

声学手册

马大猷 沈 嶸 编著

科学出版社

SHENGXUE SHOUCHE

声 学 手 册

马大猷 沈 壕 编著

科 学 出 版 社

内 容 简 介

本书简单地介绍声学工作者常用的基本原理、公式、数据、图表等。前十六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 16 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。

声 学 手 册

马大猷 沈 嶸 编著

责任编辑 赵惠芝

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1983 年 1 月第一次印刷 印张: 42

印数: 精 1—4,530 插页: 精 3 平 2

平 1—2,700 字数: 975,000

统一书号: 13031·2091

本社书号: 2855·13—3

定价: 布脊精装 7.40 元
压膜平装 6.80 元

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。

象《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，花了几乎十年的时间，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、误谬依然难免，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。有些单位名称如啁耳，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、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十、二十一、二十二、二十三、二十四~~章和附录是马大猷写的，第十九章是由张家驹写的，其余各章是由沈喆写的。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。

编 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(13) 1.5.3 录声和放声系统(14)	
1.6 水声学	15
1.7 超声学	17
1.8 生理声学	18
1.9 语言声学	20
1.10 音乐声学	21
1.11 音质和噪声控制	22
第二章 单位, 级	25
2.1 国际单位制 SI	25
2.1.1 SI 基本单位的定义(25) 2.1.2 SI 单位(25) 2.1.3 SI 单位的倍数和分 数(26) 2.1.4 与 SI 单位并用和暂时并用的单位(27) 2.1.5 建议不再使用的 单位(28) 2.1.6 可用的对数值(28)	
2.2 声学单位	29
2.3 单位转换	29
2.4 级和分贝	30
2.4.1 主要声学量的级和基准量(30) 2.4.2 分贝和比值的换算(31) 2.4.3 声 级的结合(33)	
第三章 常用符号和常数	35
3.1 常用符号	35
3.1.1 拉丁字母(35) 3.1.2 希腊字母(36)	
3.2 基本物理常数	37
3.3 声学常数	38
第四章 振动和冲击	39
4.1 简单振动系统(质量弹簧系统)	39
4.1.1 自由振动(39) 4.1.2 受迫振动(40) 4.1.3 共振特性(40) 4.1.4 重 弹簧(42)	
4.2 叠加定律	42
4.2.1 非正弦力(42) 4.2.2 过渡状态-傅里叶变换和拉普拉斯变换(44)	
4.3 多共振系统	47

4.3.1 自由振动(47)	4.3.2 简正振动方式(48)	4.3.3 二自由度(49)	
4.3.4 转动系统(50)			
4.4 分布系统			50
4.4.1 弦(51)	4.4.2 梁(52)	4.4.3 膜(55)	4.4.4 板(58)
4.4.5 其它振动系统(60)			
4.5 近似方法			60
4.5.1 变分法, Rayleigh-Ritz 法(60)	4.5.2 有限元法(62)	4.5.3 统计能量分析(64)	
4.6 振动的评价标准			67
4.6.1 振动对人的影响和评价标准(68)	4.6.2 机器的振动(69)	4.6.3 机器的动平衡(69)	4.6.4 对转子平衡的要求(70)
4.6.5 平衡机(71)			
4.7 隔振			71
4.7.1 传递比(71)	4.7.2 弹簧(73)	4.7.3 阻尼(75)	4.7.4 典型隔振器的设计(76)
4.8 振动阻尼材料			77
4.8.1 板的阻尼和测量方法(78)	4.8.2 阻尼系数(79)	4.8.3 动力吸振器(81)	4.8.4 其他阻尼方法(81)
4.9 包装问题			82
4.9.1 近似估计(82)	4.9.2 隔冲击理论(83)	4.9.3 包装材料(83)	4.9.4 落地试验(84)
4.10 振动试验			84
4.10.1 正弦式振动(84)	4.10.2 宽带无规振动(85)	4.10.3 冲击(85)	
4.11 随机过程			86
4.11.1 统计分析(86)	4.11.2 分布函数(88)	4.11.3 零值分布(89)	4.11.4 有限时间、频率范围内积分问题(90)
第五章 动力类比			92
5.1 概述			92
5.2 阻抗类比			92
5.2.1 阻力元件(92)	5.2.2 惯性元件(93)	5.2.3 弹性元件(94)	5.2.4 电、振动、转动和声四种系统中元件的图示法(95)
5.2.5 一维系统的描述(96)			
5.3 阻抗类比的应用			97
5.3.1 汽车消声器(声系统)(97)	5.3.2 机器的隔振器(振动系统)(98)	5.3.3 振动阻尼器(转动系统)(98)	5.3.4 直射式电动扬声器(力电系统)(99)
5.4 导纳类比			99
5.4.1 力导纳(100)	5.4.2 力导(100)	5.4.3 质量(100)	5.4.4 力顺(100)
5.4.5 振动系统和电系统中元件的图示法(101)	5.4.6 一维振动系统的导纳类比型描述(102)		
5.5 导纳类比的应用			102
5.5.1 作用于振动膜片的空气负载(102)	5.5.2 直射式电动扬声器(103)		
5.6 阻抗类比与导纳类比的转换			104
第六章 气体的声学特性			105

6.1	密度	105
6.2	大气压力和温度	105
6.3	比热	106
6.4	粘滞系数	107
6.5	热传导率	108
6.6	传播速度	109
6.7	高度	112
6.8	特性阻抗	112
6.9	衰减	112
第七章	大气中的声传播	122
7.1	大气结构和特性	122
7.1.1	大气结构(122)	
7.1.2	标准大气(122)	
7.1.3	海平面大气的平均数值(124)	
7.2	声波方程	125
7.2.1	运动方程(125)	
7.2.2	连续方程(125)	
7.2.3	物态方程(125)	
7.2.4	声速(125)	
7.2.5	波动方程(125)	
7.3	声波传播的基本现象	128
7.3.1	声波的干涉和衍射(128)	
7.3.2	声波的反射和折射(129)	
7.3.3	全反射和镜反射(130)	
7.3.4	声波的散射(130)	
7.4	大气中的声衰减	131
7.4.1	大气中的声吸收(131)	
7.4.2	雨、雪、雾的影响(133)	
7.4.3	温度梯度的影响(133)	
7.4.4	风场的影响(134)	
7.4.5	地面效应的影响(134)	
7.5	大气中声波传播的方式	134
7.5.1	均匀大气中靠近地面的声传播(135)	
7.5.2	空对地的声波传播(135)	
7.5.3	大气中声波的异常传播(135)	
7.6	大气中声波传播的射线理论	135
7.6.1	声线方程(135)	
7.6.2	有温度梯度的分层大气中的声道(136)	
7.7	爆炸波的次声传播	137
7.7.1	导波存在的条件(137)	
7.7.2	次声在大气中的传播(137)	
7.8	等离子体声学	138
7.8.1	弱电离气体(138)	
7.8.2	强电离气体(139)	
7.8.3	磁声波(140)	
第八章	液体的声学特性	142
8.1	概述	142
8.2	弛豫机理	142
8.3	正常液体	142
8.4	Kneser 液体	143
8.5	缔合液体	146
8.6	混合液体	150
第九章	固体的声学特性	151
9.1	固体声波	151
9.1.1	各向同性、均匀固体(151)	
9.1.2	各向异性固体(152)	
9.1.3	特性阻抗(152)	

9.2 固体的性质	157
9.2.1 一般物理性质(157) 9.2.2 固体材料的力学性质(159) 9.2.3 金属、玻璃、塑料的声速和特性阻抗(160) 9.2.4 声波的衰减(161)	
9.3 其它性质	162
9.3.1 铁磁材料(162) 9.3.2 超导材料(162) 9.3.3 线规和螺纹(163)	
第十章 换能材料	164
10.1 压电晶体	164
10.2 电致伸缩和磁致伸缩材料	168
10.3 磁致伸缩换能器的等效电路	169
第十一章 非线性声学	171
11.1 大振幅声波	171
11.1.1 空气中的平面波(171) 11.1.2 锯齿波的形成(172) 11.1.3 谐波的产生(173)	
11.2 流体的非线性	173
11.2.1 非线性参数(173) 11.2.2 流体中的大振幅波(175) 11.2.3 大振幅声波的吸收衰减(177) 11.2.4 弱冲击波概念(177) 11.2.5 参量阵, 波的干涉(178) 11.2.6 反射, 折射(179)	
11.3 固体中的大振幅波	180
11.4 冲击波	180
11.4.1 稳态冲击波(181) 11.4.2 弱冲击波(183)	
11.5 爆炸波	183
11.5.1 缩尺定律(184) 11.5.2 大气爆炸(184) 11.5.3 水下爆炸(188)	
11.6 轰声	189
11.7 声辐射压力	190
11.7.1 瑞利辐射压力(191) 11.7.2 朗之万辐射压力(191) 11.7.3 辐射压力的应用(191)	
第十二章 流动媒质声学	193
12.1 流体动力声源	193
12.1.1 单极子(193) 12.1.2 偶极子(193) 12.1.3 四极子(194) 12.1.4 三类声源的比较(194)	
12.2 多普勒效应	195
12.2.1 频率变化(195) 12.2.2 强度变化(195) 12.2.3 偶极子声源的多普勒效应(197)	
12.3 调制气流声源	197
12.4 偶极子声源	199
12.4.1 风吹声(200) 12.4.2 边棱音(200) 12.4.3 螺旋桨噪声(201) 12.4.4 风扇噪声(203)	
12.5 喷注和火箭噪声	203
12.5.1 喷注结构(205) 12.5.2 噪声级和功率(205) 12.5.3 频谱(207) 12.5.4 阻塞喷注噪声(208)	
12.6 附面层压力起伏	209

12.7	燃烧噪声	210
12.7.1	燃烧噪声的性质(210)	
12.7.2	火焰产生声音的机理(211)	
12.7.3	壳中火焰噪声(212)	
12.7.4	燃烧系统的噪声降低(213)	
12.8	气流中的声学材料	213
12.8.1	力阻抗(213)	
12.8.2	穿孔板的声阻抗(214)	
12.8.3	管口的反射(215)	
12.8.4	管道衰减(216)	
第十三章	声辐射和传输元件	217
13.1	声辐射	217
13.1.1	辐射阻抗(217)	
13.1.2	辐射声功率(217)	
13.1.3	指向性辐射(217)	
13.1.4	远场与近场(218)	
13.2	辐射器的辐射阻抗	218
13.2.1	无限障板中的活塞(218)	
13.2.2	长管管端的圆形活塞(220)	
13.2.3	自由空间的振动活塞(220)	
13.3	辐射器的指向特性	221
13.3.1	点声源(221)	
13.3.2	偶极声源(222)	
13.3.3	点声源阵(222)	
13.3.4	线声源(222)	
13.3.5	用移相法偏转声束(223)	
13.3.6	圆形活塞声源(223)	
13.3.7	圆锥形膜片(224)	
13.4	声元件	225
13.4.1	声阻(225)	
13.4.2	声质量(226)	
13.4.3	声顺(226)	
13.4.4	在相对两边上有孔的空腔(227)	
13.4.5	中等大小的管子(227)	
13.4.6	简单共振器(227)	
13.4.7	穿孔板(228)	
13.4.8	声变量器(230)	
13.5	喇叭	230
13.5.1	喇叭方程和它的解(231)	
13.5.2	有限喇叭的特性(232)	
13.5.3	用作连接器的喇叭(233)	
13.5.4	接收喇叭(235)	
第十四章	电声学	236
14.1	换能器的基本原理	236
14.1.1	换能器的类型(236)	
14.1.2	换能器的四端网络(236)	
14.1.3	换能器的基本方程(237)	
14.1.4	动力类比法(238)	
14.1.5	换能器材料(238)	
14.1.6	换能器特性的控制方法(238)	
14.1.7	换能器的辐射功率(239)	
14.1.8	磁路设计(240)	
14.1.9	音圈(241)	
14.1.10	喇叭设计(244)	
14.2	传声器	245
14.2.1	传声器的分类和技术特性(245)	
14.2.2	传声器的指向特性(246)	
14.2.3	声压传声器(248)	
14.2.4	压差传声器(252)	
14.2.5	复合传声器(255)	
14.2.6	其它传声器(256)	
14.2.7	次声传声器(257)	
14.2.8	传声器的测量(257)	
14.3	扬声器	258
14.3.1	扬声器的分类和技术特性(258)	
14.3.2	直射式电动扬声器(258)	
14.3.3	喇叭式电动扬声器(262)	
14.3.4	高保真度扬声器(264)	
14.3.5	气流调制式扬声器(274)	
14.3.6	其他类型扬声器(277)	
14.3.7	扬声器的测试和主观评价(278)	
14.4	耳机	278
14.4.1	电磁式耳机(279)	
14.4.2	晶体耳机(280)	
14.4.3	电动式耳机(280)	
14.4.4	静电式耳机(280)	
14.4.5	骨导耳机(280)	
14.4.6	耳机的测量(281)	

14.5	拾振器	281
14.5.1	拾振器的基本原理(281)	
14.5.2	电容式测振计(282)	
14.5.3	感应式速度计(282)	
14.5.4	压电式加速度计(283)	
14.5.5	涡流式测振计(283)	
14.6	录声	283
14.6.1	机械录声(284)	
14.6.2	光学录声(289)	
14.6.3	磁性录声(291)	
14.6.4	立体声录放系统(296)	
14.7	电声设备	297
第十五章	测量与分析	298
15.1	概述	298
15.2	模拟信号和数字信号	299
15.2.1	信号类型(299)	
15.2.2	模拟信号的产生(299)	
15.2.3	数字信号(301)	
15.3	测量仪表基本单元的特性	303
15.3.1	放大(303)	
15.3.2	电压调节、计权网络和积分网络(305)	
15.3.3	频率分析(306)	
15.3.4	统计分析(308)	
15.3.5	检波与平均(309)	
15.3.6	显示(311)	
15.3.7	记录(312)	
15.3.8	供电(312)	
15.4	数字测量技术	313
15.4.1	数字滤波(313)	
15.4.2	相关技术(314)	
15.4.3	快速傅里叶变换(316)	
15.5	声学 and 振动测量仪表	317
15.5.1	声级计(317)	
15.5.2	噪声剂量计(318)	
15.5.3	测振计(318)	
15.5.4	滤波器和分析器(319)	
15.5.5	统计分析仪(320)	
15.5.6	信号发生器(320)	
15.5.7	显示与记录仪器(321)	
15.6	快速分析系统	324
15.6.1	实时分析系统(325)	
15.6.2	数字相关仪(328)	
15.6.3	快速傅里叶分析系统(328)	
15.6.4	小型通用计算机(329)	
15.6.5	微处理机和微型计算机(329)	
15.6.6	计算机在声学中的应用(330)	
15.6.7	计算机的外围设备(331)	
15.7	实验误差	331
15.7.1	系统误差(331)	
15.7.2	无规误差(332)	
15.7.3	实验结果的检查(333)	
15.7.4	最小二乘法(334)	
15.7.5	无规噪声测量中的误差(334)	
第十六章	校准	335
16.1	波动测量	335
16.1.1	瑞利盘(335)	
16.1.2	烟点法(335)	
16.1.3	热线法(336)	
16.2	传声器的校准	336
16.2.1	声压灵敏度和声场灵敏度(336)	
16.2.2	各种校准方法的比较(337)	
16.2.3	耦合腔互易校准(338)	
16.2.4	自由场互易校准(340)	
16.2.5	自互易校准(343)	
16.3	标准声源	343
16.3.1	活塞发生器(343)	
16.3.2	热致发生器(344)	
16.3.3	静电激励器(345)	
16.3.4	其它声级校准器(345)	
16.4	加速度计校准	346
16.4.1	标准加速度计校准(346)	
16.4.2	在精密振动台上进行校准(346)	
16.4.3	在冲击台上进行校准(346)	
16.4.4	互易校准(347)	
16.4.5	球振法(347)	

16.5	标准频率源	347
16.5.1	一级频率标准(347)	
16.5.2	其它频率标准源(348)	
16.6	频率源的校准	348
16.6.1	拍频法(348)	
16.6.2	示波器法(348)	
16.6.3	频率计法(349)	
16.6.4	电桥法(349)	
第十七章	水声学	350
17.1	声呐方程	350
17.2	换能器	351
17.2.1	换能器阵(351)	
17.2.2	声源级(353)	
17.3	水下声传播、传输损失.....	354
17.3.1	发散损失(354)	
17.3.2	海水吸收(355)	
17.3.3	海水中的声速(356)	
17.3.4	海面和海底(359)	
17.3.5	声道(360)	
17.3.6	起伏(362)	
17.3.7	海上风浪的分级(364)	
17.4	目标强度	364
17.4.1	目标强度的计算(364)	
17.4.2	简单形状的目标强度(366)	
17.4.3	重要目标的强度(366)	
17.5	环境噪声	366
17.5.1	深海中的环境噪声(367)	
17.5.2	浅海中的环境噪声(368)	
17.6	混响	368
17.6.1	体积混响(369)	
17.6.2	海面混响(370)	
17.6.3	海底混响(370)	
17.6.4	混响的起伏(371)	
17.7	检测阈	371
17.7.1	检测阈的定义(371)	
17.7.2	检测阈值(372)	
第十八章	声能学和超声学	373
18.1	总论	373
18.1.1	声能学的范围(373)	
18.1.2	所使用的声波类型(374)	
18.1.3	表面波(374)	
18.2	超声发生器	376
18.2.1	压电换能器(377)	
18.2.2	磁致伸缩换能器(382)	
18.2.3	电磁换能器(385)	
18.2.4	喷注发生器(386)	
18.3	声对物质的影响	388
18.3.1	对质点运动的影响(389)	
18.3.2	声波对流体中悬浮质点的稳定力(391)	
18.3.3	空化(392)	
18.4	在检测、光学和电子学中的应用.....	395
18.4.1	声全息(395)	
18.4.2	声光作用(397)	
18.4.3	表面波器件(400)	
18.5	特超声	401
18.5.1	声子(401)	
18.5.2	超导体隧道接触换能器(402)	
第十九章	语言声学	404
19.1	发音器官和语音	404
19.1.1	发音器官(404)	
19.1.2	语音(404)	
19.2	语音的物理特性	406
19.2.1	发音器官的声学特性(406)	
19.2.2	发音器官的类比线路(406)	
19.2.3	声	

调的物理特性(408)	19.2.4 语音频谱(408)	19.2.5 语言的平均频谱和动态范围(410)	
19.3 语音的统计特性			411
19.3.1 汉语音位的一维概率分布(411)	19.3.2 汉语音位的二维概率分布(412)		
19.3.3 汉语语词结构和分布规律(415)			
19.4 语言传递系统的质量评价			416
19.4.1 语言清晰度试验方法(416)	19.4.2 汉语清晰度试验结果(425)	19.4.3 语言可懂度理论(427)	
19.4.4 择优试验(429)	19.4.5 响度评定法(432)		
19.5 语言机器			432
19.5.1 语言识别设备(432)	19.5.2 声码器(433)		
第二十章 听觉			436
20.1 听觉器官			436
20.2 听阈、感觉阈			437
20.3 耳聋			437
20.3.1 老年性耳聋(438)	20.3.2 噪声性耳聋(438)	20.3.3 脉冲声引起的听力损失(440)	
20.3.4 偶然暴露(441)	20.3.5 噪声损伤听力的理论(441)		
20.4 差阈			442
20.5 响度、响度级			443
20.5.1 连续声音的响度和响度级(443)	20.5.2 脉冲声的响度(444)	20.5.3 响度级受年龄的影响(444)	
20.6 音调			445
20.7 掩蔽, 临界频带			446
20.7.1 噪声掩蔽(446)	20.7.2 主观谐音(447)		
20.8 双耳定位、听觉住留和积分			448
20.9 测听技术			449
20.9.1 听力计测量(449)	20.9.2 仿真耳校准(450)	20.9.3 对语言的听力损失(451)	
第二十一章 建筑声学			452
21.1 室内声场			452
21.1.1 分析室内声场的方法(452)	21.1.2 平均自由路程(452)	21.1.3 平均吸声系数(452)	
21.1.4 声音在房间内的建立过程(453)	21.1.5 声音在房间内的衰变过程(453)		
21.2 混响和最佳混响			453
21.2.1 混响时间(453)	21.2.2 其他混响时间公式(454)	21.2.3 最佳混响时间(454)	
21.2.4 声波比和等效混响(457)	21.2.5 耦合房间中的混响过程(458)	21.2.6 两个房间用电声系统耦合时的混响过程(458)	
21.2.7 混响时间的测量(459)	21.2.8 各类房间中测量的混响时间(461)		
21.3 吸声材料			462
21.3.1 材料的吸声方式和分类(462)	21.3.2 声阻抗和吸声系数(462)	21.3.3 多孔材料(467)	
21.3.4 共振吸声器(471)	21.3.5 有源减噪, 电子吸声器(472)	21.3.6 吸声系数表(473)	

21.4	隔声	478
21.4.1	声音传入房间的途径(478)	
21.4.2	室内允许噪声级(478)	
21.4.3	隔声构件(无限大)的声学特性(479)	
21.4.4	均匀密实单层墙(板)的隔声量(480)	
21.4.5	单层墙(板)隔声量的经验公式(482)	
21.4.6	平均声压级差(482)	
21.4.7	复合结构的隔声量(482)	
21.4.8	刚性墙前加弹性层时隔声量的改善(484)	
21.4.9	隔声量的测量(485)	
21.4.10	撞击声(488)	
21.4.11	隔声指数和它的测量(489)	
21.4.12	室内噪声级计算(490)	
21.5	物理声学	491
21.5.1	室内波动方程和它的解(491)	
21.5.2	简正方式和简正频率(491)	
21.5.3	方向分布(493)	
21.5.4	房间形状对简正频率分布的影响(494)	
21.5.5	房间内的稳态声压和暂态声压(494)	
21.5.6	房间的传输响应(495)	
21.5.7	室内声场的空间起伏(495)	
21.6	几何声学	496
21.6.1	声音的扩散和房间形状的关系(496)	
21.6.2	与房间形状有关的特殊现象(497)	
21.6.3	声线和波阵面的作图法(497)	
21.6.4	每个座位的最佳体积(498)	
21.6.5	观众厅的平面和楼座形式(498)	
21.7	脉冲测量	501
21.7.1	厅堂中的脉冲测量(501)	
21.7.2	回声图(501)	
21.7.3	回声图的定量指标(501)	
21.7.4	哈斯效应(502)	
21.7.5	回声的主观评价(503)	
21.7.6	多个延时声的音质评价(504)	
21.7.7	回声引起的染色效应(504)	
21.8	房间音质模拟	505
21.8.1	房间音质模拟方法(505)	
21.8.2	光学方法(505)	
21.8.3	超声模型方法(505)	
21.8.4	数字模拟方法(507)	
21.9	方向性扩散和其他音质评价标准	507
21.9.1	其他扩散评价标准(508)	
21.9.2	回声的方向分布(508)	
21.9.3	方向性扩散(509)	
21.9.4	清晰度(510)	
21.9.5	相关标准(510)	
21.10	声学实验室	510
21.10.1	实验室的隔声措施(511)	
21.10.2	混响室(511)	
21.10.3	隔声室(512)	
21.10.4	消声室(513)	
21.10.5	半消声室和卦限消声室(514)	
21.10.6	高声强试验室(514)	
第二十二章	音质控制	515
22.1	引言	515
22.2	放声	515
22.2.1	放声系统的分类和要求(515)	
22.2.2	指向性辐射系统(516)	
22.2.3	室外放声系统的声场(518)	
22.2.4	室内放声系统的声场(519)	
22.3	扩声	520
22.3.1	扩声的特点和要求(520)	
22.3.2	室外扩声系统的声反馈(520)	
22.3.3	室内扩声系统的声反馈(521)	
22.3.4	拾声技术(522)	
22.3.5	声反馈的抑制(523)	
22.3.6	扩声系统的最大功率增益(525)	
22.3.7	具有延时线的扩声系统(527)	
22.3.8	远距离语音广播(528)	
22.4	人工混响	528
22.4.1	引言(528)	
22.4.2	用亥姆霍兹共振器来增加播音室的混响时间(529)	

22.4.3 用可变吸声器调节混响时间(529)	22.4.4 混响器(530)	22.4.5 立体混响系统(533)	22.4.6 伦敦皇家节日音乐厅的“受援共振”系统(535)	22.4.7 播音室的人工混响(537)
22.5 立体声	537			
22.5.1 概述(537)	22.5.2 立体声传输原理(538)	22.5.3 双通路立体声(539)		
22.5.4 多通路立体声(541)	22.5.5 膺立体声(541)	22.5.6 立体声的应用(542)		
第二十三章 噪声控制	543			
23.1 常见噪声源的特性	543			
23.1.1 部分工业噪声源的测量数据(543)	23.1.2 航空噪声源(545)	23.1.3 噪声源的平均频谱(546)		
23.2 噪声的危害	549			
23.2.1 噪声的物理效应(549)	23.2.2 噪声对人的心理效应(549)	23.2.3 噪声的生理效应(550)		
23.3 噪声暴露引起的听力损失	550			
23.3.1 测听技术(550)	23.3.2 老年性耳聋(550)	23.3.3 稳态噪声下的连续暴露(551)		
23.4 噪声评价参数	551			
23.4.1 声压级、声级和功率级(552)	23.4.2 响度(552)	23.4.3 清晰度指数和语言干扰级(560)	23.4.4 噪声评价数 NR(560)	23.4.5 等效噪声级(平均声级)(563)
23.4.6 交通噪声指数 TNI(563)	23.4.7 噪声污染级(563)	23.4.8 感觉噪声级(563)	23.4.9 各种噪声评价参数的比较(564)	
23.5 噪声控制标准	571			
23.5.1 噪声控制标准的建立(571)	23.5.2 听力保护和健康保护的噪声标准(571)			
23.5.3 噪声对语言干扰的评价标准(574)	23.5.4 住宅区噪声容许标准(576)			
23.5.5 噪声标准制定的准则(577)				
23.6 听力保护	578			
23.6.1 对护耳器的基本要求(578)	23.6.2 护听器(578)	23.6.3 护耳器的评价方法与测量(580)		
23.7 噪声源的测量	582			
23.7.1 基本测量系统(582)	23.7.2 声压级的测量(582)	23.7.3 倍频带声压级的测量(583)	23.7.4 声功率的测量(585)	23.7.5 声强度的测量(589)
23.8 消声器	590			
23.8.1 概述(590)	23.8.2 抗性消声器的声学特性(591)	23.8.3 小孔和扩散消声器(596)	23.8.4 阻性消声器的声学特性(599)	23.8.5 复合消声器(601)
23.8.6 损耗消声器(603)				
23.9 声疲劳与损伤	604			
23.9.1 声疲劳与低频疲劳(604)	23.9.2 金属疲劳机理(605)	23.9.3 声疲劳的实验方法(605)	23.9.4 S-N 曲线(606)	23.9.5 疲劳累积损伤定律(606)
23.10 噪声和振动控制技术	607			
23.10.1 控制方法概述(607)	23.10.2 机器噪声控制(608)	23.10.3 建筑物内噪声控制(610)	23.10.4 风道噪声控制(611)	23.10.5 交通噪声控制(614)
23.10.6 振动控制(618)	23.10.7 噪声控制措施的选择(619)			

第二十四章 音乐声学	620
24.1 乐律	620
24.1.1 三分律(620) 24.1.2 自然律(621) 24.1.3 平均律(622)	
24.2 乐器的基本构造和特性	624
24.2.1 管(624) 24.2.2 弦(626) 24.2.3 棒、簧的横振动(627) 24.2.4 膜(628)	
24.2.5 板、钟(629)	
24.3 电乐器	630
24.3.1 混合系统(630) 24.3.2 电子乐器(630)	
附录	634
F 1 数字常数表	634
F 2 三角函数表	634
F 3 指数和双曲函数表	636
F 4 圆柱坐标贝塞耳函数 $J_n(x) N_n(x)$	639
F 5 双曲贝塞耳函数 $I_m(x) = j^{-m} J_m(jx)$	640
F 6 正态曲线纵坐标 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$ 表	641
F 7 正态曲线下的面积 $\int_0^a \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$ 表	642
F 8 χ^2 分布表	643
F 9 t 分布的不同分数点	644
F10 Chauvenet 舍去差值过大的实验值的标准	644
F11 泊松分布 $\frac{e^{-m} m^x}{x!}$ 表	645
F12 2500 无规数表	647
F13 线规(ISO 标准)	648
F14 螺纹标准(ISO)	648
F15 普通话中表示声音的词表	649
F16 英汉声学词汇	649

第一章 定义¹⁾

1.1 一般术语

b 背景噪声 在发生、检查、测量或记录信号的系统中与信号存在与否无关的一切干扰。

白噪声 用固定频带宽度测量时, 频谱连续并且均匀的噪声。

注 白噪声不一定是无规噪声。

c 超声 频率高于可听声频率范围的声。

注 超声频率范围大致为 20 千赫至 0.5 京 (10^9) 赫。

冲流 声波在媒质中引起的单向流动。

次声 频率低于可听声频率范围的声。

注 次声频率范围大致为 10^{-4} 赫至 20 赫。

d 电声学 研究电声换能原理、技术和应用的科学

f 分贝 贝耳的十分之一。贝耳是一种级的单位, 其对数的底是 10, 量与功率成正比。

注 1 因此, 分贝是级的单位, 其对数的底是 10 的十次方根, 量与功率成正比。

注 2 与功率类比的量例如: 电流平方、电压平方、声压平方、质点速度平方、声强、声能密度、振动位移平方、速度平方、加速度平方、力平方、以及功率本身等等。用于声压时, 分贝实际是声压平方级的单位, 简称声压级不会误解。

注 3 分贝数可写作

$$N = 10 \log(P_1/P_2) \text{dB} = 20 \log(p_1/p_2) \text{dB}$$

P_1/P_2 是功率比; p_1/p_2 是声压比。

分谐波 频率等于一个周期性振荡基频的整分数的正弦式量。

注 例如, 频率等于基频二分之一的波称为二次分谐波, 三分之一的称为三次分谐波等。]

粉红噪声 用正比于频率的频带宽度测量时, 频谱连续并且均匀的噪声。

辐射压力 由辐射能所引起的径向稳恒压力。

g 功率谱密度 某一时间函数在单位频带 (1Hz) 内的均方值。在傅氏变换

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau$$

中, $R(\tau)$ 是函数 $x(t)$ 的自相关函数; $S(\omega)$ 与均方谱密度成正比, 谱密度 (每赫中时间函数的均方值)

$$W(f) = 4\pi s(\omega),$$

式中 $\omega = 2\pi f$ 。

注 1 功率谱密度用于无规振动的各种物理量如位移、速度、力、加速度等。在振动研究中, 功率谱

1) 本章对基本的声学术语给出定义, 大部分取自《声学术语》(科学出版社, 1958 年), 还有一些改动和增补。比较重要的术语, 本章未列入的, 见后面相当章节。本章各节术语均按汉语拼音排列。

密度常指加速度的功率谱密度(即 $w(t)$ 代表加速度)。

注 2 如果 $R(\tau)$ 是两个时间函数的互相关函数, $S(w)$ 就是交叉谱密度。

h 环境噪声 在某一环境下总的噪声; 常是由多个不同位置的声源产生的。

回声 大小和时差都大到足以和直达声区别开的反射声, 或由于其它原因返回的声。

混响 (1) 声源停止后, 声音由于多次反射或散射而延续的现象; (2) 声源停止后, 由于多次反射或散射而延续的声音。

j 畸变 不希望要的信号波形变化。

激励、刺激 加于一个设备或系统, 使其以某种方式响应的外力(或其它输入)。

注 激励是一般名称, 作用于人身时称为刺激。

基频 (1) 周期性振荡中与其周期相同的正弦式量的频率; (2) 振动系统的最低固有频率。

级 在声学中一个量与同类基准量之比的对数。对数的底、基准量和级的类别应加注明。

注 1 级的类别用名称表示, 如声压级、声功率级等。

注 2 对数的底以及任何比例常数用单位表示, 如分贝、奈培等。

几何声学 用声线的观点研究声学问题的科学。

加速度率 代表加速度的时间变化率的矢量; 加速度率是位移的三阶时间微商。

静压力 没有声波时, 媒质中的压力。

k 凯瑟效应 在应力作用下某些材料中声发射现象的瞬时不可逆特性: 材料如先后受到两次应力, 而第二次应力不超过第一次时, 第二次就很少或没有声发射。

可听声 (1) 引起听觉的声波; (2) 声波引起的听觉。

注 1 可听声的频率范围大致为 20 赫至 20 千赫。

注 2 可听声一般简称为声或声音。

注 3 声为一般术语, 音则是有调的声(见节 1.8), 按意义(2)也称为响或声响; 三者应加区别。

快速傅里叶变换 在从大型时间序列求一组傅里叶系数(分量幅值)时, 任何一种比传统逐个计算的方法大为减少计算工作量的速算步骤。

l 连续谱 在一定频率范围内含有连续频率成分的谱。

n 奈培 一种级的单位, 其中对数的底是 $e=2.71828$, 而量与电流成比例。

注 1 适用的量是电压、电流、声压、质点速度、力、位移、速度、加速度等。两个量 p_1, p_2 相差的奈培数是

$$\alpha = \ln(p_1/p_2)N_p.$$

注 2 1 奈培等于 8.686 分贝。

p 拍 由不同频率 f_1 和 f_2 的简谐量相加而形成的周期性变化。幅值按拍频 $f_1 - f_2$ 周期性地增减。

频谱 把时间函数的幅值和相位分量表示为频率的函数的分布图形。

谱级 一赫带宽中的平均声压级。基准量常取为

$$0 \text{ dB} = 20 \mu\text{Pa} / \sqrt{\text{Hz}}.$$

s 声发射 材料内部迅速释放能量所产生的瞬态弹性波。

注 材料内部释放能量是外加应力引起的。

声级, 噪声级 用一定仪表特性和 A, B, C 计权特性测得的计权声压级。所用计权