

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

自动检测与传感器技术

赵巧娥 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

自动检测与传感器技术

主 编 赵巧娥
编 写 余 剑 贾培亮
主 审 李守成



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十五”规划教材。

全书共分九章,主要内容包括自动检测技术的基本知识,检测的基本方法、误差处理的基本概念及检测系统的基本特性,常用的电参数型、电量型传感器和其他传感器的工作原理及应用,智能化测试系统,含有微机化测试系统的设计及虚拟仪器,以及系统的构成、设计与分析,同时对检测系统的抗干扰技术也做了详细的叙述。

本书可作为普通高等学校自动化、电气工程及其自动化专业及相关专业的本科教材,也可作为成人教育、高职高专教育教材,还可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测与传感器技术/赵巧娥主编. —北京:中国电力出版社, 2005

普通高等教育“十五”规划教材

ISBN 7-5083-2087-5

I. 自... II. 赵... III. ①自动检测—高等学校—教材②传感器—高等学校—教材 IV. ①TP274②TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 005067 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 3 月第一版 2005 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.5 印张 213 千字

印数 0001—4000 册 定价 15.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富的教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专业人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些，都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其他已出版的各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有本学科（专业）的特色，而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同，同一门课程可以有多本教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审，推

荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要不断完善。因此，在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416237）

中国电力教育协会

前言

自动检测技术涉及多门学科知识,并且在工业生产和科学研究的各个领域得到了广泛的应用。本书以高等学校自动检测与传感器技术专业应用型人才的培养为目的而编写的。在内容的组织上,注意了尽量反映检测技术领域中的新内容,如微机化测试系统的设计、虚拟仪器等内容;在内容的叙述上,力求达到深入浅出,注重概念的阐述,避免复杂的数学推导。本书注重应用,在介绍完每一类传感器的结构工作原理之后,都配有此类技术和器件的应用实例,为读者学以致用打下坚实的基础。

本书较为翔实地介绍了检测理论的基础、各类传感器的工作原理与特性、微机化自动检测系统的设计及自动检测的抗干扰技术等内容。传统观念的传感器只是获取信号的手段,仅具有信号检测的功能,而它的工作原理、工艺、结构、材料等涉及多门学科。若按输出变量分类,则可分为输出参数为 R 、 L 、 C 、 M 的电参数型和输出参数为电压、电流、电荷的电量型。它们的典型输出变量正是电测试技术的测量对象和基础。如此理解和定位有利于读者掌握传感器的原理和使用。传感器与计算机深层次有机地结合,传感器与仪器的界线正在消失,智能化传感器就正好说明这一点。它已不再是传统观念的只具有信号检测功能的传感器,它还具有信号分析与处理及通信功能。

本书第二、八、九章由山西大学工程学院赵巧娥编写,第四、六、七章由太原理工大学阳泉分院余剑编写,第一、三、五章由长治职业技术学院贾培亮编写。全书由赵巧娥主编并统稿。

本书由北京交通大学李守成教授主审,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此谨表示衷心的感谢。在编写的过程中参阅了部分兄弟院校的教材及国内外文献资料,对原作者也一并致谢。

由于编者的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳切希望使用本书的师生、同行等广大读者予以批评指正。

编者

目 录

序 前言

第一篇 自动检测技术的基本知识

第一章 检测技术的基本概念	1
小结	3
思考题与习题	3
第二章 检测的基本方法	4
第一节 直接测量、间接测量和组合测量	4
第二节 偏差式测量、零位式测量、微差式测量	5
第三节 时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量	6
第四节 检测方法的选择原则	6
小结	7
思考题与习题	7
第三章 测量误差及其分类	8
第一节 测量误差的名词术语	8
第二节 测量误差的分类	9
第三节 误差的处理	13
第四节 测量系统的基本特性	14
小结	17
思考题与习题	18

第二篇 传感器技术

第四章 电参数型传感器	20
第一节 电阻应变式传感器	20
第二节 电感式传感器	27
第三节 电涡流式传感器	34
第四节 电容式传感器	41
小结	46
思考题与习题	48
第五章 电量型传感器	50

第一节 热电式传感器	50
第二节 光电式传感器	56
第三节 压电式传感器	66
小结	71
思考题与习题	72
第六章 其他传感器	73
第一节 气敏传感器	73
第二节 湿敏传感器	77
第三节 光纤传感器	85
第四节 超声波传感器	88
第五节 集成化传感器和智能传感器	90
第六节 传感器的发展趋势	92
小结	93
思考题与习题	94

第三篇 自动检测系统

第七章 自动检测系统的结构和设计	95
第一节 系统的基本构成与功能	95
第二节 微处理机系统及其性能的确定	98
第三节 微机化系统设计的一般原则	99
第四节 微机化测试系统举例	101
小结	108
思考题与习题	109
第八章 虚拟仪器	110
第一节 虚拟仪器的功能与构成	110
第二节 测量与虚拟仪器测量功能的设计基础	112
小结	116
思考题与习题	116
第九章 抗干扰技术	117
第一节 噪声干扰的形成	117
第二节 硬件抗干扰技术	121
第三节 软件抗干扰技术	135
小结	136
思考题与习题	137
附录 中英名词对照	138
参考文献	141

第一篇 自动检测技术的基本知识

当今社会是一个信息社会,时时处处充满着大量表征客观世界万物时空特性的信息。人们为了达到某些特定的目的,总希望从纷繁众多的信息中挑选出自己所需要的信息加以测量与分析。客观世界的信息虽然很多,但一般可分为电量与非电量两种。电量可以借助于变送器仪器仪表加以测量,但诸如温度、湿度、速度、位移、流量等非电量却难以直接进行测量,必须通过一定的方法,借助于必要的仪器设备加以检测,从而达到调整工艺参数、控制加工质量等目的。概括地讲,检测就是利用各种物理特性,采集客观世界的有关非电量信息,并加以测量赋予定性或定量结果的过程。能够自动完成整个检测处理过程的技术称为自动检测技术。

第一章 检测技术的基本概念

一、检测技术

检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换以及信号处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术。

从信息科学的角度考察,检测技术的任务是寻找与自然信息具有对应关系的种种表现形式的信号,以及确定两者间的定性、定量关系;从反映某一信息的多种信号表现中挑选出所处条件下最为合适的表现形式,以及寻求采集、变换、处理、传输、存储、显示等的最佳方法和相应的设备。

信息采集是指从自然界诸多被检查与被测量量中提取有用的信息。

信息变换是将所提取的有用信息进行电量形式、幅值、功率等的转换。

视输出环节的需要,信息处理可将变换后的电信号进行数值运算、模拟量/数字量的转换等处理。

信息传输是在排除干扰的情况下,经济地、准确无误地把信息进行远、近距离的传递。

二、自动检测系统

1. 一般检测系统框图

自动检测系统是帮助完成整个检测处理过程的系统。目前,非电量的检测常常采用电测法,即先将采集到的各种非电量转换为电参数,然后再进行处理,最后将非电量值显示或记录下来。系统的组成框图如图1-1所示。

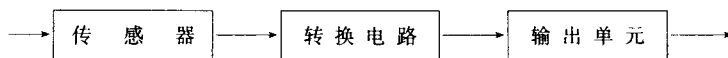


图 1-1 自动检测系统框图

在系统组成框图中,传感器处于整个检测系统中的第一环节,其作用是将采集到的被测

非电量转换为容易进行测量的电参数。例如将机床的切削速度、炉窖的温度、棉层的厚度等转换为电阻、电容、电感等电参数。

转换电路是检测系统的中间环节，其作用是对传感器输出的电量进行处理，使之成为电压或电流，或进行整流、检波，或进行放大、调制与解调，以求能更方便地进行显示或记录。

输出单元是检测系统的最后一个环节，其作用是将转换电路送来的信号显示出来或记录下来，供观测与研究。

2. 计算机控制的检测系统的框图

近些年来，随着计算机技术的发展和微处理器的广泛应用，各种物理量、化学量和生物量都有可能通过计算机进行正确及时地处理，因此自动检测系统也可如图 1-2 所示。它能完成对多点、多种随时间变化参数的快速、实时测量，并能排除噪声干扰，进行数据处理、信号分析，由测得的信号求出与研究对象有关信息的量值或给出其状态的判别。系统各组成部分的功能为：

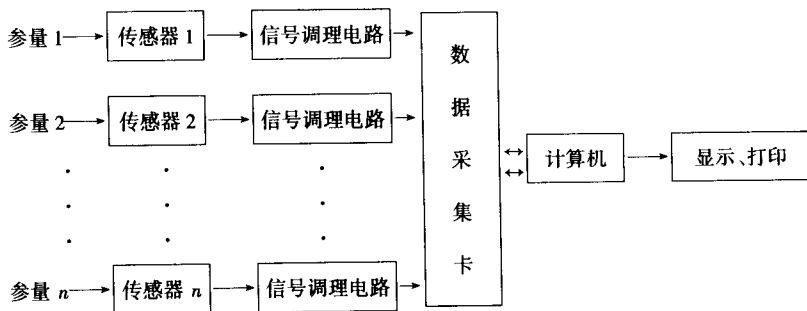


图 1-2 计算机控制的检测系统的基本型框图

(1) 传感器。它完成信号的获得，将被测参量转换成相应的可用输出信号。被测参量可以是各种非电气参量，也可以是电气参量。

(2) 信号调理电路。来自传感器的输出信号通常是含于干扰噪声中的微弱信号，因此后面配接的信号调理电路的基本作用有两个：一是放大，将信号放大到与数据采集卡中的模拟/数字转换器（A/D）相适配；二是预滤波，抑制干扰噪声信号的高频分量，将频带压缩以降低采样频率，避免产生混叠。

(3) 数据采集卡。它的主要功能有三：一是由衰减增益可控放大器，进行量程自动转换；二是由多路切换开关，完成对多点多通道信号的分时采样；三是将信号的采样值由 A/D 转换器转换为幅值离散的数字量，或由电压/频率变换器（V/F）转换为脉冲频率以适应计算机工作。

(4) 计算机。它是系统的中枢，使整个检测系统成为一个智能化的有机整体，在软件引导下按预定的程序自动进行信号采集与存储，自动进行数据的运算、分析与处理，最后以适当形式输出，显示或记录检测结果。

图 1-2 所示的基本型现代检测系统是目前以计算机为中心的现代检测系统的主要形式。需要特别指出的是,随着微电子技术的发展,将传感器与信号调理电路集成为一体化的芯片已经实现,甚至将传感器、信号调理电路、数据采集卡以及微计算机或微处理器全部系统集成在一块芯片的产品也已面世,因此传感器与仪器的界限正在消失。除基本型外,现代检测系统的结构形式还可分为专门接口型和标准通用接口型,本书不做叙述。

小 结

检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换以及信号处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术。自动检测系统是帮助完成整个检测处理过程的系统。

思考题与习题

1-1 一般检测系统是如何构成的?

1-2 计算机检测系统是如何构成的?由哪几部分构成?各起什么作用?

第二章 检测的基本方法

一个物理量的检测,可以通过不同的方法实现。检测方法选择的正确与否,直接关系到检测结果的可信赖程度,也关系到检测与控制系统的经济性和可行性。检测方法的分类形式有多种,从不同的角度出发,有不同的分类方法。下面介绍几种不同分类方法的测量方法及其选择原则。

第一节 直接测量、间接测量和组合测量

检测方法按测量手续分类有直接测量、间接测量和组合测量。

(1) 直接测量。将被测量与标准量直接比较,或用预先经标准量标定好的测量仪器或仪表进行测量,从而直接测得被测量的数值,这种测量方法称为直接测量。例如用电压表测量交流电源电压就是直接测量。直接测量的优点是测量过程简单、迅速;缺点是测量精度不很高。该方法在工程上被广泛采用。

(2) 间接测量。被测量本身不易直接测量,但可以通过与被测量有一定函数关系的其他量(一个或几个)的测量结果,求出被测量数值,这种测量方法称为间接测量。例如导线的电阻率 ρ 的测量,根据电阻 $R = \rho \frac{4l}{\pi d^2}$ 得出 $\rho = \frac{\pi d^2 R}{4l}$, 其中 l 、 d 分别表示导线的有效长度和直径。这时,只要先经过直接测量得到导线的 R 、 l 、 d 的数值,再代入 ρ 的表达式,经过计算最后得到需要的结果 ρ 值。在这种测量过程中,手续较多,花费时间较长,但与直接测量被测量相比,可以得到较高的精度。该方法多被用于科学实验中实验室的测量,工程中也有应用。

(3) 组合测量。如果被测量有多个,而且被测量又与某些可以通过直接或间接测量得到结果的其他量存在一定的函数关系,则可先测量这几个量,再求解函数关系组成的联立方程组,从而得到多个被测量的数值,这种测量方法称为组合测量。显然这是一种兼用直接测量和间接测量的方法。例如在研究导体的电阻 R_t 随温度 t 变化的规律时,在一定的温度范围内有下列关系式

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

式中, R_{20} 、 α 、 β 为三个待定的量; R_{20} 为电阻在 20°C 时的电阻值, α 、 β 为电阻的温度系数。依据此关系式,测量出在 t_1 、 t_2 、 t_3 三个不同的测试温度时导体的电阻 R_{t1} 、 R_{t2} 、 R_{t3} , 得联立方程组

$$\left. \begin{aligned} R_{t1} &= R_{20} + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2 \\ R_{t2} &= R_{20} + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2 \\ R_{t3} &= R_{20} + \alpha(t_3 - 20) + \beta(t_3 - 20)^2 \end{aligned} \right\}$$

求解此方程组即可得 R_{20} 、 α 、 β 。

上述三种测量方法,直接测量快捷简便,间接测量和组合测量相对复杂费时。间接测量和组合测量仅在缺乏直接测量仪器、不便于直接测量或直接测量涉及到其他因素较多等情况下才予采用,故多用于科学实验和一些特殊的场合。

第二节 偏差式测量、零位式测量、微差式测量

检测方法按测量方式分类有偏差式测量、零位式测量、微差式测量。

(1) 偏差式测量。能够直接在仪器、仪表上读取读数的测量方法称为直接测量。应用这种方法进行测量时,标准量具没有装在仪表内,而是事先用标准量具对仪表刻度进行校准;在测量时输入被测量,按照仪表指针在标度尺上的示值,决定被测量的数值。它是以间接方式实现被测量与标准量的比较而得到被测量数值,又称偏差式测量。例如,用磁电式仪表测量电路中某电气元件通过的电流及其两端的电压就属于偏差式测量。该测量方法过程比较简单、迅速,但测量结果的精度低,因此广泛用于工程测量。

(2) 零位式测量。在测量过程中,用指零仪表的零位指示测量系统的平衡状态,在测量系统达到平衡状态时,用已知的基准量决定被测位置量的测量方法,称为零位式测量法。应用这种方法进行测量时,标准量具装在仪表内,在测量过程中标准量具直接与被测量相比较,调整标准量,一直到指零仪表回零,此时被测量与标准量相等。例如,惠斯登电桥测量电阻(或电感、电容)就是这种方法的一个典型例子,如图 2-1 所示。当电桥平衡时有

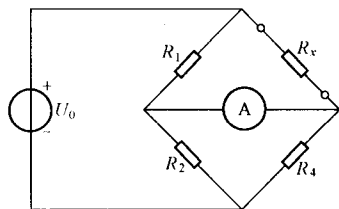


图 2-1 惠斯登电桥测量电阻

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_4 \quad (2-1)$$

通常是先大致调整比率 $\frac{R_1}{R_2}$, 再调整标准电阻 R_4 , 直至电桥平衡。充当零指示器的检流计指针为零时, 即可根据式 (2-1) 由比率和 R_4 值得到被测电阻 R_x 的值。

只要零指示器的灵敏度足够高, 零位式测量法的测量准确度几乎等于标准量的准确度, 因而测量准确度很高, 所以常用在实验室作为精密测量的一种方法。但由于测量过程中为了获得平衡状态, 需要进行反复调节, 即使采用一些自动平衡技术, 检测速度仍然较慢, 这是其不足之处。

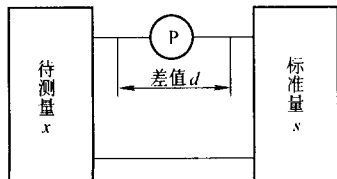


图 2-2 微差式测量法

(3) 微差式测量。偏差式测量和零位式测量相结合即构成微差式测量。它通过测量待测量与标准量之差(通常该差值很小)来得到待测量值, 如图 2-2 所示。图中 P 为量程不大但灵敏度很高的偏差式仪表, 它指示的是待测量 x 与标准量 s 之间的差值 $d = x - s$, 即 $x = s + d$ 。只要 d 足够小, 这种方法测量的准确度基本上取决于标准量的准确度;

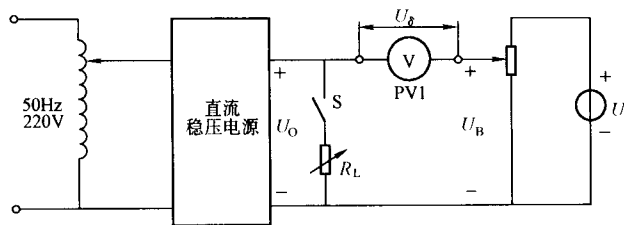


图 2-3 直流稳压电源输出电压稳定度的测量原理

有微小起伏（常用波纹系数表示起伏大小），直流稳压电源输出电压稳定度的测量即为微差式测量，其原理如图 2-3 所示。图中 PV1 为量程不大但灵敏度很高的电压表， U_B 表示由标准电源 U_s 获得的标准电压， U_0 为直流稳压电源的实际输出电压， U_g 是由 PV2 电压表测得的 U_0 与 U_B 的差值，即输出电压随市电波动和负荷变化而产生的微小起伏。

同时又省去了零位式测量中反复调节标准量大小以求平衡的步骤。因此，它兼有偏差式测量的测量速度快和零位式测量的准确度高的优点。微差式测量除在实验室中用作精密测量外，还广泛应用于生产线控制参数的测量上。例如直流稳压电源的输出电压 U_0 会随着市电的波动和负载的变化而

第三节 时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量

测量方法按被测量的性质分类有时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量。

(1) 时域测量，也称为瞬态测量，主要测量被测量随时间的变化规律。如用示波器观察脉冲信号的上升沿、下降沿、平顶降落等脉冲数以及动态电路的暂态过程等。

(2) 频域测量，也称为稳态测量，主要目的是获取待测量与频率之间的关系。如用频谱分析仪分析测量放大器的幅频特性、相频特性等。

(3) 数据域测量，也称为逻辑量测量，主要是用逻辑分析仪等设备对数字量或电路的逻辑状态进行测量。数据域测量可以同时观察多条数据通道上的逻辑状态，或者显示某条数据线上的时序波形，还可以借助计算机分析大规模集成电路芯片的逻辑功能等。随着微电子技术发展的需要，数据域测量及其测量智能化、自动化显得越来越重要。

(4) 随机测量，也称为统计测量，主要是对各类噪声信号进行动态测量和统计分析。

除了上述几种常见的分类方法外，还有其他一些分类方法。如按照对测量精度的要求，可以分为精密测量和工程测量；按照测量时测量者对测量过程的干预程度分为自动测量和非自动测量；按照被测量与测量结果获取地点的关系分为本地（原位）测量和远地测量（遥测）；按照被测量的属性分为电量测量和非电量测量等。

第四节 检测方法的选择原则

在选择测量方法时，要综合考虑下列主要因素：

(1) 被测量本身的特点。如按照被测量的性质可以分为时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量四种，被测量的性质不同，采用的测量仪器和测量方法当然不同。又如对被测对象的情况要了解清楚，被测参数是否线性，数量级如何，对波形和频率有何要求，对测量

过程的稳定性有无要求,有无抗干扰要求、其他要求等。

(2) 测量所得的精确度和灵敏度。工程测量和精密测量对此二者的要求有所不同,要注意选择仪器仪表的准确度等级,还要选择测量误差满足要求的测量技术。如果属于精密测量,还要按照误差理论的要求进行比较严格的数据处理。

(3) 考虑测量环境影响是否符合要求,所具有的测量设备和测量技术状况,尽量减少仪器仪表对被测电路状态的影响。

(4) 测量方法简单可靠,测量原理科学,尽量减少原理性误差。

在测量之前,必须综合考虑以上诸方面的情况,恰当选择测量仪器仪表及设备,采用合适的测量方法和测量技术,才能较好的完成测量任务。

小 结

一个物理量的检测,可以通过不同的方法实现:

(1) 按测量手续分类有直接测量、间接测量、组合测量。

(2) 按测量方式分类有偏差式测量、零位式测量、微差式测量。

(3) 按被测量的性质分类有时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量。

检测方法选择原则应从被测量本身特点、测量所得精确度和灵敏度、测量环境影响等因素综合考虑。

思考题与习题

2-1 按测量方式分类有哪些测量方法?各举例说明。

第三章 测量误差及其分类

在实际测量中,由于测量设备不准确、测量方法(手段)不完善、测量程序不规范及测量环境因素的影响,都会导致测量结果或多或少地偏离被测量的真值,只能是其近似值。在测量技术中,常把标准仪表的读数作为真值。测量结果与被测量真值之差就是测量误差。测量误差是不可避免的,也就是说“一切测量都具有误差,误差自始至终存在于所有科学实验之中”,这就是误差公理。人们研究测量误差的目的,就是寻找产生误差的原因,认识误差的规律、性质,进而找出减小误差的途径与方法,以获得尽可能接近真值的测量结果。

第一节 测量误差的名词术语

1. 真值

被测量本身所具有的真正值称之为真值。真值是一个理想的概念,一般是很难知道的。

2. 指定真值

由于真值是一个理想值,一般很难知道,所以一般就用指定真值来代替真值。指定真值指由国家设立各种尽可能维持不变的实物标准(或基准),以法令的形式,指定其所体现的量值作为计量单位的指定值,指定真值也叫约定真值。

3. 实际值

实际测量中,不可能都直接与国家基准相比对,所以国家通过一系列的各级实物计量标准构成量值传递网,把国家基准所体现的计量单位逐级比较,传递到日常工作仪器或量具上去。在每一级的比较中,都以上一级标准所体现的值当作准确无误的值,通常称为实际值,也叫相对真值。

4. 标称值

测量器具上标定的数值称为标称值。如标准砝码上标出的 1kg,标准电阻上标出的 1Ω,标准信号发生器刻度盘上标出的输出正弦波的频率 100kHz 等。由于制造和测量精度不够以及环境等因素的影响,标称值并不一定等于它的真值或实际值。为此,在标出测量器具的标称值时,通常还要标出它的误差范围或准确度等级。如 XD7 型低频信号发生器频率刻度的工作误差 $\leq \pm 3\% \pm 1\text{Hz}$,如果在额定工作条件下该仪器频率刻度是 100Hz,这就是它的标称值,而实际值是 $100 \pm 100 \times 3\% \pm 1\text{Hz}$,即实际值在 96Hz 到 104Hz 之间。

5. 示值

由测量器具指示的被测量值称为测量器具的示值,也称为测量值。它包括数值和单位。一般地说,示值与测量仪表的读数有区别,读数是仪器刻度盘上直接读到的数据。例如以 100 分度表示 50mA 的电流表,当指针指在刻度盘上的 50 处时,读数是 50,而电流值是 25mA。为便于核查测量结果,在记录测量数据时,一般应记录仪表量程、读数和示值,对

于数字显示仪表,通常示值和读数是统一的。

第二节 测量误差的分类

测量误差是不可避免的。下面分别从误差的表示方法、误差出现的规律、误差的来源、被测量随时间变化的速度、使用条件及误差与被测量的关系等方面来介绍。

一、按表示方法分类

按表示方法分类有绝对误差、相对误差和容许误差。

1. 绝对误差

绝对误差定义为示值 A_x 与被测量的真值 A_0 之差,即

$$\Delta x = A_x - A_0 \quad (3-1)$$

式中 Δx ——绝对误差;

A_x ——示值,具体应用中可以用测量结果的测量值,标准量具的标称值代替;

A_0 ——被测量的真值。

前面已经提到,真值 A_0 一般无法得到,所以用实际值 A 代替被测量的真值 A_0 ,因而绝对误差更有实际意义的定义是

$$\Delta x = A_x - A \quad (3-2)$$

对于绝对误差,应注意下面几个特点:

(1) 绝对误差是有单位的量,其单位与测量值和实际值相同。

(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,若测量值较实际值大,则绝对误差为正值,反之为负值。

(3) 测量值与实际值之间的偏离程度和方向通过绝对误差来体现,但仅用绝对误差通常不能说明测量质量的好坏。例如人体体温在 37°C 左右,若测量绝对误差为 $\Delta x = \pm 1^\circ\text{C}$,这样的测量质量不能被常人所接受;而如果测量 1400°C 左右的炉温,绝对误差能保持 $\pm 1^\circ\text{C}$,这样的测量质量则令人满意。因此,为了表明测量结果的准确程度,一种方法是将测得值与绝对误差一起列出,如上面的例子可以写成 $37^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 和 $1400^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$;另一种方法就是用后面介绍的相对误差来表示。

在实际测量中,还经常用到修正值这个概念,其值与绝对误差 Δx 相等但符号相反,通常表示为

$$C = -\Delta x = A_0 - A_x \quad (3-3)$$

修正值给出的方式不一定是具体的数值,可以是一条曲线、公式或数表,利用修正值和仪表示值,可得到被测量实际值

$$A_0 = A_x + C \quad (3-4)$$

智能化仪器的优点之一就是可利用内部的微处理器存储修正值,并利用式 (3-4) 自动对被测量实际值进行修正。

2. 相对误差

相对误差用来说明测量精度的高低,又可分为: