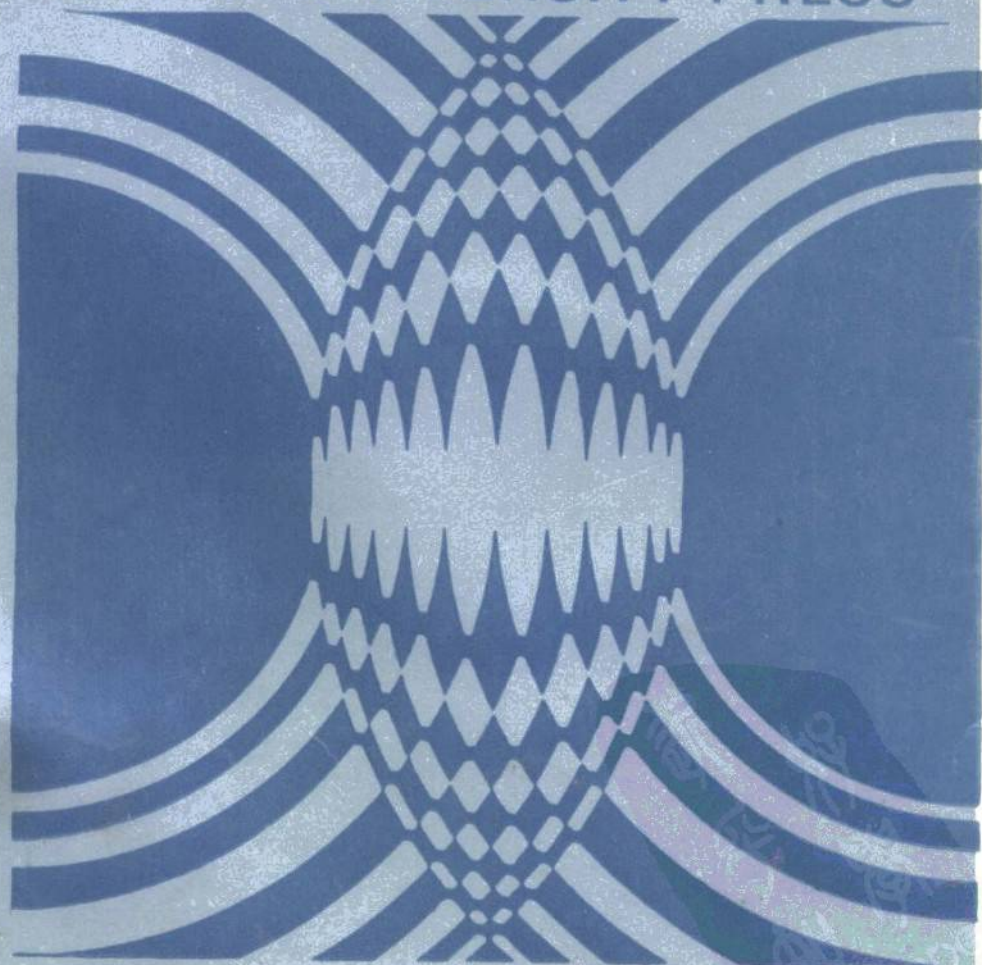


室内声学设计原理及其应用

[德] L. Cremer H. Müller 著
王季卿 沈 嶠 吕如榆 等译

TONGJI UNIVERSITY PRESS



同济大学出版社

室内声学设计原理及其应用

[德] L.Cremer H.A.Möller 著

王季卿 沈 嵘 吕如榆 等译

同济大学出版社

内 容 简 介

本书共分室内几何声学、室内统计声学、室内心理声学和室内波动理论声学四篇，精辟地总结了近代室内声学中几乎所有的重要理论的进展，介绍并分析了大量厅堂音质的设计实例。本书对于建筑声学研究和设计人员、音响工程技术人员、建筑师、室内设计师等均有重要参考价值，也可作为大专院校声学专业和建筑技术科学研究生课程的教材。

本书译自

[德] Cremer / Müller

Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik

Vol.1.....(1978, 2nd. ed.)

Vol.2.....(1976, 2nd. ed.)

© 1976,1978 S.Hirzel Verlag, Birkenwaldstraße 44

D-70191 Stuttgart, F.R. Germany. 版权所有

室内声学设计原理及其应用

[德] L.Cremer H.A.Müller 著

王季卿 沈 曦 吕如榆 等译

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

同济大学印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 46 字数: 1170 千字

1995 年 10 月第 1 版 1995 年 10 月第 1 次印刷

印数: 1—1000 定价: 68.00 元

ISBN7-5608-1370-4 / 0.121

序

1949年，克雷默(L.Cremer)把《室内声学原理》一书的“几何学方法”篇交给了斯图加特·希尔策(S.Hirzel)出版公司。一年以后，又交出了第二篇——波动理论。这一篇本来打算作为第三篇的，因为第二篇(统计声学)在实际应用中和第一篇有更密切的联系，而且前两篇所需要的数学知识也较少。由于其他一些工作的缘故，克雷默直到1961年才完成了计划撰写的三篇著作中的第二篇。

大约八年以后，当出版公司向他索要三篇全部修订稿时(这时，前两篇已合为一册出版)，他很高兴牟勒(H.A.Möller，一位担任大型声学顾问事务所的负责人)能与其合作撰写该书。牟勒不仅撰写了对实际应用很有用的第I.7章和第II.4章、II.5章、II.6章，而且还对整部著作的所有各章提了许多建议。

那时，克雷默利用这个机会对前两篇重新补充了专门讨论室内音质心理问题的新“第三篇”。这是首次尝试总结这一重要领域内的当代最新知识。下册只讨论波动声学，因此是新版本的第四篇。由于它具有大量的数学内容，因此，该篇更适合于声学家——他们或者是物理学家，或者是工程师，对他们来说，该篇仍然可认为是理论声学问题、甚至是有噪声降低问题的入门。上册对于每位涉及房屋建造者、建筑师和土木工程师，是都会感兴趣的。对于录音工程师和其他与室内声学有关的人，不管是演员还是听众，也都是有用的。也许即使不阅读作为纯“科学”章节的第II.2章，这些读者有时也不免会被迫读到一些方程；但在这样一本书中，讨论一些与应用有关的科学原理，也绝不是多余的。

本书的第二版现在已被译成英文。首先作者谨向其同行苏尔兹博士(T.S.Schultz)表示衷心感谢，在他协助下，不仅筹备了令人满意的英文版，增加了许多美国参考文献，而且还采纳了他的许多建议。

英译本的出版，使作者能进行若干修订并增加了一些与理论问题有关的新内容。在第II.2.1节和第II.2.4节中讨论了乔伊斯(W.B.Joyce)和库特鲁夫(H.Kuttruff)的最新成果是很有必要的。克雷默对于能与他们进行通信和个人间的讨论表示深切谢意。也感谢克雷默的同事亥克尔(M.Heckl)协助仔细核对了第四篇中的一些问题。

本书引用的文献仅限于作进一步详细研究用的参考书，被认为是典范的参考书(即使是老的经典论文，也同样被提及)以及作者采用了其中结论或叙述的论文。所有的参考文献都列在下标中，以便使读者避免翻阅许多页数来寻找它们，当然，对文献的选择有任意性并带有个人意见，作者和英译者也有可能忽略一些有价值的文章。但从另一方面看，这样的预选对读者还是有益的。

L·克雷默
H·A·牟勒

英译本序

1978年,《室内声学原理》一书的德文第二版出版后不久,克雷默为了和BBN声学顾问公司商谈有关多伦多新建音乐厅进行协作事宜而访问了美国。一天下午,当我们在一起工作时,他偶然问起我是否看过这本新书(我已经看过),这本书译成英文是否会有读者(我作了肯定的回答),是否应该开始寻找一位翻译者(他应该找)。在提到后一个问题时,我想我将不胜荣幸地乐于做这项翻译工作。

翻译大约在一年内完成,这项工作的实现还得到了两位作者非常密切的协作,使我感到非常愉快。

本书主要作者的经典写作风格充分发挥了德语表达能力的优点,维持了一个句子中许多概念的均衡,它们之间相互关系的层次清晰(使我想起与太阳系的类比,一种展示太阳系中行星运行轨道奇妙平衡关系的力学模型!)作为译者,把许多概念“线性化”,仔细地选择表达思想的顺序以便在英语中保持它们的正确关系是我的责任。所以,在此构思指导下,能够意识到这是一本独特的经仔细斟酌权衡的著作。例如,德文版书名是以基本科学原理为题的,但是读者也会发现该书具有大量声学应用的内容和声学发明的历史(谨慎地确定发明的优先权),甚至还有教科书的特色。读者还会感到惊奇的是,在四篇著作中,有着大量交错的参考文献,使人想起从四种不同观点来介绍少量重要的声学现象,就好比交响乐的乐章中出现的主旋律,并且一再重复地变奏。

用波动理论进行分析,将对从统计和几何观点来观察的相同现象注入新的和有价值的见解;详尽的交错参考文献会把读者引导到可供选择的分析中去前后琢磨。这种做法使人读了本书以后,会清楚地了解某些分析技术为何在不同段落内容中反复使用仍然是有价值的。

在翻译过程中,我还愉快地学到以前英文资料中没有的知识,并能立刻把它应用到我的声学顾问工作中去。所以,我相信读者在这里也能学到有利于充分了解室内声学原理和实际应用的方法,以补英文文献中之不足。

译者强烈地意识到并感谢两位作者不断而耐心的帮助;也感谢怀赖特(K.Wainwright)迅速而仔细地打印手稿。最后感谢德意志联邦共和国财政机构下的Inter Nationes组织对翻译所需费用的资助。

T·J·苏尔兹

中译本序

德国 L·克雷默(Lothar Cremer)和 H·A·牟勒(Helmut A.müller)所著《室内声学设计原理及其应用》一书无疑是当代室内声学最完备的著作。中译本的问世必将对我国建筑声学界有很大帮助。此书理论与应用并重,对一些历史上的重大进展也有所评述,且引证了大量参考文献,是其他书籍所不能及的。因此,我们早就作为研究生课程中的必读材料,也是我们日常研究工作中的一本重要参考书。由于种种原因,本书的中译本推迟了六年多时间才得以出版,离该书之英译本问世亦已有十二三年之久。但该书之学术价值在国际上仍占有相当重要的地位。

近 15 年来,厅堂音质主观评价和客观参量研究都有相当的发展,双耳接收的模型试验和厅堂音质计算机模拟也有了飞跃进步,且已进入可听化(auralisation)阶段。近年来的一些新的厅堂音质设计成就,无论从声学上还是从建筑上,都有突破性进展*。但是其基本声学设计原理仍然可在本书中找到一些根据。当然,我们不能把它当成百科全书那样来看待,随时注意当代文献的总结是每一位有志钻研的读者必然会想到的。

本书的出版首先感谢同济大学出版社的大力支持,感谢出版社郁峰和洪建华两位在编审中不遗余力的仔细认真订正,我所建筑声学研究室同仁在整理和校对原稿中付出极大的努力。此外,上海通乐实业公司、上海红旗机筛厂、湖州兴华噪声控制设备有限公司、苏州威斯建材有限公司、台北星河噪声防治有限公司的资助也使本书出版得以顺利进行,谨此致以衷心感谢。

王季卿 识于同济大学声学研究所
1995年9月

*这方面的介绍可参阅王季卿的“建筑声学十年回顾”一文和孙广荣的“厅堂音质物理评价的进展”一文,上述两篇文章均刊载于《第六届建筑物理学术会议论文集》一书中(中国科学技术出版社,1993年)

中译本的几点说明

1.关于声学名词术语问题 根据我国已有国家标准(GB3102-82)“声学术语”的有关内容,中译本中对声学术语作了必要的改动,尤其是对与声阻抗有关的术语其译名改动较大。例如“墙阻抗”(wall impedance)和“间壁阻抗”(partition impedance)两词。前者指的是墙表面上向墙内看的声阻抗率(表面上声压除以法向质点速度),不是墙本身的阻抗,后者才是墙壁本身的阻抗。所以,我们将前者统一译为“墙表面声阻抗率”(简称墙面阻抗率),后者则仍译为“间壁阻抗”。又如关于“通量”(flux)和“通量阻抗”(flux impedance),按我国国家标准,统一译为“体积速度”和“声阻抗”。因为后者乃是声压和体积速度的比值,单位是 $\text{kg}/\text{m}^4 \cdot \text{s}$ 。

本书中,对于“声阻抗率”和“空气特性阻抗”,统一用“瑞[利]”(Rayl,相当于 $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)作单位。这一单位在我国国家标准和ISO(国家标准化组织)中均正式采纳。鉴于很多国家(包括美、德、前苏联等)现在都在使用这个单位,为保持本书的完整性,这一单位予以保留,但为避免书中mks制和cgs制的“Rayl”发生混淆,必要处已一一注明。译者主张用mks-Rayl。本书中的所有单位均不用译名而用符号表示。

2.关于书中符号问题 对于书中用到的各种符号,中译本尽量保持原书的体例,没有大的改变。只是对其中的矢量表示,原书采用黑体小写德文字母,现统一改用拉丁字母加上箭头“→”(如 \vec{v})来表示,这不仅使排印少出差错,也适合我国惯例。原书中对复数的表示,均在字母下加一划来标明(如 \underline{A} ·按德国标准书写),这在我国不常用。但鉴于此标记能便于区分实数和复数,有其优点,值得提倡,所以仍予以保留。

另外,有些符号在不同国标中有其不同的内容,于是在译文中产生了矛盾。例如小写 c 在声学中是声速,在热学中为比热。在德文原著中,把后者写成大写 C ,以资区别。本译文便以出现较多见的声速用小写 c ,比热(出现在第IV篇中)则按原著仍用大写 C 。

3.英译本中有些公式和内容有差错,译校者对照德文原版作了校核。除了较重要的加有译注外,一般的笔误就不再加注了,以免累赘。为了编排方便,参考文献集中放在每章之末。

4.中译本的第I篇和第II篇的翻译工作由沈曦负责,第III篇的翻译工作由王季卿负责,第IV篇的翻译工作由吕如榆负责。参加翻译的还有许其宏(第I.6章和第I.7章),彭杰(第IV.2章),高彦良(第IV.7章和第IV.8章,整理符号表及附录),余兆言(第IV.9章和第IV.10章)和吴文瀚(第IV.11章、第IV.12章和第IV.13章)。全书由王季卿和吕如榆统一审校。同济大学出版社傅峰同志在编辑过程中,付出了极大的精力,仔细推敲,使本书译文质量有所保证,尽管如此,书中难免还存在不少缺点和错误,请读者随时指正。

译者

1994.12

符 号 表

A	等效吸声面积 (IV.9.59)
	功 (IV.6.16)
B	辐射强度 (II.2.4)
	缝宽和板条宽度 (II.6.4) (IV.9.22)
	弯曲劲度 (IV.10.1)
C	清晰度指数
	比热 (IV.6.17)
D	球的直径
	“扩散率” (IV.13.10)
E	声能密度 (IV.1.19)
	弹性模量(杨氏模数) (IV.10.2)
E_k	动能密度 (IV.7.16)
E_p	势能密度 (IV.7.15)
F	频率指数 (III.1.3)
	力 (III.1.4)
	力矩阵 (III.2.8)
	因子轴 (III.2.9)
	单位宽度上的力 (IV.10.3)
	频率不规则性 (IV.13.9)
G	强度指数
H	混响距离
H_c	亥姆霍兹数 (IV.8.79)
I	声强
	电流 (IV.8.60)
J	声强 (IV.1.16)
\bar{J}	声强矢量 (IV.1.16a)
K	耦合系数
	(空气)体积劲度(压缩模量) (IV.1.3)
L	级
	声压级 (也用 L_p , IV.5.11)
	响度级 (II.1.2)(也用 L_r , III.1.2)
	板的长度 (IV.10.44)
L_A	A计权声压级 (III.3.4)
L'	单位长度电感 (IV.8.60)

<i>M</i>	单位面积质量 (IV.2.23)
	单位宽弯曲力矩 (IV.10.3)
<i>N</i>	反射的次数 (III.2.11)
	对象的数目 (III.2.8)
	响度 (III.1.2)
	房间中简正频率数目 (IV.11.11)
<i>P</i>	声功率 (II.1.3)
	投影面 (II.2.1)
	总压力 (IV.6.15)
	声功率 (IV.13.2)
<i>Q</i>	单位体积热能 (IV.14.24)
<i>R</i>	半径 (I.1.5)
	隔声指数(传声损失) (II.3.2)
	流阻 (II.6.3)
	混响指数 (II.7.4)
	相关矩阵 (III.2.8)
<i>S</i>	表面 (II.1.4)
	响度 (III.1.2)
	横截面积 (IV.6.11)
<i>T</i>	周期 (I.1.1)
	混响时间 (II.1.1)
	绝对温度 (IV.1.11)
<i>U</i>	圆周, 周长 (IV.6.11)
	电压 (IV.8.60)
<i>V</i>	体积, 容积
<i>W</i>	加权矩阵 (因子负载)
\underline{W}	声阻抗率 (IV.3.2), $\underline{W} = W' + W''$
\underline{W}'	声阻率 (IV.3.2)
\underline{W}''	声抗率 (IV.3.2)
\overline{W}	声阻抗 (IV.9.61)
<i>X</i>	数据矩阵
<i>Z</i>	归一化数据矩阵
	特性阻抗 (IV.1.15c)
<i>a</i>	圆孔的半径 (II.6.4)
	球的半径 (II.2.1)
	面积长度 (IV.13.26)

b	槽宽 缝的宽度 (IV.8.18) 面积宽度 (IV.13.26)
c	声速
d	圆的直径 (I.5.3) 材料厚度 (II.6.3) 空气层的厚度 (II.6.4) 距离 厚度 (IV.5.16a)
e	接收器的距离 穿孔之间的距离 (II.6.6)
f	频率 (I.1.1) 因子(得分) (III.2.3)
g	音乐厅的音质或大厅内座位上的音质 k 的虚部 (IV.11.20)
h	高度(例如从地板到屋顶的高度) 板的厚度 (IV.10.2) 水(H ₂ O)分子与分子总数的比值 (IV.14.49)
k	耦合因子 波数
$\underline{k} = k - i\mu = k + ig$	复波数 (IV.4.19)
l	长度, 宽度, 高度 (I.2.2) 板的厚度 (II.6.4)
l_m	平均自由程长度
m	单位面积的质量 (II.6.4) 质量 (III.1.4) 因子的数量 (III.2.8) 整数0, 1, 2, 3, ... (IV.12.28)
m^*	开口内振动空气的等效质量 (IV.9.88a)
n	整数 (I.1.5) (IV.2.9) 特征数 (III.2.8)
p	声压
p_{ik}, p'_{ik}	转移概率
r	曲线半径 (I.3.2) 极坐标中的半径 (I.6.4) 离点源的径向半径 (IV.9.67)

r	声压的复反射因数 (IV.2.19) (与复反射因数有关的振幅反射系数、能量反射系数等, 可参见 (IV.2.19)式下的脚注)
r_H	混响半径
r^*	开口内振动空气的等效流阻 (IV.9.88c)
\vec{r}	位置矢量, 从原点到某一给定点计量 (IV.12.110a)
s	声源距离 (I.3.2) 弹簧刚度 (III.2.8) 单位面积的劲度 (IV.9.54)
S_{ii}	特征的方差 (III.2.8)
S_{ik}	特征 i 和 k 的协方差 (III.2.8)
s^*	空气体积的(力)劲度 (IV.9.88a)
t	时间 (I.2.1) 混响的持续时间 (II.4.1)
v	质点速度
\vec{v}	速度矢量 (IV.1.1)
w	计权(因子负载)
\vec{w}	热通量密度矢量 (IV.6.23)
x, y, z	直角坐标
τ	位置矢量
v	百分数音节清晰度
ω	计权矩阵 W 中的列行和横行
Δ	表示小量变化的前缀(例如, Δl 为孔的校正值)(II.6.4)
Λ	特征值的对角矩阵
Ω	立体角 频率参数(瑞利数) (IV.8.65)
Ω'	频率参数(亥姆霍兹数) (IV.8.79)
Λ	热交换系数 (IV.8.45)
Ξ	流阻率 (IV.8.26) 无规性指数 (IV.13.26)
α	吸声系数
α'	吸收指数 (IV.4.43)
α_s	赛宾吸声系数
α''	“有效”指数
β	频率参量 (IV.10.106)

γ	复反射因数的相角即 $\underline{r} = \underline{r} e^{i\gamma}$ (IV.3.24) 强度系数
δ	损耗系数 (I.6.1) 阻尼常数 (II.2.3) 膨胀率 (IV.1.2) ($-\delta$) = 稠密度 (IV.1.3) 衰变系数或衰变常数 (IV.1.35) 符号 δ 后跟随量的微小增量
ε	掠射角 透视角 (I.6.3) 回声系数 (II.7.5) 伸长率 (IV.1.2) 归一化流阻 (IV.8.80)
ζ	归一化坐标 (IV.1.33) \underline{w} 的相角, $\underline{w} = \underline{w} e^{i\zeta}$ (IV.3.4)
η	信号噪声比 归一化坐标 (IV.1.33) 动态粘滞系数 (IV.6.2) 损耗因数 (IV.10.41)
θ	入射角 (I.2.2) 明晰度系数 (II.7.4)
κ	耦合系数 $\kappa = C_p / C_r = 1.4$ (IV.1.4) 相关数 (IV.13.29)
$\kappa(\tau)$	相关函数 (IV.13.32)
λ	波长 (I.1.1) 特征值 (II.2.4) 活跃度 (II.7.3)
μ	模型比例 (I.7.3) 损耗系数 (II.1.6) $\underline{k} = k - i\mu$ (IV.4.19) 衰减系数 (IV.4.19)
ξ	泊松数 (IV.10.2) 位移 (IV.9.88b)
ρ	反射系数 (I.6.1) 空气体积密度 (II.6.3)
σ	孔隙率 (IV.8.1) 法向应力 (IV.14.2) 标准偏差 (II.6.3)

τ	传声系数 (I.6.1)
	声能衰变时间 (II.1.1)
	时间偏移 (II.7.5)
	弛豫时间 (III.1.4)
	透射系数 (IV.2.28)
	切向应力 (IV.6.2)
	延滞时间 (IV.13.32)
ϕ	极坐标中的角度 (I.6.3)
	相对湿度 (II.1.6)
	自相关函数 (II.7.5)
	方位角 (III.1.5)
	相角 (IV.5.10)
	速度势 (IV.9.5)
	方位角 (IV.13.36)
χ	相对湿度 (IV.14.49)
	结构因子
λ	激发函数 (IV.12.39)
	简正函数 (IV.12.37)
ψ	圆(角)频率(IV.1.233)
ω	复角频率 (IV.1.35)
$\underline{\omega} = \omega + i\delta$	

目 录

第 I 篇 室内几何声学

第 I.1 章 声波和声线	(3)
I.1.1 声波的物理特性	(3)
I.1.2 音的分析和合成	(5)
I.1.3 声波传播的几何定律	(6)
I.1.4 几何声学中的波长范围	(10)
I.1.5 菲涅耳区	(12)
第 I.2 章 平面的反射	(16)
I.2.1 单个声像: 一阶反射	(16)
I.2.2 矩形房间内的高阶声像	(18)
I.2.3 三角形房间和楔形房间	(23)
I.2.4 推广到三维空间	(27)
第 I.3 章 曲面	(29)
I.3.1 圆	(29)
I.3.2 凹面镜的反射定律	(30)
I.3.3 耳语回音廊	(34)
I.3.4 聚焦的避免	(37)
第 I.4 章 回声问题	(45)
I.4.1 发生回声的条件	(45)
I.4.2 单个回声	(46)
I.4.3 多重回声和重复回声	(49)
第 I.5 章 利用几何反射控制有用声	(57)
I.5.1 单个声源	(57)
I.5.2 人工的声音放大	(61)
I.5.3 多个声源	(65)
I.5.4 顶棚的形状	(74)
I.5.5 侧墙的形状	(80)
I.5.6 听众区的声学设计措施	(84)
第 I.6 章 有损耗和相移的声反射	(89)

I.6.1	吸声系数	(89)
I.6.2	测量吸声系数的几何学方法	(90)
I.6.3	听众区掠入射的声传播	(94)
I.6.4	听众座位排列的含意	(97)
第 I.7 章 模型试验		(104)
I.7.1	光学模型	(104)
I.7.2	计算机辅助的声线作图	(106)
I.7.3	水波槽模型	(108)
I.7.4	声脉冲摄影术(“纹影术”照相)	(109)
I.7.5	三维超声模型	(111)

第 II 篇 室内统计声学

第 II.1 章 混响		(119)
II.1.1	混响持续时间和混响时间	(119)
II.1.2	混响声能级的线性衰变	(121)
II.1.3	稳态激励和脉冲激励的混响	(122)
II.1.4	等效吸声面积	(126)
II.1.5	赛宾公式和它的倒置形式	(130)
II.1.6	声传播过程中损耗的影响	(132)
第 II.2 章 基于几何学考虑来改进混响公式		(135)
II.2.1	声线的平均自由程长度	(135)
II.2.2	吸声指数	(142)
II.2.3	有规则反射中方向的影响	(148)
II.2.4	理想扩散反射及其重要性	(154)
第 II.3 章 耦合房间		(166)
II.3.1	具有耦合开口的稳态情况	(166)
II.3.2	通过隔墙耦合的稳态情况	(168)
II.3.3	耦合房间内的混响	(173)
II.3.4	耦合房间中混响举例	(176)
II.3.5	房间之间的电声耦合	(180)
第 II.4 章 混响时间的测量		(187)
II.4.1	主观法	(187)
II.4.2	混响衰变的客观记录	(188)
II.4.3	带有客观阈值的自动记录法	(191)

II.4.4	积分法	(193)
II.4.5	图示声级记录器	(195)
II.4.6	接收器中的滤波	(200)
第II.5章	混响室内声吸收的测量	(204)
II.5.1	测量混响时间的评价	(204)
II.5.2	测试房间的影响	(206)
II.5.3	测试样品的影响	(211)
II.5.4	对声源和接收器的要求	(213)
第II.6章	控制混响的声吸收	(217)
II.6.1	一般评述	(217)
II.6.2	不可避免的声吸收	(218)
II.6.3	高频多孔吸声器	(219)
II.6.4	中频吸声器	(232)
II.6.5	低频吸声器	(240)
II.6.6	吸声物体	(248)
II.6.7	计算混响时间的例子	(255)
第II.7章	混响的细节以及有关室内音质的判据	(259)
II.7.1	早期和后期的声衰变	(259)
II.7.2	脉冲响应的特性和表示方法	(260)
II.7.3	直达声能和反射声能的比较	(266)
II.7.4	脉冲响应早期部分与后期部分的比较	(269)
II.7.5	回声引起的烦扰的判据	(271)
II.7.6	关于声音方向分布的判据	(273)

第III篇 室内心理声学

第III.1章	心理声学的一般结论	(283)
III.1.1	心理声学的研究方法	(283)
III.1.2	响度	(286)
III.1.3	音色的平衡和感知	(291)
III.1.4	人耳的感知限和惯性	(296)
III.1.5	方向感	(304)
III.1.6	第一波阵面定律	(308)
III.1.7	头内的定位和“主观扩散”	(310)
第III.2章	评判厅堂音质的前景	(316)

III.2.1	混响时间的辨别阈	(316)
III.2.2	清晰度测试	(320)
III.2.3	从征询调查得出音质资料	(325)
III.2.4	房间的变化	(330)
III.2.5	房间声学条件的电声模拟	(333)
III.2.6	用单声道磁带录音作比较	(341)
III.2.7	室内音质效果双通路存储的前景	(343)
III.2.8	因子分析法的目的和局限性	(349)
III.2.9	房间音质现象的多变量估算	(360)
第III.3章 厅堂设计的若干重要结论		(372)
III.3.1	从主观“因子”到客观评价标准	(372)
III.3.2	声学设计顾问的任务和选择权	(380)
III.3.3	混响时间的建议值	(383)
III.3.4	其他设计准则	(394)

第IV篇 室内波动理论声学

第IV.1章 声场方程		(401)
IV.1.1	基本动力学方程	(401)
IV.1.2	运动学和热力学关系式	(402)
IV.1.3	波动方程	(404)
IV.1.4	声速	(405)
IV.1.5	特性阻抗	(406)
IV.1.6	平面波中的能量关系	(408)
IV.1.7	分析成纯音和复数表述	(410)
第IV.2章 法向入射声的反射和透射		(415)
IV.2.1	刚性壁上的反射	(415)
IV.2.2	媒质改变面上声阻抗的匹配	(418)
IV.2.3	薄壁隔墙	(420)
IV.2.4	静止帐帘	(423)
IV.2.5	振动帐帘	(425)
第IV.3章 壁面声阻抗率		(429)
IV.3.1	壁面声阻抗率和“间壁”阻抗的定义	(429)
IV.3.2	透入墙壁内的声功率	(430)
IV.3.3	壁面声阻抗率和吸收系数	(431)
IV.3.4	壁面上的相变	(436)