



高等职业教育“十二五”规划教材

传感器与检测技术

项目式教材

主编 陈江进 杨辉



国防工业出版社

National Defense Industry Press

高等职业教育“十二五”规划教材

传感器与检测技术

主 编 陈江进 杨 辉

副主编 马习仿 杨纯海 王 欣

国防工业出版社

· 北京 ·

内容简介

本书体现基于工作过程的高等职业教育课程理念,采用项目式编写体例,每个项目包括“项目描述”、“知识准备”、“项目实施”、“项目拓展”、“练习题”五个栏目,系统介绍了传感器与检测技术的相关概念、检测系统的误差合成、常见传感器的工作原理、现代检测技术等内容。

本书在内容的选取上,以“必需、够用”为度,舍弃繁杂的理论分析,突出基础理论知识和实际操作技能。同时,注重吸收传感器与检测技术领域的新知识、新技术,并将常用传感器单独设置为项目,便于教师根据所在院校的实际情况选择教授。

本书可作为高职院校机电设备类、自动化类、电子信息类及计算机应用类专业的教学用书,也可供相关领域工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/陈江进,杨辉主编. —北京:国防工业出版社,2012.1

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-07872-5

I. ①传... II. ①陈... ②杨... III. ①传感器—检测—高等教育—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 262669 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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 15 字数 262 千字

2012 年 1 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

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

随着计算机辅助设计(CAD)技术、微机电系统(MEMS)技术、光纤技术和信息技术的发展,用来获取各种信息的传感器成为众多应用领域,特别是自动检测、自动控制系统中不可或缺的重要技术工具,已经成为信息社会赖以存在和发展的物质与技术基础。因此,在信息时代掌握传感器及检测技术的相关知识尤为重要。

本书体现基于工作过程的高等职业教育课程理念,采用项目式编写体例,每个项目包括“项目描述”、“知识准备”、“项目实施”、“项目拓展”、“练习题”五个栏目。全书包括15个项目,即传感器与检测技术概述、电阻式传感器、自感式电感传感器、差动变压器式传感器、电涡流式传感器、电容式传感器、霍尔传感器、压电式传感器、热电式传感器、光电式传感器、光纤传感器、气敏传感器、湿度传感器、其他传感器简介、信号处理与抗干扰技术。

本书在内容的选取上,以“必需、够用”为度,舍弃繁杂的理论分析,突出基础理论知识和实际操作技能,层次清晰,循序渐进,使学生对基础理论知识有系统、深入的理解,为此后的学习奠定基础。同时,注重吸收传感器与检测技术领域的新知识、新技术,并将常用传感器单独设置为项目,便于教师根据所在院校的实际情况选择教授。

本书由陈江进、杨辉担任主编,由马习仿、杨纯海、王欣担任副主编。具体编写分工如下:项目一、二、六、十五由陈江进编写;项目四、八、九、十、十四由杨辉编写;项目三、五、七、十三由马习仿编写;项目十一由杨纯海编写;项目十二由王欣编写。全书由陈江进统稿。本书在编写过程中参考了荆州巨鲸传动机械有限公司、荆州江汉建筑工程机械有限公司、荆州荷花

机床股份有限公司提供的信息,还参阅了大量同行的相关资料与文献,在此深表感谢。

本书可作为高职院校机电设备类、自动化类、电子信息类及计算机应用类专业的教学用书,也可供相关领域工程技术人员参考阅读。

由于编者水平有限,书中如有误漏欠妥之处,敬请读者和同行批评指正。

编 者

目 录

项目一 传感器与检测技术概述	1
项目描述	2
知识准备	2
一、传感器的定义、组成和作用	2
二、传感器的分类	3
三、传感器的特性	4
四、测量基础	8
五、测量误差	8
项目实施	10
实操 认识 THSRZ-1 型传感器实操仪器	10
练习题	16
项目二 电阻式传感器	17
项目描述	18
知识准备	18
一、电阻应变片式传感器	18
二、电位器式传感器	27
项目实施	28
实操一 金属电阻应变片与单臂电桥电路实操	28
实操二 金属电阻应变片与双臂电桥电路实操	32
实操三 金属电阻应变片与全臂电桥电路实操	33
实操四 电子秤实操	35
项目拓展	36
一、应变式拉(压)力传感器	36
二、荷重传感器	36
练习题	37

项目三 自感式电感传感器	38
项目描述	39
知识准备	39
一、自感式电感传感器的结构	39
二、自感式电感传感器的工作原理	40
三、自感式电感传感器的测量电路	40
项目拓展	42
一、自感式测厚仪	42
二、电感测微仪	42
练习题	43
项目四 差动变压器式传感器	44
项目描述	45
知识准备	45
一、差动变压器式传感器的结构	45
二、差动变压器式传感器的工作原理	45
三、差动变压器式传感器的测量电路	46
项目实施	48
实操一 差动变压器式传感器测量位移	48
实操二 差动变压器式传感器测量振动	49
项目拓展	51
一、差动变压器式位移传感器	51
二、差动变压器式加速度传感器	51
练习题	52
项目五 电涡流式传感器	53
项目描述	54
知识准备	54
一、电涡流式传感器的工作原理	54
二、电涡流式传感器的结构	55
三、电涡流式传感器的测量电路	56
项目实施	57
实操一 电涡流式传感器测量位移	57

实操二 电涡流式传感器测量电阻率与磁导率	58
项目拓展	59
一、电涡流式传感器测量金属板厚度	59
二、电涡流式传感器金属探伤仪	60
练习题	60
 项目六 电容式传感器	61
项目描述	62
知识准备	62
一、电容式传感器的结构	62
二、电容式传感器的工作原理	63
三、电容式传感器的测量电路	67
项目实施	68
实操一 电容式传感器测量位移	68
实操二 电容式传感器测量动态参数	70
项目拓展	71
一、电容式加速度传感器	71
二、电容式测厚仪	71
练习题	72
 项目七 霍尔传感器	73
项目描述	74
知识准备	74
一、霍尔效应	74
二、霍尔元件的基本特性	75
三、测量电路	76
四、零位特性及补偿	77
五、温度特性及补偿	78
六、集成霍尔传感器	81
项目实施	84
实操一 霍尔传感器直流激励时的位移特性	84
实操二 霍尔传感器测量转速	86
实操三 霍尔传感器测量振动	87

项目拓展	88
一、霍尔加速度传感器	88
二、利用霍尔传感器实现无接触式仿型加工	89
练习题	89
项目八 压电式传感器	90
项目描述	91
知识准备	91
一、压电效应	91
二、压电材料	95
三、测量电路	97
项目实施	100
实操 压电式传感器测量振动	100
项目拓展	102
一、压电式力传感器	102
二、压电式加速度传感器	102
三、HZ-9508 型测振表	103
练习题	104
项目九 热电式传感器	105
项目描述	106
知识准备	106
一、热电偶的工作原理及基本定律	106
二、热电偶材料及常用热电偶	111
三、热电偶测温线路	122
项目实施	123
实操一 K 型热电偶传感器测温实操	123
实操二 热电偶冷端温度补偿实操	125
项目拓展	127
盐浴炉的温度控制系统设计	127
练习题	130
项目十 光电式传感器	132
项目描述	133

知识准备	133
一、光电效应	133
二、光电器件	134
三、光电式传感器	143
项目实施	146
实操 光电传感器测量转速	146
项目拓展	148
一、光电式带材跑偏检测器	148
二、包装充填物高度检测	148
三、主回路与控制回路的隔离电路	149
练习题	150
项目十一 光纤传感器	151
项目描述	152
知识准备	152
一、光纤的结构和种类	152
二、光纤传感器的工作原理	153
三、光纤的传光特性	154
四、光纤传感器的结构和类型	155
五、光纤传感器的应用	156
项目实施	158
实操一 光纤传感器位移特性实操	158
实操二 光纤传感器测量转速	160
练习题	161
项目十二 气敏传感器	162
项目描述	163
知识准备	163
一、气敏传感器的结构	163
二、气敏传感器的工作原理	164
项目实施	165
实操 气敏传感器实操	165
项目拓展	166
一、酒精探测仪	166

二、一氧化碳报警器	167
练习题	168
项目十三 湿度传感器	169
项目描述	170
知识准备	170
一、湿度与湿敏元件	170
二、氯化锂湿敏电阻	171
三、半导体陶瓷湿敏电阻	172
四、高分子膜湿敏电阻	173
项目实施	175
实操 湿敏传感器实操	175
项目拓展	176
一、相对湿度计	176
二、湿敏电容相对湿度计	176
三、汽车后窗玻璃自动除湿器	177
练习题	178
项目十四 其他传感器简介	179
项目描述	180
知识准备	180
一、感应同步器	180
二、脉冲编码器	184
三、图像传感器	187
项目实施	190
项目拓展	190
一、传感器在数控机床中的应用实例	190
二、传感器在工业机器人中的应用实例	192
练习题	193
项目十五 信号处理与抗干扰技术	194
项目描述	195
知识准备	195
一、信号处理技术	195

二、噪声源及噪声耦合方式	204
三、共模与差模干扰	208
四、常用干扰抑制技术	212
项目实施	219
实操 霍尔传感器控制电机转速	219
项目拓展	222
一、单片机自动测温系统的硬件设计	222
二、单片机自动测温系统的软件设计	225
练习题	226
参考文献	227

项目一

传感器与检测技术概述

➤ 知识目标

1. 掌握传感器的定义、组成、作用与分类。
2. 掌握传感器的静态特性、动态特性及技术指标。
3. 了解测量基础、测量误差的相关知识。

➤ 技能目标

认识实操仪器,并能操作设备进行简单测量。

【项目描述】

在 THSRZ-1 型实操仪器上,进行基本操作,为后面的实操做好准备。

【知识准备】

一、传感器的定义、组成和作用

对传感器的研究开始于 20 世纪 30 年代。传感检测技术是机电一体化的关键技术之一,在机电一体化系统(如数控机床、机器人、汽车等)中正在发挥重要作用,是当前发展迅速的一门技术。传感检测技术已渗透到生产和生活的各个领域,从尖端武器装备、航空航天技术,到机械设备、工业过程控制、交通运输、纺织印刷、家用电器、医疗卫生、办公设备及环境保护等领域,均得到广泛应用。

1. 传感器的定义

依照中华人民共和国国家标准(GB/T 7665—1987 传感器通用术语)的规定,传感器的定义是:“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输出信号的器件或装置”。

这一定义包含了几方面的含义:

- (1) 传感器是测量装置,能完成测量任务;
- (2) 它的输入量是某一被测量,可能是物理量、化学量、生物量等;
- (3) 它的输出量是某一物理量,这种量要便于传输、转换、处理、显示等,也就是所谓的“可用输出信号”;
- (4) 输出量与输入量有一定的对应关系,这种关系要有一定的规律。根据字义,可以将传感器理解为“一感二传”,即感受信息并传递出去。

2. 传感器的组成

传感器通常由敏感元器件、转换元器件、测量电路及辅助电源组成,如图 1-1 所示。

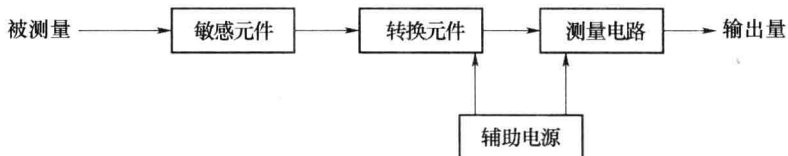


图 1-1 传感器组成框图

1) 敏感元件

敏感元件是直接感受被测物理量,并以确定关系输出另一物理量的元件(如弹性敏感元件将力、力矩转换为位移或应变输出)。

2) 转换元件

转换元件是将敏感元件的输出信号转换成电路参数(电阻、电感、电容)及电流或电压等电信号。

3) 测量电路

测量电路是把转换元器件输出的电信号变换为便于处理、显示、记录、控制和传输的可用电信号。其电路的类型视转换元器件的不同而定,经常采用的有电桥电路和其他特殊电路,例如高阻抗输入电路、脉冲电路、振荡电路等。

4) 辅助电源

辅助电源提供转换能量。有的传感器需要外加电源才能工作,例如应变片组成的电桥、差动变压器等;有的传感器则不需要外加电源便能工作,例如压电晶体等。

实际应用的传感器有的很简单,有的则较复杂。有些传感器(如热电偶)利用转换元件感受被测热源的温差从而直接输出电动势,敏感元器件与转换元器件两者合二为一;有些传感器仅由敏感元件和转换元件组成,无需基本转换电路;还有些传感器,其敏感元件不只一个,要经过若干次转换才能输出所需电量。大多数传感器为开环系统,也有个别传感器带反馈的闭环系统。

3. 传感器的作用

传感器的作用包括信息的采集、信息的转换、信息的处理。

二、传感器的分类

在实际工程应用中,传感器的种类很多。比较常用的传感器的分类方法见表1-1。同一种被测量可以用不同的传感器来测量;而同一种原理的传感器,通常又可以测量多种物理量。因此,传感器的分类方法较多,目前尚没有统一的分类标准。

表 1-1 传感器的分类

分类依据	类 别
传感器的工作原理	电阻式传感器
	电容式传感器
	电感式传感器
	压电式传感器

(续)

分类依据	类别
传感器的工作原理	霍尔传感器
	光电式传感器
	光栅式传感器
	热电偶式传感器
被测量(或传感器的用途)	位移传感器
	力传感器
	速度传感器
	温度传感器
	流量传感器
	气体传感器
	物位传感器
	成分传感器
输出信号的性质	开关型传感器
	模拟式传感器
	数字式传感器

三、传感器的特性

传感器的特性主要是指输出与输入之间的关系,有静态特性和动态特性之分。

1. 传感器的静态特性

1) 定义

当传感器的输入量为常量或随时间作缓慢变化时,传感器的输出与输入之间的关系称为静态特性,简称静特性。表征传感器静特性的指标有线性度、灵敏度、重复性等。具体采用哪些指标,应根据实际需要确定。

2) 标定

在明确传感器输入/输出变换关系的前提下,利用某种标准器具产生已知的标准非电量(或其他标准量)输入,确定其输出电量与其输入量之间关系的过程,称为标定。

3) 静态标定曲线

静态标定曲线是给传感器输入已知不变的标准非电量,测出其输出量,求取

的输入-输出曲线。

4) 标定曲线的拟合直线

理想线性装置的标定曲线应该是直线,但由于各种原因,实际测试装置的标定曲线并非如此。因此,一般还要求给出标定曲线的拟合直线。

可选用的拟合直线有多种,常用的有以下几种,如图 1-2 所示。图中,实线为标定曲线,虚线为拟合曲线。

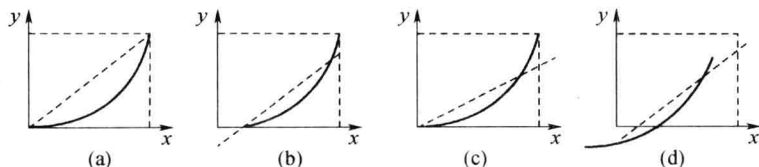


图 1-2 直线拟合方法

(a) 端点连线; (b) 端点平移连线; (c) 过零旋转拟合; (d) 最小二乘直线。

(1) 端点连线。如图 1-2(a)所示,将静态特性曲线上对应于测量范围上、下限的两点的连线作为工作直线。

(2) 端点平移连线。如图 1-2(b)所示,平行于端点连线,且与实际静态特性(常取平均特性为准)的最大正偏差和最大负偏差的绝对值相等的直线。

(3) 过零旋转拟合。如图 1-2(c)所示,经过零点,且与实际静态特性(常取平均特性为传感器与检测技术准)的最大正偏差和最大负偏差的绝对值相等的直线。

(4) 最小二乘直线。如图 1-2(d)所示,对于各标定点偏差的平方和最小的直线。

5) 灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态下,输出增量与输入增量的比值。对于线性传感器,其灵敏度就是它的静态特性曲线的斜率;对于非线性传感器,其灵敏度是一个随工作点而变的变量,它是特性曲线上某一点切线的斜率。

$$K = \frac{dy}{dx} \times 100\% \quad (1-1)$$

6) 线性度

线性度是传感器输出量与输入量之间的实际关系曲线偏离理论拟合直线的程度,又称非线性误差。通常用相对误差表示其大小,线性度可表示为

$$e_l = \frac{\Delta_{\max}}{y_{fs}} \times 100\% \quad (1-2)$$