



- 普通高等教育“十二五”规划教材
- 高职高专电气电子类专业任务驱动、项目导向系列化教材

传感器检测 与应用

CHUANGANQI JIANCE
YU YINGYONG

主编 王斌



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育“十二五”规划教材

高职高专电气电子类专业任务驱动、项目导向系列化教材

传感器检测与应用

主 编 王 斌

副主编 周惠忠 丁晨阳 葛东旭

参 编 唐明军 周 杰



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书是高等职业教育“十二五”规划教材,本书的编写以工作过程系统化的理念为指导,以典型项目任务为依托,以传感器的测量应用为学习情境,每个学习情境是以一个具体的工程项目为主线,通过知识点拨、知识运用和知识拓展等环节全面介绍了常用传感器的基本原理、参数、检测方法、典型电路以及安装调试等。

本书内容丰富,结构紧凑,图文并茂,通俗易懂,符合认知规律。情境项目的选择均来自生产实践,具有较强的准确性、实用性和科学性。每个学习情境均提供了学习评价习题,便于及时检查、总结和提高。

本书可作为高职高专类院校电气自动化、机电技术、应用电子、智能楼宇、仪器仪表、汽车制造、机械、数控等专业的教材,也可作为成人教育和职业培训的指导教材,对从事企业生产、运行人员和相关工程技术人员也具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

传感器检测与应用/王斌主编. —北京:国防工业出版社, 2012.9

高职高专电气电子类专业任务驱动. 项目导向系列化教材

ISBN 978-7-118-08282-1

I. ①传... II. ①王... III. ①传感器-高等职业教育-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 186165 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 12 字数 296 千字

2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776

发行业务:(010)88540717

前言



本书是面向高等职业教育的“十二五”规划教材,是为了满足教育部对高等职业教育教学改革,以及在“传感器检测与应用”课程改革的基础上编写而成的。

“传感器检测与应用”是一门实践性十分强的课程。为了适应现代高等职业教育的特点和学生的认知规律,本书从职业教育的特点出发,针对传感器类产品的生产、制造、检验、维修等职业岗位需求,以传感器应用能力的培养为重点,以工作过程系统化的理念为指导,以典型项目为依托,实现“教、学、做”合一。

本书在内容的选取上立足于技能型人才培养的知识要求,不再对传感器理论做过多的研究,主要介绍制造业技术岗位上常用传感器的基本原理、特性参数、转换电路、综合实践应用,以及如何组成系统等知识。在内容的编排上打破传统教材模式,构建学习情境来展开教学,在项目的实施过程中实现了知识和技能的学习,突破重难点,以利于学生在今后工作中能很快适应岗位的需要,应用所学知识解决实际遇到的技术问题。

本书针对被测量的对象不同分为七大学习情境,在每个学习情境中,又根据不同的测量原理和方法分为若干个学习子情境。每个学习子情境按照知识点拨、知识运用、知识拓展、知识总结评价的顺序进行,满足工作前、工作时、工作后的知识需求。学习情境1为“认识传感器”,主要介绍传感器的概念和基础知识;学习情境2为“力的检测”,分为“数显电子秤的实现”和“振动感知电子狗的实现”两个子情境,主要介绍应变式传感器和压电式传感器;学习情境3为“温度的检测”,分为“燃气热水器的火焰监测”和“机床电机的过热保护”两个子情境,主要介绍热电偶传感器和热电阻式传感器;学习情境4为“位移的检测”,分为“滚珠直径的自动分选”、“汽轮机轴向位移的监测”和“数控机床位移的控制”三个子情境,主要介绍电感式传感器、电涡流式传感器和光栅传感器;学习情境5为“位置的检测”,分为“饮料包装中液位的自动检测”和“煤仓煤位的自动监控”两个子情境,主要介绍电容式传感器和超声波传感器;学习情境6为“速度的检测”,分为“磁力测速仪的实现”和“光电测

速仪的实现”两个子情境,主要介绍霍尔式传感器和光电式传感器。本书内容丰富,结构紧凑,图文并茂,通俗易懂。

本书由扬州工业职业技术学院王斌主编,周惠忠、丁晨阳、葛东旭副主编,唐明军、周杰参编。王斌负责全书的规划、编排和统稿。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2012 年 6 月

目录



学习情境 1：认识传感器

情境介绍

学习要点

知识点拨

一、初识传感器

二、传感器的定义、组成及分类

三、传感器的应用及发展趋势

四、传感器的基本特性

知识运用

一、传感器的合理选择

二、传感器的正确使用

知识拓展

一、测量及测量方法

二、测量误差的概念及术语

三、测量误差的类型

四、测量误差的表示方法

五、自动检测系统

知识总结

学习评价

思考题

学习情境 2：力的检测

学习情境 2.1：数显电子秤的实现

情境介绍

学习要点

知识点拨

一、电阻应变式传感器的工作原理

二、应变片的结构与类型

三、测量转换电路

知识运用

一、应变片的选择和使用

二、电阻应变式传感器实现力的检测

三、简易数显电子秤的制作

知识拓展

一、电阻应变式传感器的其他应用

二、压阻式传感器

知识总结

学习评价

思考题

学习情境 2.2：振动感知电子狗的实现

情境介绍

学习要点

知识点拨

一、压电式传感器的工作原理

二、压电材料及特性

三、压电式传感器的测量转换电路

知识运用

一、压电传感器的选择

二、压电式传感器实现振动的检测

三、声振动感知电子狗的制作

知识拓展

一、压电式单向测力传感器

二、压电式压力传感器

三、高分子材料压电传感器

知识总结

学习评价

思考题

学习情境 3：温度的检测

学习情境 3.1：燃气热水器的火焰监测

情境介绍

学习要点

知识点拨

一、热电偶的工作原理

二、热电偶的种类和结构

1
1
1
1
1
2
4
5
8
8
10
10
10
11
12
13
14
15
15
16
17
17
17
17
18
19
20
23
23
26

28
29
29
32
33
33
34
35
35
35
35
36
36
39
41
41
42
44
45
45
45
46
46
46
47
48
48
48
48
49
52

知识运用	54	知识点拨	92
一、热电偶的使用	54	一、电涡流式传感器的工作原理	92
二、燃气热水器火焰监测的实现	58	二、电涡流式传感器的结构和性能	93
知识拓展	58	三、测量转换电路	95
一、金属表面温度的测量	58	知识运用	96
二、热电偶炉温控制系统	60	一、电涡流式传感器的使用	96
知识总结	61	二、电涡流传感器进行汽轮机轴向位移监测的实现	97
学习评价	61	知识拓展	98
思考题	62	一、电涡流传感器实现厚度测量	98
学习情境 3.2: 机床电机的过热保护	62	二、电涡流传感器实现转速测量	99
情境介绍	62	三、电涡流表面探伤	99
学习要点	62	知识总结	100
知识点拨	62	学习评价	101
一、热电阻	63	思考题	101
二、热敏电阻	66	学习情境 4.3: 数控机床位移的控制	101
知识运用	69	情境介绍	101
一、热电阻传感器实现温度的检测	69	学习要点	102
二、机床电机过热保护的实现	70	知识点拨	102
知识拓展	71	一、光栅的结构和类型	102
一、气敏电阻传感器	71	二、光栅的工作原理	103
二、湿敏电阻传感器	74	三、辨向和细分技术	105
知识总结	77	知识运用	107
学习评价	78	一、光栅传感器的使用	107
思考题	78	二、光栅传感器在数控机床位移控制中的应用	108
学习情境 4: 位移的检测	79	知识拓展	109
学习情境 4.1: 滚珠直径的自动分选	79	一、光栅数显表	109
情境介绍	79	二、轴环式光栅数显表	109
学习要点	79	知识总结	110
知识点拨	79	学习评价	111
一、自感式传感器	80	思考题	111
二、差动变压器式传感器	84	学习情境 5: 位置的检测	112
知识运用	87	学习情境 5.1: 饮料包装中液位的自动检测	112
一、电感式传感器实现位移的检测	87	情境介绍	112
二、电感式滚柱直径分选装置的实现	88	学习要点	112
知识拓展	88	知识点拨	112
一、差动变压器实现振动和加速度的测量	89	一、电容式传感器的工作原理	113
二、差动变压器实现力和压力的测量	91	二、电容式传感器的类型和特性	113
知识总结	91	三、测量转换电路	117
学习评价	91	知识运用	119
思考题	91	一、电容式传感器的设计要点	119
学习情境 4.2: 汽轮机轴向位移的监测	92	二、电容式传感器实现液位的检测	122
情境介绍	92	三、饮料包装中液位检测电路的设计	124
学习要点	92		

知识拓展	127	五、霍尔翼片开关	151
一、电容式加速度传感器	127	六、霍尔加速度传感器	152
二、电容式测厚仪	127	知识总结	153
三、电容式力和压力传感器	128	学习评价	153
知识总结	128	思考题	154
学习评价	129	学习情境 6.2：光电测速仪的实现	154
思考题	129	情境介绍	154
学习情境 5.2：煤仓煤位的自动监控	130	学习要点	154
情境介绍	130	知识点拨	154
学习要点	130	一、光电传感器的工作原理	154
知识点拨	130	二、光电元件及特性	155
一、超声波的基本特性	130	知识运用	161
二、超声波传感器的外形与特性	131	一、光电传感器实现转速的检测	161
三、超声波探测用耦合剂	132	二、光电测速仪的设计	161
知识运用	133	知识拓展	164
一、超声波传感器实现物位的检测	133	一、基于光敏传感器的便携式照度计	164
二、煤仓煤位监控系统的实现	134	二、路灯自动点灭器	165
知识拓展	137	三、CCD 图像传感器的应用	165
一、超声防盗报警器	137	四、红外传感器的应用	166
二、超声波测厚	137	知识总结	167
三、无损探伤	138	学习评价	167
四、流量的检测	139	思考题	167
知识总结	140	附录	168
学习评价	141	附录 A 传感器分类表	168
思考题	141	附录 B 常用传感器性能比较表	169
学习情境 6：速度的检测	142	附录 C 热电阻分度表	170
学习情境 6.1：磁力测速仪的实现	142	附录 D 热电偶分度表	171
情境介绍	142	附录 E 检测仪表及故障诊断	175
学习要点	142	一、检测仪表的组成	175
知识点拨	142	二、检测仪表的分类	175
一、霍尔传感器的工作原理	142	三、变送器	176
二、霍尔元件及特性	144	四、检测仪表的故障判断	177
三、霍尔集成电路	144	附录 F 抗干扰技术	178
知识运用	145	一、干扰的类型	179
一、霍尔传感器实现转速的检测	145	二、电磁干扰的来源	180
二、霍尔磁力测速仪的设计	146	三、抑制干扰的方法	180
知识拓展	148	四、常用的抗干扰技术	180
一、霍尔位移传感器	149	参考文献	184
二、霍尔振动传感器	149		
三、霍尔液位传感器	150		
四、霍尔接近传感器和接近开关	151		

1 学习情境 1：认识传感器

情境介绍

随着工业、农业、交通、军事、科技、办公、安防、家庭等各个领域的现代化,“传感器”这个名字已为众人皆知。那么,“传感器”是什么?“传感器”有什么用?为什么要学习“传感器”?通过本学习情境的展开就可以解决这些疑惑。在具体学习某种特性类型的传感器之前,首先要了解传感器。

本学习情境从人体感受外界信息入手,详细介绍了传感器的作用、类型和基本组成,分析了传感器在现代生产、生活中起着举足轻重的作用,以及传感器技术在今后一段时间内的发展动向。在对传感器的主要性能分析的基础上,本情境还介绍了如何正确选用以及使用传感器,为今后学习提供准备知识。此外,知识拓展部分还给出了和传感器检测息息相关的测量和测量误差以及自动检测系统的相关知识。

学习要点

1. 掌握传感器的定义、组成和作用;
2. 了解传感器的分类、应用和发展趋势;
3. 掌握传感器静态特性的主要性能指标;
4. 熟悉传感器的基本选用和使用方法;
5. 掌握测量和测量误差的概念以及测量误差的计算处理方法;
6. 了解自动检测系统的基本组成。

知识点拨

一、初识传感器

何谓传感器?生物体的感官就是天然的传感器。例如,人的“五官”——眼、耳、鼻、舌、皮肤分别具有视、听、嗅、味、触觉的功能。人们的大脑神经中枢通过五官的神经末梢(感受器)就能感知外界的信息。

在自动检测控制系统中,也需要获取外界的信息,这些需要依靠传感器来完成。所以,传感器相当于人的五官部分(“电五官”)。两者的关系如图 1-1 所示。

另外,对于某些外界信息而言,人的感觉器官是不可以感受的,如有毒的气体、过热的物体、紫外线和微波等;同时,人的感觉器官也无法定量地感受外界信息。因此这些都需要通过传感器来完成,可以说传感器是人体五官的延伸。

实际上传感器对于我们来说并不陌生,在生产和生活中随处都可以看见。例如,声光控节

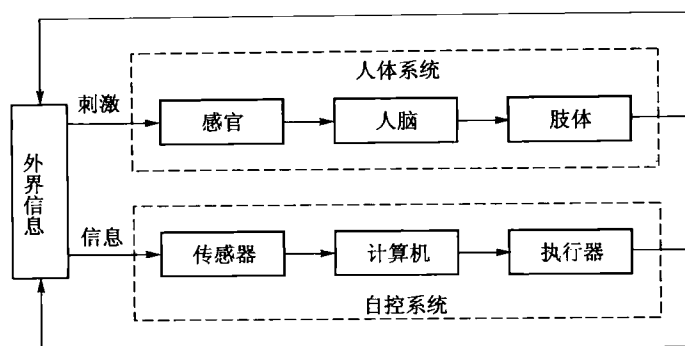


图 1-1 人体系统与自控系统对应关系

能开关通过光敏电阻感受光线的强弱；话筒通过驻极体感受声音信号；遥控器通过红外收发器进行无线控制。

传感器实际上是一种功能模块，其作用是将从外界的各种信号转化为电信号，再利用后续装置或电路对此电信号进行处理。简单地说，传感器是可以将被测的非电量转化为电量的装置。

二、传感器的定义、组成及分类

1. 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输出信号的器件或装置。传感器输出信号有很多形式，目前多为易于处理的电量，如电压、电流、频率等。其输出信号的形式由传感器的原理确定。有些国家和有些技术领域，传感器也称为变换器、检测器或探测器等。

表 1-1 列出了部分传感器的输入量、输出量及其转换原理。从表 1-1 中可以看出，传感器就是利用物理效用、化学效应、生物效应等，将被测的物理量、化学量、生物量等非电量转化为电量的器件或装置。

表 1-1 传感器的输入量、输出量及其转换原理

输入量				转换原理	输出量
物理量	机械量	几何学量	长度、位移、应变、厚度、角度、角位移	物理定律或物理效应	电量（电压、电流或频率等）
		运动学量	速度、角速度、加速度、角加速度、振动、频率、时间		
		力学量	力、力矩、应力、质量、荷重		
	流体量		压力、真空度、流速、流量、液位、黏度		
	温度		温度、热量、比热		
	湿度		湿度、露点、水分		
	电量		电流、电压、功率、电场、电荷、电阻、电感、电容		
	磁场		磁通、磁场强度、磁感应强度		
	光		光度、照度、色、紫外光、红外光、可见光、光位移		
	放射量		X 射线、 α 射线、 β 射线、 γ 射线		
化学量		气体、液体、固体分析、pH 值、浓度		化学效应	电量（电压、电流或频率等）
生物量		酶、微生物、免疫抗原、抗体		生物效应	

2. 传感器的组成

通常传感器由敏感元件、传感元件和测量转换电路三部分组成,如图 1-2 所示。其中,敏感元件是指传感器中直接感受被测量的部分,将被测量转化为易于变为电参量的非电量。传感元件是指传感器能将敏感元件的输出转换为适于传输和测量的电参量部分。测量转换电路则将传感器微弱的输出信号放大或转换为更容易传输、处理的电压、电流或频率等形式输出。

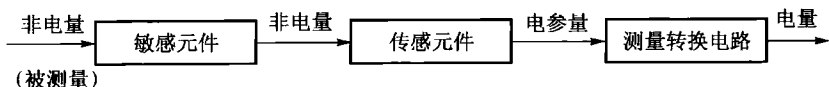


图 1-2 传感器的组成框图

应该说明,并不是所有的传感器都能明显区分敏感元件、传感元件和测量转换电路这三个部分,而是合为一体的。例如,半导体气体、湿度传感器等,它们一般都是将感受的被测量直接转换为电信号,没有中间转换环节。随着半导体器件和集成技术的发展,越来越多的传感器被安装在同一壳体内或集成在同一芯片上。

3. 传感器的分类

用于不同科技领域或行业的传感器种类繁多。一种被测量可以用不同种类的传感器来测量;而同一原理的传感器,通常又可分别测量多种被测量。因此,传感器分类的方法多种多样,下面介绍几种常见的分类方法。

1) 按输入量分类

输入量即被测量,按此方法分类,传感器可分为位移传感器、速度传感器、压力传感器、温度传感器等。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。

2) 按转换原理分类

按转换原理,传感器一般可分为电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、霍尔式传感器、光电式传感器、热电式传感器等多种。这种分类方法按照传感器的工作原理分门别类,避免名目过多,且较为系统。用此方法对于掌握传感器的工作原理、性能特点以及选用较为有利。

3) 按输出量形式分类

按此方式,传感器一般可分为模拟式传感器和数字式传感器两类。模拟式传感器输出与被测量成一定比例的模拟信号,如光电传感器、电感传感器等。模拟式传感器如果需要与计算机配合使用或数字显示,还要经过 A/D 转换电路。数字式传感器输出的是数字量,可直接与计算机配合使用或数字显示,读取方便,抗干扰能力强,如光栅传感器、光电编码器等。

4) 按能量转换方式分类

按此方式,传感器一般分为有源型传感器和无源型传感器两类。有源型传感器也称能量转换型传感器或发电型传感器,它可以将非电量直接变为电压量、电流量、电荷量等。例如,热电式传感器、压电式传感器等。无源型传感器也称为能量控制型传感器或参数型传感器,它将非电量变为电阻、电感、电容等量,能量的输出必须由外部提供。

5) 按信息传递方式分类

按此方式,传感器一般可分为直接传感器和间接传感器两类。直接传感器能将被测的信息直接转换为电信号,例如,热敏电阻将温度的变化直接变为电阻阻值的变化。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为电信号,例如,压力传感器通过膜片将压力转换为形变,形变引起的压阻效应再使电阻阻值发生变化。

传感器常常按工作原理与被测量两种分类方式合二为一进行命名,如电感式位移传感器、光电式转速计、压电式加速度传感器等。这样被测量和传感器工作原理一目了然。

三、传感器的应用及发展趋势

1. 传感器的应用

传感器是获取自然领域中各种信息的主要途径和手段,是构成现代信息技术的三大支柱(传感器技术、通信技术、计算机技术)之一。目前,传感器应用的领域十分广泛。

在现代家用电器中,大多数都应用了传感器技术。如电视机、空调、风扇的红外遥控系统中使用的红外接收器件,照相机中的自动曝光装置,电冰箱和电饭煲使用的温度传感器,抽油烟机上的气敏传感器,全自动洗衣机中的水位和浊度传感器等。

在现代工业生产尤其是自动化生产过程中,要用各种传感器来监视和控制生产过程中的各个参数,使设备工作在正常状态或是最佳状态,并使产品达到最好的质量。因此可以说,没有众多性能优良的传感器,现代生产就失去了基础。

在基础科学研究中,传感器具有突出的地位。例如,对深化物质认识、开拓新能源新材料等具有重要作用的各种尖端科技研究,如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场和超弱磁场等。显然,要获取大量人类感官无法获取的信息,没有相应的传感器是不可能的。许多基础科学研究的障碍,首先就在于对研究对象的信息获取存在困难,而一些新机理和高灵敏度的检测仪器的出现,往往会使该领域有所突破。一些传感器的发展,往往是一些边缘学科开发的先驱。

在航空航天领域,飞行的速度、加速度、位置、姿态、温度、气压、磁场、振动都需要测量:阿波罗 10 号飞船需要对 3295 个参数进行检测,其中,温度传感器 559 个,压力传感器 140 个,信号传感器 501 个,遥控传感器 142 个。专家说:“整个宇宙飞船就是高性能传感器的集合体”。

楼宇自动化系统是智能建筑的重要组成部分。计算机通过中继器→路由器→网络→显示器→网关控制管理各种设备(空调制冷、给水排水、变配电系统、照明系统、电梯、安全防护和自动识别等)。实现以上功能使用的传感器有温度传感器、湿度传感器、液位传感器、流量传感器、压差传感器、空气压力传感器、烟雾传感器、气体传感器、红外传感器、玻璃破碎传感器和图像传感器等。

国防军事(雷达探测系统、水声目标定位系统和红外制导系统等)、环境保护(空气质量的监控)、医学诊断(各种生化指标、影像资料的获取)、刑事侦查(声音、指纹识别)和交通管理(车流量统计、车速监测、车牌识别)等,这些都离不开传感器。

2. 传感器的发展趋势

传感器技术所涉及的知识非常广泛,并渗透到各个学科领域,但是它们的共性是利用物理定律和物质的物理、化学和生物特性,将非电量转换成电量。所以,如何采用新技术、新工艺、新材料以及探索新理论达到高质量的转换,是总的发展途径。

目前,传感器技术的主要发展动向,一是开展基础研究,发现新现象,开发传感器的新材料和新工艺;二是实现传感器的集成化与智能化。

1) 发现新现象

利用物理现象、化学反应和生物效应是各种传感器工作的基本原理,所以,发现新现象与新效应是发展传感器技术的重要的工作,是研究新型传感器的重要基础,其意义极为深远。例如,日本夏普公司利用超导技术研制的高温超导磁传感器,是传感器技术的重大突破,其灵敏

度比霍耳器件高,仅次于超导量子干涉器件;而其制造工艺远比超导量子干涉器件简单,它可用于磁成像技术,具有很大的应用价值。

2) 开发新材料

传感器材料是传感器技术的重要基础。由于材料科学的进步,人们在制造时,可任意控制它们的成分,从而设计制造出用于各种传感器的功能材料。例如,半导体氧化物可以制造各种气体传感器,而陶瓷传感器工作温度远高于半导体,光导纤维的应用是传感器材料的重大突破,用它研制的传感器与传统的相比有突出的特点。有机材料作为传感器材料的研究,引起国内外学者的极大兴趣。

3) 采用微细加工技术

半导体技术中的加工方法,如氧化、光刻、扩散、沉积、平面电子工艺、各向异性腐蚀以及蒸镀、溅射薄膜工艺都可用于传感器制造,因而制造出各式各样的新型传感器。例如,利用半导体技术制造出压阻式传感器;利用薄膜工艺制造出快速响应的气敏、湿敏传感器;日本横河公司利用各向异性腐蚀技术进行高精度三维加工,在硅片上构成孔、沟棱锥、半球等各种开头,研制出全硅谐振式压力传感器。

4) 研究多功能集成传感器

日本丰田研究所开发出同时检测 Na^+ 、 K^+ 和 H^+ 等多离子传感器。这种传感器的芯片尺寸为 $2.5\text{mm}^2 \times 2.5\text{mm}^2$,仅用一滴血液即可同时快速检测出其中 Na^+ 、 K^+ 和 H^+ 的浓度,适用于医院临床,使用非常方便。

催化金属栅与 MOSFET 相结合的气体传感器已广泛应用于检测氧、氨、乙醇、乙烯和一氧化碳等。

我国某传感器研究所研制的硅压阻式复合传感器可以同时测量压力与温度。

5) 智能化传感器

智能化传感器是一种带微处理器的传感器,它兼有检测、判断和信息处理功能。其典型产品如美国霍尼韦尔公司的 ST-3000 型智能传感器,其芯片尺寸为 $3\text{mm}^3 \times 4\text{mm}^3 \times 2\text{mm}^3$,采用半导体工艺,在同一芯片上制作 CPU、EPROM 和静压、压差、温度等三种敏感元件。

6) 新一代航天传感器研究

众所周知,在航天器的各大系统中,传感器对各种信息参数的检测,保证了航天器按预定程序正常工作,因此,传感器起着极为重要的作用。随着航天技术的发展,航天器上需要的传感器越来越多。例如,航天飞机上安装了大约 3500 个传感器,对其指标性能都有严格要求,如对小型化、低功耗、高精度、高可靠性等都有具体指标。为了满足这些要求,必须采用新原理、新技术研制出新型的航天传感器。

7) 仿生传感器研究

值得注意的一个发展动向是仿生传感器的研究,特别是在机器人技术向智能化高级机器人发展的今天。仿生传感器就是模拟人的感觉器官的传感器,即视觉传感器、听觉传感器、嗅觉传感器、味觉传感器、触觉传感器等。目前,只有视觉与触觉传感器解决得比较好,其他几种远不能满足机器人发展的需要。也可以说,至今真正能代替人的感觉器官功能的传感器极少,需要加速研究,否则将会影响机器人技术的发展。

四、传感器的基本特性

传感器的基本特性一般指传感器输入与输出之间的关系特性。基本特性有静态特性和动

态特性之分。静态特性是指静态信号作用下的输入/输出关系特性,而动态特性是指动态信号作用下的输入/输出关系特性。这里主要介绍传感器静态特性中用于衡量传感器特性优劣的几个重要性能指标:灵敏度、分辨力、测量范围、线性度、迟滞、重复性等。

1. 灵敏度

灵敏度表示传感器在稳态时的输入量增量 Δx 与由它引起的输出量增量 Δy 之间的函数关系。更确切地说,灵敏度 K 等于传感器输出增量与被测量增量之比,它是传感器在稳态输出/输入特性曲线上各点的斜率,可用下式表示:

$$K = \frac{dy}{dx} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-1)$$

灵敏度表示单位被测量的变化所引起传感器输出值的变化量。很显然, K 值越高表示传感器越灵敏。

对于线性传感器而言,灵敏度是一常数;对于非线性传感器而言,灵敏度则随着输入量的变化而变化,如图 1-3 所示。从输出曲线看,曲线越陡,灵敏度越高。

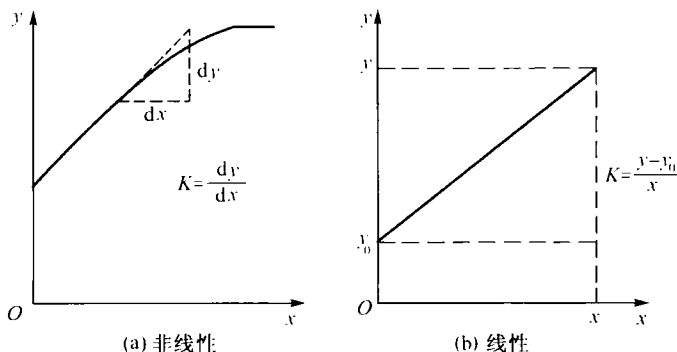


图 1-3 传感器灵敏度示意

2. 分辨力

传感器在规定测量范围内检测出的被测量的最小变化量称为分辨力,分辨力是有量纲的数。当被测量的变化值小于分辨力时,传感器对输入量的变化无任何反应。对模拟仪表而言,可以认为其最小刻度的 $1/2$ 为其分辨力;而对于数字仪表,可以认为该表的最后一位代表的数值为其分辨力。分辨力往往受到噪声的限制,所以,噪声电平的大小是决定传感器分辨力的关键因素。将分辨力除以仪表的满度量程就是该仪表的分辨率,通常用百分比或几分之一表示。

3. 测量范围和量程

在允许误差范围内,传感器能够测量的下限值($y_{\min}$)到上限值($y_{\max}$)之间的范围称为测量范围,表示为 $y_{\min} \sim y_{\max}$;上限值和下限值的差称为量程,表示为 $y_{FS} = y_{\min} - y_{\max}$ 。例如,某温度计的测量范围是 $-20^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$,量程则为 120°C 。

4. 线性度

传感器的线性度即非线性误差,是指传感器的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。为了便于对传感器进行标定和数据处理,要求传感器的特性为线性关系,而实际的传感器大多数是非线性的,这就要求在实际使用中采用非线性补偿环节,以得到线性关系。因此在一定条件下,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 1-4 所示。线性度 γ_L 可用实际特性曲线与拟合直线间的最大偏差 $\Delta L_{\max}$ 对传感器量

程范围内的输出 y_{FS} 之百分比表示, 即

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} = \frac{\Delta L_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1-2)$$

拟合直线的选取有多种方法, 图 1-4 是将传感器输出起始点与满量程点连接起来的直线作为拟合直线, 这条直线称为端基理论直线, 按上述方法得出的线性度称为端基线性度。

5. 迟滞

迟滞是指在相同工作条件下, 传感器正行程特性与反行程特性的不一致的程度, 如图 1-5 所示。也就是说, 达到同样大小的输入量所采用的行程方向不同时, 尽管输入为同一输入量, 但输出信号大小却不相等。产生这种现象的主要原因是传感器机械部分存在不可避免的缺陷, 如轴承摩擦、间隙、紧固件松动、材料内摩擦、积尘等。

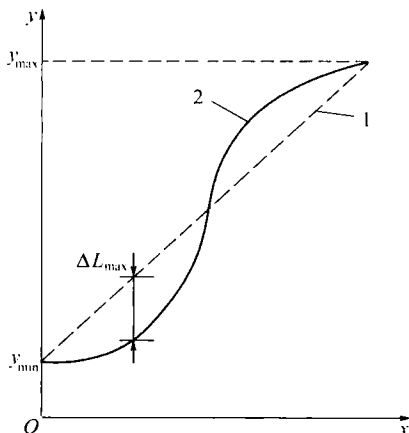


图 1-4 传感器线性度示意图

1—拟合直线; 2—实际特性曲线。

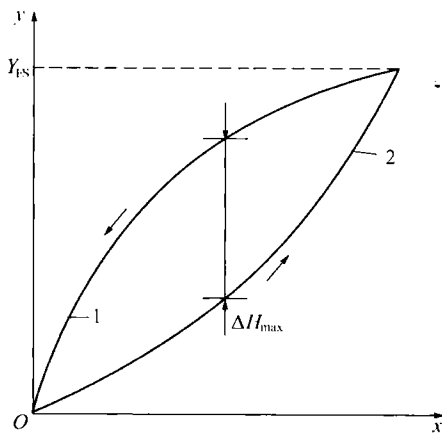


图 1-5 传感器迟滞特性示意图

1—反向特性; 2—正向特性。

迟滞误差大小一般由试验方法确定。其数值为对应于同一输入量的正行程和反行程输出值间的最大偏差 $\Delta H_{\max}$ 与满量程输出值的百分比, 用 γ_H 表示, 即

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

6. 重复性

重复性是指传感器的输入在按同一方向变化时, 在全量程内连续进行重复测试时所得到的各特性曲线的重复程度, 如图 1-6 所示。多次重复测试的曲线越重合, 说明重复性越好, 误差也小。重复特性的好坏是与许多随机因素有关的, 与产生迟滞现象具有相同的原因。

为了衡量传感器的重复特性, 一般采用输出最大重复性偏差 $\Delta_{\max}$ 与满量程 y_{FS} 的百分比来表示重复性指标, 即

$$\delta_R = \pm \frac{\Delta_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

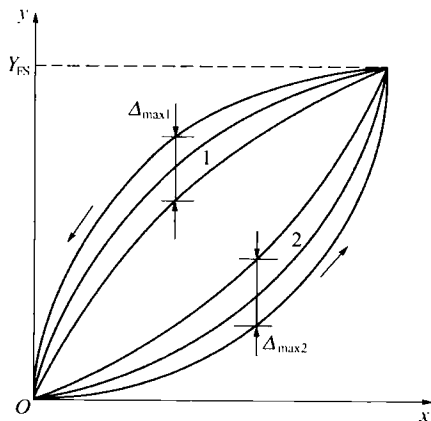


图 1-6 传感器重复性示意图

重复性误差只能用实验方法确定。用实验方法分别测出正反行程时诸测试点在本行程内同一输入量时输出量的偏差,取正反两个行程最大重复偏差 $\Delta_{\max 1}$ 和 $\Delta_{\max 2}$ 中较大的值作为重复性误差,然后取其与满量程输出的比值,比值越大说明重复性越差。

7. 稳定性

稳定又称长期稳定性,即传感器在相当长的时间内保持其性能的能力。稳定性一般以室温条件下经过一规定的时间间隔后,传感器的输出与起始标定时的输出之间的差异来表示,有时也用标定的有效期来表示。

8. 零漂和温漂

传感器无输入(或某一输入值不变)时,每隔一定时间,其输出值偏离原来示值的最大偏差与满量程的百分比,即为零漂。温度每升高 1°C ,传感器输出值的最大偏差与满量程的百分比称为温漂。

9. 可靠性

可靠性是反映传感器在规定的条件下,在规定的时间内是否耐用的一种综合性能质量指标。常用的可靠性指标有以下几种:

(1) 故障平均间隔时间:它是指两个故障间隔的时间。

(2) 平均修复时间:它是指排除故障所花费的时间。

(3) 故障率或失效率:它可以用图 1-7 的故障变化曲线来说明。由于故障率曲线形如一个浴盆,又称为“浴盆曲线”。

10. 动态特性

动态特性是描述传感器在被测量随时间变化时的输出和输入的关系。对于加速度等动态测量的传感器必须进行动态特性的研究,通常是用输入正弦或阶跃信号时传感器的响应来描述的,即传递函数和频率响应。

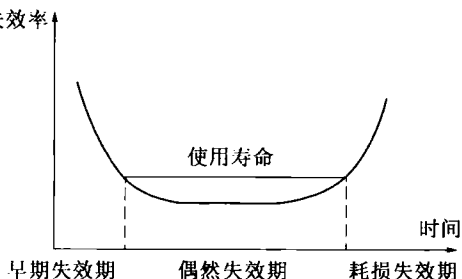


图 1-7 故障率变化曲线

知识运用

一、传感器的合理选择

合理选择传感器,就是要根据实际的需要与可能,做到有的放矢,物尽其用,达到实用、经济、安全、方便的效果。为此,必须对测量的目的、测量对象、使用条件等诸方面有较全面的了解,这是考虑问题的前提。

1. 依据测量对象和使用条件确定传感器的类型

众所周知:同一传感器器,可以用来分别测量多种被测量;而同一被测量,又常有多种传感器可供选用。在进行一项具体的测量之前,首先要分析并确定采用何种原理或类型的传感器更合适。这就需要对于传感器有关联的方方面面做一番调查研究:一是要了解被测量的特点,如被测量的状态、性质,测量的范围、幅值和频带,测量的速度、时间、精度要求,过载的幅度和出现频率等。二是要了解使用的条件,这包含以下两个方面:

(1) 现场环境条件:如温度、湿度、气压、能源、光照、尘污、振动、噪声、电磁场及辐射干

扰等。

(2) 现有基础条件:如财力(承受能力)、物力(配套设施)、人力(技术水平)等。

选择传感器所需考虑的方面和事项很多,实际上不可能也没有必要面面俱到,满足所有要求。设计者应从系统总体对传感器使用的目的、要求出发,综合分析主次,权衡利弊,抓住主要方面,突出重要事项,并加以优先考虑。在此基础上,就可以明确选择传感器类型及具体问题:量程的大小和过载量;被测对象或位置对传感器重量和体积的要求;测量的方式是接触式还是非接触式;信号引出的方法是有线还是无线;传感器的来源和价位是国产、进口,还是自行研制等。

经过上述分析和综合考虑后,就可确定所选用传感器的类型,然后进一步考虑所选传感器的主要性能指标。

2. 线性范围与量程

传感器的线性范围即输出与输入成正比的范围。线性范围与量程和灵敏度密切相关。线性范围越宽,其量程越大,在此范围内传感器的灵敏度能保持定值,规定的测量精度能得到保证。所以,传感器种类确定之后,首先要看其量程是否满足要求,并且还要考虑在使用过程中注意以下两个方面的问题。

(1) 对非通用的测量系统(或设备),应使传感器尽可能处在最佳工作段(一般为满量程的2/3以上处);

(2) 估计到输入量可能发生突变时所需的过载量。

应当指出的是,线性度是个相对的概念,具体使用中可以将非线性误差(及其他误差)满足测量要求的一定范围视作线性。这会给传感器的应用带来极大的方便。

3. 灵敏度

通常,在线性范围内,希望传感器的灵敏度越高越好。因为灵敏度高,意味着被测量的微小变化对应着较大的输出,这有利于后续的信号处理。但是,灵敏度越高,外界混入噪声也越容易,越大,并会被放大系统放大,容易使测量系统进入非线性区,影响测量精度。因此,要求传感器应具有较高的信噪比,即不仅要求其本身噪声小,而且不易从外界引入噪声干扰。

还应注意,有些传感器的灵敏度是有方向性的,在这种情况下,如果被测量是单向量,则应选择在其他方向上灵敏度小的传感器。如果被测量是多维向量,则要求传感器的交叉敏感度越小越好。这个原则也适用于其他能感受一种以上被测量的传感器。

4. 精度

由于传感器是测量系统的首要环节,要求它能真实地反映被测量,因此,传感器的精度指标十分重要。它往往也是决定传感器价格的关键因素,精度越高,价格越贵。所以,在考虑传感器的精度时,不必追求高精度,只要能满足测量要求就行。这样就可多种可选传感器当中,选择性价比较高的传感器。

如果从事的测量任务旨在定性分析,则所选择的传感器应侧重于重复性精度要高,不必苛求绝对精度高;如果面临的测量任务是为了定量分析或控制,则所选择的传感器必须有精确的测量值。

5. 频率响应特性

在进行动态测量时,总希望传感器能即时而不失真地响应被测量。传感器的频率响应特性决定了被测量的频率范围。传感器的频率响应范围宽,允许被测量的频率变化范围就宽,在此范围内,可保持不失真的测量条件。实际上,传感器的响应总是有一定的延迟,延迟越短越