

ZHEN
DI
XIN
XI
CAI
JI
YU
JI
LIANG
JI
SHU

国防工程管理专业培训教材

阵地信息采集与计量技术

• 李艾华 孙红辉 张振仁 编著

陕西科学技术出版社

国防工程管理专业培训教材

阵地信息采集与计量技术

李艾华 孙红辉 张振仁 编著

陕西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

阵地信息采集与计量技术/李艾华,孙红辉,张振仁
编著. —西安:陕西科学技术出版社,2006.10

国防工程管理专业培训教材

ISBN 7-5369-4147-1

I. 阵... II. ①李... ②孙... ③张... III. ①信息
技术—应用—阵地—技术培训—教材②阵地—计量方法
—技术培训—教材 IV. E951.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 118515 号

出版者 陕西科学技术出版社

西安北大街 131 号 邮编 710003

电话(029)87211894 传真(029)87218236

<http://www.snstp.com>

发行者 陕西科学技术出版社

电话(029)87212206 87260001

印刷 西安长缨印刷厂

规格 787mm×1092mm 16 开本

印张 10.75

字数 255 千字

版次 2006 年 10 月第 1 版

2006 年 10 月第 1 次印刷

定价 240.00 元(全套)

版权所有 翻印必究

《国防工程管理专业培训教材》编委会

主 任：申福生

副主任：程德志 何增路

委 员：吴 明 姚志刚 颜景栋 付崇山

李 斌 陶玖平 黄 轶 金建平

王 锐 雷新亚 张金城 李艾华

王旭东

内容简介

本书较为系统地介绍了二炮阵地温、湿度、光电、压力等环境及设备状态信息的检测技术与计量方法。全书共 11 章。第 1 章介绍信息检测技术的一些基本概念和测量方法,以及传感器的基本特性及评估方法等;第 2 至 7 章分别介绍了温度、湿度、光电、磁敏、气体、压力等信息检测的一般方法、常用传感器的工作原理、一般特性和典型应用电路等;第 8 章介绍了信息采集通用接口技术、非线性校正和系统设计方法;第 9 章介绍了现代计量的基础知识、基本概念,计量器具及其特性,量值传递与溯源,国家计量检定系统表及计量检定规程等;第 10 和 11 章分别介绍了温度、湿度计量和检定方法,以及相关仪器设备的校准方法和步骤。

本书概括了阵地环境信息、设备状态信息检测与计量的基础知识、基本原理、技术与方法,注重实用性与先进性、理论性与实践性相结合,便于自学,可供二炮阵地管理专业技术干部、管理人员学习和参考。

前 言

随着中国特色军事变革的深入推进和军事斗争准备工作的不断加强,知识和技术已成为提高部队战斗力的主导因素。当前,二炮部队正处在一个建设和发展的关键时期,不能紧跟形势、抓住机遇,培养造就大批适应部队信息化建设的高素质新型军事人才,对贯彻落实军队新时期人才战略方针,全面提升部队战斗力,确保二炮部队作战使命能否顺利达成,具有十分重要的意义。

导弹阵地作为二炮作战之依托,是构成二炮战斗力的三大要素之一,良好的阵地综合保障能力是部队作战训练和武器装备安全贮存的重要基础。阵地保障专业门类多、技术复杂,保障的整体性、技术性、协同性和程序性强,对官兵的综合素质要求高。因此,抓紧抓好阵地管理专业人才培养和强化阵地管理专业技术培训,不仅是全面落实二炮人才资源开发战略的重要措施,也为驾驭未来战争、实现打赢目标和为部队作战训练提供强有力的技术保障奠定了坚实的人才基础。

阵地管理专业技术培训教材作为阵管官兵技术培训、人才队伍建设的技术基础,其培训内容和手段必须与部队阵地设施设备技术现状和实装训练需求同步,并适度超前。20世纪90年代,二炮装备部阵管通用装备部组织工程学院为部队编写了阵地管理专业培训系列教材(全套8册),在基层人才培训工作中发挥了重要的作用。时至今日,随着二炮阵地建设和专项整治工作的不断推进,技术更新已成为阵地工程配套建设的主流,大量新设备、新技术、新工艺、新材料在阵地工程中得到了应用,先进的管理理论、维修理论和科学方法也在阵地管理中得到了充分体现。设备系统的改进和智能化、自动化程度的不断提高,对阵管官兵的专业理论水平和使用维修技能相应提出了更新、更高的要求。为适应当前迅猛的军事技术变革、贯彻新的军事训练大纲精神、积极落实二炮阵管法规要求,2004年6月,二炮装备部阵管通用装备部组织工程学院阵地管理工程教研室启动了阵地管理专业培训系列教材的修编任务。

本次编写修订是在原系列教材基础上,根据部队阵地设施设备技术现状和实装训练需求,结合有关新设备、新系统、新技术、新理论的发展,删减教材中的陈旧内容,增补反映技术装备现状的新内容,优化调整内容安排,以适应二炮阵管官兵技术培训与实装训练的实际需要。新教材将原《阵地给排水系统及设备》《坑道通风与空气调节》《制冷原理与除湿机》《柴油机构造与使用》《电机电器与电工仪表》《阵地电站》《变配电设备与运行》等7本教材的名称进行了适当调整,维持原《阵地设备管理》教材名称不变,新编《阵地技术防范系统》《阵地信息采集与计量技术》《阵地设施使用与维护》等3本教材,每本修订教材在具体内容上都进行了优化调整。除技术性的优化调整外,增加了康明斯柴油机、PLC可编程控制器、阵地管理法规、新型除湿机、阵地技术防范系统、自动检测与计量、阵地设施维护、渗漏水治理等内容。修订后的教材共11册,全面系统地涵盖并有机构成了部队阵地管理专业训练所需的主要内容,也可供其他军兵种国防工程管理单位官兵学习和参考。

该套教材内容涉及水、风、电、控、管等各个方面,涵盖了阵地维护管理的全部专业,在

继承的基础上又有创新,系统性、科学性、专业性、实践性都很强。教材以基本概念为基础,以使用维修为重点,以培养技能为目的,突出了新技术、新设备在阵地工程中的应用,并具有一定的前瞻性。教材文字规范、图文并茂、简洁易懂,实用性和操作性强,便于部队官兵学习、使用和掌握。

教材参编人员认真总结了多年来阵管人才培养和专业技术培训的成功经验,消化吸收了教学、科研、学术、训练方面的研究成果,同时认真学习国家、军队有关专业技术标准和新时期阵管法规,积极查阅资料和认真组织调研,在阵管业务机关和各兄弟单位大力支持下,历时两年圆满完成了阵地管理专业技术培训系列教材的修订编写和出版任务。陕西科学技术出版社在本书出版过程中给予了大力支持、指导,在此一并表示衷心感谢!

阵地管理专业训练系列教材的修订出版,是二炮阵地管理工作中重要的基础性建设,必将对阵管工作产生全面而深远的积极影响。该套教材配发部队后,不仅为提升阵地综合保障能力提供了技术支撑,为阵管官兵实施科技练兵和立足岗位成才提供了专业指导,对部队建设和阵管人才培养也必将起到积极的促进作用。

二炮阵地管理专业人才培养工作任重道远,按照新型高素质军事人才培养的高标准、高要求衡量,系列教材难免存在不足,敬请各位专家和广大读者批评指正。

《国防工程管理专业培训教材》编委会主任 申福生

2006年9月

目 录

1 信息采集技术的基础知识	(1)
1.1 信息采集技术的基本概念	(1)
1.2 测量方法	(2)
1.3 测量误差	(5)
1.4 传感器的基本特性	(11)
2 温度信息及其采集	(21)
2.1 概述	(21)
2.2 热电阻的工作原理及其应用	(22)
2.3 热敏电阻工作原理及其应用	(26)
2.4 热电偶工作原理及其应用	(29)
2.5 PN 结温度传感器工作原理及其应用	(35)
2.6 集成温度传感器及其应用	(37)
3 湿度信息及其采集	(41)
3.1 概述	(41)
3.2 湿度传感器的工作原理及其应用	(42)
4 光电传感器	(49)
4.1 概述	(49)
4.2 光敏二极管及其应用	(50)
4.3 光敏晶体管及其应用	(55)
4.4 光敏电阻 CdS 及其应用	(58)
4.5 集成光敏传感器与光电断路器及其应用	(61)
5 磁敏传感器	(65)
5.1 概述	(65)
5.2 霍尔元件及其应用	(66)
5.3 霍尔集成传感器及其应用	(70)
5.4 磁敏电阻及其应用	(73)
5.5 差动变压器及其应用	(76)
6 气体信息采集	(79)
6.1 概述	(79)
6.2 半导体气敏传感器的工作原理与特性	(80)
6.3 气敏传感器的应用实例	(81)
7 压力传感器	(84)
7.1 概述	(84)

7.2	压力传感器的基本应用电路	(87)
7.3	压力传感器的应用实例	(88)
8	传感器应用技术	(90)
8.1	概述	(90)
8.2	接口技术	(90)
8.3	传感器供电电源	(93)
8.4	非线性校正	(94)
8.5	传感器的噪声及其抑制	(96)
8.6	系统设计	(100)
9	现代计量的基础知识	(102)
9.1	测量、计量和计量学	(102)
9.2	计量学的创立、发展与分类	(104)
9.3	物理量及其测量	(106)
9.4	计量器具及其结构组成	(110)
9.5	量值传递与溯源	(113)
9.6	国家计量检定系统表及计量检定规程	(120)
10	温度计量与检定	(123)
10.1	玻璃液体温度计及其检定设备	(123)
10.2	标准水银温度计的检定	(127)
10.3	标准铂电阻温度计的检定	(130)
11	湿度检定方法	(141)
11.1	标准通风干湿表的检定	(141)
11.2	毛发表检定	(143)
11.3	露点仪检定	(148)
11.4	其他常见湿度测量仪表的校准方法	(155)
11.5	环境试验用温度、湿热设备的校准方法	(158)

1 信息采集技术的基础知识

1.1 信息采集技术的基本概念

1.1.1 信息技术

信息采集(也称为检测)技术是在自动检测系统中,以研究信息提取、信息转换以及信息处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术学科。

广义地讲,信息采集技术是自动化技术的四个支柱之一,从信息科学角度考察,信息采集技术的任务为:寻找与自然信息具有对应关系的种种表现形式的信号,以及确定二者间的定性、定量关系;从反映某一信息的多种信号表现中挑选出在所处条件下最为合适的表现形式,以及寻找最佳的采集、变换、处理、存储、显示等的方法和相应的设备。

信息采集是指从自然界诸多被测量(物理量、化学量、生物量与社会量等)中提取有用的信息。信息变换是将所取出的有用信息进行电量形式的幅值、功率等的转换。

信息处理的任务,视输出环节的需要,可将变换后的电信号进行数字运算(求均值、极值等)、模拟量—数字量变换等处理。

信息传输的任务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。虽然信息采集技术服务的领域非常广泛,但是从这门课程的研究内容来看,不外乎是传感器技术、误差理论、测试计量技术、抗干扰技术以及电量间互相转换的技术等。提高自动检测系统的检测分辨率、精度、稳定性和可靠性是这门技术的研究课题和方向。

自动检测技术已成为一些发达国家最重要的热门技术之一,它可以给人们带来巨大的经济效益并促进科学技术飞跃发展,因此在国民经济中占有极其重要的地位和作用。

1.1.2 自动检测系统

自动检测系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号处理等诸系统的总称,它的组成如图 1-1 所示。在上述诸系统中,都包含被测量、敏感元件、电子测量电路和输出单元,它们之间的区别仅在于输出单元。如果输出单元是显示器或记录器,则该系统叫做自动测量系统;如果输出单元是计数器或累加器,则该系统叫自动计量系统;如果输出单元是报警器,则该系统是自动保护系统或自动诊断系统;如果输出单元是处理电路,则该系统是部分数据分析系统、自动管理系统或自动控制系统。

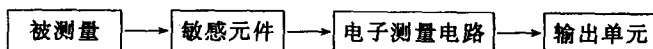


图 1-1 自动检测系统框图

1.1.3 传感器

(1) 传感器

传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的某种物理量的测量装置。

这一概念包含下面四个方面的含意:

- 1) 传感器是测量装置,能完成信号获取任务。
- 2) 它的输入量是某一被测量,可能是物理量,也可能是化学量、生物量等。
- 3) 它的输出量是某种物理量,这种量要便于传输、转换、处理、显示等,这种量可以是气、光、电量,但主要是电量。
- 4) 输出输入有对应关系,且应有一定的精确度。

(2) 传感器的组成

传感器的功能是一感二传,即感受被测信息,并传送出去。传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成,如图 1-2 所示。

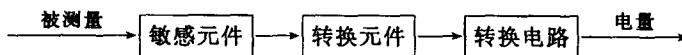


图 1-2 传感器组成框图

1) 敏感元件。

它是直接感受被测量,并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。

2) 转换元件。

敏感元件的输出就是它的输入,它把输入量转换成电路参数量。

3) 转换电路。

上述电路参数接入转换电路,便可转换成电量输出。

实际上,有些传感器很简单,有些则较复杂,也有些是带反馈的闭环系统。最简单的传感器由一个敏感元件(兼转换元件)组成,它感受被测量时直接输出电量,如热电偶。有些传感器由敏感元件和转换元件组成,没有转换电路,如压电式加速度传感器,其中质量块是敏感元件,压电片是转换元件。有些传感器转换元件不只一个,要经过若干次转换。

由于传感器空间限制等其他原因,转换电路常装入电箱中。然而,因为不少传感器要通过转换电路之后才能输出电量信号,从而决定了转换电路是传感器的组成部分之一。

(3) 传感器的分类

目前传感器主要有四种分类法:根据传感器工作原理分类法;根据传感器能量转换情况分类法;根据传感器转换原理分类法和按照传感器的使用分类法。

表 1-1 按传感器转换原理分类给出了各类型的名称及典型应用。

1.2 测量方法

对于测量方法,从不同的角度出发,有不同的分类方法。本节重点阐述按照测量手段分类的直接测量、间接测量和联立测量,及按测量方式分类的偏差式测量、零位式测量和微差式测量。

表 1-1

传感器分类表

传感器分类		转换原理	传感器名称	典型应用
转换形式	中间参量			
电参数	电阻	移动电位器触点改变电阻	电位器传感器	位移
		改变电阻丝或片的尺寸	电阻丝应变传感器、半导体应变传感器	微应变、力、负荷
		利用电阻的温度效应 (电阻温度系数)	热丝传感器	气流速度、液体流量
			电阻温度传感器	温度、辐射热
			热敏电阻传感器	温度
		利用电阻的光敏效应	光敏电阻传感器	光强
		利用电阻的湿度效应	湿敏电阻	湿度
		改变电容的几何尺寸	电容传感器	力、压力、负荷、位移
	电容	改变电容的介电常数		液位、厚度、含水量
		改变磁路几何尺寸、导磁体位置	电感传感器	位移
		涡流去磁效应	涡流传感器	位移、厚度、硬度
		利用压磁效应	压磁传感器	力、压力
	电感	改变互感	差动变压器	位移
			自整角机	位移
			旋转变压器	位移
	频率	改变谐振回路中的固有参数	振弦式传感器	压力、力
			振筒式传感器	气压
			石英谐振传感器	力、温度等
	计数	利用莫尔条纹	光栅	大角位移、大直线位移
		改变互感	感应同步器	
		利用拾磁信号	磁栅	
	数字	利用数字编码	角度编码器	大角位移
电量	电动势	温差电动势	热电偶	温度、热流
		霍尔效应	霍尔传感器	磁通、电流
		电磁感应	磁电传感器	速度、加速度
		光电效应	光电池	光强
	电荷	辐射电离	电离室	离子计数、放射性强度
		压电效应	压电传感器	动态力、加速度

1.2.1 直接测量、间接测量和联立测量

(1) 直接测量

在使用测量仪表进行测量时,对仪表读数不需要经过任何运算,就能直接得到测量的结果,称为直接测量。例如用弹簧管式压力表测量流体压力就是直接测量。直接测量的优点是测量过程简单而迅速,缺点是测量精度不易达到很高。这种测量方法是工程上广泛采用的方法。

(2) 间接测量

在使用仪表进行测量时,首先对与被测物理量有确定函数关系的几个量进行测量,将测量值代入函数关系式,经过计算得到测量所需的结果,这种测量称为间接测量。例如:导线电阻率 ρ 的测量就是间接测量,由于 $\rho=r\pi d^2/(4l)$,其中 r 、 l 、 d 分别表示导线的电阻值、长度和直径。这时,只有先经过直接测量得到导线的 r 、 l 、 d 后,再代入 ρ 的表达式,经计算得到最后所需要的结果 ρ 值。在这种测量过程中,手续较多,花费时间较长,有时可以得到较高的测量精度。间接测量多用于科学实验中的实验室测量,工程测量中亦有应用。

(3) 联立测量

在应用仪表进行测量时,若被测物理量必须经过求解联立方程组才能得到最后结果,则称这样的测量为联立测量。在进行联立测量时,一般需要改变测试条件,才能获得一组联立方程所需要的数据。

对联立测量,其操作手续很复杂、花费时间长,是一种特殊的测量方法。它只适用于科学实验或特殊场合。

1.2.2 比较式测量

(1) 偏差式测量

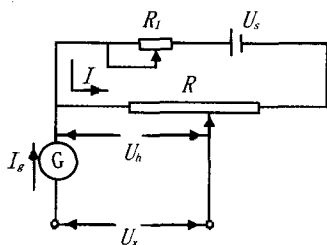


图 1-3 电位差计简化等效电路

在测量过程中,用仪表指针的位移(即偏差)决定被测量的测量方法,称为偏差式测量。应用这种方法进行测量时,标准量具不装在仪表内,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具的比较。例如,用磁电式电流表测量电路中某支路的电流,用磁电式电压表测量某电气元件两端的电压等,就属于偏差式测量法。

采用这种方法进行测量,测量过程比较简单、迅速。但是,测量结果的精度低。这种测量方法广泛用于工程测量中。

(2) 零位式测量

在测量过程中,用指零仪表的零位指示检测测量系统的平衡状态。在测量系统达到平衡时,用已知的基准量决定被测未知量的测量方法,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,标准量直接与被测量相比较;调整标准

量,一直到被测量与标准量相等,即使指零仪表回零。如图 1-3 所示电路是电位差计的简化等效电路。在进行测量之前,应先调 R_1 ,将回路工作电流 I 校准;在测量时,要调整 R 的活动触点,使检流计 G 回零,这时 $I_g=0$,即 $U_k=U_x$,这样标准电压 U_k 的值就表示被测未知电压值 U_x 。

采用零位式测量法进行测量时,优点是可以获得比较高的测量精度,但是测量过程比较复杂。采用自动平衡操作以后,虽然可以加快测量过程,但它的反应速度由于受工作原理所限,也不会很高。因此,这种测量方法不适用于测量变化迅速的信号,只适用于测量变化较缓慢的信号。

(3)微差式测量

微差式测量法是综合了偏差式测量法与零位式测量法的优点而提出的测量方法。这种方法是将被测未知量与已知的标准量进行比较,并取得差值后,用偏差法测得此值。应用这种方法测量时,标准量具装在仪表内,并在测量过程中标准量直接与被测量进行比较。由于二者的值很接近,因此在测量过程中不需要调整标准量,而只需要测量二者的差值。

微差式测量法的优点是反应快,而且测量精度高,特别适用于在线控制参数的检测。

1.3 测量误差

人们对客观世界的认识总是带有一定的局限性,与客观事物的本来面貌存在差异。测量是在一定的物质基础上进行的。因此,人们在进行各种实际测量时,尽管被测量在理论上存在真值,但由于客观实验条件的限制,被测量的真值实际上是测不到的,因而测量结果只能是真值的近似值,这样就不可避免地存在着测量误差。

1.3.1 误差的基本概念及表达式

(1)绝对误差

绝对误差是示值与被测量真值之间的差值。设被测量的真值为 L_0 ,测量值或示值为 x ,则绝对误差 Δx 为

$$\Delta x = x - L_0 \quad (1-1)$$

由于真值 L_0 一般来说是未知的,所以在实际应用时,常用实际真值 L 为代表真值 L_0 ,并采用高一标准仪器的示值作为实际真值。故通常用

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

来代表绝对误差。

在实际测量中,还经常用到修正值这个名称,它的绝对值与相等但符号相反,用符号表示,即 $C = -\Delta x = L - X$ 修正值给出的方式不一定是具体的数值,也可以是一条曲线、公式或数表。某些智能化仪表中,修正值预先被编制成有关程序,储存于仪表中,所得测量结果已自动对误差进行了修正。

(2)相对误差

绝对误差的表示方法有不足之处,因为它不能确切地反映出测量的准确程度。例如,测量两个电阻,其中 $R_1=100\Omega$,误差 $\Delta R_1=0.1\Omega$; $R_2=1000\Omega$,误差 $\Delta R_2=1\Omega$,尽管 $\Delta R_1 <$

ΔR_2 ,但不能由此得出测量电阻 R_1 比测量电阻 R_2 准确程度高的结论。因为 $\Delta R_1=0.1\Omega$, 相对于 10Ω 来讲是 1% , 而 $\Delta R_2=1\Omega$, 相对于 1000Ω 来讲是 0.1% , 所得结论是 R_2 的测量比 R_1 的测量更准。因此,为反映测量质量的高低,需引出相对误差的概念,由绝对误差与真值或实际值之比表示相对误差 δ ,即

$$\delta = \frac{\Delta x}{L_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-3)$$

相对误差通常用于衡量测量的准确程度,相对误差越小,准确程度越高。

(3) 引用误差

引用误差是一种实用方便的相对误差,常在多挡和连续刻度的仪器仪表中应用。这类仪器仪表测量范围不是一个点,而是一个量程,这时按式(1-3)计算,由于分母为常数,取仪器仪表中的量程,因而引用误差 γ_m 为

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中: A 为仪表的量程。

我国电工仪表共分七级:0.1,0.2,0.5,1.0,1.5,2.5 及 5.0。例如,0.1 级表的引用误差的最大值不超过 0.1% ,0.5 级表的引用误差最大值不超过 0.5% 等。工业自动化仪表的精度等级一般 0.2~0.5 级之间。

引用误差从形式上看像相对误差,但是对某一具体仪表来说,由于其分母 A 是一个常数,与被测量大小无关,因此它实质上是一个绝对误差的最大值。例如,量限为 $1V$ 的毫伏表,精度等级为 5.0,即 $\gamma = (\Delta x/A) \times 100\% = 5.0\%$ 。从这个式子可以求出 $\Delta x = 1V \times 5.0\% = 50mV$,这说明无论指示在刻度的哪一点,其最大绝对误差不超过 $50mV$ 。但各点的相对误差是不同的。在选用仪表时,一般使其最好能工作在不小于满刻度值 $2/3$ 的区域。

1.3.2 误差的分类与来源

根据误差出现的规律可分为系统误差、随机误差和粗大误差三种。

(1) 系统误差

在相同的条件下多次测量同一量时,误差的绝对值和符号保持恒定,或在条件改变时,与某一个或几个因素成函数关系的有规律的误差,称为系统误差,简称系差。例如仪表的刻度误差和零位误差,应变片电阻值随温度的变化等都属于系统误差。它产生的主要原因是仪表制造、安装或使用方法不正确,也可能是测量人员的一些不良的读数习惯等。

系统误差是一种有规律的误差,故可以采用修正值或补偿校正的方法来减小或消除。

(2) 随机误差

服从统计规律的误差称随机误差,简称随差,又称偶然误差。只要测试系统的灵敏度足够高,在相同条件下,重复测量某一量时,每次测量的数据或大或小,或正或负,不能预知。虽然单次测量的随机误差没有规律,但多次测量的总体却服从统计规律,通过对测量数据的统计处理,能在理论上估计其对测量结果的影响。

随机误差是由很多复杂因素对测量值的综合影响所造成的,如电磁场的微变,零件的摩擦、间隙,热起伏,空气扰动,气压及湿度的变化,测量人员感觉器官的生理变化等,它不

能用修正或采取某种技术措施的办法来消除。

应该指出,在任何一次测量中,系统误差与随机误差一般都是同时存在的,而且两者之间并不存在的绝对的界限。

(3)粗大误差

粗大误差是一种显然与实际值不符的误差。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,都会引起粗大误差。含有粗大误差的测量值称为坏值或异常值,在处理数据时应剔除掉。这样,测量中要估计的误差就具有系统误差和随机误差两类。

误差的来源是多方面的,例如测量用的工具不完善(称工具误差);测试设备和电路的安装、布置、调整不完善(称装置误差);测量方法本身的理论根据不完善(称方法误差);测量环境如温度、湿度、气压、电磁场的变化(称环境误差);甚至测量人员生理上的原因,如反应速度、分辨能力(称人员误差)等。

1.3.3 系统误差和随机误差的表达式

设对某被测量进行了等精度独立的几次测量,得值 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 则测定值的算术平均值 $\bar{x}$ 为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-5)$$

式中: $\bar{x}$ 又称为取样平均值。

当测量次数 n 趋向于无穷大($n \rightarrow \infty$)时,取样平均值的极限称为测定值的总体平均值,用符号 A 表示,即

$$A = \lim_{n \rightarrow \infty} \bar{x} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-6)$$

测定值的总体平均值 A 与测定值真值 L_0 之差被定义为系统误差,用符号 ϵ 表示

$$\epsilon = A - L_0 \quad (1-7)$$

n 次测量中,各次测定值 $x_i (i=1 \sim n)$ 与其总体平均值 A 之差被定义为随机误差,用符号 δ_i 表示,即

$$\delta_i = x_i - A (i=1 \sim n) \quad (1-8)$$

将式(1-7)和(1-8)等号两边分别相加,得

$$\epsilon + \delta_i = (A - L_0) + (x_i - A) = x_i - L_0 = \Delta x_i \quad (1-9)$$

式中: Δx_i 为各次测定的绝对误差。

式(1-9)表明,各次测量值的绝对误差等于系统误差 ϵ 和随机误差 δ_i 的代数和。

1.3.4 基本误差和附加误差

按使用条件划分可将误差分为基本误差和附加误差。

(1)基本误差

任何测量仪器和传感器都是在一定的环境条件下使用的。环境条件变化,测量误差也因环境条件(如温度、气压、湿度、电源电压和频率、振动等)的变化而变化。这样在对传感器和仪器进行检定和刻度时,应把所有起影响作用的外界因素控制在变化较窄的条件内。此条件由国家标准或企业标准文件明确规定,称为标准条件。仪器在标准条件下使用所具

有的误差称为基本误差,它属于系统误差。

例如,仪表是在电源电压 $220\text{V} \pm 5\text{V}$ 、电网频率 $50\text{Hz} \pm 2\text{Hz}$ 、环境温度 $200^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ 、大气压力 $1.013 \times 10^5\text{Pa}$ 、湿度 $65\% \pm 5\%$ 的条件下标定的。如果这台仪表在这个条件下工作,则仪表所具有的误差就是基本误差。换句话说,基本误差是测量仪表在额定条件下工作所具有的误差。测量仪表的精度等级就是由基本误差决定的。不同等级的传感器和仪表的基本误差在国家和企业标准中都有明确规定。

(2) 附加误差

当使用条件偏离标准条件时,传感器和仪表必然在基本误差的基础上增加了新的系统误差,称为附加误差。例如,温度附加误差、频率附加误差、电压波动附加误差等。

在使用传感器和仪表进行测量时,应根据使用条件在基本误差上再分别加上各项附加误差。例如,在电源电压 $220(1 \pm 10\%) \text{V}$ 、温度范围 $0 \sim 50^\circ\text{C}$ 、仪表可过载运行等条件下工作,可以知道测量仪表总误差不超过多少。

1.3.5 测量误差的估计和校正

测量误差中包括系统误差和随机误差。它们的性质不同,对测量结果的影响及处理方法也不同。

(1) 随机误差的影响及统计处理

在测量中,当系统误差被尽力消除或减小到可以忽略的程度之后,仍会出现对同一被测量重复进行多次测量时有读数不稳定的现象,这说明有随机误差存在。由随机误差性质可知,它服从统计规律,它对测量结果的影响可用均方根误差来表示。

$$\text{均方根误差(又称标准误差)} \sigma \text{ 为: } \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 / n} \quad (1-10)$$

式中: n 为测量次数;

$\Delta x_i = x_i - L_0$, L_0 为真值,为第 i 次测量值。

在实际测量中,测量次数 n 是有限的,真值 L_0 不易得到,因而用 n 次测量值的算术均值 $\bar{x}$ 代替真值,第 i 次测量误差 $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$,这时的均方根误差则为

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)} \quad (1-11)$$

$\bar{x}$ 用代替 L_0 产生的算术平均值的标准误差 $\bar{\sigma}$ 为 $\bar{\sigma} = \sigma_s / \sqrt{n}$ 为测量结果可表示为:

$$x = \bar{x} \pm \bar{\sigma} \text{ 或 } x = \bar{x} \pm 3\bar{\sigma} \quad (1-12)$$

均方根误差 σ 的物理意义是:在测量结果中随机误差出现在 $-\sigma \sim +\sigma$ 范围内的概率是 68.3%,出现在 $-3\sigma \sim +3\sigma$ 范围内的概率是 99.7%。 3σ 是置信限,大于 3σ 的随机误差被认为是粗大误差,则该测量结果无效,此数据予以剔除。

(2) 系统误差的发现与校正

1) 系统误差的发现与判别。

由于系统误差对测量精度影响比较大,必须消除系统误差的影响,才能有效地提高测量精度,下面介绍的是发现系统误差的常用方法。

① 实验对比法。这种方法是通过改变产生系统误差的条件从而进行不同条件下的测量,以发现系统误差。这种方法适用于发现不变的系统误差。例如,一台测量仪表本身存