

609876

中等专业学校教材

电子测量

申业刚 主编



江苏科学技术出版社

中等专业学校教材

电 子 测 量

申业刚 主编

江苏科学技术出版社

内 容 简 介

本书系统地阐述了电子测量的基本原理及测量方法，扼要地介绍了计量的基本概念以及测量误差和数据处理的基本知识。全书共十一章，重点介绍电压、频率、阻抗等基本电参量的测量技术及其误差分析，对常用典型仪器的重要电路部件进行了较详细的讨论。此外，概略地介绍了电子测量的新技术及自动测试系统等，书末还编入了智能仪器实例。各章均有习题。

本书为中等专业学校无线电技术专业的统编教材，也可供从事无线电技术工作的工程技术人员参考。

中等专业学校教材

电 子 测 量

申业刚 主编

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：淮阴新华印刷厂

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19.75 字数 472,600

1986 年 8 月第 1 版 1986 年 8 月第 1 次印刷

印数 1-3,600 册

书号：15196·193 定价：2.87 元

责任编辑 许顺生

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构。并制定了一九八二至一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量。适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是通过教学实践，师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验。这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

1984年4月在天津召开了“电子测量”编写提纲讨论会，参加会议的单位有上海电子技术学校、山东电子工业学校、南昌无线电工业学校、天津仪表无线电学校、武汉无线电工业学校、九江电子技术学校、南京无线电工业学校等。参加会议的代表经过认真地讨论，共同拟订了编写提纲，本书就是根据这次会议通过的提纲编写而成的。

本课程的教学时数分配为：

1. 绪论	2 学时
2. 第一章 测量误差及数据处理的基本知识	6 学时
3. 第二章 电压测量	16 学时
4. 第三章 信号源	12 学时
5. 第四章 示波器	18 学时
6. 第五章 扫频测量	4 学时
7. 第六章 波形分析	4 学时
8. 第七章 时间与频率的测量	8 学时
9. 第八章 相位测量	6 学时
10. 第九章 集中参数阻抗的测量	6 学时
11. 第十章 非电量测量	2 学时
12. 第十一章 智能仪器与自动测试系统	8 学时

以上共计92学时。

本书由北方交通大学蒋焕文副教授审稿，蒋副教授仔细阅读了原稿指出错误和不当之处，并提出了改进意见。山东电子工业学校的金梅、吕长芳、梁军三位同志描绘了本书的插图，编者在此一并致以衷心的感谢。

本书由南京无线电工业学校申业刚主编，山东电子工业学校高昭运参编了绪论，一、二、五、八、十、十一等章。由于编者水平有限，书中定有错误和不当之处，欢迎读者批评指正。

编 者

1985.8

目 录

结论	1
§0-1 测量及电子测量的意义	1
§0-2 电子测量发展简况	2
§0-3 电子测量的特点	2
§0-4 电子测量分类	4
§0-5 计量的基本概念	4
§0-6 本课程的任务和要求	6
第一章 测量误差及数据处理的基本知识	7
§1-1 测量误差的基本概念	7
一、测量误差	7
二、误差的表示方法	7
三、测量误差的主要来源	9
四、测量误差的分类	10
§1-2 测量误差的估计与处理	11
一、系统误差的一般处理步骤和方法	11
二、随机误差及其处理方法	12
§1-3 函数误差	20
一、函数误差的基本公式	20
二、函数误差计算方法	21
§1-4 测量结果的数据处理	23
一、有效数字的处理	23
二、测量结果的数据表示	24
第二章 电压测量	26
§2-1 概述	26
一、对电压测量的基本要求	26
二、电压表的分类及其基本方案	27
三、交流电压的表征	28
§2-2 模拟式交流电压表	30
一、平均值检波器	30
二、峰值检波器	36
三、有效值检波器	41
四、模拟式电压表介绍	47
§2-3 数字电压表 (DVM)	51
一、数字电压表的分类	51
二、数字电压表的主要技术指标	53

三、数字电压表的基本组成	55
四、A/D 转换原理	56
五、DS-14-1 型双积分式数字电压表简介	66
§2-4 噪声电压的测量	70
一、电路噪声及其分布特性	71
二、高斯噪声的平均值和波形因数	72
三、对均值电压表的要求	73
§2-5 电压表的选择和使用	75
一、电压表的选择	75
二、电压表的使用	75
第三章 信号源	79
§3-1 概述	79
§3-2 正弦信号发生器	79
一、低频信号发生器	79
二、高频信号发生器	85
三、合成信号发生器	94
§3-3 脉冲信号发生器	104
一、概述	104
二、对脉冲信号发生器的要求	104
三、脉冲信号发生器的主要部件	105
四、脉冲信号发生器实例	106
§3-4 函数发生器	110
一、概述	110
二、对函数发生器的要求	110
三、函数发生器的工作原理	110
四、函数发生器的主要部件	111
五、函数发生器实例	112
第四章 电子示波器	115
§4-1 概述	115
§4-2 波形的显示原理	115
§4-3 通用示波器的组成部分	116
一、主机部分	116
二、Y 信道	125
三、X 信道	134
四、实例	149
§4-4 特种示波器	149
一、取样示波器	149
二、存储示波器	154
§4-5 示波器的应用	157
一、电压的测量	157
二、时间的测量	157
三、频率的测量	158

四、相位的测量	159
五、已调波的测量	162
§4-6 专用示波设备	164
一、概述	164
二、阶梯波电压的产生	164
三、同步	165
四、实例	166
五、应用	167
第五章 扫频测量	170
§5-1 概 述	170
一、扫频测量的基本原理	170
二、扫频信号的主要特性	171
§5-2 产生扫频信号的方法	172
一、变容二极管扫频振荡器	172
二、磁调电感扫频振荡器	173
三、利用差频法产生宽带扫频	175
§5-3 扫频测量中的频率标记	175
一、菱形频标	176
二、针形频标	177
§5-4 频率特性测试仪介绍	177
一、频率特性测试仪的分类	177
二、BT-3 扫频仪简介	178
第六章 信号分析	182
§6-1 概 述	182
§6-2 频谱分析	182
一、引言	182
二、频谱仪的工作原理	183
三、对频谱仪的主要技术要求	184
四、实例	185
§6-3 非线性失真系数的测量	186
一、引言	186
二、基波抑制法	186
三、实例	187
§6-4 已调波参数的测量	188
一、调幅系数的测量	188
二、频偏的测量	189
第七章 时间与频率的测量	193
§7-1 概 述	193
§7-2 测量频率的方法	194
一、无源测量法	194
二、比较法	199
三、计数器法	203

§7-3 时间和频率标准	215
一、石英频率标准	215
二、原子频率标准	216
第八章 相位测量	219
§8-1 概述	219
§8-2 补偿法测量相位	220
§8-3 直读法测量相位	221
一、相敏检波法	221
二、环形调制器法	222
三、脉冲变换法	222
§8-4 数字式相位计	225
一、瞬时值数字相位计	225
二、平均值数字相位计	227
§8-5 BX-13A 型平均值数字相位计简介	228
一、主要技术指标	228
二、BX-13A 型数字相位计的基本组成	229
§8-6 数字相位计的误差分析	232
一、数字相位计测量误差的主要来源	232
二、提高数字相位计测量精度的方法	235
第九章 集中参数阻抗的测量	238
§9-1 概述	238
§9-2 标准电容、电阻和电感	238
一、标准电容	238
二、标准电阻	239
三、标准电感	239
§9-3 电压表-电流表法	240
一、引言	240
二、测量电感、电容与电阻	240
三、测量互感	241
四、测量误差	241
§9-4 电桥法	242
一、四臂电桥	242
二、不平衡电桥	244
三、T 型电桥	245
四、交流电桥实例	246
§9-5 谐振法	248
一、测量电容	248
二、测量电感	250
三、测量电阻	251
§9-6 品质因数的测量和 Q 表的应用	254
一、工作原理	254
二、Q 表的应用	255

三、Q 表的误差	255
§9-7 阻抗测量的数字化与自动化	257
一、阻抗测量的数字化	257
二、阻抗测量的自动化	258
三、数字式Q 表	259
第十章 非电量测量	262
§10-1 概述	262
一、非电量的电测系统	262
二、传感器的分类	263
三、传感器的基本特性	264
§10-2 传感器	265
一、位移式传感器	265
二、力敏(应变)传感器	267
三、磁敏传感器	268
四、热敏传感器	270
五、光敏传感器	271
§10-3 传感器应用举例	272
一、光电液位控制器	272
二、铂电阻测温传感器	273
第十一章 智能仪器与自动测试系统	274
§11-1 概述	274
§11-2 智能仪器	274
一、智能仪器及其发展	274
二、智能仪器的特点	275
三、智能仪器的基本结构	276
四、智能仪器中软件的作用	278
§11-3 自动测试系统简介	285
一、自动测试系统的发展概况	285
二、自动测试系统的基本组成	286
三、通用接口系统	287
四、测量仪器的程控	290
五、自动测试系统的组建	291
附录	292
附录 I HG-1850 数字电压表简介	292
附录 II EE3301 型 计算计数器简介	296
附录 III 误差函数表	302
附录 IV t 分布表	303

绪 论

§ 0-1 测量及电子测量的意义

测量是人类对自然界的客观事物取得数量观念的一种认识过程。在这一过程中，操作人员借助于专门设备，通过实验方法，求出以所采用的测量单位表示的被测量的数值大小。

人们认识一个新事物往往首先从“比较”开始，测量的过程也是如此。例如，用尺子量一块布料，结果是1.1米，测量的过程就是人将布料（被测量）与尺子（标准量）进行比较。所以测量可以直接定义为：测量就是将被测量与同类标准量进行比较，并确定它们之间数值关系的过程。

人们通过测量可以获得反映被测对象信息的定量数据。从这些数据中，通过分析可以验证科学理论，并可以发现新问题，探索新理论。例如，行星椭圆轨道理论的建立，天狼伴星的发现都是从测量数据中得到启示。在科学发展史上，这种例子不胜枚举。

电子测量是测量学的一个重要分支。电子测量的过程也是一个将被测量与已知标准量进行比较的过程。不过，一般电子测量中的标准量不象上述长度测量中的标准量那样显而易见，而是隐含在经过定度的测量仪器内部的。

从广义上来讲，凡是利用电子技术进行的测量，都称为电子测量。

从狭义上来讲，电子测量是指在电子学中测量有关电的量值的技术。所谓“电的量值”主要包括下列内容：

1. 电能量 电流、电压、功率；
2. 电路参数 电阻、电容、电感、阻抗、品质因数等；
3. 电信号特性 波形、频率、相位等。

其它一些电量的测量可以从以上几个基本量的测量中导出。例如，电压增益等于输出电压与输入电压之比；非线性失真系数等于谐波功率与基波功率之比。因此，电压增益与非线性系数的测量可以从电压与功率的测量中导出。本教材除在第十章中简单介绍非电量的电测法外，其余章节均讲述电量的测量方法。

随着科学技术的发展，电子测量技术和电子测量仪器的应用越来越广泛和深入。很多物理量都可通过传感器变换成相应的电量，以使用电子测量的方法进行测量。目前，电子测量已渗透到各个科技领域，在工业、农业、国防、商业、医疗卫生、生物工程、环境保护、天文观测、地质研究、气象科学、航天技术等很多方面，都应用了电子测量技术和电子测量仪器。以医疗为例，几十年前还是以医生的问诊和直接观察为主，现在心电图机、B型超声波、断层扫描等已是检查人体器官功能、帮助医生诊断的重要手段；而这些仪器都是以电子测量技术为基础设计生产的。在工厂里的各类自动化生产线中，自动检测是实现自动控制的前提，对生产过程中的温度、位移、时间、压力等量的测量，往往是采用电子测量方法进行的。航天技术更是如此，运载火箭的发射速度和运行轨道的测量，人造卫星中各种实验数据

的采集和传输都需要应用电子测量技术。据统计,在航天技术中,用于测量和仪器方面的劳动力和资金占其总投资的50%以上。

§ 0-2 电子测量发展简况

测量技术的发展与其它科学技术的发展是相互促进、相辅相成的,电子测量技术的发展过程也是如此。从时间上来说,电子测量技术的发展历史比其它工程测量要晚得多。如果从十八世纪中期欧姆定律发现算起,电子测量仅有一百多年的历史。但是,电子测量的发展速度却远远超过了其它测量技术,目前在所有测量领域中,电子测量的精度和速度都居领先地位。

在十九世纪以前,电子测量还仅仅限于一般的电气测量范畴。二十世纪初期发明了电子管,随之发展了电信号的传输与放大技术,这使得电参量测量的灵敏度大大提高。随着电子测量技术的不断完善和变换技术的发展,使得将非电量变换成电量的测量成为可能,从而大大开拓了电子测量技术的应用领域。有人认为,电子测量技术的广泛应用是测量技术的第一次革命。

“自动测量”的概念是二十世纪四十年代提出的,但是只有在五十年代后期计算机技术引进了测量领域之后,才真正实现了自动测量。随着电子计算机技术的发展,自动测量的概念也在不断深化。在七十年代初期,电子计算机技术与电子测量仪器的结合取得了新发展,特别是微处理器(μP)应用于电子测量仪器以后,使得计算机技术与电子测量技术融为一体。智能仪器和自动测试系统就是计算机技术与电子测量技术相结合的产物,它们都具有很强的自动测量功能,例如自动选择量程、自动记录数据、自动修正误差、自动检查故障等。智能仪器和自动测试系统的出现不仅打破了人们长期以来的若干传统观念,引起了某些测量原理的变革,而且对整个电子技术和若干近代科学技术产生了巨大的影响。同时,由于计算机在实时控制速度、数据采集和数据处理方面具有优越条件,使得测量的内容、速度、精度和规模都有了飞速的发展和扩大,可以认为计算机技术引入测量领域是测量技术的又一次革命。目前,智能仪器与自动测试系统已成为今后电子测量技术与电子测量仪器的发展方向。

电子测量技术的发展不仅为测量科学增光添彩,而且为整个科学技术的发展做出了贡献。

§ 0-3 电子测量的特点

归纳起来,电子测量具有以下特点:

一、频率范围极宽

电子测量的工作频率范围几乎可以覆盖整个电磁频谱。仅从狭义的电子测量来说,频率范围可达 $10^{-5}\text{Hz}\sim 100\text{GHz}$,正是因为电子测量的频率范围如此之宽,应用才十分广泛。当然,对于每一台电子测量仪器来说,兼顾到用途、工艺、成本等几个方面,设计和制造时往

往侧重于某一频段，这就出现了所谓超低频仪器、低频仪器、高频仪器等。

二、量程广

就电量的测量而言，被测量的大小相差极大，这就要求仪器的测量范围很宽。一般来说，仪器的量程越宽越好。目前，高灵敏度的数字电压表可以测量 $10\text{nV} \sim 1000\text{V}$ 的电压，量程达 11 个数量级。这样宽的量程是其它测量器具（例如长度测量的千分尺、质量测量的天平、等）所远远不能达到的。

三、测量精确度高

电子测量仪器的精确度一般比其它测量仪器高得多。以各种测量领域中已达到的最高精确度相比较，目前在长度、热量、力学测量方面都未达到 10^{-10} ；而电子测量已达到 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ ，这是当前人类在测量精确度方面达到的最高标准。

四、测量速度快

由于电子测量是通过电磁波的传播和电子的运动来进行工作的，因而可以实现测量过程的高速度，这是其它测量所不能比拟的。

只有实现测量的高速度，才可以测量快速变化的物理量。例如，核裂变过程、导弹发射速度、高速计算机的工作状态，以及某些自动控制系统的数据采集与处理等，只有采用电子测量技术才可以实现。

五、便于遥测

电子测量便于通过有线或无线系统进行遥测遥控。可以把电子仪器或仪器的传感器放置到人体不便或不能进入的区域（例如宇宙中的星体、海洋深处、核反应堆、动物机体内部等），通过远距离控制测得结果。这也是电子测量技术能够在各种学科中得到广泛应用的重要原因之一。

六、易于实现自动化

真正的自动化测量是计算机控制下的测量，主要包括自动调节、自动校准、自动诊断、自动修复、自动进行数据处理、自动记录以及可编程等功能。

电子测量技术与电子计算机技术都是电子科学技术的分支，这种“同宗”关系决定了电子测量技术易于同计算机技术相结合。特别是电子测量仪器的数字化以及微型计算机技术的发展，更为计算机技术应用于电子测量仪器提供了有利条件。目前，这类仪器或系统都具有很强的自动化测量功能。

§ 0-4 电子测量分类

电子测量与其它测量一样,分类的方法很多。例如,根据被测量的状态是否随时间变化,可分为静态测量和动态测量;根据测量系统本身是否带有激励源,可分为有源测量和无源测量;等等。这里只介绍按测量方法的分类。

电子测量的方法可分为以下三种:

(一) 直接测量

测量中使未知量与标准量直接进行比较,从而直接获得测量结果

例如,用一只指针式电流表串入电路来测量流过该电路的电流即为直接测量。电流表内的标准量就是经过定度的刻度线。

(二) 间接测量

测量中通过未知量与若干变量相联系的关系式,先分别对各变量进行直接测量,然后将所得的数值代入该关系式进行计算,从而求得未知量的数值。

例如,要测量电阻 R 上消耗的功率,可先测量电阻 R 和加在 R 两端的电压 V ;然后再根据公式 $P = V^2/R$ 求出功率,这就是间接测量。

(三) 组合测量

测量中的各个未知量以不同的组合形式出现(或改变测量条件来获得这种不同的组合),根据直接测量或间接测量所得的结果,通过求解联立方程组来求得未知量的数值。

例如,为了测量在环境温度为 $t^\circ\text{C}$ 时标准电阻线圈的阻值 R_t ,需用下述方程:

$$R_t = R_{20} + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2$$

式中 R_{20} ——在 20°C 下该电阻的实际值;

α 、 β ——标准电阻线圈的温度系数。

为了求得任意温度下的 R_t 值,至少需要列出在三种温度状态下电阻值的联立方程组,解出 α 、 β 、 R_{20} ,代入上式可求出 R_t 值。

§ 0-5 计量的基本概念

一、计量

计量学是一门关于测量的基础理论科学,是研究保证量值统一和准确所必需的方法、技术、政策及专门设备的科学。可以说,计量的本质特征就是保证测量单位的统一和测量结果的准确,因此从这个意义上说,计量就是一种特殊的测量。

二、单位制

研究物理量的单位是计量工作的重要内容之一。

相互之间彼此无关、可以任意规定的物理量单位称为基本单位。由各种基本单位通过定义、定律及其函数关系派生出来的单位称为导出单位。由基本单位及其导出单位的组合便形成了单位制。

一九六〇年第十一届国际计量大会通过了国际单位制 (SI)，目前我国和世界上许多国家都使用这种单位制。

国际单位制 (SI) 的基本单位有七个：米 (m)、千克 (kg)、秒 (s)、安培 (A)、开尔文 (K)、摩尔 (mol)、坎德拉 (cd)。

国际单位制中常用的力学量和电学量的单位列于表 0-1。

表 0-1 国际单位制中常用的力学量及电学量

物 理 量	名 称	中文代号	符 号	用 SI 基本单位表示的关系式
长 度	米	米	m	m
质 量	千克(公斤)	千克(公斤)	kg	kg
时 间	秒	秒	s	s
电 流	安培	安	A	A
频 率	赫兹	赫	Hz	s ⁻¹
力	牛顿	牛	N	m·kg·s ⁻²
压 力、应 力	帕斯卡	帕	Pa	m ⁻¹ ·kg·s ⁻²
能、功、热量	焦耳	焦	J	m ² ·kg·s ⁻²
功 率	瓦特	瓦	W	m ² ·kg·s ⁻³
电 量、电 荷	库仑	库	C	s·A
电 位、电 压	伏特	伏	V	m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻²
电 容	法拉	法	F	m ⁻² ·kg ⁻¹ ·s ⁴ ·A ²
电 阻	欧姆	欧	Ω	m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻²
电 导	西门子	西	S	m ² ·kg ⁻¹ ·s ³ ·A ²
磁 通 量	韦伯	韦	Wb	m ² ·kg·s ⁻² ·A ⁻¹
磁 感 应 强 度	特斯拉	特	T	kg·s ⁻² ·A ⁻¹
电 感	亨利	亨	H	m ² ·kg·s ⁻² ·A ⁻²
电 场 强 度	伏特/米	伏/米	V/m	m·kg·s ⁻³ ·A ⁻¹
磁 场 强 度	安培/米	安/米	A/m	m ⁻¹ ·A
介 电 常 数	法拉/米	法/米	F/m	m ⁻³ ·kg ⁻¹ ·s ⁴ ·A ²

三、基准与标准

所谓基准,是指从法制规定的基本单位的定义出发,用当代最先进的科学技术及工艺水平,以最高的精确度和稳定度建立起来的,专门用以规定、保持和复现某种物理量单位的特殊量具和仪器。经过严格的法定程序,可作为国家标准。基准这个术语一般用于七个基本物理量的最高标准。

根据基准的性质及用途的不同,还可分为主基准、副基准、工作基准等。

标准是七个基本物理量基准导出的,用以复现量值的标准量具和仪器。它们是专门用于量值传递的。

根据标准的精度不同,可分为一级标准、二级标准、三级标准等。

量值的传递是按照由基准向工作基准、各级标准、最后至不同精度等级的量具和仪器设备的顺序,根据法定的传递和检定规程进行的。

四、计量的法制性

计量具有法制的性质。国家设有计量部门专门从事物理量量值的基准和各级标准的研究、建立、保存和传递工作。[各级基准和标准的建立、量值传递与检定的方法、程序、精度、设备等均有法定计量机构的明文规定或审查批准。

保证物理量基准的稳定和统一,是有效地管理社会的基础之一。历史上任何一个稳定的社会及其统治者都很重视计量工作。我国在秦始皇时代就制定了度量衡制度,曾为当时国家的统一和生产的发展起了重要作用。

解放以后,我国政府一直十分重视计量工作的开展。在国务院和各省、市、自治区政府都设有计量局,各主要企、事业单位都设有计量机构。目前,我国有些计量基准的精度已达到世界先进水平。

§ 0-6 本课程的任务和要求

本教材是以电子测量技术为主兼顾到测量仪器的原则编写的。课程的重点是介绍电参量的基本测量原理和测量方法。学完本课程后,对常用电参量的测试应能根据要求提出测量方案、选择测量仪器,并能对测量数据进行简单地处理。

结合测量原理,教材中介绍了部分仪器及其典型线路。对于这一部分内容主要要求掌握测量仪器的基本原理和方框图,对于具体电路一般不做详细分析。至于仪器的使用方法,可在实验课中熟悉。

电子测量是一门实践性很强的课程,应当十分重视实验教学环节,通过实验不仅要掌握仪器的使用方法,更重要的是要通过实验,特别是综合性实验学会如何建立测量方案。

电子测量技术的内容十分广泛,发展又非常迅速,尽管教材中注意到新技术的介绍,但不可能通过几十个学时的时间掌握它的全部内容。因此学习中应着重对基本概念、基本原理、基本方法的理解,为今后的学习和工作打下一定的基础。

第一章 测量误差及数据处理 的基本知识

§ 1-1 测量误差的基本概念

一、测量误差

毫无疑问,测量的目的就是希望获得被测量的真值。而所谓真值,就是在一定时间和空间的条件下,物理量的真实大小。显然,一个被测物理量的真值是客观存在的确定数值。

测量中,当通过实验方法来求得被测量的真值时,由于人们对客观规律认识的局限性、测量手段的不完善、客观条件的变化以及测量工作中的疏忽或错误等原因,使得测量值与真值之间总是存在差异,这种差异就称为测量误差。

实际上,无论利用任何测量仪器或器具(包括基准、标准)进行测量时,误差总是存在的。既然如此,上面所说的测量误差等于测量值与真值之差就没有实际意义了。事实上,通常用“实际值”来代替真值。所谓实际值就是用更高一级的标准仪器的测量值。因此,测量误差就是测量值与实际值之差。

随着测量技术的发展,测量仪器的精确度不断提高,各种物理量的测量误差都在不断减小。但是,从理论上来说,测量误差的减小不可能是无限制的。测量误差是以未知参量丧失其本身的定义为其极限的。例如长度测量,测量的精确度不可能达到分子或原子的尺寸,因为分子或原子都是在其排列矩阵中不停振动着的。

二、误差的表示方法

(一) 绝对误差

绝对误差等于被测量的给出值与其真值之差。用公式表示为

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-1)$$

式中 Δx ——测量结果的绝对误差;

x ——被测量的给出值,包括测量值、标称值、示值、计算近似值等。通常称示值;

A_0 ——被测量的真值。

如前所述,被测量的真值是不可知的,通常以实际值 A 代替真值 A_0 , 则有

$$\Delta x = x - A \quad (1-2)$$

与绝对误差符号相反的值称为修正值或修正量,用 C 表示,为

$$C = -\Delta x = A - x$$

所以

$$A = x + C \quad (1-3)$$