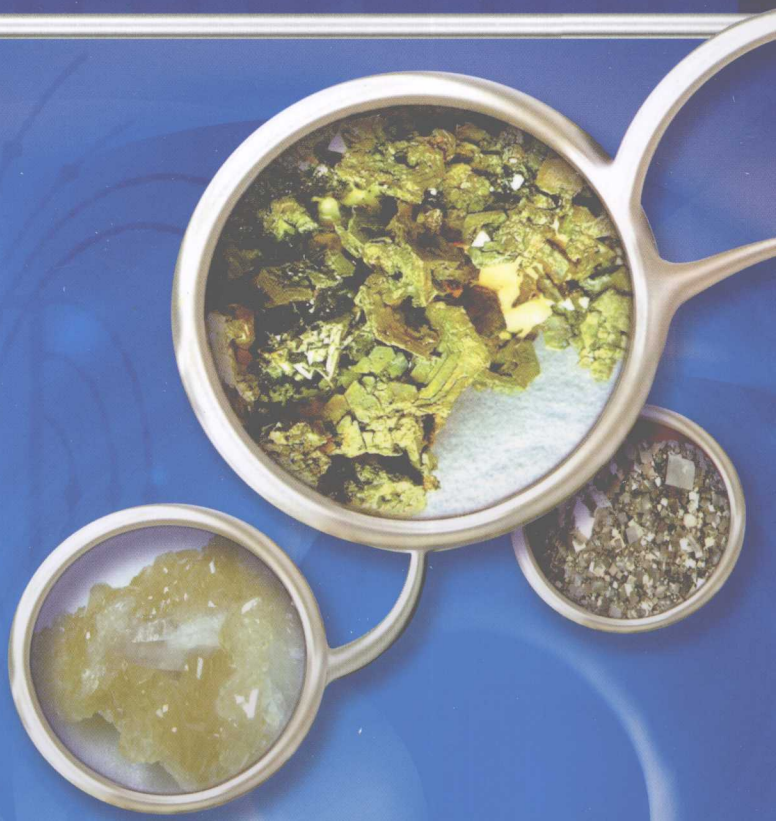


矿物加工 磁电测量技术

戴惠新 编著



化学工业出版社

矿物加工 磁电测量技术

戴惠新 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书结合磁电选矿的实际,具体阐述了测量的基础知识、电测量的基础理论、静电测量及矿物电性测量的理论及方法、磁性测量基本理论、矿石的磁性分析及测量方法、磁选设备磁场强度的测量、空间磁场的产生与测量、直流磁性的测量、软磁材料磁特性的测量和永磁元件的检验测量。

本书可作为选矿专业研究生的教学用书,也可供有关工程技术人员及相关专业人员参考使用。

磁电测量技术

著者 戴惠新

图书在版编目(CIP)数据

矿物加工磁电测量技术/戴惠新编著. —北京:化学工业出版社, 2008. 2

ISBN 978-7-122-02048-2

I. 矿… II. 戴… III. 电磁选矿 IV. TD924

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 016548 号

责任编辑:戴燕红

文字编辑:李玉峰

责任校对:周梦华

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张16¼ 字数321千字 2008年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

前言

磁电选矿包括磁选和电选两种选矿方法，是矿物加工中重要的选矿方法之一。磁选是在不均匀磁场中利用矿物之间的磁性差异而使不同矿物实现分离的一种选矿方法。电选是利用自然界各种矿物和物料电性质的差异在电场中使之分选的方法，因此准确测量矿物的磁性、电性参数及磁选和电选设备的性能参数，对矿石进行磁选、电选分离及磁选、电选设备的研制和应用就显得非常必要。

虽然磁电测量的国内外资料浩如烟海，但目前还没有一本专门针对矿物加工磁电选矿，讲授矿物加工磁电测量技术的专著或参考书。

矿物加工中的磁电测量跟电磁测量学有共性的部分，更有它独特的性质。本书结合磁电选矿的实际，阐述了测量的基础知识、电测量的基础理论、静电测量及矿物电性测量的理论及方法、磁性测量基本理论、矿石的磁性分析及测量方法、磁选设备磁场强度的测量、空间磁场的产生与测量、直流磁性的测量、软磁材料磁特性的测量、永磁元件的检验测量。

本书可作为选矿专业研究生的教学用书，也可供有关工程技术人员及相关专业人员参考使用。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2008年1月于昆明理工大学

目 录

第 1 章 测量与数据处理 1

1.1 测量 1

1.1.1 概述 1

1.1.2 测量方法分类 3

1.2 误差 5

1.2.1 测量误差定义及表示方法 6

1.2.2 测量误差的分类 9

1.3 误差处理 12

1.3.1 系统误差的处理 12

1.3.2 随机误差的处理 18

1.3.3 粗大误差的剔除 24

1.4 测量误差的合成与分配 27

1.4.1 测量误差的合成 27

1.4.2 微小误差准则 32

1.4.3 误差的分配 33

1.4.4 最佳测量方法的决策 35

1.5 测量结果处理 36

1.5.1 有效数字及其舍入规则 37

1.5.2 高精密度测量结果处理 37

1.5.3 非等精密度测量结果处理 40

1.5.4 相关关系的分析技术-经验公式的确定 42

附录 I 正态分布在对称区间的积分表 46

附录 II t 分布在对称区间的积分表 47

附录 III 判别异常数据的肖维纳及格拉布斯准则 48

第 2 章 电测量基础 49

2.1 测量单位制 49

2.2 单位的复现 51

2.2.1 绝对测量 51

2.2.2 一些常用单位的复现 52

2.3 单位的保存及传递	54
2.3.1 自然基准	55
2.3.2 电学度量器	57
2.3.3 单位的传递	63
2.4 电测量指示仪表	64
2.4.1 电磁测量仪表的分类	64
2.4.2 电测量指示仪表的组成和基本原理	66
2.4.3 电测量指示仪表的主要技术要求	70
2.4.4 电测量指示仪表的表面标记	71
2.4.5 各电测量仪表的结构和工作原理	74
第3章 静电测量	85
3.1 概述	85
3.1.1 静电测量的主要参数	85
3.1.2 静电测量的特点	86
3.2 静电仪表的工作原理及基本特性	86
3.2.1 工作原理	86
3.2.2 分类	88
3.2.3 特征和误差	88
3.3 静电电位的测量	90
3.3.1 接触法	90
3.3.2 非接触法	92
3.4 静电电量的测量	95
3.4.1 全电荷量的测量	95
3.4.2 局部电荷量的测量	96
3.4.3 放电电荷量的测量	98
3.5 材料带电性能参数的测量	99
3.5.1 逸散时间、半值时间的测量	99
3.5.2 固体材料电阻率的测量	100
3.5.3 相对介电常数 ϵ_r 的测量	101
3.6 静电系仪表测量电压和功率	102
3.6.1 测量电压	102
3.6.2 测量功率	104
3.7 应用实例	106
3.7.1 电感应法在物料粒度测试中的应用	106
3.7.2 功率法在检测磨机负荷的应用	108
第4章 矿物电性的测量	110

4.1	矿物的电阻及电阻率的概念	110
4.2	矿物电阻率测量的试样和电极	111
4.2.1	试样	111
4.2.2	电极系统	112
4.2.3	电极材料与装置	114
4.3	矿物电阻的几种主要测量方法	116
4.3.1	直接测量法	116
4.3.2	比较测量法	121
4.3.3	充电法	123
4.4	矿物高电阻测量中应注意的几个问题	125
4.4.1	漏电流的影响和保护技术	125
4.4.2	外来电势的影响	127
4.4.3	极化电荷的影响	128
4.5	矿物介电常数的测量	129
4.5.1	试样和电极	129
4.5.2	电极形式与电极材料	133
4.5.3	低频下相对介电常数的测量	134
4.5.4	高频下相对介电常数的测量	138
4.5.5	湿法测定介电常数	146
4.6	矿物比导电度及整流性的测定	146
4.6.1	比导电度(相对导电系数)	147
4.6.2	矿物的整流性	148
附录	二电极系统边缘电容的校正	148
第5章	磁性测量基本理论	150
5.1	基本磁学量及其单位	150
5.1.1	磁感应强度矢量 B	150
5.1.2	磁场强度矢量 H	151
5.1.3	磁通 Φ	152
5.1.4	磁化强度矢量 M	153
5.2	磁场的基本定律和磁介质的磁性能方程	156
5.2.1	全电流定律	156
5.2.2	磁介质的性能方程	157
5.2.3	磁通连续性原理	157
5.2.4	电磁感应定律	158
5.2.5	磁路定律	158
5.3	物质的磁性及分类	159

5.4	铁磁物质的静态磁特性	160
5.4.1	原始磁化曲线	162
5.4.2	磁滞回线	163
5.5	技术磁性材料	165
5.5.1	软磁材料	165
5.5.2	硬磁材料	166
5.5.3	记录介质	166
第6章	矿石的磁性测量及分析	167
6.1	矿石的磁性分析	167
6.2	磁性矿物含量的分析	172
6.2.1	常用的磁性分析设备	173
6.2.2	磁分析结果的分析	176
6.3	磁性铁分析	177
6.3.1	磁分析仪	177
6.3.2	磁力秤	177
6.3.3	在线分析物料中磁铁矿含量	178
第7章	磁选设备磁场强度的测量空间磁场的产生和测量	181
7.1	磁化装置及磁场量具	181
7.1.1	磁化装置	181
7.1.2	磁场强度的量具	183
7.2	磁场的测量	185
7.2.1	磁感应强度和磁通单位量值的传递系统	185
7.2.2	感应法测量磁通	186
7.3	磁选机磁场强度的测量	191
7.3.1	用高斯计测量磁场强度	191
7.3.2	霍尔效应测场仪	192
7.4	其它磁场测量	195
7.4.1	磁通门磁强计	195
7.4.2	核磁共振法磁场测量仪	197
7.4.3	交变磁场的测量	200
7.4.4	脉冲磁场的测量	201
第8章	直流磁性的测量	203
8.1	冲击法测量磁性材料的直流磁特性	203
8.1.1	冲击电流计	203
8.1.2	冲击常数的测定	204
8.1.3	冲击电流计的选择和使用	205

8.1.4	冲击法测量原理及其装置	206
8.1.5	几种直流磁特性的测量	207
8.2	直流磁特性的自动测量	209
8.2.1	光电放大磁通计	209
8.2.2	CL-6 型直流磁滞回线测量仪	212
8.2.3	数字磁通计	214
8.2.4	常见故障的检测方法	216
8.3	弱磁材料测量仪器	216
8.3.1	双螺管法	216
8.3.2	古依法	217
8.3.3	悬丝式弱磁材料测量仪	218
第 9 章	软磁材料交流磁特性的测量	219
9.1	磁性材料在交流磁场中的特性	219
9.2	音频电源	221
9.3	交流回线的测量	222
9.3.1	铁磁仪法	222
9.3.2	描述器法	223
9.4	交流磁化曲线的测量	226
9.4.1	伏-安法测交流磁化回线	226
9.4.2	CL-7 型交流磁化回线仪	227
9.5	磁放大器的铁芯控制磁化曲线的测量	229
9.6	电桥法测量复数磁导率	231
9.6.1	测量原理	231
9.6.2	CQS-1 型音频测量电桥	232
9.6.3	CD16 型磁性参数测量电桥	233
9.7	铁损的测量	235
9.7.1	瓦特表法测量铁损	235
第 10 章	永磁元件的检验	239
10.1	永久磁铁磁性能的测定	239
10.1.1	冲击测试法	239
10.2	永磁元件的检验方法	241
10.2.1	开路下检验永磁元件的磁感应强度 B	241
10.2.2	磁通表配用磁轭检测永磁元件	242
10.2.3	在工作状态下检测永磁元件	243
10.2.4	按工作点检测永磁元件	243
10.2.5	脉冲电源装置	244

第 1 章

测量与数据处理

1.1 测量

测量是为确定被测对象而进行的实验过程。测量的是对象的量值。“对象”则常是客观事物性质的表征，或称之为参量。测量是一个比较过程，是将被测量和某种标准量进行对比。按对比的方法可将测量分为直接对比测量和间接对比测量。

1.1.1 概述

测量是对客观事物进行认识的必要环节，它通过实验的方法将未知量（即待测量）与作为标准的量（即量具）相比较而定量来获取信息。测量的目的就是通过测量得到符合准确度要求的信息。测量的完整过程包括：

- ① 根据测量的目的和允许误差选取适当的测量方式和方法；
- ② 合理地选择仪表、标准量具、制定测量步骤，并考虑防止各种干扰、减小或消除误差的措施；
- ③ 精心地进行测量以获得所需的数据；
- ④ 进行数据处理，包括运用误差理论分析测量结果的误差范围。一个没有标明误差的测量结果，将降低它在科学技术上的价值。

测量方法，从狭义的角度来说，是采用某种仪表和测量线路来具体实现测量过程。可以通过如下结构框图 1-1 来说明测量原理。

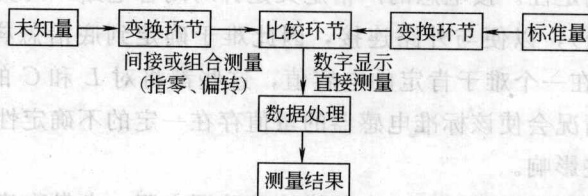


图 1-1 测量过程结构框图

(1) 未知量

未知量是测量的对象，它往往不一定是一个实际的物理量，如表征材料特性的

电阻率 ρ 、电容 C 、损耗角 δ 等,可能由于条件限制而不能直接测出。在本书中所要测量的对象主要是电学量和磁学量,它们各自包括具有空间微分形式的“场”和具有积分形式而属于“路”范畴的各种量,如属于电路范围的电参量和电参数。后者本质上仍是反映电路中各种物理过程,如热过程、机电转换过程、电场过程等。对一个具体的测量不可能只出现想要的那种单一的物理过程,此时只有通过各种技术处理,将其纷繁复杂的与待测量无关的过程分离出去,而得到与待测量有关的物理过程。这是测量的第一步,可叫做待测量的提取。

待测量的提取是通过对被测量进行定义及根据理论分析做一些假定和近似归结于一个便于测量(提取)、尽可能简单的模型,下面以精密电感器为例来说明提取过程,如图 1-2 (a) 所示。由于精密电感器它的线圈各匝所链合的磁力线各不相同,且各部分之间的电位差也不一样,其间有电力线的存在,电力线随时间的变化产生了位移电流,因此线圈各部分中的电流也不相同,此外各部分存在能量损耗,所以它实际上应当用一个由分布参数组成的电路模型来表示,但在低频下,可以用图 1-2 (b) 所示的集中参数 L 、 r 、 C 组成的简化模型来表示。也就是将主要的电磁场能量消耗效应分别集中在一起,以上述三个等效参数来表示。

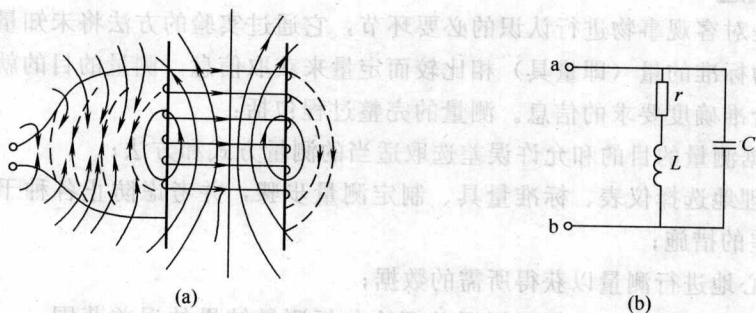


图 1-2 标准电感器

由上可知,首先是被测量的提取所建立的模型具有一定的近似性,其次是被测量的量值具有不确定性。按电感的严格定义是针对闭合电路,而实际电感必须开口(图中端钮 a、b 处),以便与外路连接,因此难于确定到底沿怎样一个途径闭合。端钮 a、b 间还存在一个难于肯定的电容值,这些都将对 L 和 C 的量值产生影响;显然对外连接的情况会使该标准电感器的量值存在一定的不确定性,所以在精密测量中必须考虑这些影响。

另外,在测量时还必须采取一定的措施消除漏电阻、杂散电容、外电磁场的感应等的影响,以达到准确测量的目的,这常称为待测量的分离,在实际测量过程中与提取无严格区分。

从上可见,要进行测量,就要了解被测量的真实属性,要有较高的相关理论基

础作后盾。如进行电磁测量时,就必须熟练掌握有关电场、磁场、电磁场集中和分布参数电路及网络等方面的知识。

(2) 变换环节

在测量过程中需使未知量和标准量能被测量仪表来识别和接受,必须将这些物理量进行处理,完成这项工作的部分称为变换环节。其变换关系可用数学式表达为 $y=\phi(x)$, 其中 x 为未知量或标准量; y 为仪表可识别和接受的量,如在模拟测量中,用机械指示仪表时, y 主要为力矩;较量仪器时, y 主要为电压、电流;数字化测量, y 主要为电压、周期(脉冲个数表示)和频率。要使未知量和标准量通过这些仪表比较,可通过以下变换器的一种来实现,比较的前提是仪表的类型和数量级一致。

① y 与 x 类型相同,但数量级不同,必须使用数量级变换器。这类器件有:电阻分压器、电容分压器、感应分压器、分流器、感应分流器、仪用互感器、分频器、仪用放大器等。

② y 与 x 类型不同,这时在一般情况下,需使用既改变类型又改变数量级的变换器。这类器件有:各小电表的测量机构,将电参量变为电磁力;大电流分流器,将大电流变为电压;温差电偶及霍尔元件等。

③ 在数字化测量中,变换器应有既改变 x 值的类型及大小的功能,又能将模拟量转换成数字量的功能。

(3) 比较环节

在比较环节中,两个被比较的量达到平衡后通过仪表显示出来,供测量者来确定未知量。不同的仪器平衡的方式不同,且对被测量的表示形式也不一样。下面就几类常用仪器进行说明。

① 机械式指示电表,通过转动的力矩与反抗力矩达平衡后,通过指针的偏转角 $\alpha=f[g]=f[\phi(x)]$ 来确定未知量。

② 对于较量仪器、检测仪表,反映电路是否平衡(即指零),然后通过刻度盘直接读出,或由所读电路参数换算得到。

③ 对于数字化测量,其比较方式或是像使用天平时采用不断添、减砝码的逐渐逼近方式(现已很少使用了);或是将变换环节的输出转换为与其成正比的时间间隔,以所能填充的标准脉冲的个数来反映此间隔的长短,最终以数字形式显示出来。

1.1.2 测量方法分类

根据被测量的特性、测量条件以及对准确度所提出的要求不同,需选择不同的测量方法。由于具体条件的限制,在现实测量的过程中,有的被测量值就是测量对象的本身,而有的却不是,这使获得被测量结果的方法不同,因此测量方法可以分为三类。

(1) 直接测量

直接测量就是指通过测量所获取的信息便是未知量的方法。在此测量过程中,根据获得信息的方法又可分为直读法和比较法两类。

① 直读法 直读法可根据单纯的仪表显示便能获取信息,这种方法是将未知量与标准量间接比较的结果。所谓间接比较,是指通过标准量(量具)对仪表事先定好刻度,然后通过被测量未知量作用于仪表后,指针在刻度盘上的偏转来获取信息。这样标准量实际上是间接地参与了比较,此法在准确度要求不高的情况下经常使用,因为它具有设备简单、实验方便等优点。

② 比较法 比较法是被测量与标准量直接参与比较的测量方法,它可以分为以下几种。

a. 差值法或微差法,这种方法是通过仪表读出被测量 x 与标准量 A 的差值 a 后求出 x , 即 $x=A+a$, 如图 1-3 所示。它是一台变压器电桥,用于比较电容 C_X 与 C_N , 调感应分压器使抽头 k 与 B 之间的电压接近相等,其差值电压 U 由小标准电压源所供给。需要指出的是 a 值越小,测量结果越准确,如果 a 为 $0.1A$, 则测量 a 时的不准确度是以十分之一反映在确定 A 的准确度上,因此差值法不如说就是尽量实行微差法,并且在这种方法中 A 的准确度必须与整个测量的准确度相适应。

b. 零值法,这种方法也可以说是微差法的特殊情况。采用这种方法的标准量最好是连续平稳地设等量值,如图 1-4 所示的电桥测量电阻便是一个实例。根据上面的讨论,这种方法准确度高,它的误差主要取决于标准量的准确度及指零仪表的准确度。

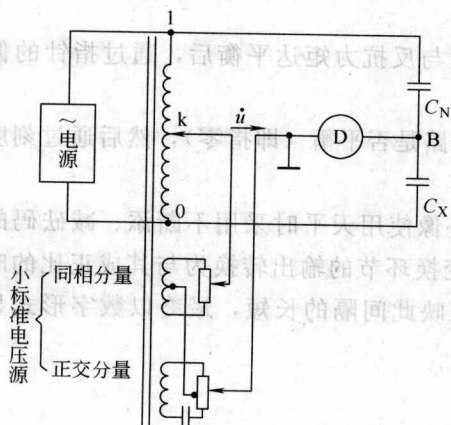


图 1-3 差值法

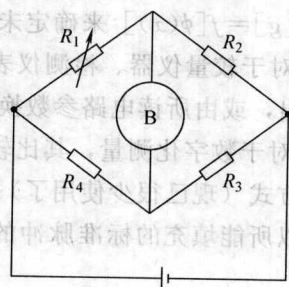


图 1-4 零值法(电桥测量电阻)

c. 替代法,这种方法是通过 A 替换 x , 然后改变 A 的值,使仪表恢复到原来 x 存在时的状态,图 1-5 便是此法的一个简单实例。这样的情况下,误差与仪表误差无关,误差主要取决于标准量的误差,故是一种准确度极高的测量方法。

d. 重合法, 这种方法的特点是将被测量的一系列均匀交替的记号或信号, 与已知量的一系列均匀交替的记号或信号相比较, 并观察其重合的情况, 在此基础上求出被测量的值。这种方法主要用于非电量测量, 例如游标卡尺便是根据这一原理创造出来的。

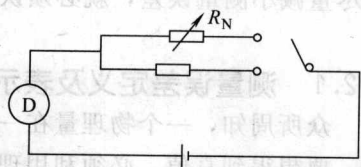


图 1-5 替代法

其它测量方法还有谐振法、合并指零与直读联合的测量方法。

(2) 间接测量法

被测量 y 是由 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 等物理量决定, 即

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1-1)$$

且 y 在现有条件下或当时实验条件下没有仪表能直接测量, 或直接测量很复杂, 或间接测量误差很小, 这时通过对 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的测量, 再通过 y 与 x_i (其中 $i=1, 2, \dots, n$) 的函数关系求出 y , 这种测量的方法叫间接测量, 即测量的结果是通过直接测量几个与被测量有一定函数关系的量而得到的。如现仅有一安培表及伏特表, 要测量电阻, 这时只有通过测电压 U 及电流 I , 再根据公式 $R=U/I$, 来求得电阻 R 。

(3) 组分测量法

被测量 x_i, x_k 存在于下列函数关系式

$$f(x_1, x_2, \dots, x_i, x_{i+1}, \dots, x_k, \dots, x_k+1) = 0$$

中, 其中 x_i, x_k 在其它至少某一物理量的某一条件改变时, 它们保持不变, 并且除 x_i 及 x_k 不能通过直接测量外, 其它物理量都能直接测量, 这时只有通过测量, 改变一个适当的物理量及一个适当条件时来获得除 x_i 及 x_k 的两组数据 $(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ 及 $(x''_1, x''_2, \dots, x''_n)$, 然后联立求解下列方程组求得 x_i 及 x_k 。

$$\begin{cases} f(x'_1, x'_2, \dots, x'_n) = 0 \\ f(x''_1, x''_2, \dots, x''_n) = 0 \end{cases} \quad (1-2)$$

这种测量过程叫组合测量法, 即直接测量具有一定函数关系的某些量的基础上, 通过联立求解各函数关系式来确定被测量的大小。值得注意的是联立求解方程的数目至少应等于被测量的数目。

从以上可以看出, 无论是间接测量, 还是组合测量, 直接测量是必不可少的, 并且有时这几种方法是交替使用, 这就需要测量者正确地去应用这些方法进行准确测量。

1.2 误差

无数不断变化着的因素影响测量过程和测量仪表。所以, 测量是一个复杂的过程, 测量的结果对被测量永远是一个近似值而得不到真值, 即测量总存在误差。

要尽量减小测量误差,就必须认真分析误差来源。

1.2.1 测量误差定义及表示方法

众所周知,一个物理量在一定条件下所呈现的客观大小或真实数值称作它的真值,要想得到真值,必须利用理想的量具或测量仪器进行无误差的测量,但理想量具或测量仪器即测量过程的参考比较标准(或称参考标准)只是一个纯理论值,因此物理量的真值实际上是无法得到的。如电流的计量标准安培,按国际计量委员会和第九届国际计量大会的决议,安培的定义指的是一恒定电流,若保持在处于真空中相距1m的两根无限长的圆截面可忽略不计的平行直导线内,则此两导体之间产生的力为 $2 \times 10^{-7} \text{ N/m}$ 。显然这样的电流计量标准是一个理想而实际上无法实现的理论值。因此电流的真值无法实际测得。尽管随着科技水平的提高,可供实际使用的测量参考标准可以越来越接近理想定义值,但由于各种主、客观因素的影响,无误差的测量永远是不可能实现的。可以这样给测量误差下一个定义:测量误差是指在测量中,由于测量器具不准确、测量手段不完善、环境影响、操作不熟练及工作疏忽等因素,导致的测量结果与被测量真值之间的差异。

由于测量误差的存在具有必然性和普遍性,因此人们不能完全消除误差,只能根据需求和可能将其限制在一定范围内,人们进行测量的目的通常是为了尽可能地获得接近于真值的测量结果,如果误差超出一定的限度,测量工作及由测量结果所得出的结论便失去意义。在科学研究及现代化生产中,错误的测量结果有时还会使研究工作误入歧途甚至带来灾难性的后果。因此人们不得不认真对待测量误差,研究误差产生的原因、误差的性质、减少误差的方法及对测量结果的处理等。通常人们通过绝对误差、相对误差、分贝误差、引用误差来表示测量误差,下面分别讨论它们。

(1) 绝对误差

绝对误差定义为

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-3)$$

式中 Δx ——绝对误差;

x ——测得值;

x_0 ——被测量值。

由于真值 x_0 很难准确地得到,在有些情况下,真值可由理论给出或由计量学做出规定。但在实际测量过程中,常用实际值(即在实际测量中用高一个等级的计量标准所测得的量值)或用已修正过的多次测量的算术平均值来代替真值。绝对误差有以下几个特点。

① 绝对误差是有单位的量,其单位与测得的值以及实际值相同。

② 绝对误差是有符号的量,其符号表示出测量值与实际值的大小关系,若测量所得的数值较实际值大,则绝对误差为正值,反之为负值。

③ 绝对误差体现测得值与被测量实际值间的偏离程度和方向,但仅有绝对误差不能说明测量的质量。

④ 对于信号源、稳定电源等供给量仪器,绝对误差的定义为

$$\Delta x = x_0 - x \quad (1-4)$$

式中,符号意义同前,如无特殊说明,本书中涉及的绝对误差按式(1-3)计算。

与绝对误差绝对值相等,但符号相反的值称之为修正值,一般用符号 C 表示,即

$$C = x_0 - x = -\Delta x \quad (1-5)$$

在某些较准确的仪器中,常常以表格、曲线或公式的形式指出修正值,在自动测量仪表中,修正值可以先编成程序储存在仪器中,测量时仪器可以对测量结果自动进行修正。

(2) 相对误差

绝对误差不能体现测量的质量,如测量两长度,其中一个长度 $L_1 = 10\text{m}$,其绝对误差 $\Delta x_1 = 0.01\text{m}$;另一个长度 $L_2 = 100000\text{m}$,其绝对误差 $\Delta x_2 = 1\text{m}$,尽管 $\Delta x_2 > \Delta x_1$,但并不能得出 L_1 的测量较 L_2 准确的结论,恰好相反, L_1 测量的误差对 $L_1 = 10\text{m}$ 来说是 $1/1000$;而 L_2 的测量误差仅占 $L_2 = 100000\text{m}$ 的 $1/100000$ 。为了弥补绝对误差的不足,而提出了相对误差的概念,它可分为如下几种。

① 实际相对误差(相对真误差) 相对真误差定义为

$$r_A = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 x_0 ——被测量之真实值。

② 示值相对误差

$$r_x = \Delta x / x \quad (1-7)$$

式中 x ——仪表指示值。

这是一种为了简化,近似处理相对误差的方法,只有在测量误差不大的情况下使用。

③ 分贝误差 分贝误差以相对误差的对数表示。在电子学和声学中常用分贝来表示相对误差,它是用对数形式表示的一种误差,单位为分贝(dB)。分贝误差广泛用于增益(衰减)量的测量中,下面以电压增益测量为例导出分贝误差的表示形式。

设双口网络(比如放大器或衰减器)输入、输出电压的测得值分别为 U_i 和 U_o ,则电压增益 A_u 的测得值为

$$A_u = U_o / U_i \quad (1-8)$$

用对数表示为

$$G_z = 20 \lg A_u \quad (\text{dB}) \quad (1-9)$$

式中 G_z ——增益测得值的分贝值。