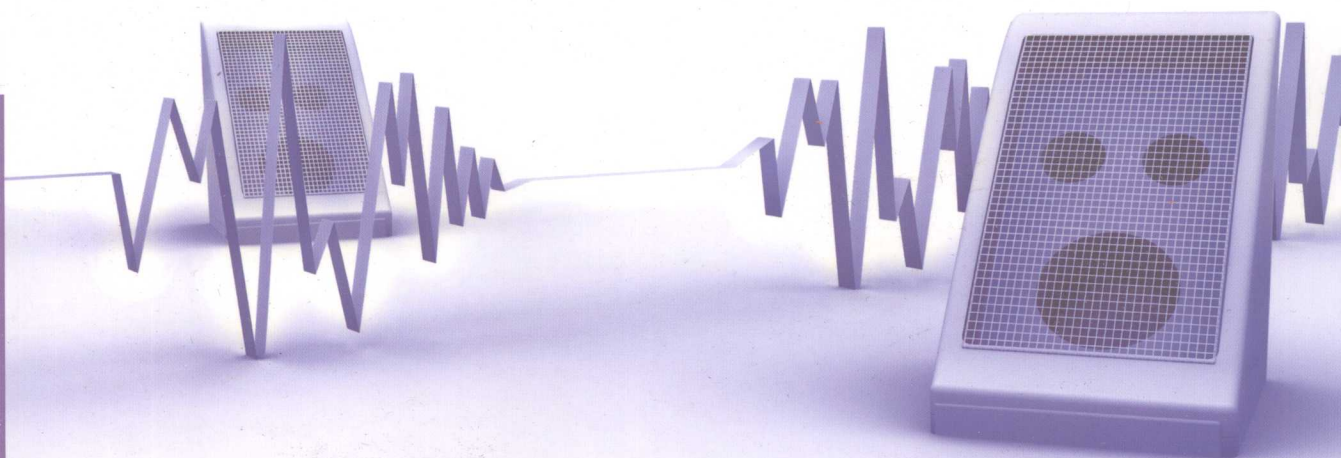


声频声学



测量技术原理

齐娜 孟子厚 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

声频声学测量技术原理

齐娜 孟子厚 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统地介绍和讲解了声频声学测量技术领域内常用测量方法的原理,重点论述了测量误差理论、测量系统动态分析、测量传感器理论、声学测量传感器原理、传声器和扬声器特性测量方法原理、噪声与振动测量方法原理、室内声学测量方法原理、吸声材料特性测量方法原理、声强与声功率测量技术原理、扩声系统声学特性测量、阵列测量等内容。除重点讲述原理外,书中的主要章节也给出了部分应用实例。本书内容广泛,基本涵盖了声频测量的各个方向,反映了声频声学测量技术的最新进展。

本书的读者对象为高等院校中声学、声频工程等相关专业的研究生和高年级本科生,也可以供其他相关领域内的科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

声频声学测量技术原理 / 齐娜, 孟子厚编著. —北京:
国防工业出版社, 2008. 7
ISBN 978-7-118-05642-6

I. 声... II. ①齐... ②孟... III. ①声频测量②声学
测量IV. TB52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 040927 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1096 1/16 印张 15 字数 336 千字

2008 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

声频声学测量是声学学科的重要分支之一,随着社会的进步、科技的发展,声频测量涉及的领域越来越广泛。在环境声学、室内声学及噪声与振动控制等领域内,借助声频测量技术是获得第一手声学资料的基本手段。此外,声频测量技术也广泛应用在通信与广播系统、厅堂和剧院的扩声系统、播音室和录音棚的录放系统等声频工程中。并且随着数字技术的发展,使声学测量系统朝着数字化、自动化与实时化方向迈进,从采集到的信息可以快速地提取出各种不同的声学参量,用来满足各类声学工程的实际需要。

目前,国内有关声学测量的书籍不多,而且由于写作背景以及年代的缘故,这些书大多偏重噪声和电声测量,对测量技术的普遍性问题的理论论述不够。对从事声频声学研究的、学习声频声学专业的高等院校本科生和研究生来说,这些书的覆盖面和深度满足不了较深入的专业学习和研究工作的需求。针对此种情况,从科研、教学和生产实践的实际情况出发,在编著者所承担的研究生课程《现代声频测量》教案和实践工作的基础上编撰了本书。

本书系统地论述了声频声学测量技术领域内常用测量方法的原理,并侧重于测量技术的声学、数学和信号处理原理的论述和分析,书中采用的测量实例许多都是编著者在实际科研和教学工作中的例子。本书既可以作为高等院校中声学、声频工程等相关专业的研究生和高年级本科生的教材使用,也可以供其他相关领域内的科研人员和工程技术人员参考。

本书共分为13章。首先在前3章介绍了测量误差理论、测量系统动态特性分析方法以及常见的各类测量传感器理论,并在第4章重点介绍了声学测量传感器原理。然后在第5章~第12章就声频测量专门技术分别介绍了传声器和扬声器特性测量方法原理、噪声与振动测量方法原理、室内声学测量方法原理、吸声材料特性测量方法原理、声强与声功率测量技术原理、扩声系统声学特性测量等内容。在第13章又补充介绍了目前刚刚兴起的阵列测量技术的相关基本原理。本书力争将近年来声频声学测量技术中出现的新技术、新的测量方法囊括其中,可以说本书的内容基本涵盖了声频声学测量的各个方面。

在本书完成之际,感谢中国传媒大学传播声学研究所的各位研究生对本书编撰工作的协助。

由于编著者个人水平有限,错误之处在所难免,希望读者指正,并对进一步的修改和完善提出宝贵意见。

齐 娜 孟子厚

2007年12月

中国传媒大学传播声学研究所

目 录

第1章 测量误差的基本理论

1.1	测量误差概述	1
1.1.1	测量的定义及测量方法分类	1
1.1.2	误差的基本概念及表示方法	2
1.1.3	误差分类	3
1.2	随机误差的分析与处理	4
1.2.1	随机误差的统计规律性	5
1.2.2	随机误差的评估	7
1.2.3	随机误差的合成	9
1.3	系统误差的分析和处理	10
1.3.1	系统误差的多样性及其对测量的影响	11
1.3.2	系统误差发现的主要方法	12
1.3.3	系统误差的合成	13
1.3.4	系统误差的消减	14
1.4	疏失误差的消除	14
1.4.1	莱特准则(3σ 准则)	14
1.4.2	格拉布斯(Grubbs)准则	14
1.5	函数误差的处理	14
1.5.1	函数误差基本概念	14
1.5.2	函数误差综合	15
1.5.3	函数误差分配	16
1.6	综合误差及测量结果的表示	16
1.6.1	直接测量综合极限误差	17
1.6.2	间接测量(函数)综合极限误差	17
1.6.3	测量的数据处理及结果表示	18
1.7	测量的精度评定	19

第2章 测量系统的动态特性分析

2.1	测量系统的数学模型	21
2.1.1	测量系统的定义与分类	21
2.1.2	常用系统的数学模型	22

2.2	相似系统	23
2.2.1	机电类比	23
2.2.2	电声类比	25
2.3	测量技术中的数学方法	26
2.3.1	傅里叶变换及其性质	26
2.3.2	拉普拉斯变换及其性质	27
2.3.3	传递函数	28
2.4	线性时不变系统的基本性质	29
2.4.1	叠加性与均匀性	30
2.4.2	时不变性	30
2.4.3	微分特性	30
2.5	测量系统的冲激响应	30
2.5.1	单位冲激函数 $\delta(t)$ 及其主要性质	31
2.5.2	单位冲激响应函数	31
2.5.3	系统对任意确定性输入的响应	32
2.5.4	常用测量系统的冲激响应	32
2.5.5	常用系统的阶跃响应	33
2.6	测量系统的频率响应 $H(j\omega)$	35
2.6.1	频率响应	35
2.6.2	一阶系统的频率传递函数	36
2.6.3	二阶系统的频率传递函数	37
2.6.4	测量系统的不失真条件与测量系统的动态误差	38

第3章 传感器原理

3.1	电阻式传感器	40
3.1.1	变阻器式传感器	40
3.1.2	电阻应变式传感器	41
3.1.3	压阻式传感器	43
3.2	电容式传感器	44
3.2.1	电容式传感器工作原理	44
3.2.2	变极距型电容式传感器	44
3.2.3	变面积型电容式传感器	45
3.2.4	变介电常数型电容式传感器	46
3.3	电感式传感器	46
3.3.1	自感式传感器	46
3.3.2	差动变压器式传感器	48
3.3.3	电涡流式传感器	48
3.4	电动式传感器	49

3.4.1	电动式传感器变换原理	49
3.4.2	动圈式传感器	50
3.5	压电传感器	50
3.5.1	压电效应	50
3.5.2	压电式传感器及其等效电路	51
3.6	半导体光电传感器和光导纤维传感器	53
3.6.1	光电效应及半导体光电传感器分类	53
3.6.2	光导纤维传感器	54
3.6.3	霍耳式传感器	55
3.7	传感器的选用原则	56

第4章 声学测量传感器

4.1	测量传声器	58
4.1.1	动圈式传声器工作原理	59
4.1.2	电容式传声器工作原理	61
4.1.3	传声器指向性的形成	63
4.1.4	传声器的主要技术指标	66
4.1.5	其他类型的传声器	67
4.2	测振传感器	69
4.2.1	压电式	70
4.2.2	电容式	70
4.2.3	电感式	70
4.2.4	应变式	70
4.3	水下声学测量用的换能器	71
4.3.1	水声换能器的分类	71
4.3.2	水声换能器的最新进展	73
4.4	矢量传感器	74
4.4.1	外壳静止型矢量传感器	75
4.4.2	同振型矢量传感器	75
4.4.3	双声压传感器型矢量传感器	76
4.4.4	单个矢量传感器模型	77

第5章 噪声测量与评价

5.1	噪声对人的生理和心理效应	79
5.1.1	噪声的生理效应	79
5.1.2	噪声的心理效应	80
5.2	响度与噪度	80

5.2.1	响度与响度级	80
5.2.2	感觉噪声级(PNL)	81
5.3	环境噪声的评价量和测量方法	83
5.3.1	环境噪声的主要评价量	83
5.3.2	环境噪声的测量	85
5.4	环境噪声标准	87
5.4.1	区域环境噪声标准	87
5.4.2	工业企业厂界噪声标准	88
5.4.3	室内噪声标准	88
5.5	声级计	90
5.5.1	声级计的分类	90
5.5.2	声级计的基本原理	91
5.5.3	声级计主要功能模块	92
5.5.4	数字声级计	94

第6章 振动测量与评价

6.1	振动对人体的影响	95
6.2	振动的基本测量系统与测量方法	96
6.2.1	振动接收器	96
6.2.2	前置放大器	99
6.2.3	振动测量系统	100
6.2.4	加速度计测量振动	101
6.2.5	利用声级计测量振动	102
6.3	振动的评价与标准	103

第7章 传声器电声参数测量

7.1	测量条件	105
7.1.1	声场条件	105
7.1.2	额定条件	107
7.1.3	主要设备要求	107
7.2	灵敏度和频响曲线	108
7.2.1	基本概念	108
7.2.2	灵敏度和频率响应曲线的测量	109
7.2.3	三种灵敏度间的区别	113
7.3	传声器的指向特性	113
7.3.1	指向性图案	114
7.3.2	指向性频率响应	114

7.3.3	指向性指数	115
7.4	非线性失真	116
7.4.1	非线性失真概念	116
7.4.2	驻波管法测量非线性失真	116
7.4.3	匀压空腔法测量传声器非线性失真	117
7.5	电阻抗	118
7.6	等效噪声级和动态范围	119
7.6.1	传声器的噪声及等效噪声级	119
7.6.2	传声器的动态范围	119
7.7	传声器的极性测量	120
7.8	传声器声压灵敏度的互易校准	120
7.8.1	互易原理	120
7.8.2	辅助传声器法互易校准传声器自由声场灵敏度	122

第8章 扬声器的客观评价和电声性能测量

8.1	测量条件	124
8.2	频响曲线和灵敏度	126
8.2.1	声压频率响应曲线	127
8.2.2	有效频率范围和不均匀度	129
8.2.3	灵敏度	130
8.3	最大噪声电压和最大噪声功率	132
8.3.1	定义	132
8.3.2	测量方法	132
8.4	指向特性	132
8.4.1	指向性图形和指向性频率响应	132
8.4.2	指向性因数 D 及指向性指数 DI	133
8.5	失真	133
8.5.1	谐波失真	134
8.5.2	互调失真	137
8.5.3	瞬态失真	139
8.6	额定阻抗	139
8.6.1	扬声器的等效输入电阻抗	140
8.6.2	扬声器阻抗曲线	140
8.6.3	额定阻抗的测定	141
8.7	效率	141
8.7.1	消声室测量	141
8.7.2	混响室中测量	142
8.8	瞬态特性	143

第9章 声强与声功率测量

9.1	声功率级	145
9.2	消声室法测量声功率	145
9.3	混响室内测量声功率	147
9.3.1	现场比较法测定声功率	147
9.3.2	直接法测量声功率	148
9.4	现场测定声功率	148
9.4.1	半球包络法	149
9.4.2	矩形六面体包络法	149
9.4.3	环境修正 K 的估算和测定方法	150
9.5	声强测量原理	150
9.5.1	p - u 法声强测量原理	150
9.5.2	p - p 法声强测量原理	151
9.5.3	声强测量的误差分析	152
9.5.4	声强计	153
9.6	声强法测量声功率	153
9.7	声强测量的其他应用	154
9.8	RRS 测量技术	155
9.8.1	RRS 设计原理及特点	155
9.8.2	应用双传声器原理计算声强	157

第10章 材料和物体吸声特性测量

10.1	驻波管测量吸声材料的垂直入射吸声系数	159
10.2	传递函数法测吸声系数	161
10.2.1	传递函数测量法的原理	161
10.2.2	传递函数的校正	163
10.3	双传声器法测量斜入射吸声系数原理	163
10.4	混响室测量材料的无规入射吸声系数	164
10.4.1	测量原理	164
10.4.2	测量装置及方法	165
10.4.3	测量要求	166
10.5	无规入射散射系数的测量	166
10.5.1	无规入射散射系数的测量原理	166
10.5.2	测量步骤	167

第11章 室内音质的客观评价和测量技术

11.1	室内音质的客观评测量	169
------	------------------	-----

11.2	房间脉冲响应与客观评测量的关系	170
11.2.1	房间脉冲响应	171
11.2.2	利用脉冲响应函数计算房间音质参数	172
11.3	用伪随机信号测量脉冲响应的原理	173
11.3.1	伪随机信号	173
11.3.2	相关法求房间脉冲响应	174
11.3.3	基于MLS的快速测量脉冲响应方法	176
11.4	用扫频信号测量脉冲响应的原理	178
11.4.1	扫频信号	178
11.4.2	反卷积概述	179
11.4.3	正弦扫频信号技术	180
11.5	不同声源对测量结果的影响	182
11.6	混响时间的测量	185
11.7	双耳参数的测量	187

第12章 扩声系统电声特性的评价和测量

12.1	扩声系统的组成及分类	189
12.2	扩声系统的技术要求	190
12.3	扩声系统的最大功率增益	191
12.3.1	室外扩声的最大功率增益	192
12.3.2	室内扩声系统的最大功率增益	193
12.4	传声增益	193
12.4.1	室内声场的传声增益	193
12.4.2	传声增益的测量	195
12.5	声场均匀度	195
12.5.1	室内声场的不均匀度	195
12.5.2	室外声场的不均匀度	196
12.6	最大声压级的测量	198
12.7	语言清晰度的测量	199
12.7.1	语言的传输损失	199
12.7.2	语言传输指数 STI	200
12.7.3	扩声系统语言传输指数 STIPA	201
12.7.4	RASTI 法	202

第13章 阵列测量技术及声源定位原理

13.1	传感器阵列的波束形成技术	204
13.1.1	波束形成的一般原理	204

13.1.2	线列阵波束形成指向性的性质	205
13.1.3	波束形成方法	207
13.2	相控阵技术	211
13.2.1	复合阵 Bridge 乘积定理	211
13.2.2	相控阵的收发原理	213
13.3	矢量传感器阵波束形成技术	217
13.3.1	矢量传感器阵测量模型	217
13.3.2	Bartlett 波束形成器	218
13.3.3	MVDR 方位估计	218
13.3.4	矢量传感器阵列声强流技术	220
13.4	声源定位原理	223
13.4.1	声源测距的几何原理	223
13.4.2	时延的测量	224
参考文献		227

在任何测量过程中不可避免地会引入测量误差。分析误差产生的原因、认识误差的性质、寻求消减误差的途径,可以用来指导仪器设计和测量工作。另一方面,通过对误差规律的认识和掌握,正确处理测量数据,合理评估测量精度,以期在一定的条件下取得最能代表真实值的测量结果。本章重点介绍与测量误差以及误差分析有关的基本知识及理论。

1.1 测量误差概述

1.1.1 测量的定义及测量方法分类

对测量误差的研究与测量内容有着不可分割的联系。数据处理和误差分析不可避免地要涉及到测量的仪器设备、原理方法、环境条件等多方面的因素。

首先要明确测量的定义,为确定被测对象的量值而进行的实验称为测量。测量的目的是将某一物理参量转换成等效的数值,以便了解该物理参量的大小和变化情况,进而利用测量所得到的信号,对某一过程进行控制。在具体的科研以及生产、生活实践中,测量的具体问题是多种多样的,涉及到的被测量、测量的精度和其他要求各不相同,测量方法也千差万别,但测量数据处理的基本理论和基本方法却有相同之处。

对不同的被测量和不同的测量要求,需要采用不同的测量方法。这里,测量方法是泛指测量中所涉及到的测量原理、测量方式、测量系统及测量环境条件等诸项测量环节的总和。测量中,这些环节的一系列误差因素都会使测量结果偏离真实值而产生一定的误差。因此,对测量过程诸环节的分析研究是测量数据处理及其精度估计的基础。

按不同的原则,测量方法可分为直接测量和间接测量、绝对测量和相对测量、单项测量和综合测量、静态测量和动态测量等。测量方法不同,测量数据的具体处理方法也不相同,下面列举三项。

1. 直接测量与间接测量

直接测量是将被测量与作为标准的量直接进行比较,或者用经标准量标定了的仪器对被测量进行测量,从而直接(不需再按某种函数关系计算)获得被测量值。例如,用尺子测量长度、用温度计测量温度。

间接测量是指直接测量与被测量有确定函数关系的其他量,然后按这一函数关系间接地获得被测量值的方法。例如,为测量圆的面积 S ,可直接测量其直径 d ,然后根据函数关系 $S = \pi d^2/4$ 求得面积 S 。间接测量的数据处理方法,随测量的具体问题而有所不同。

2. 绝对测量和相对测量

绝对测量是指被测量和标准量直接比较后得到被测量绝对值的测量。例如,千分尺测量工件尺寸。

相对测量(比较测量)是指被测量和标准量进行比较后只确定被测量相对于标准量的偏差值的测量。相对测量时,仪器的零位或起始读数常用已知的标准量(如量块的尺寸)来调整,仪器读数装置仅标出被测的量对标准量的偏差值,因而仪器的示值范围大大缩小,有利于简化仪器结构,提高仪器示值的放大倍数和测量准确度。

3. 静态测量与动态测量

静态测量是指对某种不随时间变化的物理量进行的测量。

动态测量是指被测量是多变的,测量过程要求时刻跟踪被测量的变化。其数据处理通常要用到随机过程理论。

1.1.2 误差的基本概念及表示方法

为了正确认识事物,需要对反应事物(被测对象)属性的某参量(被测量)进行测量。人们在进行测量所获得的结果往往以数据的形式反映出来。例如,天文观测、大地测量、机械零件加工、仪器的装调,这些实验结果给出相应的实验数据。在一定条件下,这个被测参量总有一个客观存在的确定值,通常叫做真值。测量的目的就是要取得或再现真值。但是,由于主观和客观条件的限制,真值只能是一个理想的概念,实际上,它是难于得到的。也就是说,测量值只能以不同的程度(精度)来逼近真值。所谓测量误差 Δ ,就是测量值 x 与真值 A 之差,即

$$\Delta = x - A \quad (1-1)$$

例如,测量某一零件的尺寸,实际测得的零件尺寸与其客观真值之差,就是该次测量的测量误差。严格来说,测量误差与真值是相互依存的,不知道真值(或误差),就难于求得误差(或真值)。实践中,人们采用以下两种方法来确定真值,并称为约定真值,用 x_0 表示。

一种方法是采用相应的高一级精度的计量设备所复现的被测量值来代表约定真值。例如,采用游标卡尺进行长度测量的时候,可以选用精度更高的螺旋测微仪进行测量,测微仪的测量值就可视为约定真值。

另一种方法是用在相同条件下多次重复测量的算术平均值来代表约定真值,即

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-2)$$

式中: $\bar{x}$ 表示被测量的算术平均值; x_i 表示各次测量值; n 表示重复测量次数。

误差的表示通常用以下三种方法。

1. 绝对误差 Δ

测量值与真值之差,如式(1-1)所示。绝对误差只能用来比较相同被测量误差的大小,或同量程同类测量仪表的精度高低。它一般只适用于标准仪器或量具的校准。对于不同的被测量或不同量程的仪表,绝对误差就难以评定其测量精度的高低,只能采用相对误差来比较。

2. 相对误差 ε

绝对误差与真值之比。通常以百分数来表示,即

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{A} \times 100\% \quad (1-3)$$

相对误差为无名数,因而不能给出被测量的量纲。但应注意,其分子与分母应具有相同的量纲。相对误差有时用百分数(%)表示。

用相对误差能确切地反映测量效果,被测量的量值大小不同,允许的测量误差也应有所不同。被测量的量值越小,允许的测量绝对误差值也应越小。引入相对误差的概念就能很好地反映这一差别。

在真值不可知的情况下,式(1-3)中的真值 A 可用约定真值 x_0 来替代,这时的相对误差称为实际相对误差。

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta}{x_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

考虑到通常情况下 Δ 很小,实际又常用测量仪器的示值来代替约定真值,这时候的相对误差称为示值相对误差。

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta}{x_i} \times 100\% \quad (1-5)$$

3. 引用误差 e

在某些场合下,还使用引用误差。引用误差也属相对误差,常常用于仪表,特别是多挡仪表的精度评定。因其各挡次、各刻度位置上的示值误差都不一样,不宜使用绝对误差,而按式(1-3)计算相对误差也十分不便。为便于仪表精度等级的评定,规定了引用误差,它指仪表示值误差 Δ 与仪表满量程示值 X 之比的百分数,即

$$e = \frac{\Delta}{X} \times 100\% \quad (1-6)$$

这里,示值误差是仪表指示数值的绝对误差,而最大示值是指该仪表测量范围的上限。按仪表的精度,规定了最大的允许引用误差,仪表各刻度位置上的引用误差不得超过这一最大允许值。我们常说某仪表为 M 级仪表,是指该仪表的最大引用误差接近于而不超过 $M\%$ 值。按照国家有关规定,传感器常用 0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1、2 这七级来标定。

例 经检定发现,量程为 250V 的 2.5 级电压表在 100V 处的示值误差最大,为 5V。问该电压表是否合格?

按电压表精度等级的规定,2.5 级表的最大允许引用误差为 2.5%。而该电压表的最大引用误差应为

$$q = \frac{5}{250} \times 100\% = 2\%$$

因最大引用误差小于最大允许引用误差,故该电压表合格。

1.1.3 误差分类

一般来说,根据误差的性质或误差出现的规律进行分类,可将各种误差分为三大类:系统误差、随机误差以及疏失误差。

1. 系统误差

系统误差是指按一定规律出现的误差。在同一条件下,对某一量作多次重复测量时,

绝对值和符号均保持不变的误差,称为常值系统误差;按照确定的规律(如线性、多项式、周期性或其他复杂规律)变化的误差,称为变值系统误差。系统误差的特点是有其对应的函数规律性,它不能依靠增加测量次数来加以消除。这是因为,它是由固定不变的或按照确定规律变化的因素所造成的,它可归结为一个或几个因素的确定函数。

2. 随机误差

在同一条条件下,对某一量作多次重复测量时,各次的绝对值和符号均以不可预定的规律变化的误差,称作随机误差或偶然误差。随机误差具有两大显著特点:

(1) 个别出现的偶然性。即在相同测量条件下对某一量进行多次等精度重复测量,每次测量误差的大小和方向均不可预测。

(2) 总体呈现的统计规律性。即在相同条件下的重复测量中,只要测量次数足够多,对全部测量误差进行统计处理,会呈现出某种统计规律性。

3. 疏失误差

测量过程中出现的明显与事实不符的误差称为疏失误差。这类误差一般比较明显、突出,主要是由于测量人员的疏失或环境条件突变所致。

从不同的角度出发,可对测量误差做出种种区分,按照测量误差的来源可将其分为装置误差、环境误差、方法误差、人员误差等;按照对测量误差掌握的程度,可将其分为已知的误差和未知的误差等。

误差的性质不同,对测量结果的影响也不一样。系统误差影响测量结果的准确性;随机误差影响结果的精密性;而系统误差和随机误差综合影响测量结果的精确性,即通常所谓的精度。在一定条件下前面提到的三类误差是可以互相转化的。表 1-1 给出了引起各类误差的因素。

表 1-1 引起各类误差的因素

方 面	系 统 误 差	随 机 误 差
测量方法	依据近似的计算公式;采用近似的测量方法;设计、工艺、测量基准不一致等	
测量工具	标准器具或量仪由于设计、制造、装配、调试和使用等造成的缺点	仪器零件形状、尺寸、运动链的间隙、摩擦、磨损及元器件性能不稳定
测量环境	温度、湿度、气压、振动、电磁场等按一定规律变化的干扰	多种环境因素同时变化的综合影响
测量人员	生理特点或不良习惯造成的观测偏差	工作不细致,致使在观测、操作等方面造成的随意性差错

1.2 随机误差的分析与处理

随机误差可以看成是随机变量或随机事件,某个具体测量值的出现完全是随机的(或称为偶然的),而总体呈现一定统计规律性。因而,可用概率论来描述,采用数理统计的方法处理。采用统计法分析随机误差的优点在于能估算出各种影响因素综合作用下的测量误差极限范围,以表明测量结果的可靠性;其缺点在于难以分辨出个别误差的具体

情况。

1.2.1 随机误差的统计规律性

测量数据中总是包含一定的随机误差。因此,诸测量结果的数值大小各不相同,且不遵从确定的规律性。某个具体测量值的出现完全是随机的(或称为偶然的),在没有完成测量之前,不能预先确定这一测量结果的数值。掌握了随机误差的上述特点后,就不难对它的存在做出判别。例如,打靶时弹着点偏离靶心的一段距离是射击误差(图1-1)。十分明显,弹着点呈分散状态,各次射击误差的大小和方向各不相同,并且不具有确定的规律性。在未完成射击之前,任何人都无法预言其弹着点的准确位置,即射击误差表现出明显的随机性,这是射击中随机因素作用的结果。

上述事实表明,随机误差不具有确定的规律性,即随机误差不能用确定的解析式或其他方法预计它的数值。但随机误差却遵从统计规律,这是不同于确定性规律的另一类规律。这一统计规律支配着所有的测量结果,但就单个测量结果而言,还难以看出它遵从的统计规律。只有给出多次测量结果,这一统计规律才能显示出来,并且测量结果越多,表现出的统计规律越明显,这种多次测量就是统计实验。例如,图1-1所示的打靶的例子中,进行一次射击时,不能从弹着点的位置看出射击误差的统计规律,但当进行多次射击后,可由弹着点的分散状况判断出射击误差的分布规律,而且射击次数越多,这一规律表现得越明显。

在对随机误差进行概率统计时,总是通过一定容量的样本来评估总体的。采用统计处理的方法来分析随机误差(变量)的规律性时,可通过以下几个步骤做出数据落在某区间的频率直方图。

首先,在直角坐标中,由横坐标给出测量结果,将测量结果的取值范围等分为适当数量(m)的区间,每一区间间隔为 Δx 。设测量次数为 n ,计数测量结果落入每一区间的数目为 n_i ($i = 1, 2, \dots, m$)。以 Δx 为底,以 $n_i/(n\Delta x)$ 为高,在坐标图中第 i 区间作矩形,所得矩形的面积即为测量结果在该区间上的频率 n_i/n (即相应概率的近似)。依此类推,在各区间上做出这样的矩形,所有矩形的总和就称为统计直方图,如图1-2所示。显而易见,直方图的面积总和应为1。

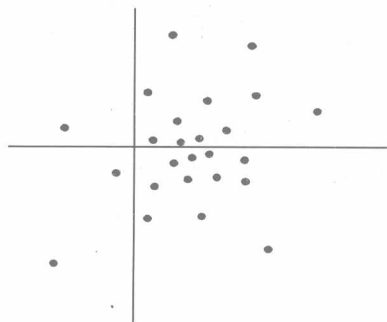


图1-1 射击误差示意图

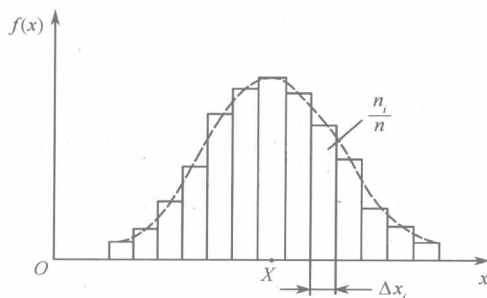


图1-2 频率直方图

由直方图可以看出随机误差的规律性。这种规律性由以下两个样本特征数描述。

(1) 样本均值 $\bar{x}$ 。表示样本分布的中心位置,定义为