



中等专业学校
电子信息类

DIANZIKEJIDAXUECHUBANSHE

XILIEJIAOCAI

规划教材

中专计算机

微型计算机 控制技术

曾庆波 孙国霞 编著



电子科技大学出版社

10/6
TP273-43

Z22

微型计算机控制技术

曾庆波 孙国霞 编著



A0930640

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍微型计算机在工业测控及智能仪器仪表应用中的常见技术。全书共分七章,内容包括:自动控制系统概述、传感器与执行元件、自动控制理论基础、微型计算机接口技术、微型计算机控制系统的数据处理方法、微型计算机控制系统、微型计算机控制系统实例。本书在编写时,注重物理概念,力求语言通俗简炼,注重实用性。

本书可作为电子类中专学校计算机应用、电子技术、机电一体化等专业的教材或参考书,也可供有关工程技术人员参考。

声 明

本书无四川省版权防盗标识,不得销售;版权所有,违者必究,举报电话: (028)6636481 6241146 3201496

微型计算机控制技术

曾庆波 孙国霞 编著

出 版: 电子科技大学出版社 (成都建设北路二段四号, 邮编: 610054)

责任编辑: 黄礼玲

发 行: 新华书店

印 刷: 四川建筑印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张 14 字数 340 千字

版 次: 1999 年 12 月第一版

印 次: 1999 年 12 月第一次

书 号: ISBN 7-81065-312-1 / TP · 192

印 数: 1—4000 册

定 价: 16.50 元

前 言

《微型计算机控制技术》一书是中国计算机学会中专教育学会中专计算机“九五”编写计划系列教材之一，并由全国中专计算机专业教学指导委员会负责征稿、审定、推荐出版。责任编委刘辉全。

微型计算机控制技术是一门综合性很强的学科，涉及的内容十分广泛。本书以MCS-51单片机为背景，主要介绍微型计算机在工业测控及智能仪器仪表应用中的常见技术，以提高学生的综合技术能力。本教材共分七章。第一章至第三章主要介绍自动控制技术的基础知识，内容包括自动控制系统概述、传感器与执行元件、自动控制理论基础。第四章至第六章主要介绍计算机应用于控制领域所需的相关技术，内容包括微型计算机接口技术、微型计算机控制系统的数据处理方法、微型计算机控制系统。第七章是微型计算机控制系统实例。本书在编写时考虑到中专学生的特点，力求文字通俗简炼，注重物理概念，避免繁琐的数学推导及证明。在内容结构安排和选材上，注重系统性、完整性和实用性。为便于课堂知识的巩固，除最后一章外，每章末均附有习题。本书主要内容的教学参考学时数约为90学时，使用时可根据学时数和实际情况对内容加以取舍。

本书由黑龙江省电子工业学校曾庆波主编，山东工业大学孙国霞参编。曾庆波编写第一章、第三章、第五章、第六章和第七章的第一、二节。孙国霞编写第二章、第四章、第七章的第三节。全书由曾庆波统稿。

本书由黑龙江省电子技术研究所的修焕新高级工程师（教授级）主审。她详细审阅了本教材，提出了许多宝贵意见，编者在此对她表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者
1999年8月

第一章 自动控制系统概述

微型计算机控制技术是微型计算机技术和自动控制技术的综合。微型计算机应用自动控制领域后,使自动控制技术得到了迅速发展。目前,以微型计算机为核心的控制系统种类繁多,而且控制算法也非常丰富。

微型计算机控制技术是一门综合性很强的学科,涉及的内容十分广泛。为此,本书首先介绍自动控制技术的基本概念和基础理论,以及自动控制系统常用的检测元件与执行元件,然后讨论微型计算机应用于控制领域的相关技术,最后通过实例阐述微型计算机控制技术。本章主要论述自动控制系统的基本概念、组成与分类,以便为后面的学习奠定基础。

§ 1.1 自动控制系统

§ 1.1.1 自动控制

图1-1所示为一煤气加热炉温度自动控制系统工作原理图。加热炉是工业生产中常见的工艺设备,根据工艺要求,炉内的温度应保持在一定的数值上。

在这个系统中,加热炉是生产设备,炉温是表征其工作状态的物理量。煤气是加热炉的能源,煤气通过阀门后与空气在混合器混合后进入加热炉燃烧,使加热炉具有一定的温度。显然,只要供给加热炉一定流量的煤气,那么炉温就会保持一定的数值,改变煤气的流量,炉温就会随之改变。阀门是用来控制煤气流量的,调节煤气管道上的阀门,就可改变炉温。直流电动机是用来控制阀门开度的,进而控制煤气的流量。功率放大器是用来驱动直流电动机工作的。给定电位计是决定炉温的元件,因为给定电位计输出的电压,经功率放大器放大后,驱动直流电动机去调节阀门的开度,使相应流量的煤气进入加热炉燃烧,从而使加热炉有相应的温度。显然,改变给定电位计输出的电压,就会改变加热炉的温度。所以,给定电位计输出的电压代表加热炉的温度,即代表规定的炉温。热电偶是测量元件,它能把炉温转变为相应的电压信号,即它输出的电压代表实际的炉温。为了实现自动控制,测量元件是必不可少的。

由于环境温度的变化、加热工件数量的变化以及煤气压力的变化(压力变化将导致煤气流量变化)等因素,将使炉温偏离规定的数值,所以必须加以控制。控制的任务是保持炉温恒定。

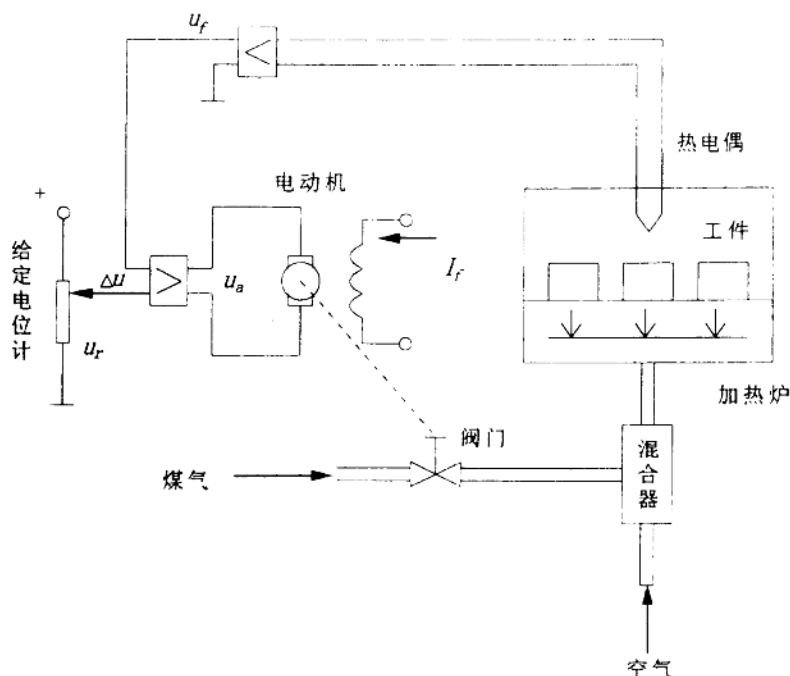


图 1-1 煤气加热炉温度自动控制系统工作原理图

系统的控制原理:

假定炉温恰好等于规定的数值, 则 $u_f = u_r$, 即 $\Delta u = u_r - u_f$ 。因为 u_r 代表炉温的规定值, 而 u_f 代表炉温的实际值, 只有当炉温的实际值等于规定值时, u_f 才等于 u_r 。此时, 电机连同调节阀门静止不动, 煤气流量一定, 加热炉处于规定的恒温状态。

如果由于某种原因导致炉温的实际值低于规定值, 即 $u_f < u_r$, 则 $\Delta u > 0$, 电机在此电压作用下, 带动阀门开大。增加煤气供给量, 从而使炉温升高, 直至重新等于规定值(即 $u_f = u_r$)为止。

同样, 如果由于某种原因导致炉温的实际值高于规定值, 则 $\Delta u < 0$, 电机将反转关小阀门, 减少供气量, 从而使炉温下降, 直至等于规定值。

所谓自动控制, 就是利用控制装置使被控制对象的某些物理量自动地按照预定的规律变化。自动控制系统是指被控制对象和控制装置的总体。

被控制对象, 是指要求实现自动控制的设备或过程。如加热炉、电动机以及化工过程等。被控制对象也称为控制对象或对象。

控制装置, 是指对被控制对象起控制作用的设备的总体。

为了便于分析和研究自动控制系统, 下面介绍一下自动控制系统的基本术语。

被控量(被控参数, 系统的输出量): 是指被控制对象中要求保持恒定或按一定规律变化的物理量。它是表征被控制对象工作状态的物理量。如电动机的转速、加热炉的温度、流

体的流量等。被控量一般就是系统的输出量，是时间的函数，记作 $c(t)$ 。

给定值(给定输入，输入信号，输入量)：是指决定被控量变化规律的物理量。它是系统的输入量，也是时间函数，记作 $r(t)$ 。

干扰信号：破坏系统平衡，导致系统的被控量偏离其给定值的一切因素，称为干扰信号，记作 $N(t)$ 。

反馈信号：系统的输出量经过变换(或直接)回送到系统的输入端与给定值进行比较的信号，称为反馈信号，记作 $b(t)$ 。如加热炉温度自动控制系统中的热电偶输出信号。

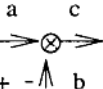
偏差信号：给定信号与反馈信号之差，它是比较元件的输出信号，记作 $e(t)$ 。

为形象直观地表明系统的结构，说明系统中各元件间信号传递的关系，常用方框图表示系统。系统的方框图是由方框、信号线、比较点、引出点四个基本符号组成。这些符号是：

组成系统的每一元件(或环节)用一方框表示，符号为“”。

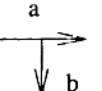
符号“”表示信号线，箭头的方向表示信号的传递(作用)方向。元件间用信号线联接起来，箭头指向方框的信号线表示该元件的输入信号，从方框向外指的信号线表示该元件的输出信号。

符号“ $\otimes$ ”表示比较点(或称比较器)，它有对几个信号进行求代数和功能。在各输入

信号线的旁边标以“+”或“-”号，表示该信号的运算符。如表示 $c=a-b$ 。为

简洁起见，“+”号可省略不标，但“-”号则不能不标。

符号“”表示引出点，即表示信号引出的位置。从同一位置引出的信号，其数

值和性质完全相同。如表示 $a=b$ 。

煤气加热炉温度自动控制系统的方框图如图1-2所示。此图则形象直观地表明了该系统的结构以及系统中各元件之间相互作用的关系。

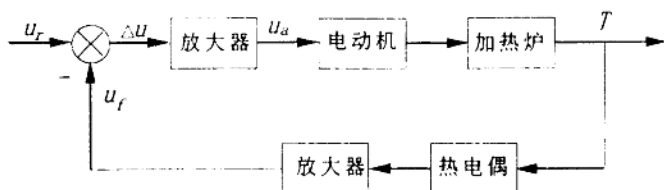


图 1-2 煤气加热炉温度自动控制系统的方框图

自动控制系统由于结构类型不同，所完成任务不同，所以类型很多。但自动控制系统按其控制的方式，可分为开环控制系统和闭环控制系统两种。

§ 1.1.2 开环控制系统

开环控制系统原理方框图如图1-3所示。



图 1-3 开环控制系统原理方框图

开环控制系统的特征是：信号的传递是单方向的。系统的输出量对系统的控制作用无影响。

图1-4所示的直流电动机转速控制系统就是一个典型开环控制系统。在这个系统中，被控对象是直流电动机，要求进行控制的参数是电动机的转速，控制装置是功率放大器。系统的输入量是电位器的输出电压，系统的输出量是直流电动机的转速。

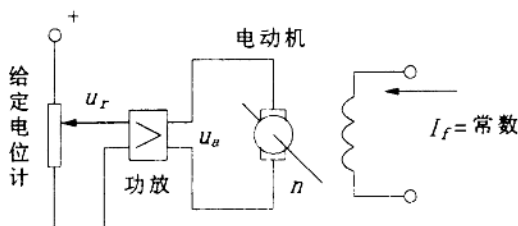


图 1-4 直流电动机转速开环控制系统

根据直流电动机的工作原理可知，直流电动机在恒定磁场作用下，若供给其一定的直流电压，就以一定的速度转动；改变供给的直流电压，转速就会随之而变。

在直流电动机转速开环控制系统中，直流电动机由功率放大器提供工作电压，用电位器设定功率放大器的输入电压。通过改变电位器的输出电压使功率放大器输出的直流电压变化，从而使电动机的转速随之改变。因此，系统的输出量(电动机的转速)受输入量(电位器的输出电压)的控制。系统的方框图如图1-5所示。

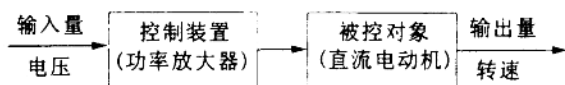


图 1-5 直流电动机转速开环控制系统方框图

开环控制系统结构简单，但控制精度低，抗干扰能力差。如图是1-4所示的系统，如果

系统受到干扰信号的影响(假设由于电源电压降低,而导致功率放大器输出的直流电压降低),那么电动机的转速也随之变化(转速降低),电动机的转速不能保持恒定。所以开环控制系统只适用于一些简单的要求不高的场合。

§ 1.1.3 闭环控制系统

闭环控制系统原理方框图如图1-6所示。

闭环控制的原理是:测量被控量的实际值,并将它送回输入端与给定值进行比较(代数运算),得到它们的差值(偏差),根据偏差进行控制,使被控量按规定的规律变化。图1-1所示的煤气加热炉温度自动控制系统就是按闭环进行控制的。

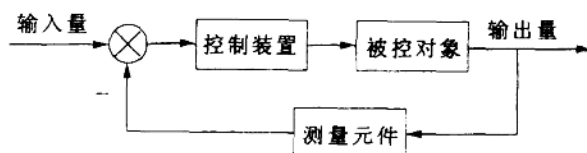


图 1-6 闭环控制系统原理方框图

闭环控制系统的特征是:系统中,信号传递关系形成了闭合回路(环),系统的输出端与输入端之间在结构上存在反馈通道,故闭环控制系统也称为反馈控制系统。

由于闭环控制(反馈控制)是根据被控量的给定值与实际值的偏差进行控制,控制的目的是要消除(或减小)这个偏差,那么控制作用的方向就必须与偏差的极性相反。即假设某种原因使被控量的实际值高于给定值时,偏差为负,那么控制装置在此偏差信号作用下,应使被控量降低,这样,偏差才能消除(或减小),系统的被控量等于(或接近于)给定值;相反,某种原因使被控量的实际值低于给定值时,偏差为正,控制装置就应在该偏差信号作用下,使被控量升高,偏差才能消除(或减小),使系统的被控量等于(或接近于)给定值。由此可见,闭环控制系统之所以能够进行自动控制,是由于在系统中引入了负反馈,即系统的反馈信号的极性相对系统的输入信号是负的。我们所说的闭环控制系统指的就是闭环负反馈控制系统。

下面让我们考察图1-7所示直流电动机转速闭环控制系统。

在这个系统中,直流电动机是被控对象,其转速是被控量。功率放大器是控制装置,是用来驱动直流电动机工作的。测速发电机是测量元件,也是反馈元件,它将输入的机械转速变换成电压信号输出,即它的输出电压代表了直流电动机的实际转速。系统的输入量是电位器的输出电压,它代表直流电动机的规定转速,系统的输出量是直流电动机的转速。

系统的控制任务是保持直流电动机的转速在规定的数值上恒定。

系统的控制原理:设系统的输入电压为 u_r , 测速发电机的输出电压为 u_f , 偏差电压 $e = (u_r - u_f)$ 经功率放大器放大后得到直流电压 u_a , 直流电动机在此电压的作用下,以规定的转速旋转。如果由于某种原因使直流电动机的转速高于(或低于)规定的转速,测速发电

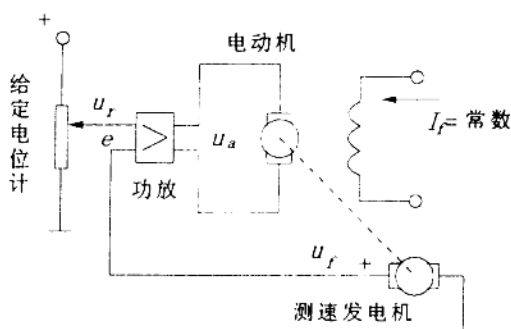


图 1-7 直流电动机转速闭环控制系统

机的输出电压 u_f 将增大(或减小)，则偏差电压将减小(或增大)，经功率放大器使 u_a 减小(或增大)，从而使直流电动机的转速恢复到规定的数值。

直流电动机转速闭环控制系统的原理方框图如图1-8所示。

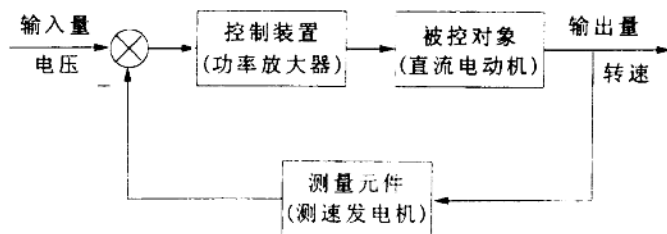


图 1-8 直流电动机转速闭环控制系统方框图

闭环控制系统和开环控制系统相比较，具有控制精度高，抗干扰能力强的优点。因为无论何种原因使系统的被控制偏离规定值，系统都能检测出来，然后进行调节，修正被控量，以克服干扰的影响，提高系统的准确性。

§ 1.2 自动控制系统的组成与分类

§ 1.2.1 自动控制系统的组成

一个自动控制系统是由被控对象和控制装置这两大部分组成的。其中控制装置又是由一些基本的元件构成的，每个元件发挥一定的职能。控制装置一般包含下列基本元件：

1. 测量元件：它的职能是把被控制的物理量检测出来。如果这个物理量是非电量，需

把它转换成电量,以便传递与处理。例如被控量是转速,则常采用测速发电机作为测量元件;对于温度,则常用热电偶或热电阻作为测量元件。测量元件一般就是反馈元件。

2. 设定元件:它的职能是给出被控量应取的数值信号,也就是设定给定值。给定值与测量元件送来的信号量纲要相同,以便比较和处理(例如同是电压或电流等)。

3. 比较元件:它的职能是把测量信号与给定信号进行比较,求出它们的差值,即偏差。在实际系统中,可用差动放大器、电桥作为比较元件。对于直流电压信号,有时可以不专设比较元件,只要把两个电压信号反向串联,就可求出电压差值。

4. 放大元件:它的职能是把比较元件给出的微弱信号放大。放大元件的输出心须有足够的功率,才能实现控制的功能。对于电信号,放大元件常是电压或功率放大器。

5. 执行元件:它的职能是直接推动被控对象,以改变被控量。如电动机、调节阀等。

6. 校正元件:它的职能是用于改善系统的性能。校正元件的参数和结构要便于调整。最简单的校正元件可以是一个由电阻和电容构成的网络,复杂的校正元件可以是微型计算机。

在实际系统中,并非一个元件只执行一种功能,有时一个元件兼备几种功能。

§ 1.2.2 自动控制系统的分类

自动控制系统的类型很多,可以从不同角度对系统进行分类。分类的目的在于对系统进行分析或设计之前,对系统有一定的认识,以便为分析或设计工作确定适当的方法。

一、恒值控制系统与随动控制系统

如果按照给定信号的特征划分,系统可分为恒值控制系统和随动控制系统。

恒值控制系统:这类系统的特点是给定信号一经设定,便维持常值不变。系统的任务是克服干扰因素对系统输出量的影响,使系统输出量维持规定的数值不变。如果由于系统结构的原因,使得系统在干扰信号作用下,输出量偏离规定数值,经过控制后输出量不能完全恢复到规定的数值时,则误差应不超过规定的允许值。

在前面所介绍的直流电动机转速闭环控制系统、煤气加热炉温度自动控制系统都属于恒值控制系统。

随动控制系统:这类系统的特点是给定信号是经常变化的。系统的任务是使系统的被控量准确、迅速地跟随给定信号的变化。

随动控制系统的例子也很多,如雷达高射炮的角度控制系统、温度自动记录仪等都属于随动控制系统。

二、连续控制系统与离散控制系统

如果按照系统中信号的类型划分,系统可分为连续控制系统和离散控制系统。

连续控制系统:这类控制系统的特点是,系统中各部分的信号(即各元件输入与输出信号)都是时间 t 的连续函数。研究这类系统是以微分方程描述其运动状态的,拉氏变换作为求解微分方程的工具。

离散控制系统:这类控制系统的特点是,系统中的信号至少有一处是数字信号。离散

系统的运动状态是以差分方程描述的，Z变换是分析这类系统的有力工具。微型计算机控制系统就属于离散控制系统，因为微型计算机只能接收和处理数字信号。

自动控制系统还有其它的分类方法。如根据系统输入和输出信号的数量，分为单输入单输出系统和多输入多输出系统；根据系统中是否包含非线性元件而分为线性控制系统和非线性控制系统；根据控制系统的结构参数在工作过程中是否恒定不变，而分为定常系统和时变系统等等。

本书只讨论单输入单输出线性定常控制系统，而又以闭环控制系统(负反馈控制系统)为主。

习 题

1. 什么是自动控制？什么是自动控制系统？
2. 开环控制系统的特征是什么？闭环控制系统的特征是什么？

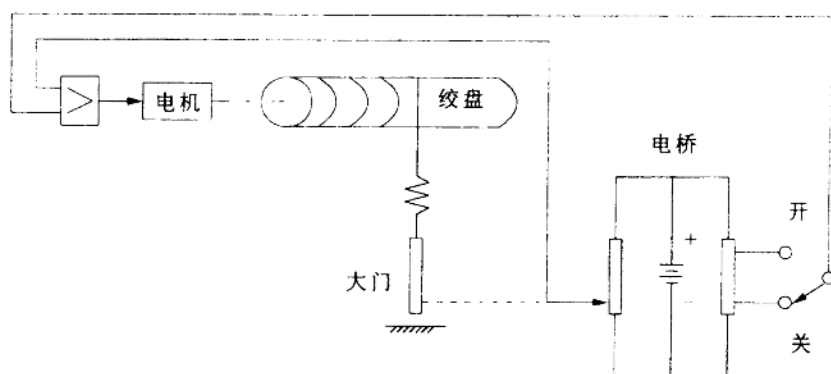


图 1-9 大门自动开关控制系统

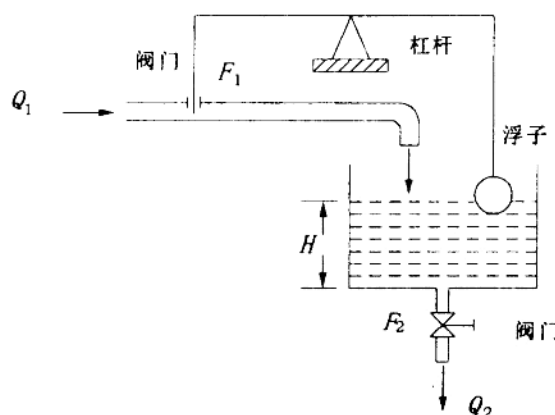


图 1-10 水位自动控制系统

3. 闭环控制系统由哪些主要环节组成？它们在系统中的职能是什么？
4. 图1-9是大门自动开关控制系统。试说明其工作原理，并画出方框图。
5. 水位自动控制系统如图1-10所示。试说明其控制原理，并画出方框图。

第二章 传感器与执行元件

在工农业生产、科学研究、国防建设及日常生活中，人们广泛接触到各种各样的量，包括物理量、化学量和生物量等。这些参量大致可分为电参量与非电参量两类。我们已经掌握了许多处理电参量的理论与方法，但实际中涉及更多的是非电参量，因此，实现对各种非电参量的测量和处理是非常重要的。一个很重要的手段就是首先把它们转换成电参量，然后通过对电的处理方法，对它们进行精确的测量与控制。这就需要各种各样可将非电参量转换为电参量的敏感元件，又称传感器装置。

随着现代测量、控制与自动化技术的发展，传感技术越来越受到人们的重视。一个现代自动控制系统的主要环节是微机化检测系统。所谓检测，指利用传感器把被测信息检测出来，转换成测量仪器或仪表所能接受的信号，再进行测量以确定量值的过程，或利用执行元件转换成执行机构所能接受的信号，实现对被测物理量的控制。显然，传感器、执行元件是实现自动检测与自动控制的首要环节。

本章将从控制系统应用的角度，介绍一些常用的传感器和执行元件的工作原理，以便对组成控制系统的基本元件有初步了解。

§ 2.1 传 感 器

在当代这个信息化社会，随着科学技术的发展，各类智能仪器、电脑、机器人的应用日益广泛。然而，智能仪器、电脑、机器人并不能直接感受或识别来自外界的信息，它们都需要必不可少的“感觉器官”，充当它们感觉器官的，就是传感器。传感器很像人体的五官（视觉、触觉、听觉、嗅觉与味觉），如图 2-1 所示，它能感受外界的各种“刺激”，并作出及时的反映。因此，传感器又被人们称作“电五官”，它在工业生产、自动控制、航天、航海事业中起着愈来愈重要的作用，在生物医学、医疗器械工程方面也显露出广阔的前景。

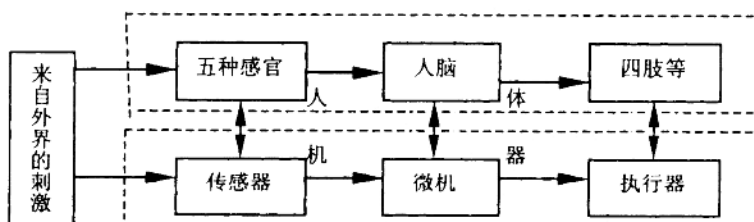


图 2-1 人体与机器各功能部分的对应关系

传感器是指能感受规定的被测量,并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件与装置。或者说,传感器是将非电量转换成电量的装置。传感器的组成如图 2-2 所示,通常它由敏感元件、转换元件及测量电路组成。

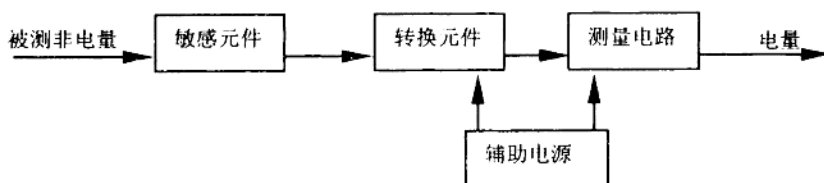


图 2-2 传感器的组成框图

敏感元件指传感器中能直接感受被测量的部分,它将被测量转换成一种易于变成电量的中间非电量。转换元件是指能将感受的非电量直接转换成电量的器件或元件,如应变片将应变转换为电阻量。测量电路则是指将转换元件输出的电量变换成便于显示、记录、控制和处理的有电信号的电路。

需要指出的是,并非所有的传感器都包含以上部分。有些传感器的敏感元件与转换元件可合二为一,如压电晶体、光电器件等。有些传感器的转换元件能直接输出可用电信号而无须测量电路,如热电偶可直接驱动动圈仪表。

辅助电源为实现从电参量到电量的转换,或为放大电信号提供能量。

根据人类在技术、经济等方面的发展和生态平衡方面的需要,已开发出各种用途、种类繁多的传感器。到目前为止,已形成以半导体传感器为中心的固态传感器系列,并向集成化、多功能化、智能化方向迅速发展。为便于了解传感器的测量原理与应用,下面介绍几种常用的分类方法:

1. 按输入被测量分类

这种方法根据输入物理量的性质进行分类。其分类方法见表 2-1。

表 2-1 按输入被测量分类的传感器一览表

基本被测量	派生的被测量
热工量	温度、热量、比热、压力、压差、流量、流速、风速、真空度
机械量	位移、尺寸、形状、力、应力、力矩、振动、加速度、噪声
物理或化学量	气体(液体)化学成分、浓度、盐度、粘度、湿度、密度
生物或医学量	心音、血压、体温、气流量、心电流、眼压、脑电波

表中包括了输入的基本被测量和由此派生的其他量。这种分类方法的优点是比较明确地表达了传感器的用途,便于使用者根据不同的用途加以选用。

2. 按测量原理分类

这种分类方法是以传感器的工作原理作为分类依据。见表 2-2,这种分类方法清楚地指明了传感器的测量原理,便于学习与研究。

此外,按输出方式还可分为开关式、模拟式、数字式。按输入、输出特性又可分为

线性和非线性两种。按转换元件的能量转换方式可分为有源型、无源型两类。有源型也称能量转换型或发电型，它将非电量直接变成电压、电流、电荷量。无源型也称能量控制型或参数型，它把非电量变成电阻、电容、电感等量。这类方法便于设置测量电路。

表 2-2 按测量原理分类的传感器一览表

类 型	测 量 原 理
结构型传感器	利用机械构件的变形或位移来完成非变量到变量的变换
物性型传感器	利用材料的固态物理特性及其各种物理、化学效应来检测被测量
复合型传感器	兼有结构型、物性型传感器两者特征传感器

§ 2.1.1 温度传感器

在过程控制中，温度是需要测量和控制的重要参数之一。因此，在工程实际中，广泛使用将温度转换为电信号的各种温度传感器。其中，最常见的有热电偶传感器和热电阻传感器。

一、热电偶传感器

热电偶的工作原理是基于物理学中的热电效应。把两种不同的导体或半导体连接成如图 2-3 所示的闭合回路，如果将它们的两个接点分别置于温度各为 T 及 T_0 （假定 $T > T_0$ ）的热源中，则在该回路内就会产生热电动势，这种现象称作热电效应。

在图 2-3 所示的热电偶回路中，所产生的热电动势由两部分组成：接触电势与温差电势。实践证明：热电偶回路中起主要作用的是接触点的接触电势。

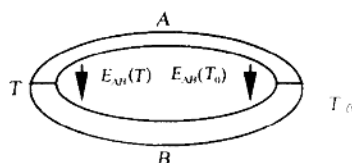


图 2-3 热电偶回路

接触电势产生的原因：当两种不同的导体 A 和 B 接触时，由于两者的电子密度不同（设 N_A 、 N_B 分别为导体 A 和 B 的内部自由电子密度，且 $N_A > N_B$ ），电子在两个方向上的扩散速率就不同，从 A 到 B 的电子数要比从 B 到 A 的多，结果 A 因失去电子而带正电荷， B 因得到电子而带负电荷。这样，在接触处就形成电场而具有接触电动势，该接触电动势的产生将阻碍自由电子从导体 A 向导体 B 的进一步扩散，直到达到动态平衡为止。这种由于两种金属导体的自由电子密度不同而在接触处产生的电动势称为接触电动势。设导体 A 、 B 在接触处分别处于温度 T 、 T_0 时的接触电动势为

$$E_{AB}(T) = \frac{kT}{e} \ln \frac{N_A}{N_B} \quad (2-1)$$

$$E_{AB}(T_0) = \frac{kT_0}{e} \ln \frac{N_A}{N_B} \quad (2-2)$$

式中, k 为玻耳兹曼常数 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$; e 为电子电荷量, $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$; T 、 T_0 分别为两端接触点处的绝对温度。当 $T > T_0$ 时, 热电偶回路的总电动势为

$$\begin{aligned} E_{AB}(T, T_0) &\approx E_{AB}(T) - E_{AB}(T_0) \\ &= \frac{kT}{e} \ln \frac{N_A}{N_B} - \frac{kT_0}{e} \ln \frac{N_A}{N_B} \\ &= \frac{k}{e} (T - T_0) \ln \frac{N_A}{N_B} \end{aligned} \quad (2-3)$$

分析式 (2-3) 可得出下列结论:

1. 若组成热电偶回路的导体 A 、 B 采用同种材料, 虽然 $T \neq T_0$, 由于 $N_A = N_B$, 则热电偶回路的总电动势 $E_{AB}(T, T_0) = 0$, 不能构成热电偶。

2. 若热电偶两接点的温度相同 $T = T_0$, 尽管 A 、 B 材料相同, 但热电偶回路的总电动势 $E_{AB}(T, T_0) = 0$, 不能测量温度。

3. 热电动势的大小只与电极的材料和接点温度有关, 而与热电偶的尺寸形状无关。

4. 在热电偶回路中接入第三种材料的导线, 只要第三种导线的两端温度相同, 则第三种导线的引入不会影响热电偶的热电动势, 这一性质称为中间导体定律。

从实用观点来看, 这一性质十分重要, 正是由于这个性质存在, 我们才可以在回路中引入各种仪表、连接导线等 (见图 2-4), 而不必担心会对热电动势产生影响; 而且还允许采用任意焊接方法来焊制热电偶。

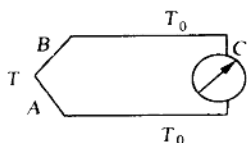


图 2-4 引入第三导体的热电偶

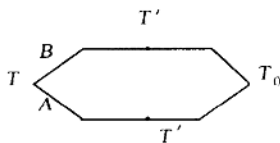


图 2-5 中间温度定律

5. 如图 2-5 所示, 热电偶在接点温度为 (T, T_0) 时的热电动势, 等于在接点温度为 (T, T') 及 (T', T_0) 时的热电动势之和。即

$$E_{AB}(T, T_0) = E_{AB}(T, T') + E_{AB}(T', T_0) \quad (2-4)$$

这就是中间温度定律。式中 T' 称为中间温度。

6. 如果 A 、 B 、 C 三种导体分别组成 AB 、 AC 、 BC 三个热电偶, 热端温度为 T , 冷端温度为 T_0 , 则

$$E_{AB}(T, T_0) = E_{AC}(T, T_0) - E_{BC}(T, T_0) \quad (2-5)$$

式 (2-5) 表明: 如果两种导体 A 、 B 分别与第三种导体 C 组成热电偶, 且所产生的热电动势也已知, 则可确定这两导体组成热电偶的热电动势。第三种导体 C 称作标准电极 (通常由纯铂丝制成), 这就是标准电极定律。