

# 计量测试技术手册

## 第9卷 声学

《计量测试技术手册》编辑委员会



中国计量出版社

# 计量测试技术手册

第9卷 声学

《计量测试技术手册》编辑委员会

中国计量出版社

# 序

当人类文明的曙光照耀着历史长河的源头时,伴随着生产和社会活动的需要,计量就萌发了。我国古时秦始皇施行了度量衡制度,被看作是一项重要政绩,标志着社会的进步。本世纪欧洲各国也制定了计量单位,如英国的英尺、磅等。直至1898年,国际米制公约公布,号召各国采用统一的米制公斤计量标准,可说是顺应社会发展,时代进步的必然产物。随着科学技术和贸易的发展,大概始于本世纪与上世紀之交,计量又从传统的度量衡扩展到众多的新兴领域。各种计量要求的精确程度及实施的复杂性与日俱增,计量已成为一门独立的学科。特别是在今天高新技术迅速发展的时代,计量更是无所不在和不可缺少的科学手段。今天计量测试技术广泛应用于工农业生产、国防建设、科学研究、国内外贸易、医疗卫生,以及人民生活的各个领域。在现代社会中,人们把人、管理、原材料、工艺装备、计量测试技术列为工业生产的五大支柱。计量测试技术也是整个科学技术和国民经济的一项重要技术基础。

在原国家计量局和现国家技术监督局的支持下,由中国计量出版社组织编写的《计量测试技术手册》即将出版。这套手册由100多位长期从事计量测试工作的专家、教授,历经7年编纂而成。该套手册总结了我国40多年来计量科学研究和实践的经验,吸取了国外先进技术,内容丰富,实用性强。并保持了从事计量工作一向遵循的科学上的严谨性,是适用于各个领域科技人员的工具书。

可以指出,编写的手册是一项组织繁杂,集体辛勤劳动的果实,是对我国计量事业做出了一个卓有贡献。为此,谨向所有付出心血的编者表示敬意。



1995年10月18日

---

王大珩教授为中国科学院院士、中国工程院院士、中国高科技产业化研究会理事长、何梁何利基金优秀奖获得者。

# 《计量测试技术手册》编辑委员会

主任委员：陈宽基

副主任委员：倪伟清 徐孝恩 李绍贵 房景富 王东宝

委员：（按姓氏笔画顺序排列）

于 渤	王朋植	王晓莹	史元明	孙维民
师克宽	刘宝兰	刘瑞清	陈小林	陈艳春
何 贡	何伟仁	林宗虎	林鸿初	金士杰
施昌彦	席德熊	徐 鹑	黄秉英	窦绪昕
谢 英	潘君骅	潘秀荣		

## 本卷编辑委员会

主 编：于 渤

委 员：于 渤 徐唯义 张 斌

撰 稿 人：于 渤 陈剑林 汪汉春 张美娥 翁泰来

崔广中 沈 壕 熊大莲 徐唯义 朱厚卿

王荣津

本卷责任编委：倪伟清

本卷责任编辑：李绍贵

版 面 设 计：倪 云

# 前 言

我国的现代计量测试工作,始于本世纪50年代初,经过40多年的积累和发展,已建成具有门类较为齐全,覆盖全国的计量测试技术网络,在生产、科研和经贸中发挥着生产力的作用。计量测试队伍也从计量行业扩展到各技术领域的计量、测试人员,形成宏大的专业大军。作为这一专业领域的知识积累——编写《计量测试技术手册》,既是广大计量测试人员的要求,也为推进计量测试技术转化为生产力所需要。

《手册》旨在成为计量测试人员和技术科研、设计人员案头技术咨询的必备工具书,力求以技术科学性、数据准确性、资料实用性、查阅方便性来组织书稿内容。全书按计量测试技术各专业立卷,共13卷,覆盖了这一技术领域的全貌。各卷按各自专业特点,要求做到既独立完整,又相互协调统一。

《手册》是在原国家计量局和现国家技术监督局的支持和帮助下,由中国计量出版社组织编写的,并成立了各卷的编审委员会,得到了中国计量科学研究院和一些科研单位、大专院校的大力支持,有上百名计量测试技术专家、学者参与了编写工作,历经7个多寒暑,为此付出了艰辛的劳动。值此《手册》面世之际,我们谨向支持和参与《手册》编写、编辑出版的所有人员致以敬意!

编写如此浩大又涉及众多学科的《手册》,是一项系统而又细致的工程实践,要做到全面、完整、准确、统一是十分困难的,虽经共同努力,层层把关,也难免存在术语上的不统一,内容上有一定交叉重复,符号不太一致等问题。还会有错漏和不足,诚请广大读者批评指正,以便在《手册》再版和修订中改正。

《计量测试技术手册》编辑委员会

1995年9月

## 编者的话

本卷是声学计量和测试方面的工具书。内容包括：空气声（含电声学、噪声与建筑声学）、超声、水声的计量与测试等。其中计量部分是根据国家计量检定规程和国际上有关建立声学国家基准器和标准器方法的主要内容编写的；测试部分则是根据国家标准和最新国际标准（如ISO和IEC或部分草案）编写的。所引用的这些标准，以及值得参考的声学测量标准均已收入本卷的附录中以供查阅。

本卷是由中国计量科学研究院，中国科学院声学研究所和中国电视电声研究所，从事声学计量和测试的专家们分章分节编写的。其具体编写分工为：第1章，第4章及附录：于渤；第2章，第5章（其中第2章声校准器和0型声级计由陈剑林编写）：汪汉春；第3章：陈剑林；第6章：张美娥；第7章：翁泰来；第8章：崔广中；第9章：沈壕；第10，11和12章：熊大莲；第13章：徐唯义，第14和15章：朱厚卿；第16章：王荣津。于渤、徐唯义和张斌承担了本卷书稿的审定。

声学计量和测试技术内容很丰富，但由于篇幅的限制，内容的取舍和详略配置恐难尽人意，有不当和错误之处，恳请读者予以指正。

本卷编委会

# 目 录

## 第1章 声学计量与测试技术基础

1 概述 .....	(1)
1.1 声学计量与测试的任务 .....	(1)
1.2 我国声学计量的进展情况 .....	(1)
1.3 声学计量器具检定系统 .....	(2)
2 声学的量、单位、符号和定义 .....	(2)
3 常用声学计量术语及定义 .....	(5)
3.1 声学基础术语 .....	(5)
3.2 测听技术常用的术语 .....	(10)
3.3 超声、水声计量常用的术语 .....	(12)
3.4 声学计量和测试的主要器具和设备术语 .....	(14)
4 声学计量和测试中的主要实用公式与数据 .....	(16)
4.1 某些物体的声学特性 .....	(16)
4.2 有关声学量间的关系式 .....	(19)
5 级和分贝 .....	(20)
5.1 主要声学量的级和基准级 .....	(20)
5.2 分贝和比值的换算 .....	(20)
5.3 分贝的合成 .....	(22)

## 第2章 空气声计量基准、标准及其建立方法

1 概述 .....	(23)
2 空气声声压计量器具检定系统 .....	(23)
3 实验室标准传声器 .....	(23)
3.1 实验室标准传声器的分类 .....	(24)
3.2 实验室标准传声器的机械尺寸 .....	(24)
3.3 标准传声器接地屏蔽参考结构 .....	(26)
3.4 电声技术要求 .....	(27)
3.5 BK-4160型和BK-4180型标准传声器 .....	(28)
3.6 传声器灵敏度 .....	(29)
3.7 灵敏度级之间的差值 .....	(29)

4 复现声压单位的方法 .....	(31)
5 耦合腔互易法 .....	(32)
5.1 互易传声器 .....	(32)
5.2 互易校准程序 .....	(32)
5.3 对耦合腔的要求 .....	(33)
5.4 声转移阻抗的测量 .....	(34)
5.5 电转移阻抗的测量 .....	(36)
5.6 校准的不确定度 .....	(36)
6 自由场互易法 .....	(37)
6.1 互易校准程序 .....	(37)
6.2 空气中的声衰减 .....	(37)
6.3 传声器声中心 .....	(40)
6.4 电转移阻抗测量 .....	(42)
6.5 校准的不确定度 .....	(42)
7 恒压声源 .....	(43)
7.1 声校准器 .....	(43)
7.2 高声压传声器校准器 .....	(48)
7.3 静电激励器 .....	(50)
8 0型声级计 .....	(51)
9 校准方法的比较和国内外水平 .....	(51)

## 第3章 空气声的测试及其计量器具的检定

1 概述 .....	(54)
2 声级计 .....	(54)
2.1 声级计标准 .....	(54)
2.2 声级计的主要技术要求 .....	(55)
2.3 声级计的检定方法 .....	(60)
2.4 声级计的维修 .....	(65)
2.5 常用的声级计的型号及技术指标 .....	(66)
3 噪声剂量计 .....	(71)
3.1 噪声剂量计的主要技术性能 .....	(71)
3.2 噪声剂量计的检定 .....	(72)
3.3 常用的噪声剂量计的型号及技术指标 .....	(73)
4 测试电容传声器 .....	(73)

4.1 工作原理 .....	(74)	13 检定条件 .....	(97)
4.2 测试电容传声器的主要技术要求 .....	(74)	14 空气声声学计量器具的发展趋势 .....	(98)
4.3 测试电容传声器的检定 .....	(74)		
4.4 前置放大器的传输损失 .....	(74)	<b>第4章 听力计量和测试仪器及其特性</b>	
4.5 测试电容传声器的维护 .....	(75)	1 概述 .....	(99)
4.6 测试电容传声器的型号及技术 指标 .....	(75)	2 听力计量器具检定系统 .....	(99)
5 1/1 和 1/3 倍频程滤波器 .....	(77)	3 气导听力基准、标准的建立 及量值传递 .....	(100)
5.1 滤波器的原理与基本概念 .....	(77)	3.1 基准仿真耳和耳机耦合腔的建立 .....	(100)
5.2 滤波器的主要技术要求 .....	(79)	3.2 气导听力计量标准器具 .....	(105)
5.3 滤波器的检定 .....	(79)	4 骨导听力基准和标准的建立 及量值传递 .....	(108)
5.4 滤波器的维护 .....	(80)	4.1 基准仿真乳突的建立 .....	(108)
5.5 常用滤波器的型号及技术指标 .....	(80)	4.2 仿真乳突的机械阻抗的确定 .....	(108)
6 标准噪声源 .....	(82)	4.3 基准仿真乳突的性能、规格 .....	(108)
6.1 标准噪声源的主要技术要求 .....	(83)	4.4 骨导标准听力零级参数 .....	(109)
6.2 测量不确定度 .....	(83)	4.5 标准仿真乳突 .....	(111)
6.3 标准噪声源的检定 .....	(83)	5 听力工作计量器具及其检定 .....	(111)
6.4 常用标准噪声源的型号及技术指标 .....	(85)	5.1 气导测听耳机 .....	(111)
7 杂音计 .....	(85)	5.2 骨导测听耳机 .....	(113)
7.1 杂音计的技术要求 .....	(85)	5.3 听力计 .....	(114)
7.2 杂音计的检定 .....	(86)	6 听力测定 .....	(118)
7.3 常用的杂音计的型号及技术指标 .....	(86)	6.1 气导听阈测听法 .....	(118)
8 声频信号发生器 .....	(87)	6.2 骨导听阈测听法 .....	(119)
8.1 声频信号发生器的技术指标 .....	(87)	7 测听室及听阈测定的容许 环境噪声级 .....	(119)
8.2 声频信号发生器的检定 .....	(87)	7.1 测听室 .....	(119)
8.3 常用声频信号发生器的型号 及技术指标 .....	(87)	7.2 听阈测定的容许环境噪声级 .....	(120)
9 噪声信号发生器 .....	(89)	7.3 环境噪声的心理声学检验 .....	(120)
9.1 噪声信号发生器的测试 .....	(89)	8 助听器 .....	(121)
9.2 常用噪声信号发生器的型号 及技术指标 .....	(89)	8.1 助听器的分类 .....	(121)
10 噪声统计分析仪 .....	(90)	8.2 助听器的特性指标 .....	(121)
10.1 噪声统计分析仪的技术指标 .....	(90)	8.3 助听器电声特性的测量方法 .....	(122)
10.2 噪声统计分析仪的测试 .....	(90)	9 护听器 .....	(126)
10.3 常用噪声统计分析仪的型号及 技术指标 .....	(91)	9.1 护听器的类别、性能和使用方法 .....	(126)
11 测量放大器和频率分析仪 .....	(92)	9.2 护听器测量方法 .....	(128)
11.1 测量放大器和频率分析仪的测试 .....	(92)	10 测听技术发展趋势 .....	(131)
11.2 常用测量放大器和频率分析仪的 型号及技术指标 .....	(92)		
12 声级记录仪 .....	(94)	<b>第5章 噪声源声功率〔级〕的测量</b>	
12.1 声级记录仪的测试 .....	(94)	1 概述 .....	(132)
12.2 常用声级记录仪的型号 及技术指标 .....	(96)	1.1 声功率测量 .....	(132)
		1.2 声强测量 .....	(134)
		2 噪声源声功率级的测量	



——声源法 ..... (134)

2.1 消声室和半消声室的精密法 ..... (134)

2.2 自由场工程法 ..... (138)

2.3 简易法 ..... (142)

2.4 反射平面上自由场中声功率测量  
的一览表 ..... (143)

2.5 混响室精密法 ..... (144)

2.6 混响室工程法 ..... (146)

2.7 标准噪声源法测量噪声源的  
声功率级 ..... (147)

2.8 噪声源声功率〔级〕测量不确定度的  
含义和应用的估算公式 ..... (148)

3 噪声源声功率测量  
——声强法 ..... (149)

3.1 声强定义 ..... (149)

3.2 用声压梯度表示质点速度 ..... (149)

3.3 声强探头 ..... (150)

3.4 声强探头信号的处理方法 ..... (152)

3.5 声强测量的误差 ..... (152)

3.6 声强校准器 ..... (154)

3.7 通过声强测定声功率 ..... (157)

3.8 声源的排列和定位 ..... (157)

4 振动速度法测定机器的声功率 ..... (158)

## 第6章 噪声评价参数、测量方法 及评价标准

1 概述 ..... (159)

2 噪声评价参数 ..... (159)

2.1 物理参数 ..... (159)

2.2 主观评价参数 ..... (160)

2.3 累积百分声级 ..... (174)

2.4 昼夜等效声级 ..... (174)

2.5 交通噪声指数 ..... (174)

2.6 噪声污染级 ..... (174)

2.7 语言干扰级 ..... (175)

2.8 噪声评价参数一览表 ..... (175)

3 噪声测量方法和评价标准 ..... (176)

3.1 环境噪声测量和评价 ..... (176)

3.2 工业企业噪声测量方法及评价标准 ..... (179)

3.3 船舶噪声测量方法及评价标准 ..... (181)

3.4 飞机噪声测量 ..... (183)

3.5 噪声暴露导致听力损伤的测量 ..... (191)

3.6 衰声的测量 ..... (194)

4 噪声控制和噪声评价方面研究的

国际动态 ..... (196)

## 第7章 电声换能器测试技术

1 概论 ..... (197)

2 传声器测试 ..... (197)

2.1 概述 ..... (197)

2.2 测量标准 ..... (197)

2.3 声学环境、标准传声器、测量声源、  
参考点、参考轴 ..... (198)

2.4 传声器主要电声性能指标 ..... (199)

2.5 电输出阻抗 ..... (199)

2.6 灵敏度 ..... (200)

2.7 频率响应 ..... (205)

2.8 有效频率范围 ..... (205)

2.9 指向性特性 ..... (205)

2.10 极限特性 ..... (207)

2.11 等效噪声级 ..... (208)

2.12 外部干扰引起的等效声压 ..... (209)

2.13 传声器动态范围 ..... (210)

2.14 传声器的输出端极性 ..... (210)

2.15 传声器电声性能要求 ..... (211)

3 扬声器测试 ..... (214)

3.1 概述 ..... (214)

3.2 测量标准 ..... (214)

3.3 声学环境、气候环境与专用测试  
条件要求 ..... (215)

3.4 纯音检听 ..... (218)

3.5 扬声器阻抗 ..... (219)

3.6 扬声器的谐振频率( $f_r$ ) ..... (219)

3.7 低频倒相箱或从动膜片扬声器系统的  
调谐频率 $f_b$  ..... (220)

3.8 频率响应和有效频率范围 ..... (220)

3.9 特性声压(级) $P_r(L_r)$ 、平均特性声压(级)  
 $P_m(L_m)$ 、特性灵敏度(级) $P_s(L_s)$  ..... (222)

3.10 特性功率 ..... (223)

3.11 扬声器输入电压和输入功率 ..... (224)

3.12 输出声功率( $W_A$ )和效率 $\eta$  ..... (225)

3.13 扬声器指向性特性 ..... (226)

3.14 振幅非线性 ..... (229)

3.15 扬声器总品质因素 $Q_{TS}$  ..... (233)

3.16 扬声器单元力顺的等效容积 $V_{AS}$  ..... (234)

3.17 Thiele-Small(西勒-斯莫尔)参数 ..... (235)

3.18 相位和群延迟 ..... (236)

3.19 瞬态失真 ..... (238)

3.20 扬声器测量新技术	(239)
3.21 高保真扬声器最低性能要求	(245)
4 头戴耳机测试	(246)
4.1 概述	(246)
4.2 测量标准	(246)
4.3 主要测量条件	(247)
4.4 测量中耳机的分类	(248)
4.5 纯音检听	(248)
4.6 耳机电阻抗	(248)
4.7 频率响应	(249)
4.8 耳机灵敏度(特性声压级)	(252)
4.9 特性电压	(253)
4.10 耳机输入的极限值	(253)
4.11 振幅的非线性	(253)
4.12 不需要的声辐射	(254)
4.13 声衰减	(255)
4.14 多通道头戴耳机的串音衰减	(256)
4.15 头环夹力	(257)
4.16 头戴耳机的电声性能要求	(257)
5 特殊实验室	(259)
5.1 消声室和半消声室	(259)
5.2 混响室	(261)
5.3 试听室	(262)

## 第8章 声系统设备特性的测试技术

1 概述	(264)
2 声系统设备的配接	(264)
2.1 声系统设备正确配接的重要性	(264)
2.2 声系统设备互连的优选配接值	(265)
3 高保真声频系统测量方法	(269)
3.1 优选配接值	(269)
3.2 高保真声频组合设备最低性能要求及其测量方法	(269)
4 声系统设备测量方法	(280)
4.1 调频广播调谐器测量方法	(280)
4.2 磁带录音机测量方法	(281)
4.3 电唱盘测量方法	(284)
4.4 调音台基本特性测量方法	(286)
4.5 时间延迟和移频装置测量方法	(288)
4.6 人工混响装置测量方法	(291)
4.7 声频放大器测量方法	(292)
4.8 无线传声器系统测量方法	(294)
5 厅堂扩声特性测量方法	(302)
5.1 测量条件	(302)

5.2 模拟节目信号	(303)
5.3 扩声特性测量方法	(304)
5.4 厅堂扩声系统声学特性指标	(307)
5.5 汉语清晰度测量方法	(309)
5.6 客观评价厅堂语言可懂度的“RASTI”法	(309)

## 第9章 建筑声学测量

1 概论	(312)
2 房间音质概述	(312)
2.1 概述	(312)
2.2 室内声压级	(314)
2.3 混响时间	(314)
2.4 主观混响效应	(318)
2.5 马尔科夫链混响过程	(318)
3 建筑声学的测量内容和专用仪器	(319)
3.1 激励声信号	(319)
3.2 测量传声器	(320)
3.3 测量仪器	(321)
4 混响时间测量	(321)
4.1 记录器法	(322)
4.2 计算机法	(323)
4.3 相位重合法和积分脉冲响应法	(323)
5 脉冲响应和方向性扩散测量	(325)
5.1 脉冲响应	(325)
5.2 方向性扩散	(325)
6 吸声材料特性测量	(326)
6.1 概述	(326)
6.2 驻波管法	(328)
6.3 混响室法	(329)
7 建筑构件的隔声测量	(334)
7.1 隔声量的测量	(335)
7.2 传声等级测量	(337)
7.3 计权隔声指数测量	(337)
8 楼板撞击声测量	(337)
9 厅堂清晰度的评价和测量	(339)
9.1 厅堂音质的评价	(339)
9.2 语言可懂度的主观评价	(339)
9.3 辅音清晰度损失的预测	(339)
9.4 调制转移函数测量和语言传输指数计算	(340)
9.5 快速语言传输指数测量	(341)
10 超声模型测量	(342)

## 第10章 超声功率基准和标准的建立

1 概述	(346)
2 超声功率计量器具检定系统	(346)
3 超声功率基准装置	(347)
3.1 测量原理	(347)
3.2 测量装置	(348)
3.3 测量的要求与注意事项	(348)
3.4 不同温度的力声转换系数 $k$	(349)
4 超声功率标准装置	(350)
4.1 毫瓦级超声功率标准装置	(350)
4.2 瓦级超声功率标准装置	(350)
5 标准超声功率源	(352)
6 其它测量超声功率的绝对方法	(354)
6.1 测量方法的原理与分类	(354)
6.2 一些典型的超声功率测量装置	(356)
7 瓦级超声功率计的检定	(360)
8 毫瓦级超声功率计的检定	(361)
8.1 检定方法	(361)
8.2 国内常用的几种超声功率计	(361)

## 第11章 超声声场、声速及其他声学参数的测量

1 超声声场的测量	(363)
1.1 概述	(363)
1.2 微型水听器	(363)
1.3 微型水听器的校准	(367)
1.4 表示超声声场特性的基本声学参数	(372)
1.5 测量要求	(375)
1.6 测量准备	(379)
1.7 基本声学参数的测量	(380)
1.8 导出的声强参数	(381)
1.9 超声声场测量的其他方法	(382)
2 声速测量	(383)
2.1 概述	(383)
2.2 声速测量法	(383)
3 声特性阻抗的测量	(390)
4 超声衰减的测量	(390)
4.1 概述	(390)
4.2 超声衰减的测量方法	(390)
5 超声频率和频谱的测量	(391)
5.1 概述	(391)
5.2 超声频率的测量	(391)

5.3 超声频谱的测量	(392)
-------------	-------

## 第12章 超声仪器及超声换能器性能测试方法

1 概述	(393)
2 超声人体组织仿真模块	(393)
2.1 定义	(393)
2.2 TM 材料的声学特性	(393)
2.3 TM 材料声学性能的测试	(393)
2.4 A 型、M 型超声模块靶线设置与布局	(394)
2.5 B 型超声模块的靶线设置与布局	(395)
2.6 美国 RMI 公司的几种超声仿真模块	(396)
3 试块	(397)
3.1 试块的用途	(397)
3.2 常用的试块	(398)
4 单元脉冲——回波超声换能器的测试方法	(407)
4.1 基本电声特性参数	(407)
4.2 测量条件	(408)
4.3 测量设备	(408)
4.4 测量方法	(410)
5 超声多普勒换能器的测试方法	(414)
5.1 基本电声特性参数	(414)
5.2 测量方法	(415)
6 超声探伤用探头性能测试方法	(417)
6.1 测试条件	(417)
6.2 测量设备	(417)
6.3 直探头性能测试方法	(419)
6.4 斜探头性能测试方法	(422)
6.5 双晶直探头性能测试方法	(424)
6.6 水浸探头性能测试方法	(425)
7 A 型脉冲反射式超声诊断仪性能测试方法	(426)
7.1 技术性能指标	(426)
7.2 测量方法	(427)
8 M 型脉冲反射式超声诊断仪性能测试方法	(428)
8.1 技术性能指标	(429)
8.2 测量方法	(429)
9 B 型电子线性扫描超声诊断设备性能测试方法	(430)
9.1 技术性能指标	(430)
9.2 测试方法	(431)

10	B型机械扇形扫描超声诊断设备	
	性能测试方法	(432)
10.1	技术性能指标	(432)
10.2	测试方法	(432)
11	超声多普勒胎儿诊断仪性能	
	测试方法	(432)
11.1	技术性能指标	(433)
11.2	测量方法	(433)
12	超声波治疗仪的检定	(434)
12.1	技术指标	(434)
12.2	测试方法	(435)
13	超声波测厚仪的检定	(436)
13.1	检定项目	(437)
13.2	检定方法	(437)
13.3	标准厚度块和标准圆管的技术要求	(438)
14	超声波探伤仪的检定	(439)
14.1	检定项目	(440)
14.2	测量设备	(440)
14.3	测量方法	(440)
15	超声计量和测试的国际动态与 发展趋势	(444)

### 第13章 水声计量

1	概论	(445)
2	水声计量检定系统	(446)
3	水声声压基准的建立方法	(447)
3.1	自由场互易法	(448)
3.2	耦合腔互易法	(455)
3.3	补偿法	(458)
4	建立声压量值基准的其他方法	(463)
4.1	概述	(463)
4.2	自由场柱面波互易法	(464)
4.3	自由场平面波互易法	(467)
4.4	扩散场互易法	(470)
4.5	长管互易法	(473)
4.6	自易法	(474)
4.7	可变深度法	(476)
4.8	辐射压力法	(477)
5	水声声压量值的传递方法	(479)
5.1	自由场比较法	(480)
5.2	密闭腔比较法	(483)
5.3	活塞发声器法	(485)
5.4	振动液柱法	(487)

6	水声计量器具的特性与检定	(490)
6.1	概述	(490)
6.2	标准水听器	(490)
6.3	测量水听器	(495)
6.4	标准发射器	(499)

### 第14章 水声计量测试仪器

1	概论	(501)
2	水声换能器校准装置	(502)
3	水声换能器微机测量系统	(503)
4	水声脉冲声管测量装置	(504)
5	脉冲调制器和脉冲选通器	(505)
5.1	工作原理	(505)
5.2	特性参数	(505)
6	移相器和相移振荡器	(506)
7	相位计	(506)
8	电流变换器	(507)
9	标准衰减器	(508)
10	导纳电桥	(508)
11	阻抗分析仪	(509)
11.1	基本性能参数	(509)
11.2	换能器阻抗微机测量系统	(510)
11.3	水声换能器大功率状态下的阻抗 测量装置	(510)
12	前置放大器	(510)
13	功率放大器	(511)
14	消声水池	(512)
15	水声计量测试仪器的 发展	(512)

### 第15章 水声换能器特性的测量

1	概论	(513)
2	测量方法的选择、测量条件及 准备	(515)
2.1	测量方法的选择	(515)
2.2	测量条件	(516)
2.3	测量前的准备	(516)
3	自由场灵敏度的测量	(516)
3.1	噪声场互易法	(517)
3.2	柱面波自由场比较法	(517)
3.3	噪声场比较法	(517)
4	发送响应的测量	(518)
4.1	电压取样方法	(518)
4.2	电流取样方法	(519)

4.3 发送电流响应的测量	(519)	2.4 无限介质中的波	(544)
4.4 发送电压响应的测量	(520)	3 水声材料的分类	(544)
4.5 发送功率响应的测量	(520)	3.1 透声材料	(545)
5 动态范围的测定	(521)	3.2 吸声材料	(546)
5.1 等效噪声声压级的测量	(521)	3.3 反声材料	(546)
5.2 过载声压级	(522)	3.4 去耦材料	(546)
6 功率容量	(522)	3.5 阻尼材料	(548)
7 换能器阻抗和导纳的测量	(523)	4 水声材料声学特性的测量方法	(549)
7.1 电桥法	(523)	5 纵波声速与衰减系数的测量	(550)
7.2 三电压法	(524)	5.1 脉冲管法	(550)
7.3 阻抗分析仪	(525)	5.2 驻波管法	(555)
8 换能器指向性的测量	(525)	6 横波声速和衰减系数的测量	(557)
8.1 定义	(525)	6.1 测量原理	(558)
8.2 测量方法	(526)	6.2 频率限制	(559)
8.3 数据表示及计算	(527)	6.3 测量装置	(559)
8.4 测量的不确定度	(527)	6.4 样品	(560)
8.5 指向性因数和指向性指数的确定	(527)	6.5 复反射因数的测量	(560)
9 电声效率的测量	(530)	6.6 数据处理	(560)
9.1 直接法	(530)	6.7 测量不确定度	(560)
9.2 电导(电阻)法	(532)	7 水声材料构件样品声学性能的 测量	(560)
10 机械谐振频率、换能器带宽和 机械品质因数的测定	(533)	7.1 脉冲管法	(561)
10.1 定义	(533)	7.2 自由场法	(562)
10.2 测量方法	(533)	8 复弹性模量和结构损耗因数的 测量	(565)
11 水听器加速度灵敏度的测量	(534)	8.1 测量原理	(565)
12 水听器的相位校准	(534)	8.2 测量装置	(567)
12.1 互易法相位校准	(534)	8.3 样品	(567)
12.2 水听器相位一致性的测量	(535)	8.4 测量	(567)
13 水声发射器的大功率特性和 测量	(536)	8.5 数据处理	(567)
14 水声换能器特性测量的发展	(537)	8.6 测量不确定度	(568)

## 第16章 水声材料的声学特性 与测量方法

1 概述	(541)
2 描述材料声学特性的参数	(541)
2.1 描述材料声学特性的基本参数	(541)
2.2 描述材料构件样品声学性能的参数	(542)
2.3 描述材料力学特性的参数	(542)

## 附 录

A. 声学计量和测试的国际标准化 组织(ISO)标准	(569)
B. 国际电工委员会(IEC)标准	(572)
C. 全国声学计量网点	(574)
D. 国外主要声学计量机构一览表	(575)
参考文献	(576)

# 第 1 章 声学计量与测试技术基础

## 1 概 述

### 1.1 声学计量与测试的任务

声学计量是研究声学基本参量（如声压、声强和声功率等）和主观评价参量（如响度、听阈和听力损失等）的测量和保证单位统一和量值准确的科学技术。简单地说主要是研究声学可测的量、计量单位。它涉及到基准、标准的建立、复现、保存、量值的传递和测量的不确定度等问题；其中还包括有关声学量测试方法等的研究。根据声波的传播介质和频率的不同，声学计量可分为空气声计量、水声计量，超声计量和听力计量等。

由于电子技术和电声换能器的迅速发展，使声波的产生、传播、接收和测量技术有了改观——不仅使过去不能进行的许多声学参量的测量方法得以实现，而且测量的准确度也大大地提高了。因此，声学计量和测试技术，在科学技术和工业部门中得到广泛的应用。例如在通讯、广播、电视、电影、录音、音乐、建筑、医疗卫生、航海、渔业，以及国防等方面，并成为一门不可缺少的基础技术；甚至在若干声学测试方面，还具有其独特的功能，成为不能用其他技术代替的技术。例如，直径达数米的水轮发电机轴的探伤问题，只能利用超声检验方法才能解决。对于鱼群的探测，水下的观测、通讯以及潜艇的远距离探测，水声测试技术能提供很有效的方法。

### 1.2 我国声学计量的进展情况

根据吴承洛著的“中国度量衡史”（1984年上海书店出版）称：中国古代曾将律管定为度量衡的标准。律管是象笛子一样的一种乐器，管子长短一定，口径大小一定，所以吹出来只有一个基音。这种律管称为黄钟，古代曾把它作为度量衡的原器。即度是由黄钟的长度得出；量是由黄钟的容积得出，容积则由黄钟的长度和管子的口径大小得出。用律管吹出来的音频还经常与尺子相互核对。因此，从某种意义上讲，声学计量曾经是度量衡的鼻祖，可是历史上始终没有人将这些加以总结、提高并使之发展。只有在新中国成立后，才把声学计量作为计量工作的一个组成部分。

1957年中国科学院开展声学研究工作后，相应地开展了声学测试，并开始考虑了声学计量工作。1961年国家科委下达任务，由科学院电子所（声学所前身）负责组织全国有关单位建立声学测试基地，并制订规划开始有系统、有规划地开展声学计量和测试工作。为了培训声学计量专业人员，中国科学院与原国家计量局共同举办声学计量训练班。与此同时，国家计量局也建立了声学计量实验室，并于1962年编制了《1963~1972年声学计量十年发展规划》，这不仅使1972年前的工作有了方向，还为以后的工作打下了基础。在这一阶段中，除了建立了声学的计量体系外，还开始建立声学计量的基准器和标准器。1978年以后，整个声学计量工作有了进一步的发展。例如，在空气声计量基准方面，除建立耦合腔法的声压基准外，还建立了传声器的自由场互易校准的成套装置，在听力测量技术方面，除建立标准仿真耳，气导听力零级外，在骨导方面也建立了相应的基、标准。在水声计量方面，建成了自由场水声声压基准和标准。在超声功率的测量方面，采用辐射压力法建立了瓦级和毫瓦级超声功率的一级和二级标准。所有上述建立的各项基准和标准场已达到国际水平。

建立声学计量基准和标准的目的在于把声学的量值传递下去。到目前为止，根据已经制订的国家声学计量的检定系统和检定规程，开展了传声器、声级计、声级校准器、标准噪声源、噪声剂量计、听力计、仿真耳、耳机、水听器、超声功率计和滤波器等器的检定工作。在声学测试方面也有很大的进展，测量参数、测量范围都有扩展。例如对机器设备的噪声测量、交通噪声、环境噪声、建筑声学、电声学（含各种换能器和声频工程系统的有关参量）的测量。为了开展声学测试，还建立了一些专用的设施，如消声室、半消声室、混响室、隔声室、测听室和消声水池等。通过这些专用设施，按照国内、外已标准化的测试方法，获得了准确和可靠的结果，因而对于

科研、生产、国防和国民经济的发展起到了积极促进作用。

### 1.3 声学计量器具检定系统

自1987年以来,我国已经陆续制订了一系列的国家计量检定系统,有“JJG2017—87 水声声压计量器具检定系统”;“JJG2037—87 空气声声压计量器具检定系统”;“JJG2038—89 听力计量器具检定系统”和“JJG2050—90 超声功率计量器具检定系统”。无疑地,这对量值的传递起到指导作用,本卷将分别在相应的章节中加以介绍。

## 2 声学的量、单位、符号和定义

表 1-1 声学的量、单位、符号和定义表

量的名称	量的符号	定 义	单位名称	单位符号
周 期	$T$	重复现象每重复一次所需的时间	秒	s
频 率	$f, (\nu)$	$f=1/T$	赫〔兹〕	Hz
频 程		两个声或其他信号的频率间的距离以高频和低频两个频率之比的以2为底的对数表示	倍频程 octave	oct
角频率	$\omega$	$\omega=2\pi f$	每秒	$s^{-1}$
波长	$\lambda$	在周期波的传播方向上,在某一时间相位相同的两相邻点间的距离	米	m
波数	$\sigma$	$\sigma=1/\lambda$	每米	$m^{-1}$
角波数	$k$	$k=2\pi/\lambda$	每米	$m^{-1}$
密度	$\rho$	单位体积中介质的质量	千克每立方米	$kg/m^3$
静压	$p_s, (p_0)$	没有声波时介质中的压力	帕〔斯卡〕 $1Pa=N/m^2$	Pa
瞬时声压	$p$	有声波时媒质中的瞬时总压力与静压的差	帕〔斯卡〕	Pa
(瞬时)〔声〕 质点位移	$\xi, (x)$	媒质中某一质点离没有声波时的位置的瞬时位移	米	m
(瞬时)〔声〕 质点速度	$u, v$	$u=\partial\xi/\partial t$	米每秒	m/s
(瞬时)〔声〕 质点加速度	$a$	$a=\partial u/\partial t$	米每二次方秒	$m/s^2$
(瞬时)体积流量, (体积速度)	$U, q, (q_v)$	媒质中因声波存在而引起的体积流量	立方米每秒	$m^3/s$
声速,(相 速)群速	$C, C_g$	声波在介质中传播速度 $C=W/K=\lambda f$ $C_g=dw/dk$	米每秒	m/s
声能密度	$(D), w, (e)$	某一给定体积中的平均声能除以该体积	焦〔耳〕每立方米	$J/m^3$
声功率	$W, P$	声源在一个周期内,平均每单位时间内发射出的声能	瓦〔特〕	W
声强〔度〕	$I, J$	通过一与传播方向垂直的表面的声功率除以该表面的面积	瓦〔特〕每平方米	$W/m^2$
声阻抗	$Z_s$	声压和体积流量的复数比	帕〔斯卡〕 秒每三次方米	$Pa \cdot s/m^3$
声 阻	$R_s$	声阻抗的实数部分		
声 抗	$X_s$	声阻抗的虚数部分		
声质量	$M_s$	惯性声抗除以角频率,它与介质的动能有关	千克每四次方米	$kg/m^4$
声阻抗率	$Z_0$	某表面上的声压与质点速度的复数比	帕〔斯卡〕 秒每米	$Pa \cdot s/m$

续表

量的名称	量的符号	定 义	单位名称	单位符号
〔介质的声〕 特性阻抗	$Z_c$	对于一平面行波, 介质中某点处的声压与质点速度的复数比 (对于无损耗的介质 $Z_c = \rho c$ )	帕〔斯卡〕秒 每三次方米	$\text{Pa} \cdot \text{s}/\text{m}^3$
声 劲	$S_a$	容性声抗乘以角频率, 它与介质或它的边界的位能有关	帕〔斯卡〕 每三次方米	$\text{Pa}/\text{m}^3$
声 顺	$C_a$	声劲的倒数	三次方米每帕 〔斯卡〕	$\text{m}^3/\text{Pa}$
声 导 纳	$Y_a$	声阻抗的倒数 (稳态下单频率的量)	三次方米 每帕〔斯卡〕秒	$\text{m}^3/(\text{Pa} \cdot \text{s})$
声 导	$G_a$	声导纳的实数部分		
声 纳	$B_a$	声导纳的虚数部分		
力	$F$	作用一物体上的合力, 等于物体动量的变化率 (通常指有效值)	牛顿	N
(瞬时)〔振动〕 位移	$d$	物体相对于某一参考坐标的位置变化的矢量	米	m
〔振动〕速度	$V$	$V = \frac{\partial d}{\partial t}$	米每秒	m/s
(瞬时)〔振动〕 加速度	$a$	$a = \frac{\partial v}{\partial t}$	米每二次方秒	$\text{m}/\text{s}^2$
力阻抗	$Z_m$	某表面 (或某点) 上的力与在此方向上该表面上的平均质点速度 (或该点上的质点速度) 的复数比	牛〔顿〕秒每米	$\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}$
力 阻	$R_m$	力阻抗的实数部分	牛〔顿〕秒每米	$\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}$
力 抗	$X_m$	力阻抗的虚数部分		
〔力〕质量	$M$	惯性力抗除以角频率	千克	kg
力 劲	$S_m$	容性力抗除以角频率	牛每米	N/m
力 顺	$C_m$	力阻抗的倒数	米每牛	m/N
力 导 纳	$Y_m$	力劲的倒数	米每牛秒	$\text{m}/(\text{N} \cdot \text{s})$
力 导	$G_m$	力导纳的实数部分		
力 纳	$B_m$	力导纳的虚数部分		
声 压 级	$L_p$	声压与基准声压之比的常用对数乘以 20 (基准声压空气中为: $20\mu\text{Pa}$ ; 水中为: $1\mu\text{Pa}$ )	贝〔尔〕	B
声 强 级	$L_I$	声强与基准声强之比的常用对数乘以 10 (基准声强为 $1\text{pW}/\text{m}^2$ )	贝〔尔〕	B
声功率级	$L_W$	声功率与基准声功率之比的常用对数乘以 10 (基准功率为 $1\text{pW}$ )	贝〔尔〕	B
阻尼系数	$\delta$	如果一个量是时间 $t$ 的函数, 且为: $F(t) = Ae^{\delta t} \cdot \cos[\omega(t-t_0)]$ 则 $\delta$ 为阻尼系数	每秒	$\text{s}^{-1}$
时间常数 驰豫时间	$\tau$	阻尼系数的倒数	秒	s
对数衰减率	$\Lambda$	阻尼系数与周期的乘积 $\Lambda = \delta T$	奈培	Np
传播系数	$\gamma$	均匀系统中, 一个量在相隔单位距离两个点上复数比的自然对数	每米	$\text{m}^{-1}$
衰减系数 相位系数	$\alpha, (a)$ $\beta, (b)$	传播系数的实数部分 传播系数的虚数部分	每米	$\text{m}^{-1}$
损耗因数	$\delta, \psi$	损耗声能通量与人射声能通量之比 ( $\delta + r + \tau = 1$ )		
反射因数	$r$	反射声能通量与人射声能通量之比		
透射因数	$\tau$	透射声能通量与人射声能通量之比		
吸声因数	$\alpha$	损耗系数与透射系数之和 ( $\alpha = \delta + \tau$ )		



续表

量的名称	量的符号	定 义	单位名称	单位符号
声压反射因数	$\gamma_p$	反射声压与人射声压之比		
声压透射因数	$\tau_p$	透射声压与人射声压之比		
孔隙率	$q$	材料内部空隙的体积与材料所占总体积之比(通常用百分率表示)		
流 阻	$R_t$	材料两边的压力差与气流的线速度之比	帕秒每米	Pa · s/m
衰变常数	$K$	一量 $y$ 对时间的相对减低率 $k = \frac{1}{y} \frac{dy}{dt}$ (只适于声压和质点速度)	每秒	$s^{-1}$
衰变率	$K$	一声学量的级对时间的相对减低率	贝 [尔] 每秒	B/s
混响时间	$T, (T_{60})$	在一房间中, 当声音达到稳定状态后停止声源, 其平均声能密度自原始值衰减至 $10^{-6}$ (即 60dB) 所需的时间	秒	s
隔声量, 传声损失	$R$	$R = \frac{1}{2} \lg (1/\tau)$ 式中 $\tau$ 为透射因数	贝 [尔]	B
吸声量	$A$	吸收因数乘以材料的面积	平方米	$m^2$
响度级	$L_N$	等响的 1kHz 音的声压级	方	(Phon)
响度	$N$	正常听者判断一个声音比响度级为 40 方的参考声纯音强的倍数	宋	(sone)
音程		两个声音的音调间的频率间隔, 是高音与低音的音调的比倒数	八度	(oct)
自由场灵敏度	$M$	传声器或水听器的输出开路电压与未受干扰时的自由场声压之比值	伏每帕	V/Pa
噪 度	$N_n$	与人们主观判断噪声的“吵闹”程度成比例的数值量	呐	(noy)
感觉噪声级	$L_{PN}$	根据测试者判断为具有相等噪度的来自正前方中心频率 1kHz 的倍频带噪声的声压级	贝 [尔]	B
声源强度	$Q_s$	简单声源发出的正弦式波时的最大体积流量	立方米每秒	$m^3/s$
〔声源〕指向性因数	$R_\theta$	在声源某一辐射方向(或主轴)上远处一定点上某频率的声压平方, 与通过该点和声源同心球面上同一频率的声压平方的平均值的比值	— (one)	1
〔声源〕指向性指数	$D_1$	$D_1 = \lg R_\theta$ 式中 $R_\theta$ 为指向性因数	贝 [尔]	B
〔声学〕房间常数	$R, R_r$	$R = aS / (1 - \alpha)$ 式中 $a$ 为平均吸收因数, $S$ 为房间总表面积, $aS$ 为房间总吸声量	平方米	$m^2$
〔声学〕插入损失	$D$	在插入换能器、仪器或其他声学器件前输送到系统插入点处的声功率级和插入后输送到该点处的功率级之差	贝 [尔]	B
〔振动〕传递比	$T_r$	振动系统在稳态受迫振动中, 某量的响应幅值与激励幅值之比	— (one)	1

注: 表 1-1 是参考了 GB3102.7—93《声学的量和单位》国家标准中的有关声学的量、单位符号的定义编定的。

常用声级的量和单位见表 1-2 (参考 GB3102.7—93 的参考件)