



中等职业学校电子信息类教材 实用电子技术专业

传感器原理 与应用

郝 芸 主编
彭利标 主审

-43



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业学校电子信息类教材(实用电子技术专业)

传感器原理与应用

郝 芸 主编

彭利标 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书阐述了应用传感器的非电量测量系统的基本组成,包括被测量的获得,信号的转换、处理以及输出的控制。书中着重讲述了常用的各种传感器的工作原理与特点,常用测量电路和元器件的使用,典型的传感器测量实例,并对传感器与微机的接口技术和智能仪器进行了介绍。本书理论与实践并重,内容通俗易懂,深入浅出,学习后可以此为依据,进行必要的设计。

本书可作为中等职业学校仪器仪表、自动控制、电子技术和机电技术等专业的教科书,也可供从事检测、控制技术等相关专业的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与应用/郝芸主编. —北京:电子工业出版社,2002.5
中等职业学校电子信息类教材(实用电子技术专业)
ISBN 7-5053-7241-6

I. 传… II. 郝… III. 传感器—专业学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 018425 号

责任编辑:刘文杰 特约编辑:孙俊

印刷:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:9.75 字数:246 千字

版 次:2002 年 5 月第 1 版 2003 年 3 月第 2 次印刷

印 数:4 000 册 定价:13.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

出版说明

职业教育的教育质量和办学效益,直接关系到我国 21 世纪劳动者和专门人才的素质,关系到经济发展的进程。要培养具备综合职业能力和全面素质,直接在生产、服务、技术和管理第一线工作的跨世纪应用型人才,必须进一步推动职业教育教学改革,确立以能力为本位的教学指导思想。在课程开发和教材建设上,以社会和经济需求为导向,从劳动力市场和职业岗位分析入手,努力提高教育质量。

电子工业出版社受国家教育部的委托,负责规划、组织并出版全国中等职业学校计算机技术、实用电子技术和通信技术三个专业的教材。电子工业出版社以电子信息产业为背景,以本行业的科技力量为依托,与教研、教学第一线的教研人员和教师相结合,已组织编写、出版计算机技术、实用电子技术及通信技术专业的教材 100 余种,受到了广大职业学校师生的好评,为促进职业教育做出了积极的努力。

随着科学技术水平日新月异,计算机、电子、通信技术的发展更是突飞猛进,而职业教育直接面向社会、面向市场,这就要求教材内容必须密切联系实际,反映新知识、新技术、新工艺和新方法。好的教材应该既要让学生学到专业知识,又能让学生掌握实际操作技能,而重点放在学生的操作和技能训练方面。在这一思想指导下,电子工业出版社根据《职业教育法》及劳动部颁发的《职业技能鉴定规范》,在教育部等相关部门的领导下,会同电子信息行业的专家、教育教研部门研究人员以及广大中等职业学校的领导和教师,在深入调查研究的基础上,制定了三个专业的指导性教学计划。该计划强调技能培养,充分考虑各学校课程设置、师资力量、教学条件的差异,突出了“宽基础多模块、大菜单小模块”灵活办学的宗旨。

新版教材具有以下突出的特点:

1. 发挥产业优势,以本行业的科技力量为依托,充分适应中等职业学校推行的学业证书和职业资格证书的双证制度,突出教材的实用性、先进性、科学性和趣味性。
2. 教材密切反映电子信息技术的发展,不断推陈出新。实用电子技术专业教材突出数字化、集成化技术;计算机技术专业教材内容涉及多种流行软件及实用技术;通信技术专业教材反映通信领域的先进技术。
3. 教材与中等职业学校开设的专业课程相配套,注意贯穿能力和技能培养于始终,精心安排例题、习题,在把握难易、深广度时,以易懂、广度优先,理论原理为操作技能服务,够用即可。
4. 教材的编写一改过去又深又厚的模式,突出“小模块”的特点,为不同学校依据自己的师资力量和办学条件灵活选择不同专业模块组合提供方便。

另外,为满足广大中等职业学校教师的教学需要,我们还将根据每种教材的具体情况推出配套的教师辅助参考书以及供学生使用的上机操作/练习指导书。

随着教育体制改革的进一步深化,加之科学技术的迅猛发展,编写中等职业学校教材始终是一个新课题。希望全国各地中等职业学校的广大师生多提宝贵意见,帮助我们紧跟职业教育和科学技术的发展,不断提高教材的编写质量,以便更好地为广大师生服务。

全国中等职业学校电子信息类教材工作领导小组
2000 年 5 月

全国中等职业学校电子信息类教材工作领导小组

组长：

姚志清(原电子工业部人事教育司副司长)

副组长：

牛梦成(教育部职成教司教材处处长)

蔡继顺(北京市教委职教处副处长)

李 群(黑龙江省教委职教处处长)

王兆明(江苏省教委职教办主任)

陈观诚(福建省职业技术教育学会副秘书长)

王 森(解放军军械工程学院计算机应用研究所教授)

吴金生(电子工业出版社副社长)

成员：

褚家蒙(四川省教委职教处副处长)

尚志平(山东省教学研究室副主任)

赵丽华(天津市教育局职教处处长)

潘效愚(安徽省教委职教处处长)

郭菊生(上海市教委职教处)

翟汝直(河南省教委研究室主任)

李洪勋(河北省教委职教处副处长)

梁玉萍(江西省教委职教处处长)

吴永发(吉林省教育学院职教分院副院长)

王家诒(上海现代职业技术学校副校长)

郭秀峰(山西省教委职教处副处长)

彭先卫(新疆教委职教处)

李启源(广西教委职教处副处长)

彭世华(湖南省职教研究中心主任)

许淑英(北京市教委职教处副处级调研员)

姜昭慧(湖北省职教研究中心副主任)

张雪冬(辽宁省教委中职处副处长)

王志伟(甘肃省教委职教处助理调研员)

李慕瑾(黑龙江教委职教教材站副编审)

何雪涛(浙江省教科院)

杜锡强(广东省教育厅职业与成人教育处副处长)

王润拽(内蒙古自治区教育厅职成处处长)

秘书长：

林 培(电子工业出版社)

全国中等职业学校电子信息类教材编审委员会

名誉主任委员：

杨玉民(原北京市教育局副局长)

主任委员：

马叔平(北京市教委副主任)

副主任委员：

邢 晖(北京市教科院职教所副所长)

王家诒(上海现代职业技术学校副校长)

王 森(解放军军械工程学院计算机应用研究所教授)

韩广兴(天津广播电视大学高级工程师)

[实用电子技术编审组]

组长：

刘志平(北京市职教所教研部副主任)

副组长：

陈其纯(苏州市高级工业学校特级教师)

杜德昌(山东省教学研究室教研员)

白春章(辽宁教育学院职教部副主任)

张大彪(河北师大职业技术学院电子系副主任)

王连生(黑龙江省教育学院职教部副教授)

组员：

李蕴强(天津市教育教研室教研员)

孙介福(四川省教科所职教室主任)

沈大林(北京市回民学校教师)

朱文科(甘肃省兰州职业中专)

郭子雄(长沙市电子工业学院高级教师)

金国砥(杭州中策职业高级中学教研组长)

李佩禹(山东省家电行业协会副秘书长)

邓 弘(江西省教委职教处助理调研员)

刘 杰(内蒙古呼和浩特市第一职业中专教师)

高宪宏(黑龙江省佳木斯市职教中心)

朱广乃(河南省郑州市教委职教室副主任)

黄亲民(上海现代职业技术学校)

[计算机技术编审组]

组长：

吴清萍(北京市财经学校副校长)

副组长：

史建军(青岛市科协计算机普及教育中心副主任)

钟 葆(上海现代职业技术学校教研组长)

周察金(四川省成都市新华职业中学教研组长)

组员：

刘逢勤(郑州市第三职业中专教研组长)

戚文正(武汉市第一职教中心教务主任)

肖金立(天津市电子计算机职业中专教师)

严振国(无锡市电子职业中学教务副主任)

魏茂林(青岛市教委职教室教研员)

陈民宇(太原市实验职业中学教研组长)

徐少军(兰州市职业技术学校教师)

白德淳(吉林省冶金工业学校高级教师)

陈文华(温州市职业技术学校教研组长)

邢玉华(齐齐哈尔市职教中心学校主任)

谭枢伟(牡丹江市职教中心学校)

谭玉平(石家庄第二职教中心副校长)

要志东(广东省教育厅职业教育研究室教研员)

王英武(呼和浩特市第二职业中专教导主任)

[通信技术编审组]

组长：

徐治乐(广州市电子职业高级中学副校长)

副组长：

陶宏伟(北京市西城电子电器职高主任)

陈振源(厦门教育学院职业教育教研室高级教师)

组员：

赖晖煜(福建省厦门电子职业中专学校主任)

许林平(石家庄市职业技术教育中心主任)

邱宝盛(山东省邮电学校副校长)

邹开跃(重庆龙门浩职业中学主任)

前 言

在现代测量与控制技术中,非电量测量与探测占有重要地位,这就要用到各种类型的传感器,将各种不同的信号转换成电量。目前非电量测量的书籍,大多着重于原理论述,缺少实际应用。

本书根据国内外的大量参考书籍和实践资料,在必要理论知识介绍的前提下,推出许多典型应用实例。根据大纲要求,重点介绍了典型传感器的工作原理。为了反映当前技术发展状况,介绍了传感器的使用电路和典型传感器的应用实例,并且较具体地介绍了电路原理、使用方法和特点。

本书共分 12 章。第 1 章介绍了非电量测量的基本知识;第 2 章至第 10 章介绍了典型传感器,讲解了传感器的原理、测量电路和应用实例,使读者对信号的检测、传输和处理有一个比较系统和完整的概念;第 11 章是传感器与微机接口技术,介绍了常用的接口芯片和连接方法;第 12 章介绍智能仪器的组成、通用总线标准。

本课程总学时为 60 学时(不包括实验)。本书理论与实践并重,将两者有机地结合,适用于仪器仪表专业、自动控制专业、电子技术专业和机电技术专业,也可以供从事检测、控制技术等相关专业的工程技术人员参考。本书由天津电子信息职业技术学院的郝芸担任主编,参加编写的还有河北电子工业学校的高双喜、天津电子信息职业技术学院的贾霄龙。主审由天津电子信息职业技术学院的彭利标担任。责任编委由本溪电子工业学校的崔金辉担任。在编写过程中,得到许多学校老师的大力支持,在此一并感谢。

由于非电量测量与传感器所涉及的知识面相当广泛,而我们的水平有限,本书在内容的选择与安排上可能会有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2001.8

目 录

绪论	(1)
第 1 章 测量与传感器	(3)
1.1 测量与测量误差	(3)
1.1.1 测量	(3)
1.1.2 测量误差	(3)
1.1.3 测量方法	(5)
1.2 传感器	(7)
1.2.1 传感器的定义、组成和分类	(7)
1.2.2 传感器的特性	(9)
思考题	(10)
第 2 章 电阻式传感器	(12)
2.1 电阻应变式传感器	(12)
2.1.1 应变片与应变效应	(12)
2.1.2 应变片式力传感器及测量电路	(15)
2.1.3 称重传感器	(18)
2.1.4 数字血压计	(20)
2.2 电位器传感器	(20)
2.2.1 电位器的原理	(20)
2.2.2 电位器角度与角位移传感器	(21)
2.3 热电阻传感器	(22)
2.3.1 热电阻工作原理	(22)
2.3.2 温度测量控制仪	(25)
2.4 气敏电阻传感器	(26)
2.4.1 气敏电阻的工作原理	(26)
2.4.2 自动通风扇	(27)
2.4.3 汽车停车场排气装置	(27)
2.4.4 家用有毒气体报警器	(28)
思考题	(29)
第 3 章 压电式传感器	(30)
3.1 压电元件与压电效应	(30)
3.1.1 压电元件	(30)
3.1.2 压电效应	(30)
3.2 压电传感器的结构	(31)
3.3 压电传感器测量电路	(32)
3.3.1 压电传感器的等效电路	(32)

3.3.2 测量电路	(33)
3.4 应用举例	(35)
3.4.1 压力传感器及电路	(35)
3.4.2 压电加速度传感器及电路	(35)
3.4.3 电子气压计	(36)
思考题	(37)
第4章 热电偶传感器	(38)
4.1 热电偶热电效应和热电偶定律	(38)
4.1.1 热电偶	(38)
4.1.2 热电效应	(38)
4.1.3 热电偶的测温原理	(39)
4.1.4 热电偶定律	(39)
4.2 热电偶的冷端处理	(43)
4.3 常用热电偶及测温电路	(45)
4.3.1 常用热电偶材料	(45)
4.3.2 结构与用途	(46)
4.3.3 典型测温线路	(48)
4.4 K型热电偶数字温度计	(49)
思考题	(50)
第5章 光电传感器	(51)
5.1 光电效应和光电元件	(51)
5.1.1 光电效应及分类	(51)
5.1.2 光电元件	(51)
5.2 光电传感器的应用	(55)
5.2.1 光电式转速表	(56)
5.2.2 光电式边缘位置检测传感器	(57)
5.2.3 光电断续器	(58)
5.2.4 光电耦合器	(60)
思考题	(61)
第6章 霍尔传感器	(62)
6.1 霍尔效应及霍尔元件	(62)
6.1.1 霍尔效应	(62)
6.1.2 霍尔元件及特性	(63)
6.2 霍尔集成电路	(64)
6.3 霍尔传感器的应用	(65)
6.3.1 霍尔转速传感器	(65)
6.3.2 霍尔式接近开关	(66)
6.3.3 霍尔传感器的其他应用	(67)
思考题	(68)
第7章 超声波传感器	(70)

7.1 超声波及探头	(70)
7.1.1 超声波及波形	(70)
7.1.2 超声波探头	(71)
7.2 应用举例	(74)
7.2.1 超声波探伤	(74)
7.2.2 超声波流量计	(75)
7.2.3 超声波传感器的其他应用	(77)
思考题	(79)
第8章 电感传感器	(80)
8.1 自感式电感传感器	(80)
8.1.1 自感式电感传感器的结构	(80)
8.1.2 自感式电感传感器的应用	(82)
8.2 差动变压器	(84)
8.2.1 差动变压器的结构原理与测量电路	(84)
8.2.2 差动变压器的应用	(86)
8.3 涡流传感器	(89)
8.3.1 涡流传感器原理	(89)
8.3.2 涡流传感器的应用	(89)
思考题	(92)
第9章 电容传感器	(93)
9.1 电容传感器的原理与结构	(93)
9.1.1 改变遮盖面积型传感器	(93)
9.1.2 变极距型传感器	(94)
9.1.3 变介电常数型传感器	(94)
9.2 电容传感器的测量电路	(95)
9.2.1 调频电路	(95)
9.2.2 脉冲宽度调制电路	(96)
9.2.3 运算放大器式电路	(97)
9.3 电容传感器的应用实例	(97)
9.3.1 电容料位计	(97)
9.3.2 电容式厚度传感器	(98)
9.3.3 电容式差压传感器	(98)
9.3.4 人体接近电容式传感器	(99)
9.3.5 电容式湿度传感器	(100)
思考题	(100)
第10章 几种常用传感器简介	(102)
10.1 光导纤维传感器	(102)
10.1.1 光导纤维及其分类	(102)
10.1.2 光在光导纤维中的传输原理	(103)
10.1.3 光纤传感器的分类应用	(104)

10.1.4	光纤传感器发展动向	(109)
10.2	光栅传感器	(110)
10.2.1	光栅传感器的工作原理	(110)
10.2.2	光栅传感器的应用	(115)
10.3	半导体集成温度传感器	(115)
	思考题	(116)
第 11 章	传感器与微机接口技术	(117)
11.1	概述	(117)
11.1.1	传感器接口的结构和类型	(117)
11.1.2	输入通道的特点	(118)
11.1.3	输出通道的结构和类型	(118)
11.1.4	输出通道的特点	(119)
11.2	多路模拟开关和采样保持器	(119)
11.2.1	多路模拟开关	(119)
11.2.2	采样保持器	(121)
11.3	A/D 转换接口	(123)
11.3.1	逐次逼近式 ADC 的工作原理	(123)
11.3.2	ADC 的性能参数	(124)
11.3.3	常用 A/D 转换器	(125)
11.4	传感器接口(输入通道)的建立	(131)
11.4.1	多路模拟输入的输入通道结构	(131)
11.4.2	传感器接口技术的应用 I	(132)
11.4.3	传感器接口技术的应用 II	(134)
	思考题	(136)
第 12 章	智能仪器简介	(137)
12.1	智能仪器的组成及特点	(137)
12.1.1	智能仪器的硬件结构	(137)
12.1.2	智能仪器的结构特点	(137)
12.2	智能仪器的标准总线接口	(138)
12.2.1	概述	(139)
12.2.2	IEEE - 488 总线	(140)
	思考题	(141)
	参考资料	(142)

绪 论

传感器技术是运用在自动检测和控制系统中，并对系统运行的各项指标和功能起重要作用的一门技术。系统的自动化程度越高，对传感器的依赖性就越强。传感器技术所要解决的问题是如何准确可靠地获取控制系统中的信息，并结合通信技术和计算机技术完成对信息的传输和处理，最终对系统实现控制的目的。传感器技术、通信技术和计算机技术是现代信息技术的三大基础学科，它们分别构成了自动检测控制系统的“感觉器官”，“中枢神经”和“大脑”。

传感器技术是研究各门学科的基础。无论哪一门学科，哪一种技术，哪一个被控制对象，没有科学地对原始数据的检测，无论是信息转换、信息处理，还是数据显示，乃至于最终对被控制对象的控制，都将是一句空话。

传感器技术遍布各行各业、各个领域。在航空航天领域，以“阿波罗 10 号”运载火箭为例，检测加速度、声学、温度、压力、流量、速度、应变等参数的传感器共有 2077 个，宇宙飞船部分共有各种传感器 1218 个。在飞行器研制过程中，对样机使用了各种传感器进行地面和空中测试，以确定符合各项技术性能的指标。在飞行器中，装备了各种检测、显示和控制系统，以反映飞行器的飞行参数和发动机的各项指标参数，提供给驾驶员和控制室去控制和操纵。

在现代工业生产中，自动化生产越来越普遍。仅以机床为例，以前只是测量一些静态或稳态的性能参数，而现在随着科学技术的进步和加工质量的提高，需要测量许多动态性能，如机床床身的振动，轴向、径向位移的变化，刀具的磨损，负载的变化，工件的尺寸等。这些物理量的测量都需要大量的传感器。此外，在机械加工过程中，各种保护措施的实施也是自动完成的，如对人身安全的保护需要利用传感器的自动检测来完成。

传感器在基础学科的研究中具有更突出的地位。现代科学技术的发展，带领人们进入了许多新领域。例如观察大到上千光年的茫茫宇宙，小到 10^{-13}cm 的粒子世界，时间长达数十万年的天体演化，短到 10^{-24}s 的瞬间反映，都离不开传感器技术的广泛应用。此外，在各种尖端技术的研究中（如超高温、超低温、超高压、超低压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等等），传感器技术都得到广泛的应用。显然，要获取人类感官无法获得的这些信息，没有相应的各种传感器是不可能的。因此，传感器技术的发展是许多边缘学科、尖端技术的先驱。可以说，没有检测就没有科学技术。

现代计算机的出现给人类文明发展带来了巨大的影响。计算机信息的获得，主要是依靠传感器检测得到的。传感器将某些信息提取并转换成计算机系统所能够识别的信号，通过计算机进行信息处理，并输出控制信息，从而完成各种控制要求。传感器的发展将使计算机的功能得到更充分的利用，并将促进计算机技术的进一步发展。

在现代医学领域，人们对疾病的诊断和治疗也离不开传感器技术。只有在利用传感器检测出人们病变的所在和性质后，才能实现治疗和处理。

在日常生活中，各种家用电器的自动化工作也离不开传感器技术的使用。例如：温度和湿度的测控，生活空间中各种保护装置的开启，都是先通过传感器进行检测而实现控制的。

传感器技术主要介绍自动控制系统中常用的各种传感器。它是自动控制系统中的首要环节，它与信号处理装置和执行机构共同构成自动控制系统。如图 0-1 所示是自动控制系统的原理框图。由传感器检测被控对象的某些参数，再将其转换成控制系统（如图中的信号处理电路）所能够接收和识别的信号（如计算机系统接收的数字量），经控制系统进行处理后，再发出控制信号，驱动执行机构对被控对象实现某种操作或显示输出，以达到对整个系统进行测量或控制的目的。

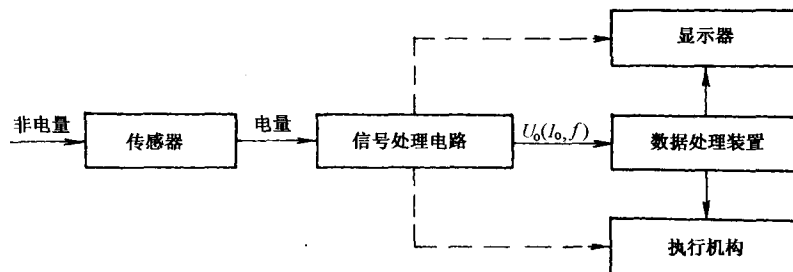


图 0-1 自动控制系统原理框图

本书主要介绍各种传感器的测量转换原理、测量电路、使用方法、常见型号及特点，学习这些内容需要具备一定的物理基础知识、电子基础知识和机械基础知识。

第 1 章 测量与传感器

1.1 测量与测量误差

1.1.1 测量

测量是人们借助于专门设备,通过一定的技术手段和方法,对被测对象收集信息、取得数量概念的过程。它是一个比较过程,即将被测量与和它同性质的标准量进行比较,获得被测量为标准量的若干倍的数量概念。传感器获取被测对象的参数,也是一种测量。

测量结果可以是一定的数字,也可以是某种图线。但无论其形式如何,测量结果总包含有两部分:即大小(包括符号的正、负)及相应的单位。测量结果不注明单位,则该结果无意义。

测量是一个过程,它包括比较、平衡、误差和读数,这一过程的核心是比较。此外,还必须进行一定的变换。因为人们的感官能直接给出定量概念的被测量不多,绝大多数的被测量都要变换为某一个中间变量,然后才能给出定量的概念。例如,人的感官对温度只能给出定性的冷暖概念,而要想得出定量的概念,则需要利用物质热胀冷缩的原理,把温度变换为中间变量,如长度,然后进行比较和测量。因此,变换是实现测量的必要手段,是为了有效地进行测量。再比如,在自动检测控制系统中,多数被测量是模拟量,通常需要将其转换成数字量,才能送到计算机中进行数据处理。因此,必须用传感器将模拟量变换成为标准电量(电压或电流),再经 A/D 转换器送入计算机中。

测量的目的就是求取被测量的真值。所谓真值是指在一定的客观条件下,某物理量确切存在的真实值。但是,真值是永远无法获得的。因为在测量中会不可避免地产生各种误差,这是由于测量设备、测量方法和手段以及测量者本身因素的影响,而且是无法克服的影响。例如,在测量温度时,热量可以通过温度传感器从被测物体上传导出来,这样,将导致温度的下降。因此,测量结果并未反映出被测对象的真实面貌,而仅仅是一种近似值。

1.1.2 测量误差

测量结果偏离真值的大小是由测量误差来衡量的,测量误差的大小反映了测量结果的好坏,即测量精度的高低。因此,为了使测量结果更接近真值,提高测量的精确度,有必要讨论一下误差产生的原因、种类,以便在测量过程中想办法减小误差,提高测量的精确度。

造成测量误差的原因是多方面的,表示误差的方法也是多种多样的。

1. 绝对误差和相对误差

误差可以用绝对误差和相对误差来表示。绝对误差用 Δ 表示,它是指某一物理量的测量值 A_x 与真值 A_0 之间的差值,即 $\Delta=A_x-A_0$ 。

由于真值是无法求得的,所以常常用基准器的量值代表真值,叫做约定真值,其与真值之差可以忽略不计。为了使用方便,有时用“真值”这个词来代替“约定真值”。绝对误

差是有量纲的。

有时绝对误差不足以反映测量值偏离真值的程度，为了说明测量精确度的高低，引入了相对误差这一概念。相对误差常用百分比的形式来表示，一般多取正值。相对误差有以下几种。

(1) 实际相对误差 γ_A ：实际相对误差 γ_A 是用绝对误差 Δ 与被测量实际值（即真值） A_0 的百分比表示，即

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

(2) 示值（标称）相对误差 γ_x ：示值相对误差 γ_x 是用绝对误差 Δ 与被测量的仪器示值 A_x 的百分比值来表示的相对误差值，即

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\%$$

(3) 满度（引用）相对误差 γ_m ：满度（引用）相对误差 γ_m 是用绝对误差 Δ 与仪器的满度值 A_m 的百分比表示的相对误差，即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

在上式中，当 Δ 取最大值 Δ_m 时，若仪表的下限为零（ $A_{\min}=0$ ），满度相对误差 γ_m 常用来确定仪表的精度等级 S ，即

$$S = \left| \frac{\Delta_m}{A_m} \right| \times 100$$

若仪表的下限不为零（ $A_{\min} \neq 0$ ），则有

$$S = \left| \frac{\Delta_m}{A_{\max} - A_{\min}} \right| \times 100$$

精度等级 S 规定取一系列标准值。在我国电工仪表中常用的精度等级有以下七种：0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0。仪表的精度从仪表面板上的标志就可以判断出来。通常可以根据精度等级 S 以及仪表的量程范围，推算出该仪表在测量过程中可能出现的最大绝对误差 Δ_m ，从而正确选择适合测量要求的仪表。

【例 1】 现有 0.5 级的（0~400） $^{\circ}\text{C}$ 的和 1.5 级的（0~100） $^{\circ}\text{C}$ 的两个温度计，要测量 50 $^{\circ}\text{C}$ 的温度，应采用哪一个温度计较好？

解：当用 0.5 级的温度计测量时，可能出现的最大示值相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_{m1}}{A_x} \times 100\% = \frac{400 \times 0.5\%}{50} \times 100\% = 4\%$$

若用 1.5 级的温度计测量时，可能出现的最大示值相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_{m2}}{A_x} \times 100\% = \frac{100 \times 1.5\%}{50} \times 100\% = 3\%$$

经过计算得出，使用 1.5 级的温度计测量时，其示值相对误差比使用 0.5 级温度计测量时的示值相对误差小，因而更为合适。由此可知，在选用仪表时，应兼顾精度等级和量程。根据经验通常，希望示值落在仪表满度值的 2/3 附近。

2. 粗大误差、系统误差和随机误差

(1) 粗大误差 (Gross error)：粗大误差也称过失误差，是指那些明显偏离真值的误差。

造成粗大误差的原因主要是由于测量人员的粗心大意或电子测量仪器突然受到强大的干扰而引起的,例如测错、读错、记错、外界过电压尖峰干扰等因素而造成的误差。从数值的大小而言,粗大误差明显地超过在正常条件下的误差。当发现粗大误差时,应予以排除。

(2) 系统误差 (Systematic error): 系统误差也称装置误差,是指服从某一确定规律的误差。它反映了测量值偏离真值的程度。按照误差表现的特点,系统误差可分为恒值误差和变值误差两大类。误差值不变的称为恒值误差。例如,由于刻度盘分度差错或刻度盘移动而使仪表的刻度产生误差,就属于该类型。其余大部分的附加误差都归属于变值误差。例如,由于环境温度波动而使电源电压出现波动、电子元件老化、机械零件变形移位、仪表零点的漂移等均属此类。总之,系统误差的特征是:系统误差具有一定规律性,其产生原因具有一定的可知性。因此,应尽可能预先了解各种系统误差的成因,并设法消除其影响。通常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来消除该误差。

在一个测量系统中,测量的准确度通常由系统误差来表征,系统误差越小,则表明测量的准确度越高。

(3) 随机误差 (Random error): 同一测量条件下,多次对同一被测量进行测量,有时会发现测量值时大时小,具有一定的随机性,这种误差即为随机误差,也称为偶然误差。随机误差是一种服从大多数统计规律的误差,虽然某个误差的出现是随机的,但就误差的整体而言,它具有一定的规律性。随机误差的产生是由很多影响量的微小变化的总和所造成的,难以具体分析。但对其总和可用统计规律描述。随机误差的大小通常用精密度来表示。随机误差越大,测量的精密度越低,而随机误差越小,测量的精密度就越高。通常我们可以对同一被测量进行等精度的多次测量,对其结果取平均值以减小随机误差。

3. 静态误差和动态误差

(1) 静态误差 (Static error): 被测量不随时间变化时所得到的误差称为静态误差。前面讨论的误差,大多数属于静态误差。

(2) 动态误差 (Dynamic error): 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,这种误差即为动态误差。动态误差是由于测量系统(或仪表)存在着各种惯性,使其对输入信号的变化响应滞后,或输入信号中不同的频率成分在通过测量系统时,受到不同的衰减和延迟而造成的误差,它的大小为动态测量和静态测量时所得误差的差值。

1.1.3 测量方法

测量方法多种多样,分类的方法也各不相同。例如,根据被测量是否随时间变化,可分为静态测量与动态测量;根据测量的手段不同,可分为直接测量与间接测量;根据测量时与被测对象的接触与否,可分为接触式测量和非接触式测量;为了监视生产过程,可在生产线上随时监视产品质量的测量称为在线测量,反之称为非在线测量;根据被测量读数方法的不同,又可分为偏差法测量、零位法测量、微差法测量。

1. 直接测量与间接测量

(1) 直接测量: 使用事先经过标定的有分度的仪表对被测量进行测量,从而得出被测