

广西壮族自治区“十四五”职业教育规划教材

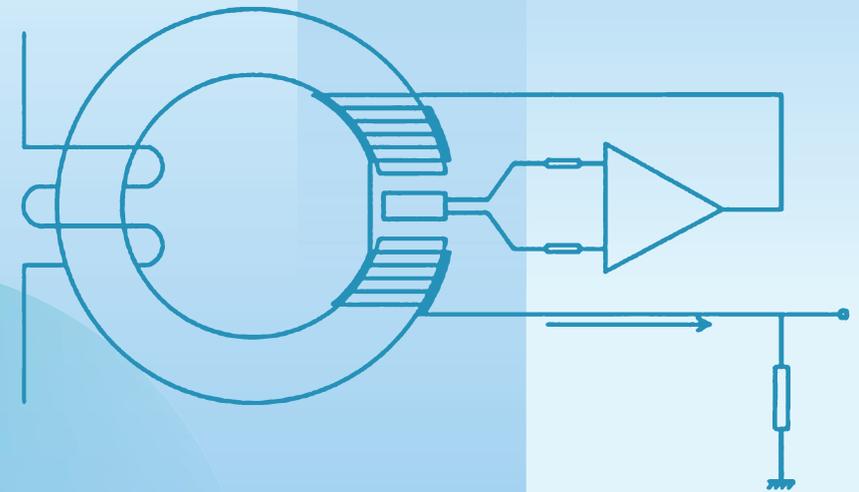
伦洪山 黄龙停 王晓明 洗钢 主编

# 传感器 原理与技术

CHUANGANQI  
YUANLI  
YU  
JISHU

传感器原理与技术

伦洪山 黄龙停 王晓明 洗钢 主编



总策划 施东毅 梁琪 张贻松  
项目统筹 张贻松 闫丽  
策划编辑 黄丽艳  
责任编辑 黄丽艳  
责任校对 阳诗淇  
责任技编 伍智辉  
装帧设计 广大迅风·黄璐霜

ISBN 978-7-5598-6569-4



9 787559 865694 >

定价：46.00 元

广西师范大学出版社

GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS  
广西师范大学出版社

广西壮族自治区“十四五”职业教育规划教材

CHUANGANQI

YUANLI

YU

JISHU

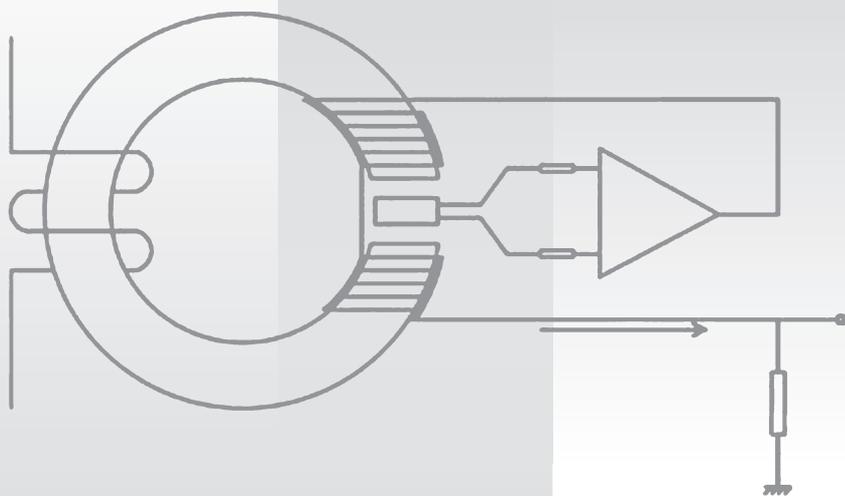
主 编：伦洪山 黄龙停 王晓明 冼 钢

副主编：秦培林 黄永彰 陈绳浩 蒋 山

罗有光 张颖敏

# 传感器

## 原理与技术



GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS  
广西师范大学出版社

· 桂林 ·

### 图书在版编目（CIP）数据

传感器原理与技术 / 伦洪山等主编. -- 桂林 : 广西师范大学出版社, 2023.12

广西壮族自治区“十四五”职业教育规划教材  
ISBN 978-7-5598-6569-4

I. ①传… II. ①伦… III. ①传感器—职业教育—教材 IV. ①TP212

中国国家版本馆 CIP 数据核字（2023）第 224230 号

广西师范大学出版社出版发行

（广西桂林市五里店路 9 号 邮政编码：541004）  
网址：<http://www.bbtpress.com>

出版人：黄轩庄

全国新华书店经销

广西民族印刷包装集团有限公司印刷

（南宁市高新区高新三路 1 号 邮政编码：530007）

开本：787 mm × 1 092 mm 1/16

印张：15.5 字数：303 千

2023 年 12 月第 1 版 2023 年 12 月第 1 次印刷

定价：46.00 元

---

如发现印装质量问题，影响阅读，请与出版社发行部门联系调换。

# 前言



党的二十大报告指出,教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑。我们要坚持教育优先发展、科技自立自强、人才引领驱动,加快建设教育强国、科技强国、人才强国,坚持为党育人、为国育才,全面提高人才自主培养质量。随着我国传感器行业进入新的发展时期,中职学校“传感器原理与技术”课程的教学内容和教学模式也发生了相应的变化,学习内容应包含传感器在各行各业,特别是在高科技领域的应用。中职学校应注重培养学生的创新意识,通过理实一体化、任务驱动等教学模式、方法实施教学,不断提高学生对传感器的应用能力和创新能力。

本教材是广西壮族自治区“十四五”职业教育规划教材,以国家最新颁布的电工职业资格证书考核要求和“1+X”职业技能等级标准为依据,由多年从事“传感器原理与技术”课程教学的教师编写而成,以提高学生的综合能力为目标。本教材力求体现“以职业能力为核心,以职业活动为导向”的指导思想,采用项目引领、任务驱动的教学模式编排,科学设计了认识生产、生活中的传感器,生产、生活中测量误差分析和处理,测温电路中电阻式温度传感器检测与应用,生产、生活设备中热电偶温度传感器检测与应用,控制装置电路中光电式传感器检测与应用等14个工作任务。本教材合理分配专业知识,注重职业能力培养,兼顾职业素养形成,突出了以下几个特点。

(1) 落实立德树人根本任务。以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,在“知识拓展”栏目融入思政元素,强化立德树人功能,致力培养学生的爱国主义情怀、大国工匠精神。

(2) 岗课赛证融通。在素材准备、编写团队、内容安排及编写过程中均有企业人员参与,引入了新技术、新材料、新设备与新工艺,同时,融入技能比赛、“1+X”证书的要求,在基本理论知识的支撑下,设置具有基础性、应用性的实操训练内容,着重培养学生的应用能力、学习方法和职业素养。

(3) 注重学生技能培养。遵循“传感器原理与技术”课程的特点和中职学生的认知规律,注重知识的递进性和系统性,在结构形式上采用任务驱动



教学,通过完成可行的实训任务,将传感器原理、技术及应用等知识贯穿于任务完成过程,实现理论知识和技能训练的统一。

(4)创新编排形式。编写风格上突破学生的“学”,将实训内容设置成配套的工作页,单独成册,突出学生的“学”和“练”,具有导读、导听、导思、导做的作用,方便学生学习和教师批改。

(5)配套数字教学资源。紧跟教育教学改革步伐和教材发展形势,配套有电子课件、教学视频等数字教学资源,支持线上线下混合式教学,可操作性强,适应“互联网+教育”需求。

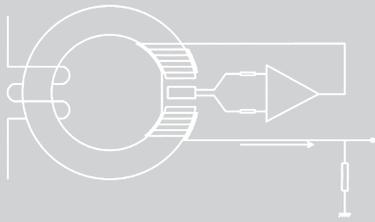
(6)利于课堂教学评价的实施。工作任务的设计与知识准备部分紧密结合,任务开始设有学习目标,可见可测,可操作性强。每个任务都设置了任务评价环节,采用过程评价、终结性评价和多主体评价。每个项目结束都设置有项目练习,利于学生加深对知识的理解。

本教材可作为职业学校装备制造类相关专业的教材,也可供从事智能制造行业的工程技术人员参考。在编写本教材时,编者力求使用简洁精准的语言,全面阐释传感器原理与技术的相关知识,结合技能比赛、“1+X”证书制度教学改革等,以体现职业教育改革创新系列教材的理论性、实践性和综合性。

本教材由伦洪山、黄龙停、王晓明、冼钢担任主编,秦培林、黄永彰、陈绳浩、蒋山、罗有光、张颖敏担任副主编。另外,本教材在编写过程中得到了广西理工职业技术学校、广西科学院应用物理研究所、广西机电工业学校、海信(广东)空调有限公司、广西机电职业技术学院等单位的大力支持,也参考了大量有关传感器技术的文献资料,在此向这些单位和文献资料的作者表示诚挚的谢意。由于编者水平有限,加上编写时间仓促,书中难免存在不足和疏漏之处,敬请各位读者提出意见和建议,以便进一步完善。

编者

2023年3月

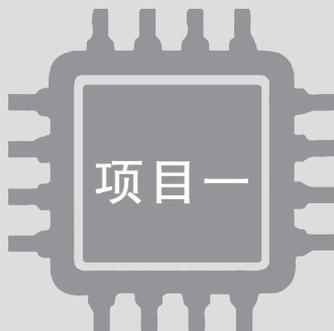


# 目 录

## Contents

● 项目一	传感器概述.....	1
任务一	认识生产、生活中的传感器.....	3
任务二	生产、生活中测量误差分析和处理 .....	13
● 项目二	温度传感器检测与应用 .....	23
任务一	测温电路中电阻式温度传感器检测与应用 .....	25
任务二	生产、生活设备中热电偶温度传感器检测与应用 ...	35
● 项目三	光电传感器检测与应用 .....	47
任务一	控制装置电路中光电式传感器检测与应用 .....	49
任务二	物料检测中红外传感器检测与应用 .....	67
● 项目四	力传感器检测与应用.....	77
任务一	报警电路中压电式传感器检测与应用 .....	79
任务二	重力检测中电阻应变式传感器检测与应用 .....	88
任务三	物位检测中电容式传感器检测与应用 .....	98





## 传感器概述

### ● 项目描述

在日常生活中,人们借助自己的感觉器官从自然界中获取信息,如看到秀美的景物、听到优美的音乐、闻到诱人的香味等,再将信息输入大脑进行判断和处理,由大脑指挥身体做出相应的动作。因此,感觉器官是人类非常重要的器官,是人类了解事物信息的重要基础。传感器就相当于人的感觉器官,承担着采集和转换信息的任务。

现代科学技术使人类进入了信息时代,传感器技术、通信技术和计算机技术是信息产业的三大支柱。随着科学技术的高速发展和生产过程的自动化,传感器不仅是计算机、机器人、自动化设备的“感觉器官”及机电设备结合的接口,而且已渗透到人类生产、生活的各个领域。

## ● 项目学习目标

### 1. 知识与技能

掌握传感器的定义,了解传感器的组成和分类,掌握测量的基本概念和测量方法,掌握测量的基本误差及其分析方法。

### 2. 过程与方法

采用观察法,通过理论知识的学习和工作任务的完成,培养探究精神和合作精神,提高对测量误差的分析和处理能力。

### 3. 情感态度与价值观

在实训室完成工作任务,培养遵守实训室安全规则和 6S 管理规范的意识,增强参与实践的自主性,树立追求真理、热爱科学、尊重规律的科学精神。

## 任务一 认识生产、生活中的传感器

### 学习目标

- (1) 了解传感器的概念。
- (2) 掌握传感器的基本结构和分类。
- (3) 理解传感器的工作原理。
- (4) 能说出传感器在生产、生活中的具体应用。
- (5) 培养探究精神和合作精神,增强参与实践的自主性。

### 建议学时

4 学时:理论 3 学时,实训 1 学时。

### 工作任务

一个国家的现代化水平主要是通过其自动化水平来衡量的,而自动化水平主要是用仪表及传感器的种类和数量来衡量的,由此可见,传感器技术非常重要,因此它得到了世界各国的普遍重视。人们不断进行开发、研究,使传感器技术发展迅猛。目前,日常生产、生活中普遍应用传感器,尤其是高科技生产设备及其产品都离不开传感器。

请在工作页完成以下任务:

- (1) 画出传感器的组成方框图并写出各部分的作用。
- (2) 举例说出传感器在航天航空、机器人、工业自动控制系统、水环境保护、智能汽车等领域中的应用。

### 知识准备

人体的感觉器官就是一套完美的传感系统。人们通过眼、耳、皮肤等感知外界的光、

声、温度、压力等物理信息,通过鼻子、舌头感知气味和味道这样的化学信息。简单地说,传感器就是一种代替人体的感觉器官来完成信息获取与处理的装置。

传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并按一定规律将感受到的信息转换为电信号或其他形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。

## 一、传感器的组成

传感器是能够把被测量(如被测量物理量、化学量、生物量等)的信息转换成与被测量有确定关系的电参量并输出的装置。有些国家或学科领域把它称为变换器、检测器或探测器。

传感器一般由敏感元件、转换元件和转换电路三部分组成,有时还需要外加辅助电路,其组成方框图如图 1-1-1 所示。

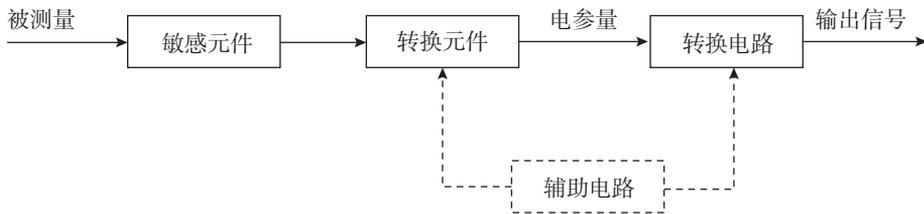


图 1-1-1 传感器的组成方框图

其中,敏感元件是传感器的核心,它是可以利用各种物理、化学和生物效应直接感受被测量,并输出与被测量有确定关系的电参量的元件,如电阻应变片、光敏电阻、热敏电阻等。转换元件是将敏感元件的输出量转换成电参量的元件。转换电路是将转换元件输出的电参量进行处理,并以电压、电流或频率的形式输出的电路。

## 二、传感器的分类

传感器种类繁多,功能各异。同一被测量可用不同转换原理实现检测,利用同一种物理、化学或生物效应可设计制作出检测不同被测量的传感器,而功能大同小异的同一类传感器可用于不同的技术领域,所以传感器有不同的分类方法。常见的传感器分类方法见表 1-1-1。

表 1-1-1 常见传感器分类

分类方法	传感器的种类	说明
按依据效应分类	物理传感器	基于物理效应(光、电、声、磁、热)
	化学传感器	基于化学效应(吸附性、选择性化学分析)
	生物传感器	基于生物效应(酶、抗体、激素等分子识别和选择功能)
按工作原理分类	应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、电磁式传感器、压电式传感器、热电式传感器等	传感器以工作原理命名
按输出信号分类	模拟式传感器	输出为模拟量
	数字式传感器	输出为数字量
按是否依靠外加电源分类	有源传感器	传感器工作需外加电源
	无源传感器	传感器工作无需外加电源
按使用的敏感材料分类	半导体传感器、光纤传感器、陶瓷传感器、金属传感器、高分子材料传感器、复合材料传感器等	传感器以使用的敏感材料命名

### 三、传感器的选用

#### (一) 根据测量对象与测量环境确定传感器的类型

进行具体的测量工作之前,首先要根据被测量的特点和传感器的使用条件来确定选用何种工作原理的传感器。即使是测量同一物理量,也有多种工作原理的传感器可供选用。选用传感器时要考虑传感器量程的大小,被测位置对传感器体积的要求,测量方式为接触式还是非接触式,信号的输出方法采用有线还是无线,传感器价格,等等。

#### (二) 根据技术指标确定传感器的型号

确定传感器类型后,还要具体考虑传感器的技术指标,确定传感器的型号。

(1) 灵敏度。通常,在传感器的线性范围内,传感器的灵敏度越高越好。但要注意的是,传感器的灵敏度高时,与被测量无关的外界噪声也容易混入,也会被放大系统放大,从而影响测量精度。因此,传感器本身还应具有较高的信噪比,尽量减少从外界引入的干扰信号。



(2) 频率响应特性。传感器的频率响应特性决定了被测量的频率范围,必须在频率允许范围内保持不失真的测量条件。实际上,传感器的响应总有一定延迟,延迟时间越短越好。传感器的频率响应越快,可测的信号频率范围就越宽。

(3) 线性范围。传感器的线性范围是指输出与输入成正比的范围。传感器的线性范围越大,其量程越大,并且能保证一定的测量精度。在选择传感器时,当传感器的类型确定以后,首先要看其量程是否满足要求。

(4) 稳定性。传感器使用一段时间后,其性能保持不变的能力称为稳定性。影响传感器稳定性的因素除传感器本身结构外,还有传感器的使用环境。因此,传感器要有良好的稳定性,就必须有较强的环境适应能力。在选择传感器之前,应对其使用环境进行调查,并根据具体的使用环境选择合适的传感器,或采取适当的措施减小环境对传感器的影响。

(5) 精度。精度是传感器的一个重要的性能指标,它关系到整个测量系统的测量精度。但传感器的精度越高,其价格越高,因此,传感器的精度只要满足整个测量系统的精度要求就可以了,这样就可以在达到同一测量目的的诸多传感器中选择比较便宜的传感器。

当某些特殊使用场合无法选到合适的传感器时,需自行设计和制造传感器。自制传感器的性能应满足使用要求。

## 四、传感器的应用

目前,传感器不断发展和完善,已经广泛应用于军事、航空航天、土木工程、电力、能源、机器人、工业自动控制系统、水环境保护、交通运输、医疗化工、家用电器及遥感技术等领域。

### (一) 传感器在航空航天中的应用

宇宙飞船中使用的传感器必须满足许多特殊需求,才有资格执行太空任务。如图 1-1-2 所示,航空航天温度传感器能够调节飞船内的温度,确保宇航员能够适应太空骤冷、骤热的环境,保证航天员的安全、舒适。

在地球上,任何物体都会受到重力的作用而产生加速度,而航空航天加速度传感器能够测定变化或恒定的加速度,从而保证飞船的正常飞行。

宇宙飞船在进入太空后,每天都有一项工作需要执行,那就是不间断地确认自身与地面之间的距离有多远,这是为了让地面控制中心更好地掌握宇宙飞船的所处位置。因此,地面控制中心就会不停地向航空航天位置传感器发送信号(信号以光速传播),当传感器收到信号后会进行回复。地面控制中心通过测量信号进行双向传递所需的时间,结



传感器的应用

合距离计算公式(速度×时间),就可以计算出宇宙飞船的所处位置。



图 1-1-2 航空航天传感器

## (二) 传感器在机器人领域中的应用

在劳动强度大或作业危险的场所和一些高速度、高精度的工作中,已逐步使用机器人代替人进行工作。但要使机器人和人更为接近,就要给机器人安装各种传感器,使机器人能够通过视觉对物体进行识别和检测,通过触觉产生压觉、力觉、滑动感觉和重量感觉。图 1-1-3 为传感器在机器人中的应用实例。该机器人拥有一双设计十分简洁的手,并且它的每根手指都能灵活运动。在机器人上安装视觉传感器、接触传感器、压力传感器、碰撞传感器、超声波传感器等,以检测周围的环境,从而使其代替人从事各类工作。

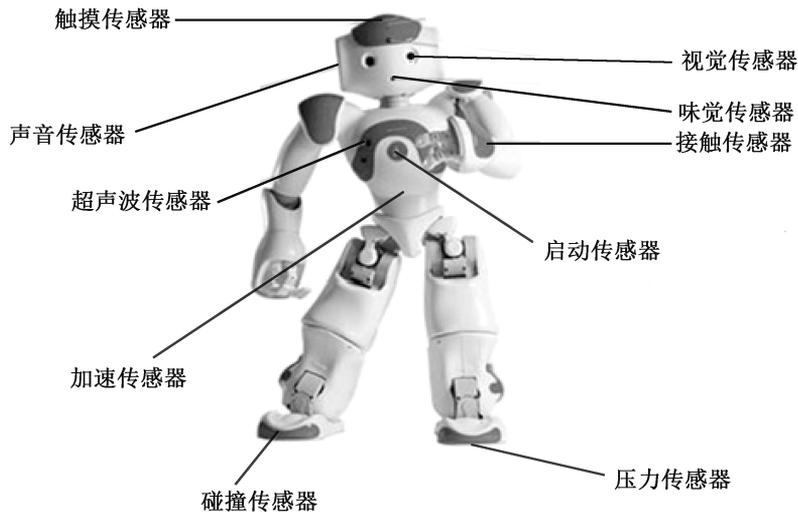


图 1-1-3 机器人中的传感器

## (三) 传感器在工业自动控制系统中的应用

传感器是自动检测与自动控制的必备元件,如果没有传感器对原始信息(信号或参数)进行精确、可靠的测量,那么就无法实现从信号的提取、转换、处理到生产或控制过程的自动化。可见,传感器在自动控制系统中是必不可少的。

楼宇自动控制系统(BAS)是利用前端传感器和直接数字控制器(DDC 控制器)、网络通信技术及计算机控制技术实现对建筑物内机电设备运行的监视、控制和管理综合系

统。图 1-1-4 所示的是传感器在楼宇自动控制系统中的应用实例,通过传感器感应温度、湿度、液位、流量、压差、空气压力等来实现对室内通风系统、热力系统、空调系统、冷冻站系统、电梯系统、变配电系统、给排水系统、照明系统等楼宇设备的自动控制。

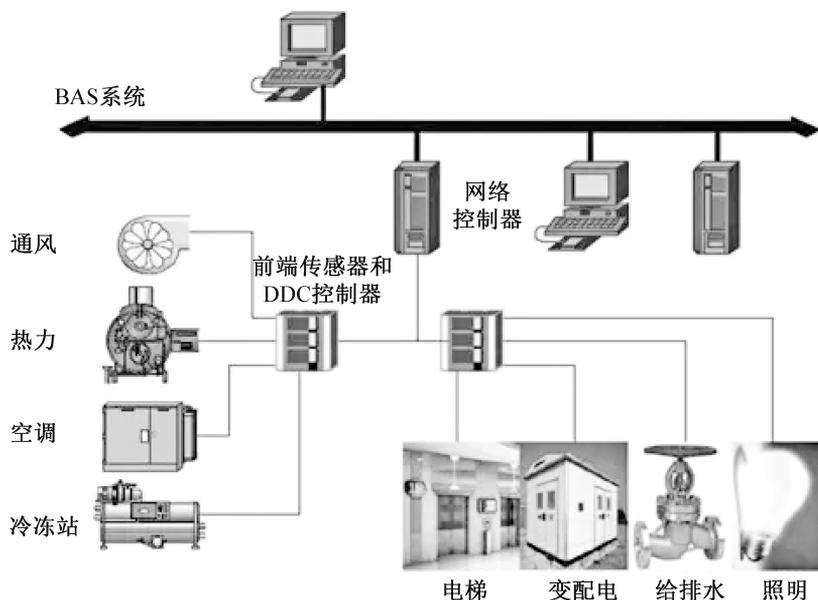


图 1-1-4 楼宇自动控制系统中的传感器

#### (四) 传感器在水环境保护中的应用

水质监测是指监视和测定水体中污染物的种类、各类污染物的浓度及变化趋势,评价水质状况的过程。水质监测范围十分广泛,包括未被污染和已受污染的天然水,以及各种各样的工业排水等,主要监测项目可分为两大类:一类是反映水质状况的综合指标,如温度、色度、浊度、电导率、悬浮物、溶解氧、化学需氧量和生化需氧量等;另一类是检测一些有毒物质,如酚、氰、砷、铅、铬、镉、汞和有机农药等。随着现代工业社会的不断发展,各类水源,尤其是河道、湖泊的水源受到严重的污染,所以进行水质监测是非常必要的。

目前,大多是使用水质监测传感器进行水质监测。水质监测传感器不但能方便地调节监测的深度和水平位置,还能及时反馈监测数据。图 1-1-5 所示为水质监测传感器,其可检测水的温度、色度、浊度、电导率、悬浮物、溶解氧、化学需氧量和生化需氧量等。

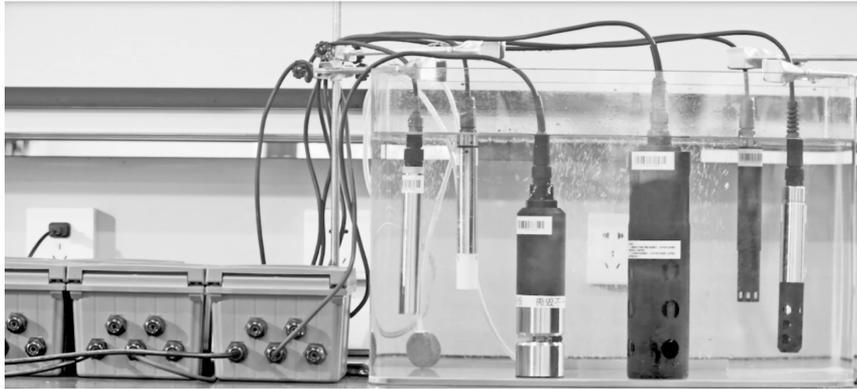


图 1-1-5 水质监测传感器

### (五) 传感器在智能汽车中的应用

现在的汽车越来越智能化,汽车上的很多功能都由计算机来控制,比如发动机系统、变速箱系统、悬架系统、制动系统、空调系统、车身控制系统等。计算机要控制这些系统,必须通过正确的信息来确认系统的状态,然后发出正确的指令来控制系统动作。这些系统的状态信息都是由传感器来收集的。汽车中的传感器如图 1-1-6 所示,有加速度传感器、距离传感器、油压传感器、车内温度传感器等。这些传感器把汽车运行中的光、电、温度、压力、时间等信息转换成电信号,然后输入车载计算机,再经过计算机中预先存储的程序进行计算分析,从而判断汽车的运行状态。

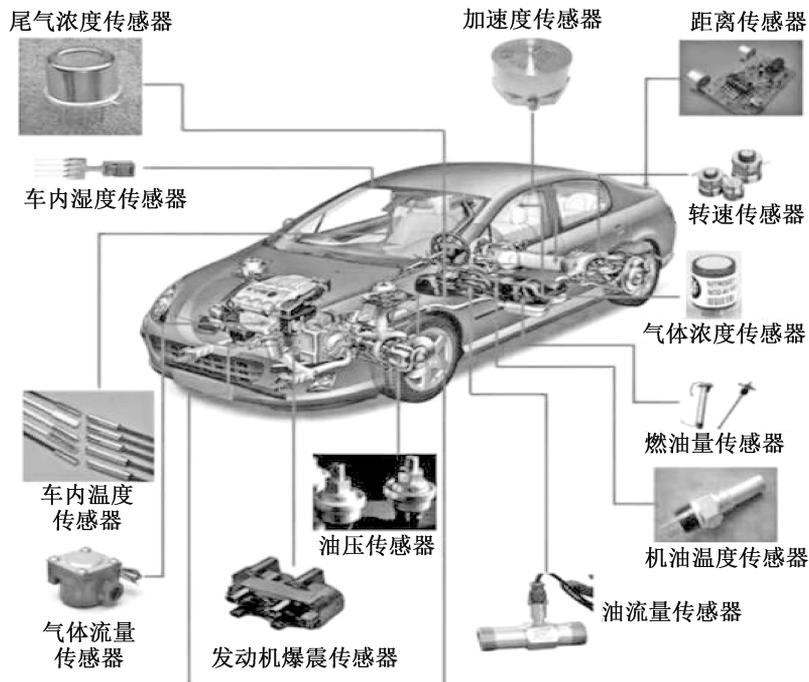


图 1-1-6 汽车中的传感器



## 任务 指导

### 步骤 1: 准备作图工具及纸张

要完成本工作任务,需要准备尺子 1 把/人、铅笔 1 支/人、A4 纸 1 张/人、橡皮擦 1 块/人。

### 步骤 2: 画出传感器的组成方框图并写出各部分的作用

**分析:**组成方框图是表示该器件或设备是由哪些单元功能电路所组成的图。每个部分用一个方框表示,并有文字或符号说明,各方框之间用线条连接起来,表示各部分之间的关系。一般来说,实线框表示框内元器件构成的是一个完整装置,比如说某个驱动器装置、某个仪器、某个独立部件等,其具有完整的功能。虚线框围住的元器件,表示它们具有一定的关联性或者共同实现部分功能。带箭头的实线表示信号在电路中的传输方向,带箭头的虚线表示给某些电路提供电源,等等。

**答:**传感器一般由敏感元件、转换元件和转换电路三部分组成。使用尺子画出传感器的组成方框,并标注相应文字,再用带箭头的虚线或实线把各方框连接起来,表明它们之间的关系。画好的传感器的组成方框图如图 1-1-1 所示。

### 步骤 3: 说出传感器的应用

举例说出传感器在航天航空、机器人、工业自动控制系统、水环境保护、智能汽车等领域中的应用。

**分析:**要举例说明传感器在生产、生活中的应用,就要了解传感器的工作原理。传感器的工作原理是通过敏感元件、转换元件和转换电路,把特定的被测信号按一定规律转换成某种可用信号并输出,以满足信息的传输、处理、记录、显示和控制等要求。传感器按工作原理可分为振动传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、气敏传感器、真空度传感器、生物传感器。传感器的应用是实现自动检测和自动控制的首要环节。传感器的作用是把非电参量转换为电参量或控制电路的通断,实现测量、传输、处理和控制。传感器的发展让物体有了类似人类的触觉、嗅觉、视觉、味觉和听觉,让物体变得“活”起来,是智能设备与外界交互的主要手段。

**答:**传感器在生产、生活及各个领域的应用都很广泛。

(1) 在航空航天中,安装在宇宙飞船上的温度传感器能够调节宇宙飞船内的温度,确保温度恒定不变,保证航天员的安全和舒适。

(2)工业机器人中安装有视觉传感器,使机器人能对物体进行识别和检测,从而代替工人进行高强度或危险的工作。

(3)工业自动控制系统中安装有各种传感器,通过传感器进行自动检测与自动控制,实现从信号提取、转换、处理到生产或控制过程的自动化。

(4)一些水环境检测设备中安装有传感器,通过这些传感器采集相关数据进行分析,控制工业、生活污水排放,以及监测环境。

(5)汽车里安装有各种传感器,如发动机冷却液液位传感器,将其安装在冷却液膨胀箱的盖子上,当发动机冷却液液位下降后,点亮报警指示灯。

## 知识拓展

### 传感器在我国智能制造中的应用

眼下,形形色色的传感器早已渗透进人们生活的方方面面,每秒采集到的海量数据构成了智能物联网的基础。作为所有智能设备的感官,传感器可对物理层面进行信息采集,主要包括对湿度、温度、压力等方面的感知。传感器收集的数据能在多大程度上得以分析、利用,取决于传感器有多精确、多灵敏。

我国传感器的市场需求远超欧美。在物联网时代,上亿计的传感器被嵌入诸如移动通信终端、智能穿戴设备、汽车和工业机器等各种设备中。其中,每类传感器背后都是一个巨大的行业与市场。例如,温湿度传感器、红外传感器的廉价化;运动手环兴起背后的压力传感器、陀螺仪和加速度传感器的普及;被许多企业看好的无人机就是压力传感器、陀螺仪、电子罗盘、全球定位系统成熟后的结果。中国正成为传感器国际竞争的主战场。目前,全球跨国巨头纷纷加紧在中国传感器市场布局,本土企业也看重此市场。

在我国制造业升级计划中,反复提及将工业机器人投入使用。而要让工业机器人表现更优异,更眼疾手快、思路清晰,传感器技术至关重要。例如,准确度和效率等自动化挑战,要求机器人既能快速执行制造任务,又能确保周围工人的安全。借助机器人的内置或外置传感器来控制机器人,确保机器人能够高效、精确地定位所加工部件的位置。为了检测作业对象及作业环境,或是机器人与它们的关系,许多乐于接受新鲜事物的工厂在机器人上安装了视觉传感器、力觉传感器、接近传感器、超声波传感器和听觉传感器等,大大改善了机器人工作状况,使其能够更好地完成复杂任务,甚至使其与人共事成为可能。机器人制造现场如图 1-1-7 所示。

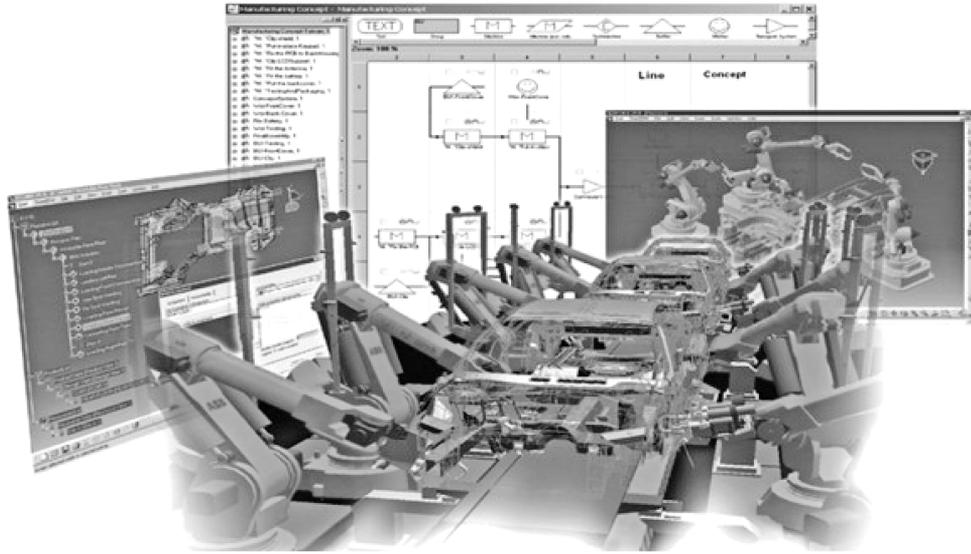


图 1-1-7 机器人制造现场图

## 任务二 生产、生活中测量误差分析和处理

### 学习目标

- (1) 了解生产、生活中的测量方法及其分类。
- (2) 掌握生产、生活中测量误差的表达方式及分类。
- (3) 能够说出生产、生活中减少测量误差的常见方法。
- (4) 能够使用多用电表进行测量并计算绝对误差。
- (5) 培养遵守实训室规则和 6S 管理规范的意识, 树立追求真理、热爱科学、尊重规律的科学精神。

### 建议学时

4 学时: 理论 3 学时, 实训 1 学时。

### 工作任务

日常生产、生活都离不开测量。测量是人们认识自然、改造自然的一种不可或缺的手段。测量结果总会有偏差(即误差), 人们总是通过各种措施或方法尽量减少误差, 以接近真实情况。

请在工作页完成以下任务:

- (1) 用一种方法测量长度为 200 mm 的物体, 其测量绝对误差为  $\pm 9 \mu\text{m}$ ; 用另一种方法测量长度为 80 mm 的物体, 其测量绝对误差为  $\pm 5 \mu\text{m}$ 。试比较这两种方法的准确度。
- (2) 使用多用电表测量手机充电器的输出电压和输出电流, 并计算出它们的绝对误差。



## 知识准备

测量是指按照某种规律,借助专门的设备,通过一定的实验方法,用数据来描述观察到的现象,即对事物作出量化描述。测量其实是一个比较的过程,即被测量物理量与标准量的比较。测量结果可用一定的数值表示,也可以用一条曲线或某种图形表示。测量结果除了包括测量值和测量单位,还应包括误差。

### 一、测量方法

测量方法是指在测量时所用的,按类别叙述的一组操作逻辑次序。对于测量方法,从不同的观点出发,就有不同的分类方法。例如,根据测量的手段不同,可以分为直接测量与间接测量;根据测量时是否与被测对象接触,可以分为接触测量和非接触测量。

#### (一) 直接测量和间接测量

(1) 直接测量。直接测量是指直接从计量器具获得被测量的量值的测量方法,如用游标卡尺测量、用分尺测量、用多用电表测量。图 1-2-1 所示的是使用游标卡尺测量工件。

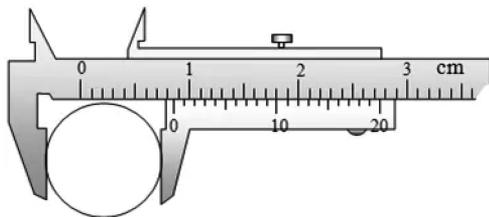


图 1-2-1 游标卡尺测量方法

(2) 间接测量。间接测量是指测得与被测量有一定函数关系的量,然后通过函数关系式求得被测量的量值。例如,利用多用电表分别测量电压、电流,然后根据公式计算出电功率的大小。

直接测量过程简单,其测量精度只与测量过程有关。而间接测量的精度不仅取决于各实测几何量的测量精度,还与所依据的计算公式和计算的精度有关。因此,为了减少测量误差,一般都采用直接测量,必要时才用间接测量。

#### (二) 接触测量和非接触测量

(1) 接触测量。接触测量是指测量仪器的传感器与被测物体的表面直接接触的测量方法。例如,用游标卡尺、百分尺和比较仪等仪器测量物体,都是接触测量。接触测量在生产现场得到了广泛应用,因为它可以保证测量器具与被测物体之间具有一定的测量

力,具有较强的测量可靠性。

(2)非接触测量。非接触测量是指以光电、电磁等技术为基础,在不接触被测物体表面的情况下,得到物体表面参数信息的测量方法。典型的非接触测量方法有机器视觉测量法、激光三角法、电涡流法、超声波测量法等。图 1-2-2 所示的是使用机器人测量机器零件。



图 1-2-2 机器人测量机器零件示例

## 二、测量误差

### (一)测量误差的表示方法

在一定条件下,被测量物理量客观存在的实际值称为真值。一般来说,由于实验方法和实验设备的不完善、周围环境以及人们认知能力的限制等因素的影响,真值是无法精确得到的,真值是一个理想状态下的值。

测量误差是指测量值减去被测量的真值所得的结果。测量误差的表示方法主要有绝对误差、相对误差、引用误差、基本误差。

(1)绝对误差。绝对误差是指测量值与真值之间的差值,它反映了测量值偏离真值的绝对数值。绝对误差计算公式如下:

$$\Delta X = X - X_0$$

其中, $\Delta X$ 为绝对误差; $X$ 为测量值; $X_0$ 为真值。

由于真值的不可知性,在实际应用中,常取多次测量值的平均值或高一等级标准仪器测得的数值作为真值。绝对误差 $\Delta X$ 可以是正值,也可以是负值。绝对误差不能确切反映测量的准确度,只能说明测量结果偏离真值的数值。

(2)相对误差。相对误差是指绝对误差与真值之比,它反映了测量值偏离真值的程度。相对误差计算公式如下:



$$\delta = \Delta X / X_0 \times 100\%$$

其中,  $\delta$  为相对误差, 一般用百分数表示;  $\Delta X$  为绝对误差;  $X_0$  为真值。

相对误差越小, 精度越高, 反之, 相对误差越大, 精度越低。

(3) 引用误差。在测量过程中, 由于使用的测量仪器的精度不同, 其测量误差也有一定的差异。引用误差是用来表示仪器显示值的相对误差。引用误差是指仪器某一刻度点显示值的绝对误差与满量程之比, 即:

$$\gamma = \Delta X / X_m \times 100\%$$

其中,  $\gamma$  为引用误差;  $\Delta X$  为某一刻度点显示值的绝对误差;  $X_m$  为量程上限。

仪器的精度等级就是根据引用误差来确定的。例如, 某一仪器的精度等级为 0.1, 则表示该仪器的最大引用误差不超过  $\pm 0.1\%$ 。目前, 我国电工仪表精度分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七个等级, 仪表精度数字越小, 性能越好。

(4) 基本误差。基本误差是指传感器或仪表在规定的标准条件下所具有的误差。例如, 某传感器是在电源电压为 220 V、电源频率为 50 Hz、环境温度为 20 °C、湿度为 65% 的条件下标定的。若该传感器在这些条件下工作, 则传感器所具有的误差为基本误差。

## (二) 测量误差分类

按误差出现的规律, 可分为随机误差、系统误差和粗大误差。按误差是否随时间变化, 可分为静态误差和动态误差。

(1) 随机误差。对同一被测量进行多次重复测量时, 其数值大小和符号不可预知地随机变化, 但是对于误差总体而言, 其具有一定的统计规律性, 这样的误差称为随机误差。随机误差是由测量过程中测量人员和测量设备的随机因素造成的, 在测量过程中是不可避免的, 只能通过提高测量人员的测量技术技能、改善测量方法或提高测量仪器的精度来减小随机误差。

(2) 系统误差。对同一被测量进行多次重复测量时, 如果误差按照一定的规律出现, 那么把这种误差称为系统误差。例如, 因标准量值的不准确及仪器刻度的不准确而引起的误差。系统误差主要是由测量实施方案或测量仪器的不完善造成的, 可以通过完善测量方案或改进测量仪器来减小系统误差。

(3) 粗大误差。粗大误差是指明显偏离测量结果的误差。粗大误差主要是由测量环境突然改变或测量实施过程中的错误等不稳定、不可预测的原因造成的, 一般在测量结果分析过程中予以剔除或忽略。

(4) 静态误差。静态误差是指被测量不随时间变化时所产生的误差。

(5) 动态误差。动态误差是指被测量随时间变化时所产生的误差。即被测量随时间迅速变化时, 系统的输出量在时间上不能与被测量的变化精确吻合。例如, 用水银温度计测量 100 °C 的液体的温度时, 水银温度计不可能一下就上升到 100 °C, 如果一测量就

马上读数势必产生误差,而该误差就是动态误差。

### (三)减少测量误差的常见方法

测量误差的三个主要来源是仪器条件、外界条件、观测者自身条件。

(1)对测量仪器进行校正。在测量开始前对仪器进行校验,对于精确度要求高的测量任务,应引入修正值进行校正,以消除测量工具本身带来的误差。

(2)消除产生误差的来源。在测量前选择正确的测量方法和适当的测量仪器,并使测量仪器在规定的条件下进行测量。

(3)采用特殊的测量方法。在实际测量过程中,可以根据被测对象的不同,采取不同的测量方法进行测量,以达到减小误差的目的,如等值替代法、换位消除法等。

(4)保持相对稳定的测量环境。即每次测量时将外界因素的值控制在一个相对稳定的范围内。

(5)观测者减少自身不利因素,避免影响测量结果。观测者要熟悉仪器的使用规则,测量过程中确保测量环境的稳定,指针式仪表读数时方法要正确。

## 任务 指导

### 步骤 1:准备计算工具、测量工具及纸张

要完成本工作任务,需要准备尺子 1 把/人、手机充电器 1 个/人、多用电表 1 台/人、铅笔 1 支/人、A4 纸 1 张/人、橡皮擦 1 块/人、长度为 200 mm 的物体 1 根/人、长度为 80 mm 的物体 1 根/人。

### 步骤 2:比较不同测量方法的准确度

用一种方法测量长度为 200 mm 的物体,其测量绝对误差为 $\pm 9 \mu\text{m}$ ;用另一种方法测量长度为 80 mm 的物体,其测量绝对误差为 $\pm 5 \mu\text{m}$ 。比较这两种测量方法的准确度。

**分析**:相对误差是指绝对误差与真值之比,它能反映测量值偏离真值的程度,计算公式为 $\delta = \Delta X / X_0 \times 100\%$ ,其中 $\delta$ 为相对误差,一般用百分数表示, $\Delta X$ 为绝对误差, $X_0$ 为真值。相对误差越小,精度越高,反之,相对误差越大,精度越低。我们可以通过计算两种测量方法的相对误差来判断它们的准确度。

**解**:已知用第一种方法测量长度为 200 mm 的物体,其测量绝对误差为 $\pm 9 \mu\text{m}$ ,用第二种方法测量长度为 80 mm 的物体,其测量绝对误差为 $\pm 5 \mu\text{m}$ 。

第一种测量方法的相对误差为



$$\delta = \Delta X / X_0 \times 100\% = \pm 9 \mu\text{m} / 200 \text{ mm} \times 100\% = \pm 9 \mu\text{m} / 200\,000 \mu\text{m} \times 100\% = \pm 0.0045\%$$

第二种测量方法的相对误差为

$$\delta = \Delta X / X_0 \times 100\% = \pm 5 \mu\text{m} / 80 \text{ mm} \times 100\% = \pm 5 \mu\text{m} / 80\,000 \mu\text{m} \times 100\% = \pm 0.00625\%$$

由此可知,第一种测量方法精度较高,第二种测量方法精度较低。

### 步骤3:测量手机充电器的输出电压和输出电流并计算绝对误差

使用多用电表测量手机充电器的输出电压和输出电流,并计算出它们的绝对误差。

**分析:**绝对误差是指测量值与真值之间的差值,它反映了测量值偏离真值的绝对数值。计算公式为  $\Delta X = X - X_0$ ,其中  $\Delta X$  为绝对误差, $X$  为测量值, $X_0$  为真值。

由于真值的不可知性,在实际应用中,常取多次测量值的平均值或高一等级标准仪器测得的数值作为真值。绝对误差  $\Delta X$  可以是正值也可以是负值。以华为手机充电器(输出电压 5 V,电流 1 A)为例,以高一等级标准仪器测得的输出电压 5 V、电流 1 A 作为真值。

**解:**(1) 计算手机充电器输出电压绝对误差。

① 已知华为手机充电器(输出电压 5 V,电流 1 A)电压真值  $X_0$  为 5 V。

② 将华为手机充电器(输出电压 5 V,电流 1 A)接通电源,多用电表调至合适的直流电压挡位,两只表笔接触手机充电器的输出插头(注意正、负极)。读出输出直流电压测量值  $X$  为 4.975 V。

③ 把  $X_0 = 5 \text{ V}$ 、 $X = 4.975 \text{ V}$  代入绝对误差计算公式  $\Delta X = X - X_0$ ,计算手机充电器输出电压绝对误差  $\Delta X = X - X_0 = 4.975 - 5 = -0.025$ 。

(2) 计算手机充电器输出电流绝对误差。

① 已知华为手机充电器(输出电压 5 V,电流 1 A)电流真值  $X_0$  为 1 A。

② 将华为手机充电器(输出电压 5 V,电流 1 A)接通电源并连接手机充电,多用电表调至合适的直流电流挡位,利用两只表笔把多用电表串联在手机和充电器之间。注意,红表笔接高电位,黑表笔接低电位,同时要尽量让手机耗光电再充电测量,否则测出的直流电流值不接近真值。最后读出输出直流电流测量值  $X$  为 0.967 3 A。

③ 把  $X_0 = 1 \text{ A}$ 、 $X = 0.967 3 \text{ A}$  代入绝对误差计算公式  $\Delta X = X - X_0$ ,计算手机充电器输出电流绝对误差  $\Delta X = X - X_0 = 0.967 3 - 1 = -0.032 7$ 。



手机充电器输出电压、电流测量

 知识拓展

### 从微小误差中得到新发现的科学家故事

1882年,瑞利为了证实普劳特假说,曾经测过氢和氧的密度。经过10年的测定,他宣布氢和氧的原子量之比实际上不是1:16,而是1:15.882。他还测定了氮的密度,发现从液态空气中分馏出来的氮,跟从亚硝酸铵中分离出来的氮,密度有微小但却是不可忽略的偏差。从液态空气中分馏出来的氮,密度为 $1.2572\text{ g/cm}^3$ ,而用化学方法从亚硝酸铵中直接得到的氮,密度却为 $1.2505\text{ g/cm}^3$ 。两者的数值相差千分之几。

他认为,这一差异远远超出了实验误差范围,一定有尚未查清的因素在起作用。为此,他先后提出过几种假说来解释造成这种不一致的原因。其中有一种是认为大气中的氮含有一种同素异形体,就像氧和臭氧那样,这种同素异形体混杂在大气氮之中。而利用化学方法所得的应该就是纯净的氮。两者密度之差说明这种未知的成分具有更大的密度。于是,瑞利仿照臭氧的化学符号 $\text{O}_3$ ,称未知成分为 $\text{N}_3$ 。

但是,瑞利的论文发表后没有引起人们的普遍注意,只有化学家拉姆赛表示有兴趣和他合作,进一步研究这一问题。拉姆赛重复了瑞利的实验,宣布证实了瑞利的发现,肯定了 $\text{N}_3$ 的存在。两位科学家在经过严密的研究后,于1894年确定所谓的 $\text{N}_3$ 并不是氮的同素异形体,而是一种特殊的、从未观察到的、不活泼的单原子气体,其相对原子质量为39.95,在大气中约含0.93%。他们给这种单原子气体取名为氩,其希腊文的原意是“不活泼”的意思。第一个惰性气体就这样被发现了。



## 项目练习



### 一、填空题

1. \_\_\_\_\_ 就相当于人的器官,承担着采集和转换信息的任务。
2. 现代科学技术使人类进入了信息时代, \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 成为信息产业的三大支柱。
3. 简单地说,传感器就是一种代替人体的 \_\_\_\_\_ 来完成信息获取与处理的装置。
4. 传感器一般由 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 三部分组成。
5. 常见的传感器分类方法有 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
6. 传感器应用在 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 等领域。
7. 传感器是自动检测与自动控制的必备元件,如果没有传感器对原始信息(信号或参数)进行精确、可靠的测量,就无法实现从信号的 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 到生产或控制过程的自动化。
8. 传感器按输出信号的不同可分为 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
9. 传感器按依据的效应可分为 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
10. \_\_\_\_\_ 是将敏感元件的输出量转换成电参量的元件。
11. \_\_\_\_\_ 是指测量时所用的,按类别叙述的一组操作逻辑次序。
12. 测量方法根据测量时是否与被测对象接触,可以分为 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_。
13. 测量误差的表示方法主要有 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
14. \_\_\_\_\_ 是指传感器或仪表在规定的标准条件下所具有的误差。
15. 测量误差按误差出现的规律可分为 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_。
16. 测量误差的三个主要来源是 \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
17. 测量结果可用一定的 \_\_\_\_\_ 表示,也可以用 \_\_\_\_\_ 或 \_\_\_\_\_ 表示。
18. 测量结果除了应包括测量值和测量单位,还应包括 \_\_\_\_\_。

19.绝对误差是指测量值与真值之间的差值,它反映了测量值偏离真值的绝对数值。计算公式为\_\_\_\_\_。

20.在一定条件下,被测量物理量客观存在的实际值称为\_\_\_\_\_。

## 二、选择题(不定项)

1.传感器按一定规律将感受到的信息变换为电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的( )等要求。

- A. 传输                      B. 处理                      C. 存储                      D. 显示、记录和控制

2.有些国家或学科领域又把传感器称为( )。

- A. 变换器                      B. 检测器                      C. 探测器                      D. 感觉器

3.转换电路是将转换元件输出的电参量进行处理,并以( )的形式输出的电路。

- A. 电压                      B. 电流                      C. 频率                      D. 电源

4.传感器的精度越高,其价格越( )。

- A. 高                      B. 低                      C. 以上都有可能

5.在机器人上安装( )、超声波传感器等,以检测周围的环境,从而使其代替人从事各类工作。

- A. 视觉传感器                      B. 接触传感器                      C. 压力传感器                      D. 碰撞传感器

6.典型的非接触测量方法有( )。

- A. 机器视觉测量                      B. 激光三角法                      C. 电涡流法                      D. 超声波测量法

7.按误差是否随时间变化,可分为( )。

- A. 静态误差                      B. 动态误差                      C. 测量误差                      D. 以上都是

8.用水银温度计测量 100 ℃ 的液体的温度时,水银温度计( )一下就上升到 100 ℃。

- A. 不可能                      B. 一定能                      C. 可能                      D. 也许

9.直接测量是指直接从计量器具获得被测量的量值的测量方法,如( )。

- A. 用游标卡尺测量                      B. 用千分尺测量  
C. 用多用电表测量                      D. 间接测量

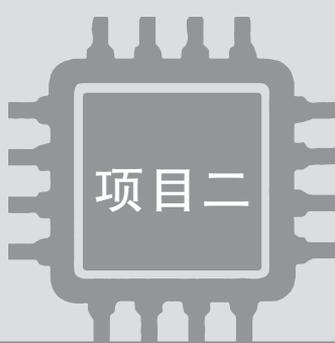
10.利用多用电表分别测量电压、电流,然后用公式计算出电功率的大小,属于( )测量。

- A. 间接                      B. 分开                      C. 公式                      D. 直接



### 三、简答题

1. 传感器在日常生活中的应用,你知道多少种?请举例说明。
2. 什么是系统误差?
3. 什么是粗大误差?
4. 已知待测力约为 70 N,现有两个测力仪表,一个测力仪表的精度等级为 0.5,测量范围为 0~500 N,另一个测力仪表的精度等级为 1.0,测量范围为 0~100 N,问选哪一个测力仪表好?为什么?



## 项目二

# 温度传感器检测与应用

### ● 项目描述

温度是表示物体冷热程度的物理量。在生活、生产和科研中,经常需要对物体的温度进行测量和控制,如环境温度、家用电器温度和工业炉温的测量和控制。

按照测温的原理来划分,温度传感器分为电阻式、热电动势式、热膨胀式、辐射式。按照感温元件是否与被测对象接触来分,有接触式和非接触式两大类。按照传感器与单片机的接口来分,有分立式、模拟集成、智能数字三类。常用的温度传感器有膨胀式、双金属片式、磁性式、热电偶式、热电阻式、热敏电阻式、PN结及集成式等类型。本项目介绍的是最为常见的电阻式温度传感器和热电偶温度传感器。

## ● 项目学习目标

### 1. 知识与技能

了解温度传感器的类型与适用范围,掌握电阻式温度传感器和热电偶温度传感器的检测方法,并能举例说出温度传感器的常见应用。能用多用电表判断金属热电阻、半导体热敏电阻和热电偶的好坏。

### 2. 过程与方法

通过完成工作任务学习温度传感器的知识和技能,掌握温度传感器在温度测量和温度控制中的应用。

### 3. 情感态度与价值观

培养愿意了解生产、生活中与温度传感器相关的知识和技能的兴趣,增强主动参与温度传感器学习活动的意识,初步养成乐于思考、勇于质疑、言必有据等良好品质。

## 任务一 测温电路中电阻式温度传感器检测与应用

### 学习目标

- (1) 熟悉测温电路中金属热电阻和半导体热敏电阻的特性。
- (2) 掌握测温电路中金属热电阻和半导体热敏电阻的检测方法。
- (3) 能说出测温电路中金属热电阻和半导体热敏电阻的具体应用。
- (4) 会使用多用电表检测金属热电阻和半导体热敏电阻。
- (5) 培养主动参与学习和实践的意识,逐步养成乐于思考、勇于质疑、言必有据等良好品质。

### 建议学时

5 学时:理论 4 学时,实训 1 学时。

### 工作任务

电阻式温度传感器广泛应用于家用电器和工业控制中,如空调、汽车、冰箱、洗衣机、电视机、计算机等。本次工作任务是检测半导体热敏电阻。图 2-1-1 所示的是家用电器测温电路中的两个半导体热敏电阻,它们的型号分别为 MF72NTC47D-15、MF58-103J3950。

请在工作页完成以下任务:

- (1) 写出这两个半导体热敏电阻的检测方法。
- (2) 识读半导体热敏电阻,使用多用电表检测并判断它的好坏。



图 2-1-1 半导体热敏电阻



## 知识准备

电阻式温度传感器属于直接接触式测量传感器,广泛应用于中、低温( $-200\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ )范围内的温度测量,如空调、冰箱、汽车空调等。电阻式温度传感器是将被测量的温度变化转换成电阻值变化的装置,一般分为金属热电阻温度传感器和半导体热敏电阻温度传感器。金属热电阻、半导体热敏电阻是电阻式温度传感器常用的核心器件。

### 一、热电阻效应

先在室温下使用多用电表测量一段细铜丝的电阻值,再加热(用酒精灯加热)这段细铜丝后测量它的电阻值,我们会发现这段铜丝的电阻值随着温度的变化而变化,即金属导体温度升高时,其电阻值增大,反之,电阻值减小。用半导体材料做同样的实验,我们发现半导体的电阻值也会随着温度的变化而变化。

导体或半导体材料的电阻值随温度变化的现象称为热电阻效应,这些材料称为热电阻。电阻式温度传感器就是利用热电阻效应的原理制成的。

热电阻按材料来分有两大类,一类是由金属导体铜、铂等制成的感温元件,称为金属热电阻;另一类是由硅、锗等半导体材料制成的感温元件,称为半导体热敏电阻,简称热敏电阻。金属热电阻和热敏电阻在电路中的图形符号如图 2-1-2 所示。

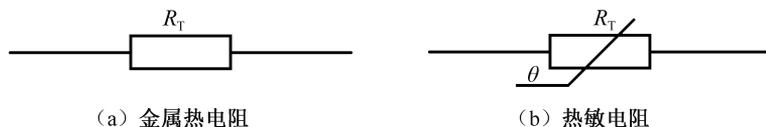
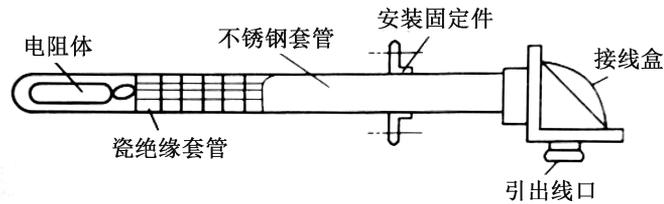


图 2-1-2 金属热电阻和热敏电阻在电路中的图形符号

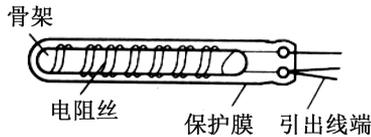
### 二、金属热电阻

#### (一) 金属热电阻的结构

图 2-1-3 展示的是金属热电阻的结构。为了避免交流信号通过金属热电阻时产生电抗,在绕制金属热电阻时采用双线无感绕制法,即将直径为  $0.02\sim 0.07\text{ mm}$  的铜丝或铂丝绕在云母等绝缘骨架上,再装入保护套并接出引线,就做成了一个金属热电阻。



(a) 金属热电阻结构示意图



(b) 金属热电阻内部结构图

图 2-1-3 金属热电阻的结构

制作金属热电阻通常使用铂和铜,现在开始使用铑、镍、锰等材料。铂是目前公认制作金属热电阻最好的材料。铂热电阻(WZP)的优点是测量精度高,测量范围广,为 $-200\sim 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,缺点是温度系数小、价格高。铂热电阻多用于工业测温,并被制成标准温度基准仪。铜热电阻(WZC)的测温范围为 $-50\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,温度系数较大,电阻率较低,价格低,但体积较大,容易被腐蚀,多用于测量精度要求不高、低温及无腐蚀性的场合。

### (二) 金属热电阻温度传感器的工作原理

当金属热电阻的温度升高时,虽然金属热电阻内自由电子的数目基本不变,但每个自由电子的动能都增加,因而在一定的电场作用下,要使这些杂乱无章的电子做定向运动就会遇到更大的阻力,导致金属热电阻的电阻值随温度升高而增大。

### (三) 金属热电阻温度传感器的规格型号

金属热电阻型号一般用字母和数字表示。字母W表示温度仪表,Z表示金属热电阻,P表示铂材料,C表示铜材料,K表示铠装式;不同的数字表示偶丝对数或表示其为防喷式、防水式等。

为了区分不同的金属热电阻,通常还采用分度号。分度号是用来反映温度传感器在测量温度范围内温度变化对应传感器电压或者电阻值变化的标准数列。金属热电阻分度号主要有Pt100、Pt1000、Pt10、Pt800、Pt500等铂热电阻分度号,Cu50、Cu100、Cu10等铜热电阻分度号。分度号由字母和数字两部分组成,字母表示金属热电阻材料,数字表示 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时该金属热电阻的阻值,也称标称阻值,单位是 $\Omega$ 。其中Pt100和Cu50的应用最为广泛。Pt100表示该金属热电阻的材料是铂,铂热电阻在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的阻值为 $100\ \Omega$ 。同理,Cu50表示该金属热电阻的材料是铜,铜热电阻在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的阻值为 $50\ \Omega$ 。常用金属热电阻的技术性能如表2-1-1所示。



表 2-1-1 常用金属热电阻的技术性能

名称		分度号	温度范围/℃	温度为 0℃ 时的电阻值 $R_0/\Omega$	电阻比 $R_{100}/R_0$	主要特点
标准金属热电阻	铂热电阻 (WZP)	Pt10	-200~850	10±0.01	1.385±0.001	测量精度高, 稳定性好, 可作为基准仪器
		Pt50		50±0.05		
		Pt100		100±0.1		
	铜热电阻 (WZC)	Cu50	-50~150	50±0.05	1.428±0.002	稳定性好, 测量精度高, 但体积大, 机械强度较低
Cu100		100±0.1				

#### (四) 金属热电阻温度传感器故障的原因及处理方法

金属热电阻温度传感器常见故障有短路故障和断路故障。一般使用多用电表检测, 若测得的电阻值小于  $R_0$  (0℃ 时的电阻值), 则可能是电阻丝有短路故障; 若测得的电阻值为无穷大, 则为断路故障。

短路故障的处理方法: 一般是找到短路处, 先吹干, 再加强绝缘。

断路故障的处理方法: 一般是更换新的电阻体, 如果是焊接修复, 那么要校验合格后方可使用。

### 三、热敏电阻

#### (一) 热敏电阻结构材料

热敏电阻是由某些金属氧化物或单晶硅、锗等材料按特定工艺制成的感温元件。常见的热敏电阻如图 2-1-4 所示。它对温度的反应较为敏感, 且电阻值随温度变化显著。



图 2-1-4 常见的热敏电阻

热敏电阻具有灵敏度较高、工作温度范围广、体积小、易加工、稳定性好、过载能力强等特点,主要应用于测温、温度补偿、温度控制及电路保护。

## (二) 热敏电阻的种类

热敏电阻根据其电阻值随温度变化的不同,可分为正温度系数热敏电阻和负温度系数热敏电阻两大类。

正温度系数热敏电阻又称为 PTC 热敏电阻,其电阻值随温度升高而增大,即电阻值的变化与温度的变化成正比例关系。其温度-电阻特性如图 2-1-5 所示。

负温度系数热敏电阻又称为 NTC 热敏电阻,其电阻值随温度升高而减小,即电阻值的变化与温度的变化成反比例关系。NTC 热敏电阻又可分为负指数型 NTC 热敏电阻和突变型 NTC 热敏电阻。负指数型 NTC 热敏电阻的电阻值与温度之间的关系呈负指数关系,其温度-电阻特性如图 2-1-5 所示,可用于空调、电热水器测温。突变型 NTC 热敏电阻又称为临界温度型热敏电阻(CTR),当温度上升到某临界点时,其电阻值突然下降,可用于抑制各种电子电路的浪涌电流,其温度-电阻特性如图 2-1-5 所示。

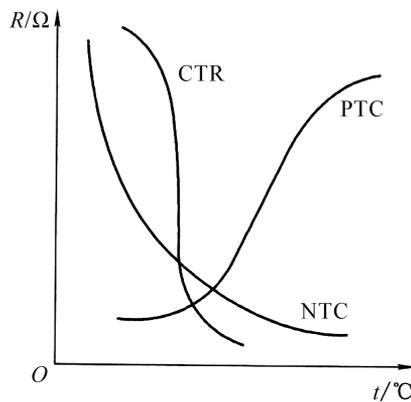


图 2-1-5 不同热敏电阻的温度-电阻特性

## (三) 热敏电阻的型号规格

根据中华人民共和国电子行业标准中《敏感元器件及传感器型号命名方法》的规定,热敏电阻的产品型号由下列四部分组成:第一部分是主称,用字母表示,字母“M”表示敏感元器件;第二部分是类别或材料,用字母表示,字母“Z”表示直热式正温度系数热敏电阻器,字母“F”表示直热式负温度系数热敏电阻器;第三部分是特征,用数字表示,见表 2-1-2;第四部分是序号和区别代号,用数字表示。



表 2-1-2 热敏电阻命名时用途或特征用数字表示的意义

数字	意义
0	表示特殊型(负温度系数热敏电阻器)
1	表示普通用途
2	表示稳压用途(负温度系数热敏电阻器)
3	表示微波测量用途(负温度系数热敏电阻器)
4	表示旁热式(负温度系数热敏电阻器)
5	表示测温用途
6	表示控温用途
7	表示消磁用途(正温度系数热敏电阻器)
8	表示线性型(负温度系数热敏电阻器)
9	表示恒温型(正温度系数热敏电阻器)

#### (四) 热敏电阻的检测

热敏电阻的检测主要包括标称值检测和热性能检测。

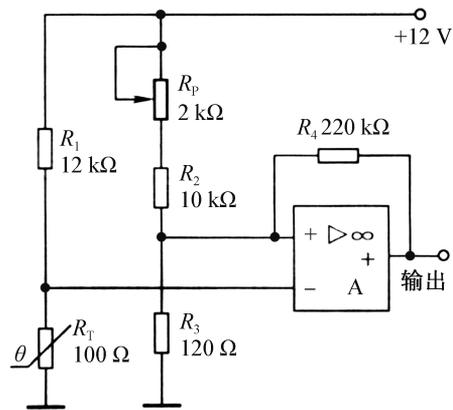
标称值检测也称常温检测(室内温度 25 °C 左右)。检测方法:用多用电表的电阻挡测出热敏电阻的电阻值,再与标称值比较,两者相差 5% 以内即为正常,若相差过大,则是性能不良或已损坏。

热性能检测也称加温检测或减温检测。检测方法:先用多用电表的电阻挡检测热敏电阻的电阻值,再将热源(电烙铁)或冷源(冰)靠近热敏电阻对其进行加热或冷却,观察多用电表电阻值的读数,如果电阻值随温度变化而逐渐改变,到一定数值就基本稳定,那么说明热敏电阻正常,若电阻值无变化,则说明其性能变差,不能继续使用。

## 四、金属热电阻和热敏电阻的应用

### (一) 金属热电阻测温电路

图 2-1-6 为金属热电阻(2 线式铂热电阻  $R_T$ ) 的测温电路。该电路主要对电路板上功率晶体管周围的温度进行测量。当温度超过 60 °C 时,集成电路 A 的输出端输出低电平,并控制有关电路进行温度调节,反之,输出高电平。

图 2-1-6 金属热电阻(2线式铂热电阻  $R_T$ )测温电路

### (二) 热敏电阻测温的温度补偿电路

图 2-1-7 为热敏电阻测温的温度补偿电路。该电路由负温度系数热敏电阻  $R_T$  和负载串联在一起组成温度补偿电路,利用负温度系数热敏电阻的特性抵消温度变化所产生的误差。

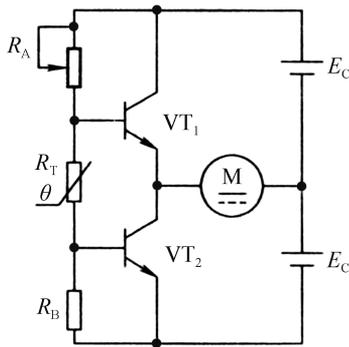


图 2-1-7 热敏电阻测温的温度补偿电路

### (三) 热敏电阻测温的温度控制电路

图 2-1-8 所示的是热敏电阻测温的温度控制电路。热敏电阻  $R_T$  的电阻值随温度变化时,会引起晶体管  $VT_1$  集电极电流的变化,由二极管  $VD_2$ 、电容  $C$  构成的充放电时间常数也发生变化,使单结晶体管  $VU$  输出的脉冲相位发生改变,改变了晶闸管  $VTH$  的导通角,从而调整加热电阻丝  $R$  上的电源电压,达到温度自动控制的目的。

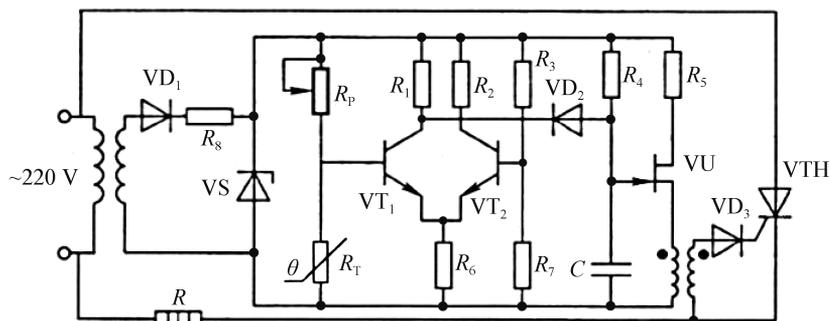


图 2-1-8 热敏电阻测温的温度控制电路

#### (四) 热敏电阻测温的热过载保护电路

图 2-1-9 所示的是热敏电阻测温的热过载保护电路。在该电路中,热敏电阻  $R_{T1}$ 、 $R_{T2}$ 、 $R_{T3}$  分别放置在电动机的三相绕组上。电动机正常工作时,绕组的温度较低,晶体管 VT 截止,继电器 K 不通电、不工作。当电动机过载时,绕组温度急剧升高,热敏电阻的电阻值也跟着发生变化,导致晶体管 VT 导通,继电器 K 通电后工作,它的动断开关促使电动机供电电路断开,达到保护电动机的目的。

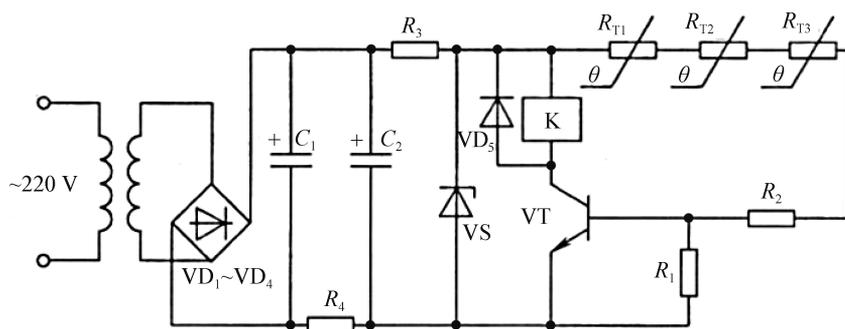


图 2-1-9 热敏电阻测温的热过载保护电路

### 任务指导

#### 步骤 1: 准备检测设备、元器件及耗材

要完成电阻式温度传感器识读与检测任务,需要准备指针式多用电表 1 台/组,镊子 1 把/组,螺丝刀 1 把/组,电烙铁 1 把/组,热敏元件 2 个(不同类型各 1 个)/组,连接导线若干/组。

## 步骤 2: 写出热敏电阻的检测方法

热敏电阻的检测主要包括标称值检测和热性能检测。

标称值检测也称常温检测(室内温度 25 ℃ 左右)。检测方法:用多用电表的电阻挡测出热敏电阻的电阻值,再与标称值比较,两者相差 5% 以内即为正常,若相差过大,则是性能不良或已损坏。

热性能检测也称加温检测或减温检测。检测方法:先用多用电表的电阻挡检测热敏电阻的电阻值,再将热源(电烙铁)或冷源(冰)靠近热敏电阻,对其进行加热或冷却,观察多用电表电阻值的读数,如果电阻值随温度变化而逐渐改变,到一定数值就基本稳定,则说明热敏电阻正常,若电阻值无变化,则说明其性能变差,不能继续使用。

## 步骤 3: 识读、检测热敏电阻并判断它的好坏

### 1. 识读热敏电阻

认真观察实训室提供的热敏电阻,其中一个型号为 MF72NTC47D-15,是负温度系数的功率型热敏电阻,标称值是 47 Ω,另一个型号为 MF58-103J3950,是负温度系数的热敏电阻,标称值是 10 kΩ,将相应信息填入表 2-1-3。



热敏电阻测量

表 2-1-3 热敏电阻的相关信息列表

序号	型号	种类	标称值/Ω	常温下 电阻值/Ω	加热后 电阻值/Ω	质量 好坏
1						
2						

### 2. 使用多用电表检测并判断热敏电阻的好坏

(1) 根据热敏电阻的标称值选择合适的挡位,并调零。

(2) 用鳄鱼夹代替表笔,分别夹住热敏电阻的两个引脚,记下此时的电阻值,并填在表 2-1-3 中。

(3) 用手捏住热敏电阻,观察多用电表的示数,此时会看到显示的数据(指针会慢慢移动)随着温度的升高而改变,这表明电阻值在逐渐改变(负温度系数热敏电阻的电阻值会变小,正温度系数热敏电阻的电阻值会变大)。当电阻值变化到一定数值时,数据(指针)会逐渐稳定。记下此时的电阻值,并填入表 2-1-3 中。这样可证明该热敏电阻是好的,反之就是坏的。最后将判断结果填入表 2-1-3 中。



注意:①若环境温度接近体温,则采用这种方法就不合适。这时可用电烙铁或者其他热源靠近或紧贴热敏电阻对其进行加热,同样会看到电阻值改变。②用多用电表检测负温度系数热敏电阻时,需要注意热敏电阻的标称值与多用电表的读数不一定相等。这是由于标称值是用专用仪器在 25 ℃ 的条件下测得的,而用多用电表测量时有一定的电流通过热敏电阻而产生热量,而且环境温度不一定是 25 ℃,所以不可避免地会产生误差。

## 知识拓展

### 从“中国制造”到“中国创造”,航天人的征程永无止境

——“大国工匠”王曙群

全国劳动模范、中国航天科技集团八院 149 厂对接机构总装组组长王曙群在中国航天这片土地上奋斗了三十多年,正是在这里,他成长为“大国工匠”。

王曙群作为一名有着 26 年党龄的航天企业基层一线的党员,更是切实感受到国家这些年发生的巨大变化。他先后参与天宫、神舟、天舟、嫦娥等型号航天设备的科研生产和发射任务,曾获中华技能大奖、国家科学技术进步奖二等奖、全国五一劳动奖章、全国劳动模范、全国敬业奉献模范、全国“最美职工”等荣誉,牵头研发了 50 多台(套)专用装备,获得 5 项国家发明专利。

王曙群认为,对于新时代的产业工人而言,不仅要用劳动创造时代价值,还要做好时代的传承者,坚定“功成不必在我,功成必定有我”的使命担当。团队同样需要拥有开拓创新的“拓荒牛”精神,立足岗位持续赋能,展示新时代航天一线技能工人在推动“中国制造”走向“中国创造”过程中的责任担当。

2022 年,围绕空间站在轨组装,王曙群团队承担了包括对接机构在内的多种机构类产品总装总测任务。为了确保各项任务的顺利完成,十年来,他们一直致力于青年技能人才的培养,打破原有“一师一徒”的培养方式,改成了“一师多徒、一徒多师”的能力互学培养模式,从而激发全体组员的活力,发挥集体力量,让青年组员快速成长,掌握更多的绝技绝活,创新发明更多的专利成果。

王曙群说,要用心怀梦想的动力和奋勇拼搏的行动,一步一个脚印,一棒接一棒,切实以岗位建功立业的实际行动来推动航天事业的快速发展,践行建设航天强国的初心和使命,围绕型号任务,保证产品交付“零缺陷”,用发射的圆满成功来学习贯彻落实党的二十大精神。