

矿用新型传感器

KUANGYONG XINXING CHUANGANQI

曹茂永 李丽君 著
李 晶 范 迪

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

矿用新型传感器

曹茂永 李丽君 李晶 范迪 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书作者总结了矿用传感器领域的科研成果并参考大量国内外相关文献,深入浅出地论述了矿用传感器的基本原理和防爆技术,尽量全面地论述了瓦斯、压力、温度、称重、CO、状态、风速风量和粉尘等各类矿用传感器的新原理和新技术。本书尽量避免高深的数学推导,注重用清晰的物理概念、简洁的语言和插图对各类传感器的原理和技术进行介绍。

本书适合于煤矿工程技术人员参考,也可作为该领域科研人员和相关专业本科生、研究生的教学参考书,还可用以专业技术培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

矿用新型传感器 / 曹茂永,等著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2011.9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1167 - 5

I. ①矿… II. ①曹… III. ①矿用电气设备—传感器—研究 IV. ①TD68

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第157623号

书 名 矿用新型传感器

著 者 曹茂永 李丽君 李晶 范迪

责任编辑 仓小金

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 15 字数 286 千字

版次印次 2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷

定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

传感器是检测和自动控制系统中的一种关键部件。它能感知外界信息并能按一定规律将信息转换成可用信号。简言之,传感器是将外界信号转换为电信号的器件或装置。用于煤矿监控系统、煤矿生产过程控制等在煤矿行业中使用的传感器,称为矿用传感器。

随着“科教兴煤”战略的实施,用现代先进技术装备和改造煤炭工业、提高煤炭工业生产的机械化和自动化水平,并应用现代信息技术实现煤炭工业的信息化是必然趋势。矿用传感器是实现煤矿自动化和信息化的关键,是保证煤矿安全生产的首要条件。目前,国内外对矿用传感器进行较全面和系统论述的专著尚不多见。鉴于此,作者总结了多年在矿用传感器领域的科研成果,并查阅了大量国内外参考文献,特别注重吸纳新知识、新技术遂撰写了本书。

本书尽量全面地介绍各类矿用传感器、特别注重对新型矿用传感器的介绍;针对每类传感器,在注重新原理和新技术的同时,近可能地综述国内外科研成果和发展趋势。本书尽量避免高深的数学推导,注重用清晰的物理概念、简洁的语言和插图对各类传感器的原理和技术进行介绍。本书适合于煤矿工程技术人员参考,也可作为该领域科研人员和相关专业本科生、研究生的参考书,还可用以专业技术培训使用。

本书内容共分 14 章。第 1 章,概述矿用传感器的作用、分类、发展现状和趋势。第 2 章,是基础知识,介绍传感器的定义、组成及性能指标等。第 3 章,为矿用传感器防爆技术,详细介绍了矿用传感器的防爆封装和设计等技术。第 4~13 章,分别介绍了瓦斯、一氧化碳、压

力、风速风量、温度、粉尘、称重、状态、位移等新型矿用传感器的传感原理和技术。第 14 章,介绍了多传感器信息融合技术。

本书在撰写过程中参考了大量国内外文献,在此对文献的作者表示衷心感谢。由于作者水平所限,书中的错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

2011 年 3 月

目 次

第 1 章 绪论	1
1.1 矿井监控系统简介	2
1.2 矿用传感器的现状	4
1.3 矿用传感器分类	6
1.4 矿用传感器发展趋势	6
参考文献	8
第 2 章 矿用传感器特性	10
2.1 静态特性	11
2.2 动态特性	17
2.3 传感器的标定	25
2.4 传感器的可靠性技术	29
参考文献	35
第 3 章 矿用传感器防爆技术	37
3.1 煤矿瓦斯和煤尘爆炸	37
3.2 煤矿防爆技术	41
3.3 矿用传感器的选型	50
3.4 矿用传感器的防爆试验和检验	55
参考文献	59
第 4 章 瓦斯传感器	60
4.1 催化燃烧式瓦斯传感器	60

4.2	半导体瓦斯传感器	66
4.3	红外光谱吸收式瓦斯传感器	70
4.4	光干涉式瓦斯传感器	78
4.5	光纤功能器件式瓦斯传感器	80
	参考文献	83
第5章	CO 传感器	87
5.1	电化学式 CO 传感器	87
5.2	红外 CO 传感器	91
5.3	催化型可燃 CO 传感器简介	92
5.4	固态 CO 传感器简介	93
	参考文献	94
第6章	矿用压力传感器	96
6.1	振弦式压力传感器	96
6.2	压电式压力传感器	98
6.3	应变式压力传感器	101
6.4	压阻式压力传感器	104
6.5	光纤光栅压力传感器	105
6.6	负压传感器	107
	参考文献	110
第7章	风速、风量传感器	112
7.1	超声风速传感器	113
7.2	热电偶式风速传感器	117
7.3	激光多普勒风速(LDV)传感器	120
7.4	孔板流量计风速风量传感器	127
7.5	其他风速传感器新技术	128
	参考文献	129

第 8 章 温度传感器	131
8.1 红外温度传感器	131
8.2 光纤温度传感器	135
8.3 半导体温度传感器	137
参考文献	141
第 9 章 粉尘传感器	143
9.1 光散射式粉尘传感器	144
9.2 光吸收式粉尘传感器	146
9.3 粉尘检测新技术	149
参考文献	151
第 10 章 矿用称重传感器	153
10.1 电子皮带秤	153
10.2 核子秤	159
10.3 箕斗称重传感器	163
参考文献	167
第 11 章 矿用状态传感器	169
11.1 馈电开关状态传感器	169
11.2 设备开停状态传感器	176
11.3 风门开闭状态传感器	178
11.4 风筒开关状态传感器	180
参考文献	182
第 12 章 矿用位移传感器	183
12.1 顶板离层位移传感器	184
12.2 液压支架位移传感器	189
12.3 矿用设备位移传感器	191

参考文献	194
第 13 章 矿用其他新型传感器	197
13.1 矿用烟雾传感器	197
13.2 电量检测技术	201
13.3 电量检测传感器新技术	203
参考文献	215
第 14 章 多传感器信息融合技术	218
14.1 多传感器信息融合技术概述	218
14.2 多传感器信息融合的基本原理和系统结构	220
14.3 多传感器信息融合的系统结构	224
14.4 多传感器信息融合方法	226
参考文献	230

第1章 绪 论

矿用传感器是矿山自动化、信息化和数字化系统的“感觉器官”，是煤炭安全高效生产的重要保证。世界各产煤国对矿用传感器的研制、生产都非常重视。目前已经推广使用的矿用传感器包括煤矿井下环境参数监测用传感器和生产环节中对设备状态监测用的各类传感器，这些传感器的使用对提高生产效率、提高设备利用率和增强矿山安全起到了非常重要的作用。

传感器是借助于检测元件(又称传感元件、传感头)接受物理量形式信息(一般为非电量)，并按一定规律将它转换成与之有确定对应关系的、便于应用的同种或别种物理量(一般为电量)形式信息的仪器。传感器的组成如图 1-1 所示，传感器一般由敏感元件、转换元件和测量电路三部分组成，有时还需要加辅助电源。

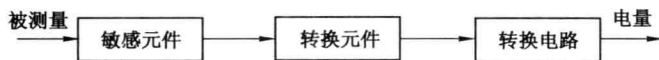


图 1-1 传感器组成框图

敏感元件(预变换器)是在完成非电学量到电学量的变换时,将被测非电学量预先变换为另一种易于变换成电学量的非电学量,然后再变换为电学量的元件,如催化燃烧式瓦斯传感器,就是将瓦斯浓度这个非电学量信息转换为经催化燃烧载体和煤与瓦斯反应变成热量,然后再转换为铂丝电阻值的变化过程;转换元件是将感受到的非电学量直接转换为电学量的器件。并非所有的传感器都能分敏感元件和转换元件两个部分,例如半导体气体传感器、半导体光电传感器等,它们都是将感受的被测量直接转换为电信号输出,没有中间变换,有的传感器的转换元件不止一个,要经过若干次转换;测量电路是将转换元件输出的电学量变成便于显示、记录、控制和处理的有电信号的电路。测量电路的类型视转换元件的分类而定,经常采用的有电桥电路及其他特殊电路,如高阻抗输入电路、脉冲调宽电路、振荡回路等。

先进而可靠的传感器技术可以极大地提高和保障煤矿安全生产能效,目前开发出的传感器已解决了煤矿安全生产中的一些问题,满足了采煤工作面、掘进

工作面、回风巷等处某些环境参数及设备状态安全监控对于传感器选型和配置的需要,从而减少了瓦斯与煤尘爆炸、火灾、顶板等灾害的发生;实现了轨道运输、胶带运输、采区变电所、水泵房等状态及安全监控,有效减少了井下作业人员和降低了重大恶性事故发生的几率。

1.1 矿井监控系统简介

矿井监控系统是对矿井环境、生产安全和机电设备健康状况等进行监控的系统。矿井监控系统是煤炭安全高效生产的重要保证。目前,世界各国研制、生产和推广使用的矿井安全监控系统,主要用来监测甲烷浓度、一氧化碳浓度、二氧化碳浓度、氧气浓度、硫化氢浓度、风速、负压、湿度、风门状态、风筒状态、局部通风机开停、主要通风机开停、工作电压、工作电流等,并实现甲烷超限声光报警和断电、甲烷风电闭锁控制、断电命令与馈电状态不符声光报警等。轨道运输、胶带运输、提升运输、供电、排水、矿山压力、火灾、水灾、煤与瓦斯突出、大型机电设备健康状况等监控系统。

矿井监控系统的分类:

按监控目的分:如供电、火灾、煤与瓦斯突出、胶带运输监控系统等。

按使用环境不同分:可分为防爆型(本质安全型、隔爆兼本质安全型和隔爆型等)、矿用一般型、地面普通型和复合型系统等。

按复用方式不同分:如频分、时分、码分和复合复用方式系统等。

按采用的网络结构分:如星型、环型、树型、总线型和复合型系统等。

按信号传输方式分:单、双工和环型系统等。

按传输信号不同分:模拟和数字传输系统等。

按调制方式分:如基带、调频和调相系统等。

按同步方式分:同步和异步系统。

目前矿井监控系统一般由传感器、执行机构、分站、电源箱(或电控箱)、主站(或传输接口)、主机、打印机、模拟盘、多屏幕、UPS 电源、远程终端、网络接口电缆和接线盒等组成,如图 1-2 所示。

① 传感器:将被测物理量转换为电信号经传输线(矿用电缆)与分站相连。

② 执行机构:将控制信号转换为被控物理量,使用矿用电缆与分站相连。

③ 分站:接收来自传感器的信号,按约定的复用方式远距离传送给主站,还具有信号处理能力,将来自主站和传感器的信号进行处理,控制执行机构工作。

④ 电源箱:将井下交流电源转换为系统所需的本质安全型直流电源,并具有维持电网停电后正常供电不小于 2 h 的蓄电池。

⑤ 主站:接收分站远距离发送信号,并送主机处理;接收主机信号,并送相

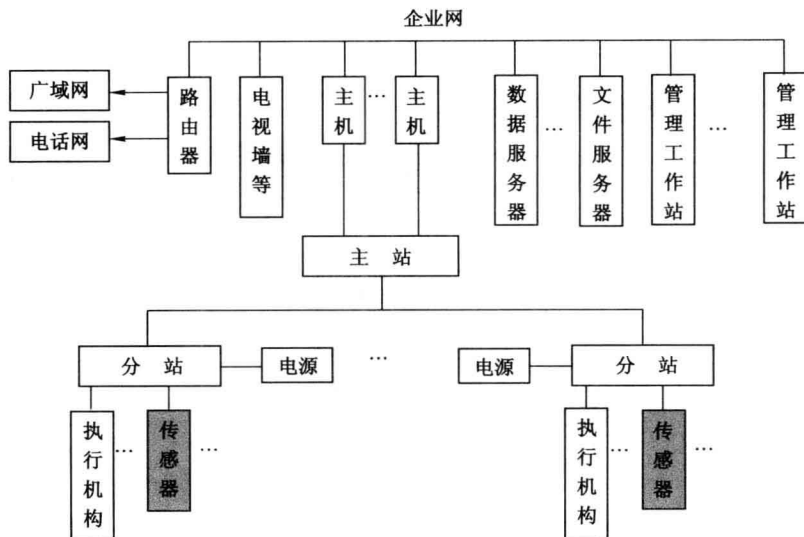


图 1-2 目前矿井监控系统组成框图

应分站。

⑥ 主机：一般选用工控微型计算机或普通计算机，主要接收来监测信号、校正、报警判别、数据统计、磁盘存储、显示、声光报警、人机对话、输出控制、与管理网络连接等。

⑦ 投影仪、多屏幕、大屏幕、电视墙等：扩大显示面积，以便于调度室远距离观察。

⑧ 管理工作站或远程终端：一般设在矿长或总工办公室以便随时了解矿井安去和生产状况。

另外，还有数据服务器及路由器等，用于管理和与外界广域网等连接。

全矿井综合监控系统是矿井监控系统的发展方向。全矿井综合监控系统是一种既可用于环境安全、轨道运输、胶带运输、提升运输、排水、矿山压力、大型机电设备健康状况等全面综合监控，又可实现某些或某个方面监控的多参数、多功能监测与控制并重以及就地自动控制与地面远程控制结合的系统。全矿井监控系统主要包括：智能传感器、智能监控站、调度网络等，如图 1-3 所示。

所谓的智能传感器是指带微处理器兼有信息检测和信息处理功能的传感器。其主要特征是将传感器的检测信息功能与微处理器的信息处理功能有机地融合在一起，具有一定的人工智能作用。英国人称其为“intelligent sensor”，美国人称其为“smart sensor”，即“聪明的、灵巧的传感器”。在系统中，智能传感器采用数字信号传输，多台传感器可共享一根多芯电缆或一根光缆构成树型结构，

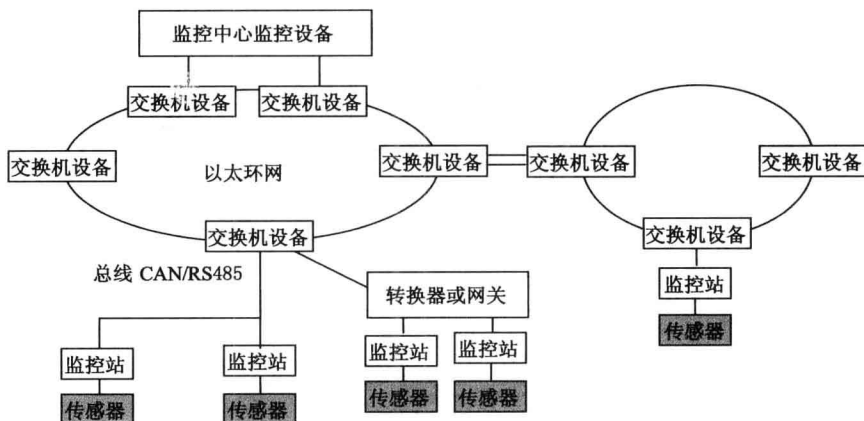


图 1-3 全矿井综合监控系统框图

与智能监控站相连,也可直接接系统电缆或光缆。

从矿井监控系统的结构可以看出,传感器是整个系统的关键部件,它是矿井监测系统的重要基础,是监测系统与被测环境间的关键器件,是保证矿井安全的首要条件。传感器品种的多少和性能的优劣决定矿井监测系统的应用水平,没有质量优良的传感器就不会有良好的监测系统。

1.2 矿用传感器的现状

近年来,微电子、微处理机技术、光传感技术和各种传感网络技术的迅速发展,有力地推动了矿用新型传感器的发展。

矿井传感器的性能与井下作业安全有着直接关系,目前,矿用传感器及所达到的性能指标主要有以下诸项:

① 瓦斯和一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、二氧化硫和硫化氢等各种气体传感器。

矿井瓦斯检测方法有实验室取样分析法和井下直接测量法两种。煤矿常用的瓦斯传感器,按检测原理分类有光学式、催化燃烧式、热导式、气敏半导体式瓦斯传感器等,可以根据使用场所、测量范围和测量精度等要求,选择不同检测原理的瓦斯传感器。

煤矿常用的一氧化碳检测仪器有电化学式、红外吸收式、催化氧化式等。

煤矿中检测氧气常用的方法主要有气相色谱法、电化学法和顺磁法。其中气相色谱仪一般安装在地面,通过人工取样分析矿井气体成分浓度。

国内煤矿企业目前使用的矿用气体传感器有:

光干涉瓦斯传感器,主要用于检测甲烷和二氧化碳,检测范围分别为 0~

10%、0~40%和0~100%；

催化燃烧式瓦斯传感器，主要检测低浓度甲烷，检测范围0~5%；

智能式瓦斯传感器，主要检测甲烷浓度，以单片机为核心，以载体催化元件及热导元件为敏感元件，用载体催化元件检测低浓度甲烷、热导元件检测高浓度甲烷，实现0~99%的全量程测量，仪器能自动修正误差。

瓦斯、氧气双参数检测仪，装有检测甲烷和氧气两种敏感元件，同时连续检测甲烷和氧气浓度。

最新研制出四参数气体传感器，同时测定甲烷、氧气、一氧化碳和温度，一氧化碳测量范围： $(0 \sim 999) \times 10^{-6}$ ，甲烷测量范围：0~4%，氧气检测范围：0~25%，温度检测范围：0~40℃。

瓦斯报警矿灯，在矿灯上附加一个瓦斯报警电路，即为瓦斯报警矿灯。

目前常用的一氧化碳传感器，能连续或点测作业环境的一氧化碳浓度，仪器开机即可检测，检测范围： $(0 \sim 2\ 000) \times 10^{-6}$ 。

② 粉尘浓度传感器。目前较先进的是一种光电式粉尘传感器，主要参数：测量范围0~2 000 mg/m³，测量误差±25%，测量所需时间≤2 min。

③ 井巷和硐室温度以及煤炭自燃温度传感器。目前，常用的煤矿温度传感器有热电偶、热电阻、热敏电阻、半导体PN结、半导体红外热辐射探测器、热噪声、光纤传感器等。热电偶、热电阻原理在工业（地面）上早已得到广泛应用；半导体PN结原理在-100~+100℃范围内的应用也很成功，煤矿井下应用较多。光纤温度传感器、半导体晶体管温度传感器及半导体集成温度传感器发展迅速，在煤矿安全生产中陆续得到应用。

④ 风速、风量与负压传感器。常用的风速传感器有：超声波涡街式风速传感器、超声波时差法风速传感器、热效式风速传感器。对很低的风速或者鉴别通风构筑物漏风时，可以采用烟雾法或嗅味法近似测定空气移动速度。风速传感器，主要安装在测风站、进回风巷和采区工作面等，监测井巷风速风向，目前，测量范围一般为0.3~15 m/s。负压传感器主要用于矿井通风系统中的风压检测、矿井均压灭火技术中用于密闭内外压力的检测和瓦斯抽放泵工作压力及井下风门两端压力的检测。目前的负压传感器主要是一种基于差压膜盒式压力传感器及基于微型硅压力传感原理的传感器。测量范围： 0 ± 500 Pa， 0 ± 5 kPa， 0 ± 20 kPa，精度≤±1%。

⑤ 采空区顶板位移、矿岩位移、液压支架位移和机电设备关键部件位移传感器。目前，矿山使用的位移传感器主要有机械式、电位器式、电感式、电容式、磁栅式、霍尔式、光栅式、激光式等。

⑥ 馈电开关状态传感器。主要用于监测电缆芯线是否带电，实质上是测量

电压或电场的传感器。目前常用的有电磁式、电容式和磁霍尔效应式馈电状态传感器等。

⑦ 矿用设备开停状态传感器。矿用设备开停传感器主要用于监测矿井主要机电设备(如采煤机、掘进机、运输机、提升机、破碎机、输送机、局部通风机、水泵、主要通风机等)的运转状态,主要有辅助触点型和电磁感应型两种。

另外还有风门、风筒开闭状态传感器、机组位置速度传感器、胶带打滑传感器、提升装置及提升系统传感器和煤量称重传感器等。

目前,国内矿用传感器主要采用12~24 V直流供电,普遍采用本质安全型,通常都具有连续自动将待测物理量转换成标准电信号输送给关联设备、并提供就地显示、超限报警等功能,有的还具有遥控调校、断电控制、故障自校自检等功能。传感器模拟量输出信号有三种,频率输出5~15 Hz,电流输出0~5 mA,电压输出0~100 mV。开关量信号输出一般有 ± 0.1 mA、 ± 5 mA和200~2 000 Hz等。

1.3 矿用传感器分类

矿井下传感器的种类繁多,分类方法也很多,按被测参数分类,如矿用温度、压力、速度、湿度等传感器,这种分类方法容易根据测量对象选择所需传感器;按测量原理分类主要有基于电磁原理和固体物理学理论,如根据变电阻的原理,相应的有电位器式、应变式矿压传感器。根据变磁阻的原理,相应的有矿用电感式、差动变压器式、电涡流式风速传感器等。根据半导体有关理论,其相应的有半导体力敏、光敏、气敏等固态传感器等。也可以根据传感器的应用类型分为矿用安全类和矿用生产类传感器两种,矿用安全类传感器主要用于矿井环境监测,如瓦斯传感器、风速传感器、一氧化碳传感器、温度传感器、流量传感器、压力传感器、氧气传感器、烟雾传感器、粉尘(煤尘)传感器等;矿用生产类传感器主要用于煤矿仪器、仪表工作状态及生产状态监测等工况参数进行监测,如开关状态传感器、电量检测传感器、煤量称重传感器等。

矿用传感器的性能直接影响着煤炭生产的发展。为适应煤炭工业发展的需要,促进煤矿安全生产状况的根本好转,各种新型矿用传感器的研发和使用层出不穷。

1.4 矿用传感器发展趋势

1.4.1 传统传感器面临的问题

目前所开发出的传感器已解决了煤矿安全生产中的一些问题,但传统的传感技术越来越面临一些问题,常见问题表现如下。

① 检测元件使用寿命短。由于现有的检测元件性能较差,如果元件活性下降,如未及时发现,轻则精度下降,重则漏报误报等。

② 传感器的准确度与线性度达不到产品规程规定的基本误差范围,指示值与实际值之间误差太大,或低端较准、高端不准,或高端较准、低端不准。

③ 受电磁干扰而性能不稳定,显示数字乱跳或冒大数等。

④ 传感器受到震动(如爆破或移动碰撞)和风速变化影响时数字跳动,零点漂移,造成工作不稳定。

煤矿井下是一个特殊的工作环境,有易燃易爆的瓦斯和煤尘,有腐蚀性的硫化氢气体,空间狭小、潮湿、电磁干扰严重等,这些都对矿用传感器的设计、安装和使用提出了更高的要求。

1.4.2 矿用传感器的发展趋势

矿用传感器的发展趋势概括为以下几方面:

① 发展性能和种类更加完善和丰富的新型矿用传感器。一是提高传感器的电磁兼容性,改善现有传感器;二是采用新原理新技术研制新型矿用传感器。

② 矿用传感器的集成化。集成化有两个含义,一是将同一类型的单个传感器排列在同一平面上,构成线型传感器或面型传感器;二是将传感器和运算、放大及温度补偿等部分组装成一个器件,形成一体化,如集成固态压力传感器或集成半导体温度传感器等。

③ 矿用传感器的智能化。它是将传感器与计算机技术相结合而构成的,它充分利用计算机的计算和存储能力,对传感器的数据进行处理并对它的内部行为进行调节,使采集的数据更佳,其功能如:自补偿能力、自校准功能、自诊断功能、数值处理功能、双向通信功能、信息存储和记忆功能和数字量输出功能。随着科学技术的发展,智能传感器的功能还将逐步增强,它将利用人工神经网络,人工智能、信息处理技术,使传感器具有更高级的智能,具有分析、判断、自适应和自学习的功能,可以完成图像识别、特征检测和多维检测等复杂任务。

④ 矿用传感器的多功能化。多功能传感器是指同时具有两种以上功能的传感器,如用 $\text{MgCr}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2$ 陶瓷材料制成的湿度—气敏元件。集成化传感器除具有信号转换功能外,还兼备温度补偿、信号处理等功能,故也称为多功能传感器。

⑤ 矿用传感器的小型化。随着敏感元件、功能材料、制作工艺的发展,传感器在小型化方面必将取得突破性的进展。

⑥ 矿用传感器的数字化。因具有信息的储存和远距离传送、抗干扰性强、可与数据处理系统组合、易于与计算机系统连接等优点,数字化传感器必将受到用户青睐。

⑦ 矿用传感器的高精度化。现代煤矿生产正趋向于管理调度集中化、装置设备大型化、控制系统复杂化、生产过程连续化,对矿用传感器的精度和可靠性提出更高要求。

⑧ 矿用传感器的非接触化。由于被测对象多种多样,要求不接触测量的对象日益增多。因此,实现非接触式测量又对矿用传感器提出更高要求。

⑨ 矿用传感器的廉价化。随着新型矿用传感器的不断产生、发展和完善,在应用中目前一些传感器还存在价格偏高的问题,随着传感器的不断应用,传感器势必要向价廉物美、经久耐用的方向发展,高性价比将是一个不可忽视的发展趋势。

⑩ 矿用传感器的长寿命化。矿用传感器的可靠性与长寿命化被列为传感器开发的基本条件之一。一般说来,系统越庞大、环境越复杂,运行的可靠性就越低。为了确保煤矿生产安全,矿用传感器的使用寿命必须达到可靠性指标。

总之,由于传感器技术涉及的知识范围广泛,不仅渗透到各个学科领域,而且在制造中需要新工艺、新材料、新技术。不断涌现的新一代矿用传感器势必逐步取代目前的产品,因此,高精度、小型化、集成化、多功能化、数字化、智能化已成为发展矿用传感器技术总的途径和趋势。

参 考 文 献

- [1] 陈津. 传感器技术应用综述及发展趋势探讨[J]. 科技创新导报, 2008(10):1.
- [2] 段传谊. 浅论煤矿安全环境监测监控系统[J]. 中小企业管理与科技, 2010(10):224-225.
- [3] 樊尚春. 传感器技术新发展[J]. 世界电子元器件, 2002(12):26-27.
- [4] 谷有臣, 孔英, 陈若辉. 传感器技术的发展和趋势综述[J]. 物理实验, 2002, 22(12):40-42.
- [5] 黄成玉, 张旭珍. 矿用系列传感器特性分析[J]. 科技信息, 2010(34):98.
- [6] 李景丽, 陈瑞球. 我国传感器现状及其发展趋势[J]. 仪表技术, 2003(5):39-40.
- [7] 李守智, 田敬民. 智能传感器技术及相关工艺的研究进展[J]. 传感器技术, 2002, 21(4):61-64.
- [8] 李万安. 传感器技术的发展现状[J]. 矿山机械, 2001, 29(1):66-67.
- [9] 刘洪. 煤矿安全监测技术[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1993.
- [10] 刘伟, 周心权, 谭文辉. 矿用智能传感器[J]. 煤矿设计, 1998(10):25-27.
- [11] 刘新, 李淑娥. 气体传感器的应用与发展[J]. 中国西部科技, 2008, 7(14):