

· 全国纺织机电专业规划教材 ·

传感器 与检测技术

CHUANGANQI YU JIANCE JISHU

邓海龙◎主编

 中国纺织出版社

全国纺织机电专业规划教材

传感器与检测技术

邓海龙 主 编



中国纺织出版社

内 容 提 要

本教材阐明了自动系统中的各个环节及其相互关系,着重讨论了目前常用的传感器的工作原理、转换电路及其典型应用,同时本书对现代检测系统也做了介绍和举例。在叙述上深入浅出,反映了目前自动检测技术方面的新成果和新进展。

本教材适合高职高专院校的机电技术、电气自动化、计算机控制等专业的教学,也可供其他相关专业师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/邓海龙主编. —北京:中国纺织出版社, 2008. 10

全国纺织机电专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5064 - 5042 - 3

I. 传… II. 邓… III. ①传感器-专业学校-教材②自动检测-专业学校-教材 IV. TP212 TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 146736 号

策划编辑:裘 康 责任编辑:王军锋 责任校对:楼旭红

责任设计:李 然 责任印制:何 艳

中国纺织出版社出版发行

地址:北京东直门南大街 6 号 邮政编码:100027

邮购电话:010—64168110 传真:010—64168231

<http://www.c-textilep.com>

E-mail:faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社印刷厂印刷 三河市永成装订厂装订

各地新华书店经销

2008 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:12.5

字数:258 千字 定价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社市场营销部调换

全国纺织机电专业规划教材
编写委员会
(按姓氏笔画排序)

主任 王毅

副主任 孙凤鸣 李世焕 张文明 陈罡

委员 马子余 王道泉 王淑琴 邓海龙 向卫兵 孙凤鸣

李保城 李剑峰 李士焕 李智明 刘清涛 陈罡

陈树彬 吴保平 张文明 范树林 林吉曙 单敏

周琪甦 屈建喜 赵斌 赵春生 郝小星 贾格维

施永辉 陶新南 程俊静 梁平 梁一军 符爱红

蒋建强 鲍怀富 瞿才新

在全国职业教育事业迅速发展的形势下,纺织教育人才培养模式从20世纪90年代的大纺织格局逐步转变为现在的“厚基础”、“宽口径”,重点培养跨学科的复合型人才。因此,各纺织职业院校的专业方向设置越来越丰富、越来越贴近市场、越来越实用。其中,“新型纺织机电技术”专业是各纺织院校近几年拓展的主要方向之一,主要是为适应日新月异的纺织机械自动化控制技术,为培养面向生产与管理一线的、具有较强新型纺织机电一体化设备运行、维护、管理、检修能力的高技能人才而开设的。

新型纺织机电技术以机电一体化、电气自动化、数控技术为主干专业,以纺织机械和纺织电气技术为特色。作为一门新兴的学科和专业,由于学科的演变和各院校的特色发展,致使各职业院校关于此专业的教学计划和教材差别较大,大部分院校一直使用相关课程的讲义。为此,由中国纺织出版社主办、南通纺织职业技术学院协办的“纺织机电专业教材建设研讨会”于2008年3月在南通顺利召开,在十余所院校相关老师认真讨论专业教学计划的基础上,完成了首批纺织机电专业规划教材十余本,以期满足各院校纺织机电专业教学的需要。

在众多单位、院校、专家和学者的共同努力下,本套教材基本上涵盖了纺织机电专业的部分基础科和大部分专业课。由于本套教材在全国还属于首次编著,缺乏经验,不足之处在所难免,希望广大同行、有关专家、教师学者和使用者及时提出宝贵的意见,以期提高这套教材的整体质量。

中国纺织出版社

2008年8月

本教材是针对高等职业教育的特点,根据传感器与检测技术的发展,对2000年2月中国纺织出版社出版的《自动检测与转换技术》进行了全面的修订。在深入浅出、重点突出、淡化理论、注重实用特点的基础上,进一步丰富了内容,明晰了结构,注重新技术和新成果的应用,每章增加了学习要求和内容小结。

本教材共六章,第一章着重介绍传感器及测量技术的基本知识;第二章着重介绍模拟式传感器的工作原理及应用;第三章、第四章主要介绍数字式传感器和新型传感器的基本原理及应用;第五章介绍现代检测系统;第六章为实训指导。

本教材适用于高职院校机电技术、新型纺织机电技术、电气、自动化等专业的教学,也可供其他专业师生及有关工程技术人员参考。

本教材由南通纺织职业技术学院邓海龙担任主编,并编写了第一章,第二章第四节~第七节,第四章第五节、第六节;太原理工大学郑改成编写了第五章,第二章第三节,第三章第二节、第三节,第四章第七节;河南工程学院赵春生编写了第六章,第二章第一节、第二节,第三章第一节,第四章第一节~第四节。在本教材编写过程中,得到了南通纺织职业技术学院孙兵和陈为民的大力协助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,教材中错误和不妥之处在所难免,期待广大读者批评指正。

2008年5月

第一章 绪 论	1
第一节 传感器的基础知识	1
一、传感器的定义与组成	1
二、传感器的分类	2
三、传感器的作用	3
四、现代传感器	3
五、传感器的基本特性与指标	4
六、传感器的选用原则	6
第二节 检测技术的基础知识	6
一、测量的概念	6
二、测量方法	7
三、测量误差的分类	8
四、测量误差的表示方法	9
五、测量误差的处理	10
六、检测系统的组成及功能	12
七、检测技术的作用	12
思考题	13
第二章 常用模拟式传感器的原理与应用	14
第一节 电阻式传感器	14
一、应变式电阻传感器	14
二、压阻式电阻传感器	28
第二节 电容式传感器	31
一、基本工作原理与分类	31
二、测量电路	35
三、电容式传感器的应用	37
第三节 电感式传感器	43
一、自感式传感器	43
二、差动变压器式电感传感器	49
三、涡流式电感传感器	54

第四节 热电式传感器	58
一、热电阻传感器	58
二、热电偶传感器	62
三、PN 结温度传感器	69
四、热电式传感器应用举例	71
第五节 压电式传感器	73
一、压电效应与压电元件	73
二、压电传感器的测量电路	77
三、压电式传感器的应用	79
第六节 光电式传感器	81
一、光电效应与光电器件	81
二、红外探测器	89
三、光电式传感器及其应用	91
第七节 霍尔传感器	95
一、霍尔效应与霍尔元件	96
二、霍尔元件的补偿和测量电路	98
三、霍尔集成传感器	101
四、霍尔传感器的应用	102
思考题	105
第三章 数字式传感器	107
第一节 编码式传感器	107
一、光电式编码器的结构与分类	107
二、光电式编码器的工作原理	108
三、光电式编码器的应用	112
第二节 光栅传感器	113
一、光栅	113
二、莫尔条纹	114
三、光栅传感器的组成结构和工作原理	115
四、辨向与细分	116
第三节 磁栅传感器	118
一、磁栅传感器的组成与工作原理	118
二、静态磁头的信号处理方式	119
三、磁栅位移传感器的应用	120
思考题	122

第四章 新型传感器简介	123
第一节 光纤传感器	123
一、光纤的结构及导光原理	123
二、光纤传感器的组成与分类	125
三、光的调制技术	126
四、光纤传感器的应用	127
第二节 图像传感器	129
一、CCD 的工作原理	129
二、CCD 的电荷转移	130
三、CCD 图像传感器	131
四、CCD 图像传感器的应用	133
第三节 智能传感器	134
一、智能传感器概述	134
二、智能传感器的结构、功能与特点	134
三、传感器智能化的技术途径	136
四、智能传感器的发展方向	136
第四节 机器人传感器	137
一、机器人传感器的功能与分类	137
二、视觉传感器	138
三、触觉传感器	139
第五节 湿敏传感器	141
一、湿度及其表示方法	142
二、湿敏传感器的特性参数	142
三、湿敏传感器的分类	142
四、典型湿敏传感器	143
第六节 超声波传感器	145
一、超声波的传播特性	145
二、超声波传感器的传感方式	146
三、超声波的产生与接收	146
四、超声波传感器及其应用	147
第七节 集成式模拟量传感器	148
一、集成式温度传感器	149
二、集成式压力传感器	151
思考题	153

第五章 现代检测系统	155
第一节 概述	155
一、产品开发和性能实验	155
二、质量控制与生产监督	156
三、机械故障诊断	156
第二节 计算机数据采集系统	156
一、硬件系统基本组成	156
二、计算机检测系统的基本功能	158
三、计算机检测系统的特点	158
第三节 现代分布式检测系统概述	159
一、测控应用软件平台	159
二、工控组态软件	159
三、现代测控技术的发展趋势	160
四、网络化测试仪器	160
第四节 应用举例	164
一、旋转轴计算机转速测量系统	164
二、基于 PXI 构成的发动机试车台架数据采集系统	166
三、现场总线网络化测试仪器	168
思考题	170
第六章 实训指导	172
第一节 电阻应变片使用实训	172
一、金属箔式应变片—单臂电桥性能实验	172
二、金属箔式应变片—半桥性能实验	173
三、金属箔式应变片—全桥性能实验	174
第二节 电容式传感器性能测试实训	175
一、电容式传感器的位移实验	175
二、电容传感器动态特性实验	177
第三节 电感式传感器性能测试实训	177
一、差动变压器的性能实验	177
二、电涡流传感器位移实验	179
三、被测体材质对电涡流传感器特性影响	180
第四节 热电式传感器检测温度实训	181
一、集成温度传感器的特性实验	181
二、热电阻测温特性实验	182

三、热电偶测温性能实验	183
第五节 霍尔传感器性能测试实训	184
一、直流激励时霍尔式传感器的位移特性实验	184
二、交流激励时霍尔式传感器的位移特性实验	185
三、霍尔测速实验	186
思考题	187
参考文献	188

第一章 绪 论

《 学习要求 》

掌握传感器的定义、组成和作用,掌握传感器静态特性的主要性能指标,掌握测量及测量精度的基本概念,掌握测量误差的计算处理方法,了解传感器的分类、应用、基本特性、选用原则及现代传感器的主要特征,了解测量的分类,了解检测系统的组成、功能及作用。

第一节 传感器的基础知识

一、传感器的定义与组成

(一)传感器的定义

传感器源自“感觉”一词。人类借助于五官,即自身的眼睛、耳朵、舌头、鼻子和皮肤等感官感受外界的有关信息,如物体的形状与颜色、声音与语调、酸甜与苦辣、芬芳与疼痛等,送入大脑进行思维和判断,然后支配四肢完成某种动作。人类的“五官”可以说就是最原始的传感器。

对于传感器的定义,国内外至今都无统一的规定。国家标准《传感器通用术语》中则是这样进行描述的:能感受(或响应)规定的被测量,并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。目前对于传感器的定义能被普遍认同的是:传感器是一种能够感受被测量信息同时又能够将感受到的被测量信息按照一定的规律转换成电信号或其他所需形式的信号输出,以达到便于传输、处理、显示和控制等目的的检测装置,或称其为广义的传感器。传感器也称为变换器、换能器、变送器、发送器与探测器等。

(二)传感器的组成

由于传感元件的输出信号往往都非常微弱,传感器在除敏感元件、传感元件两大组成部分之外,所以还必须加入转换电路以便对弱小的信号进行放大。另外,还应有辅助电源,以供传感器和转换电路工作。一个完整的传感器组成框图如图1-1所示。

敏感元件的作用是将直接感受到的被测量转换为与被测量有确定关系的、包括电量在内的其他形式的量,如弹性膜片可将被测压力变成位移量。如果敏感元件能够直接输出电量,则同时也是转换元件,如热电偶感受被测温差时能直接输出电动势。

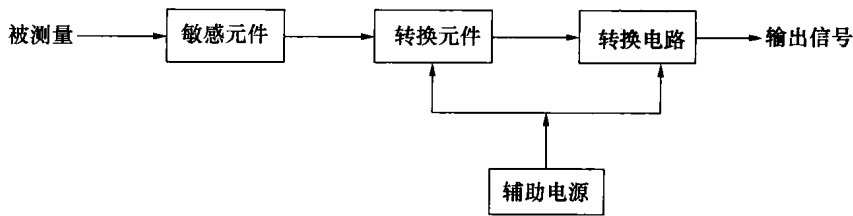


图 1-1 传感器组成框图

转换元件的作用是将敏感元件送出的非电量再转换为与其有确定关系的电量,如差动变压器式压力传感器,并不直接感受压力,而是感受与被测压力有确定关系的衔铁位移量,然后再输出电量。

转换电路的作用则是将转换元件送出的电量转换为便于传输、处理、显示和控制的电信号或其他所需形式的信号输出。

随着集成电路技术在传感器应用中的深入,传感器的各个组成部分可以集成在同一半导体芯片上,构成集成传感器。

应该再次指出的是,不是所有的传感器都必须具有转换元件这个部分,也不是所有的传感器都必须具备转换电路。正如前面所讲,热电偶传感器中就没有传感元件,但感受被测温差时也能直接输出电动势,因此图 1-1 所示的传感器组成框图只是一般形式。

二、传感器的分类

传感器种类众多,原理各异,分类方式也不尽相同,下面就几种常用的分类方法做简要介绍。

(一)按输入被测量进行分类

一般可分为速度传感器、温度传感器、位移传感器、压力传感器等。这种分类方法直接反映了检测的目的,给传感器的实际选用提供了一定的方便。

(二)按输出量形式进行分类

一般可分为数字传感器与模拟传感器两类。

(1)数字传感器输出量为数字量,如光栅传感器、码盘等。

(2)模拟传感器输出量为模拟量,如光电传感器、电感传感器等。

(三)按工作机理进行分类

一般可分为结构型传感器和物性型传感器两类。

(1)结构型传感器是依靠其结构参数变化来实现传感功能的,如电容式传感器中的变极距型电容传感器是依靠改变电容极板间距的结构参数工作的。

(2)物性型传感器是依靠其敏感元件物理性质、化学性质的变化来实现传感功能的,而与传感元件的结构参数无关,如光电式传感器就属于这类传感器。

(四)按转换原理进行分类

一般可分为电阻式、电容式、电感式、压电式、光电式、热电式传感器等。这种分类方法基本

上反映了传感器的工作原理,对于掌握传感器的工作原理、性能特点及选用较为有利。

(五)按信息的传递方式进行分类

一般可分为直接传感器与间接传感器两类。

(1)直接传感器能将被测的信息直接转换为电信号,如热敏电阻将温度的变化直接转变为电阻阻值的变化。

(2)间接传感器必须通过多于一次的转换才能将被测的信息转换为电信号,如压力传感器通过膜片先将压力转换为形变,形变引起的压阻效应再使电阻阻值发生变化。

(六)按能量的传递方式进行分类

一般可分为能量转换型传感器与能量控制型传感器两类。

(1)能量转换型传感器的输出能量无须外部提供,直接由被测量能量转换得到,如热电式传感器、光电式传感器等。

(2)能量控制型传感器的输出能量则必须由外部提供,而且受被测量的控制,如电容式传感器、电感式传感器等。

三、传感器的作用

从各行各业到日常生活,传感器几乎是无处不在,无处不用,其主要作用就是信息的采集和获取。

传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节。传感器作为感知、获取和检测信息的窗口,提供着人类赖以进行判断、决策与处理所必需的原始数据。若没有它,被测量难以被灵敏感受到,原始的各种数据难以进行精确可靠的测量,被测量难以转换为电信号,其他仪表和装置也就失去了存在的意义。虽然目前自动检测和自动控制技术正经历着重大变革,但缺少传感器一切都是无法实现的。

传感器技术是信息技术的构成之一。信息技术主要有信息的获取、传送和处理三个层面:第一层面就是能够感知、获取和检测到各种信息的传感器技术,第二层面是通信技术,第三层面则是信息处理技术。这三个层面的技术在信息技术中各自发挥着重要的作用,是信息技术的三根支柱,缺一不可,但又不能相互代替。目前,信息传送和处理层面技术的发展非常迅猛,而传感器技术发展相对滞后,已成为制约信息技术进一步发展的瓶颈。

四、现代传感器

随着计算机辅助设计、辅助制造技术、集成电路技术和微机械电子系统技术等高新技术以及新工艺、新材料的应用,出现了精度更高、性能更优、用途更广的现代传感器。现代传感器的主要特征是智能化、集成化、多功能化。

(一)智能化

传统的传感器只能简单的问题,已远远不能适应现代社会信息技术发展的趋势。现代传感器自带微机处理系统,不但具有信息存储与处理功能,而且还具有思考与判断能力,成为微机和传感器的一体化器件,这就是传感器的智能化。

(二) 集成化

传统的传感器由于体积大,已不能满足现代控制系统的需要,传感器被要求向小型、微型方向发展。集成技术使传感器得以实现这个目标,这就是传感器的集成化。

(三) 多功能化

传统的传感器通常只能检测一种物理量,已不能满足现代检测系统同时检测众多物理量的要求。将多种传感器适当组合于一身,可以同时检测各种物理量,这就是传感器的多功能化。

五、传感器的基本特性与指标

传感器输出输入之间的关系特性是传感器的基本特性。基本特性又分为静态特性和动态特性。所谓静态特性是指静态信号作用下的输出输入关系特性,而所谓动态特性是指动态信号作用下的输出输入关系特性。这里主要介绍传感器静态特性中几个用于衡量传感器基本特性优劣的重要性能指标:线性度、灵敏度、迟滞、重复性、分辨力与稳定性。

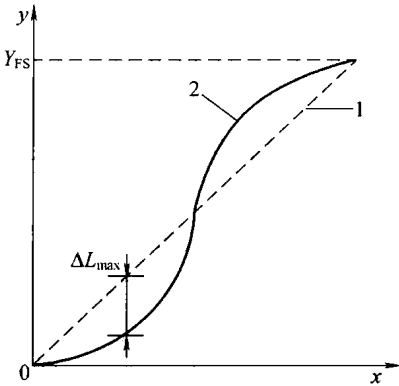


图 1-2 传感器线性度示意图

(一) 线性度

传感器的线性度,又称非线性误差,是指传感器输出量与输入量之间的实际关系曲线偏离拟合直线的程度。由于大多数传感器是非线性的,在实际使用中,为了数据处理的方便,常采用各种非线性补偿环节,以得到线性关系。因此在一定的条件下,可用一条直线近似地拟合一段实际关系曲线,这种方法称为直线拟合法,如图 1-2 所示,1 表示拟合直线,2 表示实际特性曲线。线性度 γ_L 可用实际特性曲线与拟合直线间的最大偏差 ΔL_{\max} 对传感器满量程输出值 Y_{FS} 的百分比表示:

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-1)$$

(二) 灵敏度

灵敏度 k 是指传感器输出量的变化量 dy 与输入量的变化量 dx 之比,可用式(1-2)表示:

$$k = \frac{dy}{dx} \quad (1-2)$$

对于理想线性传感器,特性曲线显然是一条直线,直线的斜率就是传感器的灵敏度。当检测系统的输入量与输出量的单位相同时,传感器的灵敏度就是该系统的放大倍数,如图 1-3 所示。灵敏度的高低,表明了传感器检测能力的强弱,但在选择时,应注意其合理性。因为传感器灵敏度越高,检测系统的抗扰能力就越弱,稳定性就越差,同时检测的范围也越窄。

(三) 迟滞

迟滞是指传感器正向行程特性曲线和反向行程特性曲线间的不一致程度,如图 1-4 所示,1 表示正向特性曲线,2 表示反向特性曲线。也就是说在相同工作条件下,对于同一大小的输入信号,传感器的正向行程和反向行程输出信号大小不等。产生这种现象的主要原因在于传感器

自身敏感元件材料的物理特性及传感器机械系统的缺陷,如弹性敏感元件的弹性滞后、轴承摩擦等。迟滞大小一般由实验方法确定,可用正反行程间最大输出的偏差 ΔH_{\max} 对满量程输出值 Y_{FS} 的百分比 γ_H 表示:

$$\gamma_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-3)$$

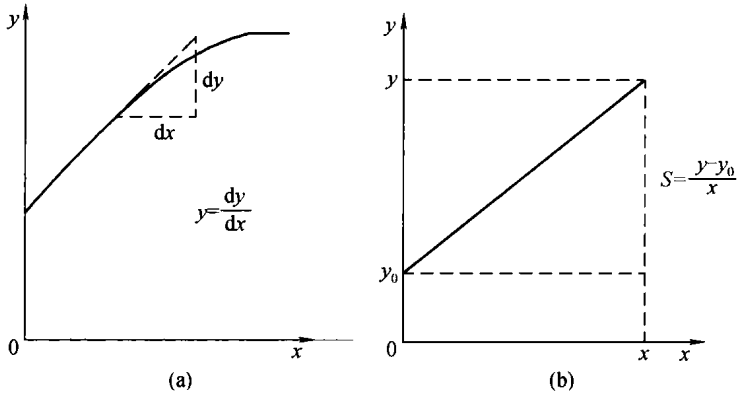


图 1-3 传感器灵敏度示意图

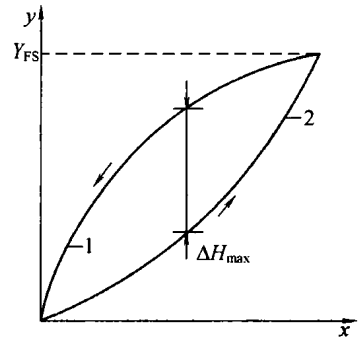


图 1-4 传感器迟滞示意图

(四) 重复性

重复性是指传感器在输入量按同一方向做全程多次测试时所得特性曲线不一致的程度,如图 1-5 所示,1 表示正向特性曲线组,2 表示反向特性曲线组,不一致产生的原因与迟滞产生的原因相同。在相同工作条件下,多次重复测试的特性曲线越重合,说明重复性越好,误差越小。重复性可用正反两个行程的两个最大重复性偏差 $\Delta R_{\max 1}$ 与 $\Delta R_{\max 2}$ 中较大的值 R_{\max} 对满量程输出值 Y_{FS} 的百分比 γ_R 表示:

$$\gamma_R = \pm \frac{1}{2} \frac{R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

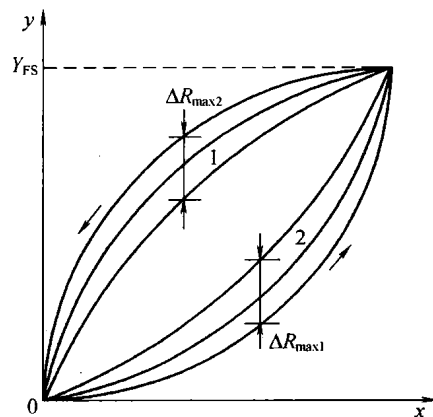


图 1-5 传感器重复性示意图

(五) 分辨力

分辨力是指传感器在规定测量范围内能够检测出的被测量的最小变化量。当被测量的变化值小于分辨力时,传感器对输出量的变化无任何反应。分辨力从输出方面看有一定的模糊性,通常认为数字式传感器的分辨力为最后一位的一个数字,而模拟式传感器的分辨力为最小刻度分格值的一半。若用满量程输入值的百分数表示分辨力,则称为分辨率。

(六) 稳定性

稳定性又称长期稳定性,是指传感器在相当长时间内保持原性能不变的能力。稳定性通常以在室温条件下,经过规定的时间跨度后的传感器输出与起始标定输出之间的差异值表示。

六、传感器的选用原则

现代自动检测是以计算机技术为核心,以传感器技术为基础构成的。传感器的应用作为自动检测的首要环节,进行正确的选用是首先要考虑的。在选用传感器时,不能片面追求其线性度好、灵敏度高、迟滞小、重复性优、分辨力强,而是应该根据检测的具体要求和条件,保证主要性能指标满足要求即可,即选用时应遵循下列几项原则。

(一) 考虑检测系统内部的要求

主要指测量的目的、被检测量的选择、测量范围、测量精度要求、测量时间要求等。这是在选用传感器时首先要了解的检测系统内部的要求。

(二) 考虑检测系统外部的条件

主要指安装现场条件及情况、环境条件(湿度、温度、振动等)、信号传输距离、需要现场提供的功率容量等。即是在了解检测系统内部要求的基础上还要考虑检测系统的外部条件。

(三) 考虑传感器自身的技术指标

主要指传感器的精度、稳定性、响应特性、模拟量与数字量、输出幅值等性能指标。为了提高测量精度,应注意选择测量范围和刻度范围。

第二节 检测技术的基础知识

一、测量的概念

测量是人们借助于仪器、设备,通过一定的方法,对被测对象进行定性认识或者定量认识的过程。所谓定性认识,就像用验电笔测试电源插孔是否有电,能够大致判断被测量存在还是不存在。所谓定量认识,就像用万用表去测量电源插孔间的电压值,能够得到一个比较准确的数值。

测量过程实际上是一个比较过程,即将被测量与同一性质的标准量进行比较,从而确定被测量与标准量比值的过程。例如,用直尺与直立人体进行比较,可以确定人体的身高。但在一般情况下,测量过程需要将被测量与标准量同时转换为另一种性质的中间量才能进行,这就是所谓的转换。转换将静态测量变成了动态测量。例如,万用表是将被测电流、被测电压或被测