



普通高等教育
电气工程与自动化类
“十一五”规划教材

SENSORS AND
MEASUREMENT TECHNOLOGIES

传感器与检测技术

赵勇 胡涛 编著



普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材

传感器与检测技术

Sensors and Measurement Technologies

赵 勇 胡 涛 编著



机械工业出版社

本书是普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材。

本书是作者在多年从事传感器教学及科研的基础上，根据教学内容和课程体系改革的需要写成的，内容新颖，叙述力求由浅入深。同时，在编写过程中，注意补充反映新器件、新技术的内容，力求使读者了解学科前沿。

本书共七章，围绕传感器与检测技术相关的基本概论与术语、检测系统的误差合成、常用传感器的工作原理、现代检测技术等内容进行了论述和介绍，尤其在传感器的敏感材料及敏感元件、新型传感器原理等内容中增加了一些最新的研究进展。

本书取材新颖，内容丰富，适用面广，不仅可以作为测控技术与仪器、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机电一体化、自动化、电子信息等专业的本科相关专业教材，也可作为广大从事检测技术开发与应用的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

传感器与检测技术/赵勇，胡涛编著. —北京：机械工业出版社，
2010.9

普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 31341 - 0

I. ①传… II. ①赵… ②胡… III. ①传感器 - 检测 - 高等学校 - 教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 137785 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：于苏华 责任编辑：于苏华 王 荣

版式设计：霍永明 责任校对：程俊巧

责任印制：杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 9 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 22.75 印张 · 560 千字

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 31341 - 0

定价：38.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者服务部：(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

全国高等学校电气工程与自动化系列教材 编审委员会

主任委员 汪懋生 浙江大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

王兆安 西安交通大学

王孝武 合肥工业大学

田作华 上海交通大学

刘 丁 西安理工大学

陈伯时 上海大学

郑大钟 清华大学

赵光宙 浙江大学

赵 曜 四川大学

韩雪清 机械工业出版社

委 员 (按姓氏笔画排序)

戈宝军 哈尔滨理工大学

王钦若 广东工业大学

吴 刚 中国科技大学

张纯江 燕山大学

张晓华 哈尔滨工业大学

邹积岩 大连理工大学

陈庆伟 南京理工大学

夏长亮 天津大学

萧蕴诗 同济大学

韩 力 重庆大学

熊 蕊 华中科技大学

方 敏 合肥工业大学

白保东 沈阳工业大学

张化光 东北大学

张 波 华南理工大学

杨 耕 清华大学

陈 冲 福州大学

范 瑜 北京交通大学

章 兢 湖南大学

程 明 东南大学

雷银照 北京航空航天大学

序

随着科学技术的不断进步，电气工程与自动化技术正以令人瞩目的发展速度，改变着我国工业的整体面貌。同时，对社会的生产方式、人们的生活方式和思想观念也产生了重大的影响，并在现代化建设中发挥着越来越重要的作用。随着与信息科学、计算机科学和能源科学等相关学科的交叉融合，它正在向智能化、网络化和集成化的方向发展。

教育是培养人才和增强民族创新能力的基础，高等学校作为国家培养人才的主要基地，肩负着教书育人的神圣使命。在实际教学中，根据社会需求，构建具有时代特征、反映最新科技成果的知识体系是每个教育工作者义不容辞的光荣任务。

教书育人，教材先行。机械工业出版社几十年来出版了大量的电气工程与自动化类教材，有些教材十几年、几十年长盛不衰，有着很好的基础。为了适应我国目前高等学校电气工程与自动化类专业人才培养的需要，配合各高等学校的教学改革进程，满足不同类型、不同层次的学校在课程设置上的需求，由中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科教学委员会、中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会、机械工业出版社共同发起成立了“全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会”，组织出版新的电气工程与自动化类系列教材。这套教材基于“**加强基础，削枝强干，循序渐进，力求创新**”的原则，通过对传统课程内容的整合、交融和改革，以不同的模块组合来满足各类学校特色办学的需要。并力求做到：

1. 适用性：结合电气工程与自动化类专业的培养目标、专业定位，按技术基础课、专业基础课、专业课和教学实践等环节，进行选材组稿。对有的具有特色的教材采取一纲多本的方法。注重课程之间的交叉与衔接，在满足系统性的前提下，尽量减少内容上的重复。

2. 示范性：力求教材中展现的教学理念、知识体系、知识点和实施方案在本领域中具有广泛的辐射性和示范性，代表并引导教学发展的趋势和方向。

3. 创新性：在教材编写中强调与时俱进，对原有的知识体系进行实质性的改革和发展，鼓励教材涵盖新体系、新内容、新技术，注重教学理论创新和实践创新，以适应新形势下的教学规律。

4. 权威性：本系列教材的编委由长期工作在教学第一线的知名教授和学者组成。他们知识渊博，经验丰富。组稿过程严谨细致，对书目确定、主编征集、资料申报和专家评审等都有明确的规范和要求，为确保教材的高质量提供了有

力保障。

此套教材的顺利出版，先后得到全国数十所高校相关领导的大力支持和广大骨干教师的积极参与，在此谨表示衷心的感谢，并欢迎广大师生提出宝贵的意见和建议。

此套教材的出版如能在转变教学思想、推动教学改革、更新专业知识体系、创造适应学生个性和多样化发展的学习环境、培养学生的创新能力等方面收到成效，我们将会感到莫大的欣慰。

全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会

汪植生 陈永时 郑大钟

前 言

新技术革命的到来，世界开始进入了信息时代。现代信息技术的三大支柱是传感器与检测技术、通信技术和计算机技术，它们分别构成信息系统的“感官”、“神经”和“大脑”，因此，传感器与检测技术是信息社会的重要基础技术，传感器是信息获取系统的首要部件。传感器位于研究对象与测控系统的接口位置，是感知、获取与检测信息的窗口。

近年来，在国家“大力加强传感器的开发和在国民经济中的普遍应用”等一系列政策导向和支持下，我国的传感器与检测技术和产业取得了长足发展。“863”计划、科技攻关等计划中也把传感器研究放在重要的位置。传感技术可以给人们带来巨大的经济效益和社会效益，一个国家的现代化水平是用自动化水平来衡量的，科技越发达，自动化程度越高，对传感器与检测技术的依赖也就越强烈。这也是自20世纪80年代以来，世界各国都将传感器与检测技术列为重点优先发展的高技术的原因。

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，现代化生产也就失去了基础。

在基础科学研究中，传感器更具有突出的地位。现代科学技术的发展，进入了许多新领域：例如在宏观上要观察上千光年的茫茫宇宙，微观上要观察小到 10^{-13} cm的粒子世界，纵向上要观察长达数十万年的天体演化，短到 10^{-24} s的瞬间反应。此外，还出现了对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种极端技术研究，如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场、超快光、超慢光等。显然，要获取大量人类感官无法直接获取的信息，没有相适应的传感器是不可能的。许多基础科学研究的障碍，首先就在于对象信息的获取存在困难，而一些新机理和高灵敏度的检测传感器的出现，往往会导致该领域内的突破。传感器的发展，是一些边缘学科开发的先驱。

本书围绕传感器与检测技术相关的基本概论与术语、检测系统的误差合成、常用传感器的工作原理、现代检测技术等内容进行了论述和介绍，尤其在传感器的敏感材料及敏感元件、新型传感器原理等内容中参考了一些最新的研究成果。

本书内容分为七章。

第0章为绪论，介绍了传感器的基本概念、传感器分类、检测系统的组成以及传感器与检测技术的发展。

第1章介绍了传感器的一般特性，其中静态特性包括线性度、迟滞、重复性、灵敏度、测量范围、分辨率、稳定性等概念；动态特性包括传递函数概念、阶跃响应和正弦响应等。

第2章介绍了检测系统的误差分析与处理，包括测量误差的相关概念、误差传递、合成与处理等。

第3章介绍传感器的敏感材料及敏感元件。这是本书的特色之处，介绍了传感器常用和新型的敏感材料和敏感元件，包括半导体敏感材料、陶瓷敏感材料、高分子敏感材料、电流变敏感材料、形状记忆合金、磁流体敏感材料、新型光纤敏感材料等。

第4章介绍常用传感器。本章中着重介绍了各种常用传感器工作的基本原理和基本效应以及传感器构成的相关问题。包括应变效应及应变传感器、电容电感传感器、压电效应与压电传感器、电磁效应与电磁传感器、热电效应与热电式传感器、光电效应与光电传感器、磁光效应与磁光传感器，湿敏气敏传感器等。

第5章介绍了新型传感器原理，包括波式传感器、生化传感器、智能传感器、核辐射传感器、光纤传感器、微机电传感器等。

第6章介绍了现代检测技术，包括传感器的补偿与标定、检测信号的调理电路、抗干扰技术和传感检测新技术等。

本书的编写工作主要是编者赵勇在清华大学、东北大学和胡涛在哈尔滨工业大学工作期间完成的。此外，东北大学杨慧老师、王璐珩老师和王琦老师、黄鹤、吴红克、庞冲、马东岭等研究生也付出了辛勤的工作，在此对他们表示忠心感谢。同时，由于作者水平有限，书中难免有不妥甚至错误之处，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

前言

第0章 绪论	1
0.1 传感器的基本概念	2
0.2 传感器的分类	3
0.3 检测系统的组成	5
0.4 传感器与检测技术的发展趋势	6
0.4.1 传感器与检测技术性能的改善	7
0.4.2 开展基础理论研究	7
0.4.3 传感器与检测系统的集成化	9
0.4.4 传感器与检测系统的智能化	9
0.4.5 传感器与检测系统的非接 触化和多参数融合化	10
0.4.6 检测系统的网络化和虚拟化	10
第1章 传感器的一般特性	11
1.1 传感器的静态特性	11
1.1.1 线性度和非线性误差	12
1.1.2 迟滞(回差)	14
1.1.3 重复性	14
1.1.4 灵敏度和灵敏度误差	16
1.1.5 测量范围和量程	16
1.1.6 分辨力和阈值	17
1.1.7 稳定性和零漂、温漂	18
1.2 传感器的动态特性	19
1.2.1 传感器动态分析的基本特点	19
1.2.2 传递函数	20
1.2.3 阶跃响应和时域动态性能指标	25
1.2.4 正弦响应和频域动态性能指标	28
1.2.5 无失真检测条件	30
思考题与习题	31
第2章 检测系统的误差分析与处理	34
2.1 测量误差的基本概念	34
2.1.1 测量误差的概念及表达方式	34
2.1.2 测量误差的分类	36
2.2 与误差相关的基本概念	39
2.2.1 测量不确定度	39
2.2.2 精密度、准确度和精确度	40
2.2.3 有效数字	41

2.3 误差的传递	42
2.3.1 系统误差的传递	42
2.3.2 随机误差的传递	43
2.4 误差的合成	45
2.4.1 系统误差的合成	46
2.4.2 随机误差的合成	47
2.4.3 测量系统误差综合	49
2.5 粗大误差的处理	50
2.5.1 莱以特准则(3σ 准则)	50
2.5.2 肖维准则	51
2.5.3 格鲁布斯(Grubbs)准则	51
思考题与习题	53
参考文献	53
第3章 传感器的敏感材料及 敏感元件	54
3.1 半导体敏感材料及元件	54
3.1.1 半导体光敏材料及元件	55
3.1.2 半导体磁敏材料及元件	56
3.1.3 其他半导体敏感材料及元件	57
3.2 陶瓷敏感材料	58
3.2.1 温度敏感陶瓷材料	58
3.2.2 湿度敏感陶瓷材料	59
3.2.3 气体敏感陶瓷材料	67
3.2.4 光学敏感陶瓷材料	67
3.2.5 压力敏感陶瓷材料	67
3.3 高分子敏感材料	67
3.3.1 敏感性高分子水凝胶	69
3.3.2 高分子液晶材料	74
3.3.3 高分子气敏材料	76
3.3.4 高分子湿敏材料	78
3.3.5 炭黑填充硅橡胶力敏材料	84
3.4 电流变敏感材料	85
3.4.1 概述	85
3.4.2 电流变现象和电流变效应	87
3.4.3 电流变体的结构及组成	89
3.4.4 电流变效应机理	91
3.4.5 电流变材料在智能控制中	

的应用实例	95	4.5.2 热电偶的冷端温度处理	171
3.5 形状记忆合金敏感材料	98	4.6 光电效应及光电式传感器	172
3.5.1 形状记忆合金的性能	99	4.6.1 光电效应及光电器件	172
3.5.2 Ti-Nb 系钛合金在生物医 学中的应用	101	4.6.2 CCD 图像传感器	173
3.5.3 形状记忆合金在航空工 业中的应用	103	4.6.3 光电位置传感器	182
3.6 磁流体敏感材料	106	4.7 磁光效应及磁光式传感器	182
3.6.1 磁流体传感器	107	4.7.1 法拉第效应	183
3.6.2 磁流体特殊光学性能	109	4.7.2 磁光克尔效应	183
3.6.3 磁流体可控折射率理论与 其结构根源	111	4.7.3 塞曼效应	184
3.7 新型光纤敏感元件	115	4.7.4 磁致线双折射效应	184
3.7.1 光子晶体光纤	115	4.7.5 磁光效应的应用	184
3.7.2 新型塑料光纤	125	4.8 湿敏传感器	186
3.7.3 液芯光纤	126	4.8.1 概述	186
3.7.4 一些典型的传感用特种光纤	129	4.8.2 湿敏传感器的主要参数	187
3.7.5 双轴(保偏)光纤光栅	135	4.8.3 湿敏元件	189
3.7.6 双包层光纤光栅	137	4.9 气敏传感器	199
3.7.7 变包层光纤光栅	139	4.9.1 概述	199
3.7.8 多模光纤光栅	141	4.9.2 半导体气敏传感器	200
3.7.9 少模光纤光栅	142	4.9.3 非电阻式半导体气敏传感器	205
3.7.10 光纤光栅耦合器	143	4.9.4 半导体气敏传感器的基本特性	205
3.7.11 阶跃变化折射率长周期 光纤光栅	145	4.9.5 固体电解质气敏传感器	206
3.8 小结	145	4.9.6 气敏传感器的应用	207
参考文献	146	思考题与习题	209
第4章 常用传感器	152	参考文献	214
4.1 应变效应与应变式传感器	152	第5章 新型传感器原理	215
4.1.1 基本概念	152	5.1 波式传感器	215
4.1.2 传感器的设计	155	5.1.1 超声波传感器	215
4.1.3 应变式传感器的应用举例	156	5.1.2 微波传感器	222
4.2 电容、电感式传感器	157	5.1.3 声表面波传感器	226
4.2.1 电容式传感器	157	5.2 生物化学传感器	238
4.2.2 电感式传感器	162	5.2.1 概述	238
4.3 压电效应及压电式传感器	166	5.2.2 蛋白传感器	239
4.3.1 压电效应的概念	166	5.2.3 胜肽纳米管生化传感器	240
4.3.2 压电传感器及其等效电路	167	5.2.4 碳纳米管生化传感器	241
4.4 电磁效应及磁电式传感器	168	5.2.5 微机械生化传感器	243
4.4.1 基本工作原理和结构	168	5.2.6 石英晶体生化传感器	245
4.4.2 磁电式振动速度传感器	169	5.2.7 光寻址生化传感器	246
4.5 热电效应及热电式传感器	170	5.3 智能传感器	247
4.5.1 热电效应的概念	170	5.3.1 概述	247

5.4 核辐射传感器	266	6.1 传感器的补偿与标定	310
5.4.1 核辐射传感器的物理基础	266	6.1.1 传感器的补偿	310
5.4.2 核辐射传感器的分类	269	6.1.2 传感器的标定	312
5.4.3 核辐射传感器的应用	270	6.2 检测信号的调理电路	313
5.5 光纤传感器	271	6.2.1 测量电桥	313
5.5.1 光学纤维的结构和基本原理	271	6.2.2 检测信号的放大与变换	319
5.5.2 强度调制型光纤传感器技术	274	6.2.3 信号的调制与解调	322
5.5.3 相位调制型光纤传感器技术	277	6.2.4 信号的滤波	328
5.5.4 偏振调制型光纤传感器技术	279	6.3 抗干扰技术	335
5.5.5 频率调制型光纤传感器技术	284	6.3.1 干扰的类型	335
5.5.6 波长调制型光纤传感器技术	286	6.3.2 抑制干扰的基本方法	336
5.5.7 分布式光纤传感器技术	289	6.4 传感检测新技术	340
5.6 微机电传感器	295	6.4.1 虚拟仪器技术	340
5.6.1 基础理论	295	6.4.2 软测量技术	343
5.6.2 基础技术	297	6.4.3 多传感器数据融合技术	345
5.6.3 几种典型的微机电传感器	300	6.4.4 网络化传感器及无线传 感器网络	348
思考题与习题	305	思考题与习题	350
参考文献	306	参考文献	351
第6章 现代检测技术	310		

第 0 章 绪 论

新技术革命的到来，世界开始进入了信息时代。现代信息技术的三大支柱是传感器与检测技术、通信技术和计算机技术，它们分别构成信息系统的“感官”、“神经”和“大脑”，因此，传感器与检测技术是信息社会的重要基础技术，传感器是信息获取系统的首要部件。传感器位于研究对象与测控系统的接口位置，是感知、获取与检测信息的窗口。

作为现代信息技术的三大支柱之一，世界上传感器品种已达 3 万余种，研究、生产单位 5000 余家。近年来，在国家“大力加强传感器的开发和在国民经济中的普遍应用”等一系列政策导向和支持下，我国的传感器与检测技术和产业取得了长足发展。“863”计划、科技攻关等计划中也把传感器研究放在重要的位置。传感技术可以给人们带来巨大的经济效益和社会效益，一个国家的现代化水平是用自动化水平来衡量的，科技越发达，自动化程度越高，对传感器和检测技术的依赖也就越强烈。这也是自 20 世纪 80 年代以来，世界各国都将传感检测技术列为重点优先发展的高技术的原因。

传感器与检测技术是自动控制技术、微电子技术、通信技术、计算机科学和物理学等学科有机结合发展的产物，是工业生产的耳目，是监视、控制、保证和提高产品质量的重要手段。随着现代工业的科学技术的发展，传感器与检测技术的重要性越来越受到人们的重视。传感器与检测技术在控制和改进产品生产过程中的质量、保证设备的安全运行以及提高生产率、降低成本等方面起着重要的作用，是发展现代工业和科学技术必不可少的重要手段之一。目前，传感器与检测技术已经广泛应用到工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、甚至文物保护等极其广泛的领域。可以毫不夸张的说，从茫茫的太空到浩瀚的海洋，以至各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器和检测技术。

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，现代化生产也就失去了基础。

在基础科学研究中，传感器更具有突出的地位。现代科学技术的发展，进入了许多新领域；例如在宏观上要观察上千光年的茫茫宇宙，微观上要观察小到 10^{-13} cm 的粒子世界，纵向上要观察长达数十万年的天体演化，短到 10^{-24} s 的瞬间反应。此外，还出现了对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种极端技术研究，如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场、超快光、超慢光等。显然，要获取大量人类感官无法直接获取的信息，没有相适应的传感器是不可能的。许多基础科学研究的障碍，首先就在于对象信息的获取存在困难，而一些新机理和高灵敏度的检测传感器的出现，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。

由此可见，传感器技术在发展经济、推动社会进步方面的重要作用，是十分明显的。世界各国都十分重视这一领域的发展。相信不久的将来，传感器技术将会出现一个飞跃，达到与其重要地位相称的新水平。

0.1 传感器的基本概念

我国国家标准 (GB/T 7665—2005) 中关于传感器的定义为: 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。还有一种定义是: 传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的某种物理量的测量装置。后一定义包含了以下几方面的意思: ①传感器是测量装置, 能完成检测任务; ②它的输入量是某一被测量, 可能是物理量, 也可能是化学量、生物量等; ③它的输出量是某种物理量, 这种量要便于传输、转换、处理、显示等, 这种量可以是气、光、电物理量, 但主要是电物理量; ④输出输入有对应关系, 且应有一定的精确程度。

电信号易于传输和处理, 所以大多数的传感器是将物理量等信息转换成电信号输出的。例如传声器 (话筒) 就是一种传感器, 它感受声音的强弱, 并转换成相应的电信号。又如电感式位移传感器能感受位移量的变化, 并把它转换成相应的电信号。

传感器感受一种量并把它转换成另一种量, 这种转换也可以看成是能量的转换, 因此在某些领域如生物医学工程等中, 传感器也称为换能器。

传感器主要用于测量和控制系统, 它的性能好坏直接影响系统的性能。在自动测量过程或控制系统中, 首先由传感器感受被测量, 然后把它转换成电信号, 供显示仪表指示或用以控制执行机构。如果传感器不能灵敏地感受被测量, 或者不能把感受到的被测量精确地转换成电信号, 那么, 其他仪表和装置的精确度再高也无意义。

电子计算机应用于测量系统和控制系统时, 也必须由传感器提供准确可靠的信息, 如果传感器的水平与电子计算机的水平不相适应, 电子计算机便不能充分发挥应有的作用和效益。因此, 传感器是测量、控制系统中的一种关键装置。

关于传感器, 我国曾出现过多种名称, 如发送器、传送器、变送器等, 它们的内涵相同或相似, 所以近来已逐渐趋向统一, 大都使用传感器这一名称了。从字面上可以作如下解释: 传感器的功用是一感二传, 即感受被测信息, 并传送出去。

传感器一般由敏感元件、转换元件、基本转换电路三部分组成, 组成框图如图 0-1 所示。

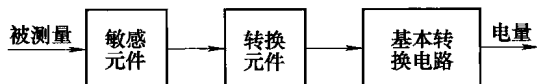


图 0-1 传感器组成框图

(1) 敏感元件: 它是直接感受被测量, 并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。图 0-2 是一种气体压力传感器的示意图。膜盒的下半部与壳体固接, 上半部通过连杆与磁心相连, 磁心置于两个电感线圈中, 后者接入转换电路。这里的膜盒就是敏感元件, 其外部与大气压力 p_a 相通, 内部感受被测压力 p 。当 p 变化时, 引起膜盒上半部移动, 即输出相应的位移量。

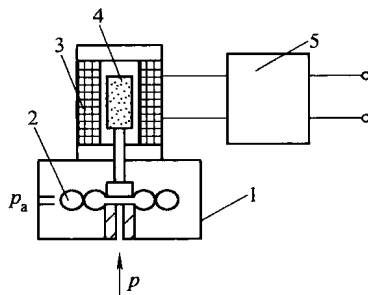


图 0-2 气体压力传感器

1—壳体 2—膜盒 3—电感线圈
4—磁心 5—转换电路

(2) 转换元件: 敏感元件的输出就是它的输入, 它把输入转换成电路参量。在图 0-

2 中, 转换元件是可变电感线圈, 它把输入的位移量转换成电感的变化。

(3) 基本转换电路: 上述电路参数接入基本转换电路 (简称转换电路), 便可转换成电量输出。传感器只完成被测参数至电量的基本转换, 然后输入到测控电路, 进行放大、运算、处理等进一步转换, 以获得被测值或进行过程控制。

实际上, 有些传感器很简单, 有些则较复杂, 传感器大多数是开环系统, 也有些是带反馈的闭环系统。

最简单的传感器由一个敏感元件 (兼转换元件) 组成, 它将感测到的被测量直接以电量形式输出, 如热电偶就是这样。如图 0-3 所示, 两种不同的金属材料 A 和 B, 一端连接在一起, 放在被测温度 T 中, 另一端为参考, 温度为 T_0 , 则在回路中将产生一个与温度 T 、 T_0 有关的电动势, 从而进行温度测量。

有些传感器由敏感元件和转换元件组成。如图 0-4 所示的压电式加速度传感器, 其中, 质量块 m 是敏感元件, 其下方的压电片 (块) 是转换元件, 因转换元件的输出已是电量, 故无需转换电路。

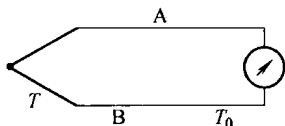


图 0-3 热电偶

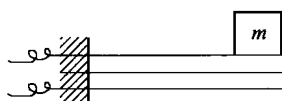


图 0-4 压电式加速度传感器

有些传感器, 转换元件不只一个, 要经过若干次转换。

敏感元件与转换元件在结构上常是装在一起的, 而转换电路为了减小外界的影响也希望和它们装在一起, 不过由于空间的限制或者其他原因, 转换电路常装入电箱。尽管如此, 因为不少传感器要在通过转换电路后才能输出电信号, 从而决定了转换电路是传感器的组成环节之一。

0.2 传感器的分类

作为实现传感功能的基本器件, 传感器的分类方法很多, 可按传感器的构成、输入量、输出量、基本效应、工作原理、能量变换关系等分类。

1. 按传感器的构成进行分类 根据传感器的构成, 可将传感器分为物理型和结构型。物理型传感器是指依靠传感转换元件的物理特性变化来实现信号的转换, 如水银温度计。结构型传感器是指依靠传感转换元件的结构参数变化来实现信号的转换, 如变极距型电容式传感器就是通过极板间距的变化来实现对位移等物理量的测量。

2. 按传感器的输入量 (即被测参数) 进行分类 按输入量分类的传感器以被测物理量命名, 如位移传感器、速度传感器、温度传感器、压力传感器等。这种分类方法通常在讨论传感器的用途时使用。

3. 按传感器的输出量进行分类 传感器按输出量可分为开关型传感器、模拟型传感器和数字型传感器。开关型传感器只输出“1”和“0”或开 (ON) 和关 (OFF) 两个值。如果传感器的输入物理量达到某个值以上时, 其输出为“1” (ON 状态), 在该值以下时, 输

出为“0”（OFF 状态），其临界值就是开、关的设定值。这种“1”和“0”数字信号可直接送入微型计算机进行处理。

模拟型传感器的输出是与输入物理量变化相对应的连续变化的电量。传感器的输入/输出关系可能是线性的，也可能是非线性的。线性输出信号可直接采用，而非线性输出信号则需进行线性化处理。这些线性信号一般需进行模拟/数字转换（A/D），将其转换成数字信号后再送给微型计算机处理。

数字型传感器有计数型和代码型两大类。计数型又称脉冲计数型，它可以是任何一种脉冲发生器，所发出的脉冲数与输入量成正比，加上计数器就可以对输入量进行计数。计数型传感器可用于检测通过输送带上的产品个数，也可用来检测执行机构的位移量，这时，执行机构每移动一定距离或转动一定角度就会发出一个脉冲信号，例如光栅检测器和增量式光电编码器就是如此。代码型传感器即绝对值式编码器，它输出的信号是二进制数字代码，每一个代码相当于一个一定的输入量之值。代码的“1”为高电平，“0”为低电平，高低电平可用光电元件或机械式接触元件输出。通常被用来检测执行元件的位置或速度，例如绝对值型光电编码器、接触型编码器等。具体分类如图 0-5 所示。

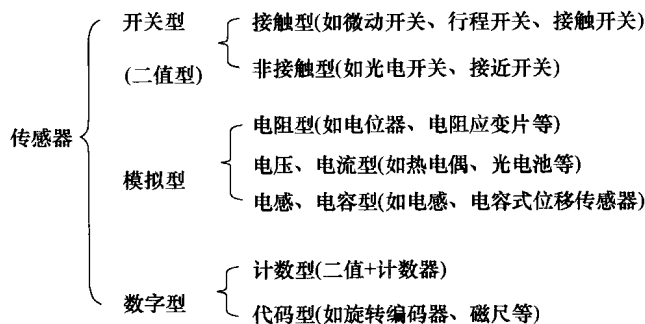


图 0-5 传感器按输出信号性质分类

4. 按传感器的基本效应进行分类 根据传感技术包含的基本效应，可以将传感器分为物理型、化学型、生物型。

物理型传感器依靠传感器的敏感元件材料本身的物理特性变化来实现信号的变换，如水银温度计是利用水银的热胀冷缩现象把温度变化转变为水银柱的高低变化，从而实现对温度的测量。

化学型传感器依靠传感器的敏感元件材料本身的电化学反应来实现信号的变换，如气敏传感器、湿度传感器。

生物型传感器利用生物活性物质选择性的识别来实现测量，即依靠传感器的敏感元件材料本身的生物效应来实现信号的变换。待测物质经扩散作用进入固定化生物敏感膜层，经分子识别，发生生物学反应，产生的信息被相应的化学或物理换能器转变成可定量和可处理的电信号，如酶传感器、免疫传感器。

5. 按传感器的工作原理进行分类 按传感器的工作原理命名，如电阻式传感器、应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、电涡流式传感器、磁电式传感器、压电式传感器、热电式传感器、光电式传感器、磁弹性式传感器、振频式传感器和电化学式传感器等。有时也常把原理和用途结合起来命名，如电感式位移传感器和电容式压力传感器等。

6. 按传感器的能量变换关系进行分类 按能量变换关系, 传感器分为能量变换型传感器和能量控制型传感器。

能量变换型传感器又称为发电型或无源型传感器, 其输出端的能量是由被测对象取出的能量转换而来的。它无需外加电源就能将被测的非电能量转换成电能量输出; 它无能量放大作用, 且要求从被测对象获取的能量越小越好。这类传感器包括热电偶、光电池、压电式传感器、磁电感应式传感器、固体电解质气敏传感器等。

能量控制型传感器又称为参量型或有源型传感器, 这类传感器本身不能换能, 其输出的电能量必须由外加电源供给, 而不是由被测对象提供的。但被测对象的信号控制着由电源提供给传感器输出端的能量, 并将电压(或电流)作为与被测量相对应的输出信号。由于能量控制型传感器的输出能量是由外加电源供给的, 因此, 传感器输出端的电能可能大于输入端的非电能量, 所以, 这种传感器具有一定的能量放大作用。这类传感器包括电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、霍尔式传感器、谐振式传感器和某些光电式传感器。

随着半导体技术的发展, 又出现了新型的半导体传感器, 如采用扩散硅半导体的压阻式传感器和利用电荷耦合器件的光电式传感器等。随着科学技术的发展, 一方面需要在不同环境下测量不同的物理量、化学量和生物量的各类传感器; 另一方面, 新材料、新元件和新工艺的不断出现, 也为研制新型传感器提供了新的基础, 因此, 新型的传感器不断地出现。

0.3 检测系统的组成

尽管检测仪器、检测系统的种类、型号繁多, 用途、性能千差万别, 但它们都是被用作参量检测, 用来获取有关参量的信息, 所以, 其组成通常以信号的流程来划分。一般可分为: ①信号的摄取——传感器(变送器); ②信号的调理、转换——信号放大、滤波、A/D、D/A 以及其他转换电路等; ③信号的处理——微处理器、单片机、微机等; ④信号的显示及传输——信号的显示有模拟显示、数字显示、屏幕显示、打印机、记录仪、绘图仪等, 信号的传输有通过串行、并行接口或采用总线以及以太网技术的传输方式等。

以上环节加上系统所必需的交、直流稳压电源和必要的输入设备, 如开关、按钮、拨盘、键盘等, 便组成了一个完整的检测系统, 其各部分关系如图 0-6 所示。

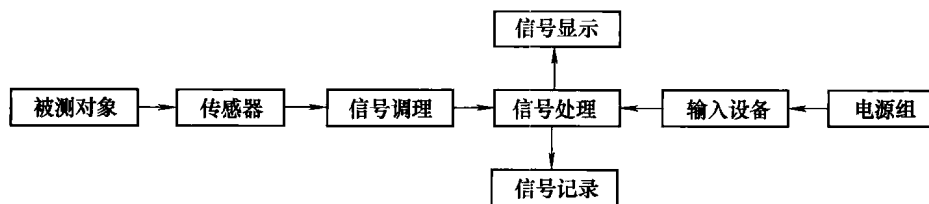


图 0-6 检测系统的组成

1. 传感器 它是检测系统与被测对象之间发生联系的桥梁。它的作用是感受被测参量的变化, 直接从对象中获取反映被测量变化的信息, 并转换成相应的、便于显示或传递的输出信号。例如, 半导体应变片式传感器能把被测对象受力后产生的微小形变感受出来, 通过一定的桥路转换成相应的电压输出信号。这样, 通过测量传感器的输出电压便可知道被测对象的受力情况。传感器的输出是检测系统的信号源, 它的优劣直接影响到检测系统的精

度和其他指标,是检测系统中十分重要的环节。

2. 信号调理 它在检测系统中的作用是对传感器输出的微弱的信号进行滤波、放大、线性化、传递和转换,以便于显示或供进一步处理。例如,工程上常见的热电偶型温度检测系统(仪表),其传感器输出信号(即热电偶电动势)仅为 mV 数量级且夹杂着 50Hz 等的噪声电压,故后续电路通常包括滤波、放大、冷端补偿、线性化等环节。若是数字显示仪表,还应加上 A/D 转换环节,把模拟电压转换成数字信号。若需要远传,通常采用 D/A 转换后,再转换成标准的 4~20mA 或者 0~10mA 的信号远传。检测系统种类繁多、性能差异大,信号的形式多种多样,它们所配制的信号调理电路也不尽相同。对调理电路的一般要求一是能准确、稳定、可靠地传输、放大和转换信号;二是具有抗干扰的能力。

3. 信号显示 通常人们都希望知道被测量的瞬时值、累计值或其随时间的变化情况。因此,一般的检测系统均有各种形式的显示、记录设备或两者兼而有之。显示器和记录设备是检测系统与人联系的主要环节之一,显示器一般可分为指示式、数字式和屏幕式三种。

(1) 指示式显示,又称为模拟式显示:被测量数值大小由指示器或者指针在标尺上的相对位置来表示。指示式仪表结构简单、价格低廉、显示直观,一直被大量应用。有的还带有记录机构,以曲线形式给出被测量随时间变化的数据,但这种仪表读数的精度和仪器的灵敏度等受到标尺最小分度的限制,且读数会引入人的主观误差。

(2) 数字式显示:直接以数字形式给出被测量的数值大小,也可以附加打印设备,打印出数据。数字式显示减少了读数主观误差,提高了读数精度,还能方便地与计算机连用。这种仪表正越来越多地被采用。

(3) 屏幕显示:它结合了上述两种显示方式的优点,具有形象性和易于读数的优点,又能同时在屏幕上显示一个被测量或者多个被测量的大量数据,有利于对它们进行比较分析。

4. 信号记录 检测系统常用的记录设备有打印机、录音机、绘图仪等。

5. 信号处理 信号处理环节的设计原则是:只要能满足用户对信号处理的要求,越简单、越可靠、成本越低越好。

6. 输入设备 输入设备是操作人员和检测系统联系的另一主要环节,用于输入参数、下达有关命令等。最简单的输入设备是各种开关、按钮。模拟量输入控制往往借助于电位器进行。

7. 电源 一个检测系统往往既有模拟电路部分,又有数字电路部分,因此需要多组规格的稳定电源。这些电源,检测系统使用现场一般无法直接提供。现场一般只能提供 AC 220V 工频电源或 DC 24V 直流电源。检测系统的设计者需要根据现场的供电电源情况及检测系统内部的实际需要,统一设计各组电源,供系统各部分使用。

0.4 传感器与检测技术的发展趋势

随着微电子技术、微机电系统(MEMS)技术、材料科学、大规模集成芯片技术、纳米科学与技术、数字信号处理(DSP, Digital Signal Processing)技术、计算机技术等飞速发展并不断变革,传感器与检测技术也是日新月异。一方面,传感技术在科学研究、工农业生产、日常生活等许多方面发挥着越来越重要的作用;另一方面,人们的应用需求对传感技术