

CHUANGANQI JIQI

YINGYONGJISHU

传感器及其 应用技术

主 编 黄 鸿 吴石增
副主编 施大发 李艳玲

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

TP212/181

2008

传感器及其应用技术

黄 鸿 吴石增 主 编
施大发 李艳玲 副主编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据机电一体化专业及电气工程专业的需要,从实际应用的目的出发,以简明通俗的语言介绍了机电一体化系统中常用的多种类型的传感器的工作原理、结构、性能特点,传感器输出信号的调理和实际应用。进而结合传感器在机电一体化系统中的广泛应用,介绍了基于传感器的计算机检测技术,其中包括单片机和工业PC机总线及其与传感器信号的接口技术,并结合典型实例介绍了传感器在计算机测控系统中的实际应用技术。

本书为本科院校机电一体化专业、自动化专业的教材,也可作为从事设计、制造和维护各类机电一体化设备和装置的工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

传感器及其应用技术/黄鸿,吴石增主编. —北京:北京理工大学出版社, 2008. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1539 - 8

I. 传… II. ①黄…②吴… III. 传感器 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第088183号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/保定市中华美凯印刷有限公司

开 本/787毫米×960毫米 1/16

印 张/18.25

字 数/376千字

版 次/2008年7月第1版 2008年7月第1次印刷

印 数/1~2000册

定 价/29.00元

责任校对/陈玉梅

责任印制/母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

传感器是机电一体化系统中各种各样设备和装置的“感觉器官”，它将各种各样的信息量转换成能够被直接检测的信息。在当今信息社会的时代，如果没有传感器，现代科学技术将无法发展。传感器在机电一体化系统中乃至整个现代科学技术领域占有极其重要的地位。

本书是为了适应机电一体化系统对传感器技术的需要而编写的。在形形色色的传感器中，选择了机电一体化系统常用的一些传感器作为重点进行介绍。在第一章介绍传感器基本概念的基础上，第二章至第七章介绍了按工作原理分类的传感器，第八章至第十一章介绍了按用途分类的传感器，第十二章介绍了代表传感器发展趋势的智能传感器。传感器输出信号的调理是传感器应用不可缺少的重要环节，第十三章在介绍了传感器输出信号特点的基础上，介绍了对其进行调理所需要的各种技术。随着计算机技术的发展及其在机电系统中的重要作用，讨论传感器的应用技术必然要涉及计算机技术和传感器技术相结合的技术——计算机检测和控制技术，第十四章比较系统地介绍了传感器的计算机接口技术基础，其中包括单片机、工业 PC 机与传感器信号的检测接口和控制信号的输出接口等有关技术。为了使读者对机电一体化系统中基于传感器的计算机检测技术的认识更加形象化和具体化，第十五章从不同的角度介绍了基于传感器的计算机检测系统的应用实例，第十六章介绍了相关实验，以便为实验提供指导和参考。

全书由黄鸿、吴石增主编，其中第三、四、五、六、七、八、十、十二、十六章由黄鸿编写，第一、二、十一、十三、十五章由吴石增编写，第十四章由施大发编写，第九章由李艳玲编写。本书承北京理工大学陈绿深教授和清华大学尔桂花副教授审阅并提出宝贵意见，在此一并表示感谢。

限于水平有限，书中的遗漏和错误恳请读者批评指正。

编著者

目 录

第一章 传感器技术基础	1
第一节 机电一体化系统中物理量的测量与传感器	1
第二节 传感器的定义和组成	2
第三节 传感器的分类	3
第四节 传感器的基本特征	4
习题与思考题	7
第二章 热电式传感器	9
第一节 热电偶传感器	9
第二节 热电阻传感器	11
第三节 热敏电阻	13
第四节 石英温度传感器	16
第五节 半导体温度传感器	17
第六节 集成温度传感器	20
第七节 温度传感器应用电路实例	23
习题与思考题	27
第三章 压电式传感器	28
第一节 压电效应和压电材料	28
第二节 压电传感器等效电路和测量电路	32
第三节 压电传感器应用举例	37
习题与思考题	42
第四章 光电式传感器	43
第一节 光电效应	43
第二节 外光电效应的光电器件	45
第三节 内光电效应器件	48



第四节 新型光电传感器	55
第五节 光电传感器应用举例	62
习题与思考题	67
第五章 磁电式传感器	68
第一节 磁电感应式传感器	68
第二节 霍尔式传感器	73
第三节 磁栅式传感器	79
习题与思考题	85
第六章 电容式传感器	86
第一节 电容式传感器的工作原理和结构	86
第二节 电容式传感器的等效电路	92
第三节 电容式传感器的测量电路	93
第四节 电容式传感器应用和举例	99
习题与思考题	105
第七章 半导体式传感器	106
第一节 气敏传感器	106
第二节 湿敏传感器	111
第三节 磁敏传感器	115
第四节 色敏传感器	117
习题与思考题	120
第八章 速度传感器	121
第一节 转速传感器	121
第二节 加速度传感器	127
第三节 多卜勒效应测速	131
习题与思考题	133
第九章 机械位移传感器	134
第一节 电容式位移传感器	134
第二节 电感式位移传感器	137



第三节 变压器式位移传感器	141
第四节 电涡流式位移传感器	145
第五节 电阻式位移传感器	147
习题与思考题	152
第十章 物体位置传感器	153
第一节 电容式物位传感器	153
第二节 静压式物位传感器	155
第三节 超声波物位传感器	156
第四节 微波物位传感器	157
第五节 光纤液位传感器	159
习题与思考题	161
第十一章 电流电压传感器	162
第一节 电流电压传感器的用途和特点	162
第二节 电流电压传感器的工作原理与工作模式	163
第三节 电流电压传感器模块及性能指标	165
第四节 电流电压传感器的应用	167
习题与思考题	171
第十二章 智能式传感器	172
第一节 智能传感器的概述	172
第二节 智能传感器实现的途径	175
第三节 智能传感器实例	181
习题与思考题	181
第十三章 传感器信号的调理技术	182
第一节 传感器输出信号的特点	182
第二节 阻抗匹配器	183
第三节 电桥电路	185
第四节 放大器	189
第五节 噪声及其抑制	192
第六节 传感器信号的数字化	196



习题与思考题	203
第十四章 基于传感器的计算机接口技术基础	205
第一节 传感器计算机测控系统的一般结构形式	205
第二节 单片机的总线和接口技术	207
第三节 D/A 变换器与单片机的接口	211
第四节 A/D 变换器与单片机的接口	215
第五节 工业 PC 机的总线和接口技术	217
第六节 接口控制软件的设计	226
第七节 工业 PC 机与 A/D、D/A 变换器的接口电路	228
第八节 U/F 变换器与计算机的接口	230
第九节 多功能接口卡	232
习题与思考题	234
第十五章 传感器测控系统应用举例	236
第一节 基于温度传感器的微波治癌机测控系统	236
第二节 基于电流电压传感器的低频电磁场测控系统	239
第三节 基于多种传感器的车载信息系统	245
第十六章 传感器及其应用技术实验	250
第一节 温度传感器实验	250
第二节 电涡流传感器实验	258
第三节 半导体传感器实验	262
第四节 光电传感器实验	265
参考文献	283

第一章 传感器技术基础

第一节 机电一体化系统中物理量的测量与传感器

机电一体化系统中大量地涉及许多物理量的测量,根据对这些物理量测量的参数,来判断系统中机电设备的运行状态,从而对其进行调节,使之达到人们所期望的结果,以使机电设备运行在正常的工作状态或最佳的工作状态。机电设备中被测量的物理量种类很多,但根据物理量的特性来分,可分为两大类:电量和非电量。电量是指物理学中的电学量,如电压、电流、电阻、电容、电感等;非电量是指电量之外的一些物理量,如速度、加速度、转速、温度、湿度、压力、流量、位移、质量、位置、色彩等等。

科学技术的迅猛发展,使当今世界进入了信息化的时代。信息技术融入机电设备当中,造就了机电一体化技术。机电一体化技术是机械技术与微电子技术、计算机技术、信息技术相结合的综合性高新技术。要把机电一体化系统设备中的物理量准确可靠的测量出来,以电信号的方式输入给计算机或其他电子设备,必须依赖电测量的方法。相对而言,电量的测量比较容易,使用电工仪表和电子仪器就可以对一般的电量直接进行测量。对于非电量就不能直接使用电工仪表和电子仪器进行测量,而原有的对非电量的测量方法已经不能适应机电一体化系统的要求。这就要求对原有的非电量测量方法加以改进和提高,采用新技术新方法。采用传感技术的非电量电测方法,就是人们在实践中经过不断摸索和提高,从而发展起来的测量方法。采用传感技术对非电量进行电测的方法,就是把被测非电量转换成与之有一定关系的电量,再进行测量的方法。实现这种转换技术的器件就是传感器。

采用传感器对非电量进行电测具有以下的特点。

- (1) 可进行微量检测,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。
- (4) 能连续进行测量、记录和显示。
- (5) 可采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量对象进行工作状态的控制。
- (6) 测量安全可靠。



传感器不但在非电量的测量方面起着非常重要的作用,在电量的测量方面也往往不可缺少。例如在对电路中电压、电流的测量和控制,在很多情况下,就需要非接触式的测量方法,于是人们发明了互感式的电流传感器和电压传感器,在电量的测量当中起着非常重要的作用。

由此可见,不管是对非电量的测量,还是对电量的测量都离不开传感器的支持,传感器是当今科学发展中不可缺少的自动化元件。

第二节 传感器的定义和组成

从广义角度来讲,传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的某种物理量的测量器件或装置。

这一定义包含了以下几方面的意思:① 传感器是一种测量器件或装置,能完成检测任务;② 它的输入量是某一被测量的量,在机电一体化系统中为物理量;③ 它的输出量是便于应用的某种物理量,在各种信号中便于传输、转换处理和显示的信号莫过于电信号,所以在机电一体化系统中传感器测量的输出采用电信号;④ 输出量与输入量之间有对应关系,并且有一定精确度。

中华人民共和国国家标准(GB 665—1987)对传感器的定义也作了类同的阐述和规定,它对传感器的定义是: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或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。其中敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分;转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转化成适于传输和测量的电信号部分。

上面这般叙述,不但给传感器下了个定义,同时还阐明了传感器的组成。但从广义来讲,典型的传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成。典型组成框图如图1-1所示。

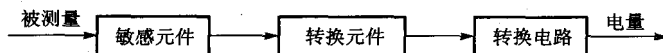


图1-1 典型传感器的组成框图

敏感元件:它是直接感受和响应被测量,并输出与被测量有一定对应关系的某一物理量的元件。

转换元件:敏感元件的输出量就是它的输入量,它把输入量转换成电路参数量。但这个电路参数量往往需经转换后,才能被后续电路所应用。

转换电路:它接受转换元件所转换成的电路参数量,并把它转换成后续电路所能应用的电信号。



图 1-1 框图所示的传感器的组成,是一般典型传感器的组成框图。实际上,有些传感器很简单,有些则较复杂。最简单的传感器只由一个敏感元件(兼转换元件)组成,它感受被测量时直接输出电量,如热电偶就是这样。如图 1-2 所示,两种不同材料 A 和 B ,一端连接在一起,在被测温度 T 中,另一端与电位差计相接,温度为 T_0 ,则在回路中将产生一个与温度 T 、 T_0 有关的电动势,从而进行温度测量。另外一些传感器只需有敏感元件和转换元件组成,不需要转换电路,如图 1-3 所示的压电式加速度传感器就属于此类。其中,质量 m 是敏感元件,压电片是转换元件。

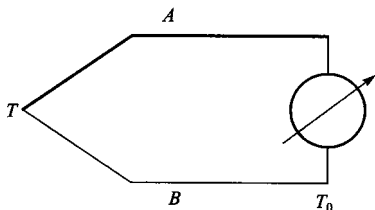


图 1-2 热电偶

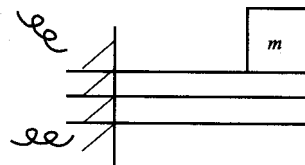


图 1-3 压电式加速度传感器

敏感元件与转换元件在结构上时常是装在一起的,转换电路为了减小外界的干扰和影响也希望和它们装在一起,但由于空间的限制或者其他原因,转换电路常装载于测控箱内。尽管如此,由于不少传感器要在通过转换电路之后才能输出可用的电信号,从而决定了转换电路是传感器的组成部分之一。

第三节 传感器的分类

传感器技术涉及许多学科,它的分类方法很多,但在机电系统中常用的分类方法有两种,一种按被测的物理量来分;另一种是按传感器的工作原理来分。

按被测物理量划分的传感器,常见的有:温度传感器、速度传感器、加速度传感器、压力传感器、位移传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器、扭矩传感器等。

按照工作原理来分,可分为:

1. 电学式传感器

电学式传感器是非电量电测技术当中应用较多的一种传感器,常用的有电阻式传感器、电容式传感器和电感式传感器,以及由此而派生出来的电触式、差动变压器、压磁式、容栅式、瓷电式等。

电阻式传感器是利用变阻器将被测非电量转换为电阻信号的原理制成,一般有电位器式、触点变阻式、电阻应变片以及压阻式传感器。

电容式传感器是利用改变电容的几何尺寸或改变介质的性质和含量,从而使电容量发生



变化的原理制成。

电感式传感器是利用改变磁路几何尺寸、磁体位置来改变电感或互感的电感量的原理而制成。

磁电式传感器是利用电磁感应原理，把被测非电量转换成电量制成。

2. 光电式传感器

它是利用光电器件的光电效应和光学原理制成，它在非电量测量中占有重要的地位，主要用于光强、位移、转速等参数的测量。

3. 热电式传感器

它是利用某些物质的热电效应制成，主要用于温度的测量。

4. 压电式传感器

它是利用某些物质的压电效应制成。它是一种发电式的传感器，主要用于力加速度和振动等参数的测量。

5. 半导体式传感器

半导体式传感器是利用半导体的压阻效应、内光电效应、磁电效应等原理而制成，主要用于温度、湿度、压力、加速度、磁场等的测量。

6. 其他原理的传感器

有些传感器的工作原理具有两种以上原理的复合形式，如不少半导体式传感器就是几种不同原理传感器的复合形式。有的传感器不属于前5类，则可列入第6类。如微波式、射线式传感器等等。

另外，根据传感器输出信号的形式，是模拟信号还是数字信号，也可分为模拟传感器和数字传感器等。

第四节 传感器的基本特征

在运用机电一体化系统的设备进行科学试验和生产的过程中，需要对各种各样的参数进行检测和控制。它要求传感器能感受被测物理量，并将其转换成与被测物理量有一定函数关系的电量。传感器能否将这些处于不断变动当中的物理量不失真地变换成相应的电量，取决于传感器的基本特性。这里所说的基本特性主要是输出与输入之间的关系。传感器的这一基本特性可用静态特性和动态特性来描述，当输入量为常量或变化极慢时，这一关系，就称为静态特性；当输入量随时间变化时，这一关系就称为动态特性。

一、传感器的静态特性

传感器的静态特性是指传感器的被测量数值处于稳定状态时，传感器输出与输入的关系。传感器静态特性的主要技术指标有：线性度、灵敏度、迟滞和重复性。



1. 线性度

传感器的输出与输入的关系在不考虑迟滞、蠕变等因素的情况下,其静态特性可用下面线性方程式来表示

$$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \cdots + a_nx^n \quad (1-1)$$

式中, Y 为输出量; x 为输入量; a_0 为零点输出; a_1 为理论灵敏度; $a_2, a_3, a_4, \cdots, a_n$ 为非线性项系数。

各项系数不同,决定了特性曲线的具体形式。但是传感器的输出与输入的关系都不同程度的存在着非线性问题,它用线性度来表示这一特性。传感器线性度是指输出-输入特性曲线与理论直线之间的最大偏差与输出满度值之比,即

$$r_L = \pm \frac{\Delta_{\max}}{Y_m} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, r_L 为线性度; $\Delta_{\max}$ 为最大非线性绝对误差; Y_m 为输出满度值。

线性度又称为非线性误差。我们通常总是希望传感器的输出-输入特性曲线为线性,但实际的输出-输入特性只能接近线性,实际曲线与理论之间存在的偏差就是传感器的非线性误差。

2. 灵敏度

传感器的灵敏度是指传感器在稳定条件下,输出变化量 ΔY 和输入变化量 ΔX 的比值,其表达式为

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1-3)$$

式中, K 为灵敏度,线性传感器的灵敏度是个常数; ΔY 为输出变化量; ΔX 为输入变化量。

3. 迟滞

传感器输入量增大行程期间(正行程)和输入量减小行程期间(反行程),输出-输入特性曲线不重合称为迟滞。迟滞误差一般以正反行程间输出的最大偏差与满量程输出的百分数来表示,其表达式为

$$r_H = \pm \left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{\Delta H_{\max}}{Y_m} \right) \times 100\% \quad (1-4)$$

迟滞误差的另一名称叫回程误差,它是由于传感器机械部分不可避免地存在着间隙、摩擦及松动等原因所产生。

4. 重复性

重复性是指传感器输入量按同一方向作全量程重复测量所得的输出-输入特性曲线不一致的程度。

设正行程的最大重复性偏差为 $\Delta R_{\max 1}$, 反行程的最大重复性偏差为 $\Delta R_{\max 2}$, 重复性偏差取这两个最大偏差中之较大者 $\Delta R_{\max}$, 则重复性以 $\Delta R_{\max}$ 与满量程输出 Y_m 之比的百分数



来表示, 即

$$\tau_R = \pm \left(\frac{\Delta R_{\max}}{Y_m} \right) \times 100\% \quad (1-5)$$

二、传感器的动态特性

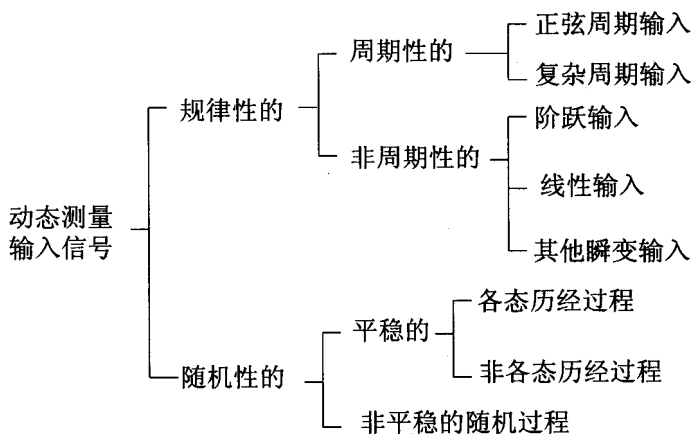
在实际的测量过程中, 大量的被测物理量是随时间变化的动态信号。这就要求传感器的输出不仅能精确地反映被测量的大小, 还要能正确的表现出被测量随时间变化的规律。这就要求了解传感器的动态特性。

传感器的动态特性是指在测量动态信号时传感器的输出反映被测量的大小和随时间变化的特性。

总的说来, 传感器动态特性取决于传感器本身, 另一方面也与被测量的变化形式有关。一般来说, 传感器的动态特性的主要技术指标有: 频率特性、响应时间、临界速度等。

传感器一般有若干环节所组成。这些环节, 可能是模拟环节, 也可能是数字环节。有些传感器可能兼有两种环节, 这时就要分别研究不同环节的动态特性, 其中薄弱者决定了整个传感器的动态特性。

动态特性还与被测量的变化相关。动态测量输入信号可按以下分类:



在研究动态特性时, 要根据有“规律性”的输入来鉴别传感器的响应特性。对于复杂周期输入信号可以分解为各种谐波, 所以用正弦周期输入信号来代替。其他瞬变输入一般可用阶跃输入来代替。为此, 动态测量输入信号的“标准”输入只有三种: 正弦周期输入、阶跃输入和线性输入。对于那些不符合三种“标准”的输入, 要进行细分, 以相对微观的过程找出符合三种“标准”的变化规律进行处理。

(一) 模拟式传感器的动态特性

为了分析模拟式传感器的动态特性, 首先要建立它的数学模型, 求出传递函数。



一般情况下, 传感器输出信号 y 与被测量 x 之间的关系可用下面函数表达式表示

$$f_1(d^n y/dt^n, \dots, dy/dt, y) = f_2(d^m x/dt^m, \dots, dx/dt, x) \quad (1-6)$$

对于大多数传感器在其工作点附近一定范围内, 其数学模型可用线性微分方程来表示, 即

$$a_n d^n y/dt^n + \dots + a_1 dy/dt + a_0 y = b_m d^m x/dt^m + \dots + b_1 dx/dt + b_0 x \quad (1-7)$$

设 $x(t)$ 、 $y(t)$ 的初始条件为零, 对上式两边逐项进行拉氏变换, 可得

$$a_n s^n y(s) + \dots + a_1 s y(s) + a_0 y(s) = b_m s^m x(s) + \dots + b_1 s x(s) + b_0 x(s) \quad (1-8)$$

由此可求出初始条件下输出信号的拉氏变换 $y(s)$ 与输入信号拉氏变换 $x(s)$ 的比值

$$\frac{y(s)}{x(s)} = W(s) = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \dots + a_1 s + a_0} \quad (1-9)$$

这一比值 $W(s)$ 被定义为传感器的传递函数。

传递函数是拉氏变换算子 s 的有理分式, 所有系数 a_n 、 $\dots$ 、 a_1 、 a_0 及 b_m 、 $\dots$ 、 b_1 、 b_0 都是实数, 这是由传感器的结构参数决定的。分子的阶次 m 不能大于分母的阶次 n , 这是由物理条件决定的。分母的阶次用来代表传感器的特性, $n=0$ 时称为零阶, $n=1$ 时称为一阶, $n=2$ 时称为二阶, n 更大时称为高阶。

以上讨论了模拟式传感器一般情况下的动态特性数学模型和传递函数的函数表达式。但在实际测量当中, 还要根据不同传感器的特性来建立具体的数学模型和传递函数, 以便讨论和处理它们的动态特性。

(二) 数字式传感器的动态特性

对数字式传感器而言, 其主要问题就是在工作中不要丢数, 为达到这一目的, 输入量的变化速度就是一个关键性的因素。因此, 对数字式传感器动态特性的主要要求只有一项, 即输入量的临界速度。

数字式传感器可分为增量码式、绝对码式、频率式几种。不同形式的细分电路不尽相同, 后续电路也不相同, 影响临界速度的因素也不会相同。一般来说, 主要影响因素有:

- (1) 模拟环节的频率特性。
- (2) 细分电路的影响能力。
- (3) 逻辑部件的响应时间。
- (4) 采样频率等。

习题与思考题

1. 如何理解传感器是对非电量进行电测的转换元件?
2. 采用传感器对非电量进行电测的特点是什么?
3. 传感器的定义是什么? 传感器定义所包含几方面的意思是什么?



4. 典型传感器由几部分组成？试画出其组成框图。
5. 传感器是如何分类的？
6. 传感器的静态特性的主要技术指标有哪些？试阐明每一项技术指标的含义。
7. 传感器的动态特性的主要技术指标有哪些？
8. 讨论传感器的动态特性时要把传感器分为模拟环节和数字环节，二者之间的动态特性有什么区别？

第二章 热电式传感器

导体材料随温度的变化其自身电参数发生变化的现象称为热电式传感器。这些电参数的变化主要表现为随温度的变化导体闭合回路中电流或电势发生变化，导体自身的电阻率发生变化或者导体自身的振动频率发生变化等等。

第一节 热电偶传感器

一、热电偶的工作原理及构成

把两根不同材料的导体或半导体 A 、 B 连接成一个闭合回路，如图 2-1 所示，当两导体两个接点 1 和 2 处于不同温度 T 和 T_0 时，则在两导体间产生热电势，回路中有一定的电流。利用这种热电效应所构成的传感器称为热电偶。

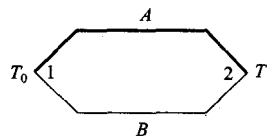


图 2-1 热电偶传感器

常用的热电偶由两根不同的导线组成，它们的一端焊接在一起，叫做热端（又称测量端）放到被测介质中；不连接的两个自由端叫做冷端（又称参比端），与测量仪表相连接，如图 2-2 所示。

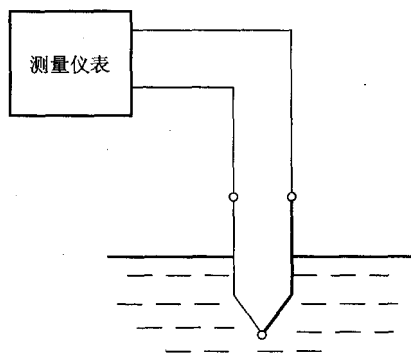


图 2-2 热电偶测温系统简图

当热端与冷端有温度差时，回路中即有热电势产生，测量仪表便根据热电偶的热电势测出被测介质的温度。这里，热电偶的热电势是随着介质的温度变化而变化的，其量值关系可由式 (2-1) 表示

$$E_t = E_{AB}(T) - E_{AB}(T_0) \quad (2-1)$$

式中， E_t 为热电偶的热电势，V； $E_{AB}(T)$ 为温度为 T 时的热电势，V； $E_{AB}(T_0)$ 为温度为 T_0 时的热电势，V。

热电势是由两种导体的接触电势和单一导体的温差电势所组成。热电势的大小与两种导体材料的性质及结点温度有关，而与电极的几何尺寸无关。