



高职高专“十二五”规划教材

传感器与 自动检测技术及实训

CHUANGANQI YU ZIDONG JIANCE JISHU JI SHIXUN

李 骅 汪 涛 主 编
姜秀英 王锁庭 副主编
张 佳 刘慧敏



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



高职高专“十二五”规划教材

传感器与 自动检测技术及实训

CHUANGANQI YU ZIDONG JIANCE JISHU JI SHIXUN

主 编 李 駢 汪 涛
副主编 姜秀英 王锁庭 张 佳 刘慧敏
编 写 李 阳 李 滨 杨振山
主 审 张益起 吕志勋



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为高职高专“十二五”规划教材。

全书共分为5个项目、共24个实训任务。主要内容包括传感器与自动检测基础、执行器结构与原理、传感器及现场仪表校验与调校、智能仪表参数设置与调校和常用传感器的应用与制作实训。为突出“传感器与自动检测技术”课程的特点，精心编写了多个典型实训课题。

本书主要作为高职高专院校生产过程自动化、化工仪表自动化、机电一体化、电气自动化、冶金自动化等专业相关课程的教材，也可作为从事传感器与自动检测技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与自动检测技术及实训/李骥, 汪涛主编. —北京:
中国电力出版社, 2016.4

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-5925-3

I. ①传… II. ①李… ②汪… III. ①传感器—高等职业教
育—教材 ②自动检测—高等职业教育—教材 IV. ①TP212
②TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 108674 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 5 月第一版 2016 年 5 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 315 千字
定价 28.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

为适应现代化技术的飞速发展,我国正在构建高端化、高质化、高新化产业体系,为此需要有一大批高技能人才作为支撑。高职高专及职业教育的目的是培养应用型人才,依据自动化类各专业“传感器与自动检测技术”的教学大纲和教学计划,教材编写必须紧贴产业需要,符合岗位要求。

“传感器与自动检测技术”是一门多学科交叉的专业课程。本书重点介绍各种传感器的工作原理和特性,结合工程应用实际,了解传感器与自动检测技术在各种电量和非电量检测系统中的应用,培养学生使用各类传感器与自动检测技术的技巧和能力,掌握传感器与自动检测技术的发展动向,获得传感器、自动检测方法及抗干扰技术等方面的基本知识和基本技能,并且能将所学到的自动检测技术灵活地应用到生产实践中。

本书按照“十二五”期间人才培养的时代特征,突出高职高专工程类自动化技术的教育特点,以培养应用型、技能型人才为目标;将生产过程中传感器与自动检测的新知识、新技能、新检测手段编入书中。全书紧密配合“工学结合”的思路,以实现专业核心知识与技能一体化为目标,以传感器与自动检测应用为手段,以传感器自动检测仪表实际调校为示范,结构清晰,深入浅出,更便于技术工人与学生学习。

本书重点培养生产过程中传感器与自动检测应用能力。从内容到形式都极具特色。采用真实典型的应用实例,以技能操作为核心,系统地讲授基本概念及影响传感器性能与自动检测准确度的主要因素。突出指导性、实用性和可操作性,着重培养学生的动手能力,精选训练内容,达到培养具有关键能力和拓展创新型技能人才的目的。

遵循“突出技能、结合岗位、坚持标准、体现特色、内容精炼、立足发展”的指导思想,以技术等级标准为依据,以课程的教学计划与教学大纲为基础。

本书通过24个任务的实训与传感器应用制作及调校课题,理论联系实际,加深对理论知识的理解,提升操作技能的掌握能力。通过实训操作,能学会传感器与自动检测的原理等知识,掌握传感器、智能仪表的调校及参数设置,传感器应用制作及调试等技能;培养理论与实践相结合的能力和创新意识,为将来走向工作岗位打下坚实的基础,以实现与岗位需求的无缝对接。

本书采用理实一体化教学,建议按60~72学时安排教学计划。

参与本书编写的有天津渤海职业技术学院李骥、张佳、姜秀英,天津石油职业技术学院王锁庭,天津大学李阳,天津联维乙烯工程有限公司李滨,河北化工医药职业技术学院刘慧敏,天津市中河化工有限公司杨振山。其中项目一由张佳编写;项目二由刘慧敏编写;项目三由李阳、李滨编写;项目四由姜秀英编写;项目五由李骥、王锁庭编写。全书由李骥统稿

并担任主编。天津昌晖自动化系统有限公司张益起总经理、天津石化炼油有限公司吕志勋高级工程师主审。本书在编写过程中，得到许多企业、学校的专业人士大力支持与帮助，表示诚挚感谢！

编 者

2014 年 4 月

目 录

前言	
项目一 传感器与自动检测基础	1
任务一 自动检测技术基本知识	1
任务二 温度传感器及检测仪表	10
任务三 压力传感器及检测仪表	22
任务四 物位传感器及检测仪表	36
任务五 流量传感器及检测仪表	43
任务六 现代新型检测传感器及仪表	51
项目二 执行器结构与原理	67
任务一 执行器的构成及工作原理	67
任务二 气动执行器	68
任务三 电动执行器	70
项目三 传感器及现场仪表校验与调校	85
实训任务一 弹簧管压力表调校	85
实训任务二 热电偶检定与校验	87
实训任务三 T20X/T21X 系列智能压力变送器的调校	89
实训任务四 智能 1151 型差压变送器的调校	93
实训任务五 温度变送器的调校	97
实训任务六 气动薄膜调节阀的测试和校验	100
实训任务七 阀门定位器校验	102
实训任务八 涡轮流量计的安装与调试	105
实训任务九 电动调节阀的调校	107
实训任务十 射频导纳物位计调校	110
项目四 智能仪表参数设置与调校	114
实训任务一 智能调节器的认识和调校	114
实训任务二 智能开方积算器的认识和调校	118
实训任务三 安全栅的认识和调校	120
实训任务四 TFT 真彩无纸记录仪的设置与调校	123
实训任务五 数字测量显示仪的设置与调校	132
实训任务六 智能流量积算控制仪设置与调校	139
实训任务七 X80 系列闪光信号报警器的测试	154
实训任务八 SWP 光柱显示控制仪的设置与调校	156
实训任务九 LCD-R 系列无纸液晶显示记录仪的设置与调校	161

项目五 常用传感器的应用与制作实训.....	171
实训任务一 温度传感器的应用与制作实训.....	171
实训任务二 压力传感器应用与制作实训.....	175
实训任务三 光传感器应用与制作实训.....	178
实训任务四 气体、声音和湿度传感器应用与制作实训.....	181
实训任务五 各种传感器报警电路制作.....	184
附录.....	192

项目一 传感器与自动检测基础

任务一 自动检测技术基本知识

自动检测技术的应用领域十分广泛,包括传感器技术、误差理论、测试计量技术、抗干扰技术以及电量间相互转换技术等。

在检测与控制系统中,自动检测环节的作用是信息的提取、转换及处理,是整个系统的基础。如果自动检测环节性能不佳,就难以确保整个系统性能优良。自动检测技术以研究检测与控制系统中信息的提取、转换及处理的理论和技术为主要内容,为一门应用技术学科。如何提高检测与控制系统的检测分辨率、准确度、稳定性和可靠性,是自动检测技术的研究目标和方向。

一、传感器

传感器(Sensor)是将被测非电量转换成电量的装置,是获得信息的手段,在检测与控制系统中占有重要的位置。传感器获得信息的正确与否,关系到整个检测与控制系统性能与控制准确度。如果传感器的误差过大,后面的测量电路、放大器、指示仪等仪器的准确度再高,也难以提高整个检测系统的控制准确度。

近些年来,计算机技术突飞猛进的发展和微处理器的广泛应用,使得国民经济中各种形态的信息都通过计算机来进行正确、及时的处理。但是,处理信息的前提是通过传感器来获得信息。所以,有人把计算机比喻为人体的大脑,传感器则比喻为人体的五官。由此而言,传感器是自动检测与控制系统的首要环节。

通常,人们把传感器、敏感元件、换能器及转换器的概念等同起来。在非电量测量及转换技术中,传感器一词是与工业测量联系在一起的,是一种实现将非电量转换成电量的器件。在超声波等技术中强调的是能量转换,如压电元件可以起到机械能—电能或电能—机械能的转换作用,因此把可以进行能量转换的器件称为换能器;硅太阳能电池也是一种换能器件,它可以把光能转换成电能输出,但在这类器件上强调的是转换效率,习惯上把硅太阳能电池叫做转换器;在电子技术领域,常把能感受信号的电子元件称为敏感元件,如热敏元件、光敏元件、磁敏元件及气敏元件等。这些不同的提法反映在不同的技术领域中,根据器件用途对同一类型的器件使用不同的技术术语。例如,热敏电阻可称为热敏元件,也可称为温度传感器;又如扬声器,当它作为声检测器件时,它是一个声传感器,如果把它当成喇叭使用,也只能认为它是一个换能或转换器件了。

本书从广义角度,定义传感器为在电子检测控制设备输入部分中起检测信号作用的器件。

二、检测电路

自动检测电路、控制的对象与单片机之间是通过测量电路和控制电路相连接的。如果说单片机是信息处理中心,那么测量电路则是信息输入通道,控制电路则是信息输出通道。测量电路也称为检测电路,它是检测与控制系统实现检测与控制功能的基本电路,在整个系统

中起着十分重要的作用。检测与控制系统的性能在很大程度上取决于检测电路。目前,仍广泛使用的一些较为简单的测量仪表,并不采用单片机控制,这些非微机化的测量仪表,其内部的核心电路主要就是各种模拟检测电路。

按照检测结果的信号形式,检测电路可分为模拟检测电路和数字检测电路两大类,其基本组成分别如图 1-1-1 和图 1-1-2 所示。



图 1-1-1 模拟检测电路



图 1-1-2 数字检测电路

1. 模拟检测电路

图 1-1-1 中,传感器将被测非电量转换为被测电信号,简称被测信号。这个信号一般较微弱,通常需要先进行放大。同时,有的传感器(如电感式、电容式和交流应变电桥等)输出的是调制过的模拟信号,还需用解调器解调。测得的信号中混有多种干扰,常需要滤波器来滤除。有些被测参数比较复杂,往往还要进行必要的运算才能获取被测量,即运算电路。为了便于远距离传送、显示或 A-D 转换,常需要将电压、电流、频率三种形式的模拟电信号进行相互变换,即变换电路。在图 1-1-1 中,被测信号一直是以模拟形式存在和传送的,通道中各个环节都是对模拟信号进行这样或那样的处理,这样的电路统称为信号处理电路。常规的模拟测量仪表,其测量结果是以模拟形式显示的,因为其检测电路(又称为模拟测量电路)主要就是信号处理电路。

2. 数字检测电路

一些数字化测试仪表,特别是计算机化检测与控制系统,测试结果除要用数字形式显示外,还要用计算机进行处理,因此,其检测电路除了对被测信号进行必要的处理外,还要将模拟信号转换成便于数字显示或计算机处理的数字信号。实现模拟信号数字化的电路称为数据采集电路。数字检测电路一般由传感器、信号处理电路和数据采集电路三部分组成,如图 1-1-2 所示。图中,数据采集电路由多路开关、主放大器、采样保持器和模-数转换器构成。其中,多路开关用来对多路模拟信号进行采样;主放大器对采样得到的信号进行程控增益放大或瞬时浮点放大;采样保持器对放大后的信号进行保持;模-数转换器在保持期间将保持的模拟信号电压转换成相应的数字信号电压。如果被测信号的幅度变化范围不大,则主放大器可省去。

对比图 1-1-1 与图 1-1-2 可知,数字检测电路与模拟检测电路的区别就在于数字检测电路中包含数据采集电路。

三、工业控制系统基础知识

任何一个工业控制系统都必然要应用一定的自动检测单元和相应的仪表,自动检测单元和仪表两部分是紧密相关和相辅相成的,它们是控制系统的重要基础。自动检测单元完成对各种过程参数的测量,并实现必要的数据处理;仪表单元则是实现各种控制作用的手段和条件,将检测得到的数据进行运算处理,并通过相应的单元实现对被控变量的

调节。新技术的不断出现，使传统的自动控制系统以及相关的自动检测和仪表技术都发生了很大变化。

1. 典型检测仪表控制系统

现以化学工业中用天然气做原料生产合成氨的控制系统为例，介绍典型检测仪表控制系统。图 1-1-3 所示为该系统的脱硫塔控制流程图。天然气在经过脱硫塔时，需要进行控制的参数分别为压力、液位和流量，这将构成压力控制（PC）、液位控制（LC）和流量控制（FC）三个单参数调节控制系统。

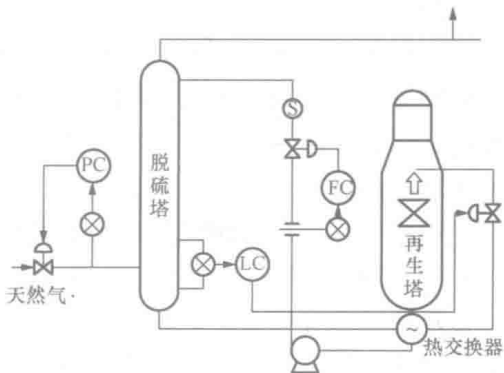


图 1-1-3 脱硫塔控制流程图

例如，实现脱硫塔压力调节控制的单参数控制（PC）子系统结构如图 1-1-4 所示。该系统中，进行压力参数检测及实现检测信号转换和传输的单元称为压力变送单元；实现控制调节规律计算的单元称为调节单元；最终实现被控变量控制作用的单元称为执行单元。为了实现调节控制作用，首先测量进入脱硫塔的天然气的压力，检测到的信号经转换后，以标准信号制式传输到实现调节运算的调节单元；调节单元在接收到测量信号后，立即与给定单元的设定压力值进行比较，并根据设定的控制规律计算出实现调节控制作用所需的控制信号；为保证能够驱动相应的设备实现对被控变量的调节，控制信号还需借助专用的执行单元实现控制信号的转换与保持。

同理，考虑单独实现脱硫塔流量调节控制的情况，流量控制（FC）子系统结构如图 1-1-5 所示。其中，流量变送单元是专门用于流量检测信号转换和传输的仪表变送单元，而安全栅的增加则是为了实现安全火花防爆特性。

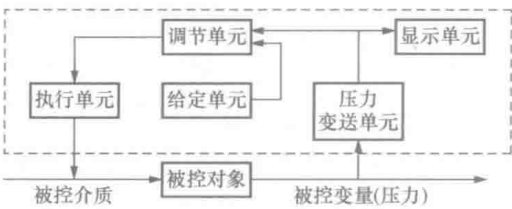


图 1-1-4 PC 子系统结构

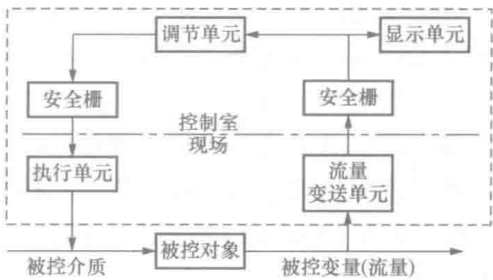


图 1-1-5 FC 子系统结构

在无特殊条件要求下，常规工业检测仪表控制系统的构成基本相同，而与具体采用的仪表类型无关。这里所说的基本构成包括被控对象、变送器、显示仪表、调节器、给定器和执行器等。各控制子系统由于被控变量的不同，采用的变送器和调节器的控制规律也有所不同。

2. 检测仪表控制系统结构分析

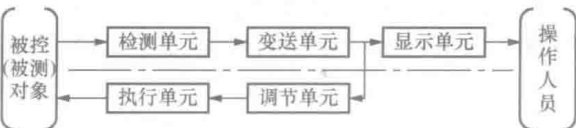


图 1-1-6 检测仪表控制系统的一般结构

总结 1.1.3 节所述的几种情况，并由此推广到常规情况下的工业过程控制系统，检测仪表控制系统的一般结构可概括如图 1-1-6 所示。

显然，图 1-1-6 所示为闭环回路控制

系统。为了突出被控对象和操作人员在学习系统中的地位，对传统意义上的回路结构进行了适当的调整。被控（被测）对象是学习系统的核心，它可以是单输入/输出对象，即常规的回路控制系统；也可以是多输入/输出对象，此时通常需采用计算机仪表控制系统，如直接数字控制系统（DDC）、集散控制系统（DCS）和现场总线控制系统（FCS）。

检测单元是学习系统实现调节控制作用的基础，它完成对所有被控变量的直接测量，包括温度、压力、流量、液位、成分等；同时也可实现某些参数的间接测量，如采用信息融合技术实现的测量。

变送单元完成对被测变量信号的转换和传输，其转换结果须符合国际标准的信号制式，即 $1\sim 5\text{V}$ （DC）或 $4\sim 20\text{mA}$ （DC）模拟信号或各种仪表控制系统所需的数字信号。

显示单元是学习系统的附属单元，它将检测单元测量获得的有关参数，通过适当的方式显示给操作人员，这些显示方式包括曲线、数字和图像等。

调节单元完成调节控制规律的运算，它将变送器传输来的测量信号与给定值进行比较，并对比较结果进行调节运算，输出控制信号。调节单元采用的常规控制规律包括位式调节和 PID 调节，而 PID 控制规律又根据实际的情况的需要产生出各种不同的改进型。

执行单元是学习系统实施控制策略的执行机构，它负责将调节器的控制输出信号按执行机构的需要产生出相应的信号，以驱动执行机构实现对被控变量的调节作用。通常执行单元分气动、液动和电动三类。

这里需要特别说明的是，图 1-1-6 所示的只是学习系统的逻辑结构。当采用传统检测和仪表单元构成学习系统时，这种结构与实际系统相同，即图中相关两个单元间采用点对点的连接方式。有时检测单元和变送单元及显示单元的界限并不明显，会构成功能组合单元。而在网络化的控制回路系统中，多数检测和仪表单元均通过网络相互连接。

四、自动检测技术的基本性能

自动检测技术和仪表中常用的基本性能指标，包括测量范围及量程、基本温差、准确度等级、灵敏度、分辨率、漂移、可靠性以及抗干扰性能指标等。

1. 测量范围、上下限及量程

每个用于测量的仪表都有测量范围，它是该仪表按规定的准确度进行测量时被测量的范围。测量范围的最小值和最大值分别称为测量下限和测量上限，简称下限和上限。

仪表的量程 R 可以用来表示其测量范围的大小，是其测量上限值 R_U 与下限值 R_L 的代数差，即

$$R = R_U - R_L \quad (1-1-1)$$

使用下限与上限可完全表示仪表的测量范围，也可确定其量程。例如，一个温度测量仪表的下限是 -50°C ，上限是 150°C ，则其测量范围可表示为 $-50\sim 150^\circ\text{C}$ ，量程为 200°C 。由此可见，给出仪表的测量范围便知其上、下限及量程；反之，只给出仪表的量程，却无法确定其上下限及测量范围。

仪表测量范围的另一种表示方法是给出仪表的零点即测量下限及仪表的量程。由前面的分析可知，只要仪表的零点和量程确定了，其测量范围也就确定了，这是更为常用的一种表示方式。

2. 零点迁移和量程迁移

在实际使用中，由于测量要求或测量条件的变化，需要改变仪表的零点或量程，即对仪

表进行零点和量程的调整。通常将零点的变化称为零点迁移，而量程的变化则称为量程迁移。

以被测变量值相对于量程的百分数为横坐标，记为 X ；以仪表指针位移或转角相对于标尺长度的百分数为纵坐标，记为 Y ，可得到仪表的标尺特性曲线 $X-Y$ 。假设仪表标尺是线性的，其标尺特性曲线可如图 1-1-7 中的线段 1 所示。

单纯的零点迁移情况如线段 2 所示，此时仪表量程不变，其斜率也保持不变，线段 2 只是线段 1 的平移，理论上零点迁移到了原输入值的 -25% ，终点迁移到了原输入值的 75% ，而量程则仍为 100% 。单纯的量程迁移情况如线段 3 或线段 4 所示，此时零点不变，线段仍通过坐标系原点，但斜率发生了变化，理论上量程迁移到了原来的 70% 或 140% 。

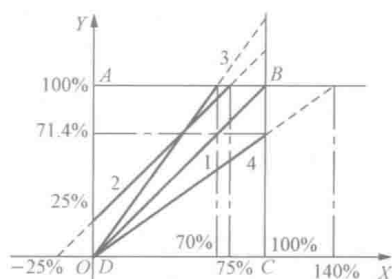


图 1-1-7 零点迁移和
量程迁移

由于受仪表标尺长度和输入通道对输入信号的限制，实际的标尺特性曲线通常只限于正边形 $ABCD$ 内部，即实线部分；虚线部分只是理论上的结果，无实际意义。因此，线段 2 的实际效果是标尺有效使用范围迁移到原来的 $25\% \sim 100\%$ ，测量范围迁移到原来的 $0 \sim 75\%$ 。线段 3 的实际效果是标尺仍保持原来有效范围的 $0 \sim 100\%$ ，测量范围迁移到了原来的 $0 \sim 70\%$ 。同理，考虑图中线段 4 所示的量程迁移情况，其理论上零点没有迁移，量程迁移到原来的 140% ；而实际上标尺只保持了原来有效范围的 $0 \sim 71.4\%$ ，测量范围则仍为原来的 $0 \sim 100\%$ 。

零点迁移和量程迁移可以扩大仪表的通用性。但是，迁移条件以及迁移量的大小，还需视具体仪表的结构和性能而定。

3. 灵敏度和分辨率

灵敏度是仪表对被测参数变化的灵敏程度，常以在被测参数改变时，经过足够时间仪表指示值达到稳定状态后，仪表输出变化量 ΔY 与引起此变化的输入变化量 ΔU 之比表示，即

$$S = \Delta Y / \Delta U \quad (1-1-2)$$

可见，灵敏度也就是图 1-1-7 所示标尺特性曲线的斜率。因此，量程迁移就意味着灵敏度的改变；而如果仅仅是零点迁移则灵敏度不变。

由式 (1-1-2) 可知，灵敏度实质上等同于仪表的放大倍数。只是由于 U 和 Y 都有具体量纲，灵敏度也有量纲，且由 U 和 XY 确定；而放大倍数没有量纲。所以灵敏度的含义比放大倍数要广泛得多。

在由多个仪表组成的测量或控制系统中，灵敏度具有可传递性。例如，首尾串联的仪表系统（即前一个仪表的输出是后一个仪表的输入），其总灵敏度是各仪表灵敏度的乘积。

常容易与仪表灵敏度混淆的概念是仪表分辨率。仪表分辨率是仪表输出能响应和分辨的最小输入量，又称仪表灵敏限。分辨率是灵敏度的一种反映，一般说仪表的灵敏度高，则其分辨率同样也高。因此实际中主要希望提高仪表的灵敏度，从而保证其分辨率较好。

4. 误差

仪表指示装置所显示的被测值称为示值，它是被测真值的反映。严格地说，被测真值只是一个理论值，因为无论采用何种仪表测到的值都有误差。实际中常将用适当准确度等级的

仪表测出的或用特定的方法确定的约定真值代替真值。例如,使用国家标准计量机构标定过的标准仪表进行测量,其测量值即可作为约定真值。

示值 V_I 与公认的约定真值 V_R 之差称为绝对误差 E_A , 即

$$E_A = V_I - V_R \quad (1-1-3)$$

绝对误差通常可简称为误差。当误差为正时表示仪表的示值偏大,反之偏小。

绝对误差与约定真值之比称为相对误差 E_R , 常用百分数表示, 即

$$E_R(\%) = E_A / V_R \quad (1-1-4)$$

虽然用绝对误差占约定真值的百分数来衡量仪表的准确度比较合理,但仪表多应用在测量接近上限值的量,用量程取代式(1-1-4)中的约定真值,则得到引用误差

$$E_f(\%) = E_A / R \quad (1-1-5)$$

考虑整个量程范围内的最大绝对误差与量程的比值,则获得仪表的最大引用误差

$$\text{最大引用误差}(\%) = \text{最大绝对误差} / \text{量程} \quad (1-1-6)$$

最大引用误差与仪表的具体示值无关,可以更好地说明仪表测量的准确程度。它是仪表基本误差的主要形式,是仪表的主要质量指标之一。

仪表在出厂时要规定引用误差的允许值,简称允许误差。若将仪表的允许误差记为 Q , 最大引用误差记为 $Q_{\max}$, 则两者之间满足如下关系:

$$Q_{\max} \leq Q \quad (1-1-7)$$

任何测量都是与环境条件相关的,包括环境温度、相对湿度、电源电压和安装方式等。仪表使用时应严格按照规定的环境条件即参比工作条件进行测量,此时获得的误差称为基本误差;因此如果在非参比工作条件下进行测量,获得的误差除包含基本误差外,还会包含额外的误差,又称附加误差,即

$$\text{误差} = \text{基本误差} + \text{附加误差} \quad (1-1-8)$$

以上的讨论基本针对仪表的静态误差。静态误差是指仪表静止状态时的误差,或被测量变化十分缓慢时所呈现的误差,此时不考虑仪表的惯性因素。仪表还存在动态误差。动态误差是指仪表因惯性迟延所引起的附加误差,或变化过程中的误差。仪表静态误差的应用更为普遍。

5. 准确度

任何仪表都有一定的误差。因此,使用仪表时必须先知道该仪表测量的准确程度,以便估计测量结果与约定真值的差距,即估计测量值的大小。仪表的准确度通常是用允许的最大引用误差去掉百分号(%)后的数字来衡量的。

按仪表工业规定,仪表的准确度划分成若干等级,称为准确度等级,如 0.1、0.2、

0.5、1.0、1.5、2.5、4 级等。由此可见,准确度等级的数字越小,准确度越高。

仪表准确度等级的确定过程如图 1-1-8 所示。为便于观察和理解,对其中的偏差做了有意识地放大。图中,直线 OA 是理想的输入/输出特性曲线,虚线 3 和 4 是基本误差的下限和上限。在检定或校验过程中所获得的实际特性曲线记为曲线 1 和 2,其中曲线 1 是输入值由下限值到上限值逐渐增大时获得的,称为实际上升曲线;而曲线 2 是输入值由上限值到下限值逐渐减小时获得的,称为实际下

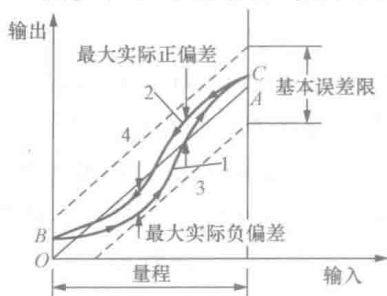


图 1-1-8 准确度等级的确定过程

降曲线。由曲线 1 和 2 与直线 OA 的偏差，可分别得到最大实际正偏差和负偏差。可见，曲线 1 和 2 越接近直线 OA，即仪表的基本误差限越小，仪表的准确度等级越高。

6. 滞环、死区和回差

仪表内部的某些元件具有储能效应，如弹性变形、磁滞现象等，使得仪表检测所得的实际上升曲线和实际下降曲线常出现不重合的情况，即仪表的特性曲线成环状，如图 1-1-9 所示。该种现象称为滞环。显然在出现滞环现象时，仪表的同一输入值常对应多个输出值，并出现误差。

仪表内部的某些元件具有死区效应，如传动机构的摩擦和间隙等，其作用也可使得仪表检测所得的实际上升曲线和实际下降曲线出现不重合。这种死区效应使得仪表输入在小到一定范围后不足以引起输出的变化，这一范围称为死区。考虑仪表特性曲线呈线性关系的情况，其特性曲线如图 1-1-10 所示。因此，存在死区的仪表要求输入值大于某一限度时才能引起输出的变化。死区也称为不灵敏区，理想情况下，不灵敏区的宽度是灵敏限的 2 倍。某个仪表可能既具有储能效应，也具有死区效应，其综合效应是以上两者的结合。典型的特性曲线如图 1-1-11 所示。

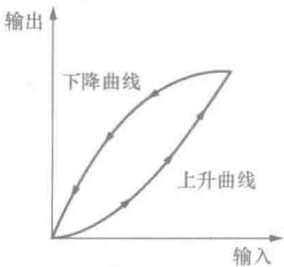


图 1-1-9 滞环效应分析

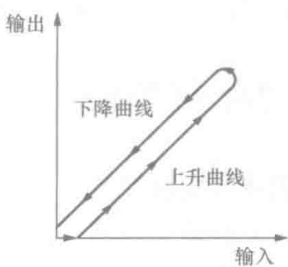


图 1-1-10 死区效应分析

在以上各种情况下，实际上升曲线和实际下降曲线间都存在差值，其最大的差值称为回差，亦称变差，或来回变差。

7. 重复性和再现性

在同一工作条件下，同方向连续多次对同一输入值进行测量，所得的多个输出值之间相互一致的程度称为仪表的重复性，它不包括滞环和死区。例如，在图 1-1-12 中列出了在同一工作条件下测出的三条实际上升曲线，其重复性就是指这三条曲线在同一输入值处的离散程度。实际上，某种仪表的重复性常用上升曲线的最大离散程度和下降曲线的最大离散程度两者中的最大值来表示。

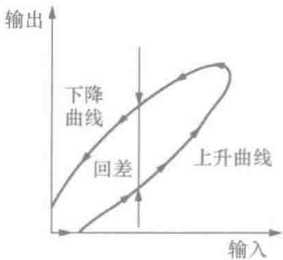


图 1-1-11 典型的特性曲线

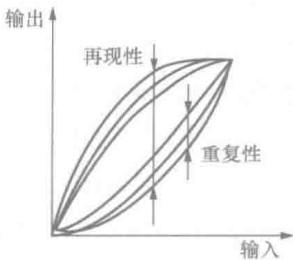


图 1-1-12 重复性和再现性分析

再现性包括滞环和死区，它是仪表实际上升曲线和实际下降曲线之间离散程度的表示，常取两种曲线之间离散程度最大点的值来表示，如图 1-1-12 中所示。

重复性是衡量仪表不受随机因素影响的能力，再现性是仪表性能稳定的一种标志，因而在评价某种仪表的性能时常同时要求其重复性和再现性。重复性和再现性优良的仪表并不一定准确度高，但高准确度的优质仪表一定有很好的重复性和再现性。

8. 可靠性

表征仪表可靠性的尺度有多种，最基本的是可靠度，它是衡量仪表能够正常工作并发挥其功能的程度。简单来说，如果有 100 台同样的仪表，工作 1000h 后约有 99 台仍能正常工作，则可以说这批仪表工作 1000h 后的可靠度是 99%。

可靠度的应用也可体现在仪表正常工作和出现故障两个方面。在正常工作方面的体现是仪表平均无故障工作时间。以相邻两次故障时间间隔的平均值为指标，可很好地表示平均无故障工作时间。在出现故障方面的体现是平均故障修复时间，它表示的是仪表修复所用的平均时间，由此可从反面衡量仪表的可靠度。

基于以上分析，综合考虑常规要求，即在要求平均无故障工作时间尽可能长的同时，又要求平均故障修复时间尽可能短，综合评价仪表的可靠性，引出综合性指标——有效度，其定义为

$$\text{有效度} = \text{平均无故障工作时间} / (\text{平均无故障工作时间} + \text{平均故障修复时间})$$

(1-1-9)

五、检测仪表技术发展趋势

工业控制系统中的检测技术和仪表系统，是实现自动控制的基础。随着新技术的不断涌现，特别是先进检测技术、现代传感技术、计算机技术、网络技术和多媒体技术的出现，给传统式的控制系统甚至计算机控制系统都带来了极大的冲击，并由此引出许多崭新的发展方向。归纳起来，主要包括：

- (1) 成组传感器的复合检测。
- (2) 微机械量检测技术。
- (3) 智能传感器的发展。
- (4) 各种智能仪表的出现。
- (5) 计算机多媒体化的虚拟仪表。
- (6) 传感器、变送器和调节器的网络化产品。

对工业检测仪表控制系统来说，以上的发展还远不是终点。由这些发展所产生的更深层次的变化正在悄然兴起，并越来越得到了各行各业的认同。这些深层次的变化包括：

- (1) 控制系统的控制网络化。
- (2) 控制系统的系统扁平化。
- (3) 控制系统的组织重构化。
- (4) 控制系统的工作协调化。

如何针对检测技术和仪表系统提出一系列新的概念和必要的理论，以面对高新技术的挑战，并适应当今自动化技术发展的需要，是目前亟待解决的关键问题。

六、检测误差分析基础

人们对物理量或参数进行检测时，首先要借助一定的检测手段取得必要的测量数据，而

后要对测得的数据进行误差分析或准确度分析，之后才可以进行数据处理。误差分析与选择测量方法是同样重要的，因为只有掌握了数据的可确定程度才能做出相应的科学和经济的判断与决策。

通过学习误差分析理论，可以掌握以下要点：①根据检测目的选择测量准确度；②误差原因分析及误差的表示方法；③间接检测时误差的传递法则；④平均值误差的估计以及粗大误差的检验；⑤根据测量数据推导实验公式等。

1. 检测准确度

检测或测量的准确度是相对而言的。测量地球的直径还不能达到以米为单位的测量准确度，但是测量几厘米大小的钢球直径则需要以毫米为单位的测量准确度。现代科学的发展，使以原子或分子大小的准确度进行加工成为现实，出现了许多精密检测方法。目前光学精密检测仪器分辨力多已达到了 $0.01\mu\text{m}$ ；至于微机械加工，则要求纳米 (10^{-9}m) 级的检测分辨力。

对于测量准确度高的检测方法或仪器，其要求的使用条件也相对严酷，如需要恒定的温度、高清洁度等环境条件以及操作人员的技术水平等，相应的测量成本也高，维护费用大。所以在实际问题中不是准确度越高越好，而是要权衡条件，根据实际需要选择恰当的测量准确度。测量准确度可以用误差来表示，准确度低即测量误差大。

2. 误差分类

根据误差的特性不同，可以分为系统误差、随机误差、粗大误差三大类。

(1) 系统误差。系统误差是指由测量器件或测量方法引起的、有规律的误差，体现为：测量结果与真值之间的偏差，如仪器零点误差；温度、电磁场等环境条件引起的误差；动力源引起的误差等。这种误差的绝对值和符号保持不变，或测量条件改变误差服从某种函数关系变化。

系统误差在掌握误差产生的原因后，可以对仪器加以校对，改变测试环境进行检查，以便找出系统误差的数值，并设法将其排除。例如，转盘偏心引起的角速度测量误差按正弦规律变化，对正中心可以消除这种误差。

(2) 随机误差。

由随机因素引起的、一般无法排除并难以校正的误差，称为随机误差。在同一条件下反复测试，可以发现随机误差的概率服从统计学规律，误差理论正是针对随机误差的这种规律，对所得的一组有限数据进行统计学处理，来估测测量真值的学问。随机误差的特点是误差的符号和大小都随时间不断发生变化。影响这一误差的因素很多，而且每一因素对测量值或只有微小影响，随机误差是这些微小影响的总和。产生随机误差的有些因素虽然知道，如空气干燥程度、净化程度以及气流大小或方向等都对测量结果有微小的影响，但无法准确控制；另外还有一些产生随机误差的因素无法确定。

(3) 粗大误差。

粗大误差是指由于观测者误读或传感要素故障而引起的歧异误差，测量中应避免这种误差的出现。含有粗大误差的测量值称为坏值。根据统计检验方法的准则，可以判断测量值是否为坏值，若是则应当剔除。排除这类误差也要遵循一定的规则。

思考题

1-1-1 检测及仪表在控制系统中起什么作用？两者的关系如何？

- 1-1-2 典型检测仪表控制系统的结构是怎样的？各单元主要起什么作用？
- 1-1-3 传统回路控制系统与网络化控制回路有什么区别？
- 1-1-4 什么是仪表的测量范围、上下限和量程？彼此有什么关系？
- 1-1-5 如何才能实现仪表的零点迁移和量程迁移？
- 1-1-6 什么是仪表的灵敏度和分辨率？两者间存在什么关系？
- 1-1-7 仪表的准确度是如何确定的？
- 1-1-8 衡量仪表的可靠性有哪些方法？常用的方法有哪些？

任务二 温度传感器及检测仪表

在检测与控制系统中，检测与控制对象常是温度、压力、物位、流量等各种非电量。这些非电量通常要先利用传感器转换成电信号，以便进行检测与控制。

为了实现检测与控制系统中传感器与其他装置的兼容性和互换性，转换成的电信号必须采用统一的国际标准。1973年4月，国际电工委员会（IEC）第65次技术委员会通过了一个标准，规定了传感器输出电信号的规格：模拟直流电流信号为 $0\sim 10\text{mA}$ （DC）或 $4\sim 20\text{mA}$ （DC），模拟直流电压信号为 $1\sim 5\text{V}$ （DC）。

变送器是一种将非标准电信号转换为统一的标准电信号的装置，有些变送器还兼具信号检测功能。因此，变送器是一种输出标准电信号的传感器。

一、温度测量的基本概念

温度传感器是检测温度的器件，种类多，应用广，发展也很快。工业生产中使用的各种材料及大部分都有随温度变化的特征，但作为实用传感器材料必须满足如下条件：

（1）在使用温度范围内，温度特性曲线符合要求的准确度。为了在较宽的温度范围内进行检测，温度系数不宜过大，但对于狭窄的温度范围或定点检测，温度系数越大，检测电路也越简单。

（2）为了将温度传感器用于电子电路的检测装置，选用材料要具有检测便捷和易于处理的特性。随着半导体器件和信号处理技术的进步，温度传感器输出特性应能满足要求。

（3）特性的偏移和蠕变越小越好，互换性要好。

（4）对于温度以外的物理量不敏感。

（5）体积小，安装要方便。为了能正确测量温度，传感器的温度必须与被测物体的温度相等。传感器体积越小，这个条件越容易满足。

（6）要有较好的机械及化学性能。这对于应用在振动和有害气体环境中的温度传感器特别重要。

（7）无毒、安全以及价廉，维修、更换方便等。

二、温度传感器的分类与选型

温度传感器分类方法很多，可按工作方式、测温范围、性能特点等多方面来分类。根据传感器与被测介质是否接触可分为接触式和非接触式；根据测量的工作原理可分为膨胀式、压力式、热电阻、热电偶和辐射式等。常用温度传感器按测温方式分类见表1-2-1。