



职业教育创新教材

传感器应用技术

◆ 丛书主编 马成荣 ◆ 丛书副主编 冯志军 谢传兵 赵杰
◆ 主编 张跃东 姚卫



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

传感器应用技术

张跃东 姚 卫 主 编

鲍 敏 李锦霞 副主编

林海翔 张海艳

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书遵循学生职业能力培养的基本规律,将典型传感器的基础知识和应用技术按项目进行整合,主要介绍传感器的基本概念及特性,温度测量系统、压力测量系统、物位测量系统的设计与调试,位移传感器的使用,以及各种光敏及气敏传感器的工作原理及应用。在传感器应用实例中,分别介绍传感器在机器人中的应用、传感器在楼宇智能化中的应用、车用传感器,以及传感器在医学领域中的应用。

本书内容以工程应用为载体,各项目融合常用传感器的基础知识和实际应用,知识讲解简明扼要、原理分析通俗易懂,并配备相应的插图和实践方案。在内容安排上也是由简到繁,逐步深入,便于读者理解,起到举一反三的效果。

本书可作为高职和中职电子技术应用专业、数控及自动化专业、机电一体化专业等课程的教材,也可作为机电工程技术人员的参考书和自学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

传感器应用技术 / 张跃东, 姚卫主编. —北京: 电子工业出版社, 2015.5

ISBN 978-7-121-25293-8

I. ①传… II. ①张…②姚… III. ①传感器—高等学校—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 305557 号

策划编辑: 施玉新

责任编辑: 李蕊

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 10.5 字数: 268.8 千字

版 次: 2015 年 5 月第 1 版

印 次: 2015 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

本书贯彻专业与产业、职业岗位对接，专业课程内容与职业标准对接，教学过程与生产过程对接的职教理念，在内容编排上遵循学生职业能力培养的基本规律，以真实工作任务及其工作过程为依据，整合教学内容，科学设计学习性工作任务。

全书由六个项目和传感器应用实例组成，参考学时 60 学时（含实验、实训）。项目一介绍传感器的基本概念及特性等。项目二～项目四分别介绍温度测量系统、压力测量系统、物位测量系统的设计与调试。项目五介绍位移传感器的使用。项目六介绍各种光敏及气敏传感器的工作原理及应用。传感器应用实例中介绍了传感器在机器人中的应用、传感器在楼宇智能化中的应用、车用传感器，以及传感器在医学领域中的应用。

本书项目一、项目二、传感器应用实例由江苏省南京工程高等职业学校姚卫编写，项目三由泰兴中等专业学校鲍敏编写，项目四由仪征工业学校李锦霞编写，项目五由扬州高等职业技术学校林海翔编写，项目六由连云港市高级技工学校张海艳编写。全书由江苏省南京工程高等职业学校张跃东、姚卫主编。

由于时间仓促且编者水平有限，书中难免有错误与不足，恳请广大读者批评指正。

编 者
2015 年 2 月

目 录

上篇 传感器项目应用

项目一 认识传感器	(1)
项目二 温度测量系统的设计与调试	(8)
项目三 压力测量系统的设计与调试	(22)
项目四 物位测量系统的设计与调试	(45)
项目五 位移传感器的使用	(58)
项目六 光敏及气敏传感器	(68)

下篇 传感器应用实例

实例一 传感器在机器人中的应用	(82)
实例二 传感器在楼宇智能化中的应用	(91)
实例三 车用传感器	(98)
实例四 传感器在医学领域中的应用	(100)
附录 A 热电偶、热电阻分度表	(103)
附录 B 传感器选型表	(107)
参考文献	(162)

上篇 传感器项目应用

项目一 认识传感器



项目描述

我们生活的世界是由物质组成的，一切物质都处在永恒不停的运动之中。物质的运动形式很多，它们通过化学现象或物理现象表现出来。人们为了从外界获取信息，必须借助于感觉器官。人的体力劳动是通过人体五官（视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉）接收来自外界的信息，并将这些信息传递给大脑，在大脑中对这些信息进行运算、处理，然后传给肌体（如手足等）来执行某些动作。而单靠人们自身的感觉器官，在研究自然现象和规律是远远不够的。为适应这种情况，就需要传感器。因此可以说，传感器是人类五官的外延，又称为电五官。

表征物质特性或其运动形式的参数很多，根据物质的电特性，可分为电量和非电量两类。电量一般是指物理学中的电学量，如电压、电流、电阻、电容、电感等；非电量则指除电量之外的一些参数，如压力、流量、尺寸、位移量、重量、力、速度、加速度、转速、温度、浓度、酸碱度等。非电量不能直接使用一般电工仪表和电子仪器测量，因为一般电工仪表和电子仪器要求输入的信号为电量信号。在由电子计算机控制的自动化系统中，要求输入的信息也为电量信号。一些在特殊场合下的非电量，如炉内的高温、带有腐蚀性液体的液位、煤矿内瓦斯的浓度等无法进行直接测量，这也需要将非电量转换成电量进行测量。这种把被测非电量转换成与非电量有一定关系的电量，再进行测量的方法就是非电量电测法。实现这种转换的器件叫传感器。采用传感器技术的非电量电测法，是目前应用最广泛的测量技术。随着科学技术的发展，也出现了将光通量、化学量等作为可测量的传感器。现代科学技术使人类社会进入了信息时代，来自自然界的物质信息都需要通过传感器进行采集才能获取。传感器不仅充当着计算机、机器人、自动化设备的感觉器官及机电结合的接口，而且已渗透到人类生产、生活的各个领域。传感器技术对现代化科学技术、现代化农业及工业自动化的发展起到基础和支柱的作用，已被世界各国列为关键技术之一。可以说，“没有传感器就没有现代化的科学技术，没有传感器也就没有人类现代化的生活条件”，传感器技术已成为科学技术和国民经济发展水平的标志之一。

近年来，随着家电工业的兴起，传感器技术也进入了人们的日常生活之中，如电冰箱中的温度传感器、监视煤气溢出的气敏传感器、防止火灾的烟雾传感器、防盗用的光电传感器等。在机械制造业中，通过对机床的加工精度、切削速度、床身振动等许多静态、动态参数进行在线测量，可控制加工质量；在化工、电力等行业中，如果不随时对生产工艺过程中的温度、压力、流量等参数进行自动检测，在生产过程中就无法控制，甚至产生危险；在交通

领域,一辆现代化汽车所用的传感器多达数十种,用以检测车速、方位、转矩、震动、油压、油量、温度等,如图 1-1 所示;在国防科研中,传感器技术用得更多,许多尖端的检测技术都是因国防工业需要而发展起来的,如研究飞机的强度,就要在机身、机翼上贴几百片应变片,并进行动态特性的测试。

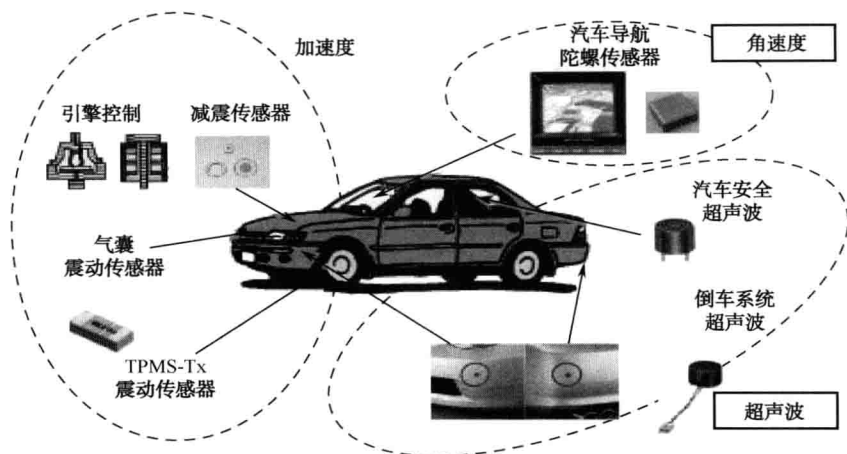


图 1-1 汽车上的传感器



学习目标及任务描述

本项目力求通过对传感器的作用与分类、传感器的基本特性、传感器的测量误差与精度的简要介绍,使读者对传感器技术涉及的一些基本概念有一定了解。



任务实施

1. 传感器的组成

传感器通常由敏感元件和测量转换电路组成,如图 1-2 所示。其中,敏感元件指传感器中能直接感受被测量的部分;传感元件指传感器中能将敏感元件输出转换为适于传输和测量的电信号部分。由于传感器输出信号一般都很脆弱,所以需要有信号调节与转换电路将其放大或转换为容易传输、处理、记录和显示的形式,这一部分一般称为测量转换电路。

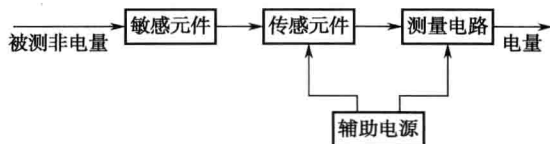


图 1-2 传感器的组成

传感器输出信号有很多形式,如电压、电流、频率、脉冲等,输出信号的形式由传感器的原理确定。常见的信号调节与转换电路有放大器、电桥、振荡器、电荷放大器等,它们分别与相应的传感器相配合。有些国家和学科领域,将传感器称为变换器、检测器或探测器等。

应该说明,并不是所有的传感器都能明显分清敏感元件、传感元件和测量转换电路三个部分,它们可能是三者合为一体。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用,传感器的测量转换电路可以安装在传感器的壳体里或与敏感元件一起集成在统一芯片上。例如,半导体气体传感器、湿度传感器等,它们一般都是将感受到的被测量直接转换为电信号,没有中间转换环节。

2. 传感器的定义和作用

传感器是能感受规定的被测量并按照一定规律转换成有用输出信号(一般为电信号)的器件或装置。

机电一体化技术是科学技术发展的必然产物,它使产品提高了自动化程度,提高了功能和经济效益。作为高科技代表的机电一体化系统一般由机械本体、传感器、控制装置和执行机构四部分组成。传感器将机械本体的工作状态、生产过程等工业参数转换成电量,从而便于采用控制装置使控制对象按给定的规律变化,推动执行机构适时地调整机械本体的各种工作参数,使机械本体处于自动运行状态,并实行自动监视和自动保护。显然,传感器是机械本体与控制装置的“纽带”和“桥梁”,在机电一体化系统中起着重要作用。

目前,传感器技术已成为一些发达国家的最重要的热门技术之一,其主要原因是它可以促进科学技术的飞跃发展,并给人们带来巨大的经济效益。可以说,自动化水平是衡量一个国家现代化水平的重要方面,而自动化水平是用传感器的种类、质量和数量来衡量的。

3. 传感器的分类

传感器名目繁多,分类方法不尽相同,常见的分类方式有以下几种。

1) 按工作原理分类

按工作原理可以分成参量传感器、发电传感器及特殊传感器。其中,参量传感器有触点传感器、电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器等;发电传感器有光电池传感器、热电偶传感器、霍尔式传感器、压电式传感器、磁电式传感器等;特殊传感器是不属于以上两种类型的传感器,如数字式传感器、光纤式传感器、红外探测器、激光检测等。

这种分类方式的优点是能把传感器按工作原理分类别的归纳起来,避免名目过多,且较为系统。

2) 按被测量性质分类

按被测量性质可以分成机械量传感器、热工作量传感器、成分量传感器、状态量传感器、探伤传感器等。其中,机械量有力、长度、位移、速度、加速等;热工作量有温度、压力、流量等;成分量传感器是检测各气体、液体、固体化学成分的传感器,如检测可燃性气体泄漏的气敏传感器;状态量传感器是检测设备运行的传感器,如由干簧管、霍尔元件做成的各种接近开关;探访传感器是用来检测金属制品内部的气泡和裂缝,检测人体内部器官的病灶等的各种传感器,如超声波探头、CT探测器等。

这种分类方法对使用者比较方便,容易根据测量对象的性质来选择所需用的传感器。

3) 按输出量种类分类

按输出量种类可分成模拟式传感器和数字式传感器。模拟式传感器输出与被测量成一定关系的模拟信号,如果需要与计算机配合或用数字显示,还必须经过模/数(A/D)转换电路。

数字式传感器输出的是数字量，可直接与计算机连接或作为数字显示，读取方便，抗干扰能力强。

4) 按传感器的信号处理方法分类

按传感器的信号处理方法可以分成直接传感器、差动传感器和补偿传感器。直接传感器单独将被测量转换成所需要的输出信号，它的结构最简单，但灵敏度低，易受外界干扰。差动传感器把两个相同类型的直接传感器接在转换电路中，使两个传感器经受的相同干扰信号相减，而有用的被测量信号相加，从而提高了灵敏度和抗干扰能力，改善了特性曲线的线性度。补偿传感器要求显示装置的指示自动跟随被测量变化而变化，它一般把输出的电信号通过反向传感器转换成非电量，再与被测量进行比较，产生一个偏差信号。此偏差信号通过正向通路中的传感器转换成电量，经过测量、放大，然后输出供指示或记录，从而大大提高了测量精度和抗干扰能力。但这类传感器往往结构复杂，价格偏高，本书将介绍前两种结构形式的传感器。

传感器常常按工作原理及被测量性质两种分类方式合二为一进行命名，如电感式位移传感器、光电式转速计、压电式加速度计等。这种命名使被测量与传感器的工作原理一目了然，便于使用者正确使用。

4. 传感器的发展趋势

1) 采用新技术、新材料的传感器

传感器工作的基本原理是建立在人们不断探索与发现各种新的物理现象、化学效应和生物效应，以及具有特殊物理、化学特性的功能材料的基础上的。因而，发现新现象、反应、材料，研制新特性、功能的材料是现代传感器的重要基础，其意义也极为深远。例如，日本夏普公司利用超导技术研制成功了高温超导磁传感器，该传感器在温度为 80K 时呈超导状态。可以说超导磁传感器的出现是传感器技术的重大突破，其灵敏度比霍尔传感器高，仅低于超导量子干涉器件，制造工艺远比超导量子干涉器件简单，并可用于磁成像等技术领域。又如，人造陶瓷传感器材料可在高温环境中使用，弥补了半导体传感器材料难于承受高温的不足。另有不少有机材料的特殊功能特性，越来越受到高度重视。此外，人们在工程、生活和医学领域中，越来越要求传感器微型化。目前微型加工技术已获得高速发展，不仅有氧化、光刻、扩散、沉积等传统的微电子技术，还发展了平面电子工艺技术、各向异性腐蚀、固相键合工艺和机械分断技术等新型微加工技术，这些新技术为研制开发新型的微型传感器提供了良好的条件。例如，采用平面电子工艺技术制作的快速响应传感器，已用于检测 NH_3 和 H_2S 的快速响应变化。又如，利用各向异性腐蚀技术进行的高精度三维加工，在细小的硅片上构成孔、沟、棱锥、半球等各种形状的微机械元件。再如，固相键合工艺将两个硅片直接键合在一起，不用中间黏合剂，也不加电场，只需要表面活化处理，在室温下将两个热氧化硅片面对面接触，经过一定温变退火，就可以使两个硅片键合在一起。

2) 集成传感器

集成传感器是新型传感器的重要发展方向之一。微加工技术可将敏感元件、测量电路、放大器及温度补偿元件等集成在一个芯片上，这样不仅具有体积小、质量轻、可靠性高、响

应速度快、稳定等特点，而且便于批量生产，成本较低。

在各种半导体材料中，以硅为基底材料的集成传感器发展最快。硅集成传感器是硅物理效应与平面技术相结合的产品，如集成温度传感器、霍尔集成电路及扩散硅压力传感器等。

采用集成传感器可简化电路设计，减小产品体积，便于安装调试，提高可靠性并降低成本，因此很多传感器都向集成方向发展。集成传感器已广泛应用于汽车、家用电器、医疗卫生及航空航天技术中。

3) 智能传感器

智能传感器有以下显著特点。

(1) 自补偿功能。对信号检测过程中的非线性误差、温度变化、信号零点漂移和灵敏度漂移、响应时间延迟、噪声与交叉感应等效应的补偿功能。

(2) 自诊断功能。包括接通电源时系统自检，系统工作时实现运行自检，系统发生故障时自诊断，确定故障的位置与部件等。

(3) 自校正功能。包括系统中标准参数的设置与检查，量程在测试中的自动转换、被测参数的单位自动运算等。

(4) 数据自动存储、分析、处理与传输。

(5) 微处理器、微机和基本传感器之间具有双向通信功能，构成一个闭环工作系统。

由于智能传感器具有上述一系列显著特点，从而使智能传感器大大提高了精度，不需要采用精加工、新材料与补偿电路等，使其成本较低。此外，智能传感器可靠性高、实时性强，功能多而强，性能价格比高等特点是传感器发展的主要方向。



拓展与提高 传感器的基本特性指标

传感器的种类繁多，测量参数、用途各异，性能参数也各不相同。一般传感器产品给出的性能参数主要是静态特性和动态特性。所谓静态特性是指被测量不随时间变化或变化缓慢的情况下，传感器输出值与输入值之间的关系，一般用数学表达式、特性曲线或表格表示。动态特性反映传感器随时间变化的响应特性。动态特性好的传感器，其输出量随时间变化的曲线与被测量随时间变化的曲线相近。实际中一般传感器产品只给出响应时间。

1. 传感器的静态特性参数

(1) 测量范围和量程。测量范围是在允许误差内被测量值的范围。量程是指在正常工作条件下，传感器能够测量被测量的总范围，为上限值与下限值之差。如果某温度传感器的测量范围为 $-50\sim+300^{\circ}\text{C}$ ，则该传感器的量程为 350°C 。

(2) 灵敏度。传感器的灵敏度是指传感器在稳态时，输出量变化量与输入量变化量的比值，用 S 表示。对于线性传感器，传感器的校准直线的斜率就是灵敏度，是一个常量；而非线性传感器的灵敏度则随输入量的不同而变化。在实际应用中，非线性传感器的灵敏度是指输入量在一定范围内输出量与输入量之比的近似值。传感器的灵敏度越高，信号处理就越简单。

(3) 线性度。在稳态条件下，传感器的实际输入、输出特性曲线与理想直线之间的不吻合程度称为线性度或非线性误差。线性度通常用实际特性曲线与理想直线之间的最大偏差

$\Delta L_{\max}$ 和满量程输出值 $y_{\max}$ 之比的百分数来表示。如图 1-3 所示系统的线性度 y_L 为

$$y_L = \pm \Delta L_{\max} / y_{\max} \times 100\%$$

(4) 不重复性。不重复性是指在相同条件下, 传感器的输入量按同一方向做全程多次重复测量, 输出曲线的不一致程度。

(5) 迟滞。迟滞现象是指传感器正向特性曲线(输入量增大)和反向特性曲线(输入量减小)的不一致程度, 用 Y_H 表示。传感器的迟滞现象如图 1-4 所示。

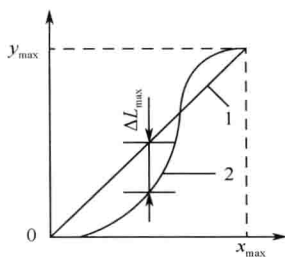


图 1-3 传感器的线性度

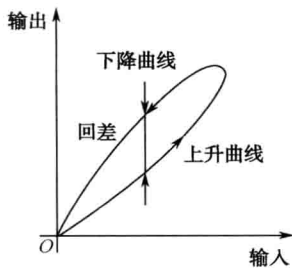


图 1-4 传感器的迟滞现象

(6) 精确度。精确度也称为精度, 它是线性度、不重复性及迟滞三项指标的综合指数, 反映了系统误差和随机误差的综合指标。如果已知线性度、不重复性及迟滞, 则可通过误差合成的方法求出精确度。

(7) 零点时间漂移。传感器在恒定温度环境中, 当输入信号不变或为零时, 输出信号随时间变化的特性, 称为传感器零点时间漂移, 简称为零漂。零漂一般按 8h 内输出信号的变化来度量。

(8) 零点温度漂移。当输入信号不变或为零时, 传感器的输出信号随温度变化的特性, 称为传感器零点温度漂移, 简称为温漂。一般常用环境温度变化 10°C 引起的输出变化量与传感器最大输出量的百分比来表示。在实际应用中, 一定要考虑环境温度对传感器的影响。由于温漂的影响, 传感器的灵敏度也会随温度的变化而变化。

(9) 工作环境条件。在实际应用中, 传感器对环境温度和湿度都有一定要求。在规定的温度和湿度条件下、传感器能够正常工作; 否则, 就会异常。因此, 在使用传感器时, 一定要考虑环境条件。

2. 传感器的动态特性

(1) 响应速度。响应速度是反映传感器动态特性的一项重要参数, 是传感器在阶跃信号作用下的输出特性, 主要包括上升时间、峰值时间及响应时间等。它反映了传感器的稳定输出信号(在规定误差范围内)随输入信号变化的快慢。

(2) 频率响应。频率响应是指传感器的输出特性曲线与输入信号的频率之间的关系, 包括幅频特性和相频特性。在实际应用中, 应根据输入信号的频率范围来确定适合的传感器。



巩固与练习

1. 什么是传感器? 它由哪几部分组成?

2. 传感器有哪几种分类方法？实际应用中，传感器如何命名？
3. 集成传感器有何优点？
4. 什么是智能传感器？
5. 传感器的静态特性参数有哪些？
6. 传感器的动态特性参数有哪些？



教学评价表

教学评价表

课程名称					
项目名称					
一、综合职业能力成绩					
评分项目	评分内容	配分	自评	小组评分	教师确认
任务完成	1. 理论知识的掌握 2. 项目原理分析 3. 技能完成的质量等	60			
操作工艺	1. 工具的选择和使用 2. 元件的选择和应用 3. 方法步骤正确，动作准确	20			
安全生产	1. 符合操作规程 2. 人员、设备安全等	10			
文明生产	遵守纪律，积极合作，工位整洁	10			
总分					
二、训练过程记录					
工具、元件选择					
操作工艺流程					
技术规范情况					
安全文明生产					
完成任务时间					
自我检查情况					
三、评语	自我整体评价		学生签名		
	教师整体评价		教师签名		

项目二 温度测量系统的设计与调试



项目描述

温度是最重要的环境参数，在人民生活、工业生产及科学研究等领域中，温度的测量都占有非常重要的地位。温度传感器是利用物质各种物理性质随温度变化的规律把温度转换为电量的传感器。温度传感器是温度测量系统的核心部分，按测量方式可分为接触式和非接触式两大类，按照传感器材料及电子元件特性分为热电阻、热电偶、热敏电阻等。



学习目标及任务描述

本项目主要掌握常用测温度传感器的基本结构、工作原理及应用特点；能根据工作要求正确选择、安装和使用测温传感器，并以此组成温度测量系统；了解热电偶、热电阻、热敏电阻等传感器测量温度的电路原理。



任务实施 用热电阻组成温度测量系统

【知识链接】热电阻的材料和特性

热电阻主要是利用金属材料的阻值随温度的升高而增大的特性来测量温度的。温度升高，金属内部原子晶格的振动加剧，从而使金属内部的自由电子通过金属导体时的阻力增大，宏观上表现出电阻率变大，总电阻增加。

热电阻传感器主要用于中、低温度（ $-200\sim 650^{\circ}\text{C}$ 或 850°C ）范围的温度测量。常用的工业标准化热电阻有铂热电阻、铜热电阻和镍热电阻。

1) 铂热电阻

铂热电阻主要用于高精度的温度测量和标准测温装置。铂热电阻性能非常稳定，测量精度高，但价格较贵，其测温范围为 $-200\sim 850^{\circ}\text{C}$ 。

铂热电阻是利用铂丝的电阻值随着温度的变化而变化这一基本原理设计和制作的，按 0°C 时的电阻值 $R(0^{\circ}\text{C})$ 的大小分为 10Ω （分度号为Pt10）和 100Ω （分度号为Pt100）等，测温范围均为 $-200\sim 850^{\circ}\text{C}$ 。 10Ω 铂热电阻的感温元件是用较粗的铂丝绕制而成的，耐温性能明显优于 100Ω 的铂热电阻，主要用于 650°C 以上的温区。 100Ω 铂热电阻主要用于 650°C 以下的温区，虽也可用于 650°C 以上温区，但在 650°C 以上温区不允许有A级误差。 100Ω 铂热电阻的分辨率比 10Ω 铂热电阻的分辨率大10倍，对二次仪表的要求相应低一个数量级，因此在 650°C 以下温区测温应尽量选用 100Ω 铂热电阻。

2) 铜热电阻

如果测量精度要求不是很高，测量温度小于 150°C 时，可选用铜热电阻。铜热电阻的测

量范围是 $-50\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，铜热电阻价格便宜、易于提纯、复制较好；在测温范围内，线性较好，电阻温度系数比铂大，但电阻率比铂小，在温度稍高时，易于氧化，只能用于 150°C 以下的温度测量。铜热电阻测温范围较窄，体积较大，所以适用于对测量精度敏感元件尺寸要求不是很高的场合。

目前铂热电阻和铜热电阻都已标准化和系列化，选用较方便。

3) 镍热电阻

镍热电阻的测温范围为 $-100\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，它的温度系数较高，电阻率较大，但它易氧化，化学稳定性差，不易提纯，复制性差，非线性较大，因此目前应用不多。

几种主要工业用热电阻材料特性如表 2-1 所示。

表 2-1 几种主要工业用热电阻材料特性

材料名称	电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)	测温范围 ($^{\circ}\text{C}$)	电阻丝直径 (mm)	特 性
铂	0.0981	$-200\sim 650$	0.03~0.07	近似线性，性能稳定，精度高
铜	0.07	$-50\sim 150$	0.1	线性，低温测量
镍	0.12	$-100\sim 300$	0.05	近似线性

【看一看】 热电阻传感器的结构形式

1. 普通热电阻

电阻传感器一般由测温元件（电阻体）、保护管和接线盒三部分组成，如图 2-1 所示。铜热电阻的感温元件通常用 0.1mm 的漆包线或丝包线采用双线并绕在塑料圆柱形上，线外再浸入酚醛树脂起保护作用。铂热电阻的感温元件一般用 $0.03\sim 0.07\text{mm}$ 的铂丝绕在云母绝缘片上，云母片边缘有锯齿缺口，铂丝绕在齿缝内以防短路。绕组的两面再盖以云母片绝缘。

2. 铠装热电阻

铠装热电阻由金属保护管、绝缘材料和感温元件组成，如图 2-2 所示。其感温元件是用细铂丝绕在陶瓷或玻璃骨架上制成的。

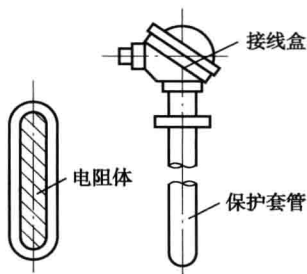


图 2-1 热电阻传感器结构图

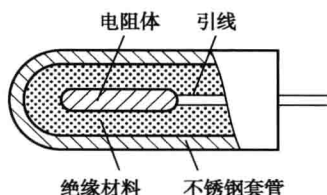


图 2-2 铠装热电阻结构示意图

铠装热电阻惰性小、响应速度快、具有良好的机械性能，可以耐强热振动和冲击，适用于高压设备测温，以及在有振动的场合和恶劣环境中使用。因为后面引线部分具有一定的柔性，也适于安装在结构复杂的设备上测温，此种热电阻寿命较长。

3. 薄膜及厚膜型铂热电阻

薄膜及厚膜型铂热电阻主要用于平面物体的表面温度和动态温度的检测，也可部分代替线绕型铂热电阻用于测温，其测温范围一般为 $-70\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。薄膜及厚膜型铂热电阻是近年来发展起来的新型测温元件。厚膜铂热电阻一般用陶瓷材料为基底，采用精密丝网印制工艺在基底上形成铂热电阻，再经焊接引线、胶封、校正电阻等工序，最后在电阻表面涂保护层而成。薄膜铂热电阻采用溅射工艺来成膜，再经光刻、腐蚀工艺形成图案，其他工艺与厚膜铂热电阻相同。

几种实际热电阻传感器产品外形图如图 2-3 所示。



图 2-3 几种实际热电阻传感器产品外形图

【做一做】用热电阻传感器来测量温度

利用导体电阻随温度变化的特性，热电阻用于测量时，要求其材料电阻温度系数大，稳定性好，电阻率高，电阻与温度之间最好有线性关系。当温度变化时，感温元件的电阻值随温度而变化，这样就可将变化的电阻值通过测量电路转换成电信号，即可得到被测温度。

下面做一个实验，测试电路如图 2-4 所示。

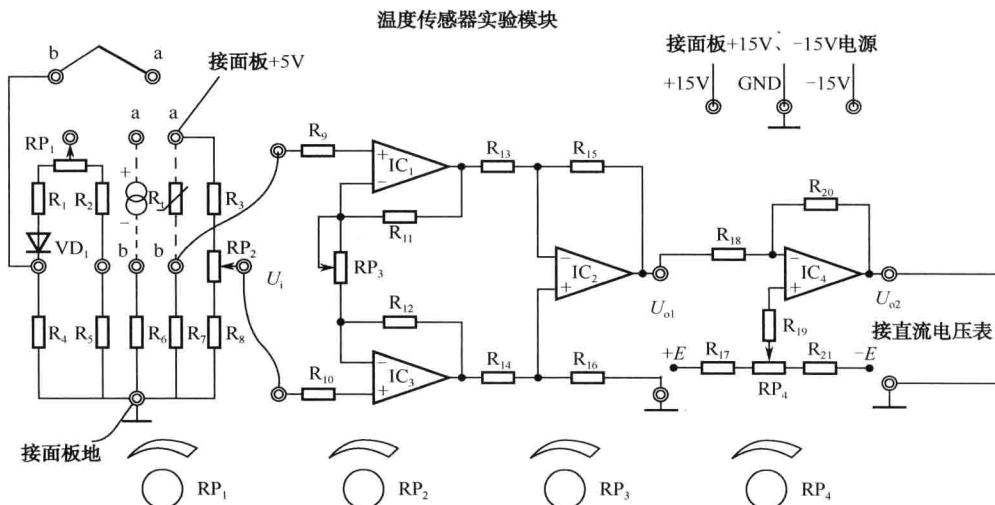


图 2-4 热电阻温度传感器实验模块电路原理图

- (1) 利用 THSRZ-2 型传感器系统综合实验装置将温度控制在 50℃，在一个温度传感器插孔中插入另一个铂热电阻温度传感器 Pt100。
- (2) 将±15V 直流稳压电源接至温度传感器实验模块。温度传感器实验模块的输出 U_{o2} 接实验台直流电压表。
- (3) 将温度传感器实验模块上的差动放大器的输入端 U_i 短接，调节电位器 RP_4 使直流电压表显示为零。
- (4) 按图 2-4 接线，并将 Pt100 的 3 根引线插入温度传感器实验模块中的 R_i 两端（其中颜色相同的两个接线端是短路的）。
- (5) 拿掉短路线，将 R_6 两端接到差动放大器的输入端 U_i ，记下模块输出 U_{o2} 的电压值。
- (6) 改变温度源的温度，每隔 5℃ 记下 U_{o2} 的输出值，直到温度升至 120℃，并将实验结果填入表 2-2。

表 2-2 热电阻温度传感器实验数据表

$T\ (^{\circ}\text{C})$															
$U_{o2}\ (\text{V})$															

根据表 2-2 的实验数据，做出 U_{o2} - T 曲线，分析 Pt100 的温度特性曲线，计算其非线性误差。

【工业应用】 装配式热电阻的使用与选型

1. 装配式热电阻概述

工业用热电阻作为测量温度的传感器，通常和显示仪表、记录仪表和电子调节器配套使用，它可以直接测量各种生产过程中-200~+850℃范围内的液体、蒸汽和气体介质及固体表面的温度。

2. 装配式热电阻原理

工业用热电阻分铂热电阻和铜热电阻两大类。受热部分（感温元件）是用细金属丝均匀地双绕在绝缘材料制成的骨架上，当被测量介质中有温度存在时，所测得的温度是感温元件周围介质中的平均温度。

3. 结构

装配式热电阻主要由接线盒、保护管、接线端子、绝缘瓷珠和感温元件组成基本结构，并配以各种安装固定装置，结构如图 2-5 所示。WZ 系列装配式热电阻型号如图 2-6 所示。

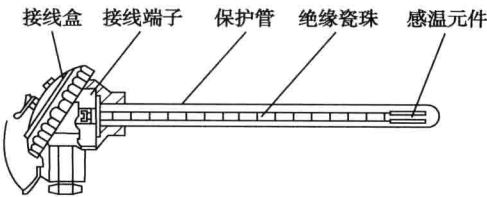


图 2-5 装配式热电阻结构图

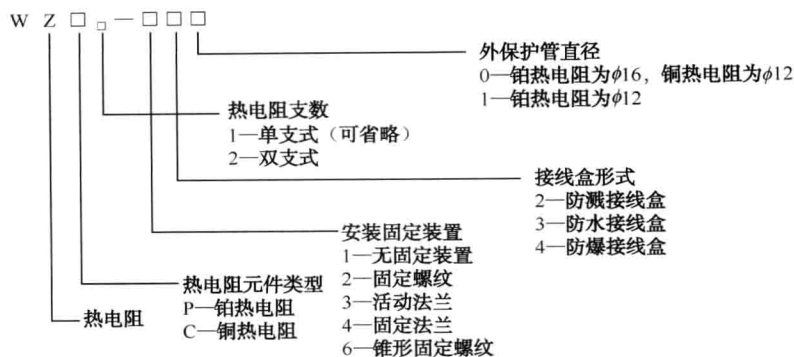


图 2-6 WZ 系列装配式热电阻型号

4. 无固定装置式热电阻

无固定装置式热电阻如图 2-7 所示, 性能参数如表 2-3 所示。

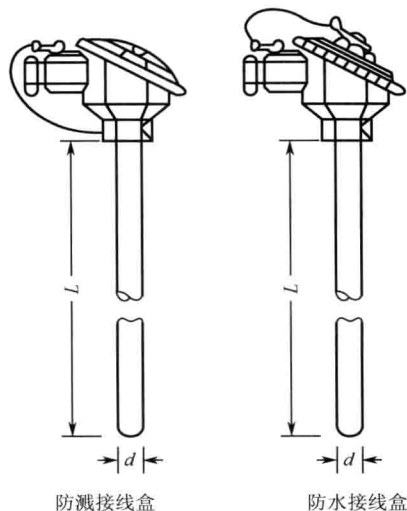


图 2-7 无固定装置式热电阻

表 2-3 无固定装置式热电阻性能参数表

热电阻类别	型 号	分 度 号	测量范围 (°C)	直径 (mm)	热电响应时间 0.5τ (s)
单支铂热电阻	WZP-120	Pt100 (Pt10)	-200~650 (-200~850)	$\phi 16$	<90
	WZP-121			$\phi 12$	<45
	WZP-130			$\phi 16$	<90
	WZP-131			$\phi 12$	<45
双支铂热电阻	WZP ₂ -120	Pt100 (Pt10)	-200~650 (-200~850)	$\phi 16$	<90
	WZP ₂ -121			$\phi 12$	<45
	WZP ₂ -130			$\phi 16$	<90
	WZP ₂ -131			$\phi 12$	<45