

全国高职高专院校机电类专业规划教材

自动检测技术

葛君山 主编
郭宝宁 周吉生 雷声勇 副主编



ZIDONG JIANCE JISHU

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

全国高职高专院校机电类专业规划教材

自动检测技术

	葛君山	主 编
郭宝宁	周吉生	雷声勇 副主编
	周 涛	主 审



内 容 简 介

本书介绍了传感器与检测技术的基本概念、特性、作用以及发展趋势；常用传感器的基本结构、主要性能和工作原理；传感器的测量电路和应用实例；传感器的选用知识；测量及误差处理的基本知识；检测装置的信号处理技术，主要包括微弱信号放大、变换和线性化处理；检测装置的干扰抑制技术。全书内容分为 10 章，每章后面均有习题，以帮助学生理解、巩固及应用所学的知识。

本书围绕高职高专是以培养“高素质劳动者和应用型专门人才”为目标这一主题，本着理论知识“必需、够用”为度的原则，对本课程原先的知识结构做了一定的整合，调整了部分知识点的引入顺序，淡化了理论推导，简化了单纯的数据计算，结合生产实例以应用为主，力求推理论述浅显易懂。

本书适合作为高等职业技术学院电气自动化专业、智能楼宇专业、船舶电气专业、港口电气专业等相关专业的教学用书，也可作为从事电工技术工程技术人员培训或参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

自动检测技术 / 葛君山主编. —北京：中国铁道出版社，2013.4

全国高职高专院校机电类专业规划教材

ISBN 978-7-113-15937-5

I. ①自… II. ①葛… III. ①自动检测—高等职业教育—教材 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 005591 号

书 名：自动检测技术
作 者：葛君山 主编

策 划：何红艳
责任编辑：何红艳 姚文娟
封面设计：付 巍
封面制作：白 雪
责任印制：李 佳

读者热线：400-668-0820

出版发行：中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址：<http://www.51eds.com>

印 刷：北京市昌平开拓印刷厂

版 次：2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷

开 本：787mm×1092mm 1/16 印张：11.75 字数：275 千

印 数：1~3 000 册

书 号：ISBN 978-7-113-15937-5

定 价：24.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书，如有印制质量问题，请与本社教材图书营销部联系调换。电话：(010) 63550836

打击盗版举报电话：(010) 63549504

全国高职高专院校机电类专业规划教材

编审委员会

主任: 吕景泉

副主任: 严晓舟 史丽萍

委员: (按姓氏笔画排列)

王文义	刘建超	李向东	肖方晨	狄建雄
汪敏生	宋淑海	张耀	陈铁牛	明立军
胡学同	钟江生	秦绪好	钱逸秋	凌艺春
常晓玲	梁荣新	程周	谭有广	

王立	王龙义	王建明	牛云陞	朱凤芝
关健	刘薇娥	汤晓华	牟志华	李文
李军	张文明	张永花	陆建国	陈丽
林嵩	金卫国	宝爱群	祝瑞花	姚吉
姚永刚	秦益霖	徐国林	韩丽	曾照香

随着我国高等职业教育改革的不断深化发展,我国高等职业教育改革和发展进入一个新阶段。教育部下发的《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号文件)旨在进一步适应经济社会发展对高素质技能型人才的需求,推进高职人才培养模式改革,提高人才培养质量。

教材建设工作是整个高等职业院校教育教学工作中的重要组成部分,教材是课程内容和课程体系的知识载体,对课程建设和改革既有龙头作用,又有推动作用,所以提高课程教学水平和质量的关键在于建设高水平高质量的教材。

出版面向高等职业教育的“以就业为导向的,以能力为本位”的优质教材一直以来就是中国铁道出版社优先开发的领域。我社本着“依靠专家、研究先行、服务为本、打造精品”的出版理念,于2007年成立了“中国铁道出版社高职机电类课程建设研究组”,并经过2年的充分调查研究,策划编写、出版了本系列教材。

本系列教材主要涵盖高职高专机电类的公共平台课和6个专业及相关课程,即电气自动化专业、机电一体化专业、生产过程自动化专业、数控技术专业、模具设计与制造专业以及数控设备应用与维护专业,既自成体系又具有相对独立性。本系列教材在研发过程中邀请了高职高专自动化教指委专家、国家级教学名师、精品课负责人、知名专家教授、学术带头人及骨干教师。他们针对相关专业的课程设置融合了多年教学中的实践经验,同时吸取了高等职业教育改革的成果,无论从教学理念的导向、教学标准的开发、教学体系的确立、教材内容的筛选、教材结构的设计,还是教材素材的选择都极具特色。

归纳而言,本系列教材体现如下编写思想:

(1)围绕培养学生的职业技能这条主线设计教材的结构,理论联系实际,从应用的角度组织内容,突出实用性,同时注意将新技术、新工艺等内容纳入教材。

(2)遵循高等职业院校学生的认知规律和学习特点,对于基本理论和方法的讲述力求通俗易懂,多用图表来表达信息,以解决日益庞大的知识内容与学时偏少之间的矛盾;同时增加相关技术在实际生产和生活中的应用实例,引导学生主动学习。

(3)将“问题引导式”“案例式”“任务驱动式”“项目驱动式”等多种教学方法引入教材体例的设计中,融入启发式教学方法,务求好教、好学、爱学。

(4)注重立体化教材的建设,通过主教材、配套素材光盘、电子教案等教学资源的有机结合,提高教学服务水平。

总之,本系列教材在策划出版过程中得到了教育部高职高专自动化技术专业教学指导委员会以及广大专家的指导和帮助,在此表示深深的感谢。希望本系列教材的出版能为我国高等职业院校教育改革起到良好的推动作用,欢迎使用本系列教材的老师和同学提出宝贵的意见和建议。书中如有不妥之处,敬请批评指正。

中国铁道出版社

“自动检测技术”是电气相关各专业的一门非常重要的专业基础理论课,为适应高职高专教材改革的需要,依据教育部颁发的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》,参照有关行业的职业技能鉴定规范,本书在编写中充分汲取了高职高专教育多年来的教改成果,体现了应用性和实践性。

本书保留了高职高专教材理论实用够用的特点,理顺了相关知识点的前后联系,增加了与交通运输类职业院校专业结构相关的教学内容,如船用测深仪、船用测程仪等船舶电工实用及考证必需的知识;在编写过程中,力求做到体系结构完整、内容丰富精练、突出实用性与先进性,使学生通过本书的学习,能够掌握自动检测技术的基本知识,了解发展动向,成为适应生产一线需要的具有较高专业素质的应用型专门人才。

全书共分10章:第1章介绍了传感器与测试技术的基础知识;第2章至第6章介绍了电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、电动势式传感器、位移-数字传感器等常用传统传感器;第7章介绍了超声波传感器、红外传感器、激光传感器,并简要介绍一些新型传感器;第8章介绍了检测系统的信号处理技术;第9章介绍了抗干扰技术;第10章介绍了检测技术的综合应用。另外,每章均附有习题。

本书由江苏海事职业技术学院葛君山任主编,由江苏海事职业技术学院郭宝宁、周口职业技术学院周吉生、柳州铁道职业技术学院雷声勇任副主编。参加编写的还有郭宗莲、杨书杰、王恺、季晓非。其中,葛君山编写第1章、第9章、第10章及附录,郭宝宁编写第8章,郭宗莲编写第2章、第3章,周吉生、杨书杰编写第4章、第5章,雷声勇、王恺编写第6章,南京恒天伟智能技术有限公司季晓非编写第7章。全书由周涛主审,主审人对全书进行了认真审阅,并提出了许多宝贵意见。

本书是编者结合多年来从事自动检测技术教学、科研的实践与体会,学习、吸收了国内外文献资料的精华编写的,在编写过程中得到了南京恒天伟智能技术有限公司及江苏海事职业技术学院电气工程系的大力支持,在此向相关文献作者以及所提及的单位一并致谢。

由于传感器技术发展较快,自动检测技术涉及知识面广,加之作者水平有限,在编写过程中难免存在遗漏和不妥之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

编者

2013年1月

第 1 章 传感器与测试技术基础	1
1.1 测试技术概述	1
1.1.1 测试的基本概念	1
1.1.2 被测量的分类	1
1.1.3 测试系统的组成	2
1.1.4 测试技术的任务和内容	2
1.2 测量的基本知识	3
1.2.1 测量的方法	3
1.2.2 测量误差	4
1.3 传感器的定义、组成及分类	6
1.3.1 传感器的定义	6
1.3.2 传感器的组成	6
1.3.3 传感器的分类	6
1.4 传感器与测试技术的作用	7
1.5 传感器与测试技术的发展动向	8
1.5.1 传感器的发展途径	8
1.5.2 传感器与测试技术的发展方向	8
习题	9
第 2 章 电阻式传感器	10
2.1 电位器式和电阻应变片式传感器	10
2.1.1 电位器式传感器	10
2.1.2 电阻应变式传感器	12
2.1.3 电阻式传感器的应用	14
2.2 热电阻	16
2.2.1 金属热电阻	16
2.2.2 半导体热敏电阻	18
2.3 气敏电阻	19
2.3.1 基本结构	20
2.3.2 工作原理	20
2.4 光敏电阻	21
2.4.1 传感原理	21

2.4.2 光敏电阻的种类	21
2.4.3 光敏电阻的参数及特性	21
2.5 磁敏电阻	23
习题	24

第3章 电容式传感器 25

3.1 电容式传感器的工作原理	25
3.2 电容式传感器的类型及特性	25
3.2.1 变极距型	26
3.2.2 变面积型	27
3.2.3 变介电常数型	28
3.3 电容式传感器的测量电路	29
3.3.1 电桥电路	29
3.3.2 谐振电路	29
3.3.3 调频电路	30
3.3.4 运算放大器电路	30
3.4 电容式传感器的应用	31
3.4.1 电容式压力计	31
3.4.2 电容式液位计	31
3.4.3 电容式湿度计	32
3.4.4 电容式转速传感器	32
3.4.5 电容法测厚度	32
习题	33

第4章 电感式传感器 34

4.1 变磁阻式传感器	34
4.1.1 工作原理	34
4.1.2 变磁阻式传感器的应用	36
4.2 互感型差动变压器式电感传感器	37
4.2.1 工作原理	37
4.2.2 差动变压器式传感器的应用	39
4.3 电涡流式传感器	39
4.3.1 电涡流式传感器的工作原理	39
4.3.2 电涡流式传感器的结构	40
4.3.3 电涡流式传感器的应用	40
习题	42

第5章 电动势式传感器 43

5.1 磁敏传感器	43
-----------------	----

5.1.1	霍尔器件	43
5.1.2	磁阻器件	44
5.1.3	磁敏传感器的应用	45
5.2	热电偶	46
5.2.1	热电偶的基本工作原理	46
5.2.2	热电偶的基本定律	47
5.2.3	热电偶的结构	48
5.2.4	热电偶冷端的温度补偿	50
5.3	压电式传感器	51
5.3.1	压电式传感器的工作原理	51
5.3.2	压电材料及压电元件的结构	52
5.3.3	压电式传感器的测量电路	54
5.3.4	压电式传感器的应用	56
5.4	光电式传感器	57
5.4.1	光电效应及分类	58
5.4.2	光电元件及特性	58
5.4.3	光电传感器的应用	61
	习题	67
第 6 章	位移-数字传感器	68
6.1	光栅传感器	68
6.1.1	计量光栅的结构及分类	68
6.1.2	光栅传感器组成	69
6.1.3	工作原理	69
6.1.4	光栅传感器的应用	74
6.2	磁栅传感器	74
6.2.1	磁栅结构及工作原理	74
6.2.2	磁头	75
6.2.3	测量电路	77
6.2.4	磁栅数显示表及其应用	78
6.3	光电编码器	79
6.3.1	增量式编码器	80
6.3.2	绝对式光电编码器	80
6.3.3	光电脉冲编码器的应用	82
6.4	感应同步器	83
6.4.1	感应同步器的结构和类型	84
6.4.2	感应同步器的工作原理	84

6.4.3 感应同步器在数控机床闭环系统中的应用	86
6.5 旋转变压器	88
6.5.1 旋转变压器的结构	88
6.5.2 旋转变压器的工作原理	88
习题	91

第7章 其他传感器

7.1 超声波传感器	92
7.1.1 超声波的物理基础	92
7.1.2 超声波传感器	94
7.1.3 超声波在自动检测中的应用	95
7.2 微波传感器	97
7.2.1 概述	98
7.2.2 微波传感器的原理与分类	98
7.2.3 微波传感器的组成	98
7.2.4 微波传感器的应用	99
7.3 红外传感器	100
7.3.1 红外辐射的产生和性质	101
7.3.2 红外传感器	101
7.3.3 红外传感器的应用	103
7.4 新型传感器简介	107
7.4.1 高分子有机材料传感器	108
7.4.2 固态图像传感器	108
7.4.3 生物传感器	110
7.4.4 智能式传感器	110
习题	111

第8章 检测系统的信号处理技术

8.1 现代检测技术综述	112
8.1.1 总线技术	112
8.1.2 虚拟仪器技术	116
8.1.3 网络化测试技术	117
8.2 信号的放大与隔离	118
8.2.1 测量放大器	118
8.2.2 隔离放大器	120
8.3 各类滤波器	122
8.3.1 滤波器的类型	122
8.3.2 RC 模拟式滤波器分析	123

8.4 信号的调制与解调	124
8.4.1 调幅及其解调	124
8.4.2 调频及其解调	124
8.5 信号在传输过程中的变换技术	125
8.5.1 信号在传输过程中变换的意义	125
8.5.2 常用的信号变换方法	126
习题	126

第9章 检测装置的干扰抑制技术

9.1 干扰的来源	127
9.1.1 常见的干扰类型	127
9.1.2 噪声与信噪比	128
9.2 干扰的耦合方式及传输途径	128
9.2.1 静电耦合	128
9.2.2 电磁耦合	129
9.2.3 共阻抗耦合	130
9.2.4 漏电流耦合	131
9.3 差模干扰和共模干扰	132
9.3.1 差模干扰	132
9.3.2 共模干扰	133
9.3.3 共模干扰抑制比	134
9.4 干扰抑制技术	134
9.4.1 屏蔽技术	135
9.4.2 接地技术	135
9.4.3 浮空技术	139
9.4.4 隔离技术	139
9.4.5 滤波器	140
9.4.6 软件干扰抑制技术	141
习题	143

第10章 自动检测系统设计与应用

10.1 自动检测系统的设计原则与步骤	144
10.1.1 自动检测系统的设计原则	144
10.1.2 自动检测系统的设计步骤	145
10.2 传感器的合理选用	146
10.3 传感器在汽车测距中的应用	147
10.4 传感器在智能楼宇中的应用	148
10.5 传感器在船舶航行中的应用	152

10.5.1	船用测深仪.....	152
10.5.2	船用计程仪介绍	158
	习题.....	162
附录 A	几种常用传感器的性能比较	163
附录 B	铂铑 10-铂热电偶分度表	165
附录 C	镍铬-铜镍热电偶分度表	168
附录 D	镍铬-镍硅热电偶分度表	169
附录 E	铂电阻分度表.....	172
附录 F	铜电阻（Cu50）分度表	174
附录 G	铜电阻（Cu100）分度表	175
参考文献		176

第1章

传感器与测试技术基础

检测技术是人们为了对被测对象所包含的信息进行定性了解和定量掌握所采取的一系列技术措施。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技术。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更高的要求。



学习目标

- 掌握检测技术的一些基本概念;
- 了解检测技术的作用和地位;
- 掌握检测系统和传感器的组成并了解各组成部分的作用;
- 了解检测系统的主要应用及检测技术的发展方向;
- 能对检测数据进行分析处理。

1.1 测试技术概述

1.1.1 测试的基本概念

测试是具有试验性质的测量,测量是指以确定被测对象属性量值为目的的全部操作,试验是对未知事物的探索性认识过程。因此,测试具有探索、分析和研究的特征,是测量和试验的综合。

人类对客观世界的认识和改造活动都是以测试工作为基础的,科学技术的发展离不开测试技术,测试技术属于信息科学的范畴,与计算机技术、自动控制技术以及通信技术构成完整的信息技术学科。

1.1.2 被测量的分类

被测量的种类非常多,一般将众多的被测量分为电量和非电量两大类。

1. 电量

电量包括电压、电流、功率以及电阻、电容、电感、频率、相位、功率因数、增益、电场强度等。

2. 非电量

非电量是除电量以外的一切量。非电量大致可分为热工量、机械量、物性和成分量以及

状态量四大类。

① 热工量。包括：温度、热量、比热容、热分布；压力（压强）、压差、真空度；流量、流速、风速；物位、液位、界面等。

② 机械量。包括：位移、尺寸、形状、形变；力、应力、力矩、扭矩；重量、质量；振动、速度、加速度、噪声等。

③ 物性和成分量。包括：气、液体化学成分、酸碱度、盐度、浓度、黏度、湿度、密度等。

④ 状态量。包括：颜色、透明度、颗粒度、磨损度、裂纹、缺陷、泄漏、表面质量等。

在实际工业生产中，需要测量的量五花八门，远不止以上所举的项目。但从本质上看，不少是从上述一些基本量中派生出来的，如位移就可派生出线位移、角位移、长度、厚度、入射角等。

电量的测量技术随着电子技术的飞速发展而得到很大的提高，这使得人们研究采用电量的测量技术来测量非电量，即利用传感器将被测的非电量转换成电量，然后用电量的测量技术来测量，这也是所谓的非电量电测技术。

本书所介绍的被测量的测量主要指的是非电量的测量。

1.1.3 测试系统的组成

一个典型的测试系统原理框图如图 1-1 所示，其中包括传感器、信号处理电路以及记录、显示仪器等。

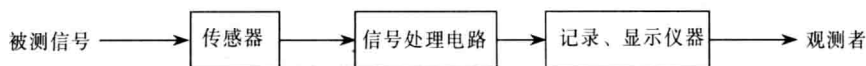


图 1-1 测试系统原理框图

传感器是测试系统的第一个环节，用来感受被测信号，并将被测信号转换为适合于系统后续处理的电信号。它获得信息的正确与否，决定了测试系统的精度。因此，传感器在测试系统中占有重要的位置。

信号处理电路是对传感器的输出电信号作进一步加工和处理，多数是进行电信号之间的转换，包括对信号的转换、放大、滤波等。例如：用电桥将电路参量（如电阻、电容、电感）转换为电压或电流；用滤波器抑制噪声，选出有用信号等。通过信号的处理，最终获得便于传输、显示、记录以及可作进一步后续处理的信号。

记录、显示仪器是将所测得的信号变为一种能为人们所理解的形式，以供人们观察和分析。

上述测试系统各组成部分描述的是一种“功能模块”的形式。在实际的测试系统中，这些功能模块所表达的具体装置或仪器的差异是很大的。例如，信号调理电路部分有时可以由很多仪器组合成的一个完成特定功能的复杂群体；有时却可能简单到仅有一个变换电路，甚至可能仅是一根导线。

1.1.4 测试技术的任务和内容

测试的基本任务是获取信息，信息是客观事物的时间、空间特性，是无所不在的，但是

人们为了某些特定的目的,总是从浩如烟海的信息中把需要的部分取出来,以达到观测事物某一本质问题的目的,需了解的那部分信息以各种技术手段表达出来,给人们提供观测和分析的途径,这种对信息的表达形式称之为“信号”,所以信号是某一特定信息的载体。信息、信号、测试与测试系统之间的关系可以表述为:获取信息是测试的目的;信号是信息的载体;信息是信号所载荷的内容。测试是通过测试系统、设备得到被测参数信息的技术手段。

因此,测试技术的任务可以概括为:发现与各种信息相对应的信号表现形式,以及信息、信号之间的定性、定量关系;在不同环境下寻求最佳的信号获取、变换、处理、存储、传输、指示、记录等方法、手段与设备。

测试技术研究的主要内容包括被测量的测量原理、测量方法、测量系统以及数据处理等4个方面。

测量原理是指实现测量所依据的物理、化学、生物等现象及有关定律的总体。例如:压电式传感器测量振动加速度时所依据的是压电效应;热电偶测量温度时所依据的是热电效应等。不同性质的被测量用不同的原理去测量,同一性质的被测量也可用不同的原理去测量。

一般将测量过程和测量条件等内容称为测量方法。根据对测量任务的具体要求和现场实际情况,需要采用不同的测量方法。

测量系统是指用于特定测量目的,由全套测量仪器和有关的其他设备、软件以及人员所形成的一个系统。

数据处理是指为了一定的目的,按照一定的规则和方法对测试数据进行收集、加工的过程,进而将测试数据所代表的事物内在规律提炼出来,得出正确的结果。

1.2 测量的基本知识

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程,其目的是要知道被测量值的真实大小,但由于人的认识能力不足和科学水平的限制,测量所得的数据和被测量的真值之间不可避免地存在一定的差异,在数值上即表现为误差。随着科学技术的发展,虽可将误差控制得越来越小,但始终不能完全消除它。误差研究的目的是,确切地了解测量误差的大小范围,把测量误差控制在能够满足需要的程度,并能以误差理论为依据对测量结果做出科学的、合理的评定。

1.2.1 测量的方法

测量方法的正确与否十分重要,它关系到测量结果是否可靠以及测量工作能否正常进行。测量的方法多种多样,分类方法也各不相同。

1. 静态测量和动态测量

静态测量是测量那些不随时间变化或变化很缓慢的物理量。动态测量是测量那些随时间迅速变化的物理量。静态和动态是相对的,一切事物都是发展变化的,也可以把静态测量看成是动态测量的一种特殊形式。

2. 直接测量、间接测量和组合测量

直接测量是测量结果能直接从预先标定好的测量仪表、器具的读数装置上获得的测量。

如用千分尺或百分表测量轴径,用万用表测量电压、电阻等。直接测量简单而迅速。

间接测量是首先对与被测量有确定函数关系的物理量进行直接测量,然后通过函数式计算求得测量结果的一类测量。间接测量通常用于直接测量不易测准,或由于被测件结构限制而无法进行直接测量的场合。例如,测量大圆柱直径时,可通过测量周长 L ,按公式 $D=L/\pi$ 来计算直径。

组合测量是在测量中各个未知量以不同的组合形式出现,根据直接测量和间接测量所得到的数据,通过解联立方程组来求出未知量的数值。

例如在 $0\sim 630\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,铂热电阻温度计的电阻值与温度的关系为

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

式中 R_t ——在 $t\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的铂电阻值;

R_0 ——在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的铂电阻值;

A 、 B ——铂电阻的温度系数。

为了确定铂电阻的温度系数,首先需要测量 3 种不同温度下的电阻值 R_1 、 R_2 、 R_3 ,然后再解联立方程组,求 A 、 B 和 R_0 的值。

组合测量比较复杂,一般适于科学实验和特殊场合。

3. 接触式测量和非接触式测量

接触式测量是指测量时仪器的测头与被测对象直接接触。例如,用压电式传感器测量力。

非接触式测量是指测量时仪器的敏感元件与被测对象不直接接触,而是间接地承受被测参数的作用,感受其变化,达到检测目的的方法。例如,用辐射式温度计测量温度,用涡流式传感器检测机械零件的厚度。

非接触式测量不会干扰被测对象的运动状态,特别是在一些接触方法不能胜任的场合(例如运动对象的参数测量、腐蚀性介质及危险场合下的参数测量等)使用非接触式测量方法就更为方便、安全和准确。

4. 在线测量和非在线测量

在线测量是在工件加工过程中进行的测量,它可直接用来控制零件的加工过程,能在生产流水线上监控产品的质量,可称之为主动测量。

非在线测量是在零件完工后进行的测量,其作用仅限于发现并剔除废品,可称之为被动测量。

1.2.2 测量误差

1. 测量误差的基本概念

在任何测量过程中,无论采用多么完善的测量方法和多么精确的检测装置,都不可避免地会产生测量误差,测量的结果也就不可能绝对准确。

测量误差就是指测量值与真值之间的差值。即

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

式中 Δ ——测量误差;

A_x ——测量值或观测值;

A_0 ——真值。

所谓真值是指在一定的时间、空间或某种状态下被测量客观存在的实际值。真值一般来说是未知的,但有些真值是可以确定的。

① 理论真值。例如 π 值,平面四边形四角之和恒为 360° 。

② 约定真值。例如在标准条件下,水的冰点和沸点分别是 0°C 和 100°C 。

③ 相对真值。凡精度高一级或高几级的仪表的误差与精度低的仪表的误差相比,前者优于后者2倍以上时,则高精度仪表的测量值可以认为是真值。例如,铂电阻温度计与普通温度计指示的温度相比较,前者是真值。

上述测量误差 Δ 又称为绝对误差,可能是正值或负值,其绝对值的大小决定了测量的精度。绝对误差只能判断相同被测量的精度。对大小不同值的同类量进行测量,要比较其精度,就需采用相对误差。相对误差可分为以下几种:

(1) 实际相对误差

实际相对误差 γ_A 用绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 的百分比表示。即

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

(2) 示值(标称)相对误差

示值相对误差 γ_x 用绝对误差 Δ 与被测量 A_x 的百分比表示。即

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

(3) 满度(引用)相对误差

满度相对误差 γ_m 用绝对误差 Δ 与仪器满度值 A_m 的百分比表示。即

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

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

$$S = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

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_m 。精度等级 S 规定取一系列标准值,我国电工仪表中常用的模拟仪表的精度等级有7种:0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。在选择仪表时,要兼顾仪表的精度等级和测量上限两个方面。

2. 测量误差的分类

按照误差的特点和性质,测量误差可分为以下几种:

(1) 系统误差

在相同条件下,多次重复测量时,其绝对值和符号保持不变或按一定规律变化的误差(例如由于标准量的不正确,仪器刻度的不准确等而引起的误差)称为等位误差。系统误差的规律是确定的,因而可以设法消除或在测量结果中加以修正。

(2) 随机误差

在相同条件下,多次重复测量时,其绝对值和符号以不可预定的方式变化的误差称为随机误差。随机误差是由许许多多的随机因数(如在测量过程中温度的微量变化、地面的微振、机构的间隙和摩擦、连接件的变形等)造成的。虽然一次测量随机误差的产生没有确定的规