



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

自动检测技术

(电气运行与控制专业)

主编 解太林



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

自动检测技术

(电气运行与控制专业)

主 编 解太林
责任主审 吴锡龙
审 稿 黄正荣 陈泉林

高等教育出版社

内容简介

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校电气运行与控制专业教学指导方案》中主干课程《自动检测技术教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写的中等职业教育国家规划教材。

本书主要包括检测技术的基本知识，工业中常用传感器的工作原理、基本结构、主要性能、测量电路和运用方法，检测系统中的信号处理、抗干扰技术和若干新型传感器。本书内容丰富，层次清晰，重点突出，重视实践。在取材上，考虑到中等职业学校学生的特点，压缩了理论指导，增加实际应用和工艺等方面知识，并力求反映国内外检测技术领域的新成果、新进展。每章均有复习思考题。

本书可作为中等职业学校电气运行与控制专业教材，可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

自动检测技术/解太林主编. —北京: 高等教育出版社, 2002. 7

中等职业学校电气运行与控制专业

ISBN 7-04-010932-8

I. ①自… II. 解… III. 自动检测-专业学校-教材 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 044976 号

自动检测技术

解太林 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京地质印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 10.25
字 数 220 000

版 次 2002 年 7 月第 1 版
印 次 2002 年 7 月第 1 次印刷
定 价 12.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校电气运行与控制专业教学指导方案》中主干课程《自动检测技术教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定范围及中级技术工人等级标准编写的中等职业教育国家规划教材。

随着人类社会进入信息时代，以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容的检测技术已经发展成为一门完整的技术学校，在促进生产发展和科技进步的广阔领域内发挥着重要作用。尤其是集微电子技术、自动控制技术、计算机技术、测量技术和传感技术等多项技术于一身的电气运行与控制设备和产品的广泛应用，产生了巨大的经济效益和社会效益。本书从电气运行与控制系统中信息的检测和控制的角度，着重介绍了工业中常用传感器；检测系统中的信号处理；检测技术的综合应用等内容，最后给出了自动检测技术实验指导。

全书共分七章，第一章介绍了检测技术的基本知识；第二章至第四章分别介绍参量型传感器（电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器）、发电型传感器（压电式传感器、光电式传感器、热电偶传感器、磁电式传感器）和其他型式传感器（数字式传感器、半导体传感器、超声波传感器、红外传感器、激光传感器）的工作原理、测量电路及应用实例；第五章介绍了检测装置中的信号的放大与隔离，信号在传输过程中的变换技术和信号的非线性补偿技术；第六章介绍了检测系统中的抗干扰技术和微机在检测技术中的综合应用；第七章为自动检测技术实验指导，介绍了与本课程相关的实验的具体实施方法。每章末均附有复习与思考。

本书紧密地为中等职业学校学生培养目标服务，内容丰富、新颖；文字精炼、准确、通俗易懂；在内容组织上注意逻辑性、系统性和层次性，突出实践性和适用性，强调理论联系实际，注重培养综合能力，引导学生学会应用所学的理论知识解决工程实际问题，强化学生的工程意识、质量意识和效益意识；复习与思考题可供课堂讨论和布置课后作业选用，以帮助学生思考、复习和巩固所学知识，培养分析和解决问题的能力。

本教材是按照教学时数为 50 学时编写的，不同的学校和专业选用该教材时，可根据具体情况删减部分内容。具体学时分配如下：

章 次	内 容	学时
第一章	检测技术的基本知识	2
第二章	参量型传感器	8
第三章	发电型传感器	10
第四章	其他型式传感器	8
第五章	检测装置的信号处理技术	2
第六章	检测技术的综合应用	6
第七章	自动检测技术实验指导	10
	机 动	4
	总 计	50

本书由江苏省盐城第一职教中心解太林主编。第一章、第四章至第七章和附录由解太林编写，第二章、第三章由徐州工业学校马军编写。上海理工大学蔡锦达教授认真负责地审阅了全部书稿和插图，并提供了宝贵的修改意见。

本书通过全国中等职业教育教材审定委员会审定，由上海大学吴锡龙教授担任责任主审，上海大学黄正荣教授、上海大学陈泉林副教授审稿。他们对本书稿提出了很多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于编者的水平有限，错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。同时，本书在编写过程中参考了大量的文献资料，在此向文献资料的作者致以诚挚的谢意。

编 者

2002年5月

目 录

绪论	1	第一节 信号的放大与隔离	96
第一章 检测技术的基本知识	5	第二节 信号在传输过程中的变换 技术	102
第一节 测量的基本概念	5	第三节 信号的非线性补偿技术	104
第二节 测量误差及分类	7	复习思考题	108
第三节 检测系统的基本特性	10	第六章 检测技术的综合应用	109
复习思考题	12	第一节 检测系统中的抗干扰技术	109
第二章 参量型传感器	13	第二节 微机在检测技术中的应用	121
第一节 电阻应变式传感器	13	第三节 带微机的检测技术综合应 用实例	127
第二节 电容式传感器	18	复习思考题	132
第三节 电感式传感器	25	第七章 自动检测技术实验指导	134
复习思考题	34	第一节 电阻应变式传感器实验	134
第三章 发电型传感器	36	第二节 电感式传感器实验	136
第一节 压电式传感器	36	第三节 电容式传感器实验	138
第二节 光电式传感器	40	第四节 光电转速传感器实验	142
第三节 热电偶传感器	48	第五节 霍尔式传感器实验	143
第四节 磁电式传感器	55	第六节 带型感应同步器实验	144
复习思考题	64	第七节 莫尔条纹与位移的关系原理 实验	145
第四章 其他型式传感器	65	第八节 利用光栅尺检测位移	146
第一节 数字式传感器	65	附录	148
第二节 半导体传感器	74	附录一 XWY-1 型检测实验装置	148
第三节 超声波传感器	81	附录二 几种常用的传感器性能比 较表	151
第四节 红外传感器	85	参考文献	152
第五节 激光传感器	89		
复习思考题	95		
第五章 检测装置的信号处理技术	96		

绪 论

一、本课程研究的内容

自动检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换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。它又是一门包含着微电子技术、自动控制技术、计算机技术、测量技术和传感器技术等各种先进技术的综合性学科。信息提取即从自然界、日常生活、生产过程中或科学实验中获取人们需要的信息。信息处理是指人们把已经获得到的信息进行加工、运算、分析和综合,以便进行预报、报警、检测、计量、保护、控制、调度和管理等,以期达到预防自然灾害、防止事故发生、提高劳动生产率、正确计量、改善产品质量、顺利进行科学实验、进行文明生产和科学管理等目的。

在信息社会的一切活动领域中,从日常生活、生产活动到科学实验,时时处处都离不开检测。现代化的检测手段在很大程度上决定了生产、科学技术的发展水平,而科学技术的发展又为检测技术提供了新的理论基础和制造工艺,同时对检测技术提出了更高的要求。

二、检测技术在国民经济中的地位和作用

检测技术是现代化领域中很有发展前途的技术,它在国民经济中起着极其重要的作用。

在机械制造行业中,通过对机床的许多静态、动态参数如工件的加工精度、切削速度、床身振动等进行在线检测,从而控制加工质量。在化工、电力等行业中,如果不随时对生产工艺过程中的温度、压力、流量等参数进行自动检测,生产过程就无法控制甚至产生危险。在交通领域,一辆现代化汽车装备的传感器就有十几种,分别用以检测车速、方位、转矩、振动、油压、油量、温度等。在国防科研中,检测技术用得更多,许多尖端的检测技术都是因国防工业需要而发展起来的。例如,研究飞机的强度,就要在机身、机翼上贴上几百片应变片并进行动态测量。在导弹、卫星的研制中,检测技术就更为重要,必须对它们的每个构件进行强度和动态特性的测试。近年来,随着家电工业的兴起,检测技术也进入了人们的日常生活中。例如,自动检测并调节房间的温度、湿度等。

近20年来,自动控制理论、计算机技术迅速发展,并已应用到生产和生活的各个领域。但是,由于作为“感觉器官”的传感器技术没有与计算机技术协调发展,出现了信息处理功能发达、检测功能不足的局面,因此直接影响了计算机的推广应用。目前这个问题已得到世界各国的高度重视,检测技术在国民经济中的地位也日益提高。

三、自动检测系统的组成

一个完整的检测系统或检测装置通常是由传感器、测量电路和显示记录装置等部分组成,完成信息获取、转换、处理和显示等功能。当然其中还包括电源和传输通道等不可缺少的部分。图0-1给出了检测系统的组成框图。

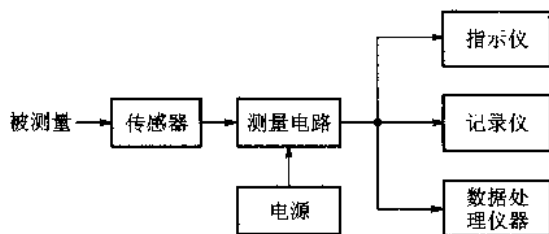


图 0-1 自动检测系统的组成框图

1. 传感器

传感器是把被测量（如物理量、化学量、生物量等）变换为另一种与之有确定对应关系，并且便于测量的电学量的装置。显然，传感器是检测系统与被测对象直接发生联系的部分。它处于被测对象和检测系统的接口位置，构成了信息输入的主要窗口，为检测系统提供必需的原始信息。它是整个检测系统的一个重要环节，检测系统获取信息的质量取决于传感器的性能，因为检测系统的其他环节无法添加新的检测信息并且不易消除传感器所引入的误差。

检测技术所使用的传感器种类繁多，分类的方法也各不相同。从传感器应用的目的出发，可以按被测量的性质将传感器分为：机械量传感器，如位移传感器、力传感器、速度传感器、加速度传感器等；热工量传感器，如温度传感器、压力传感器、流量传感器等；化学量传感器；生物量传感器等。

从传感器研究的目的出发，着眼于变换过程的特征可以将传感器按输出量的性质分为：

(1) 参量型传感器 它的输出是电阻、电感、电容等无源电参量，相应的有电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器等。

(2) 发电型传感器 它的输出是电压或电流，相应的有热电偶传感器、光电式传感器、磁电式传感器、压电式传感器等。

2. 测量电路

测量电路的作用是将传感器的输出信号转换成易于测量的电压或电流信号。通常传感器输出信号是微弱的，这就需要由测量电路加以放大，以满足显示记录装置的要求。根据需要测量电路还能进行阻抗匹配、微分、积分、线性化补偿等信号处理工作。

应当指出测量电路的结构是由传感器的类型决定的，不同的传感器通常配用特点不同的测量电路。

3. 显示记录装置

显示记录装置是检测人员和检测系统联系的主要环节，主要作用是使人们了解检测数值的大小或变化的过程。目前常用的有模拟显示、数字显示和图像显示三种。

模拟式显示是利用指针与标尺的相对位置表示被测量数值的大小。如各种指针式电气测量仪表，其特点是读数方便直观、结构简单、价格低廉，在检测系统中一直被大量应用。但这种显示方式的精度受标尺最小分度限制，而且读数时易引入主观误差。

数字式显示则直接以十进制数字形式来显示读数，实际上是专用的数字电压表，它可以附加打印机，打印记录测量数值，并且易于和计算机联机，使数据处理更加方便。这种方式消除了指针式面板的读数的主观误差。

如果被测量处于动态变化之中，用显示仪表读数就十分困难，这时可以将输出信号送至记

记录仪,从而描绘出被测量随时间变化的曲线,并以此作为检测结果,供分析使用,这就是图像显示。常用的自动记录仪器有笔式记录仪、光线示波器、磁带记录仪等。

四、检测技术的发展方向

科学技术的迅猛发展,为检测技术的现代化创造了条件,主要表现在以下两个方面:

第一,人们研究新原理、新材料和新工艺所取得的成果将产生更多品质优良的新型传感器。例如光纤传感器、液晶传感器、以高分子有机材料为敏感元件的压敏传感器、微生物传感器等。另外,代替视觉、嗅觉、味觉和听觉的各种仿生传感器和检测超高温、超高压、超低温和超高真空等极端参数的新型传感器,也是今后传感器技术研究和发展的方向。

新型传感器技术除了采用新原理、新材料和新工艺之外,还向着高精度小型化和集成化的方向发展。

传感器集成化的一个方向是具有同样功能的传感器集成化,从而使对一个点的测量变成对一个平面和空间的测量。例如,利用由电荷耦合器件形成的固体图像传感器来进行的文字和图形识别即是如此。传感器集成化的另一个方向是不同功能的传感器集成化,从而使一个传感器可以同时测量不同种类的多个参数。例如,测量血液中各种成分的多功能传感器。

除了传感器自身的集成化之外,还可以把传感器和后续电路集成化。传感器和测量电路的集成化可以减少干扰,提高灵敏度,方便使用。如果将传感器和数据处理电路集成在一起,则可以方便地实现实时数据处理。

第二,检测系统或检测装置目前正迅速地由模拟式、数字式向智能化方向发展。带有微处理机的各种智能化仪表已经出现,这类仪表选用微处理机做控制单元,利用计算机可编程的特点,使仪表内的各个环节自动地协调工作,并且具有数据处理和故障诊断功能,成为一代崭新仪表,把检测技术自动化推进到一个新水平。

智能化仪表可以进行:

(1) 自动调零和自动校准

(2) 自动量程转换 在程序控制下,可以使测量工作从高量程到低量程自动进行,并通过比较判断,使被测量处于最适当的量程之内。

(3) 自动选择功能 通过多路转换器和 A/D 转换器的配合,在程序控制下,既可以顺序地测量,也可以任意地选择对应不同参数的测量通道,从而自动改变仪表测量功能。

(4) 自动数据处理和误差修正 利用微机强大的运算能力,编制适当的数据处理程序,即可完成线性化、求取平均值、求标准偏差、做相关计算等数据处理工作,并且可以根据工作条件的变化,按照一定公式自动计算出修正值,同时修正测量结果,提高测量精度。

(5) 自动定时测量 利用计算机硬件定时或软件定时的功能可以完成各种时间间隔的定时自动测量。

(6) 自动故障诊断 在微机控制下,可对仪表电路进行故障检查和诊断,遇到故障点后能够自动显示故障部位,使得排查故障方便,缩短检修时间。

五、本课程的任务和学习方法

本课程的任务在于使学生掌握自动检测技术的基本概念和常用传感器的工作原理、结构、

特性及其应用。

本课程涉及的学科面广，需要有较广泛的基础和专业知识，要富于设想，善于借鉴，重视实验环节，这样才能学得活，学得好。

根据本课程的特点归纳出主要的学习方法是：

(1) 养成一个“勤”字 课前要认真预习，课上专心听讲积极思考；课后及时复习认真完成作业。

(2) 突出一个“能”字 本课程的目的在于培养学生具有选择传感器和组成自动检测系统的能力，同时对自动检测系统中的技术问题具有一定的处理能力。因此在学习过程中要注重理论与实践相结合，循序渐进地掌握检测技术的实际应用能力。

(3) 遵循一个“细”字 认真细致地完成教师布置的作业和实验，精益求精，一丝不苟。

(4) 贯穿一个“严”字 严格按有关操作规程进行实验和实习，不断提高分析问题和解决问题的能力。

第一章 检测技术的基本知识

第一节 测量的基本概念

一、测量的概念

测量或检测是指人们用实验的方法，借助于一定的仪器或设备，将被测量与同性质的单位标准量进行比较，并确定被测量对标准量的倍数，从而获得关于被测量的定量信息。测量过程中使用的标准量应该是国际或国内公认的性能稳定的量，称为测量单位。

测量的结果包括数值大小和测量单位两部分。数值的大小可以用数字表示，也可以是曲线或者图形。无论表现形式如何，在测量结果中必须注明单位。否则，测量结果是没有意义的。

检测技术比测量有更加广泛的含义。它是指下述的全面过程：按照被测量的特点，选用合适的检测装置与实验方法，通过测量和数据处理及误差分析，准确得到被测量的数值，并为进一步提高测量精度、改进实验方法及测量装置性能提供可靠的依据。

一切测量过程都包括比较、示差、平衡和读数等四个步骤。例如，用钢卷尺测量棒料长度时，首先将卷尺拉出与棒料平行紧靠在一起，即进行“比较”；然后找出卷尽与棒料的长度差别，即“示差”；进而调整卷尺长度使两者长度相等，即达到“平衡”；最后从卷尺刻度上读出棒料的长度，即“读数”。

测量过程的核心是比较，但被测量能直接与标准量比较的场合并不多，在大多数情况下，是将被测量和标准量变换成双方易于比较的某个中间变量来进行的。例如，用弹簧秤称重。被测重量通过弹簧按比例伸长，转换为指针位移，而标准重量转换成标尺刻度。这样，被测量和标准量都转换成位移这一中间变量，可以进行直接比较。

此外，为了提高测量精度，并且能够对变化快、持续时间短的动态量进行测量，通常将被测量转换为电压或电流信号，利用电子装置完成比较、示差、平衡和读数的测量过程。因此，转换是实际测量的必要手段，也是非电量电测的核心。

二、测量方法

测量方法是实现测量过程所采用的具体方法，应当根据被测量的性质、特点和测量任务的要求来选择适当的测量方法。按照测量手段可以将测量方法分为直接测量和间接测量。按照获得测量值的方式可以分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量。此外，根据传感器是否与被测对象直接接触，可区分为接触式测量和非接触式测量。而根据被测对象的变化特点又可分为静态测量和动态测量等。

1. 直接测量与间接测量

(1) 直接测量 用事先分度或标定好的测量仪表，直接读取被测量的测量结果的方法称为

直接测量。例如，用温度计测量温度，用电压表测量电压等。

直接测量是工程技术中大量采用的方法，其优点是直观、简便、迅速，但不易达到很高的测量精度。

(2) 间接测量 首先，对与被测量有确定函数关系的几个量进行测量，然后，再将测量值代入函数关系式，经过计算得到所需结果，这种测量方法属于间接测量。例如，测量直流电功率时，根据 $P = IU$ 的关系，分别对 I 、 U 进行直接测量，再计算出功率 P 。在间接测量中，测量结果 y 和直接测量值 x_i ($i = 1, 2, 3 \cdots$) 之间的关系式可用下式表示：

$$y = f(x_1, x_2, x_3 \cdots)$$

间接测量步骤多，花费时间长，当被测量不便于直接测量或没有相应直接测量的仪表时才采用。

2. 偏差式测量、零位式测量和微差式测量

(1) 偏差式测量 在测量过程中，利用测量仪表指针相对于刻度初始点的位移（即偏差）来决定被测量的测量方法，称为偏差式测量。在使用这种测量方法的仪表内并没有标准量具，只有经过标准量具校准过的标尺或刻度盘。测量时，利用仪表指针在标尺上的示值，读取被测量的数值。它以间接方式实现被测量和标准量的比较。

偏差式测量仪表在进行测量时，一般利用被测量产生的力或力矩，使仪表的弹性元件变形，从而产生一个相反的作用，并一直增大到与被测量所产生的力或力矩相平衡时，弹性元件的变形就停止了，此变形即可通过一定的机构转变成仪表指针相对标尺起点的位移，指针所指示的标尺刻度值就表示了被测量的数值。

偏差式测量简单、迅速，但精度不高，这种测量方法广泛应用于工程测量中。

(2) 零位式测量 用已知的标准量去平衡或抵消被测量的作用，并用指零式仪表来检测测量系统的平衡状态，从而判定被测量值等于已知标准量的方法，称做零位式测量。

用天平测量物体的质量就是零位式测量的一个简单例子。用电位差计测量未知电压也属于零位式测量，图 1-1 所示的电路是电位差计的原理性示意图。

图中 E 为工作电池的电动势，在测量前先调节 R_{P1} ，校准工作电流使其达到标准值，接入被测电压 U_x 后，调整电位器 R_{P2} 的活动触点，改变标准电压的数值，使检流计 P 回零，达到 A 、 D 两点等电位，此时标准电压 U_k 等于 U_x ，从电位差计读取的 U_k 的数值就表示了被测未知电压 U_x 。

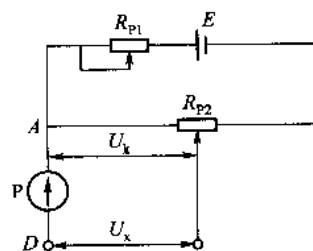


图 1-1 电位差计原理图

在零位式测量中，标准量具处于测量系统中，它提供一个可调节的标准量，被测量能够直接与标准量相比较，测量误差主要取决于标准量具的误差。因此，可获得比较高的测量精度。另外，指零机构愈灵敏，平衡的判断愈准确，愈有利于提高测量精度。但是这种方法需要平衡操作，测量过程较复杂，花费时间长，即使采用自动平衡操作，反应速度也受到限制，因此只能适用于变化缓慢的被测量，而不适于变化较快的被测量。

(3) 微差式测量 这是综合零位式测量和偏差式测量的优点而提出的一种测量方法。基本思路是将被测量 x 的大部分作用先与已知标准量 N 的作用相抵消，剩余部分即两者差值 $\Delta = x - N$ ，这个差值再用偏差法测量。微差式测量中，总是设法使差值 Δ 很小，因此可选用高灵

敏度的偏差式仪表测量之。即使差值的测量精度不高，但最终结果仍可达到较高的精度。

例如，测定稳压电源输出电压随负载电阻变化的情况时，输出电压 U_o 可表示为 $U_o = U + \Delta U$ ，其中 ΔU 是负载电阻变化所引起的输出电压变化量，相对 U 来讲为一小量。如果采用偏差法测量，仪表必须有较大量程以满足 U_o 的要求，因此对 ΔU 这个小量造成的 U_o 的变化就很难测准。当然，可以改用零位式测量，但最好的方法是采用如图 1-2 所示的微差式测量。

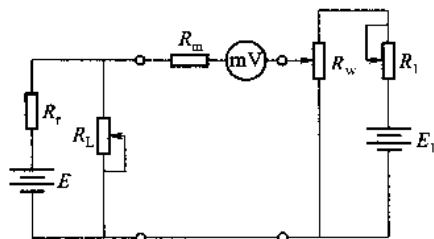


图 1-2 微差式测量原理图

图中使用了高灵敏电压表——毫伏表和电位差计， R_r 和 E 分别表示稳压电源的内阻和电动势， R_L 表示稳压电源的负载， E_1 、 R_1 和 R_2 表示电位差计的参数。在测量前调整 R_1 ，使电位差计工作电流 I_1 为标准值。然后，使稳压电源负载电阻 R_L 为额定值。调整 R_2 的活动触点，使毫伏表指示为零，这相当于事先用零位式测量出额定输出电压 U_o 。正式测量开始后，只需增加或减少负载电阻 R_L 的值，负载变化所引起的稳压电源输出电压 U_o 的微小波动值 ΔU 即可由毫伏表指示出来。根据 $U_o = U + \Delta U$ ，稳压电源输出电压在各种负载下的值都可以准确地测量出来。

微差式测量法的优点是反应速度快、测量精度高，特别适合于在线控制参数的测量。

第二节 测量误差及分类

测量的目的是希望通过测量求取被测量的真值。所谓真值，是指在一定条件下被测量客观存在的实际值。在测量之前，真值一般是未知的，但可以有如下几种办法来判断真值。例如，三角形内角之和为 180° ，这种真值称为理论真值。又如，在标准条件下，水的冰点和沸点分别是 0°C 和 100°C ，以及金的凝固点是 1064.18°C ，这类真值均称为约定真值。相对真值是指：凡精度高一级或几级的仪表的误差与精度低的仪表的误差相比，前者误差小于后者误差三分之一时，则高级仪表的测量值可以认为是相对真值。相对真值在误差测量中的应用最为广泛。

测量值与真值之间的差值称为测量误差。测量误差可按其不同特征进行分类。按照误差的表示方法可以分为绝对误差和相对误差；按照误差出现的规律，可以分为系统误差、随机误差和粗大误差；按照被测量与时间的关系，可以分为静态误差和动态误差。

一、绝对误差和相对误差

1. 绝对误差

绝对误差 Δ 是指测量值 A_x 与真值 A_0 之间的差值。即

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

在实验室和计量工作中，常用修正值 a 表示。即

$$a = A_0 - A_x = -\Delta \quad (1-2)$$

由上式可知，由修正值 a 、测量值 A_x 可求得真值 A_0 。绝对误差是有量纲的。

2. 相对误差

有时绝对误差不足以反映测量值偏离约定真值程度的大小, 所以还用相对误差来表示。相对误差用百分比的形式来表示, 一般多取正值。相对误差可分为:

(1) 实际相对误差 r_A 它用绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 的百分比表示, 即

$$r_A = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

(2) 示值 (标称) 相对误差 r_x 它用绝对误差 Δ 与被测量的测量值 A_x 的百分比表示, 即

$$r_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-4)$$

(3) 满度 (引用) 相对误差 r_{max} 它用绝对误差 Δ 与仪表满度值 A_{max} 的百分比表示, 即

$$r_{max} = \frac{\Delta}{A_{max}} \times 100\% \quad (1-5)$$

上式中, 当 Δ 取最大值 Δ_{max} 时, 满度相对误差常被用来确定仪表的精度等级 S , 即

$$S = \left| \frac{\Delta_{max}}{A_{max}} \right| \times 100\% \quad (1-6)$$

根据精度等级 S 及量程范围, 可以推算出该仪表可能出现的最大绝对误差 Δ_{max} 。精度等级规定一系列标准值。我国电工仪表中常用的模拟仪表的精度等级有下列七种: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0, 即 S 分别为 0.1%、0.2%、0.5%、1.0%、1.5%、2.5%、5%。从仪表面板上的标志可以判断出仪表的精度等级。

例 现有 0.5 级的 0~300℃ 的和 1.0 级的 0~100℃ 的两个温度计, 要测量 80℃ 的温度, 试问采用哪一个温度计好?

〔解〕用 0.5 级表测量时, 可能出现的最大示值相对误差为

$$r_x = \frac{\Delta_{max1}}{A_x} \times 100\% = \frac{300 \times 0.5\%}{80} \times 100\% = 1.875\%$$

若用 1.0 级表测量时, 可能出现的最大示值相对误差为

$$r_x = \frac{\Delta_{max2}}{A_x} \times 100\% = \frac{100 \times 1.0\%}{80} \times 100\% = 1.25\%$$

计算结果表明, 用 1.0 级表比用 0.5 级表的示值相对误差反而小, 所以更合适。由上例可知, 在选用仪表时应兼顾精度等级和量程, 通常希望示值落在仪表满度值的 2/3 附近。

二、粗大误差、系统误差和随机误差

误差产生的原因和类型很多, 其表现形式也多种多样, 针对造成误差的不同原因, 也有不同的解决办法, 下面对此作一些简介。

1. 粗大误差

明显偏离真值的误差称为粗大误差, 也叫过失误差。粗大误差主要是由于测量人员的粗心大意及电子测量仪器受到突然而强大的干扰所引起的。如测错、读错、记错、外界过电压尖峰干扰等造成的误差。就数值大小而言, 粗大误差明显超过正常条件下的误差。当发现粗大误差时, 应予以剔除。

2. 系统误差

系统误差也称装置误差, 它反映了测量值偏离真值的程度。凡误差的数值固定或按一定规

律变化者，均属于系统误差。按其表现的特点，可分为恒值误差和变值误差两大类。恒值误差在整个测量过程中，其数值和符号都保持不变。例如，由于刻度盘分度差错或刻度盘移动而使仪表刻度产生误差，皆属于此类。大部分附加误差属于变值误差。例如，环境温度波动使电源电压下降、电子元件老化、机械零件变形移位、仪表零点漂移等。

系统误差是有规律性的，因此可以通过实验的方法或引入修正值的方法予以修正，也可以重新调整测量仪表的有关部件予以消除。

3. 随机误差

在同一条件下，多次测量同一被测量，有时会发现测量值时大时小，误差的绝对值和正负以不可预见的方式变化，该误差称为随机误差，也称偶然误差，它反映了测量值的离散程度。虽然某个误差的出现是随机的，但就误差的整体而言，服从于一定的统计规律，多数随机误差都服从正态分布。在许多场合可以发现，由于存在随机误差，对同一被测量进行等精度多次测量，结果每次均不同，图 1-3 示出了对交流电源电压值多次测量的结果。图中，横坐标为测量值，纵坐标为测量值出现的次数 n 或概率 f 。正态分布的特点是：

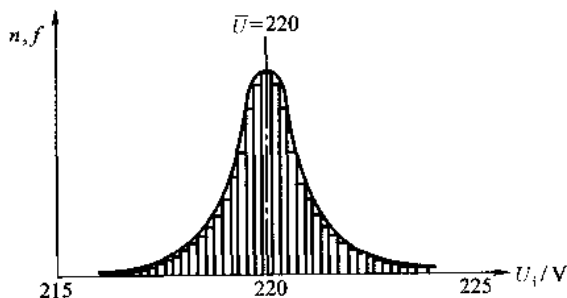


图 1-3 统计直方图

(1) 有限性 在一定的条件下，随机误差的绝对值不会超过一定的界限，当某一误差超过一定的界限后，即可以认为该误差属于粗大误差。

(2) 对称性 多次测量值 U_i 对称地分布在图中的 $\bar{U}$ 两侧，当测量次数增多后， $\bar{U}$ 左右两侧的误差相互平衡。

(3) 集中性（单峰性） 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的次数多，因此测量值集中分布于 n 个测量值的算数平均值 $\bar{U}$ 附近，因此，人们常将剔除粗大误差的 $\bar{U}$ 值看成测量值的最近似值，即

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i \quad (1-7)$$

三、静态误差和动态误差

1. 静态误差

在被测量不随时间变化时所得的误差称为静态误差。我们前面讨论的误差多属于静态误差。

2. 动态误差

当被测量随时间迅速变化时，系统的输出量在时间上不能与被测量的变化精确吻合，这种误差称为动态误差。例如，用笔式记录仪测量时，由于记录笔有一定的惯性，所以记录的结果

在时间上滞后于被测量的变化,这种误差就属于动态误差。又如,用放大器放大正弦信号,由于放大器的频响及电压上升率偏低,故造成高频段的放大倍数小于低频段,这种误差也属于动态误差。

第三节 检测系统的基本特性

检测系统的特性,一般分为静态特性和动态特性两种。

当被测量不随时间变化或变化很慢时,可以认为检测系统的输入量和输出量都与时间无关。表示它们之间关系的是一个不含时间变量的代数方程,在这种关系的基础上确定的检测装置性能参数通常称为静态特性。

当被测量随时间变化很快时,就必须考虑输入量和输出量之间的动态关系,这时,表示它们之间关系的是一个含有时间变量的微分方程。由此引出的检测系统针对快速变化的被测量的响应特性称为动态特性。

本节介绍的检测系统的静、动态特性参数同样适用于组成检测系统的各个环节,如传感器等。

一、静态特性

1. 灵敏度与分辨率

灵敏度是指传感器或检测系统在稳态下输出量 y 的变化与引起此变化的输入量 x 的变化之比值。它可表示为

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{或} \quad K = \frac{dy}{dx}$$

它是输入-输出特性曲线的斜率。

如果系统的输出和输入之间有线性关系,则灵敏度 K 是一个常数,否则,它将随输入量的大小而变化,如图 1-4 所示。

一般希望灵敏度 K 在整个测量范围内保持为常数。这样,可得均匀刻度的标尺,使读数方便,也便于分析和处理测量结果。

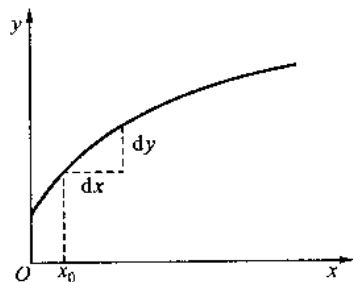


图 1-4 检测系统灵敏度

由于输入和输出的变化量一般都有不同的量纲,所以灵敏度 K 也是有量纲的。如输入量单位为 $^{\circ}\text{C}$, 输出量为标尺上的位移(单位:格),则 K 的单位为(格/ $^{\circ}\text{C}$)。如果输入量和输出量是同类量,则此时 K 可理解为放大倍数。因此,灵敏度比放大倍数有更广泛的含义。

如果检测系统由多个环节组成,各环节的灵敏度分别为 K_1 、 K_2 、 K_3 , 而且各环节以如图 1-5 所示的串联的方式相连接,则整个系统的灵敏度可表示为

$$K = K_1 K_2 K_3$$

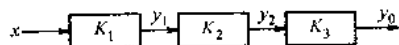


图 1-5 串联系统示意图

提高灵敏度,有可能提高分辨率和测量精度,但受到被测信号的信噪比的限制。此外,灵