

现代化矿井机电技术丛书

传感器基础知识

王宗信 谢万新 编

\$
4

%
5

^
6

&
7

E R T Y U

D

F



C

V



B

73.862
119

现代化矿井机电技术丛书

传感器基础知识

汪宗信 谢万新 编

煤炭工业出版社

8810740

D031/50
内 容 提 要

本书是《现代化矿井机电技术丛书》之一，主要内容是介绍将矿山各种非电信息转换为电信号的各类传感器的基本原理和特性，并介绍了一些有关传感器应用方面的知识和实例。

本书是专为矿山工程技术人员普及新技术知识而编写的通俗读物，内容浅显、简明易懂，可供矿山有关技术人员及机电工人阅读，也可供有关学校师生参考。

责任编辑：陈 锦 忠

现代化矿井机电技术丛书

传 感 器 基 础 知 识

王宗信 谢万新 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本850×1168¹/₃₂ 印张8³/₄

字数218千字 印数1—3,400

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

ISBN 7-5020-0103-4/TD·99

书号2890

定价2.10元

出版说明

现代科学技术的发展极其迅速，据粗略的统计，最近十年，科学技术的发明和发现比过去二千年的总和还要多。目前，世界新的技术革命正在兴起，新技术、新工艺、新理论层出不穷，从研究、开发、制造到应用的周期也日渐缩短。在这种形势下，为了满足广大在职工程技术人员知识更新，学新学科，提高技术素质，加快现代化矿井建设速度，加速煤炭工业发展的迫切需要，煤炭工业出版社和煤炭工业部技术发展司共同组织编写出版一套《现代化矿井机电技术丛书》。

这套丛书的内容包括IBM-PC微型计算机应用入门、传感器基础知识及其监测系统、矿山防爆技术知识、优化设计基础、现代化设计方法等方面。丛书的特点是紧密联系实际，深入浅出，通俗易懂，图文并茂，以实用为主，并具有一定的先进性，不过份强调全面性、系统性，以便于广大读者阅读参考。

这是一套新技术新知识普及读物，主要提供给具有中专以上文化程度在现场工作的工程技术人员阅读，也可供有关科研、设计、院校师生参考。

目 录

第一章 概述	1
一、传感器的定义	1
二、传感器的重要性	2
三、传感器的组成	3
四、传感器的分类	4
五、传感器应具备的特性	7
第二章 电触式传感器	8
一、电极式传感器	8
二、接触式码盘传感器	14
三、舌簧开关	17
第三章 电位器式传感器	20
一、基本工作原理	20
二、电位器式位移传感器	23
第四章 热电阻传感器	25
一、热电阻	25
二、热敏电阻	28
三、热电阻流速（流量）传感器	33
第五章 应变式传感器	35
一、电阻应变片	35
二、应变片的选用、粘贴和测量电桥	41
三、电阻应变式传感器	46
四、固态压阻传感器	54
第六章 气敏传感器	61
一、气敏元件的种类	61
二、热电阻瓦斯传感器	62
三、半导体气敏元件	66
第七章 湿敏传感器	76

一、电解质湿敏元件	76
二、羟乙基纤维素-炭湿敏元件	78
三、醋酸纤维有机膜湿敏元件	80
四、四氧化三铁湿敏元件	82
五、铬酸镁-二氧化钛陶瓷湿敏元件	82
六、湿敏元件的应用	85
第八章 光电式传感器	87
一、光电器件	87
二、光电器件基本电路	100
三、光电检测及其应用	105
第九章 磁电式传感器	110
一、霍尔元件	110
二、磁敏电阻器	117
三、磁敏二极管	120
四、磁敏三极管	123
五、磁敏元件的应用	126
六、电磁感应式传感器	134
第十章 压电式传感器	140
一、压电效应	140
二、压电传感器	147
三、压电式传感器的应用	153
第十一章 热电式传感器	158
一、热电偶	158
二、结型温度传感器	171
第十二章 电容式传感器	178
一、基本工作原理	178
二、测量电路	183
三、应用	186
第十三章 电感式传感器	190
一、自感式传感器	190
二、互感传感器	198
三、电感传感器应用	204
第十四章 电涡流式传感器	208

第一章 概 述

一、传感器的定义

传感器又称变送器、换能器、发送器。它能将各种被测量和控制对象的非电量信息转换为与之有确定对应关系的电信号输出，以满足信息的传输、处理、变换和控制等要求。

所谓的传感器来自“感觉”一词。人用眼睛看，可以感觉到物体的形状、大小和颜色。用耳朵听，可以感觉到声音的尖细和强弱。用鼻子嗅，可以感觉到气味的芳香。用舌头尝，可以感觉到酸、甜、苦、辣。用手摸，可以感觉到物体的软硬和冷热。这种视觉、听觉、嗅觉、味觉和触觉，称作人的“五感”。它是人赖以生存而感受外界刺激所必须具备的感官（见图1-1）。

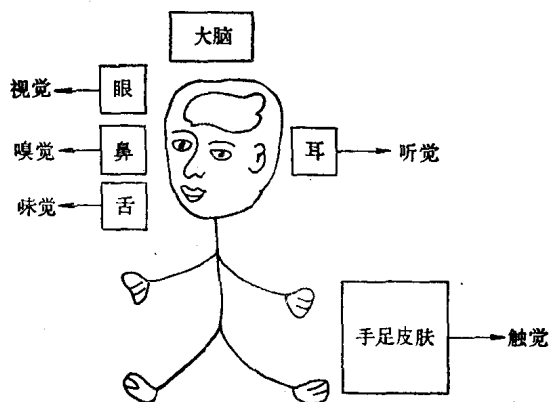


图 1-1 人的“五感”

人的基本行动过程如图1-2所示。外界的各种刺激信号通过人的“五感”，被变为相应的信号传输给大脑，经过大脑的分

8810740

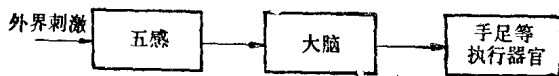


图 1-2 人的信息处理过程

析、判断，发出指令，使有关器官产生相应的行动。

传感器的作用与人的感觉器官类似。它将各种被测量、控制对象——压力、温度、位移等及其变化转换为可测量与控制的电信号，传送给测量与控制装置的中间变换器（如微型计算机）进一步处理，以便得到所需的数据，最后由执行装置完成显示、记录、控制等功能。

使用微型计算机的测量与控制系统框图如图1-3所示。

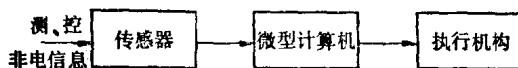


图 1-3 系统的信息处理过程

比较图1-2、图1-3可以发现，传感器如同人的五感；微型计算机类似人的大脑；执行机构如同人的手脚。

二、传感器的重要性

从生产技术角度讲，人类社会已经或正在经历手工化→机械化→自动化→信息化的发展历程。其相应的生产方式是（人+简单工具）→（动力+工具）→（信息检测+控制）→智能机器。

二百多年前，以蒸汽机广泛使用为标志的第一次产业革命结束了人们笨重的体力劳动。到十九世纪中叶，随着电气技术发展

和电机的广泛使用，使社会生产进入了电气化时代。二十世纪初，随着科学技术的发展和控制论的创立，尤其是电子技术的广泛应用，以信息检测和系统控制为基础的生产方式将人类社会推进到自动化时期。本世纪五十年代，电子计算机已开始崭露头角和进入生产与管理领域；六十年代初微电子技术的兴起，为人类社会过渡到信息化社会奠定了重要基础。第四次产业革命最主要特征之一是“智能机器”进入生产领域。这场席卷全球的技术大革命是以电子计算机、特别是微型电子计算机和微电子技术广泛应用为主要标志的。随着技术革命的蓬勃展开，人类社会将由工业社会过渡到高度发展的信息社会。而能感知各种信息，并能使感知信息以电信号进行传输的传感器和传感器技术，在实现和完成人类社会的这个伟大转折或过渡中将起到重大的促进作用。

煤炭工业的发展经历或正在经历铁锹大镐→风镐电钻→采煤机械→智能机器的发展历程。新技术革命的高潮正在波及煤炭领域，现代电子技术和微型计算机正在向煤矿深入，各式各样的检测与控制系统，现代化的生产手段，正在不断改变煤矿的形象。矿山设计与原始数据的采集，生产设备和生产过程信息的获取，矿山生产和安全所必须的各种非电量测量等，都必须用传感器进行非电信息转换。因此，传感器在煤炭生产由机械化→自动化→智能化的发展中起着极为重要的作用。尤其在微型计算机普及的当代，研究传感器的作用和原理，了解其性能和使用方法，更具有重大的现实意义。

三、传感器的组成

传感器一般由敏感元件、传感元件、测量电路和辅助电源等组成，如图1-4所示。

敏感元件直接感受被测非电量，输出与被测量有确定对应关系的、传感元件所能接受的其它量。如膜片或膜盒把被测压力变成位移量。传感元件又称变换器，是传感器的重要部件，它把敏感元件输出量变换为电参量输出，如差动变压器把位移量转换为

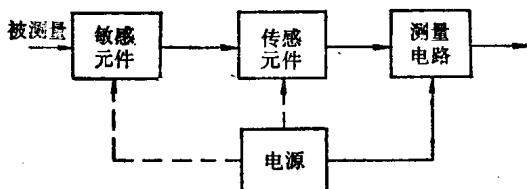


图 1-4 传感器的组成

电压输出。但有的传感器，如热电偶，直接把温度转换为电势输出，敏感元件和传感元件在这里被合为一体。

测量电路是对变换器输出的电信号进行加工、处理和变换。不同类型的传感器其测量电路也不同。常见的有电桥电路、阻抗变换电路、振荡电路、放大电路、相敏整流电路、滤波电路等。

传感器正在向小型化、多功能化方向发展。敏感元件、温度补偿电路、信号放大电路、电压调整电路等被集成在同一芯片上。有的在同一芯片上制做了多种敏感元件与测量电路，一只传感器能同时完成多种检测功能。人们正在努力实现传感功能和信息处理功能一体化的智能传感器，使之不仅能敏感各种信息转换为电信号，而且把这些数据进行记忆、分析和处理，甚至可以把运算好的数据及时显示出来，或输送给执行装置去控制某个过程。因此，随着传感技术和微电子技术的发展，传感器的结构和组成也在不断地发展。

四、传感器的分类

传感器的分类方法很多。按被测量性质，可分为机械量传感器、热工量传感器、物性和成分传感器、状态参数传感器等。按输出量性质，可分为参量传感器（电阻、电容、电感）、发电传感器、脉冲数字传感器、特殊传感器。按传感器结构，可分为直接传感器、差动传感器、补偿传感器。按转换原理，可分为电磁式、光学式、核辐射式、超声式、微波式。常用传感器的转换原理分类法如表1-1所示。

表 1-1 常用传感器分类法

传感器分类		工作原理	输 出	典型应用
电	电 阻 式	电位器式	电位器触头随被测量移动, 电阻变化	电压、电流 位移、压力
		金属热电阻或热敏电阻	电阻值随温度变化	$R \rightarrow$ 电桥 $\rightarrow$ 电压 温度、辐射热
		电阻应变片	电阻应变效应	$R \rightarrow$ 电桥 $\rightarrow$ 电压 应变、力、位移、力矩
		固态压阻式	压阻效应	电 压 压力、液位、料位
		磁敏电阻	磁阻效应	$R \rightarrow$ 电桥 $\rightarrow$ 电压 磁 通
		气敏电阻	机理复杂, 接触可燃有害气体阻值变化	$R \rightarrow$ 电桥 $\rightarrow$ 电压 甲烷(瓦斯)、氢气等可燃和有害气体
		湿敏电阻	电阻值随湿度变化	$R \rightarrow$ 电桥 $\rightarrow$ 电压 湿 度
磁	电 感 式	可变磁阻式	自感(L)或互感(M)随结构参数、磁导率、位移等变化	$L \rightarrow$ 电桥 $\rightarrow$ 电压 $M \rightarrow$ 振荡器 $\rightarrow$ 频率 位移、压力
		电涡流式	电涡流效应	电桥 $\rightarrow$ 电压 $L \rightarrow$ 振荡器 $\rightarrow$ 频率 位移、厚度、密度、探伤
		压磁式	压磁效应—磁导率(μ)变化	电桥 $\rightarrow$ 电压 $\mu \rightarrow$ 振荡器 $\rightarrow$ 频率 压力、力
		电 容 式	电容量C随极板距离、重合面积、介电常数变化而变化	电桥 $\rightarrow$ 电压 $C \rightarrow$ 振荡器 $\rightarrow$ 频率 位移、压力、声强
式	热 电 式	热 电 偶	热电势效应	电 压 温度、热流
		结型温度传感器	PN结电压的温度系数约	电 压 温 度

续表

传感器分类		工作原理	输出	典型应用
电	热		$-2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$	
	电	热释电型温度传感器	热释电效应	电压(电荷)
	磁	霍尔片与霍尔集成电路	霍尔效应	电压
	电	磁敏晶体管	利用复合作用 的电流磁效应	电压
	磁	电动式传感器	电磁感应	电压
	式	振弦式、振筒式、振膜式、振梁式	振频随固有参数、张力、压力、力等变化	频率
	率	晶体谐振式	晶体谐振频率 随力等参数变化	频率
	式	压电式	压电效应	电压(电荷)
光	光	光敏电阻	光电导效应	电阻
	电	光 电 池	光电势效应	电压
	式	光敏晶体管	光电势效应	电压
	激	激 光 式	利用激光能量 集中、单色性好、 扩散角小等特性 与光电元件配合	电压
	学	红 外 式	利用红外辐射 的热效应和光电 效应	电阻、电压
	式	光导纤维式	利用光纤传输 特性随被测量变 化和光导作用、 光纤与电光、光 电元件配合	电压

长度、位移、速度

温度、探伤、
气体分布、热象
检测、红外遥感压力、流速、
温度、振动

续表

传感器分类	工作原理	输出	典型应用
核辐射式	利用射线穿越物质时的电离、散射和吸收等效应	电压、电流、脉冲	物位、厚度、探伤、成份分析
超声式	利用超声波的声速、声衰减、透射、反射、折射等物理特性	脉冲、时间、相位	距离、厚度、应力、材质判别、探伤
微波式	利用微波的定向辐射、反射特性和介质对微波的吸收效应	电压、电流	物位、距离、厚度

五、传感器应具备的特性

传感器是测量、控制系统的入口，必须具备良好的性能，主要有以下各项：

1. 输入和输出之间成比例，直线性好、灵敏度高、分辨力强、测量范围宽。
2. 滞后、漂移误差小，复现性好，有互换性。
3. 动态特性良好。
4. 功耗小。
5. 时间老化特性优良，抗腐蚀性强。
6. 与被测体匹配良好，即不因接入传感器而使被测对象受到影响，受被测量之外的量影响小。
7. 体积小、重量轻、价格低廉。
8. 故障率低，易于校准和维修。

第二章 电触式传感器

把非电量的变化转换成闭合或断开电路的方式，以实现定点（定值）发讯、控制、报警等目的的装置称为电触式传感器。

电触式传感器结构简单、价格便宜、工作可靠，被广泛应用于各个领域。

电触式传感器的种类很多，常用的有电极式传感器、接触式码盘传感器、舌簧开关等。

一、电极式传感器

电极式传感器最简单，它是以电极为敏感元件，以导电回路与电子开关为转换装置。工作原理是：被测非电量的变化，导致导电液体、水银或其它导电材料位置改变，从而使回路接通或断开，电子开关动作，实现定点（定值）显示、报警或控制。

1. 电极式物位传感器

常见的物位传感器如图2-1所示。图a为导电液体液位显示、报警器电极。带绝缘套的金属棒、单芯电缆或绝缘导线2通过支架组4固定于容器3上方，金属棒或线芯1作为探极。图b是具有一定导电能力的物料（如湿煤）料位电极。探极可用铜棒、普通的钢丝绳或圆钢棒料。探极5吊于悬挂锤6上，然后装在甲板或支架7上。

图2-2为安全火花型结构的CDH型电极。电极中所设的防漏环，可泄漏掉电极外壳和电极间由于积存煤尘、矿物、潮湿等原因产生的漏电流，避免了电子开关因漏电而造成的误动作。适用于煤仓、井下水仓、料场等恶劣环境。

图2-3是XJXBH型电子信号继电器用于控制煤位的电原理图。晶体管 T_1 、 T_2 组成两级共射极开关电路。高煤位电阻 R_m 未

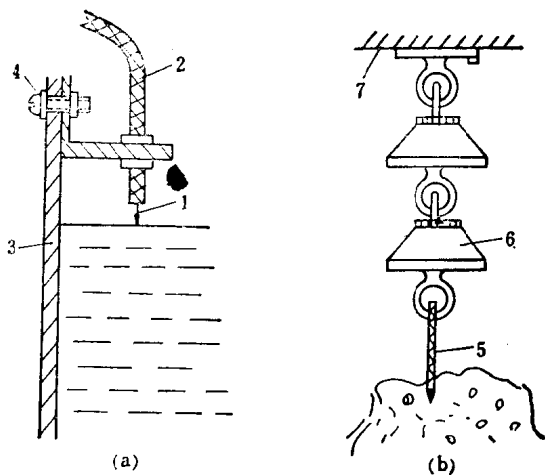


图 2-1 常见物位传感器

a—液位电极；b—物位电极

1—探极；2—电缆；3—容器；4—支架组；5—料位探极；6—高压悬挂链；
7—支架

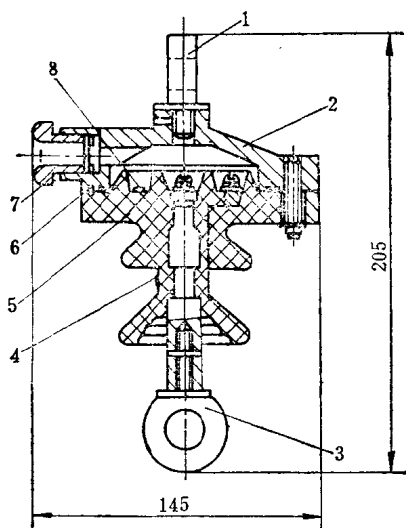


图 2-2 CDH-2型电极

1、3—挂环；2—盖；4—外防漏环；5—电极；6—密封圈；7—进线口；
8—内防漏环

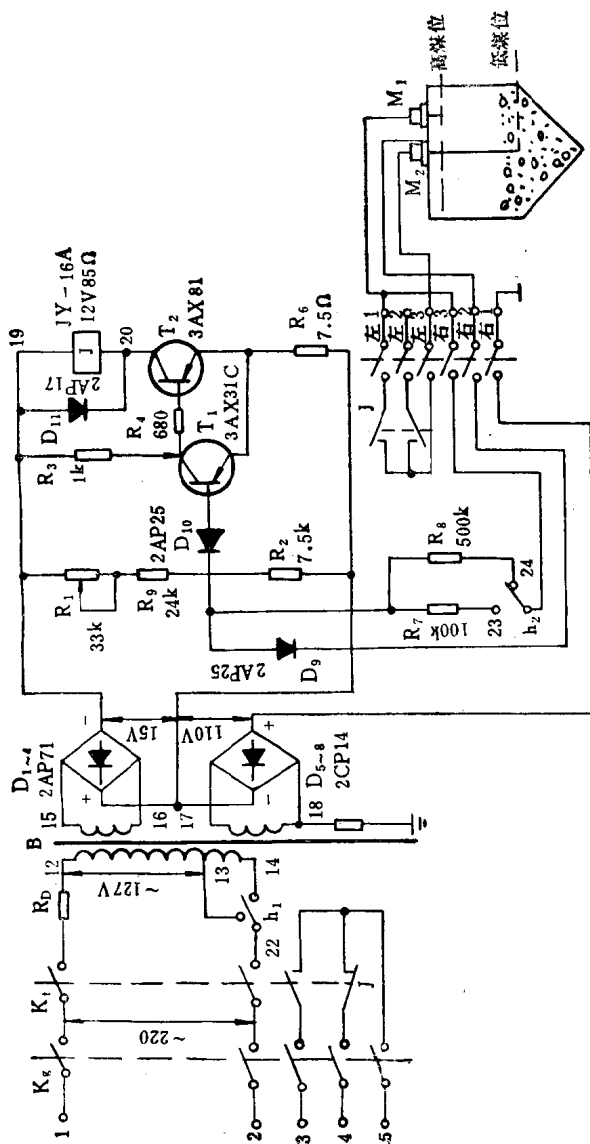


图 2-3 XJXBH型电子信号继电器