

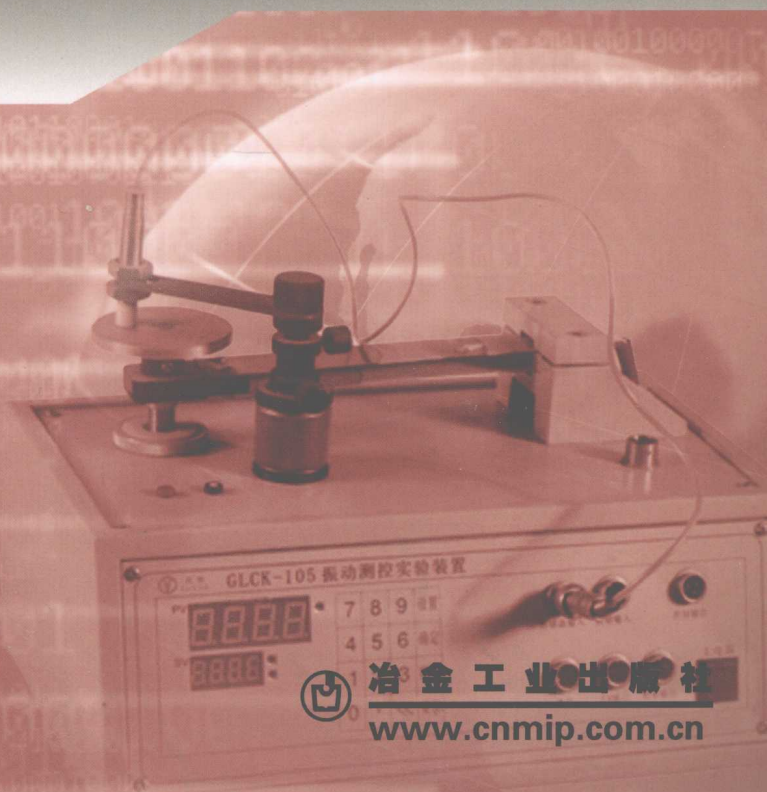


高职高专“十一五”规划教材

机械电子类

传感器应用技术

殷淑英 主编



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

高职高专“十一五”规划教材·机电类

传感器应用技术

主 编 殷淑英
副主编 付帮峰 张怀广
张 雯 刘 兵

北 京
冶金工业出版社
2008

内 容 简 介

本书是机电一体化技术、应用电子技术、自动控制技术、测量技术、机器人技术及计算机应用等专业的必修课。为了突出学习传感器基础知识的系统性,本书按照工作原理对传感器进行分类讲解。本教材以传感器原理、特性和使用为主线,教学内容主要包括传感器的基本概念,传感器的一般特性与分析方法,传感器的工作原理、特性及应用,传感器接口电路四部分。通过本课程的学习,学生能够根据工程需要选用合适的传感器,掌握测试系统的设计、安装方法,并能对采集的数据进行处理。

本教材可以作为三年制高职相关专业的教材,同时也适用于两年制高职院校。

图书在版编目(CIP)数据

传感器应用技术/殷淑英主编. —北京:冶金工业出版社, 2008.7
ISBN 978-7-5024-4684-0

I. 传… II. 殷… III. 传感器—高等学校—教材 IV.TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 103509 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 马文欢

ISBN 978-7-5024-4684-0

北京天正元印务有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2008 年 7 月第 1 版, 2008 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12 印张; 264 千字; 183 页; 1-3000 册

25.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

根据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学的基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》的要求,结合有关专业的实际教学需要,在冶金工业出版社的指导下,承接编写本教材。

传感器技术是信息技术的三大支柱之一,在现代科学技术领域中占有极其重要的地位。传感器技术成为许多专业工程技术人员必须掌握的技术之一,本书是机电一体化技术、应用电子技术、测量技术、机器人技术及计算机应用技术等专业的必修课。

传感器的种类繁多,渗透到各个领域,在有限的时间内系统而全面地介绍每种传感器是很困难的,所以本教材力求内容新颖、叙述简练,按照工作原理对传感器进行分类讲解。教学内容主要包括:传感器的基本概念;传感器的一般特性与分析方法;传感器的工作原理、特性及应用;传感器接口电路四部分。通过本课程的学习,学生能够根据工程需要选用合适的传感器,掌握测试系统的设计、安装方法,并能对采集的数据进行处理。

本书在编写时力求体现高职教育的特点,突出人才培养中创新意识、创新能力和实际应用能力的培养。特别强调以下特点:

(1) 注意编写内容的适用性。考虑到教材的使用对象,教材编写时尽可能减少复杂的理论叙述及定量分析,尽可能采用定性分析的方法加以处理。

(2) 尽力拓宽基础知识,强化对测控技术内容的介绍、理解和掌握。

(3) 为加强实践能力的训练,教材中选编 9 个实验内容,供授课时选用。

(4) 教材编写时尽力引用新知识、新技术,以保证教材的内容新颖。

本门课程的先修课程是电工技术、模拟电子、数字电子、单片机原理与应用、工程制图和机械基础等。

本书由殷淑英任主编,付帮峰、张怀广、张雯、刘兵任副主编。

由于编者水平所限,书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正,以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议,恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出宝贵意见。

编 者

目 录

第1章 传感器技术基础1

1.1 传感器的初步认识.....1	1
1.2 传感器的定义、组成及分类.....1	1
1.2.1 传感器的定义.....1	1
1.2.2 传感器的组成.....2	2
1.2.3 传感器的分类.....2	2
1.3 传感器的应用领域.....3	3
1.4 传感器的发展趋势.....3	3
1.4.1 传感器需求的新动向.....3	3
1.4.2 传感器技术的发展趋势.....4	4
1.5 传感器的命名和代号.....4	4
1.5.1 传感器的命名.....4	4
1.5.2 传感器的代号.....5	5
1.6 传感器的特性.....7	7
1.6.1 传感器的静态特性.....7	7
1.6.2 传感器的动态特性.....9	9
1.6.3 改善传感器性能的技术途径.....9	9
1.7 传感器的标定.....10	10
1.7.1 传感器的静态标定.....11	11
1.7.2 传感器的动态标定.....11	11
习题.....12	12

第2章 电阻式传感器13

2.1 电阻应变式传感器.....13	13
2.1.1 电阻应变片的结构和材料.....13	13
2.1.2 电阻应变片的工作原理.....14	14
2.1.3 电阻应变片的工作特性及参数.....15	15
2.1.4 电阻应变片的测量转换电路.....16	16
2.1.5 电阻应变片的温度误差及其补偿方法.....19	19
2.1.6 电阻应变片的应用.....20	20
2.2 压阻式传感器.....23	23
2.2.1 基本工作原理.....23	23
2.2.2 类型与特点.....23	23
2.2.3 压阻式传感器的应用.....23	23
2.3 热电阻传感器.....24	24
2.3.1 热电阻.....24	24
2.3.2 热敏电阻.....27	27

2.4 电位器式传感器.....28	28
2.4.1 电位器的概念和分类.....28	28
2.4.2 电位器的空载特性.....29	29
2.4.3 电位器的负载特性.....29	29
2.5 电阻式传感器的应用实例.....30	30
2.5.1 应变式力传感器在乳粉包装称重系统中的应用.....30	30
2.5.2 热电阻在干式变压器温度控制仪中的应用.....31	31
2.5.3 电位器式传感器在电动阀门控制器中的应用.....31	31
习题.....32	32

第3章 电容式传感器33

3.1 电容式传感器的工作原理.....33	33
3.1.1 变面积式电容传感器.....33	33
3.1.2 变间隙式电容传感器.....35	35
3.1.3 变介电常数式电容传感器.....35	35
3.2 电容式传感器的测量电路.....37	37
3.2.1 电容式传感器的等效电路.....37	37
3.2.2 电容式传感器的测量电路.....38	38
3.3 电容式传感器的误差分析.....43	43
3.3.1 边缘效应的影响.....43	43
3.3.2 寄生电容的影响.....43	43
3.3.3 外界干扰的影响.....44	44
3.4 电容式传感器的应用.....45	45
3.4.1 电容式差压传感器.....45	45
3.4.2 电容式加速度传感器.....45	45
3.4.3 电容式位移传感器.....46	46
3.4.4 电容式测厚传感器.....46	46
3.4.5 电容式指纹传感器.....47	47
习题.....48	48

第4章 电感式传感器49

4.1 自感式电感传感器.....49	49
4.1.1 变隙式传感器.....49	49
4.1.2 变面积式电感传感器.....51	51
4.1.3 螺管式电感传感器.....52	52
4.1.4 差动式电感传感器.....52	52
4.1.5 电感式传感器的测量电路.....53	53
4.2 互感式电感传感器.....55	55

4.2.1 变隙式差动变压器	55	7.2.1 硒光电池	97
4.2.2 螺管式差动变压器	57	7.2.2 硅光电池	98
4.3 电涡流式传感器	61	7.3 压电石英晶体和压电陶瓷	100
4.3.1 工作原理	62	7.3.1 石英晶体的压电效应	101
4.3.2 测量电路	63	7.3.2 压电陶瓷的压电效应	102
4.3.3 电涡流式传感器的应用	65	7.3.3 压电元件的等效电路	102
习题	66	7.3.4 电荷放大器	103
第 5 章 超声波传感器	67	7.4 电势型传感器的应用实例	104
5.1 超声检测的物理基础	67	7.4.1 K 型热电偶数字温度仪	104
5.1.1 超声波的反射和折射	67	7.4.2 压电式加速度传感器	105
5.1.2 超声波的波型及其转换	67	7.4.3 压电式压力传感器	105
5.1.3 声波的衰减	68	习题	105
5.2 超声波探头	68	第 8 章 光电式传感器	107
5.3 超声波检测技术的应用	69	8.1 光电效应与光电器件	107
5.3.1 超声波测厚度	69	8.1.1 外光电效应	107
5.3.2 超声波测液位	69	8.1.2 内光电效应	108
5.3.3 超声波测流量	70	8.1.3 光电管的特性	110
习题	72	8.1.4 光电倍增管的特性	111
第 6 章 磁电式传感器	73	8.1.5 光敏电阻的特性	112
6.1 磁电感应式传感器	73	8.1.6 光敏二极管的特性	113
6.1.1 磁电感应式传感器工作 原理和结构	73	8.1.7 光敏三极管的特性	115
6.1.2 磁电式传感器的应用	75	8.2 计量光栅	116
6.2 霍尔元件	78	8.2.1 莫尔条纹原理	116
6.2.1 霍尔元件的工作原理	78	8.2.2 光栅传感器的结构和 工作原理	118
6.2.2 霍尔元件的主要参数	81	8.2.3 光栅传感器的应用	120
6.2.3 霍尔元件的误差及其补偿	81	8.3 光纤传感器	121
6.2.4 霍尔元件的应用	84	8.3.1 光纤传感器元件	121
6.3 感应同步器	85	8.3.2 常用光纤传感器	123
6.3.1 结构和工作原理	86	8.4 红外线传感器	126
6.3.2 感应同步器的信号处理	86	8.4.1 概述	126
6.4 磁电式传感器的应用实例	88	8.4.2 热释电型红外传感器	128
6.4.1 AD22151 型线性输出的 集成磁场传感器	88	8.5 激光传感器	129
6.4.2 ACS750 型集成电流传感器	89	8.5.1 激光的产生及特点	129
习题	91	8.5.2 常用的激光器	130
第 7 章 电势型传感器	92	8.5.3 激光检测技术的应用	130
7.1 热电偶	92	8.6 光电式传感器及其应用实例	132
7.1.1 热电偶的工作原理	92	8.6.1 光电传感器的类型	132
7.1.3 常用热电偶	94	8.6.2 光电开关	133
7.1.4 热电偶测温及参考端 温度补偿	95	8.6.3 光电式传感器应用实例	134
7.2 光电池	97	习题	137
		第 9 章 其他传感器简介	139
		9.1 气体传感器	139
		9.1.1 气体传感器的分类	139

9.1.2 半导体气体传感器	139	10.1.2 输出信号的处理方法	156
9.2 湿度传感器	140	10.2 传感器信号检测电路	157
9.2.1 湿度传感器的分类	140	10.2.1 检测电路的形式	157
9.2.2 水分子亲和力和型湿度 传感器	140	10.2.2 常用电路	157
9.2.3 非水分子亲和力和型湿度 传感器	141	10.3 传感器与微型计算机的连接	163
9.3 微波传感器	142	10.3.1 传感器与微型计算机 结合的重要性	163
9.3.1 微波的基本知识	142	10.3.2 检测信号在输入微型 计算机前的处理	164
9.3.2 微波传感器的结构和 工作原理	142	10.3.3 模数转换电路	164
9.3.3 微波传感器的分类	142	10.3.4 电压—频率转换电路	167
9.3.4 微波传感器的应用	143	10.4 传感器接口电路应用实例	168
9.4 图像传感器	145	习题	169
9.4.1 感光原理	145	第 11 章 传感器实验指导	171
9.4.2 转移原理	146	实验一 金属应变片：单臂、半桥、 全桥功能比较	172
9.5 生物传感器	147	实验二 差动变压器的特性及应用	173
9.5.1 生物传感器的工作原理	147	实验三 差动螺线管电感式传感器 的特性	176
9.5.2 生物传感器的分类	148	实验四 差动变面积式电容传感器 的特性	177
9.5.3 生物传感器的特点	148	实验五 压电加速度传感器的特性 及应用	178
9.5.4 酶传感器	148	实验六 磁电式传感器的特性	179
9.5.5 微生物传感器	148	实验七 霍尔式传感器的特性	179
9.5.6 免疫传感器	149	实验八 热敏电阻的温度特性	180
9.6 机器人传感器	149	实验九 光纤位移传感器的特性 及应用	181
9.6.1 内部传感器	149	参考文献	183
9.6.2 外部传感器	152		
习题	155		
第 10 章 传感器接口电路	156		
10.1 传感器输出信号的特点和 处理方法	156		
10.1.1 输出信号的特点	156		

第 1 章 传感器技术基础

1.1 传感器的初步认识

人们为了从外界获取信息，需要依靠人的五种感觉器官(视、听、嗅、味、触)感受外界信息。

在自动控制系统中，也需要获取外界信息，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”)。

两者之间的关系如图 1-1 所示。

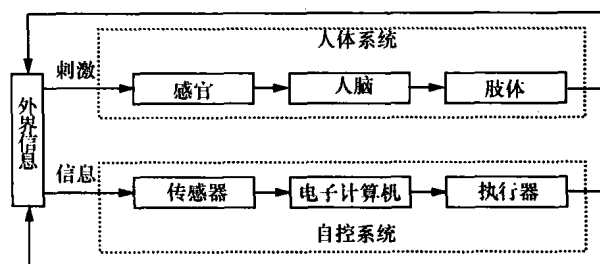


图 1-1 人体与自控系统的对应关系

另外，对于某些外界信息，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；人的感觉器官无法定量地感受外界信息……这些都需要依靠传感器来完成。可以说传感器是人类五官的延伸。

实际上传感器对我们来说并不陌生，在生活和生产中都可以看到它们的身影，如声光控节能开关中的光敏电阻、驻极体话筒和电视机遥控系统的红外接收器件等都是传感器。

传感器实际上是一种功能模块，其作用是将来自外界的各种信号转换成电信号，然后再利用后续装置或电路对此电信号进行处理。

1.2 传感器的定义、组成及分类

1.2.1 传感器的定义

根据中华人民共和国国家标准(GB 7665—1987)，传感器是能够感受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。对此定义需要明确以下几点：

- (1) 传感器是一种能够检测被测量的器件或装置；
- (2) 被测量可以是物理量、化学量或生物量等；
- (3) 输出信号要便于传输、转换、处理和显示等，一般是电参量；
- (4) 输出信号要正确地反映被测量的数值和变化规律等，即两者之间要有确定的对应关系，且应具有一定的精确度。

1.2.2 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件和转换电路三部分组成，如图 1-2 所示。

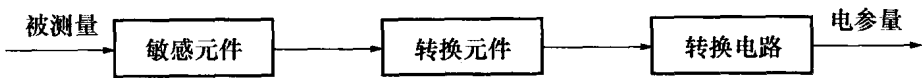


图 1-2 传感器的组成框图

1.2.2.1 敏感元件

敏感元件是直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的其他物理量的元件。如后续章节要介绍的对力敏感的电阻应变片、对光敏感的光敏电阻和对温度敏感的热敏电阻等。

1.2.2.2 转换元件

转换元件也叫传感元件，是将敏感元件的输出量转换成电参量(电阻和电容等)的元件。有些传感器的敏感元件和转换元件合二为一，它感受被测量并直接输出电参量，如热电偶等；有些传感器，转换元件不止一个，要经过若干次转换。

1.2.2.3 转换电路

转换电路将转换元件输出的电参量转换为电压、电流或电频率的电路。如果转换元件的输出已经是电压、电流或电频率，则不需要转换电路。

1.2.3 传感器的分类

在实际应用中，传感器种类繁多，同一种被测量可以用不同的传感器来测量，而同一原理的传感器又可以测量多种被测量，所以，传感器的分类标准比较多。目前常用的分类方法有两种：一种是以被测量来分类，见表 1-1；另一种是以传感器的原理来分类。本书采用后一种分类方法编排，见表 1-2。

表 1-1 按被测量来分类

被测量类别	被 测 量
热工量	温度、热量、比热、压力、压差、真空度、流量、流速、风速
机械量	位移(线位移、角位移)、尺寸、形状、力、力矩、应力、重量、质量、转速、线速度、振动幅度、频率、加速度、噪声
物性和成分量	气体化学成分、液体化学成分、酸碱度(pH)、盐度、浓度、黏度、密度、相对密度
状态量	颜色、透明度、磨损量、材料内部裂缝或缺陷、气体泄漏、表面质量

表 1-2 按传感器的原理来分类

序号	工作原理	序号	工作原理
1	电阻式	8	光电式(红外式、光导纤维式)
2	电感式	9	谐振式
3	电容式	10	霍尔式
4	阻抗式	11	超声波式
5	磁电式	12	同位素式
6	热电式	13	电化式
7	压电式	14	微波式

以被测量来分类时,使用的对象比较明确,适于传感器的选用;以工作原理来分类时,传感器采用的原理比较清楚,适于系统学习。

1.3 传感器的应用领域

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。目前传感器涉及的领域非常广泛。

现代家用电器中,大多都应用了传感器技术。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,没有众多的优良的传感器,现代生产也就失去了基础。

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技术研究,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,往往会导致该领域内的突破。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。

1.4 传感器的发展趋势

传感器的发展趋势包括社会对传感器需求的新动向和传感器新技术的发展趋势这两个方面。

1.4.1 传感器需求的新动向

社会需求是传感器技术发展的强大动力。随着现代科学技术,特别是微电子技术和信

息产业的飞速发展,以及计算机的普及,传感器在新的技术革命中的地位和作用将更为突出,一股竞相开发和应用传感器的热潮已在世界范围内掀起。这是因为:

- (1) “电五官”落后于计算机的现状,已成为微型计算机进一步开发和应用的障碍;
- (2) 许多有竞争力的新产品开发和卓有成效的技术改造,都离不开传感器;
- (3) 传感器的应用直接带来了明显的经济效益和社会效益;
- (4) 传感器普及于社会各个领域,将形成良好的销售前景。

1.4.2 传感器技术的发展趋势

当前,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。

1.4.2.1 发现新现象,开发新材料

新现象、新原理、新材料是发展传感器技术、研究新型传感器的重要基础,每一种新原理、新材料的发现都会伴随着新的传感器种类诞生。

1.4.2.2 集成化,多功能化

向敏感功能装置和集成化发展,将半导体集成电路技术及其开发思想应用于传感器制造。如采用微细加工技术 MEMS 制作微型传感器,采用厚膜和薄膜技术制作传感器等。

1.4.2.3 向未开发的领域挑战

到目前为止,开发的传感器大多为物理传感器,今后应积极开发研究化学传感器和生物传感器,特别是智能机器人技术的发展,需要研制各种模拟人的感觉器官的传感器,如已有的机器人力觉传感器、触觉传感器和味觉传感器等。

1.4.2.4 智能传感器,具有判断能力

学习能力的智能传感器事实上是一种带微处理器的传感器,它具有检测、判断和信息处理功能。

1.5 传感器的命名和代号

在 GB 7666—87 中,国家标准规定了传感器的命名方法和代号,作为统一传感器命名和代号的依据。它适用于传感器的研究、开发、生产、销售和教学等相关领域。

1.5.1 传感器的命名

1.5.1.1 命名的构成

传感器的名称由主题词加四级修饰语构成,包括:

- (1) 主题词——传感器;
- (2) 第一级修饰语——被测量,包括修饰被测量的定语;
- (3) 第二级修饰语——转换原理,一般可后续以“式”字;
- (4) 第三级修饰语——特征描述,指必须强调的传感器结构、性能、材料特征、敏感元件及其他必要的性能特征,一般可后续以“型”字;

(5) 第四级修饰语——主要技术指标(量程、精确度和灵敏度等)。

传感器命名构成及各级修饰语见表 1-3。

表 1-3 传感器命名构成及各级修饰语举例一览表

主题词	第一级修饰语 被测量	第二级修饰语 转换原理	第三级修饰语 特征描述	第四级修饰语 主要技术指标	
				范围、量程、精确 度、灵敏度	单位
传感器	速度		直流输出		
	加速度		交流输出		
	加加速度		频率输出		
	冲击		数字输出		
	振动		双输出		
	力		放大		
	重量(称重)		离散增量		
	压力		积分		
	声压		开关		
	力矩		陀螺		
	姿态		涡轮		
	位移		齿轮转子		
	液位		振动元件		
	流量		波纹管		
	温度		波登管		
	热流		膜盒		
	热通量		膜片		
	可见光		离子敏感 FET		
	照度		热丝		
	湿度		半导体		
	黏度		陶瓷		
	浊度		聚合物		
	离子活[浓]度		固体电解质		
	电流		自源		
	磁场		粘贴		
	马赫数		非粘贴		
	射线		焊接		

1.5.1.2 命名法的使用

(1) 题目中的用法。在有关传感器的统计表格、图书索引、检索以及计算机汉字处理等特殊场合，应采用上述顺序，如：传感器，位移，应变计[式]，100 mm。

(2) 正文中的用法。在技术文件、产品样本、学术论文、教材及书刊的陈述句子中，作为产品名称应采用与上述相反的顺序，如 100 mm 应变计式位移传感器。

1.5.2 传感器的代号

国家标准中规定，用大写汉语拼音字母和阿拉伯数字构成传感器完整的代号。包括 4 个部分：依次为：

- (1) 主称——传感器，代号 C；
- (2) 被测量——用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记；
- (3) 转换原理——用一个或两个汉语拼音的第一个大写字母标记；

(4) 序号——用一个阿拉伯数字标记，厂家自定，用来表征产品设计特性、性能参数和产品系列等。若产品性能参数不变，仅在局部有改动或变动时，其序号可在原序号后面顺序地加注大写字母 A、B、C 等(其中 I、Q 不用)，如应变式位移传感器 CWY-YB-20；光纤压力传感器 CY-GQ-2。

常用被测量代码见表 1-4 所示，常用转换原理代码见表 1-5。

表 1-4 常用被测量代码

被测量	代号	被测量	代号	被测量	代号	被测量	代号
加速度	A	角速度	JS	电流	DL	位置	WZ
加加速度	AA	角位移	JW	电场强度	DQ	应力	YL
亮度	AD	力	L	电压	DY	液位	YW
磁	C	露点	LD	色度	E	浊度	Z
冲击	CJ	力矩	LJ	谷氨酸	GA	振动	ZD
磁透率	CO	流量	Lλ	温度	H	紫外光	ZG
磁场强度	CQ	离子	LZ	照度	HD	重量(稳重)	ZL
磁通量	CT	密度	M	红外光	HG	真空度	ZK
呼吸频率	HP	[气体]密度	[Q]M	离子活[浓]度	H[N]	噪声	ZS
转速	HS	[液体]密度	[Y]M	声压	SY	姿态	ZT
硬度	I	脉搏	MB	图像	TX	氢离子活[浓]度	[H]H[N]D
线加速度	IA	马赫数	MH	温度	W	钠离子活[浓]度	[Na]H[N]D
线速度	IS	表面粗糙度	MZ	[体]温	[T]W	氯离子活[浓]度	[CL]H[N]D
角度	J	黏度	N	物位	WW	氧分压	[O]
角加速度	JA	扭矩	NJ	位移	WY	一氧化碳分压	[CO]
可见光	JG	厚度	O	热流	RL	水分	SF
烧蚀厚度	SO	pH 值	(H)	速度	S	射线剂量	SL
射线	SX	气体	Q	热通量	RT		

表 1-5 常用转换原理代码

转换原理	代号	转换原理	代号	转换原理	代号	转换原理	代号
电解	AJ	光发射	GS	感应	GY	涡街	WJ
变压器	BY	电位器	DW	霍耳	HE	微生物	WS
磁电	CD	电阻	DZ	晶体管	IG	涡轮	WU
催化	CH	热导	ED	激光	JG	离子选择电板	XJ
场效应管	CU	浮子-干簧	FH	晶体振子	JZ	谐振	XZ
差压	CY	(核)辐射	FS	克拉克电池	KC	应变	YB
磁阻	CZ	浮子	FZ	酶[式]	M	压电	YD
电磁	DC	光学式	G	声表面波	MB	压阻	YZ
电导	DD	光电	GD	免疫	MY	折射	ZE
电感	DG	光伏	GF	热电	RD	阻抗	ZK
电化学	DH	光化学	GH	热释电	RH	转子	ZZ
单结	DJ	光导	GO	热电丝	RS		
电涡流	DO	光纤	GQ	(超)声波	SB		
超声多普勒	DP	电容	OR	伺服	SF		

1.6 传感器的特性

传感器所测量的被测量经常处在变动过程中。例如测量温度时,若温度恒定,传感器的输出值可能十分稳定;若遇到温度不恒定甚至出现突变时,传感器的输出值可能有缓慢起伏或者周期性脉动变化,甚至出现突变的尖锋值。传感器能否将这些被测量的变化不失真地变换成相应的电量,就需要考虑传感器本身的基本特性,即输出-输入特性。该基本特性通常用传感器的静态特性和动态特性来描述。

1.6.1 传感器的静态特性

静态特性表示传感器在被测量处于稳定状态(输入量为常量,或变化非常缓慢)时的输出-输入关系。通常用线性度、灵敏度、分辨力、重复性和迟滞等技术指标来描述传感器的静态特性。

1.6.1.1 线性度

传感器的静态特性是在静态标准条件下,利用一定等级的校准设备对传感器进行往复循环测试,得出输出-输入特性(列表或曲线)。通常,希望这个特性(曲线)为线性,这给标定和数据处理带来方便。但实际的输出-输入特性或多或少地都存在着非线性问题,只能接近线性,对比理论直线有偏差,如图 1-3 所示。

实际曲线与其两个端点连线(拟合曲线)之间的偏差称为传感器的非线性误差。取其最大偏差与理论满量程之比作为评价线性度(或非线性误差)的指标。

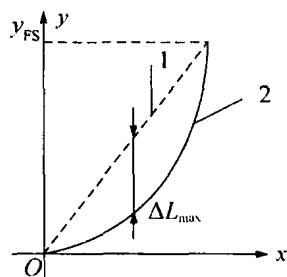


图 1-3 线性误差

1—拟合曲线; 2—实际曲线

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

式中 $\Delta L_{\max}$ ——输出平均值与拟合直线间的最大偏差;
 y_{FS} ——理论满度值。

1.6.1.2 迟滞

传感器在正向行程(输入量增大)、反向行程(输入量减小)中输出-输入曲线不重合称为迟滞,如图 1-4 所示。也就是说,对应于同一大小的输入信号,传感器的输出信号大小不相等。一般用两曲线之间输出量的最大差值 $\Delta H_{\max}$ 与满量程输出 y_{FS} 的百分比来表示迟滞误差,即

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

式中 $\Delta H_{\max}$ ——正反行程间输出的最大差值;
 y_{FS} ——理论满度值。

产生迟滞的原因是传感器的机械部分、结构材料方面存在不可避免的弱点,如轴承摩

擦和间隙等。

1.6.1.3 重复性

重复性是指传感器的输入量按同一方向变化, 作全量程连续多次测量时所得到的曲线不一致的程度。如图 1-5 所示为校正曲线的重复特性。

正行程的最大重复性偏差为 $\Delta R_{\max 1}$, 反行程的最大重复性偏差为 $\Delta R_{\max 2}$ 。重复性偏差取这两个最大偏差中之较大者为 $\Delta R_{\max}$, 再以 $\Delta R_{\max}$ 与满量程输出 y_{FS} 的百分比表示, 即

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

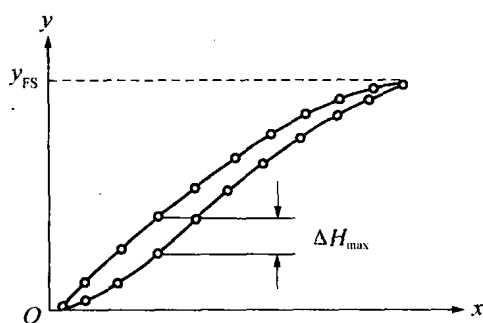


图 1-4 迟滞特性

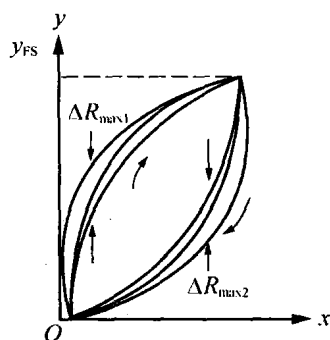


图 1-5 重复特性

1.6.1.4 灵敏度

传感器输出的变化量 Δy 与引起该变化量的输入量变化 Δx 之比即为其静态灵敏度。表达式为

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-4)$$

即传感器的灵敏度就是校准曲线的斜率。

线性传感器特性曲线的斜率处处相同, 灵敏度 K 是常数。以拟合直线作为其特性的传感器, 也可认为其灵敏度为一常数, 与输入量的大小无关。非线性传感器的灵敏度不是常数, 应以 dy/dx 表示。

1.6.1.5 分辨力和阈值

分辨力是指传感器能检测到的最小的输入增量。分辨力可用绝对值表示, 也可用与满量程的百分数表示。

当一个传感器的输入从零开始极缓慢地增加, 只有达到了某一最小值后, 才能测出输出变化, 这个最小值就称为传感器的阈值。事实上阈值是传感器在零点附近的分辨力。

分辨力说明了传感器可测出的最小可测出的输入变量, 而阈值则说明了传感器的可测出的最小输入量。

1.6.1.6 稳定性

稳定性有短期稳定性和长期稳定性之分。传感器常用长期稳定性描述其稳定性, 它是

指在室温条件下,经过相当长的时间间隔,如一天、一月或一年,传感器的输出与起始标定时输出之间的差异。通常又用其不稳定性来表征其输出的稳定程度。

1.6.1.7 漂移

漂移指在一定时间间隔内,传感器输出量存在着与被测输入量无关的、不需要的变化。漂移包括零点漂移与灵敏度漂移。

零点漂移或灵敏度漂移又可分为时间漂移(时漂)和温度漂移(温漂)。时漂是指在规定条件下,零点或灵敏度随时间的缓慢变化;温漂为周围温度变化引起的零点或灵敏度漂移。

1.6.2 传感器的动态特性

在实际测量中,不仅要求传感器具有良好的静态特性,而且应具有良好的动态特性。动态特性是指传感器测量动态信号时,输出输入之间的关系。在动态测量时,由于被测量要随时间变化,此时传感器如果不能快速响应并正确地提取信号,测量工作就无法进行。例如,在做人体的心电图检查时,如果不能准确地将人体心脏随时间跳动的状况及时检测出来并迅速打印,那么就不能为医生进行诊断提供依据。

动态特性好的传感器,其输出随时间的变化规律将高精度地反映输入量随时间的变化规律,即它们具有同一个时间函数。但是,除了理想情况外,实际传感器的输出信号与输入信号不会具有相同的时间函数,由此将引起动态误差。

动态特性常用阶跃响应和频率响应来描述。

1.6.3 改善传感器性能的技术途径

1.6.3.1 传感器噪声及其减小措施

传感器噪声是指除了被测信号之外在传感器中出现的一切不需要的信号,它可由传感器内部产生,也可从外部随信号混入。一般而言,噪声呈不规则的变化。

传感器内部产生的噪声包括敏感元件、转换元件和转换电路元件等产生的噪声以及电源产生的噪声。例如,光电真空管放射不规则电子,半导体载流子扩散等产生的噪声。降低元件的温度可减小热噪声,对电源变压器采用静电屏蔽可减小交流脉动噪声等。

从外部混入传感器的噪声,按其产生原因可分为机械噪声(如振动,冲击)、音响噪声、热噪声(如热辐射使元件相对位移或性能变化)、电磁噪声和化学噪声等。对振动等机械噪声可采用防振台或将传感器固定在质量很大的基础台上加以抑制;而消除音响噪声的有效办法是把传感器用隔音器材围上或放在真空容器里;消除电磁噪声的有效办法是屏蔽和接地或使传感器远离电源线、使输出线屏蔽、输出线绞拧在一起等。

1.6.3.2 改善传感器性能的技术途径

我们总是希望传感器的输出与输入成唯一的对应关系,最好是线性关系,但是一般情况下,输出与输入不会符合所要求的线性关系,同时由于存在着迟滞、蠕变和摩擦等因素的影响,使输出输入对应关系的唯一性也不能实现,因此外界的影响不可忽视。影响程度取决于传感器本身,可通过传感器本身的改善来加以抑制,有时也可以对外界条件加以限制。

(1) 结构、材料与参数的合理选择。根据实际的需要和可能,合理选择材料、结构设

计传感器, 确保主要指标, 放弃对次要指标的要求, 以求得到较高的性价比, 同时满足使用要求, 即使对于主要的参数也不能盲目追求高指标。

(2) 差动技术。差动技术是非常有效的一种方法, 如电阻应变式传感器、电感式传感器、电容式传感器中都应用了差动技术, 不仅减小了非线性误差, 而且灵敏度提高了一倍, 抵消了共模误差。

(3) 平均技术。常用的平均技术有误差平均和数据平均。常用多点测量方案与多次采样平均。

(4) 稳定性处理。造成传感器性能不稳定的原因是随着时间的推移或环境条件的变化, 构成传感器的各种材料与元器件性能将发生变化。为了提高传感器性能的稳定性, 应该对材料、元器件或传感器整体进行必要的稳定性处理。使用传感器时, 如果测量要求较高, 必要时也应对附加的调整元件、后接电路的关键元器件进行防老化处理。

(5) 屏蔽、隔离与干扰抑制。屏蔽、隔离与干扰抑制可以有效削弱或消除外界影响因素对传感器的作用。如对于电磁干扰, 可以采取屏蔽、隔离措施, 也可以用滤波等方法抑制。

(6) 零位法、微差法与闭环技术。这些技术可供设计或应用传感器时, 用以消除或削弱系统误差。

(7) 补偿与校正。补偿与校正可以利用电子技术通过线路(硬件)来解决, 也可以采用微型计算机通过软件来实现。

(8) 集成化、智能化与信息融合。集成化、智能化与信息融合将大大扩大传感器的功能, 改善传感器的性能, 提高性价比。

1.7 传感器的标定

任何一种传感器在装配完后都必须按设计指标进行全面严格的性能鉴定。使用一段时间后(中国计量法规定一般为一年)或经过修理, 也必须对主要技术指标进行校准试验, 以确保传感器的各项性能指标达到要求。

传感器标定就是利用精度高一级的标准器具对传感器进行定度的过程, 从而确立传感器输出量和输入量之间的对应关系, 同时也确定不同使用条件下的误差关系。

为了保证各种被测量量值的一致性和准确性, 很多国家都建立了一系列计量器具(包括传感器)检定的组织、规程和管理办法。我国由原国家计量局、中国计量科学研究院和部、省、市计量部门以及一些企业的计量站进行制定和实施。国家计量局(1989年后改为国家技术监督局)制定和发布了力值、长度、压力和温度等一系列计量器具规程, 并于1985年9月公布了《中华人民共和国计量法》。

工程测量中传感器的标定, 应在与其使用条件相似的环境下进行。为获得较高的标定精度, 应将传感器及其配用的电缆(尤其是电容式和压电式传感器等)和放大器等测试系统一起标定。

根据系统的用途, 输入可以是静态的也可以是动态的, 因此传感器的标定有静态标定和动态标定两种。