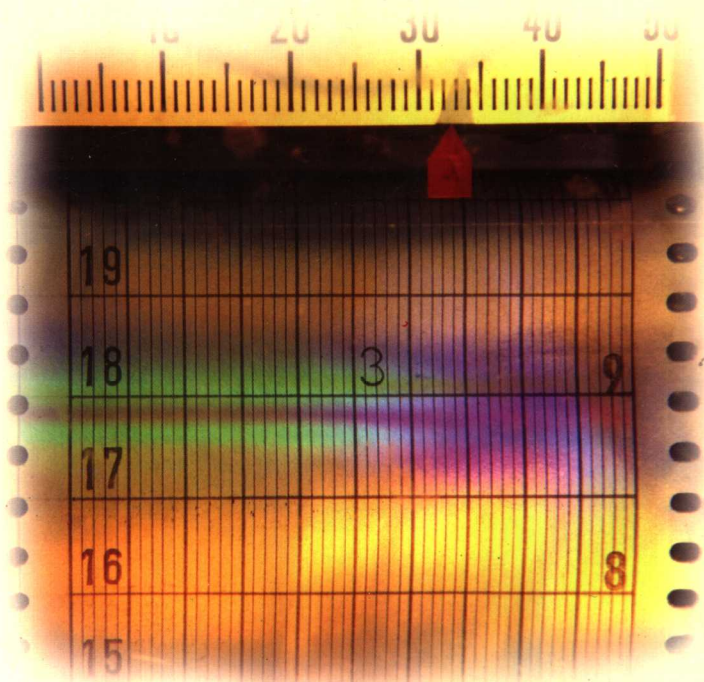


Chuangangqi
Jishu

传感器技术

高晓蓉 © 编



西南交通大学出版社

传感器技术

高 晓 蓉 编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书综述了传感器技术的基本理论,详细介绍了各类传感器的工作原理、基本结构、相应的测量电路,并给出了应用实例。全书共分十章,第一章介绍传感器的基本概念、数学模型、提高性能的措施和标定技术;第二章至第四章介绍了传统的电阻、电容和电感类传感器;第五章至第七章介绍压电式、热电式和磁敏式传感器的结构、工作原理及其应用等;第八章和第九章介绍光电式传感器和光纤传感器的原理、特点、应用和发展前景;第十章为实验。

本书适合作为电类各专业大专生、本科生的教材,也可供相关专业技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术 / 高晓蓉编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2003.9
ISBN 7-81057-732-8

I. 传... II. 高... III. 传感器 - 基本知识
IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 053673 号

传 感 器 技 术

高晓蓉 编

*

责任编辑 张华敏

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 14.625

字数: 347 千字 印数: 1—1000 册

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-732-8/TP·309

定价: 26.00 元(含光盘)

前 言

传感器技术(非电量测量技术)是电子技术类、检测技术类和信息科学类的一门主要的专业技术课,是现代科学技术中的一个重要领域。在当今的信息时代中,随着自动测控系统的发展,传感器作为信息捕捉的必要手段,对其依赖程度越来越大。传感器技术的发展推动了科学技术的巨大进步,可以说,没有传感器也就没有现代化的自动测量和控制系统,没有传感器将没有现代科学技术的迅速发展。

目前,传感器的重要性正日益为人们所认识,国内外都已将传感器技术列为优先发展的科技领域之一。国内高校许多专业都开设了相应课程,传感器方面的教材和专著陆续问世,这些书籍在原理性与实用性、传统性与新型性,以及广度与深度上各有侧重。为适应传感器应用和发展的需要,同时达到拓宽专业面的目的,作者在多年传感器本科教学的基础上,结合自身的科研体会,编写了这本教材。

针对近年来传感器新技术飞速发展的现状,本书通过精选内容,在不削弱传统的较为成熟的传感器基本内容的前提下,以较大篇幅充实了新型传感器的内容。鉴于传感器种类繁多,涉及的学科广泛,不可能也没有必要对各种具体传感器逐一剖析,本书的重点放在原理阐述和实际应用的介绍上,既保证必要的、简明的数学推导,详细地给出物理概念,同时结合较多的应用实例,引导学生在学习本课程后,能收到举一反三、触类旁通的效果。

为培养、锻炼学生的实践能力,在教材中还引入了实验环节,通过实验加深对基本概念的理解,进一步掌握传感器的检测方法,提高学生分析问题和解决问题的能力。本书共编排了六个实验。为达到开拓学生视野、启发思维的目的,本书设计的实验结合了科研成果(实验二、实验五),有一定的先进性和实用性,同时突出了铁路特色(实验一、实验二)和光电技术的特点(实验五、实验六)。为锻炼学生综合运用所学知识的能力,设计了两个半自拟实验(实验四、实验六),要求学生独立设计和完成,最大限度地锻炼学生的实践能力。

本书共分十章,除绪论和第一章外,传感器各章均具有一定的独立性。第一章概述有关传感器的基本概念;第二章至第四章介绍了传统的电阻、电容和电感类的传感器;第五章至第七章介绍压电式、热电式和磁敏式传感器的结构、工作原理及其应用等;第八章和第九章介绍光电式传感器和光纤传感器的原理、特点、应用和发展前景;第十章为实验。

本书编写过程中参阅了一些国内公开发表的有关专著及文献,在此一并表示诚挚的谢意。同时感谢在本书编写和出版过程中给予帮助的领导、教师和同学。

由于传感器是多学科知识的综合,涉及内容多、面广,而编者的水平和经验有限,书中的错误、缺点及不妥之处在所难免,敬请批评指正。

编者
2003年5月

目 录

绪 论	(1)
第一章 传感器技术基础	(3)
§ 1-1 传感器的基本概念	(3)
1. 传感器的定义	(3)
2. 传感器的物理定律	(4)
3. 传感器的组成	(5)
4. 传感器的分类	(9)
§ 1-2 传感器的静态数学模型及其基本特性指标	(10)
1. 传感器的静态模型	(11)
2. 传感器的静态特性指标	(12)
§ 1-3 传感器的动态数学模型及其动态特性指标	(17)
1. 动态模型	(17)
2. 传感器的动态特性指标	(20)
3. 一阶系统的动态响应分析	(23)
§ 1-4 改善传感器性能的技术途径	(25)
1. 结构、材料与参数的合理选择	(25)
2. 差动技术	(26)
3. 平均技术	(28)
4. 稳定性处理	(29)
5. 屏蔽、隔离和干扰抑制	(29)
6. 零示法、微差法与闭环技术	(31)
7. 补偿与校正	(33)
8. 集成化与智能化	(33)
§ 1-5 传感器的标定与校准	(34)
1. 标定与校准的概念	(34)
2. 标定的基本方法	(35)
3. 标定系统的组成	(35)
4. 传感器的静态标定及设备	(36)
5. 传感器的动态标定及设备	(36)
习 题	(36)

第二章 电阻式传感器	(37)
§ 2-1 电位器式传感器.....	(37)
1. 线绕电位器式传感器.....	(37)
2. 非线性绕电位器式传感器.....	(41)
3. 电位器式传感器的应用.....	(43)
§ 2-2 电阻应变计的原理及特性.....	(44)
1. 电阻应变计的结构及原理.....	(44)
2. 电阻应变计的特性.....	(47)
3. 电阻应变计的分类.....	(52)
§ 2-3 测量电路及电阻应变仪.....	(53)
1. 应变电桥.....	(53)
2. 直流电桥及输出特性.....	(54)
3. 交流电桥及其平衡.....	(61)
4. 电阻应变仪.....	(62)
§ 2-4 电阻应变式传感器的应用.....	(67)
1. 应变式传感器的特点.....	(67)
2. 应变计的使用.....	(68)
习 题.....	(72)
第三章 电容式传感器	(74)
§ 3-1 电容式传感器的工作原理和结构.....	(74)
1. 基本工作原理.....	(74)
2. 变间隙型电容传感器.....	(75)
3. 变面积型电容传感器.....	(78)
4. 变介质型电容传感器.....	(80)
§ 3-2 电容式传感器的测量电路.....	(82)
1. 调频电路.....	(82)
2. 调幅电路.....	(83)
3. 脉冲宽度调制电路.....	(89)
§ 3-3 电容式传感器的应用.....	(91)
1. 等效电路.....	(91)
2. 应用中存在的问题.....	(92)
3. 应用举例.....	(94)
习 题.....	(96)
第四章 电感式传感器	(98)
§ 4-1 自感式传感器.....	(98)

1. 结构和工作原理	(98)
2. 变气隙式自感传感器	(99)
3. 差动自感传感器	(100)
4. 测量电路	(101)
§ 4-2 互感式传感器	(103)
1. 结构与工作原理	(103)
2. 等效电路	(104)
3. 测量电路	(106)
§ 4-3 电涡流式传感器	(109)
1. 基本原理	(109)
2. 结构类型	(110)
3. 测量电路	(111)
§ 4-4 电感式传感器的应用	(113)
习 题	(116)
第五章 压电式传感器	(117)
§ 5-1 压电效应和压电材料	(117)
1. 压电效应	(117)
2. 压电材料简介	(118)
3. 石英晶体的压电特性	(118)
4. 压电陶瓷的压电现象	(119)
§ 5-2 压电传感器的等效电路和测量电路	(120)
1. 压电晶体的连接方式	(120)
2. 压电传感器的等效电路	(121)
3. 压电传感器的测量电路	(122)
§ 5-3 压电式传感器的应用	(125)
习 题	(127)
第六章 热电式传感器	(128)
§ 6-1 热电阻	(128)
1. 热电阻材料的特点	(128)
2. 常用热电阻	(129)
3. 热电阻的测量电路	(130)
4. 热电阻应用举例	(131)
§ 6-2 热敏电阻	(132)
1. 热敏电阻的结构和特点	(132)
2. 热敏电阻的温度特性	(133)
3. NTC 热敏电阻输出特性的线性化处理	(134)

4. 应用举例	(135)
§ 6-3 热电偶	(136)
1. 热电效应	(136)
2. 热电偶基本定律	(138)
3. 热电偶的结构种类	(139)
4. 热电偶实用测量电路	(141)
5. 热电偶冷端补偿方法	(142)
6. 应用举例	(143)
§ 6-4 PN 结型温度传感器	(144)
1. 温敏二极管	(144)
2. 温敏三极管	(145)
3. 集成温度传感器	(146)
习 题	(147)
第七章 磁敏式传感器	(148)
§ 7-1 霍尔传感器	(148)
1. 霍尔效应	(148)
2. 霍尔元件的主要技术参数	(150)
3. 霍尔元件的连接方式和输出电路	(150)
4. 霍尔元件的测量误差和补偿方法	(152)
5. 霍尔传感器的应用	(153)
§ 7-2 磁敏电阻器	(154)
1. 磁阻效应	(155)
2. 磁敏电阻的结构及特性	(155)
§ 7-3 磁敏二极管和磁敏三极管	(156)
1. 磁敏二极管的结构和工作原理	(156)
2. 磁敏三极管的结构和工作原理	(158)
习 题	(159)
第八章 光电式传感器	(160)
§ 8-1 光电效应	(160)
1. 外光电效应	(160)
2. 内光电效应	(161)
§ 8-2 外光电效应的光电器件	(162)
1. 光电管及其基本特性	(162)
2. 光电倍增管及其基本特性	(164)
§ 8-3 内光电效应器件	(165)
1. 光敏电阻	(165)

2. 光电池	(167)
3. 光敏二极管和光敏三极管	(169)
§ 8-4 新型光电传感器	(172)
1. 光位置传感器 (SPD)	(172)
2. 高速光电二极管	(172)
3. 色敏光电传感器	(173)
4. 光固态图像传感器	(174)
§ 8-5 光电传感器的应用	(178)
1. 模拟式光电传感器及应用	(178)
2. 开关式光电传感器及应用	(179)
3. 光电池的应用	(181)
4. CCD 图像传感器的应用	(182)
习 题	(184)
第九章 光纤传感器	(185)
§ 9-1 光纤传感器基础	(185)
1. 光纤的结构	(185)
2. 光纤波导原理	(186)
3. 光纤的特性及分类	(187)
4. 光纤传感器的基本原理及类型	(188)
§ 9-2 光纤传感器的调制技术	(189)
1. 强度调制	(191)
2. 频率调制与解调	(193)
习 题	(193)
第十章 实 验	(194)
实验一 电位器式传感器及对接触线抬升量的测量	(194)
实验二 电阻应变式传感器及电阻应变仪的原理和使用	(197)
实验三 电涡流位移传感器的原理及其静态标定方法	(204)
实验四 热电式传感器的温度自动控制实验(半自拟)	(208)
实验五 光纤高低电压隔离信号传输实验	(212)
实验六 光电报警实验(半自拟)	(218)
主要参考文献	(224)

绪 论

传感器的英文是 Sensor 或 Transducer, Sensor 直译为“感觉”。

我们知道,人类有五大感觉器官,即眼、耳、鼻、舌、皮肤,人类是通过这些感觉器官而感知外界信息的,这些信息经过人脑的分析、处理,最后作出判断和反应,控制人类肢体的动作,这就是人体系统的组成。

对于机器系统而言,它包括传感器、计算机和执行器三部分。传感器是各种机械和电子设备的感觉器官,称为“机电五官”,用于感知外界信息。这些信息经电子计算机的处理后,作出反应,控制各类执行器(如自动化机械及智能机器人等)。由此可以看到人与机器的机能对应关系,即称为“机电五官”的传感器对应人类的五官感知外界信息,计算机对应人类的大脑,用于分析、处理信息,而各种执行器则对应于人类的肢体完成各种操作和动作。如图 0-1 所示。

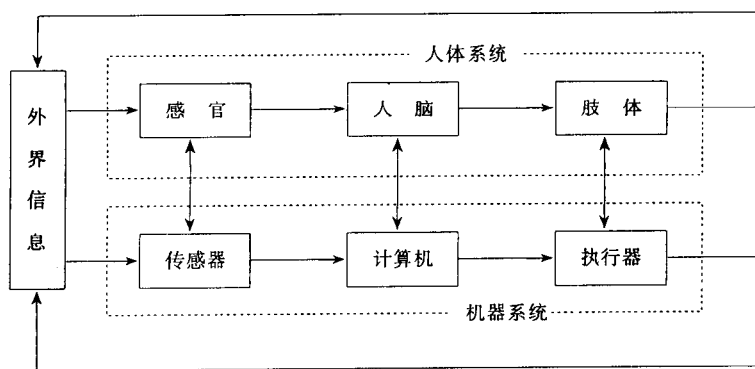


图 0-1 人与机器系统的机能对应关系

传感器作为“机电五官”,同人类的五官一样,能感觉到各种信息,诸如光、色、温度、压力、声音、湿度、气味及辐射等。而且,在很多方面,它的能力大大超过人类五官。例如,它可以在人类无法忍受的高温、剧毒和放射性环境下工作,还可以感知到人类五官所不能感知的信息,如微弱的电、磁、射线等。

从现代机器系统的组成看到,传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节,如果没有传感器对原始的信息进行精确、可靠的捕获和转换,那么,一切测量和控制都是不可能实现的。

例 0-1 化工产品自动化生产过程。

如图 0-2 所示,在化工产品自动化生产过程中,首先在进料时要对大吨位的原料进行自动称重,分析原料成分或浓度,使它们按比例混合。混合后,在反应容器中自动反应,又必须测定反应容器中的压力或体积,以保证和监测反应的顺利和正常进行。如果是液体,则需要自动控制容器液位高度。然后,半成品在生产线(管道)中传输,需要自动控制传输速度或流量,必须使用液动或气动设备以产生推动力,因而要检测压力或压强……最后,成品进行自动分装、称重、

计数等。

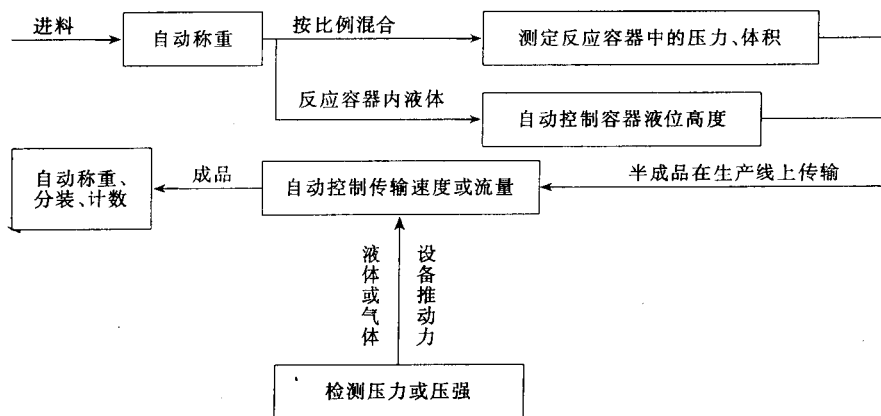


图 0-2 化工产品自动化生产过程

所有这些环节，都需要使用各种传感器对相应的参数进行检测和控制，使设备或系统自动、正常地运行在最佳状态，保证生产的高效率和高质量。

例 0-2 航天器。

为使航天器按预先设计好的轨道正常运行，需控制航天器的飞行参数、姿态，并监测发动机的工作状态，这就需要利用多种传感器进行检测，将传感器获取的各种信号送到各种测量仪表和自动控制系统进行自动调节，使航天器正常运行。

图 0-3 给出了传感器的主要应用领域及相对需要量。其中，横轴列出传感器所遍及的主要应用领域；纵轴是传感器的相对需要量，其中相对需要量 >70 的应用领域有：信息处理、科技测试、设备控制、机器人、汽车、环境污染、医疗、防火、光能利用等。

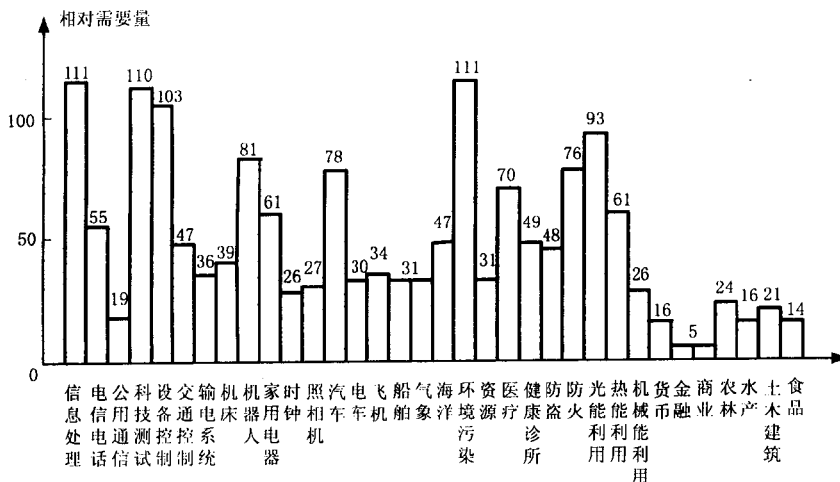


图 0-3 传感器的主要应用领域及相对需要量

由此可见，从太空探测到海洋开发，从各种复杂的工程系统，到日常生活的衣食住行，几乎每一个现代化的项目，都离不开各种各样的传感器。可以说，没有传感器就没有现代化的自动测量和控制系统，没有传感器就没有现代科学技术的迅速发展。

第一章 传感器技术基础

在学习各类具体的传感器之前,首先应掌握传感器技术的基础知识。这一章主要包括以下几方面的内容:

- ① 传感器的基本概念;
- ② 传感器的静态数学模型和基本特性指标;
- ③ 传感器的动态数学模型和基本特性指标;
- ④ 改善传感器性能的技术途径;
- ⑤ 传感器的标定与校准。

§ 1-1 传感器的基本概念

1. 传感器的定义

何谓传感器?至今国内外尚无统一规定。由绪论中的介绍知道,人类的五官是天然的传感器,而在工程技术领域里,可将传感器看成是人体五官的工程模拟物。于是,可以将传感器定义为:把特定的被测量信息按一定规律转换成某种可用信号输出的器件或装置。

传感器首先是一种测量器件或装置,它的作用是由于测量,是以测量为目的的。例如,发电机是不是传感器?我们知道,发电机是将机械能转换为电能的一种装置,它为人类提供电能,但不是用于测量的,所以发电机仅作为发电设备时,不是传感器。但是,当通过发电机发电量的大小来测定调速系统机械转速时,发电机可看做是一种用于测量的传感器,称之为测速发电机,或叫做发电机测速传感器。

传感器定义中所谓的“特定的被测量信息”,一般是指非电量,这样的非电被测量主要包括物理量、化学量和生物量等。

表征物质特性或其运动形式的参数很多,总的可分为电量和非电量两大类。电量一般是物理学中的电学量,如电压、电流、电阻、电容、电感等;非电量则是指除电量之外的一些参数,如压力、流量、尺寸、位移、重量、力、速度、加速度、转速、温度、浓度、酸碱度,等等。

人们在科学试验和生产活动中,需要对这些电量和非电量进行测量。采用一般电工仪表和电子仪器可测量电信号,而在众多的实际测量中,大多数是对非电量的测量,传感器技术就是一种对非电量进行测量的技术。

传感器定义中提到的“可用信号”是指便于处理、传输的信号,就目前的科技发展水平而言,这种便于处理、传输的“可用信号”,就是电信号。因此,在有的书上,将传感器狭义地定义为“把外界非电量信息转换成与之有确定对应关系的电量输出的器件或装置”。当然,我们可以想

象,随着光技术的不断发展,当人类跨入光子时代,光信号将成为最便于处理和传输的信号。那时,传感器的概念就将随之发展成为:“把外界信息按一定规律转换成光信号输出的器件”。所以,传感器的概念是一个发展的概念,它将随着科学技术的不断进步而发展。这也是传感器没有一个确定、统一定义的原因。

由于传感器起到的的是一个“转换”作用,因此,传感器也叫作变换器、换能器或探测器。

一般情况下这些提法不会矛盾,可以等同,但在不同的技术领域中,有着不同的技术术语。在非电量电测技术中,传感器一词是和工业测量联系在一起的,即实现非电量转换成电量的器件称之为传感器。由于传感器起到的的是一个转换作用,因此也叫变换器。当传感器输出的电信号为标准输出信号时,也称为变送器。

在水声和超声波等技术中,强调的是能量的转换,如压电元件可以起到机—电或电—机能量的转换作用,所以把这种可以进行能量转换的器件称之为换能器;对于硅太阳能电池来说,也是一种换能器件,它将光能转换成电能输出,但在这类器件上强调的是转换效率,习惯上叫转换器。

2. 传感器的物理定律

这里所说的传感器的物理定律,是指在传感器的设计和使用过程中所必须遵循的物理定律,它们都是物理学的基本定律,可分为四大类:守恒定律、统计法则、场的定律和物质定律。

(1) 守恒定律

表示物理量随着空间和时间的移动,其总量保持不变。包括能量守恒、动量守恒和电荷守恒等定律。传感器与被测量之间能量转换时必须遵守守恒定律。

(2) 统计法则

是分子、原子、电子等运动的微观世界与能被直接观察的宏观世界相结合的定律,如热力学第二定律。这些统计法则常和传感器的工作状态有关。

(3) 场的定律

描述电场、磁场、物质场、重力场等在空间和时间上的变化规律。这些变化规律可由物理方程给出,这些物理方程可作为传感器工作的数学模型。例如,利用静电场定律研制的电容式传感器,利用电磁感应定律研制的电感式传感器等。利用场的定律构成的传感器称为结构型传感器。

(4) 物质定律

表示各种物质本身内在客观性质的定律。如虎克定律($F = kx$)、欧姆定律($U = R \cdot I$)等。这些客观性质常用表示物质固有性质的物理常数加以描述,常数的大小决定着传感器的主要性能。如虎克定律中的弹性系数 k 和欧姆定律中的电阻 R 。利用半导体物质法则——压阻、热阻、光阻、湿阻等效应,可分别做成压敏、热敏、光敏、湿敏等传感器件。基于物质定律构成的传感器称为物性型传感器。

例 1-1 举例说明结构型传感器和物性型传感器的区别。

结构型传感器是遵循场的定律构成的传感器,而物性型传感器是基于物质定律构成的传感器,如电容式传感器就是利用静电场定律研制的结构型传感器,而压敏传感器则是利用半导体材料的压阻效应制成的物性型传感器。

以电容式传感器为例,电容式传感器由固定极板和活动极板组成,如图 1-1 所示,设极板

间距为 d , 极板的有效长度为 l , 极板宽度为 b , 则极板面积为 $l \cdot b$, 这样一个电容器的电容为

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \cdot l \cdot b}{d} \quad (1-1)$$

当电容式传感器的活动极板发生位移 Δl 时, 电容器的极板有效面积将减小为 $(l - \Delta l) \cdot b$, 这时, 电容器的电容变为

$$C = C_0 - \Delta C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r (l - \Delta l) b}{d} \quad (1-2)$$

化简得

$$\frac{\Delta C}{C_0} = 1 - \frac{l - \Delta l}{l} = \frac{\Delta l}{l} \quad (1-3)$$

则输出灵敏度

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta l} = \frac{C_0}{l} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \cdot b}{d} \quad (1-4)$$

由此我们看到, 对于电容式传感器, 它的输出灵敏度是由极板的尺寸 b 、极板间距离 d 、极板间介质的性质 ϵ_r 决定的, 而与构成传感器的具体物质——极板材料无关。

而对压敏传感器, 它是利用半导体材料的压阻效应制成的。所谓的“压阻效应”, 是指对半导体材料施加压应力时, 材料除产生变形外, 其电阻率 ρ 也要发生变化, 如图 1-2 所示。这里, 电阻率 ρ 的变化情况除与外加压应力的大小有关外, 还与半导体材料的性质有关。例如, 在构成压敏传感器的半导体硅片中, 掺入不同种类的杂质(硼 B 或磷 P), 或者掺入杂质的浓度不同, 都会使压敏传感器的特性受到决定性的影响。因此, 对于压敏传感器这类物性型传感器来说, 其特性与构成传感器的物质的性质有密切关系。

通过比较可以看出, 结构型传感器的特性主要由其结构参数决定, 与构成传感器的物质的性质无关, 而物性型传感器的特性则主要由构成传感器的物质的性质决定。一般来说, 结构型传感器的性能由于与物质的性质无关, 因此性能稳定, 不易受环境温度的影响。目前, 结构型传感器在工业测量等方面应用广泛, 但制造性能良好的结构型传感器, 要求很高的熟练技术, 成本较高。与此对照, 物性型传感器却随着半导体技术和物性物理学的飞速发展正迅速地发展起来。这种物性型传感器与集成电路(IC)的生产一样, 随着产量的增大, 成本显著降低, 物性型传感器是今后传感器的发展方向之一, 所占的比例将不断增大。

3. 传感器的组成

传感器由敏感元件、传感元件和其它辅助部件组成, 如图 1-3 所示。

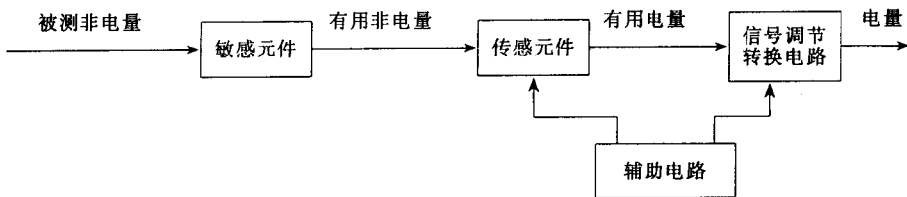


图 1-3 传感器组成框图

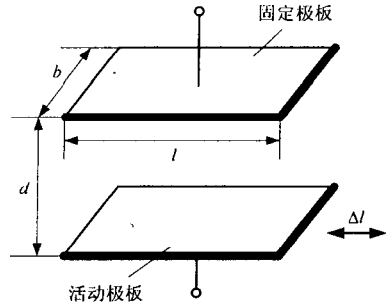


图 1-1 电容式传感器

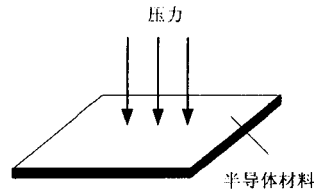


图 1-2 压阻效应

- 敏感元件 直接感受被测非电量,并按一定规律转换成与被测非电量具有确定关系的有用非电量。

- 传感元件 又称变换器,将敏感元件感受到的有用非电量直接转换成电量。

- 信号调节与转换电路 把传感元件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理和控制的有用电信号。

- 辅助电路 包括电源等环节。

对于结构型和物性型传感器而言,其传感器的组成是不同的。

对于物性型传感器,其组成环节比较简单,如图 1-4 所示。它没有敏感元件,传感元件能直接感受被测非电量而输出电量。例如,对于半导体压敏传感器,被测非电量“压力”作用在传感元件上时,传感元件直接将它转换为电阻(率)的变化,即直接转换成了有用电量输出。这里,传感器组成中就没有敏感元件。

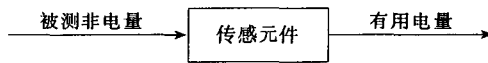


图1-4 物性型传感器的组成框图

对于结构型传感器,一般则包括敏感元件和传感元件两个环节,即被测非电量通过敏感元件转换为有用非电量,再由传感元件转换为有用电量输出,如图 1-5 所示。

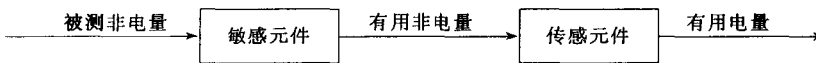


图1-5 结构型传感器的组成框图

例 1-2 大吨位电容式称重传感器。

大吨位电容式称重传感器基于电容式传感器原理,结构如图 1-6 所示,它由定极板、动极板、弹性体、极板绝缘体等部分组成。设极板间距为 d ,

则传感器的初始电容为 $C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$, A 为极板有效面积。这种大吨位称重传感器一般埋于地下,当载重车辆在上面经过时,弹性体受压力作用而产生形变,反应为动极板的上下位移,导致极板间距离减小为 d' ,电容量也发生相应的变化,变为 $C' = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d'}$ 。

这里,被测非电量为外界压力,弹性体则作为敏感元件,将外界压力转换为电容器极板间距离的变化,这是一个有用非电量,然后,再经电容传感器这个传感元件,将其转换为有用电量(电容量 C) 输出。

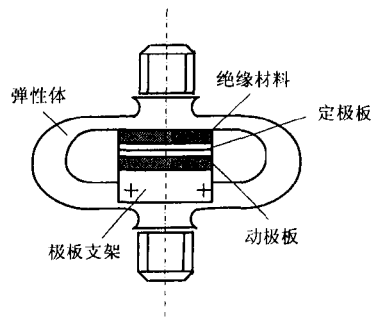


图 1-6 大吨位电容式称重传感器

实际上,传感器的具体构成方法,根据被测对象、转换原理、使用环境及性能要求等具体情况不同,有很大差异。从能量角度分析,典型的传感器构成方法有三种,这就是自源型、带激励源型和外源型。前二者属于能量转换型传感器,也称为有源型传感器;后者是能量控制型传感器,也称为无源型传感器。

1) 自源型

这是最简单、最基本的传感器构成型式,如图 1-7 所示,只含有转换元件。自源型传感器的特点是不需要外能源,其转换元件能从被测对象直接吸取能量,并转换成电量输出,但输出电量较弱。例如,热电偶、压电器件等都属于这类自源型传感器。

例 1-3 热电偶传感器。

图 1-8 是热电偶传感器的原理示意图。热电偶是利用热电效应构成的传感器,即将两种不同性质的导体 A、B 组成回路,若结点(1)、(2)处于不同温度时, $T \neq T'$,两者间将产生热电势,回路中形成电流,电流的大小与两结点的温度差有关。

这里,被测量是结点温度,热电偶传感器将被测温度场的能量(热量)直接转换为电量的输出,并没有需要其它外能源。因此,它是一种自源型传感器,属于能量转换型传感器。

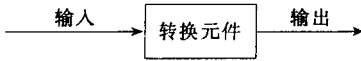


图 1-7 自源型传感器的构成

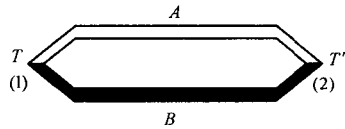


图 1-8 热电偶传感器的原理示意图

2) 带激励源型

带激励源型传感器由转换元件和辅助能源两部分组成,如图 1-9 所示。这里的辅助能源起激励作用,可以是电源或磁源。它的特点是,不需要变换电路,即可有较大的电量输出。例如,磁电式传感器、霍尔等电磁式传感器都属于带激励源型传感器。

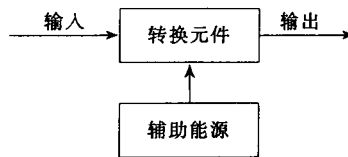


图 1-9 带激励源型传感器的构成

例 1-4 霍尔电磁感应式传感器。

图 1-10 所示的霍尔电磁感应传感器是依据霍尔效应制成的。所谓的霍尔效应是指,将一载流导体放在磁场中,如磁场方向(z 方向)与电流方向(x 方向)正交,则在与磁场和电流两者垂直的方向上(y 方向),将会出现横向电势,即霍尔电势,其大小为

$$U_H = K_H \cdot I \cdot B = \frac{R_H}{d} \cdot I \cdot B \quad (1-5)$$

式中 K_H ——霍尔灵敏度;

R_H ——霍尔系数;

d ——霍尔元件的厚度。

由此可见,对于霍尔电磁式传感器,假设被测量为外加磁场,则转换元件(霍尔传感器)需在辅助能源(激励电流)的作用下,将磁场 B 的变化转换为电量(霍尔电势

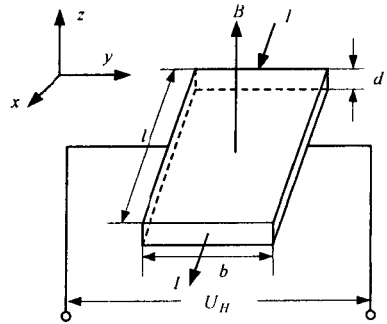


图 1-10 霍尔效应示意图

U_H) 的输出。它是一种带激励源型传感器,仍属于是能量转换型传感器。

例 1-5 磁电式传感器。

图 1-11 所示的磁电式传感器是根据电磁感应定律制成的。“电磁感应定律”是指,变化的磁场产生电场,即当 W 匝线圈在均恒磁场中运动时,设通过线圈的磁通为 Φ ,则线圈内产生的感应电势 e 与磁通变化率 $\frac{d\Phi}{dt}$ 的关系为

$$e = -W \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-6)$$

根据电磁感应定律,可以制成磁电式传感器。

磁电式传感器由永久磁铁、线圈和动铁心等部分组成。永久磁铁和线圈固定不动,当动铁心上下移动时,使永久磁铁和动铁心之间的气隙 δ 变化,同时,磁路磁阻也发生变化,引起线圈内磁通的变化,即 $\frac{d\Phi}{dt}$ 变化,这样,在线圈中将产生感应电势。这里,被测量是动铁心上下移动的距离,辅助能源是永久磁铁与动铁心构成的磁源,磁电式传感器在辅助能源(磁源)的激励下,将被测量(气隙 δ 的变化)转换为线圈感应电势输出。因此,这种磁电式传感器属于带激励源型传感器,是一种能量转换型传感器。

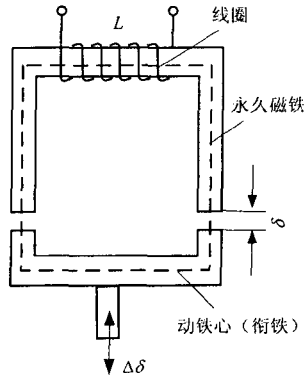


图 1-11 磁电式传感器原理图

3) 外源型

外源型传感器由转换元件、变换电路和外加电源组成,见图 1-12。这里的“变换电路”是指信号调理与转换电路,把转换元件输出的电信号,调理成便于显示、记录、处理和控制的可用信号,例如电桥、放大器、振荡器、阻抗变换器及脉冲调宽电路等。可见,外源型传感器必须通过带外电源的变换电路,才能获得有用的电量输出,这与前面介绍的属于能量转换型的自源型、带激励源型传感器显著不同,外源型传感器是一种能量控制型传感器。

实际使用中的传感器,其特性要受到环境变化的影响。为消除环境干扰的影响,目前广泛采用的线路补偿法有三种构成形式,即相同传感器的补偿型、差动结构补偿型和不同传感器的补偿型。

相同传感器的补偿型如图 1-13 所示,采用两个完全相同的转换元件,并置于同一环境中,其中一个转换元件接受输入信号和环境影响,另一个只接受环境影响,然后通过线路,使后者消除前者环境干扰的影响。这种方法在应变式传感器中常被采用。

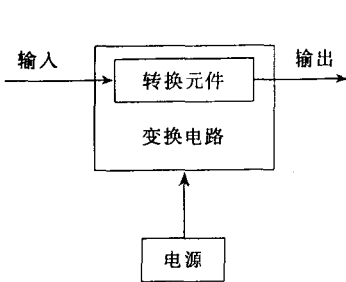


图1-12 外源型传感器的构成

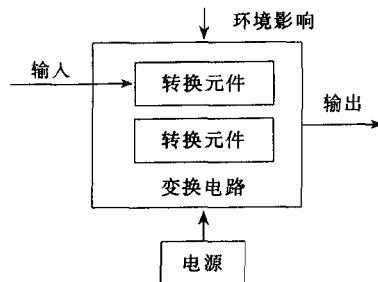


图1-13 相同传感器补偿型的构成