



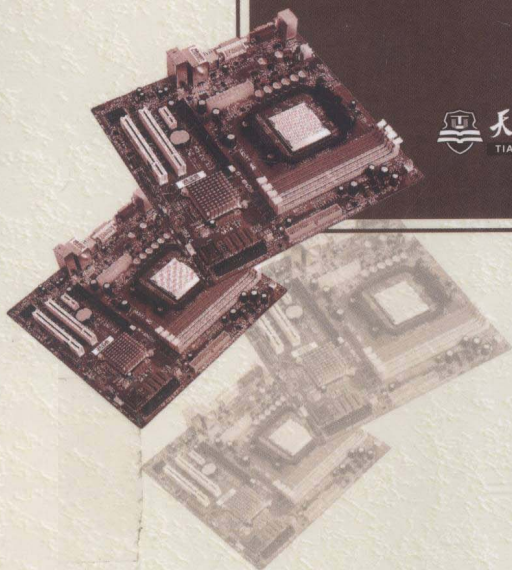
卓越系列·

21世纪高等职业教育创新型精品规划教材

传感器应用技术

主 编 姜树杰
副主编 李 辉 耿青涛

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS



21 世纪高等职业教育创新型精品规划教材

传感器应用技术

主 编 姜树杰

副主编 李 辉 耿青涛



内 容 提 要

本书系统地介绍了各类常用传感器的基本概念、工作原理、主要特性、测量电路及其典型应用,并介绍了基于传感器的微机接口技术、测量电路的干扰以及抗干扰措施。

本书取材广泛、内容丰富,并注重知识的实用性和适用性。以职业岗位能力为核心目标,叙述简练,力求新颖,学用结合,便于读者学习和理解。为正确、灵活地应用传感器进行非电量测量打下必备基础。

本书可作为高等职业院校电气自动化、应用电子技术、机电一体化技术、计算机应用技术等专业的教学用书,也可作为相关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器应用技术/姜树杰主编. —天津:天津大学出版社,2010.2

(卓越系列)

21 世纪高等职业教育创新型精品规划教材

ISBN 978-7-5618-3392-6

I. ①传… II. ①姜… III. ①传感器 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 019920 号

出版发行 天津大学出版社

出 版 人 杨欢

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742

网 址 www.tjup.com

印 刷 天津泰宇印务有限公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 169mm × 239mm

印 张 10.75

字 数 220 千

版 次 2010 年 2 月第 1 版

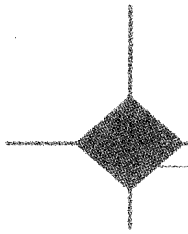
印 次 2010 年 2 月第 1 次

印 数 1 - 3 000

定 价 25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究



前言

本教材从职业岗位需求入手,以工业自动化控制系统中传感器的典型工作任务为导向,对传感器原理及其应用重新组合,重点讲述了各种传感器的基本物理效应、工作原理以及典型结构,并强调各种传感器在工程实际中的应用。

本书由天津冶金职业技术学院教师姜树杰、李辉、耿青涛共同编写。其中,姜树杰编写任务一、二、三、四,李辉编写任务五、七、九、十一,耿青涛编写任务六、八、十。全书由姜树杰统稿。

受编者水平所限,书中难免存在一些问题,希望有关专家和读者批评指正。

在本书的编写过程中,作者参阅了许多同行专家们的论著和文献,在此一并真诚致谢。

编者
2009.6

目 录

任务一 传感器技术基础	(1)
情境一 传感器概述	(1)
情境二 传感器现状和发展趋势	(4)
情境三 传感器的分类	(5)
情境四 传感器的特性和技术指标	(6)
要点回顾	(9)
习题1	(9)
任务二 参量型传感器	(10)
情境一 电阻应变式传感器	(10)
情境二 电感式传感器	(16)
情境三 电容式传感器	(24)
要点回顾	(29)
习题2	(30)
任务三 发电型传感器	(31)
情境一 压电式传感器	(31)
情境二 霍尔传感器	(35)
情境三 磁电式传感器	(39)
情境四 超声波传感器	(42)
要点回顾	(46)
习题3	(46)
任务四 力和压力的检测	(48)
情境一 力的检测	(48)
情境二 压力的检测	(50)
要点回顾	(54)
习题4	(54)
任务五 温度测量技术	(55)
情境一 膨胀式温度计	(56)
情境二 电阻式温度传感器	(59)
情境三 热电偶温度传感器	(64)
情境四 集成温度传感器	(72)
要点回顾	(76)
习题5	(76)
任务六 位移和速度的测量	(78)
情境一 位移的测量	(78)

情境二 速度的测量	(84)
要点回顾	(89)
习题 6	(89)
任务七 物位检测技术	(91)
情境一 导电式水位传感器	(91)
情境二 压差式液位传感器	(93)
情境三 磁致伸缩液位传感器	(94)
情境四 电容式物位传感器	(95)
要点回顾	(98)
习题 7	(98)
任务八 光电检测技术	(99)
情境一 光电效应和光电器件	(99)
情境二 CCD 摄像传感器及其应用	(110)
情境三 光纤传感器及其应用	(114)
要点回顾	(118)
习题 8	(118)
任务九 接近开关技术	(120)
情境一 电涡流式接近开关	(120)
情境二 电容式接近开关	(121)
情境三 霍尔式接近开关	(122)
情境四 光电式接近开关	(123)
要点回顾	(125)
习题 9	(125)
任务十 检测技术和抗干扰技术	(126)
情境一 检测技术	(126)
情境二 抗干扰技术	(135)
要点回顾	(142)
习题 10	(143)
任务十一 接口技术	(144)
情境一 传感器信号预处理电路	(144)
情境二 传感器信号的检测和转换	(147)
要点回顾	(156)
习题 11	(157)
附录 A 热电阻分度表	(158)
附录 B 热电偶分度表	(160)
参考文献	(163)

任务一 传感器技术基础

任务要求

掌握传感器的组成、作用和分类方法。

熟悉传感器的特性和性能指标。

情境一 传感器概述

随着新技术革命的到来,人类已经进入信息时代。传感器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,它相当于人类的“感官”。

人们在利用信息的过程中,首先要获取信息,而传感器是获取信息的主要手段和途径。在现代化工业生产过程中,面临的首要问题是:为使设备或系统能正常运行并处于最佳状态,必须采用各种传感器进行检测、监视和控制各种静、动态参数,从而保证生产的高效率、高质量。传感器的作用就是测量,而精确的测量是实现精确控制的关键。如果没有传感器对原始参数进行准确、可靠和实时的测量,则无论信息分析处理和传输的功能多么强大,都没有任何实际的意义。可见进行信息采集的传感器技术是后期信息分析、处理、加工和控制等技术的基础。换言之,传感器是科学测量系统和自动控制系统中获取信息的首要环节和关键技术。

目前传感器涉及的领域广泛,诸如现代大工业生产、基础学科研究、宇宙开发、海洋探测、军事国防、环境保护、资源调查、医学诊断、智能建筑、汽车、家用电器、生物工程、商检质检、公共安全乃至文物保护等。图 1-1 所示为实际应用中的各种不同用途

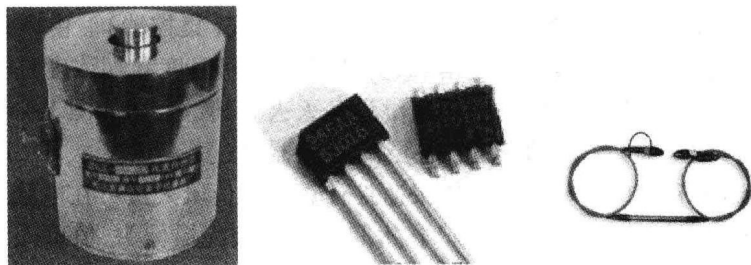


图 1-1 不同用途的传感器

的传感器。

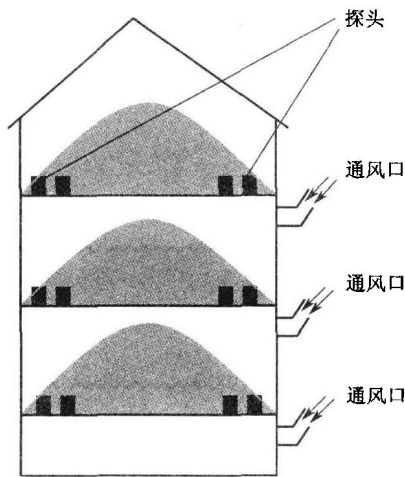


图 1-2 粮仓的温度和湿度检测

例一：粮仓的温度和湿度检测。

无论是金属粮仓还是土制粮仓,为防止霉变,粮食都分层存放,仓内温度和湿度不能过高,为此,需在各层安放温度和湿度传感器进行检测。装有温度和湿度探头的粮仓示意图如图 1-2。

将各层探头输出接至温度和湿度巡检仪上,通过巡检仪监视器监视各点温度和湿度情况。通过通风口保持温度和湿度在要求范围内。

例二：日常生活中的电冰箱、洗衣机、电饭煲、音像设备、电动自行车、空调器、照相机、电热水器、报警器等家用电器都安装了传感器,如图 1-3 所示。



图 1-3 装有传感器的家用电器

例三：感温和感烟火灾报警器。

该报警检测系统是在每一房间安放一对感温和感烟探头(智能传感器),由它们输出的温度和浓度信号通过串行通讯线送入检测系统(集控器)。由微机组成的集控器负责汇总各房间的温度和浓度信号,并监控各房间温度和烟浓度是否异常。如发生异常,则发出声光报警,同时打开喷淋设备灭火。其示意图如图 1-4 所示。

该系统每楼层装置一台集控器,各层的集控器通过 CAN 总线、M—BUS 总线等现场总线将温度和浓度等信号送入中央监控计算机。值班人员可在电脑屏幕上直观监视各房间情况(温度和烟雾浓度)。在房间及楼道装配摄像头,值班人员可通过电视屏幕查看房间及楼道情况。由此可见,如没有感温和感烟传感器,就像人缺少感官不能正常生活,系统也无法工作。

一、传感器的定义

根据中华人民共和国国家标准(GB 7665—87),传感器是一种能感受规定的被测物理量并按照一定的规律转换为可用输出信号的器件和装置。传感器的定义涵盖以下内容:

- (1) 传感器是能完成检测的测量装置;
- (2) 传感器的输入量是被测的某一物理量(主要为非电量);

- (3) 传感器的输出量应便于传输、转换、处理、显示(主要为电量)。

因此,可将传感器理解为换能器的一种,特指它可将非电量转换为电量。

二、传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、基本电路 3 部分组成,如图 1-5 所示。

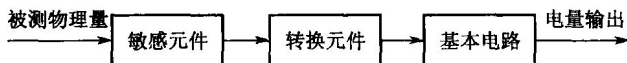


图 1-5 传感器结构图

在完成由非电量到电量的转换过程中,并非所有的非电量参数都能一次直接转换为电量,往往是先转换成一种易于转换成电量的非电量(如位移、应变等),然后再通过适当的方法转换成电量。所以,把能够完成预转换的器件称为敏感元件。敏感元件直接感受被测物理量,并输出与被测物理量成确定关系的物理量。例如建立在力学结构分析上的各种类型的弹性敏感元件(如梁、板等)。而转换元件是能将感觉到的被测非电量参数转换为电量的器件。敏感元件的输出就是转换元件的输入。转换元件是传感器的核心部分,是利用各种物理、化学、生物效应等原理制成的。新的物理、化学、生物效应的发现常被用到新型传感器上,使其品种与功能日益增多且应用领域更加广阔。

应该指出,并不是所有的传感器都包括敏感元件和转换元件,有一部分传感器不需要起预转换作用的敏感元件,如热敏电阻、光电器件等。

三、传感器的作用和特点

传感器是控制系统中的第一个环节,它感受物理量的变化,以完成对被测信号的拾取和检测。检测是实现控制的第一步,没有精确的检测就没有精确的控制。

采用传感器对非电量进行电测具有如下特点:

- (1) 可进行微量检测,其精度高、速度快;
- (2) 可实现远距离遥测及遥控;
- (3) 可实现无损检测;

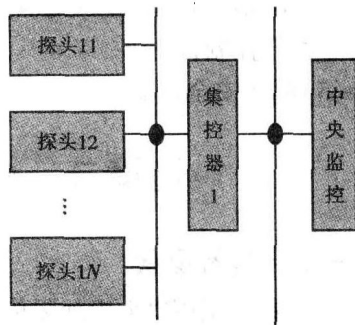


图 1-4 感温、感烟火灾报警系统

(4)可利用计算机技术对测量数据进行运算、存储和处理,并根据处理结果对被测对象进行控制;

(5)测量安全可靠。

情境二 传感器现状和发展趋势

一、传感器现状

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”等一系列政策的指导和资金的支持下,我国的传感器技术及产业取得了较快发展。虽然起步较晚,但成绩斐然。中国在航空、航天领域所取得的成果揭示了我国的传感器技术已处于世界领先地位。目前我国有近 2 000 家传感器研发机构,产品种类繁多,其中约 1/2 产品销往国外。

传感器技术的发展大体可分三代。

第一代传感器是结构型传感器,它利用结构参量的变化感受和转化信号。

第二代传感器是 20 世纪 70 年代发展起来的固体型传感器,这种传感器由半导体、电介质、磁性材料等固体元件构成,利用材料的某些特性制成。例如,利用热电效应、霍尔效应、光敏效应,分别制成热电偶传感器、霍尔传感器、光敏传感器。

第三代传感器是在第二代基础上刚刚发展起来的智能型传感器,是微型计算机技术与检测技术相结合的产物,使传感器具有一定的人工智能。

传感器材料是传感器技术发展的重要基础,随着材料科学的进步,人们可制造出各种新型传感器。例如,利用高分子聚合物薄膜制成温度传感器,利用光导纤维制成压力、流量、温度、位移等多种传感器,利用陶瓷制成压力传感器。

二、传感器的发展趋势

1. 向高精度发展

随着自动化生产程度的不断提高,对传感器的要求也不断提高。因此,必须研制出灵敏度高、精确度高、响应速度快、互换性好的新型传感器以确保生产自动化的可靠性。目前能生产精度在万分之一以上的传感器的厂家为数很少,其产量也远远不能满足需求。

2. 向高可靠性和宽温度范围发展

传感器的可靠性直接影响电子设备的抗干扰等性能,研制高可靠性和宽温度范围的传感器将是永久性的发展方向。提高温度范围历来是研究的大课题,大部分传感器工作温度范围为 $-20 \sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$,军用系统的传感器工作温度范围为 $-40 \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$,而汽车、锅炉等的传感器工作温度范围为 $-20 \sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$,在冶炼、焦化等方面对传感器工作的温度要求更高,因此,开发新型材料(如陶瓷等)的传感器将很有前途。

3. 向微型化发展

各种控制仪器设备的功能越来越强,要求各个部件所占位置越小越好,因而传感

器本身体积也是越小越好,这就要求开发新型材料及加工技术,如目前采用硅材料制作的体积较小的传感器就是微型化的一种。传统的加速度传感器是由重力块和弹簧等制成的,体积较大、稳定性差、寿命也短;而利用激光技术等各种微细加工技术制成的硅加速度传感器体积小,互换性能和可靠性能都较好。

4. 向低功耗和无源化发展

传感器一般都是非电量向电量的转化装置,工作时离不开电源,在野外现场或远离电网的地方,往往必须用电池或用太阳能等供电。因此,开发低功耗的传感器及无源传感器是必然的发展方向,这样既可以节省能源又可以提高系统寿命。目前,低功耗损的芯片发展很快,如 TI2702 运算放大器的静态功耗只有 1.5 mW,而工作电压只需 2~5 V。

5. 向智能化数字化发展

随着现代化工业的需求变化,传感器的功能已不受传统功能所限,其输出不再是单一的模拟信号(如 0~10 mV),而是经过微电脑处理后的数字信号,有的还带有控制功能,即所谓的数字传感器。如电子血压计,智能水、电、煤气、热量表。它们的特点是传感器与微型计算机结合,构成智能传感器,最大程度地实现系统的功能。

传感器的工作机理是以各种物理效应、反应和现象为基础。重新认识如压电效应、热释电现象、磁阻效应等物理现象以及各种化学反应和生物效应,并充分利用这些现象和效应,设计制造各种用途的传感器,是传感器技术领域的重要工作。同时还要开展基础研究,以求发现新的物理现象、化学反应和生物效应。各种新的现象、反应和效应的研究将极大地扩展传感器的检测极限和应用领域。

随着物理学和材料科学的发展,人们已经在很大程度上能够根据对材料功能的要求来设计材料,并通过对生产过程的控制,制造出各种所需材料。目前最为成熟、先进的材料技术是以硅加工为主的半导体制造技术。例如,人们利用该项技术设计制造的多功能精密陶瓷气敏传感器具有很高的工作温度,弥补了硅(或锗)半导体传感器温度上限低的缺点,可用于汽车发动机空燃比控制系统,它极大地扩展了传统陶瓷传感器的使用范围。另外,有机材料、光导纤维等材料在传感器上的应用,也已成为传感器材料领域的重大突破,引起国内外学者的极大关注。

情境三 传感器的分类

为了更好地学习、研究和应用传感器,对传感器进行科学的分类是必需的。由于传感器种类繁多,知识技术密集,涉及诸多学科且应用领域广泛,而且新技术、新材料不断出现,新型传感器也在不断发展和变化,所以,国内外到目前为止尚没有统一的分类方法。经典的传感器常用分类方法如下。

一、按传感器工作原理分类

按不同的工作原理,传感器可分为电阻应变式、电感式、压电式、电容式、涡流式、

光电式、电磁式、热电式传感器等。这种分类方法的优点是对传感器的工作原理表达得比较清楚,而且类别少,有利于传感器专业工作者对传感器进行深入的研究分析。它的缺点是不便于使用者根据用途选用。

二、按传感器检测的物理量分类

按检测的物理量,传感器可分为加速度传感器、速度传感器、位移传感器、压力传感器、负荷传感器、扭矩传感器、温度传感器、成分传感器等。这种分类方法的优点是比较明确地表达了传感器的用途,便于使用者根据其用途选用。缺点是没有区分每种传感器在转换机理上有什么共性和差异,不便于使用者掌握其基本原理及分析方法。

三、按传感器的输出信号性质分类

按输出信号的性质,传感器可分为模拟式传感器和数字式传感器两类。

四、按能量的传递方式分类

按能量的传递方式,传感器可分为有源传感器和无源传感器两类。这两类传感器又分别称为发电型传感器和参量型传感器。

情境四 传感器的特性和技术指标

传感器一般要将各种信息量转换为电量。描述这种转换的输入与输出关系表达了传感器的基本特性。对不同的输入信号,其输出信号特性是不同的。对于快变信号和慢变信号,由于受传感器内部储能元件(电感、电容、质量块、弹簧等)的影响,它们的反应大不相同。对于快变信号要研究输出的动态特性,即输出信号随时间变化的特性;对于慢变信号要研究静态特性,即输出信号不随时间变化的特性。

一、传感器静态特性

当输入量(x)为静态(常量)或变化缓慢的信号(如温度、压力)时,传感器的静输入与输出关系称静态特性。通过静态测得 n 个数据对,利用数学拟合方法而成的曲线称为传感器的静态特性曲线。图 1-6 为传感器的几种典型静态特性曲线。

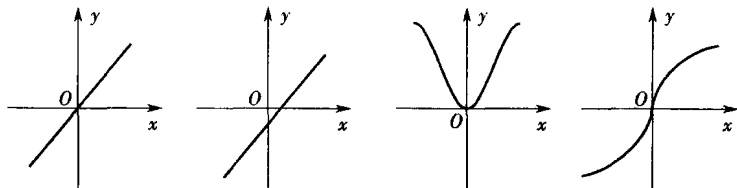


图 1-6 传感器的各种典型静态特性曲线

1. 线性度

对于理想的传感器,人们希望它具有单值、线性的输入输出关系,但由于实际传

传感器输入总有非线性(高次项)存在, $x-y$ (输入-输出)总是呈非线性关系。在实际处理中,一般在小范围内用割线、切线近似代表实际曲线,使输入输出线性化。如图 1-7 所示,近似后的直线与实际曲线之间存在的最大偏差称为传感器的非线性误差——线性度,通常用相对误差表示,即

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

式中: $\Delta L_{\max}$ 为最大非线性绝对误差; y_{FS} 为满量程输出; γ_L 为线性度。

2. 灵敏度

在稳定条件下,输出微小增量与输入微小增量的比值称为灵敏度 S ,用下式表示:

$$S = dy/dx \quad (1-2)$$

对于线性传感器,灵敏度就是直线的斜率;对于非线性传感器,灵敏度为一变量。

3. 迟滞

传感器在正、反行程期间,输入与输出曲线不重合的现象称迟滞,如图 1-8 所示。产生这种现象的原因是由敏感元件材料的物理性质缺陷而造成。例如,弹性元件的迟滞,铁磁体、铁电体在外加磁场、电场的迟滞。

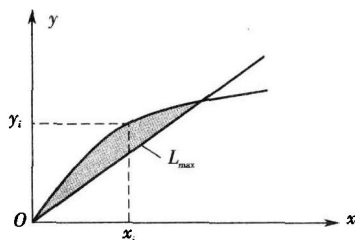


图 1-7 线性度

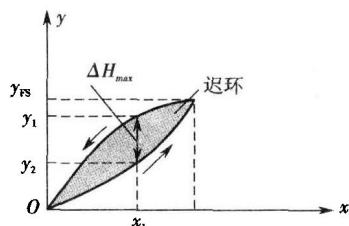


图 1-8 迟滞

迟滞误差一般由下式表示:

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

$$\Delta H_{\max} = y_2 - y_1 \quad (1-4)$$

式中: $\Delta H_{\max}$ 为正、反行程输出值间的最大差值; y_{FS} 为满量程输出值; γ_H 为迟滞误差。

4. 不重复性

传感器输入量按同一方向做多次测量时,输出特性不一致的程度称为不重复性,如图 1-9 所示。不重复性属于随机误差,用最大重复偏差 γ_R 表示:

$$\gamma_R = \pm \frac{R_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中: $R_{\max}$ 一般为 3 次测量输出中的最大值差。

不重复性主要由传感器的机械部分的磨损、间隙、松动、部件的内摩擦、积尘、电

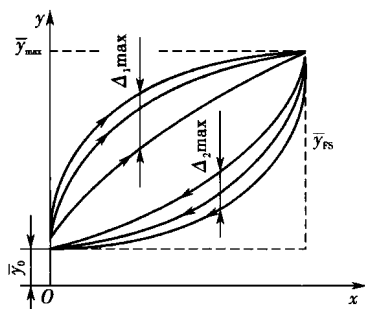


图 1-9 不重复性

路老化、工作点漂移等原因所致。多次测试的曲线越靠近,其重复性越好,误差越小。

5. 漂移

漂移是指在外界的干扰下,输出量发生与输入量无关的、不需要的变化。

时间漂移是指在规定的条件下,零点或灵敏度随时间的缓慢变化。

二、传感器动态特性

传感器的动态特性是指传感器的输出对随时间变化的输入量的响应特性。动态特性反映输出值真实再现变化着的输入量的能力。通常要求传感器不仅能精确地显示被测物理量的大小,而且还能复现被测物理量随时间变化的规律,这是传感器的重要特性之一。但是,除了理想情况外,实际传感器的输出信号与输入信号之间会出现误差。研究传感器的动态特性主要是从测量误差角度分析产生动态误差的原因以及改善措施。

由于传感器在实际工作中随时间变化的输入信号是千变万化的,而且由于随机因素的影响,往往事先无法知道其特性,所以,具体研究传感器的动态特性时,最常用的是通过几种特殊的输入时间函数确定若干评定动态特性的指标。例如,用阶跃函数作为输入来研究其动态特性,这种方法称为阶跃响应法。

给传感器的输入端加入如图 1-10 所示的单位阶跃信号

$$X(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases} \quad (1-6)$$

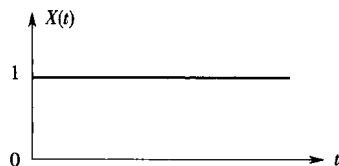


图 1-10 单位阶跃信号

在传感器的输出端得到输出随时间变化的特性,如图 1-11 所示。

表征阶跃响应特性的主要技术指标有:上升时间、响应时间、峰值时间、超调量、时间常数、延迟时间等。主要技术指标定义如下。

- (1) 上升时间 t_r : 输出由稳态值的 10% 变化到稳态值的 90% 所需的时间。
- (2) 响应时间 t_s : 系统从阶跃输入开始到输出值进入稳态值所规定的范围内所需的时间。
- (3) 峰值时间 t_p : 阶跃响应曲线达到第一个峰值所需的时间。
- (4) 超调量 σ : 传感器输出超过稳态值的最大值 ΔA 相对于稳态值的百分比。

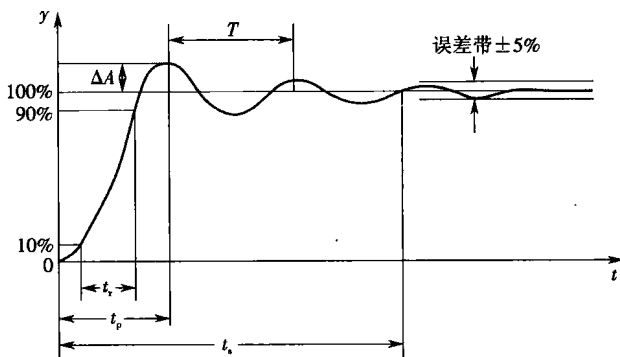


图 1-11 输出特性

要点回顾

能感受(或响应)规定的被测物理量并按照一定的规律转换为可用输出信号的器件或装置称为传感器。传感器由敏感元件、转换元件和基本电路组成。

传感器的分类方法包括按被测物理量分类和按传感器工作原理分类等。

传感器的静态特性指标有:线性度、灵敏度、迟滞、不重复性、漂移。

传感器的动态特性指标有:上升时间、响应时间、峰值时间、超调量。

习题 1

- 1-1 试述传感器的组成和在检测中的作用。
- 1-2 传感器的分类方法有哪几种? 各有什么优缺点?
- 1-3 传感器的静态性能指标有哪些? 其含义是什么?
- 1-4 什么是传感器的动态特性? 采用什么样的激励信号? 其含义是什么?

任务二 参量型传感器

任务要求

熟悉电阻应变式、电容式、电感式传感器的组成和工作原理。

了解不同传感器各自的特点及其应用。

按能量的不同来源,传感器可分为发电型(有源传感器)和参量型(无源传感器)两类。对于前者,可以把传感器视为一台微型发电机,能将非电功率转换为电功率,它所配备的测量电路通常是信号放大器,即有源传感器是一种能量变换器,如压电式、热电式、电磁式、电动式传感器等。无源传感器不能直接进行能量的转换,被测非电量仅对传感器中的某些电参量起控制和调节作用,如引起电阻、电感、电容等参量的变化,即参量型传感器必须具有辅助电源,它所配备的测量放大器和发电型传感器不同,通常为电桥电路或谐振电路等。

情境一 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器是一种利用电阻材料的应变效应,将工程结构件的内部变形转换为电阻变化的传感器。这类传感器通常通过在弹性元件上采用特定工艺粘贴电阻应变片而构成,经过一定的机械装置将被测物理量转化为弹性元件的变形,然后由电阻应变片将变形转换为电阻的变化,再通过测量电路进一步将电阻的改变转换为电压或电流信号输出。电阻应变式传感器结构如图 2-1 所示,其测量的关键是基于物体的形变。

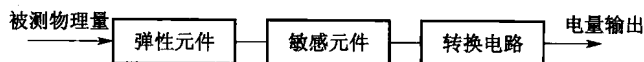


图 2-1 电阻应变式传感器结构示意图

电阻应变式传感器可用于能转化为变形的各种非电物理量的检测,如力、气体(液体)压力、加速度、力矩、重量等。它在机械加工、计量、建筑测量等行业应用广泛。

一、弹性敏感元件

弹性敏感元件把力或压力转换为应变或位移,然后再由转换电路将应变或位移转换为电信号。弹性敏感元件是电阻应变式传感器中一个关键性的部件,它应具有良好的弹性、足够的精度,并能保证长期使用和温度变化时的稳定性。

1. 弹性敏感元件的特性参数

1) 刚度

刚度是弹性敏感元件在外力作用下变形大小的量度,用 k 表示,即

$$k = \frac{dF}{dx} \quad (2-1)$$

式中: F 为作用在弹性敏感元件上的外力; x 为弹性敏感元件的变形量。

2) 灵敏度

灵敏度是指弹性敏感元件在单位力的作用下产生变形的大小,它是刚度的倒数,用 S 表示。在测控系统中希望它是常数。

3) 弹性滞后

实际的弹性元件在加载、卸载的正反行程中变形曲线是不重合的,这种现象称为弹性滞后现象,如图 2-2 所示。它会给测量带来误差。当比较两种弹性材料时,应都用加载变形曲线或都用卸载变形曲线才有可比性。

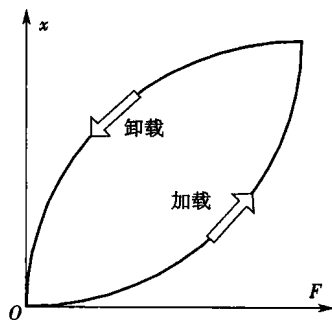


图 2-2 弹性滞后

4) 弹性后效

当载荷从某一数值变化到另一数值时,弹性元件变形不是立即完成相应的变形,而是经一定的时间间隔逐渐完成的,这种现象称为弹性后效。

由于弹性后效的存在,弹性敏感元件的变形始终不能迅速地跟随力的变化,在动态测量时将会引起测量误差。

2. 弹性敏感元件的分类

1) 变换力的弹性敏感元件

变换力的弹性敏感元件大都采用等截面柱式(实心截面或空心截面)、圆环、薄板、悬臂梁、轴状等结构。图 2-3 为几种常见的变换力的弹性敏感元件。

- (1) 等截面柱式弹性敏感元件:结构简单,可承受很大载荷。
- (2) 圆环式弹性敏感元件:具有较高的灵敏度,适用于较小力的测量。
- (3) 悬臂梁式弹性敏感元件:加工方便,应变和位移较大。

2) 变换压力的弹性敏感元件

(1) 弹簧管弹性敏感元件:弹簧管又叫布尔登管,它是弯成各种形状的空心管,管子的截面形状有多种,但使用最多的是 C 形薄壁空心管,如图 2-4 所示。C 形弹簧管的一端密封但不固定,成为自由端,另一端连接在管接头上且固定。当流体压力通