

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,沈畚著.—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>

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,除给了准确值外,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“声能学与超声学”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.有些单位名称如啪耳、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,第十九章是由张家懿写的,其余各章是由沈畚写的.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 振动球,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 and 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	

时隔声量的改善(619)	21.4.9 隔声量的测量(621)	21.4.10 撞击声(624)
21.4.11 隔声指数和它的测量(625)	21.4.12 室内噪声级计算(626)	
21.5 物理声学		(627)
21.5.1 室内波动方程和它的解(627)	21.5.2 简正波和简正频率(628)	
21.5.3 方向分布(629)	21.5.4 房间形状对简正频率分布的影响(630)	
21.5.5 房间内的稳态声压和暂态声压(630)	21.5.6 房间的传输响应(631)	
21.5.7 室内声场的空间起伏(632)		
21.6 几何声学		(633)
21.6.1 声音的扩散和房间形状的关系(633)	21.6.2 与房间形状有关的特殊现象(634)	
21.6.3 声线和波阵面的作图法(634)	21.6.4 每个座位的最佳体积(635)	
21.6.5 观众厅的平面和楼座形式(635)	21.6.6 最佳音乐厅(636)	
21.7 脉冲测量		(638)
21.7.1 厅堂中的脉冲测量(638)	21.7.2 回声图(639)	21.7.3 回声图的定量指标(640)
21.7.4 哈斯效应(640)	21.7.5 回声的主观评价(641)	
21.7.6 多个延时声的音质评价(642)	21.7.7 回声引起的染色效应(642)	
21.8 房间音质模拟		(643)
21.8.1 房间音质模拟方法(643)	21.8.2 光学方法(643)	21.8.3 超声模型方法(643)
21.8.4 数字模拟方法(645)	21.8.5 室内声场计算机模拟技术(645)	
21.9 扩散与音质		(647)
21.9.1 实现声场扩散的方法(647)	21.9.2 RPG 扩散屏(648)	21.9.3 其他扩散评价标准(649)
21.9.4 回声的方向分布(649)	21.9.5 方向性扩散(650)	21.9.6 侧向早期反射声(651)
21.9.7 清晰度(652)	21.9.8 相关标准(652)	
21.10 调制转移函数和语言传输指数		(652)
21.10.1 调制转移函数的定义(652)	21.10.2 汉语普通话调制转移函数(653)	21.10.3 混响时间和信噪比与 MTF 的关系(653)
21.10.4 用 STI 评价语言可懂度(654)	21.10.5 汉语普通话音节清晰度与语言传输指数的关系(655)	
21.11 声学实验室		(656)
21.11.1 实验室的隔声措施(656)	21.11.2 混响室(656)	21.11.3 隔声室(658)
21.11.4 消声室(658)	21.11.5 半消声室和卦限消声室(659)	
21.11.6 高声强实验室(660)	21.11.7 联合环境试验室(660)	21.11.8 声学风洞(661)
第二十二章 音质控制系统		(662)
22.1 引言		(662)
22.2 放声		(662)

22.2.1 放声系统的分类和要求(662)	22.2.2 指向性辐射系统(663)
22.2.3 室外放声系统的声场(667)	22.2.4 室内放声系统的声场(668)
22.3 扩声	(669)
22.3.1 扩声的特点和要求(669)	22.3.2 室外扩声系统的声反馈(669)
22.3.3 室内扩声系统的声反馈(670)	22.3.4 拾声技术(672)
22.3.5 声反馈的抑制(672)	22.3.6 扩声系统的最大功率增益(675)
22.3.7 具有延时线的扩声系统(677)	22.3.8 远距离语音广播(679)
22.4 人工混响	(680)
22.4.1 引言(680)	22.4.2 用可变吸声器调节混响时间(680)
22.4.3 混响器(681)	22.4.4 立体混响系统(686)
22.4.5 伦敦皇家节日音乐厅的“受援共振”系统(689)	22.4.6 播音室的人工混响(691)
22.5 扩声系统	(691)
22.5.1 扩声系统的组成(691)	22.5.2 扩声系统的低频系统(692)
22.5.3 电平图(692)	22.5.4 扩声系统中的声反馈抑制(693)
22.5.5 歌舞厅声频-视频系统(694)	
22.6 声场控制系统	(695)
22.6.1 空间声像系统(SIS)(696)	22.6.2 多通路混响系统(MCR)(696)
22.6.3 音质控制系统(ACS)(697)	22.6.4 电子反射能量系统(ERE)(697)
22.6.5 房间音质可调系统(VRAS)(697)	
22.7 会议室扩声系统	(698)
22.7.1 手拉手扩声系统(698)	22.7.2 集中式会议室扩声系统(699)
22.7.3 传声器阵的实例(700)	
第二十三章 噪声和噪声控制	(702)
23.1 常见噪声源的特性	(702)
23.1.1 部分工业噪声源的测量数据(702)	23.1.2 航空噪声源(704)
23.1.3 噪声源的平均频谱(705)	
23.2 噪声的危害	(709)
23.2.1 噪声的物理效应(710)	23.2.2 噪声对人的心理效应(710)
23.2.3 噪声的生理效应(710)	
23.3 噪声暴露引起的听力损失	(711)
23.3.1 测听技术(711)	23.3.2 老年性耳聋(711)
23.3.3 稳态噪声下的连续暴露(711)	
23.4 噪声评价参数	(712)
23.4.1 声压级、声级和声功率级(713)	23.4.2 响度(713)
23.4.3 清晰度指数和语言干扰级(722)	23.4.4 噪声评价数 NR(723)
23.4.5 等效噪声级(平均声级)(727)	23.4.6 交通噪声指数(TNI)(727)
23.4.7 噪声污染级	

(727) 23.4.8 感觉噪声级(727)	23.4.9 各种噪声评价参数的比较(735)	23.4.10 昼夜平均噪声暴露剂量(735)	23.4.11 噪声暴露级和烦扰之间的关系(736)
23.5 噪声控制标准	(736)		
23.5.1 噪声控制标准的建立(736)	23.5.2 听力保护和健康保护的噪声标准(737)	23.5.3 噪声对语言干扰的评价标准(740)	23.5.4 住宅区噪声容许标准(742)
23.5.5 城市环境噪声标准(743)	23.5.6 噪声标准制定的准则(743)		
23.6 护耳器和听力保护	(744)		
23.6.1 对护耳器的基本要求(744)	23.6.2 护耳器(745)	23.6.3 耳罩的工作原理(747)	23.6.4 有源降噪耳罩(748)
23.6.5 护耳器的评价方法与测量(749)			
23.7 噪声源的测量	(751)		
23.7.1 基本测量系统(751)	23.7.2 声压级的测量(752)	23.7.3 倍频带声压级的测量(753)	23.7.4 声功率的测量(754)
23.7.5 声强度测量(759)	23.7.6 噪声源的识别(760)		
23.8 消声器	(760)		
23.8.1 概述(760)	23.8.2 抗性消声器的声学特性(762)	23.8.3 小孔和扩散消声器(767)	23.8.4 阻性消声器的声学特性(771)
23.8.5 复合消声器(773)	23.8.6 损耗消声器(775)	23.8.7 消声器的声学性能测量(776)	
23.9 声疲劳与损伤	(778)		
23.9.1 声疲劳与低频疲劳(778)	23.9.2 金属疲劳机理(778)	23.9.3 声疲劳的实验方法(779)	23.9.4 S-N 曲线(779)
23.9.5 疲劳累积损伤定律(780)	23.9.6 声疲劳试验的噪声载荷谱(780)		
23.10 噪声和振动控制技术	(782)		
23.10.1 控制方法概述(782)	23.10.2 机器噪声控制(783)	23.10.3 建筑物内噪声控制(785)	23.10.4 风道噪声控制(786)
23.10.5 交通噪声控制(789)	23.10.6 大型厂房内外噪声的预测(793)	23.10.7 振动控制(794)	23.10.8 噪声控制措施的选择(795)
23.10.9 有源噪声控制(795)	23.10.10 有源振动控制(800)		
第二十四章 音乐声学	(804)		
24.1 乐律	(804)		
24.1.1 三分律(804)	24.1.2 自然律(805)	24.1.3 平均律(806)	
24.2 乐器的基本构造和特性	(808)		
24.2.1 管(808)	24.2.2 弦(810)	24.2.3 棒、簧的横振动(812)	24.2.4 膜(813)
24.2.5 板、钟(814)			

24.3 电乐器	(814)
24.3.1 混合系统(815) 24.3.2 电子乐器(815)	
附录	(818)
F1 数字常数表	(818)
F2 三角函数表	(818)
F3 指数和双曲函数表	(820)
F4 圆柱坐标贝塞尔函数 $J_n(x), N_n(x)$	(823)
F5 双曲贝塞尔函数, $I_m(x) = j^{-m} J_m(jx)$	(824)
F6 无限障板中活塞辐射声阻抗函数 $M(\omega) = \frac{2}{\omega} K(\omega)$ 表	(825)
F7 椭圆的末端改正	(826)
F8 正态曲线纵坐标 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$ 表	(827)
F9 正态曲线下的面积 $\int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$ 表	(828)
F10 χ^2 分布表	(829)
F11 t 分布的不同分数点	(830)
F12 Chauvenet 舍去差值过大的实验值的标准	(830)
F13 泊松分布 $\frac{e^{-m} m^x}{x!}$ 表	(831)
F14 2500 无规数表	(833)
F15 线规(ISO 标准)	(834)
F16 螺纹标准(ISO)	(834)
F17 普通话中表示声音的词表	(835)
F18 英汉声学词汇	(835)

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。

波数 (1) 2π 除以周期性波的波长;(2) 2π 乘频率除以声速。单位,米的倒数(1/m),符号 $k = \omega / c$ 。

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 kHz~0.5 GHz,更高频率的声有时称为特超声。

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 20 Hz 以下。

D 电声学 研究电声换能原理、技术和应用的科学。

F 分贝 贝尔的十分之一。贝尔是一种级的单位,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,简称声压级不会引起误解。

注 3 分贝数可写作

$$N = 10 \lg(W_1 / W_2) = 20 \lg(p_1 / p_2) \quad \text{dB}$$

式中, W_1 / W_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 由声辐射能所引起的径向稳恒压力。

G 功率谱密度 在傅里叶变换中,功率谱密度

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

式中, $R(\tau)$ 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)

^① 本章对基本的声学术语给出定义,基本取自《声学名词术语》(国标 GB/T 3947—1996),还有一些增补。比较重要的术语,本章未列入的,见后面相应章节。本章各节术语均按汉语拼音排列。

$$W(f) = 4\pi S(\omega), \quad \omega = 2\pi f.$$

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,功率谱密度常指加速度的功率谱密度(即 $x(t)$ 代表加速度).

注 2 如果 $R(\tau)$ 是两个时间函数的互相关函数, $S(\omega)$ 就是互功率谱密度.

[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,或由于其他原因返回的声.

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] 畸变失真 信号波形失真的现象.

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(或其他输入).

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 加速度的时间变化率的矢量;加速度率是位移的第三阶时间微商.

静压 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 Hz~20 kHz.

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 1.8 节),按意义(2) 也称为响或声响;三者应加以区别.

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 $e=2.718\ 28$,用于可与电流或电压类比的量.

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

$$\alpha = \ln(p_1/p_2) \quad \text{Np}.$$

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 把时间函数的分量按幅值和相位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

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

[S] 声[波] 弹性媒质中传播的压力、应力、质点位移、质点速度等的变化或几种变化的综合。

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。所用计权特性必须说明, 否则即指 A 声级。

注 1 常用基准量 $20 \mu\text{Pa}$ 。

注 2 A, B, C 计权特性分别是 40, 70, 100 方等响曲线的反曲线, 计权特性用读数后的字样表示, 如 $\text{dB } A$ [或 $\text{dB}(A)$] 等。

声能密度 在某点一尺度甚小于波长而甚大于分子尺度的小体积中的声能用这个体积来除所得的商。

注 1 如不加说明, 一般指有效值(即方均根值), 用其他值时应予说明, 如声压注 2。

注 2 讲到平均声能密度时须注明: 是空间平均(在某一时刻)还是时间平均(在某一点)。

注 3 在某点的平均声能密度等于

$$D = \frac{p^2}{\rho_0 c^2} = \frac{p^2}{\gamma P_0},$$

式中, p 为声压(有效值), Pa ; ρ_0 为媒质密度, kg/m^3 ; c 为声速, m/s ; P_0 为静压力, Pa ; γ 为比热比(在空气或其他双原子气体中为 1.4)。

声能能量 单位时间内通过某一面积的声能。

注 1 声波为纵波时, 声能通量可用下式表示:

$$\Phi = \frac{1}{T} \int_0^T p S v_n dt,$$

式中, p 为瞬时声压, Pa ; S 为面积, m^2 ; v_n 为瞬时质点速度在 S 的法线方向 n 的分量, m/s ; t 为时间, s ; T 为周期的整数倍, 或长得不会影响计算结果的时间, s 。

注 2 在自由平面波或球面波上, 通过面积 S 的平均声能通量(时间平均)为

$$\Phi = \frac{p^2 S}{\rho_0 c} \cos \theta,$$

式中 p 为有效声压, Pa ; ρ_0 为媒质密度, kg/m^3 ; c 为声速, m/s ; θ 为面积的法线与波法线所成的角度。

声疲劳 结晶固体在强烈声波产生的起伏压力作用下发生破裂的现象。

注 声疲劳的后果是轻结构和所装电子设备(有时也包括液压设备)的破坏或失效。

声强[度] 在某一点上, 一个与指定方向垂直的单位面积上在单位时间内通过的平均声能。

注 1 声场在指定方向 n 的声强等于在垂直于 n 的方向的单位面积上的平均声能通量。声波为纵波时, 声强可用下式表示:

$$I_a = \frac{1}{T} \int_0^T p v_n dt,$$

式中, p 为瞬时声压, Pa ; v_n 为瞬时质点速度在方向 n 的分量, m/s ; T 为周期的整数倍, 或长得不会影响计算结果的时间, s 。

注 2 在自由平面波或球面波的情况下, 在传播方向的声强是

$$I_0 = \frac{p^2}{\rho_0 c},$$

式中, p 为有效声压, Pa; ρ_0 为媒质密度, kg/m^3 ; c 为声速, m/s .

声强起伏 声强在短时间内的迅速无规变化.

注 无规变化的原因:(1) 声源在室内激起的各简正振动间的互相干涉;或(2)在海洋中许多不均匀性的微小变化.短时间指一秒钟或更短的时间.

声线 自声源发出,代表能量传播方向的曲线,声的波动性质不计.

注 在各向同性的媒质中,声线就是代表波的传播方向、处处与波阵面垂直的曲线.

声像 声波经反射、折射或其他原因所形成的虚声源.

声学 研究声波的发生、传播、接收和效应的科学.

声压 有声波时,媒质中的压力超过静压力的值.

注 1 一般使用时,声压是有效声压的简称.有效声压是在一段时间内瞬时声压的方均根值,这段时间应为周期的整数倍,或长到不影响计算结果的程度.

注 2 声压的瞬时值、平均值、最大值或峰到峰值等应分别注明为瞬时声压、平均声压、最大声压、峰到峰值声压等.

声影区 由于障碍物或折射关系,声线不能达到的区域.

声源强度 简单声源发出正弦式波时的最大体积速度.

注 简单声源是尺度甚小于波长的声源.

[T] **体积速度** 声波在一指定表面上产生的每单位时间的交变流量.

注 如不加说明,一般指有效值(方均根值),用其他值时应予说明.如声压注 2.

湍流声学 研究高速度气流和水中所发生声波的科学.

[W] **无规噪声** 瞬时值不能预先确定的声振荡.无规噪声的瞬时值对时间的分布只服从一定统计分布规律.

注 无规噪声不一定是白噪声.

物理声学 研究声学中基本物理问题的科学.

[X] **线谱** 由一些离散频率成分形成的谱.

响应 某设备或系统在指定条件下由一激励(刺激)引起的运动(或其他输出).

注 响应的定量表示,见 1.4 节.

效率 储存、转移或改变某物理量的有用输出与总输入的比.

注 在没有特殊规定时,效率是指对功率的效率.

谐波 周期性振荡中,频率等于基频的整数倍的正弦式量.

注 例如,频率等于基频二倍的波称为二次谐波,等于基频三倍的称为三次谐波……

[Z] **噪声** (1) 紊乱、断续或统计上随机的振荡;(2) 不需要的声音.可引申为在一定频段中任何不需要的干扰,如电波干扰.

注 1 可能混淆时,注明“声噪声”或“电噪声”.

注 2 噪声有时也称为无调声.

振荡,振动 一个物理量在观测时间内不停地经过最大值和最小值而变化的过程,总称为振荡,振动是指物理量代表一个机械系统运动参量时的振荡.

注 振荡是一般术语,振动只用于机械系统(包括声学系统).

质点速度 媒质中某一尺度甚小于波长而甚大于分子尺度的质点因声波通过而引起的相

对于整个媒质的振动速度。

注 如不加说明,一般指有效值(即方均根值)

主频 一个包括很多不同频率成分的复信号中最主要的频率。

注 在被驱动系统中,主频就是驱动频率,而在周期性运动中,主频就是基频。

[自]相关函数 同一时间函数在瞬间时刻 t 和 $t + \tau$ 的两个值相乘积的平均值作为延迟时间 τ 的函数:

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cdot x(t + \tau) dt.$$

自相关函数是信号与延迟了的信号之间相似性的度量,延迟时间为零时则成为信号的均方值。

注 如果是两个不同的时间函数,所得就是互相关函数。

1.2 振动和冲击

[C] 冲击 机械系统中的一种瞬态运动,随之具有力、位移、速度或加速度的非周期性突然变化。

冲击脉冲 加速度在一短时间内由一恒值升起和衰变的重大扰动.冲击脉冲一般是把加速度作为时间的函数,用图来表达。

冲击脉冲持续时间 脉冲的加速度由最大幅值的某一规定分数升起又衰变到同一值所需要的时间.规定分数应加说明。

注 规定分数常取峰值的 1/10,或低 20 dB,但应加说明。

传递比 振动系统在稳态受迫振动中,响应幅值与激励幅值的无量纲比值.传递比可以是力、位移、速度或加速度的比。

[D] 等效黏性阻尼 为分析一个振动系统所假设的黏性阻尼,它在共振时所引起的每周的能量耗损与实际的或假想的阻尼力所产生的耗损相同。

动力吸振器,共振阻尼器 把能量转移到调谐至振动频率的附加共振系统,以降低原系统振动的设备.附加系统的反作用力与原系统所受的力反相。

对数减缩率 在一个单频率振动的衰变中,符号相同的前后两个相邻幅值之比的自然对数。

[F] 反共振 系统在受迫振动中,激励的任何微小频率变化都使响应增加的现象。

注 响应可能是位移、速度或加速度,三种反共振频率不同。

非线性阻尼 阻尼力不与速度成正比的阻尼。

[G] 干摩擦阻尼 振动系统中的质点运动受大小固定、与质点的速度无关而方向相反的阻力引起的能量耗损。

隔振 利用弹性支撑使一系统降低对外激励起响应的能力.在稳定状态,隔振用传递比的倒数表示。

隔振器 使系统与稳态激励隔离的弹性支撑。

共振 系统在受迫振动中,激励的任何微小频率变化都使响应减小的情况。

注 响应可能是位移、速度或加速度,三种共振频率不同,有可能混淆时,应说明共振类别。

固有频率 系统自由振动时的频率。在多自由度系统中,固有频率是简正振动的频率。

J **机器平衡** 调整转子的质量平衡使其轴套或轴承所受振动力降低或受到控制的步骤。

简正振动,简正波 无阻尼系统的一种自由振动方式。系统的任何复合运动一般可分解为简正方式的和。简正振动的频率是简正频率。

k **临界速度** 相应于转动系统共振频率的速度。

临界阻尼 使一被移动的系统回复到原有位置而无振荡的最小阻尼。

m **脉冲上升时间** 脉冲前沿自最大幅值的某一规定小分数升至某一规定大分数所需的时间。
小分数,大分数应加说明。

注 小分数、大分数常分别取为 $1/10$ 和 $9/10$,但应说明。

n **黏性阻尼** 振动系统中的质点运动受大小与质点的速度成正比而方向相反的阻力引起的能量耗损。

p **品质因数** 单自由度机械或电系统共振尖锐度或频率选择性的度量。

注 1 在机械系统中,这个值等于阻尼比倒数的一半。

注 2 这个值也称为共振放大倍数。

S **受迫振动** 由外加激励强迫的振动。外加激励如为周期性的和连续性的,受迫振动就是稳态振动。

瞬态振动,过渡振动 由外加瞬态激励引起的振动。

速度冲击 整个系统的速度作非振荡性变化形成的冲击。

w **稳态振动** 振动系统的物理量是周期量的状态。

无阻尼固有频率 有阻尼的机械系统中,仅由系统的弹性力和惯性力形成的自由振动频率。

z **阻尼** 能量随时间或距离而损耗的现象。

阻尼比 具有黏性阻尼的机械系统中,系统实有阻尼与临界阻尼的比。

阻尼固有频率 有阻尼的机械系统的自由振动频率。

自激振动 在机械系统中来源于非振荡性激励在系统内转变为振荡性激励而产生的振动。

自由度 在任何时刻完全确定一个机械系统各个部分的位置所需要的最少数目的独立广义坐标数。它一般等于可能的独立广义位移数。

自由振动 受迫振动不存在时的振动。

1.3 声 波

B **波** 媒质中传播的扰动。在媒质任意一点量度扰动的量都是时间的函数,而在同一时刻,任意一点的这个量都是它的位置的函数。

任一与传播的扰动具有同样空间时间依赖关系的物理量在同一时刻的空间分布也称为波。

波法线 通过行波波阵面某点上的法线。

[波]腹 驻波中某种声场特性的幅值为最大的点、线或面。

注 必须用适当的词说明腹的类别,如“声压腹”、“位移腹”、“质点速度腹”等。

[波]节 驻波中某种声场特性基本为零的点、线或面。

注 1 必须用适当的词说明节的类别,如“声压节”、“位移节”、“质点速度节”等。

注 2 某种声场特性最小但不是零时,称为次节。

波阵面 行波在同一时刻相位相同各点的轨迹。

表面波 沿媒质表面层传播、幅值随深度迅速减弱的波。

传播系数 无限长均匀系统沿传播方向相隔单位距离的两个点上,或无限长具有迭接结构的系统中两个最近的对应点上,稳恒状态质点速度、体积速度或声压间的复数比值的自然对数,其中比值是接近传递端的点上的值,除以较远点上的对应值。

传声损失 在一传声系统中,声自一点传到另一点时声压级的降低。

冲击波 冲击在媒质中的传播,其特点是经过冲击面有显著的空气压力、密度和温度的突然变化。

注 突然变化从数学上说是由一个值跳到另一个值;但从物理上说,由于损耗力的存在,变化是连续的,只是发生在很短距离(一般大约是十倍分子自由程)内。

发射损失 传声损失的一部分,起因于声线按照系统的几何形状散开(例如一个点源所发射的球面波)。

反射 波阵面由两种媒质之间的表面返回的过程,向表面的入射角等于反射角。

反向散射截面 引起回声等于某物体所引起回声的一个各向同性的散射体的散射截面。

注 如 p_{sf}^2 是距物体的声中心为 r_0 处的反向(向声源方向)均方散射声压, p_i^2 是入射均方声压,则反向散射截面 σ_f 为

$$\sigma_f = \frac{4\pi r_0^2 p_{sf}^2}{p_i^2}$$

干涉 频率相同或相近的声波相加时所得的现象,特点是某种特性的幅值与原有声波相比,具有不同的空间和时间分布。

横波 媒质中质点都垂直于传播方向而运动的波。

轰声 以超声速运动的物体所引起的冲击波噪声。

注 飞行体产生的冲击波有两个:飞行体前端产生的压缩冲击和尾端产生的消失冲击。

近场 自由场中声源附近声压和质点速度不同相的场。

乐甫波 固体表面层上存在另一固体薄层时产生的表面波,振动的方向平行于表面而垂直于传播方向。

漫射场,扩散场 能量密度均匀、在各个传播方向作无规分布的声场。

频散 声速随频率变化。

平面波 波阵面平行于与传播方向垂直的平面的波。

切变波 弹性媒质中使媒质各部分变形而体积不变的波。

注 从数学上讲,切变波是速度场的散度为零的波。

球面波 波阵面为同心球面的波。

群速 一段波的包络上具有某种特性(例如幅值最大)的点的传播速度。

注 1 群速和相速只是在频散媒质中才有差别。

注 2 群速是波群的能量传播速度。

[R] 瑞利波 固体自由边界上的表面波,质点作椭圆运动,其长径垂直于表面而心在无扰动时的表面上.质点离开表面的位移最大时,其运动方向与波的传播方向相反。

[S] 散射 声朝许多方向的不规则反射、折射或衍射。

散射截面 截取平面行波声能等于某物体在各方向散射的总能量的面积。

注 如 p_s^2 是距物体的声中心为 r_0 处的平均均方散射声压, p_i^2 是入射均方声压,散射截面 σ 就是

$$\sigma = \frac{4\pi r_0^2 p_s^2}{p_i^2}.$$

声场 媒质中有声波存在的区域。

衰减系数 传播系数的实数部分。

[W] 弯曲波 板或棒(梁)作弯曲运动而传播的纵横波。

[X] 吸收 当声波通过媒质,或射到媒质表面上时,声能减少的过程。

相速 波上相位固定的一点沿传播方向的速度。

相位系数 传播系数的虚数部分。

[V] 压缩波 弹性媒质中使媒质各部分改变体积而无转动的波。

注 从数学上讲,压缩波是速度场中旋度为零的波。

衍射 由于媒质中有障碍物或其他不连续性而引起的波阵面畸变。

衍射波 波阵面因媒质中的障碍物或其他不连续性而改变了的波,反射和折射不计。

远场 自由场中,声压与质点速度同相的声场。

[Z] 折射 因媒质中声速的空间变化而引起的声传播方向改变的过程。

柱面波 波阵面为同轴柱面的波。

驻波 由于频率相同的同类自由行波互相干涉而形成的空间分布固定的周期波.驻波的特点是具有固定于空间的节或次节和腹。

注 各处能通量都等于零的驻波称为定波。

自由场 均匀而各向同性的媒质中,边界影响可以不计时的声场。

自由行波 在一个没有边界的、均匀而各向同性的媒质中传播的波。

纵波 媒质中质点沿传播方向运动的波。

1.4 传 声 系 统

[B] 波束宽度 指向换能器在给定频率和包括主轴的给定平面内,角偏向损失为一指定值的主轴左右两个方向间的角度。

注 角偏向损失常取为 3,6 或 10 dB,根据换能器的指向性或用途选择.所选角偏向损失可用“3 dB 波束宽度”之类的词句表示。

C **插入损失, 介入损失** 在插入仪器前输送到传声系统中插入点后某部分的功率和插入后输送到该部分的功率的比. 比值常用分贝表示.

注 如输入功率或输出功率, 或两者都含有一个以上的频率分量, 就应指明是哪一个特殊分量.

D **动态范围** 为声接收用的电声换能器的过载声压级与噪声的等效声压级之差.

注 1 能接收的声压级低限是由媒质中的声噪声或电路中的电噪声决定的. 起作用的噪声应加说明 (如环境噪声、热噪声、设备噪声等).

注 2 过载的性质和测量方法应加说明 (如信号畸变、过热、失效、损坏等).

多普勒效应 传输系统中声源与观察点间的有效传播距离随时间改变而引起的观察到的波频率有所改变的现象.

注 定量的关系如下:

$$f_r = \frac{1 + \frac{v_r}{c}}{1 - \frac{v_s}{c}} f_s$$

式中, f_r 是观察到的频率; f_s 是源的频率; v_r 是观察点向源 (相对于媒质) 的速度分量; v_s 是源向观察点 (相对于媒质) 的速度分量; c 是静止媒质中的波速. f_r 和 f_s 的差称为多普勒频移.

F **发送效率** 电声换能器总的声功率输出与电功率输入的比. 计算电功率输入时习惯上不计算为偏压或励磁用而供应的电功率.

法向声阻抗率 材料表面上的声压与质点速度的法向方向分量的复数比值.

H **互易常数** 满足互易原理的电声换能器, 用作接收器时的自由场电压 (或电流) 灵敏度与用作发声器时的发送电流 (或电压) 灵敏度的比值.

注 互易常数等于

$$\left| \frac{M_0}{S_0} \right| = \left| \frac{M_s}{S_s} \right| = \frac{2d}{\rho_0 f},$$

式中, M_0 是自由场电压灵敏度, S_0 是发送电流灵敏度; M_s 是自由场电流灵敏度; S_s 是发送电压灵敏度; d 是距离; ρ_0 是媒质密度; f 是频率. 单位应一致.

互易原理 线性、无源、可逆电声换能器在用作接收器时的自由场电压 (或电流) 灵敏度与用作发声器时的发送电流 (或电压) 灵敏度之比与换能器无关的原理.

换能器 自一系统接收信号而向另一系统供应信号, 使输入信号的某些所需特征出现于输出的装置.

注 此处, 装置主要指的是发生、传输、接收声波的声学装置, 也可以是机械装置.

[换能器] 等效噪声压 接收电声换能器或系统的主轴上传来的平面正弦式行波. 使该换能器或系统产生的开路电压 (方均根值) 等于带宽 1 Hz 的频带内的噪声电压 (方均根值) 时, 所具有的电压 (方均根值).

注 如果换能器的等效噪声压是一些次级变数 (如环境温度或压力等) 的函数, 这些量的适用值就说明.

J **加载阻抗** 当换能器的输出端连接到正常负载时, 在输入端量得的电阻抗.

[加载] 动生阻抗 从加载阻抗减去受挡阻抗的复数差.

角偏向损失 换能器在主轴上以分贝计的响应减去在某一指定方向上以分贝计的响应.

[K] 可[资应]用功率 (1) 线性电能源的断路端电压的均方值,除以四倍能源内阻。

注 可用功率输送对象是一个与源阻抗共轭的阻抗,可用功率是电源能够输出的最大功率。

(2) 一个假想的、与放在声场中的给定物体大小相同、取向相同的理想换能器从声场所能吸收的功率.物体的尺度和对声场的取向必须说明。

注 电声换能器处在一个已知频率的平面波声场中时,可供这个换能器应用的功率是自由场声强和换能器有效面积的乘积.当换能器表面速度分布与激发换能器的方式无关时,换能器的有效面积是 $1/4 \pi$ 乘以接收指向性因数与媒质中自由行波波长平方的乘积.如换能器的尺度和波长相比很小,指向性因数就接近于 1,而有效面积与频率的平方成反比,如换能器和波长相比很大,则指向性因数差不多和频率平方成正比,而有效面积等于换能器活动面的实际面积。

可[资应]用功率效率 接收电声换能器的电端输出可用电功率与可资换能器应用的声功率之比。

注 1 对于遵守互易原理的电声换能器,接收时的可用功率效率等于发送效率。

注 2 在给定的窄频带中,可用功率效率在数值上等于声媒质中的热噪声在换能器中所引起的均方热噪声断路电压在电端出现的百分数。

[L] 类比 表明两个或多个科学范畴的方程和结构的一贯相似关系,并确定在这些方程和结构中起相似作用的量和元件,以便在这些不同科学范畴间传递数学分析步骤和结构性可能的方法。

注 阻抗型类比把机械系统中的力和速度分别类比为电学系统中的电压和电流;导纳型类比则与之相反。

力导纳 速度与力的复数比值.力导纳是力阻抗的倒数,力导纳的实数部分是力导,虚数部分是力纳。

力因数 (1) 机电换能器中:(a)机械系统的振动被阻挡时,用电学系统中的电流除它在机械系统中引起的力所得的复商;或(b)用机械系统中的速度除它在电学系统中引起的断路电压所得的复商。

注 当所用单位一致,且换能器满足互易原理时,两种力因数的数值相同。

(2) 电声换能器中:(a)声学系统的振动被阻挡时,用电学系统中的电流除它在声学系统中引起的声压所得的复商;或(b)用声学系统中的体积速度除它在电学系统中引起的断路电压所得的复商。

注 当所用的单位一致,且换能器满足互易原理时,两种力因数的数值相同。

力阻抗 力与速度的复数比值.力阻抗是力导纳的倒数.力阻抗的实数部分是力阻,虚数部分是力抗。

灵敏度,响应 换能器输出端的指定量与输入端的另一指定量的比值.灵敏度可用分贝表示,但基准值须加说明。

注 1 常用图线表示的响应特性是把响应作为某一独立变量(频率或方向)的函数,假设其他值(例如电压)不变。

注 2 灵敏度或响应必须加前缀语以指明用的输出和输入究竟是哪种量度.常用的加前缀语的灵敏度或响应如下页表: