

DIANYINGYUAN YINZHI SHEJI
YU CELIANG

范国志 编著
何国华



电影院 音质设计与测量

湖北科学技术出版社

电影院音质设计与测量

何国华 范国志编著

*

湖北科学技术出版社出版 湖北省新华书店发行
荆州新华印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 10.375印张 1插页 237,000字
1983年10月第1版 1983年10月第1次印刷
印数：1—2,000

统一书号：15304·4 定价：1.10元

前 言

随着我国经济的调整，工农业的发展和人民文化生活的提高，城市电影院特别是农村集镇电影院正处在新的的发展之中，新建与改建的影院日益增多，这是十分可喜的。但由于经验不足，技术管理工作不善，不少影院在建设时，只注重建筑结构和厅堂的美观壮丽，而忽视声学设计和放映技术要求，致使影院建成后音响效果达不到应有的质量标准。如要进一步改造还需要增加投资，不仅引起较多的麻烦，而且使国家蒙受较大的损失，这对电影放映事业的发展是很不利的。

如何根据电影放映的技术特点作好影院的声学设计，这是当前电影部门与建筑设计部门的一项重要课题。为此，我们对许多新建和改建影院的音质进行了调查和实际测量，并编写了这本书。本书从声学的基本知识出发，对电影院观众厅的声学设计、电影放映还音对电影院观众厅的声学要求，以及影院观众厅的声学评价与测量等方面都作了较为系统的介绍。

本书在编写过程中得到了中国电影科研所乔柏人同志与陈子俊同志、清华大学建工系车世光教授的积极支持和热情帮助，在此表示衷心的感谢。

由于我们对于电影院声学问题的研究还不够深入，加以水平有限，书中论述和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1982年10月

114

目 录

前 言

第一章 建筑声学基础	1
第一节 声音的产生与传播	1
一、声音的产生与传播	1
二、声速、波长与频率	2
三、声场与波阵面	3
四、声源的方向性	5
第二节 声音的物理量度	6
一、声功率、声强、声压	6
二、声强级、声压级、声功率级及其迭加	10
三、声音的频率及其划分	17
四、声音的频谱及波形包络	19
第三节 听觉特性	22
一、人耳的构造及其听闻	22
二、等响曲线与响度级	26
三、响度与声级	29
四、听觉的时差效应方位感与掩蔽作用	33
第二章 室内声学原理	35
第一节 室内声波的传播特性	35
一、声波在室内的反射与几何声学	36
二、声波的绕射	41
三、声波的干涉和驻波	42

四、声波的透射与吸收	47
第二节 室内声音的增长、稳态和衰减	47
一、室内声音的增长和稳态过程	47
二、室内声音的混响过程	48
三、混响时间计算公式	49
四、房间共振和共振频率	55
第三章 吸声、消声、隔声处理	57
第一节 吸声处理	57
一、吸声量	58
二、吸声材料、吸声结构及其吸声特性	59
三、吸声处理原则	73
第二节 隔声处理	76
一、隔声构件的隔声原理	77
二、单层实心墙的隔声性能	79
三、带空气层的双层空心隔声结构	80
四、门窗的隔声与处理	83
五、隔声构件在隔声间中的隔声量	86
第三节 消声处理	88
一、电影院空调概况	88
二、空调设备的噪声特性	90
三、消声原理和消声器的应用	91
四、隔振	94
第四章 电影院的建声设计	97
第一节 电影院观众厅的还音特点及其影响因素	97
一、电影院观众厅的还音特点	97
二、影响电影院观众厅还音音质的因素	99
第二节 电影院的建声设计	115
一、电影院观众厅的声学要求	115

二、设计的一般步骤	117
三、音质设计	118
四、噪声控制设计	147
第三节 电影院观众厅的音质改建	153
一、电影院音响效果欠缺的现象及其主要原因	153
二、改善电影院观众厅音质效果的途径	156
三、音质改建的一般步骤	158
四、电影院观众厅音质改建举例	160
第四节 农村集镇电影院音质设计特点	164
第五章 电影院的电声设计	167
第一节 电影院电声系统概述	167
一、电影院电声系统的组成	167
二、电影院电声系统功率的确定	170
三、扬声器	173
第二节 电影院还音放大器的性能指标及其对 音质的影响	182
一、电影院还音放大器的主要性能指标	182
二、放大器性能指标对还音质量的影响	188
第三节 电影院电声系统主要性能指标的测试 方法	192
一、扬声器系统主要性能指标的测试方法	192
二、放大器主要性能指标的测试方法	198
第六章 电影院音质效果的评价与测量	203
第一节 电影院观众厅音质效果的评价	203
一、响度	203
二、声场分布	204
三、语言清晰度	204
四、混响时间及其频率特性	205

五、干扰度	207
第二节 电影院观众厅音质效果的测量设备	208
一、声级计	208
二、滤波器	250
三、白噪声信号发生器	267
四、电平记录仪	274
第三节 电影院观众厅音质效果的测试方法	279
一、本底噪声的测量	279
二、声场分布的测量	281
三、混响时间的测量	283
四、电声频响特性的测量	288
五、放映中平均声级与动态范围的测量	289
六、清晰度的测量	290
附录一 响度指数换算表	294
附录二 常用吸声材料吸声系数	300
附录三 电影制片厂混合录音棚和电影院的电声 频响特性推荐标准(草案)	312
附录四 一、电影院声学情况调查表	319
二、电影院声学测量记录表	321
三、电影院建声调查附页	324

第一章 建筑声学基础

声学是研究物质中机械波的产生、传播和接收的科学。建筑声学是研究厅堂内听音质量以及建筑物内噪声控制和建筑材料声学性能等问题的一门学科，它是电影院音质设计的基础。

第一节 声音的产生与传播

一、声音的产生与传播

声音来源于物体的振动。例如人的讲话声由声带振动引起，扬声器发声则产生于扬声器纸盆或膜片的振动，如果发声体不振动，无论如何也是不会产生声音的。通常把正在发出声音的发声体称为声源。

发声体振动怎样会使我们听到声音呢？如图1—1所示，发声体振动时必将引起它邻近的空气振动起来，当发声体向某个方向振动时，便压缩它邻近的空气，使这部分空气变密，当发声体向相反方向振动时，这部分空气就变疏。邻近空气这样一疏一密地随着发声体的振动而振动，同时又使较远的空气作同样的振动，空气这种一疏一密地振动传播的波就叫声波。声波以一定速度向四面八方传播开来，当声波传到入耳中，就促使人耳膜发生相应的振动，这种振动，通过听觉神经，使我们产

生声音的感觉。应当指出，当声波在空气中传播时，空气质点只不过在原来的平衡位置来回振动，质点离开平衡位置的最大距离称为振幅。这里质点的振动方向和声波的传播方向是相同的，因此声波是纵波。

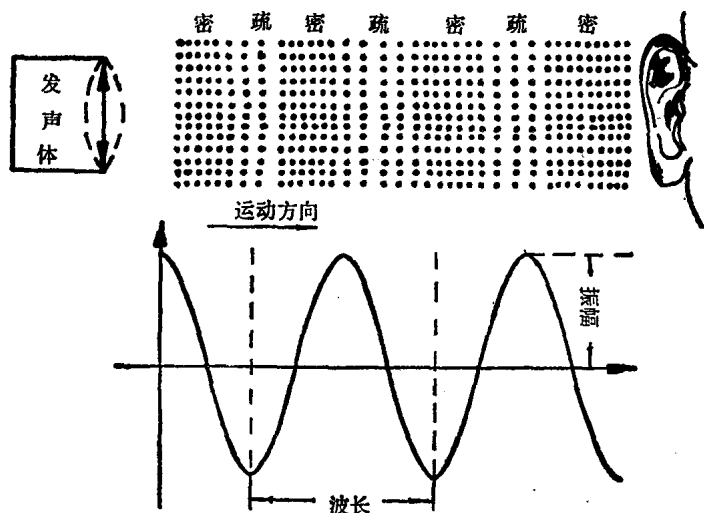


图 1-1 声波的传播

除了空气外，其它气体，液体和固体也能传播声波，这些可以传播声波的物质统称为传声介质。如果只有发声体的振动而无传声介质传播其产生的声波，也同样不能使我们听到声音。

二、声速、波长与频率

声波在传声介质中的传播速度称为声速，记作 C ，单位是米/秒。声速不是质点的振动速度，而是振动传播的速度，它的

大小与振源的特性无关，而与介质的弹性、密度以及温度有关。

当温度为 0°C 时，声波在不同介质中的传播速度为：

松木：3320 米/秒 软木：500 米/秒

钢：5000 米/秒 水：1450 米/秒

在空气中，声速与温度的关系如下：

$$C = 331.4 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \text{ 米/秒} \quad (1-1)$$

式中， t ——空气温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

声波密集中心与邻近密集中心的距离称为声音的波长，波长用 λ 表示，单位是米。波长与声速的关系为：

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-2)$$

式中， f 为频率。它表示单位时间内发声体往复振动的次数，单位为赫兹 (Hz)。发声体往复振动一次所需的时间为声波的周期，用 T 表示。单位为秒。它与频率的关系为：

$$T = \frac{1}{f} \quad (1-3)$$

在一定的介质中声速是确定的，因此频率越高，波长就越短，通常室温下空气中的声速约为 340 米/秒，50~8000 赫兹的声音波长范围大致在 6.8 米至 4.25 厘米之间。

三、声场与波阵面

声波存在的空间称为声场。在某一时刻声波到达空间的各点所联成的面称为波阵面（或波前）。不同的波阵面就决定了波的不同类型。假如波阵面是平面就称为平面波，波阵面是球面则称为球面波。

当声源发出声波的波长远大于声源的尺寸时，则声源可看

成一点。声波就以球面波形式向四面均匀传播，常称这种声源为点声源。声波传播的方向也可以用声射线来表示，简称声线。球面波的声线是以声源为中心的半径。所以球面波是无方向的

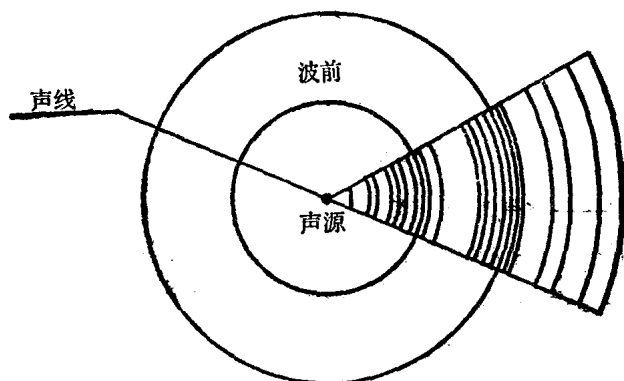


图 1—2 球面波的传播

(如图 1—2)。当声源的尺寸比波长大时，辐射声波以略微发散的声束传播，声源的尺寸与波长相比越大，则声束发散角越小，它的方向性越强。当声源尺寸与波长相比非常大时，声波几乎以不发散的声束成平面波的形状从声源向外传播（如图 1—3）。语言和乐声在大多数情况下，可以近似地认为声波在

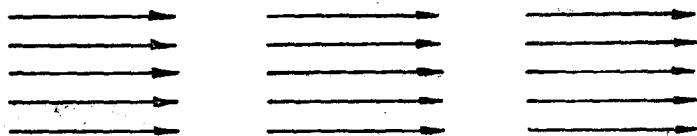


图 1—3 平面波的传播

离声源不远的地方具有球面波形状。在距离波很远的地方以及通道、管子中声波则成平面波的形状传播。

四、声源的方向性

声波在没有或几乎没有反射作用存在时，形成的声场称为自由声场。其声音强度是由近到远逐渐减弱的。声源在自由声场中随着频率不同各个方向上离开声源一定距离的各点，其声音强度的差异称为声源的方向性。因为低频声波的波长长，高频声波的波长短，因此在某一声音的背后与正面相比，听起来低音相差不大，而高音则相差很远。如图 1—4 所示，语言或乐

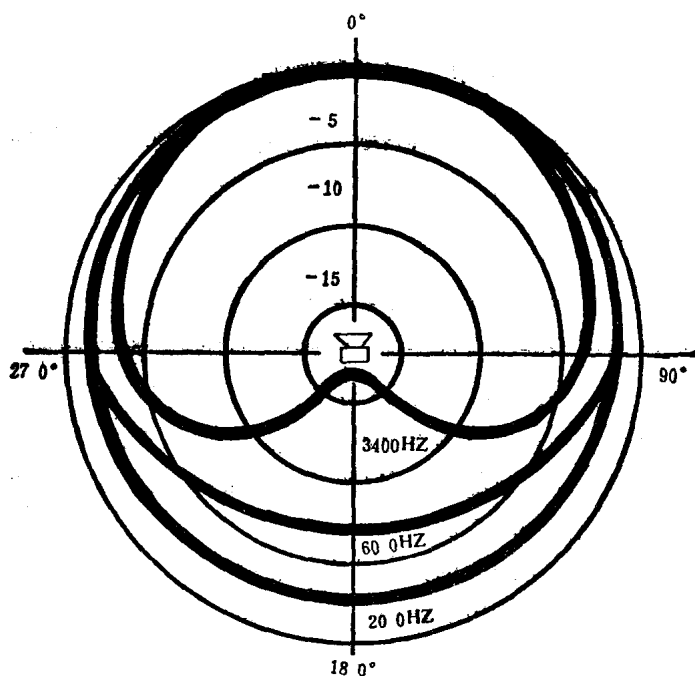


图 1—4 声源的方向性

声向各个方向传播时，其强度关系：低频以低于圆形的形式传

播，而高频则正面方向较强，背面和横面较弱。可以看出，在高频正面和背面约有18分贝之差，在横面约有7分贝之差。这个特性在决定房间的形状和考虑放置反射板时，都是不容忽视的。在布置电声系统时，声源的方向性，也很重要。尤其在高频时，声源有较强的方向性，即声波的传播被限制在一狭束中。离声源轴线较远的听众便听不到足够的声音。但有时为了避免某些墙面不必要的反射，可选择声束很狭的指向性声源（扬声器）使它不向那些墙面传播声音。

第二节 声音的物理量度

声波是能量传播的一种形式，仅用声速、频率和波长等物理量来描述是不够的。这一节将进一步介绍一些有关声波的物理量和它们的计算方法。

一、声功率、声强、声压

声源辐射声波时对外做功，声功率是指声源在单位时间内向外辐射的声能，记作 W ，单位为瓦(W)或微瓦(μW)。声源的声功率是指在全部可听频率范围所辐射的功率，或指在某个有限频率范围内所辐射的声功率(通常称为频带声功率)。在计量时应注意所指的频率范围。

声功率不应与声源的其它功率相混淆。例如电影院中电声系统所用的扩大器的电功率通常是数十瓦，但组合扬声器的效率一般只有千分之几至百分之几，它辐射的声功率只有百分之几瓦。电功率是声源的输入功率，而声功率是声源的输出功率。

表 1—1 中列出了几种声源的声功率。一般人讲话的声功

率是很弱的，稍微提高噪音时约为 50 微瓦，即使 30 万人同时讲话，也只相当于一个 15 瓦电灯的电功率。演员歌唱的声功率约为 100~300 微瓦。

表 1-1

声 源 种 类	声 功 率
喷 气 飞 机	10 千 瓦
气 锤	1 瓦
汽 车	0.1 瓦
钢 琴	2 毫 瓦
女 高 音	1000~7200 微瓦
对 话	20 微 瓦

声强是衡量声音强弱的物理量。声场中某一点的声强，即在单位时间内，在垂直于声波传播方向的单位面积上所通过的声能，记为 I ，单位为瓦/米²。(W/m²)

$$I = \frac{W}{S} \text{ 瓦/米}^2 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1-4)$$

式中 S ——声能所通过的面积，米²(m²)

在无反射的自由声场中，点声源发出的球面波，均匀地向四周辐射声能。因此，距声源中心为 r 的球面上的声强为

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \text{ 瓦/米}^2 \quad (1-5)$$

如果点声源放在刚性地面上，则声能只能向半空间辐射。其声强为：

$$I = \frac{W}{2\pi r^2} \text{ 瓦/米}^2 \quad (1-6)$$

可见，对于球面波，声强与点声源的声功率成正比而与到声源的距离的平方成反比。这是因为声源每秒钟内发出的声能

量是一定的，离声源的距离越远声线分布的面积越宽，通过单位面积的声能量就越小，因而声强就小，如图 1—5 所示。

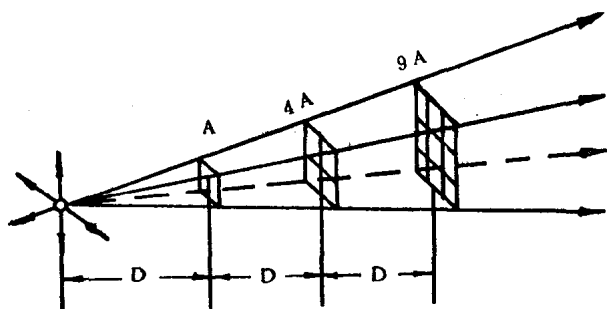


图 1—5 球面波声能通过的面积与距离的关系

以上考虑是假设声音在无损耗、无衰减的介质中的传播。实际上，声波在一般介质中传播时，声能总是有损耗的。例如，声音在空气中传播，由于空气的粘滞性及热传导等影响，声音能量不断地被空气吸收而转化为其他形式。比如空气分子间的摩擦可使部分声能量转化为热能而消耗掉，从而发生声的衰减。需要指出的是，由于空气吸收而引起的声衰减与声音的频率，空气的温度、湿度有关。高频声振动得快，空气疏密相间的变化频繁，所以高频声比低频声衰减得快。

在实际工作中，指定方向的声强，难以直接测量，通常是测出声压，通过计算求得声强和声功率。

所谓声压，是指某瞬时，介质中的压强相对于无声波时压强的改变量；通常用 P 来表示，所以声压的单位就是压强单位，即牛顿/米² (N/m²)。声学书上习惯用微巴 (μb)，它们之间的换算关系是：

$$1 \text{ 大气压} = 1 \text{ 巴} = 10^6 \text{ 微巴}$$

1 大气压 = 10^5 牛顿/米²

1 牛顿/米² = 1 帕 = 10 微巴

1 微巴 = 1 达因/厘米² = 0.1 牛顿/米²

声压只有大小没有方向。声音在传播过程中，声压实际上随时间迅速地起伏变化。人耳感受到的实际效果只是迅速变化的声压在某一时间的平均结果叫有效声压。有效声压是瞬时声压的均方根值。一般所指声压，如果未加以说明，均指声压有效值。在频率为 1000 赫兹时人耳刚能听到声音的声压是 2×10^{-5} 牛顿/米²，这个刚刚能引起人耳听觉的声压叫声音的可听低限(闻阈)，而普通谈话声压约为 $2 \times 10^{-2} \sim 7 \times 10^{-2}$ 牛顿/米²。当频率为 1000 赫、声压约为 20 牛顿/米² 时，产生震耳欲聋的声音。超过这一数值将使耳朵感到疼痛。这个数值叫可听高限(痛阈)。

声压和声强有密切的关系。在自由声场中，某处的声强与该处声压的平方成正比，而与介质密度与声速的乘积成反比，即：

$$I = \frac{P^2}{\rho_0 C} \text{ 瓦/米}^2 \quad (1-7)$$

式中 P ——有效声压 牛顿/米²

ρ_0 ——空气密度 公斤/米³

C ——空气中的声速，米/秒

$\rho_0 C$ ——空气介质的特性阻抗，在 20℃ 时，其值为 415 公斤/米²·秒。

因此，在自由声场中，测得声压和已知测点到声源的距离，就不难算出该测点之声强以及声源的声功率。

二、声强级、声压级、声功率级及其迭加

在有足够的声强或声压的条件下，能引起正常人耳听觉的频率范围约为 $20 \sim 20,000\text{Hz}$ 。对频率为 1000Hz 的声音，其闻阈声强为 10^{-12}W/m^2 ，相应的声压为 $2 \times 10^{-5}\text{N/m}^2$ ；痛阈声强为 1W/m^2 ，相应的声压为 20N/m^2 。可以看出声强的上下限可相差一万亿倍，声压相差达一百万倍。因此，用声强和声压来度量很不方便。此外，人耳对声音大小的感觉，并不与声强或声压值成正比，而是近似地与它们的对数值成正比，所以通常用对数的标度方法来表示。如果以 10 倍（即相对比值为 10）为一“级”进行划分，这样，声强级的定义便是这声音的强度 I 和基准声强 I_0 之比值的常用对数值，单位为贝尔 (BL)。

声强级表示为：

$$L_I = \lg \frac{I}{I_0} \text{ 贝尔 (BL)}$$

但一般都不用贝尔，而用它的十分之一作单位，称为分贝耳，简称分贝 (dB)

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \text{ 分贝 (dB)} \quad (1-8)$$

式中 I_0 ——基准声强，其值为 10^{-12}W/m^2 。

基准声强即人耳对 1000Hz 声音的可听下限，相应的声强级为 0dB 。利用级的概念，就可以大大地压缩量程的数量级，从而提高计算的简明程度。

声功率以“级”表示，便是声功率级，单位也是分贝。

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \text{ dB} \quad (1-9)$$

式中 W_0 ——基准声功率，其值为 10^{-12}W

同样可以用分贝为单位来定义声压级，为了使在一定条件