500 - 48 = 60.5\text{dB}$ 还要大一点，比实测更大得多。

第三节 隔声量计算公式的归纳

尽管我们不能说已把隔声理论中所有的空气声隔声量计算公式完全收集到，但以上所述及的诸多公式，还是具有广泛代表性的，在分析研究的基础上，我们把这些公式归纳为以下两大类：

一、理论计算公式：

1. 声波无规入射计算公式：

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 48 \quad (5-1)$$

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 47.5$$

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 47.2$$

2. 声波垂直入射计算公式：

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 43$$

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42.7$$

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42.5$$

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42.4$$

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42.2$$

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42 \quad (5-4)$$

3. 单值计算公式：

$$R = 20\lg m + 10$$

4. 考虑各种角度入射时的计算公式：

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 42.2 + 20\lg \cos \theta$$

二、经验计算公式

1. 由 m 、 f 两个变量构成的计算公式:

$$R = 18.5 \lg m + 18.5 \lg f - 47.5 \quad (5-27)$$

$$R = 18 \lg m + 18 \lg f - 44$$

$$R = 18 \lg m + 12 \lg f - 25$$

$$R = 16 \lg m + 14 \lg f - 29 \quad (5-19)$$

$$R = 14.5 \lg m + 14.5 \lg f - 26$$

2. 由 m 一个变量构成的单值计算公式:

$$R = 14.5 \lg m + 13$$

3. 由 m 一个变量构成的单值成组计算公式^①:

$$(1) \quad R = 23 \lg m - 9 \quad (m \geq 200 \text{ kg/m}^2)$$

$$R = 13.3 \lg m + 13 \quad (m \leq 200 \text{ kg/m}^2)$$

$$(2) \quad R = 18 \lg m + 8 \quad (m \geq 100 \text{ kg/m}^2)$$

$$R = 13.5 \lg m + 13 \quad (m \leq 100 \text{ kg/m}^2)$$

$$(3) \quad R = 16 \lg m + 8 \quad (m \geq 200 \text{ kg/m}^2)$$

$$R = 13.5 \lg m + 13 \quad (m \leq 200 \text{ kg/m}^2)$$

$$(4) \quad R = 15 \lg 4m \quad (m \geq 200 \text{ kg/m}^2)$$

$$R = 13.3 \lg 10m \quad (m \leq 200 \text{ kg/m}^2)$$

$$(5) \quad R = 23 \lg m - 9 \quad (m \geq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (5-13)$$

$$R = 13.5 \lg m + 13 \quad (m \leq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (5-16)$$

第四节 隔声量公式的几点分析

1. 所有的理论公式, 由于都是建立在理论上的许多假定条件下导出的, 计算值普遍比实测偏大, 并不符合现场实际情况, 所以一般不能用于隔声设计中。但是让建筑师们知晓这类理论公式, 了解隔声理论及隔声理论中著名的质量定律, 是必要的、有益的。上列理论公式虽多, 但差别仅在常数项, 且差值又极小, 所以可归结为无规与垂直入射的式 (5-1)、式 (5-4) 两式。

2. 所有经验公式隔声量计算值, 普遍小于理论公式计算值, 并不同程度地接近现场实际情况, 接近实测, 所以经验公式比理论公式有实用价值。

3. 成组的经验公式分别由适用于重构件、轻构件的两个公式并列组成。并列公式、隔声量实测值, 以及以下将要述及的一些“ m 、 R 隔声图线”都证实了重构件、轻构件面密度加倍, 隔声量上升率是不一样的。但是, 除了成组的单值经验公式外, 其余的公式都没有按适用于重构件、轻构件两个公式成组并列给出, 而并列给出是必要的。

^① 上述成组隔声量计算公式对面密度的限定条件 (大于或小于) 在各声学书籍中存在着不一致的现象, 本书以下均统一为“ $\geq$ ”或“ $\leq$ ”。

4. 有一些计算公式, 声学书籍中阐明的使用条件不够详尽, 同时不同书籍中对同一公式的提法也不相同, 如对式 (5-1)、(5-4) 的说明, 有的声学书籍中说“这是常用的计算隔声量的经验公式”, 有的说这是“估计式”, 有的说这是“实际情况”, 有的说是“理论公式”等等, 而对式 (5-1)、式 (5-4) 这两个公式的正确定位均应是理论公式。

5. 对上述诸多公式做相互比较可知, 各公式计算值差别很大。以 24cm 厚砖墙双面抹灰、 $m = 530\text{kg/m}^2$ 、 $f = 500\text{Hz}$ 为例, 用下例公式计算可得:

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 47 = 20\lg 530 + 20\lg 500 - 47 = 61.50\text{dB}$$

$$R = 14.5\lg m + 14.5\lg f - 26 = 14.5\lg 530 + 14.5\lg 500 - 26 = 52.60\text{dB}$$

$$R = 15\lg 4m = 15\lg (4 \times 530) = 50\text{dB}$$

仅此三式计算差值竟有 $61.50 - 52.60 = 8.9\text{dB}$ 及 $61.50 - 50 = 11.50\text{dB}$, 这么大差别意味着, 采用不同的公式, 建筑师设计同一隔声量的砖墙, 既可以是 24cm 厚, 也可以是 48cm 厚, 甚至厚 100cm 以上, 均可有同样的隔声量。若再以 500Hz 为例, 以 18cm、62cm、100cm 厚砖墙按序计算三式, 所得隔声量均为 58dB, 这显然是不科学的, 所以应提供建筑师们比较确切的, 即接近现场的计算方法。

6. 很多声学书籍强调说, 一般来说实测值的频率或面密度加倍隔声量提高不到 6dB。上述很多公式都体现了这种认定, 例如有: $14.5\lg 2 = 4.4\text{dB}$, $16\lg 2 = 4.8\text{dB}$, $18\lg 2 = 5.4\text{dB}$, $18.5\lg 2 = 5.57\text{dB}$ 。但也有 $23\lg 2 = 6.9\text{dB}$, $20\lg 2 = 6\text{dB}$ 即大于等于 6dB。差别在 $6.9 - 4.4 = 2.5\text{dB}$ 。我们研究了包括本书第七章表 7-1 等的大量的实测资料从中看到: 面密度 $m \geq 200\text{kg/m}^2$ 的构件, 当 m 加倍时隔声量的上升率是大于 6dB 的, 约为 6~8dB。

在现有声学书籍提供的诸多公式中, 仅有一个经验公式: $R = 23\lg m - 9$ ($m \geq 200\text{kg/m}^2$), 为面密度 m 加倍, 隔声量增加值大于 6dB, 达到 $23\lg 2 = 6.9$, 与表 7-1 等的大量实测基本相符。公式 $R = 23\lg m - 9$ ($m \geq 200\text{kg/m}^2$) 与 $R = 13.5\lg m + 13$ ($m \leq 200\text{kg/m}^2$) 是成组的。我们知晓这组经验公式, 是从 20 世纪 50 年代初, 前苏联声学专家艾尔杰里翻译法国声学专家切列尔所著《防噪声技术》俄文版一书中得知的。此后一些声学书籍、手册、资料集等, 都给出了与艾尔杰里相同的这组经验公式。当然也有其他的一些成组经验公式, 如 $R = 18\lg m + 8$ ($m \geq 100\text{kg/m}^2$) 与 $R = 13.5\lg m + 13$ ($m \leq 100\text{kg/m}^2$), 本式当 $m \geq 100\text{kg/m}^2$ 时的上升率仅为 $18\lg 2 = 5.4$, 小于实测。再以这两组公式中的 $R = 23\lg m - 9$ ($m \geq 200\text{kg/m}^2$) 与 $R = 18\lg m + 8$ ($m \geq 100\text{kg/m}^2$) 相比较, 经对同一面密度某构件计算, 后式的计算值大于前式约 4.0dB, 与表 7-1 等的实测值再经校正 (重构件减去 2dB) 相比较约大 $4 + 2 = 6\text{dB}$, 即比现场实际隔声量高 6dB。因此, 我们立足以表 7-1 等的实测值为准, 将成组的经验公式 $R = 23\lg m - 9$ ($m \geq 200\text{kg/m}^2$) 与 $R = 13.5\lg m + 13$ ($m \leq 200\text{kg/m}^2$), 推荐给建筑师。

7. 构件隔声中的两个影响因素, 即面密度 m 和声频 f , 哪个因素起作用更大? 还是起相同的作用? 在现有声学书籍中没有看到文字的阐述。质量定律理论指导下推导出的隔声量理论计算公式, 不管声波是以何种方式入射, 式中 $20\lg m$ 、 $20\lg f$ 之原意都反映了两个变量起同样作用。体现两个因素起同等作用的公式如:

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 42$$

$$R = 18.5\lg m + 18.5\lg f - 47$$

$$R = 18\lg m + 18\lg f - 44$$

$$R = 14.5\lg m + 14.5\lg f - 26$$

体现两个因素起不同作用，但面密度 m 的影响更大一些的公式如：

$$R = 16\lg m + 14\lg f - 29$$

$$R = 18\lg m + 12\lg f - 25$$

面密度越大隔声量越高这是肯定的，而频率越高隔声量越高这种关系由于共振和吻合效应等的影响，使这个关系不能绝对化。从一些声学书籍、文献看，似乎认为质量比频率起的作用更大些，这样的认识也符合质量定律。

8. 经验公式都是加进了实践的因素，即包括实验室测定、现场测定、主观评估、判断等研究成果，它比理论公式接近实际，已不再是完全符合质量定律中的假定条件。但这些经验公式的基本变量还是质量 m ，还是质量的大小控制隔声量，所以这类公式还是以质量定律为基本理论的隔声量经验计算式，可以叫理论上的质量定律向实践的延伸。

9. 在成组的经验公式中，有的书中说该组公式中两式分别适用于 $m > 200\text{kg/m}^2$ 和 $m < 200\text{kg/m}^2$ ；但也有的书中将上述同样的成组公式限定为 $m > 100\text{kg/m}^2$ 或 $m < 100\text{kg/m}^2$ 的使用条件。如公式 $R = 13.5\lg m + 13$ 就有 ($m \leq 100\text{kg/m}^2$)、($m \leq 200\text{kg/m}^2$) 两种限定使用条件，同样的公式，限定的使用条件不同。同时不管是大于或小于 200kg/m^2 对，还是大于或小于 100kg/m^2 正确，两个成组的公式在 200kg/m^2 或 100kg/m^2 处，计算出的 R 值应是相同的或极接近的，但是，如成组公式：

$$R = 18\lg m + 8 \quad (m \geq 100\text{kg/m}^2) \quad (5-22)$$

$$R = 13.5\lg m + 13 \quad (m \leq 100\text{kg/m}^2) \quad (5-16)$$

以 100kg/m^2 代入，则得 44dB 和 40dB 差值在 4dB，说明这组公式不严谨，而另一组公式：

$$R = 23\lg m - 9 \quad (m \geq 200\text{kg/m}^2) \quad (5-13)$$

$$R = 13.5\lg m + 13 \quad (m \leq 200\text{kg/m}^2) \quad (5-16)$$

在 $m = 200\text{kg/m}^2$ 处， R 值分别是 43.92dB 和 44.06dB 仅相差 0.14dB，基本吻合，所以我们建议建筑师们牢记这后一组公式。

10. 隔声量计算公式与隔声量定义 $R = 10\lg 1/\tau$ ：

本书第二章在谈到围护结构构件的“隔声量”定义时，曾经给出关系式： $R = 10\lg 1/\tau$ ；例如围护结构构件的透声系数 $\tau = 0.01$ ，则围护构件的隔声量 $R = 10\lg 1/\tau = 10\lg 1/0.01 = 20\text{dB}$ ；又如透声系数 $\tau = 0.00001$ ，则隔声量 $R = 10\lg 1/\tau = 10\lg 1/0.00001 = 50\text{dB}$ 。透声系数 $\tau = 0.00001$ 表示透射过围护结构构件的声能只有入射声能的十万分之一，隔声量为 50dB。我们以隔声量计算公式： $R = 23\lg m - 11.5$ 为例，计算 24cm 厚实心黏土砖墙（勾缝、无抹灰层， $m = 460\text{kg/m}^2$ ）的隔声量： $R = 23\lg m - 11.5 = R = 23\lg 460 - 11.5 = 50\text{dB}$ ，这与当围护构件透声系数 $\tau = 0.00001$ 时用关系式 $R = 10\lg 1/\tau$ 计算出的隔声量 50dB 相等。这表明构件隔声量为 50dB 时，砖墙的透声系数 τ 为 0.00001。

由式 $R = 10\lg 1/\tau$ 可以推导出： $\tau = 10^{-R/10}$ ，将构件的隔声量 R 代入此式便可得出该构件的透声系数 τ 。结论：任何构件的隔声量 R ，都有一个与 R 相应的透声系数 τ 。

第五节 推荐隔声量计算公式

至此，我们对上述诸多的公式，对照下文将要述及的“ m 与 R 关系曲线图”、“实测

图表”等进行综合评估，进而对这些公式做出基本的认定，推荐给从事建筑设计的建筑师们，运用于单层围护结构构件隔绝空气声设计中：

1. 知晓两个理论公式：

$$R_0 = 20\lg m + 20\lg f - 42 \quad (\text{垂直入射, 即正入射}) \quad (5-4)$$

$$R = 20\lg m + 20\lg f - 48 \quad (\theta = 0^\circ \sim 80^\circ \text{现场入射, 也是无规入射}) \quad (5-1)$$

$$R_0 = R + 5 \sim 6$$

2. 记住两个分频计算经验公式：

$$R = 18.5\lg m + 18.5\lg f - 47.5 \quad (5-27)$$

$$R = 16\lg m + 14\lg f - 29 \quad (5-19)$$

3. 牢记一组经验公式：

$$R = 23\lg m - 9 \quad (m \geq 200\text{kg/m}^2) \quad (5-13)$$

$$R = 13.5\lg m + 13 \quad (m \leq 200\text{kg/m}^2) \quad (5-16)$$

4. 经研究本书推荐的两组经验公式：

$$R = 23\lg m + 11\lg f - 41 \quad (m \geq 200\text{kg/m}^2) \quad (5-28)$$

$$R = 13\lg m + 11\lg f - 18 \quad (m \leq 200\text{kg/m}^2) \quad (5-29)$$

$$R = 23\lg m - 11.5 \quad (m \geq 200\text{kg/m}^2) \quad (5-30)$$

$$R = 13\lg m + 11.5 \quad (m \leq 200\text{kg/m}^2) \quad (5-31)$$

式 (5-28)、式 (5-29) 及式 (5-30)、式 (5-31) 两组经验公式是笔者经研究提出的。由于以面密度 m 为单值变量的公式表示为轻、重两种构件的成组公式，所以笔者认为具有面密度 m 频率 f 两个变量的隔声量计算公式也应表示为轻、重两种构件的成组公式，所以本书提出了式 (5-28)、式 (5-29) 这对成组公式。根据某些声学书籍的阐述如表 7-1 等表的实测值，基本上是在声学实验室中测定的，条件比较理想，测定值比现场高，重构件高约 2dB，轻构件高约 3~5dB，式 (5-13)、式 (5-16) 的计算值与实验室中测定值基本相同，即也是比现场实际隔声量高 2~5dB，考虑到这一点，经研究本书才提出了认为是符合现场实测的经验公式，式 (5-28)、式 (5-29) 及式 (5-30)、式 (5-31)，用于隔声设计计算中。

这两组公式与上述诸公式的不同点是：

(1) 在 $m = 200\text{kg/m}^2$ 时，式 (5-28)、式 (5-29) 成组公式的隔声量分别为 41.61dB、41.60dB (以 $f = 500\text{Hz}$ 为例) 相差 0.01dB，非常吻合；式 (5-30)、式 (5-31) 成组公式的隔声量分别为 41.42dB、41.41dB，也仅相差 0.01dB，非常吻合。

(2) 隔声量计算值都低于式 (5-13)、式 (5-16)，即稍低于实验室中测定值，重构件约低 2dB，轻构件约低 3dB，更接近现场实测隔声量。

(3) 两组公式的面密度加倍，隔声量的增加值符合表 7-1 等实测情况，即重构件大于 6dB，轻构件小于 4dB。

(4) 两组公式均比较便于记忆。

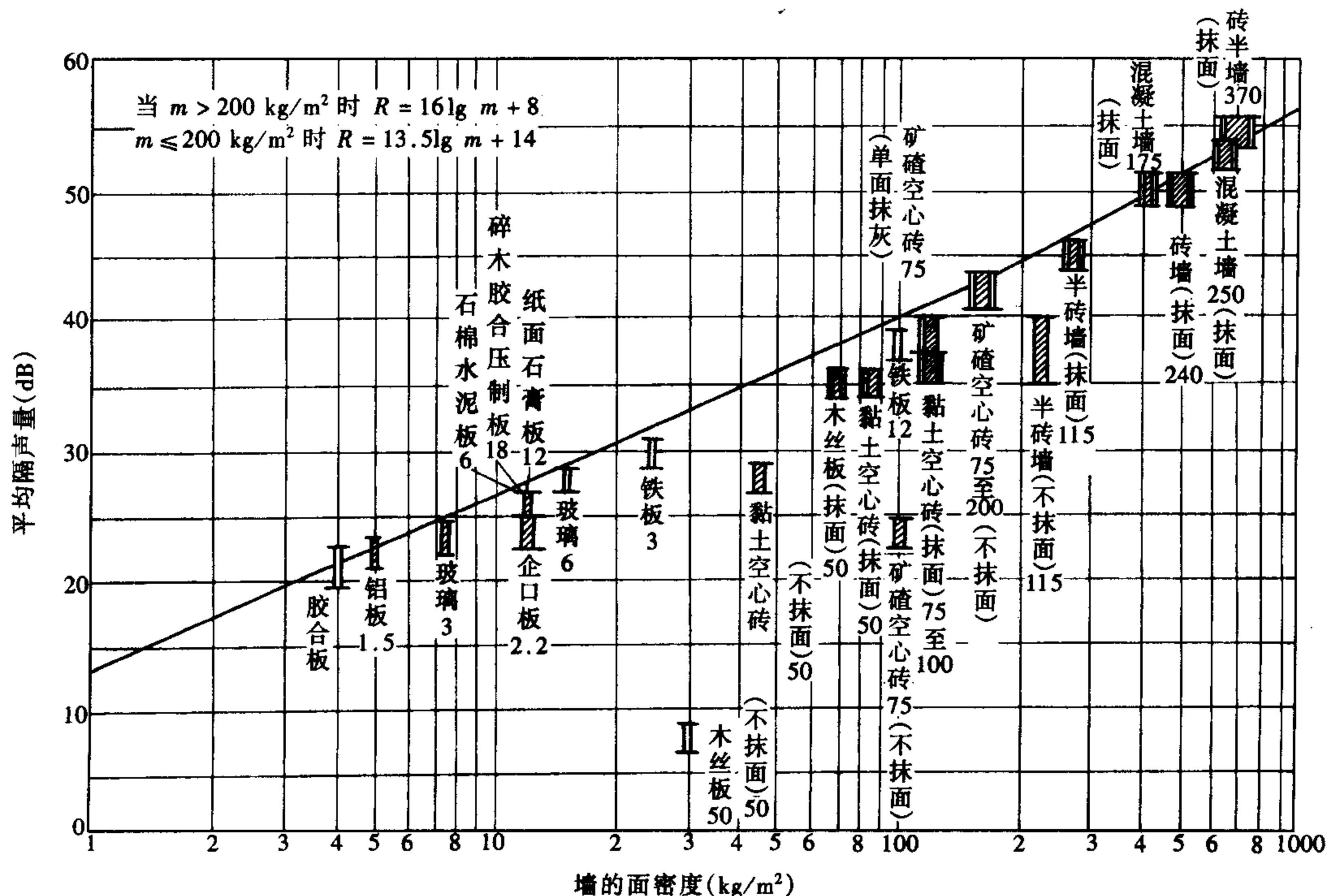
此二组公式虽已经一定数量的统计验证，但仍属于笔者的学习、研究心得，故尚待进一步于实践中检验。

第六章 m 与 R 关系图线判断隔声量

通过计算得知设计构件的面密度后,查看 m 、 R 关系图线,便可以帮助建筑师们直观、快捷地判断出构件大概的单值隔声量。这些图一般给出的是构件在各种不同面密度时各频率(100~3200Hz)的平均隔声量,图线的横坐标为构件的面密度,纵坐标为在该面密度下的平均隔声量。这类图线从图形看大体上可分为三类,即折线图、直线图、弧线图。

第一节 折线关系图线

折线图形,都是以面密度 $m = 200\text{kg/m}^2$ 为拐点,即分界点,分界点两侧呈现隔声量不同下降、上升斜率的V形折线。在面密度 $m \leq 200\text{kg/m}^2$ 时, m 加倍隔声量增加约为4dB,各图形的表达都是基本一样的,差别出在面密度 $m \geq 200\text{kg/m}^2$ 时,图6-2、6-3、6-4的 m 加倍隔声量 R 增加约为6.9dB,而图6-1的 m 加倍,隔声量 R 增加仅为约5.5dB,差别较大。若按本文后面将述及的表7-1等实测图表为准,上升斜率应为6.9dB,折线图6-2、6-3、6-4的 R 值与表7-1等基本一致。



图中数字为墙体厚度(不包括抹灰),单位为mm

图6-1 墙的面密度与隔声量的关系曲线《建筑声学设计手册》

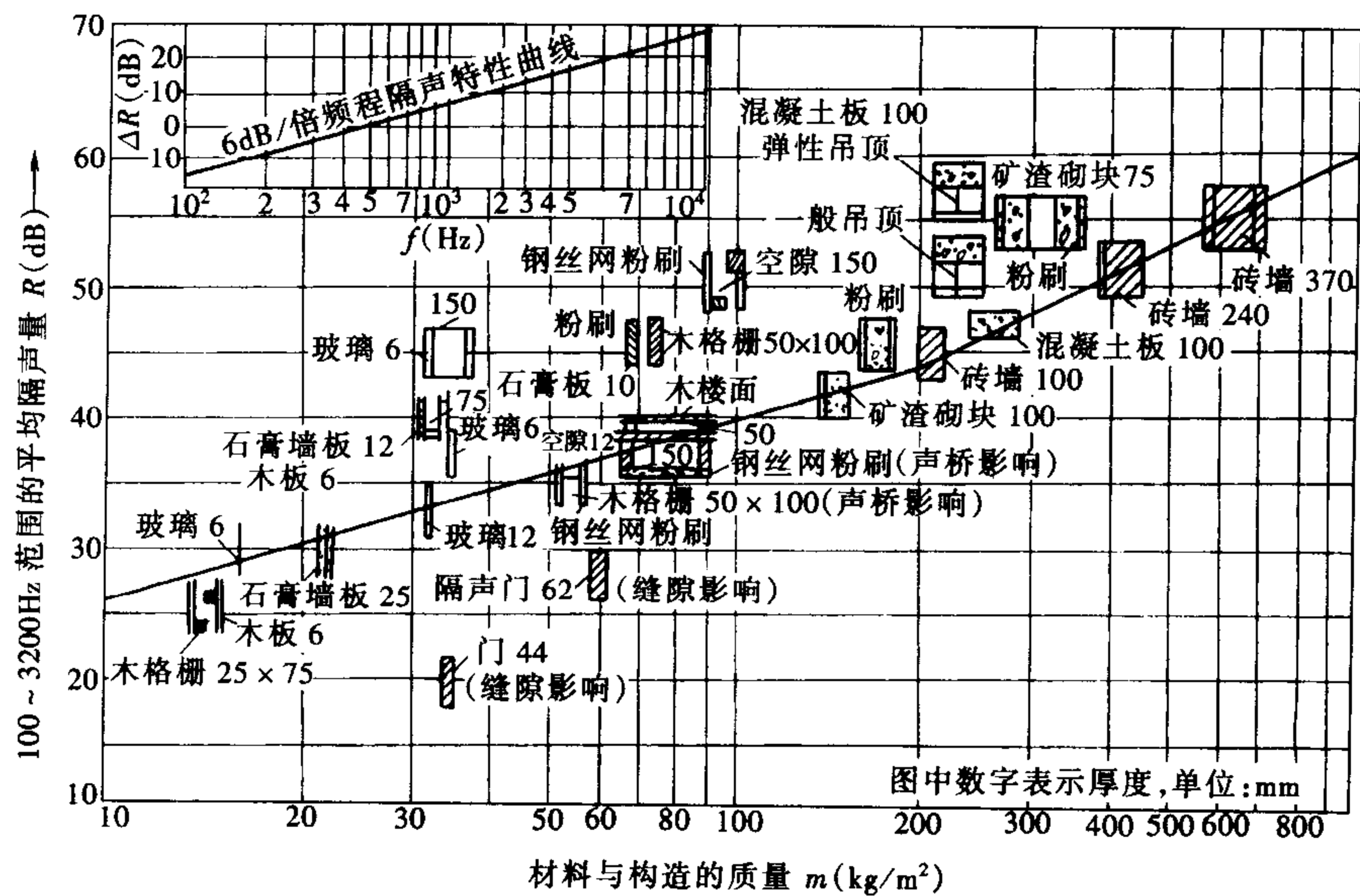


图 6-2 材料和构造的隔声量图 (1994 年版《建筑设计资料集》)

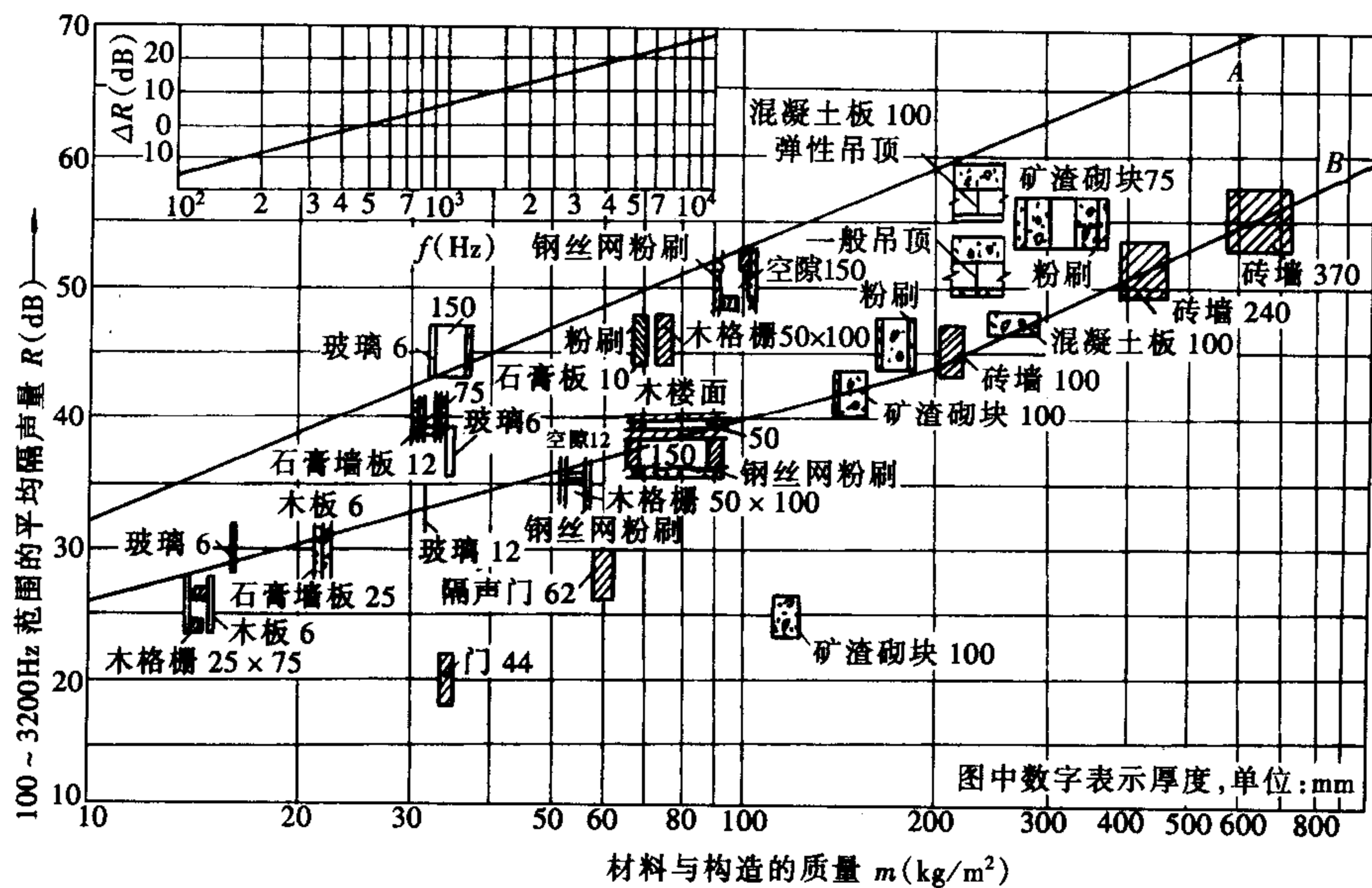


图 6-3 材料和构造的隔声量图 (1973 年版《建筑设计资料集》)

第二节 直线关系图线

无拐点的 m 、 R 关系直线图, 见图 6-5、图 6-6、图 6-7。直线呈递增倾斜状, 上升的斜率为质量 m 加倍, 平均隔声量 R 增加约 4.5~4.8dB, 而哈里斯的斜直线图 6-5 为 6dB, 是按理论公式画出的。这些图的斜直线, 不分重构件、轻构件, 斜率一样, 与实测值及计

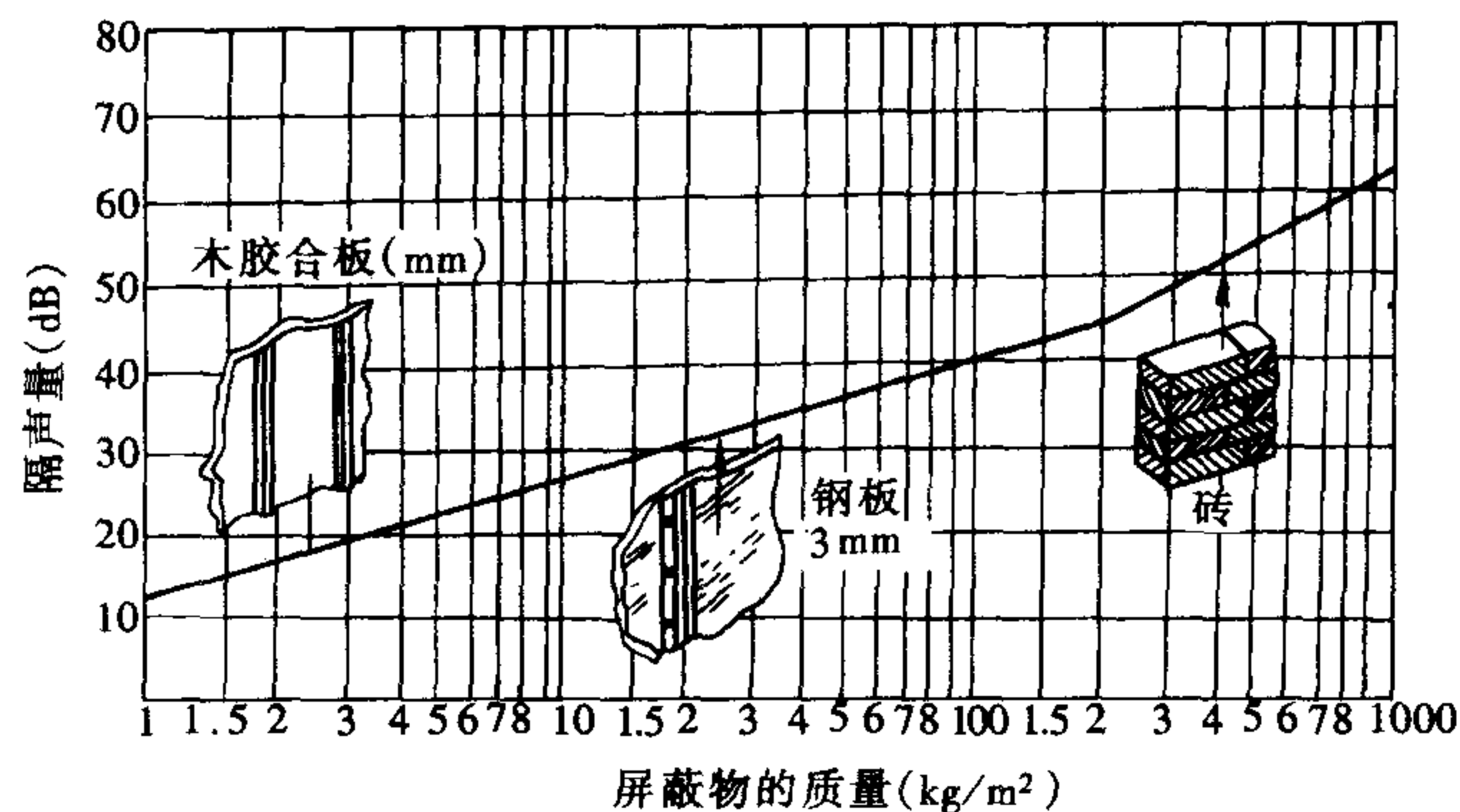


图 6-4 隔声与隔离结构重量的关系 (1961 年版《建筑物理》)

算公式相比, 在约 200kg/m^2 左右一段质量区域内, 比实测及计算值偏高, 而在离 200kg/m^2 两侧越远时, 隔声量 R 值才越接近实测值及艾尔杰里成组经验公式计算值。这些图形实际上是切掉了折线图形的谷部而将两端连成直线。

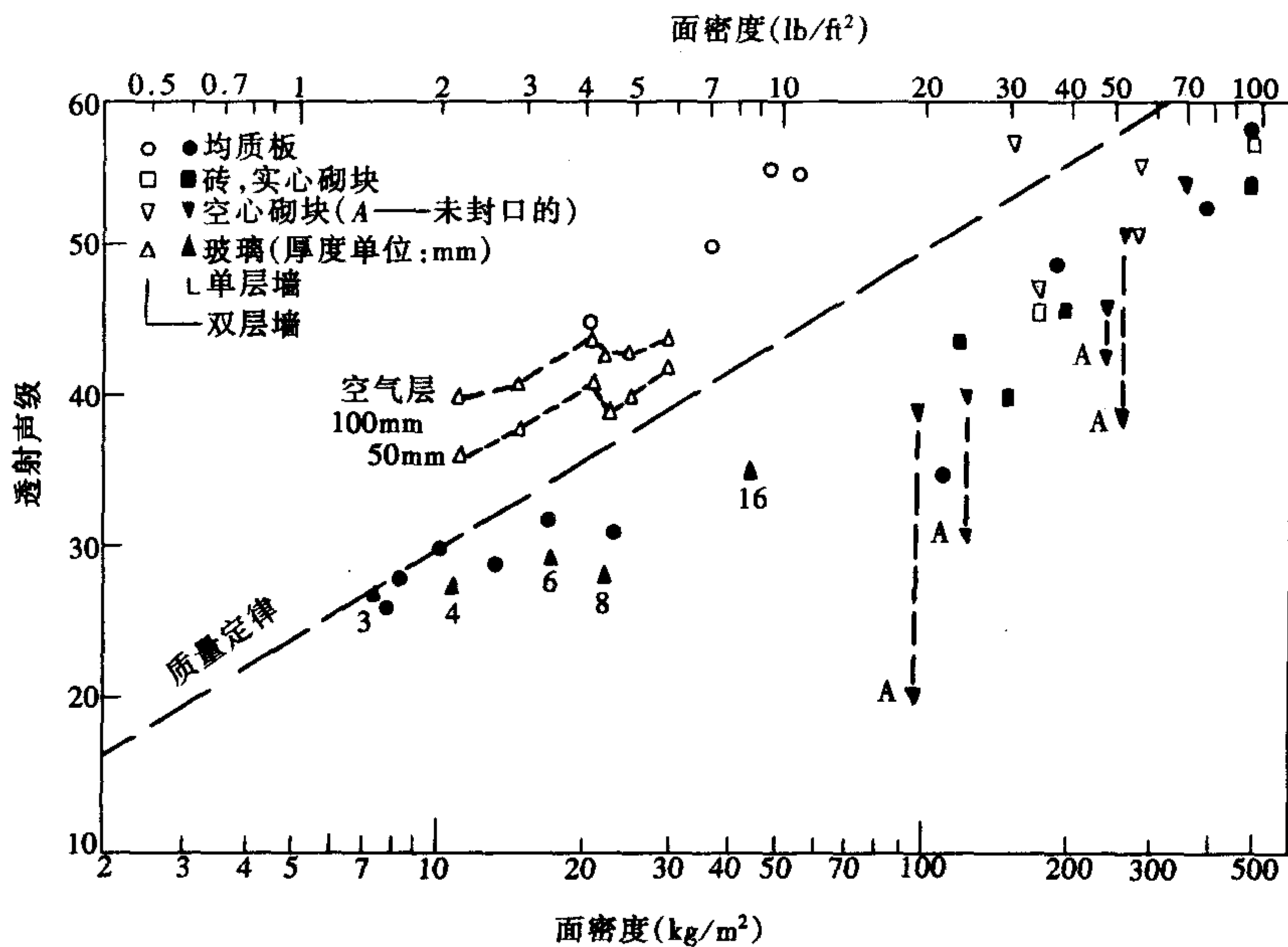


图 6-5 单层和双层墙板的透射声级与质量定律下的理想的、具有弹性的单层墙板的透射声级的比较 (哈里斯《噪声控制手册》)

第三节 弧线关系图线

构件面密度与相对应的平均隔声量的 m 、 R 弧线关系图线, 仅见于 1991 年版《建筑物理》课本一书, 弧线是一条向下弯曲的反抛物线形平滑曲线, 见图 6-8。

分析这条弧线可以看出, 实际上也可以把此弧线看成是以 30kg/m^2 弧底为拐点的左

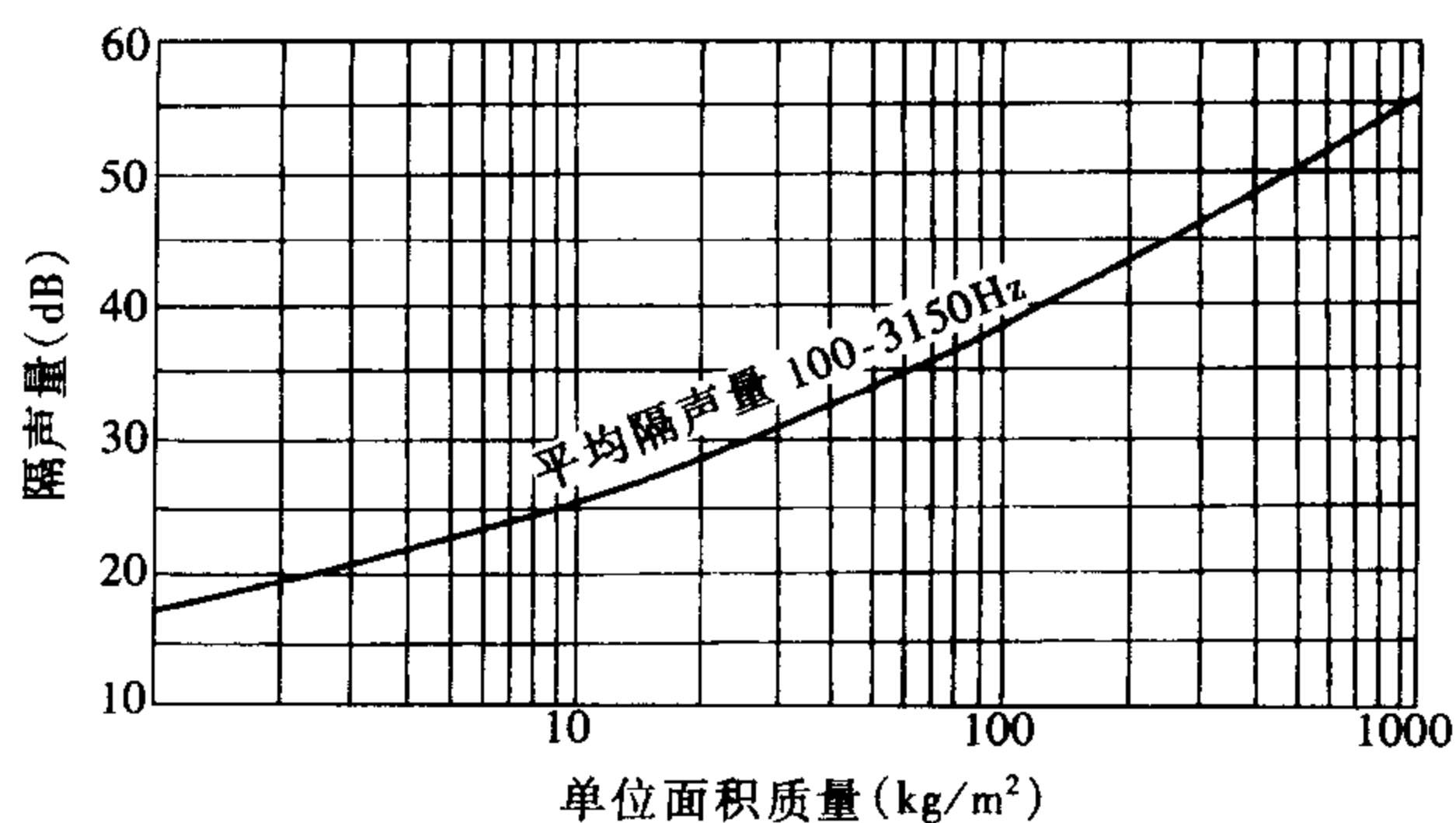


图 6-8 随单位面积质量而变的平均隔声量曲线
(1991 年版《建筑物理》)

右两段弧线，在此两侧弧线均翘起，也可以将 $m < 30\text{kg/m}^2$ 以下这一段弧线近似视为直线，则其面密度 m 加倍，隔声量 R 值上升斜率约为 2.8dB 。在面密度 $m = 30 \sim 200\text{kg/m}^2$ 这一段弧线也可以近似视为直线，则其面密度 m 加倍，隔声量 R 值上升斜率约为 4.5dB ，在面密度 m 越过 200kg/m^2 后，从图形可以看出基本是一条向上倾斜的直线，其面密度 m 加倍隔声量 R 上升斜率约为 5.5dB 。弧线所反映的一定面密度下所对应的隔声量值较低于经验公式和实测图，即较接近实测隔声量。

第四节 三种类型关系图线的综合分析

以上三种图线表达的均是单值平均隔声量。折线图在拐点 200kg/m^2 以下时，面密度加倍，隔声量上升斜率约为 4dB ，在 $m > 200\text{kg/m}^2$ 以上时为 5.5dB 和 6.9dB 两种图形。直线图 m 加倍， R 上升斜率约为 $4.5 \sim 4.8\text{dB}$ 。而弧线图在面密度较低时 m 加倍， R 上升斜率约为 $3 \sim 4\text{dB}$ ，面密度较高时为 5.5dB 。

把计算式、实测表、 m - R 关系图线图三者结合起来综合分析，可以得出基本认识：即轻薄构件面密度较低， m 加倍， R 值增加为 $2 \sim 4\text{dB}$ ；而厚重构件时面密度大， m 加倍 R 值增加为 $5 \sim 7\text{dB}$ 。而表 7-1 等的测试得出：轻薄构件如面密度 $m = 5\text{kg/m}^2$ 时，隔声量为 25dB ， 10kg/m^2 时为 29.5dB ， 20kg/m^2 时约为 34dB ，即面密度提高一倍，隔声量增高约 4dB ；重构件如 12cm 厚砖墙双面抹灰隔声量为 45dB ， 24cm 厚时为 53dB ， 49cm 厚时为 61dB ，即面密度提高一倍，隔声量增高约 8dB 。弧线图所表示的隔声量 R 值，在 $m < 200\text{kg/m}^2$ 时，与式 (5-30)、式 (5-31) 较相符，但在 $m > 200\text{kg/m}^2$ 时，上升斜率及计算值均低于公式和实测值。直线图所表示的隔声量是在 $m = 200\text{kg/m}^2$ 左右一段偏高于实测和公式计算值，而在离 $m = 200\text{kg/m}^2$ 左右越远越接近实测和式 (5-11)、式 (5-16) 计算值。而折线图是基本与实测和公式相吻合，应是最有实用价值的。应该说三种图线都有参考价值，但折线图更为确切。

现在，我们回过头来再来看，在成组的经验计算式中，如 $R = 13.5\lg m + 13$ ，有的书中说此式适用于 $m < 200\text{kg/m}^2$ ，有的书中说此式适用于 $m < 100\text{kg/m}^2$ ，从上述分析可知， 200kg/m^2 应是确切的。

第七章 实测图表判断隔声量

第一节 概 述

各类声学书籍、文献几乎都附录了各种不同类型建筑围护构件的空气声隔声量实测数据，这里我们以《建筑声学设计手册》中的实测图表为主，并汇集其他声学书籍中的大量实测图表，引用、介绍给建筑师们，供隔声设计中使用、参考。

但这里要指出的是，下述图表测量值，大部分是在比较理想的隔声实验室中测定的，现场测定的很少，所以其值比现场实际情况的隔声量偏高，一般重构件实验室数据较现场高约 2dB，轻构件高约 3~5dB。现场情况千差万别，与实验室条件不完全相同，而试件材料的构成与施工情况也千差万别，所以测量的隔声量数据 R 有偏差是在所难免的。以下引用的表 7-1 来自《建筑声学设计手册》，其中“注”中带有※者为现场测量数据，建筑师们从下表中可以看出，带※的是很少的，图中带有●者为清华大学测定，带有▲者为同济大学测定，其余为中国建筑科学研究院的测定数据。

第二节 构件隔声量实测图表

常用墙板隔声量图表 (1987 年版《建筑声学设计手册》)

表 7-1

墙 (板) 名称	序 号	墙 (板) 名称	序 号
金属板	1~9	石膏板双层墙 (轻钢龙骨与板之间有减振钢条)	120~122
金属板叠合	10~15	石膏板双层墙 (双排轻钢龙骨)	123~124
金属板加阻尼层	16~23	石膏板双层墙 (石膏龙骨)	125~127
金属板加阻尼约束层	24~28	石膏板双层墙空气层厚度变化	128~144
金属板加超细玻璃棉	29~33	石膏复合板及开口盒子板双层墙	145~160
金属阻尼板加超细玻璃棉	34~36	水泥刨花板双层墙 (轻钢龙骨)	161~165
木质纤维机制板	37~42	水泥刨花板双层墙 (轻钢龙骨两侧衬 13 厚纤维板)	166~169
石膏板	43~44	水泥刨花板双层墙 (轻钢龙骨两侧 3.5 厚硬质纤维板条)	170~173
石膏板叠合	45	水泥刨花板双层墙 (轻钢龙骨两侧衬 13 厚软质纤维板)	174~177
硅酸钙板	46~49	抹灰双层墙	178~182
塑料板	50	珍珠岩板双层墙	183~186
木质纤维机制板加超细棉	51~53	碳化石灰板双层墙	187~191
蜂窝板	54~58	菱苦土板双层墙	192~193
圆孔板墙	59~66	加气混凝土双层墙 (两面抹灰)	194
加气混凝土墙	67~72	加气混凝土双层墙 (空气层厚度变化)	195~201
硅酸盐墙	73~76	加气混凝土和木质纤维机制板双层墙	202、203
空心砖墙	77~78	加气混凝土双层墙 (两墙间有不同程度的钢性连接)	204~211
砖墙	79~86	双层砖墙	212~221
其他种类墙	87~92	其他双层墙	222~223
双层金属板 (槽钢龙骨)	93~100		
双层金属阻尼板 (槽钢龙骨)	101~102		
双层木质纤维机制板 (木龙骨)	103~107		
双层纸蜂窝板	108~109		
石膏板双层墙 (木龙骨)	110~114		
石膏板双层墙 (轻钢龙骨)	115~119		

续表

墙(板)名称	序 号	墙(板)名称	序 号
双层金属板(腔内填吸声材料)	224 ~ 256	石膏盒子板双层墙	313 ~ 316
三层金属板(腔内填吸声材料)	257	双层水泥刨花板(轻钢龙骨)	317 ~ 319
钢板-其他板双层结构(腔内填吸声材料)	258 ~ 288	双层水泥刨花板(轻钢龙骨两侧衬 13 厚软质纤维板, 腔内填吸声材料)	320 ~ 323
双层纸蜂窝板(腔内填吸声材料)	289	双层水泥刨花板(轻钢龙骨两侧衬 13 厚软质纤维板条、腔内放沥青矿棉板)	324 ~ 326
双层木质纤维机制板(腔内填吸声材料)	290 ~ 299	其他轻质双层墙(腔内填吸声材料)	327 ~ 331
双层石膏板(木龙骨、腔内填吸声材料)	300 ~ 304	重双层墙	332 ~ 335
双层石膏板(轻钢龙骨、腔内填吸声材料)	305 ~ 309	多层墙	336 ~ 338
双层石膏板(分立轻钢龙骨、腔内填吸声材料)	310 ~ 311		
双层石膏板(分立石膏龙骨、腔内填 30 超细棉)	312		

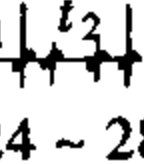
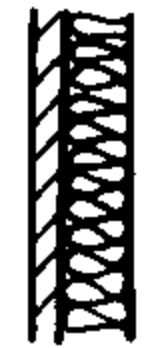
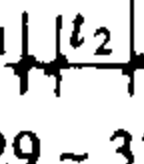
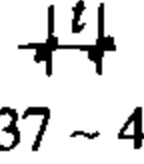
常用墙板隔声量图表

一、单层板

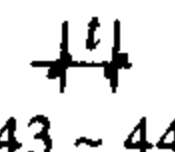
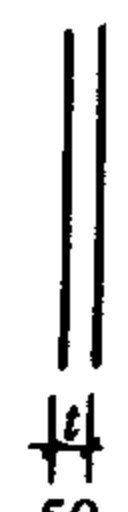
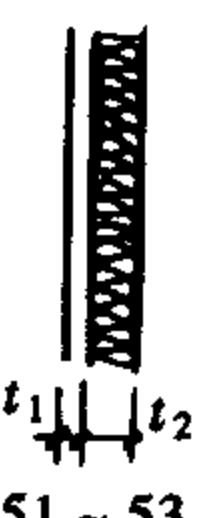
续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)								注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a	
金属板	1	铝板 $t=1$	2.6	13	12	17	23	29	33	21	22	
	2	铝板 $t=2$	5.2	17	18	23	28	32	35	25	27	
	3	镀锌薄钢板 $t=1$	7.8		20	26	30	36	43	29	30	
	4	钢板 $t=1$	7.8	19	20	26	31	37	39	28	31	
	5	钢板 $t=1.5$	11.7	21	22	27	32	39	43	30	32	
	6	钢板 $t=2$	15.6		26	29	34	42	45	34	35	
	7	钢板 $t=2.5$	19.5	29	31	32	35	41	43	34	35	
	8	钢板 $t=3$	23.4	28	31	32	35	42	45	33	35	
	9	钢板 $t=4$	31.2	31	34	36	37	41	43	35	37	
金属板叠合	10	镀锌薄钢板 $t_1=0.35$; 铝板 $t_2=1$	5.0	17	17	21	25	27	36	23	25	
	11	钢板 $t_1=0.5$, $t_2=1$	11.4	20	22	26	29	37	45	29	30	
	12	钢板 $t_1=1$, $t_2=1.2$	17.2		30	26	31	41	49	33	31	
	13	钢板 $t_1=0.75$, $t_2=1.5$	17.5	21	24	23	31	42	53	31	31	
	14	钢板 $t_1=1.5$, $t_2=1.2$, $t_3=1$	28.7	35	34	28	34	46	52	36	37	
	15	钢板 $t_1=1$, $t_3=1.2$; 纤维板: $t_2=5$	22.3	31	32	27	33	48	54	36	33	
金属板加阻尼层	16	铝板 $t_1=1$, 象牌石棉漆 $t_2=2 \sim 3$	3.4	16	15	19	26	32	37	23	25	
	17	镀锌薄钢板 $t_1=1$, 蛭石阻尼胶 $t_2=2 \sim 3$	9.6	28	23	27	33	38	44	32	33	
	18	钢板 $t_1=1$, 象牌石棉漆 $t_2=2 \sim 3$	9.6	21	22	27	32	39	45	30	32	
	19	钢板 $t_1=1$, 7631 号阻尼漆 $t_2=3.9\text{kg/m}^2$	11.7	29	27	28	31	40	44	32	33	
	20	钢板 $t_1=1$, 沥青 $t_2=3.9\text{kg/m}^2$	11.7	29	27	30	31	38	45	32	34	
	21	钢板 $t_1=1$, 铁塔牌建筑油膏 $t_2=3.9\text{kg/m}^2$	11.7	28	27	29	31	38	43	31	33	
	22	钢板 $t_1=1$, 沥青 $t_2=7.8\text{kg/m}^2$	15.4	32	32	32	34	41	47	35	36	
	23	钢板 $t_1=2$, 沥青 $t_2=4$	19.9	31	33	34	38	45	47	37	40	

续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a		
金属板加阻尼约束层	24	铝板 $t_1 = 1$, 象牌石棉漆 $t_2 = 2 \sim 3$, 镀锌薄钢板 $t_3 = 0.35$	5.8	19	21	24	30	38	42	28	30		
	25	 铝板 $t_1 = 1.5$, $t_3 = 1$, 阻尼胶 $t_2 = 2$	11.2	24	26	31	37	41	50	34	37		
	26	钢板 $t_1 = 1$, $t_3 = 0.5$; 象牌石棉漆 $t_2 = 2 \sim 3$	13.2	22	24	28	35	44	49	33	34		
	27	 钢板 $t_1 = 1$, 铅皮 $t_3 = 1$, 用 XY401 胶水粘贴	19.4	33	32	35	38	45	49	38	39		
	28	钢板 $t_1 = 1$, 橡皮 $t_3 = 5$, 用 XY401 胶水粘贴	15.4	32	31	34	34	41	47	36	36		
金属板加超细玻璃棉	29	 钢板 $t_1 = 1.5$, 超细棉 $t_2 = 80$	15.5	29	35	45	54	61	61	47	47		
	30	钢板 $t_1 = 2$, 超细棉 $t_2 = 80$	19.1	32	33	43	52	60	64	46	46		
	31	钢板 $t_1 = 2.5$, 超细棉 $t_2 = 80$	22.2	29	38	46	54	61	62	47	49		
	32	 钢板 $t_1 = 3$, 超细棉 $t_2 = 80$	27.1	29	40	44	54	60	57	47	48		
	33	钢板 $t_1 = 4$, 超细棉 $t_2 = 80$	34.7	28	39	46	53	60	56	46	49		
金属阻尼板加超细玻璃棉	34	 钢板 $t_1 = 1$, 沥青 $t_2 = 3.9\text{kg/m}^2$, 超细棉 $t_3 = 80$	19.2	31	35	42	53	62	67	47	47		
	35	钢板 $t_1 = 1$, 沥青 $t_2 = 4$, 玻璃棉 $t_3 = 50$ (外罩 1.5 厚穿孔钢板, 穿孔率 $P = 25\%$)	32.6	31	33	41	52	62	61	45	45		
	36	 铝板 $t_1 = 1.5$, 阻尼胶 $t_2 = 2$, 铝板 $t_3 = 1$, 超细棉 $t_4 = 40$	12.9	32	35	43	49	54	58	44	45		
木质纤维机制板	37	三合板 $t = 5$	2.6	12	17	19	22	27	22	20	23		
	38	五合板 $t = 5$	3.4	16	17	19	23	26	23	21	22		
	39	 草纸板 $t = 18$	4.0	14	18	23	27	33	35	25	27		
	40	纤维板 $t = 5$	5.1	21	21	23	27	33	36	26	28		
	41	 刨花板 $t = 20$	13.8	22	25	28	34	29	34	29	31		
	42	水泥刨花板 $t = 10$	12	19	21	27	34	33	32	28	29		

续表

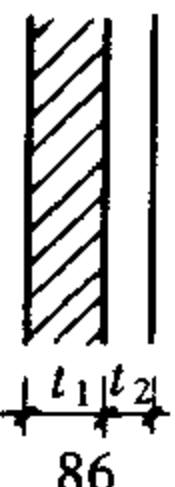
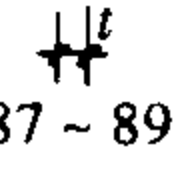
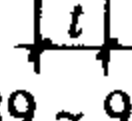
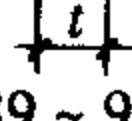
类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_0		
石膏板	43	 纸面石膏板 $t = 12$	8.8	14	21	26	31	30	30	25	28		
	44	 无纸石膏板 $t = 20$ 43 ~ 44	24	29	27	30	32	30	40	31	31		
石膏板叠合	45	 纸面石膏板 $t_1 = 9, t_2 = 12$ 45	15.4	21	22	24	32	35	35	29	31		
硅酸钙板	46	 云母硅酸钙板 $t = 19$, Ω 接头, 无油灰嵌缝	15 ~ 19	17	22	25	26	25	33	24	26	▲	
	47	双面贴塑云母硅酸钙板 $t = 22$, Ω 接头, 无油灰嵌缝	16 ~ 19	17	23	26	29	32	37	27	29	▲	
	48	石棉硅酸钙板 $t = 19$, 平板条插片接头	11.4	16	23	24	28	25	33	24	27	▲	
	49	石棉硅酸钙板 $t = 22$, Ω 接头	15.4	20	24	25	27	30	36	27	29	▲	
塑料板	50	 聚氯乙烯塑料板 $t = 5$ 50	7.6	17	21	24	29	36	38	27	29		
木质纤维机制板加超细棉	51	 三合板 $t_1 = 5$, 超细棉 $t_2 = 80$	6.0	19	24	30	44	54	54	36	35		
	52	纤维板 $t_1 = 5$, 超细棉 $t_2 = 80$	8.6	24	26	34	48	59	62	41	39		
	53	刨花板 $t_1 = 20$, 超细棉 $t_2 = 80$ 51 ~ 53	18.1	24	35	40	50	57	60	44	43		
蜂窝板	54	 五合板纸蜂窝板 $t = 30$	8.7	18	19	22	29	34	32	25	29		
	55	五合板纸蜂窝板 $t = 50$	10.8	18	20	30	35	40	38	30	32		
	56	水泥石棉板纸蜂窝板 $t = 50$	23	20	27	33	37	37	37	32	35		
	57	石膏板纸蜂窝板 $t = 100$	30	18	23	23	23	33	35	26	28		
	58	石膏板纸蜂窝板 $t = 100$, 单侧加 12 纸面石膏板 54 ~ 58	39	27	25	25	29	33	36	28	29	※	

续表

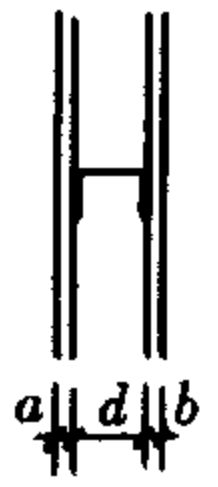
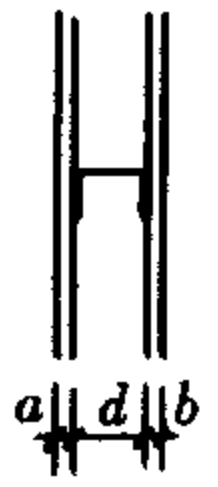
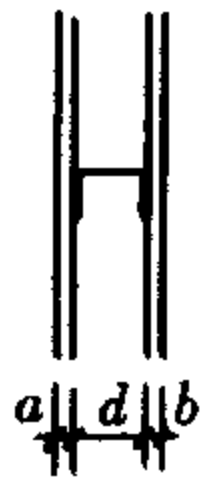
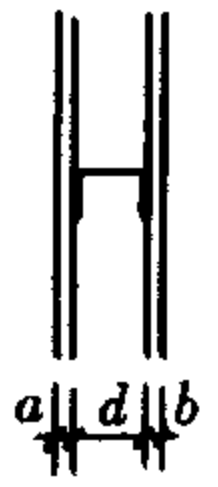
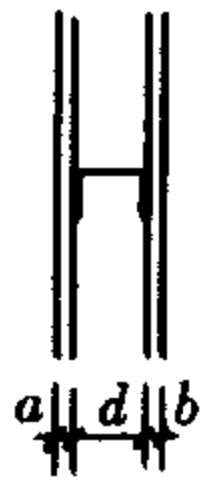
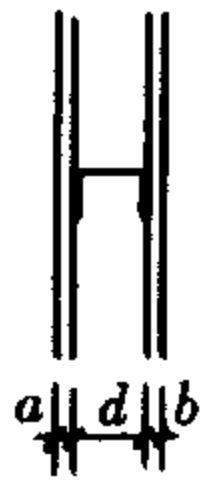
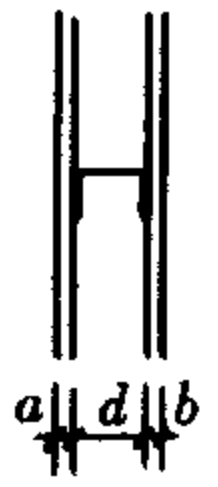
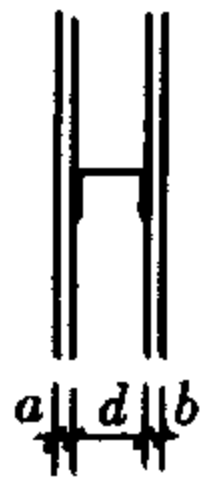
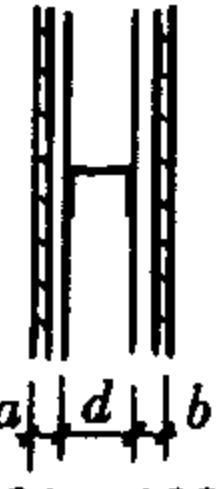
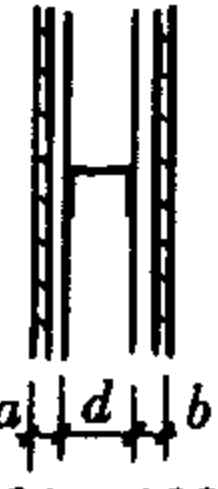
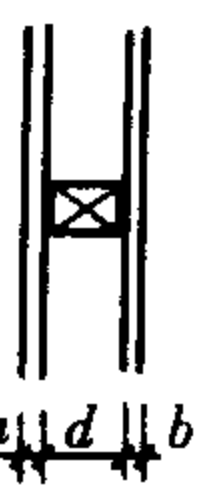
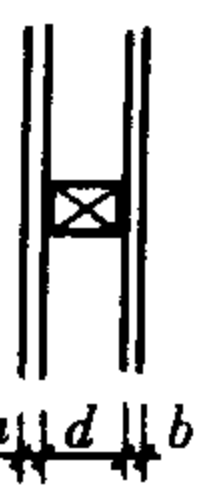
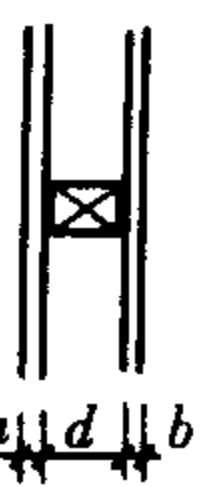
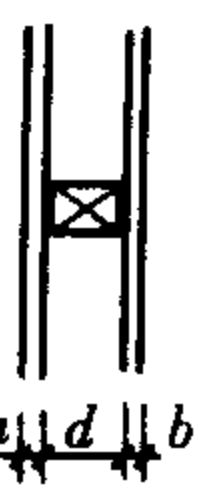
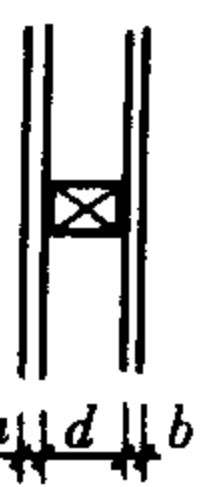
二、单层墙

类别	序号	名称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)								注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a	
圆孔板墙	59	石膏圆孔板墙 $t = 60$		26	31	30	29	36	40	31	32	
	60	珍珠岩圆孔板墙 $t = 60$	38	25	25	26	31	40	44	32	31	●
	61	炭化石灰圆孔板墙 $t = 90$	65	31	33	31	31	38	43	34	33	
	62	炭化石灰 (加纤维) 圆孔板墙 $t = 90$, 两面粉刷	67	37	35	35	35	33	46	37	36	
	63	炭化石灰圆孔板墙 $t = 120$	80	29	30	32	37	42	49	36	37	
	64	炭化石灰圆孔板墙 $t = 90$, 两面各贴 15 厚石膏板	113	29	30	33	40	45	42	36	40	●
	65	菱苦土圆孔板墙 $t = 80$	50	30	28	27	33	41	45	33	33	●
	66	菱苦土圆孔板墙 $t = 120$, 双面抹 15 厚水泥砂浆	90	30	31	32	33	43	48	35	36	●
加气混凝土墙	67	加气砌块墙 $t = 75$ (抹灰)	70	30	30	30	40	50	56	39	38	
	68	加气条板墙 $t = 100$ (喷浆)	80	33	32	32	40	48	60	39	39	
	69	加气砌块墙 $t = 150$ (抹灰)	140	29	36	39	46	54	55	43	44	
	70	加气条板墙 $t = 200$ (喷浆)	160	31	37	41	45	51	55	43	46	
	71	粉煤灰加气块墙 $t = 120$ (抹灰)	—	29	33	36	40	47	52	39	40	
	72	粉煤灰加气块墙 $t = 240$ (抹灰)	—	35	39	42	52	52	53	45	47	
硅酸盐墙	73	硅酸盐条板墙 $t = 140$ (喷浆)	220	34	37	38	45	46	56	42	44	
	74	硅酸盐砌块墙 $t = 200$ (抹灰)	450	35	41	49	51	58	60	49	52	
	75	硅酸盐砌块墙 $t = 240$ (粉刷)	436	41	40	49	52	59	61	49	52	
	76	硅酸盐砌块墙 $t = 240^{\circ}$ (粉刷)	450	35	41	49	51	58	60	49	52	
空心砖墙	77	矿渣三孔空心砖墙 $t = 100$, (抹灰 40)	120	30	35	36	43	53	51	40	43	
	78	矿渣三孔空心砖墙 $t = 210$, (抹灰 20)	210	33	38	41	46	53	52	43	46	
砖墙	79	砖墙 $t = 60$ (煤屑粉刷)	160	26	30	30	34	41	40	32	35	
	80	砖墙 $t = 120$ (抹灰)	240	37	34	41	48	55	53	45	47	
	81	砖墙 $t = 240$ (抹灰)	480	42	43	49	57	64	62	53	55	
	82	砖墙 $t = 370$ (抹灰)	700	40	48	52	60	63	60	53	57	
	83	砖墙 $t = 490$ (抹灰)	833	45	58	61	65	66	68	61	62	
	84	砖墙 $t = 120$, 砖上穿 36 个孔 (抹灰)	180	31	40	39	47	52	55	43	46	
	85	空斗砖墙 $t = 240$ (粉刷)	298	21	22	31	33	42	46	31	33	

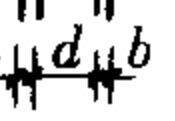
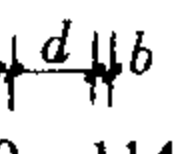
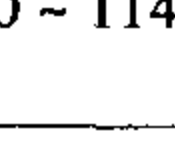
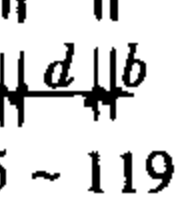
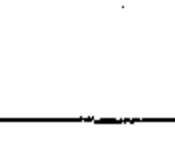
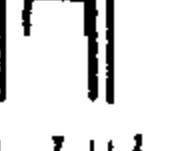
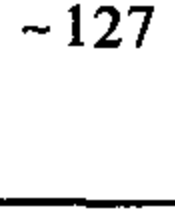
续表

类别	序号	名称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)								$\bar{R}$	I_a	注
				125	250	500	1000	2000	4000					
其他种类墙	86	 砖墙 $t_1 = 240$, 加空腔共振吸声砖墙 $t_2 = 110$ (每平方米穿 $\phi 15$ 孔 75 个)	580	28	44	57	62	63	70	54	54			
	87	 铅丝网抹灰墙 $t = 12 \sim 15$	48	26	27	34	37	37	43	33	36			
	88	 陶粒无砂水泥板墙 $t = 40$	24	31	32	30	34	45	48	35	35			●
	89	 矿渣珍珠岩吸声砖墙 $t = 115$	100	18	22	27	33	41	44	31	33			
	90	 陶粒混凝土板墙 $t = 140$	238	32	31	40	43	49	56	42	42			
	91	 石膏矿渣砌块墙 $t = 100$ (粉刷)	217	18	23	29	40	45	44	31	33			
	92	 振动砖墙 $t = 150$ (喷浆)	300	36	40	41	47	45	48	43	45			

三、中空式双层板 (墙)

双层金属板 (槽钢龙骨)	93	 $a = b = 1$ 铝板, $d = 70$	5.2	17	12	22	31	48	53	30	26			
	94	 $a = b = 2$ 铝板, $d = 70$	10.4	9	21	30	37	46	49	31	32			
	95	 $a = b = 0.8$ 复塑钢板, $d = 140$	13	19	30	36	48	56	64	41	39			
	96	 $a = b = 1$ 钢板, $d = 80$	15.3	25	29	39	45	54	56	40	41			
	97	 $a = b = 1.5$ 钢板, $d = 80$	23.4	26	36	44	50	58	61	46	46			
	98	 $a = b = 2.5$ 钢板, $d = 80$	37.4	36	37	45	51	59	59	46	48			
	99	 $a = b = 3$ 钢板, $d = 80$	46.8	32	38	42	50	58	44	44	45			
双层金属阻尼板 (槽钢龙骨)	100	 $a = b = 4$ 钢板, $d = 80$	62.4	34	40	44	51	57	45	46	48			
	101	 $a = b = 1$ 铝板涂 3 厚石棉漆, $d = 70$	6.8	16	21	26	36	55	61	35	32			
双层木质纤维机制板 (木龙骨)	102	 $a = b = 1$ 钢板涂防油膏 (3.9kg/m^2), $d = 80$	23.3	29	34	45	50	59	65	45	46			
	103	 $a = b = 5$ 三合板, $d = 80$	5.2	16	18	28	34	40	33	28	30			
	104	 $a = b = 5$ 纤维板, $d = 80$	10.2	25	25	37	44	53	59	39	38			
	105	 $a = b = 20$ 刨花板, $d = 80$	27.6	37	34	42	47	47	58	44	45			
	106	 $a = b = 25$ 木丝板, $d = 100$ (肋间距 450 粉刷)	77	20	24	35	47	50	46	36	37			
	107	 $a = b = 18$ 贴塑刨花板, $d = 200$ (钢木龙骨)	27	28	31	37	40	41	50	36	39			

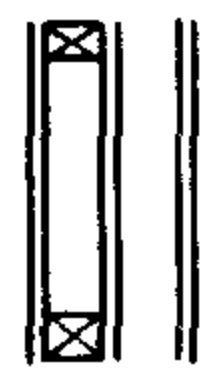
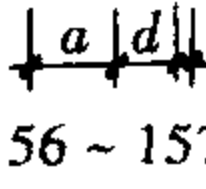
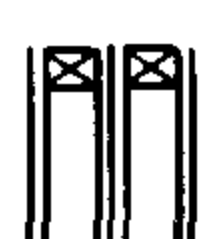
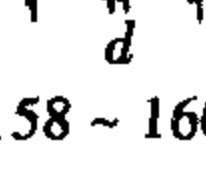
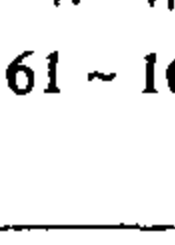
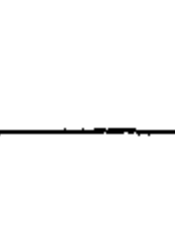
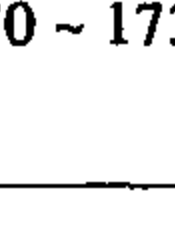
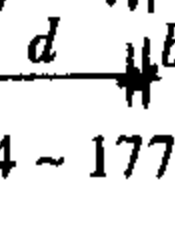
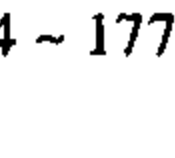
续表

类别	序号	名称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)								注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a	
双层纸蜂窝板	108	 $a = b = 5$ 水泥石棉板蜂窝板, $d = 200$	46	36	44	59	57	60	61	51	55	
	109	 108 ~ 109 $a = 3, b = 5$ 五合板纸蜂窝板 $d = 56$	19.5	21	27	35	40	46	53	36	39	
石膏板双层墙 (木龙骨)	110	 $a = b = 12$ 纸面石膏板, $d = 80$	25	27	29	35	43	42	44	36	38	
	111	 $a = b = 12$ 纸面石膏板, $d = 140$	25	25	38	43	54	58	48	44	46	
	112	 $a = b = 12 + 9$ 纸面石膏板 $d = 80$	40	34	34	41	48	56	54	44	45	
	113	 $a = b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 80$	45	35	35	43	51	58	51	44	46	
	114	 110 ~ 114 $a = 12$ 厚纸面石膏板, $b = 2 \times 12$ 厚纸面石膏板, $d = 80$	35	31	32	40	49	55	47	41	43	
石膏板双层墙 (轻龙骨)	115	 $a = b = 12$ 厚纸面石膏板, $d = 75$	21	16	32	39	44	45	<u>36</u>	35	37	●
	116	 $a = 12$ 厚纸面石膏板, $b = 2 \times 12$ 厚纸面石膏板, $d = 75$	31	21	35	44	49	55	<u>42</u>	41	43	●
	117	 $a = b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 75$	42	28	42	47	52	60	<u>47</u>	45	49	●
	118	 $a = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $b = 25$ 纸面石膏板, $d = 75$	42	32	43	52	56	55	<u>52</u>	47	51	●
	119	 115 ~ 119 $a = b = 15$ 纸面石膏板, $d = 95$	26	29	40	49	54	50	<u>54</u>	45	49	●
同(龙骨与板间有减振钢条)	120	 $a = b = 12$ 纸面石膏板, $d = 95$	21	21	31	42	50	49	<u>37</u>	38	40	●
	121	 $a = 12$ 纸面石膏板, $b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 95$	31	28	36	44	51	54	<u>42</u>	42	45	●
	122	 120 ~ 122 $a = b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 95$	42	31	40	47	54	57	<u>46</u>	45	49	●
同上 (双排轻钢龙骨)	123	 $a = 12$ 纸面石膏板, $b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 95$	33	29	39	46	50	54	<u>39</u>	43	44	
	124	 123 ~ 124 $a = b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 95$	43	35	45	50	56	60	<u>47</u>	48	51	
同上 (石膏龙骨)	125	 $a = b = 12$ 纸面石膏板 $d = 112$	28.6	23	33	41	51	58	<u>46</u>	42	45	●
	126	 $a = 12$ 纸面石膏板 $b = 12 + 14$ 纸面石膏板 $d = 12$	38.6	26	37	45	54	61	<u>52</u>	47	50	●
	127	 125 ~ 127 $a = b = 12 + 14$ 纸面石膏板 $d = 112$	48.6	31	43	49	55	62	<u>56</u>	49	53	●

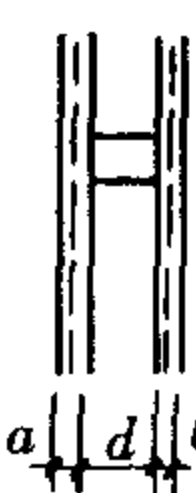
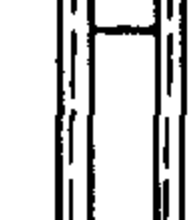
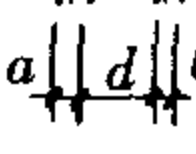
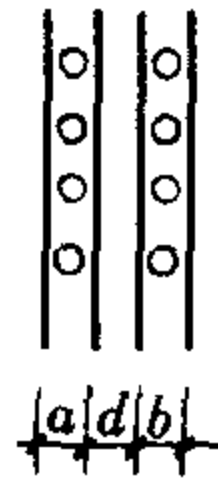
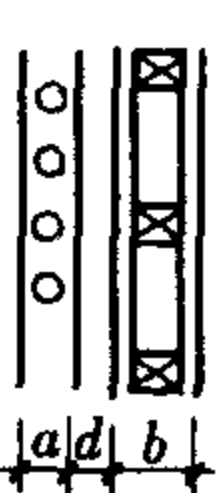
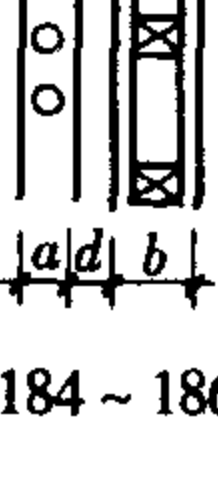
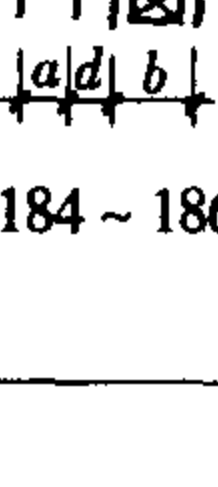
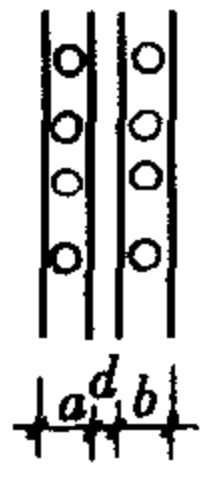
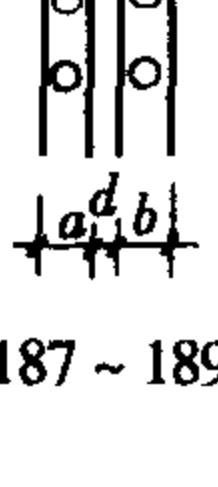
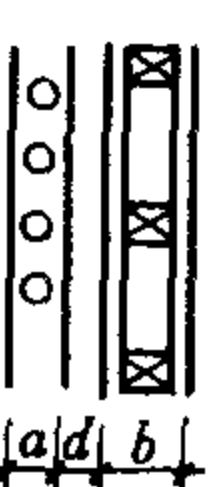
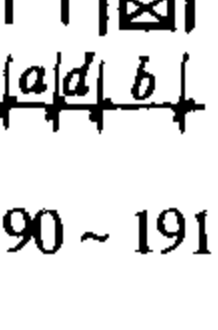
续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a		
同上 (空气层厚度变化)	128	不同空气层厚度的纸面石膏板双层墙 (龙骨分离) $a = 12$ 纸面石膏板, $b = 12 + 9$ 纸面石膏板											
	129	空气层厚度 $d = 12$	15.4	24	25	31	43	45	57	36	36		
	130	$d = 22$	15.4	21	25	33	43	50	56	37	37		
	131	$d = 35$	15.4	21	25	35	44	51	57	38	37		
	132	$d = 60$	15.4	22	28	38	48	53	51	40	40		
	133	$d = 70$	15.4	23	29	38	48	54	50	40	41		
	134	$d = 80$	15.4	23	29	39	49	56	50	41	41		
	135	$d = 100$	15.4	24	30	40	52	55	52	41	42		
	136	$d = 150$	15.4	27	34	42	52	56	52	43	45		
同上 (空气层厚度变化)	137	空气层厚度 $d = 300$	15.4	26	37	46	53	56	52	44	47		
	不同空气层厚度的无纸石膏板双层墙 $a = b = 20$ 无纸石膏板												
	138	空气层厚度 $d = 35$	48	24	29	40	44	50	58	40	41		
	139	$d = 50$	48	26	30	42	45	51	57	40	42		
	140	$d = 75$	48	27	32	42	47	50	57	41	44		
	141	$d = 100$	48	29	34	44	47	50	57	42	46		
	142	$d = 150$	48	32	39	48	49	48	62	45	48		
	143	$d = 200$	48	32	41	49	49	47	62	46	48		
	144	$d = 400$	48	31	45	48	49	48	63	47	48		
石膏复合板及开口盒子板双层墙	145	本栏中复合板和开口盒子板的面板均为 12 厚纸面石膏板 复合板 $t = 50$		22	19	36	40	43	37	32	34	●	
	146	复合板 $t = 99$		20	24	28	33	31	33	28	32	※	
	147	复合板 $t = 104$		34	32	33	41	44	42	36	37		
	148	$a = b = 50$ 复合板, $d = 50$		25	30	49	54	59	56	45	45	●	
	149	$a = 50$ 复合板, $b = 92$ 复合板, $d = 12$		17	35	46	49	56	56	42	41	●	
	150	$a = 50$ 复合板, $b = 92$ 复合板, $d = 60$		23	36	51	56	62	59	47	43	●	
	151	$a = b = 92$ 开口盒, $d = 12$	30.5	27	36	46	51	57	51	44	46	●	
	152	$a = b = 92$ 开口盒, 单面加钉 15 石膏板 $d = 12$	40.4	31	39	48	53	61	56	47	51	●	
	153	$a = b = 92$ 开口盒, 单面加粘 15 石膏板 $d = 12$	40.4	31	41	48	54	60	56	48	52	●	
	154	$a = b = 92$ 开口盒, 两面各钉 15 石膏板, $d = 12$	50.3	33	43	50	57	66	61	51	54	●	
	155	$a = b = 92$ 开口盒, 两面各粘 15 石膏板 $d = 12$	50.3	35	45	51	56	65	61	52	55	●	

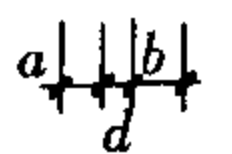
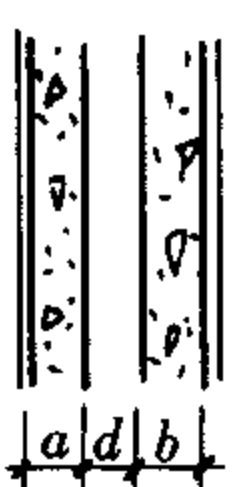
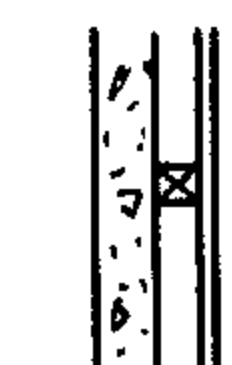
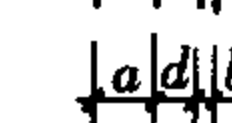
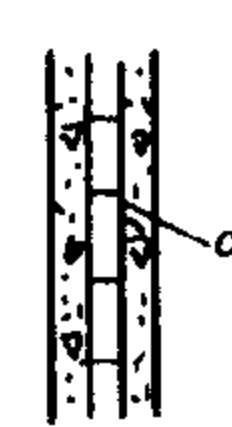
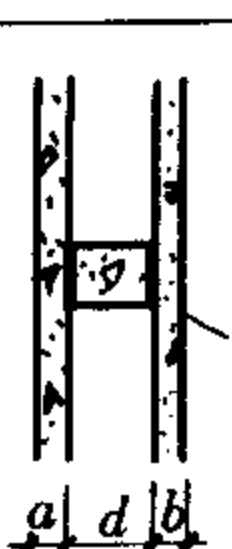
续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a		
石膏复合板及开口盒子板双层墙	156	 $a = 99$ 复合板, $b = 12$ 纸面石膏板, $d = 75$	—	25	23	28	24	31	25	28	29	※	
	157	 $a = 134$ 复合板 $b = 12$ 纸面石膏板, $d = 80$	—	39	36	42	50	54	45	44	46	※	
	158	 $a = 50$ 复合板, $b = 92$, 开口盒加钉 15 石膏板, $d = 12$	50.3	24	36	49	58	56	45	45	48	●	
	159	 $a = 50$ 复合板, $b = 92$, 开口盒加粘 15 石膏板, $d = 12$	50.3	28	37	50	55	61	57	47	51	●	
	160	 $a = 50$ 复合板, $b = 92$, 开口盒, $d = 12$	40.4	26	33	46	53	59	53	44	46	●	
水泥刨花板(轻钢龙骨)双层墙	161	 $a = b = 10$, $d = 70$	24	26	37	45	52	49	48	42	43	▲	
	162	 $a = 10$, $b = 2 \times 10$, $d = 70$	36	33	42	48	57	55	55	47	51	▲	
	163	 $a = 2 \times 10$, $b = 2 \times 10$, $d = 70$	48	37	43	47	57	59	61	50	53	▲	
	164	 $a = b = 12$, $d = 75$	32	12	34	44	52	50	43	40	42	●	
	165	 $a = 12$, $b = 14$, $d = 75$	34	19	37	45	52	49	45	40	44	●	
同上	166	 两侧衬 13 厚软质纤维板条 $a = b = 10$ (单侧衬条), $d = 83$	24	29	36	45	55	55	54	45	47	▲	
	167	 $a = b = 10$, $d = 96$	24	30	40	48	57	58	59	48	50	▲	
	168	 $a = 10$, $b = 2 \times 10$, $d = 96$	36	34	43	48	58	61	62	50	52	▲	
	169	 $a = 2 \times 10$, $b = 2 \times 10$, $d = 96$	48	34	47	48	59	62	63	51	53	▲	
水泥刨花板双层墙(轻钢龙骨)	170	 钢龙骨两侧衬 3.5 厚硬质纤维板条 $a = b = 10$ (单侧衬条), $d = 73.5$	24	27	37	48	55	56	53	45	47	▲	
	171	 $a = b = 10$, $d = 77$	24	28	36	49	57	56	55	46	47	▲	
	172	 $a = 10$, $b = 2 \times 10$, $d = 77$	36	32	40	49	58	58	59	48	50	▲	
	173	 $a = 2 \times 10$, $b = 2 \times 10$, $d = 77$	48	35	42	49	56	60	61	50	52	▲	
	174	 钢龙骨两侧与水泥刨花板之间衬 13 厚软质纤维板 $a = b = 10$ (单侧衬板), $d = 83$	27	30	41	48	58	60	57	48	49	▲	
	175	 $a = b = 10$, $d = 96$	30	33	42	50	61	60	62	50	52	▲	
	176	 $a = 10$, $b = 2 \times 10$, $d = 96$	42	34	44	48	59	61	63	51	53	▲	
	177	 $a = 2 \times 10$, $b = 2 \times 10$, $d = 96$	54	35	45	51	60	63	64	53	55	▲	

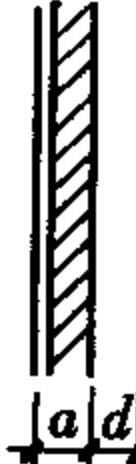
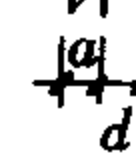
续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a		
抹灰双层墙	178	 $a = b = 20$ 钢板网抹灰, $d = 80$	—	34	39	52	56	64	67	52	52		
	179	 $a = b =$ 板条抹灰 (肋距 450), $d = 100$	70	17	22	35	44	49	48	35	34		
	180	 $a =$ 板条抹灰, $b =$ 木丝板, $d = 100$	79	21	25	34	45	52	48	35	37		
	181	178 ~ 181 $a = b =$ 板条抹灰加甘蔗板, $d = 100$	100	14	22	29	39	50	50	32	32		
抹灰双层墙	182	 182 $a = b =$ 板条抹灰, $c =$ 木丝板, $d = 100$	53	11	24	34	42	49	48	33	32		
珍珠岩板双墙层	183	 183 $a = b = 60$ 珍珠岩圆孔板, $d = 50$	76	24	34	32	42	51	59	41	40	●	
	184	 $a = 60$ 珍珠岩圆孔板 $b = 50$ 石膏复合板 $d = 50$	61	28	36	42	50	60	60	45	47	●	
	185	 $a = 60$ 珍珠岩圆孔板 $b = 92$ 石膏开口盒子板 $d = 12$	53	24	37	41	46	57	56	44	46	●	
	186	 184 ~ 186 $a = 60$ 珍珠岩圆孔板 $b = 92$ 石膏开口盒子板贴 15 厚石膏板, $d = 12$	63	32	41	44	49	59	59	47	50	●	
碳化石灰板双层墙	187	 $a = b = 90$ 碳化石灰板, $d = 60$	130	39	42	44	48	60	66	48	48		
	188	 $a = b = 90$ 碳化石灰板, $d = 60$	130	40	40	41	45	51	54	44	45	※	
	189	187 ~ 189 $a = 90$ 碳化石灰板, $b = 120$ 碳化石灰板, $d = 30$	145	37	40	42	47	60	66	48	47		
	190	 $a = 90$ 碳化石灰板, $b = 92$ 石膏开口盒子板, $d = 10$	80	32	40	43	51	58	58	46	47	●	
	191	 190 ~ 191 $a = 90$ 碳化石灰板贴 15 厚石膏板, $b = 92$ 开口盒子板, $d = 10$	100	30	40	44	52	60	58	47	49	●	

续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a		
菱苦土板 双层墙	192	 $a = 60$ 菱苦土板, $b = 80$ 菱苦土板, $d = 50$	95.9	41	41	47	51	64	71	50	51	●	
	193	 $a = 80$ 菱苦土板, $b = 120$ 菱苦土板, $d = 50$ 192 ~ 193	120	43	47	48	58	68	74	53	54	●	
加气混凝土 双层墙	194	 $a = 100$, $b = 150$, 两面抹灰后总厚度 380, $d = 100$ 194	125	41	42	50	62	72	76	55	54	●	
	195	不同空气层厚度的加气混凝土双层墙, $a = b = 75$ 空气层厚度 $d = 50$		140	37	44	44	49	60	67	49	49	
	196	空气层厚度 $d = 75$		140	39	49	49	56	66	70	54	54	
	197	空气层厚度 $d = 100$		140	40	50	50	57	65	70	55	55	
	198	空气层厚度 $d = 150$		140	42	50	51	58	67	73	56	55	
	199	空气层厚度 $d = 200$		140	40	52	51	59	71	76	57	58	
	200	空气层厚度 $d = 300$		140	41	55	58	58	77	79	61	60	
	201	空气层厚度 $d = 400$		140	42	57	59	63	76	80	62	62	
加气纤维 混凝土板 和木质墙	202	 $a = 100$ 加气纤维混凝土板, $b = 18$ 厚草纸板, $d = 50$	84	26	34	42	53	63	65	48	47		
	203	 $a = 100$ 加气纤维混凝土板, $b = 5$ 三合板, $d = 80$ 202 ~ 203	82.6	31	27	31	50	57	61	44	40		
加气混凝土 双层墙	204	两墙间有不同程度的刚性连接, $a = b = 75$, 连接材料为 c  $c = 10$ 号铁丝制作的扒锯, $d = 75$		140	37	41	50	51	66	66	51	52	
	205	$c = 8$ 号铁丝制作的扒锯, $d = 75$		140	32	42	47	48	59	63	47	50	
	206	$c = \phi 6$ 钢筋制作的扒锯, $d = 75$ 204 ~ 206		140	35	39	46	47	62	69	49	50	
	207	 $a = b = 75$, c 为加气混凝土柱, 两侧以泡沫塑料隔 开, $d = 200$ 207		140	42	45	46	55	66	69	52	53	

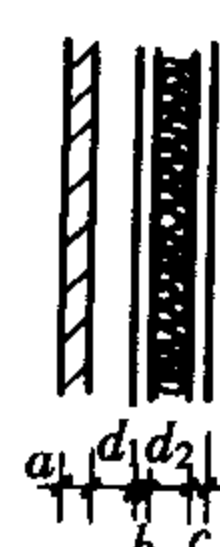
续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a		
加气混凝土双层墙	208	 $c = \text{红砖}, d = 75$	—	40	31	40	39	52	61	43	42		
	209	 $c = \text{红砖}, d = 75$	—	25	35	33	40	41	35	32	36	※	
	210	208 ~ 210 $c = \text{红砖}, \text{但 } b = 100, d = 65$	—	27	35	35	44	53	50	40	43	※	
	211	 211 以 370×370 砖垛连接两片 75 加气混凝土墙, $d = 220$	—	37	36	42	46	55	66	45	48		
双层砖墙	212	 $a = b = 60$ (粉刷), $d = 60$	258	25	28	33	47	50	47	38	38		
	213	$a = b = 120$ (粉刷), $d = 20$	484	28	31	33	43	45	46	38	38		
	214	$a = b = 240$, $d = 150$	800	50	51	58	71	78	80	64	63		
	215	$a = b = 240$ (基础分开, 抹灰), $d = 100$	960	46	55	65	80	95	103	71	68		
	216	$a = b = 370$, $d = 300$	1400	53	63	69	78	83	—	69	73	※	
	217	$a = b = 370$ (基础分开), $d = 230$	1400	61	79	80	89	89	—	79	85		
	218	$a = 120, b = 240$ (粉刷), $d = 300$	720	37	45	47	67	66	78	56	52		
	219	$a = 240, b = 370$, $d = 1000$	1180	48	58	64	78	—	—	68	68		
	220	$a = 370, b = 490$, $d = 200$	1660	51	61	69	81	95	—	72	73		
	221	$a = 490, b = 620$ (勾缝), $d = 200$	2140	52	64	73	79	83	—	70	75		
其他双层墙	222	 $a = b = 40$ 陶粒无砂水泥板, $d = 50$	48	37	42	38	46	58	65	45	45	●	
	223	 222 ~ 223 $a = b = 40$ 钢筋混凝土板, $d = 40$	200	38	45	47	58	63	62	52	52		

四、中空填棉式双层板(墙)

(腔内填吸声材料) 双层金属板	224	$a = b = 2$ 铝板, $d = 70/70$ 超细棉	12	19	27	40	42	48	53	37	39	
	225	$a = b = 0.7$ 贴塑钢板, $d = 50/50$ 岩棉	17.2	16	23	24	29	39	37	27	30	▲
	226	$a = b = 0.8$ 贴塑钢板, $d = 140/50$ 矿棉毡	22.8	23	39	48	57	62	68	48	46	
	227	$a = b = 1$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉 (3.5kg/m ²)	19.1	28.4	42	50	57	58	60	48	51	
	228	224 ~ 252 $a = 1.5$ 钢板, $b = 1$ 钢板, $d = 65/65$ 超细棉	22.5	30	38	49	55	63	66	49	51	

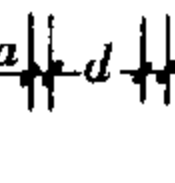
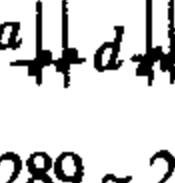
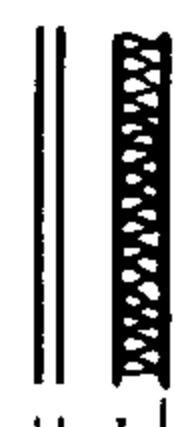
续表

类别	序号	名称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)								注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a	
双层金属板 (腔内填吸声材料)	229	$a = 1.5$ 钢板, $b = 1$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	23.2	32	45	53	58	58	60	51	53	
	230	$a = b = 1.5$ 钢板, $d = 65/65$ 超细棉	26.8	32	41	49	56	62	66	50	51	
	231	$a = 2$ 钢板, $b = 1$ 钢板, $d = 65/65$ 超细棉	26.1	31	40	48	55	62	66	49	53	
	232	$a = b = 1.5$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	27.5	31	43	52	59	62	63	51	54	
	233	$a = 2$ 钢板, $b = 1$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	26.8	36	43	52	58	63	66	52	55	
	234	$a = 2$ 钢板, $b = 1$ 钢板, $d = 100/100$ 超细棉	27.6	39	43	51	58	66	70	53	55	
	235	$a = 2$ 钢板, $b = 1.5$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	31	40	43	52	58	62	65	53	55	
	236	$a = 2.5$ 钢板, $b = 1$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	29.9	33	47	54	57	58	60	51	51	
	237	$a = 2.5$ 钢板, $b = 1.5$ 钢板, $d = 65/65$ 超细棉	33.5	36	43	49	56	63	67	51	53	
	238	$a = 2.5$ 钢板, $b = 1.5$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	34.2	36	46	51	58	63	65	53	55	
	239	$a = 2.5$ 钢板, $b = 1.5$ 钢板, $d = 100/100$ 超细棉	35	40	43	50	57	64	69	53	55	
	240	$a = 2.5$ 钢板, $b = 2$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	37.8	39	42	51	55	61	63	51	54	
	241	$a = 2.5$ 钢板, $b = 2.5$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	40.9	34	41	49	56	62	61	50	52	
	242	$a = 3$ 钢板, $b = 1$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	38.4	33	47	53	57	58	58	51	54	
	243	$a = 3$ 钢板, $b = 1.5$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	39.2	37	44	52	58	62	60	52	54	
	244	$a = 3$ 钢板, $b = 2.5$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	45.8	36	42	50	56	61	57	50	53	
	245	$a = 3$ 钢板, $b = 3$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	50.3	33	43	50	56	61	47	49	53	
	246	$a = 4$ 钢板, $b = 1$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	42.4	34	47	53	58	59	58	52	55	
	247	$a = 4$ 钢板, $b = 1.5$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	46.8	37	46	51	57	62	61	52	55	
	248	$a = 4$ 钢板, $b = 2.5$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	53.4	38	44	51	56	61	57	51	55	
	249	$a = 4$ 钢板, $b = 3$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	58.2	36	44	50	55	60	52	49	48	
	250	$a = 4$ 钢板, $b = 4$ 钢板, $d = 80/80$ 超细棉	60.9	36	46	50	54	60	50	49	53	
	251	$a = 2$ 钢板, $b = 1$ 铝板, $d = 80/80$ 超细棉	27.7	28	40	49	58	62	65	49	51	
	252	$a = 3$ 钢板, $b = 1$ 铝板, $d = 80/80$ 超细棉	29.7	30	42	50	58	62	59	50	51	
	253	 $a = 4$ 钢板, $b = 0.8$ 贴塑钢板, $d = 100/50$ 玻璃棉	38.4	30	40	44	52	60	60	47	48	▲
	254	$a = 4$ 钢板, $b = 0.8$ 贴塑钢板, $d = 125/75$ 玻璃棉	38.9	32	40	45	54	63	64	49	50	▲
	255	$a = 4$ 钢板, $b = 0.8$ 贴塑钢板, $d = 150/100$ 玻璃棉	40.4	34	41	45	53	62	66	49	51	▲
	256	253 ~ 256 $a = 4$ 钢板, $b = 0.8$ 贴塑钢板, $d = 100/50$ 岩棉 (150kg/m ³)	44.9	31	38	41	51	58	59	45	48	▲
	257	 $a = 4$ 钢板, $b = 0.7$ 镀锌薄钢板, $c = 0.7$ 贴塑钢板, $d_1 = 50$, $d_2 = 30/30$ 岩棉 (120kg/m ³)	42.1	26	35	41	48	59	55	43	47	▲

续表

类别	序号	名称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)								注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a	
钢板—其他板 双层结构 (腔内填吸声材料)	258	$a=1$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=100/100$ 超细棉 (4.3kg/m ²)	16.6	32	36	48	58	64	69	50	48	
	259	 $a=1$ 钢板, $b=5$ 三合板, $d=100/100$ 超细棉 (4.3kg/m ²)	15.9	29	34	47	57	63	65	48	46	
	260	$a=1$ 钢板, $b=5$ 三合板, $d=80/80$ 超细棉 (3.5kg/m ²)	13.8	21	36	46	58	59	58	46	42	
	261	$a=1$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=80/80$ 超细棉 (3.5kg/m ²)	16.3	28	41	50	57	58	59	48	49	
	262	258~285 $a=1$ 钢板, $b=20$ 刨花板, $d=80$ 超细棉 (3.5kg/m ²)	25.8	33	46	53	47	58	59	50	53	
	263	$a=1$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=65/65$ 超细棉 (2.8kg/m ²)	15.8	23	32	44	55	62	66	46	44	
	264	$a=1.5$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=65/65$ 超细棉 (2.8kg/m ²)	19.9	26	36	47	55	61	66	47	47	
	265	$a=1.5$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=80/80$ 超细棉	20.6	29	41	50	58	63	60	50	50	
	266	$a=1.5$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=100/100$ 超细棉 (4.3kg/m ²)	20.9	37	40	51	58	64	69	52	53	
	267	$a=1.5$ 钢板, $b=5$ 三合板, $d=65/65$ 超细棉 (2.8kg/m ²)	17.4	24	33	43	55	60	63	45	44	
	268	$a=1.5$ 钢板, $b=5$ 三合板, $d=80/80$ 超细棉 (3.5kg/m ²)	18.1	27	39	48	58	62	60	48	48	
	269	$a=1.5$ 钢板, $b=20$ 刨花板, $d=80/80$ 超细棉 (2.8kg/m ²)	30.1	32	43	51	58	62	60	51	53	
	270	$a=2$ 钢板, $b=5$ 三合板, $d=65/65$ 超细棉	22.3	25	37	47	54	61	65	47	46	
	271	$a=2$ 钢板, $b=5$ 五合板, $d=80/80$ 超细棉	23	33	42	50	56	61	62	50	52	
	272	$a=2$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=65/65$ 超细棉	23	27	37	46	55	59	67	48	48	
	273	$a=2$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=80/80$ 超细棉	23.7	31	41	51	58	62	65	51	51	
	274	$a=2$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=100/100$ 超细棉	24.5	37	42	50	58	63	70	52	54	
	275	$a=2.5$ 钢板, $b=5$ 三合板, $d=80/80$ 超细棉	26.6	29	42	51	56	61	60	49	51	
	276	$a=2.5$ 钢板, $b=5$ 三合板, $d=65/65$ 超细棉	26.7	26	38	47	55	61	63	48	47	
	277	$a=2.5$ 钢板, $b=5$ 三合板, $d=65/65$ 超细棉	26.1	28	40	48	55	61	66	48	49	
	278	$a=2.5$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=80/80$ 超细棉	26.8	31	43	51	57	62	65	51	52	
	279	$a=2.5$ 钢板, $b=5$ 纤维板, $d=100/100$ 超细棉	27.6	37	41	49	56	63	68	51	53	
	280	$a=2.5$ 钢板, $b=20$ 刨花板, $d=80/80$ 超细棉	36.8	37	41	50	56	69	61	50	53	

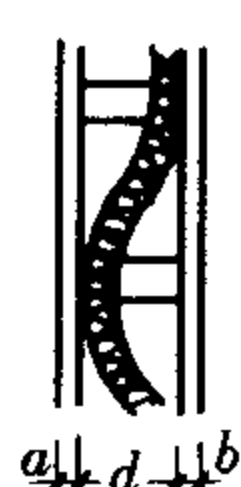
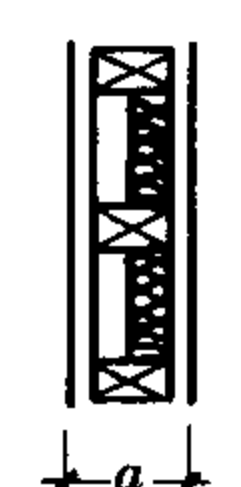
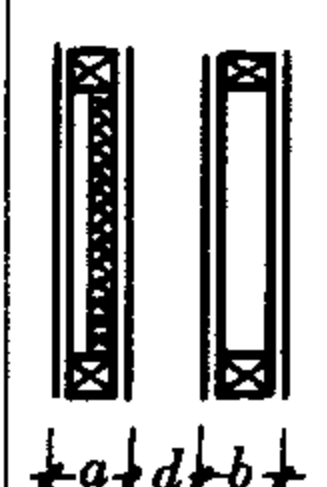
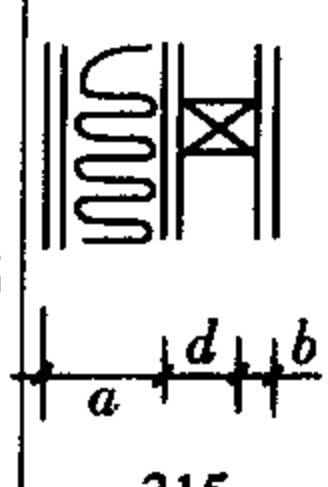
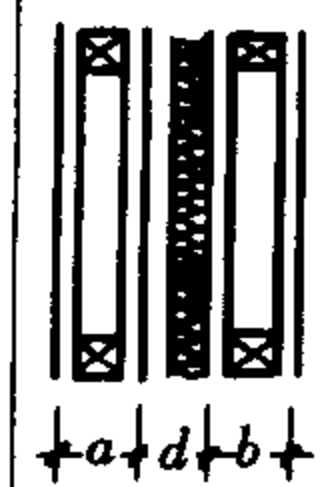
续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)								注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a	
钢板—其他板双层结构 (腔内填吸声材料)	281	$a = 3$ 钢板, $b = 5$ 三合板, $d = 80/80$ 超细棉	29.7	31	42	51	59	62	53	50	51	
	282	$a = 3$ 钢板, $b = 5$ 纤维板, $d = 80/80$ 超细棉	31.7	33	44	51	58	63	59	51	53	
	283	$a = 3$ 钢板, $b = 20$ 刨花板, $d = 80/80$ 超细棉	40.1	34	41	49	52	55	53	47	51	
	284	$a = 4$ 钢板, $b = 5$ 三合板, $d = 80/80$ 超细棉	37.3	32	42	51	56	60	52	49	51	
	285	$a = 4$ 钢板, $b = 5$ 纤维板, $d = 80/80$ 超细棉	39.3	35	44	52	58	62	60	52	53	
	286	$a = 4$ 钢板, $b = 20$ 刨花板, $d = 80/80$ 超细棉	47.7	31	41	48	53	53	56	47	51	
	287	 $a = 4$ 钢板, $b = 5$ 贴塑纤维板, $d = 100/50$ 玻璃棉	—	31	38	42	52	59	62	48	48	▲
	288	 $c = 4$ 钢板, $b = 22$ 云母硅酸钙板, $d = 50/25$ 岩棉 (120kg/m ³) 287 ~ 288	48.5	29	40	42	50	59	65	47	48	▲
双层纸蜂窝板或木质纤维机制板 (腔内填吸声材料)	289	$a = 50$ 五合板纸蜂窝板, $b = 30$ 五合板纸蜂窝板, $d = 56/56$ 矿棉	22	22	36	45	52	56	55	44	46	
	290	$a = 5$ 三合板, $b = 5$ 纤维板, $d = 80/80$ 超细棉 (3.5kg/m ²)	11.2	21	31	40	57	61	60	45	42	
	291	$a = 5$ 五合板, $b = 5$ 纤维板, $d = 100/100$ 超细棉 4.3kg/m ²	12.8	24	31	45	56	61	64	46	43	
	292	 $a = b = 5$ 三合板, $d = 80/80$ 超细棉 (3.5kg/m ²)	8.7	17	29	40	55	60	56	42	39	
	293	$a = b = 5$ 三合板, $d = 65/65$ 超细棉 (2.8kg/m ²)	8.0	21	26	36	56	64	61	39	38	
	294	 $a = b = 5$ 纤维板, $d = 80/80$ 超细棉 (3.5kg/m ²)	13.3	24	36	48	58	63	63	47	46	
	295	$a = b = 5$ 纤维板, $d = 65/65$ 超细棉 (2.8kg/m ²) 289 ~ 298	12.6	21	29	41	55	61	66	44	41	
	296	$a = 5$ 三合板, $b = 20$ 刨花板, $d = 80/80$ 超细棉 (3.5kg/m ²)	21.7	27	40	49	57	58	60	48	48	
	297	$a = 5$ 纤维板, $b = 20$ 刨花板, $d = 80/80$ 超细棉 (3.5kg/m ²)	23.2	30	42	50	58	61	64	50	51	
	298	$a = b = 20$ 刨花板, $d = 80/80$ 超细棉	31.1	31	41	44	50	50	58	45	48	
	299	 $a = b = 18$ 塑面刨花板, $d = 200/50$ 矿棉 299	31	29	42	49	52	50	59	46	49	

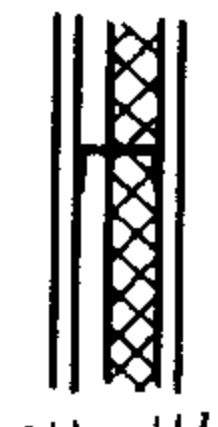
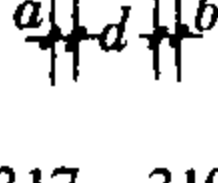
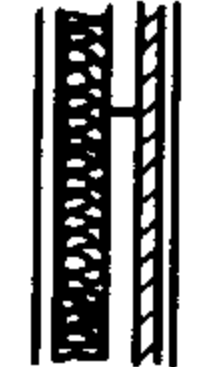
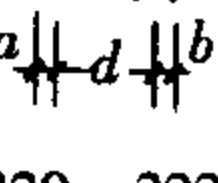
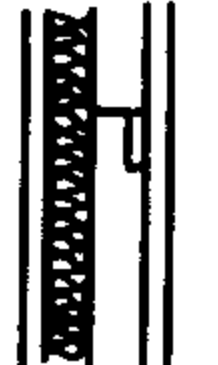
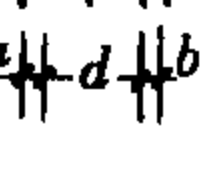
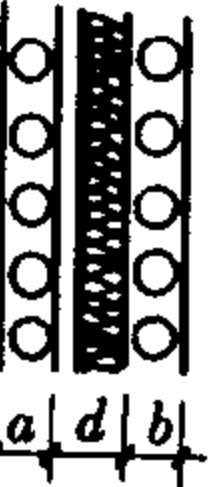
续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a		
双层石膏板 (木龙骨, 腔内填吸声材料)	300	 $a = b = 12$ 纸面石膏板, $d = 80/50$ 矿棉毡 (波形置放) 300	29	34	40	48	51	57	49	45	49		
	301	$a = b = 12$ 纸面石膏板, $d = 80/50 \sim 60$ 水泥珍珠岩板	40	26	30	40	48	51	48	39	44		
	302	 $a = b = 12$ 纸面石膏板, $d = 80/50 \sim 60$ 水泥珍珠岩板和 80 矿棉柱体 (柱两端抵住石膏板)	40	28	35	46	54	59	51	45	48		
	303	$a = 12$ 纸面石膏板, $b = 12$ 纸面石膏板贴一层油毡, $d = 80/50 \sim 60$ 水泥珍珠岩板	42	26	30	42	52	55	53	43	45		
	304	$a = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $b = 12$ 纸面石膏板贴一层油毡, $d = 80/50 \sim 60$ 水泥珍珠岩板	52	28	33	44	53	60	53	45	48		
同上 (轻钢龙骨)	305	 $a = b = 12$ 纸面石膏板, $d = 75/30$ 超细棉	22	28	44	49	54	60	<u>46</u>	47	47	●	
	306	$a = 12$ 纸面石膏板, $b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 75/40$ 岩棉	52	31	42	52	56	60	<u>48</u>	48	50	●	
	307	$a = b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 75/40$ 岩棉	62	40	51	58	63	64	<u>57</u>	48	52	●	
	308	$a = b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 75/30$ 超细棉	42	33	47	50	57	64	<u>51</u>	50	51	●	
同上 (轻钢龙骨)	309	 $a = b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 75/30$ 超细棉, 龙骨单侧使用减振钢条 309	42	36	47	51	58	62	<u>52</u>	51	55	●	
同上 (分立轻钢龙骨)	310	 $a = 12$ 纸面石膏板, $b = 2 \times 12$ 纸面石膏板, $d = 95/30$ 超细棉	34	33	45	54	57	60	<u>49</u>	50	54	●	
	311	$a = b = 2 \times 12$ 纸面石膏板 $d = 95/30$ 超细棉 310、311	44	40	47	54	55	61	<u>55</u>	52	55	●	

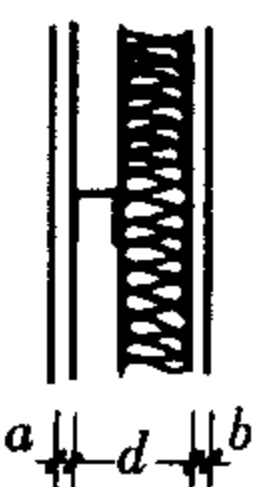
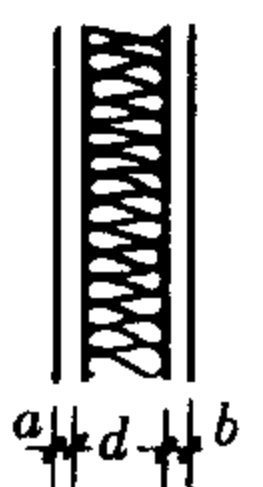
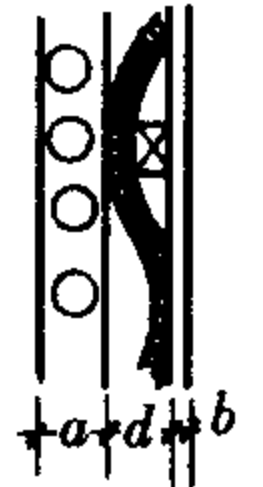
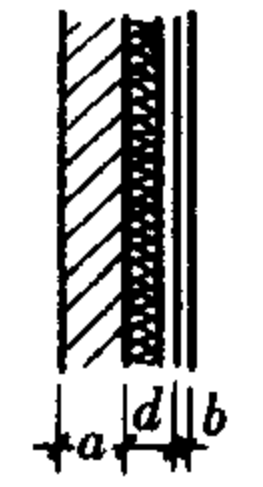
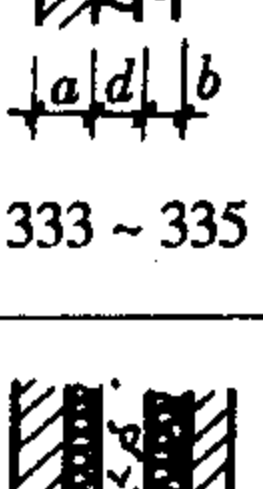
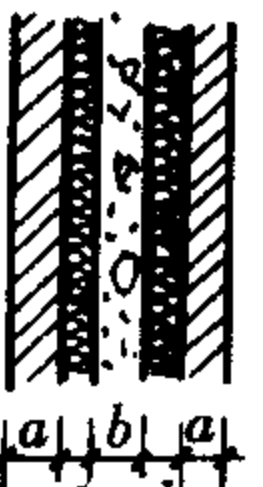
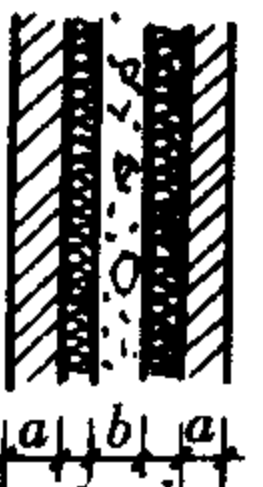
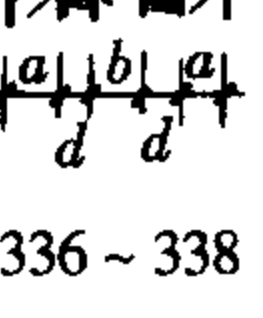
续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a		
同上 (分立石膏龙骨)	312	 $a = b = 12$ 纸面石膏板, $d = 112/30$ 超细棉 312	22.4	23	41	50	57	65	58	49	49	●	
	313	 $a = 99$ 石膏盒子板内填 40 矿棉 (单层石膏盒子) 313	30	36	42	39	42	47	46	39	40	※	
	314	 $a = 50$ 石膏盒子 (内填棉毡), $b = 50$ 石膏盒子, $d = 50$ 314	50.4	23	32	50	55	61	57	46	44	●	
	315	 $a = 99$ 石膏盒子, 内填矿棉, $b = 12$ 纸面石膏板, $d = 75$ (石膏条板连接 a 和 b) 315	46	31	36	44	44	48	55	43	46		
石膏盒子板双层墙	316	 $a = b = 50$ 石膏盒子板, $d = 50/30$ 棉毡 316	50.4	31	36	51	55	61	60	48	50	●	

续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a	注	
双层水泥刨花板 (轻钢龙骨)	317	 $a = b = 10, d = 75/60$ 沥青矿棉板	29	29	41	50	58	57	53	47	50	▲	
	318	 $a = 10, b = 20, d = 75/60$ 沥青矿棉板	41	34	45	49	53	57	61	49	52	▲	
	319	317 ~ 319 $a = b = 2 \times 10, d = 75/60$ 沥青矿棉板	53	36	47	51	55	60	62	51	55	▲	
	320	 水泥刨花板两内侧衬 13 厚软质纤维板 $a = b = 10, d = 75/60$ 沥青矿棉板 (单侧衬 13 厚软质纤维板)	32	29	43	51	62	59	59	50	49	▲	
	321	$a = b = 10, d = 75/60$ 沥青矿棉板	35	32	42	51	62	60	60	51	51	▲	
	322	 $a = 10, b = 2 \times 10, d = 75/60$ 沥青矿棉板	47	33	45	52	62	61	60	52	54	▲	
	323	320 ~ 323 $a = 2 \times 10, b = 2 \times 10, d = 75/60$ 沥青矿棉板	59	35	45	49	61	63	63	52	54	▲	
	324	 轻钢龙骨两侧垫 13 厚软质纤维板条 $a = b = 10, d = 75/60$ 沥青矿棉板	29	31	41	51	61	61	62	51	52	▲	
	325	 $a = 10, b = 2 \times 10, d = 75/60$ 沥青矿棉板	41	31	42	48	59	63	63	51	52	▲	
	326	324 ~ 326 $a = 2 \times 10, b = 2 \times 10, d = 75/60$ 沥青矿棉板	53	35	45	51	61	65	66	53	55	▲	
其他轻质双层墙	327	 $a = b = 60$ 珍珠岩空心板, $d = 80/50$ 矿棉毡	86	38	42	38	46	57	67	47	46	●	
	328	 $a = b = 2 \times 5$ 水泥石棉板, $d = 200/50$ 矿棉毡 (木方—钢筋龙骨)	42	31	46	50	52	59	61	49	51		

续表

类别	序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)									注
				125	250	500	1000	2000	4000	$\bar{R}$	I_a		
其他轻质双层墙	329	 $a = b = 8$ 水泥石棉板, $d = 145/50$ 矿棉毡 (145 槽钢龙骨) 329	35.6	27	36	39	45	51	51	41	44		
	330	 $a = b = 12 \sim 15$ 铁丝网抹灰, $d = 50/50$ 矿棉毡 (木龙骨) 330	94.6	27	31	37	43	45	50	38	42		
	331	 $a = 90$ 碳化石灰板, $b = 12$ 纸面石膏板, $d = 80/50$ 矿棉毡 (波形铺放) 331	84	42	45	47	50	56	57	48	51		
重双层墙	332	 $a = 240$ 砖墙, $b = 6$ 塑料板, $d = 80/50$ 矿棉 332	500	44	52	58	75	84	72	64	63		
	333	 $a = 490$ 砖墙, $b = 240$ 加气混凝土, $d = 200/200$ 玻璃棉	1158	40	55	70	79	82	—	65	64		
	334	 $a = 490$ 砖墙, $b = 240$ 加气混凝土, $d = 200/200$ 玻璃棉 (基础分开墙勾缝)	1158	47	59	73	82	82	—	69	70		
	335	 $a = 490$ 砖墙, $b = 240$ 砖墙, $d = 200/200$ 玻璃棉 (墙勾缝) 333 ~ 335	1206	53	65	69	78	81	—	69	74		
多层墙	336	 $a = b = 240$ 砖墙, $d = 200/200$ 玻璃棉	966	45	60	60	74	83	—	64	67		
	337	 $a = b = 240$ 砖墙, $d = 200/200$ 玻璃棉 (墙勾缝)	966	51	63	72	76	82	—	69	74		
	338	$a = 240$ 加气混凝土, $b = 240$ 砖墙, $d = 200/200$ 玻璃棉 336 ~ 338	678	40	62	73	84	—	—	65	65		

墙板空气声隔声量及计权隔声量 R_w
(1994 年版《建筑设计资料集》)

表 7-2

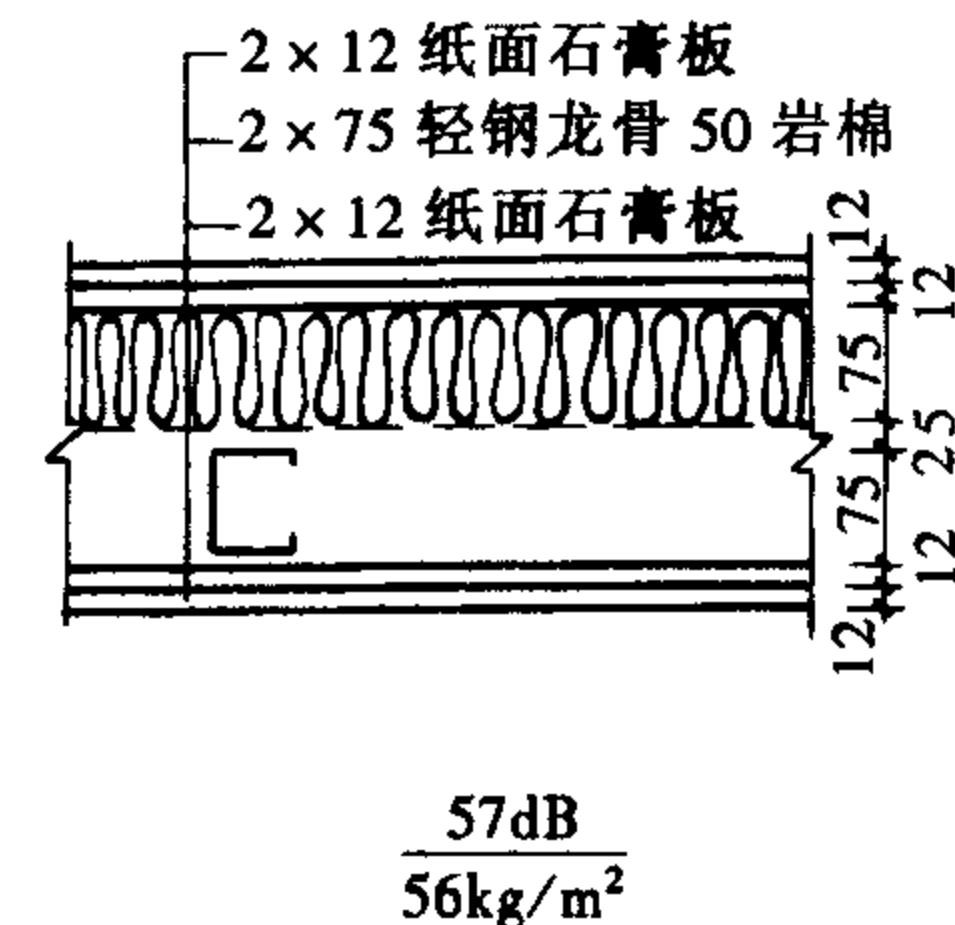
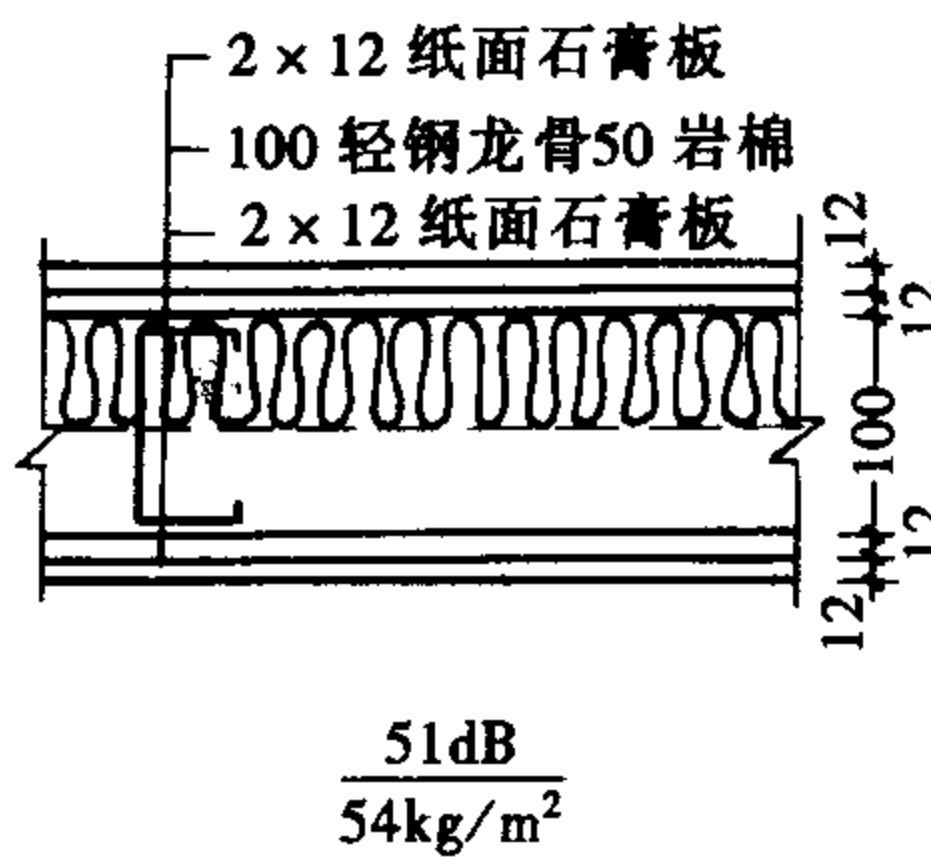
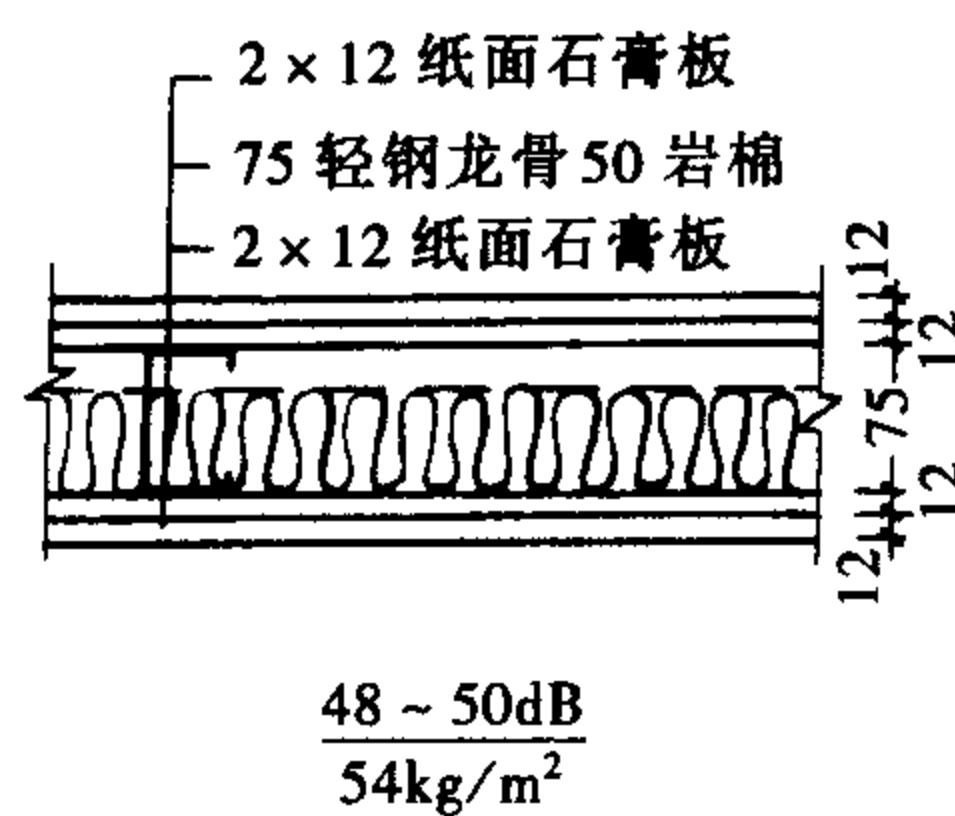
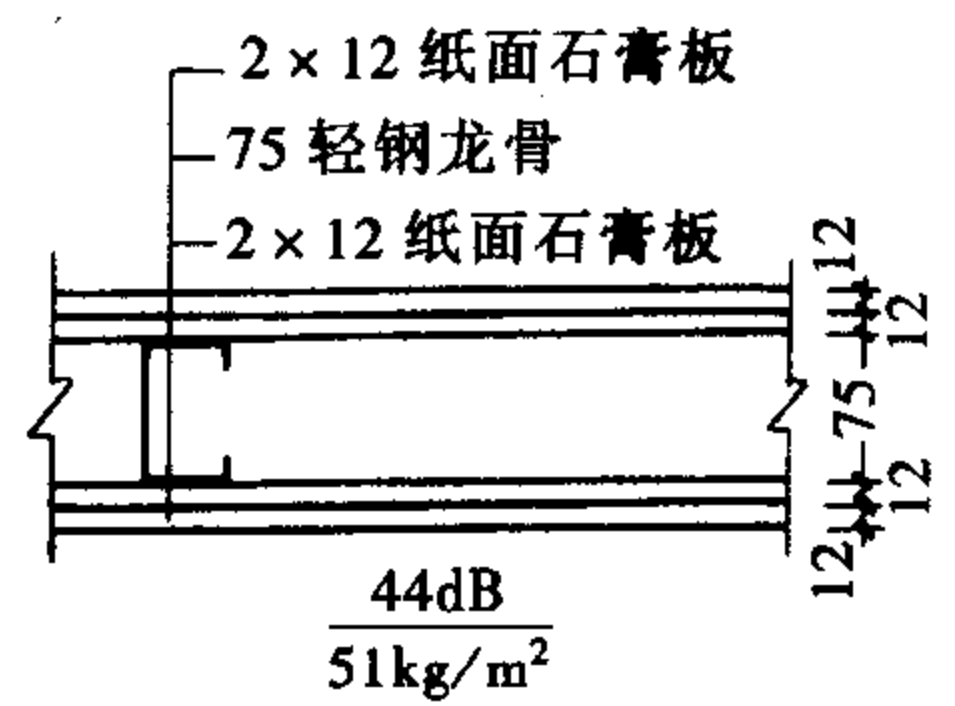
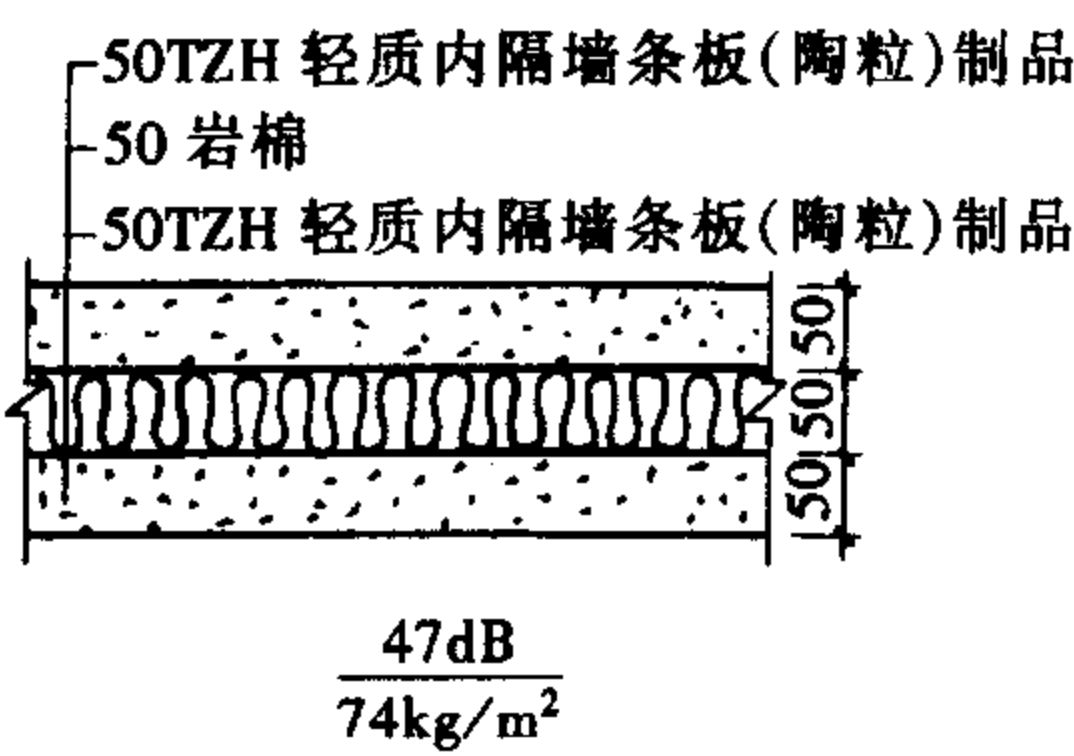
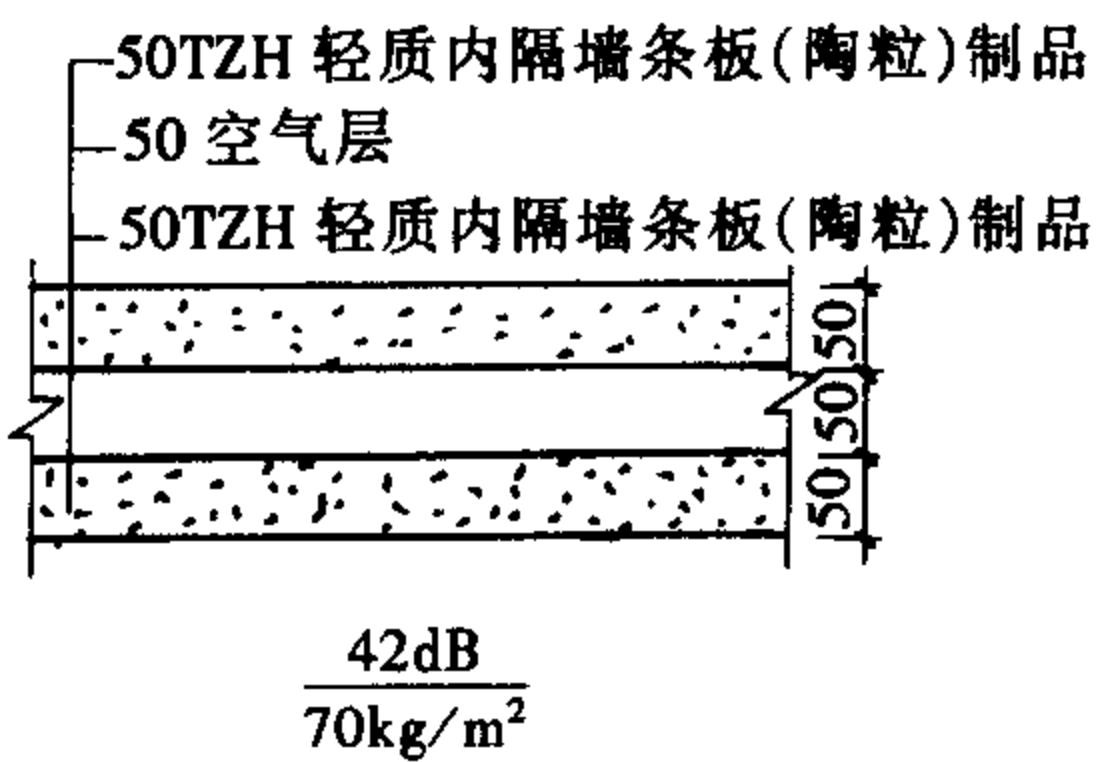
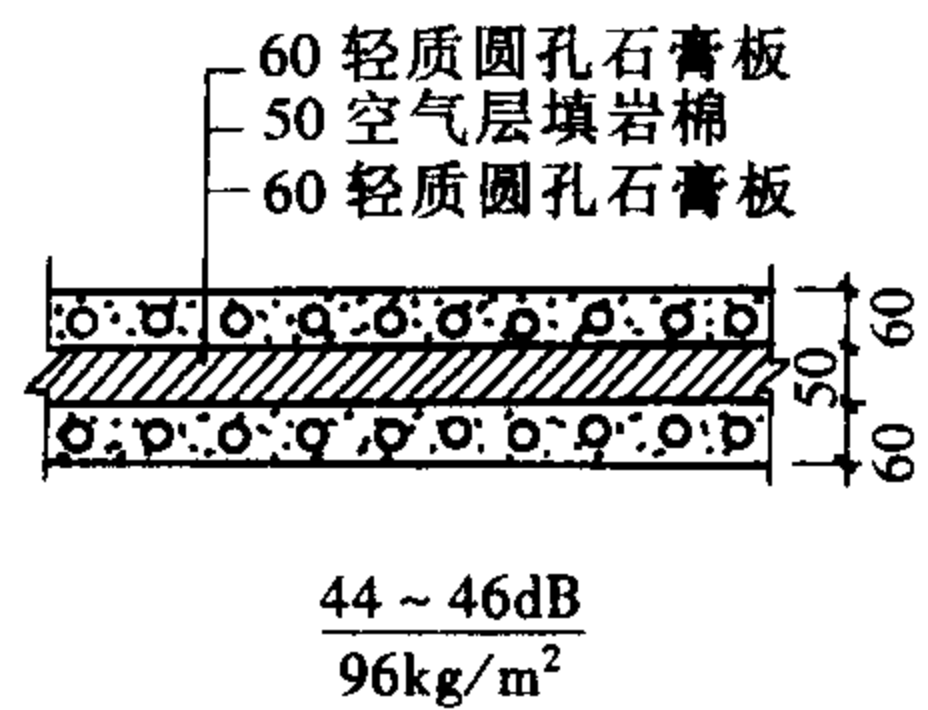
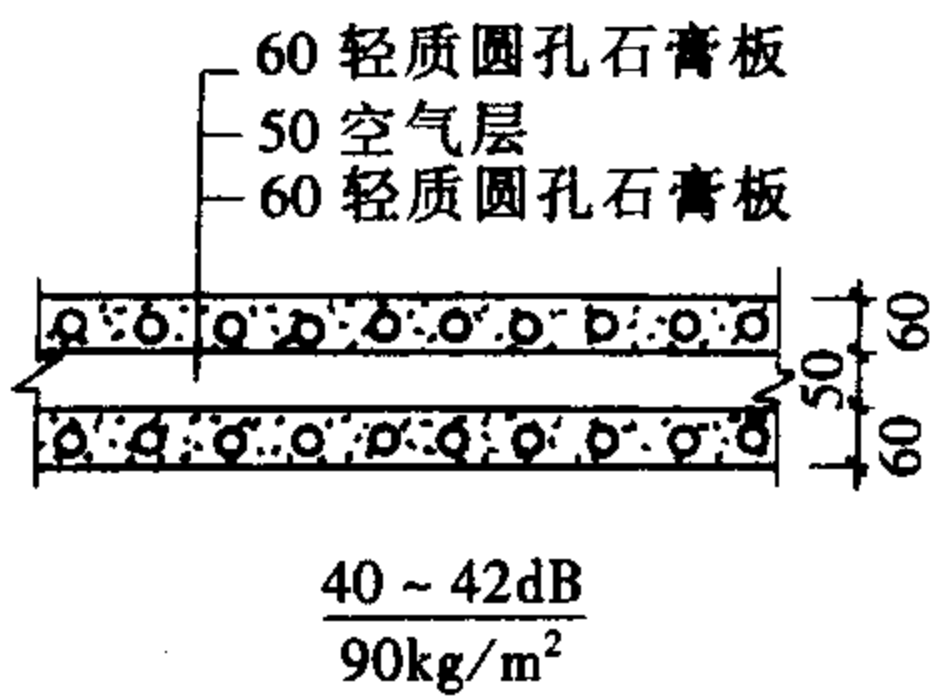
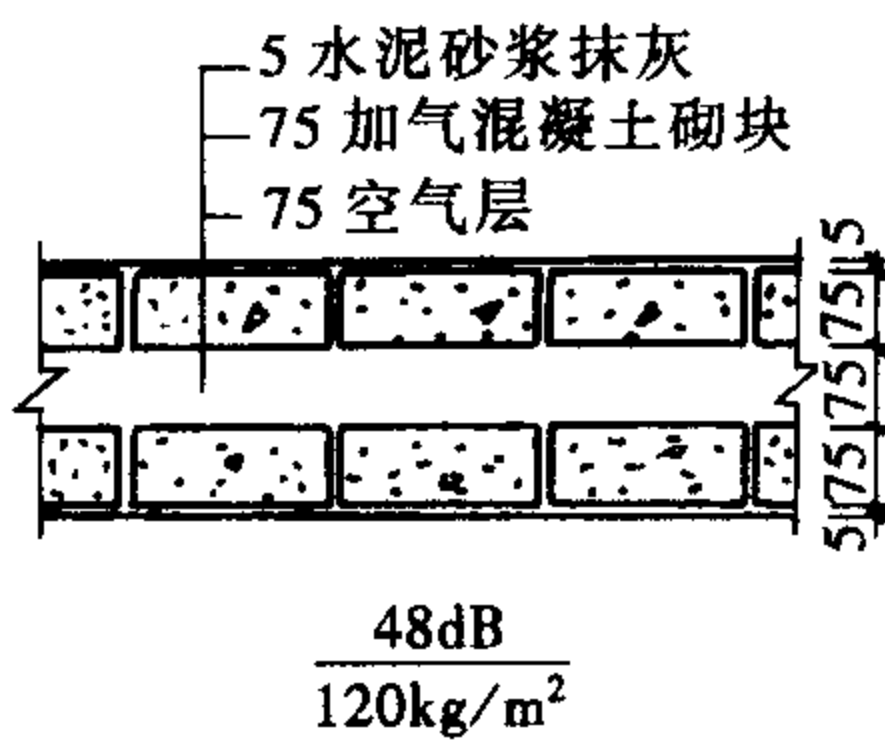
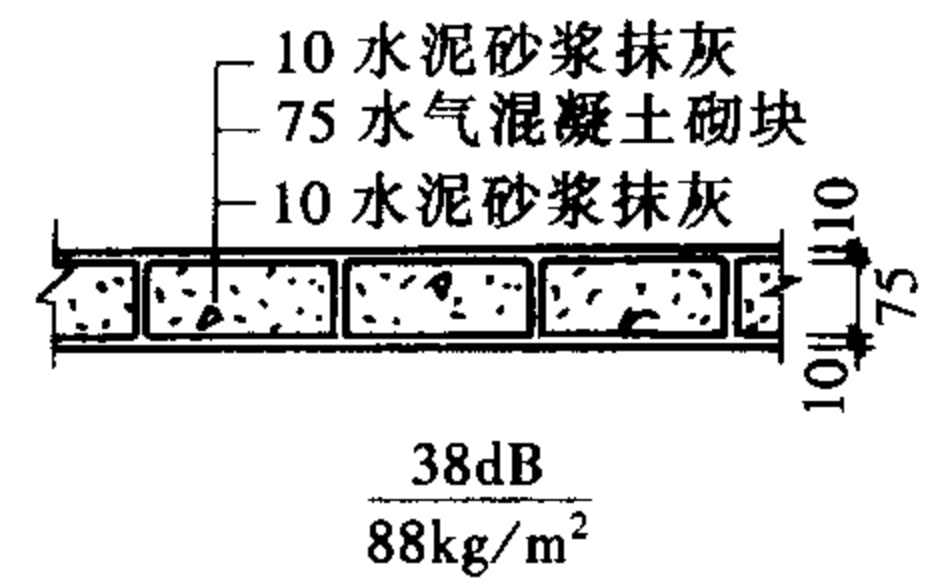
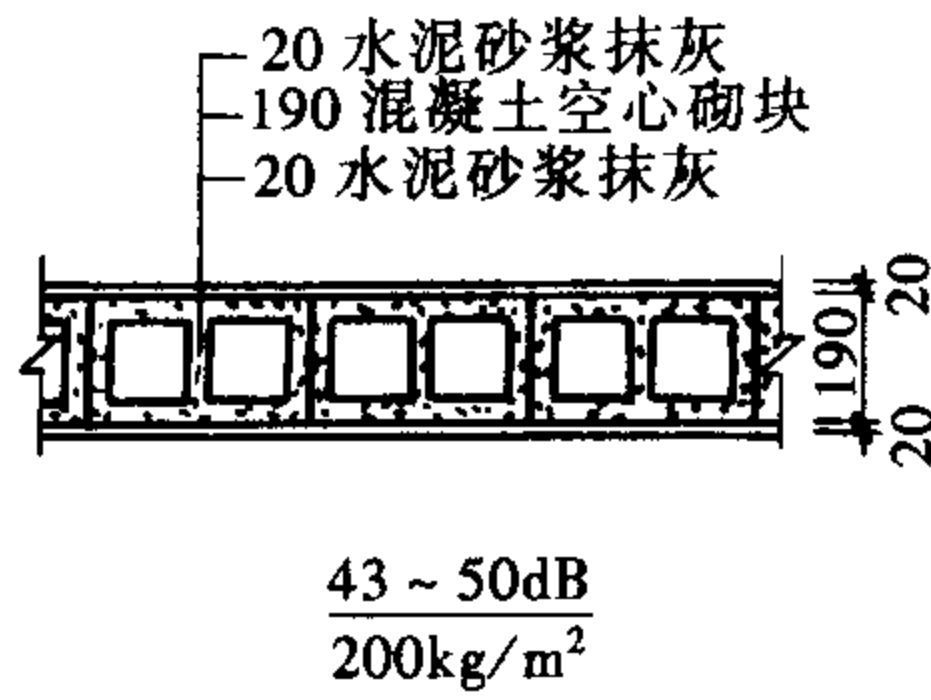
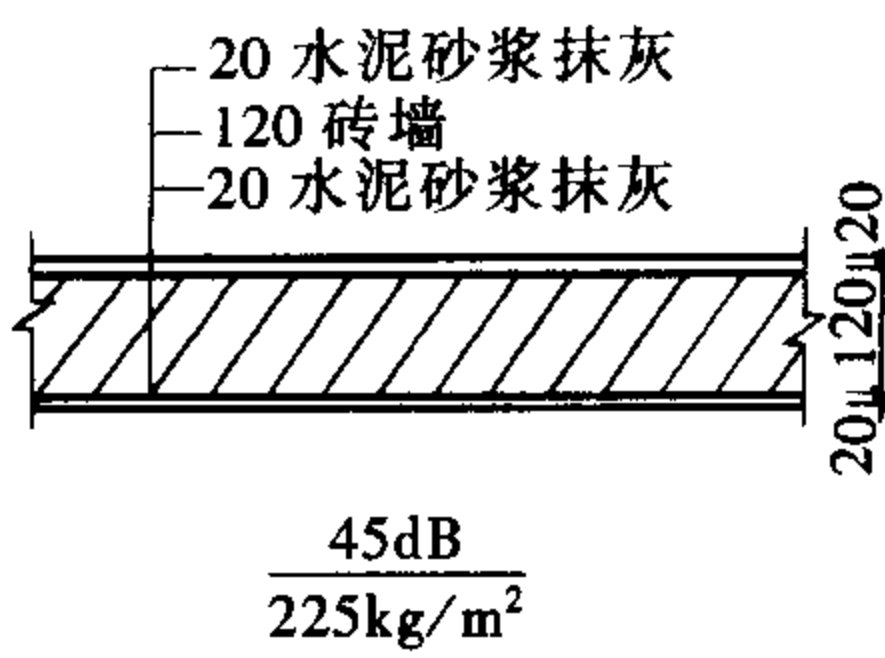
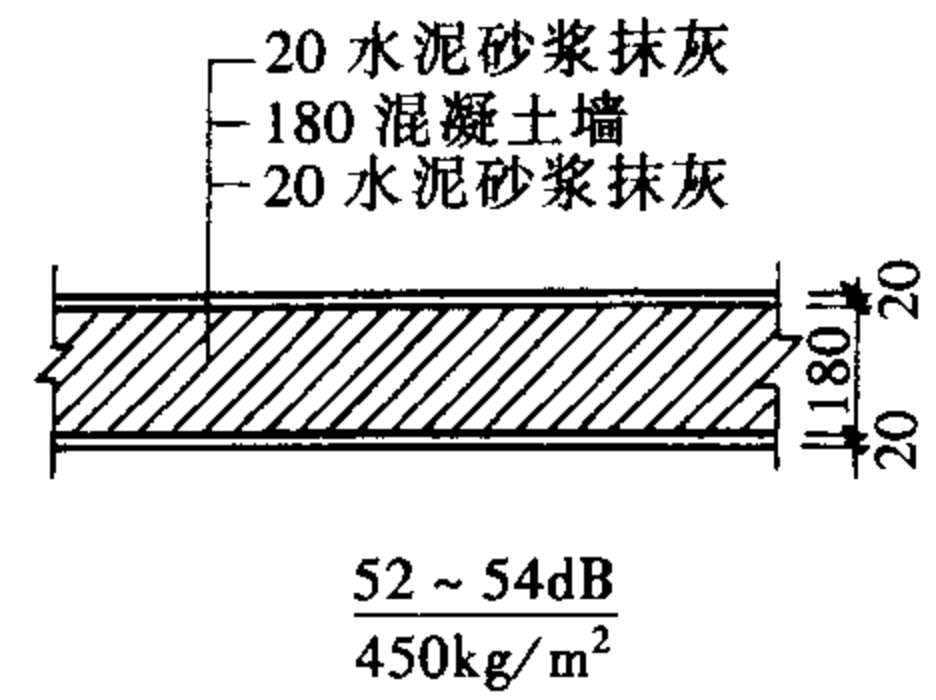
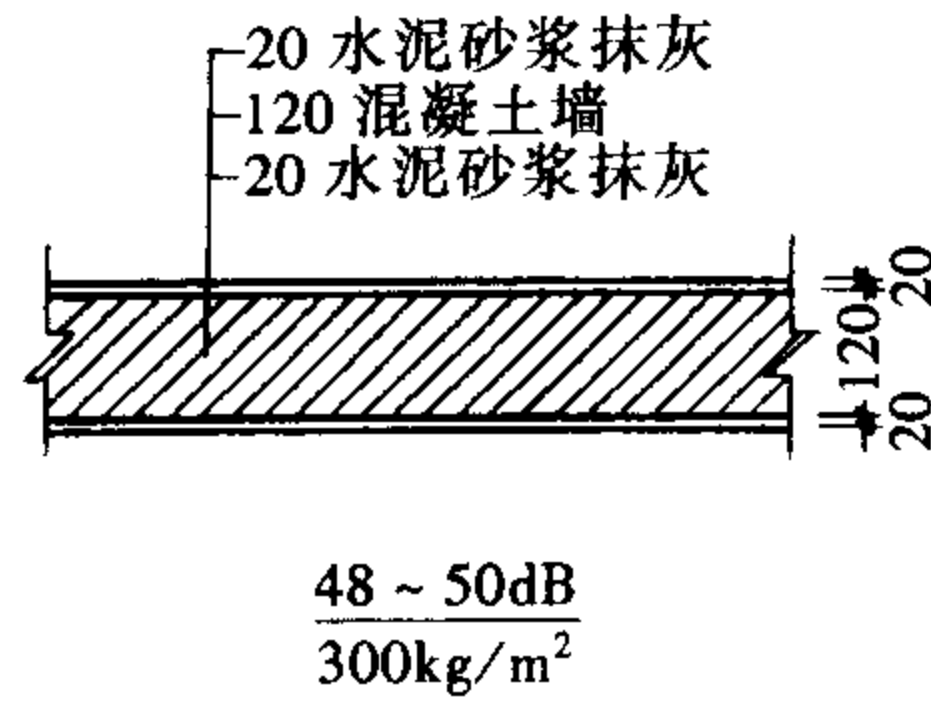
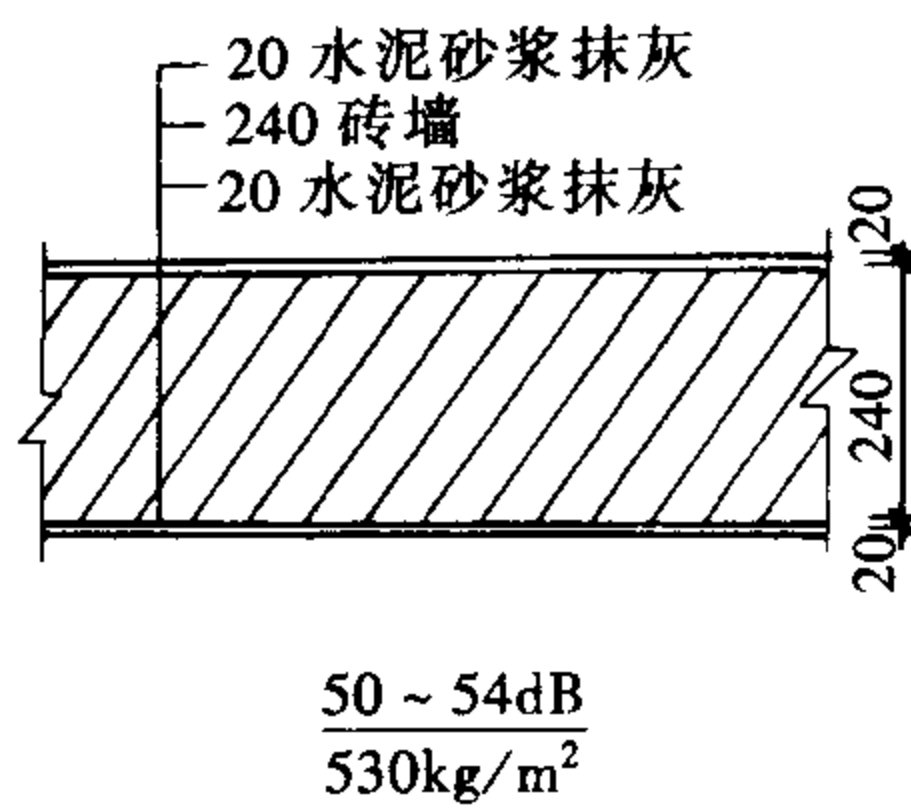


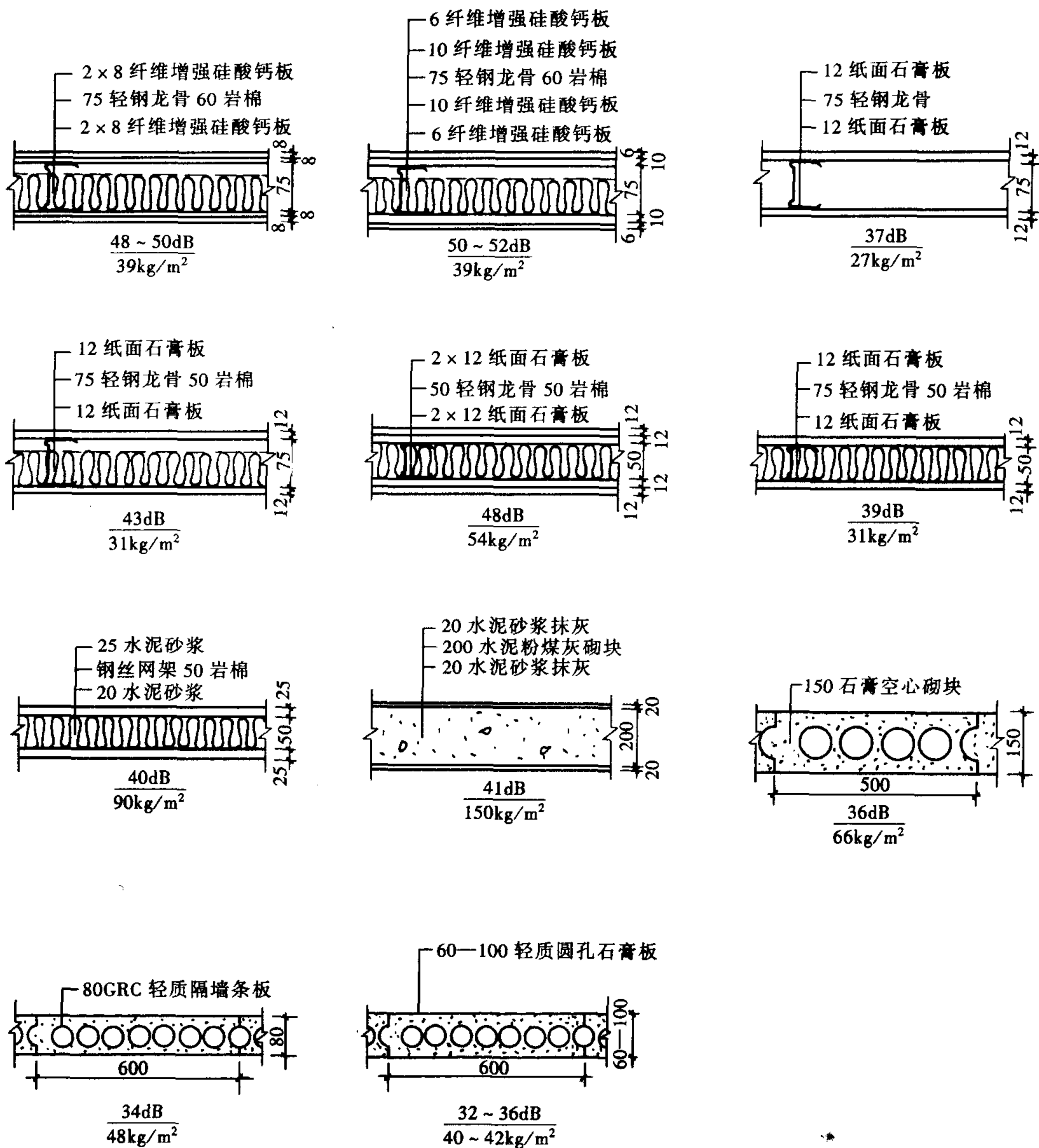
序号	面密度 (kg/m ²)	空气声隔声量 (dB)						R_w
		125	250	500	1000	2000	4000	
1	11	16.3	24.3	27.3	31.6	34.7	35	31
2	17.1	29.1	26.1	28.9	25.8	30.2	34.9	28
3	13.8	22	25	28	34	29	34	31
4	8.8	14	21	26	31	30	30	28
5	15.4	21	22	24	32	35	35	31
6		26	31	30	29	36	40	32
7	50	30	28	27	33	41	45	33
8	8.7	18	19	22	29	34	32	29
9	23	20	27	33	37	37	37	35
10	30	18	23	23	23	33	35	28
11	70	30	30	30	40	50	56	38
12	140	29	36	39	46	54	55	44
13	160	31	37	41	45	51	55	46
14	220	34	37	38	45	46	56	44
15	450	35	41	49	51	58	60	52
16	300	37.2	44	46.2	49.2	53.7	52.3	50
17	210	33	38	41	46	53	52	46
18	160	26	30	30	34	41	40	35
19	240	37	34	41	48	55	53	47
20	480	42	43	49	57	60	62	55
21	700	40	48	52	60	63	60	57
22	833	45	58	61	65	66	68	62
23	180	31	40	39	47	52	55	46
24	298	21	21	31	33	42	46	33
25	238	32	31	40	43	49	56	42
26	27.6	37	34	42	47	47	58	45
27	46	36	44	59	57	60	61	55
28	25	27	29	35	43	42	44	38
29	45	35	35	43	51	58	51	46
30	40	34	34	41	48	56	54	45
31	24	30	40	48	57	58	59	50
32	92	35.8	36.5	40.3	46.5	57.5	66	45
33	140	39	49	49	56	66	70	54
34	140	40	50	50	57	65	70	55
35	140	40	52	51	59	71	76	58
36	258	25	28	33	47	50	47	38
37	800	50	51	58	71	78	86	63
38	960	46	55	65	80	95	103	68
39	1400	61	79	80	89	89	—	85
40	720	37	45	47	67	66	78	52
41	1660	51	61	69	81	95	—	73
42	48	37	42	38	46	58	65	45
43	200	38	45	47	58	63	62	52
44	22	22	36	45	52	56	55	46
45	11.2	21	31	40	57	61	60	42
46	12.8	24	31	45	56	61	64	43
47	8.7	17	29	40	55	60	56	39
48	8.0	21	26	36	56	64	61	38
49	13.3	24	36	48	58	63	63	46
50	12.6	21	39	41	55	61	66	41
51	21.7	27	40	49	57	58	60	48
52	23.2	30	42	50	58	61	64	51
53	31.1	31	41	44	50	50	58	48
54	29	34	40	48	51	57	49	49
55	62	40	51	58	63	64	57	52
56	42	36	47	51	58	62	52	55
57	86	38	42	38	46	57	67	46
58	35.6	27	36	39	45	51	51	44
59	500	44	52	58	75	84	72	63
60	1158	40	55	70	79	82	—	64
61	1158	47	59	73	82	82	—	70
62	1206	53	65	69	78	81	—	74
63	966	45	60	60	74	83	—	67
64	966	51	63	72	76	82	—	74
65	378	40	62	73	84	—	—	65

常用各类隔墙的计权隔声量 R_w

(2000 年版建筑物理)

表 7-3





单层与双层板和墙的隔声量
(1991 年版《噪声控制工程》)

表 7-4

类 别	材料及构造 (单位: mm)	面密度 (kg/m²)	平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)
单层板	1 厚铝板 (合金铝)	2.6	20.5	22
	1 厚铝板 + 0.35 厚镀锌薄钢板	5.0	22.7	25
	1 厚铝板涂 2 ~ 3 厚象牌石棉漆	3.4	23.1	25
	1 厚铝板涂 2 ~ 3 厚象牌石棉漆贴 0.35 厚镀锌薄钢板	5.8	28.1	30
	1 厚钢板	7.8	27.9	31

续表

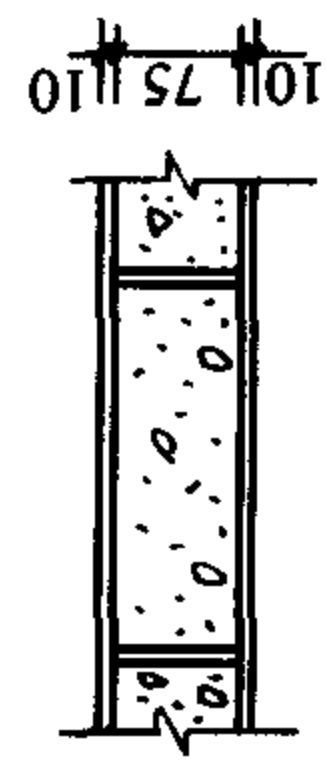
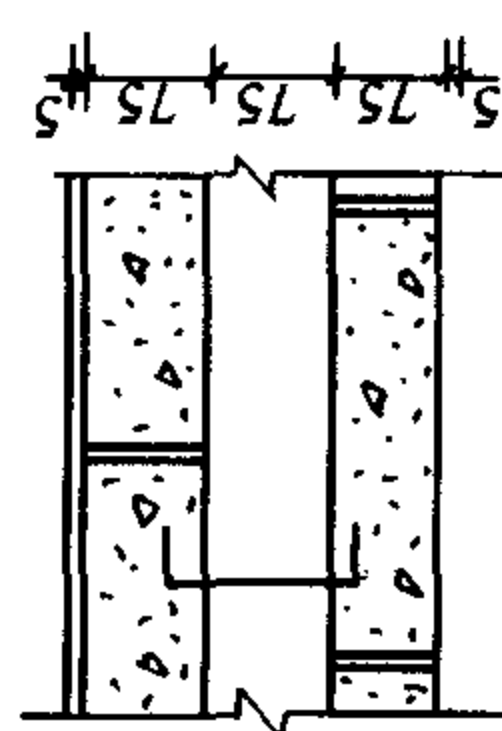
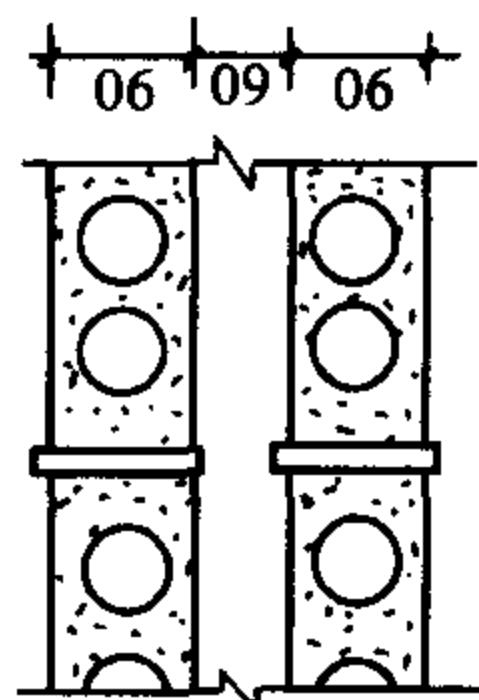
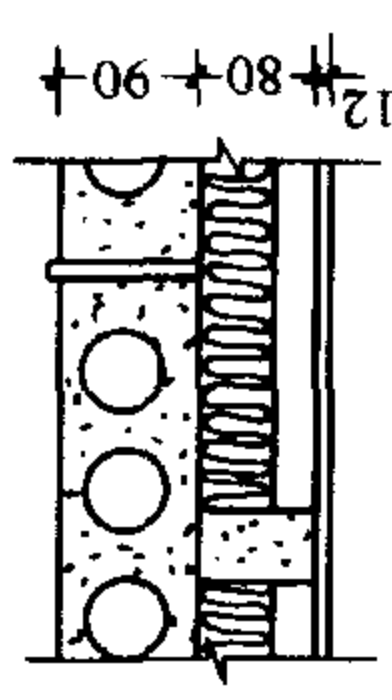
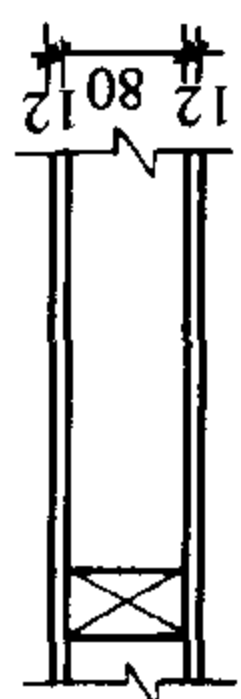
类 别	材料及构造 (单位: mm)	面密度 (kg/m ²)	平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)
单层板	1 厚钢板 + 0.5 厚钢板	11.4	28.7	30
	1 厚钢板涂 3 厚象牌石棉漆	9.6	30.1	32
	1 厚钢板涂 3 厚象牌石棉漆加 0.5 厚钢板	13.2	32.8	34
	2 厚铝板	5.2	25.2	27
	1.5 厚钢板	11.7	29.8	32
	1.5 厚钢板 + 0.75 厚钢板	17.5	31.4	31
	1 厚镀锌薄钢板	7.8	29.3	30
	1 厚镀锌薄钢板涂 2~3 厚阻尼层	9.6	32.1	33
	18 厚草纸板	4	24.5	27
	五合板	3.4	20.6	22
	20 厚碎木压榨板	13.8	28.5	31
	5 厚聚氯乙烯塑料板	7.6	26.6	29
	12 厚纸面石膏板	8.8	24.9	28
	20 厚无纸石膏板	20.4	30.5	31
	12~15 厚钢丝网抹灰	45.3	33.3	36
	12~15 厚钢丝网抹灰贴 50 厚矿棉毡	52.3	38.0	42
	50 厚五合板蜂窝板	8.7	25.3	29
	12+9 厚纸面石膏板	15.4	29.3	31
	50 厚石棉水泥板蜂窝板	23	31.8	35
双层板	12~15 厚钢丝网抹灰双层中填 50 厚矿棉毡	94.6	44.4	47
	双层 1 厚铝板 (中空 70)	5.2	30	26
	双层 1 厚铝板涂 3 厚石棉漆 (中空 70)	6.8	34.9	32
	双层 1 厚铝板 + 0.35 厚镀锌薄钢板 (中空 70)	10.0	38.5	36
	双层 1 厚钢板 (中空 70)	15.6	41.6	40
	双层 2 厚铝板 (中空 70)	10.4	31.2	32
	双层 2 厚铝板填 70 厚超细棉	12.0	37.3	39
	双层 1.5 厚钢板 (中空 70)	23.4	45.7	44
单层墙	90 厚炭化石灰板墙	65	33.9	33
	120 厚炭化石灰板墙	80	35.7	37
	150 厚尾矿粉加气混凝土墙	—	41.2	41
	75 厚加气混凝土墙 (砌块两面抹灰)	88	38.8	38
	150 厚加气混凝土墙 (砌块两面抹灰)	140	43.0	44
	100 厚加气混凝土墙 (条板、喷浆)	80	39.3	39
	200 厚加气混凝土墙 (条板、喷浆)	160	43.2	46
	115 厚矿渣珍珠岩吸声砖墙	100	31.5	33
	200 厚硅酸盐砌块 600×900 (两面抹灰)	450	48.7	52
	140 厚硅酸盐条板 (两面喷浆)	220	42.0	44

续表

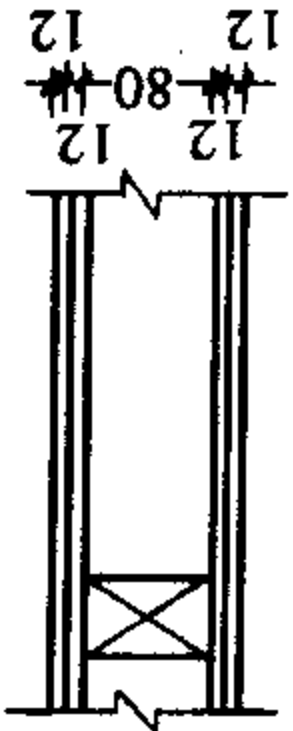
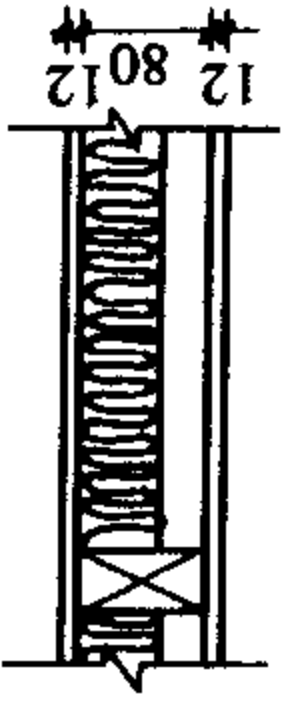
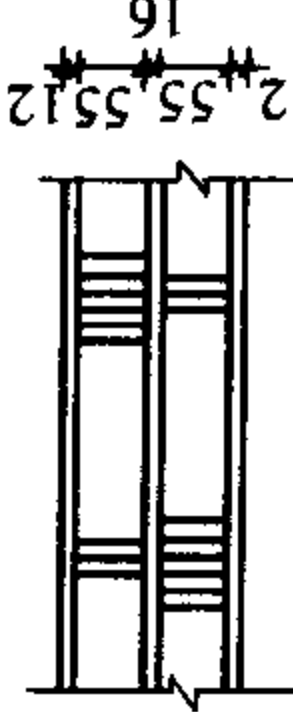
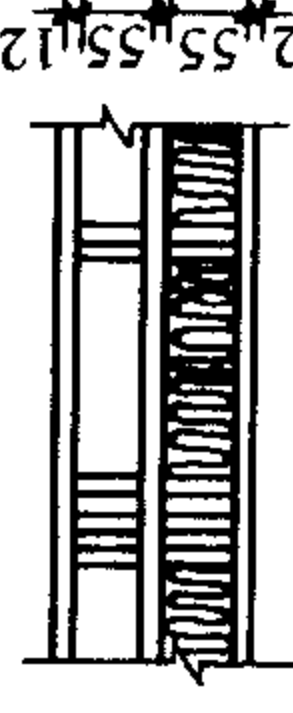
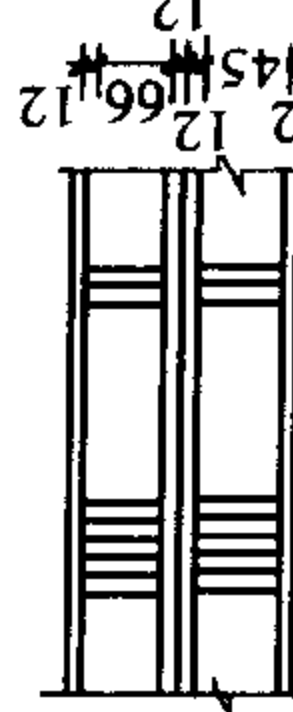
类 别	材料及构造 (单位: mm)	面密度 (kg/m ²)	平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)
单层墙	100 厚矿渣三孔空心砖 (两面抹灰 40)	120	40.4	43
	200 厚矿渣三孔空心砖 (两面抹灰 20)	210	43.1	46
	370 厚砖墙 (两面抹灰)	700	53.4	57
	240 厚砖墙 (两面抹灰)	480	52.6	55
	100 厚石膏蜂窝板墙	30	25.7	28
双层墙	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (18 + 200 中空 + 18)	27	36.2	39
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (18 + 200 内填 50 厚矿渣棉 + 18)	31	45.5	49
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (12 + 80 填矿棉 + 12)	29	45.3	49
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (2 × 12 + 80 中空 + 12)	35	41.3	41
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (12 + 9 + 80 中空 + 9 + 12)	40	43.6	45
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (2 × 12 + 80 中空 + 2 × 12)	45	44.2	46
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (12 + 80 填珍珠岩块 + 12)	40	39	44
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (12 + 油毡一层 + 80 填珍珠岩块 + 12)	42	42.5	45
	12 厚纸面石膏板双层墙, 木龙骨 (12 + 油毡一层 + 80 珍珠岩块 + 2 × 12)	52	44.7	48
	12 厚纸面石膏板双层墙, 木龙骨 (12 + 80 填珍珠岩块 + 12)	40	45.0	48
	炭化石灰板双层墙 (90 + 60 中空 + 90)	130	48.3	48
	炭化石灰板双层墙 (120 + 30 中空 + 90)	145	47.7	47
	90 炭化石灰板 + 80 中空 + 12 厚纸面石膏板	80	43.8	46
	90 炭化石灰板 + 80 填矿棉 + 12 厚纸面石膏板	84	48.3	51
	加气混凝土双层墙 (15 + 75 中空 + 75)	140	54.0	54
	100 厚中气混凝土 + 50 中空 + 18 厚草纸板	84	47.6	47
	100 厚加气混凝土 + 50 中空 + 三合板	82.6	43.7	40
	50 厚五合板蜂窝板 + 56 中空 + 30 厚五合板蜂窝板	19.5	35.5	39
	240 厚砖墙 + 80 中空内填矿棉 50 + 6 厚塑料板	500	64.0	63
	240 厚砖墙 + 200 中空 + 240 厚砖墙	960	70.7	68

各种构件的隔声特性
(1980年版《建筑物理》)

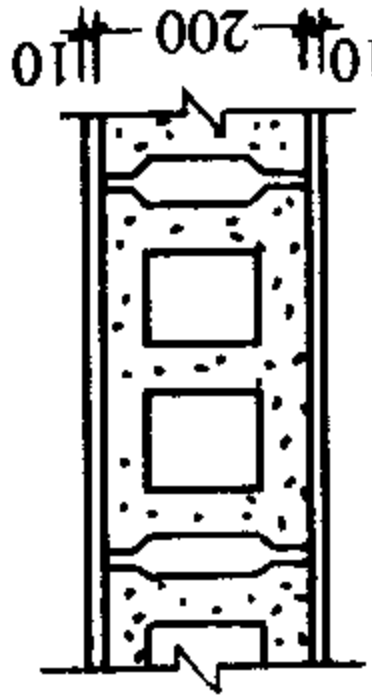
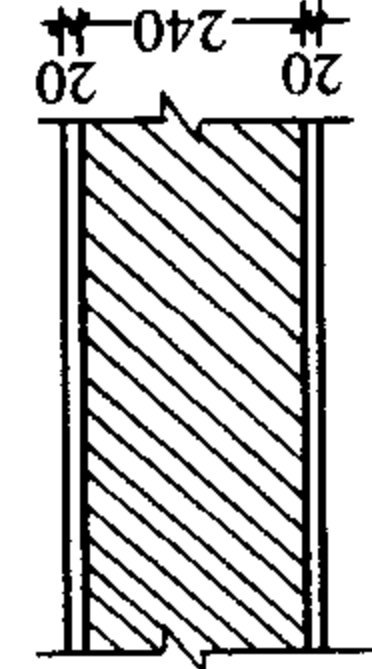
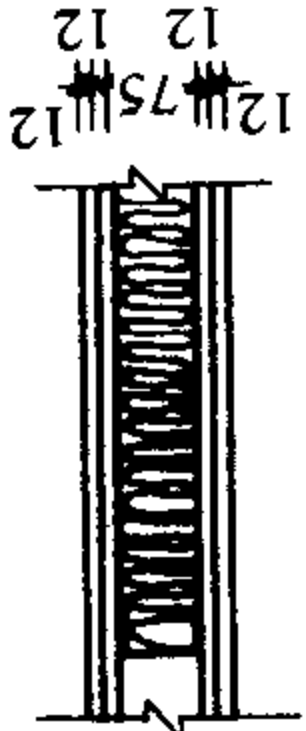
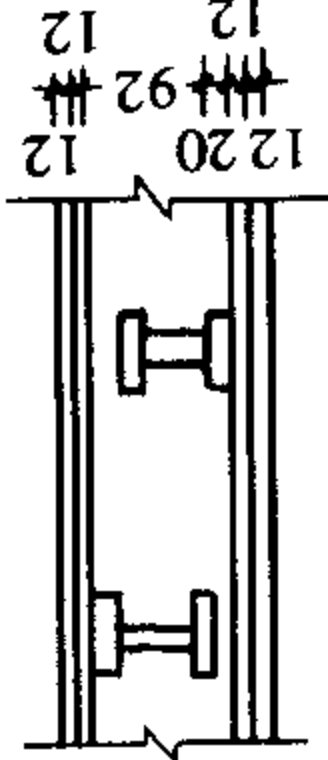
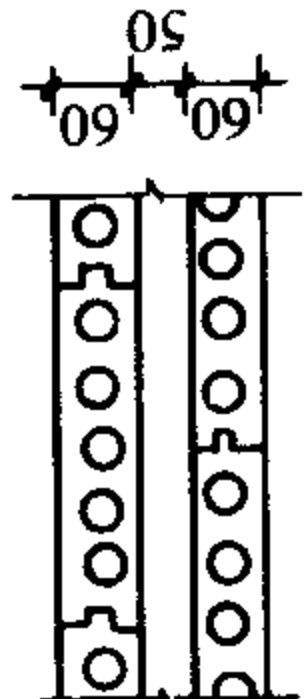
表 7-5

编 号	1	2	3	4	5
名 称	75 厚加气混凝土砌块	75 + 75 加气混凝土砌块	90 + 90 碳化石灰板	90 碳化石灰板 + 12 石膏板 (内加矿棉)	12 + 12 石膏板
材料及做法	 250 × 600 砌块两面抹灰	 500 × 600 砌块中空 75.5 厚麻刀抹灰扒钉连接	 90 + 90 碳化石灰板中 空 60 无饰面	 石膏龙骨用木螺丝固定 石膏板, 填矿棉	 石膏板固定在木龙骨上 勾缝无饰面
质量 kg/m ²	88	120	130	84	25
100Hz	32.4	38.2	37	40.5	23.7
125	29.9	35.4	38.7	42.0	26.9
160	30.6	33.4	38.4	37.4	27.4
200	32.3	41.7	41.7	44.6	24.3
250	30.4	38.9	41.9	45.4	29.1
315	31.3	41.8	42.3	43.3	30.3
400	30.7	43.3	42.5	47.5	32.3
500	30.4	46.0	43.7	47.1	34.7
630	34.1	44.2	41.9	46.6	38.9
800	38.2	43.2	45.1	48.6	41.2
1000	40.2	47.0	47.5	49.7	43.4
1250	43.1	52.8	51.3	51.6	44.8
1600	43.3	59	56.5	54.2	45.9
2000	49.2	62.2	59.7	56.1	42.0
2500	52.1	65.6	62.9	54.0	36.2
3150	53.1	67.5	63.8	54.3	37.7
4000	55.5	69.2	65.8	57.3	44.3
平均值	38.8	48.8	48.3	48.3	35.5
隔声指数	38.0	48.0	48.0	51.0	38.0

续表

编 号	6	7	8	9	10
名 称	12, 12 + 12, 12 石膏板	12 + 12 石膏板加矿棉	有空气层的 双层石膏板(错缝)	有空气层的双层 石膏板加矿棉	有空气层三层石膏板
材料及做法	 双层石膏板固定 在木龙骨上	 石膏板固定在木龙骨上, 中空 80 填矿棉	 石膏板固定在复合 石膏板龙骨上	 石膏板固定在复合石膏板 龙骨上, 内填沥青矿棉毡	 石膏板 12 固定 在石膏龙骨上
	质量 kg/m ²	29	35.6	40.0	50.0
	100Hz	31.5	20.6	32.6	26.5
	125	35.4	30.3	34.5	29.5
	160	26.9	31.2	37.3	29.3
	200	35.6	36.1	37.1	31.0
	250	34.6	37.2	40.6	38.8
	315	35.3	41.3	46.6	41.3
	400	42.1	47.1	49.8	45.9
	500	42.8	44.2	50.0	45.9
	630	45.7	48.0	51.8	45.5
	800	48.1	48.7	51.1	44.7
	1000	51.4	51.2	50.1	43.3
	1250	53.7	53.5	53.2	44.1
	1600	55.5	55.5	53.2	43.8
	2000	57.5	57.0	52.6	40.6
平均 隔声指数	2500	53.2	46.8	51.6	39.5
	3150	50.0	44.0	50.1	38.3
	4000	51.4	44.4	50.7	37.1
平均 隔声指数	44.2	45.3	42.0	46.8	38.5
	46.0	49.0	46.0	51.0	41.5

续表

编 号	11	12	13	14	15
名 称	200 焦渣空心砖墙	240 砖墙	12, 12+12, 12 石膏板 加玻璃棉毡	12, 12+12, 12 石膏板 (错缝、粘结)	圆孔珍珠岩石膏板, 双层
材料及做法	 两面各抹 10 砂子灰	 两面各抹 20 砂子灰	 石膏板固定在钢龙骨上 中空 75 填超细玻璃棉	 石膏板固定在工字形石膏 龙骨上, 两面脱开无连接	 双层多孔石膏板, 中空 50, 错缝、勾缝
	质量 kg/m ²	530.0			
	100	270.0	27	32	33
	125	32.4	30	31	36
	160	32.6	39	34	33
	200	31.5	41	40	36
	250	33.1	45	43	36
	315	37.6	47	46	35
	400	38.1	50	47	33
	500	39.1	50	49	34
	630	41.1	51	51	37
	800	41.4	52	54	42
	1000	43.5	55	55	44
	1250	45.7	57	58	48
	1600	48.8	59	61	52
	2000	51.3	58	62	53
	2500	53.2	56	62	57
	3150	55.1	56	59	57
	4000	56.1	60	56	61
	平均值	52.0	49	49.3	40.76
	隔声指数	43.1	53.0	53	40.0
		45.0			

单层板与双层板和墙的隔声量
(1980 年版《噪声控制》)

表 7-6

类 别	材 料 及 构 造 (mm)	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)	
			平 均	指 数
单层板	1 厚铝板 (合金铝)	2.6	20.5	22
	1 厚铝板 + 0.35 厚镀锌薄钢板	5.0	22.7	25
	1 厚铝板涂 2~3 厚象牌石棉漆	3.4	23.1	25
	1 厚板涂 2~3 厚象牌石棉漆贴 0.35 厚镀锌薄钢板	5.8	28.1	30
	1 厚钢板	7.8	27.9	31
	1 厚钢板 + 0.5 厚钢板	11.4	28.7	30
	1 厚钢板涂 3 厚象牌石棉漆	9.6	30.1	32
	1 厚钢板涂象牌石棉漆加 0.5 厚钢板	13.2	32.8	34
	2 厚铝板	5.2	25.2	27
	1.5 厚钢板	11.7	29.8	32
	1.5 厚钢板 + 0.75 钢板	17.5	31.4	31
	1 厚镀锌薄钢板	7.8	29.3	30
	1 厚镀锌薄钢板涂 2~3 厚阻尼层	9.6	32.1	33
	18 厚草纸板	4	24.5	27
	五合板	3.4	20.6	22
	20 厚碎木压榨板	13.8	28.5	31
	5 厚聚氯乙烯塑料板	7.6	26.6	29
	12 厚纸面石膏板	8.8	24.9	28
	12+9 厚纸面石膏板	15.4	29.3	31
	20 厚无纸石膏板	20.4	30.5	31
	12~15 厚钢丝网抹灰	45.3	33.3	36
	12~15 厚钢丝网抹灰贴 50 厚矿棉毡	52.3	38.0	42
	50 厚五合板蜂窝板	8.7	25.3	29
	50 厚五合板蜂窝板	10.8	29.6	32
双层板	50 厚石棉水泥板蜂窝板	23	31.8	35
	12~15 厚钢丝网抹灰双层中填 50 厚矿棉毡	94.6	44.4	47
	双层 1 厚铝板 (中空 70)	5.2	30	26
	双层 1 厚铝板涂 3 厚石棉漆 (中空 70)	6.8	34.9	32
	双层 1 厚铝板 + 0.35 镀锌薄钢板 (中空 70)	10.0	38.5	36
	双层 1 层钢板 (中空 70)	15.6	41.6	40
	双层 2 厚铝板 (中空 70)	10.4	31.2	32
	双层 2 厚铝板填 70 厚超细棉	12.0	37.3	39
	双层 1.5 厚钢板 (中空 70)	23.4	45.7	44

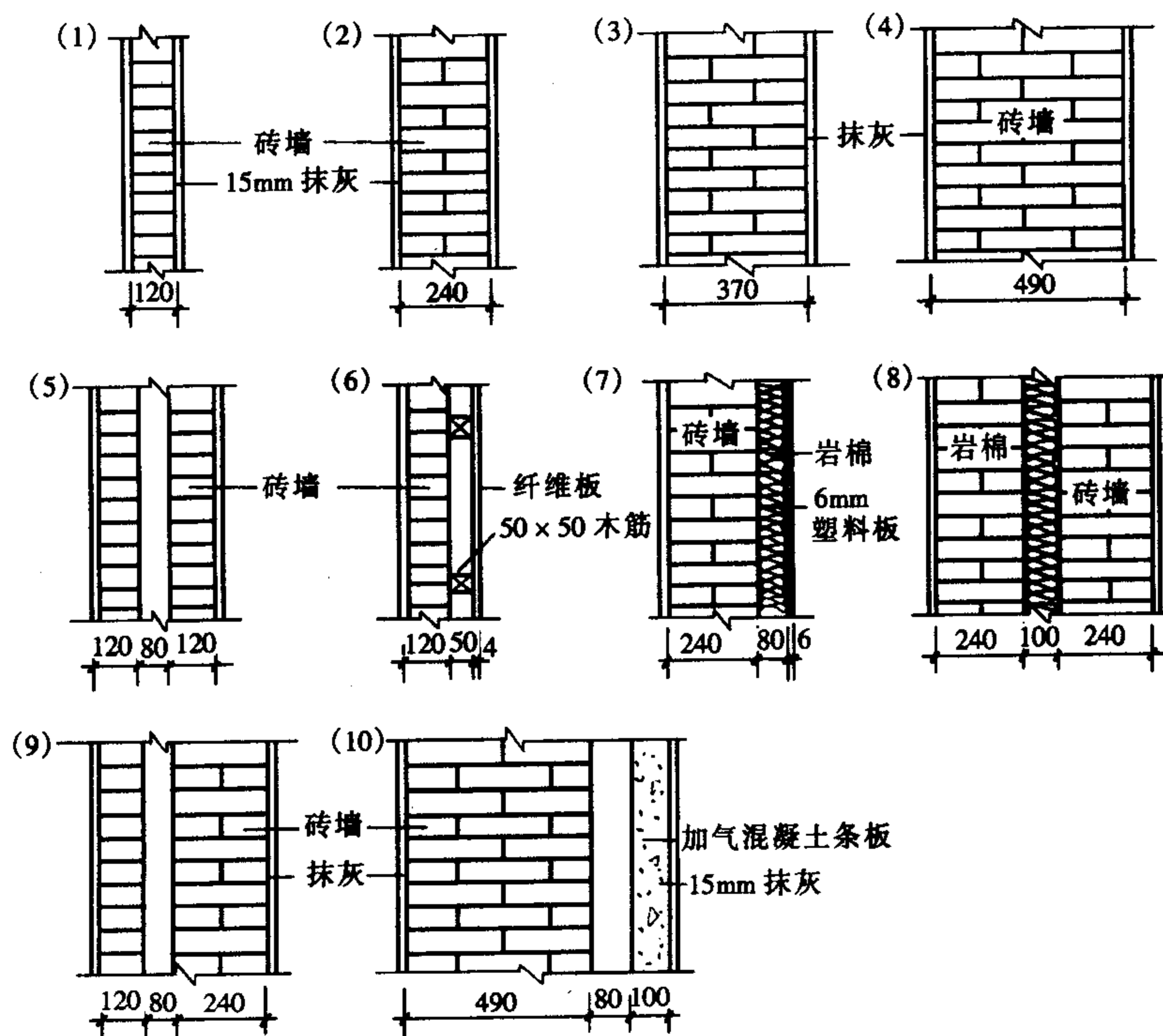
续表

类 别	材 料 及 构 造 (mm)	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)	
			平 均	指 数
单层墙	90 厚碳化石灰板墙	65	33.9	33
	120 厚碳化石灰板墙	80	35.7	37
	150 厚尾矿粉加气混凝土墙	—	41.2	41
	75 厚加气混凝土墙 (砌块两面抹灰)	88	38.8	38
	150 厚加气混凝土墙 (砌块两面抹灰)	140	43.0	44
	100 厚加气混凝土墙 (条板、喷浆)	80	39.3	39
	200 厚加气混凝土墙 (条板、喷浆)	160	43.2	46
	115 厚矿渣珍珠岩吸声砖墙	100	31.5	33
	200 厚硅酸盐砌块 600×900 (两面抹灰)	450	48.7	52
	140 厚硅酸盐条板 (两面喷浆)	220	42.0	44
	100 厚矿渣三孔空心砖 (两面抹灰 40)	120	40.4	43
	200 厚矿渣三孔空心砖 (两面抹灰 20)	210	43.1	46
	370 厚砖墙 (两面抹灰)	700	53.4	57
	240 厚砖墙 (两面抹灰)	480	52.6	55
	100 厚石膏蜂窝板墙	30	25.7	28
双层墙	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (18+200 中空+18)	27	36.2	39
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (18+200 内填 50 厚矿棉+18)	31	45.5	49
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (12+80 填矿棉+12)	29	45.3	49
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (2×12+80 中空+12)	35	41.3	41
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (12+9+80 中空+9+12)	40	43.6	45
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (2×12+80 中空+2×12)	45	44.2	46
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (12+80 填珍珠岩块+12)	40	39	44
	18 厚塑料贴面压榨板双层墙, 钢木龙骨 (12+油毡一层+80 填珍珠岩块+12)	42	42.5	45
	12 厚纸面石膏板双层墙、木龙骨 (12+油毡一层+80 珍珠岩块+2×12)	52	44.7	48
	12 厚纸面石膏板双层墙、木龙骨 (12+80 填珍珠岩块及矿棉体+12)	40	45.0	48
	碳化石灰板双层墙 (90+60 中空+90)	130	48.3	48
	碳化石灰双层墙 (120+30 中空+90)	145	47.7	47
	90 厚碳化石灰板+80 中空+12 厚纸面石膏板	80	43.8	46
	90 厚碳化石灰板+80 填矿棉+12 厚纸面石膏板	84	48.3	51

10 种砖墙的隔声性能
(1992 年版《实用建筑声学》)

表 7-7

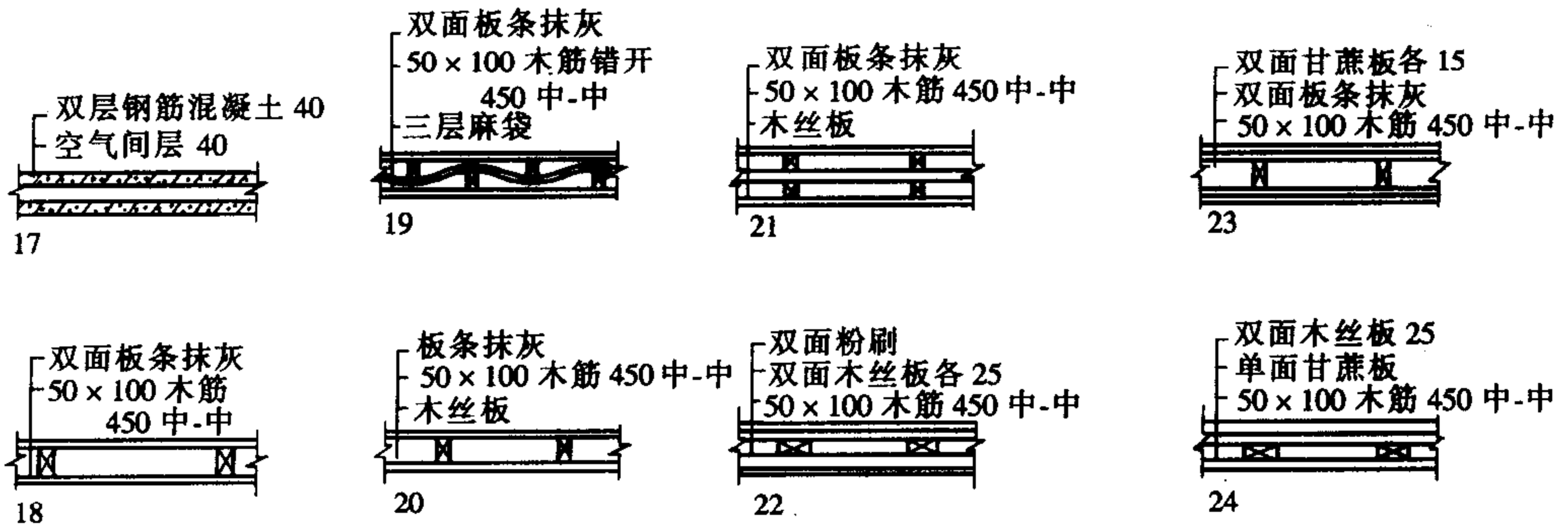
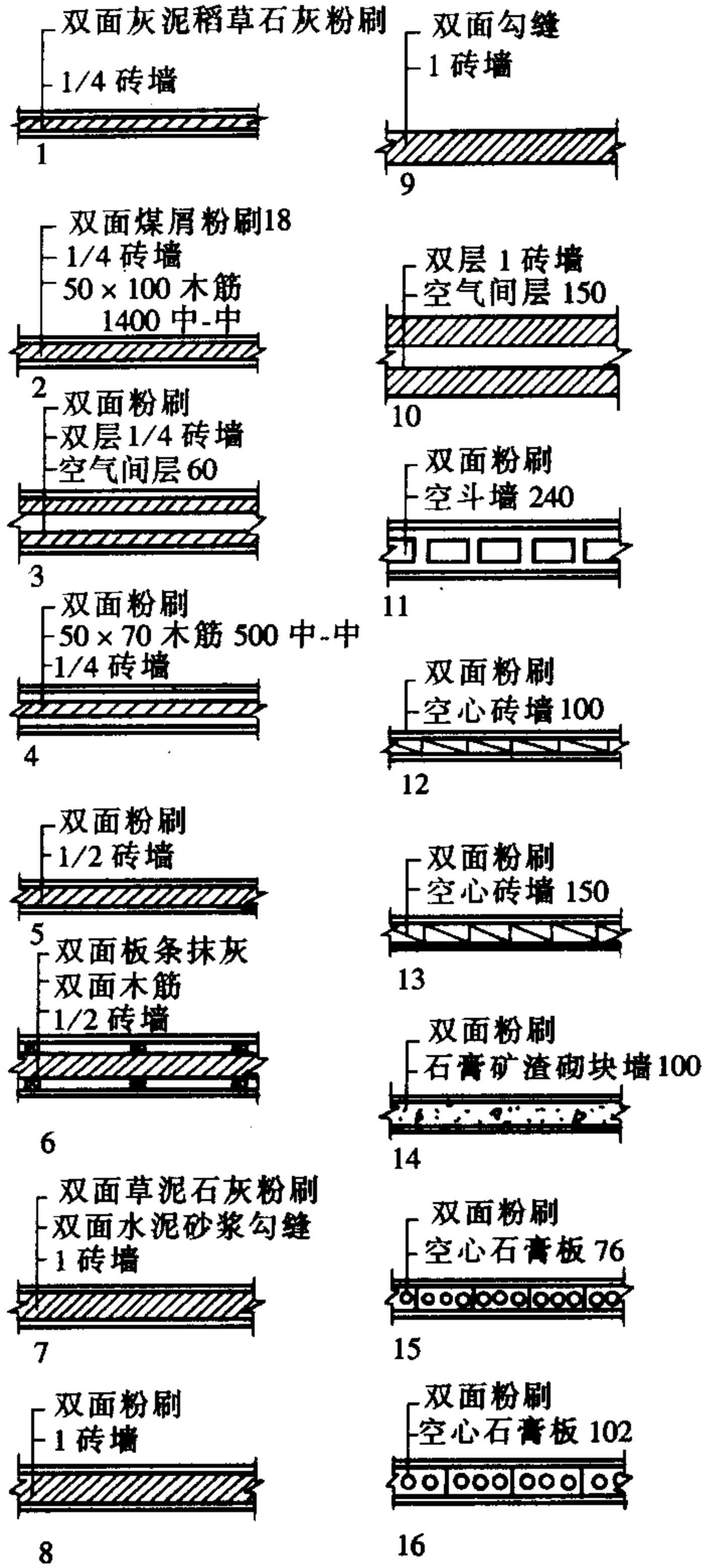
编 号	构 造 简 述 (厚度单位, mm)	面密度 (kg/m ²)	下述频率 (Hz) 的隔声量 (dB)						计权隔声量 R_w (dB)	构造图号 3-27
			125	250	500	1000	2000	4000		
①	120 厚砖墙, 双面抹灰	240	37	34	41	48	55	53	47.5	(1)
②	240 厚砖墙, 双面抹灰	480	42	43	49	57	64	62	54.5	(2)
③	370 厚砖墙, 双面抹灰	700	43	48	52	60	65	64	56.5	(3)
④	490 厚砖墙, 双面抹灰	840	45	53	56	65	66	67	59.5	(4)
⑤	双层 120 厚砖墙, 中空 80	480	38	45	51	62	64	63	54.0	(5)
⑥	120 厚砖墙与纤维板复合, 中空 50	320	39	40	44	53	57	58	49.5	(6)
⑦	240 厚砖墙与岩棉及塑料板 复合	500	44	52	58	73	77	69	63.0	(7)
⑧	双 240 厚砖墙, 中空 100 填 岩棉	970	51	63	67	74	81	—	69.5	(8)
⑨	120 厚砖墙与 240 厚砖墙复 合, 中空 80	700	45	52	54	63	67	69	61.0	(9)
⑩	490 厚砖墙与加气混凝土复 合, 中空 80	1160	47	59	73	82	82	—	69.0	(10)



墙和隔墙的隔声量
(1980 年版《噪声的危害及防治》)

表 7-8

墙和隔墙的隔声量									
类别	序号	重量 (kg/m ²)	隔 声 量 (dB)						
			125	250	500	1000	2000	4000	平均值
1/4 砖墙	1	113	41	41	45	40	46	47	43
	2	160	25	30	30	34	41	40	32
	3	258	25	28	33	47	50	47	38
	4	163	19	25	32	43	43	46	33
1/2 砖墙	5	225	33	37	38	46	52	53	45
	6	280	—	52	47	57	54	—	50
1 砖墙	7	457	44	44	45	53	57	56	49
	8	500	10	45	40	53	54	54	48
	9	444	37	43	53	63	73	83	58
	10	800	50	51	58	71	78	80	64
空心 (斗) 墙	11	374	21	22	31	33	42	46	31
	12	183	19	22	29	35	44	44	31
	13	197	23	33	30	38	42	39	34
其他	14	217	18	23	29	40	45	44	31
	15	95	34	35	36	41	47	—	33.5
	16	110	35.5	36.5	38.3	44.7	50.7	—	41
	17	200	38	45	45	58	63	62	52
	18	70	17	22	22	44	49	48	35
	19	73	21	30	30	45	52	51	38
	20	79	21	25	25	45	52	48	35
	21	53	11	24	24	42	49	48	33
	22	77	20	24	24	47	50	46	36
	23	100	14	22	22	39	50	50	32
	24	42	1	7	7	16	34	36	16



双层围护结构的隔声量 (dB)

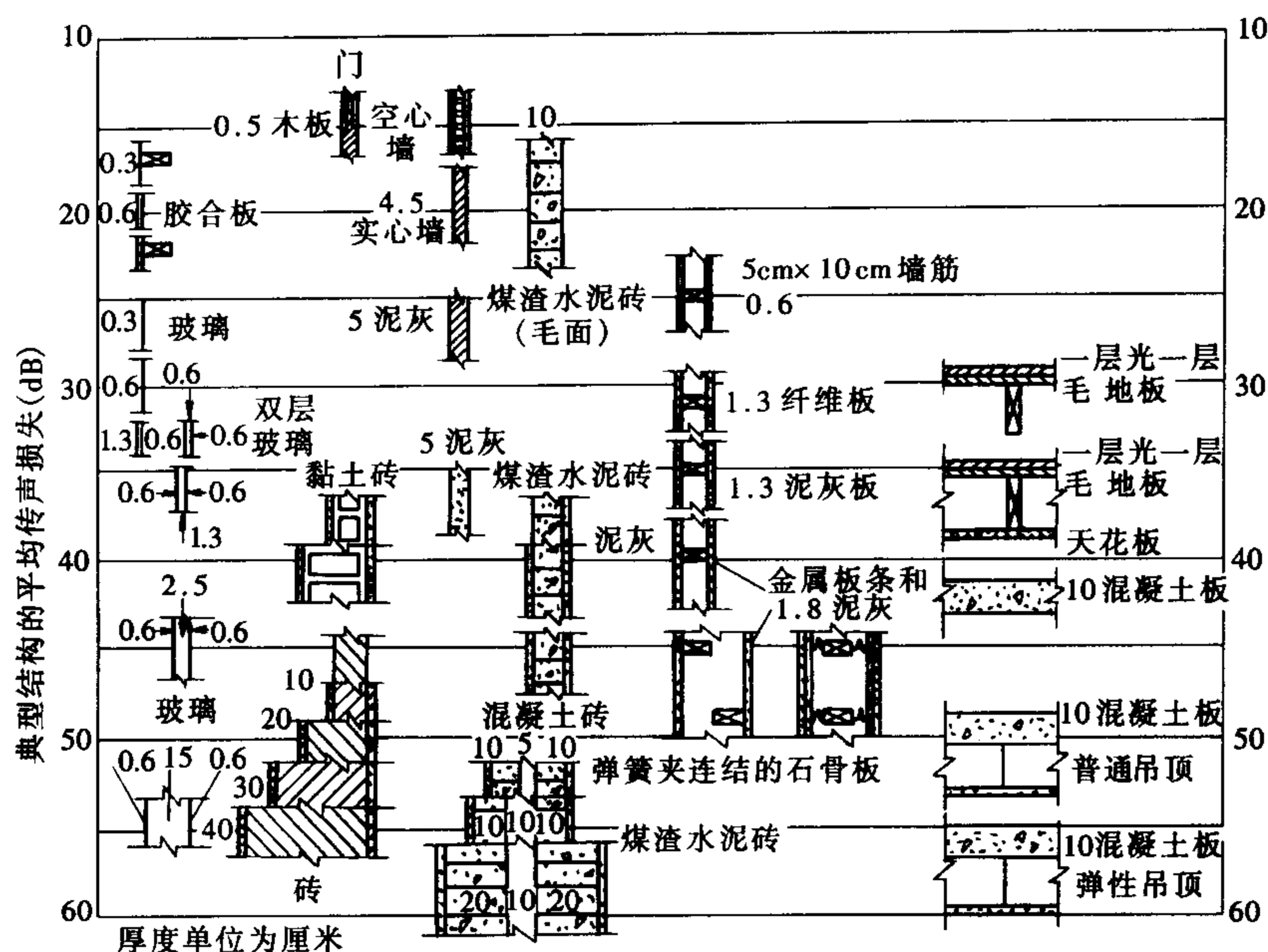
表 7-9

材料及构造情况	厚 度		质量 (kg/m ²)	倍频带中心频率 (Hz)						平 均 隔声量 (dB)
	构 件	空气层		125	250	500	1000	2000	4000	
双层砖墙 (在同一个基础上)	各 24cm	15cm	800	49	51	60	68	74	81	64
双层砖墙 (在同一个基础上)	12cm, 24cm(粉刷)	30cm	720	37	45	47	67	66	78	56
双层钢筋混凝土板 (在同一个基础上)	各 4cm	4cm	180	36	43	42	46	55	57	47
双层胶合板墙	各 0.5cm	8cm	5.2	16	18	28	34	40	33	28
双层硬质纤维板墙	各 0.5cm	8cm	10.2	25	25	37	44	53	59	39
双层纸面石膏板墙 (木龙骨)	各 1.2cm	8.0cm	25	27	29	35	43	42	44	36
加气混凝土双层墙	各 7.5cm	10cm	140	39	49	49	56	66	70	54

单层围护结构的隔声量 (dB)

表 7-10

材料及构造情况	厚 度	质 量 (kg/m ²)	频 率 (Hz)						平均隔声量 (dB)
			125	250	500	1000	2000	4000	
砖砌体 (双面抹灰)	1/2 砖	220	39	40	42	48	54	60	47
	1 砖	420	41	44	51	58	64	65	54
	1½ 砖	620	44	48	55	61	65	65	56
钢筋混凝土板	5cm	125	34	35	35	41	48	55	41
	10cm	250	40	40	44	50	55	60	48
	20cm	500	42	44	51	59	65	65	54
木丝板	2cm	12	23	26	26	26	26	26	26
胶合板	0.3cm	2.4	11	14	19	23	26	27	20
	0.5cm	4.0	13	17	21	25	28	26	22
木板条抹灰 (双面板条抹灰, 木筋 5×10cm 中距为 45cm)	15cm	70	17	22	35	44	49	48	36
纸面石膏板	1.2cm	8.8	14	21	26	31	30	30	25
无纸石膏板	2.0cm	24	29	27	30	32	30	40	31
硅酸盐砌块墙	20cm	450	35	41	49	51	58	60	49
陶粒混凝土板墙	14cm	238	32	31	40	43	49	56	42



不同结构的平均传声损失。图表上的数据系假设周围没有声漏的，就是说，所有声音只有通过这个间壁传到接收房间，没有其他路径过去。

图 7-1 不同结构的传声损失 (1959 年版《声学》)

第三节 分析说明

这里对以上构件隔声量实测图表数据做几点分析说明：

1. 上例图表中 R 表示该构件常用的六个倍频程中心频率分别测得的声压级的算术平均值，例如表 7-1 中序号 81，24cm 厚砖墙：六个倍频程中心频率 $f = 125\text{Hz}$ 、 250Hz 、 500Hz 、 1000Hz 、 2000Hz 、 4000Hz 分别测得的声压级的隔声量依次为 42dB、49dB、57dB、64dB、62dB，则平均隔声量为：

$$\bar{R} = (42 + 43 + 49 + 57 + 64 + 62) / 6 = 53\text{dB}。$$

2. 上例图表中 I_a 表示隔声指数，是考虑到人耳的听觉特性，与标准折线相对应，得出的单值隔声量，因而更加符合人耳的听觉特性。关于隔声指数的概念，本书将在以后述及。 R_w 表示构件的计权隔声量，将在第九章中述及，它与隔声指数实际上是一个值，只是用两种概念获得。

3. 图表中所示构件全部为墙，有些表中有“钢筋混凝土板”，实际上指的也是墙，但我们也可以把“钢筋混凝土板”看成是楼板、顶板。对此，本书前已述及，因为凡提到构件隔绝空气声，几乎所有的声学书籍中都指为墙，但是楼板、顶板也有与墙一样重要的隔绝空气声的问题，建筑师在遇到楼板、顶板隔声时，可按“钢筋混凝土板”判断隔声量。楼板隔绝撞击声的解决，不等于空气声的隔绝也自然地解决了。例如，居住建筑中地板上只要铺一层厚地毯，人走路，儿童玩耍等产生的撞击声的隔绝问题，便可解决，但铺一层地毯却不一定能同时解决得了空气声的隔绝问题，所以楼板隔绝空气声与墙一样重要，理论也一样。

4. 一些图表给出的构件面密度 m 值不够准确, 与建筑师、结构工程师在工程设计中采用的值不一样, 例如 24cm 厚砖墙双面抹灰的面密度 m , 土建工程设计中是 530kg/m^2 , 而多数图表中都是 480kg/m^2 , 由于图表中的隔声量值是实测值, 480kg/m^2 是测试现场实测的还是估算的我们可不追究, 而只相信其实测的 $R = 53\text{dB}$ 就是 24cm 厚砖墙双面抹灰的隔声量。同时, 尽管 480kg/m^2 不实际, 但 480kg/m^2 与 530kg/m^2 的隔声量差值仅为 1dB , 此点建筑师们心中有数即可。

5. 由图表中的实测数据可以看出, 对于重而厚的构件而言, 面密度 m 加倍, 隔声量的增加值是 $6 \sim 8\text{dB}$, 而不是理论上的 6dB , 也不是小于 6dB 。实测数据 $6 \sim 8\text{dB}$ 与公式 $23\lg 2 = 6.9\text{dB}$ 是接近的, 我们的立足点是看重实测数据, 此点需提请建筑师注意。同时图表中显示的轻而薄的墙的质量加倍, 隔声量的增加也不是 6dB , 而只有 $2 \sim 4\text{dB}$, 或接近 4dB , 这与公式 $13.5\lg 2 = 4\text{dB}$ 相近。

6. 多年来, 各设计院、所、公司的建筑师们在进行建筑围护结构的隔声设计中, 都是采用重而厚的构件, 即砖墙, 混凝土墙、板等。当前, 对厂房中的强噪声的隔绝, 还是得用重而厚的构件, 以增加面密度。但是各种隔声设计规范的出台, 对大量的民用建筑如宾馆、住宅、学校、医院、办公建筑等都有安静度即噪声允许值的限定, 而这些建筑中的围护结构构件又大多是在框架结构中填充轻质构件, 如加气混凝土、炉渣混凝土、陶粒混凝土、黏土空心砖、各种空心砌块等, 更有大量的薄板, 如石膏板、矿棉板、GRC 板, 蜂窝板、各种纤维水泥薄板、埃特板、压型钢板、铝合金幕墙等等。这些构件从质量定律和面密度的角度讲, 因为质轻隔声效果不如重而厚的构件, 因而必须经过组合处理, 才会有一定的隔声效果, 若组合恰当也会获得较高的隔声量, 但很难用公式计算, 而上述图表中, 记载了大量的、不同构造形式组合的轻薄构件隔声量, 对建筑师作建筑围护结构构件隔绝空气声定量设计是很有实用价值的。

第八章 构件隔声的平台作图法

第一节 概 述

在判断构件的隔声量时,还可采用瓦特斯提出的平台作图法。平台作图法所显示的构件各频率隔声量,比别的方法求出的单值(平均)隔声量,能更明确地显示构件的隔声频率特性,也比用分频计算的公式,一个频程一个频程的计算更为方便,从而让建筑师们对构件进行隔声设计时,通过平台作图法得知该构件的隔声频率特性,对照欲被隔绝的噪声源的频率特性进行分析、比较,也是一种判断构件隔声量的方法。

第二节 平 台 作 图 法

平台作图法即隔声频谱曲线作图法,是依据质量定律和临界频率的频率位置,大致描绘出来的。由于同种材料构件的板,不论其厚度如何,其临界频率处的隔声量值与凹谷的宽度基本相同,并可用一个平台高度来表示。一般单层均质构件的隔声频率特性都有如图8-1所示的特性。

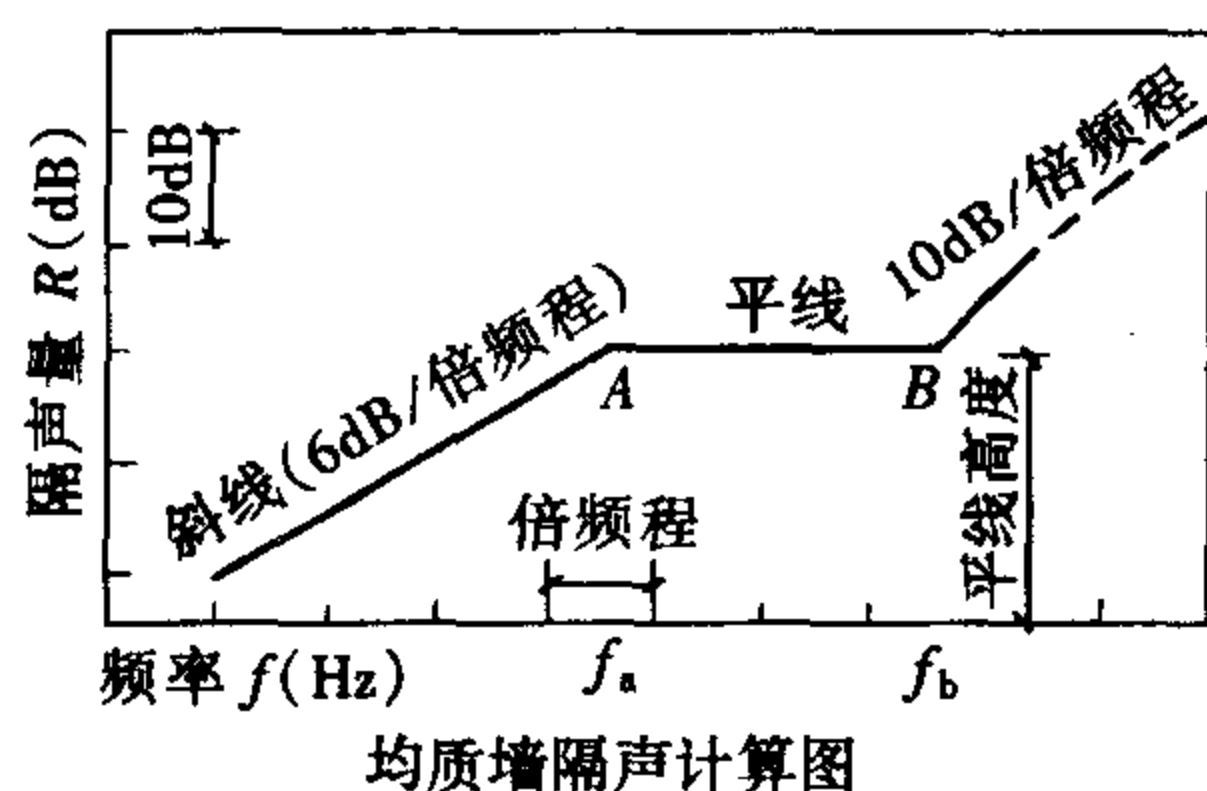


图 8-1 平台作图法隔声计算图

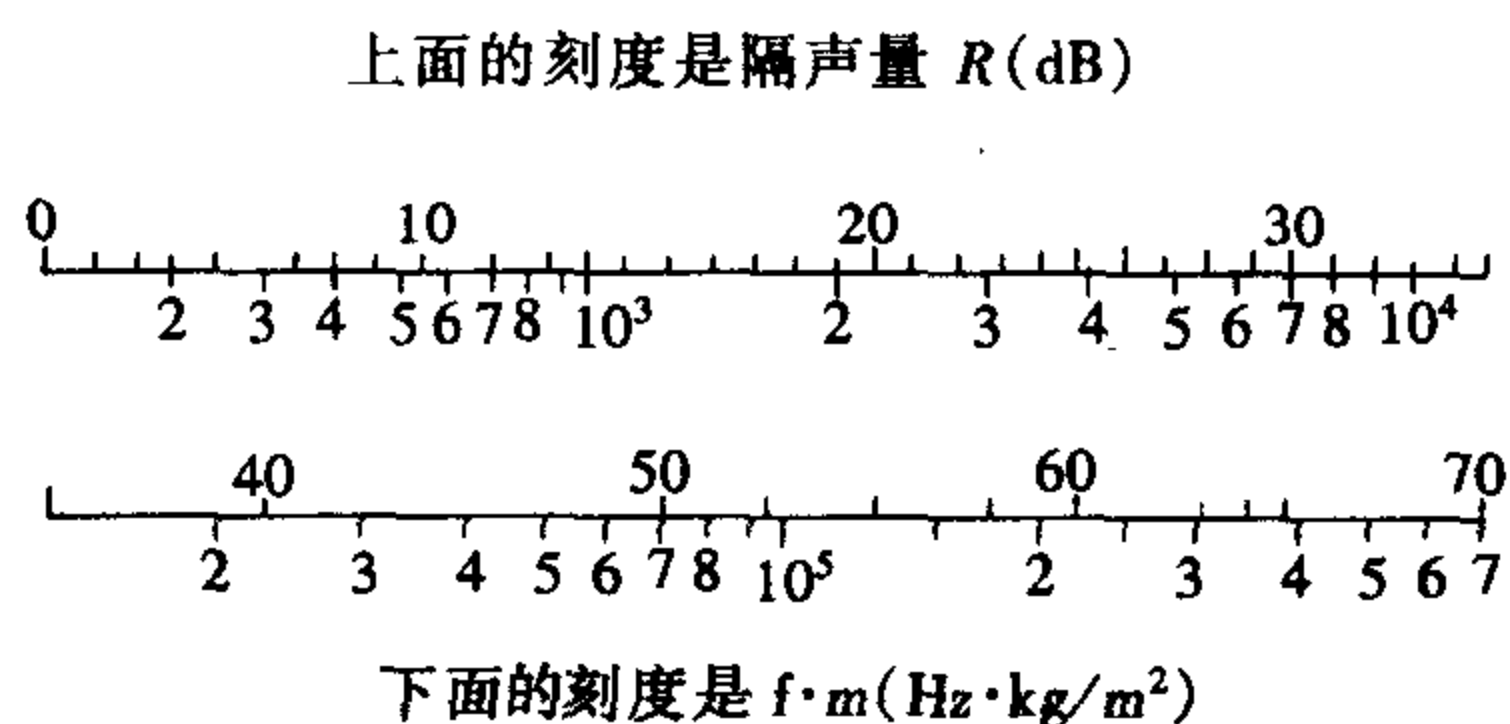


图 8-2 墙壁的质量、声频与隔声量的关系

图中A点以左的斜线显示构件的隔声量是以6dB/oct的速率上升,此斜线是由图8-2决定的,图8-2横线下方为构件面密度 m 与声频 f 的乘积,乘积值所对应的上方,即为该构件的隔声量 R 。通过此 R 与 f 在图8-1所得坐标点,作6dB/oct为斜率的斜线,此斜线与右侧的平线相交于A点。平线即平台AB线,其高度和宽度由表8-1决定,即先从表8-1中找出平台高度dB数,并以此dB数高度在图8-1上画水平线,与左侧的6dB/oct为斜率上升的斜线相交得A点,隔声的质量定律段到A点为止,此A点所对应的频率为 f_a ;再由表8-1中给出的 $f_a - f_b$ 的平台宽度值,求得 f_b 点,从而可得平台的宽度及对应的B点。在B点以右更高的频率范围,构件的隔声量先是在第一个频程以10dB/oct的斜率上升,继而便以6dB/oct的斜率随频率上升,又是符合质量定律了。平台作图法所显示的曲线,即表示某种材料的构件对各频率入射声的隔声量。平台所显示的构件在 $f_a - f_b$ 频率段的

隔声量，显然是下降了，这个下降平台之所以产生，就是吻合效应而导致的。*AB* 平台即为构件在隔绝空气声上的吻合效应区。

单层板隔声频率特性曲线作图用的数据 表 8-1

材料名称	面密度	平台高度 (dB)	平台宽度 (f_b/f_a)	材料名称	面密度	平台高度 (dB)	平台宽度 (f_b/f_a)
	每厘米厚 (kg/m^2)				每厘米厚 (kg/m^2)		
铝	27	29	11	钢	78.5	40	11
密实混凝土与钢筋混凝土	23~24	38	4.5	玻璃	25	27	10
砖砌体	21	37	4.5	胶合板(杉木)	6	19	6.5
水泥砂浆	18	30	8	焦渣砌块	14	30	6.5
铅	112	56	4				

第三节 平台作图法举例

由于相同的单层均质构件，不论其厚度如何，其吻合效应区的隔声量值与隔声山谷的宽度基本相同，因此，可以用一个平台高度及宽度来表示，但吻合频率 f_c 的位置决定于材料厚度，见图 8-3。

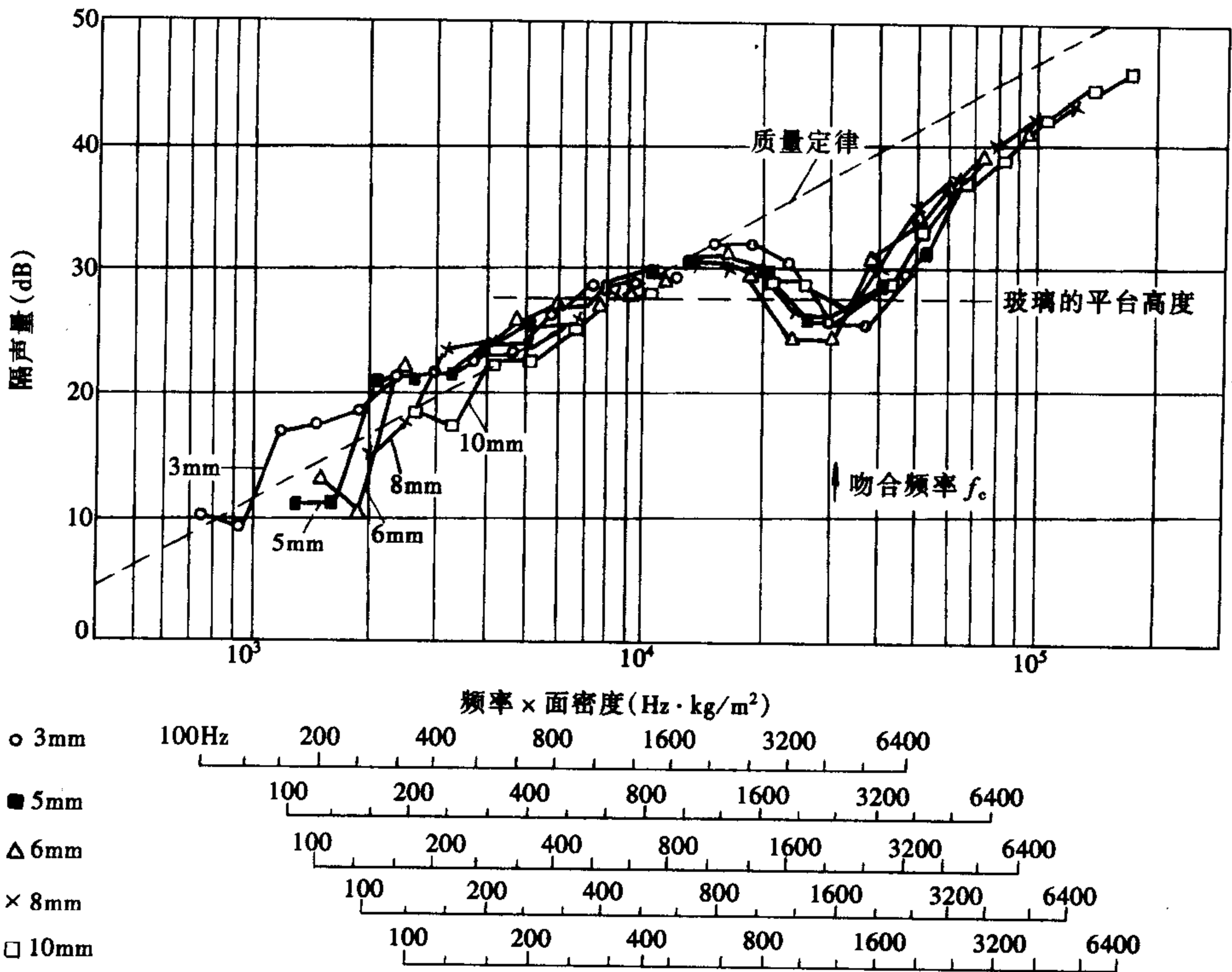


图 8-3 5 种不同厚度玻璃临界频率位置的规律性

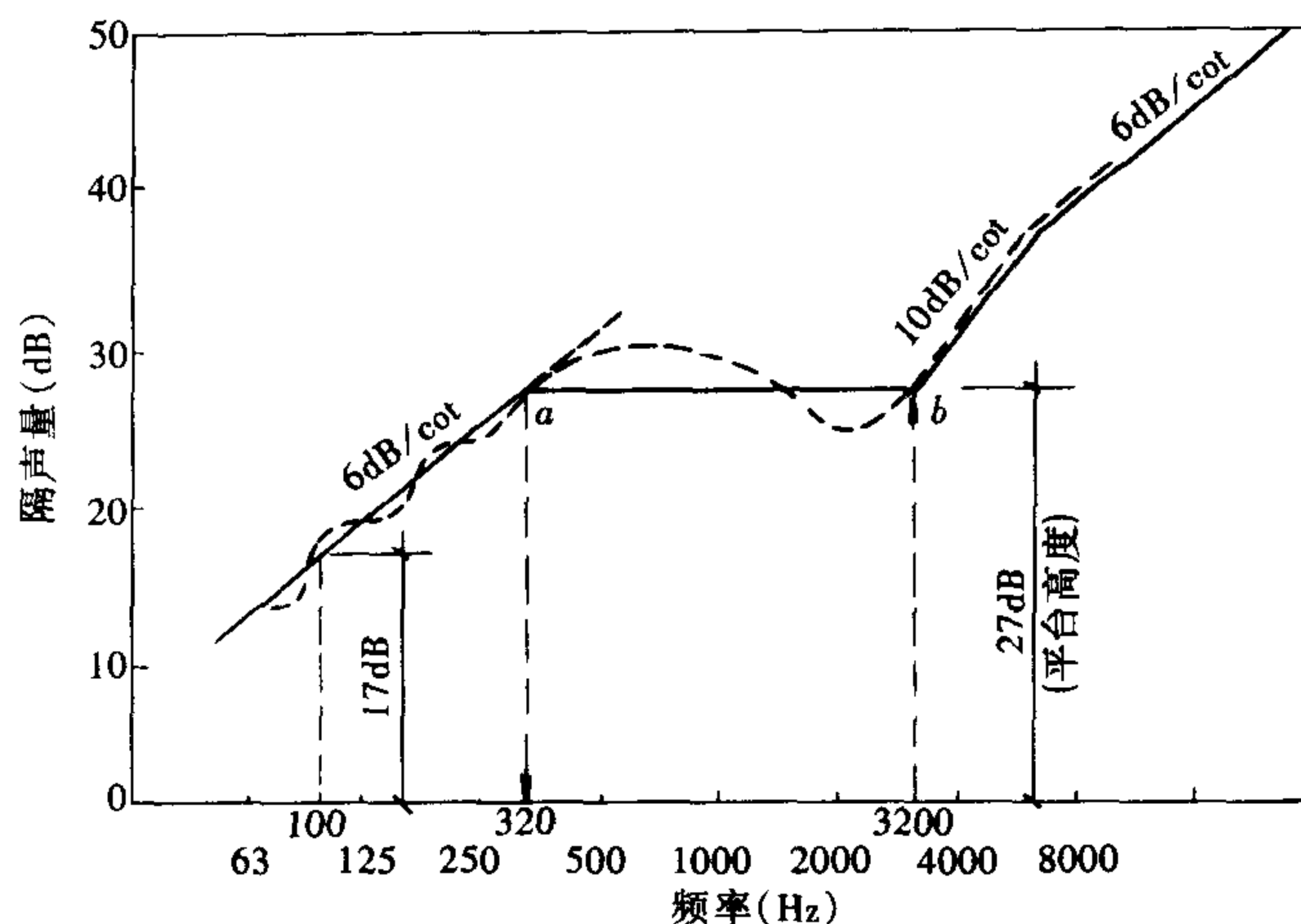


图 8-4 玻璃隔声曲线的平台作图法

我们以 10mm 厚玻璃为例，用平台作图法，求该构件的隔声频率特性曲线，见图 8-4。

1. 10mm 厚玻璃面密度为 $25 \times 1 = 25\text{kg/m}^2$ ；
2. 求任一频率的隔声量。设此频率为 100Hz，则由前面公式或查图得出 $R_{100} = 17\text{dB}$ ；
3. 过 100Hz 隔声量为 17dB 点，作 6dB/oct 的斜线；
4. 求 f_a 点的频率位置。由表 5-3 查得玻璃平台高度为 27dB，按此高度画水平线与斜线交于点 a ，读出 f_a 约为 320Hz；
5. 求 f_b 点的频率位置。由表 8-1 查得玻璃平台宽度 f_b/f_a 比值为 10， $f_b = 320 \times \frac{f_b}{f_a} = 320 \times 10 = 3200\text{Hz}$ ；
6. 过 b 点作 10dB/oct 的斜线，上升一个倍频程，然后改作 6dB/oct 的斜线。

第四节 几点分析

1. 平台作图法求隔声量，对厚而重的构件如砖墙、多孔空心砖墙、钢筋混凝土板等不太适宜，因为我们从第二章的构件隔声频率特性中已知，厚而重的构件，它们的临界频率大多在 100Hz 以下，用平台作图法求出的 $f_a - f_b$ 的平台宽度，其频段基本在 100Hz 左右或以下，并未在常用的声频区，而在比 f_b 更高的全部常用的声频区，构件的隔声量是由质量定律控制的，所以平台作图法对厚而重的构件实用意义不大。

2. 各种构件在隔声中都会受吻合效应的影响，从而降低隔声量，但降低多少却不一样，即呈现的平台高度不一样。表 8-1 大体上反映了表观密度越大构件受吻合效应影响，隔声量的降低值越小，即平台越高。而平台的宽度却无规律性，即基本是由构件本身的隔声频率特性决定的。平台的位置的规律在于同种构件面密度越大、越厚重越向低频移动。面密度越小、越薄，平台越向高频移动。在低频区主要是靠材料的面密度的加大而增加隔

声量，当吻合效应导致的隔声下降，平台靠近低频区时，形成这种状况的条件，必然是材料面密度大的时候。

3. 表 8-1 仅给出了比较常用的 9 种建筑材料的平台高度和宽度。当前常用的如纸面石膏板、加气混凝土、多孔空心砖等表中未见，所以对这些材料尚无法用平台作图法求构件的隔声量。

4. 平台作图法所显示的构件隔声量，是以理论公式为依据画出的，其值偏大于实测值，更偏大于现场隔声情况，用平台作图法求出的构件隔声频谱特性曲线，只是近似的，大致的，理论成分较大。所以平台作图法提供给建筑师，只是让建筑师有个了解，供参考，对隔声设计实用性不是很大。

第九章 隔声指数——计权隔声量

第一节 概 述

求构件隔声量的单值，有平均隔声量法，即构件六个中心频率隔声量的算术平均值，还有以构件 500Hz 或 550Hz 的隔声量代表该构件隔声量的。但这些方法不能对各种构件的隔声性能作统一比较，与人对隔声性能的主观判定也有一定的差距，为此必须设法寻求评价量与人的主观反映尽可能接近的单值评价方法，于是就有了隔声指数法、计权隔声量法，A 声级法。

第二节 隔 声 指 数

隔声指数是确定构件隔声量的又一种评价方法，它与平台法不同的是所求出的构件隔声值，是模拟了人耳听觉特性，从对人敏感的声频范围 100 ~ 3150Hz 频带隔声量测定或计算中，推导出的单一隔声量值。多年来，苏联、法国、德国、日本、美国、英国等国家，都先后制定了本国的隔声评价曲线和相应的单值评价量的计算方法。1968 年国际标准化组织 ISO/R717 推荐用隔声指数评价构件隔声性能，当时主要是针对住宅，所以叫“居住建筑的隔声评价方法”，这个方法是目前在世界范围包括我国在内影响较大的隔声评价方法，而且它已超出建筑领域，许多噪声控制工程中的隔声评价，也都使用这一评价方法。

隔声指数是用构件的隔声频率特性曲线，与标准折线（参考曲线、标准曲线）相比较而得出的，标准折线是由国际标准化组织推荐的，折线走向规定为：频率 100 ~ 400Hz 时为 9dB/oct，400 ~ 1250Hz 时为 3dB/oct，1250 ~ 3150Hz 时为平直，见图 9-1。这个标准折线图的 500Hz 所对应的纵坐标隔声量为 52dB。实际上标准折线走向图有很多条，500Hz 所对应隔声量值也是多种的，见表 9-1。

隔声指数的确定：在确定隔声指数 I_g 时，首先将已知构件的隔声频率特性曲线绘在坐标纸上，其横、纵坐标比例与标准折线图 9-1 的横、纵坐标比例相同，可以用 1/3 倍频程，也可以用 1/1 倍频程的坐标，然后将用透明纸绘制的隔声指数标准折线图 9-1 与构件的隔声频率特性曲线图相重合，使频率坐标对准，并沿垂直方向上下移动至满足如下两个条件时为止：

1. 当为 1/3 倍频程坐标时：

(1) 隔声频率特性曲线的任一频带的隔声量在标准折线下方均不超过 8dB。

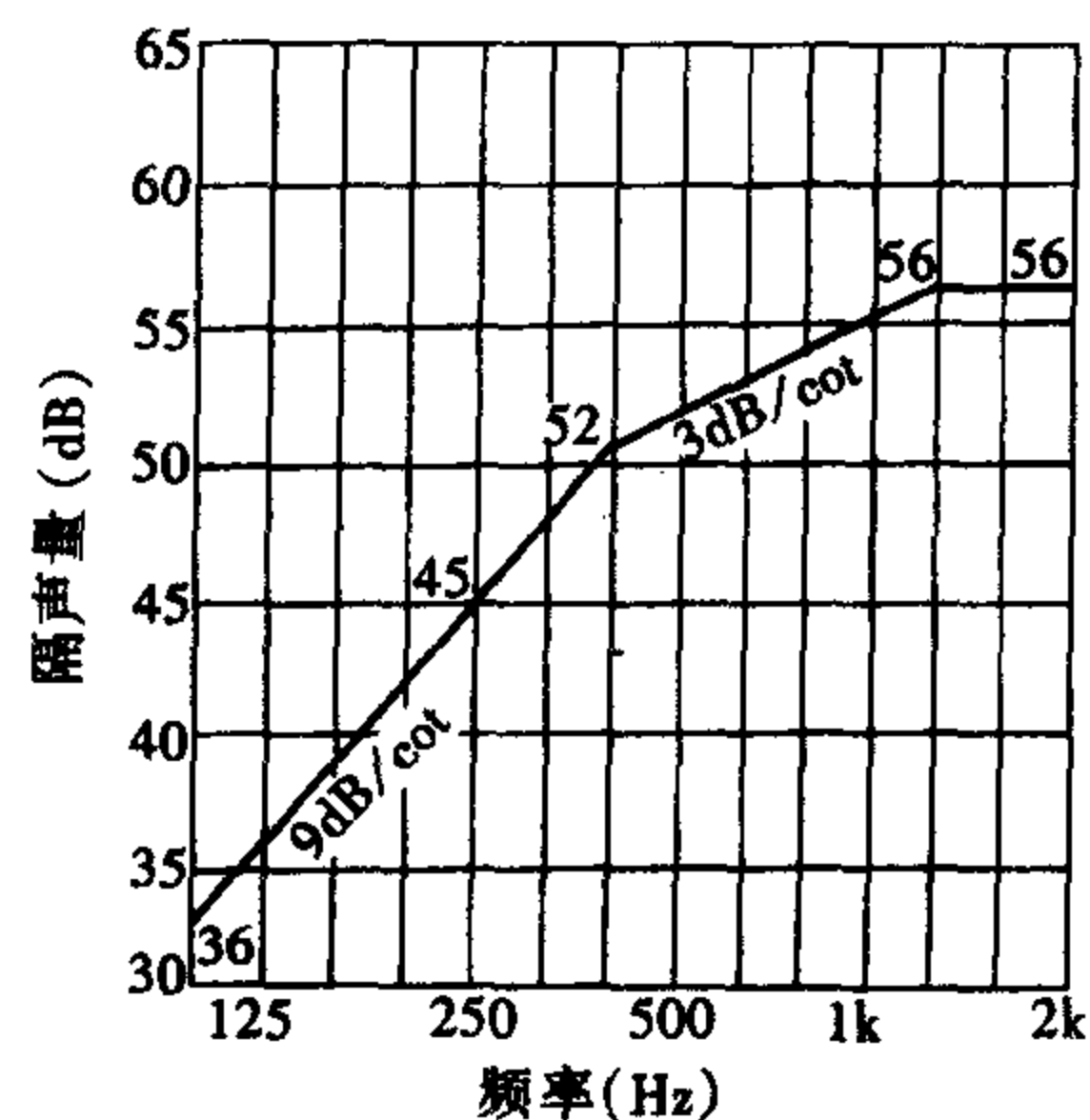


图 9-1 空气声隔声标准折线

隔声指数等值折线的隔声量数值表

表 9-1

1/3 倍频程中心频率 (Hz)															
125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
每一等值折线的隔声量 (dB)															
39	42	45	48	51	54	55	56	57	58	59	59	59	59	59	59
38	41	44	47	50	53	54	55	56	57	58	58	58	58	58	58
37	40	43	46	49	52	53	54	55	56	57	57	57	57	57	57
36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	56
35	38	41	44	47	50	51	52	53	54	55	55	55	55	55	55
34	37	40	43	46	49	50	51	52	53	54	54	54	54	54	54
33	36	39	42	45	48	49	50	51	52	53	53	53	53	53	53
32	35	38	41	44	47	48	49	50	51	52	52	52	52	52	52
31	34	37	40	43	46	47	48	49	50	51	51	51	51	51	51
30	33	36	39	42	45	46	47	48	49	50	50	50	50	50	50
29	32	35	38	41	44	45	46	47	48	49	49	49	49	49	49
28	31	34	37	40	43	44	45	46	47	48	48	48	48	48	48
27	30	33	36	39	42	43	44	45	46	47	47	47	47	47	47
26	29	32	35	38	41	42	43	44	45	46	46	46	46	46	46
25	28	31	34	37	40	41	42	43	44	45	45	45	45	45	45
24	27	30	33	36	39	40	41	42	43	44	44	44	44	44	44
23	26	29	32	35	38	39	40	41	42	43	43	43	43	43	43
22	25	28	31	34	37	38	39	40	41	42	42	42	42	42	42
21	24	27	30	33	36	37	38	39	40	41	41	41	41	41	41
20	23	26	29	32	35	36	37	38	39	40	40	40	40	40	40

(2) 各中心频率处于标准折线下的隔声量的总和不大干 32 dB, 即平均 16 个 1/3 倍频程偏差数不大干 2dB。

2. 当为 1/1 倍频程坐标时:

(1) 隔声频率特性曲线的任一频带的隔声量在标准折线下方均不超过 5dB。

(2) 各中心频率处于标准折线下的隔声量的总和不大干 10dB。

这样, 满足上述两个条件后, 从横坐标 500Hz 处向上引垂线, 与标准折线相交, 通过交点作水平线, 与纵坐标相交, 该交点即构件隔声频率特性曲线图上所显示的交点之整 dB 数, 即为所求的构件隔声指数 I_a 。举例见图 9-2 (1/3 倍频程), 图 9-3 (1/1 倍频程)。

隔声指数加进了人的主观评定因素, 能完全地反映构件隔声性能的优劣, 包括某一频带的特殊缺陷也可以看出来。因此用隔声指数这一模仿人耳听觉频率特性的方法得出的隔声量评价隔声构件, 比用平均隔声量, 甚至比用 A 声级更加符合人的听觉特性, 能更好地表明构件隔声效果的优劣。

这里确定隔声指数是选用了 500Hz 的隔声量, 因为分析表明: 这样得出的隔声指数值, 与 $f=125\text{Hz}$ 、 250Hz 、 500Hz 、 1000Hz 、 2000Hz 、 4000Hz 六个倍频程隔声量的算术平均值比较接近。我们对现有声学书籍、文献中所给出的如第七章表 7-1、表 7-4、表 7-6 等近千种隔声构件的平均隔声量 R 与相对应的隔声指数 I_a 的数据进行了统计分析看到: 隔声指数 I_a 与隔声量 R 的数据差值即 $I_a - R$ 等于 0 的占 15%, 等于 1 的占 22%, 等于 2 的占 31%, 等于 3 的占 19%, 即约 86% 的构件平均 R 值低于 I_a , 但差值基本为 1~3dB。仅约 14% 的构件 R 值高于 I_a , 但高出的量值基本为 1dB。所以大体上可以认为, 平均隔声量 R

与隔声指数 I_a 值是相近的，或者说隔声指数比平均隔声量高约 2dB，这样我们便可以将平均隔声量自然地过渡到隔声指数值。

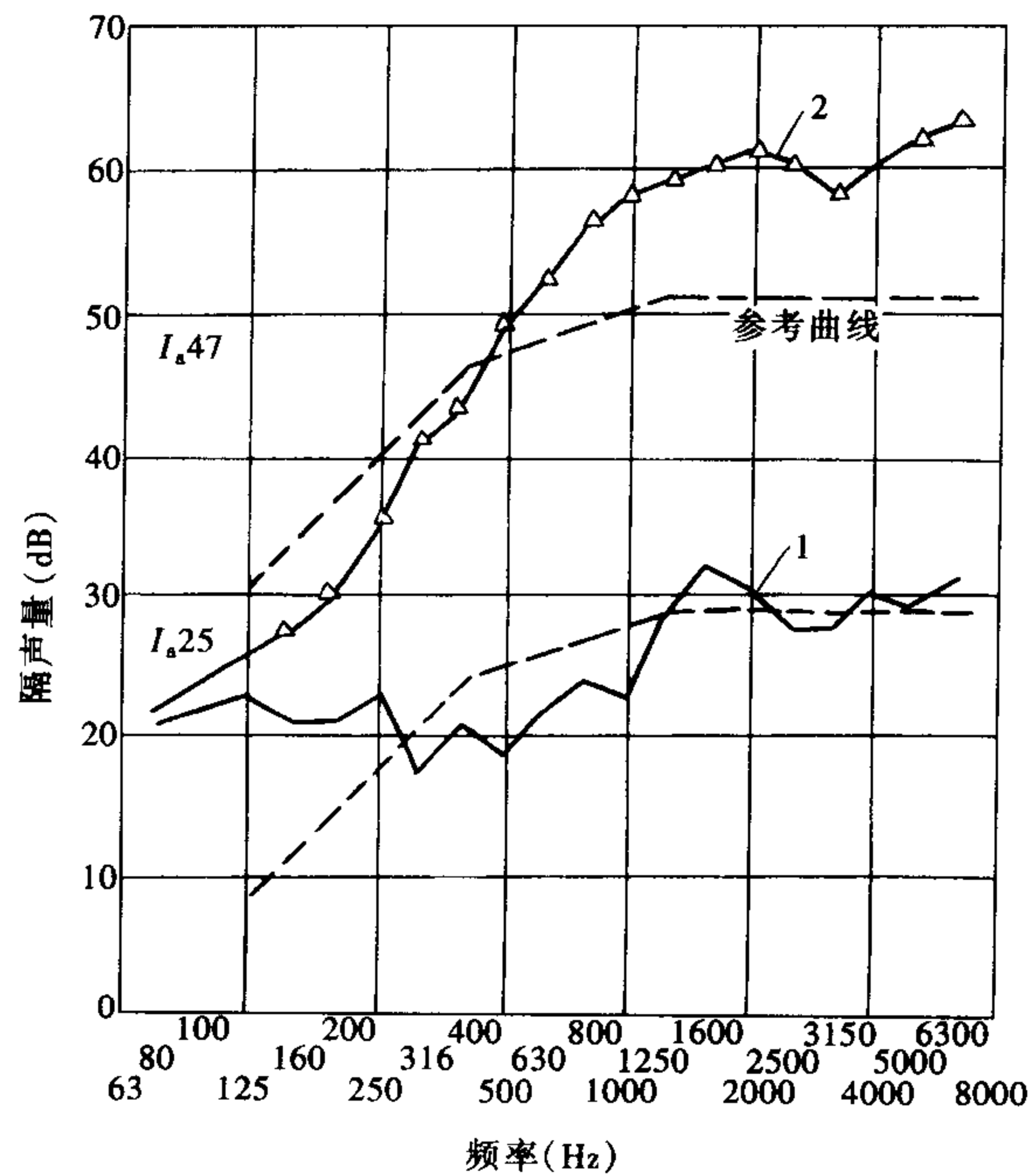


图 9-2 隔声指数 I_a 确定示例
(1/3 倍频程)

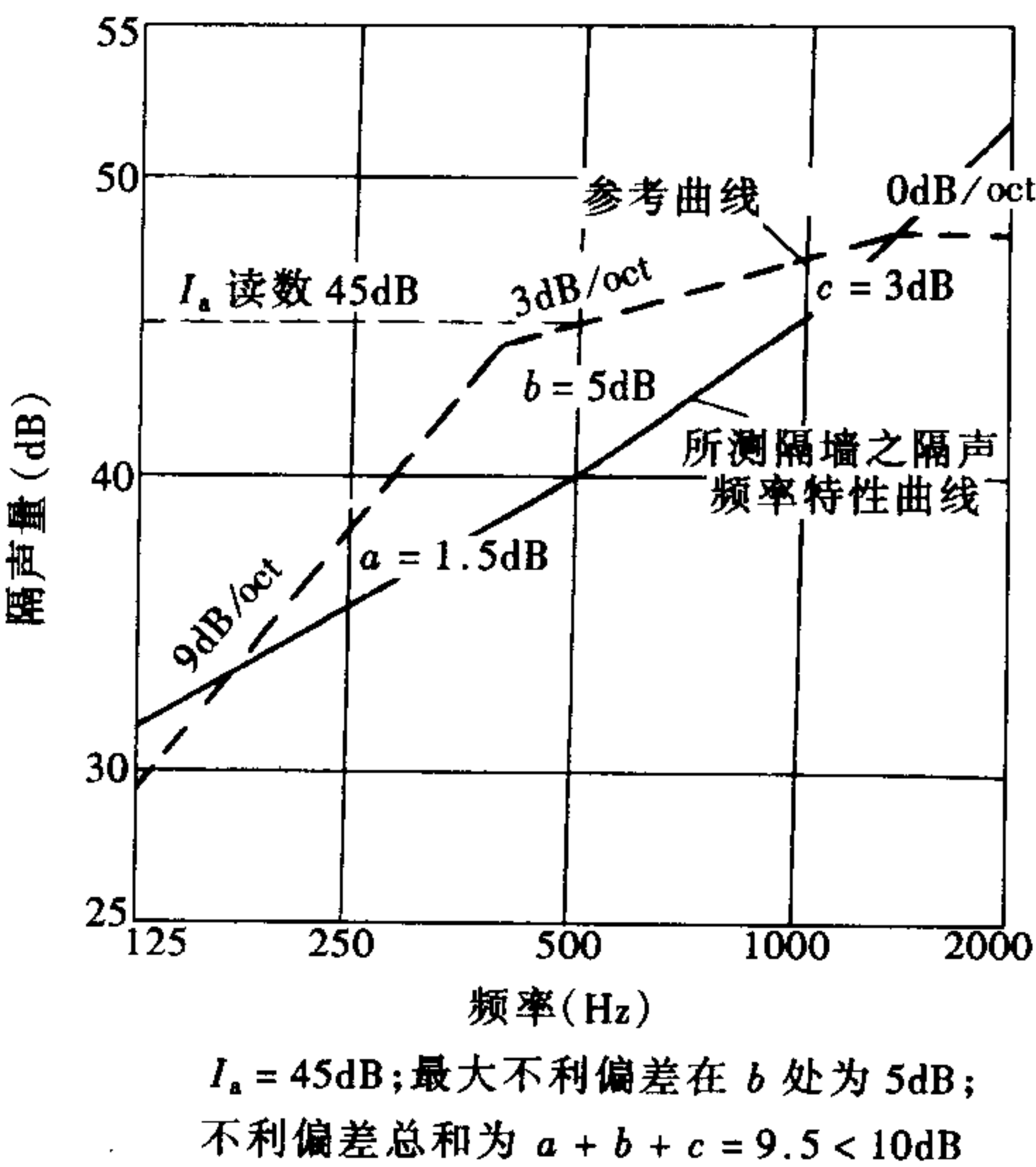


图 9-3 隔声指数 I_a 确定示例
(1/1 倍频程)

隔声指数是以理论为基础导出的，必须是在已知构件的隔声频谱情况下才可以运作，研究得知，用这一方法评价隔声构件，以对轻薄构件的评价更为接近人的主观感觉。

表 9-2 表示确定一个已知构件的（1/3 倍频程中心频率）隔声指数的又一实例。由表中三项运算情况可知，运算一和三，都不符合 1/3 倍频程求隔声指数的约束条件，而只有运算二才符合，因为这时，任何一个频带不足分贝数不超过 8dB，最大值是 125Hz 为 7dB，同时也满足第二个条件，即不足数之和未超过 32dB，因为 $7 + 5 + 4 + 3 + 3 + 3 + 1 + 5 = 31\text{dB} < 32\text{dB}$ 。

确定一个构件隔声指数的实例 表 9-2

内 容	1/3 倍频程中心频率 (Hz)															
	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
$I_a = 41$																
$R_{\text{构件}}$																
构件隔声量	25	28	31	34	37	40	41	42	43	44	45	45	45	45	45	45
的不足数	19	24	28	32	35	38	41	42	43	44	45	45	45	45	41	45
不足数之和	6	4	3	2	2	2	41	44	47	50	52	54	52	46	4	47
= 23																

续表

内 容	1/3 倍频程中心频率 (Hz)															
	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
$I_a = 42$ 构件隔声量 的不足数 不足数之和 = 31	25 7	29 5	32 4	35 3	38 3	41 3	42 1	43	44	45	43	46	46	46	46 5	46
$I_a = 43$ 构件隔声量 的不足数 不足数之和 = 40	27 8	30 6	33 5	36 4	39 4	42 4	43 2	44	45	46	47	47	47	47	47 1	47 6

第三节 计权隔声量

用上述方法求出的构件单值隔声量隔声指数，它的好处在于能对各种不同构件的隔声性能做统一比较。“计权隔声量”是判定构件单值隔声量的又一概念，代表符号为 R_w （单位 dB）。在笔者见到的所有论述隔声指数的书籍中，都未提及“计权”这一术语，而在所有论述计权隔声量的书籍中，也都未提及隔声指数这一术语，1994 年版《建筑设计资料集》叙述计权隔声量的运算方法与其他声学书籍、文献、资料中叙述隔声指数的运算方法完全一样，却未称隔声指数而称之为计权隔声量，我们至今未见到关于隔声指数 I_a 与计权隔声量 R_w 之间的关系的论述。在用隔声指数术语的书籍、资料中，所运用的标准折线图都用的是声频 500Hz 时所对应的纵坐标隔声量定为 52dB 的那条标准折线图，而在用计权隔声量概念的书籍、资料中，只有《建筑隔声评价标准》及《实用建筑声学》一书明确、清晰地给出了用于计权隔声量法的标准折线图，参见图 9-4 “空气声隔声的参考曲线特性图”，及表 9-3 “空气声隔声的参考曲线特性表”。

图 9-4 显示，500Hz 时所对应的纵坐标的隔声量值不是 52dB，而定为 0dB。图 9-4 “特性图”标准折线与纵坐标上 0dB 线之间所显示的 dB 数，就是表 9-3 上的“参考值”，即频率计权值。图 9-4 上 0dB 线与 500Hz 的交点所对应的（运算方法与求隔声指数的运算方法完全一样）构件隔声的声压级频谱图纵坐标上的整 dB 数，即为所设计的围护构件的计权隔声量。也就是说求计权隔声量与求隔声指数的标准折线图纵坐标上的 dB 标示数有所不同，而这个不同对求隔声指数值也好，求计权隔声量也好，并无多大实际意义，实际上都是标准折线与构件频谱二图重叠后，经相同的方式运算，500Hz 所对应的标准折线图上的点在“构件频谱图”纵坐标上所显示的 dB 数。也就是说，求计权隔声量的方法与求隔声指数的方法实际上是一致的，仅仅是计权隔声量，强调精确至 0.5dB，因此计权隔声量与隔声指数在量值上是完全相同的，只不过是称谓不同。

但是，从隔声量定量的角度讲，用隔声指数的概念更适合对各构件隔声性能作统一比较，而用计权隔声量的概念比用隔声指数可更加直观理解“隔声”的含意。计权隔声量将标准折线图的 500Hz 的纵坐标定为 0dB，这样所显示的频率“计权”值的概念很明确，对建筑师而言就比较容易理解计权隔声量的内涵。实际上隔声指数与计权隔声量一样，其求得的方法、其值都加进了人的主观因素，反映了人的主观声感，都有计权的内涵，只不过计权隔声量更为明确。隔声指数值，计权隔声量值，如同 A 声级值一样，都是可以用声学仪器测量出来的。

空气声隔声的参考曲线特性表 表 9-3

频率 (Hz)	参考值 (dB)	频率 (Hz)	参考值 (dB)
100	- 19	630	+ 1
125	- 16	800	+ 2
160	- 13	1000	+ 3
200	- 10	1250	+ 4
250	- 7	1600	+ 4
315	- 4	2000	+ 4
400	- 1	2500	+ 4
500	0	3150	+ 4

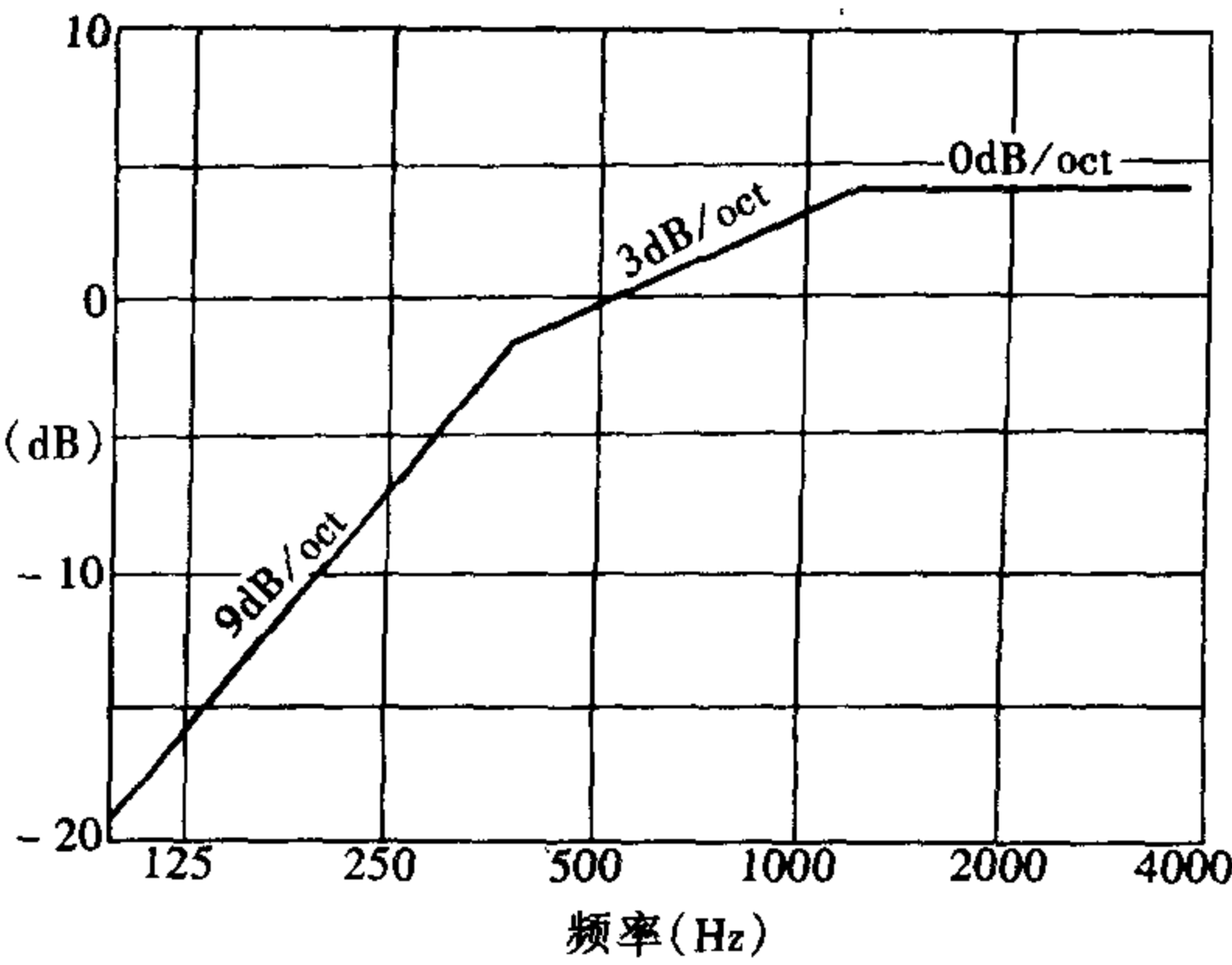


图 9-4 空气声隔声的参考曲线特性图

第十章 计量单位的转换

第一节 关于“级”值不统一

在对建筑围护结构构件进行隔声设计时,建筑师还会发现:

(1) 所有计算公式计算出的隔声量无论是分频的还是平均的,计算值的“级”都是声压级。(2)《建筑隔声测量规范》(GBJ 75—84)中所提供的实验室测量隔声量计算公式 $R = L_{p1} - L_{p2} + 10 \lg S/A$ 、或现场测量声压级差计算公式 $D = L_{p1} - L_{p2}$ 所限定的发声室 L_{p1} 、受声室 L_{p2} 及计算出的 R 、 D 值也都是声压级。(3)《建筑隔声评价标准》(GBJ 121—88)中限定的构件空气声隔声的单值评价量,有计权隔声量 R_w 和计权声压级差 D_w ;《民用建筑隔声设计规范》(GBJ 118—88)对构件隔声量也是用计权隔声量加以限定的。

但是:

(1)《工业企业噪声控制设计规范》(GBJ 87—85)规定的工厂中各类车间、房间噪声控制限值是 A 声级,如会议室、化验室不得大于 $60\text{dB}(A)$ 。(2)《民用建筑隔声设计规范》中对住宅、学校、医院、旅馆也同样规定被控房间的噪声限值为 A 声级,如一类住宅起居室允许噪声级为小于等于 $45\text{dB}(A)$ 。(3)《民用建筑隔声规范》的附录中说,“可按下式将测得的噪声级换算成噪声评价曲线: $NR = L_A - 5$ ”,这里“测得的噪声级” L_A 是 A 声级,但是依据测量规范规定测得的 L_{p2} 是声压级,不是 A 声级。(4)在隔声设计中,受声室的噪声控制水平还常用噪声评价数 NR 来限定,而规范并未如此直接提出。

总而言之,建筑师设计的受声室规范允许噪声级,无论是工业还是民用建筑规范规定的控制标准的“级”都是 A 声级。而隔声构件的隔声量的级是声压级、计权隔声量或隔声指数,都不是 A 声级,不是同类的“级”。因此,就势必要提出不同计量“级”值间的统一问题,只有发声、隔声、受声三者计量的“级”统一了,才能进行隔声量设计、计算,确切判定受声室的噪声级。

第二节 统一“级”值探索

探索 1: 统一于声压级 (一)

若已知受声室允许噪声的 NR 数,即知道了受声室允许噪声的各频段声压级值,但噪声发声室给出的是噪声的 A 声级值,由于噪声评价数 NR 与 A 声级有如下的关系: $NR = L_A - 5$,因而可把噪声发声室的 A 声级,通过此式转换成 NR 数,于是噪声源的各频段的声压级值也知道了。再将设计的构件用分频计算公式计算出六个中心频率隔声量的声压级值,这样发声、隔声、受声三者都统一于声压级了,设计计算便可进行了。

探索 2: 统一于声压级 (二)

在工业建筑隔声设计中,建筑师应尽量向工艺、设备专业以及厂家,索要声源室或机

器设备的噪声声压级频谱图，而不只是 A 声级。当得到声源室噪声频程声压级频谱图，受声室规范限定的噪声允许值的 A 声级后，可以通过式 $NR = L_A - 5$ 求出 NR 数，从而可知受声室规范限定的噪声允许值的频程声压级频谱，再将设计的构件用分频计算公式计算出六个中心频率隔声量的声压级值，这样发声、隔声、受声三者都统一于声压级，设计便可进行了。

探索 3：统一于计权隔声量 R_w

由于《民用建筑隔声设计规范》中限定的隔墙、楼板的空气声隔声标准，是单值评价量的“计权隔声量” R_w ，例如二级住宅分户墙的计权隔声量为 $R_w \geq 45\text{dB}$ 。但是，建筑师对自己设计的围护构件的隔声量用公式计算，只能计算出频带声压级隔声量，此频带声压级隔声量可通过表 9-3 “空气声隔声的参考曲线特性表”、图 9-1 “空气声隔声标准折线”的运算（其方法前已述及），转换为空气声隔声的单值评价量即计权隔声量 R_w ，这样，围护构件的隔声量与规范限定的隔声量的“级”统一于计权隔声量 R_w ，构件的隔声设计计算便可进行了。

探索 4：受声室频谱声压级转换为 A 声级

用隔声量分频计算公式计算出的构件隔声量的“级”，以及依据《建筑隔声测量规范》测量出的构件隔声量的“级”，都是频程中心频率的分频声压级隔声量值，由此而进一步计算出的受声室的噪声级也是分频声压级。但是建筑师所设计的受声室的噪声级按规范限定都是单值 A 声级，因此必须把传入到受声室的频谱声压级噪声通过 A 计权、再叠加转换为 A 声级，转换的运算方法可见本书第二章第五节。这样，“级”统一了，就能判定受声室的噪声级是否符合规范的 A 声级限定值了。

建筑师掌握构件空气声隔声设计知识与手段的根本目的，是运用围护构件的隔声，使传入到受声室的噪声，达到规范或使用方提出的控制指标，为此，举例简要说明构件隔声设计的计算步骤：

1. 隔声计算常用的六个中心频率 (Hz):

125 250 500 1000 2000 4000

2. 某声源倍频带声压级 (dB):

73 71 74 71 67 64

3. 某构件本身的倍频带声压级隔声量 R (dB):

42 43 49 57 64 62

4. 构件（倍频带声压级）实际隔声量 = $R + 10\lg A/S_1$ （见第十六章）。 $A = S\alpha$ 为受声室内墙面的总吸声量， S_1 为隔声构件本身的墙面面积。设受声室的 $10\lg A/S_1 = -2.2\text{dB}$ ，则构件（倍频带声压级）实际隔声量 = $R + 10\lg A/S_1 = R - 2.2 =$

39.8 40.8 46.8 54.8 61.8 59.8

（注：这里给出的 $10\lg A/S_1 = -2.2\text{dB}$ 是把问题简化了。实际上房间的 $10\lg A/S_1$ 值，是因频率不同 α 也不同，因而 $10\lg A/S_1$ 也不同。这里仅是简化粗略地用一个数据 -2.2dB 表示）。

5. 受声室实际倍频带噪声声压级 = 声源倍频带声压级 - 构件（倍频带声压级）实际隔声量 (dB)

= 第 2 步的值 - 第 4 步的值 =

33.2 30.2 27.2 16.2 5.2 4.2

6. A 声级计权值 dB (A) (见第二章) =

-16.1 -8.6 -3.2 0 1.2 1.0

7. A 计权倍频带级 = 受声室内实际的倍频带噪声声压级 - A 声级计权值 dB (A)

= 第 5 步的值 + 第 6 步的值 =

17.1 21.6 24 16.2 6.4 5.2

8. 将此“A 计权倍频带级”依第二章第五节所述, 进行声级叠加则得 27dB (A), 此 27dB (A) 值, 即为受声室的实际 A 声级噪声级, 进而便可对照规范允许的受声室 A 声级噪声级, 或房屋使用方提出的受声室允许的 A 声级噪声级, 确定是否满足隔声要求, 不能满足时, 应另行设计构件。

本例受声室平均声压级为: $(33.2 + 30.2 + 27.2 + 16.2 + 5.2 + 4.2) / 6 = 19.37\text{dB}$, 与受声室的 A 声级 27dB (A) 相比, 从绝对量值上讲, 相差 $27 - 19.37 = 7.63\text{dB}$, 验证了 A 声级 > 平均声压级的结论。

探索 5: 关于单值平均声压级隔声量

在对围护结构隔声设计计算中, 除了分频计算公式外, 还有成组的单值计算公式计算出的构件平均声压级隔声量, 若已知声源也是平均声压级, 则两者相减再加上“ $10\lg A/S_1$ ”修正值计算出的受声室的噪声级也只能是单值平均声压级, 而这个单值平均声压级, 是无法转换为受声室被《隔声设计规范》等所限定的 A 声级的。因此, 对围护结构构件隔声设计定量计算时, 建筑师要用隔声量分频计算公式计算。

单值计算公式计算出的构件平均声压级隔声量, 对于判定受声室的噪声级, 尽管实际意义不大, 但是单值隔声量对于建筑师直观、快捷地了解建筑围护结构构件隔声性能、构件的隔声量高低, 以及构件面密度变化所引起的隔声量变化及变化规律, 全面掌握隔声知识是很有意义的。

还需说明的是, 任何声谱的噪声 A 声级值必然大于其平均声压级值, 而且常常是大得很多, 甚至大到 3dB、5dB 或 10dB 以上, 但确无量值上规律性的数学关系。

第十一章 双层墙的隔声

第一节 概 述

在围护结构隔声设计中,按照质量定律,加大构件的面密度或加大厚度都可以提高隔声量,按理论上的说法是:面密度加倍,隔声量提高 6dB,按实测是 6~8dB 和 4dB,但是只靠提高面密度来增加隔声量并不十分显著,同时又多占建筑面积,加大建筑荷载,而且也不经济。例如要使隔声量增加 12dB,则构件的厚度就要增加到原来的四倍,这显然不是解决问题的办法。采用阻尼层与约束阻尼层的方法,可以超越质量定律的限制,但却仅限于在薄板上使用,因此要想得到高效能的隔声构件,就必须采用具有一定厚度空气层的双层结构。实践证明,中间夹有一定厚度空气层的双层结构,要比没有空气层的单层墙隔声量大得多,例如半砖墙加 10cm 空气层再加半砖墙的隔声量,比一砖墙的隔声量要高 8~12dB,这是很可观的。隔声量增加的原因是:将墙分为两层后,中间插有一定厚度的空气层,则入射声能经由第一层墙穿透后,必须经过空气层的传递再传到第二层墙,这时空气层起着柔韧垫子的弹性层作用,从而消耗声能。同时声波依次透过截然不同的媒质表面时,就要产生反射,声波的多次反射也使声能逐渐衰减。

例如在航空发动机试车台车间设计中,由于试车时产生的强噪声常达 150dB,在最大加力时甚至高达 170dB 以上,所以车间的墙常设计为 50cm 或 62cm 厚普通砖墙或 50cm 厚钢筋混凝土墙,与车间必须紧密相邻的操纵控制室之间的墙常设计为双层墙,两墙间为 8cm 空气层,操纵控制室的墙常设计为 24cm 厚普通砖墙。此双层墙经我们现场测定平均隔声量为 67.8dB,而按 62cm + 24cm 厚合计面密度,计算隔声量为 $R = 23 \lg m - 11.5 =$

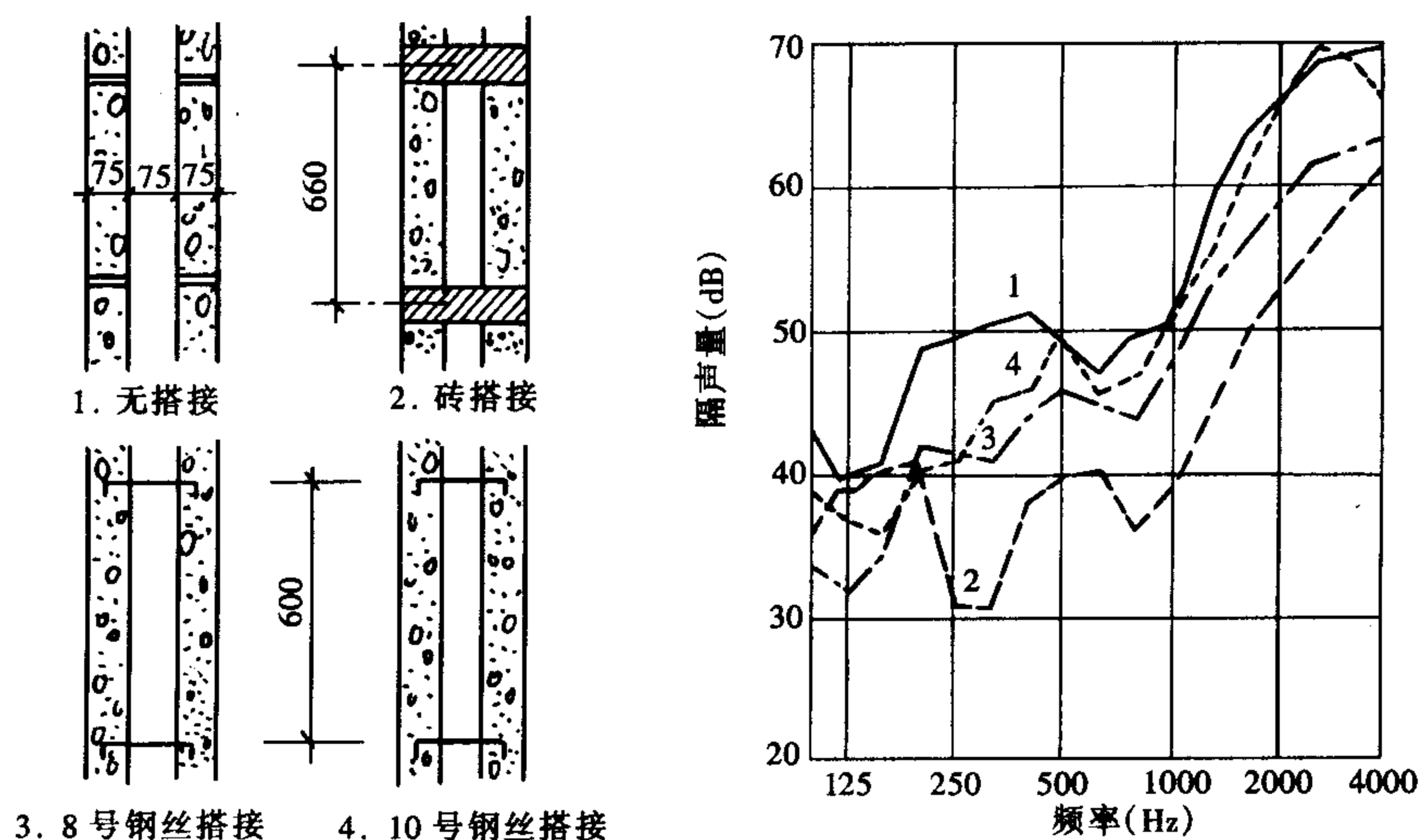


图 11-1 声桥对加气混凝土双层墙隔声的影响

$23\lg 1634 - 11.5 = 62.5\text{dB}$ 。但是双层墙（面积 30m^2 ）上有观察窗、门，其隔声量约为 45dB ，面积共约 2m^2 ，所以用本书第十五章所述及的组合墙隔声量的计算方法计算，此组合墙隔声量值实际为 56.76dB ，两者相差 $67.8\text{dB} - 56.76\text{dB} = 11\text{dB}$ ， 11dB 是由于有空气层而增多的隔声量值，说明了双层墙的优越性。

关于声桥：双层墙两墙之间若有刚性连接，称为声桥，这时一层墙板部分声能将由声桥直接传至另一层墙板，空气层的附加隔声量将受到很大的影响。图 11-1 表明，声桥使隔声量下降的情况决定于双层墙的刚性连接的程度。关于基础处理上形成声桥影响程度见图 11-13。

声桥使加气混凝土双层墙隔声量下降 (dB)

表 11-1

75 厚加气混凝土 双层墙，空气层厚 75	双层墙之间搭接情况			
	无搭接	10 号钢丝	8 号钢丝	240 红砖
隔音量 ($\bar{R}/I_a$)	54/54	51/52	47/50	43/42
搭接后降低量	—	3/2	7/4	11/12

第二节 双层墙的隔声频率特性

双层墙的隔声频率特性与单层墙大体相同，还是以质量定律为基本理论，这时的隔声构造是由双层构件板和中间空气层所组成的振动系统，它也有共振频率，当入射声频 $f <$ 共振频率 f_r 时，特别是当 f 远低于第一共振频率 f_0 时，隔声曲线为 6dB/oct 的上升斜率，空气层不起作用，隔声值仅相当于两墙面密度和 $(m_1 + m_2)$ 的质量定律隔声量。当 $f = f_0$ 时隔声出现低谷，而当 $f > \sqrt{2}f_0$ 时，隔声曲线将以 18dB/oct （有的书上说是 $10 \sim 12\text{dB/oct}$ ）的斜率急剧上升，随着频率 f 的升高，波长变小，当空气层厚度相当于入射声半波长的整数倍时，两墙间将产生一系列的驻波共振，使隔声频率特性曲线上升的趋势转为平缓，并且也会出现临界频率 f_c ，在 f_c 处又是一个隔声低谷，见图 11-2，这个低谷是相对于 18dB/oct 隔声量上升趋势而言，实际上比 $m_1 + m_2$ 形成的单层构件的隔声量还是高的。图 11-2 中阴影区域就是表示双层墙隔声性能优于同质量单层墙的那一部分。

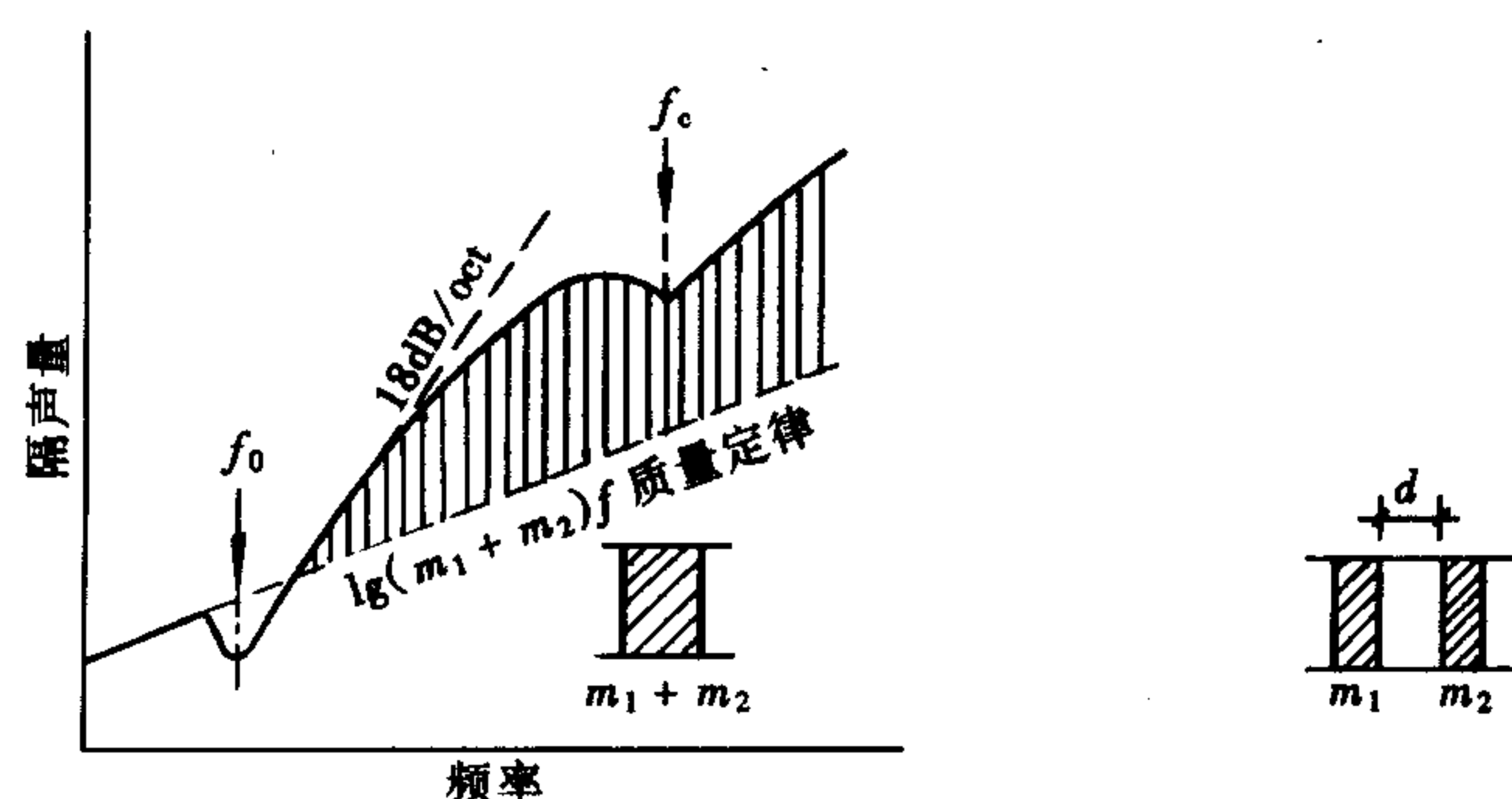


图 11-2 双层墙板隔声特性曲线

第三节 双层墙的共振频率

若第一共振频率 f_0 向低频区移动, 则阴影增大, 即越发地显示双层构件的隔声优于单层构件的特性。由此可见, 共振频率 f_r 的位置, 对双层构件的隔声性能有很大的影响, 因此通常希望把 f_r 的值设计在常用的声频下限 100Hz 以下。双层构件墙板的共振频率计算公式很多, 计有:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) \frac{\rho c^2}{b}} \quad (11-1)$$

式中 m_1 、 m_2 ——分别为两层墙板各自的面密度, kg/m^2 ;

ρ ——空气密度, 常温下为 1.18kg/m^3 ;

f_0 ——第一共振频率;

c ——声速, 常温下为 344m/s ;

b ——两层墙板间空气层厚度, m 。

空气层厚度的符号各种声学书籍中标注有 d 、 s 、 l 、 b 、 δ 等, 在以下诸多公式中本书统一为“ b ”。

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{b}} \sqrt{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} \quad \text{此式 } b \text{ 单位为 cm} \quad (11-2)$$

$$f_0 = 600 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2 \cdot b}} \quad \text{此式 } b \text{ 单位为 cm} \quad (11-3)$$

$$f_0 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\rho c^2}{(m_1 + m_2) b}} \quad \text{此式 } b \text{ 单位为 cm} \quad (11-4)$$

$$f_0 = \frac{1200}{\sqrt{Gb}} \quad \text{此式 } b \text{ 单位为 cm, } G = m_1 + m_2 \quad (11-5)$$

以上 5 个计算式, 经以两片 12cm 厚砖墙, 中空 10cm 计算, f_0 值约为 15~16Hz, 与经验判断, 基本相同, 是建筑师于隔声计算中可用的公式。还有公式:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi \sqrt{\frac{3.6\rho}{b \cdot m'}}} \quad \text{式中 } m' = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \quad (11-6)$$

此式以上例数值代入计算, $f_0 = 22\text{Hz}$, 偏大。

$$f_0 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{c \cdot R_0}{2m \cdot b}} \quad \text{式中 } R_0 = \rho c \quad (11-7)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2\rho c}{(m_1 + m_2) b}} \quad (11-8)$$

此二式以上例数值代入计算, $f_0 = 11.55\text{Hz}$ 。偏小。

还有《建筑设计资料集》中的公式:

$$1994 \text{ 年版为: } f_p = 500 \sqrt{\frac{E}{(m_1 + m_2) \cdot \delta}} \quad (11-9)$$

式中 δ ——空气层厚度, cm ;

d ——墙总厚度;

E ——空气的弹性模量, kg/m^2 ;

m_1 、 m_2 ——面密度, kg/m^2 ;

式 (11-9) 中并没有 S 、 d 值, 此式不确切, 这里特别提请建筑师们注意。

还有一组公式为:
$$f_{02} = 600 \sqrt{\frac{\rho S_1 + \rho S_2}{\rho S_1 + \rho S_2 \cdot d \cdot \cos \theta}} \quad (11-10)$$

以及当入射角为 0° 即垂直入射时为:

$$f_{02} = 600 \sqrt{\frac{\rho S_1 + \rho S_2}{\rho S_1 + \rho S_2 \cdot d}} \quad (11-11)$$

式中 θ ——声波入射角;

ρS_1 ——第一层墙的面密度, kg/m^2 ;

ρS_2 ——第二层墙的面密度, kg/m^2 ;

d ——空气层厚度, m 。

对此二式以上例数值代入计算, 并设式 (11-10) 中的 $\theta = 45^\circ$, 则二式计算的结果分别为 $f_0 = 820\text{Hz}$ 和 $f_0 = 809\text{Hz}$, 这显然是不确切的。

第四节 双层墙的吻合效应区及临界频率

这取决于各片构件本身的临界频率 f_c , 当两片构件由相同的材料构成, 即 $m_1 = m_2$ 时, 两片构件的吻合谷相同, 结果使凹陷的低谷加深。对于重墙而言, 前已述 f_c 一般都在 100Hz 以下, 而对于轻板而言, f_c 一般都在 3500Hz 左右或以上, 所以无论是厚重构件还是薄轻构件组成的双层墙, 其临界频率和共振频率都对常用的声频区约 $100 \sim 3500\text{Hz}$ 内的隔声, 不构成大的影响。

第五节 双层墙隔声量经验计算公式

双层墙的隔声仍是以质量定律为基础, 以空气层的隔声作为附加值计入隔声值中, 有平均隔声量成组经验计算式:

$$R = 18 \lg (m_1 + m_2) + 8 + \Delta R \quad (m_1 + m_2 \geq 100 \text{kg/m}^2, \geq 200 \text{kg/m}^2) \quad (11-12)$$

$$R = 13.5 \lg (m_1 + m_2) + 13 + \Delta R \quad (m_1 + m_2 \leq 100 \text{kg/m}^2, \leq 200 \text{kg/m}^2) \quad (11-13)$$

500Hz 为代表的单值隔声量成组经验计算式:

$$R = 16 \lg (m_1 + m_2) + 8 + \Delta R \quad (m_1 + m_2 \geq 200 \text{kg/m}^2) \quad (11-14)$$

$$R = 13.5 \lg (m_1 + m_2) + 14 + \Delta R \quad (m_1 + m_2 \leq 200 \text{kg/m}^2) \quad (11-15)$$

$$R = 23 \lg (m_1 + m_2) - 9 + \Delta R \quad (m_1 + m_2 \geq 200 \text{kg/m}^2) \quad (11-16)$$

$$R = 13.5 \lg (m_1 + m_2) + 13 + \Delta R \quad (m_1 + m_2 \leq 200 \text{kg/m}^2) \quad (11-17)$$

本书推荐的成组经验计算式:

$$R = 23 \lg (m_1 + m_2) - 11.5 + \Delta R \quad (m_1 + m_2 \geq 200 \text{kg/m}^2) \quad (11-18)$$

$$R = 13 \lg (m_1 + m_2) + 11.5 + \Delta R \quad (m_1 + m_2 \leq 200 \text{kg/m}^2) \quad (11-19)$$

还有如下的隔声量分频经验计算式:

$$R = 16\lg(m_1 + m_2) + 14\lg f - 29 + \Delta R \quad (11-20)$$

$$R = 18\lg(m_1 + m_2) + 12\lg f - 25 + \Delta R \quad (11-21)$$

本书推荐的成组分频经验计算式:

$$R = 23\lg(m_1 + m_2) + 11\lg f - 41 + \Delta R \quad (m_1 + m_2 \geq 200\text{kg/m}^2) \quad (11-22)$$

$$R = 13\lg(m_1 + m_2) + 11\lg f - 18 + \Delta R \quad (m_1 + m_2 \leq 200\text{kg/m}^2) \quad (11-23)$$

以上公式中的 ΔR 为因有空气层而增加的附加隔声量, 此值可查图 11-3、图 11-4、图 11-5, 但各图形有所不同, 本书下一节将阐述附加隔声量 ΔR 。

成组计算式 (11-12)、(11-13) 有两种限定条件, 即 100kg/m^2 和 200kg/m^2 , 我们在第五章中已阐述过, 以 200kg/m^2 较为确切。

以上这些公式中, 有一些计算值与实测和 m 、 R 图线所给出的隔声值有偏差, 质量加倍隔声量上升率也与实测和一些 m 、 R 图线所给出的隔声量有偏差, 所以我们推荐建筑师采用式 (11-16)、式 (11-17), 式 (11-18)、式 (11-19), 式 (11-22)、式 (11-23) 三组公式。

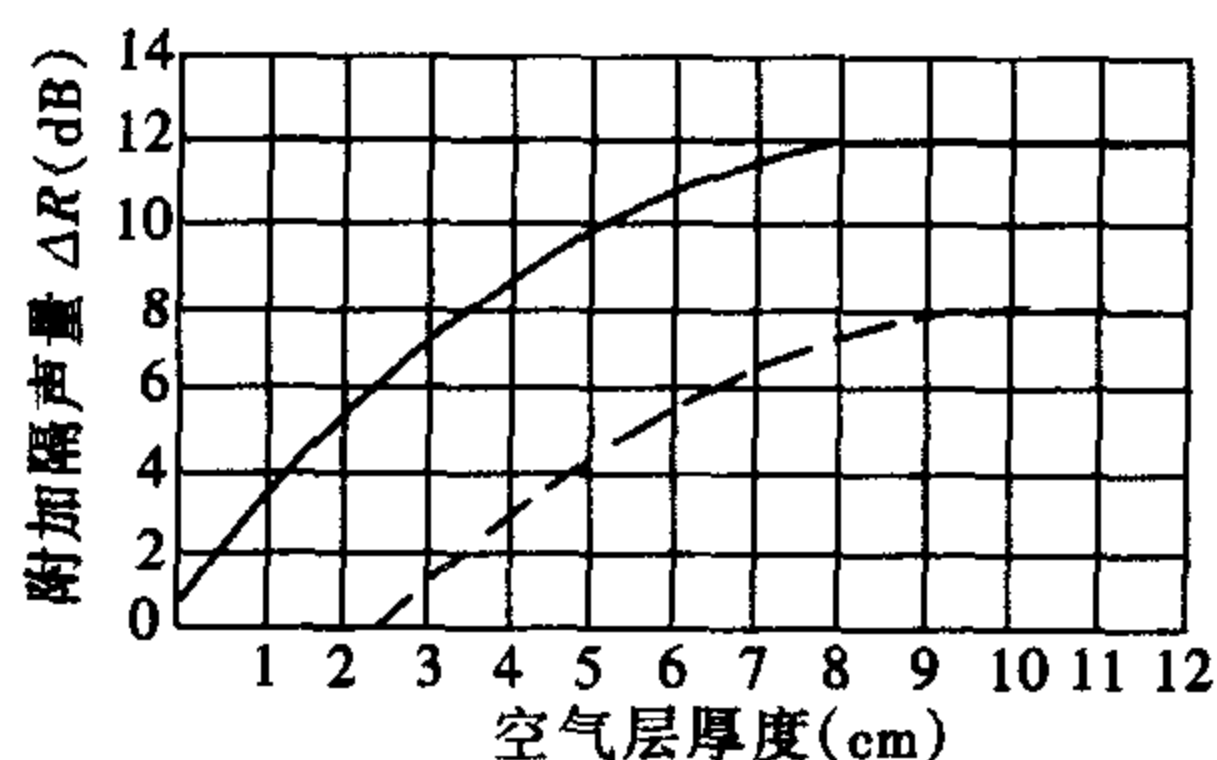


图 11-3 空气层的附加隔声量

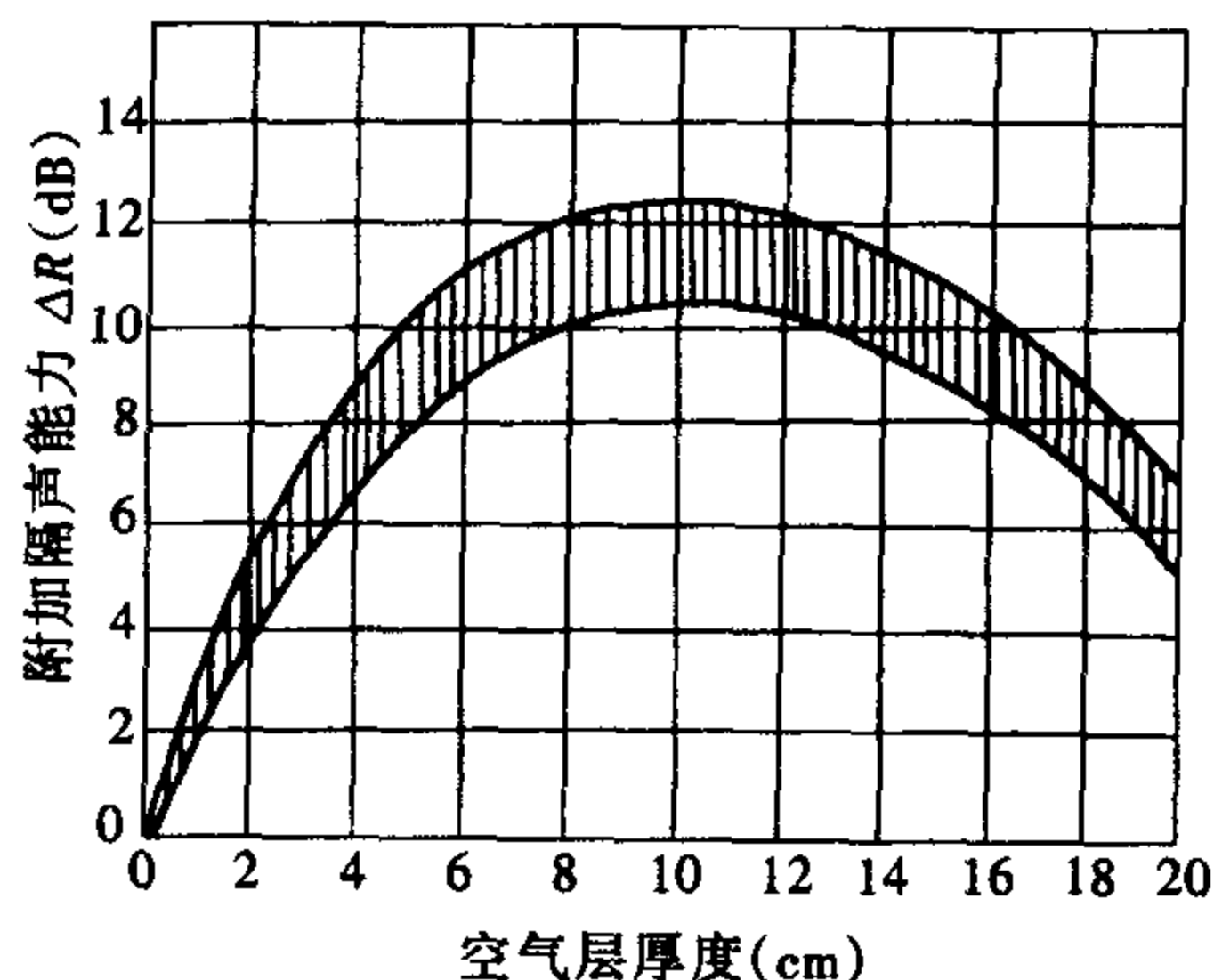


图 11-4 空气层厚度对双层墙平均隔声能力的影响

在《围护结构隔声理论》(译)一书中, 给出的双层墙隔声经验公式是以入射声频的范围来划分计算式, 并假设双层墙间加适当吸声材料, 但计算值比上述公式计算及实测值偏大很多, 所以仅供建筑师于隔声设计中参考:

1. 当声频 $f <$ 第一共振频率 f_0 时, 公式为:

$$R = 20\lg(m_1 + m_2) + 20\lg f - 47 \quad (11-24)$$

我们分析, 由于共振频率 $f_0 = 1200 / [(m_1 + m_2) d]^{0.5}$, 分母越小 f_0 越大, 所以即使使用很轻的石膏板双层墙, f_0 也在 100Hz 以下, 所以无论是轻薄或厚重构件 f_0 都很低, 而 $f < f_0$, 所以 f 就更低, 式 (11-24) 式仅适用低于 100Hz 的低频, 且空气层对隔声又不起附加作用, 隔声量大大低于双层墙的平均隔声效果。实际上式 (11-24) 式就是第五章所述

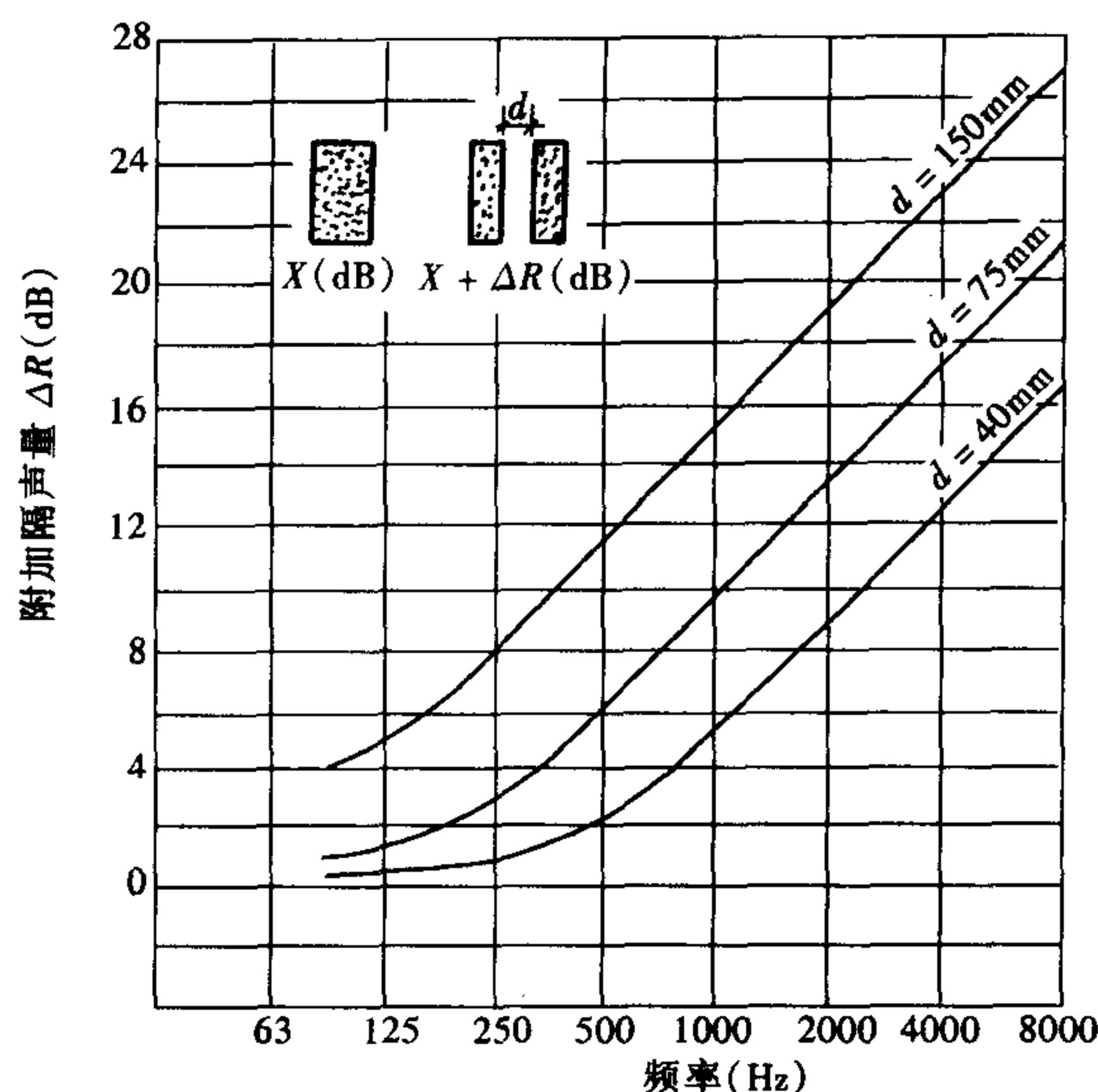


图 11-5 轻墙的空气间层在不同频率时的附加隔声量

理论计算公式 (5-1), 但式 (11-24) 提出了公式使用时的限定条件为 $f < f_0$, 而公式 (5-1) 无此限定条件。

2. 当 $f_0 < f < f_1$ 时, 公式为:

$$R = R_1 + R_2 + 20\lg f_b - 29 \quad (11-25)$$

3. 当 $f > f_1$ 时, 公式为:

$$R = R_1 + R_2 + 6 \quad (11-26)$$

以上公式中的 $R_1 = 20\lg m_1 + 20\lg f - 47$, $R_2 = 20\lg m_2 + 20\lg f - 47$ 。

b ——空气层厚度, m;

f_1 ——极限频率 $f_1 = c/2\pi b$ 。

以 c 为 344m/s 计, 则 $c/2\pi$ 为常数等于 54.75, 则极限频率 $f_1 = c/2\pi b = 54.75/b$ 。

极限频率 f_1 是频率的概念, 而且只与空气层厚度 b 有关。前面已经述及, 要发挥双层墙空气层附加隔声量的作用, 空气层至少要厚 7cm, 这时的 $f_1 = 54.75/0.07 = 780\text{Hz}$, 也就是说上述公式 (11-25), 仅适用于中低频, 式 (11-26) 适用于中高频。该书中称上述经验公式是“比较准确的简单公式”, 而用上述公式计算出的隔声量却非常高。例如, 以 12cm 厚半砖墙和 24cm 厚一砖墙, $f = 500\text{Hz}$, 中空 $b = 7\text{cm}$ 计算之, 式 (11-25)、式 (11-26) 计算出的值分别达 116dB, 和 120dB, 太高了。这里介绍这几个公式的目的, 只是为了引起大家的研究、思考。

第六节 关于附加隔声量

关于空气层厚度与附加隔声量之间的关系, 在过去, 国外有两种意见:

一种意见认为附加值 ΔR 是随空气层厚度 b 的增加而增加, 但有一个最佳值, 即空气层厚度以 10cm 时附加 12dB 为最佳, 空层厚度小于 10cm 时 ΔR 变小, 而大于 10cm 时, 附加隔声值不但不会增加, 反而下降。这是声学家卡默雷尔 (Cammerer) 和迪哈玛 (Dur. Hammer) 两人经过理论推导与试验后得出的结论, 如图 11-6。

而另一种研究是瑞典技术大学 (Chalmers Technical College) 在试验室进行反复试验所得出的结论, 见图 11-7。他们认为附加隔声量呈递增趋势, 在空气层厚度 10cm 以内时, 意见与前者是一致的, 非常接近的, 但不存在一个驼峰形的最佳值, 而是 ΔR 值随着空气层厚度的增加而增加 (尽管增加的趋势越来越小), 并成为一条渐近线, 接近一个极限值, 但却不存在下降的情况。

声学家布鲁尔 (P. V. Bruel) 在试验室对双层玻璃墙的隔声系统的试验得出的结论与上述后一种意见相同, 同时认为此渐近线的极限值为单层玻璃隔声量的两倍, 见图 11-8。

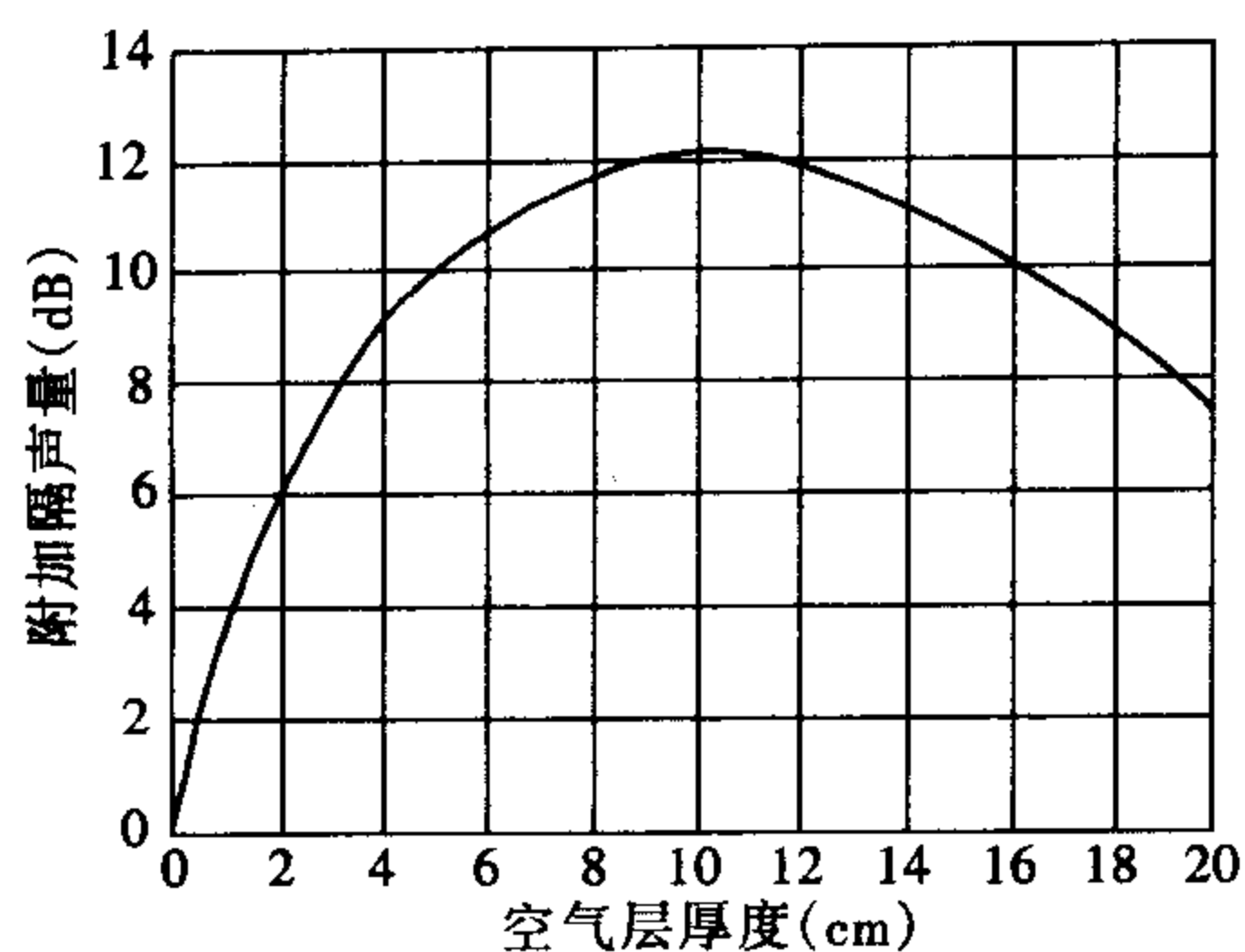


图 11-6 卡默雷尔和迪哈玛的测定

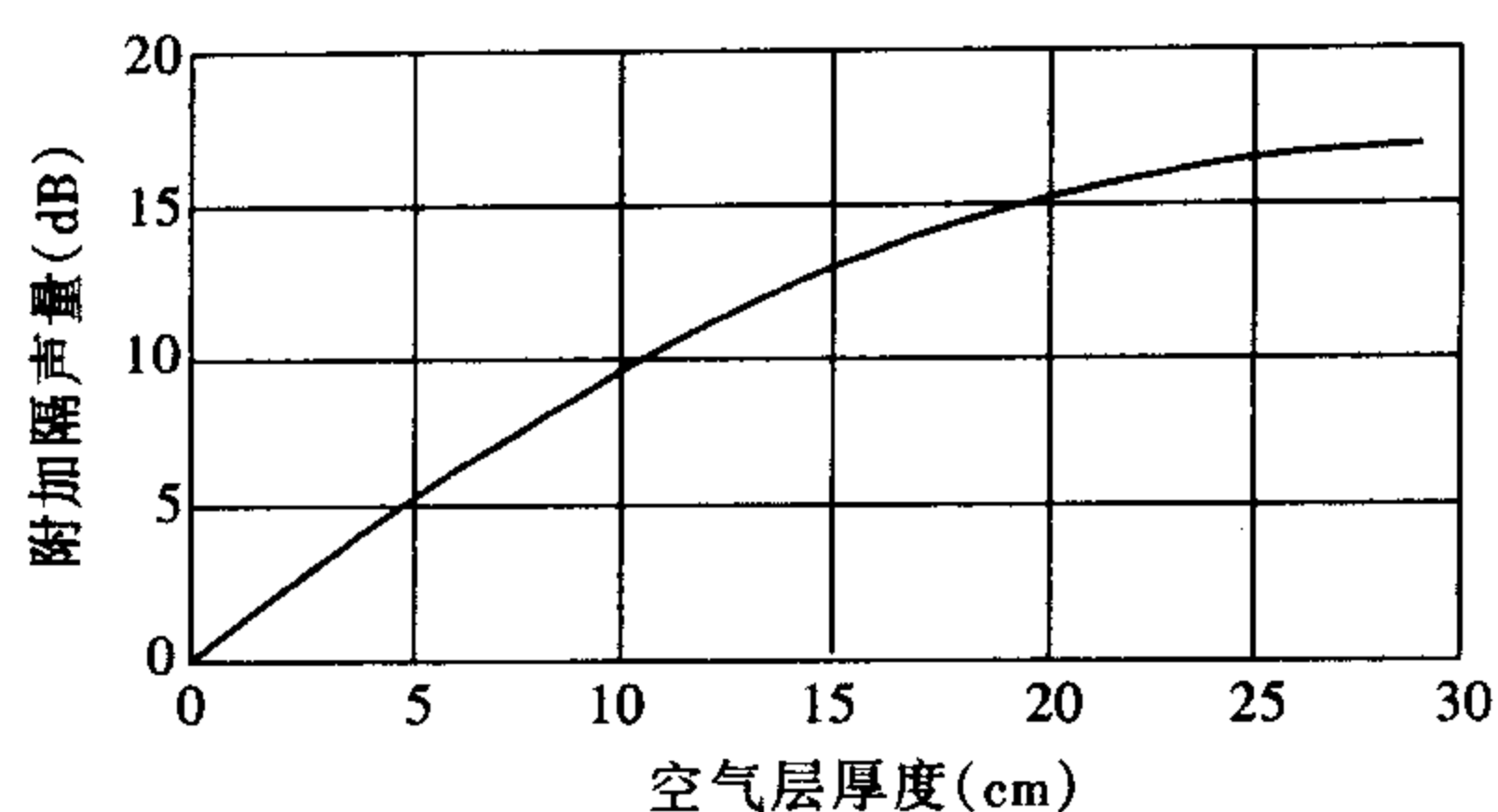


图 11-7 瑞典技术大学的测定

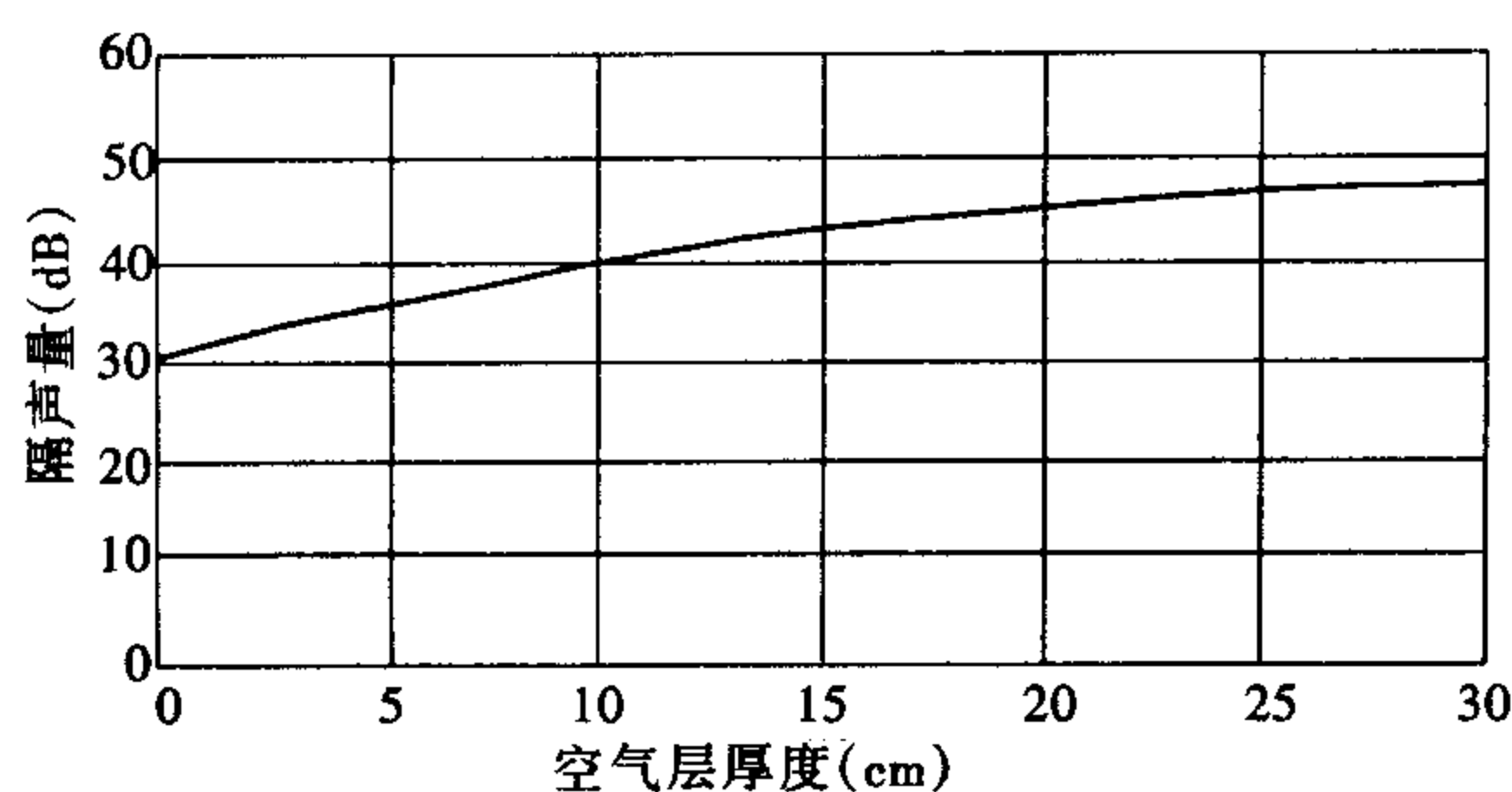


图 11-8 布鲁尔对双层 5mm 玻璃墙的测定

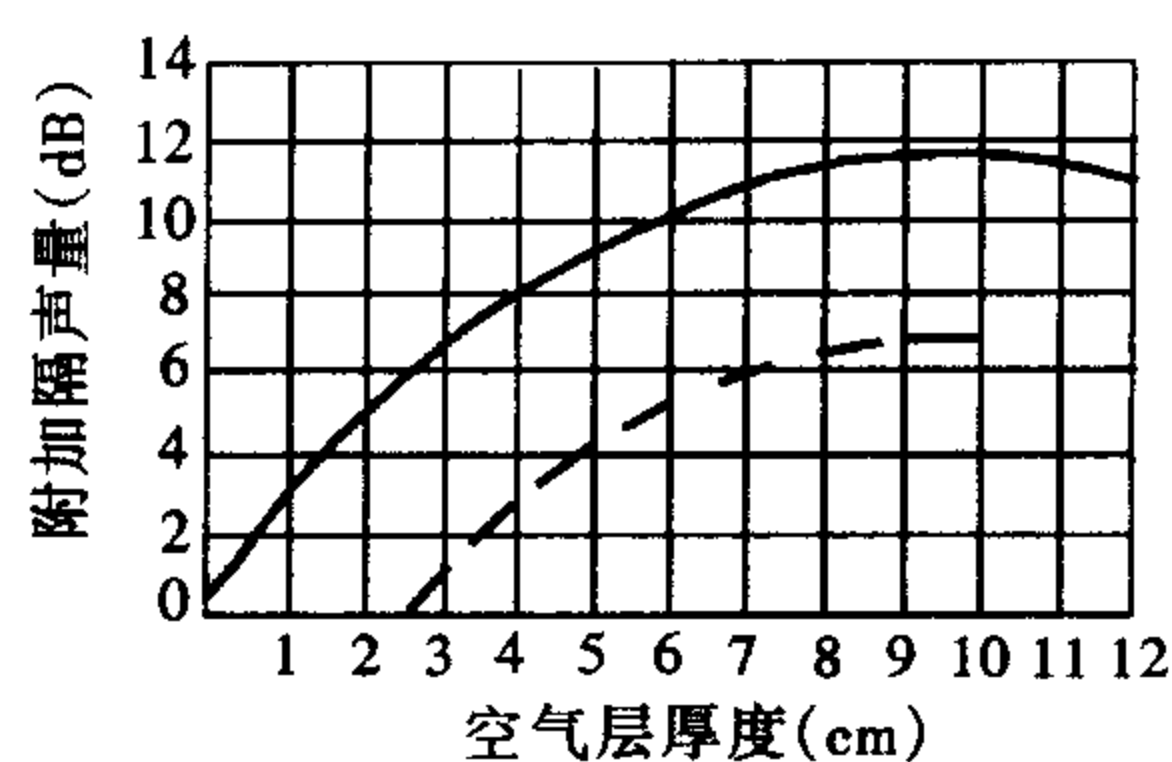


图 11-9 斯拉文引用的双层墙附加隔声量曲线

我国声学书籍包括大学《建筑物理》课本，在描述双层墙的空气层附加隔声量时，大多是引用图 11-3，这个图是斯拉文所著《生产噪声及其防止方法》一书中的附图，即图 11-9 斯拉文的附加隔声量的曲线图，而斯拉文的图实际上是引用了卡默雷尔，迪哈玛二氏的曲线图，即图 11-6，只不过取消了 b 为 12cm 后面的部分，而保留了 10cm 处有最佳值的痕迹，另外又增加了图 11-3 中所示的一条平行虚线，作为双层墙在没有弹性衬垫情况下的附加隔声量，但这条虚线是根据推论估计出来的，与实际情况并不相符。声学家里斯认为上述第一种意见是不对的，空气层厚度增加时，隔声量肯定会有所增加，即空气层越厚，隔声量越大，这个结论肯定是正确的。哈里斯并认为：当两片构件间的空气层较小时，空气层相当于有弹性的“弹簧”，此“弹簧”把两片质量体 m_1 、 m_2 联系起来，共同工作，即 $m_1 \square \propto k \propto \square m_2$ ；如果两片墙间的空气层厚度很大时，两片构件就失去了联系，而变成两片各自独立的构件（墙板），这时空气层就起不到弹簧作用了，而其总的隔声量，即为两片构件各自隔声量的和（再加以修正）。但是，空气层厚度的界限在什么地方，即空气层厚度厚到什么值才是弹簧和非弹簧的分界点，理论和实际的研究还不清楚。但是哈里斯认为上述图 11-6、图 11-3 这两条不正确的曲线，也不是凭空臆造的，而是卡默雷尔、迪哈玛氏、斯拉文等声学家里斯通过对空气层厚度与透射损失的测定而得出的，于是这种结论传下去，大家都不假思索地运用该图。哈氏说：图 11-6 没有理论根据，因为后来又有人重复做过多次这样的实验，都并未发现隔声量下降的现象。声学家里斯认为：空气层厚度增加到 30cm 或更多一些，也不致使隔声量下降，见图 11-8。面对不同的声学家里斯研究出不同的结论，哈里斯认为：可能的结论应该是在空气层厚度较小时，即在 10cm 以下时是

一种隔声理论，空气层厚度再加一点，隔声附加值可能有所下降，再加大空气层时，附加隔声量则上升，而且是逐渐上升，其渐近线是两道墙各自单独隔声量的和（再加修正）。我国建筑科学研究院物理所于 70 年代末，经多年研究得出的结论与上述第二种意见相同。哈里斯还认为，在研究双层构件的隔声理论时，其出发点不应认为是把一道墙分成两个厚度，由于增加了空气层而增加了隔声量；而应是按两道墙各自单独的隔声量，由于有较小的并类似弹簧的空气层，使隔声量下降了多少。他认为无论从理论上还是技术上都应该是这样来看问题。声学家哈里斯先生的这一论述是科学的，有开拓意义的。

结论应该是：建筑师在双层墙隔声设计时，空气层附加隔声量的选取依据，采用图 11-7、图 11-8 才是确切的。

第七节 关于双层墙中填充吸声材料

在双层构件中填充柔软多孔的吸声材料，对隔声有良好的影响。由于双层墙也有一系列的共振频率，从而影响隔声量的提高，若在空气层中悬挂或放置多孔吸声材料，由于此类材料的流阻特性，阻碍着空气的振动，从而减弱了共振的影响，提高了隔声量。但一般说，低频提高少，高频提高较多，这是因为多孔吸声材料本身的吸声频率特性曲线，就是吸低频差吸高频好。如果把双层墙板之间的空气层看作一个声波往返反射的混响声场，吸声材料的作用就是降低这个声场的声压，则低频的声压降低的很少，随着频率的增高，在高频声压才有很大的降低，这是混响声场中常有的实际经验。为了提高隔声量，空气层中填充多孔吸声材料厚度越大吸声性能越好，隔声量提高也就越显著。

吸声材料放置方法也影响隔声量的高低。如果固定在一层构件（墙板）的内侧面，如图 11-10，则对隔声量不仅在高频，同时在中频也有明显的提高，这是因为吸声材料不仅起吸声作用，同时柔软材料紧压在墙面上还阻碍着墙板的弯曲振动，从而降低了墙板的声辐射。如果在空气层中填满柔软的多孔吸声材料，如图 11-11，则吸声材料挤在双层墙板之间，将同时阻碍两侧墙板板面的振动，双层墙低、中频的隔声量将有明显的提高，这是利用板表面的摩擦阻尼，如同我们用手捂住被敲打的锣鼓一样，隔声量的提高，将如同图 11-11 中虚线所示的那样，比实线所示未填多孔吸声材料的隔声量提高约 10 dB，而且是全频的提高。为了节省材料，节约投资，有时不必要在空气层中填满吸声材料，而是如同图 11-12 那样，可以同样起到阻碍墙面振动的作用，而又比较节省。

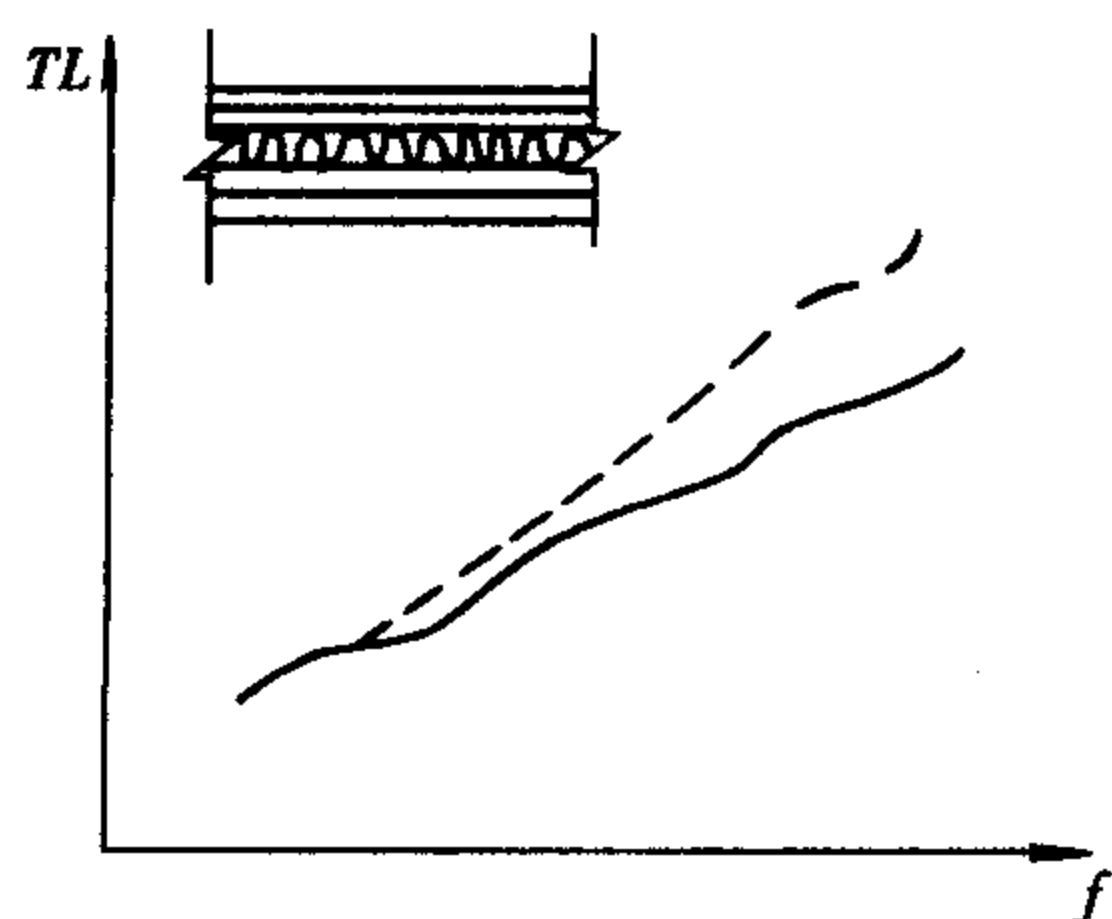


图 11-10 薄吸声材料
对隔声量的影响

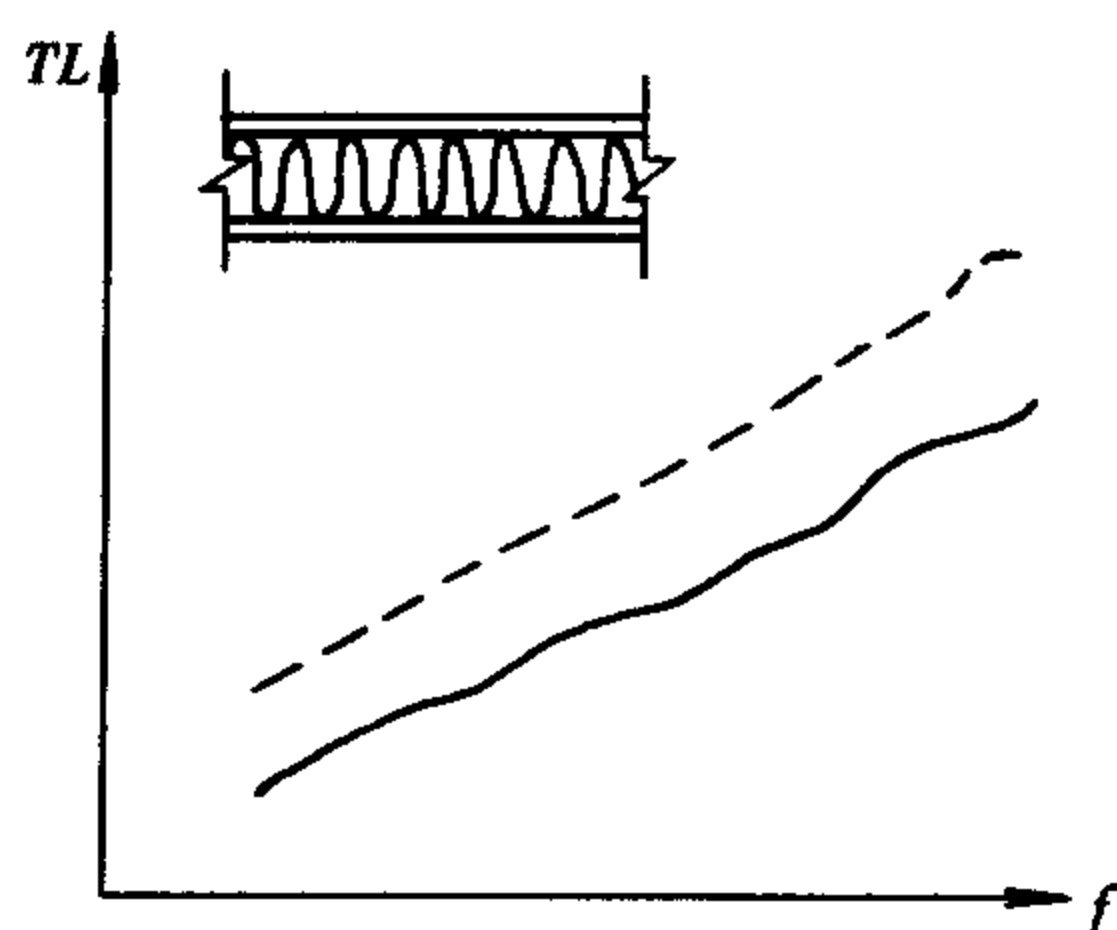


图 11-11 厚吸声材料填
满后对隔声量的影响

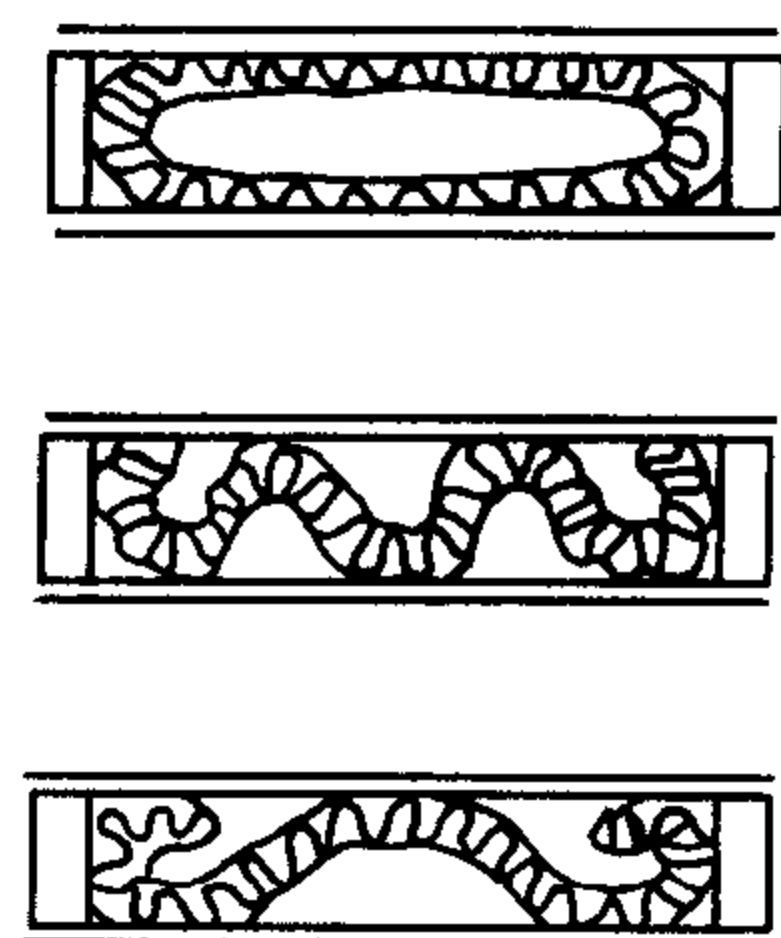


图 11-12 几种放置吸声
材料的合理方法

第八节 高隔声量结构的隔声

1. 避免声桥、基础分离：

为了使围护构件具有足够高的隔声量，采用无搭接声桥和基础分离的双层墙结构，会获得很好的隔声量。轻墙由于质量小，基础未作分离时对隔声影响较小，但是厚重的墙，由于墙本身的质量大，通过周边相邻的侧墙及基础都会传递一部分声能，使隔声量明显下降，因此必须隔离或减弱对于侧墙和基础的声传递，见图 11-13。

图 11-13 是广东省电视台的实例，双层 37cm 厚砖墙的分离基础，使隔声量达到平均隔声量 $\bar{R} = 79.4\text{dB}$ ，计权隔声量 $R_w = 85\text{dB}$ ，比同类双层墙在采用共同基础时的 $\bar{R}$ 高 10dB， R_w 高 12dB。

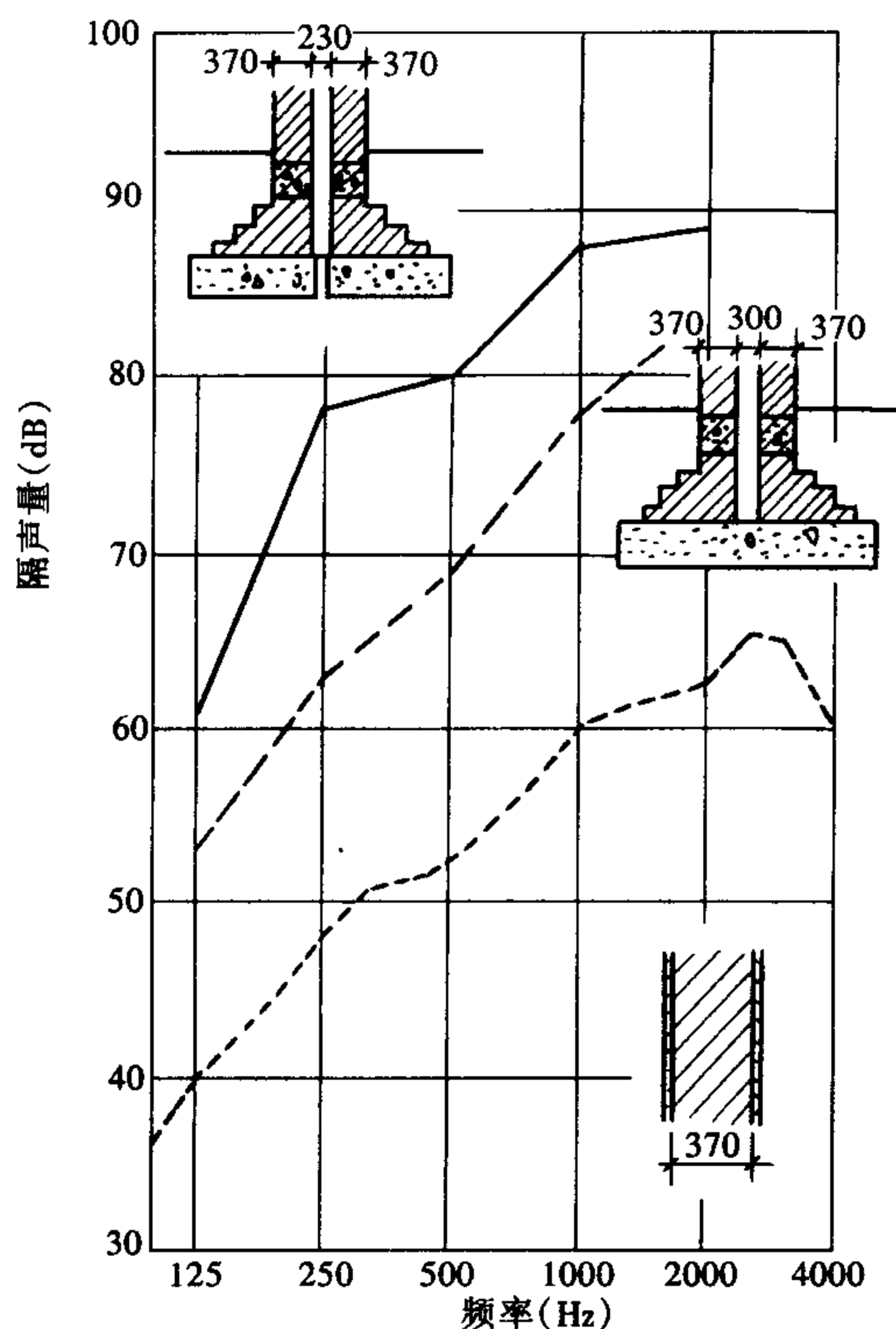


图 11-13 37cm 厚单层与双层墙的隔声性能

2. 加大面密度设置空气层：

为了获得更大的隔声量，还可以采用多层结构，用增加构件的面密度与多层次空气层的附加值来增加隔声量。采用一层重墙一层轻墙的多层墙较为有利，例如由表 11-2 及图 11-14 可知，一重一轻的墙比单层重墙面密度增加的很少，但隔声量却有显著的提高，这是由于有空气层而附加了隔声量。由于两层墙的厚度、重量不同，使加气混凝土板的吻合低谷得到了补偿，但是因为该构造空气层厚度较小，只有 5cm，在低频 125Hz 时产生了共振低谷，因而空气层厚度应设计得足够大，以使共振频率降至常用的声频以下。

3. 播音室、消声室隔声设计实例：

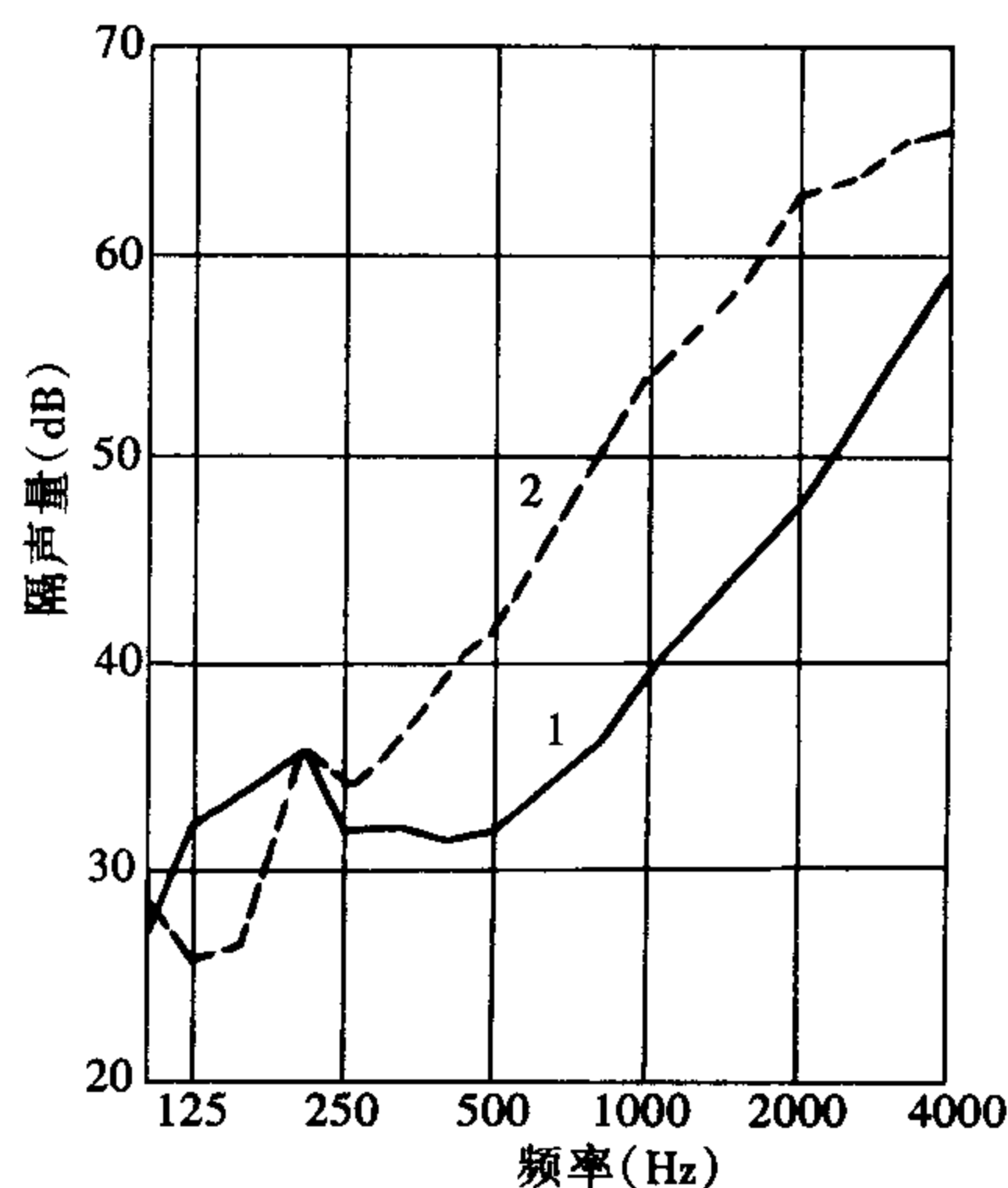
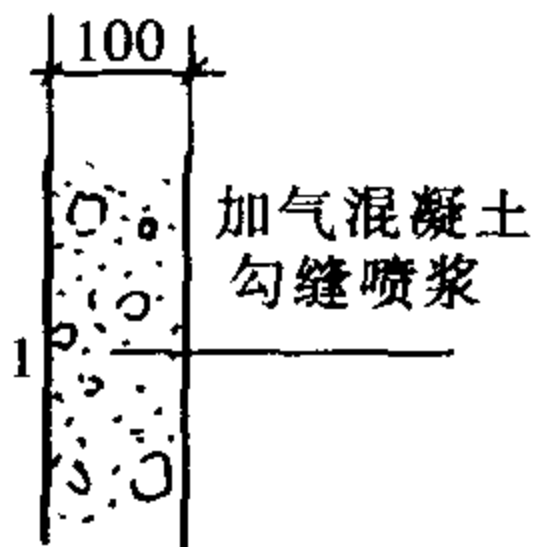
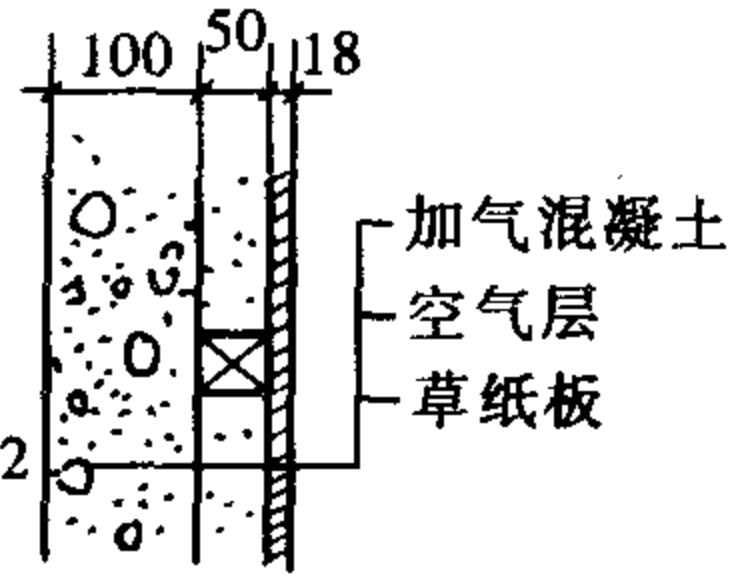


图 11-14 两种加气混凝土墙
隔声性能的实测比较

90年代初，在山东胜利油田电视台语言录音、播音室的设计中，墙的设计即采用了多层结构，外墙为 37cm 厚砖墙，空气层厚 25cm，内套六面都悬浮的播音间，悬浮的播音间的顶上用 VHC 型减振弹簧吊钩，将悬浮间顶板吊于钢筋混凝土的顶板下，减振吊钩纵横间距均约为 75cm，见图 11-15，悬浮间顶板用 75 系列轻钢龙骨作骨架，骨架上部为 9mm + 12mm 厚双层石膏板，石膏板上放 3.6kg/m²、3cm 厚岩棉板，75 系列龙骨之上部为 2.5cm 厚空气层，下部放 6kg/m²、5cm 厚岩棉板，板下为无碱玻璃布及 5mm 厚纤维水泥板、穿孔 $\phi 9@15$ 及一层透气装饰布。

两种加气混凝土墙隔声性能的实测比较 表 11-2

曲线编号	墙 构 造	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)	
			平 均	指 数
1		80	38.3	39
2		84	47.6	47

悬浮间地面层为在固定于地面混凝土垫层上的 TJ₁-5 型弹簧减振器上先放 2.5mm 厚钢板，再浇 7cm 厚钢筋混凝土板，板上为抹灰及地毯。TJ₁-5 型弹簧减振器纵横间距均为约 50cm，见图 11-15，减振器周围即混凝土垫层上放 3cm 厚岩棉毡。悬浮播音间的四面围护墙的作法与顶棚基本相同，9 + 12mm 厚双层石膏板、4.5cm 厚的空气层、3cm 厚岩面板，其与 25cm 厚的空气层、37cm 厚砖墙、组成了高隔声量的多层构件、多层空气层的多层围护结构。整个录音播音室悬浮在 TJ₁-5 型弹簧减振器上。工艺设计要求室内本底噪声为不大于 NR15， $T=0.3\sim 0.4s$ ，建成后的录音播音室的使用实践表明，隔声效果良好，基本上达到了设计要求。

在山东胜利油田电视台 600m² 大演播室隔声设计中，外围护结构为 50cm 厚砖墙、25cm 厚空气层、及 12cm 厚 BT-89A 型陶粒吸声砖及少量 BT-85 型陶粒共振吸声砖，使用实践表明，制作节目或现场直播节目，都基本上达到了隔声设计要求。

在某工厂全消声室的设计中，消声室本底噪声要求不大于 NR15，设计采用 37cm 厚外墙，25cm 厚空气层及 24cm 厚内墙，留 12cm 空腔后再作吸声尖劈。经了解消声室外声环境比较理想，没有大的噪声源。隔声设计满足了要求，见图 11-16。

4. 高隔声量的各种多层结构墙的比较:

多层墙的轻重配合要适当, 否则影响隔声效果。由表 11-3、图 11-17 可知, 一重一轻的双层墙比一重墙隔声量有显著的增加, 隔声的上升斜率也大。

而二重墙因面密度大, 靠质量定律隔声量也有显著的提高, 但是, 由 D 到 E 即由二重墙变为二重一轻的多层墙时, 隔声的上升斜率又大了。而由一重一轻墙变为二重二轻的

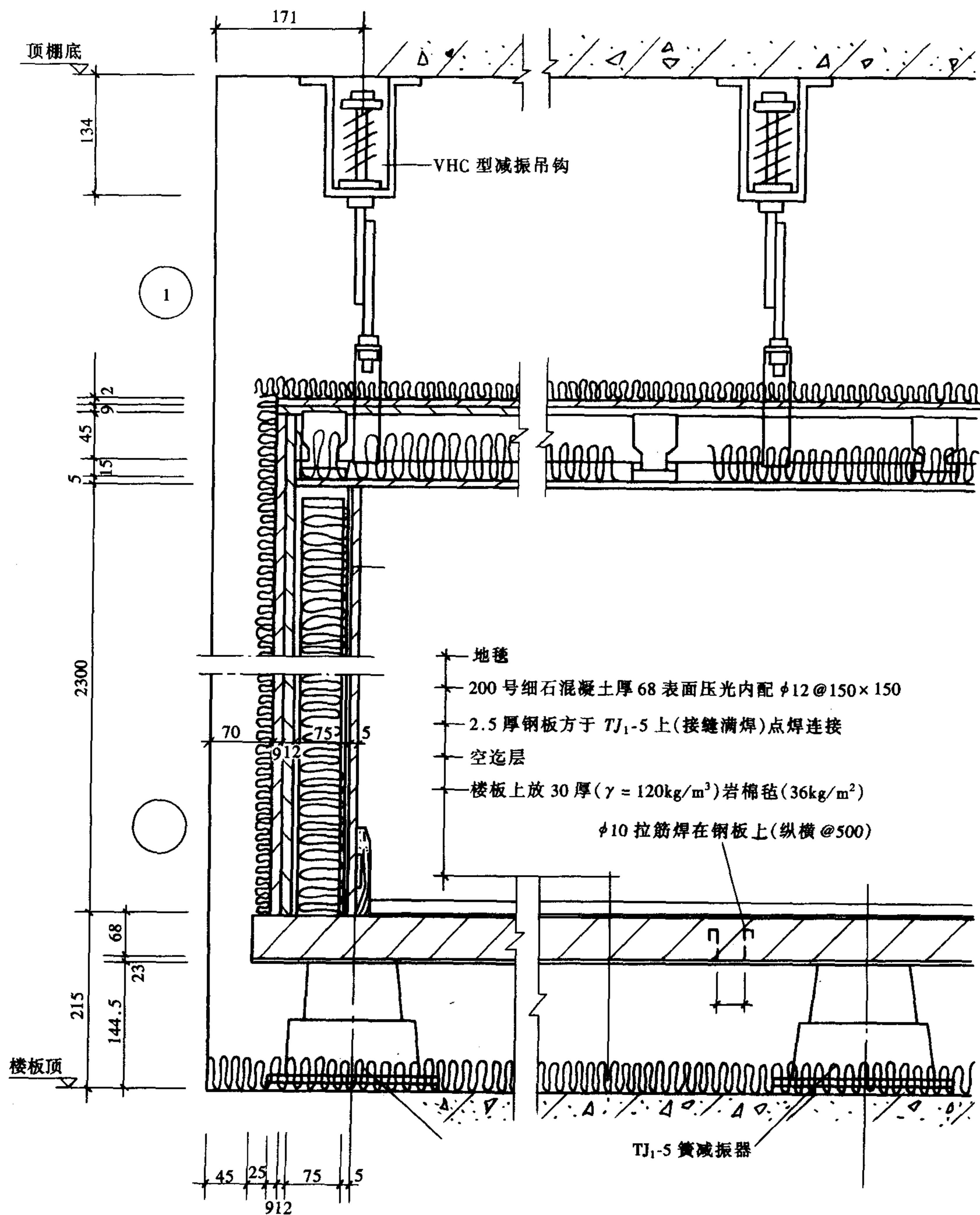


图 11-15 胜利油田电视台语言录音、播音室的墙的设计

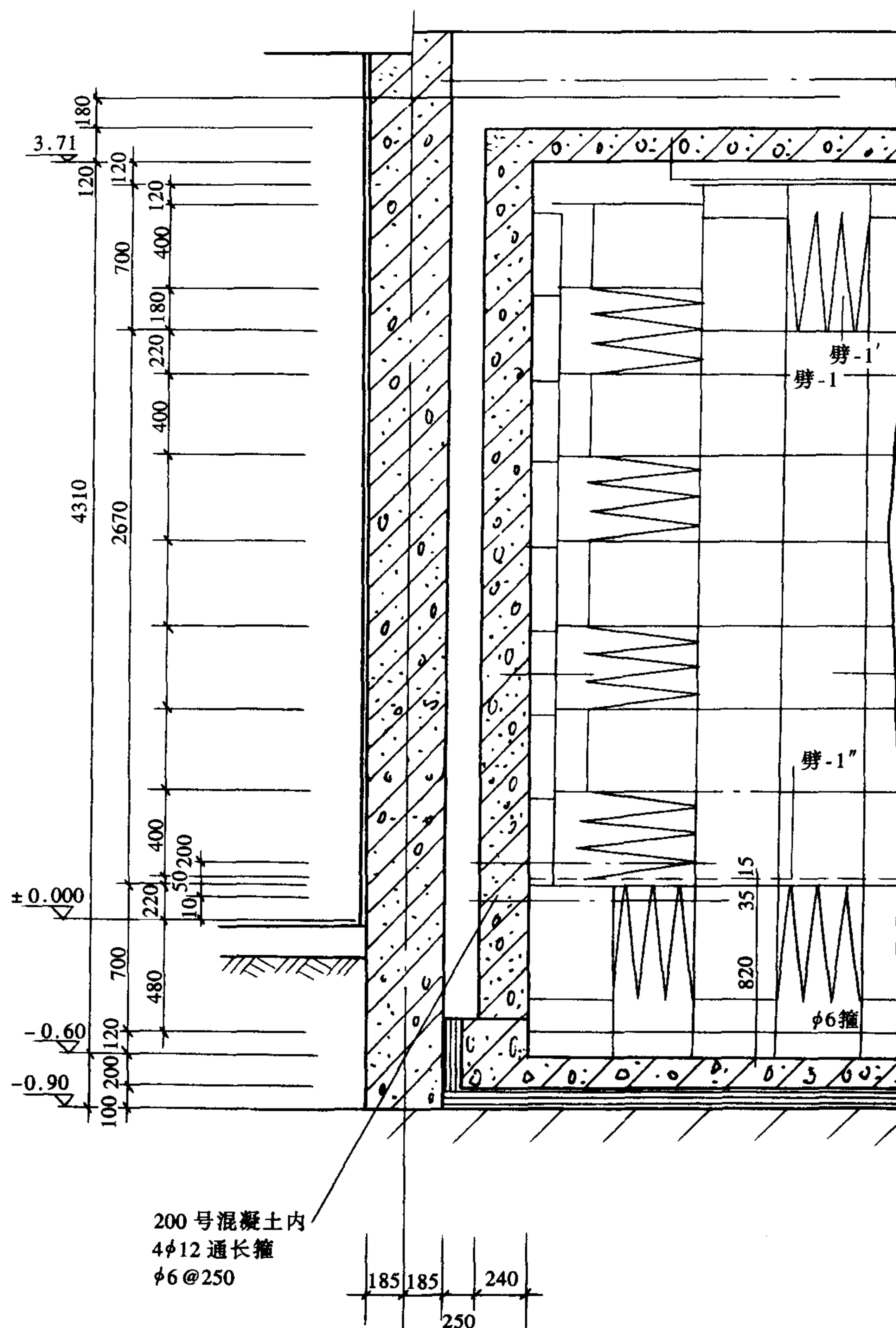


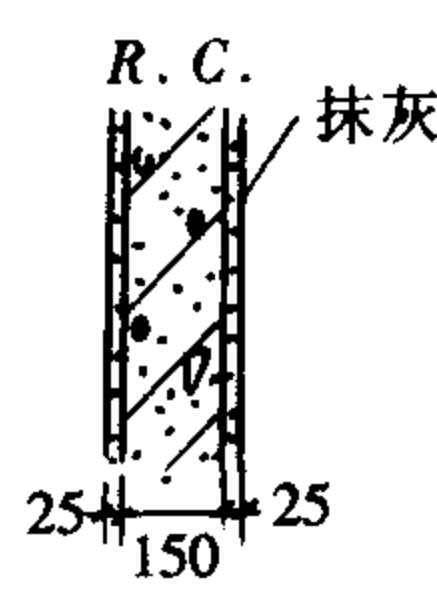
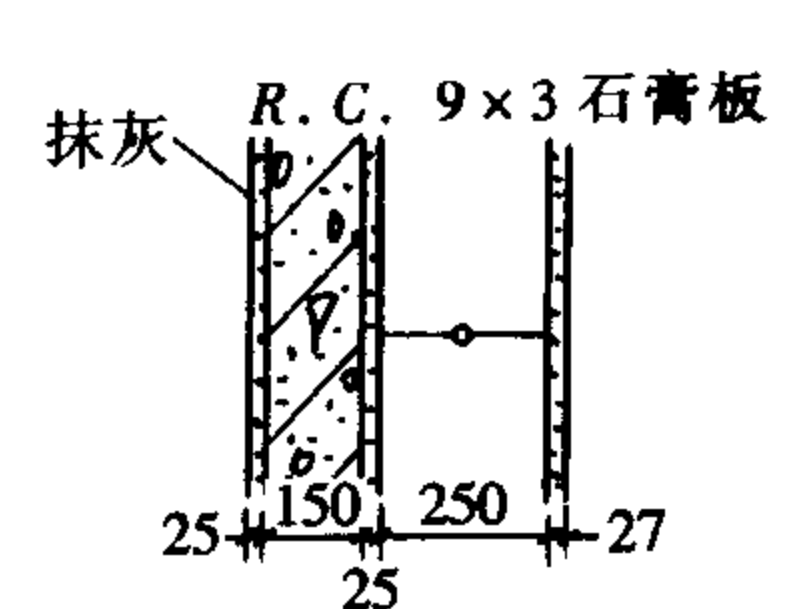
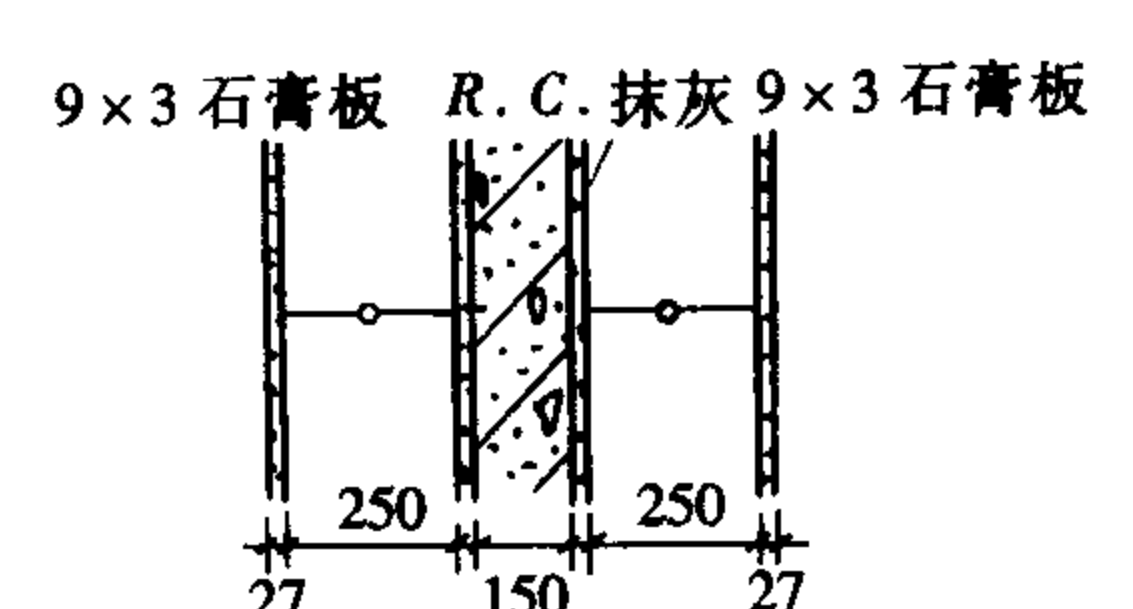
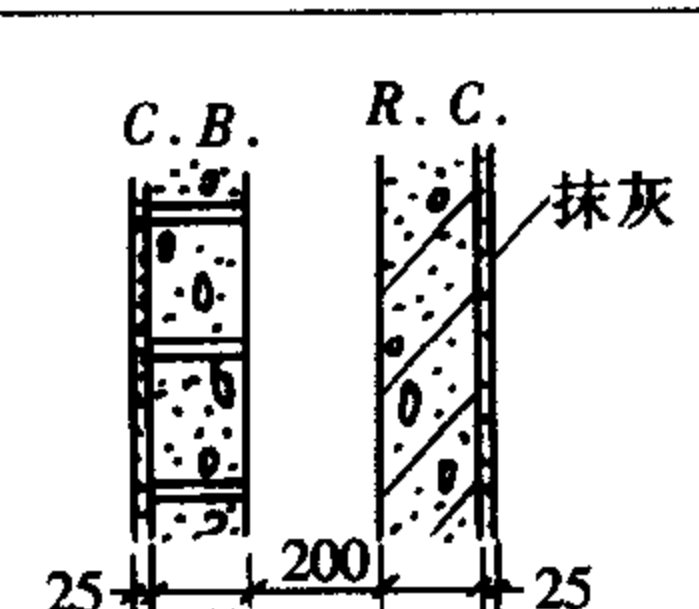
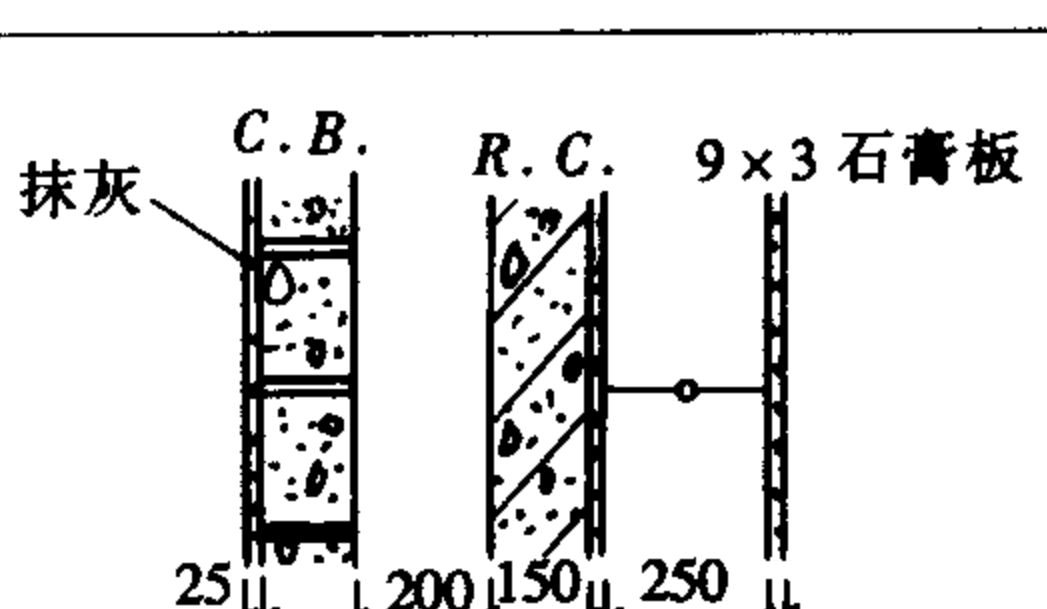
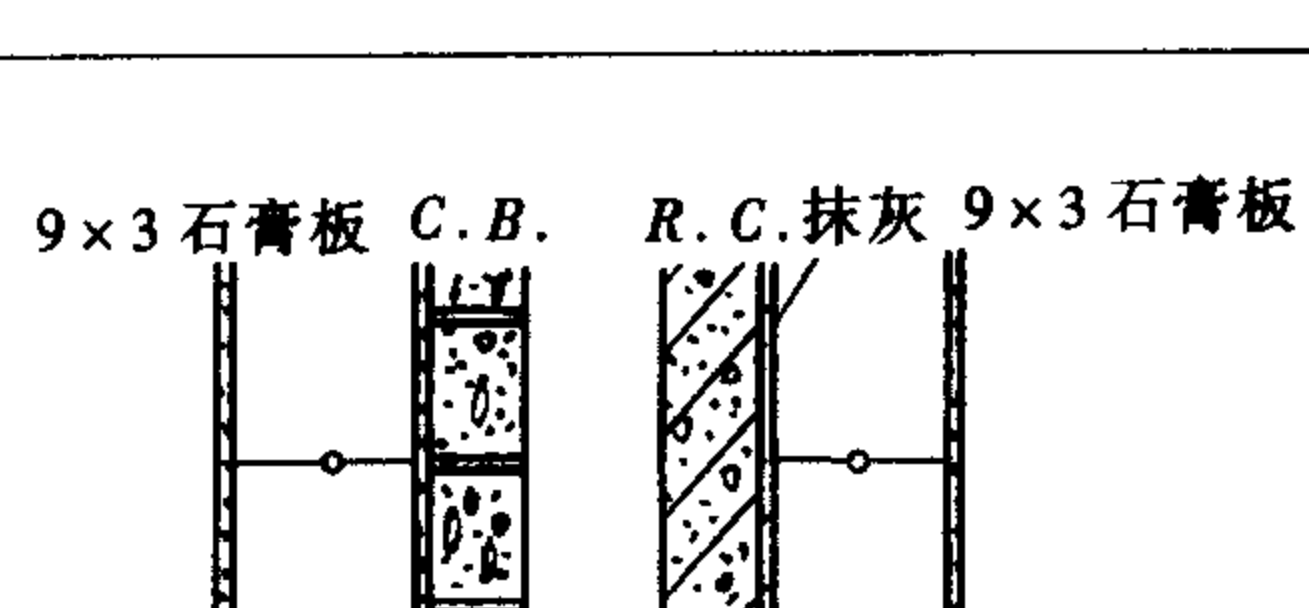
图 11-16 某工厂全消声室的设计

多层墙时或由二重一轻墙变为二重二轻的多层墙时，两种情况都是多增加一层轻墙，隔声量并没有显著的提高。所以，B 一重一轻和 E 二重一轻的组合最经济，有效。

前已述及，缝隙及基础对传声的影响，特别是对重结构和多层高隔声结构而言，影响就更大，由表 11-4 可知：墙 3 的面密度并不比墙 1、墙 2 大，但隔声量却比墙 1、墙 2 大很多，根本原因就是作了分离基础，参见图 11-13。而墙 4 至墙 8 尽管空气层也较大，而且也填放了多孔吸声材料，虽然比不放多孔吸声材料、不设空气层的隔声量有较大的提高，但因为都是共同基础，即基础未分离，所以就显示不出象墙 3 那样的隔声优越性。

不同轻重组合的多层结构的隔声效果比较

表 11-3

编号	构造	示意图	面密度 (kg/m ²)	墙总厚度 (m)	R ₅₀₀ (dB)
A	一重		460	0.2	49
B	一重一轻		477	0.477	62
C	一重二轻		495	0.754	54
D	二重		730	0.546	70
E	二重一轻		747	0.827	78
F	二重二轻		765	1.140	82

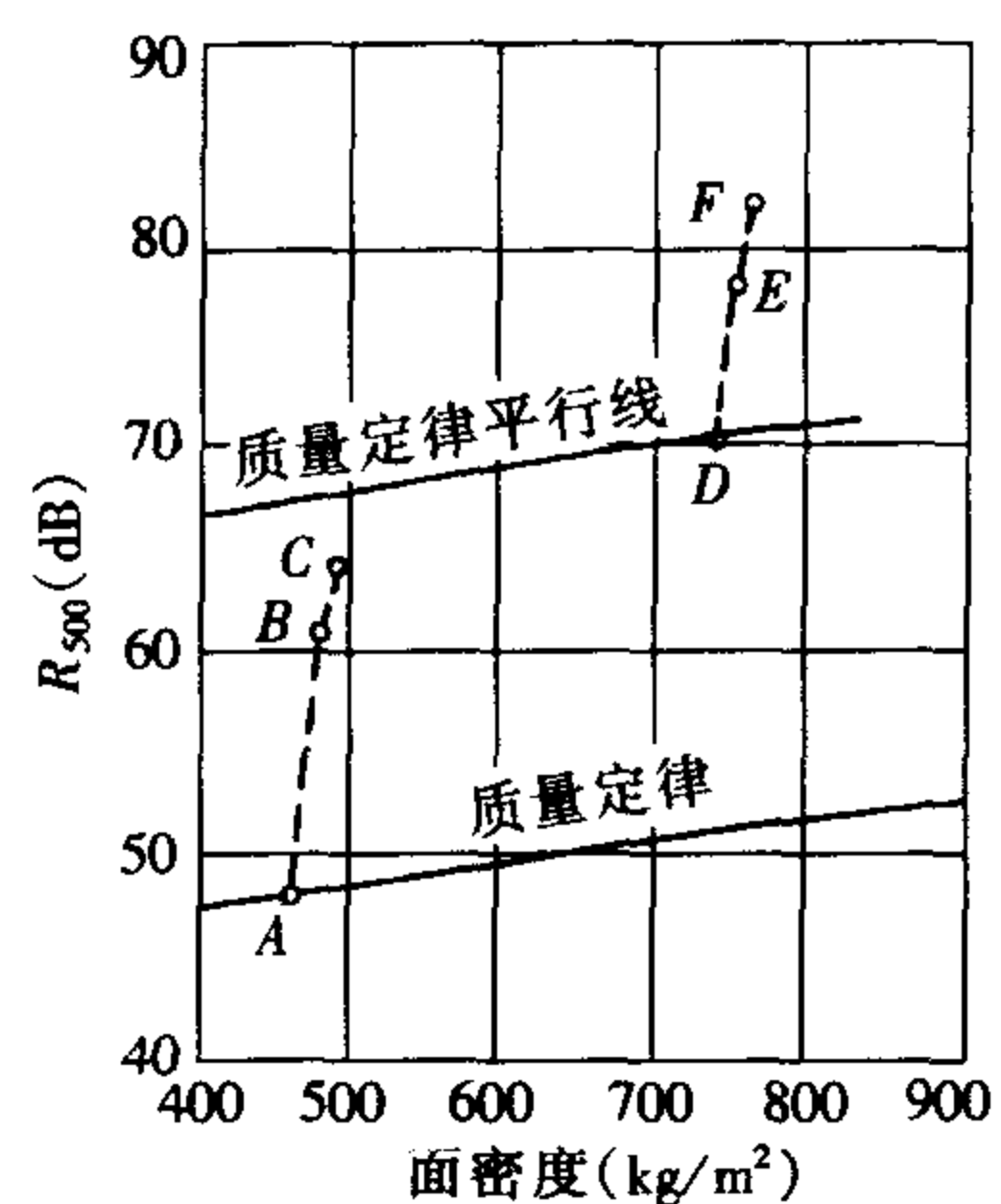
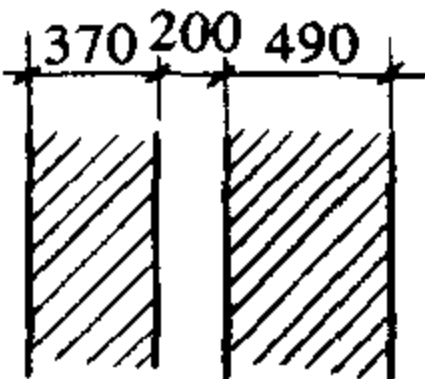
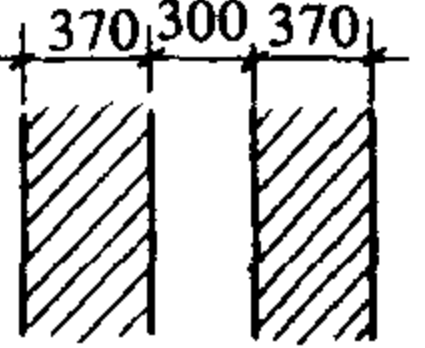
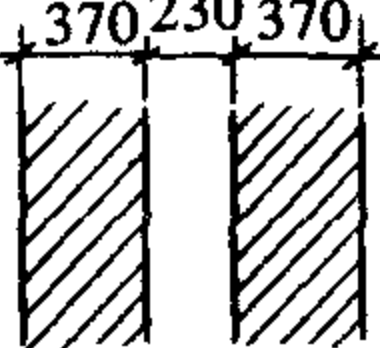
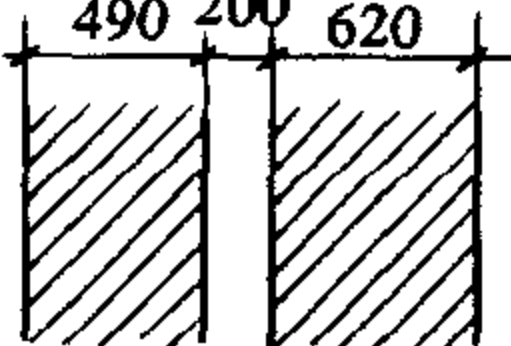
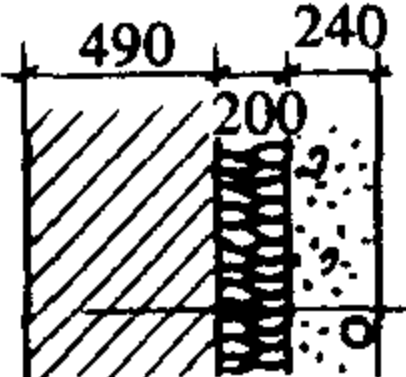
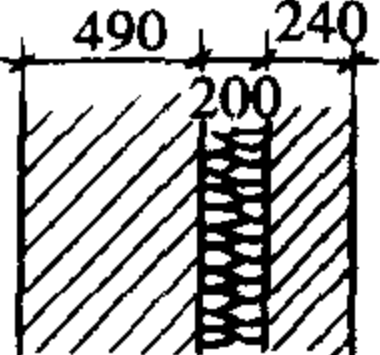


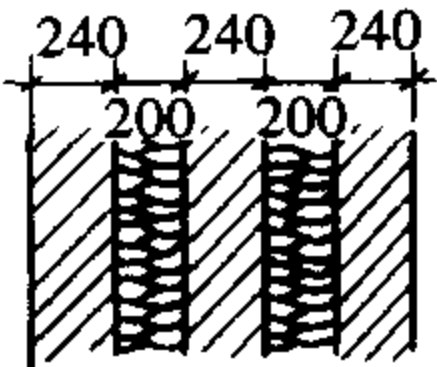
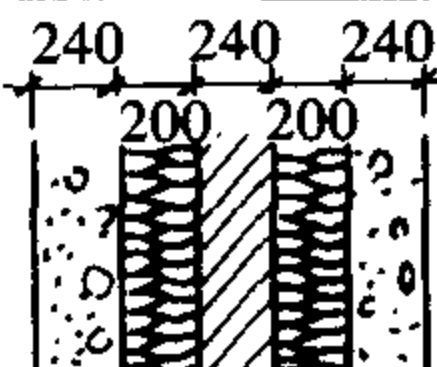
图 11-17 高隔声量结构隔声规律示意

高隔声结构的基础及缝隙处理对隔声效果的影响

表 11-4

编号	墙 构 造	面密度 (kg/m²)	墙总厚度 (mm)	隔声量 (dB)		
				$\bar{R}$	I_a	R_{500}
1		1440	1060	71.6	73	69
2		1240	1040	69.2	73	69
3	 基础分开	1240	970	79.4	85	80
4		1860	1310	70.4	75	68
5	 加气混凝土 玻璃棉 砖	1070	930	68.7	70	69
6		1240	930	69.3	74	67

续表

编号	墙 构 造	面密度 (kg/m ²)	墙总厚度 (mm)	隔声量 (dB)		
				$\bar{R}$	I_a	R_{500}
7		1240	1140	69	74	71
8		795	1140	64.8	65	60

注：除 3 号墙外其他均为共同基础。

第九节 双层墙隔声量的实测举例

这方面的实测资料很多，表 7-1 中序号 224 ~ 338 均可参考，这里另外引用下列实测图作为设计参考之用，见图 11-18 ~ 11-22。将图 11-18、11-20、图 11-21 经过整理可以画出图 11-22，此图显示了三种双层墙的空气层厚度与附加隔声量的关系。

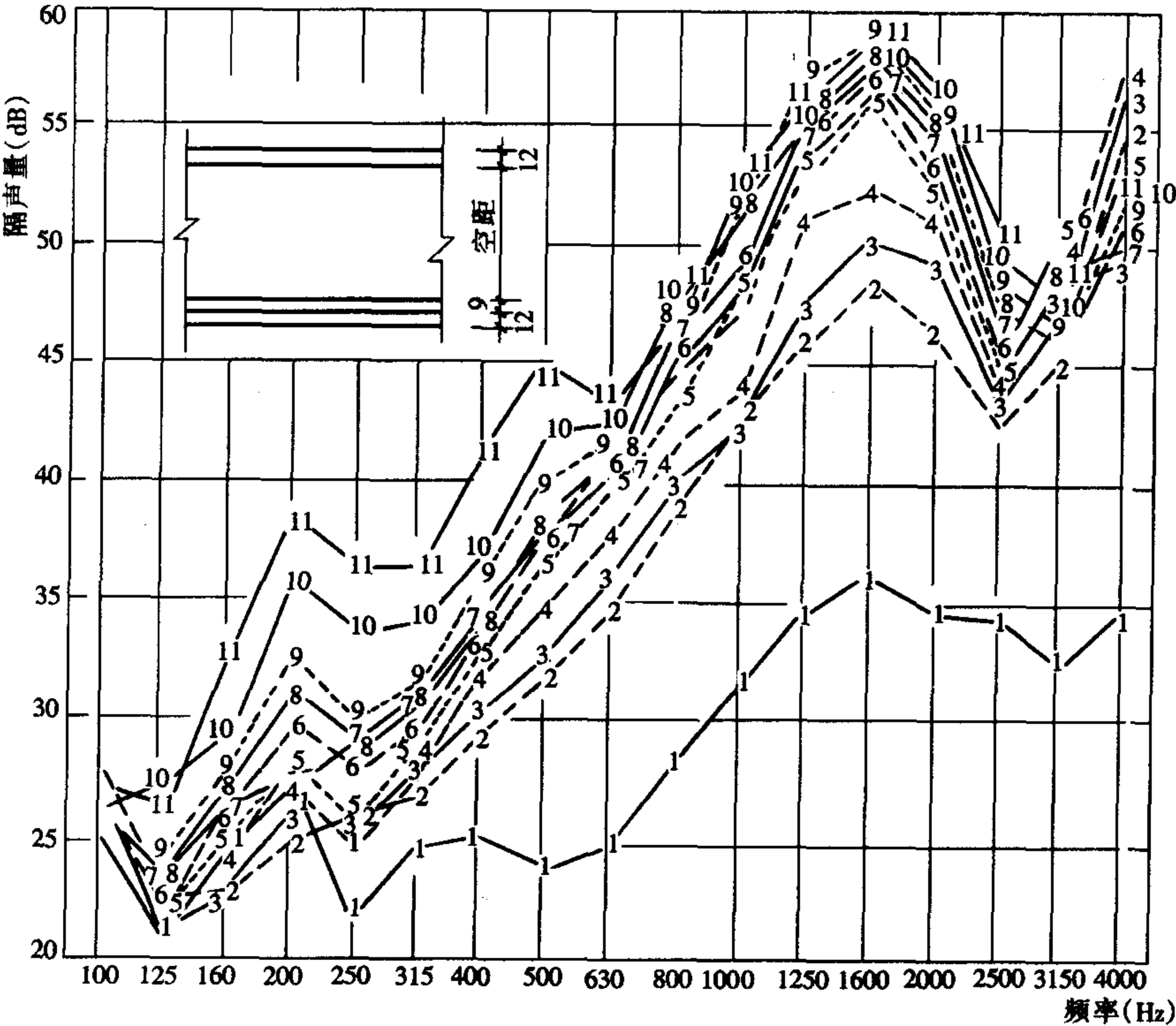


图 11-18 纸面石膏板双层墙 (12+9+空+12) 隔声量与空气层厚度变化的关系
1—单层墙 (12mm+9mm), 29.3dB (平均隔声量, 下同); 2—双层墙中空 12mm, 36dB; 3—
双层墙中空 20mm, 36.7dB; 4—双层墙中空 35mm, 38dB; 5—双层墙中空 50mm, 38.3dB; 6—双
层墙中空 60mm, 38.9dB; 7—双层墙中空 70mm, 40.4dB; 8—双层墙中空 80mm, 40.7dB; 9—双
层墙中空 100mm, 41.4dB; 10—双层墙中空 150mm, 42.7dB; 11—双层墙中空 300mm, 44dB

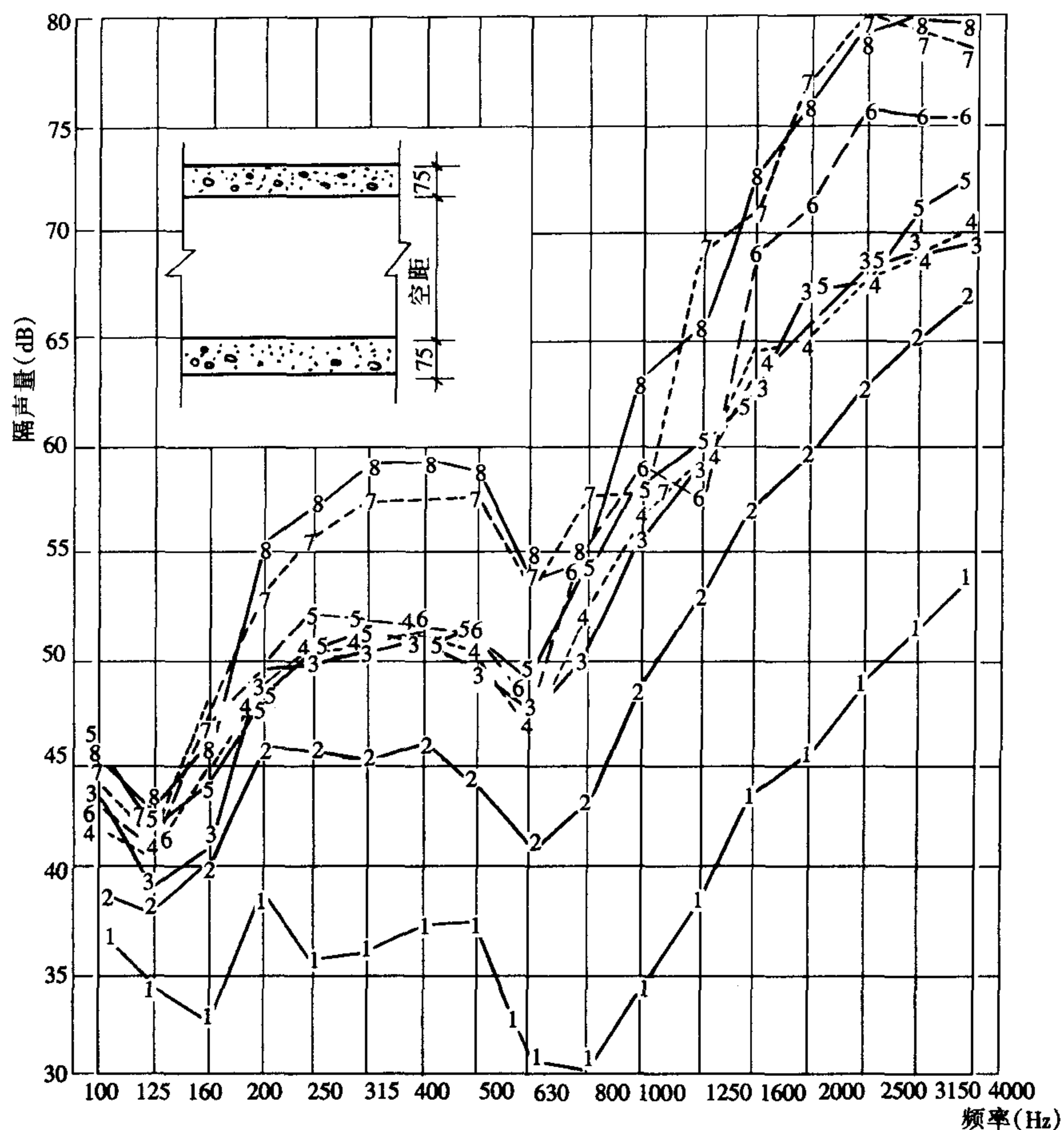


图 11-19 加气混凝土双层墙隔声量与空气层厚度变化的关系

1—75mm 条板单层, 39.2dB (平均隔声量, 下同); 2—75mm 条板双层中空 50mm, 49.2dB; 3—75mm 条板双层中空 75mm, 54dB; 4—75mm 条板双层中空 100mm, 54.6dB; 5—75mm 条板双层中空 150mm, 55.6dB; 6—75mm 条板双层中空 200mm, 57.1dB; 7—75mm 条板双层中空 300mm, 60.9dB; 8—75mm 条板双层中空 400mm, 61.5dB

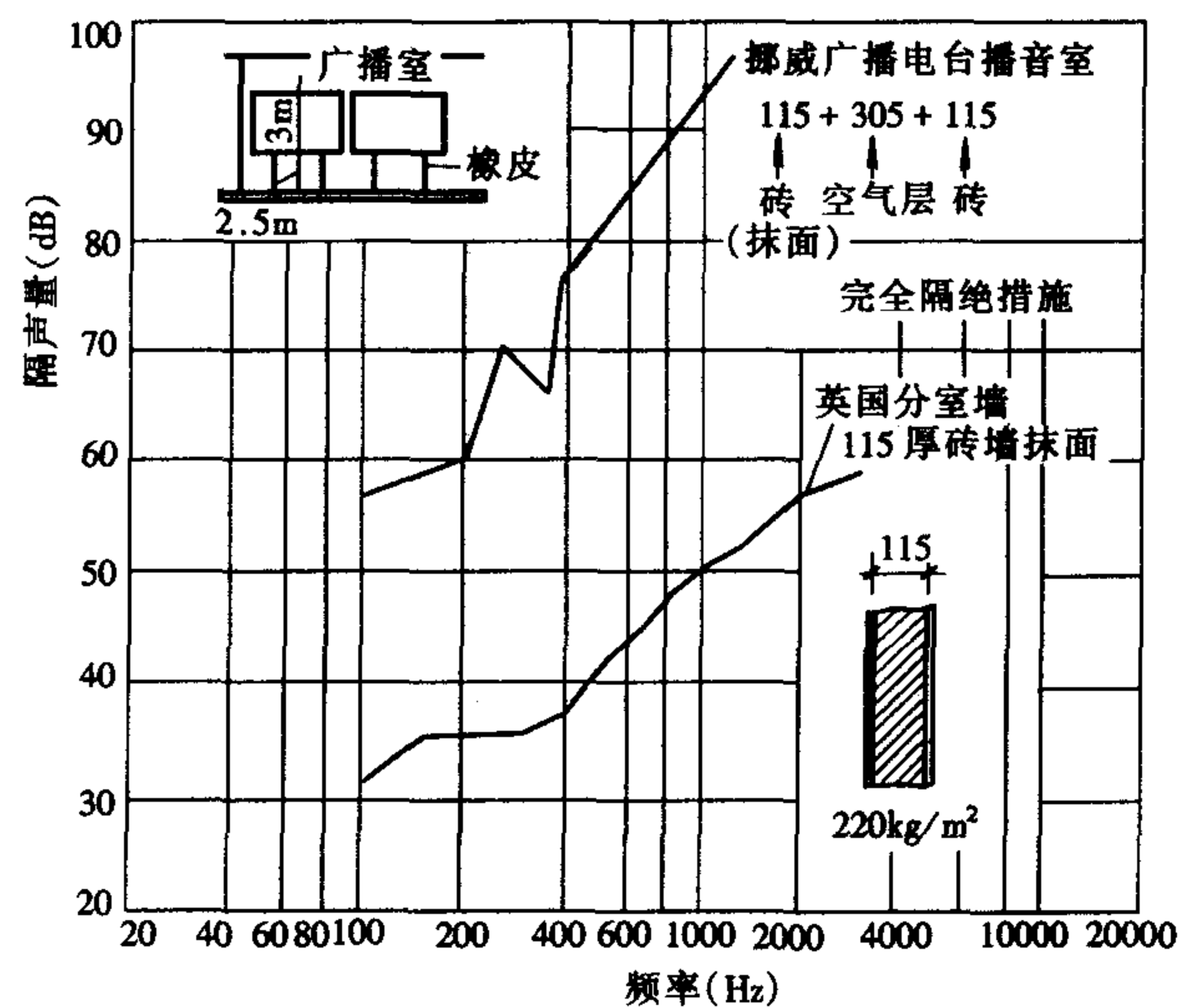


图 11-20 挪威广播电台播音室双层墙在现场隔声测定

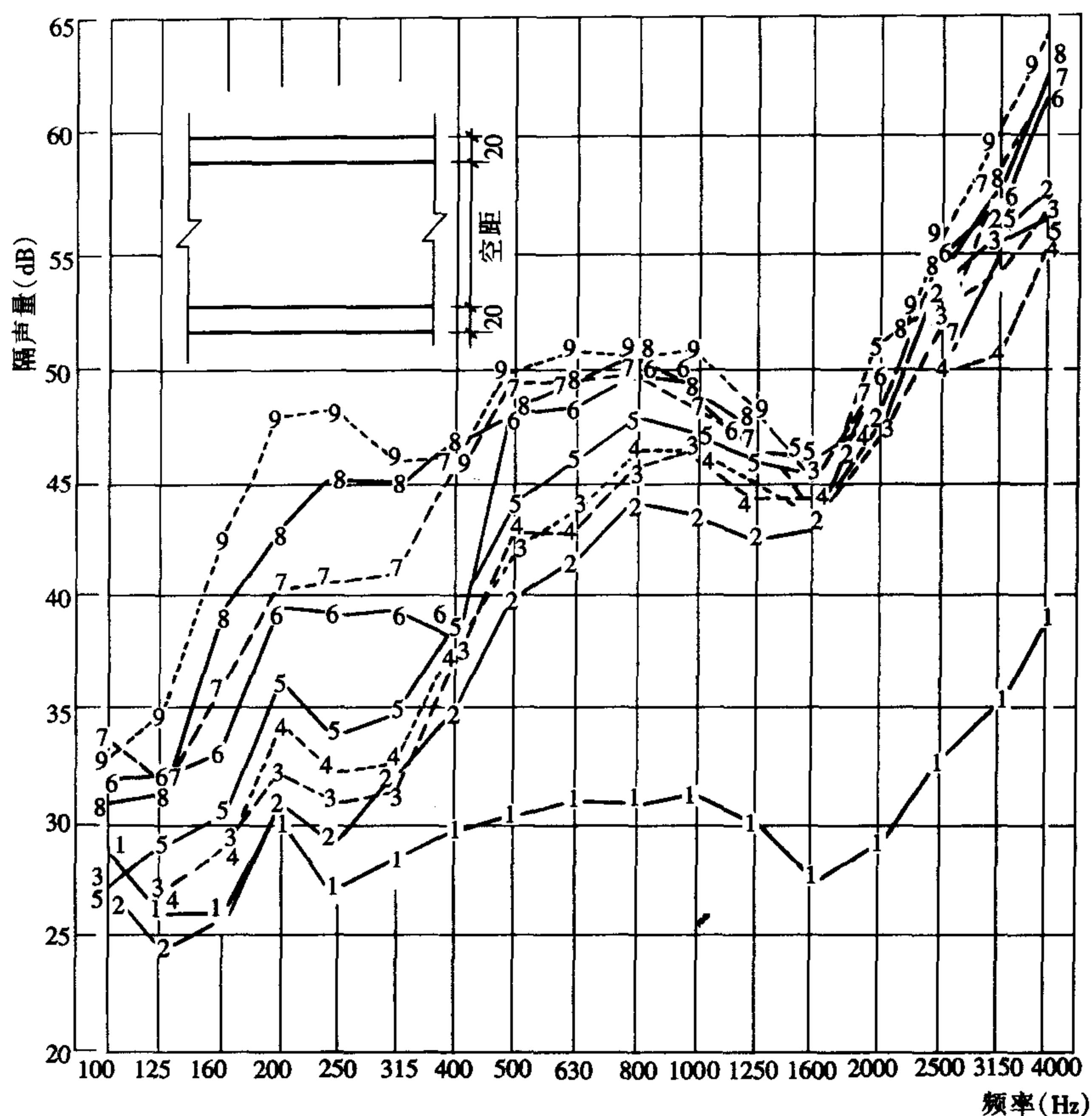


图 11-21 无纸石膏板双层墙隔声量与空气层厚度变化的关系

1—20mm 石膏板单层, 30.5dB (平均隔声量, 下同); 2—双层中空 35mm, 39.8dB; 3—
 双层中空 50mm, 40.4dB; 4—双层中空 75mm, 40.8dB; 5—双层中空 100mm, 42.4dB; 6—双层
 中空 150mm, 45dB; 7—双层中空 200mm, 45.7dB; 8—双层中空 400mm, 46.5dB;
 9—双层中空 550mm, 48.4dB

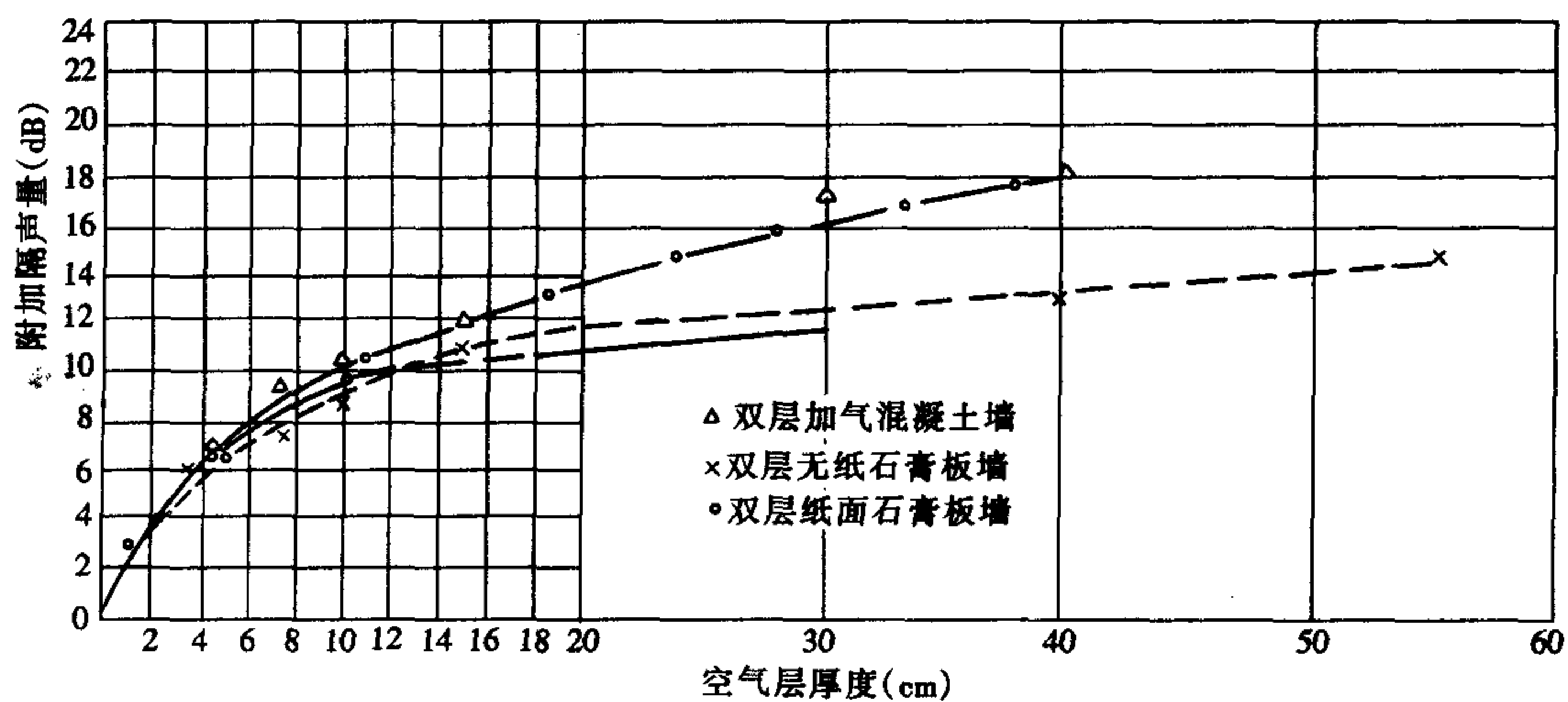


图 11-22 三种双层墙的附加隔声量与空气层厚度的关系

第十节 小 结

1. 双层墙空气层附加隔声量是随空气层厚度的增加而增加, 不存在最佳空气层厚度的问题。增加隔声量的渐近线是两道墙各自独立隔声量的和, 再加“修正”。见图 11-3、图 11-7。

2. 空气层不同厚度的双层墙附加的隔声量大小还与声频有关, 见图 11-5, 频率越高附加的隔声量越大, 但在低频时相差不大。如果空气层厚度小于 4cm, 在低频附加效果很小, 只是在高频才随频率升高而升高。中空玻璃空气层厚度常是 0.6cm, 0.9cm, 空气层厚度极小, 这对保温隔热有益, 但对隔声却不起作用, 一般说双层构件空气层厚度不要小于 7cm。

3. 设计双层构件结构时, 各层厚度最好不一样, 以免产生共振影响隔声, 设计要使共振频率 $f_0 < 100\text{Hz}$, 让临界频率满足 $100\text{Hz} > f_c > 3500\text{Hz}$, 以避免常用的声频区。

4. 双层墙之间不要有连接件以避免声桥, 基础也宜彼此完全脱开, 这在设计实践上常是困难的。

5. 双层墙中宜填充多孔吸声材料, 这时增加的隔声量一般可按 5dB 以上计算。

6. 哈里斯先生关于“在研究双层构件的隔声理论时, 其出发点不应认为是把一道墙分成两个厚度, 由于增加了空气层而增加了隔声量, 而应是按两道墙各自单独的隔声量, 由于有较小、并相似弹簧的空气层, 使隔声量下降了多少, 无论从理论上还是技术上都应该是这样来看问题”, 这样一个重大理论问题, 是应该研究、思考的。

第十一节 关 于 吊 顶

活动地板及楼板下的吊顶, 对隔绝空气声也很有好处, 它们的构造相似于双层板, 这里我们仅简单介绍吊顶。吊顶主要是对空气声的隔绝很有好处, 但它只是减少楼板直接向下辐射的声能, 而不能阻止通过墙体侧面传递的声能, 要提高吊顶的隔声效果, 宜从以下几方面采取技术措施:

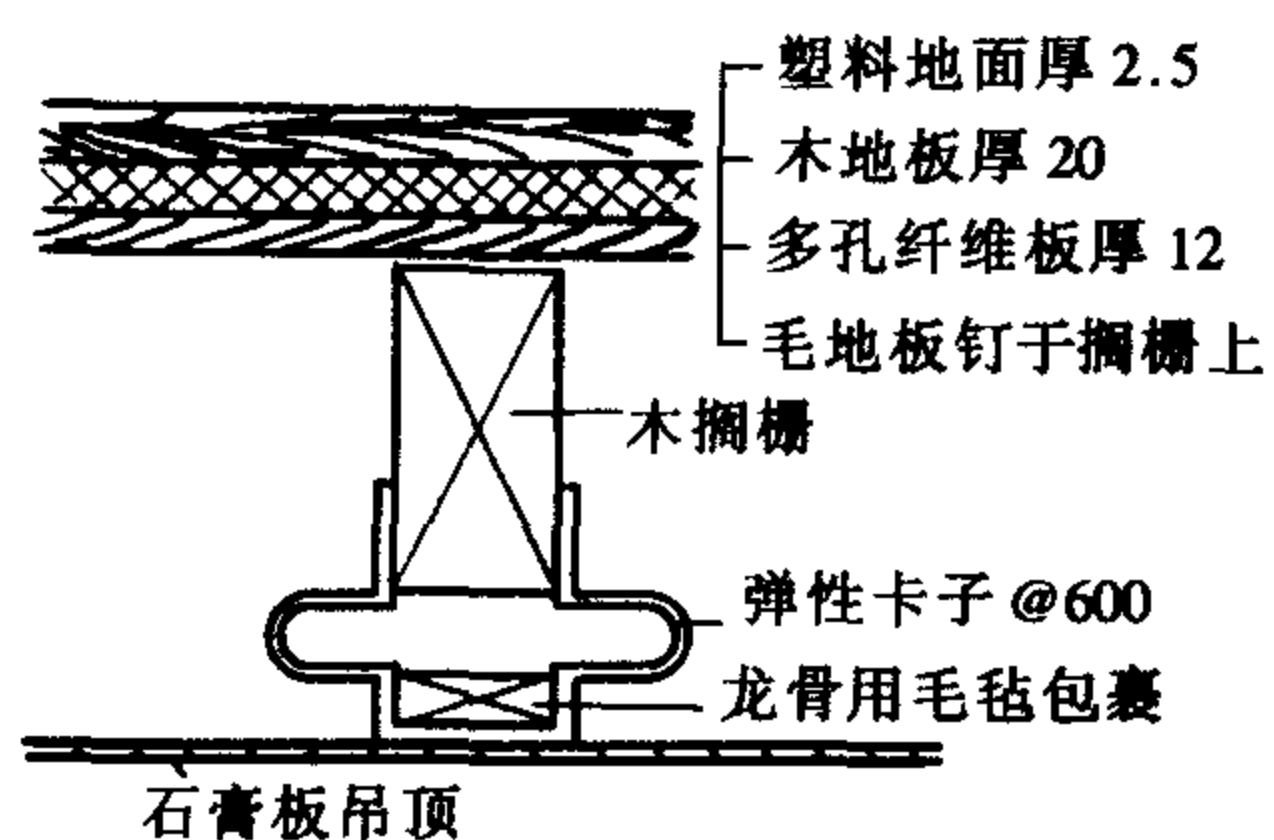


图 11-23 吊顶的弹性连接处理

1. 根据质量定律, 厚重的吊顶比轻薄的吊顶隔声好, 因此宜选用面密度大的板材作为吊顶板。

2. 吊顶板与楼板间的空气层厚度越大越好, 贴顶吊顶的狭窄空气层对隔声量不会有增加。

3. 吊顶的构件与楼板间尽量不要刚性联结, 而要弹性联结, 这样可以减弱噪声的传递, 隔声效果好, 并且吊杆应越少越好, 见图 11-23 ~ 图 11-27 所示。

4. 由于吊顶只能减少楼板直接向下辐射的声能, 而不能阻止通过墙体的侧向传递的声能, 因而在侧向传声严重情况下, 吊顶所产生的隔声作用就很小了。在框架结构建筑中, 如能将墙与楼板脱开, 则隔声效果就会明显地增加, 但这在建筑施工图设计实践中是很难的。

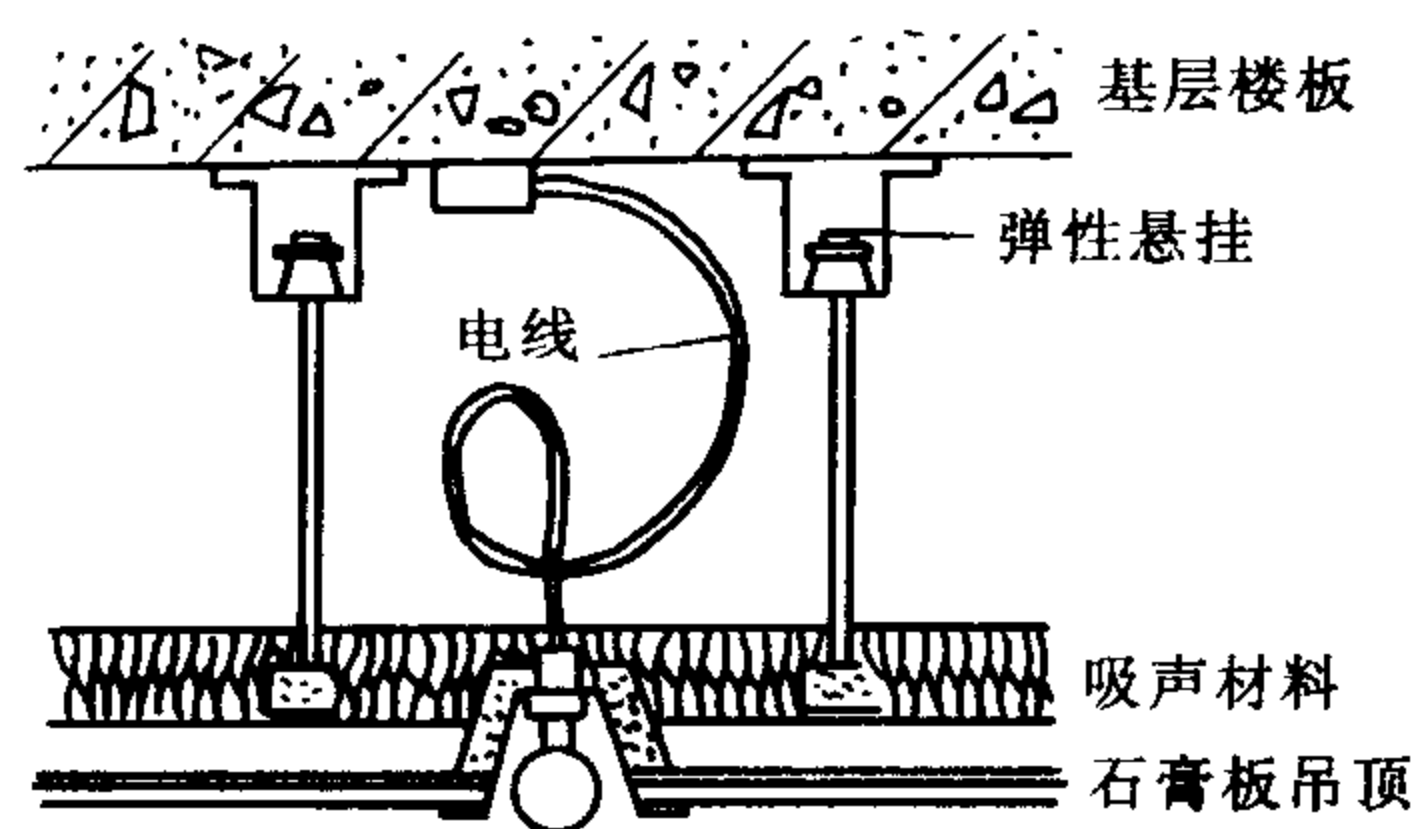


图 11-24 弹性悬挂顶棚

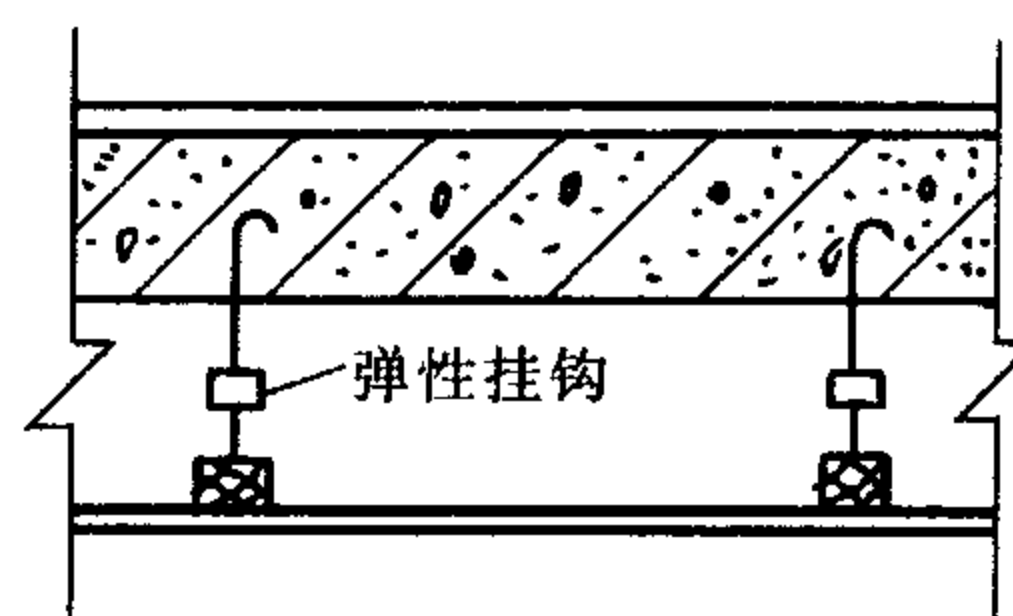


图 11-25 隔声吊顶构造方案

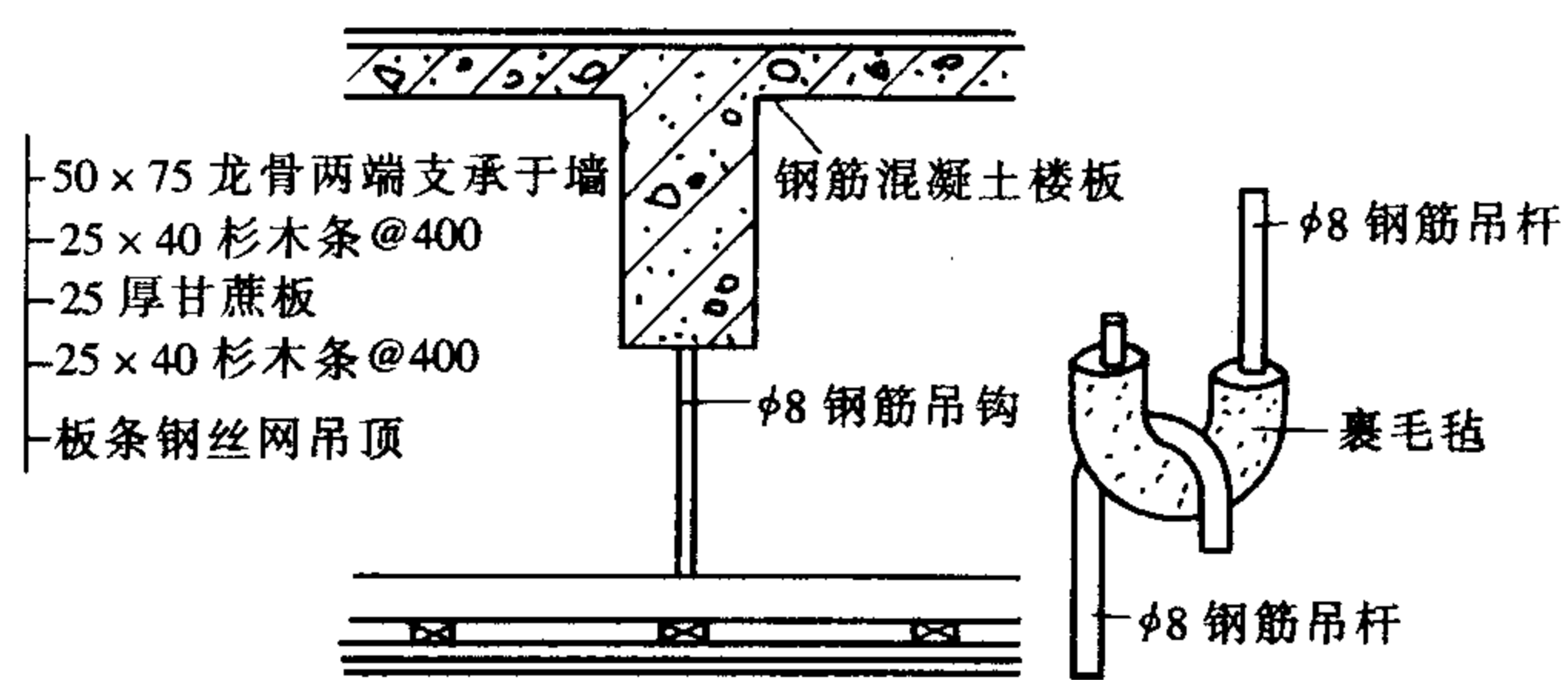


图 11-26 弹性悬挂吊顶

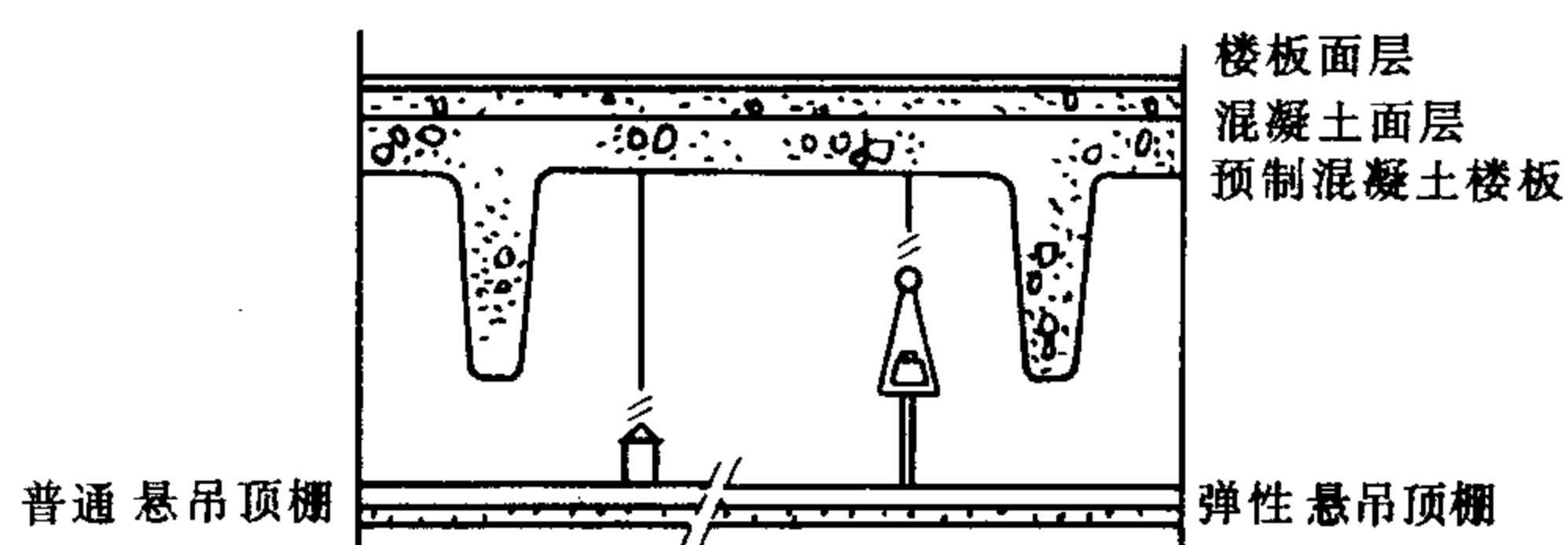


图 11-27 提高楼板隔声量的构造举例

第十二章 多层材料复合构件的隔声

各种不同材质、不同面密度的材料紧密地粘合在一起，组成多层复合构件，其隔声量会比面密度相同的单一材料组成的均质板高，这是因为：

(1) 声波传播的特性是在同一媒质中传播不会有反射，只有当传播中遇到不同密度（阻抗）的新媒质时才会有反射，即减少透射，因而多层复合构件隔声量会比按质量定律算出的高。

(2) 各层板粘合在一起，由于材质不同，相互阻尼振动的传递，也会使声传播中有所衰减。

(3) 有时多层复合构件中某种吸声好的材料也被作为一层板填充其中，声吸收好也是促成声衰减，从而减少声传递的一个原因。

(4) 多层材料复合构件也可以作成两大片，中间夹空气层，从而也有附加隔声量。但各层板不宜太薄，并应软硬相间，这不仅可以减弱板的共振，也可减少吻合频率区的声能透射。

复合多层不同材料作成的构件，其隔声量常可以做得较高。高效隔声门常按此原理设计，并取得很好隔声效能。但对于墙而言，因为构造复杂、施工麻烦，所以设计中少用，而在楼板、顶板的设计中，常被建筑师们设计采用。但建筑师之所以做出多层材料板的设计，往往是由于其他功能的要求，而淡漠这样设计对隔声的好处。例如，如下多层次构造的楼板，是建筑师们常设计的，就是多层材料复合构件的实例，其隔声量可能会近 60dB，比一砖墙的隔声量还要高。

1. 8 厚铺地面砖，稀水泥浆擦缝
2. 撒素水泥面
3. 25 厚 1:2 干硬性水泥砂浆粘结层
4. 素水泥浆一道
5. 60 厚 1:1:6 水泥粗砂焦渣垫层
6. 100 厚钢筋混凝土楼板
7. 素水泥浆一道
8. 15 厚水泥砂浆抹面
9. 涂料饰面

多年来建筑师们在楼板设计中，常在承重的钢筋混凝土板上加比较轻质的如炉渣混凝土、陶粒混凝土等作为垫层，并常常把这个垫层称之为隔音层，似乎楼板是依靠这层隔音层来隔声的。这里“隔音层”的称谓并不准确。例如：上述例子这样一种九层不同材质复合成的楼板，其隔绝空气声是很好的，估计隔声量会近 60dB，其中常被建筑师称为“隔音层”的 60 厚的垫层，对隔声是有作用，但从质量定律的角度看，却起不了有了这种垫层隔音层，隔声问题就解决了的作用。因为把 10cm 厚的钢筋混凝土楼板，即便加厚一倍

为 20cm 厚，其隔声值的增加按质量定律，也就是 6dB 左右，而轻集料混凝土垫层因为面密度低，在质量上无优势，其所增加的隔声量，并不是建筑师们想象的那么高，所以多年来建筑设计中这个“隔音层”的称谓不是名副其实的。

多层复合隔声构件，常用在隔声要求高的构件设计中，但隔声量的计算，却是一个十分复杂的理论问题，而只能靠对设计样品的试制，测试，靠设计经验，而声学知识的积累，对复合构件隔声量的定量判断也起着重要的作用。

第十三章 轻型墙体的隔声

第一节 概 述

多年来,各设计院、所、公司在多层、高层民用建筑以及多层、高层工业建筑设计中,普遍采用钢筋混凝土框架结构,也有少量的钢结构;在单层工业建筑设计中常采用排架结构;这些建筑的内外围护构件,近年来常设计为非承重的轻型墙体,以减轻结构荷载,加快施工进度等。但是,轻型墙体的面密度低、隔声差;对轻质材料的使用若在隔声上不重视、不采取设计措施,势必给隔声带来问题。例如,建筑施工图设计中时而能见到的10~15cm厚的加气混凝土内隔墙,75系列轻钢龙骨两面单板石膏板内隔墙,一般说都达不到规范要求的隔声量指标。所以围护结构设计采用轻型墙体时,建筑师要特别关注隔声问题。

所谓轻型墙体,是相对于容重大,设计厚度大,因而面密度也大的重墙而言。例如用容重 2500kg/m^3 的钢筋混凝土、容重 1900kg/m^3 的普通黏土实心砖、容重 1700kg/m^3 的kp1_{1.2}型 $240\times 115\times 90$ 每块20孔,孔径20的黏土烧结多孔砖、容重 1700kg/m^3 的DM1.2.3.4型模数多孔砖 $190\times 190\times 90$,此种烧结砖190厚时 $\bar{R}=48\text{dB}$ 、容重 2000kg/m^3 的非黏土实心页岩煤矸石砖、页岩砖、灰砂砖,以及容重 1700kg/m^3 的kp1_{1.2}型非黏土页岩煤矸石多孔砖、页岩多孔砖、以及容重 1200kg/m^3 的承重混凝土空心砌块等砌筑的砌体,其面密度一般都在 250kg/m^2 以上,都属于重墙之类。而轻型墙体是指构件轻薄,设计面密度低,一般都在 250kg/m^2 以下,有的只有 $5\sim 30\text{kg/m}^2$ 。

轻型墙体按材料大致可分为四类:即微孔块状材料轻墙、大孔块状材料轻墙、薄板板状材料轻墙、轻薄帘幕材料轻墙。

第二节 微孔块状材料轻墙的隔声

1. 微孔块状材料:

微孔块状材料质轻、保温隔热好、易施工、常用作框架结构的非承重填充墙,内外墙均可用。微孔块状材料这里主要指加气混凝土(泡沫混凝土),陶粒混凝土等,其容重约 $600\sim 800\text{kg/m}^3$,用它们砌筑的墙体,外围护墙常设计为20~25cm厚的单墙,内围护墙常设计为10cm、15cm、20cm厚的单墙。这类材料尽管都有微孔,但它们是不连贯的,即闭孔,因而不存在缝隙透声问题,其隔声基本原理还是遵从质量定律,以面密度大小决定隔声量的高低,其隔声量可按前面所述计算公式确定,实测值与经验公式计算值是基本相符的。这类材料尽管比较均质但并不密实,面密度小,所以与同样厚度的重墙相比,其隔声量要小很多。

2. 隔声性能:

此类轻墙设计时建筑师有时常把注意力放在保温、防火上，而忽略隔声设计问题。例如，容重 600kg/m^3 的加气混凝土，按接近实测的经验公式计算，10cm 厚双面抹灰时，其平均隔声量只有约 37dB；15cm 厚双面抹灰时，其平均隔声量约 39dB；20cm 厚双面抹灰时，其平均隔声量约 40dB。对于一般的工业及民用建筑，就隔声而言此类轻墙作为内墙其厚度设计为 10cm 者不可取，15cm 者尚可，但最好大于等于 20cm 厚。声学界有个不成文的说法，即对于一般的民用建筑，内墙只要能达到 24cm 厚的实心黏土砖墙的隔声量，就可基本满足隔声要求。但是 24cm 厚砖墙的面密度为 530kg/m^2 ，现场实测隔声量平均值约为 51dB，而双面抹灰的加气混凝土类轻墙的容重才只有 $600 \sim 800\text{kg/m}^3$ ，要达到 530kg/m^2 的面密度，厚度就要用到 80cm 以上，这显然是不可取的。所以用加气混凝土类微孔轻型材料作围护墙，当考虑到隔声时，其厚度最好设计为 20cm 以上。作为一般标准，在住宅和学校设计中采用厚度宜为 25cm，在医疗和旅馆建筑中，由于入住者比较文明，室内噪声一般不大，病房与病房、客房与客房间的隔墙，可以采用 20 ~ 25cm 厚，而在工业建筑中，由于噪声标准中受声室的噪声限值比民用高，各类房间如作业场所为 55 ~ 90dB (A)，用此类轻墙作围护墙，厚度合适，一般可以满足隔声要求，但是对高噪声的车间，用此类轻墙单墙作隔声墙是不恰当的。

3. 空气层的设置：

要提高这类轻墙的隔声量，最有效的办法是采用双层墙，中间带空气层，但空气层厚度要大于 7cm，这样可以尽力发挥作为两侧单独墙本身所具有的隔声能力，提高隔声量，但是施工较麻烦，造价又高，所以少用。早些年，北京外交公寓曾用过两道 7.5cm 厚，中间 7.5cm 厚空气层的加气混凝土墙，总厚度相近于 24cm 厚砖墙，两片墙间在无钢筋拉结的情况下，平均隔声量可达到 54dB，当空气层厚度增大到 20cm 时，总厚度相近于 37cm 厚砖墙，平均隔声量可达到 58dB，都是很可观的。7.5cm 厚加气混凝土墙太薄，考虑到稳定性，两片薄墙间需用 $\phi 4$ 或 $\phi 6$ 钢筋拉结，但钢筋拉结，即形成声桥，对隔声有影响，这时 7.5cm 厚加气混凝土加 7.5cm 厚空气层加 7.5cm 厚加气混凝土墙的隔声量降到 49dB。一般地说，由于钢筋拉结形成声桥所降低的隔声量约 5dB 或稍大一点，但由于有空气层，上述两墙仍然都相应地优于相同厚度的单层墙的隔声量。7.5cm 厚加气混凝土砌块，加气厂已很少生产，当这类双层轻型墙每片厚度大于等于 10cm 时，在满足该材料限定的砌筑高度时，两片墙间可不设拉结筋，从而避免了声桥，有利隔声。还有，这类双层轻墙也可将其中一片墙，用一层薄板代替，过去是用草纸板、硬质纤维板、木胶合板，现在也可用纸面石膏板、水泥纤维薄板、镀锌薄钢板、花岗石及大理石饰面板、复合装饰板等薄板，但是这类轻墙由于两片墙板间必须有龙骨连接，从而形成声桥，对隔声有影响，但由于有空气层，尽管附加的只是一层薄板，比单墙的隔声量还是有显著的增加。例如：10cm 厚加气混凝土与 5 mm 厚的胶合板组合墙，空气层厚度 8cm，其隔声量将由加气混凝土单墙的 37dB 增加到 44dB，若饰面板改成 12mm 厚纸面石膏板，则隔声量约可达 47dB，但需要注意的是饰面板的板缝必需封堵严密，以避免透声。

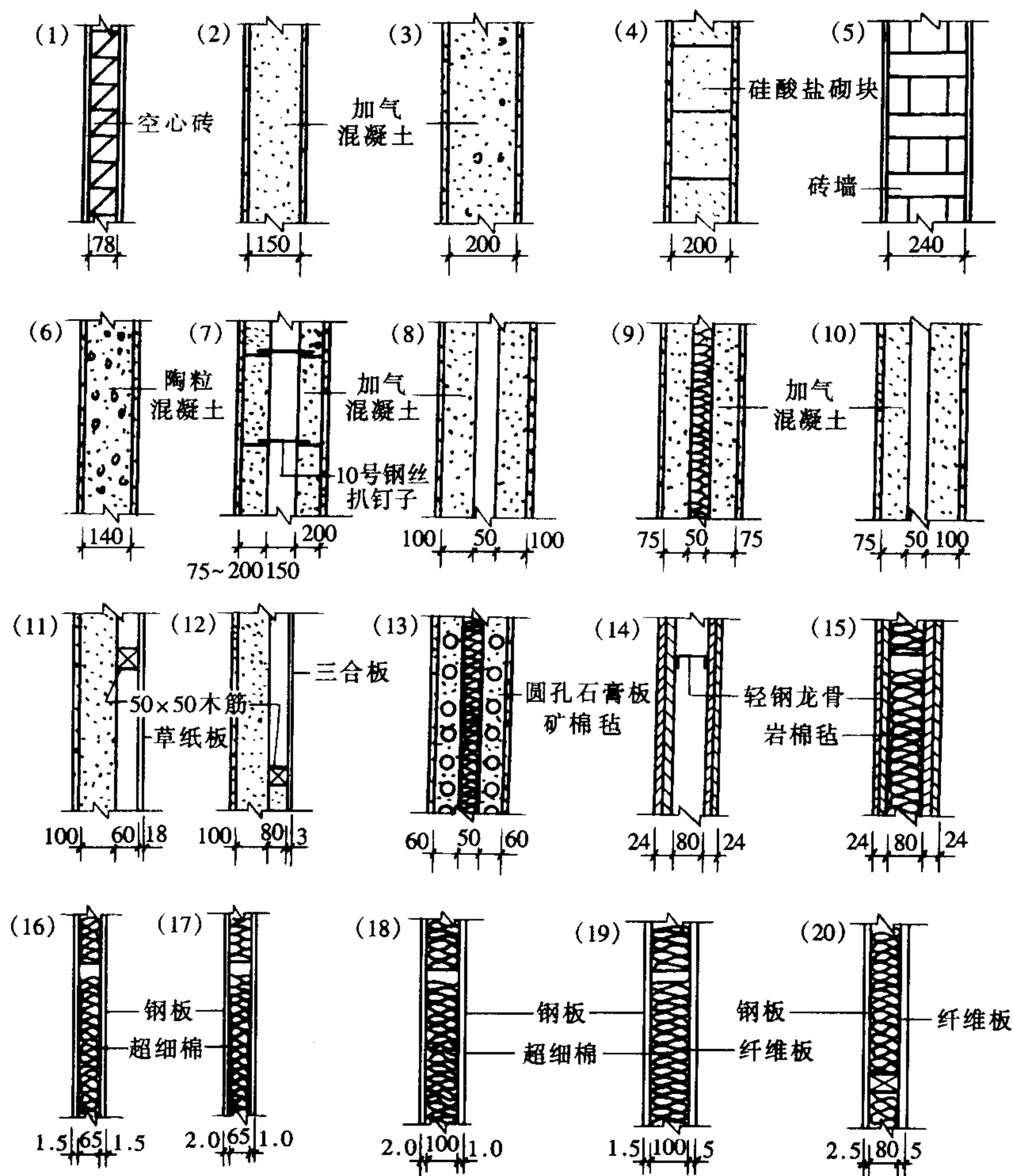
4. 隔声量实测举例：

这类轻型墙体的隔声频率特性，也和其他围护结构构件一样，即隔低频声差隔高频声好。关于这类轻型墙体的隔声量实测情况见表 13-1 及表 7-1 等。

20 种常用轻质隔墙的隔声性能

表 13-1

编号	构造简述 (厚度单位: mm)	面密度 (kg/m ²)	下述频率 (Hz) 的隔声量 (dB)						计权隔声量 R_w (dB)	构造图号
			125	250	500	1000	2000	4000		
①	78 厚空心砖墙, 双面抹灰	120	30	35	36	43	53	51	42.5	(1)
②	150 厚加气混凝土墙, 双面抹灰	140	29	36	39	46	54	55	44.0	(2)
③	200 厚加气混凝土墙, 双面抹灰	160	31	37	41	47	55	55	44.5	(3)
④	200 厚硅酸盐砌块墙, 双面抹灰	450	35	41	49	51	58	60	51.0	(4)
⑤	空斗砖墙 240 厚, 双面抹灰	300	21	22	31	33	42	46	32.0	(5)
⑥	140 厚陶粒混凝土墙	240	32	31	40	43	49	56	42.5	(6)
⑦	双层 75 厚加气混凝土中空: $d = 75$	140	39	49	50	56	66	69	55.0	(7)
	100	140	40	50	50	57	65	70	55.5	(7)
	150	140	42	50	51	58	67	73	56.0	(7)
	200	140	40	52	51	59	71	76	58.0	(7)
⑧	双层 100 厚加气混凝土中空 50, 双面抹灰	180	36	46	50	57	73	72	56.5	(8)
⑨	双层 75 厚加气混凝土中空 50, 内填 50 厚矿棉毡	180	41	48	52	58	63	73	57.5	(9)
⑩	75 厚与 100 厚加气混凝土复合, 中空 50 抹灰	153	35	44	48	56	89	67	55.0	(10)
⑪	100 厚加气混凝土与纤维板复合, 中空 60	84	26	34	42	56	63	65	54.5	(11)
⑫	100 厚加气混凝土与三合板复合, 中空 80	83	31	27	31	59	57	61	46.0	(12)
⑬	双层 60 厚圆孔石膏板中空 50, 内填矿棉毡		37	41	38	41	47	52	42.5	(13)
⑭	双层石膏板 (每层 2 块) 中空 80	45	35	35	43	51	56	51	43.5	(14)
⑮	双层 12 厚石膏板, 中空 80, 内填矿棉矿	29	34	40	48	51	57	49	45.0	(15)
⑯	双层 1.5 厚钢板, 中空 65, 内填超细棉毡	27	32	41	49	56	62	66	51.5	(16)
⑰	双层钢板, 分别为 1.0 和 2.0 厚, 中空 65, 内填超细棉	26	31	40	48	55	62	66	50.5	(17)
⑱	同上, 中空 100, 内填超细棉	27	39	48	51	58	66	70	54.5	(18)
⑲	1.5 厚钢板和 5 厚纤维板复合, 中空 100, 内填超细棉	21	37	40	51	58	64	69	52.5	(19)
⑳	2.5 厚钢板与 5 厚纤维板复合, 中空 80, 内填超细棉	20	31	43	51	57	62	63	52.0	(20)



第三节 大孔块状材料轻墙的隔声

1. 大孔块状材料:

大孔块状材料是指多年来框架结构中填充的大孔黏土空心砖砌块, 大孔炉渣空心砖砌块, 大孔陶粒空心砖砌块等轻集料混凝土空心砌块等。这类空心砌块轻型墙体一般不能承重, 而只是作为围护填充用。这类材料的孔不是多孔也不是微孔而是大孔, 其空隙率 > 40% 或以上, 例如 $24\text{cm} \times 18\text{cm} \times 11.5\text{cm}$ (高) 两孔黏土空心砖, 其空隙率即 > 50%, 这类大孔空心砌块的容重一般为约 $800 \sim 900\text{kg/m}^3$, 砌块厚度 (常是墙厚) 各地生产规格不一, 据查有 9cm、11.5cm、18cm、19cm、24cm、29cm、39cm 等, 常用厚度是 19cm、24cm, 严寒地区可达 39cm。用这样厚度的砌块砌筑的轻墙, 其面密度一般不大于 250kg/m^2 , 或 250kg/m^2 左右, 而孔所形成的空腔即空气层厚度一般大于 10cm。对这类材料的隔声我们在隔声理论的指导下作出如下分析。

2. 隔声性能及隔声量计算:

此类大孔轻型砌块基本可以分为单孔、二孔、三孔三类。见图 13-1。

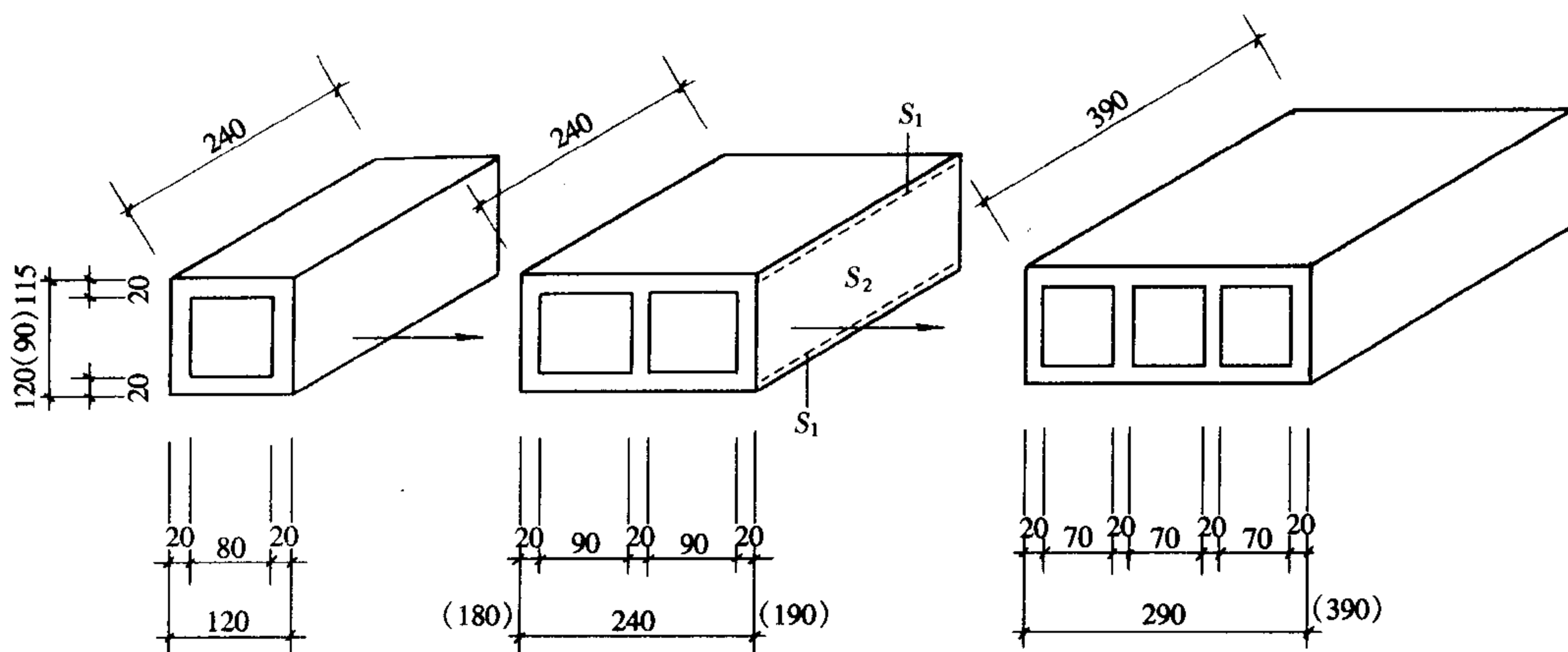


图 13-1 单孔、双孔、三孔空心砖示意图

设声的传播方向如图中箭头→所示，现在我们来分析这类砌块的隔声机理：如图所示，这类砌块砌筑的轻墙的传声，是通过两种构造不同的媒质渠道而传播的，一是与传声方向平行的空腔上下薄壁（肋），这相当于单层均质密实的实心墙；二是空腔部分，这类似于有前后薄壁及空气层组成的双层（薄壁）墙。上下薄壁的实心墙部分的传声，可用质量定律下的计算公式（以单值计算为例）来计算隔声量，即：

$$(1) R = 23 \lg m - 9 \quad (m \geq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (5-13)$$

$$R = 13.5 \lg m + 13 \quad (m \leq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (5-16)$$

$$(2) R = 23 \lg m - 11.5 \quad (m \geq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (5-30)$$

$$R = 13 \lg m + 11.5 \quad (m \leq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (5-31)$$

在有空气层的空心墙部分，是由前壁加空气层加后壁组成，这类似于有空气夹层的双层墙的隔声，因此理论上可按带空气夹层的双层墙的隔声计算公式来计算隔声量，即增加附加隔声量 ΔR 。但是，由于这类大孔空心砖砌筑的墙体，在不大的空腔之间还有过多的平行于传声方向的壁（肋），因而形成声桥，就破坏了空气夹层本应附加的隔声量 ΔR ，使空气夹层附加的隔声量基本丧失，即 $\Delta R \rightarrow 0$ ，因此，计算公式为：

$$(1) R = 23 \lg (m_1 + m_2) - 9 \quad (m \geq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (5-13b)$$

$$R = 13.5 \lg (m_1 + m_2) + 13 \quad (m \leq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (5-16b)$$

$$(2) R = 23 \lg (m_1 + m_2) - 11.5 \quad (m \geq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (5-30b)$$

$$R = 13 \lg (m_1 + m_2) + 11.5 \quad (m \leq 200 \text{ kg/m}^2) \quad (5-31b)$$

用上述公式分别计算出上下壁的隔声量 R_1 和双层壁空腔两部分的隔声量 R_2 ，同时也知道了两部分传声媒质相应的传声系数 τ_1 、 τ_2 ，然后我们可按本书第十五章述及的组合墙隔声量计算方法，计算空心砌块组合墙的隔声量。

隔声量 R 与传声系数 τ 有如下的关系：

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} \quad (2-8)$$

假如 $R = 30 \text{ dB}$ 则 $\tau = 10^{-3}$ ， $R = 53 \text{ dB}$ 则 $\tau = 10^{-5.3}$ 。以下以两孔黏土空心砖 $24 \text{ cm} \times 18 \text{ cm} \times 11.5 \text{ cm}$ （高）为例，墙厚 18 cm ，（不考虑抹灰）求空心砌块组合墙的隔声量，计算

方法为:

先求组合墙平均传声系数 τ : 设上下薄壁 (肋) 的传声系数为 τ_1 、面积为 s_1 , 空腔部分的传声系数为 τ_2 、面积为 s_2 , 则以一块空心砌块为例的平均传声系数 τ 为:

$$\tau = \frac{s_1 \tau_1 + s_2 \tau_2 + s_1 \tau_1}{s_1 + s_2 + s_1}$$

此空心砌块的容重为 900kg/m^3 , 经计算每块空心砌块的重量为 4.476kg , 壁厚均为 2cm , 经计算砖的上下壁面密度为 $m = 287\text{kg/m}^2$, 则上下壁的隔声量为:

$$R = 23\lg m - 9 = 23\lg 287 - 9 = 47.5\text{dB}, \text{ 则上下壁的传声系数 } \tau_1 = 10^{-4.75}.$$

经计算空腔部分的面密度为 m_1 (前壁) + m_2 (中壁) + m_3 (后壁) = $3 \times 32\text{kg/m}^2 = 96\text{kg/m}^2$ 。空腔的构造相似于带空气层的夹心墙, 但是如上所述, 声桥使空气层基本失去了附加隔声量的作用, 因此计算空腔部分的隔声量公式, 不再有附加隔声量 ΔR 。为:

$$R = 13.5\lg(m_1 + m_2 + m_3) + 13 = 13.5\lg 96 + 13 = 40\text{dB} \quad \text{则空腔部分的传声系数 } \tau_2 = 10^{-4}.$$

$$\text{平均传声系数 } \tau = \frac{2 \times (0.24 \times 0.02 \times 10^{-4.75}) + 0.24 \times 0.075 \times 10^{-4}}{0.240 \times 0.115} = 0.0000714027$$

此空心砌块墙的平均隔声量为:

$$R = 10\lg \frac{1}{\tau} = 10\lg \frac{1}{0.0000714027} = 41.5\text{dB}$$

3. 隔声量简易算法:

上述计算方法比较复杂, 在实际隔声设计中可采用简易的计算办法, 即用整块空心砌块墙的面密度来计算平均隔声量, 是基本能反映空心砌块墙的隔声量值的。这里我们仍以上述两孔黏土空心砌块 $24\text{cm} \times 18\text{cm} \times 11.5\text{cm}$ (高) 为例, 采用面密度的简易办法计算平均隔声量: 已知上述两孔黏土空心砌块的容重为 900kg/m^3 , 则 18cm 厚空心砌块的面密度经计算为 $m = 162\text{kg/m}^2$, 公式 $R = 13.5\lg m + 13 = 13.5\lg 162 + 13 = 42.8\text{dB}$ 与 41.5dB 相差仅 1.3dB , 比实测高约 4dB , 即 $R = 38\text{dB}$ 。

4. 以下是四种空心砌块的隔声实例:

(1) 24cm 厚的双面勾缝三孔空心红砖, 面密度 300kg/m^2 。实测平均隔声量 $R = 47\text{dB}$, 计算平均隔声量: $R = 23\lg m - 9 = 23\lg 300 - 9 = 48\text{dB}$ 。 $R = 23\lg m - 11.5 = 23\lg 300 - 11.5 = 45.5\text{dB}$ 。

(2) 20cm 厚双面抹灰 1cm 的两孔焦渣空心砖墙, 面密度 270kg/m^2 。实测平均隔声量 $R = 44\text{dB}$, 计算平均隔声量: $R = 23\lg m - 9 = 23\lg 270 - 9 = 47\text{dB}$ 。 $R = 23\lg m - 11.5 = 23\lg 270 - 11.5 = 44.5\text{dB}$ 。

(3) 21cm 厚双面抹灰 1cm 的三孔焦渣空心砖墙, 面密度 210kg/m^2 。实测平均隔声量 $R = 43\text{dB}$, 计算平均隔声量 $R = 23\lg m - 9 = 23\lg 210 - 9 = 44\text{dB}$ 。 $R = 23\lg m - 11.5 = 23\lg 210 - 11.5 = 41.5\text{dB}$ 。

(4) 10cm 厚双面抹灰 2cm 的三孔焦渣空心砖墙, 面密度 120kg/m^2 。实测平均隔声量 $R = 40\text{dB}$, 计算平均隔声量 $R = 13.5\lg m + 13 = 13.5\lg 120 + 13 = 41\text{dB}$ 。 $R = 13\lg m + 11.5 = 38.5\text{dB}$ 。

5. 我们从以上的阐述可以对大孔块状材料轻墙得出以下基本认识, 即这类砌体的隔声量的设计、计算, 可按砌体面密度用上述公式计算。

上例四种空心砖墙前三种的面密度都大于 $200\text{kg}/\text{m}^2$, 比起上述“微孔块体轻墙”以及以下将要述及的“薄板板状轻墙”来, 面密度要大得多, 但是比起黏土实心砖墙来, 面密度还是小得多, 所以还是属于轻墙。前两种空心砌块的容重都大于 $1200\text{kg}/\text{m}^3$, 甚至可以作承重墙用。所以比起黏土实心砖墙来, 面密度小的一些承重空心砌块墙, 也仍可称之为轻墙。如两孔的承重混凝土空心砌块, $19\text{cm} \times 19\text{cm} \times 39\text{cm}$ 竖向肋厚 2.5cm , 水平肋厚 3.0cm , 空腔 $15.35\text{cm} \times 16\text{cm}$, 容重 $1200\text{kg}/\text{m}^3$, 19cm 墙厚时面密度只有 $228\text{kg}/\text{m}^2$, 按面密度计算和实测隔声量都是 45dB , 而同样厚度的实心黏土砖墙面密度为 $360\text{kg}/\text{m}^2$, 隔声量为 48dB , 但承重混凝土空心砌块体轻, 且保温性能优于黏土实心砖墙。

这类墙体材料大致可以以 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 为分界线, 区分承重与非承重墙, 但隔声性能相同。

第四节 薄板板状材料轻墙的隔声

1. 薄板板状材料:

薄板板状材料构筑的轻墙, 指的是用轻薄的板构成的建筑围护结构, 实际上轻薄板本身的容重并不一定很低, 只不过它们在使用中都是以很薄的薄板出现在围护结构中, 故其面密度比上述微孔、大孔砌块轻墙要轻得多, 一般只有几公斤或几十公斤, 所以称为轻型墙体, 更加名副其实。

轻墙板因为都很薄, 所以常不用单板, 而是作成中间龙骨空气层两面覆板的复合墙体。

当前建材市场提供的薄板板材种类很多, 据查有薄钢板、彩色钢板、压形钢板、镀锌薄钢板、不锈钢板、铝板、塑钢板、塑料板、塑料贴面板、钙塑板、密度板、木胶合板、草纸板、硬质纤维板、刨花板、水泥刨花板、玻璃板、硅酸钙板、碳化板、钢丝网抹灰、大理石板、花岗岩板、各种人造石板、纤维水泥板、TK板、苍松板、矿棉吸音板、无纸石膏板、纸面石膏板等等。它们的厚度一般为零点几毫米到一二厘米, 其连接龙骨有轻钢龙骨、薄壁型钢龙骨、型钢龙骨、木龙骨、石膏龙骨、钢弦点式石膏龙骨等。板材种类虽多, 但当前作为墙体使用最为广泛的是纸面石膏板、铝合金幕墙单板和复合板、轻钢结构的压型钢板等, 本文着重阐述纸面石膏板墙的隔声性能。

2. 轻钢龙骨石膏板轻墙的隔声:

纸面石膏板轻型隔墙多用于室内, 在隔声理论上与上述微孔、大孔块体材料轻型隔墙的不同是空气夹层对隔声起很大的附加作用, 同时夹层的龙骨所形成的声桥, 比微孔、大孔块体材料的声桥弱得多, 所以, 尽管薄板单板因面密度很小隔声差, 但作成附加空气层的两面板组合墙后, 隔声量值便大大增高。例如 $1.2\text{cm} + 1.2\text{cm}$ 厚双层石膏板单墙的平均隔声量仅约为 29dB , 而分成 1.2cm 两面单板中空用 75cm 系列轻钢龙骨连接, 隔声量可增高到 35dB , 因为空气层附加了隔声量。

多年来建筑师对轻钢龙骨石膏板墙的设计, 常为两面单板中空用 7.5cm 系列轻钢龙骨连接, 这种轻型墙体的平均隔声量只有 35dB , 隔声量太低。要想满足一般工业民用建筑的隔声要求, 两侧应用双层板, 即使是 75 系列轻钢龙骨, 隔声量也能达到 45dB 以上。

此类轻型墙体的隔声量可用带附加隔声量 ΔR 的计算公式计算, 但要对龙骨声桥的不

利因素所减低的隔声量加以判断，一般计算值要降低 3 ~ 5dB。

3. 隔声量计算公式：

《围护结构隔声理论》一书提出了如下的计算公式（放吸声材料、轻重墙均适用）供参考：

(1) 当只有一个方向的龙骨连结时，比如只有竖向龙骨且间距为 b (m)，则公式为：

$$R = 20\lg Wf + 20\lg bf_c - 90 \quad (13-1)$$

(2) 当纵横均有龙骨连结且龙骨间距基本为方格，方格纵横间距为 e (m)，则公式为：

$$R = 20\lg Wf + 20\lg ef_c - 98 \quad (13-2)$$

当 f 小于 f_1 时，连结对隔声无影响。式 (13-1)、(13-2) 仅适用于当 f 大于 f_1 时。极限频率 $f_1 = c/2\pi d$ 第十一章已述。式中 W 为双层墙的面密度， f_c 为临界频率见第四章。我们以石膏板墙 2.4cm + 空气层 7cm + 2.4cm、($f_1 = 780\text{Hz}$) 设频率为 1000Hz、($f = 1000 > f_1 = 780$) $e = b = 1\text{m}$ ，经按第四章所述计算墙的 $f_c = 1760\text{Hz}$ 为例，用式 (13-1)、(13-2) 计算隔声量分别为 66dB、58dB。用前述公式计算值约为 48dB。(空气层与填放 50 厚吸声材料共同的附加隔声值按 13dB 计)。

4. 如何提高板状轻墙的隔声量：

薄板单板很薄，面密度小，隔声差，所以应尽量选用面密度大的板材作复面板，以提高隔声量。

轻型薄板板状材料，尽管因面密度小隔声差，但处理得好也能获得满意的隔声量。如 3mm 厚钢板的隔声量只有 33dB，但若将其分成 1.5mm + 1.5mm 两片，中空 8cm，用 [8 连结，隔声量则可达 46dB，若空气层再填充超细玻璃棉，则隔声量可高达 51dB。就是说轻钢龙骨石膏板墙也可达到 24cm 厚黏土砖墙的隔声量。一般地说，空气层内填吸声材料，隔声量可提高 5 ~ 8dB，此时再增加面板的层数隔声量提高很少。但是，以上措施所增加的隔声量，并不是简单地线性增加。

用各类龙骨与各类薄板组合成的双层空心墙，其隔声原理以及隔声量计算方法是一样的，都可以运用质量定律下的双层空心墙的隔声计算方法。同样的复面板、同厚的空气层，而用不同龙骨连结，对隔声量值有一些影响，钢龙骨比木龙骨的声桥作用小，因而可提高层隔声量 3 ~ 4dB。同时根据实验得知，龙骨的厚度即空气层厚度，不宜小于 7cm，间距不宜小于 60cm。钢弦点式石膏龙骨声桥作用小，隔声性能优于各种龙骨，但施工较麻烦。对双层空心轻墙两侧各再加一层板，可提高隔声量 5 ~ 6dB，但若继续再加一层板则仅可提高隔声量 2 ~ 4dB，见表 13-3。

墙筋与墙板之间作减振处理的隔声效果 (dB) 表 13-2

名 称	木龙骨水泥刨花板中空墙	钢龙骨水泥刨花板中空墙	石膏板中空式墙
	软质纤维板条	软质纤维板条	钢减振条
处理情况	减 振 材 料		
无减振处理 ($\bar{R}/I_a$)	37/39	41.6/43	35/37
单侧减振处理 ($\bar{R}/I_a$)	43/45	45/47	
双侧减振处理 ($\bar{R}/I_a$)	46/47	48/50	38/40

图 13-2 双套分离龙骨的石膏板分户墙节点构造图

5. 龙骨对隔声的影响：

无论用何种龙骨，若在龙骨与薄板间垫以柔性材料，且厚度最好在 5mm 以上，可减弱声桥的影响，则隔声量有所提高。这些柔性材料如硬质纤维板、软质纤维板、泡沫塑料、防水卷材、橡胶板、毛毡、软质塑料板等。钢龙骨时可提高 3~6dB，木龙骨时可提高 6~9dB，见表 13-2。若采用图 13-2 的构造处理，即采用双套分离龙骨隔声会更好。

双层轻墙不同墙板层数的隔声效果 (dB) 表 13-3

墙板层数	名 称	12 厚石膏板 75 钢龙	10 厚水泥刨花板 70	同左，腔内填 50 厚	12 厚石膏板 80 木
	隔 声 量	骨中空式轻墙	钢龙骨中空或轻墙	沥青玻璃棉	龙骨中空式轻墙
1-1 ($\bar{R}/I_a$)		35/37	42/43	47/50	35/38
1-2 ($\bar{R}/I_a$)		41/43	47/51	49/52	41/41
2-2 ($\bar{R}/I_a$)		45/49	50/53	51/55	44/46

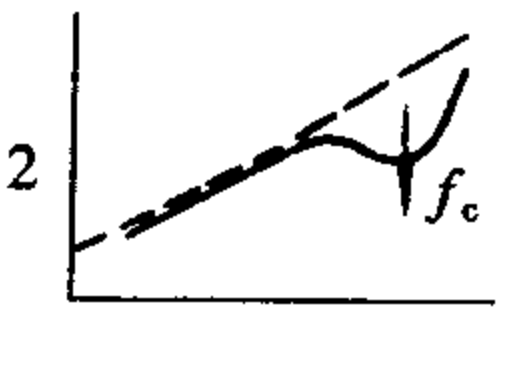
薄板组合成的双层空心墙，也有自振频率和吻合效应，设计中要注意，其论述见第十章。

6. 关于高密度板隔声量的思考：

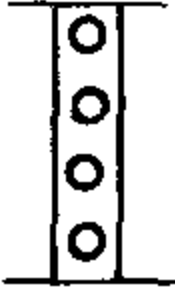
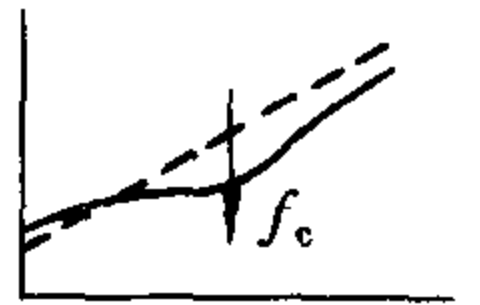
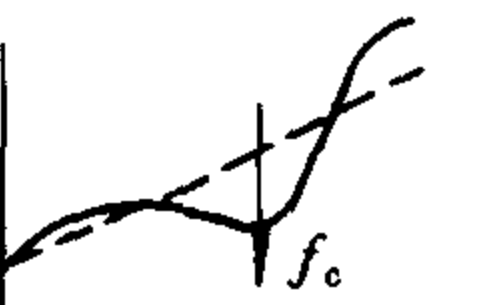
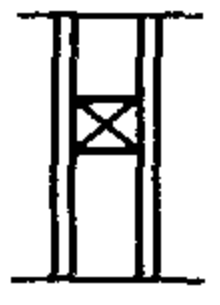
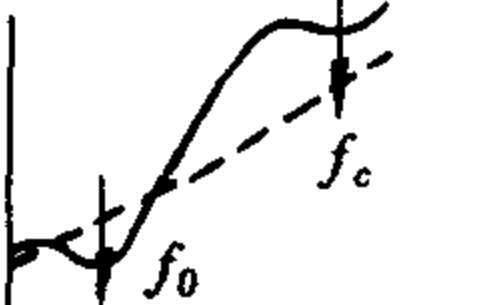
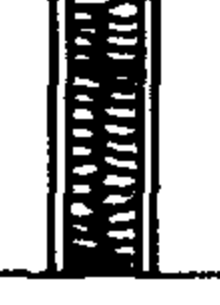
质量定律及其理论指导下的隔声计算方法，是假定构件为均质密实，但是什么叫密实或密实、均质到什么程度，尚无定义或解释。我们分析表 7-1 的 384 种围护构件的实测隔声量，可以看出：构件的隔声除了与频率有关外，似与构件材料的密实度（即容重）大小有关，密实度越大隔声值越高，即同样面密度的不同材料越密实（容重越大），隔声值越高一些。例如，密实度大，即容重大的钢板、镀锌薄钢板（ $\gamma = 7900\text{kg/m}^3$ ），与密实度小，即容重小的纸面石膏板（ $\gamma = 800\text{kg/m}^3$ ），在面密度相同的条件下，钢铁构件的隔声量要高出石膏板 3~5dB。如表 7-1 中面密度为 15.6kg/m^2 的 2mm 厚钢板与面密度为 15.4kg/m^2 的 9mm+12mm 的纸面石膏板，面密度极为相近，但隔声量分别为 34dB 和 29dB，相差 5dB。所以在设计计算构件隔声量时要注意这个问题。经研究可知，隔声量计算公式更适用于一般面密度的石膏板、加气混凝土、砖砌体、混凝土之类的材料，对高密度的如钢铁、铅板之类材料的隔声量，用公式计算后似应再附加 3~5dB。这个论述仅是笔者的学习、研究心得，是否确切，尚待实践检验。至于高密度高到多少才是重与轻的分界线，也尚待研究。

各类轻墙不同构造的隔声特性见表 13-4。

各类轻墙不同构造的隔声特性 表 13-4

序号	名称和构造	隔声特性曲线	说 明
1	 单层板		轻单层板墙，隔声性能差， $\bar{R} \approx 25 \sim 35\text{dB}$ 。 f_c 一般在高频。若板拼缝未处理，则 $\bar{R} < 20\text{dB}$ （图中虚线为按面密度的计算值）
2	 叠合板		隔声性能与单层板相似，增加一叠合层， $\bar{R}$ 约增加 4dB。 f_c 取决于各单层板，若两板胶合成一体，相应于增加板厚， f_c 下移

续表

序号	名称和构造	隔声特性曲线	说 明
3	 阻尼约束板		用高阻尼因数材料层, 墙板将减少所有共振的负作用, 并在所有频率范围提高隔声曲线。一般用于金属板隔声构件
4	 空心板		空心部分减轻了墙板重量, 但对隔声不利, $\bar{R}$ 与同面密度墙板相近。厚度增加, 提高了抗弯劲度, 但 f_c 下移, 出现了宽钝的吻合谷
5	 刚性夹芯板		用轻质刚性材料粘合两面层板以提高抗弯劲度和稳定性, 但由于墙体变厚, f_c 下移并出现宽钝的吻合谷, 隔声性能无优越性
6	 蜂窝夹芯板		用轻质蜂窝芯材粘合两面层板, 以提高结构强度, 隔声性能和第5类相似
7	 弹性夹芯板		用柔性不透气发泡材料, 粘合两面层板, 以提高结构的强度、稳定性和保温性能。共振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right) \frac{E}{b}}$, E 为材料的弹性模量, 因而在中频范围出现较大隔声低谷
8	 中空板		轻质薄板固定在支撑龙骨上, 有较好的结构强度, 隔声性能一般较好。采用不同的龙骨, 不同的按装方法, 有不同的隔声效果。在尽量减少声桥影响后, 可以得到相当高的隔声量
9	 中空填棉板		在中空板中填充一定厚度的吸声材料, 以消除空腔中的驻波共振及降低空腔中的声压。性能比上一种更好, 填充较厚的吸声材料时, 隔声量在全频带范围内有显著提高

第五节 轻薄帘幕材料的隔声

用密实不透气柔软材料与多孔纤维吸声材料缝制的单层或多层帘幕分割建筑空间, 因面密度低也是“轻墙”, 多使用于需隔离噪声又经常通行的出入口, 如影剧院的门帘。帘

幕的隔声性能符合于质量定律, 由于材料柔软, 低频不出现共振, 高频不出现吻合效应, 隔声特性曲线接近于倾斜的直线。表 13-5 为各种帘幕隔声量的实验室测定值, 由于现场与实验室情况的不同, 测定数据仅供参考。序号 1~38 帘幕周边完全封闭。序号 39~43 为自由下垂的帘幕, 因周边漏风, 隔声性能很差。

各种帘幕的隔声性能

表 13-5

序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)							
			125	250	500	1000	2000	3150	$\bar{R}$	I_a
	作围护结构使用 (周边密封)									
1	0.2 塑料布	0.26	7.1	5.2	6	7.8	10.4	13	7.3	8
2	0.3 塑料糊墙纸	0.34	7.3	6.2	6	7.9	10.3	13.6	7.8	9
3	0.5 厚帆布	0.35	7.2	5.4	5.8	7.9	11.3	14	7.6	9
4	1 厚帆布	0.75	8.2	7.0	8.1	10.9	14.8	18	10.2	12
5	0.5 厚人造革	0.54	8.3	5.9	7.7	10.6	14	18	9.9	11
6	1 厚人造革	1.15	10.6	7.3	11.2	14.5	19.1	21.3	12.8	15
7	1 厚胶皮	1.90	11.4	11.3	14.6	19.7	24.2	27.7	17.4	19
8	40 厚泡沫塑料	1.46	8.0	6.4	6.6	6.1	6.2	7	6.2	7
9	20 厚泡沫塑料	0.68	8.4	5.5	5.5	5.3	5.8	5.7	5.5	5
10	丙纶棉套	1.5	6.9	6.4	10.1	11.7	12.9	14.6	10.2	12
11	飞花棉套	1.75	8.3	6.6	9.9	12.8	14.6	17.1	10.8	13
12	麻绒外包玻璃布	2.92	8.9	6.9	7.9	8.7	9.5	10.9	8.4	9
13	棉毯	0.67	7.8	7.1	9.9	11.1	12.2	13.17	9.1	11
14	5 厚毛毡	2	11.6	12	13	12.6	12.8	13.7	12.5	13
15	10 厚毛毡	4.23	17.5	18.4	18.8	20.8	24.1	28.5	20.3	22
16	50 厚岩棉毡外包玻璃布	4	12.7	14.8	13.2	17.3	21.0	24.6	15.9	18
17	100 厚岩棉毡外包玻璃布	7	14.6	14.6	17.7	23.1	28.4	31.1	20.3	22
18	40 厚玻璃棉外包玻璃布	1.7	8.8	6.3	7.4	11.6	15.6	17.5	10	12
19	80 厚玻璃棉外包玻璃布	3.3	8.9	7.5	12.3	19.2	22.3	20.5	14.4	17
20	0.5 厚人造革加棉毯	1.21	10.3	9.5	11.4	12.6	19.2	25.1	13.4	15
21	0.5 厚人造革加 40 厚泡沫塑料	2	8.1	7.6	9.1	15.1	20.8	24.7	12.9	15
22	0.5 厚人造革加锦纶棉	1.02	9.1	6.7	9.5	13.7	18.5	22.6	11.8	14
23	0.5 厚人造革加麻绒	3.46	11.6	8.1	11.5	17.1	22.8	27.7	14.9	16
24	0.5 厚人造革加 5 厚毛毡	2.54	13.6	12.5	12.5	17.4	23.7	27.1	15.4	18
25	0.5 厚人造革加丙纶棉	2.04	8.8	7.7	15.1	21.1	27.3	32.2	17.2	19
26	0.5 厚人造革加棉花套	2.3	9.9	9.6	15.1	21.8	28.0	33.3	17.6	20
27	0.5 厚人造革加序号 37 的材料	3.69	13.7	11.5	19.1	29.0	36.6	40.7	23.2	23
28	1 厚人造革、40 厚泡沫塑料、玻璃布	2.8	9.2	6.7	9.7	17.6	22.9	29.7	13.7	15
29	1 厚人造革加棉毯	1.71	12.8	11.1	12.9	15.8	23.6	30.1	16	17
30	1 厚人造革加锦纶棉	1.52	11.1	9.2	11.8	17.9	22.6	26.7	14.9	17
31	1 厚人造革加麻绒	3.96	12.1	8.9	14.4	21.0	26.8	31.5	17.7	19
32	1 厚人造革加丙纶棉	2.65	10.3	11.6	18	24.8	31.6	36.3	20.3	22

续表

序号	名 称	面密度 (kg/m ²)	隔声量 (dB)							
			125	250	500	1000	2000	3150	$\bar{R}$	I_a
33	1 厚人造革加棉花套	2.9	11.6	13.1	18.5	26.7	33.0	37.6	21.7	24
34	1 厚人造革加序号 37 的材料	4.19	14.8	12.4	22.8	32.0	39.0	41.5	25.3	26
35	人造革、超细棉、薄膜、玻璃布	3.6	13.5	10.6	17.1	26.7	36.3	38.1	21.7	22
36	人造革、超细棉、人造革	2.7	14.8	11.9	16.9	28.3	39.3	38.4	22.8	22
37	玻璃布、薄膜、超细棉、薄膜、玻璃布	3.15	14.5	10.9	15.9	23.6	31.7	35.9	20.2	21
38	1 厚人造革、棉花套、0.5 厚人造革 作门帘作用 (自由垂挂)	3.44	11.5	13.1	22.0	32.1	41.9	40.4	24.7	25
39	人造革、超细棉、薄膜、玻璃布	3.6	8.1	6.9	11.2	20.9	19.3	18.1	15.4	16
40	人造革、超细棉、人造革	2.7	10.3	8.6	13.3	22.6	18.5	16	14	16
41	玻璃布、薄膜、超细棉、薄膜、玻璃布	3.15	11.6	8.0	11.6	21	19.7	19.1	14.2	17
42	布门帘 (影剧院观众厅)		1.5	1.5	2.0	4.0	5.5	7.5		
43	棉门帘 (纺织厂)		8	6	8	11	13.5	17.5		

注：以上序号 1~41 由中国建筑科学研究院和北京市劳保科研所联合测定；序号 42、43 由中国建筑科学研究院测定。

第十四章 门窗的隔声

第一节 概 述

墙上的门、窗在围护结构中隔声差,但又不可少。门、窗之所以隔声差,一是因为它属于轻薄围护构件,它们的面密度一般都比墙小,同时门、窗四周的隙缝又是传声的重要途径,这是门、窗隔声差的主要原因。门、窗在墙上所占面积一般比墙面小,它的低频共振也常发生在声频的敏感区,因此提高门、窗的隔声量关键是门、窗扇本身的材质以及四周隙缝的处理。

在对门、窗隔声量的设计、判断中,应注意的是:第一,门、窗的几何尺寸与入射声波波长相比,一般说并不很大,所以按质量定律的假定把它们也看成是“无限大”的构件板来处理时,所得结果与实际情况会有较大偏差。第二,门、窗一般说都是可以活动的装置,与其相接的框间往往存有漏声缝隙,这些缝隙对门窗的隔声会产生难以准确估计的影响。第三,门、窗的隔声会涉及许多具体的技术问题,很难加以计算或控制。第四,建筑师在设计对隔声有严格要求的门、窗时,应做成试件,经实验室测试认定隔声性能,但一般只能借助于经验和有关书籍中的实测数据加以判断。

第二节 门的隔声

1. 常用门的隔声:

一般常用的门在设计时就规定必须有缝隙,所以隔声会受影响,同时由于经常使用,为了开启方便,质量又宜轻便,所以靠质量定律增加隔声量也很难。例如,多年来常用的普通木拼板门,其门芯板一般是仅厚10~15mm的木条板,时间稍长便会干裂透

门扇空腔填棉的隔声效果 表 14-1

曲线编号	门 扇 构 造	面密度 (kg/m^2)	平均隔声量 (dB)
1	面板为5厚三合板 空腔厚80mm	5.1	28.0
2	同1,空腔内填超 细玻璃棉	8.55	42.2
3	面板为2.5厚钢板 空腔厚80mm	37.3	46.2
4	同3,空腔内填超 细玻璃棉	40.75	49.9

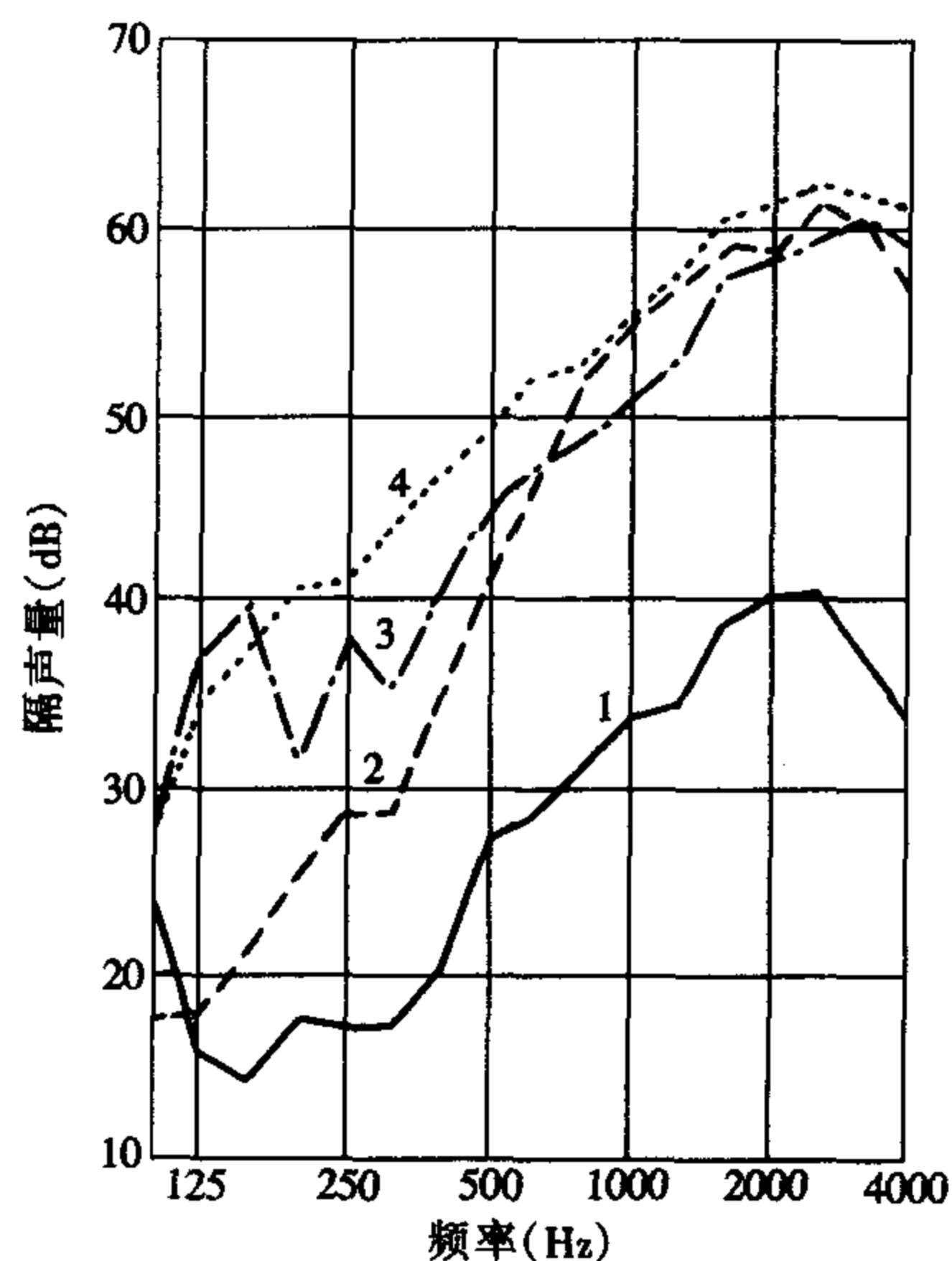


图 14-1 门扇空腔填玻璃棉的隔声效果

声，其隔声量一般仅约为 10~15dB。夹板门饰面板一般是 5 厚或 3 厚木胶合板、硬质纤维板，其隔声量也仅约为 20dB，要改善其隔声性能，可在双层饰面板间填多孔吸声材料，一般可提高隔声量 5dB 以上，见图 14-1、表 14-1。

2. 高隔声量专用隔声门的设计：

专用隔声门，常做成重型的、多层材料的复合门，见图 14-2，国标隔声门图 J649（一~三）等的设计也是这样的思路。对于这种隔声量较大的门，设计应注意：第一，用不同性质的材料来叠合，才会有益于隔声量的提高。第二，应注意面板的厚度以防止出现吻合效应，从而降低隔声量，这对于仅是厚度不同的钢质面板组成的门，尤其重要，例如，当钢板厚为 3mm 以上时，在高频区会有明显的隔声谷，见表 14-2、图 14-3。第三，若设空腔，应在腔内填满吸声材料，并使吸声材料稍有压缩，压缩多了或少了对隔声均不利，同时空腔厚度应大于 100mm，这只有特殊的隔声门才是可能的。

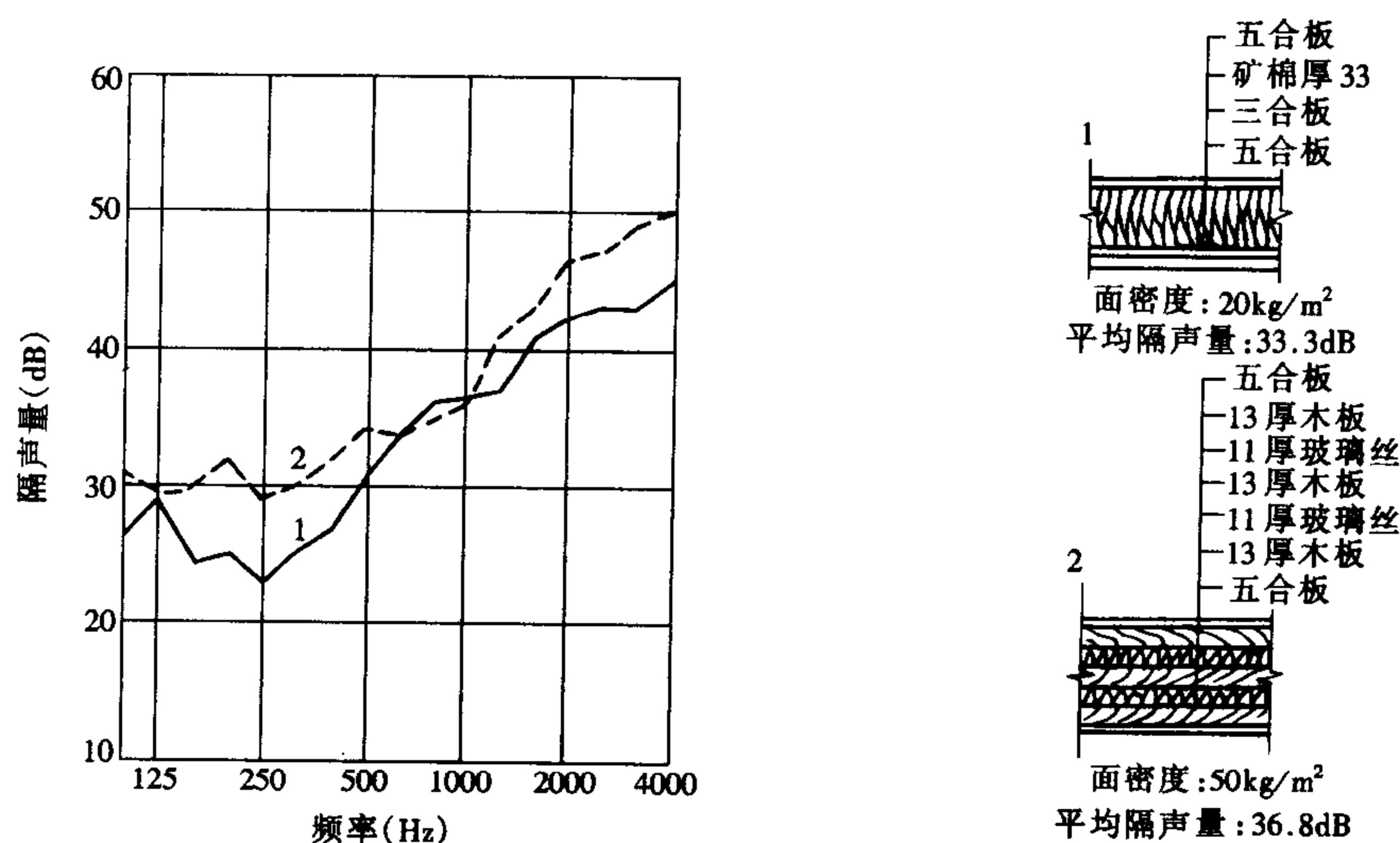


图 14-2 多层结构门扇隔声量比较

门扇面板厚度与隔声量关系 表 14-2

曲线编号	门扇材料	平均隔声量 (dB)
1	面板 1.5mm 厚钢板，空腔 80mm，填玻璃棉	53.5
2	面板 1.5 及 2.5mm 厚钢板，空腔 80mm，填玻璃棉	55.0
3	面板 3.0mm 厚钢板，空腔 80mm，填玻璃棉	49.1
4	面板 4.0mm 厚钢板，空腔 80mm，填玻璃棉	49.1

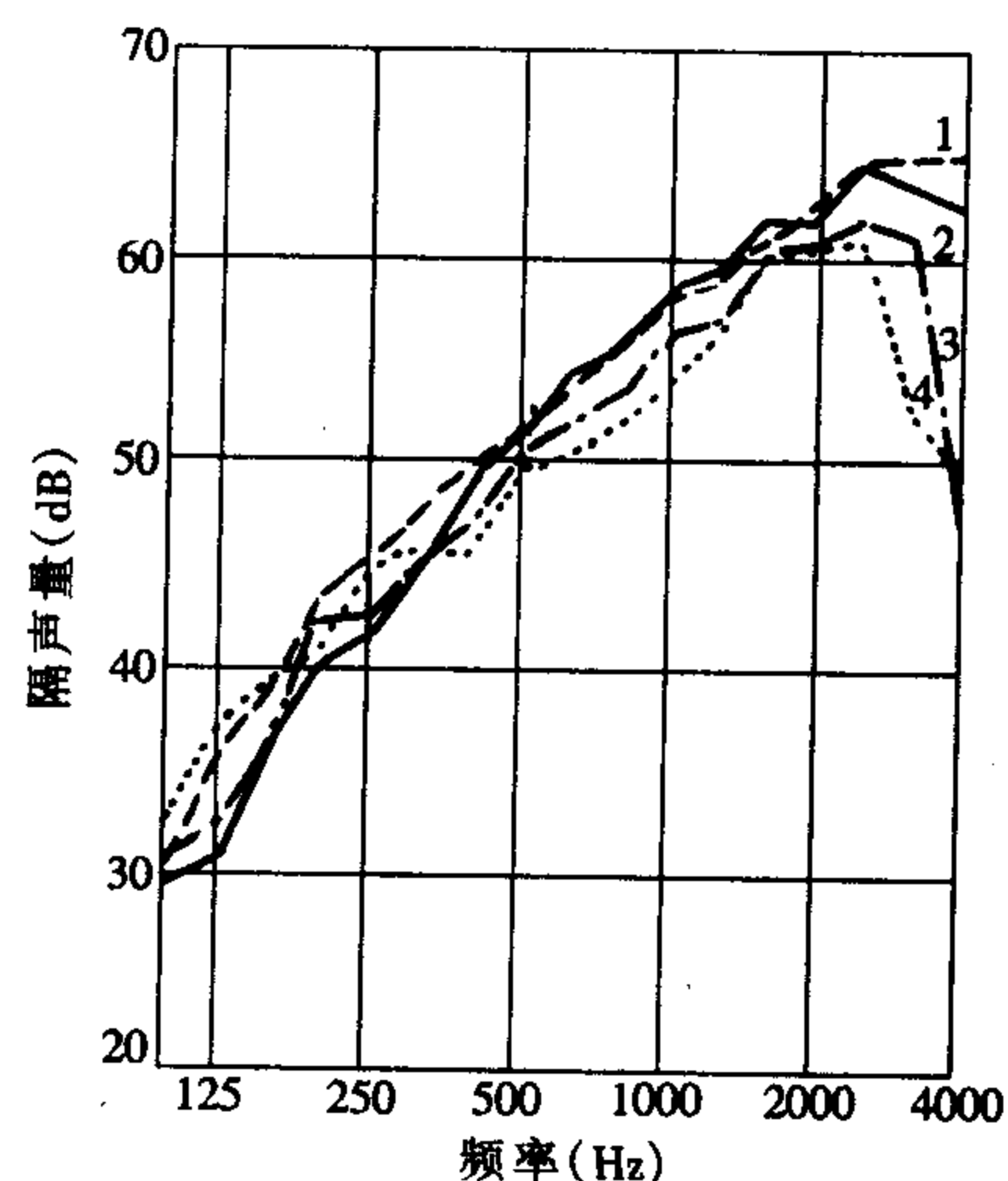


图 14-3 门扇面板厚度与隔声量关系

3. 门缝隙处理实例:

门缝的处理十分重要, 其原则是要使双扇门的扇与扇之间及单扇门与框和地面之间有紧密的接触, 不形成缝隙, 在关闭状态时不透声。缝隙用可压缩材料填充, 填充材料常用橡胶、毛毡、海绵、泡沫塑料、发泡胶、硅胶、玻璃胶、皮、革等, 这种处理, 再加之压紧装置, 使门的隔声量可达 35 ~ 50dB 或以上, 见表 14-3, 表 14-4、表 14-5、表14-6、图 14-4。

密封材料的隔声效果 表 14-3

曲线编号	门缝密封材料	平均隔声量 (dB)
1	全密封	49.7
2	q 字形橡胶条	42.4
3	矩形海绵橡胶条	40.0
4	矩形乳胶条厚 20mm	35.6
5	毛毡, 厚 14mm	35.9
6	角钢、海绵条	40.0
7	圆钢、海绵条	37.1

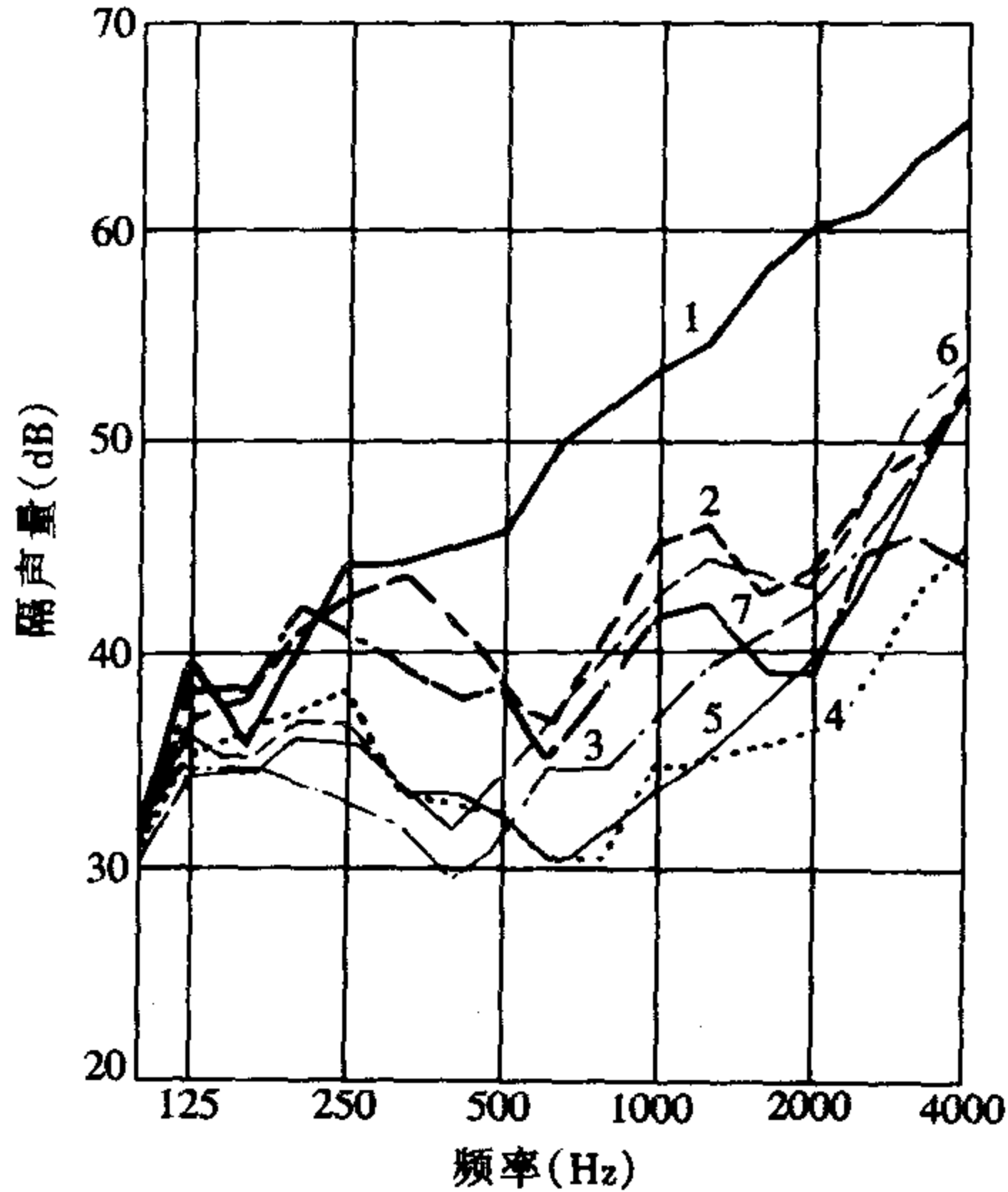


图 14-4 门缝密封材料的隔声效果

普通门隔声量 (dB) 表 14-4

编号	门的构造		门缝处理	倍频程隔声量						$\bar{R}$	I_a
				125	250	500	1000	2000	4000		
门 1	普通胶合板门		不处理	13.6 ~ 20.0	17.0 ~ 18.5	17.7 ~ 24.0	19.6 ~ 22.0	21.5 ~ 22.2	18.0 ~ 27.7	18.8 ~ 20.4	20 ~ 23
门 2	空腹钢木门	单扇无百页门	无	14.0	16.0	15.5	19.0	21.0	19.0	17.5	19
		双扇带百页门 (百页关)	无	12.0	11.0	13.5	18.0	22.0	17.0	15.2	18
		双扇带百页门 (百页开)	无	6.0	5.5	6.0	10.0	13.0	12.0	8.5	10
门 3	钢门 (钢板厚 6mm)		无	25.1	26.7	31.1	36.4	31.5	—	30.2	32

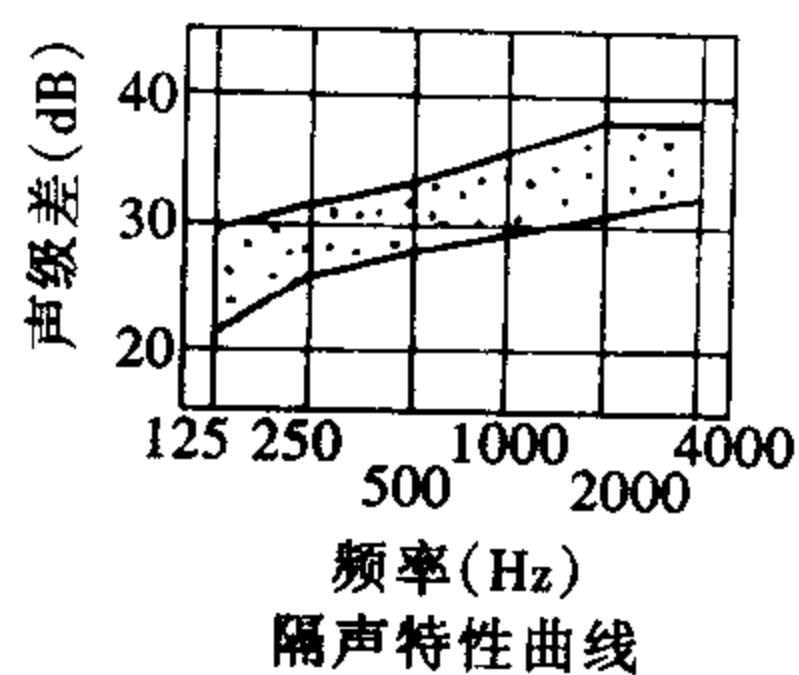
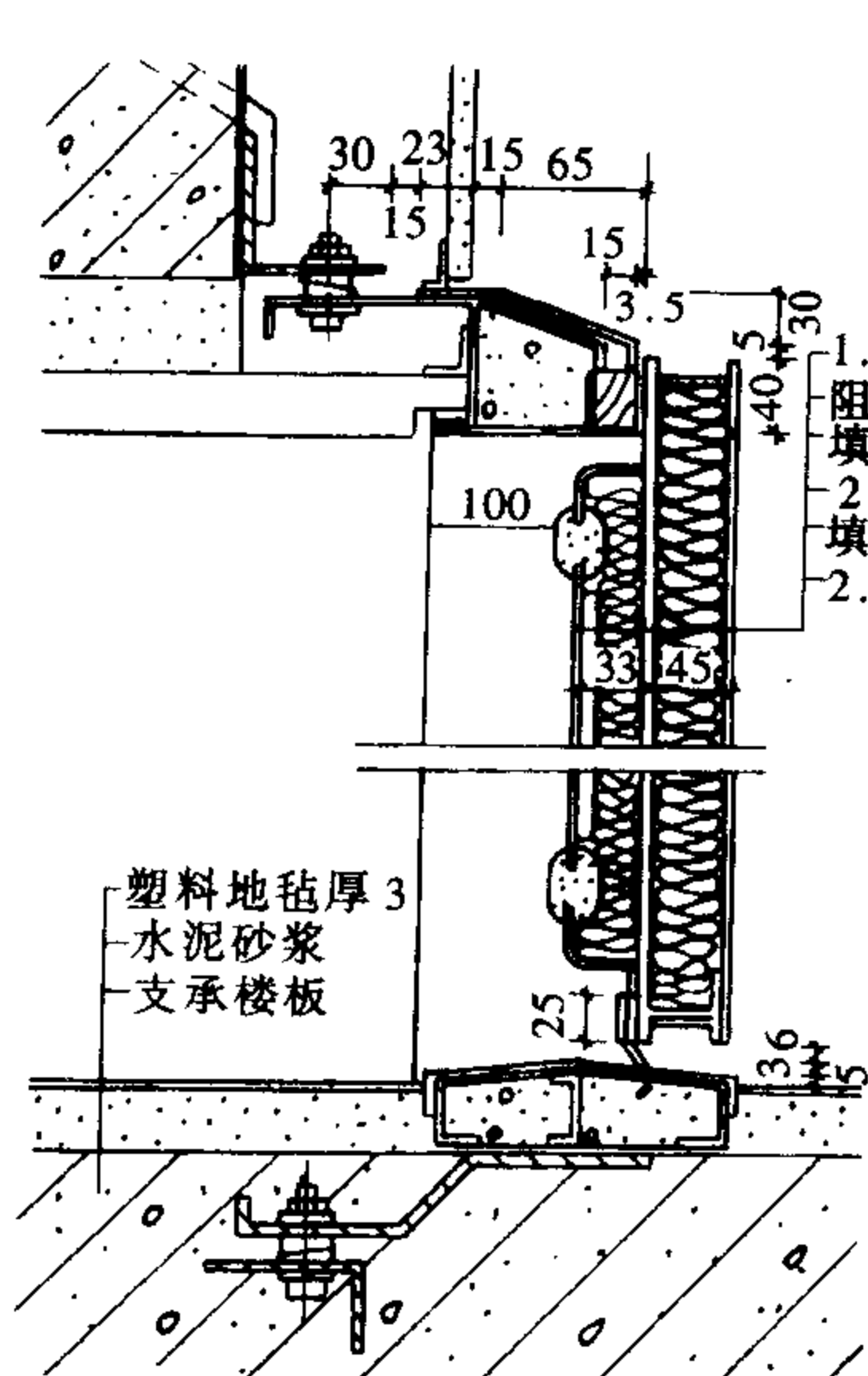
隔声门隔声量 (dB) 表 14-5

编号	门的构造	门缝处理	倍频程隔声量						$\bar{R}$	I_a	备注
			125	250	500	1000	2000	4000			
门 4 ^①	普通保温隔声门 (单扇)	全密封	29.0	22.9	31.1	35.7	42.6	45.2	33.3	34	
		双橡胶 9 字形条	23.2	21.4	27.1	33.1	41.0	39.6	30.6	32	
		单道软橡胶 9 字形条	21.1	20.2	25.1	25.3	37.7	38.7	27.6	27	
		单道硬橡胶 9 字形条	21.8	20.9	26.0	24.1	29.7	35.4	25.6	26	
		不处理	19.5	18.8	21.5	17.1	19.5	22.7	19.8	19	
门 5 ^②	普通保温隔声门 (双扇)	单道软橡胶 9 字形条 (下部为扫地橡皮)	23.0	24.1	28.3	29.8	30.6	35.5	28.7	30	
门 6	硬木拼板门	橡胶条或毛毡	30.0	30.0	29.0	25.0	26.0	—	27.0	27	

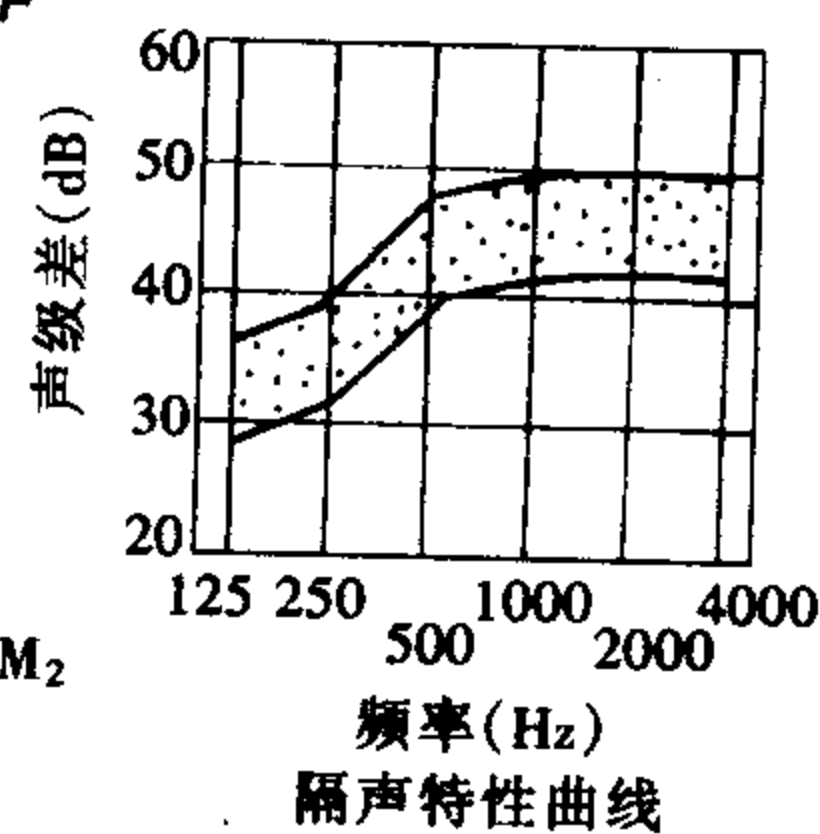
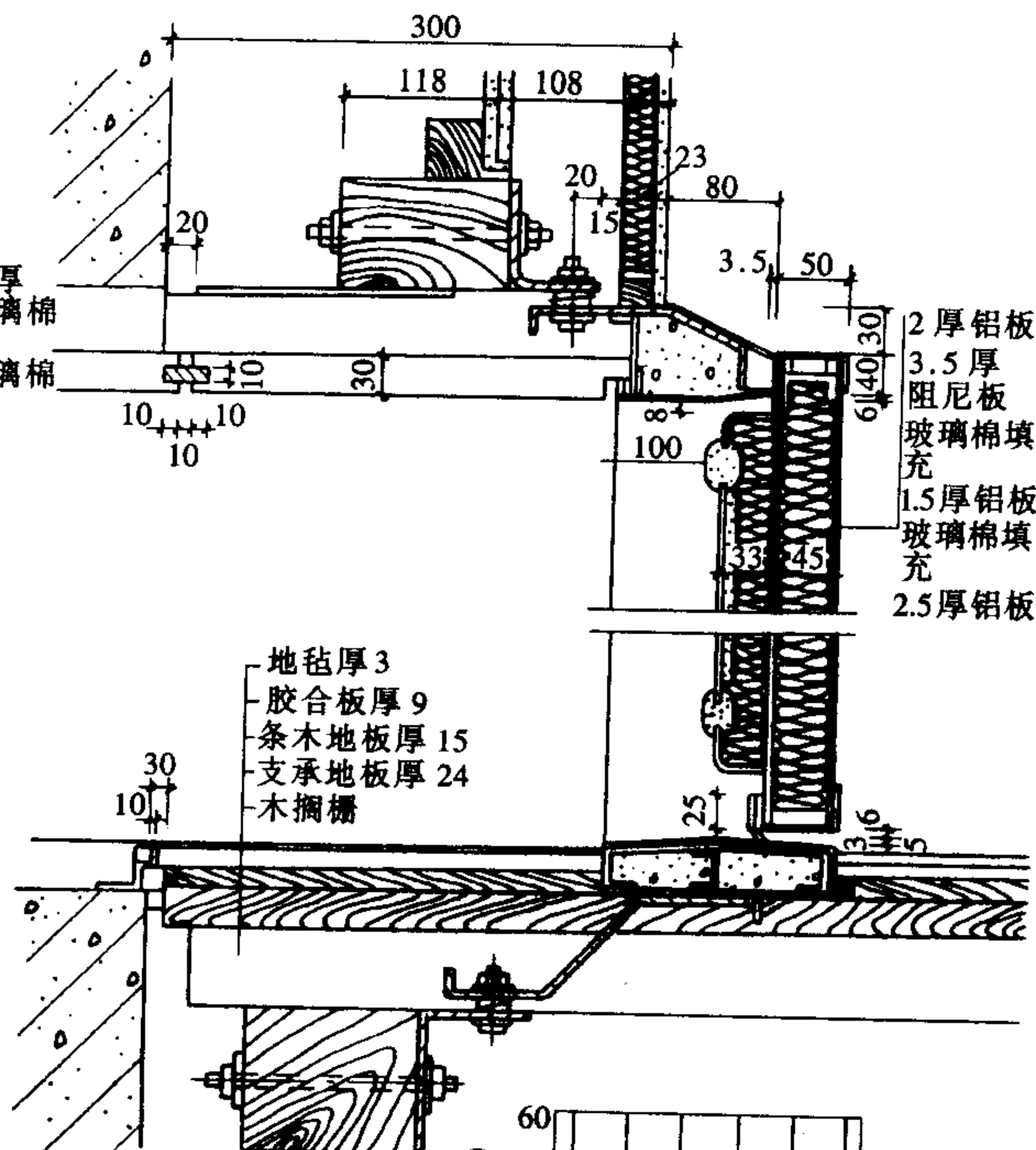
续表

编号	门的构造	门缝处理	倍频程隔声量						$\bar{R}$	I_a	备注
			125	250	500	1000	2000	4000			
门7	双层拼板门	橡胶条或毛毡	29.6	29.0	29.6	28.8	35.3	43.3	32.6	30	
门8	纤维板保温隔声门	软橡胶条	28.0	28.7	32.7	35.0	32.8	31.0	31.0	33	
		无	25.0	25.0	29.0	29.5	27.0	26.5	27.0	28	
门9	钢门(板厚6mm)	无	25.1	26.7	31.1	36.4	31.5	—	30.2	32	
门10	铝板隔声门	包毛毡	26.1	36.4	29.0	28.8	35.9	51.8	33.1	32	
		门缝消声器	22.8	24.2	23.5	34.3	40.2	33.6	29.2	30	
		无	23.0	28.6	24.1	29.2	33.1	24.2	25.1	25	
门11	钢板隔声门	包毛毡	41.5	41.3	34.3	36.9	45.2	58.0	41.1	41	
		门缝消声器	26.8	25.8	26.3	41.1	44.3	36.2	32.9	35	
		无	25.5	25.9	23.3	28.1	23.4	24.1	24.8	25	
门12	多层复合板隔声门	双橡胶9字形条	30.2	28.9	31.2	36.2	43.4	43.3	35.3	37	
		单橡胶9字形条	27.3	27.2	26.9	30.6	38.8	39.2	31.9	33	
		单橡胶9字形条(木槛不处理)	23.4	23.2	22.3	23.6	26.5	28.4	24.7	25	
门13	多层复合板隔声门	全密封	30.0	28.4	34.5	38.7	47.5	50.5	37.5	39	
		双橡胶9字形条(双扫地橡皮)	27.8	27.5	30.3	33.7	36.5	43.8	32.8	34	
		单橡胶9字形条(单扫地橡皮)	28.6	26.6	28.9	32.9	38.2	36.2	31.5	33	
		单乳胶条	26.7	22.6	27.2	36.0	40.6	43.7	32.7	33	
门14	木制多层复合板隔声门	毛毡压缝	31.0	28.0	38.0	49.0	58.0	56.0	43.0	40	
门15	多层复合板隔声门	全密封	28.4	29.0	34.4	35.9	46.5	49.3	36.8	38	
		双橡胶9字形条	26.5	27.4	30.4	32.4	35.0	43.4	31.7	35	
		单乳胶条	28.6	23.4	26.7	33.7	40.4	40.7	32.0	33	
门16 ^③	多层复合板隔声门	充气带充气	37.0	40.0	53.0	64.0	68.0	84.0	57.7	56	
		充气带未充气	27.0	38.5	32.0	49.0	57.0	61.0	44.1	40	
门17 ^④	推拉隔声门	充气带充气	48.0	49.0	46.5	56.0	56.0	58.0	51.0	53	
		充气带未充气	38.5	42.0	37.0	50.5	50.5	54.0	42.0	46	
门18	国标 J649 隔声门	M ₁ 橡胶9字形条	21.0	26.2	35.5	45.0	43.5	52.5	37.3	38	
		M ₂ 海绵橡胶条	35.5	36.7	37.0	44.0	44.5	55.5	41.3	41	
		M ₃ 斜企口人造革包泡沫塑料压缝(不附吸声体)	36.1	39.6	39.8	50.2	50.4	53.7	44.4	44	
		M ₄ 斜企口人造革包泡沫塑料压缝(附吸声体)	38.3	46.6	44.7	52.3	54.6	56.9	48.3	49	
门19	复合板铝隔声门	M ₁ 橡胶条压缝									
		M ₂ 橡胶条压缝									
		M ₃ 双橡胶条压缝									

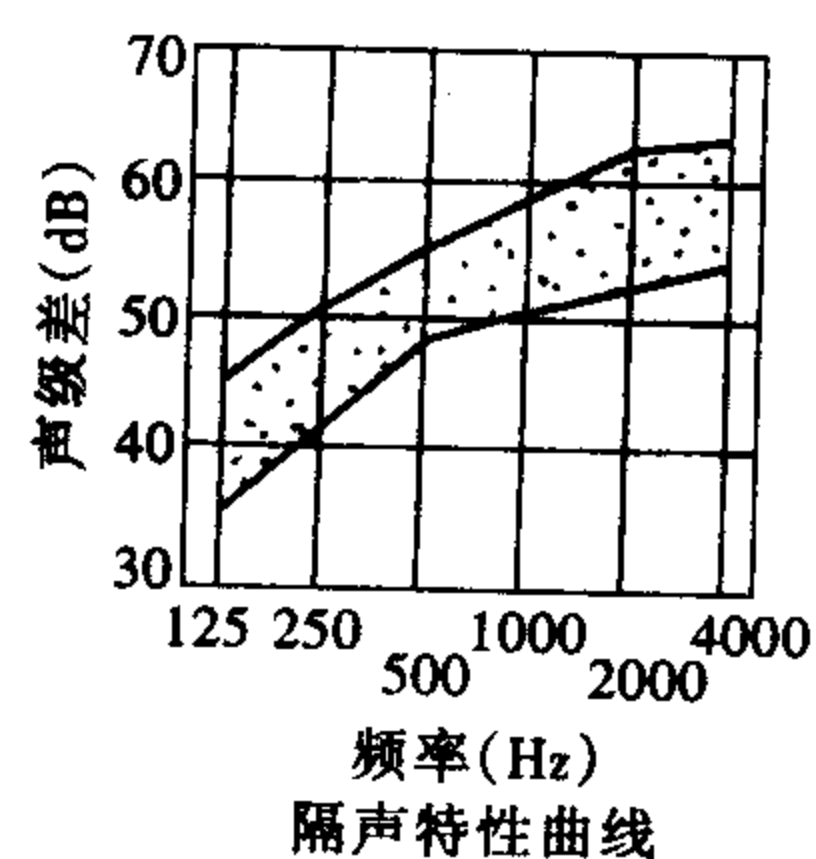
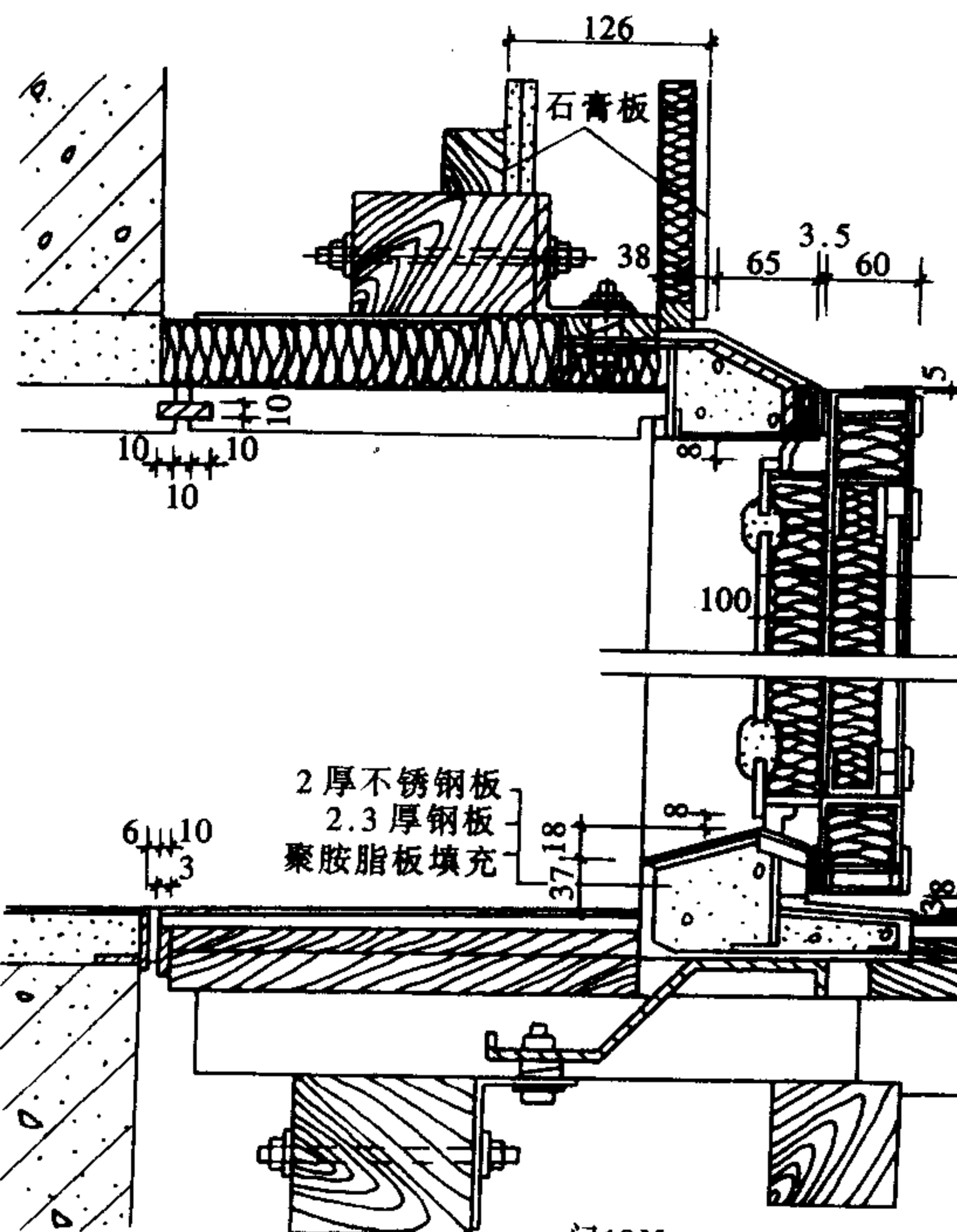
①、②为原国标 J619；③数据为现场所测之插入损失；④数据为现场双道门之插入损失。



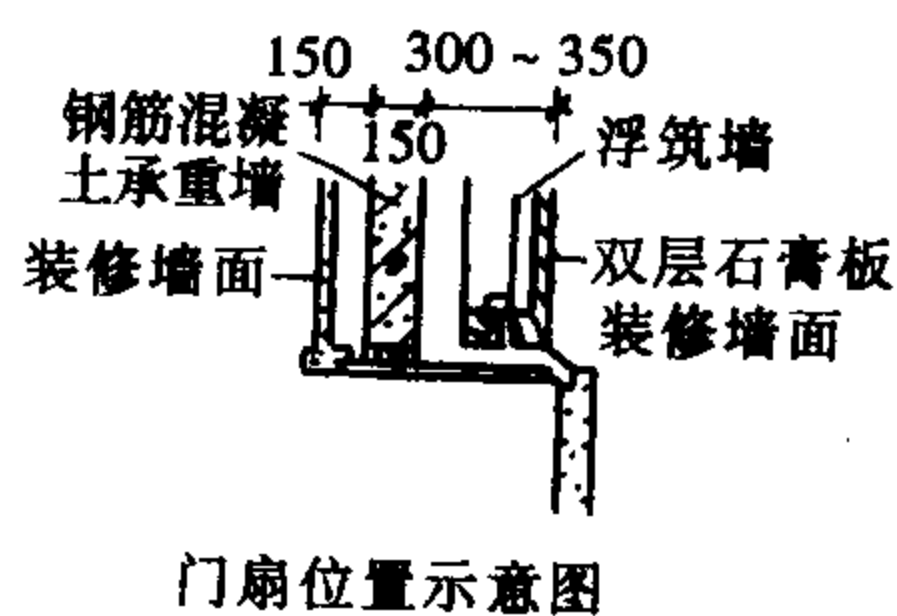
门19M₁



门19M₂



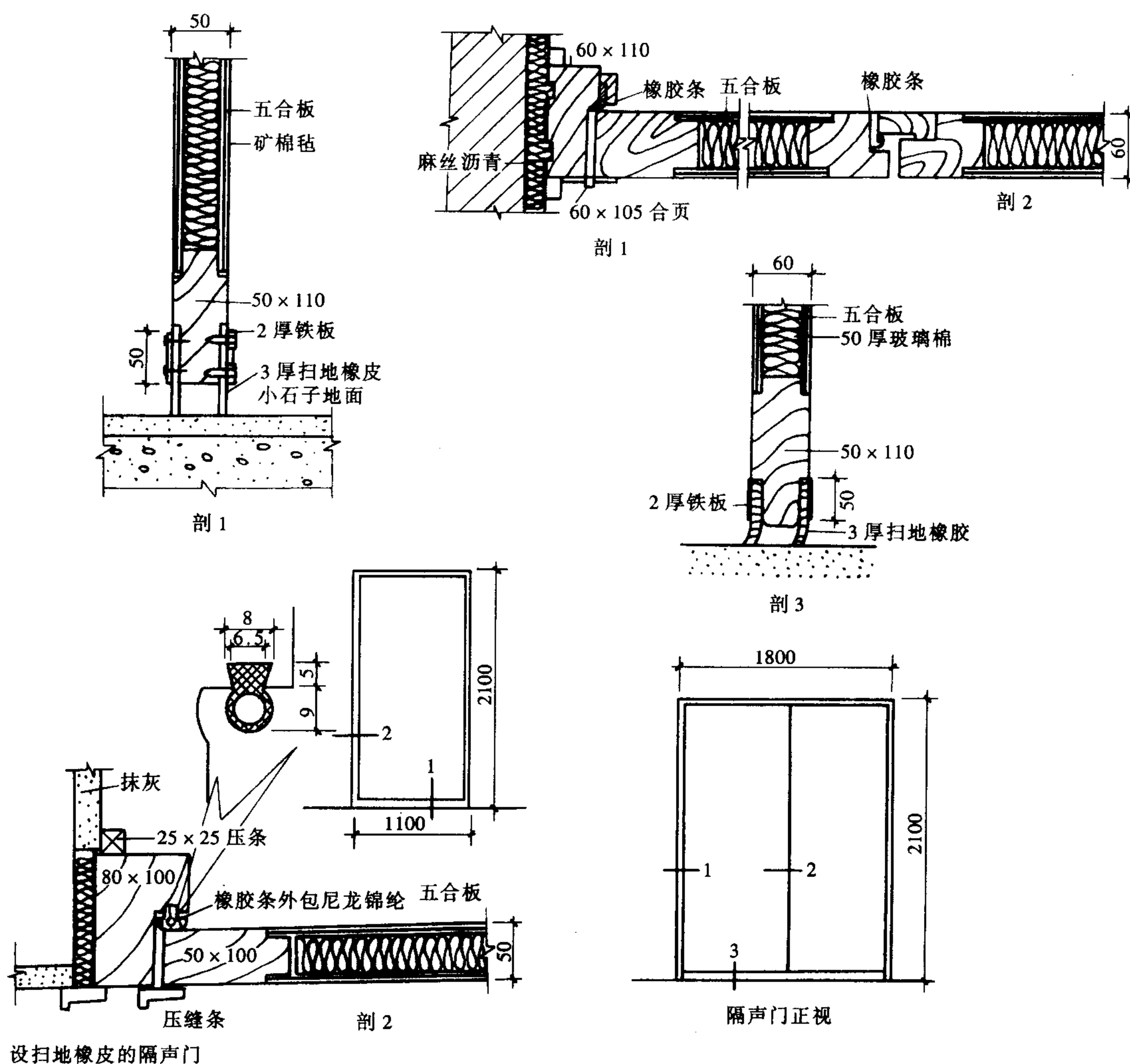
门19M₃

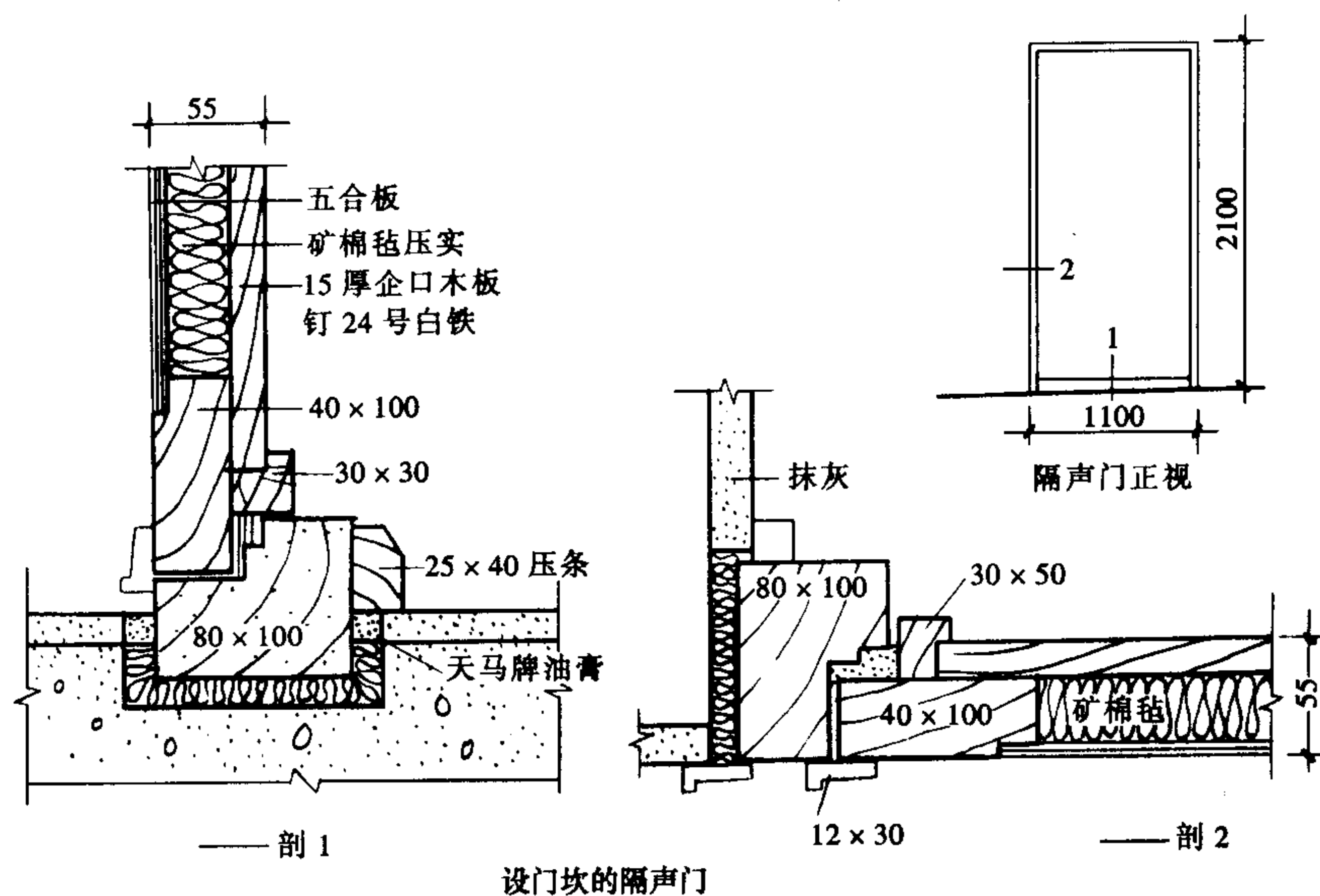


10 种复合结构门的隔声性能

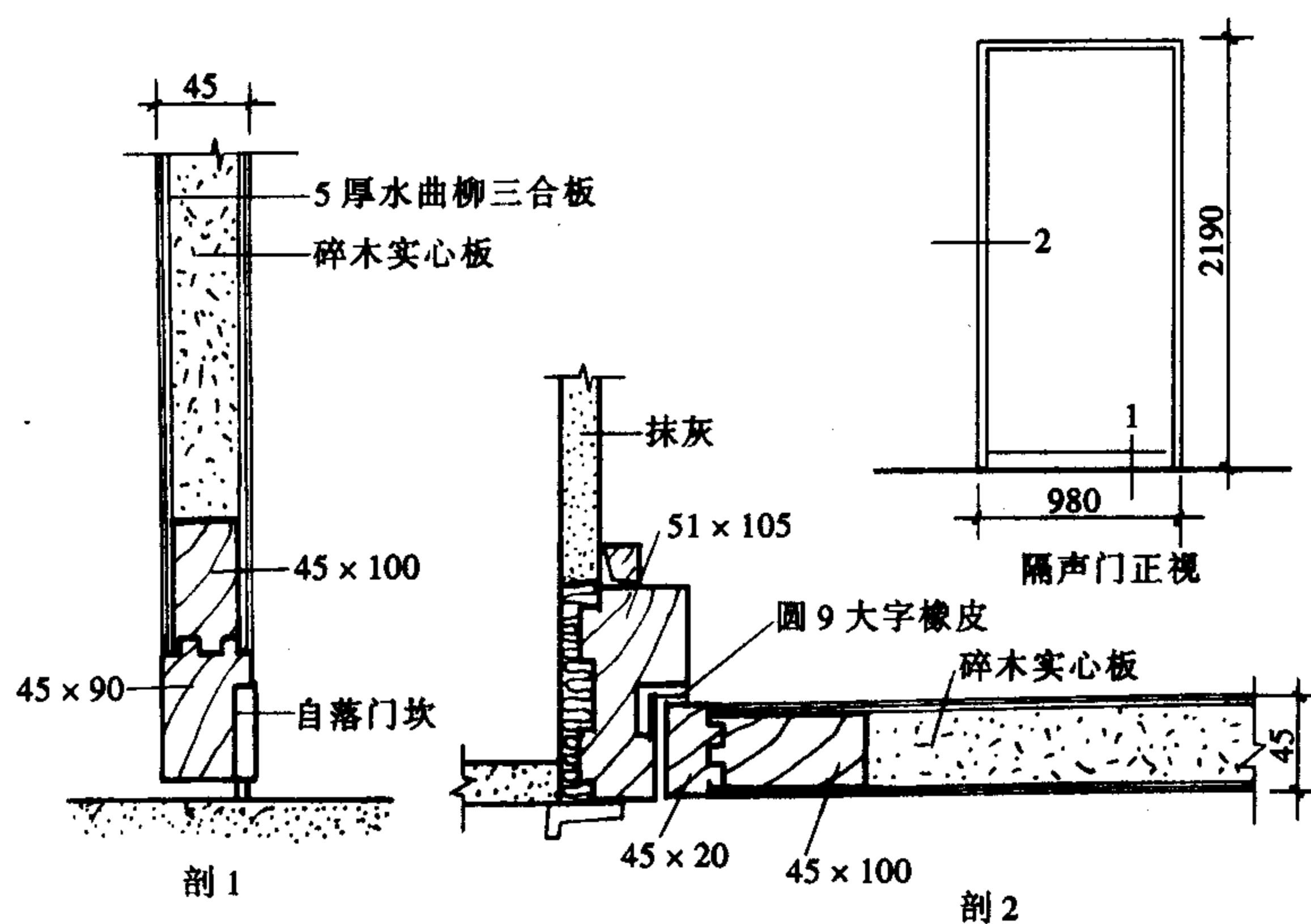
表 14-6

编号	构造简述	密缝处理	下述频率 (Hz) 的隔声量 (dB)						平均隔声量 $\bar{R}$ (dB)
			125	250	500	1000	2000	4000	
①	双层五夹板门, 中填矿棉毡	橡胶	19.5	22.0	26.0	30.5	31.0	29.5	26.3
②	双层五夹板门, 中填玻璃棉	橡胶	21.5	21.0	25.5	29.1	30.5	31.6	26.5
③	胶合板与木板复合	门坎	23.0	23.5	30.5	33.0	34.5	33.5	29.7
④	碎木板门, 自落门坎	门坎	23.5	24.4	31.0	32.5	35.0	37.5	30.6
⑤	72 厚多层复合板门	橡胶	25.5	27.5	31.5	33.0	36.0	41.5	32.5
⑥	100 厚多层复合板门	企口	22.5	25.5	30.5	31.0	36.0	35.5	30.2
⑦	100 厚多层板与钢板复合	企口	29.0	28.5	37.5	45.0	54.0	56.2	41.6
⑧	78 厚企口板与钢板复合	企口	27.7	28.1	33.2	36.5	44.4	42.8	35.5
⑨	双层普通双扇门	企口	28.3	29.5	36.8	47.5	49.2	58.0	41.6
⑩	设观察窗的隔声门	企口	24.0	28.5	21.3	27.3	22.4	26.0	26.5

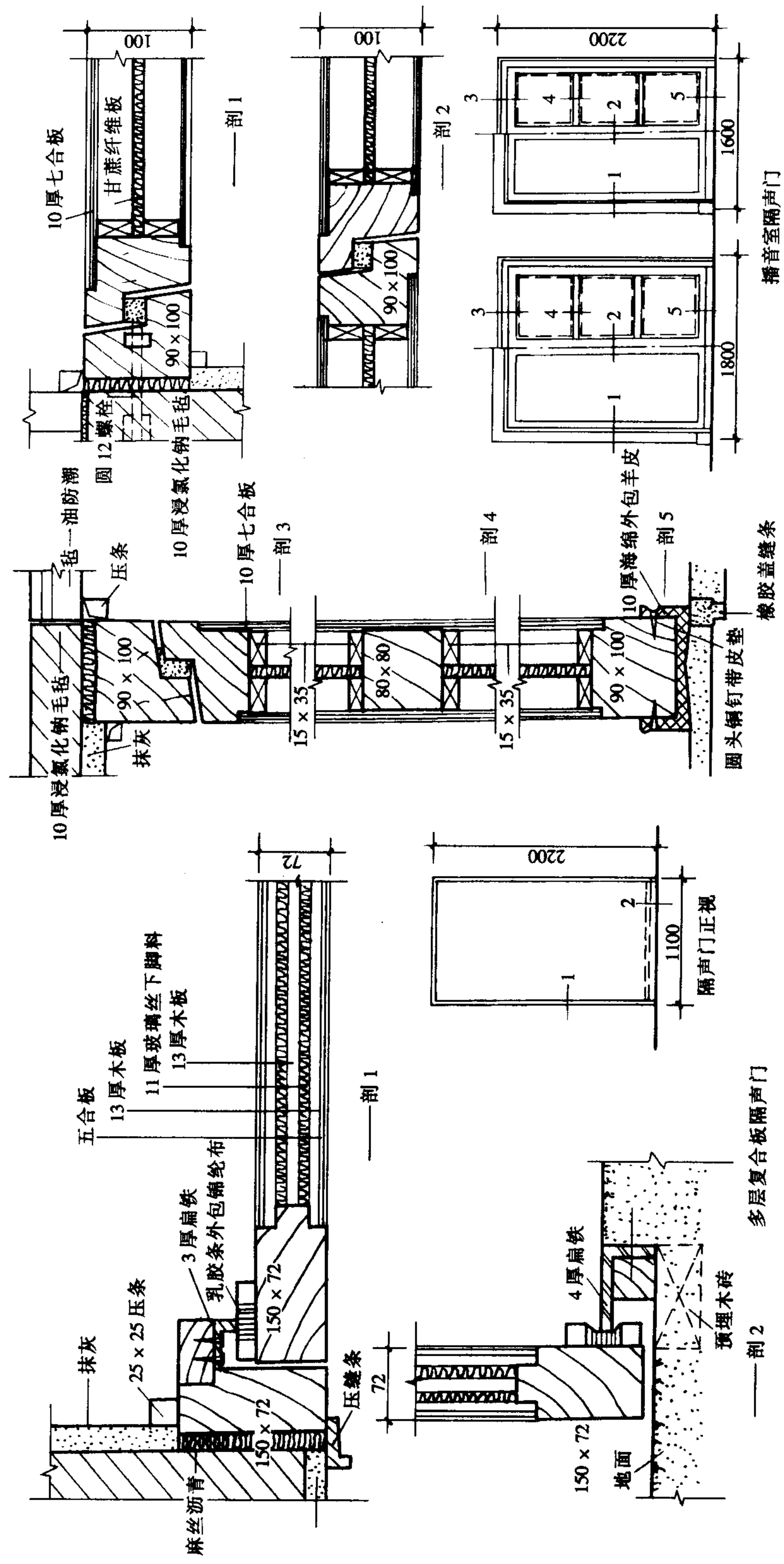




门③ 55mm厚胶合板与木板复合门的构造

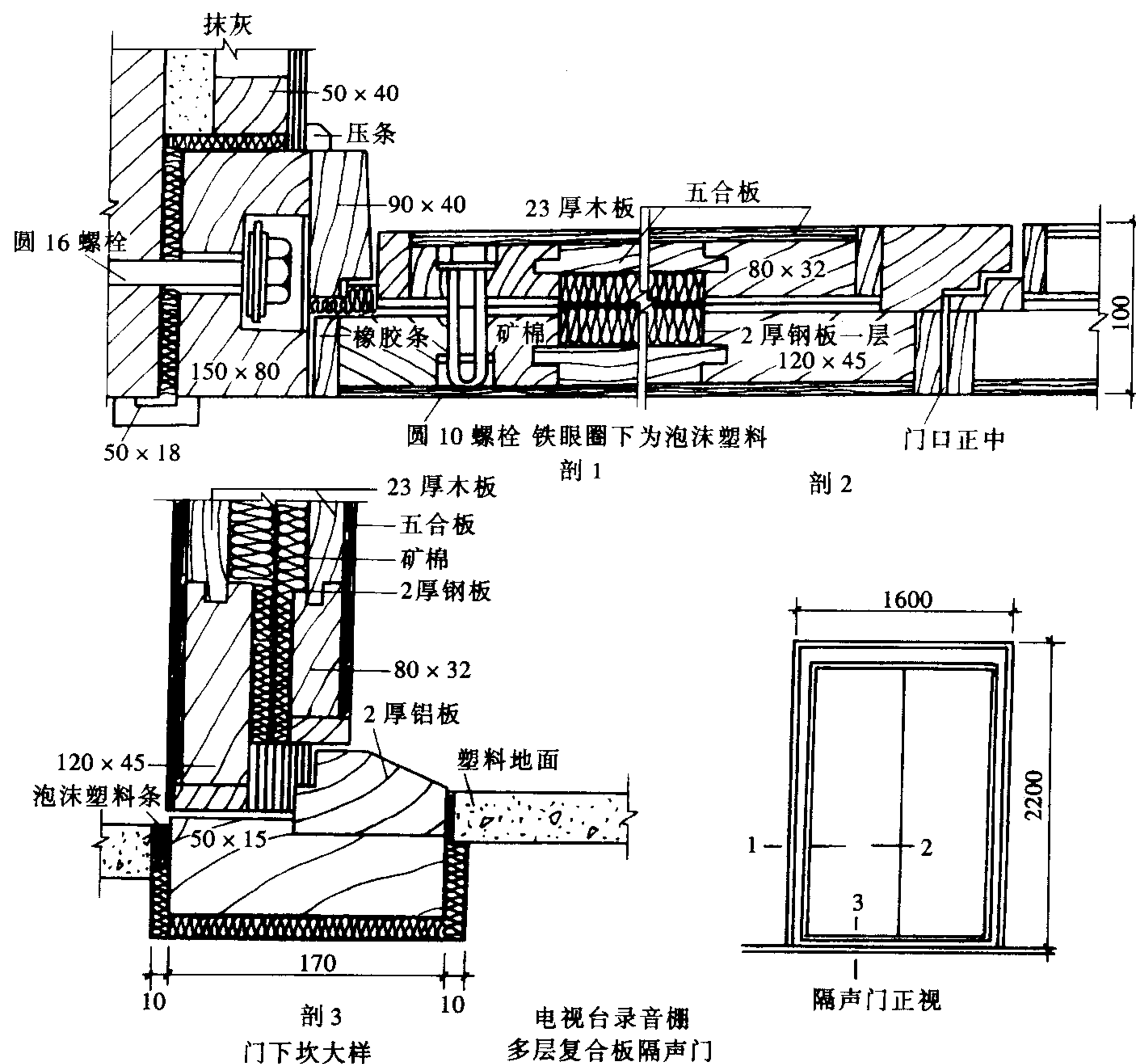


门④ 45mm厚碎木实心板门，设自落门坎

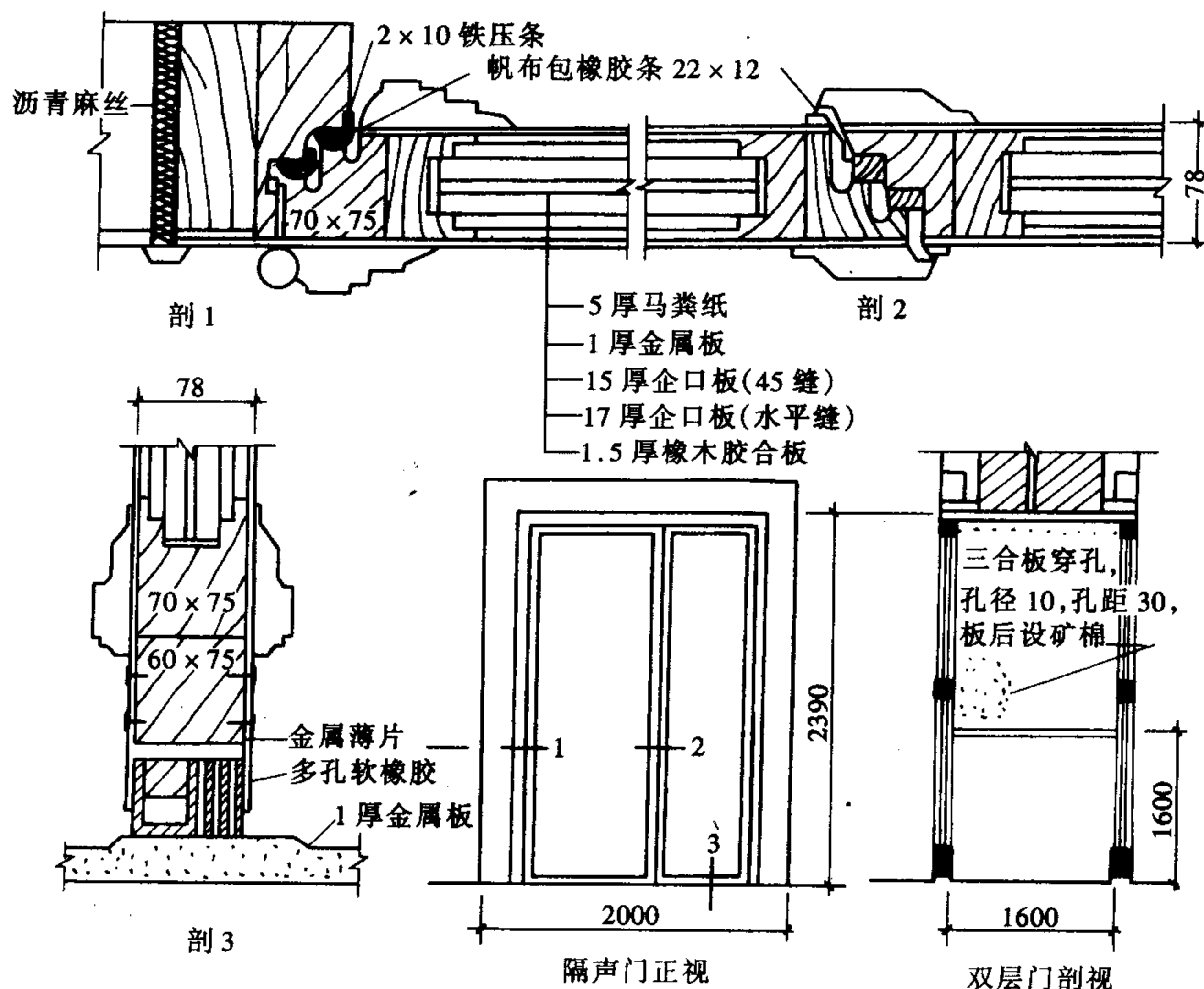


门⑤ 72mm 厚多层复合板门构造

门⑥ 100mm 厚复合板门构造



门⑦ 100mm 厚木板与钢板复合门构造



门⑧ 78mm 厚企口板与钢板复合门构造

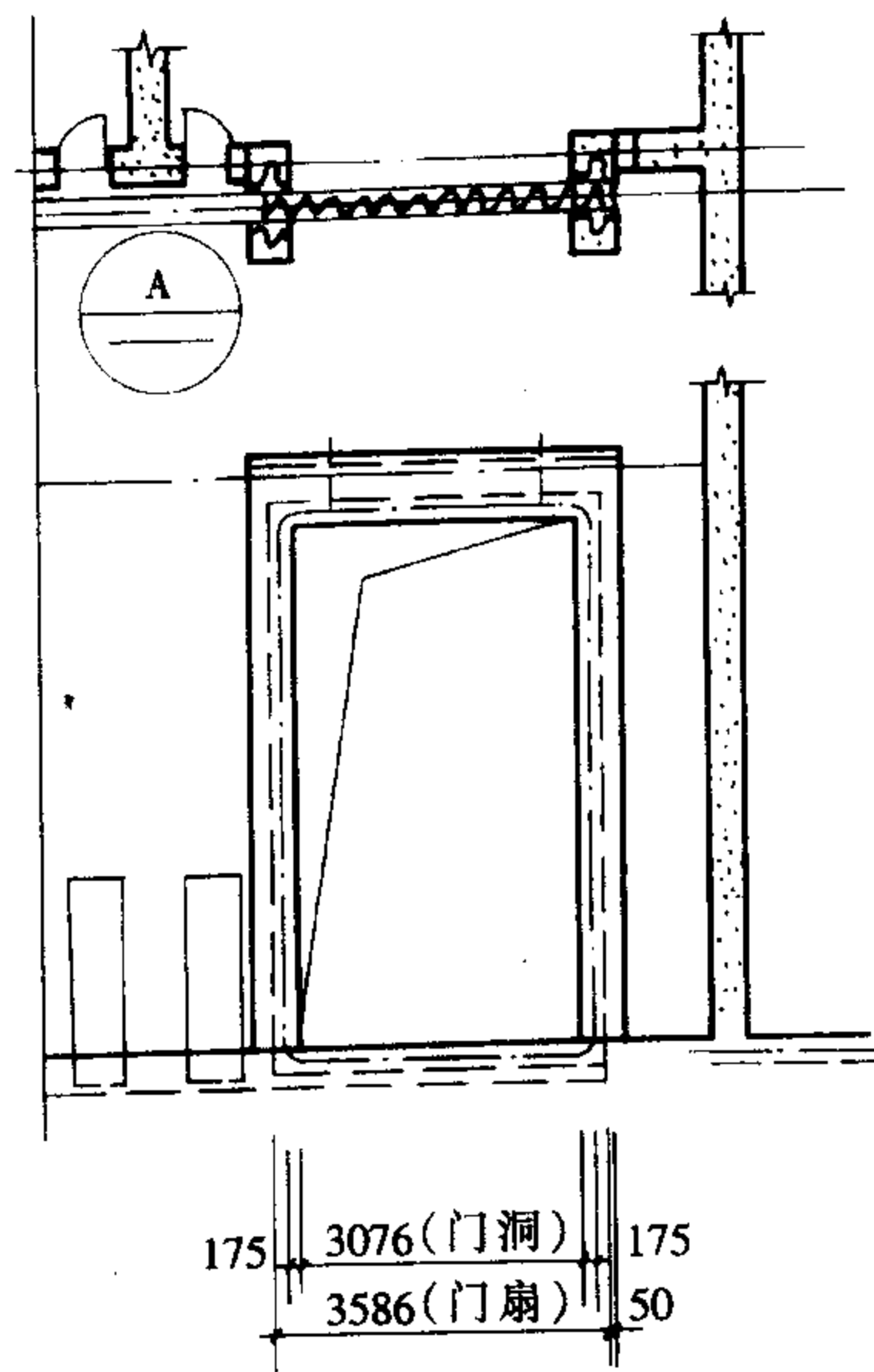
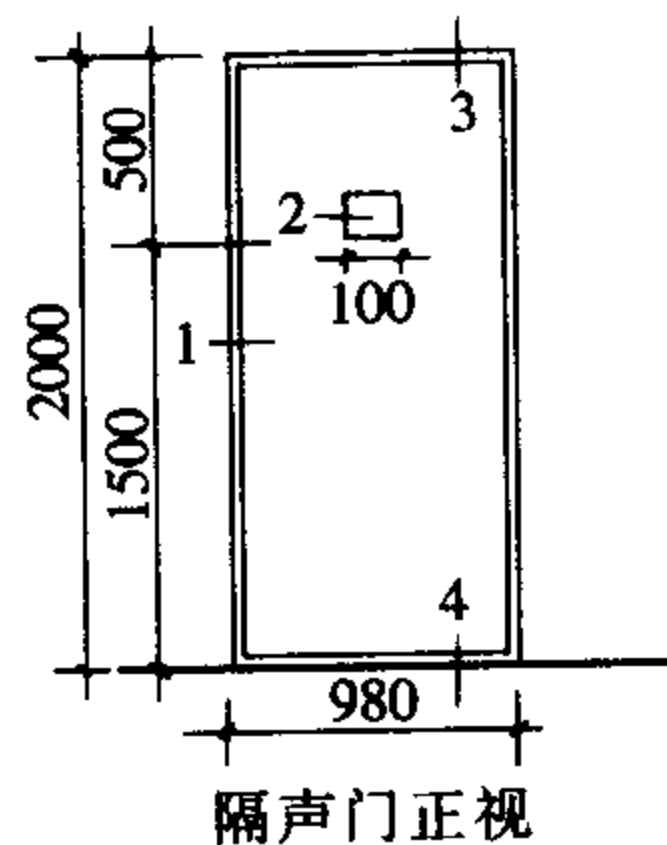
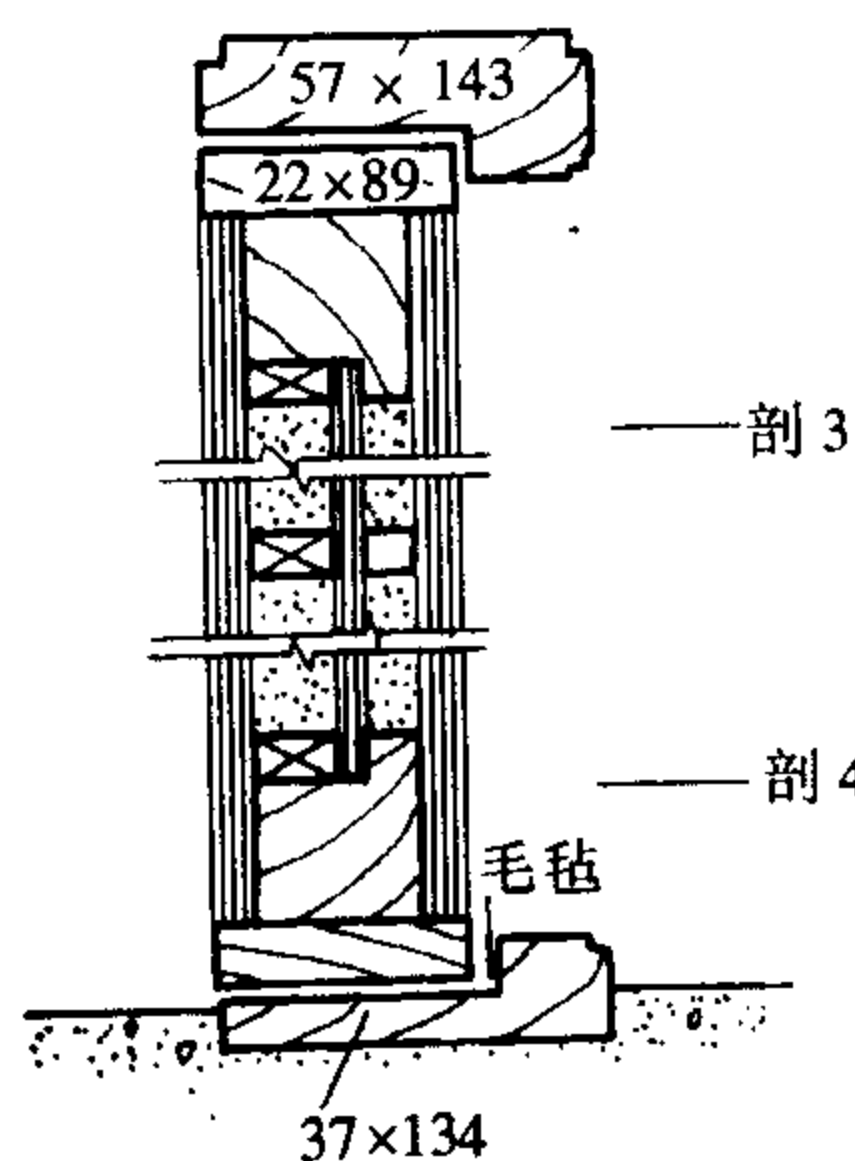
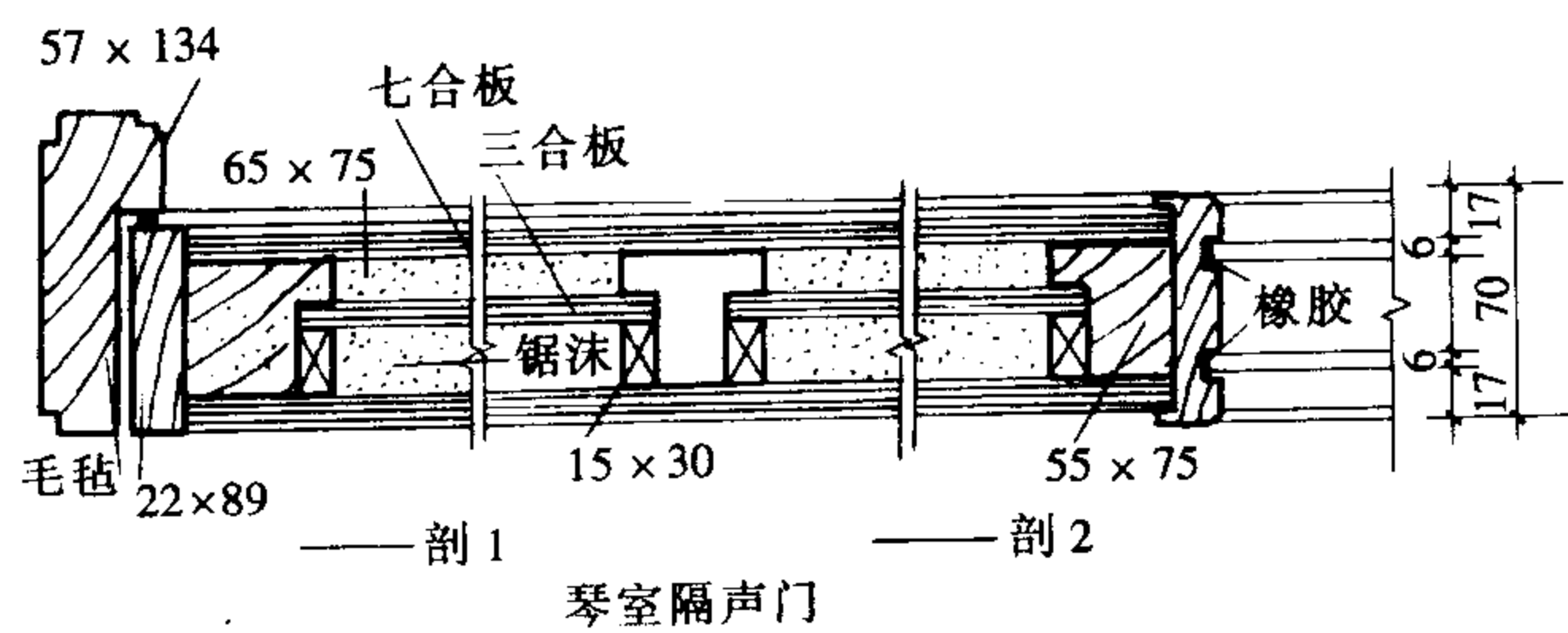
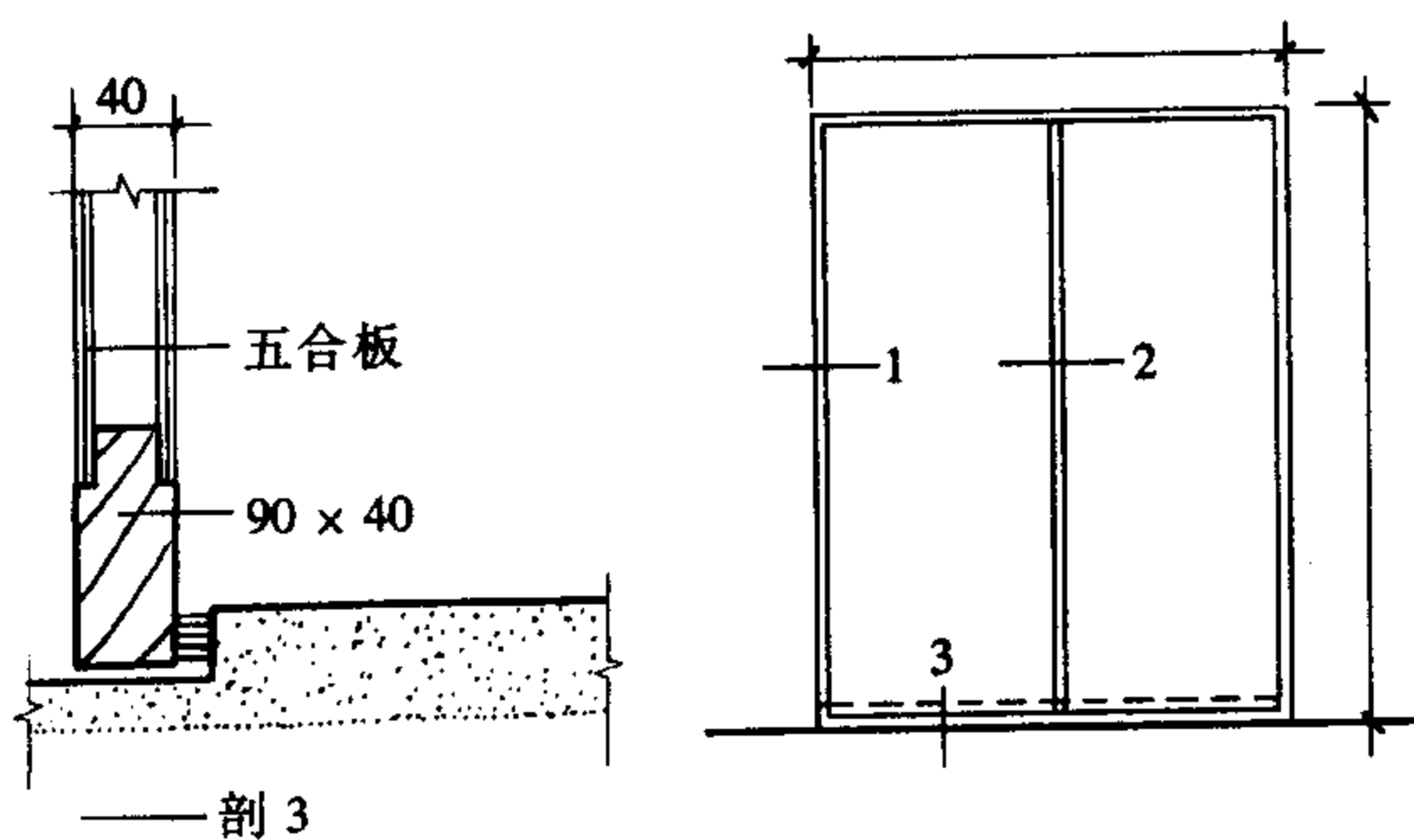
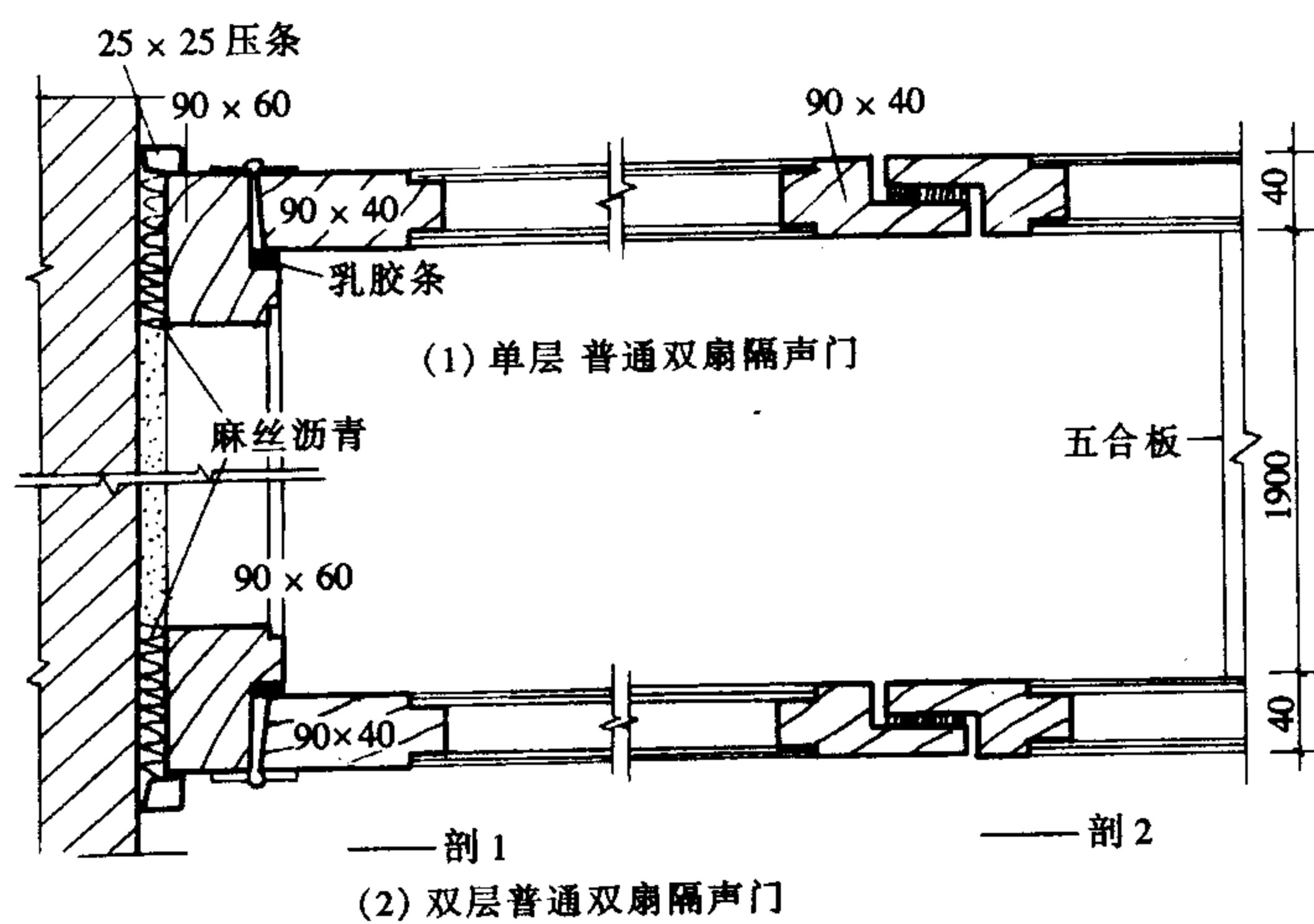


图 14-5 充气密封门

门⑨ 设观察窗的隔声门构造



门⑩ 双层普通双扇门的构造

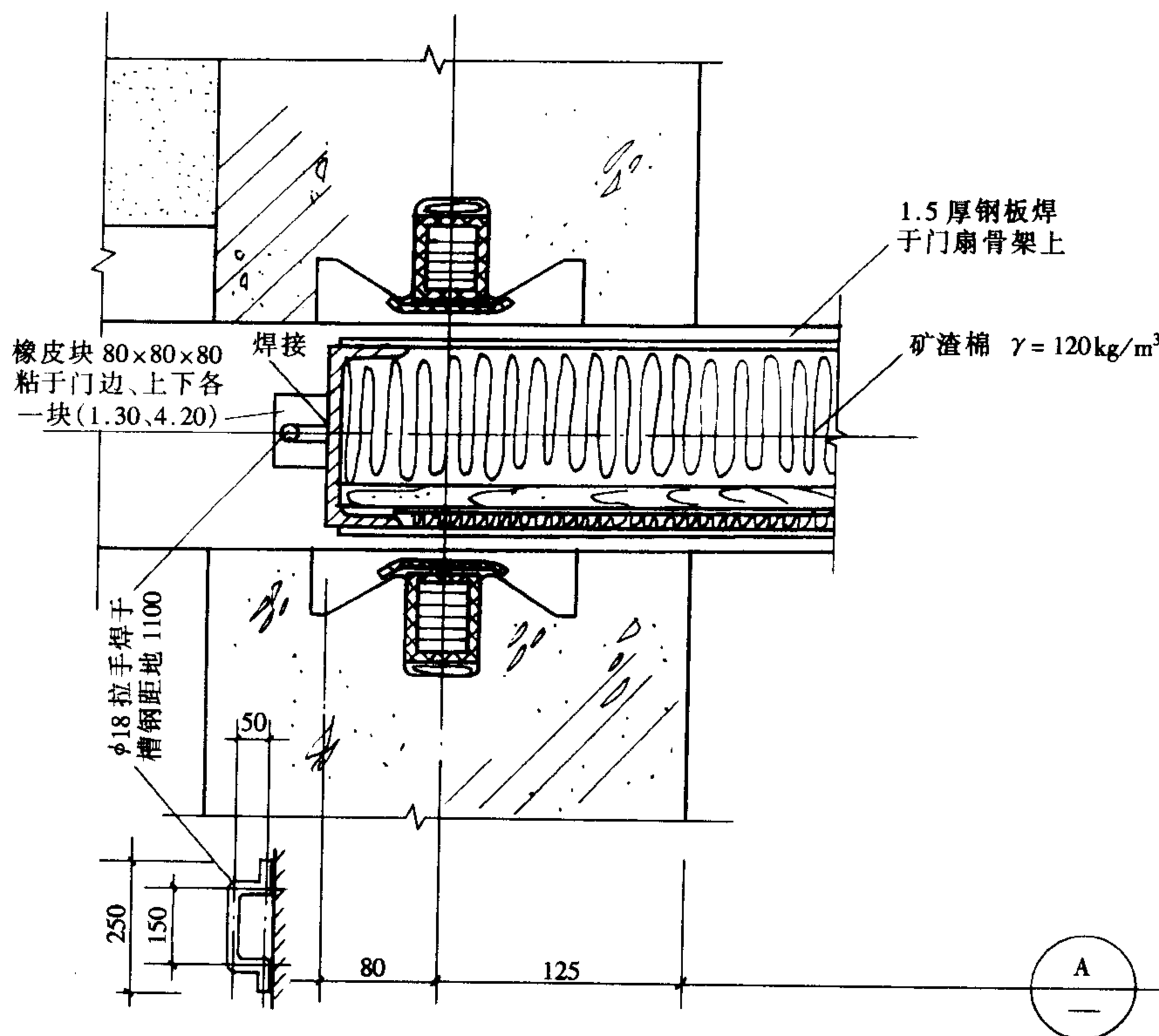


图 14-6 充气密封门详图

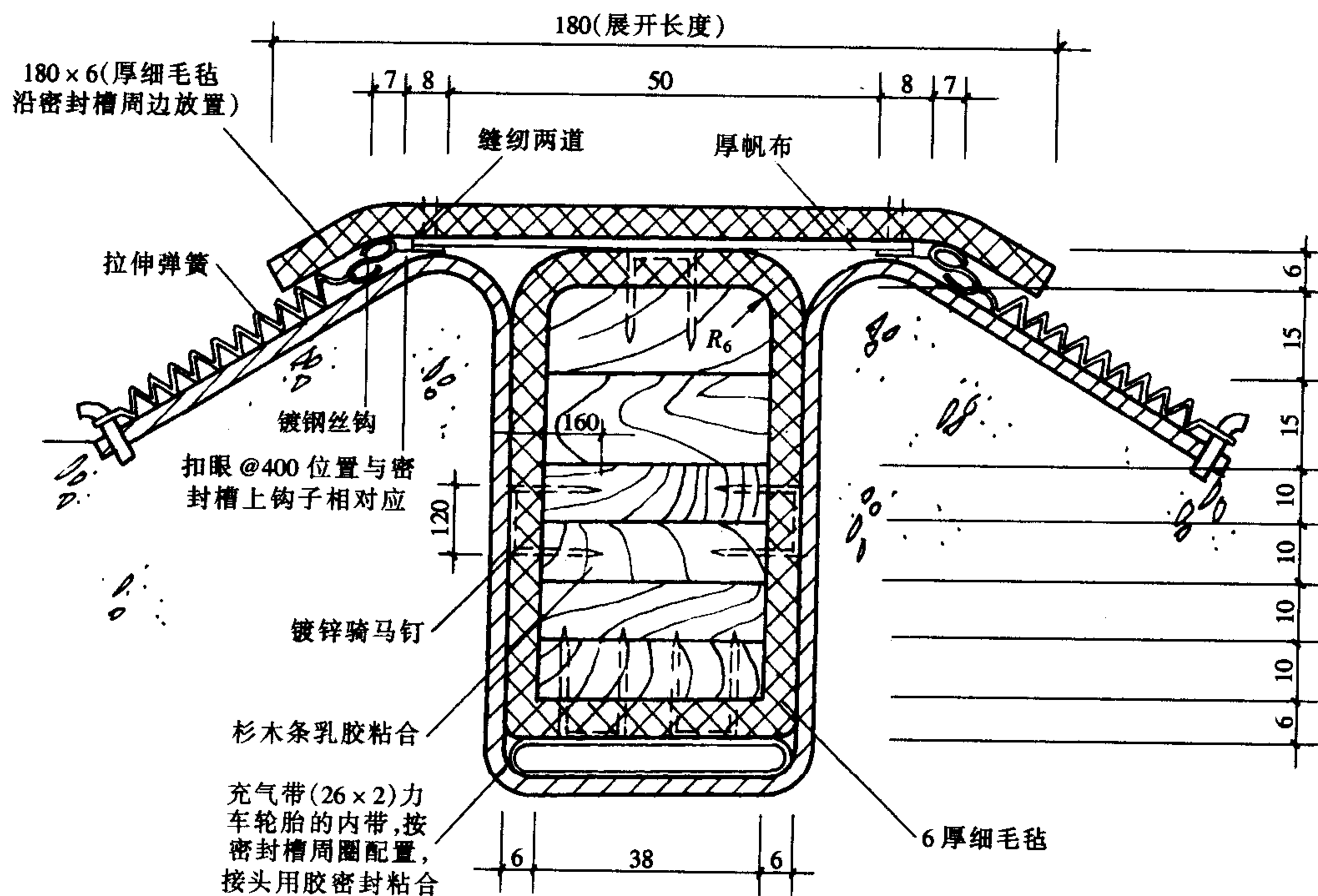


图 14-7 充气密封门密封槽作法

4. 充气密闭隔声门:

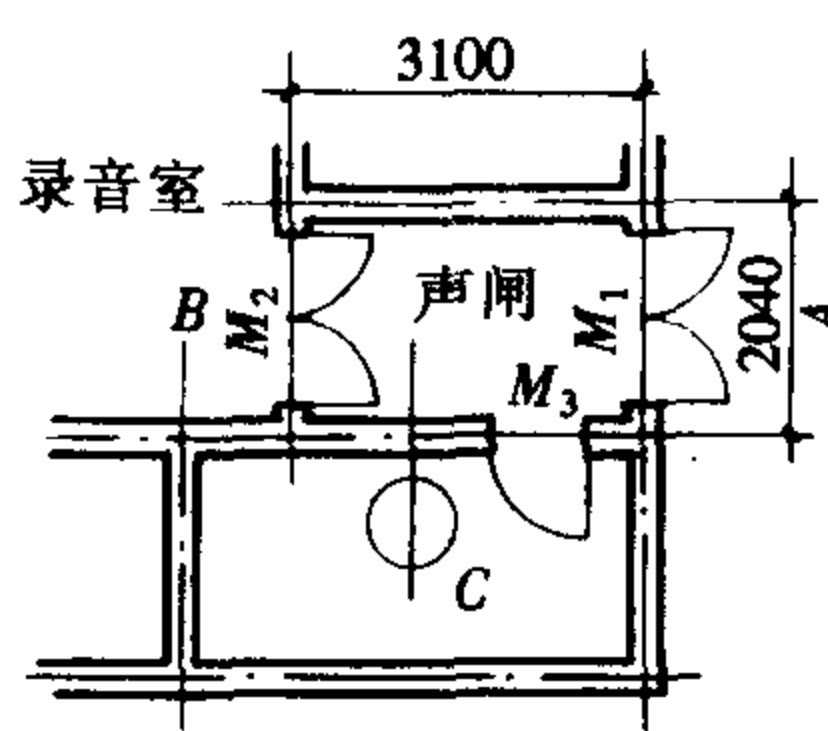
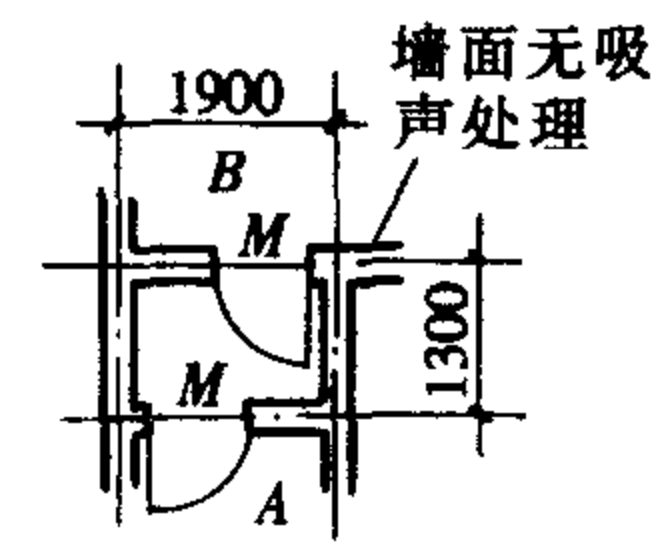
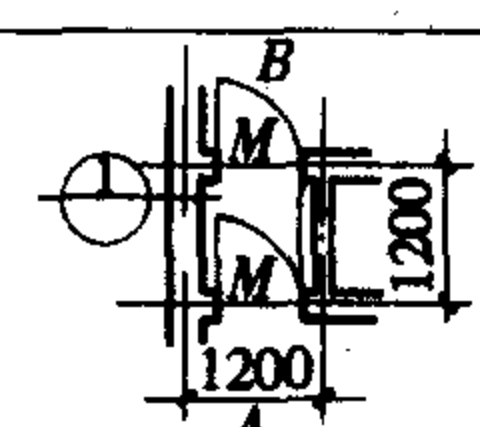
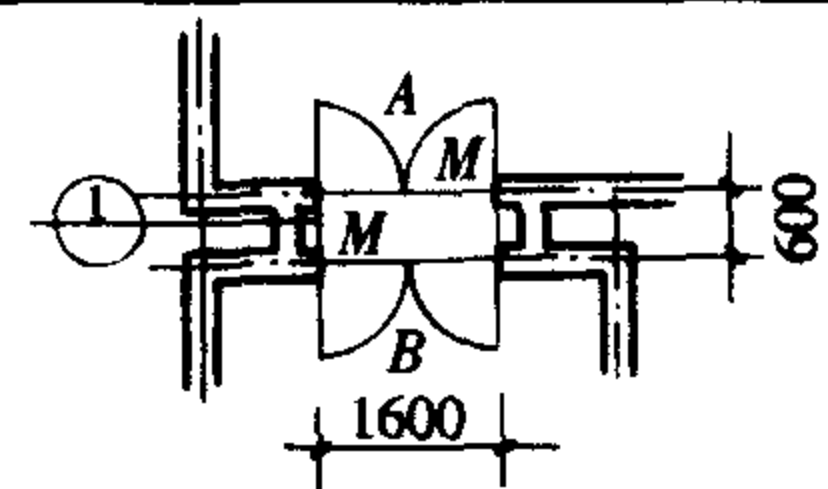
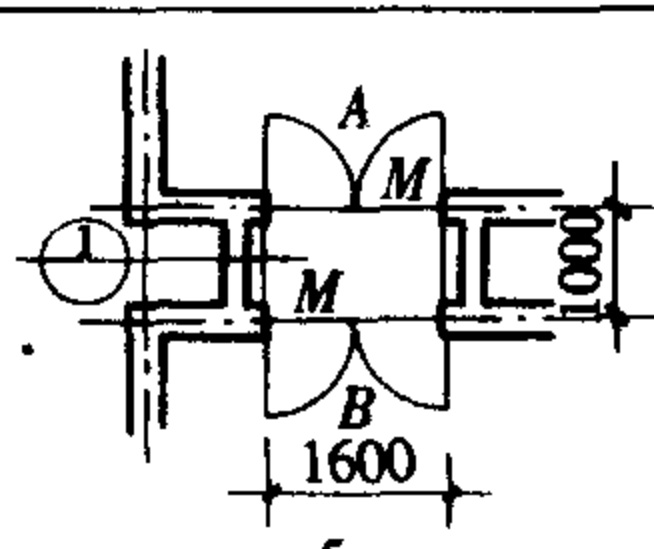
为了达到更好的隔声效果,可采用在门四周钢筋混凝土框架上做充气密封门,见图14-5、图14-6、图14-7,这种门隔声效果很好,可用在演播厅、录音棚、高噪声试车间、工厂车间测听室等处,以便很好地隔绝外部噪声的传入。

5. 声闸室设计及实例:

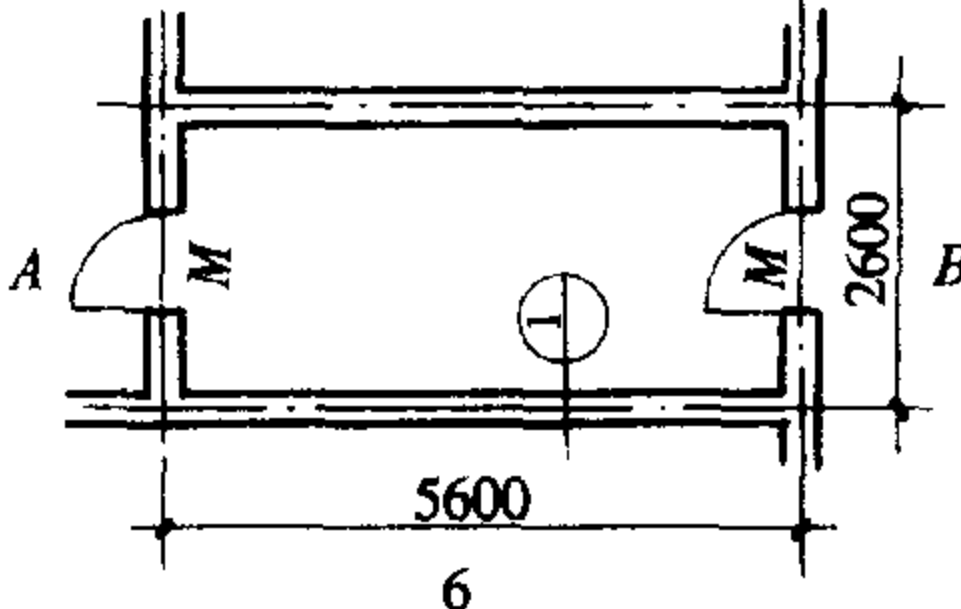
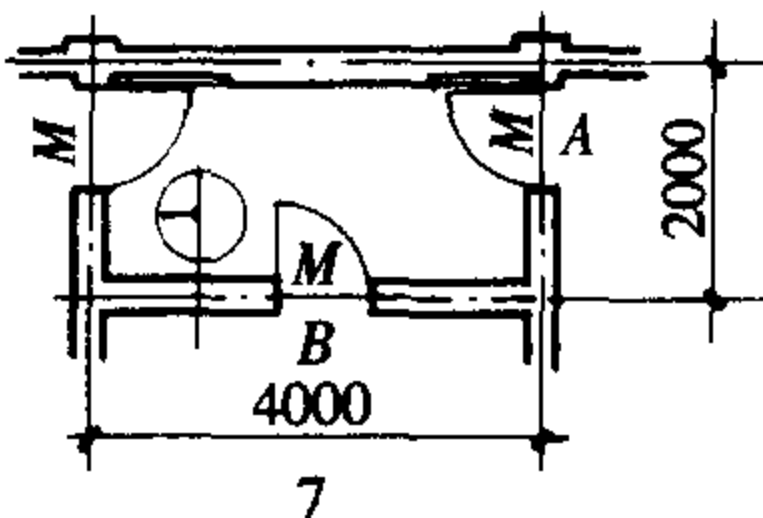
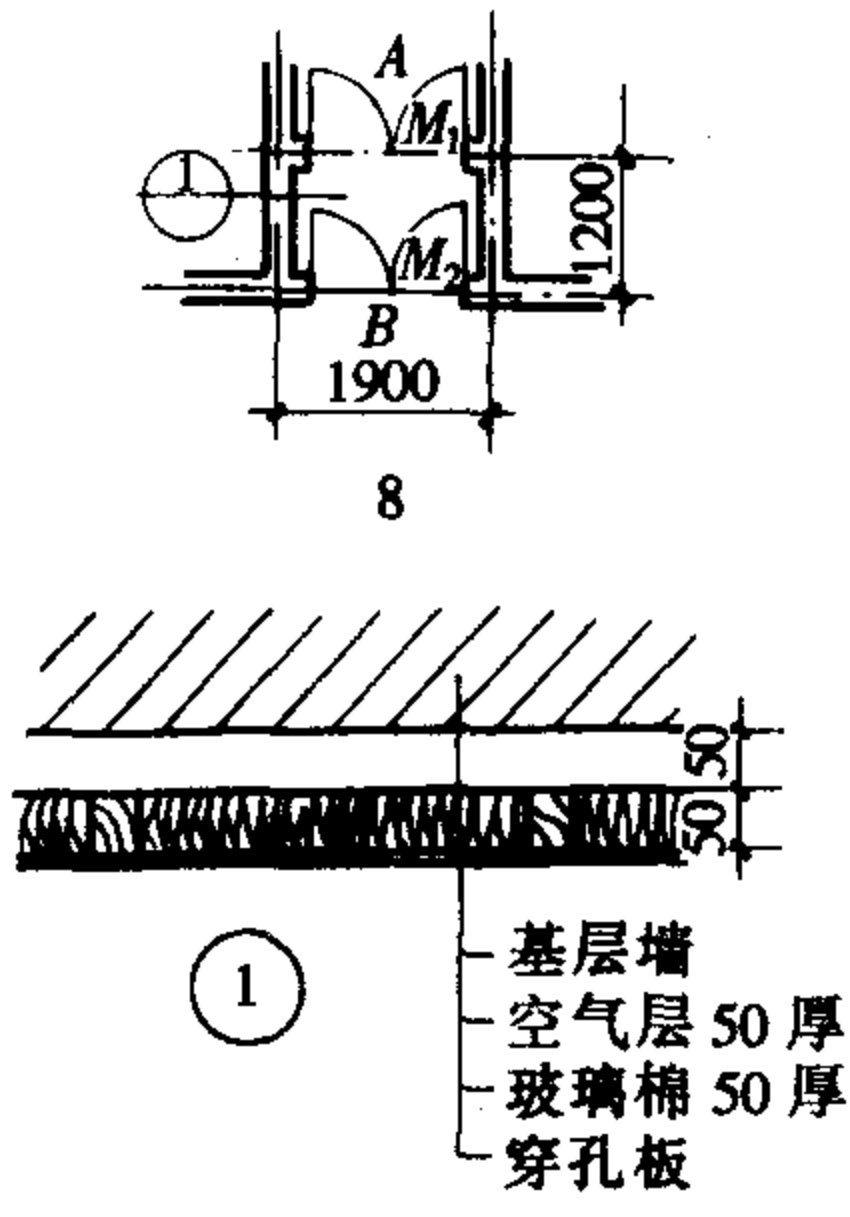
为了达到更好的隔声效果,还可以采用设置声闸的方法来提高门的隔声量,即设置双道门。在双道门之间形成隔声小室,即声闸室(声锁),并在声闸室内布置强吸声材料,声闸室的两道门前后位置应尽量错位布置,双道门的距离要大于100mm,声闸室不宜过大,其参考布置图及隔声效果可见表14-7。

“声闸”隔声性能实例

表 14-7

序号	门与声闸		倍频程隔声量 (dB)						平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)	附图
			125	250	500	1000	2000	4000			
1	门的隔声	M_1	23	27	25	31	35	36	29.5	30	
		M_2	16	12	17	19	29	30	20.5	20	
		M_3	21	20	22	29	35	36	27.2	27	
	声闸	$A \rightarrow B$	48	55	55	62	72	74	61	60	
		$A \rightarrow C$	51	57	63	71	78	80	66.7	68	
2	门 M		28	35	31	33	34	27	31.3	33	
	声闸 $A \rightarrow B$		44	50	43	47	56	64	50.7	48	
3	门 M		21	26	30	31	28	27	27	29	
	声闸 $A \rightarrow B$		44	51	60	62	57	57	55.2	58	
4	门 M		27	30	28	30	35	37	31.2	32	
	声闸 $A \rightarrow B$		47	48	55	59	67	71	57.8	58	
5	门 M		22	23	29	26	26	22	24.7	27	
	声闸 $A \rightarrow B$		45	44	52	48	50	55	49	50	

续表

序号	门与声闸	倍频程隔声量 (dB)						平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)	附图
		125	250	500	1000	2000	4000			
6	门 M	33	36	38	38	43	45	38.8	40	
	声闸 A→B	59	66	75	85	90	92	77.8	78	
7	门 M	25	31	29	27	24	25	26.8	25	
	声闸 A→B	30.5	34	41	52	53	54	44.1	46	
8	门 M ₁	24	17	28	38	51	58.5	35.9	31	
	门 M ₂	26	27.5	31	32	41	53	35.0	34	
	声闸 A→B	37	44	55	70.5	70.5	79	60.0	58	
	门缝气带充气后	门 M ₁	28	26	32	40	52	59.5	39.0	
		门 M ₂	28	31	34	36	43	57	38.2	
		声闸 A→B	41	46	56	71.5	71.5	80	61.5	

注：表中所列数据为现场测量所得之声压级差。

声闸室附加的隔声量可采用下式计算：

$$R = 10\lg \frac{1}{S \left(\frac{\cos \theta}{2\pi d^2} + \frac{1 - \bar{\alpha}}{A} \right)} \quad (14-1)$$

式中 S 为门扇面积 (m^2)， θ 、 d 见图 14-9， $\bar{\alpha}$ 为小室内表面平均吸声系数， A 为小室内总吸声量。声从噪声发声室（或室外）透过声闸室传播至另一室的总隔声量为：两道门各自的隔声量加上由于设置声闸室而附加的隔声量（用式 (14-1) 计算）的和。

6. 普通门的隔声量：

表 14-8 为又一组普通木门的隔声数据。

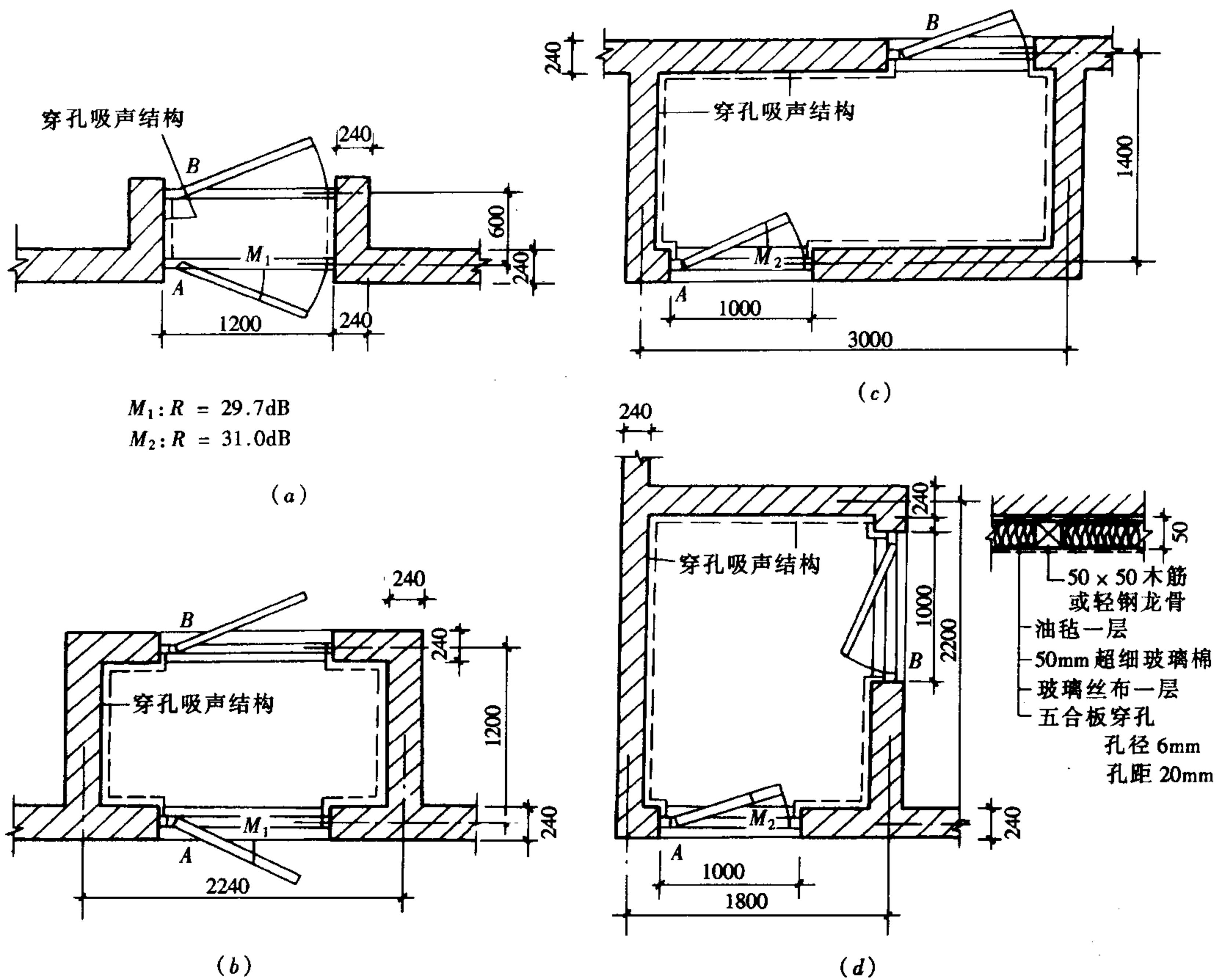
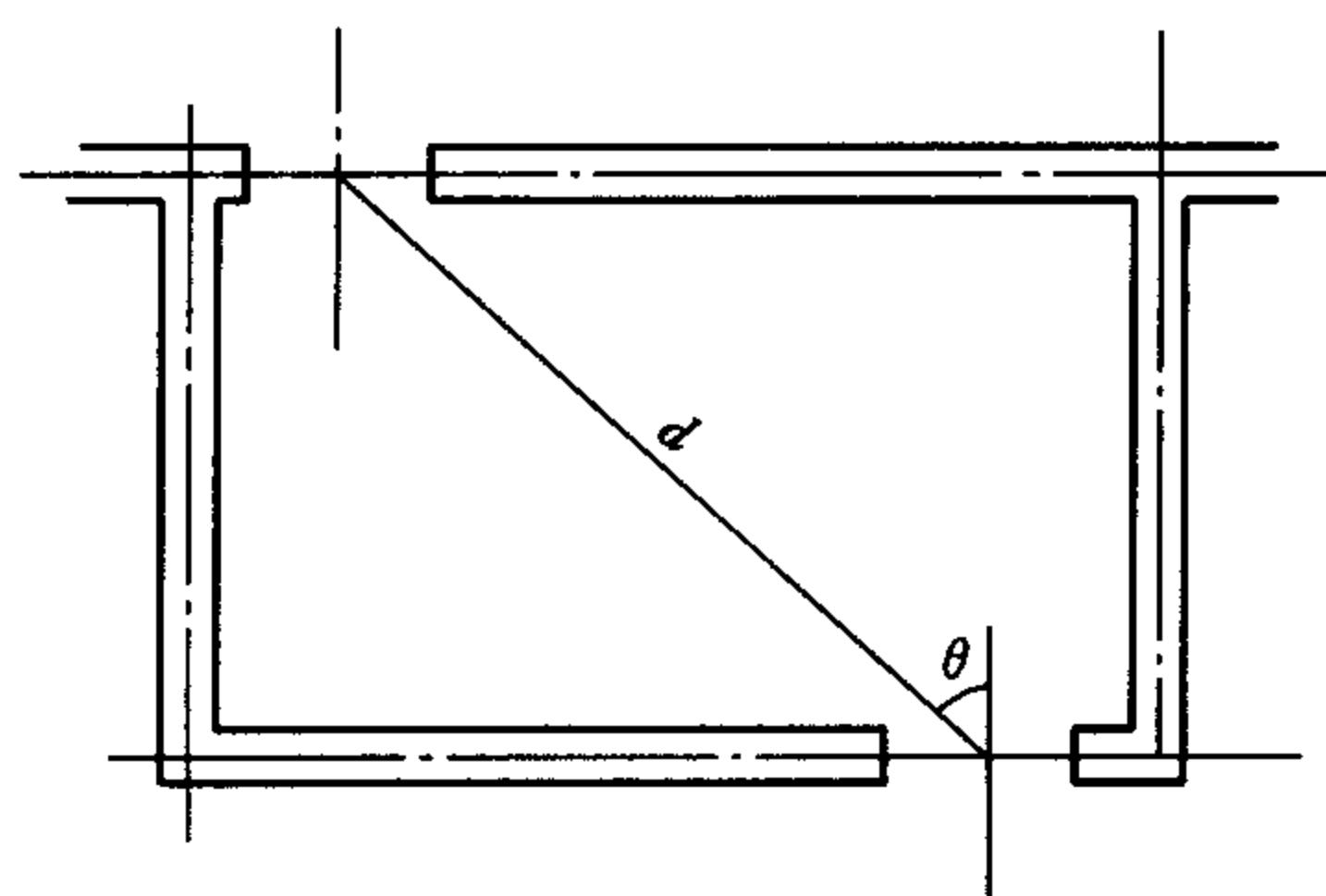


图 14-8 4 种声锁的形式



$\bar{\alpha}$ —声闸内表面平均吸声系数;
 d —两门之中心距离 (m);
 θ —直线 d 与门的法线之夹角。

图 14-9 声闸计算简图

普通木门的隔声量 (dB)

表 14-8

构 造	门扇周围 的结合条件	倍频程中心频率 (Hz)								平 均 隔声量
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
嵌板门	无压紧垫	7	12	14	16	22	22	20	—	16
	有橡皮压紧垫	12	18	19	23	30	33	32	—	24

续表

构 造	门扇周围 的结合条件	倍频程中心频率 (Hz)								平 均 隔声量
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
平板门	无压紧垫	17	22	23	24	24	24	23	—	23
	有橡皮压紧垫	22	27	27	32	35	34	35	—	32
层板门 (填充玻璃棉)	无压紧垫	17	25	26	30	31	28	29	—	28
	有橡皮压紧垫	23	28	30	33	36	32	30	—	32
层板门 (填充矿棉毡)	无压紧垫	—	24	24	28	27	25	24	—	25
	有橡皮压紧垫	—	28	28	32	34	32	32	—	31

(摘引自《噪声与振动的控制》，中国铁道出版社，1981.)

第三节 窗 的 隔 声

在外围护结构隔声设计中，窗的隔声显得十分重要，因为它与室外相通，是隔声的薄弱环节。窗的隔声与门一样，主要取决于玻璃的厚度和窗扇之间与框之间的密封程度，过去多年来设计中常用的木窗、钢窗（高档的隔声量 $\geq 30\text{dB}$ ，普通的仅为 $\geq 25\text{dB}$ 。），如今已很少使用。当前，我国窗材料使用比较多的是塑钢窗（也有少量的塑料窗），包括塑钢中空玻璃窗、中空玻璃幕墙，如果是正式厂家生产，同时安装得又符合质量标准，一般计权隔声量可达到 30dB 左右。窗的设计应掌握以下几点：

1. 常用单双层窗的隔声：

依据质量定律，厚玻璃比薄玻璃隔声量大，但是一味地加大玻璃厚度也不是完美的设计。单双层玻璃窗的隔声参考值见表 14-9，图 14-10。

2. 中空玻璃窗的隔声：

目前建筑设计中广泛采用的 $5+6+5$ 或 $6+9+6$ ，即中空 6mm 或者 9mm 空气层的中空玻璃窗，如此薄的空气层对于隔声量的增加基本无作用，即 $5+6+5$ 基本相当于 $5+5=10\text{mm}$ 厚的单层玻璃的隔声量，而 $6+9+6$ 则仅相当于 $6+6=12\text{mm}$ 厚的单层玻璃的隔声量。

普通单层玻璃窗的隔声量

表 14-9

窗面积 (m^2)	玻璃厚度 (mm)	倍频程隔声量 (dB)						平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)
		125	250	500	1000	2000	4000		
2	3	21	22	23	27	30	30	25.5	27
3	4	22	24	28	30	32	29	27.5	29
3	6	25	27	29	34	29	30	29.0	29
2	8	31	28	31	32	30	37	30.5	31
2	10	32	31	32	32	32	38	32.8	32
2	12	32	31	32	33	33	41	33.7	33
2	15	36	33	33	28	39	41	35.0	30

窗 的 隔 声 量 (dB)

表 14-10

构 造	窗扇周围 的接合条件	倍频程中心频率 (Hz)								平 均 隔声量
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
单层玻璃窗 玻璃厚度 3mm	无压紧垫	8	12	16	18	20	22	20	—	17
		12	18	18	20	23	25	25	—	20
单层有机玻璃窗 有机玻璃厚度 4mm	有压紧垫	13	17	21	25	29	33	36	30	27
	同上	18	23	26	31	34	34	32	40	31.5
	同上	22	30	32	35	35	33	38	45	34
	同上	30	35	34	35	40	40	48	—	39
双层玻璃窗 3mm + 100mm + 3mm	周围密封	—	—	—	—	—	—	—	—	37
	同上	—	—	—	—	—	—	—	—	41
	同上	—	—	—	—	—	—	—	—	38
	同上	—	—	—	—	—	—	—	—	42.5
双层有机玻璃窗 36mm + 100mm + 10mm	周围密封	22	31	41	50	60	62	70	70	51
	同上	22	32	43	53	61	64	70	70	52

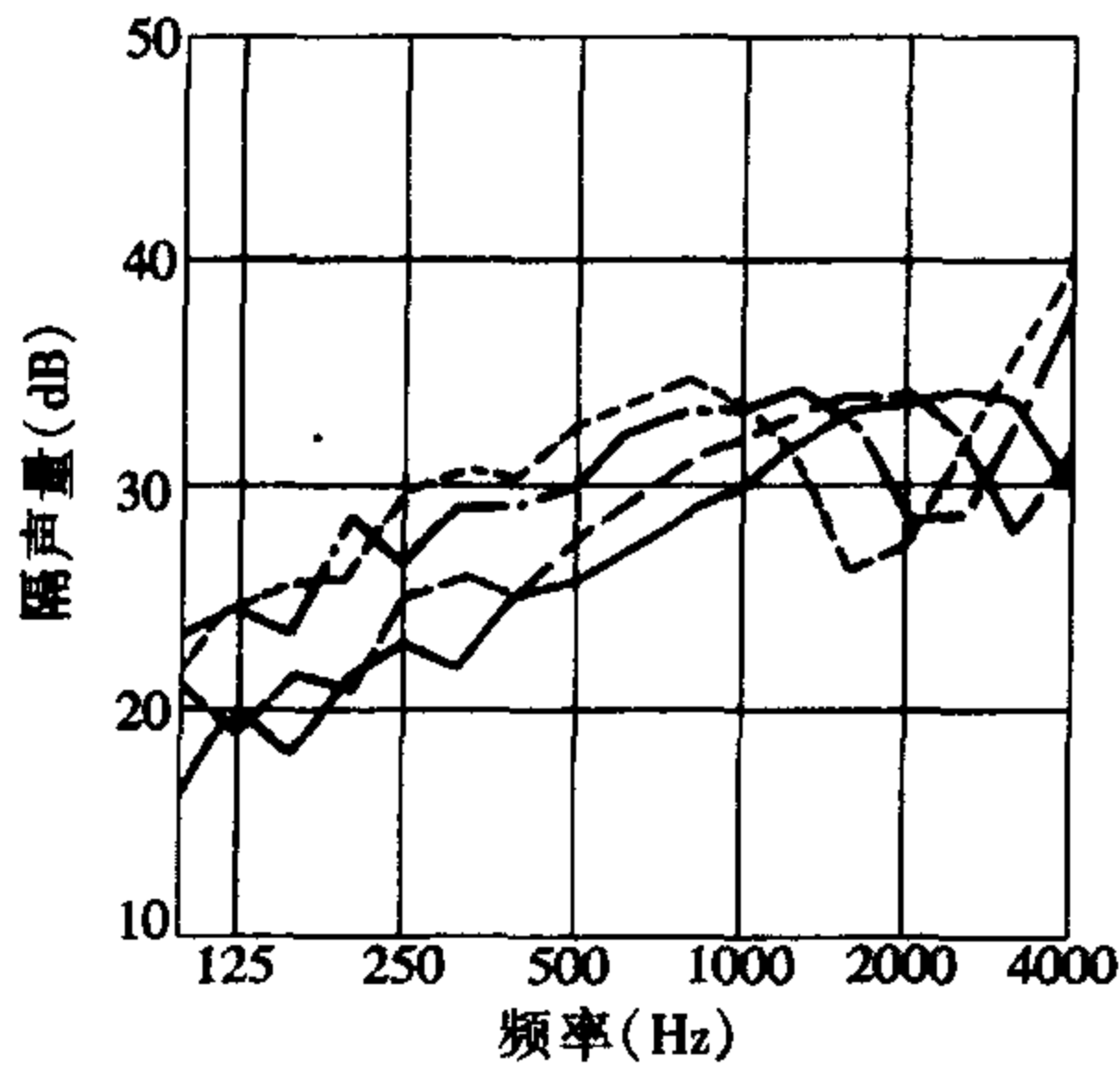
(摘引自：《噪声与振动的控制》，中国铁道出版社，1981.)

普通双层玻璃窗的隔声量

表 14-11

窗面积 (m ²)	双层窗的组合玻璃厚/空气 层厚/玻璃厚 (mm)	倍频程隔声量 (dB)						平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)
		125	250	500	1000	2000	4000		
1.9	3/8/3	17	24	25	30	38	38	28.7	30
1.9	3/32/3	18	28	36	41	36	40	33.2	36
* 1.8	3/100/3	24	34	41	46	52	55	42	43
* 3.0	3/200/3	36	29	43	51	46	47	42	41
1.13	4/8/4	20	19	22	35	41	37	29	27
* 1.8	4/100/4	29	35	41	46	52	43	41	44
* 3.0	4/254/4	31	41	50	50	51	44	44.5	45
3.8	6/10/6	22	21	28	36	30	32	28.2	30
* 1.8	6/100/6	32	38	40	45	50	42	41.2	43
1.8	6/100/3	26	32	39	39	46	47	38.2	41
* 1.8	6/100/3	30	35	41	46	51	54	42.8	45

注：表中有 * 者为边框有吸声处理的双层窗。



图例	玻璃厚度 (mm)	平均隔声量 (dB)
——	3	26
----	4	27
- · - ·	6	30
----	8	31

图 14-10 单层玻璃的隔声量

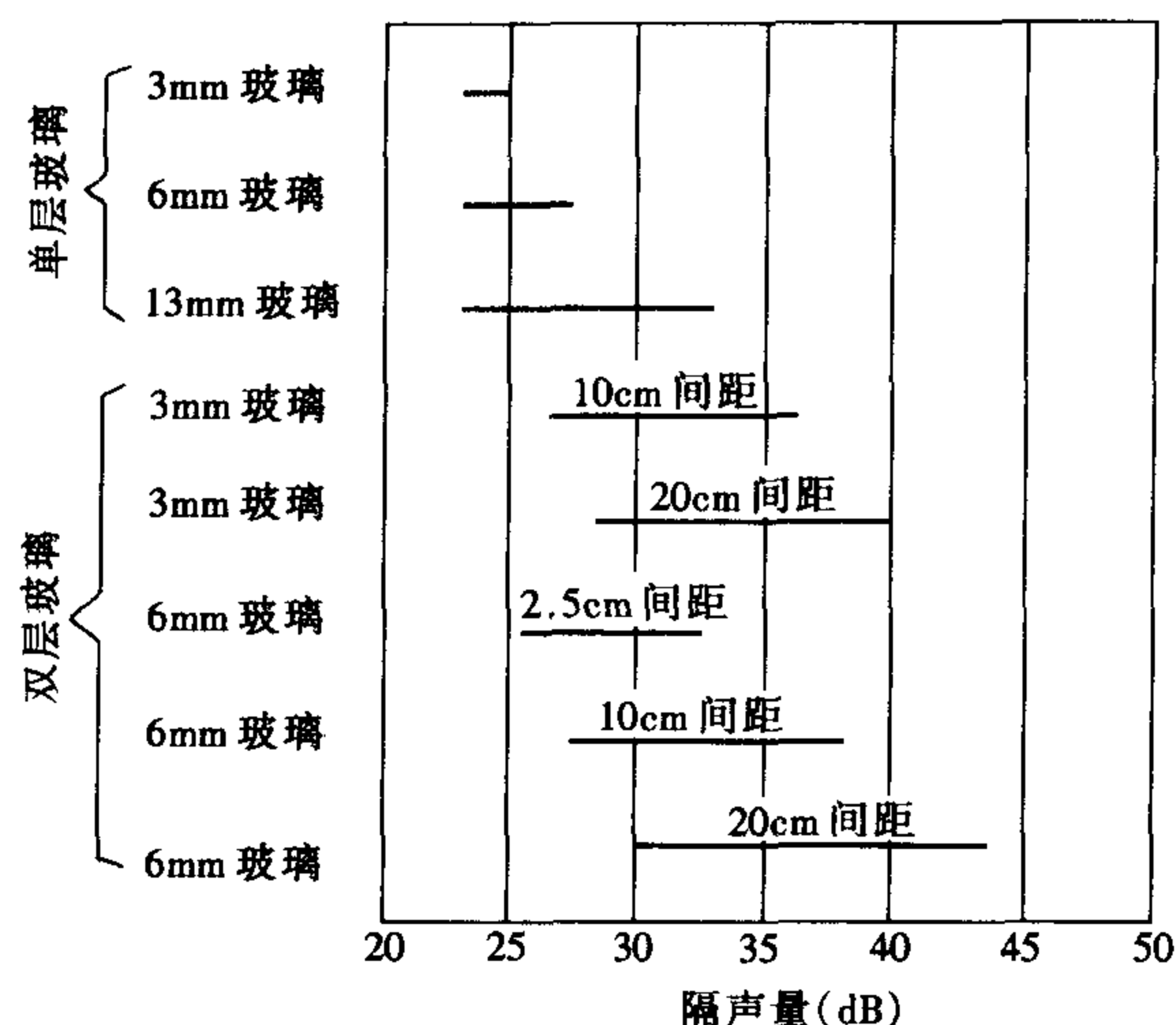
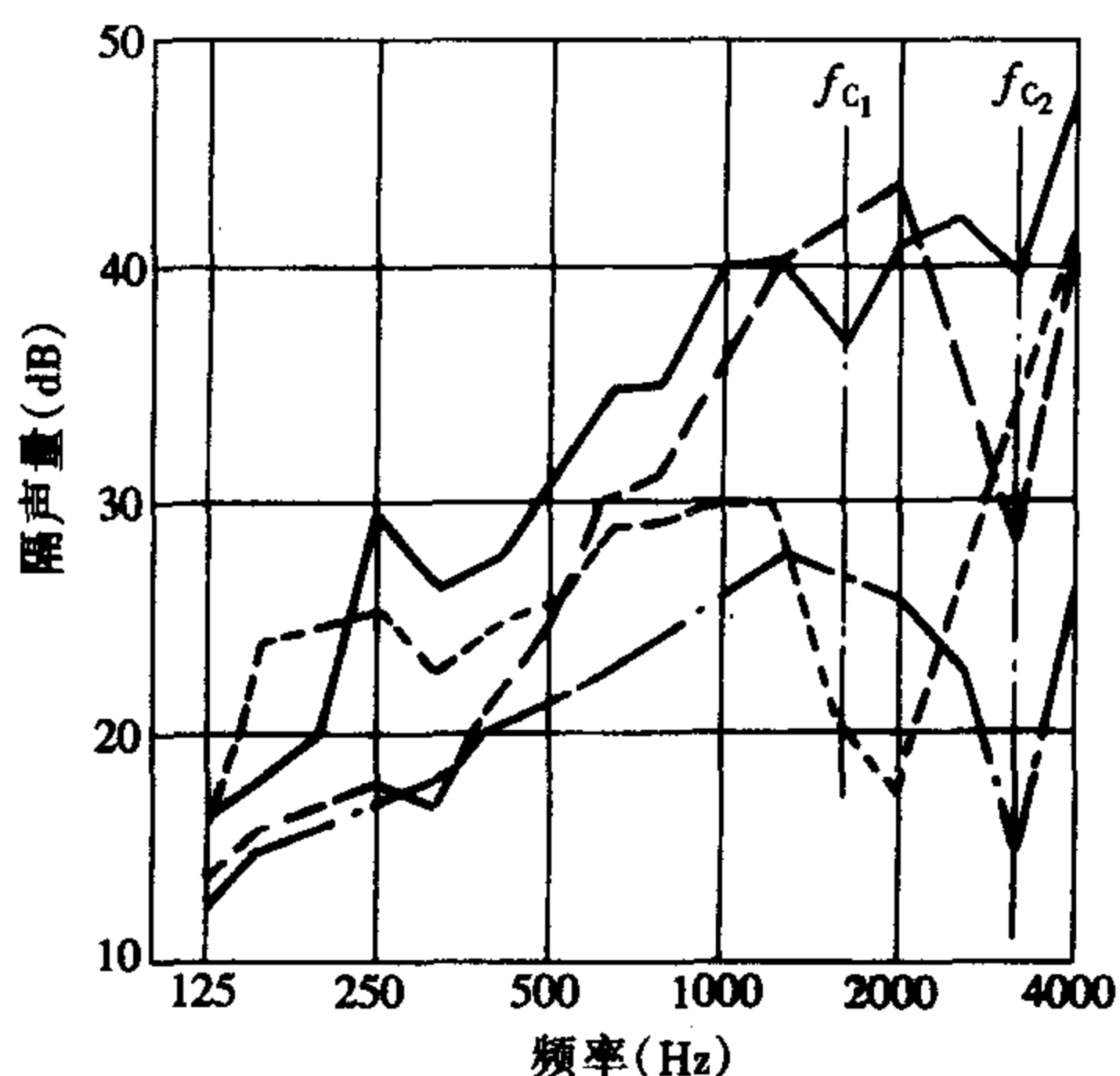


图 14-11 玻璃窗的隔声范围

说明：线段左端对应隔声量数值是可以开启的窗，右端对应的数值是固定的窗



图例	玻璃层数	玻璃厚度 (mm)	平均隔声量 (dB)
——	双层	4 + 8	32.8
----	双层	4 + 4	28.5
.....	单层	8	26.4
— · — ·	单层	4	21.1

图 14-12 不同厚度的玻璃组合后隔声量的变化

3. 双层窗空气层厚度对隔声的影响：

加大空气层厚度的双层玻璃窗，由于空气层的厚度比较大，使窗的隔声量可大幅度增加，但双层窗的设计要注意空气层的厚度须大于 100mm 为好，一般地说可取 80 ~ 200mm，既经济可行、又能达到较佳的隔声效果。由表 14-10，14-11 可知，双层玻璃窗 6 + 100 + 6 平均隔声量可为 38 ~ 41dB，而 6 + 200 + 6 时则可达 42.5dB。参见图 14-10、14-11。

4. 吻合效应和共振对窗隔声的影响：

对双层窗的设计还应注意吻合效应和共振的影响，为了避免或减弱吻合效应而降低隔声量，双层窗的两层玻璃厚度最好设计得不一样，同时条件许可时，应尽量有一层倾斜设计。双层窗在入射声波的低频区易受共振影响从而降低隔声量。当前，建筑师在设计中常采用的中空塑钢窗 5 + 6 + 5 或 6 + 9 + 6，其共振频率经计算分别是 $f_r = 310\text{Hz}$ 和 $f_r = 230\text{Hz}$ ，正是在敏感的低频声频区。

双层窗的共振频率计算式为：

$$f_r = \frac{120}{\sqrt{0.25d(t_1 + t_2)}}$$

(14-2)

式中 d 为空气层厚度 cm，一般应大于 100mm 才能使共振频率 f_r 低于 100Hz 敏感声频低限。 t_1 、 t_2 分别为各层玻璃厚度 cm，见图 14-13。

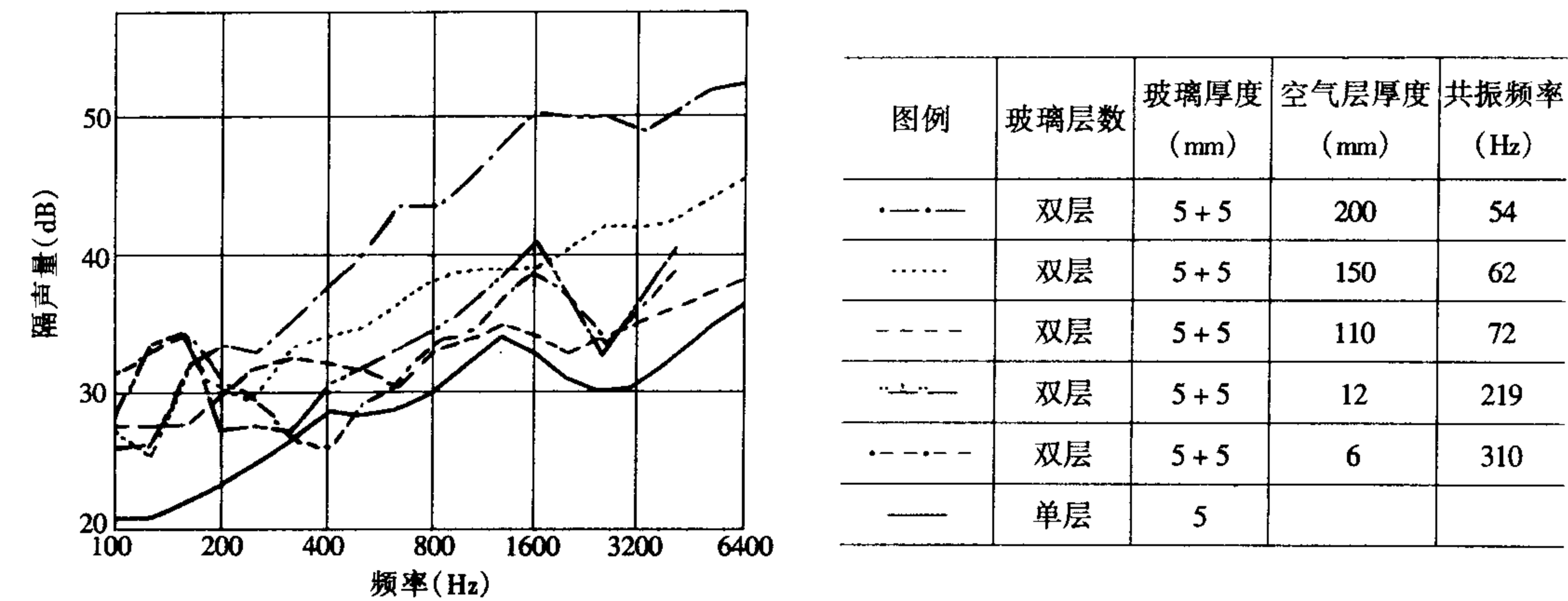


图 14-13 双层窗空气层厚度与共振频率的关系

一般说，当入射声波为中低频时，玻璃的隔声量由面密度控制，但曲线的斜率低于质量定律，约为 4dB/oct，而在高频易受吻合效应的影响，隔声量下降谷的深度约为 10dB。6mm 厚玻璃 $f_c = 2000\text{Hz}$ ，3mm 厚玻璃 $f_c = 4000\text{Hz}$ ，计算公式前已述为 $f_c = 1200/t$ ， t 为玻璃厚度，单位为 cm。

5. 窗缝隙处理及实例：

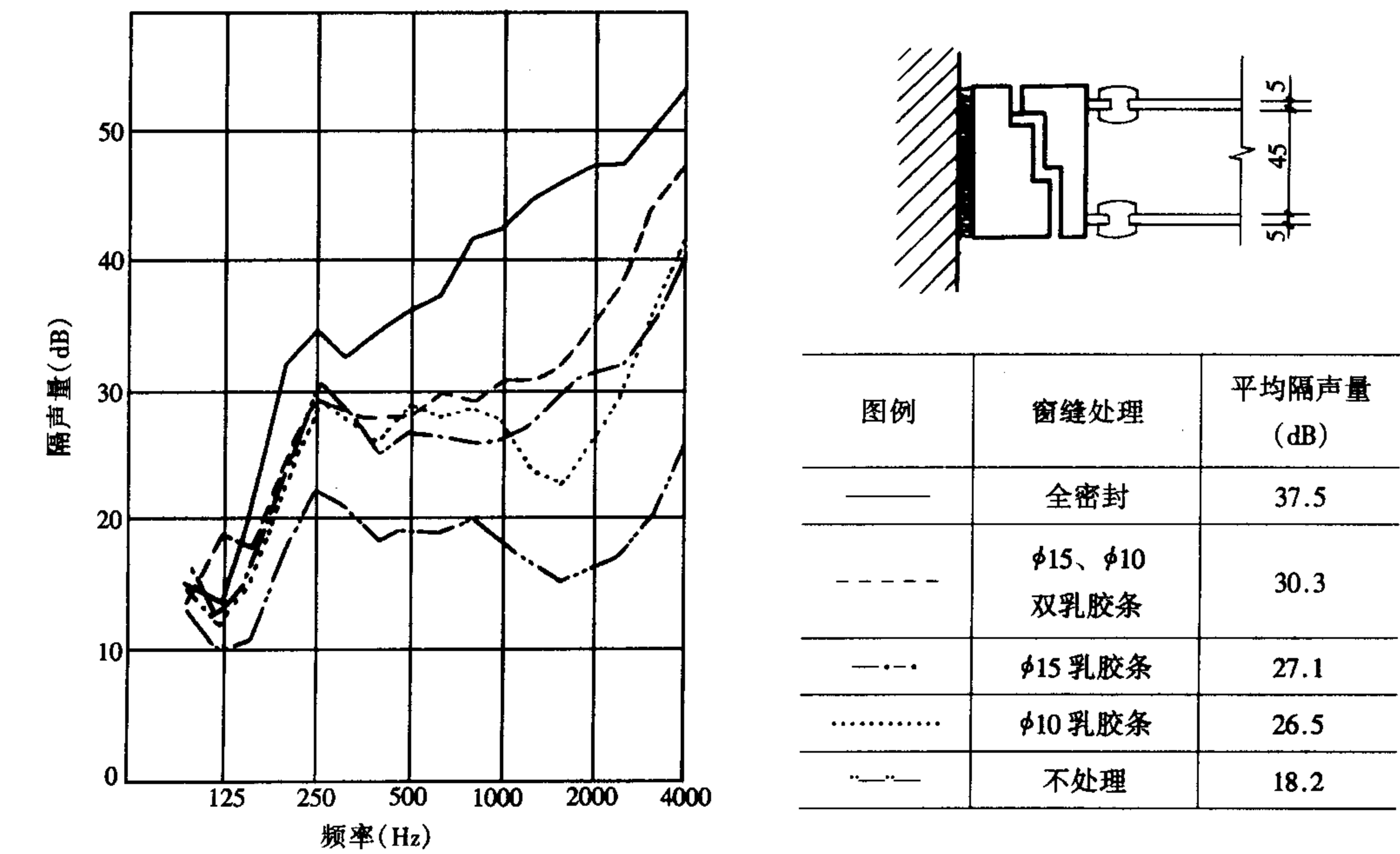
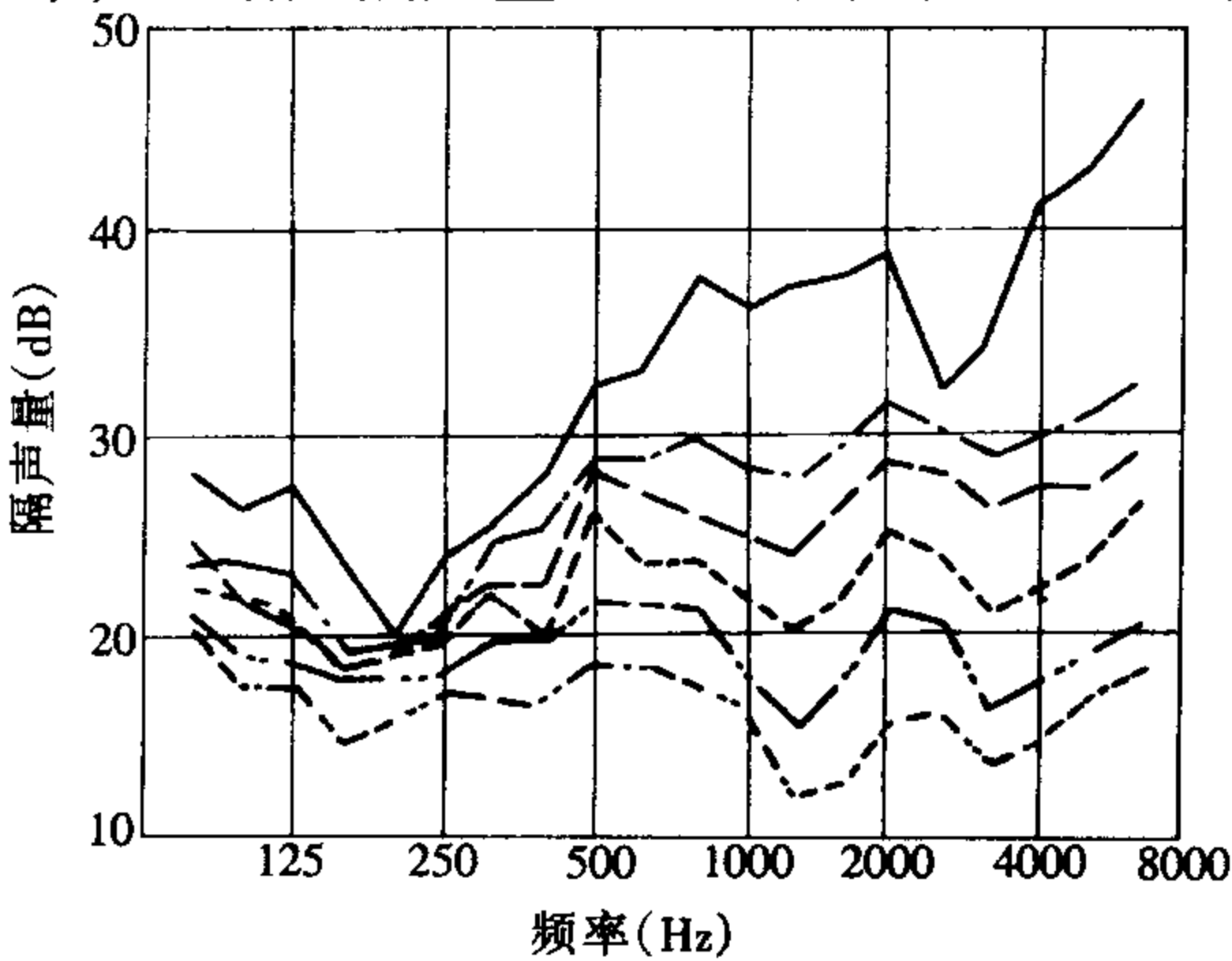


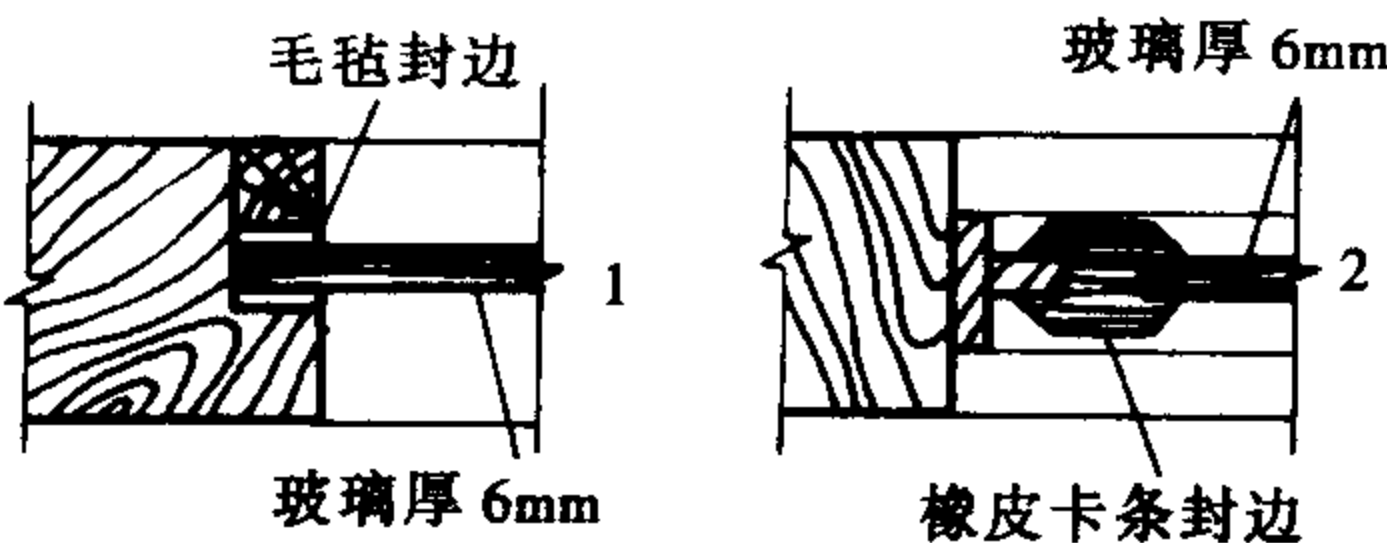
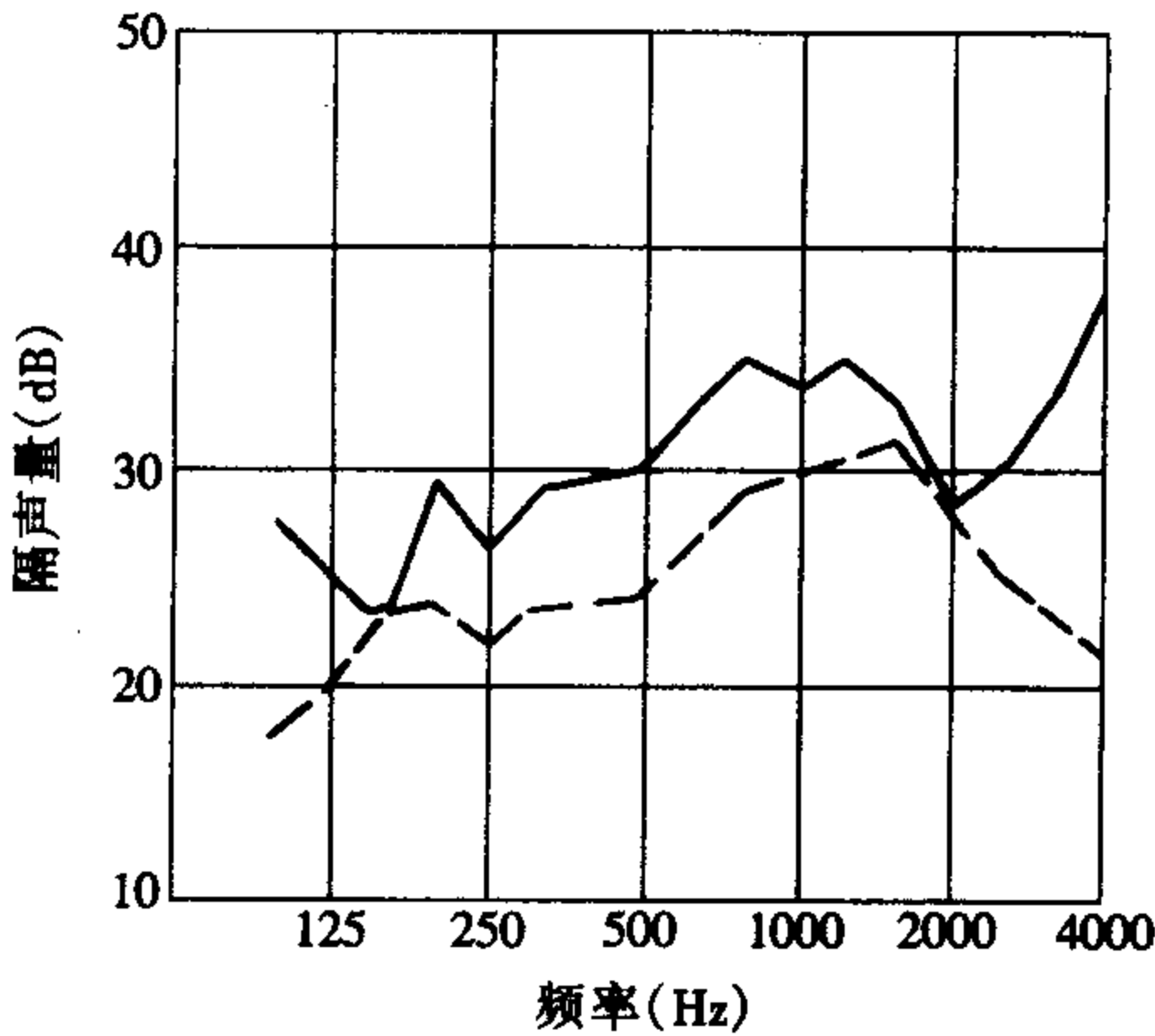
图 14-14 窗缝密封程度不同对隔声的影响

缝隙对窗的隔声影响如同门一样，对要求高的隔声窗可在玻璃四周用弹性材料如橡皮条衬垫，并在两层窗之间的四周作吸声处理，填放多孔吸声材料如海绵、超细棉、岩棉、纤维棉、毛毡、软木、橡胶等既可减振，又能降低噪声的传递，一般说这些压紧垫如果处理得好，可增加隔声量 4~6dB。见图 14-14~图 14-19。



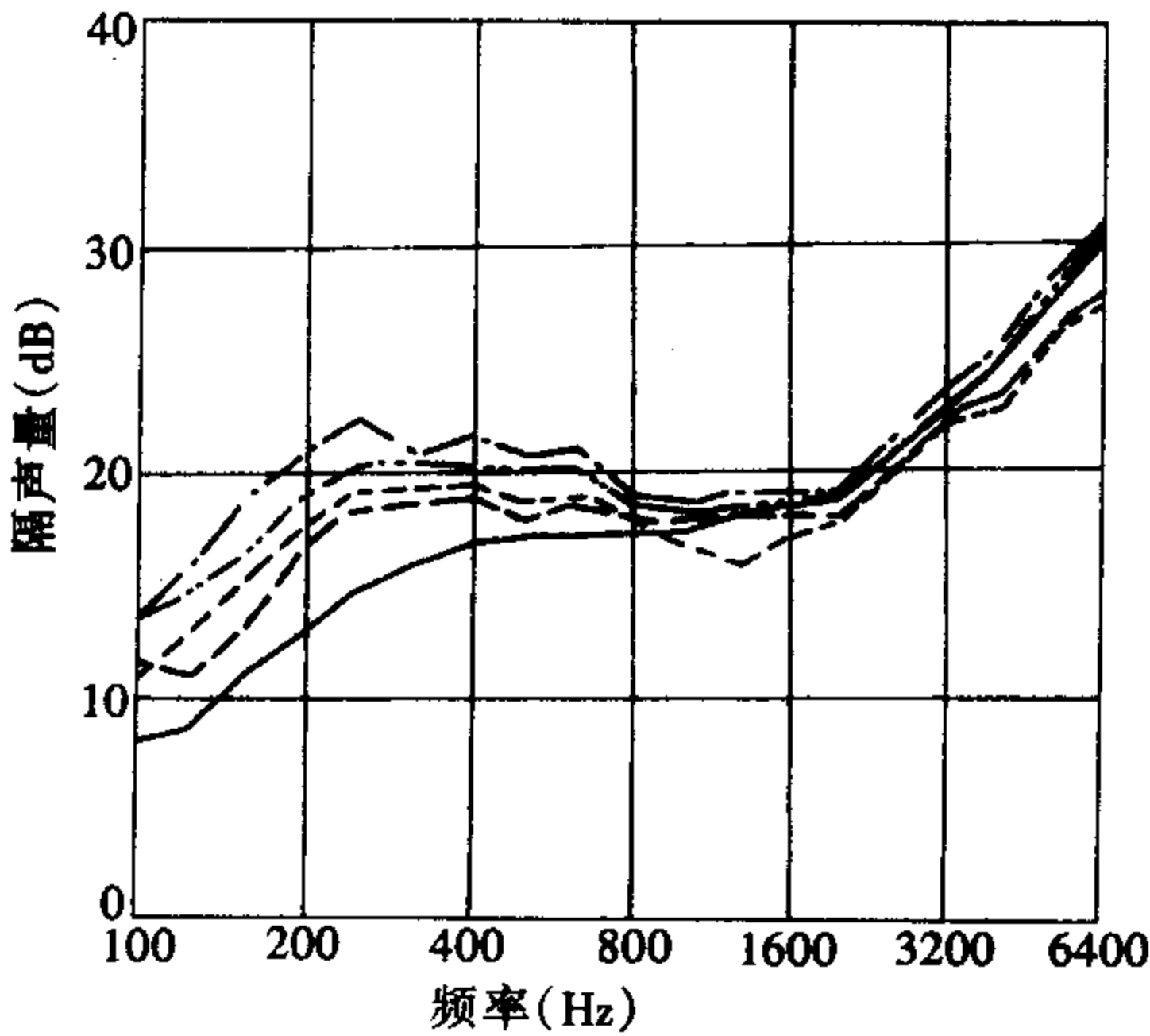
图例	窗缝宽 (mm)	窗缝长	隔声指数 (dB)
··· ··	0.8	长半周	29
-----	0.8	长一周	26
.....	1.6	长一周	23
····· ··	3.2	长一周	19
····· ··	6.4	长一周	15
————	窗缝全密封		34

图 14-15 窗缝面积不同时隔声量的变化（单层玻璃窗，面积 1.8m×1.5m）



玻璃安装方法不同对隔声的影响
1——玻璃用毛毡封边，平均隔声量 30.3dB；
2——玻璃用橡皮卡条封边，平均隔声量 25.1dB

图 14-16 玻璃安装方法不同对隔声的影响
1—玻璃用毛毡封边，平均隔声量 30.3dB；2—玻璃用橡皮卡条封边，平均隔声量 25.1dB



图例	玻璃厚度 (mm)
————	2
-----	3
.....	4
····· ··	5
····· ··	6.5 钢丝玻璃

图 14-17 窗缝不作处理时的隔声量

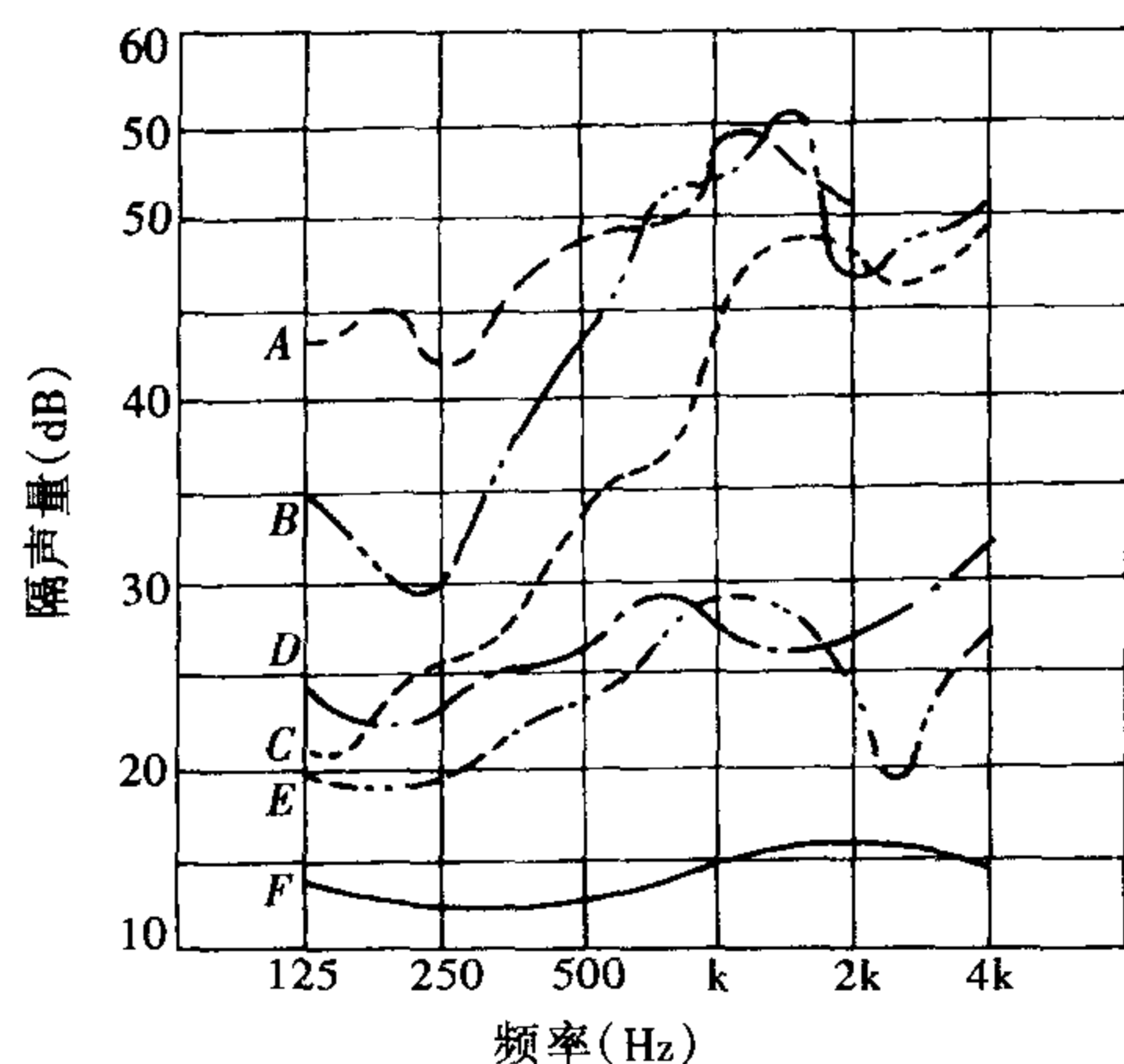


图 14-18 各种密封窗的隔声量
A—13mm 厚玻璃, 200 厚空气层的双层窗;
B—3mm 厚玻璃, 200 厚空气层的双层窗;
C—3mm 厚玻璃, 100 厚空气层的双层窗;
D—13mm 厚玻璃的单层窗; E—3mm 厚玻璃单层窗;
F—窗户打开; A、B、C 的窗玻璃有吸声环垫

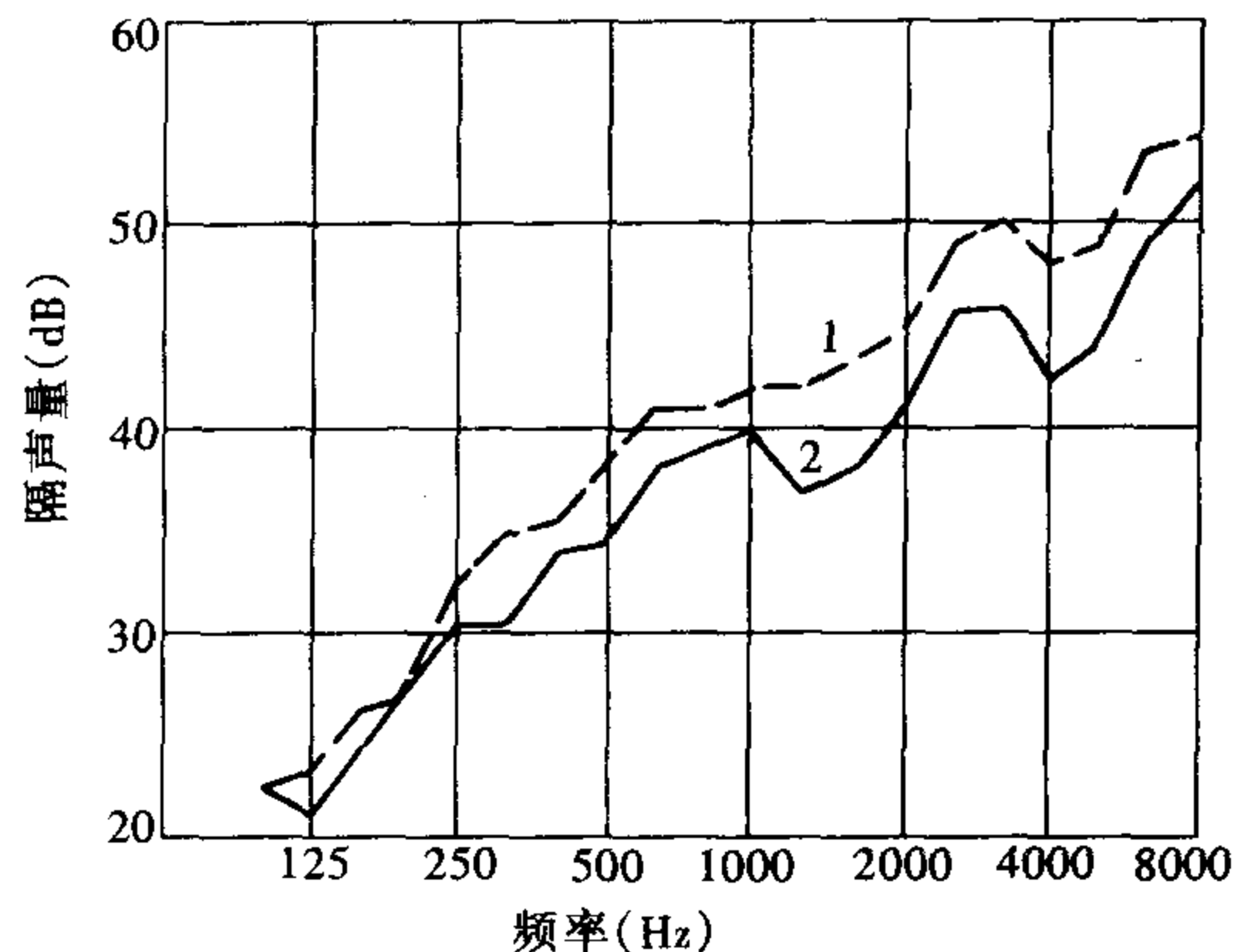
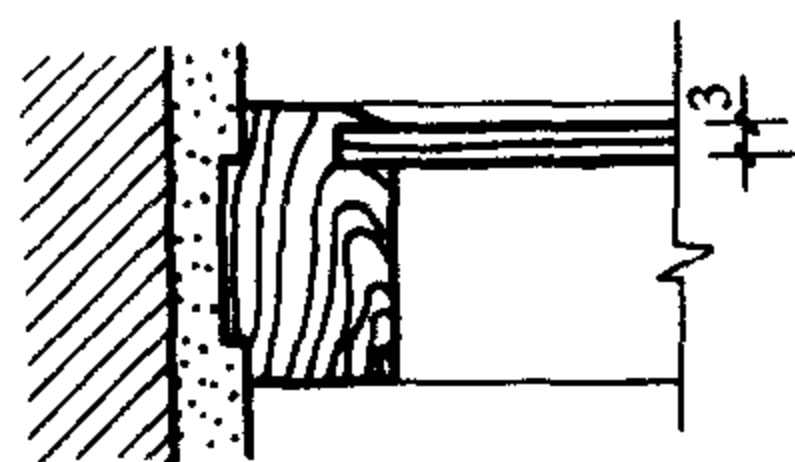


图 14-19 窗框作吸声处理后隔声量的变化
1—边框用吸声材料; 2—边框不用吸声材料

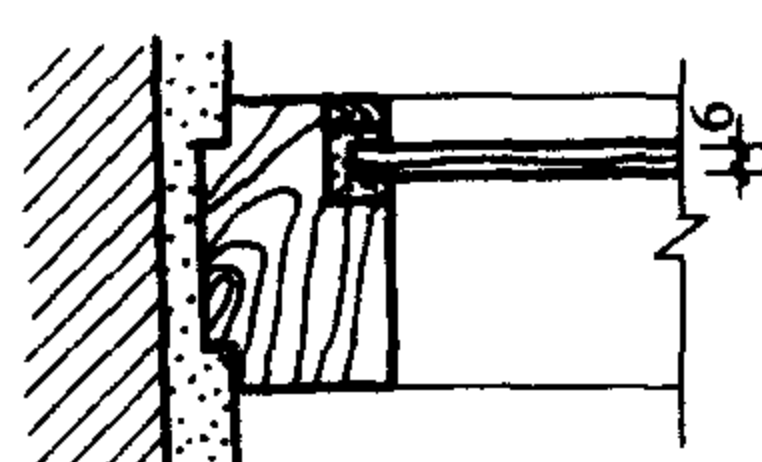
窗 隔 声 量 实 测

表 14-12

序号	窗种类	窗扇材料	窗缝处理	窗框吸声处理	玻璃厚度 (mm)	空气层厚度 (mm)	倍频程隔声量 (dB)						平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)	说 明
							125	250	500	1000	2000	4000			
1	单层平开窗	木	无	—	3	—	20.0	21.5	20.0	21.0	23.5	24.5	21.8	22	普通标准木窗
2	单层固定窗	木	—	—	3	—	20.4	23.0	25.5	29.8	34.0	29.5	26.8	30	
3	单层固定窗	木	—	—	6	—	24.9	26.3	30.5	34.2	27.8	37.7	30.3	32	



窗2 (窗面积1150×1600)

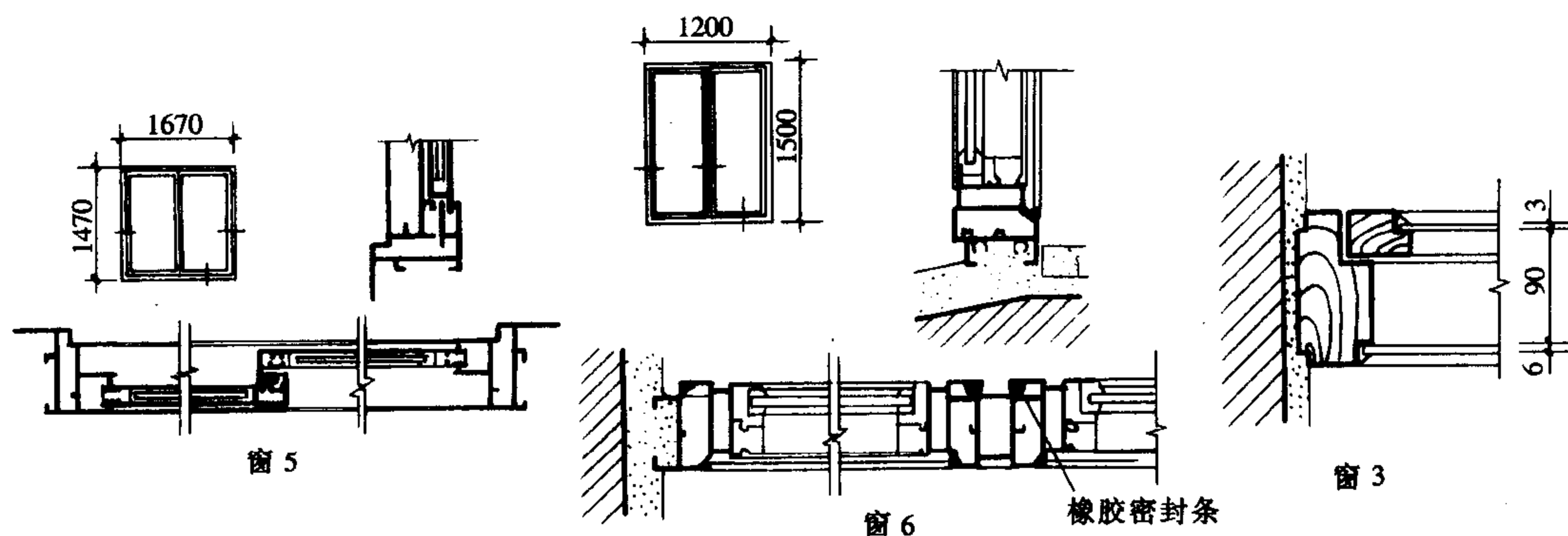


窗3 (窗面积1000×2000)

4	单层平开窗	钢	无	—	3	—	15.7	19.6	20.5	22.5	22.9	24.2	20.9	23	普通空腹或比式钢窗
			橡胶条	—		—	14.6	20.0	22.0	24.7	22.3	26.9	21.8	23	
5	单层推拉窗	铝合金	尼龙毛刷条	—	5	—	20.0	22.1	22.7	25.2	25.2	24.2	22.5	25	
			橡胶条	—	4	—	26.0	22.5	24.0	26.5	28.0	30.0	26.1	27	
6	单层平开窗	铝合金	双道橡胶条	—	5	—	20.4	27.0	28.5	32.5	34.6	35.2	29.3	32	

续表

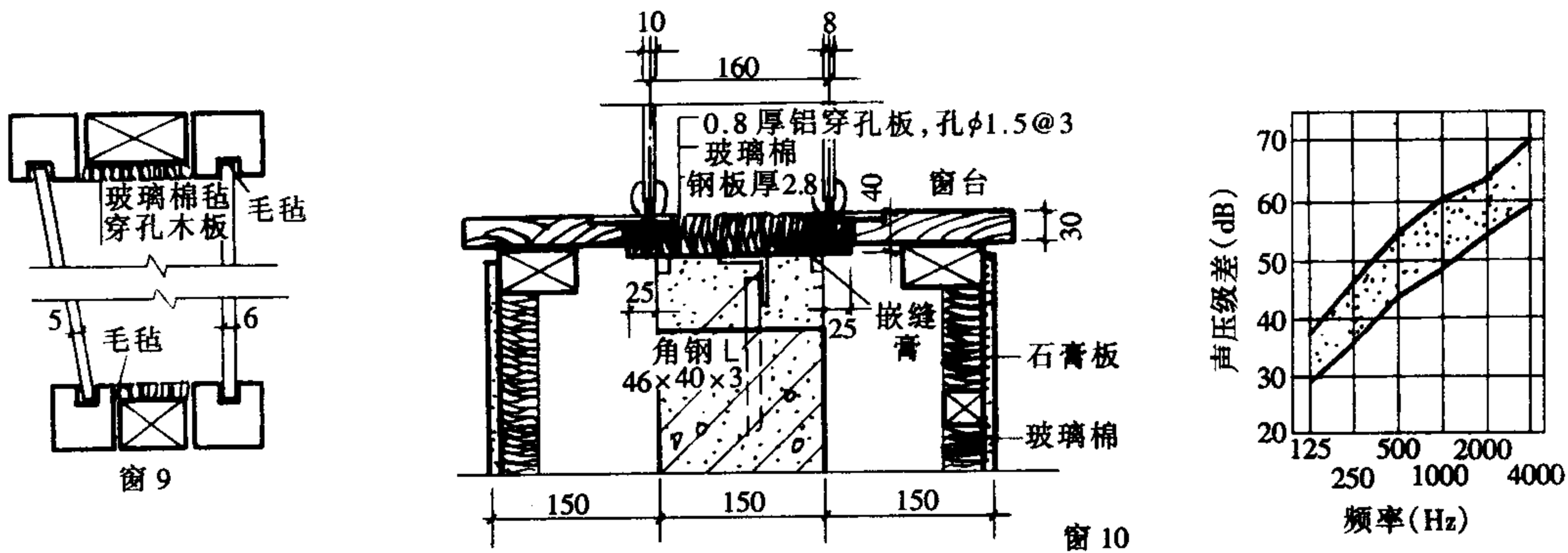
序号	窗种类	窗扇材料	窗缝处理	窗框吸声处理	玻璃厚度 (mm)	空气层厚度 (mm)	倍频程隔声量 (dB)						平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)	说 明
							125	250	500	1000	2000	4000			
7	单扇 双层 玻璃 平开窗	木	无	—	5+5	45	10.0	22.5	19.5	19.0	16.5	26.0	18.2	19	窗面积 2560×1180
			φ10 乳胶条	—	5+5	45	12.5	29.0	29.0	26.5	26.0	42.0	26.5	27	
			φ15 乳胶条	—	5+5	45	13.0	30.0	27.0	26.0	31.0	40.5	27.1	30	
			φ10、 φ15 双乳 胶条	—	5+5	45	19.0	30.0	29.0	31.0	35.0	48.0	30.3	32	
8	双 层 固定窗	木	—	无	3+6	90	27.7	33.6	42.8	50.6	57.0	59.5	44.6	47	



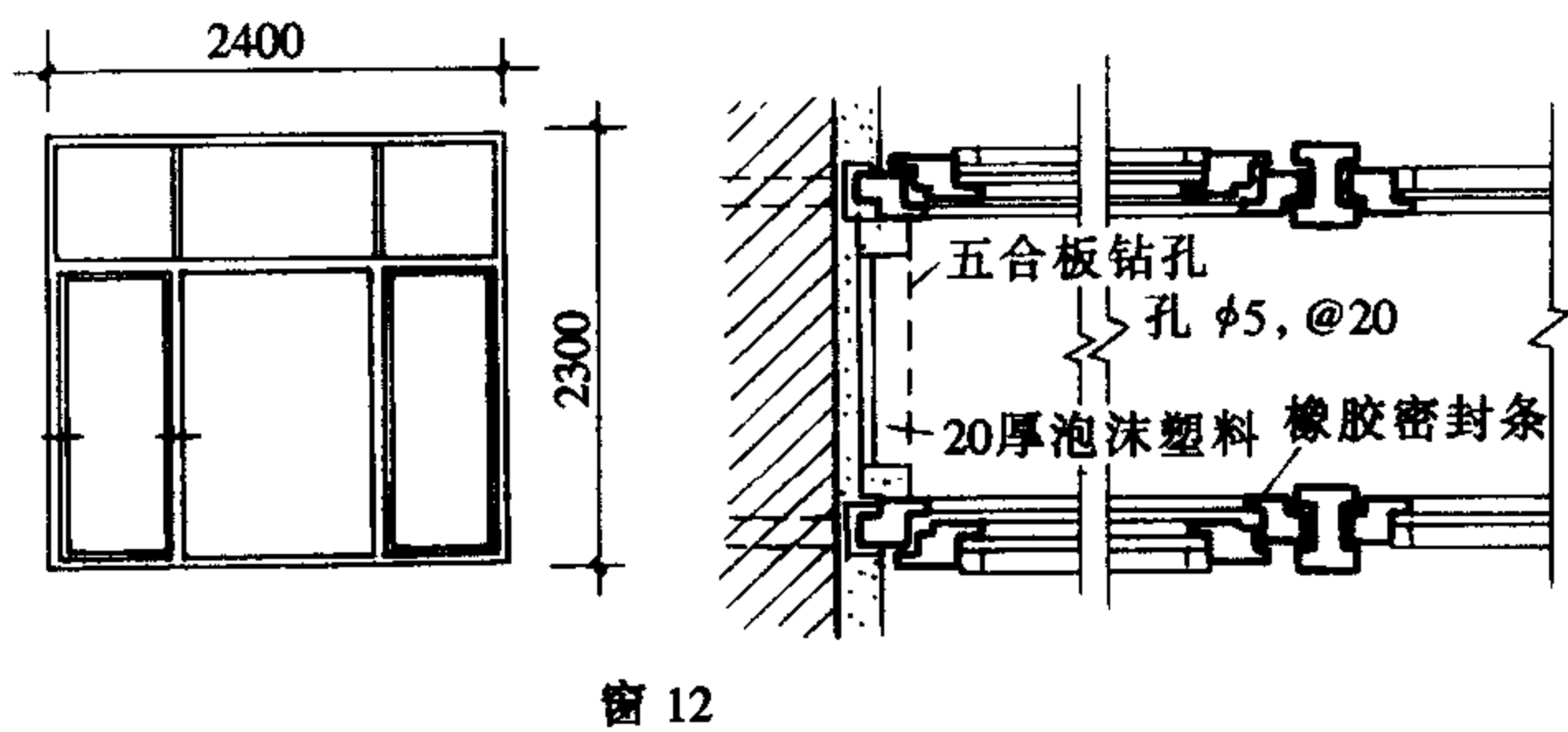
9	双层 固定窗	木	—	穿孔 板 中空	5+6	85~ 115	31.0	36.0	44.5	56.5	55.0	43.2	44.0	46	
				穿孔 板中 玻璃 棉毡	5+6	85~ 115	30.1	36.4	46.7	57.2	57.4	53.0	46.1	49	
				同上	5+6	125~ 150	29.0	36.8	48.0	59.0	59.0	49.5	46.7	49	
				同上	5+6	85~ 190	29.5	36.0	46.5	58.0	57.0	52.0	45.7	48	
10	双层 固定窗	钢	—	穿孔 板玻 璃棉	10+3	160	见附图之曲线						55	—	55 为 500Hz 之声级差

续表

序号	窗种类	窗扇材料	窗缝处理	窗框吸声处理	玻璃厚度 (mm)	空气层厚度 (mm)	倍频程隔声量 (dB)						平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)	说明
							125	250	500	1000	2000	4000			



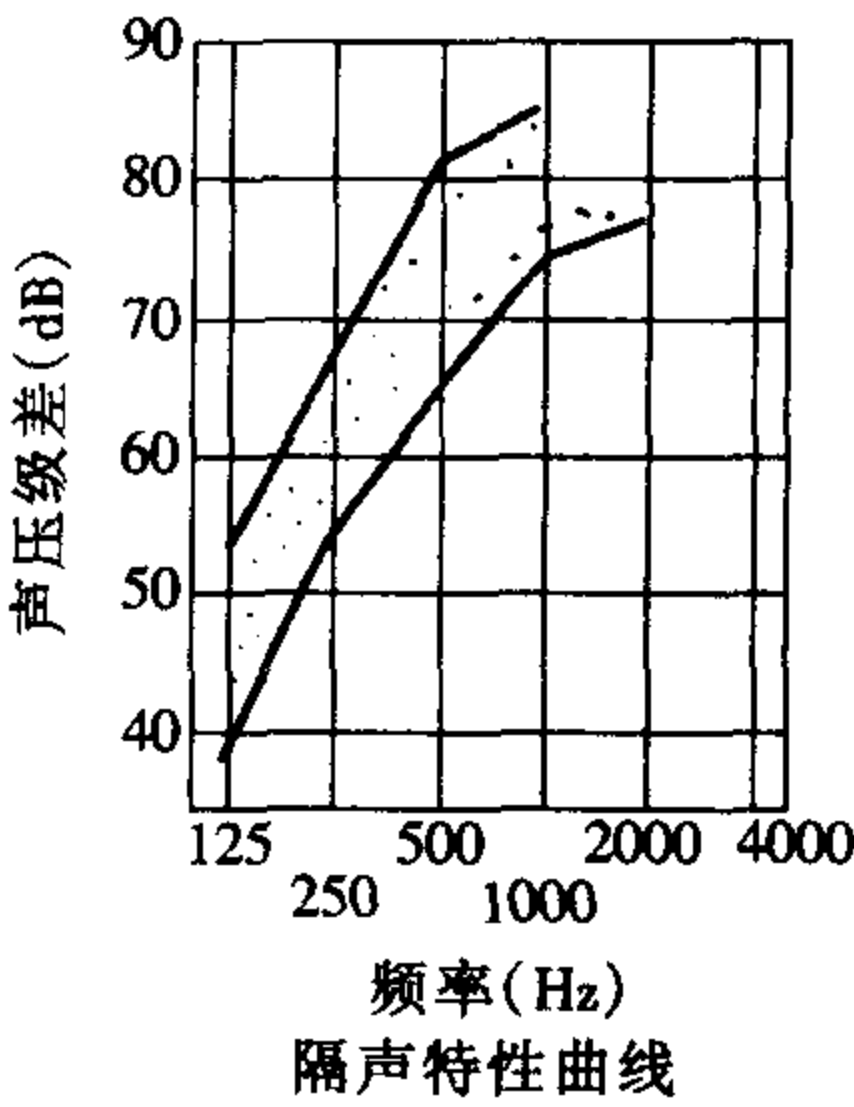
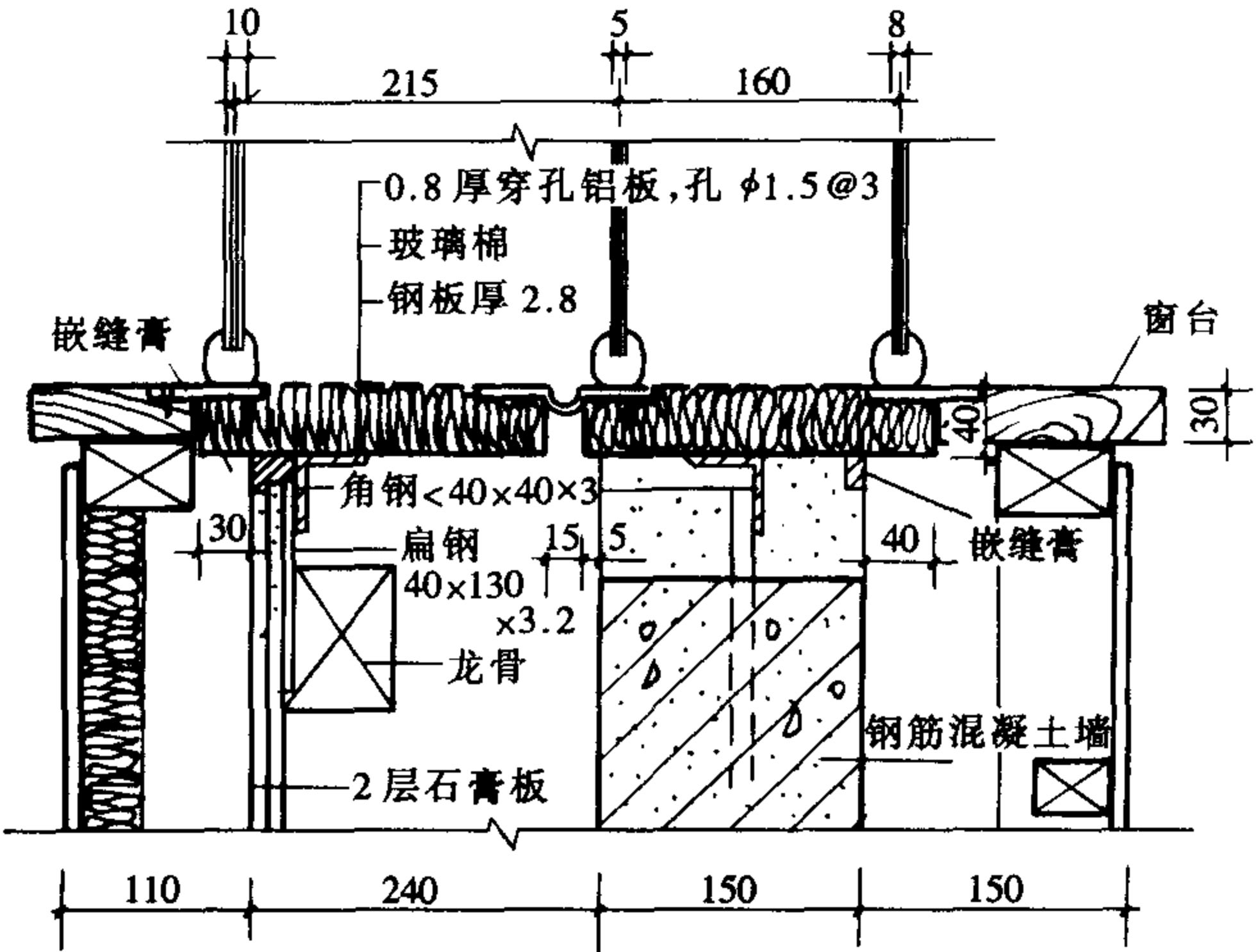
11	双层平开窗	钢	无	无	4+4	120	23.5	25.5	29.5	32.5	34.0	40.5	30.9	33	普通钢窗
					5+5	100	22.0	19.0	29.0	32.0	42.0	56.0	33.2	32	
12	双层平开窗	钢	橡胶条	穿孔板	6+6	150	31.1	39.3	41.4	45.8	35.8	46.2	39.9	36	



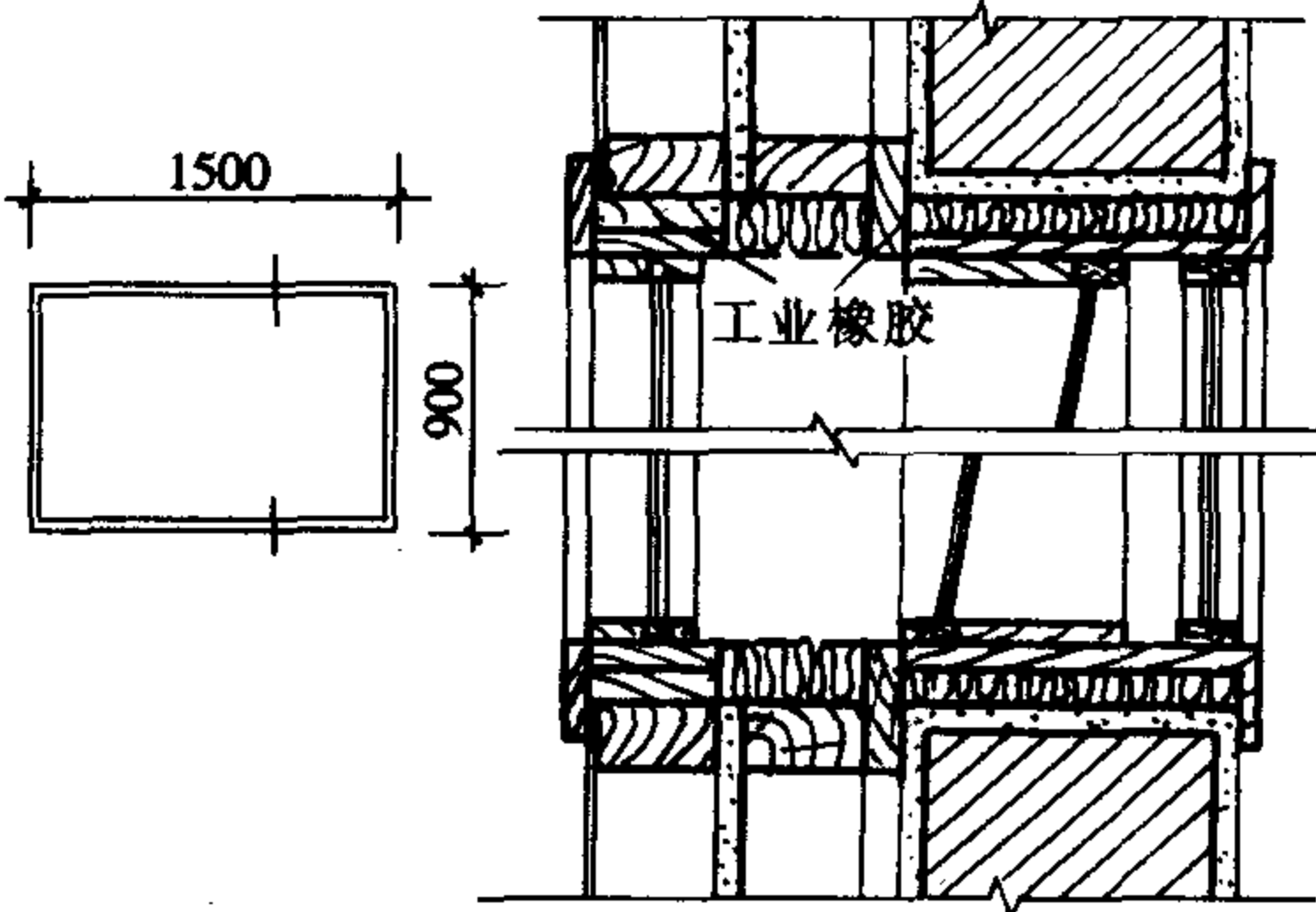
13	三层固定窗	钢	—	穿孔板	10+5+8	215+160	见附图之曲线						70	—	70为500Hz之声级差
14	三层玻璃观察窗	木	—	穿孔板	5+5+5	100~220+200~320	44	53	55	68	60	71	56	60	
15	特种隔声窗	钢	—	无	6×10玻璃+18有机玻璃	200	40	47	55	63	70	70	56	58	
					8×10玻璃+18有机玻璃	400	45	52	59	69	75	75	61	63	

续表

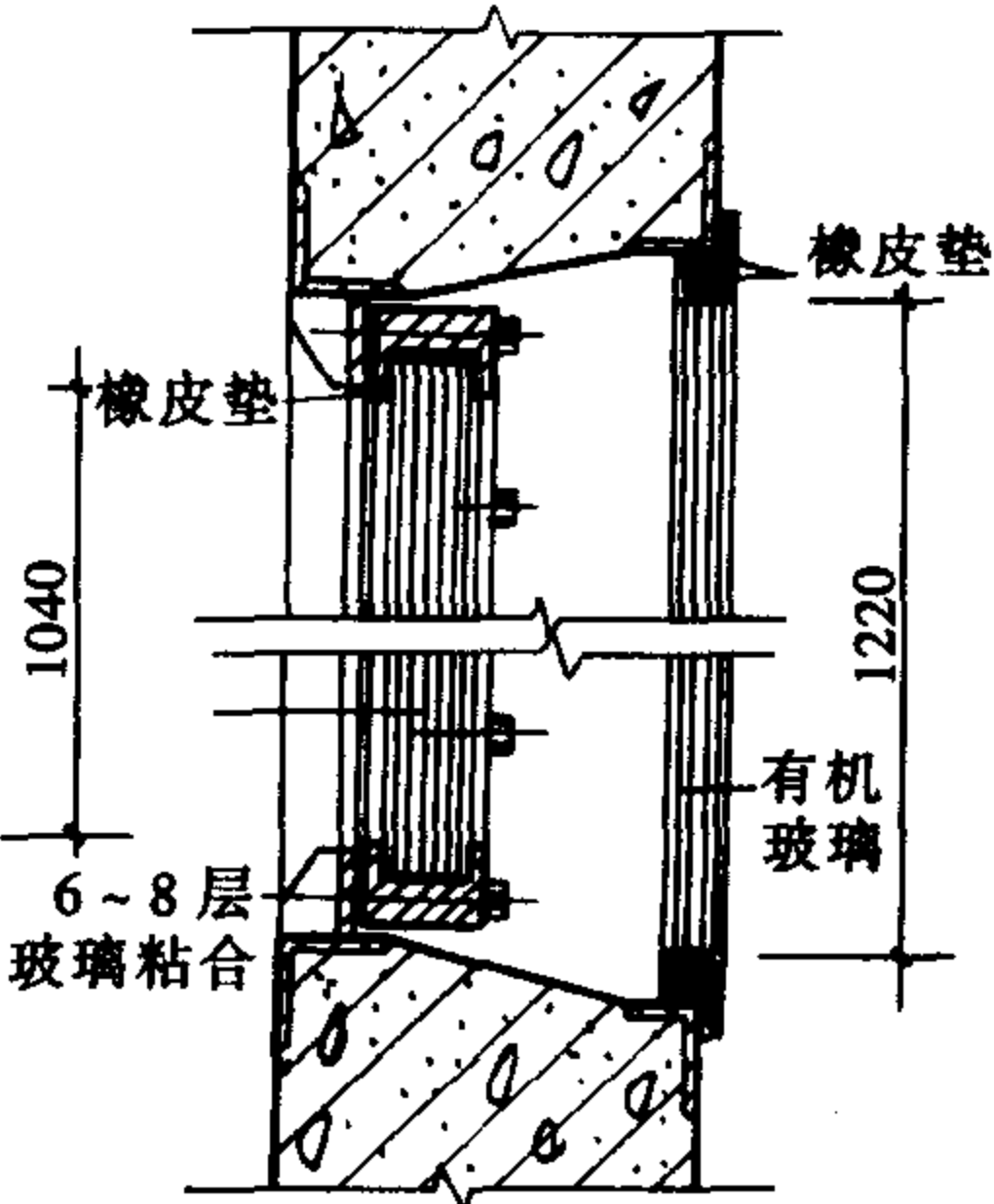
序号	窗种类	窗扇材料	窗缝处理	窗框吸声处理	玻璃厚度 (mm)	空气层厚度 (mm)	倍频程隔声量 (dB)						平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)	说 明
							125	250	500	1000	2000	4000			
16	通风百页窗	见附图 14					6.5	9.5	11.6	14	17	17	12.6	15	



窗 13(窗面积 1200 × 600)

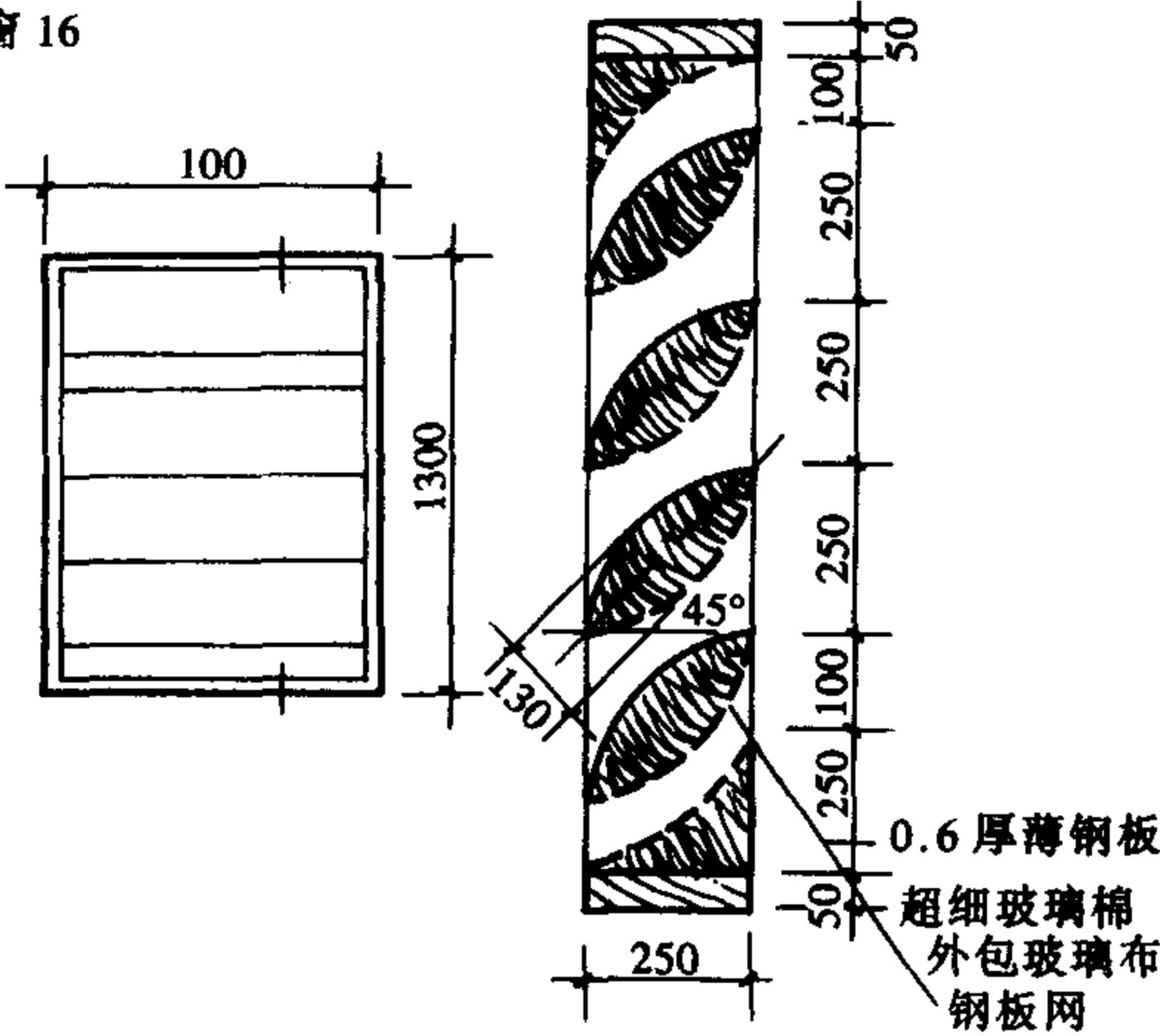


窗 14(录音室用观察窗)



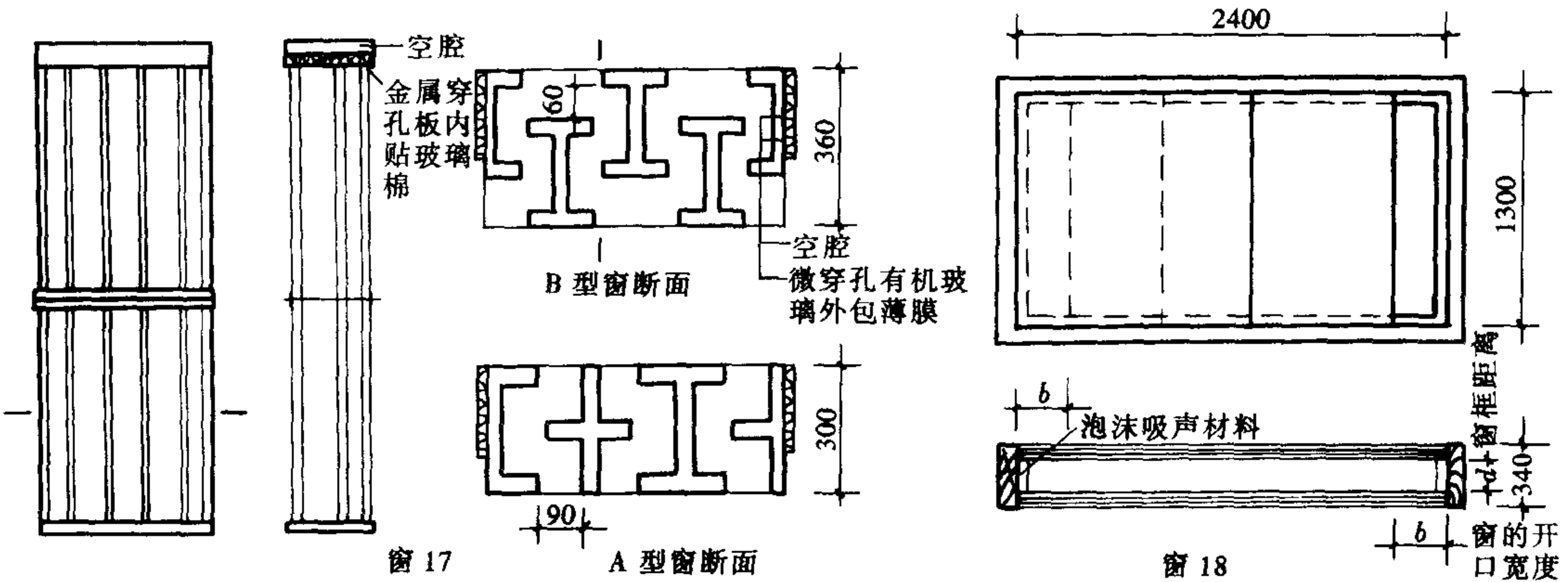
窗 15

窗 16



续表

序号	窗种类	窗扇材料	窗缝处理	窗框吸声处理	玻璃厚度 (mm)	空气层厚度 (mm)	倍频程隔声量 (dB)						平均隔声量 (dB)	隔声指数 (dB)	说 明
							125	250	500	1000	2000	4000			
17	穿孔板通风窗	见附图 15					插入损失 15 ~ 21dB (A)								
18	推拉通风窗	详见窗 18 附图及附表													



6. 当前常用门窗的隔声标准:

表 14-11 中所列窗, 基本为木窗和钢窗, 当前均已很少在设计中出现, 风行一时的铝合金窗也少见了, 而目前广泛采用的中空玻璃的塑钢门窗, 这方面的资料如实测隔声量等尚少见。

塑钢门窗按国标《建筑外窗空气声隔声性能分级及其检测方法》(GB 8485—87) 的隔声要求, 在行业标准《PVC 塑料门》(JG/T 3017—94) 及《PVC 塑料窗》(JG/T 3018—94) 中都分别标定了门窗空气声计权隔声量 (R_w) 为:

	1 级	2 级	3 级
平开门	$\geq 35\text{dB}$	$\geq 30\text{dB}$	$\geq 25\text{dB}$
推拉门	—	$\geq 30\text{dB}$	$\geq 30\text{dB}$
平开窗	$\geq 35\text{dB}$	$\geq 30\text{dB}$	$\geq 25\text{dB}$
推拉窗	—	$\geq 30\text{dB}$	$\geq 30\text{dB}$

而行业标准《建筑幕墙》(JG 3035—1996) 中也规定了幕墙的空气声计权隔声量 (R_w):

I 级	II 级	III 级	IV 级
$\geq 40\text{dB}$	$40 > R_w \geq 30\text{dB}$	$35 > R_w \geq 30\text{dB}$	$30 > R_w \geq 25\text{dB}$

第十五章 组合墙板的隔声

第一节 概 述

所谓组合墙板，指的是墙上带有门、窗或楼板上带有大的孔洞缝隙的构件，这种组合墙的隔声量，还是按质量定律控制。但由于门窗的缝隙难免，除了按质量定律公式计算外，还得考虑缝隙的影响，第十四章已给出了不同类型门窗的隔声量实例，可参考运用于组合构件的隔声设计中。

一般地说，门窗的隔声量要比均质密实的墙差，特别是比面密度很大的砖墙、钢筋混凝土墙、板更差，因此组合墙的隔声量经常地要比墙体本身的隔声量低。设计组合构件的原则是要使组合构件中各不同构件，尽量地有相同传声度或称相同传声量 $S\tau$ 。 τ 是传声系数， S 是具有该传声系数构件的面积。按照这个设计原则，组合构件各部分的传声度应接近或相等，即 $S_1\tau_1 = S_2\tau_2 = S_3\tau_3 = \dots$ ，设计不可用加大墙的隔声量来弥补门窗等隔声量的不足，因为这样作是无意义的。比如一片墙面积是 S ，其中 $S/2$ 是墙， $S/2$ 是窗，则该组合墙的隔声量基本是窗的隔声量。因此，建筑设计中应使墙的隔声量稍高于门窗的隔声量，一般要求墙的隔声量高出门、窗 10 ~ 15dB 即可，这样做出的隔声设计是实际的、科学的、经济的。

第二节 隔 声 量 计 算

1. 隔声量计算公式：

组合墙的隔声量的计算，应在等传声度的原则下，首先求出各组成构件的传声度 $S\tau$ ，再求出组合构件的总传声度 $\Sigma S_n\tau_n$ ：

$$\Sigma S_n\tau_n = S_1\tau_1 + S_2\tau_2 + S_3\tau_3 \dots, \quad (15-1)$$

然后再求出组合构件的等效传声系数或称平均传声系数 τ_0 。

$$\tau_0 = \text{总传声度} / \text{构件总面积} = \frac{(S_1\tau_1 + S_2\tau_2 + S_3\tau_3 \dots)}{(S_1 + S_2 + S_3 \dots)} = \frac{\Sigma(S_n \cdot \tau_n)}{\Sigma S_n} \quad (15-2)$$

构件的传声系数 τ 与构件的隔声量 R 有式 (2-8) 的关系，此关系也可表示为图15-1

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} \quad (2-8)$$

$$R = 10 \lg \frac{\Sigma S_n}{\Sigma S_n \cdot \tau_n} \quad (15-3)$$

由此可知，当知道某构件的传声系数后，便可求出该构件的平均隔声量 R ：

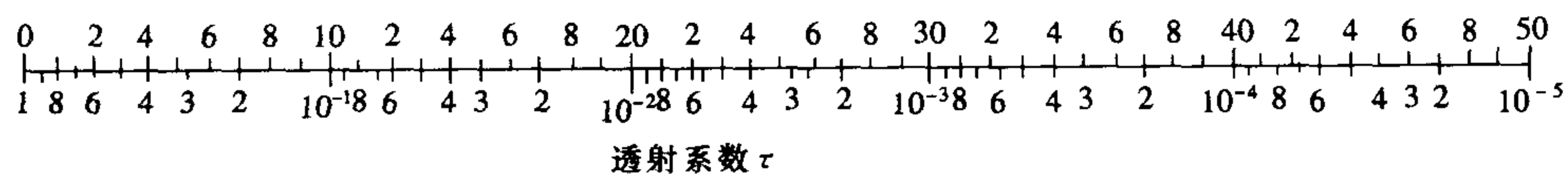


图 15-1 τ 与 R 换算图

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau_0} = 10 \lg \frac{\sum S_n}{\sum S_n \cdot 10^{-\frac{R_n}{10}}} \quad (15-4)$$

组合墙隔声量的计算还有一种方法：

$$R = R_1 + 10 \lg \frac{1 + \frac{S_1}{S_2}}{\frac{S_1}{S_2} + 10^{0.1(R_1 - R_2)}} \quad (15-5)$$

式中 R_1 表示墙本身的隔声量， R_2 表示门或窗的隔声量。 S_1 表示墙本身的净面积（不包括门、窗等）， S_2 门或窗的面积。

2. 带有门（或窗）的组合墙的隔声量计算又一公式：

对两种构件组合成的墙，隔声量也可按下述公式计算：

$$R = R_{\text{门}} + 10 \lg \frac{S_{\text{墙}}}{S_{\text{门}}} \quad (15-6)$$

需提请建筑师们注意： $S_{\text{墙}}$ （ $S_{\text{门}}$ ）指的是墙的净面积，不包括门窗面积。此式还显示组合墙的隔声量与墙本身的隔声量大小无关，式中， $S_{\text{门}}$ 也写作 S_d ， $S_{\text{窗}}$ 也写作 S_c ， $R_{\text{门}}$ 也写作 R_d ， $R_{\text{窗}}$ 也写作 R_c ， $R_{\text{墙}}$ 也写作 R_w 。

当墙上只有一个门或只有一个窗时，可用式（15-5）计算，现举例如下：

设有一 24cm 厚双面抹灰砖墙，墙面积为 20m^2 （包括门），（墙的隔声量 $R_{\text{墙}} = 53\text{dB}$ ），墙上有一门 2m^2 ，门的隔声量 $R_d = 20\text{dB}$ ，求组合墙隔声量：

$$R = R_d + 10 \lg \frac{S_w}{S_d} = 20 + 10 \lg \frac{20 - 2}{2} = 29\text{dB}$$

具有 53dB 平均隔声量的 20m^2 墙，仅开一个隔声量 $R_d = 20\text{dB}$ 、 2m^2 的门，则隔声量下降到 29dB。

3. 带有门和窗的组合墙隔声量计算公式：

式（15-4）是指墙上仅有门或仅有窗的情况，如果墙上又有门又有窗，则式（15-4）中的 S_2 应为 $S_3 = S_{\text{m(门)}} + S_{\text{c(窗)}}$ ，而 R_2 应由门和窗组合后的等效隔声量 R_3 来代替（设门的隔声量 $>$ 窗的隔声量）。

$$R_3 = R_m + 10 \lg \frac{1 + \frac{S_m}{S_c}}{\frac{S_m}{S_c} + 10^{0.1(R_m - R_c)}} \quad (15-7)$$

故

$$R = R_{1(\text{墙})} + 10 \lg \frac{1 + \frac{S_1}{S_3}}{\frac{S_1}{S_3} + 10^{0.1(R_1 - R_3)}} \quad (15-8)$$

4. 组合墙隔声量计算举例:

为了加深对上述诸计算公式的理解, 再举例如下:

设面积为 20m^2 , 24cm 厚砖墙双面抹灰, 隔声量为 53dB ($\tau_w = 10^{-5.3}$), 在这样面积的墙上开一个门: 面积 2m^2 , 隔声量 20dB ($\tau_d = 10^{-2}$), 又开一个窗: 面积 1m^2 , 隔声量 25dB ($\tau_c = 10^{-2.5}$), 问此组合墙的隔声量是多少?

计算 1:

组合墙各构件的传声度为:

$$\text{墙: } S_w \tau_w = [20 - (2 + 1)] \times 10^{-5.3} = 17 \times 10^{-5.3},$$

$$\text{门: } S_d \tau_d = 2 \times 10^{-2},$$

$$\text{窗: } S_c \tau_c = 1 \times 10^{-2.5}$$

则组合墙的隔声量为:

$$R = \frac{10 \lg \sum S_n \tau_n}{\sum S_n \tau_n}$$
$$R = \frac{10 \lg (17 + 2 + 1)}{(17 \times 10^{-5.3} + 2 \times 10^{-2} + 1 \times 10^{-2.5})}$$
$$R = 29.8\text{dB}$$

计算 2:

$$R = R_1 + 10 \lg \frac{1 + \frac{S_1}{S_3}}{\frac{S_1}{S_3} + 10^{0.1(R_1 - R_3)}}$$

先计算门和窗的等效隔声量 R_3 :

公式为:

$$R_3 = R_m + 10 \lg \frac{1 + \frac{S_m}{S_c}}{\frac{S_m}{S_c} + 10^{0.1(R_m - R_c)}}$$

此式仅当门的隔声量大于窗的隔声量时才能成立, 现在窗的隔声量 25dB 大于门的隔声量 20dB, 所以上式应改为:

$$R_3 = R_c + 10 \lg \frac{1 + \frac{S_c}{S_m}}{\frac{S_c}{S_m} + 10^{0.1(R_c - R_m)}}$$

则

$$R_3 = 25 + 10 \lg \frac{1 + \frac{1}{2}}{\frac{1}{2} + 10^{0.1(25-20)}} = 21\text{dB}$$

再求组合墙的隔声量:

$$R = R_{1(\text{墙})} + 10\lg \frac{1 + \frac{S_1}{S_3}}{\frac{S_1}{S_3} + 10^{0.1(R_1 - R_3)}}$$

$$R = 53 + 10\lg \frac{1 + \frac{17}{3}}{\frac{17}{3} + 10^{0.1(53-21)}} = 29.22\text{dB}$$

可以看出两个计算式的计算结果是很接近的。

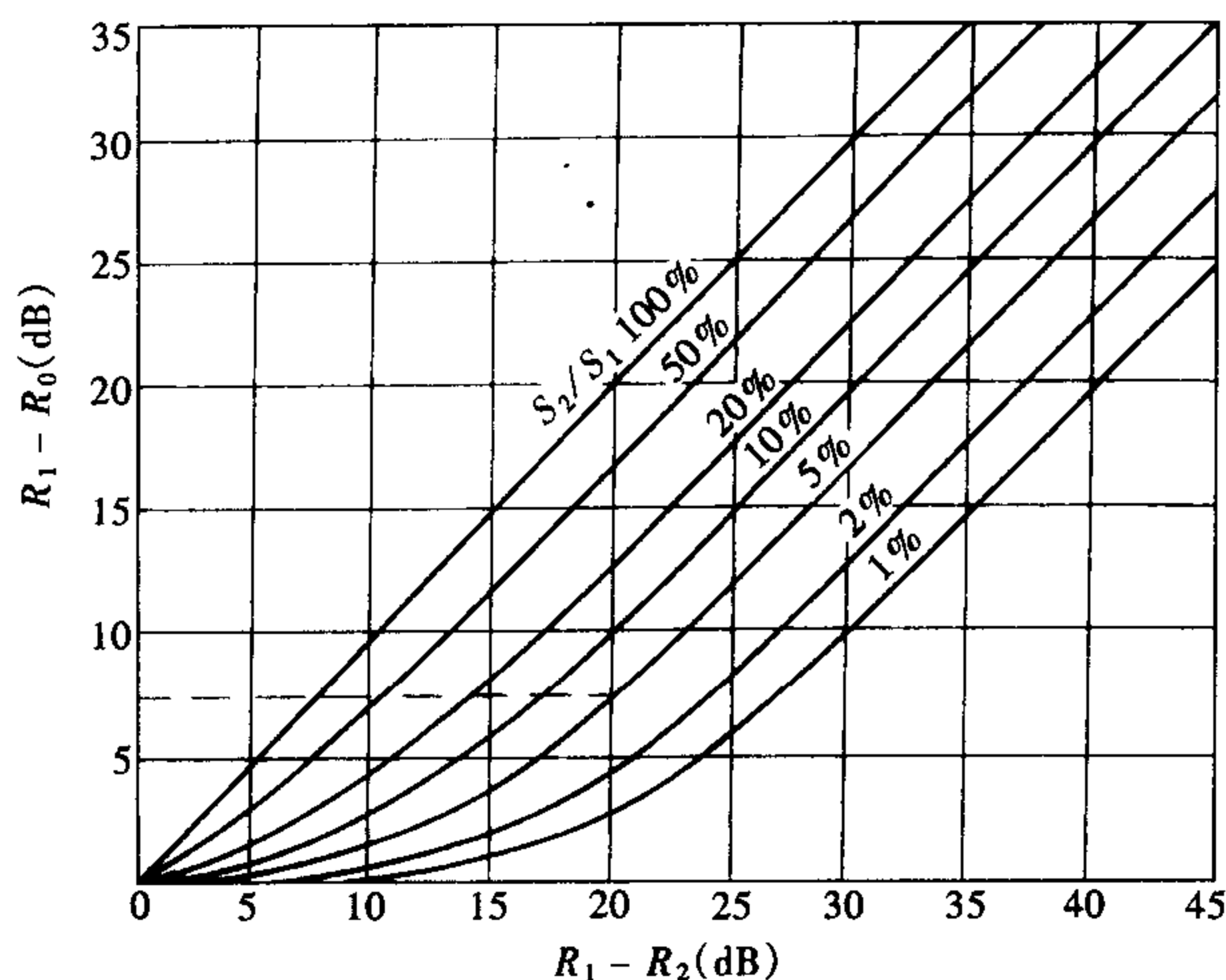


图 15-2 组合构件隔声量计算图表

5. 图表法计算组合墙的隔声量:

也可按图 15-2 所示计算隔声量: 图 15-2 表述了用图解的方法计算带有门窗的墙的隔声量。举例: 设组合墙中墙的隔声量 $R_1 = 50\text{dB}$, 窗的隔声量 $R_2 = 30\text{dB}$, 窗占墙面积的 5%, 则差值 $R_1 - R_2 = 50 - 30 = 20\text{dB}$, 从横坐标 20dB 处作垂线, 与 $S_2/S_1 = 5\%$ 的曲线相交, 其水平高度在纵轴上的值为 8dB, 即 $R_1 - R_0 = 8\text{dB}$ 所以 $R_0 = 50 - 8 = 42\text{dB}$, 此值即表示组合墙的隔声量。如果组合构件有两种以上构件, 比如既有门也有窗时, 应以两个构件为一组, 逐步求解。图 15-3 为 24cm 厚砖

墙上开窗后隔声量的变化, 该墙面积 11.7m^2 , 窗 2.4m^2 。表 15-1 表示墙上开窗占墙面积比例的不同对隔声的影响。

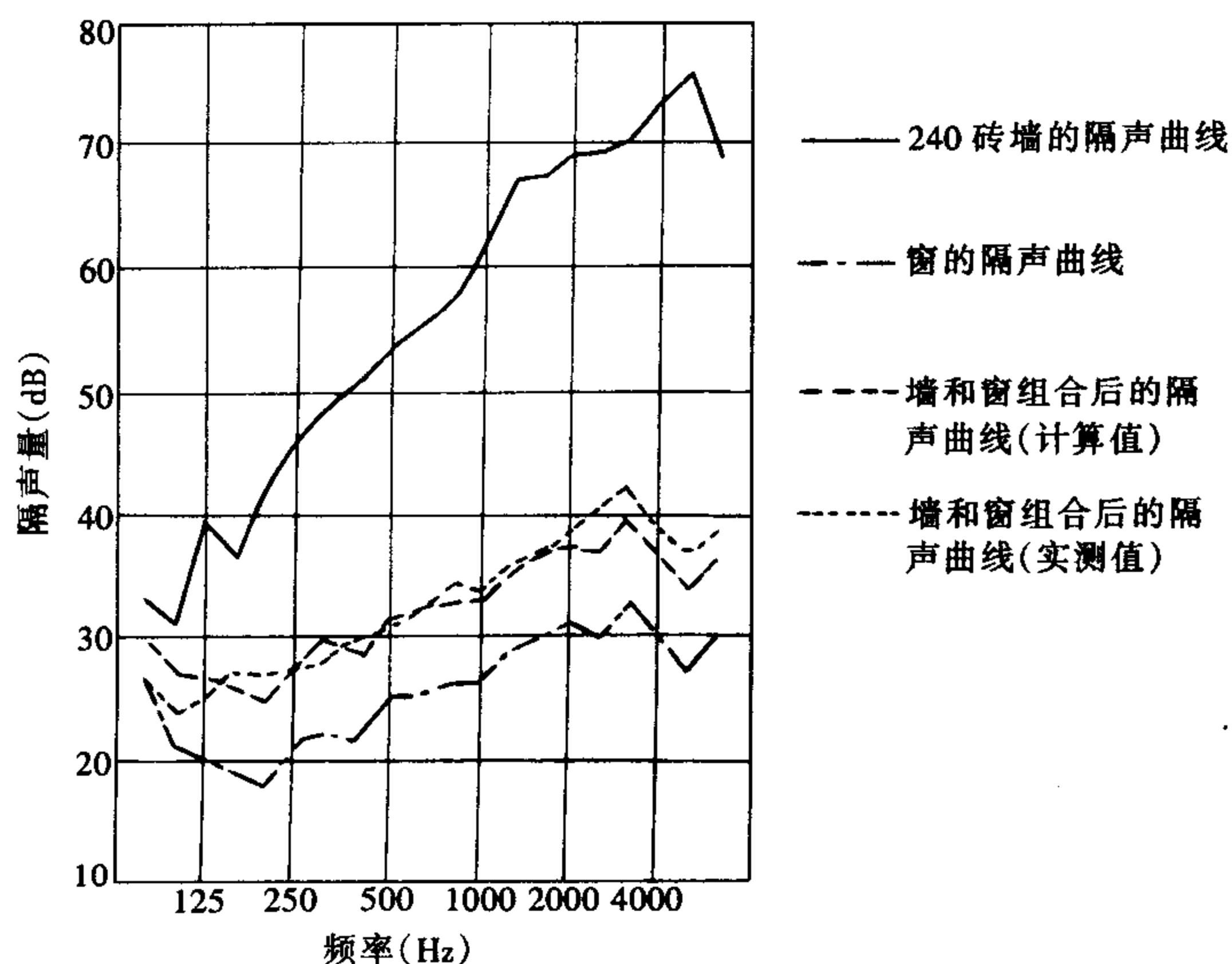


图 15-3 24cm 厚砖墙上开窗后隔声量的变化

开窗面积对外墙隔声的影响

表 15-1

窗面积占墙 面积的比例 (%)	设窗后墙的综合隔声量 (dB)	
	单层窗	双层窗
0	50	50
10	30	47
25	26	45
$33 \frac{1}{3}$	25	44
50	23	43
75	21	41
100	20	40

第三节 孔洞、缝隙对隔声的影响

在围护结构隔声设计中须注意，由于声波的衍射作用，墙上的孔洞或缝隙对隔声的影响很大，用上述式 (15-2) 可以估算出孔洞、缝隙对隔声量的影响。由于孔洞的透声系数

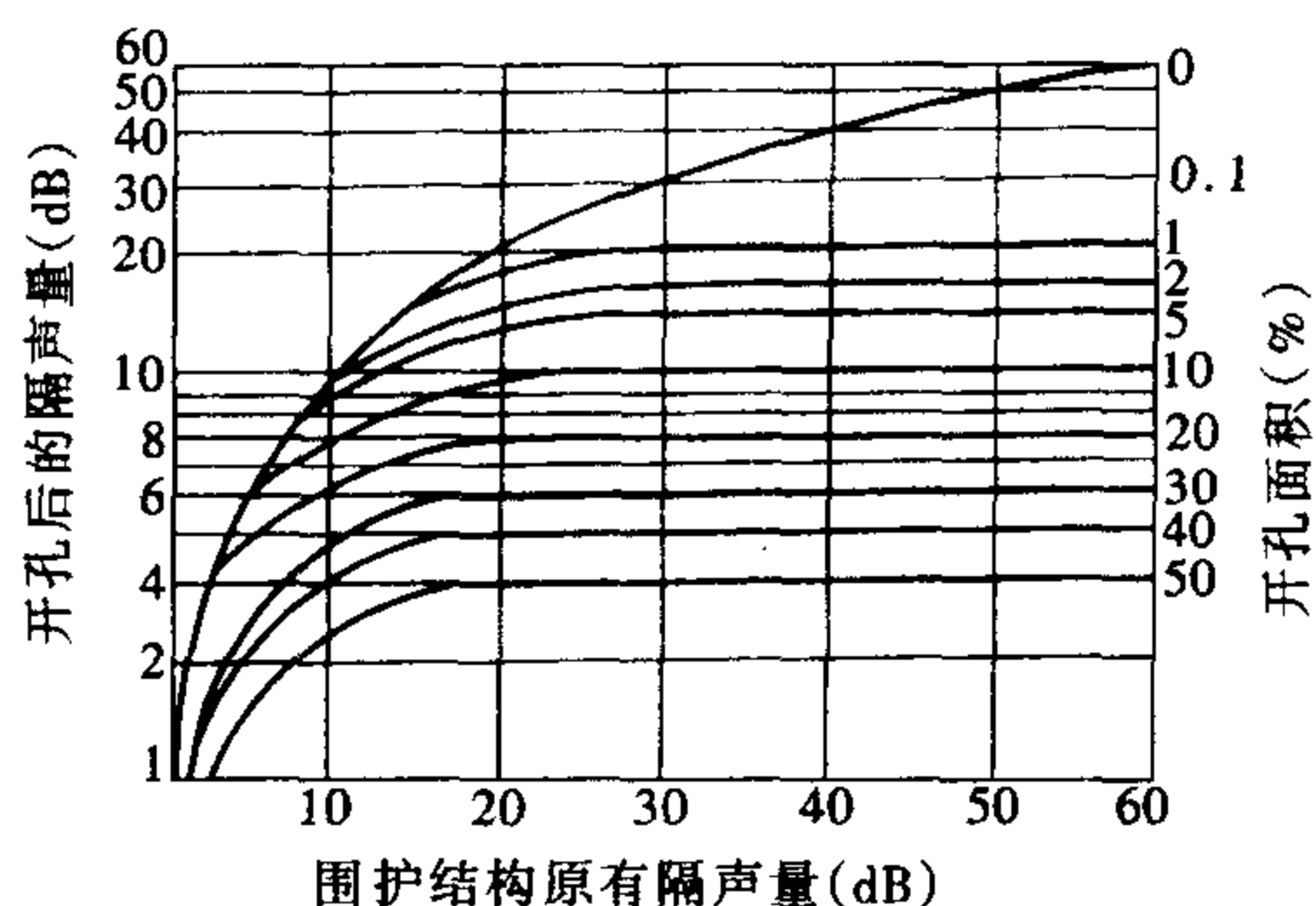


图 15-4 开孔率对隔声的影响

为 1，隔声量为零，所以哪怕是很小的孔洞透声也很大，从而成为隔声的薄弱环节。例如，孔洞面积为整片围护结构面积的 1% 时，结构隔声量不会超过 20dB，孔洞面积为整片围护结构面积的 1/10 时，隔声量不会超过 10dB。但是这种估计是建立在假定隔墙本身的隔声量为无穷大的基础上得到的，而实际声场中任何构件的隔声量都不会是无限大的。因此孔洞、缝隙对隔声的影响比理论上更为严重，见图 15-4。

孔洞、缝隙的隔声与入射声波的波长或频率

率也有关，因为频率越高，波长越短，因而对高频声，缝隙即便很小，也会对隔声不利，因为这时波长往往小于墙上缝隙的尺寸，这时可认为声波可全部透过缝隙。而随着孔洞的加大，高频隔声量会继续下降，并同时向中低频扩展其不良的影响。由于孔洞具有空气柱

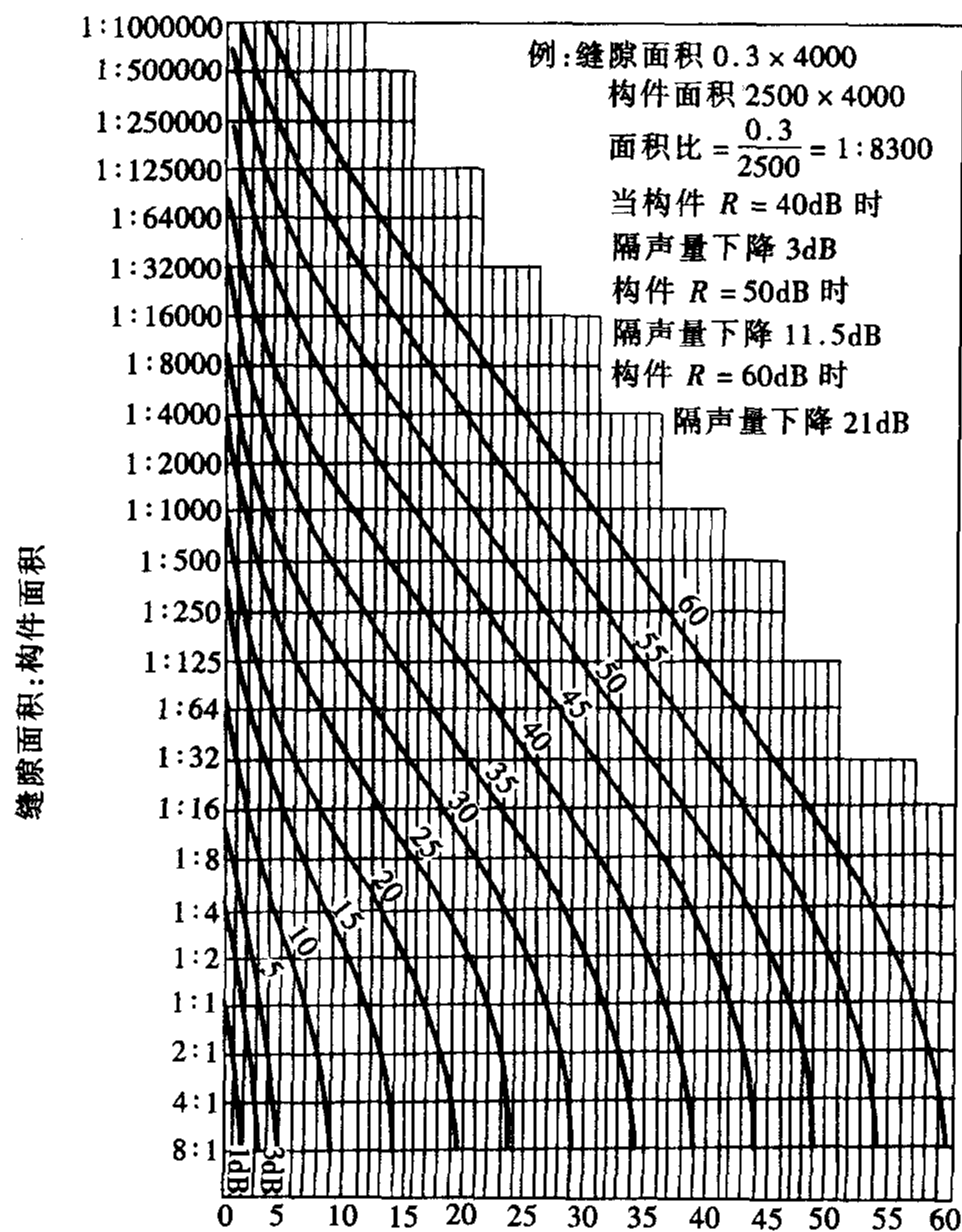


图 15-5 孔洞、缝隙影响隔声的计算图表

的作用，即有共振频率，于是围护结构的隔声量便会呈现周期性起伏变化。

狭缝对隔声的影响比孔洞严重，在中低频即有较大下降。孔洞、缝隙的深度（即墙、板厚）越小对隔声的影响越严重。见图 15-5 ~ 图 15-7。

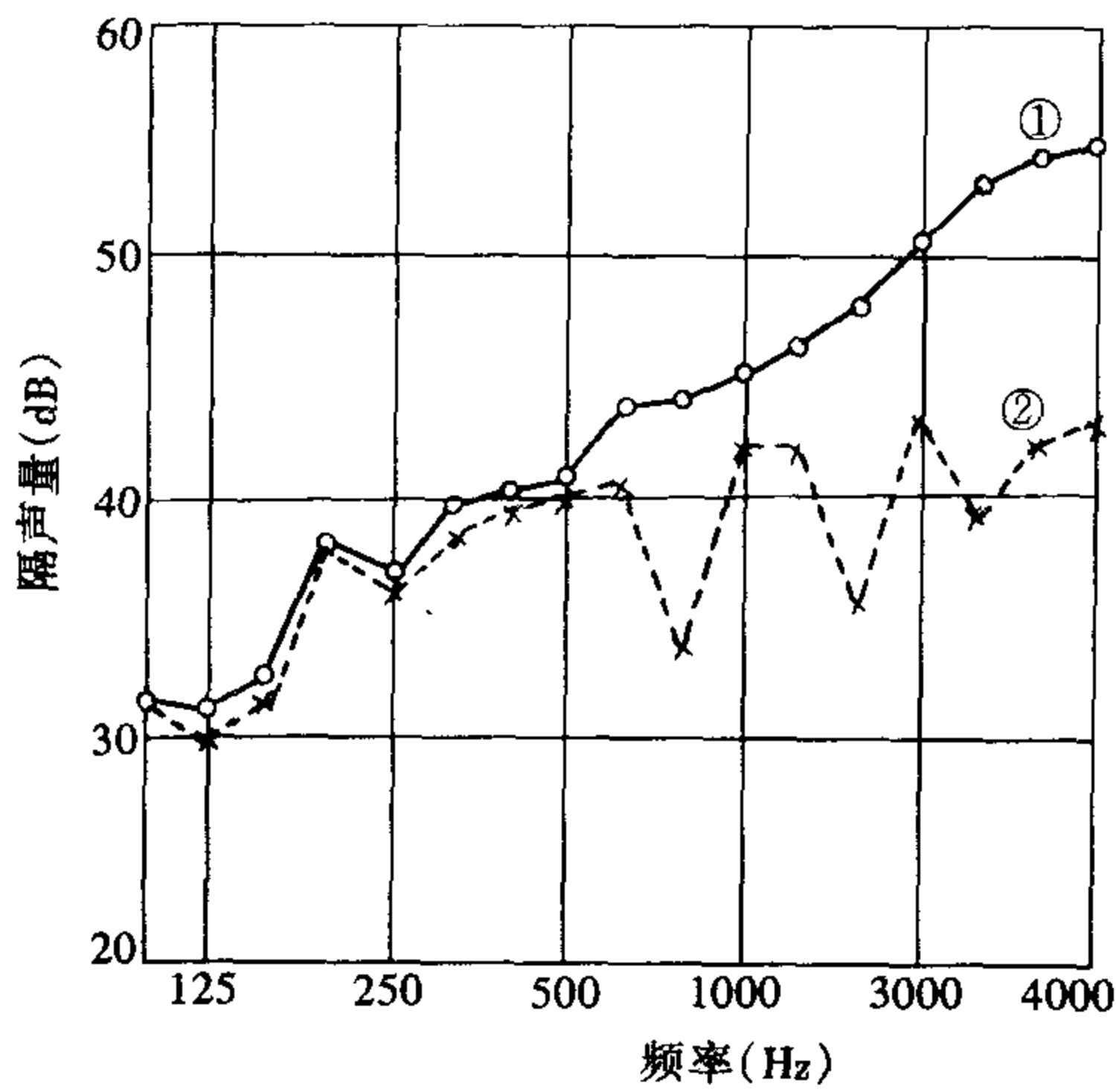
例如一片隔声量足够大的墙，开其面积 1% 的孔，那么该墙的隔声量计算出来是多少呢？

由于假定墙的隔声量极大，所以 $\tau_1 = 0$ ，而洞 $\tau_0 = 1$ ，所以墙的平均透声系数：

$$\bar{\tau} = \frac{S_1 \tau_1 + S_0 \tau_0}{S_1 + S_0} = \frac{S_0}{S_1 + S_0} = \frac{1}{100}$$

式中 S_1 、 S_0 、 τ_1 、 τ_0 分别为墙和洞的面积和透声系数。

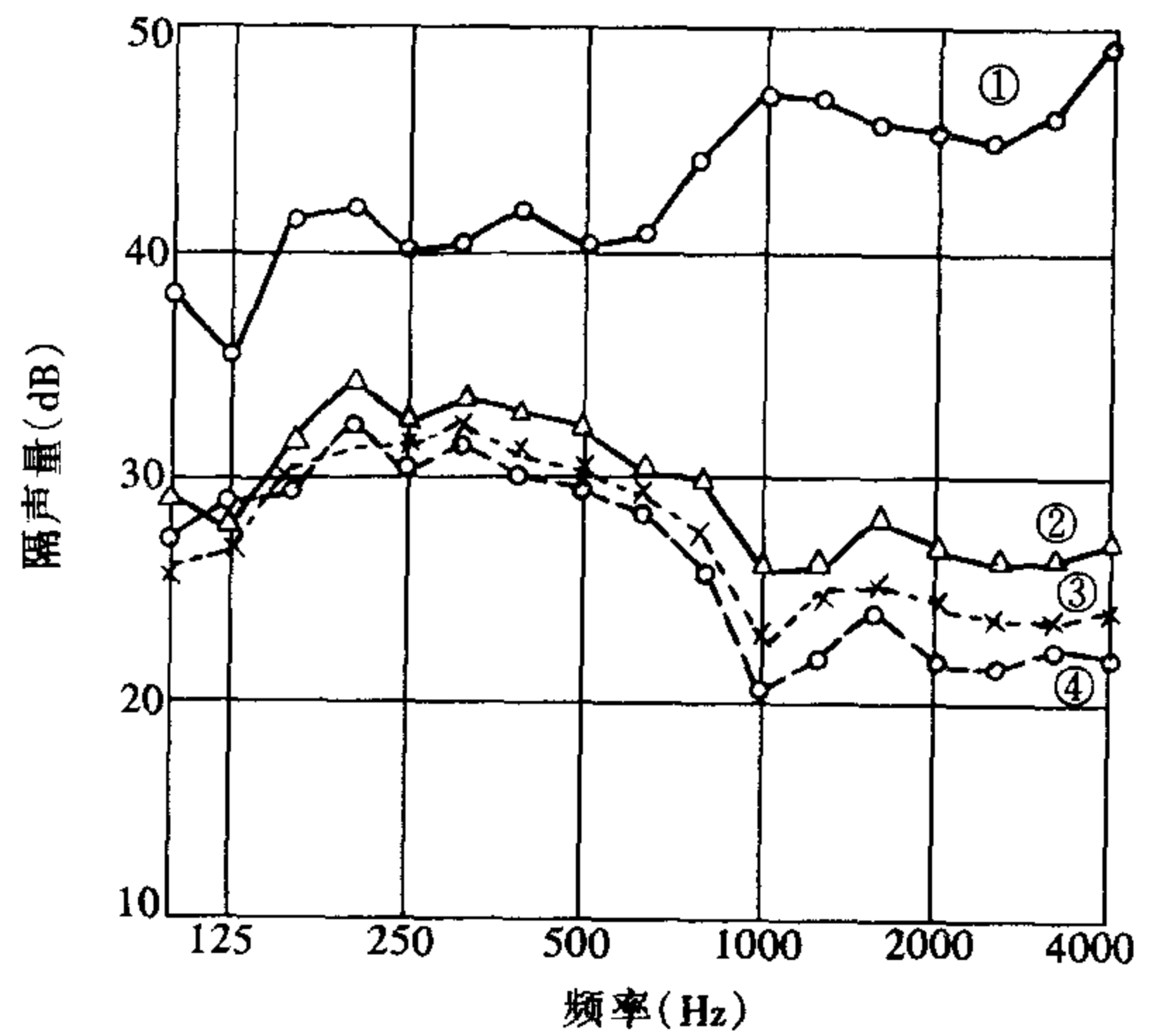
所以该墙的隔声量为 $\bar{R} = 10 \lg \frac{1}{\bar{\tau}} = 10 \lg \frac{1}{\frac{1}{100}} = 10 \lg 100 = 20 \text{dB}$



①200mm 厚加气混凝土条板

②同上，墙中央开 $\phi 30$ 孔洞

图 15-6 孔洞对隔声量的影响



①150mm 厚砖墙；

②同上，墙中央开长 100mm，宽 5mm 的缝；

③同上，缝宽为 10mm；

④同上，同时两条缝

图 15-7 缝隙对隔声量的影响

另外孔洞和缝隙的位置对隔声也有影响，例如在墙板中央时对隔声影响最小，在两墙的相交处稍大，在三面墙的相交处影响最大。

第十六章 围护构件的实际隔声量

第一节 单片构件的噪声降低量

以上所述及的构件隔声量，都是房间围护结构构件本身的隔声性能。实际上，声音通过围护结构构件传入室内的噪声所形成的接收室的实际噪声水平，并不一定就是传过来的那个声级值，即不只是入射声级与构件隔声量的差值。这是因为噪声通过构件传到受声室后，其所形成的室内噪声水平，还与受声室内各构件的表面吸声状况、构件面积大小、侧向传透的影响等有关。因此，受声室的实际噪声水平，就需要有对构件本身隔声量经过校正的“实际隔声量”。设发声室的平均声压级为 L_1 ，受声室的平均声压级下降为 L_2 ，差值称为实际隔声量 NR 。

$$NR = L_1 - L_2 = R + 10\lg \frac{A}{S_1} \quad (16-1)$$

NR 为实际隔声量即噪声降低值，是判断受声室降噪效果的最终指标，它可能高于或低于发声室的噪声级与构件自身的隔声量 R 的差值。 A 为吸声量 $A = S\alpha$ 表示房间各面的面积以及相应的吸声系数， S_1 为计算的那片隔声构件的面积。从上式可以看出，受声室内的吸声量与该房间的吸声状况有关，因此，除了提高构件本身的隔声量外，增加房间的吸收，减少传声构件的面积，也是降噪的有效措施。如果受声室室内吸声非常好，则 $10\lg A/S_1$ 可以是正值，正值表明，由于受声室内各壁面吸声好或室内有其他吸声体帮助了吸声，因而声传过来后，形成的室内声场的声压级不但未增加，反而因吸收好而减少了，即室内的实际声压级低于传过来的声压级，这是受声室本身帮助了隔声，提高了构件的隔声量。如果受声室声吸收的非常不好， $10\lg A/S_1$ 可以是负值，负值表示受声室吸声差、反射强、混响声大，因而发声室的噪声传至受声室的声所形成的受声室声场声压级比传过来的声压级还大，减弱了 S_1 构件的隔声量。如果 $A = S$ ，则 $10\lg A/S_1 = 0$ ，即修正项为零。

侧向传声等的影响，见图 16-1，一般情况下由公式 (16-1) 所推算的构件隔声量，要比实验室测定的隔声量低一些，国际上规定低 2dB，而现场实际上要低 2~5dB。

例如：发声室即声源（室内或室外）的噪声是 90dB，而受声室允许的噪声是 40dB，受声室的 $10\lg A/S_1$ 为 -3dB，求二室间的隔声构件 S_1 的隔声量应是多少才能满足受声室允许 40dB 的要求？

$$\text{解：因为 } NR = L_1 - L_2 = R + 10\lg \frac{A}{S_1} \quad R = L_1 - L_2 - 10\lg \frac{A}{S_1}$$

$$\text{这里 } L_1 = 90\text{dB}, L_2 = 40\text{dB}, 10\lg \frac{A}{S_1} = -3\text{dB}$$

$$\text{所以 } R = L_1 - L_2 - 10\lg \frac{A}{S_1} = 90 - 40 - (-3) = 53\text{dB}$$

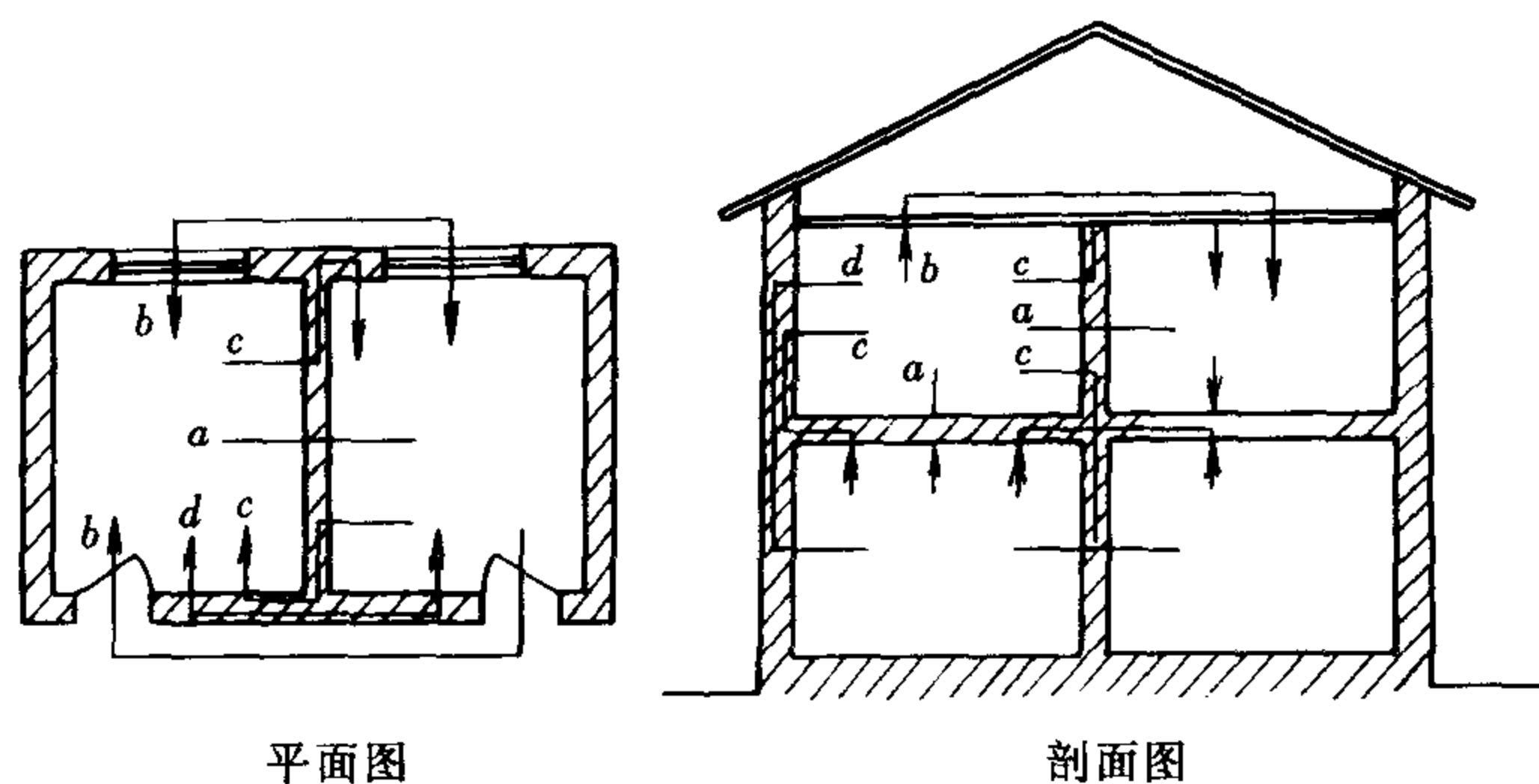


图 16-1 侧向传声示意

这个 $R = 53\text{dB}$ 值表示, 为了隔绝发声室 90dB 的噪声, 使受声室在 $10\lg A/S_1 = -3\text{dB}$ 的条件下不大于 40dB 的噪声值, 该隔声构件的隔声量必须 $R \geq 53\text{dB}$ 。

第二节 整个房间围护构件的综合噪声降低量

1. 一个房间的围护结构一般地说是六个面, 包括内、外墙, 门窗, 楼板 (地面), 顶板。因而这个房间的声环境, 将来自房间以外的五个或六个面的声传入, 是整个房间的围护结构隔声问题。这时, 整个空间传入房间内的声级与各个传声壁面的隔声性能、透声面积、吸声情况、侧向传透及声源有关。此时整个房间的实际隔声量的计算可用下式:

$$\text{隔声量 } NR_{\text{房间}} = 10\lg A/T$$

式中 T ——整个房间的总传声度。

(1) 计算整个房间的总传声度 T

$$T = \sum S_n \tau_n = S_1 \tau_1 + S_2 \tau_2 + \dots$$

τ 房间各围护构件的传声系数

S 房间各围护构件的内表面积

(2) 计算整个房间内表面积上的总吸声量 A

$$A = \sum S_n \alpha_n = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots$$

(3) 计算整个房间的实际隔声量:

举例说明: 某受声室数据如下:

四面墙均为 $R = 50\text{dB}$ ($\tau = 10^{-5}$), 楼板、顶板均为 $R = 50\text{dB}$ ($\tau = 10^{-5}$), 四面墙、楼板、顶板三者的表面积均为 60m^2 。

有一个门的 $R = 20\text{dB}$ ($\tau = 10^{-2}$), 一个窗的 $R = 20\text{dB}$ ($\tau = 10^{-2}$), 门、窗表面积均为 2.0m^2 。

经计算受声室的总吸声量 $A = 50\text{m}^2$

则受声室的实际隔声量为:

$$NR_{\text{房间}} = 10\lg A/T = 10\lg 50/(3 \times 60 \times 10^{-5} + 2 \times 2 \times 10^{-2}) = 31\text{dB}$$

2. 假如整个受声室外空间 (比如五个面或六个面) 的噪声, 可以用一个总噪声级值表示, 则可用上述计算方法求出受声室内的实际噪声级: 例如, 室外空间的总噪声级值为

85dB, 受声室的实际隔声量为 $NR_{\text{房间}} = 31\text{dB}$, 则受声室的实际噪声级值 (单值、平均值) 为 $85 - 31 = 54\text{dB}$ 。

3. 假如来自整个受声室外部空间各个面的噪声级值大小是不一样的, 则受声室的实际噪声级值须按本章第一节所述, 对房间一个面一个面的计算出该面构件的实际隔声量, 同时也就知道了由该面构件传入受声室内的噪声级, 然后再把各个面传入受声室内的噪声级值, 通过本书第二章所述声级叠加的方法求出传入受声室内的总噪声级。

第三节 隔 声 室

1. 两类隔声室:

(1) 某车间如内燃机、电机、空压机、风机、液压泵、冲压、板金、发动机试车间等强噪车间, 总的噪声水平很高, 而外部环境又有较高的安静要求, 所以要封闭车间噪声不使之传出。

(2) 某房间如测听室、各类播音室、各类声学实验室、高噪声车间内的控制室等有较高的安静要求的房间, 要防止外部环境高噪声的传入。

这两类房间都应设计为隔声室, 但是隔声性质不同, 一个是防止强噪声从隔声室内通过围护结构传出, 一个是防止强噪声从隔声室外通过围护结构传入。实际上每个工业、民用建筑有人使用的房间, 一般地说都不愿意有噪声传入, 所以广义地说, 都具有隔声室的含意, 但我们这里所说的隔声室, 是采取的隔声措施较多, 也较复杂, 花费也高的那种名副其实的隔声室。

不管是第一类即把噪声闷在房间里不要传出去的隔声室, 还是第二类不让外部噪声传入要求的安静的房间, 声学处理上都有共同之点。

2. 综合考虑隔声室的隔声设计:

隔声室设计主要是综合设计好包括内外墙、楼板、顶板、门窗、预留孔洞等围护结构, 使达到一定的隔声量要求。对楼板、顶板主要是按质量定律下的计算方法计算隔声量, 在这个基础上, 再估计楼板、顶板的多层复合结构这一对隔声有利条件, 判断出由此而增多的隔声量, 当有吊顶时再附加 $3 \sim 5\text{dB}$ 。对于墙, 若单层墙按质量定律下的计算方法或图表计算其隔声量后, 不能满足要求, 则应考虑设计双层墙, 或再填充吸声材料。门则可直接选用国标图 J (649) 之隔声门, 但要强调施工厂家对隔声量的质量保证。关于隔声窗: 这里所指的隔声室的窗有两种情况, 一种是为采光、通风而设计的外窗, 这类窗目前多用塑钢窗, 若作成双层的, 中距 $10 \sim 15\text{cm}$, 隔声基本可以满足要求。窗最好设计成固定的, 局部开启小扇作透气擦洗用, 但要注意构造严密。另一种是为生产而用的观察窗, 这类窗大的设计院一般都有自编的标准图。观察窗常设计成固定的, 并常设计为两层或三层玻璃, 为了削除高频吻合效应的影响, 最好选用不同厚度的玻璃, 并且玻璃的安装要有一定的倾斜度, 以消除驻波影响, 这里所说的是多层窗, 不是 6 或 9 毫米厚空气层的中空玻璃窗, 而是空气层厚度最好达 $10 \sim 15\text{cm}$ 以上的隔声窗。关于设备、管道安装后的缝隙隔声处理见第十五章。

3. 全封闭隔声室“通风消声器”的设计:

为了防止外部噪声传入或内部噪声传出, 这类房间一般都按全封闭、全空调设计, 因

而就存在引进新风以改善室内环境的问题，一是可设计带新风的全空调系统，二是也可以局部作些与室外大气直接相通的通风道，但是这类通风道必须进行声学处理，可用安装于墙上的消声器，以达到既通气又隔声的目的。

消声器的种类有阻性消声器、抗性消声器、共振消声器、阻抗复合消声器等，我们这里仅介绍阻性消声器。阻性消声器是利用吸声材料消声，声波进入消声器后，吸声材料致使一部分声能转化为热能被吸收，这样就起到了消声作用。阻性消声器的形式很多，这里只介绍比较常用的、建筑师设计比较容易掌握的片式阻性消声器，见图 16-2。

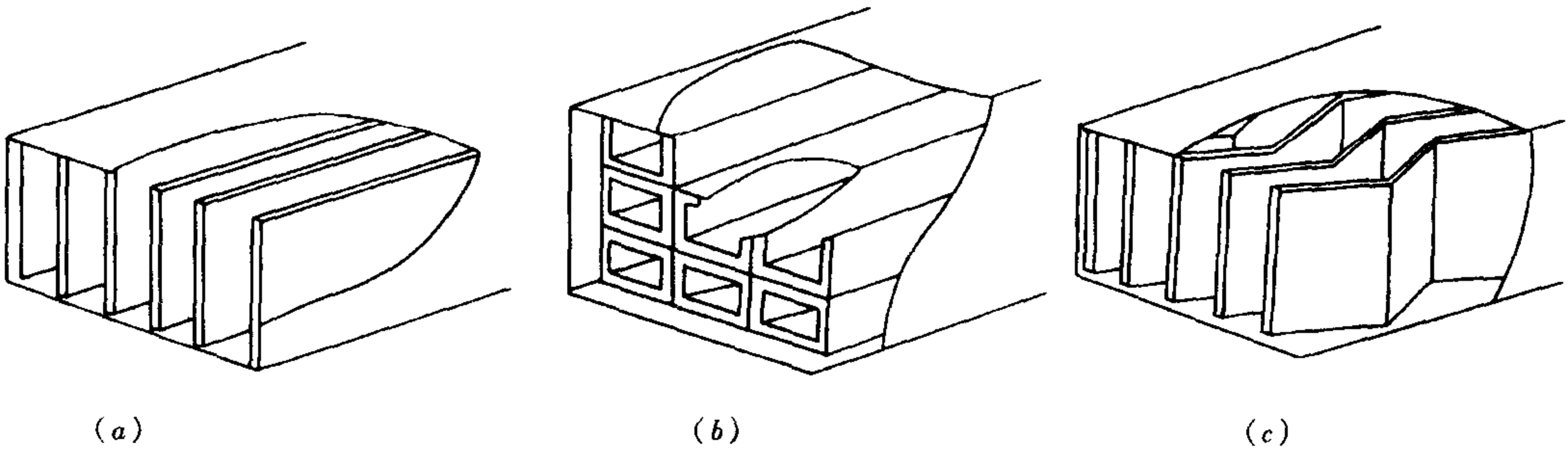


图 16-2 三种形式阻性消声器
(a) 片式消声器；(b) 蜂窝式消声器；(c) 折板式消声器

阻性消声器隔声量计算公式很多，但常用的公式为：

$$R = \Phi(\alpha_0) PL/S \quad (16-2)(\text{我国公式})$$

$$R = 1.1\Phi(\alpha_0) PL/S \quad (16-3)(\text{别洛夫公式})$$

式中 P ——消声器通道横截面周长 (m)；
 S ——消声器通道横截面积 (m^2)；
 L ——消声器的有效长度 (m)；
 α_0 ——吸声材料的正入射（即垂直入射）的吸声系数；
 $\Phi(\alpha_0)$ ——与 α_0 有关的消声系数。

我国公式 (16-2) 中 α_0 与 $\Phi(\alpha_0)$ 的关系可见表 16-1。

消声系数 $\Phi(\alpha_0)$ 与吸声系数 α_0 的关系 表 16-1

α_0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.6~1.0
$\Phi(\alpha_0)$	0.11	0.24	0.39	0.55	0.75	1.0~1.5

别洛夫公式 (16-3) 中 α_0 与 $\Phi(\alpha_0)$ 的关系可见表 16-2。

消声系数 $\Phi(\alpha_0)$ 与吸声系数 α_0 的关系 表 16-2

α_0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$\Phi(\alpha_0)$	0.1	0.2	0.35	0.5	0.65	0.9	1.2	1.6	2.0	4.0

4. 对消声器的设计作如下几点说明：

(1) 消声器一般都是指安装于通风管道上的消声器，因有动态气流通过会产生次生噪声，这样，实测隔声量便小于公式计算值，而实测静态下即无气流通过时的隔声量，比动态测量时较接近公式计算值。我们这里指的是安装在墙上供自然通风换气的装置，这样的

消声器能起到“隔声”作用，它是接近静态即无强气流时的风管消声器装置。

消声器的作用是声音从消声器的一端传入而从消声器的另一端传出，因吸声材料吸声，声级就要衰减，这与声音通过一片具有质量 m 的墙时的衰减因而具有了隔声量是相似的，尽管衰减的机理不同。一般都把消声器的消声效果定名为消声量，我们把消声器的效能认定为隔声量。

(2) 公式 (16-3) 是苏联声学家别洛夫 (А.И.Белев) 于 1939 年提出的，故名别洛夫公式。美国物理学家赛宾 (W.C.Sabine) 于 1940 年也提出过类似的公式，但因适用范围较窄，所以我们这里没有介绍。而别洛夫公式也有一定的局限性，尤其在高频，公式计算值与实测值误差较大。我国声学家经过实验研究，对别洛夫提出的 α_0 与 $\Phi(\alpha_0)$ 的关系表 16-2，进行了修正，于是得出了比较接近实际的表 16-1。

别洛夫提出的表 16-2 与我国声学家提出的表 16-1 的区别在于：当 $\alpha_0 > 0.4$ 时，我国对别洛夫表中的 $\Phi(\alpha_0)$ 值进行了大幅度的消减，这是符合实际的；同时还把别洛夫公式 (16-3) 中的常数 1.1 去掉，而形成比较接近实际的公式 (16-2)。我国声学书籍中，早期的都是引用别洛夫的公式 (16-3) 及其相应的表 16-2，近期的书籍一般是式 (16-2) 及其相应的表 16-1，但近期也有声学书籍把别洛夫公式 (16-3) 与表相应的表 16-2 仍然并列使用的，这里建议不宜再用别洛夫公式。

阻性消声器隔声量的计算公式，在管道高速气流有次生噪声时，计算出的隔声量值不够准确，而我们使用阻性消声器是在静态下，故用公式 (16-2) 与表 16-1 计算出的隔声量，是基本符合实际的。

(3) 关于表 16-1 中的最后一项 $\alpha_0 > 0.6$ 时的 $\Phi(\alpha_0)$ 值为 1~1.5 应如何取值的问题，原则上是：如果总消声量低于 20dB 时， $\Phi(\alpha_0)$ 值可取 1.3~1.5，当总消声量高于 40dB 时 $\Phi(\alpha_0)$ 值可取 1~1.2。

(4) 阻性消声器以降低中高频噪声为主，吸声材料常为在薄钢板制成的骨架内填充容重 $25 \sim 30\text{kg/m}^3$ 超细玻璃棉，外包无碱玻璃布及钢板网或铁丝网。

(5) 无论片式或蜂窝格式阻性消声器，其格片厚度即吸声层厚度宜为 5~15cm，当欲增高低频吸声时可取上限，加厚吸声层。格片的片距宜为 10~20cm，有效通风面积宜控制在 50%~60%，即吸声格片的厚度与空气层的厚度大体上是 1:1。消声器长度一般为 1~2m，要求高时也可为 2~4m。吸声格片的长度与隔声量是成正比的。

(6) 由于吸声材料对各声频的吸声系数不一样，所以用公式 (16-2) 计算时为分频计算，但也可只计算 500Hz 时的隔声量来代表消声器总的隔声量。

5. 全封闭车间“通风消声器的设计实例：

70 年代末，我们曾为“北京证章厂”设计过一个冲压车间厂房，为 18 米跨、4 个 6 米柱距、屋面板底 8.5 米高。由于是建在密集的居住区内，而且居住区内又有要求很安静的高级住宅，为了不对周围环境造成噪声干扰，将该冲压车间设计成一个全空调全封闭的厂房，这在当时那个年代是少见的。设计时经研究、计算采用 37cm 厚砖墙两面抹灰；采用当时最好的双层钢窗，外层固定内层密闭可开启，外层固定窗下部仅开启极小面积的透气窗；为了降低整个厂房的噪声水平，厂房上部设计安装悬挂了相当于厂房面积 45% 的板状空间吸声体；两侧墙壁上部也作了少量的吸声处理；所有冲压机床基础都采取了减振措施。

为了改善工作条件，设计时根据室内存在温度梯度，采取了自然通风、对流换气的措施，即在两侧山墙上部安装了底标高为 7.8 米的两处格片式阻性消声器，见图 16-3。

消声器与墙下部开启小透气窗中距 6.5 米，消声器直接对室外大气开口，有效通风面积是通风专业提供的，消声器长 1 米，有效长度 0.85 米，吸声格片内填 30kg/m^3 超细玻璃棉，厚 7cm，外包无碱玻璃布及铁丝网，格片间空气层厚 9cm，空隙率为近 45%。由于证章制品都是小工件，冲压机床吨位数都不太大，尽管单台冲压机床发出的是脉冲声，但常是许多台机床同时工作，设计时对车间内生产噪声按连续声估值为 90dB，37cm 厚砖墙两侧抹灰及双层密闭钢窗和多层次复合结构的屋顶，经计算可满足隔声要求。消声器“隔声量”当时只能采用公式 (16-3) 与相应的表 16-2 计算为：（超细玻璃棉吸声系数按 500Hz， $\alpha_0 = 0.85$ ）。 $R = 1.1\Phi(\alpha_0) PL/S = 1.1 \times 1.85 \times 1.39 \times 0.85 \div 0.057 = 42\text{dB}$ ，计算值很大。以式 (16-2)、表 16-1 计算为 $R = 23\text{dB}$ 比较接近实际。

厂房建成后的使用实践证明隔声效果良好，附近居民基本无反感，达到了设计要求。

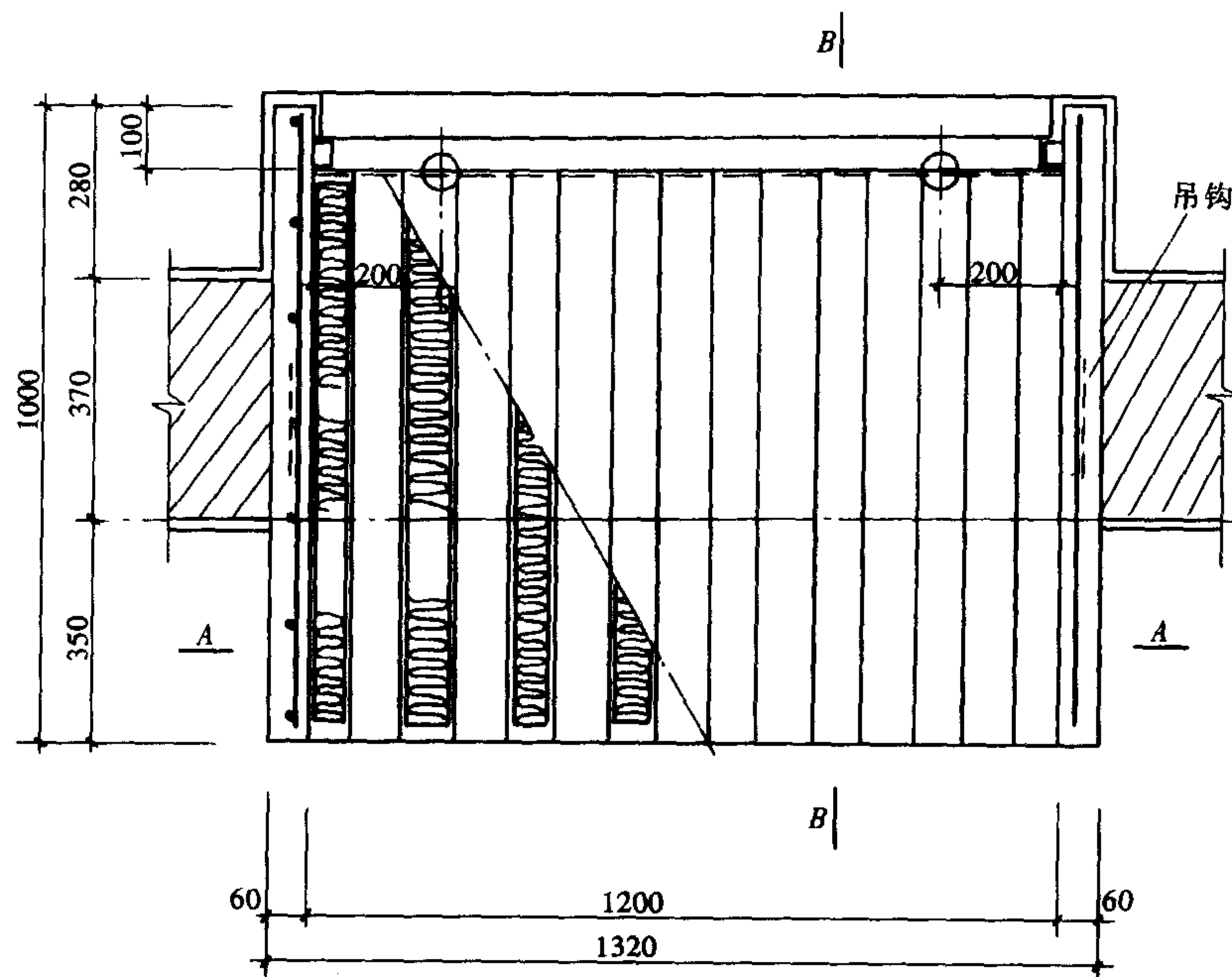
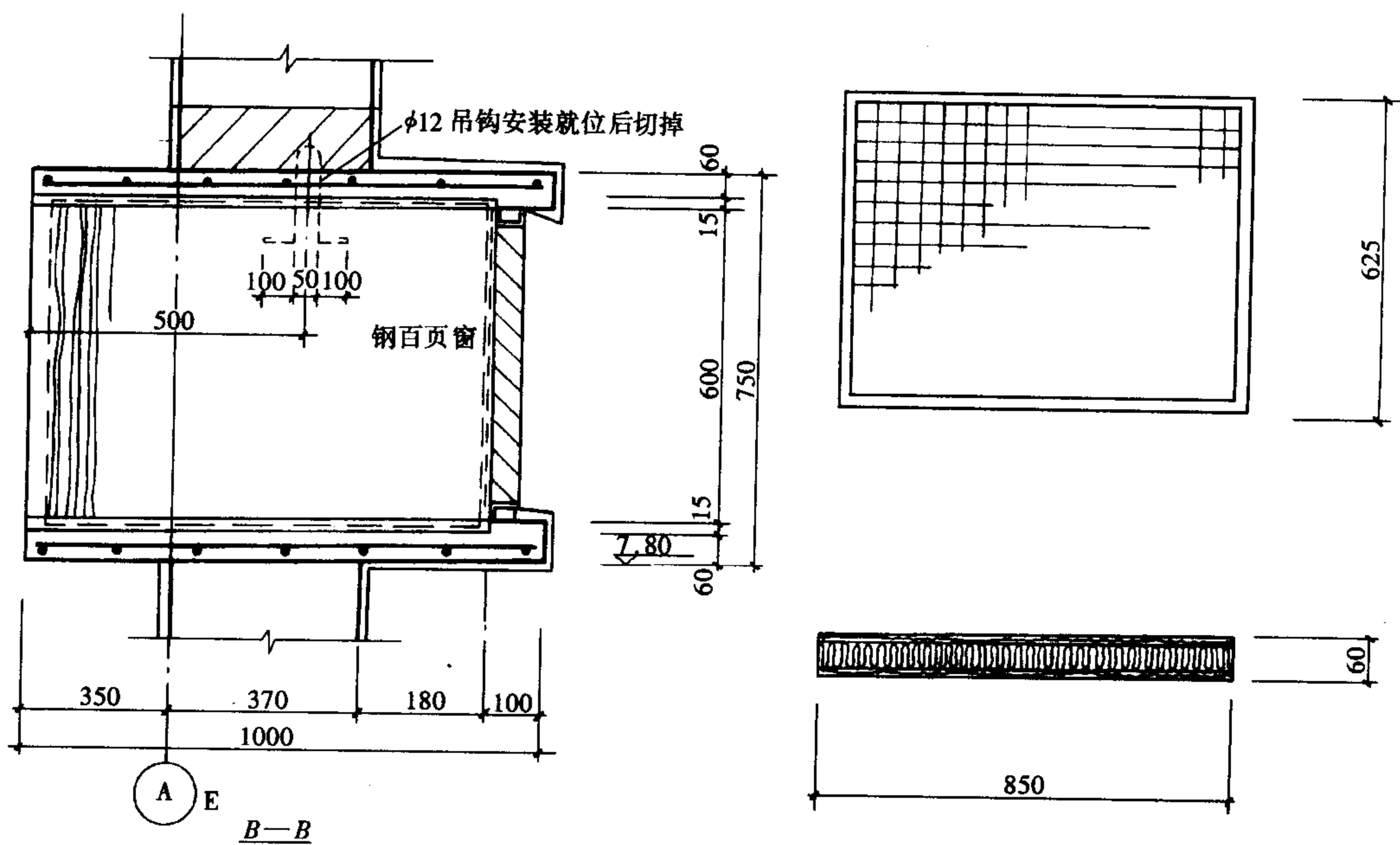
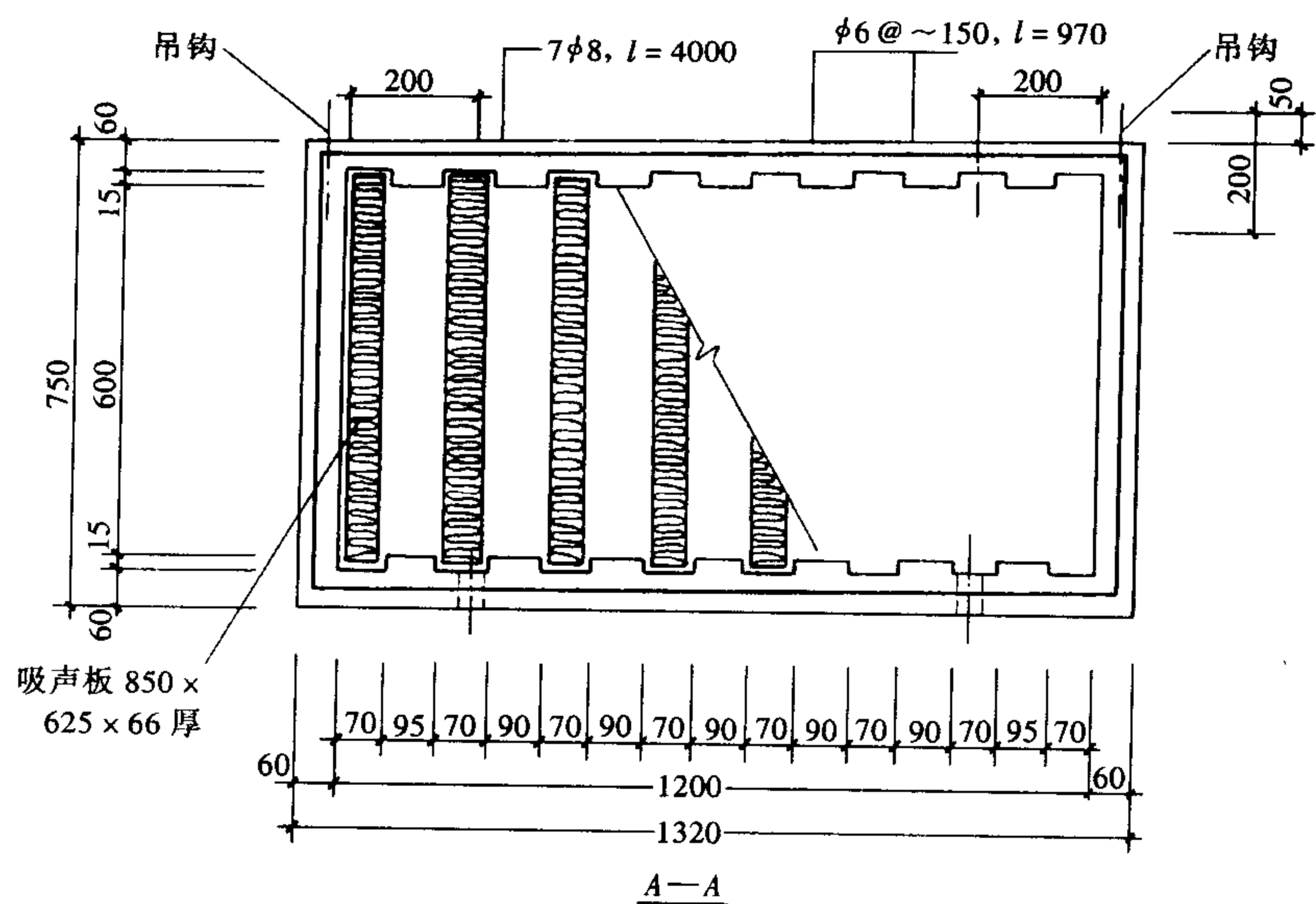


图 16-3 北京证章厂消声器平面图



附录 (一) 部分民用建筑及工业建筑隔声标准

当前我国与民用及工业建筑设计有关的隔声规范有:《民用建筑隔声设计规范》(GBJ 118—88)、《建筑隔声评价标准》(GBJ 121—88)、《建筑隔声测量规范》(GBJ 75—84)、《工业企业噪声控制设计规范》(GBJ 87—85)、《工业企业噪声测量规范》(GBJ 122—88)。设计规范中民用建筑只涉及到住宅、学校、医院、旅馆四类建筑,并规定了受声室内允许噪声级为 A 声级 (dB),及围护构件空气声隔声标准计权隔声量 R_w (dB);工业建筑规定了工业企业厂区内各类地点噪声标准为 A 声级 (dB) 及厂界噪声限制值均为 A 声级 (dB)。

在执行上列建筑隔声标准中,建筑师们会很自然地想到,按理说应该限定的只能是受声室的噪声水平。但是,在民用建筑隔声设计规范中,除规定了室内允许噪声级外,还规定了发声室与受声室之间的那个墙或板的空气声隔声标准,这似乎是不够科学的,但这样规定是因为:尽管各种用途的房间皆有其允许的噪声标准,但由于毗邻的房间或室外噪声源是各式各样的,声级也经常变化,很难在隔声设计中确定一些参数以达到规定的允许噪声级。因此,许多国家都以规定隔墙的隔声能力,来间接表示一个房间的允许噪声标准。如果建筑中某房间采用了合乎规范要求的隔声标准量值的墙或楼板,则认为此房间满足允许的噪声标准。这也是从实际出发,是出于对下列民用建筑中的噪声水平的基本了解为前提。现将标准附录于下:

1. 住宅

室内允许噪声级

附表 1-1

房间名称	允许噪声级 (A 声级, dB)		
	一级	二级	三级
卧室、书房 (或卧室兼起居室)	≤40	≤45	≤50
起居室	≤45	≤50	

空气声隔声标准

附表 1-2

围护结构部位	计权隔声量 (dB)		
	一级	二级	三级
分户墙及楼板	≥50	≥45	≥40

2. 学校

室内允许噪声级

附表 1-3

房间类别	允许噪声级 (A 声级, dB)		
	一级	二级	三级
有特殊安静要求的房间	≤40	—	—
一般教室	—	≤50	—
无特殊安静要求的房间	—	—	≤55

注: ①特殊安静要求的房间指语言教室、录音室、阅览室等。

一般教室指普通教室、史地教室、合班教室、自然教室、音乐教室、琴房、视听教室、美术教室等。

无特殊安静要求的房间指健身房、舞蹈教室;以操作为主的实验室、教师办公及休息室等。

②对于邻近有特别容易分散学生听课注意力的干扰噪声 (如演唱) 时,表中的允许噪声级应降低 5dB。

空气声隔声标准

附表 1-4

围护结构部位	计权隔声量 (dB)		
	一级	二级	三级
有特殊安静要求的房间与一般教室间的隔墙与楼板	≥50	—	—
一般教室与各种产生噪声的活动室间的隔墙与楼板	—	≥45	—
一般教室与教室之间的隔墙与楼板	—	—	≥40

注：产生噪声的房间系指音乐教室、舞蹈教室、琴房、健身房以及有产生噪声与振动的机械设备的房间。

3. 医院

室内允许噪声级 附表 1-5

房间名称	允许噪声级 (A 声级, dB)		
	一级	二级	三级
病房、医护人员休息室	≤40	≤45	≤50
门诊室	≤55		≤60
手术室	≤45		≤50
听力测听室	≤25		≤30

空气声隔声标准 附表 1-6

围护结构部位	计权隔声量 (dB)		
	一级	二级	三级
病房与病房之间	≥45	≥40	≥35
病房与产生噪声的房间之间	≥50		≥45
手术室与病房之间	≥50	≥45	≥40
手术室与产生噪声的房间之间	≥50		≥45
听力测听室围护结构	≥50		

注：产生噪声的房间系指有噪声或振动设备的房间。

4. 旅馆

室内允许噪声级 附表 1-7

房间名称	允许噪声级 (A 声级, dB)			
	特级	一级	二级	三级
客房	≤35	≤40	≤45	≤55
会议室	≤40	≤45	≤50	
多用途大厅	≤40	≤45	≤50	—
办公室	≤45	≤50	≤55	
餐厅、宴会厅	≤50	≤55	≤60	—

客房空气声隔声标准 附表 1-8

围护结构部位	计权隔声量 (dB)			
	特级	一级	二级	三级
客房与客房间隔墙	≥50	≥45	≥40	
客房与走廊间隔墙 (包含门)	≥40		≥35	≥30
客房的外墙 (包含窗)	≥40	≥35	≥25	≥20

5. 以上住宅、学校、医院、旅馆、室内允许噪声级应按下表修正：

因时间不同对允许噪声级的修正值

附表 1-9

时 间	修正值 (A 声级, dB)
昼间 (06:00 ~ 22:00)	0
夜间 (22:00 ~ 06:00)	-10

注：表中昼夜时间也可按当地人民政府及地区习惯，季节变化而划定。

噪声的测量值还应按下表修正：

因噪声特性不同对噪声测量值的修正值

附表 1-10

噪 声 特 性		修正值 (A 声级, dB)
稳态噪声	持续稳定的噪声	0
	脉冲性稳态噪声 (如锤击、铆接声)	+5
	含有可听纯音的稳态噪声 (如狗叫、蜜蜂的嗡嗡声)	+5

续表

噪 声 特 性		修正值 (A 声级, dB)
非稳态噪声	间歇噪声	
	在半小时噪声所占时间的百分数	
	100 ~ 56	0
	56 ~ 18	-5
	18 ~ 6	-10
	< 6	-15
声级随时间而起伏, 变化比较复杂的噪声 (如交通噪声)		0

注: 声级随时间变化较为复杂的噪声, 其允许噪声级应采用等效 [连续 A] 声级。等效 [连续 A] 声级的测量, 应符合设计规范附录二的要求。

6. 工业企业

工业企业厂区内各类地点噪声标准

附表 1-11

序号	地 点 类 别	噪声限制值 (A 声级, dB)
1	生产车间及作业场所 (工人每天连续接触噪声 8 小时)	90
2	高噪声车间设置的值班室、观察室、休息室 (室内背景噪声级)	无电话通讯要求时 75
		有电话通讯要求时 70
3	精密装配线、精密加工车间的工作地点、计算机房 (正常工作状态)	70
4	车间所属办公室、实验室、设计室 (室内背景噪声级)	70
5	主控制室、集中控制室、通讯室、电话总机室、消防值班室 (室内背景噪声级)	60
6	厂部所属办公室、会议室、设计室、中心实验室 (包括试验、化验、计量室) (室内背景噪声级)	60
7	医务室、教室、哺乳室、托儿所、工人值班宿舍 (室内背景噪声级)	55

注: ①本表所列的噪声级, 均应按现行的国家标准测量确定。

②对于工人每天接触噪声不足 8 小时的场合, 可根据实际接触噪声的时间, 按接触时间减半, 噪声限制值增加 3dB 的原则, 确定其噪声限制值。

③本表所列的室内背景噪声级, 系在室内无声源发声的条件下, 从室外经由墙、门、窗 (门窗启闭状况为常规状况) 传入室内的室内平均噪声级。

厂界噪声限制值 dB (A)

附表 1-12

厂界毗邻区域的环境类别	昼 间	夜 间
特殊住宅区	45	35
居民、文教区	50	40
一类混合区	55	45
商业中心区、二类混合区	60	50
工业集中区	65	55
交通干线道路两侧	70	55

注: ①本表所列的厂界噪声级, 应按现行的国家标准测量确定。

②当工业企业厂外受该厂辐射噪声危害的区域同厂界间存在缓冲地域时 (如街道、农田、水面、林带等), 表中所列厂界噪声限制值可作为缓冲地域外缘的噪声限制值处理。凡拟作缓冲地域处理时, 应充分考虑该地域未来的变化。

附录（二） 各类建筑的允许噪声级（供参考）

一般建筑（人耳听闻建筑）的允许噪声标准

附表 2-1

建筑类别	房 间 名 称		允许噪声标准	
			评价曲线：NR -	单值：A 声级（dB）
医院 ^①	门诊室	一、二级	50	≤55
		三 级	55	≤60
	手术室	一、二级	40	≤45
		三 级	45	≤50
	听力测听室（门诊）	一、二级	20	≤25
		三 级	25	≤30
旅馆 ^①	客房	特 级	30	≤35
		一 级	35	≤40
		二 级	40	≤45
		三 级	45	≤50
	会议室	特级	35	≤40
		一 级	40	≤45
		二、三级	45	≤50
	多功能大厅	特级	35	≤40
		一 级	40	≤45
		二 级	45	≤50
会 议	会议厅		30	35
	会议室		30	35
	学术报告厅		25	30
法 院	审判厅		25	30
	预审室		20	25
图书馆	阅览室		25	30
	视听室		20	25
办 公	办公		35	40
	设计室、制图室		40	45
剧 院	话剧院		25	30
	地方戏剧院		30	35
	歌剧院		25	30
	多功能剧院		25	30
音乐厅	室内乐、演唱厅		20	25
	近代轻音乐、电子乐		30	35
	音乐排练厅		30	35
	交响乐大厅		20	25
	管风琴演奏厅		25	30
电影院	普通影院		35	40
	宽银幕立体声影院（四声道、六声道）		25	30
	全景影院、宽银幕影院		20	25
	标准放映室		25	30

续表

建筑类别	房 间 名 称		允许噪声标准	
			评价曲线：NR -	单值：A 声级（dB）
住宅公寓 ^①	卧室、书房（或卧室兼起居室）	一 级	35	≤40
		二 级	40	≤45
		三 级	45	≤50
	起居室	一 级	40	≤45
		二、三级	45	≤50
学校 ^①	语言教室、阅览、录音室	一 级	35	≤40
	一般室	二 级	45	≤50
	无特殊安静要求的房间	三 级	50	≤55
医院 ^①	病房、医务人员休息室	一 级	35	≤40
		二 级	40	≤45
		三 级	45	≤50
体育馆	田径、体操馆		40	45
	球类		45	50
	溜冰馆		45	50
	跳水、游泳馆		50	55
	击剑、拳击		40	45
	多功能体育馆		40	45
宴会厅	宴会厅		35	40
	餐厅（食堂）		45	50
教 堂	礼拜堂		30	35

① 为国家标准：GBJ 118—88。

特殊建筑（传声器接收的建筑）的允许噪声标准 附表 2-2

建 筑 类 别			允许噪声标准（dB）	
			评价曲线：PNC -	单值：A 声级
录音播音	音 乐	多声轨强吸声	20	25
		自然混响	15	20
		多功能	15	20
	对 白	对白、效果	20	25
		解说词	15	20
		语言播音	20	25
		语言插播	15	20
		同期录音摄影棚	25	30
	演 播	演播室	20	25
	混 录	混合录音	30	35
	监 听	监听控制	30	35
生理、心理实验室	测听室		10	15
	条件反射实验室		10	15
声学实验室	消声室		10	15
	混响室		20	25

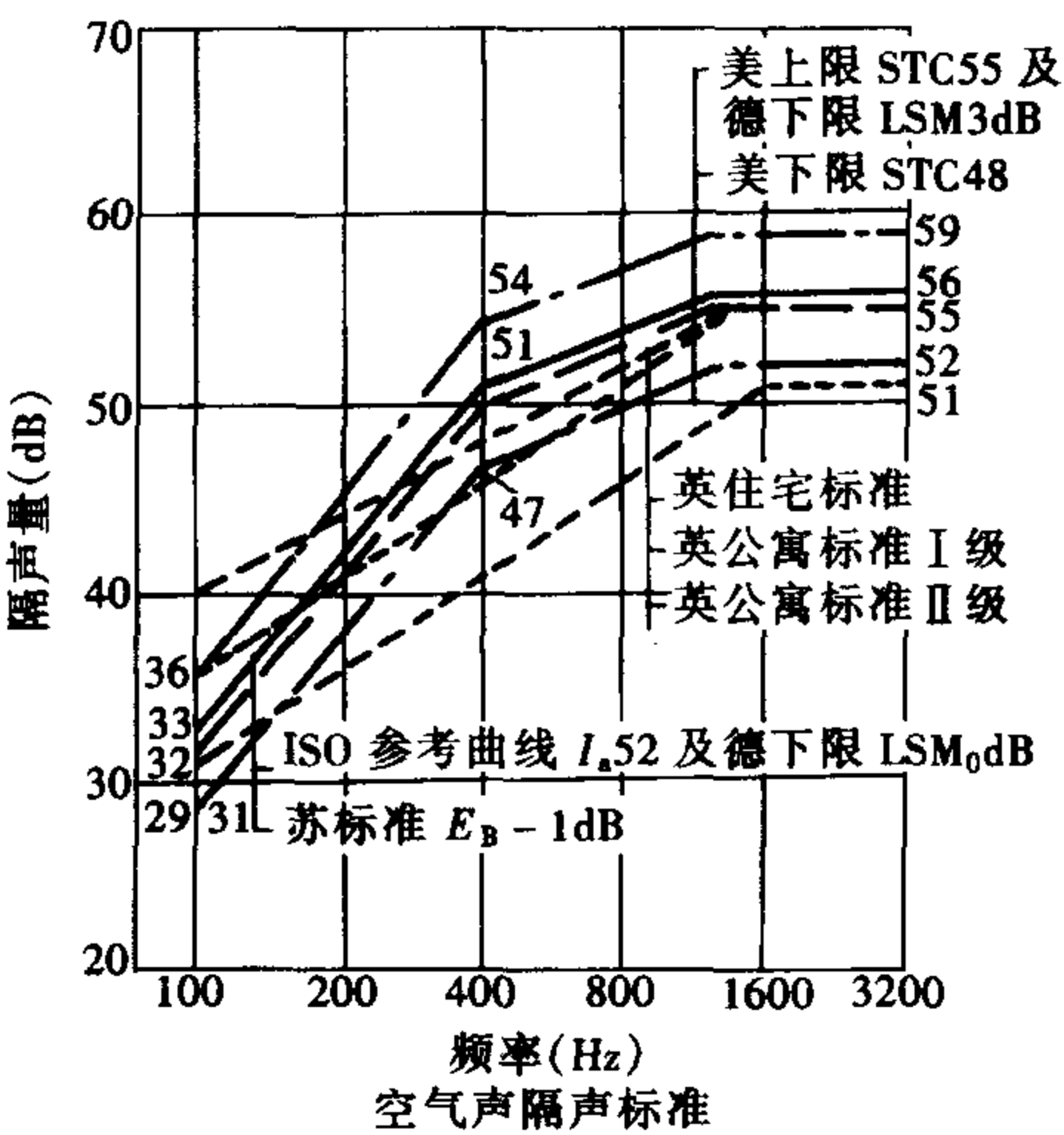
注：PNC 噪声评价曲线见附表 2-3。

PNC 噪声评价曲线对应的倍频带声压级 (dB)

附表 2-3

评价曲线 (PNC-)	倍频带中心频率 (Hz) 声压级 (dB)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
PNC-15	43	35	28	21	15	10	8	8
PNC-20	46	39	32	26	20	15	13	13
PNC-25	49	43	37	31	25	20	18	18
PNC-30	52	46	41	35	30	25	23	23
PNC-35	55	50	45	40	35	30	28	28
PNC-40	59	54	50	45	40	36	33	33
PNC-45	63	58	54	50	45	41	38	38
PNC-50	66	62	58	54	50	46	43	43
PNC-55	79	66	62	59	55	51	48	48
PNC-60	73	69	66	63	59	56	53	53
PNC-65	76	73	70	67	64	61	58	58

附录（三） 国外建筑隔声标准简介



附图 3-1 ISO 及美、英、苏、联邦德国住宅隔声标准

英国民用建筑隔声标准				附表 3-1
建筑类别	传声方式	房 间 名 称	隔声构件	隔声量 (dB)
学 校	空气声	A 类房间之间 ^①	隔 墙	25
		B 类房间之间 ^①		45
		C 类房间之间 ^①		35
		D 类房间之间 ^①		35
		E 类房间之间 ^①		45
		不同类型房间之间		45
医 院	空气声	同类房间之间	隔 墙	≥40
		要求安静的房间与产生噪声的房间之间		≥45
办公楼	空气声	在安静部位, 有保密要求, 并需要安静的办公室 ^②	隔 墙	45
		在吵闹部位, 保密要求不高, 但要求安静的办公室 ^②		40
		噪声不致形成重大干扰的办公室		20 ~ 30

① A 类房间为产生噪声的房间, 如实习工厂、厨房、餐厅、锅炉房、健身房等。
B 类房间为本身产生噪声, 但有时需要安静的房间。如音乐教室、礼堂、接待室等。
C 类房间为一般房间。如普通教室、实验室、办公室等。
D 类房间为需要安静的房间, 如图书馆、研究室等。
E 类房间安静要求更高, 如医务室、病房等。

② 产生噪声的部位或房间为: 入口大厅, 楼梯间, 公用走廊, 电梯间, 机器间或工场, 厕所, 公共大办公室, 放映室, 娱乐活动室。
需要安静的房间: 校长室, 会议室, 接待室, 1~2 个人的小办公室, 图书馆, 医务室, 病房。

日本民用建筑隔声标准（建筑学会推荐标准）

空气声隔声标准

附表 3-2

建筑物	房间名称	隔声构件	适用等级			
			特级	1级	2级	3级
旅馆	客房	客房隔墙或楼板	D-50	D-45	D-40	D-35
办公楼	业务上要求保密的房间	隔 墙	D-50	D-45	D-40	D-35
学 校	普通教室	隔 墙	D-45	D-40	D-35	D-30
医 院	病 房	隔 墙	D-50	D-45	D-40	D-30

日本住宅隔声标准

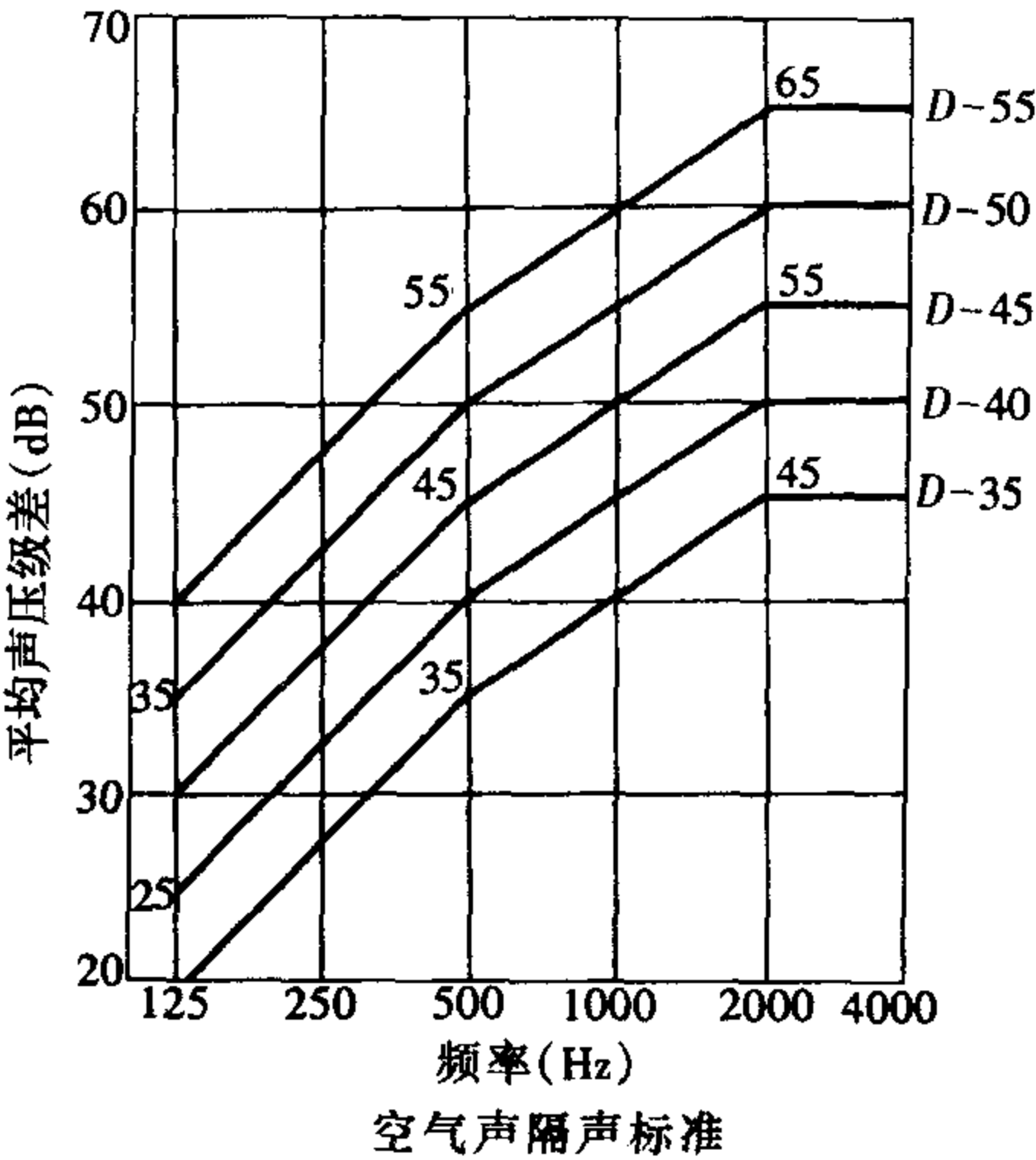
附表 3-3

	建筑类别	房间名称	隔声构件	隔 声 等 级			
				特级	1级	2级	3级
空气声	集体住宅	起居室	分户墙、分户楼板	D-55	D-50	D-45	D-40
	独立式住宅	卧室及有保密要求之房间	住宅内隔墙	D-45	D-40	D-35	D-30
撞击声	集体住宅	起居室	分户楼板	L-40	L-45	L-50、55	L-60
	独立式住宅		属同一户的楼板	L-45、50	L-55、60	L-65	L-70

适用等级的意义

附表 3-4

特 级	学会特定级	隔声性能非常优良	适用于隔声有特别要求的场合
1级（标准级）	学会推荐标准	隔声性能良好	一般使用，居住者对隔声满意
2级（允许级）	学会允许标准	隔声性能大致满足	隔声性能虽有不足，基本上可满足一般要求
3级（最低级）	学会标准外级别	隔声性能最低限	使用意见大，但还是在社会的经济制约所允许的范围



附图 3-2 日本隔声标准等级曲线

主要参考文献

- 【1】 C. M. Harris. HandBook of Noise Control. New York: Mcgraw - Hill Inc, 1979
- 【2】 W. Zeller (Paris—1954). И. Ю. ЭРДЕЛИИ (译). Техника борьбы с шумом. Москва, 1958
- 【3】 L. Conturie Paris—1955. А. В. РАБИНОВИЧА (译). Акустика в строительстве. Москва, 1960
- 【4】 E. G. 里查孙主编. C. W. 考斯汀编著. 王季卿译. 声学技术概要. 科学出版社, 1961
- 【5】 V.O 努特生等. 王季卿译. 建筑中的声学设计. 上海科学技术出版社, 1957
- 【6】 L. L 白瑞纳克. 章启馥等译. 声学. 高等教育出版社, 1959
- 【7】 B.И. 扎鲍罗夫. 徐稠民译. 围护结构隔声理论. 1964
- 【8】 И.И. 斯拉文. 胡澄东译. 生产中的噪声及其防止方法
- 【9】 久我新一. 高履泰译. 建筑隔声材料. 中国建筑工业出版社, 1981
- 【10】 清华大学等四校. 建筑物理. 中国建筑工业出版社, 1980、1987、2000
- 【11】 柳孝图. 建筑物理. 中国建筑工业出版社, 1991、2000
- 【12】 张沛商, 姜亢. 噪声控制工程. 北京经济学院出版社, 1991
- 【13】 中国建筑科学研究院. 建筑围护结构的隔声. 中国建筑工业出版社, 1980
- 【14】 方丹群等. 噪声控制. 北京出版社, 1986
- 【15】 方丹群. 噪声的危害与防治. 中国建筑工业出版社, 1980
- 【16】 清华大学土建系. 剧院中的声学设计, 1960
- 【17】 孙万纲, 汪惠义. 建筑声学设计. 中国建筑工业出版社, 1979、1993
- 【18】 项端祈. 实用建筑声学. 中国建筑工业出版社, 1992
- 【19】 马大猷. 噪声控制学. 科学出版社, 1987
- 【20】 赵松龄. 噪声的降低与隔离. 同济大学出版社, 1989
- 【21】 智乃刚, 许亚芬. 噪声控制工程的设计与计算, 1994
- 【22】 陈绎勤. 噪声与振动的控制. 中国铁道出版社, 1981
- 【23】 中国航空工业规划设计研究院试验设备所. 噪声控制工程设计技术概要, 1979
- 【24】 清华大学建筑系. 建筑声学工作手册, 1960
- 【25】 同济大学, 上海工业建筑设计院. 建筑设计资料手册, 1975
- 【26】 北京工业建筑设计院. 建筑设计资料集. 中国建筑工业出版社, 1965、1973
- 【27】 建筑设计资料集编委会. 建筑设计资料集. 中国建筑工业出版社, 1994
- 【28】 马大猷, 沈壕. 声学手册. 科学出版社, 1983
- 【29】 吴大胜等. 建筑声学设计手册. 中国建筑工业出版社, 1987
- 【30】 陕西省建筑设计院. 建筑材料手册. 中国建筑工业出版社, 1991
- 【31】 民用建筑隔声设计规范 (GBJ 118—88) 1988
- 【32】 建筑隔声评价标准 (GBJ 121—88) 1988
- 【33】 建筑隔声测量规范 (GBJ 75—84) 1985
- 【34】 工业企业噪声控制设计规范 (GBJ 87—85) 1986
- 【35】 工业企业噪声测量规范 (GBJ 122—88) 1988
- 【36】 声学的量和单位 (GB 31027—93) 1994