



教育部高职高专规划教材

牟爱霞 主编

工业检测与 转换技术



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

工业检测与转换技术

牟爱霞 主编

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业检测与转换技术/牟爱霞主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 6

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-7275-9

I. 工… II. 牟… III. 检测器-高等学校: 技术学院-教材 IV. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 064239 号

教育部高职高专规划教材

工业检测与转换技术

牟爱霞 主编

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 张燕文

责任校对: 王素芹

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 314 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7275-9

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

工业检测与转换技术是电气工程、电子、信息技术以及计算机控制技术等专业的一门专业基础课。本书主要以教育部颁发的《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》为依据,结合教学大纲的要求,本着理论够用、应用为主、注重实践的教学思想而编写。

本书以四大工业参数为主线,以有利于实际选型与应用为原则,以培养工业生产第一线高、中级专门人才、满足工艺专业岗位人员的实际能力需要为出发点,将内容分九章,着重介绍了工业中常用传感器的工作原理、转换电路及应用,简单介绍了检测技术的基本概念、弹性元件、抗干扰技术及典型控制系统案例。在编写教材的过程中,主要着眼于提高学生的应用和工艺知识水平,故减少了理论推导,突出了应用实例,增加了介绍传感器的参数、选型及如何安装,并尽量注意反映检测技术领域中的新技术。

本书由牟爱霞任主编,李文森、魏召刚任副主编。参加本书编写的还有王英勇、李杰、苏挺、钱卫钧。具体分工如下:第一章、第二章由牟爱霞编写,第三章由王英勇编写,第四章、第九章由魏召刚编写,第五章由苏挺编写,第六章、第七章由李杰、钱卫钧编写,第八章由李文森编写。本书由刘杞全担任主审。

本书在编写过程中,一直受到有关领导的大力支持和同仁们的热情帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2005年4月

目 录

第一章 检测技术的基础知识	1
第一节 概述	1
一、检测技术的基本概念	1
二、测量的基本概念	2
三、测量误差及分类	3
第二节 传感器的基础知识	5
一、传感器的概念	5
二、传感器的定义	5
三、传感器的组成	6
四、传感器的分类	6
五、传感器的特性及技术指标	6
六、传感器的材料与制造	9
七、传感器的标定与校准	11
思考题与习题	12
第二章 温度检测	13
第一节 现场温度检测装置	13
第二节 热电偶	14
一、热电偶的工作原理	14
二、热电偶的种类及结构	17
三、热电偶的冷端温度补偿	22
四、热电偶的应用	25
第三节 热电阻	27
一、金属热电阻	27
二、半导体热敏电阻	30
第四节 集成温度传感器	32
一、集成温度传感器的工作原理	32
二、集成温度传感器的典型应用	33
第五节 接触式温度检测装置的安装	35
一、感温元件的安装应确保测量的准确性	35
二、感温元件的安装应确保安全、可靠	36
三、感温元件的安装应便于工作人员工作	37
四、加装保护套管	38
五、安装示例	38
思考题与习题	38
第三章 压力检测	39
第一节 现场压力检测装置	39

一、液柱式压力计	39
二、弹性压力计	39
三、活塞式压力计	40
四、电气远传式压力计	40
第二节 弹性敏感元件	40
一、弹性敏感元件的特性	41
二、弹性敏感元件的分类	42
第三节 电阻应变式压力传感器	45
一、电阻应变片的工作原理	46
二、电阻应变片的分类	48
三、电阻应变片的粘贴技术	49
四、电阻应变片的测量电路	50
五、电阻应变式压力传感器的应用	52
第四节 压电式压力传感器	53
一、压电式传感器的工作原理	53
二、压电材料	55
三、压电式传感器的等效电路	56
四、压电式传感器的信号调节电路	57
五、压电式压力传感器的应用	59
第五节 电感式压力传感器	59
一、自感式传感器	60
二、互感式传感器	63
三、涡流式传感器	65
第六节 电容式压力传感器	68
一、变极距式电容传感器	68
二、变面积式电容传感器	69
三、变介电常数式电容传感器	71
四、测量转换电路	72
第七节 压力传感器的应用	73
一、压力表的选型	73
二、压力表的安装	74
三、压力传感器的典型应用	74
思考题与习题	77
第四章 流量检测	79
第一节 概述	79
第二节 流量测量方法	80
一、应用容积法测量流量	80
二、应用动压能和静压能转换的原理测量流量	84
三、应用流体动压原理测量流量	87
四、应用改变流通面积的方法测量流量	89
五、应用流体离心力原理测量流量	89

六、应用流体动量矩原理测量流量	90
七、应用流体振荡原理测量流量	90
八、应用电磁感应原理测量流量	91
九、应用超声波测量流量	91
十、应用热能测量流量	92
第三节 差压式流量计	93
一、差压式流量计的组成	93
二、标准节流装置	96
三、特殊节流装置	102
四、差压式流量计的安装	103
五、差压式流量计使用中的测量误差	109
第四节 涡轮流量计	109
一、涡轮变送器的结构	110
二、涡轮变送器的工作原理	111
三、涡轮流量计的特点	112
第五节 电磁流量计	113
一、基本原理和变送器的结构	113
二、变送器输出信号的特点	115
三、电磁流量计的特点和应用注意事项	115
思考题与习题	116
第五章 物位检测	117
第一节 液位传感器	117
一、差压式液位传感器	117
二、电导式液位传感器	120
三、浮筒式液位传感器	122
第二节 超声波物位传感器	122
一、超声波测距原理	123
二、超声波物位检测装置	123
第三节 电容式物位传感器	124
一、电容式物位检测原理	124
二、电容式物位检测装置	127
第四节 物位传感器的应用	129
思考题与习题	130
第六章 其他参数检测	131
第一节 光电传感器	131
一、基于外光电效应的光电元件	131
二、基于内光电效应的光电元件	132
三、基于光生伏特效应的灵敏元件	136
四、光电传感器的基本形式	137
第二节 数字传感器	138
一、数字角编码器	138
二、光栅传感器	140
三、感应同步器	141

第三节 气体和湿度传感器	143
一、气体传感器	143
二、湿度传感器	145
第四节 固态图像传感器	146
一、CCD 的基本工作原理	147
二、电荷耦合摄像器件	149
第五节 新型传感器	150
一、光纤传感器	150
二、生物传感器	153
思考题与习题	154
第七章 显示仪表	156
第一节 动圈式显示仪表	156
第二节 自动平衡式显示仪表	158
第三节 数字显示仪表	160
思考题与习题	160
第八章 检测系统中的抗干扰技术	161
第一节 干扰的种类及防护	161
第二节 干扰的途径	162
一、通过“路”的干扰	163
二、通过“场”的干扰	164
第三节 干扰的抑制	164
一、消除或抑制噪声源	164
二、破坏干扰途径	164
三、削弱接收电路对噪声干扰的敏感性	165
第四节 几种常见的抗干扰技术	165
一、屏蔽技术	165
二、接地技术	166
三、滤波技术	169
四、光电耦合技术	170
思考题与习题	172
第九章 检测仪表在工业系统中的典型应用	173
第一节 除氧给水装置的检测及仪表系统	173
第二节 蒸馏塔仪表控制系统	174
附录 1 铂铑₁₀-铂热电偶分度表	177
附录 2 镍铬-镍硅(镍铝)热电偶分度表	179
附录 3 镍铬-考铜热电偶分度表	182
附录 4 铂铑₃₀-铂铑₆热电偶分度表	184
附录 5 铂热电阻分度表 ($R_0=46\Omega$)	188
附录 6 铂热电阻分度表 ($R_0=100\Omega$)	190
附录 7 铜热电阻分度表 ($R_0=50\Omega$)	192
附录 8 铜热电阻分度表 ($R_0=100\Omega$)	193
参考文献	194

第一章 检测技术的基础知识

第一节 概 述

一、检测技术的基本概念

在信息社会的一切活动领域中,从日常生活、生产活动到科学实践,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。因此,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、冶金、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,要随时检测车速、方位、转矩、振动、油压、油量、温度等。在国防科研中,它直接代表着一个国家的军事水平,许多尖端的检测技术都是因国防工业需要而发展来的。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。近几年来,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,如自动检测并调节室内温度、湿度等。因此,检测技术在国民经济中的地位也日益提高。

检测 (Detection) 技术,就是利用各种物理效应,选择合适的方法与装置,将生产、科研、生活中的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。能够自动地完成整个检测处理过程的技术称为自动检测与转换技术。

检测技术包括了两方面的含义:一方面是对物理现象的定性了解,如检查设备外壳是否带电,检查气罐是否漏气等;另一方面是对物理现象的定量掌握,如测量炉膛的温度是多少,测量储罐内液体的液位有多高等。

随着科学技术和生产发展的需要,检测技术已经发展成为一门较完整的技术学科,涉及的内容广泛,它从被检测物理量的实际情况出发,首先探讨能够应用什么物理原理,将被检测物理量(其中绝大部分是非电量,如热工参数有温度、压力、流量、液位等;机械量参数有位移、力、速度、加速度、尺寸等;物性参数有酸碱度、相对密度、混合物的各成分含量等)转换成便于传输和处理的物理量(如电压、电流及流体压力等);进而研究信号的放大和加工变换方法,以便于信号的远距离传输;再下步就是研究信号的接收与显示方法;最后还要研究数据的处理方法以及相应的技术措施。

学习和掌握了检测技术,就能够在科学研究和生产中所面临的检测任务面前,正确地选择测量原理和方法,正确地选择检测所需要的技术工具(如敏感元件、传感器、变换器、传输电缆、显示仪表及数据处理装置等),组成恰当的测量系统,完成所提出的检测任务。

近年来,随着计算机技术的发展,检测技术也向着不断提高检测系统的测量精度、量程范围、延长使用寿命、提高可靠性的目标发展,充分利用新技术、新的物理效应和微机技术来扩大检测领域,使检测智能化。

二、测量的基本概念

测量(Measurement)是人们借助专门的技术和设备,通过实验的方法取得某一客观事物量值的认识过程,即将被测量与一个同性质的、作为测量单位的标准量进行比较,从而确定被测量是标准量的若干倍或几分之几的比较过程。

测量结果可以为数字,也可表现为一条曲线或者显示成某种图形等,测量结果总包含有数值(大小和符号)以及单位。测量的方法多种多样,分类方法也各不相同。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;根据测量手段,可分为直接测量与间接测量以及组合测量或联立测量;根据测量时是否与被测对象接触,可分为接触式测量与非接触式测量;根据测量的具体手段来分,又可分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量。另外,为监测生产过程,或在生产流水线上监视产品质量的测量称为在线测量,反之称为非在线测量。下面简单介绍直接测量、间接测量和组合测量的特点。

1. 直接测量

在使用仪表进行测量时,对仪表读数不需要经过任何运算,就能直接表示测量所需要的结果,称为直接测量。例如,用磁电式电流表测量电路的支路电流,用弹簧管式压力表测量锅炉压力等就为直接测量。直接测量的优点是测量过程简单而迅速,缺点是测量精度不容易做到很高。这种测量方法是工程上大量采用的方法。

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,经过计算得到所需要的结果,称为间接测量。例如,导线电阻率的测量就为间接测量。导线的电阻率 ρ 与导线电阻值 R 、导线长 l 、导线直径 d 之间的关系,可用 $\rho = \pi d^2 R / (4l)$ 表示。这时,只有先经过直接测量,得到导线的 R 、 l 和 d 以后,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,但是,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,工程测量中也有应用。

3. 联立测量(也称组合测量)

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。

例如,对于标准线绕电阻温度系数的测量,它的电阻值 R_t 与温度 t 之间的关系,由下式给出,即

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2] \quad (1-1)$$

式中, α 、 β 是电阻线圈的电阻温度系数; R_{20} 是电阻线圈在 20°C 时的电阻值。

为了测出电阻线圈的 α 和 β 值,只有改变测试的温度条件,在三种温度 t_1 、 t_2 、 t_3 下,分别测出对应的电阻值 R_{t1} 、 R_{t2} 、 R_{t3} ,然后代入上述公式,才能得到一组联立方程

$$R_{t1} = R_{20} [1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2]$$

$$\begin{aligned}R_{t_2} &= R_{20} [1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2] \\ R_{t_3} &= R_{20} [1 + \alpha(t_3 - 20) + \beta(t_3 - 20)^2]\end{aligned}\quad (1-2)$$

解联立方程组后, 可求得 α 、 β 和 R_{20} 。

联立测量在其测量过程中, 操作手续很复杂, 花费时间很长, 是一种特殊的精密测量方法。它只适用于科学实验或特殊场合。

在实际测量工作中, 一定要从测量任务的具体情况出发, 经过具体分析后, 再决定选用哪种测量方法。

三、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 (Truevalue)。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。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, 前者优于后者的 2 倍以上时, 则高一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。

在进行测量时首先考虑的是应该采用什么样的测量原理, 使用哪种测量方法。进而要根据具体的测量条件, 选取合适的测量仪表, 构成测量系统, 并着手测量。最后得到被测量的测量值。

由于种种原因, 如测量仪表本身不是绝对准确, 测量方法也不会十分完善, 时刻存在着外界干扰的影响等, 造成被测参数的测量值与真值并不一致, 于是就产生了测量误差 (Measuringerror)。

1. 测量误差的分类

测量误差就是测量值与真值之间的差值。它反映了测量质量的好坏。例如, 加热炉的真实温度 (真值) 是 1100°C , 测量值是 1105°C , 则温度测量误差是 5°C 。测量误差可按其不同的特征进行分类。

(1) 系统误差 在相同的条件下, 多次测量同一个量时, 如果误差按照一定的规律性出现, 则把这种误差称为系统误差。系统误差总是由某个特定的原因引起的, 而且这种原因总是持续存在而不是偶发的, 按其产生的原因可分基本误差和附加误差。

① 基本误差, 是指仪表在规定的工作条件下, 即在规定的温度、湿度、放置方式、外界电场和磁场干扰等条件下, 由于仪表本身结构不完善而产生的一种固有误差, 如转动部分的摩擦、刻度不准、轴承与轴间的间隙所造成可动部分的倾斜等。

② 附加误差, 是指仪表使用时偏离规定的工作条件而造成的误差, 如温度过高、外界有电磁场干扰等。

(2) 偶然误差 又称随机误差, 它的出现带有偶然性, 即它的数值大小和符号都不固定, 但是却服从统计规律, 呈正态分布, 如由于环境因素的突然变化、测量人员感官的某种缺陷所造成的误差。

引起偶然误差的原因都是一些微小因素, 且无法控制。

对于偶然误差, 不能用简单的更正值来校正, 只能用概率论和数理统计的方法去计算它出现的可能大小。

(3) 疏失误差 是由于测量者在测量时的疏忽大意而造成的, 如仪表指示值被读错、记错, 仪表操作错误, 计算错误等。疏失误差的数值一般都比较大大, 没有规律性。

2. 测量误差的表示方法

(1) 绝对误差 是指测量值 A_x 与真值 A_0 之间的差值, 即

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

式中, Δ 表示绝对误差, 它的单位与被测量的单位相同, 它的大小可正、可负。

采用绝对误差表示测量误差, 不能很好说明测量质量的好坏。例如, 温度测量的绝对误差为 1°C , 若对体温测量来说它则到了荒谬的程度; 而对钢水温度测量来说它则是目前尚达不到的最好测量结果。绝对误差一般只适用于标准量具或标准仪表的校准。

(2) 相对误差 是指绝对误差 Δ 与真值 A_0 的百分比, 即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

在实际测量中, 由于被测量的真值是不知道的, 这使得按式 (1-4) 计算相对误差很不方便。因此实际测量时, 都是用测量值 A_x 近似代替真值进行计算, 即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-5)$$

由于测量值与真值很相近, 因此用式 (1-5) 计算的近似程度很高。

(3) 最大引用 (相对) 误差 是指最大绝对误差 Δ_m 与仪表的量程值 A_m 的百分比, 即

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, A_m 是指测量仪表的最大值与最小值之间的差值。

实际中, 一般测量时的绝对误差在仪表标尺的全长范围内基本保持不变, 而相对误差却随着被测量的减小而逐渐增加, 而且有可能增至无穷大, 所以相对误差可以用来说明测量结果的相对准确性, 却不能说明仪表本身的优劣。而最大引用误差公式中的分子、分母都由仪表本身所决定, 所以最大引用误差可以用来评价仪表性能。实际中就是使用它表征仪表的准确度等级即精度等级的。仪表的准确度与仪表本身的结构有关。

检测仪表的 γ_m 越大, 表明它的精度越低; 反之, 表示它的精度越高。一般将最大引用误差的“ $\pm$ ”和“ $\%$ ”去掉, 来确定仪表的精度等级。为统一起见, 国家规定仪表精确度等级主要有 0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.4、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0 等级。例如, 如果某台仪表的最大引用误差为 $\pm 0.1\%$, 则该表的精度等级为 0.1 级。对于工业自动化仪表的精确度等级一般在 0.5~4.0 级之间。

例 1-1 某台仪表的量程范围为 $0 \sim 500^\circ\text{C}$, 校验时该表的最大绝对误差为 $+6^\circ\text{C}$, 试确定该仪表的精度等级。

解 由于该表的绝对误差 $\Delta_m = +6^\circ\text{C}$, 根据式 (1-6) 得

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% = \frac{+6}{500-0} \times 100\% = +1.2\%$$

将 γ_m 的百分号去掉, 其数值为 1.2。从国家规定的精度等级数值系列中找, 因为 1.0 级精度的表的 $\gamma'_m = \pm 1.0\%$, 而该表的 $\gamma_m = +1.2\%$, $|\gamma_m| > |\gamma'_m|$, 即该表的精度等级超过了 1.0 级, 因此, 该表的精度等级应定为 1.5 级。

例 1-2 工艺要求检测温度指标为 $(300 \pm 6)^\circ\text{C}$ ，现拟用一台 $0 \sim 500^\circ\text{C}$ 的温度表来检测该温度，试选择该表的精度等级。

解 由式 (1-6) 得

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% = \frac{\pm 6}{500 - 0} \times 100\% = \pm 1.2\%$$

数值 1.2 介于 1.0~1.5 之间，若选择 1.5 级的表，则其最大引用误差为 $\pm 1.5\%$ ， $\Delta_m = \pm 7.5^\circ\text{C}$ ，不能满足工艺要求，所以应选择比数值 1.2 小的精度等级为 1.0 级的表。

通过上述两例，可以看出校验仪表，确定仪表等级，与根据工艺要求来选择仪表的精度等级，其出发点是不一样的，在实际中应注意。

仪表的精度等级是衡量仪表准确度的一个重要指标。其数值一般都用符号标记在仪表的面盘上，如 1.0 或 $\triangle 1.0$ 及 $\textcircled{1.0}$ 等。精度等级的数值越小，其精度越高，仪表的价格越贵。

衡量仪表准确度的技术指标还有灵敏度以及变差等。

第二节 传感器的基础知识

一、传感器的概念

当今信息时代，随着计算机技术的飞速发展，自动检测、自动控制技术显露出非凡的能力，而设备只能处理电信号，对于非电量的信号如温度、压力、液位、流量等信号的检测，必须将其转换成电信号才能处理，实现这种转换技术的器件就是传感器。传感器成为感知、获取与检测信息的窗口，是实现自动检测和自动控制的首要环节。采用传感器技术的非电量检测方法，就是目前应用最广泛的测量技术。没有传感器对原始信息进行精确可靠的捕获和转换，就没有现代化的自动检测和自动控制系统，没有传感器就没有现代科学技术的迅速发展。若将计算机比喻为人的大脑，那么传感器则可以比喻为人的感觉器官。如果没有功能正常而完美的感觉器官，纵有再好的大脑也无法发挥其作用。因此，传感器技术被列为重点发展的高科技技术。

传感器的重要性还体现在它已经被广泛应用于各个学科领域。例如，工业自动化、农业现代化、军事工程、航天技术、机器人技术、资源探测、海洋开发、环境监测、安全；保卫、医疗诊断、家用电器等领域，都与传感器有密切关系。传感器发展水平，会对其他学科发展产生制约作用。科学技术上的每一个发现与进步，都要以传感器与检测技术为保证。

二、传感器的定义

传感器是能感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用的输出信号的器件或装置，又常常被称为变换器、检测器或探测器等，通常由敏感元件和转换元件组成。其中，敏感元件是指传感器中能直接感受被测量的部分，转换元件指传感器中能将敏感元件输出转换为适于传输和测量的电信号的部分。

应该指出，并不是所有的传感器必须包括敏感元件和转换元件。如果敏感元件直接输出的是电量，它就同时兼为转换元件；如果转换元件能直接感受被测量，而输出与之成一定关系的电量，此时传感器就没有敏感元件，如压电晶体、热电偶以及光电器件等。

三、传感器的组成

一般讲传感器由敏感元件和转换元件组成，但是由于在生产工艺过程中传感器输出信号一般都很微弱，因此必须有信号调节与转换电路将其放大或转换为容易传输、处理、记录和显示的形式。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用，传感器的信号调节与转换电路被安装在传感器的壳体里或与敏感元件一起集成在同一芯片上。因此，信号调节与转换电路以及所需电源都应作为传感器组成的一部分。其组成框图如图 1-1 所示。

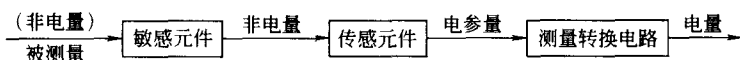


图 1-1 传感器组成框图

常见的信号调节与转换电路有放大器、电桥、振荡器、电荷放大器等，它们分别与相应的传感器相配合。

四、传感器的分类

传感器的分类方法很多，但常用的分类方法有两种，即按照被测物理量和传感器的工作原理来分。

1. 按被测物理量分类

这是一种按照被测量的性质进行分类的方法。一般可分为温度、压力、流量、物位、转速、流速、加速度、振动等传感器。这种分类方法的优点是便于使用者根据用途选用，其缺点是原理种类多。

2. 按测量原理分类

这一种分类方法是以工作原理划分，将物理、化学、生物等学科的原理、规律和效应作为分类的依据。主要分为电学式、磁学式、光电式、电势式、电荷式、半导体式、电化式等传感器。这种分类方法的优点是对传感器的工作原理比较清楚，类别少，其缺点是不便于使用者根据用途选用。

除了上述两种分类方法外，还有按输出信号的性质分类，将传感器分为模拟式传感器和数字式传感器；按物理现象分类，将传感器分为结构型传感器和物性型传感器；按能量分类，将传感器分为能量转换型传感器和能量控制型传感器等。

五、传感器的特性及技术指标

传感器（或测量设备）的输出与输入的关系特性是传感器的基本特性。从误差角度去分析输出-输入特性是测量技术所要研究的主要内容之一。输出-输入特性虽是传感器的外部特性，但与其内部参数有密切关系。因为传感器不同的内部结构参数决定它具有不同的外部特性，所以测量误差也是与内部结构参数密切相关的。传感器所测量的物理量基本上有两种形式，一种是稳态（静态或准静态）的形式，这种信号不随时间变化（或变化很缓慢），另一种是动态（周期变化或瞬态）的形式，这种信号是随时间变化而变化的。由于输入物理量状态不同，传感器所表现出来的输出-输入特性也不同，因此它有静态和动态特性之分。由于不同传感器有不同的内部参数，它们的静态特性和动态特性也表现出不同的特点，对测量结果的影响也各不相同。一个高精度传感器，必须有良好的静态特性和动态特性，这样它才能

完成信号（或能量）无失真的转换。

传感器的动态特性的研究方法与控制理论中介绍的相似，这里不再介绍。下面主要介绍传感器静态特性的一些技术指标。

1. 灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态下输出变化量和输入变化量的比值，用符号 S 表示，即

$$S = \frac{\text{输出变化量}}{\text{输入变化量}} = \frac{dy}{dx} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-7)$$

式中， x 为输入量； y 为输出量。

对线性传感器，灵敏度为一个常数，就是它的静态特性的斜率，即 $S = y/x$ 。对于非线性传感器，灵敏度为一变量，它随着输入量的变化而变化，如图 1-2 所示。

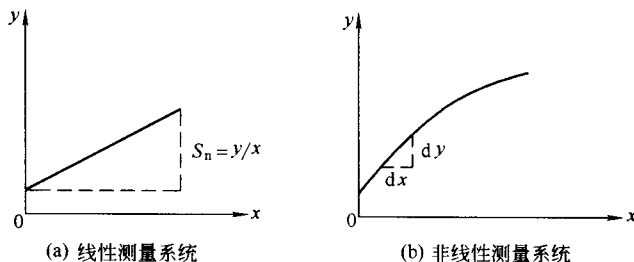


图 1-2 灵敏度定义

从输出曲线看，曲线越陡，灵敏度越高，可以通过作该曲线的切线的方法来求得曲线上任一点处的灵敏度。

在实际中，一般希望传感器的灵敏度高，而且在满量程范围内保持一个恒定值，即传感器的输出-输入特性为直线。

2. 线性度

线性度是指传感器输出与输入之间的线性程度，又称非线性误差，用符号 E 表示，如图 1-3 所示。它的大小为传感器实际特性曲线与理想直线之间的最大偏差和传感器满量程输出的百分比，即

$$E = \pm \frac{\Delta_{\max}}{y_{fs}} \times 100\% = \frac{\Delta_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中， $\Delta_{\max}$ 为最大非线性误差； y_{fs} 为输出满量程； $y_{\max}$ 为量程最大值； $y_{\min}$ 为量程最小值。

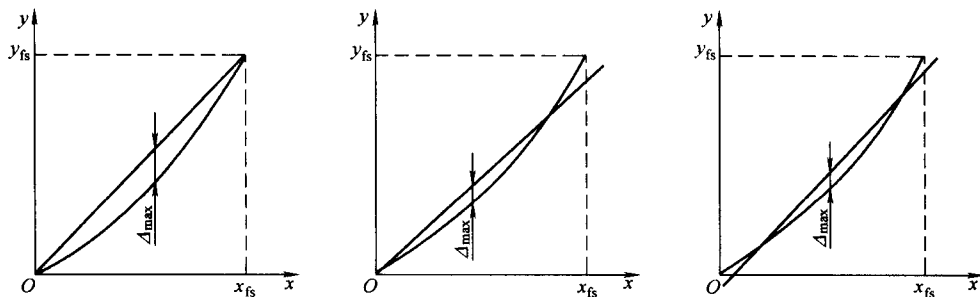


图 1-3 输出-输入特性的非线性

实际中,希望线性度即非线性误差越小越好,也就是希望仪表的静态特性接近于直线。这样,仪表盘的刻度是均匀的,容易标定,也不易引起读数误差。

3. 重复性

重复性是指传感器在输入量按同一方向进行全量程多次测试时,所得特性曲线不一致的程度,如图 1-4 所示。图中 Δ_{m1} 和 Δ_{m2} 为多次测试的不重复误差,多次重复测试的曲线越接近,说明重复性越好,误差也越小。

不重复性指标一般采用输出最大不重复误差 $\Delta_{\max}$ 与满量程输出 y_{fs} 的百分比,即

$$E_z = \pm \frac{\Delta_{\max}}{y_{fs}} \times 100\% \quad (1-9)$$

传感器的不重复性误差属于随机误差。在实际中,主要由传感器的机械部分的磨损、间隙、松动、部件的摩擦、积尘、电路元件老化、工作点漂移等原因产生。一般希望不重复性误差越小越好。

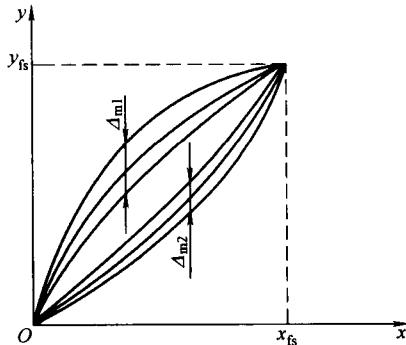


图 1-4 传感器的重复性

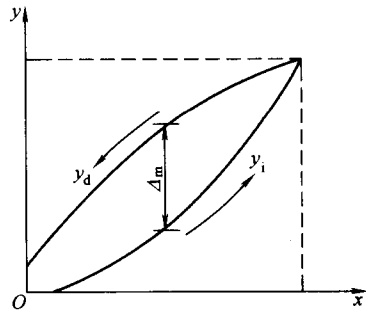


图 1-5 传感器的迟滞现象

4. 迟滞 (迟环)

迟滞 (迟环) 特性是指传感器在正 (输入量增加)、反 (输入量减小) 行程期间,输出-输入特性曲线不重合的程度,如图 1-5 所示。也就是说,对应于同一大小的输入信号,传感器正、反行程的输出信号大小不相等,这种现象就是迟滞现象。

迟滞大小一般由实验方法确定,用正反行程输出值间的最大差值 $\Delta_{\max}$ 与满量程输出 y_{fs} 的百分比表示,即

$$E_m = \frac{\Delta_{\max}}{y_{fs}} \times 100\% \quad (1-10)$$

实际中,迟滞现象的主要原因类似于重复误差的原因,一般希望迟滞越小越好。

5. 分辨力

分辨力是指传感器在规定测量范围内能检测出被测信号的最小变化量,当被测量的变化小于分辨力时,传感器的输出没有反应。对数字仪表来说,如果没有其他的附加说明,一般可认为该表的最后一位所表示的数值就是它的分辨力,有时也可认为是它的最大绝对误差。传感器的分辨力有时也用该值相对于满量程输入值的百分比表示。

6. 稳定性

稳定性包括稳定度和环境影响量两个方面。稳定度是指仪表在所有条件都恒定不变的条件下,在规定的时间内能维持其示值不变的能力,一般用仪表的示值变化量和时间的长短之