

修订版

SHENGXUE SHOUCHE

声学手册

● 马大猷 沈 壕 著



科学出版社

www.sciencep.com

声 学 手 册

(修订版)

马大猷 沈 壕 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书简明扼要地介绍声学工作者常用的基本原理、公式、数据、图表等。前16章包括声学方面的基本材料,以后各章分别叙述水声、超声、语言通信、生理和心理声学、建筑声学、噪声控制、音乐声学等分支学科的材料,附录包括18个表,介绍一般常用的数据。

本书可供声学工作者、大专院校有关专业师生使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

声学手册/马大猷,沈啸著. —修订版. —北京:科学出版社,2004.7

ISBN 7-03-012545-2

I. 声… II. ①马… ②沈… III. 声学-手册 IV. O42-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 117909 号

责任编辑:鄢德平 顾英利 / 责任校对:钟 洋

责任印制:安春生 / 封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1983年1月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2004年7月修订第二版 印张: 54 1/4

2004年7月第三次印刷 字数: 1 215 000

印数: 8 781—11 780

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

修订再版序

《声学手册》(以下简称“手册”)于1983年1月出版,比较受欢迎,第二次印刷本在1987年10月出版,只做了少量修改纠错,未做大的改动,至今已二十年.这二十年中,声学有较大的发展,手册虽然只限于基本理论、方法、现象、数据、图表,仍受到相当影响,特别是有关技术方面,由于信息技术的迅速发展,影响更大,手册有修订再版的必要.本次修订中,全书总体结构基本未改变,只有第十四章改为电声学和数字声频,是因为有较多新内容;一些节名也因内容增加而稍变.

第一章是基本术语、名词,无甚改变,但定义已更加确切,与现行国家标准(GB/T 3947—1996)基本保持一致.

第二、三章是“基本单位”和“常用符号和常数”.基本物理常数已按CODATA公布的最新数值予以更新;在常用声学常数中,除了准确值外,还给了近似值,在声学中,声压、频率范围都很大,人的感觉声压级大约只准在1 dB左右(这在120 dB的听觉范围里是相当好的),声压只有11%,仪器测量可能准确到0.1 dB,声压只有1%,所以一般计算近似值是比较实际的.频率则比较准,在1000 Hz附近,频率可准确到3%.

第四章“振动和冲击”基本无改变,其中简正振动方式改称为简正波或简正振动,因为简正振动方式是美国标准称法,实际是驻波或半驻波(一个方向是行波,其余方向是驻波)这样改更确切、更简单,这章内有不少双曲函数,如 \sinh , \cosh 等,原来印错了(把 h 当作后面变数的一部分)现在改正,振动对人的评价标准除上下振动外,加了左右振动,如第一版第二次印刷中所改.

第五章“动力类比”内容无甚改变,章中原来有声欧姆、力欧姆等单位,这些单位国际上未曾承认,因而都按基本单位写出,如 $\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$, $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}$ 等,声压单位一律用国际上确定的帕(Pa), $1\text{ Pa}=1\text{ N}/\text{m}^2$.

第六章“气体的声学特性”,第七章“大气中的声传播”都无甚改变.

第八章8.5节中增加了海水中的衰减(吸收).在第一版出版时,海水中弛豫吸收尚未能确定,现在已完全明确,可以提出海水在不同频率下的衰减特性和完整曲线.

第九章“固体的声学特性”、第十章“换能材料”改变都不大.

第十一章“非线性声学”中,非线性驻波完全改写了,增加了新的重大发展,还增加了水下爆炸波的数据.

第十二章“流动媒质声学”,流体中的基本声源已改写,使其更为准确.

第十三章“声辐射和传输元件”各节有所调整,对静止环境中的基本声源完全改写,明确其与流体中的基本声源的相同处和不同处,并据后者求解活塞声源等,且加以讨论,说明基本声源是一切声源的基础.

第十四章“电声学”改称“电声学和数字声频”,反映其内容的改变.关于传声器、扬声器、耳机等,内容均已更新,新增加的内容包括:降噪系统,环绕立体声,家庭影院,声频视频系统,光盘录声、数字磁带录声,数字声频信号的压缩和编码,各种视盘和视盘机,1 bit技术和SACD系

统等。

第十五章“测量与分析”、第十六章“校准”，加强了数字技术。第十七章“水声学”、第十八章“声能与超声学”稍有改变。第十九章“语言声学”，原声图不清已改换，增强了语言统计理论；语言机器更系统化并增加了最新发展。

第二十章“听觉”，增加了环绕声学允许范围，增加了听力损失的声压理论，证明听力损失依赖于噪声声压与每天作用时间的乘积，类似机械系统中的疲劳现象，与以前的能量理论有所不同，但噪声的短期作用，如语言清晰度，休息、睡眠甚至于生理学上的伤害仍是能量（声压级）起作用。

第二十一章“建筑声学”，增加了室内声场的严格理论，增加了调制转移函数和语言传输指数、客观测量语言清晰度以及侧向反射声和扩散等内容，还增加了室内声场计算机模拟，给出了音乐厅和歌剧院的设计及实例。

第二十二章“音质控制”，增加了新型延时器、混响器、厅堂扩声系统和厅堂声场控制系统。

第二十三章改称“噪声和噪声控制”，加强了耳罩的讨论，增加了有源噪声控制和有源振动控制，并简单叙述了大型厂房内噪声的预测。

第二十四章“音乐声学”，基于实际发展改写了电乐器及电子乐器。

物理学规律一般都是简单的，声学当然也是如此，正是由其简单，所以能明白地反映关键问题、主要矛盾，并且容易了解和应用。本版仍力求继续第一版以来的传统，以简单、明确的声学理论和规律献给读者。

这就是本书修订的大致情况，本书第一版得到不少指教，特别是孙洪生同志认真检查，从国外寄来修改意见，这都对我们帮助不少，至为感谢。柯豪同志在修订中帮助不少，谨此致谢。本版作者虽然尽了最大努力，但限于智力，仍难免谬误或疏忽，请读者多多指教。

著者
2004年6月

第一版前言

现代声学是一门新发展的应用学科,它的理论基础和实际应用范围都很广泛,但目前国内、外还没有一本比较完整的手册.本书是从1973年初开始编写的,最初的计划是打算广泛搜集资料,编成一本“声学数据公式手册”,但在编写过程中,感到有必要对许多公式和数据作一些说明,并包括一些其他资料,最后就写成了现在的样子.

本书内容是介绍声学各分支的基本原理、公式、图表、数据,以供声学工作者讲授、学习和设计参考,但不包括工程应用中的具体设计.

第一章给出基本声学术语的确切定义,作为以后各章使用的基础,这些术语都曾广泛地征求过意见.某些方面的专用术语,则在以下各章中分别给出定义.第二章是单位,根据国际趋势,完全采用了国际单位制(公制,SI).第三章给出常用符号和常数,第四章至第十六章介绍声学中各分支共同使用的基本原理、公式、图表和数据.第十七章至第二十四章主要是用于各分支的资料.附录中是一般数据资料,不少材料是首次发表的.

像《声学手册》这样范围非常广泛的工具书,最好是由各方面的专家合作,共同编写,但限于当时的客观情况,不易找到合作者,所以也只好由编著者尽力而为.本书成稿后虽然曾广泛征求过意见,并得到很多同志的热心帮助,但由于编著者知识范围有限,仍难免有遗漏、错误之处,这些都由编著者负责,希望读者多予指正,以便再版时更正.现代声学的范围非常广,发展非常快,本书从编写到付印,由于各种原因,花了将近十年的时间,在这期间,声学理论和实践变化很大,本书内容虽只限于基本材料,但也有不少部分需要几次修改补充,甚至需要重写,编著者在这方面作了努力,但遗漏、谬误依然难免,也请读者指正.

关于书中采用的国际单位制,这里再作一点补充说明,按照国际单位制规定,一个单位只有名称和符号,例如,安培, A; 米每秒, m/s 等,安培可简称为安,米实际也是简称,但这不是符号,符号则仍是 A, m. 名称和符号不能混用,例如用立方米,不用米³,如果用符号,就写成 m³. 关于倍数和分数,中文只有名称,如千、兆等(相当于 thousand, million 等),没有词冠(相当于 kilo, mega 等),符号为 k, M. 复合词如毫微(mμ)等在国际单位制中已取消.单位如何使用,哪种用法已取消,都已在第二章中详细说明.有些单位名称如啾耳、瑞利等虽已在某些范围内使用,但未经国际承认,因此本书内均未采用,仅收入附录内的英汉声学词汇中.

本书第一、二、三、四、九、十、十一、十二、十七、十八、二十、二十四章和附录是马大猷写的,第十九章是由张家骥写的,其余各章是由沈嶷写的.本书承华南工学院副院长冯秉铨教授耐心细致、严肃认真地校阅了部分稿件,谨以此作为对冯教授的纪念.

著 者

目 录

第一章 定义	(1)
1.1 一般术语	(1)
1.2 振动和冲击	(5)
1.3 声波	(6)
1.4 传声系统	(8)
1.5 声学仪器、设备	(12)
1.5.1 换能器(12) 1.5.2 声学仪器(14) 1.5.3 录声和放声系统(15)	
1.6 水声学	(16)
1.7 超声学	(17)
1.8 生理声学和心理声学	(19)
1.9 语言声学	(21)
1.10 音乐声学	(22)
1.11 音质和噪声控制	(23)
第二章 单位,级	(26)
2.1 国际单位制 SI	(26)
2.1.1 SI基本单位的定义(26) 2.1.2 SI单位(26) 2.1.3 SI单位的倍数和分数(27) 2.1.4 与SI单位并用和暂时并用的单位(28) 2.1.5 建议不再使用的单位(29) 2.1.6 可用的对数值(30)	
2.2 声学单位	(30)
2.3 单位转换	(30)
2.4 级和分贝	(31)
2.4.1 主要声学量的级和基准量(32) 2.4.2 分贝和比值的换算(32)	
2.4.3 声级的结合(35)	
第三章 常用符号和常数	(37)
3.1 常用符号	(37)
3.1.1 拉丁字母(37) 3.1.2 希腊字母(38)	
3.2 基本物理常数(括弧内为标准偏差)	(39)
3.3 声学常数	(40)
第四章 振动和冲击	(41)
4.1 简单振动系统(质量弹簧系统)	(41)

4.1.1 自由振动(41)	4.1.2 受迫振动(42)	4.1.3 共振特性(43)	
4.1.4 重弹簧(44)			
4.2 叠加定律			(44)
4.2.1 非正弦力(45)	4.2.2 过渡状态-傅里叶变换和拉普拉斯变换(47)		
4.3 多共振系统			(50)
4.3.1 自由振动(50)	4.3.2 简正振动(50)	4.3.3 二自由度(52)	
4.3.4 转动系统(53)			
4.4 分布系统			(53)
4.4.1 弦(54)	4.4.2 梁(56)	4.4.3 膜(59)	4.4.4 板(62)
4.4.5 其他振动系统(63)			
4.5 近似方法			(64)
4.5.1 变分法,瑞利-里茨方法(64)	4.5.2 有限元法(66)	4.5.3 统计能量分析(68)	
4.6 振动的评价标准			(72)
4.6.1 振动对人的影响和评价标准(72)	4.6.2 机器的振动(74)		
4.6.3 机器的动平衡(76)	4.6.4 对转子平衡的要求(76)	4.6.5 平衡机(76)	
4.7 隔振			(77)
4.7.1 传递比(77)	4.7.2 弹簧(78)	4.7.3 阻尼(81)	4.7.4 典型隔振器的设计(82)
4.8 振动阻尼材料			(83)
4.8.1 板的阻尼和测量方法(84)	4.8.2 阻尼系数(85)	4.8.3 动力吸振器(87)	4.8.4 其他阻尼方法(88)
4.9 包装问题			(89)
4.9.1 近似估计(89)	4.9.2 隔冲击理论(89)	4.9.3 包装材料(90)	
4.9.4 落地试验(90)			
4.10 振动试验			(91)
4.10.1 正弦式振动(91)	4.10.2 宽带无规振动(91)	4.10.3 冲击(92)	
4.11 随机过程			(93)
4.11.1 统计分析(93)	4.11.2 分布函数(95)	4.11.3 零值分布(97)	
4.11.4 有限时间、频率范围内积分问题(98)			
第五章 动力类比			(100)
5.1 概述			(100)
5.2 阻抗类比			(100)
5.2.1 阻力元件(100)	5.2.2 惯性元件(101)	5.2.3 弹性元件(102)	

5.2.4 电、振动、转动和声四种系统中元件的图示法(103)	5.2.5 一维系统的描述(104)	
5.3 阻抗类比的应用		(106)
5.3.1 汽车消声器(声系统)(106)	5.3.2 机器的隔振器(振动系统)(106)	
5.3.3 振动阻尼器(转动系统)(107)	5.3.4 直射式电动扬声器(力电系统)(107)	
5.4 导纳类比		(108)
5.4.1 力导纳(109)	5.4.2 力导(109)	5.4.3 质量(109)
5.4.4 力顺(109)	5.4.5 振动系统和电系统中元件的图示法(110)	5.4.6 一维振动系统的导纳类比型描述(111)
5.5 导纳类比的应用		(112)
5.5.1 作用于振动膜片的空气负载(112)	5.5.2 直接发射式电动扬声器(112)	
5.6 阻抗类比与导纳类比的转换		(113)
第六章 气体的声学特性		(114)
6.1 密度		(114)
6.2 大气压力和温度		(114)
6.3 比热		(115)
6.4 黏滞系数		(117)
6.5 热导率		(118)
6.6 传播速度		(118)
6.7 高度		(121)
6.8 特性阻抗		(121)
6.9 衰减		(122)
第七章 大气中的声传播		(132)
7.1 大气结构和特性		(132)
7.1.1 大气结构(132)	7.1.2 标准大气(132)	7.1.3 海平面大气的平均数值(135)
7.2 声波方程		(135)
7.3 声波传播的基本现象		(138)
7.3.1 声波的干涉和衍射(138)	7.3.2 声波的反射和折射(139)	
7.3.3 全反射和镜反射(140)	7.3.4 声波的散射(141)	
7.4 大气中的声衰减		(141)
7.4.1 大气中的声吸收(141)	7.4.2 雨、雪、雾的影响(144)	7.4.3 温度梯度的影响(144)
7.4.4 风场的影响(144)	7.4.5 地面效应的影响(146)	

7.5 大气中声波传播的方式	(146)
7.5.1 均匀大气中靠近地面的声传播(146)	
7.5.2 空对地的声波传播(147)	
7.5.3 大气中声波的异常传播(147)	
7.6 大气中声波传播的射线理论	(147)
7.6.1 声线方程(147)	
7.6.2 有温度梯度的分层大气中的声道(148)	
7.7 爆炸波的次声传播	(149)
7.7.1 导波存在的条件(149)	
7.7.2 次声在大气中的传播(149)	
7.8 等离子体声学	(150)
7.8.1 弱电离气体(150)	
7.8.2 强电离气体(151)	
7.8.3 磁声波(152)	
第八章 液体的声学特性	(154)
8.1 概述	(154)
8.2 弛豫机理	(154)
8.3 正常液体	(154)
8.4 Kneser 液体	(156)
8.5 缔合液体	(159)
8.6 混合液体	(163)
第九章 固体的声学特性	(164)
9.1 固体声波	(164)
9.1.1 各向同性、均匀固体(164)	
9.1.2 各向异性固体(164)	
9.1.3 特性阻抗(170)	
9.2 固体的性质	(170)
9.2.1 一般物理性质(170)	
9.2.2 固体材料的力学性质(171)	
9.2.3 金属、玻璃、塑料的声速和特性阻抗(173)	
9.2.4 声波的衰减(174)	
9.3 其他性质	(176)
9.3.1 铁磁材料(176)	
9.3.2 超导材料(176)	
9.3.3 线规和螺纹(177)	
第十章 换能材料	(178)
10.1 压电晶体	(178)
10.2 电致伸缩和磁致伸缩材料	(183)
10.3 磁致伸缩换能器的等效电路	(185)
第十一章 非线性声学	(186)
11.1 大振幅声波	(186)
11.1.1 空气中的平面波(186)	
11.1.2 锯齿波的形成(187)	
11.1.3 谐波的产生(188)	
11.1.4 非线性驻波(189)	
11.2 流体的非线性	(190)
11.2.1 非线性参数(190)	
11.2.2 流体中的大振幅波(192)	
11.2.3 大振	

幅声波的吸收衰减(193) 11.2.4 弱冲击波概念(194) 11.2.5 参量阵,波的干涉(195) 11.2.6 反射,折射(196)	
11.3 固体中的大振幅波	(196)
11.4 冲击波	(197)
11.4.1 稳态冲击波(197) 11.4.2 弱冲击波(200)	
11.5 爆炸波	(200)
11.5.1 缩尺定律(201) 11.5.2 大气爆炸(201) 11.5.3 水下爆炸(205)	
11.6 轰声	(208)
11.7 声辐射压力	(209)
11.7.1 瑞利辐射压力(209) 11.7.2 朗之万辐射压力(209) 11.7.3 辐射压力的应用(210)	
第十二章 流动媒质声学	(211)
12.1 流体动力声源	(211)
12.1.1 单极子(211) 12.1.2 偶极子(211) 12.1.3 四极子(211)	
12.1.4 三类声源的比较(212)	
12.2 多普勒效应	(213)
12.2.1 频率变化(213) 12.2.2 强度变化(213) 12.2.3 偶极子声源的多普勒效应(214)	
12.3 调制气流声源	(215)
12.4 偶极子声源	(217)
12.4.1 风吹声(217) 12.4.2 边棱音(218) 12.4.3 螺旋桨噪声(218)	
12.4.4 风扇噪声(221)	
12.5 喷注和火箭噪声	(221)
12.5.1 喷注结构(223) 12.5.2 噪声级和功率(223) 12.5.3 频谱(225)	
12.5.4 阻塞喷注噪声(227)	
12.6 附面层压力起伏	(227)
12.7 燃烧噪声	(228)
12.7.1 燃烧噪声的性质(228) 12.7.2 火焰产生声音的机理(230)	
12.7.3 壳中火焰噪声(230) 12.7.4 燃烧系统的噪声降低(232)	
12.8 气流中的声学材料	(232)
12.8.1 力阻抗(232) 12.8.2 穿孔板的声阻抗(233) 12.8.3 管口的反射(234) 12.8.4 管道衰减(235)	
第十三章 声辐射和传输元件	(236)
13.1 基本辐射声源	(236)
13.1.1 脉动球,单极子,简单声源(236) 13.1.2 振动物,偶极子(236)	

13.1.3 四极子(237)	13.1.4 线列声源阵(237)	13.1.5 线声源(238)
13.1.6 用移相法偏转声束(239)		
13.2 活塞声源	(239)	
13.2.1 无限障板中的活塞(239)	13.2.2 长管管端的圆形活塞(242)	
13.2.3 自由空间的振动活塞(242)	13.2.4 圆形活塞声源的指向性(243)	
13.2.5 圆锥形膜片(245)		
13.3 微穿孔吸声体	(246)	
13.3.1 微穿孔板(246)	13.3.2 微穿孔吸声体(247)	13.3.3 双共振器(249)
13.3.4 无规入射时的吸声特性(249)	13.3.5 微缝板(250)	
13.4 声元件	(252)	
13.4.1 声阻(252)	13.4.2 声质量(253)	13.4.3 声顺(253)
13.4.4 在相对两边上有孔的空腔(254)	13.4.5 中等大小的管子(254)	13.4.6 简单共振器(254)
13.4.7 声变量器(255)		
13.5 喇叭	(256)	
13.5.1 喇叭方程和它的解(256)	13.5.2 有限喇叭的特性(258)	13.5.3 用作连接器的喇叭(260)
13.5.4 接收喇叭(261)		
第十四章 电声学和数字声频	(262)	
14.1 换能器的基本原理	(262)	
14.1.1 换能器的类型(262)	14.1.2 换能器的四端网络(262)	14.1.3 换能器的基本方程(263)
14.1.4 动力类比法(264)	14.1.5 换能器材料(264)	
14.1.6 换能器特性的控制方法(265)	14.1.7 换能器的辐射功率(265)	
14.1.8 磁路设计(266)	14.1.9 音圈(268)	14.1.10 喇叭设计(268)
14.1.11 电声换能器工作原理(269)		
14.2 传声器	(270)	
14.2.1 传声器的分类和技术特性(270)	14.2.2 传声器的指向特性(271)	
14.2.3 声压传声器(274)	14.2.4 压差传声器(278)	14.2.5 复合传声器(281)
14.2.6 其他传声器(283)	14.2.7 次声传声器(284)	
14.2.8 传声器的测量(285)		
14.3 扬声器	(285)	
14.3.1 扬声器的分类和技术特性(285)	14.3.2 直射式电动扬声器(286)	
14.3.3 喇叭式电动扬声器(291)	14.3.4 高保真扬声器系统(293)	
14.3.5 静电扬声器(305)	14.3.6 动反馈扬声器(306)	14.3.7 弯曲振动型薄板扬声器(306)
14.3.8 气流调制式扬声器(308)	14.3.9 其他类型扬声器(311)	14.3.10 扬声器的测试和主观评价(312)
14.4 耳机	(312)	
14.4.1 电磁式耳机(313)	14.4.2 晶体耳机(314)	14.4.3 电动式耳

机(314) 14.4.4 静电式耳机(316) 14.4.5 骨导耳机(317) 14.4.6 耳机的测量(317)	
14.5 拾振器	(318)
14.5.1 拾振器的基本原理(318) 14.5.2 电容式测振计(318) 14.5.3 感应式速度计(319) 14.5.4 压电式加速度计(319) 14.5.5 涡流式测振计(320)	
14.6 录声	(320)
14.6.1 机械录声(320) 14.6.2 光学录声(326) 14.6.3 磁性录声(328)	
14.6.4 降噪系统(333) 14.6.5 立体声录放系统(338)	
14.7 立体声	(339)
14.7.1 概述(339) 14.7.2 立体声传输原理(340) 14.7.3 双通路立体声(341) 14.7.4 双通路立体声系统(343) 14.7.5 多通路立体声(344)	
14.7.6 膺立体声(345) 14.7.7 立体声的应用(345)	
14.8 杜比环绕声系统	(346)
14.8.1 四通路立体声系统(346) 14.8.2 杜比环绕声(347) 14.8.3 杜比编码和解码原理(347) 14.8.4 杜比立体声编码器(348) 14.8.5 无源杜比环绕声解码器(348) 14.8.6 杜比专业逻辑环绕声系统(349) 14.8.7 Pro Logic II 系统(350) 14.8.8 杜比数字环绕声系统(351) 14.8.9 虚拟环绕声系统(351)	
14.9 声频视频系统	(355)
14.9.1 卡拉 OK 系统(355) 14.9.2 AV 系统(357) 14.9.3 家庭影院(358) 14.9.4 高清晰度电视的声系统(359)	
14.10 数字声频基本原理	(360)
14.10.1 脉码调制工作原理(360) 14.10.2 数字编码声频信号(362)	
14.10.3 误码及其防止(363) 14.10.4 声频数字化的兼容性(363)	
14.10.5 声频数字信号处理(364)	
14.11 光盘录声	(366)
14.11.1 CD 的录声和放声(366) 14.11.2 MD 的录声和放声(370)	
14.11.3 CD-R 光盘录声(372) 14.11.4 CD-RW 光盘录声(375)	
14.11.5 DVD-R 光盘录声(377)	
14.12 数字声频信号的压缩编码	(378)
14.12.1 声频信号压缩编码的工作原理(378) 14.12.2 听觉心理模型(379)	
14.12.3 MD 的 ATRAC 编码(380) 14.12.4 DCC 的 PASC 编码(380)	
14.12.5 DAB 的 MUSICAM 编码(381) 14.12.6 杜比 AC-3 编码(381)	
14.12.7 AAC 编码(382) 14.12.8 MPEG 标准(383)	
14.13 数字录音机	(383)
14.13.1 PCM 录音机(384) 14.13.2 DAT 录音机(385) 14.13.3 DCC	

录音机(386)	14.13.4 全固态数字录音机(388)	
14.14	视盘和视盘机	(389)
14.14.1	LD视盘和视盘机(389)	
14.14.2	VCD系统(391)	
14.14.3	高密度光盘和DVD系统(394)	
14.15	1 bit技术和SACD系统	(399)
14.15.1	1 bit信号流(399)	
14.15.2	过采样(399)	
14.15.3	噪声整形(400)	
14.15.4	DSD录音(400)	
14.15.5	SACD光盘(401)	
14.15.6	数字声频功率放大器(402)	
14.16	电声设备	(405)
14.16.1	调频调谐器(405)	
14.16.2	压缩器和限幅器(407)	
14.16.3	扩展器(408)	
14.16.4	听觉激励器(409)	
14.16.5	频率均衡器(409)	
14.16.6	PCM数字扬声器(410)	
14.16.7	数字式助听器(412)	
第十五章	测量与分析	(414)
15.1	概述	(414)
15.2	模拟信号和数字信号	(415)
15.2.1	信号类型(415)	
15.2.2	模拟信号的产生(415)	
15.2.3	数字信号(419)	
15.3	测量仪表基本单元的特性	(420)
15.3.1	放大(420)	
15.3.2	电压调节、计权网络和积分网络(422)	
15.3.3	频率分析(423)	
15.3.4	统计分析(425)	
15.3.5	检波与平均(426)	
15.3.6	显示(427)	
15.3.7	记录(429)	
15.3.8	供电(429)	
15.4	数字测量技术	(430)
15.4.1	数字滤波(431)	
15.4.2	相关技术(432)	
15.4.3	快速傅里叶变换(434)	
15.4.4	声强测量(436)	
15.4.5	脉冲测量(436)	
15.4.6	声源的识别(437)	
15.5	声学和振动测量仪表	(437)
15.5.1	声级计(437)	
15.5.2	噪声剂量计(438)	
15.5.3	测振计(438)	
15.5.4	滤波器和分析器(438)	
15.5.5	统计分析仪(440)	
15.5.6	信号发生器(440)	
15.5.7	显示与记录仪器(441)	
15.6	快速分析系统	(442)
15.6.1	实时分析系统(442)	
15.6.2	数字相关仪(443)	
15.6.3	快速傅里叶分析系统(443)	
15.6.4	计算机在声学中的应用(444)	
15.6.5	计算机的外围设备(445)	
15.7	实验误差	(445)
15.7.1	系统误差(445)	
15.7.2	无规误差(446)	
15.7.3	实验结果的检查(447)	
15.7.4	最小二乘法(448)	
15.7.5	无规噪声测量中的误差(448)	

第十六章 校准	(450)
16.1 波动测量	(450)
16.1.1 瑞利盘(450)	16.1.2 烟点法(450)
16.1.3 热线法(451)	
16.2 传声器的校准	(451)
16.2.1 声压灵敏度和声场灵敏度(451)	16.2.2 各种校准方法的比较(452)
16.2.3 耦合腔互易校准(453)	16.2.4 自由场互易校准(456)
16.2.5 自互易校准(459)	
16.3 标准声源	(460)
16.3.1 活塞发生器(460)	16.3.2 热致发生器(461)
16.3.3 静电激励器(461)	16.3.4 其他声级校准器(462)
16.4 加速度计校准	(462)
16.4.1 标准加速度计校准(462)	16.4.2 在精密振动台上进行校准(463)
16.4.3 在冲击台上进行校准(463)	16.4.4 互易校准(463)
16.4.5 球振法(464)	
16.5 标准频率源	(464)
16.5.1 一级频率标准(464)	16.5.2 其他频率标准源(464)
16.6 频率源的校准	(464)
16.6.1 拍频法(464)	16.6.2 示波器法(465)
16.6.3 频率计法(465)	16.6.4 电桥法(465)
第十七章 水声学	(467)
17.1 声呐方程	(467)
17.2 换能器	(468)
17.2.1 换能器阵(468)	17.2.2 声源级(470)
17.3 水下声传播,传输损失	(471)
17.3.1 发散损失(471)	17.3.2 海水吸收(471)
17.3.3 海水中的声速(473)	17.3.4 海面 and 海底(477)
17.3.5 声道(478)	17.3.6 起伏(481)
17.3.7 海上风浪的分级(482)	
17.4 目标强度	(482)
17.4.1 目标强度的计算(482)	17.4.2 简单形状的目标强度(482)
17.4.3 重要目标的强度(484)	
17.5 环境噪声	(484)
17.5.1 深海中的环境噪声(484)	17.5.2 浅海中的环境噪声(486)
17.6 混响	(486)
17.6.1 体积混响(486)	17.6.2 海面混响(487)
17.6.3 海底混响(488)	17.6.4 混响的起伏(488)

17.7 检测阈	(488)
17.7.1 检测阈的定义(489)	
17.7.2 检测阈值(490)	
第十八章 声能学和超声学	(491)
18.1 总论	(491)
18.1.1 声能学的范围(491)	
18.1.2 所使用的声波类型(492)	
18.1.3 表面波(492)	
18.2 超声发生器	(494)
18.2.1 压电换能器(495)	
18.2.2 磁致伸缩换能器(501)	
18.2.3 电磁换能器(505)	
18.2.4 喷注发生器(505)	
18.3 声对物质的影响	(508)
18.3.1 对质点运动的影响(509)	
18.3.2 声波对流体中悬浮质点的稳定力(511)	
18.3.3 空化(511)	
18.4 在检测、光学和电子学中的应用	(515)
18.4.1 声全息(515)	
18.4.2 声光作用(518)	
18.4.3 表面波器件(520)	
18.5 特超声	(522)
18.5.1 声子(522)	
18.5.2 超导体隧道接触换能器(523)	
第十九章 语言声学	(525)
19.1 发声器官和语声	(525)
19.1.1 发声器官(525)	
19.1.2 语声(525)	
19.2 语声的物理特性	(527)
19.2.1 发声器官的声学特性(527)	
19.2.2 发声器官的类比线路(527)	
19.2.3 声调的物理特性(529)	
19.2.4 语声频谱(529)	
19.2.5 语言的平均频谱和动态范围(531)	
19.3 语声的统计特性	(532)
19.3.1 汉语音位的一维概率分布(532)	
19.3.2 汉语音位的二维概率分布(533)	
19.3.3 汉语语词结构和分布规律(533)	
19.4 语言传递系统的质量评价	(537)
19.4.1 语言清晰度试验方法(537)	
19.4.2 汉语清晰度试验结果(549)	
19.4.3 语言可懂度理论(550)	
19.4.4 择优试验(552)	
19.4.5 响度评定法(554)	
19.5 语言机器	(554)
19.5.1 语言识别设备(555)	
19.5.2 声码器(556)	
19.5.3 语言合成器及应答器(558)	
第二十章 听觉	(560)
20.1 听觉器官	(560)

20.2 听阈、感觉阈	(561)
20.3 耳聋	(561)
20.3.1 老年性耳聋(562) 20.3.2 噪声性耳聋(562) 20.3.3 脉冲声引起的 听力损失(565) 20.3.4 偶然暴露(566) 20.3.5 噪声损伤听力的 理论(566)	
20.4 差阈	(567)
20.5 响度、响度级	(568)
20.5.1 连续声音的响度和响度级(568) 20.5.2 脉冲声的响度(570) 20.5.3 响度级受年龄的影响(570)	
20.6 音调	(570)
20.7 掩蔽、临界频带	(572)
20.7.1 噪声掩蔽(572) 20.7.2 主观谐音(573)	
20.8 双耳定位、听觉住留和积分	(574)
20.9 测听技术	(575)
20.9.1 听力计测量(575) 20.9.2 仿真耳校准(576) 20.9.3 对语言的听 力损失(577)	
第二十一章 建筑声学	(578)
21.1 室内声场	(578)
21.1.1 分析室内声场的方法(578) 21.1.2 平均自由路程(578) 21.1.3 平 均吸声系数(578) 21.1.4 声音在房间内的建立过程(579) 21.1.5 声音在 房间内的衰变过程(579)	
21.2 混响和最佳混响	(579)
21.2.1 混响时间(579) 21.2.2 其他混响时间公式(580) 21.2.3 最佳混响 时间(583) 21.2.4 声能比和等效混响(584) 21.2.5 耦合房间中的混响过 程(585) 21.2.6 两个房间用电声系统耦合时的混响过程(586) 21.2.7 混 响时间的测量(586) 21.2.8 各类房间中测量的混响时间(589) 21.2.9 混 响时间的辨别阈(592)	
21.3 吸声材料	(592)
21.3.1 材料的吸声方式和分类(592) 21.3.2 声阻抗和吸声系数(593) 21.3.3 多孔材料(599) 21.3.4 共振吸声器(604) 21.3.5 有源吸声,电 子吸声器(605) 21.3.6 吸声系数表(606)	
21.4 隔声	(612)
21.4.1 声音传入房间的途径(612) 21.4.2 室内允许噪声级(612) 21.4.3 隔声构件(无限大)的声学特性(613) 21.4.4 均匀密实单层墙(板)的 隔声量(615) 21.4.5 单层墙(板)隔声量的经验公式(617) 21.4.6 平均声 压级差(617) 21.4.7 复合结构的隔声量(617) 21.4.8 刚性墙前加弹性层	