

★ ★ ★
电气信息类
精品系列
★ ★ ★

电子测量技术与仪器

(第2版)

◎主 编 王 川



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

014059403

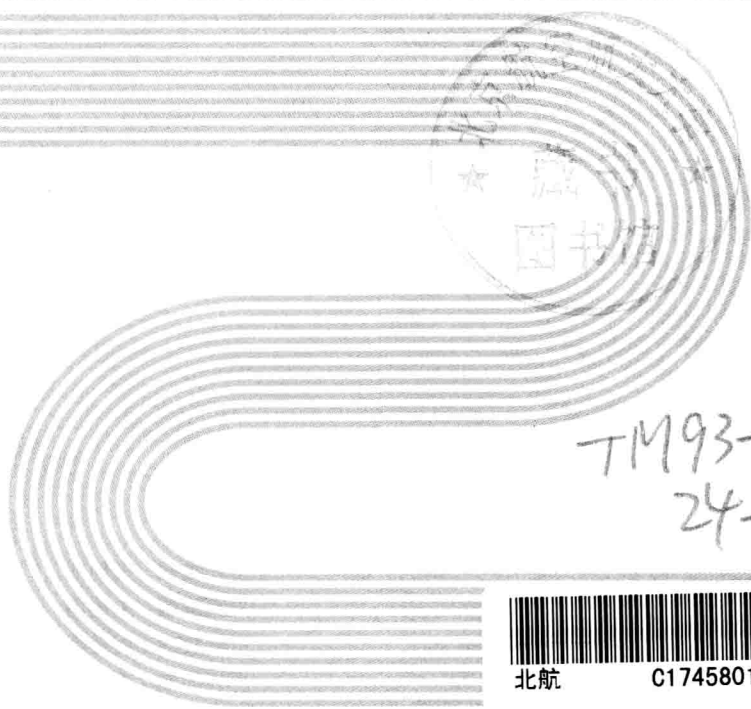
TM93-43
24-2



电子测量技术与仪器

(第2版)

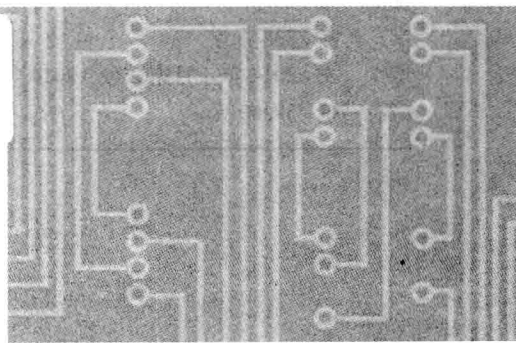
◎主 编 王 川
◎副主编 胡华文 施亚齐
◎主 审 何 琼



TM93-43
24-2



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



20140410

内 容 提 要

本书主要介绍了通用电子测量仪器的基本工作原理、技术指标、面板装置及操作原理与应用。内容包括：电子测量与仪器的基础知识、测量用信号发生器、电子电压表、电子示波器、扫频测量仪器、电子计数器、电子元件参数测量及智能仪器技术。最后附有7个针对性实训项目。

本书既可作为高等院校电子信息类专业教材，同时也可作为电子工程技术人员及电子爱好者的学习参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

电子测量技术与仪器/王川主编. —2版. —北京：北京理工大学出版社，2014.4

ISBN 978-7-5640-9285-6

I. ①电… II. ①王… III. ①电子测量-高等学校-教材 ②电子测量设备-高等学校-教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 113883 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775（总编室）

82562903（教材售后服务热线）

68948351（其他图书服务热线）

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 338 千字

版 次 / 2014 年 4 月第 2 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

定 价 / 38.00 元

责任编辑 / 王艳丽

文案编辑 / 王艳丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前言 (第2版)

Preface

“电子测量技术”或者“电子测量仪器”作为一门专业基础课程，并不能解决对电子测量仪器的熟练使用。电子测量仪器的使用并不仅仅是单纯的操作，这其中还会遇到测量方法，大量的感性认识，仪器的工作原理，以及一些工程上的知识和常识，在一般的教科书中很难体现这些内容。这里，我们从应用型高等教育的特点出发，将电子测量技术与仪器这门课程作为一种技能性的课程来处理，加大使用和应用的内容，从具体的电子测量仪器去理解和掌握某种电参数的测量原理和测量方法，掌握具体的电子测量仪器的基本工作原理和操作原理，以及在测量过程中的一系列的具体现象和问题的处理方法。经过本课程的学习和训练，要求能够熟练地掌握具体的电子测量仪器的操作使用，掌握相应的操作原理，并且能够从中积累感性认识，丰富处理经验，提高分析和判断能力。所以，本课程不宜采用纯粹的课堂教学，而必须进入实验室，从实际操作和各种现场的现象中去学习。

电子测量仪器种类繁多，并且还有大量的专用电子测量仪器，全面介绍和学习显然是不可能的。但是，电子测量，就方法而言，有诸多相通和相同的地方，只要对几种基本的电子测量仪器的工作原理、操作方法和测量方法能够掌握，就比较容易理解和学会其他的电子测量仪器的使用。所以，在本书中我们也只是介绍几种基本的电子测量仪器的工作原理、操作方法和相应的测量方法。

电子测量技术与仪器课程是一种理论性和技能性相结合的课程，必须配合相应的大量的实践操作训练，而不可将之当作一门纯粹的理论课程来对待，必须突出实践环节，突出应用，突出对测量过程中的具体现象的理解和了解，应该注重实践中的感性认识，注重经验的积累，注重数量级的概念，注重测量范围和相关误差量级，即注重理论教学中所欠缺的和忽略的而在工程实践中却会常常发生的物理现象的相关知识的积累。缩短理论和实践的距离，突出应用型高等教育的特点。

本书由多个学校的教师共同编写，是教师从事教学、科研和实践经验的总结，是一本适合应用型高等教育的教材。

本书第1、2章由施亚齐编写，第3、4、5、6章由王川编写，第7、8章由胡华文编写，附录由朱婷编写，全书由王川负责统稿，何琼教授主审。

在本书的编写过程中，得到了作者院校的大力支持和协助，在此，向所有关心和支持本书的各方面人士表示衷心的感谢。

由于电子测量技术的发展很快，其应用领域也在不断扩大，加之作者水平有限，时间仓促，因此，书中难免存在错误和不妥之处，恳请广大读者指正。

编 者

目录

Contents

第1章 电子测量与仪器的基础知识	(1)
1.1 电子测量的一般方法	(1)
1.1.1 静态测量与动态测量	(1)
1.1.2 直接测量、间接测量与组合测量	(1)
1.1.3 直读测量与比较测量	(2)
1.1.4 等精度测量与非等精度测量	(2)
1.1.5 选择测量方法的原则	(2)
1.2 电子测量仪器的分类与操作安全	(2)
1.2.1 电子测量仪器的分类	(2)
1.2.2 电子测量仪器的操作安全	(3)
1.3 测量误差的来源及表达方法	(4)
1.3.1 测量误差的定义	(4)
1.3.2 测量误差的来源	(4)
1.3.3 测量误差的表示方法	(5)
1.3.4 测量误差的分类	(6)
1.3.5 精密度、正确度和准确度	(6)
1.4 测量结果的表示及数据处理	(7)
1.4.1 测量结果的表示	(7)
1.4.2 有效数字的处理	(8)
本章小结	(9)
第2章 测量用信号发生器	(11)
2.1 信号发生器的分类及指标	(11)
2.1.1 按正弦信号频段分类	(11)
2.1.2 正弦信号发生器的主要质量指标	(11)
2.2 低频信号发生器	(12)
2.2.1 低频信号发生器的工作原理	(12)

2.2.2 低频信号发生器的主要性能指标与要求	(16)
2.2.3 低频信号发生器的使用	(17)
2.3 高频信号发生器	(20)
2.3.1 基本组成和工作原理	(21)
2.3.2 高频信号发生器的性能及使用方法	(22)
2.4 函数信号发生器	(24)
2.4.1 函数信号发生器的工作原理	(24)
2.4.2 函数信号发生器的应用	(25)
2.5 合成信号发生器	(30)
2.5.1 直接合成法	(31)
2.5.2 间接合成法	(31)
本章小结	(32)

第3章 电子电压表..... (34)

3.1 交流电压的表征	(34)
3.1.1 交流电压的表征概述	(34)
3.1.2 常用的电压测量仪器	(36)
3.2 模拟电子电压表的工作原理	(37)
3.2.1 模拟式交流电压表的类型	(37)
3.2.2 电子电压表的检波器	(39)
3.2.3 电子电压表的放大器	(42)
3.3 模拟电子电压表的性能及使用方法	(42)
3.3.1 YB2173 型晶体管毫伏表	(42)
3.3.2 YB2174 型超高频电压表	(44)
3.3.3 电压表的波形误差	(46)
3.3.4 均值电压表的定度系数和波形误差	(46)
3.3.5 峰值电压表的定度系数和波形误差	(47)
3.3.6 有效值电压表的定度系数和波形误差	(48)
3.3.7 三种电子电压表的比较	(48)
3.4 数字电压表	(49)
3.4.1 数字电压表的主要技术指标	(49)
3.4.2 数字电压表的组成原理	(50)
3.4.3 YB2173B型数字交流毫伏表.....	(54)
3.5 数字万用表	(56)
3.5.1 数字万用表的主要特点	(56)
3.5.2 数字万用表的基本组成	(57)
3.5.3 9804 型数字万用表	(57)

3.6 电压的测量	(63)
3.6.1 直流电压的测量	(63)
3.6.2 交流电压的测量	(64)
3.6.3 电平的测量	(65)
3.6.4 噪声的测量	(66)
3.6.5 电压测量中的几个问题	(66)
本章小结	(67)
第4章 电子示波器	(69)
4.1 波形的显示和观测	(69)
4.1.1 波形观测的基本操作方法	(69)
4.1.2 示波管的特性	(71)
4.1.3 波形的形成过程	(74)
4.1.4 脉冲波形的观察方法	(78)
4.2 通用示波器的组成与控制键	(80)
4.2.1 通用示波器的组成	(80)
4.2.2 垂直通道及控制键	(81)
4.2.3 水平通道及控制键	(83)
4.2.4 示波器的技术指标及其作用	(86)
4.3 两个波形的同屏显示	(88)
4.3.1 双踪显示原理	(88)
4.3.2 双扫描显示原理	(90)
4.4 波形参数的测量	(94)
4.4.1 测量前的自检	(94)
4.4.2 电压的测量	(96)
4.4.3 时间的测量	(97)
4.4.4 相位差的测量	(98)
4.4.5 调幅系数的测量	(99)
4.4.6 运用李沙育图形法的测量	(100)
4.5 取样示波器	(101)
4.5.1 取样示波器的基本原理	(101)
4.5.2 取样示波器的基本组成	(103)
4.5.3 取样示波器的主要参数	(104)
4.6 数字存储示波器	(104)
4.6.1 数字存储示波器的基本原理	(104)
4.6.2 YB54100 型示波器的性能简介	(107)
4.6.3 YB54100 型示波器的使用	(109)
本章小结	(111)

第5章 扫频测量仪器	(116)
5.1 频率特性的测量	(116)
5.1.1 静态幅频特性曲线及其测量	(116)
5.1.2 动态幅频特性的图示方法	(117)
5.1.3 扫频测量的信号源	(120)
5.2 频率特性测试仪的组成与控制键	(122)
5.2.1 频率特性测试仪的基本组成	(122)
5.2.2 频标信号产生电路	(124)
5.2.3 BT3C 型扫频仪的控制键	(125)
5.3 扫频仪的使用	(127)
5.3.1 扫频仪的自检	(127)
5.3.2 增益的测量	(129)
5.3.3 通频带的测量	(130)
5.4 数字频率特性测试仪	(131)
5.4.1 数字频率特性测试仪的工作原理	(131)
5.4.2 SA1030 型数字频率特性测试仪的使用方法	(132)
5.5 频谱分析仪的基本功能及使用	(134)
5.5.1 通用频谱分析仪的基本功能	(134)
5.5.2 通用频谱分析仪的基本应用	(135)
5.5.3 其他类型的频谱分析仪	(142)
本章小结	(144)
第6章 电子计数器	(145)
6.1 电子计数器概述	(145)
6.1.1 电子计数器的分类	(145)
6.1.2 电子计数器的基本组成	(145)
6.1.3 电子计数器的主要技术指标	(146)
6.2 通用电子计数器	(147)
6.2.1 测量频率	(147)
6.2.2 测量周期	(148)
6.2.3 测量频率比	(149)
6.2.4 累加计数	(150)
6.2.5 测量时间间隔	(150)
6.2.6 自检	(151)
6.3 电子计数器的测量误差	(152)
6.3.1 测量误差的来源	(152)
6.3.2 测量误差的分析	(154)
6.3.3 频率扩展技术	(154)

6.4 通用计数器实例	(155)
6.4.1 NFC-100 型多功能电子计数器	(155)
6.4.2 其他常用型多功能电子计数器	(158)
本章小结	(160)
第7章 电子元件参数测量	(161)
7.1 电桥法测量电阻、电感、电容	(161)
7.1.1 交、直流电桥	(161)
7.1.2 电阻的测量	(165)
7.1.3 电容的测量	(167)
7.1.4 电感的测量	(169)
7.2 谐振法测量元件参数	(171)
7.2.1 电容量的测量	(171)
7.2.2 电感量的测量	(173)
7.2.3 品质因数(Q 值)的测量	(174)
7.2.4 Q 表及其使用	(174)
7.3 阻抗的数字化测量方法	(182)
7.3.1 电感-电压变换器	(182)
7.3.2 电容-电压变换器	(183)
本章小结	(184)
第8章 智能仪器技术	(185)
8.1 自动测试系统	(186)
8.1.1 自动测试系统概述	(186)
8.1.2 自动测试系统的总线	(187)
8.1.3 自动测试系统实例——电路板自动测试系统	(190)
8.2 虚拟仪器	(192)
8.2.1 虚拟仪器概述	(192)
8.2.2 虚拟仪器的架构	(193)
8.2.3 基于 LabVIEW 的虚拟仪器设计实例	(196)
8.3 智能数字电压表	(197)
8.3.1 智能数字电压表的结构	(198)
8.3.2 智能型 DVM 的分类	(199)
8.3.3 智能型 DVM 的功能特点与主要技术指标	(200)
本章小结	(202)
附录 实训项目	(203)
实训项目 1 信号发生器的使用	(203)

实训项目 2 波形测量 1 (205)

实训项目 3 波形测量 2 (207)

实训项目 4 频率测量 1 (210)

实训项目 5 频率测量 2 (212)

实训项目 6 电压测量 (214)

实训项目 7 阻抗测量 (217)

参考文献 (220)

第 1 章

电子测量与仪器的基础知识

学习要求

通过本章的学习了解电子测量的方法、电子测量仪器的分类与主要指标，测量结果的表示，测量数据的处理，会灵活表示电子测量误差，会对有效数字进行处理。

学习要点

电子测量方法，测量误差的表示方法与分类，有效数字的处理。

1.1 电子测量的一般方法

1.1.1 静态测量与动态测量

静态测量是对在一段时间间隔内其量值可以为不变的被测量进行的测量。动态测量是为确定随时间变化的被测量瞬时值进行的测量。

1.1.2 直接测量、间接测量与组合测量

利用测量工具（测量仪器），并按一定操作顺序，将被测量与测量工具所提供的标准量进行比较，并直接读出测量结果称为直接测量。其特点是：如果测量工具准确度得以保证，其测量的精度会很高。

将一个被测量转化为若干个与之有一定函数关系的可直接测得的量，然后运用函数求得被测量，这种测量方法称为间接测量。例如，通过测量导体电阻、横截面积、长度才能确定导体的电阻率。其特点是：测量的精度不仅取决于各种仪器仪表的准确度，还取决于线路的连接方法以及计算公式的科学性。所以要尽量使用直接测量方法，只有在不能直接测量的情况下，才考虑间接测量。

如有若干个待求量，把这些待求量用不同的方式组合（或改变测量条件来获得这种不同的组合）进行测量（直接或间接），并把测量值与待求量之间的函数关系列成方程组，只要方程式的数量大于待求量的个数，就可以求出各待求量的数值，这种方法叫组合测量或

联立测量。

组合测量的测量过程比较复杂，费时较多，往往采用的测量方法与被测对象有较多关联，因此一般用在不能单独进行直接测量或间接测量的场合。

1.1.3 直读测量与比较测量

直读测量法是直接从仪器仪表的刻度上读出测量结果的方法。如一般用电压表测量电压，用频率计测量信号的频率等都是直读测量法。这种方法是直接根据仪器仪表的读数来判断被测量的大小，简单方便，因而被广泛采用。

比较测量法是在测量过程中，通过被测量与标准量直接进行比较而获得测量结果的方法。电桥就是典型的例子，它是利用标准电阻（电容、电感）对被测量进行测量。

1.1.4 等精度测量与非等精度测量

等精度测量是指在相同的测量条件下对同一物理量进行的多次测量。例如，同一个人，用同样的方法，使用同样的仪器对同一待测量进行多次重复测量。尽管每次的测量值可能不相等，但每次测量的可靠性都是一样的，没有理由认为哪一次（或几次）的测量值更可靠或更不可靠。

非等精度测量是指用不同的测量条件（如使用仪器的不同、测量方法的改变或者测试人员的变更）对同一物理量的多次测量。非等精度测量的每次测量结果的可靠性都不同。

实际上，一切物质都在运动中，没有绝对不变的人和事物，只要其变化对实验的影响很小乃至可以忽略，就可以认为是等精度测量。以后说到对一个量的多次测量，如无另加说明，都是指等精度测量。

1.1.5 选择测量方法的原则

采用正确的测量方法，才可以得到比较精确的测量结果，若测量方法不正确，则会出现测量数据不准确或错误的结果，甚至会出现损坏测量仪器或损坏被测设备和元器件等现象。例如用万用表的 $R \times 1$ 挡测量小功率晶体管的发射结电阻时，由于仪表的内阻很小，使晶体管基极注入的电流过大，结果三极管尚未使用就可能会在测试过程中被损坏。

在选择测量方法时，应首先考虑被测量本身的特性、所处的环境条件、所需要的精确程度以及所具有的测量设备等因素。综合考虑后正确地选择测量方法、测量设备并编制合理的测量顺序，才能顺利地得到正确的测量结果。

1.2 电子测量仪器的分类与操作安全

1.2.1 电子测量仪器的分类

测量中用到的各种电子仪表、电子仪器及辅助设备统称为电子测量仪器。电子测量仪器种类繁多，主要包括通用仪器和专用仪器两大类。专用仪器是为特定目的专门设计制作的，适于特定对象的测量。通用仪器是指应用面广、灵活性好的测量仪器。

按照仪器功能,通用电子测量仪器分为以下几类。

1. 信号发生器

信号发生器(信号源)是在电子测量中提供符合一定技术要求的电信号的仪器。如正弦信号发生器、脉冲信号发生器、函数信号发生器、随机信号发生器等。

2. 电压测量仪器

电压测量仪器是用于测量信号电压的仪器。如低频毫伏表、高频毫伏表、数字电压表等。

3. 示波器

示波器是用于显示信号波形的仪器。如通用示波器、取样示波器、记忆存储示波器等。

4. 频率测量仪器

频率测量仪器是用于测量信号频率、周期等的仪器。如指针式频率计、数字式频率计等。

5. 电路参数测量仪器

电路参数测量仪器是用于测量电阻、电感、晶体管放大倍数等电路参数的仪器。如电桥、 Q 表、晶体管特性图示仪等。

6. 信号分析仪器

信号分析仪器是用于测量信号非线性失真度、信号频谱特性等的仪器。如失真度测试仪、频谱仪等。

7. 模拟电路特性测试仪

模拟电路特性测试仪是用于分析模拟电路幅频特性、噪声特性等的仪器。如扫频仪、噪声系数测试仪等。

8. 数字电路特性测试仪

数字电路特性测试仪是用于分析数字电路逻辑特性等的仪器。如逻辑分析仪、特征分析仪等,是数字电路测量不可缺少的仪器。

测量时应根据测量要求,参考被测量与测量仪器的有关指标,结合现有测量条件及经济状况,尽量选用功能相符、使用方便的仪器。

1.2.2 电子测量仪器的操作安全

要正确地使用仪器,必须要了解仪器中的一般规则和常识,如果不遵守这些规则,并不是一定会导致错误,而是只在某些场合或某些情况下才会得到明显的错误结果。这也往往使有些人误认为这些测量中的规则或常识似乎不是那么严格或那么有用,尤其是对于实践经验不足者更是如此。下面就一般的仪器使用中的操作安全注意事项进行说明。

在仪器的使用中,不正确的操作可能造成对仪器的损坏,而且,这种情况的发生有时似乎是莫名其妙的。对于信号源一类的仪器,不能随便将其输出端短路。尽管对于信号源的电压输出端来说,将其输出端短路一般并不会损坏仪器,但是也应该养成不随便将输出端短路的习惯。

对于实验室里使用的直流稳压电源,一般都具有保护电路,短时间的短路通常并不会损坏仪器。但是,即使没有损坏,由于短路时,稳压电源内部处于一种高功耗状态,时间长了也可能受不了,尤其是散热不良时更是如此。而对于功率输出的信号源或信号源的功率输出

端子，更不能将其输出端短路，否则就意味着仪器的损坏。在使用中，不仅不能将其输出端短路，而且，也不应该过载使用（即被测电路的阻抗过低）。

在稳压电源的使用中，其馈线就是一般的导线。但是，如果用稳压电源给高频电路供电，由于较长的导线在高频上呈现出较大的感抗，这就会导致电源内阻增加（稳压电源的高频内阻本来就比低频内阻大得多，其内阻指标是指低频内阻），为了降低馈线对电源的实际内阻的影响，往往需要在被测电路的电源端并联上小容量的去耦电容。这对于要求稍高的电路（例如较高频率稳定度的振荡器）是必需的。

对于毫伏表或示波器一类的仪器，要注意耦合到其输入端上的电压不可超过其最大允许值。这类仪器一般并不会因此而损坏，因为它们的输入端的最大允许值往往较大，很少有耦合到其输入端的电压达到超过其输入端最大允许值的情况。但是对于频率计就不同了，很多频率计能够工作在 1 000 MHz 的频率上，而为了达到这么宽的频率范围，其前级电路放大器中所使用的晶体管必须是高频小功率管，它的耐压值不大。而由于某种原因要工作在如此高的频率上，故不容易在其输入端设置保护电路（这会导致其工作频率下降），因此只要在其输入端馈入稍大的电压（例如十几伏甚至更低），就极易导致前级电路中晶体管的损坏，而造成仪器的损坏。

1.3 测量误差的来源及表达方法

1.3.1 测量误差的定义

测量的目的：获得被测量的真值。

真值：在一定的时间和空间环境条件下，被测量本身所具有的真实数值。

测量误差：测量值与真值之间的差异。

所有测量结果都有误差。研究误差的目的，就是要正确认识误差的性质，分析误差产生的原因及其发生规律，寻求减小或消除测量误差的方法，识别出测量结果中存在的各种性质的误差，学会数据处理的方法，使测量结果更接近于真值。

1.3.2 测量误差的来源

（1）仪器误差：由于测量仪器及其附件的设计、制造、检定等不完善，以及仪器使用过程中老化、磨损、疲劳等因素而使仪器带有的误差。

（2）影响误差：由于各种环境因素（温度、湿度、振动、电源电压、电磁场等）与测量要求的条件不一致而引起的误差。

（3）理论误差和方法误差：由于测量原理、近似公式、测量方法不合理而造成的误差。

（4）人身误差：由于测量人员感官的分辨能力、反应速度、视觉疲劳、固有习惯、缺乏责任心等原因，以及在测量中操作不当、判断出错或数据读取疏失等而引起的误差。

（5）测量对象变化误差：测量过程中由于测量对象变化而使得测量值不准确，如引起动态误差等。

1.3.3 测量误差的表示方法

测量误差有绝对误差和相对误差两种表示方法。

1. 绝对误差

(1) 定义：由测量所得到的被测量值 x 与其真值 A_0 之差，称为绝对误差，即：

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

式中， Δx 为绝对误差。因此 Δx 既有大小，又有符号和量纲。

式 (1-1) 中的真值 A_0 是一个理想的概念，一般来说是无法得到的，所以实际应用中通常用十分接近被测量真值的实际值 A 来代替真值 A_0 。实际值也称为约定真值，它是根据测量误差的要求，用高一级以上的测量仪器或计量器具测量所得值作为约定真值，即实际值 A 。因而绝对误差更有实际意义的定义是：

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

绝对误差表明了被测量的测量值与被测量的实际值间的偏离程度和方向。

(2) 修正值：与绝对误差的绝对值大小相等，但符号相反的量值，称为修正值，用 C 表示，即：

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

测量仪器的修正值可以通过上一级标准的检定给出，修正值可以是数值表格、曲线或函数表达式等。在日常测量中，利用其仪器的修正值 C 和该已检仪器的示值，可求得被测量的实际值，即：

$$A = x + C \quad (1-4)$$

2. 相对误差

绝对误差虽然可以说明测量结果偏离实际值的情况，但不能完全科学地说明测量的质量（测量结果的准确程度），不能评估整个测量结果的影响。因为一个量的准确程度，不仅与它的绝对误差的大小有关，而且与这个量本身的大小有关。当绝对误差相同时，这个量本身的绝对值越大，则准确程度相对地越高，因此测量的准确程度需用误差的相对值来说明。

1) 相对误差 γ 、实际相对误差 γ_A 、示值相对误差 γ_x

绝对误差与被测量的真值之比，称为相对误差（或称为相对真误差），用 γ 表示，即：

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

相对误差只有大小和符号，没有单位。由于真值是不能确切得到的，通常用实际值 A 代替真值来表示相对误差为实际相对误差，用 γ_A 表示，即：

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

在误差较小、要求不太严格的场合，也可以用测量值 x 代替实际值 A ，称为示值相对误差，即：

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-7)$$

2) 满度相对误差（引用相对误差） γ_m

实际中，也常用测量仪器在一个量程范围内出现的最大绝对误差 Δx_m 与该量程的满刻

度值 (该量程的上限值与下限值之差) x_m 之比来表示相对误差, 称为满度相对误差 (或称引用相对误差), 用 γ_m 表示为

$$\gamma = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \quad (1-8)$$

由式 (1-8) 可知, 满度相对误差实际上给出了仪表各量程内绝对误差的最大值。

电工仪表就是按引用误差 γ_{mm} 的值进行分级的。 γ_{mm} 是仪表在工作条件下不应超过的最大引用相对误差, 它反映了该仪表的综合误差大小。我国电工仪表共分 7 级: 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 及 5.0。如果仪表为 S 级, 则说明该仪表的最大引用误差不超过 S%。

因此, 在使用这类仪表测量时, 应选择适当的量程, 使示值尽可能接近于满度值, 指针最好能偏转在不小于满度值 2/3 以上的区域。

3) 容许误差

容许误差是指在某一测量范围内的任一测量点上的最大允许误差。是对给定的测量仪器、规范、规程等所允许的误差极限值。

1.3.4 测量误差的分类

根据测量误差的性质, 测量误差可分为随机误差、系统误差、粗大误差 3 类。

(1) 系统误差: 在同一测量条件下, 多次重复测量同一量时, 测量误差的绝对值和符号都保持不变, 或在测量条件改变时按一定规律变化的误差, 称为系统误差。系统误差是由固定不变的或按确定规律变化的因素造成的。

(2) 随机误差: 在同一测量条件下 (指在测量环境、测量人员、测量技术和测量仪器都相同的条件下), 多次重复测量同一量值时 (等精度测量), 每次测量误差的绝对值和符号都以不可预知的方式变化的误差, 称为随机误差。

(3) 粗大误差: 粗大误差是一种显然与实际值不符的误差, 又称疏失误差。产生粗大误差的原因有以下几点。

①测量操作疏忽和失误。如测错、读错、记错以及实验条件未达到预定的要求而匆忙实验等。

②测量方法不当或错误。如用普通万用表电压挡直接测高内阻电源的开路电压, 用普通万用表交流电压挡测量高频交流信号的幅值等。

③测量环境条件的突然变化。如电源电压突然增高或降低、雷电干扰、机械冲击等引起测量仪器示值的剧烈变化等。

含有粗大误差的测量值称为坏值或异常值, 在数据处理时, 应剔除掉。

1.3.5 精密度、正确度和准确度

即使是对同一物理量进行等精度测量, 其测量结果也可能有很大的不同, 图 1-1 显示了打靶过程中弹点的 3 种典型分布。此处引入精密度、正确度和准确度 3 个概念, 在一些文献中有时会用这 3 个概念来定性描述测量结果。

精密度 (precision): 是对测量结果的分散性或重复性的评价, 反映随机误差大小的程度。精密度高即测量结果的重复性好, 测量值密集分散性小, 随机误差小, 但精密度一词已不常用。