

煤矿井下仪器仪表检测技术现状和发展趋势

吴钰晶

安标国家矿用产品安全标志中心有限公司，北京

收稿日期：2024年6月27日；录用日期：2024年8月8日；发布日期：2024年9月12日

摘要

本文分析介绍了煤矿井下仪器仪表技术基本情况、井下环境监测技术及井下开采检测技术，并对仪器仪表大集成—煤矿安全监控系统的功能和特点进行简述，提出煤矿井下仪器仪表发展趋势，为煤矿井下仪器仪表的发展提供有效支撑。

关键词

煤矿井下，仪器仪表，检测技术

Present Situation and Development Trend of Underground Instrument and Meter Detection Technology in Coal Mine

Yujing Wu

China Mining Products Safety Approval and Certification Center, Beijing

Received: Jun. 27th, 2024; accepted: Aug. 8th, 2024; published: Sep. 12th, 2024

Abstract

This paper analyzes and introduces the basic situation of underground coal mine instrumentation technology, underground environment monitoring technology and underground mining detection technology, and briefs the functions and characteristics of the large integration of instrumentation—coal mine safety monitoring system, puts forward the development trend of underground coal mine instrumentation, and provides effective support for the development of underground coal mine instrumentation.

Keywords

Underground Coal Mine, Instruments and Meters, Detection Technique

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

煤矿作为我国重要的能源供给行业，其生产的安全性一直是人们关注的焦点。煤矿井下作业环境复杂多变，存在诸如瓦斯、粉尘、温度等诸多潜在危险因素[1] [2]。及时准确地监测和掌握井下环境状况，对确保生产安全至关重要[3]-[7]。先进的仪器仪表技术可以实现对各类参数的自动化实时监测，提高事故预警能力，减少安全事故发生，保护矿工生命安全，对安全生产具有重要意义。

井下常用的仪器仪表主要包括有害气体、粉尘浓度、温湿度、压力检测仪或传感器等。有害气体检测可检测瓦斯[8] [9]、一氧化碳等有害气体浓度；粉尘浓度检测可监测采掘作业产生的粉尘浓度情况；温湿度检测可实时监测井下温湿度状况，为通风系统调控提供依据[10]。它们具有体积小、重量轻、功耗低、适应恶劣环境等特点，能够持续稳定运行，为作业环境监测提供可靠数据支撑。随着监测技术的不断进步，煤矿广泛应用先进的仪器仪表技术，实现了井下环境参数的自动化实时监测。一些大型煤矿建立了覆盖全矿的监测网络，通过数据采集终端、数据传输系统、监控中心等系统构建，对整个矿区瓦斯、粉尘、温湿度等关键指标进行集中监测[11]；部分智能矿山还将仪器仪表技术与信息化管理系统相结合，实现了参数监测数据与生产管理的有机融合，为安全生产决策提供可靠依据。

2. 煤矿井下环境检测技术现状

2.1. 煤矿井下温度、湿度检测技术

煤矿井下温度和湿度是反映工作环境基本状况的重要指标。高温、高湿环境不仅会影响工人的身体健康，还可能引发一些生产安全隐患。因此，准确监测和控制井下温湿度状况是煤矿安全生产的重要保障。目前，煤矿普遍采用红外线测温传感器和电容式湿度传感器来监测井下温度和湿度。红外线测温传感器能快速、准确地捕捉目标物体的表面温度，并将其转换成电信号输出，适用于各种恶劣环境下的温度测量。电容式湿度传感器则是通过吸附空气中的水蒸气来测量相对湿度，具有灵敏度高、响应速度快等优点。

2.2. 煤矿井下瓦斯浓度检测技术

作为煤矿最大的安全隐患，瓦斯是必须严格监控的对象。瓦斯检测技术经历了从简单报警到精准监测的发展历程。目前，以红外法、催化燃烧法为代表的瓦斯检测技术已广泛应用。

红外法瓦斯检测器利用瓦斯分子对特定红外光波长的吸收特性，通过检测光强的变化来测量瓦斯浓度。这种方法测量精度高，抗干扰能力强，在井下广泛使用。催化燃烧法瓦斯传感器则是利用可燃性气体在催化剂表面发生氧化反应而引起电阻变化的原理进行测量。这种方法成本较低，适用于多种可燃气体的检测。近年来，一些新技术如光纤传感、电化学传感等也开始应用于煤矿瓦斯监测。

2.3. 煤矿井下粉尘浓度检测技术

煤矿井下易产生大量粉尘，如果粉尘浓度过高，不仅会对工人健康造成伤害，还可能引发粉尘爆炸等安全事故。因此，及时准确地监测和控制井下粉尘浓度是确保安全生产的关键。

目前，煤矿普遍采用光散射法和重力沉降法两种技术来检测井下粉尘浓度。光散射法粉尘检测器利用粉尘颗粒对光束的散射程度来测量粉尘浓度，具有响应快、精度高的优点。重力沉降法则是通过测量粉尘在一定时间内在重力作用下沉降的质量，间接计算出粉尘浓度，成本较低。各有优缺点，在实际应用中需要根据环境条件和检测需求进行选择。除此之外，一些新兴技术如电荷转移法、电离辐射法等也开始应用于煤矿粉尘检测。

2.4. 煤矿井下有毒有害气体检测技术

煤矿作为高危行业，除了瓦斯，还存在着各种有毒有害气体，如一氧化碳、硫化氢等，这些气体对工人健康和生命安全构成严重威胁。因此，有效检测和防控井下有毒有害气体是确保煤矿安全生产的重中之重。

目前，煤矿广泛采用电化学传感器和光学传感器来监测有毒有害气体。电化学传感器利用气体与电极之间的氧化还原反应产生电流信号来测量气体浓度，具有体积小、抗干扰能力强等特点，在一氧化碳、硫化氢等气体检测中应用广泛。光学传感器则通过气体对特定光波长的吸收程度来测量浓度，在检测一些难溶于水的气体时表现优异。近年来，一些新型检测技术也开始应用于煤矿，如基于半导体的气体传感器，它具有体积小、功耗低、成本低的优点，在一些特殊场合使用较为合适。此外，气相色谱法、质谱法等实验室分析技术也可以用于煤矿有毒有害气体的精确鉴别和定量分析。

2.5. 煤矿井下环境监测仪器的校准与维护

煤矿井下环境监测的准确性和可靠性，很大程度上取决于监测仪器的状态。因此，对这些仪器进行定期校准和维护保养十分重要。

煤矿一般会建立完善的监测仪器校准制度，根据国家相关标准定期对各类传感器进行校准。校准时，会利用标准气体或标准物质对仪器进行校正，以确保其测量结果的准确性；还会对仪器的关键部件如光源、电路、显示屏等进行检查和维护，确保其长期稳定运行。除了定期校准，煤矿还会制定周密的环境监测仪器维护方案。包括定期清洁传感器表面，更换易损耗部件，检查接线和供电状态等。对特殊场合使用的仪器，还会采取防尘、防腐蚀等特殊保护措施。

2.6. 煤矿井下环境监测数据的分析与应用

煤矿井下环境监测产生的大量数据，如果得不到有效分析和应用，再先进的监测技术也无法真正为安全生产提供支撑。因此，煤矿需要建立完善的环境监测数据管理和分析体系。

其一是煤矿需要建立统一的环境监测数据库，对各类监测数据进行集中存储和管理。通过数据挖掘和分析，可以全面把握井下环境状况的动态变化，及时发现问题苗头。一些先进的数据分析方法，如大数据分析、人工智能等，也开始应用于煤矿环境监测，提高了数据分析的深度和广度。另外，煤矿需要结合实际生产情况，对环境监测数据进行深入解读和应用。例如，可以根据温湿度数据调整通风系统，根据瓦斯浓度数据优化抽采方案，根据粉尘浓度数据采取有效防控措施等。

3. 煤矿井下开采检测技术现状

3.1. 煤矿采掘机械运行状态监测技术

煤矿的安全生产离不开采掘机械的良好运行状态。采掘机械的关键部件如液压系统、减速机、电机

等，其运行状态直接影响到整个开采过程的效率和安全。因此，对采掘机械的运行状态进行实时监测和分析显得尤为重要。

采用振动检测、红外热成像、油液状态分析等技术手段，可对采掘机械的关键部件进行全方位监测。通过对振动信号的频谱分析，可及时发现机械部件的异常磨损、故障隐患；红外热成像技术则可以无接触地检测机械部件的温升情况，及时发现局部过热问题；对机械润滑油的理化指标分析，也能反映出机械设备的运行状况。

3.2. 煤矿开采工艺关键参数在线检测技术

煤矿开采工艺涉及采掘、运输、通风等诸多环节，各环节都有一些关键参数需要实时监测和控制，如采煤工况参数、溜煤沟运输参数、掘进工艺参数、通风参数等。只有对这些关键参数进行准确检测和优化控制，才能确保开采工艺稳定高效运转。

采用先进的传感技术和智能控制系统，可以实现对这些关键参数的自动化在线监测和精确控制。例如，采用激光测距、图像识别等技术，可以实时检测采煤工作面的煤层厚度、采煤机的切削深度等参数；利用皮带称重、液位计等设备，可以监测运输管道的负荷情况、液体储罐的液位；利用压力传感器、风速仪等，则可监测通风系统的运行状态。

3.3. 煤矿开采过程中可燃气体浓度检测技术

煤矿开采过程中，由于煤层本身含有甲烷等可燃性气体，一旦超过爆炸下限，就会给工人的生命安全带来巨大隐患。因此，时刻监测并控制可燃气体的浓度水平，是保障煤矿安全生产的关键所在。

针对此需求，业界已发展出多种先进的可燃气体检测技术。红外吸收光谱法、气相色谱法等仪器可快速精准地测定甲烷等气体的浓度，为实时监控提供可靠依据；采用无线传感器网络技术，可将各检测点的数据集中到中控室，为管理人员提供全面、实时的可燃气体浓度分布情况。如某大型煤矿在采空区部署了可燃气体无线传感网，有效预警了数起瓦斯事故的发生。有的则利用高精度红外分析仪，对各工作面的瓦斯浓度进行实时跟踪，及时采取通风、疏导等措施，确保了安全生产。

3.4. 煤矿爆破参数检测与控制技术

煤矿开采过程中，常需要进行爆破作业以松动煤层，提高采掘效率。但爆破操作如果控制不当，不仅会造成严重的采空区破坏，还可能引发冒顶、涌水等安全事故。因此，对爆破参数的精准检测和科学控制显得尤为重要。

先进的爆破参数检测技术，包括高速摄像监测、动态应变测量、振动频谱分析等手段，可以全方位监测爆破过程中的关键参数，如爆破孔深度、爆破药量、爆破时序等。利用这些数据，不仅可以对当次爆破效果进行评估，而且可为下一次爆破参数的优化提供科学依据；爆破参数的智能控制技术也得到了广泛应用。一些煤矿采用了基于程序控制的电子雷管，可实现对爆破时序的精准控制；还有些矿山引入了基于模糊逻辑的智能爆破系统，能够根据爆破现场的实时监测数据，自动调节药量、孔深等参数，最大限度地减小爆破对周围环境的影响。

3.5. 煤矿开采过程中温度、湿度检测技术

煤矿开采作业环境复杂多变，温度和湿度状况直接影响着工人的作业条件和安全，同时也影响着部分开采设备的正常运行。因此，对温度、湿度等环境参数进行实时检测和动态管控，对确保煤矿安全生产至关重要。

针对不同的煤矿作业环境，可采用电阻式、热电偶式等多种温度传感技术，配合无线传输和集中监

控,实现对各作业面温度状况的全面掌握。湿度检测则可利用电容式、电阻式湿度传感器,结合管道或通风系统的布设,对整个矿区的湿度变化情况进行跟踪。将温度、湿度数据与其他生产参数进行关联分析,不仅能发现异常情况,预警可能出现的安全隐患,而且可为优化作业环境、提高设备可靠性提供依据。

3.6. 煤矿开采参数监测数据的管理与分析

煤矿开采过程中产生的各类监测数据,如设备运行状态、工艺参数、环境监测等,数据量巨大且种类繁多。如何对这些“大数据”进行有效管理和深度分析,是摆在煤矿数字化转型面前的一大挑战。

一是需要建立完善的数据采集、传输和存储体系,确保各类监测数据的实时采集、可靠传输和长期保存。利用物联网技术、工业互联网等手段,实现设备、工艺、环境等各类参数的集中监控和在线管理。二是要加强对监测数据的分析挖掘,发挥数据价值。运用大数据分析、人工智能等技术,可以对海量的生产运行数据进行深度分析,发现隐藏的模式和规律,为提升煤矿智能化水平提供强大支撑。如故障预警、优化生产等,都离不开对监测数据的深度分析。三是要建立完善的数据应用机制,实现监测数据的集成应用。将监测数据与生产管理、安全预警、决策支持等系统深度融合,形成闭环的智能化解决方案,最大限度地发挥数据价值,提升煤矿精细化管理和智慧化水平。

4. 煤矿安全监控系统功能及技术特点

煤矿安全监控系统是指利用先进的检测、传输、处理等技术,对生产各环节进行全面监控,提高生产安全性的技术系统。该系统通常由多个子系统组成,包括信息采集子系统、数据传输子系统、信息处理与分析子系统、预警与应急子系统等。

煤矿安全监控系统主要技术包括:信息采集、数据传输、信息处理与分析、预警与应急等。

信息采集是煤矿安全监控系统的核心技术之一,常用的信息采集技术包括:传感器技术、视频监控技术、物联网技术;数据传输是实现系统全流程协同的关键,常用的数据传输技术主要包括:有线传输技术、无线传输技术、组网技术;信息处理与分析是煤矿安全监控系统的核心功能之一,主要包括:数据融合与分析、风险评估与预测、智能决策支持;预警与应急技术是确保事故预防和应急处置的关键,主要包括:预警技术、应急处置技术、信息共享与协同;煤矿安全监控系统的集成与优化是确保系统长期高效运行的关键,主要包括:系统集成、运维管理和优化升级。

5. 煤矿井下仪器仪表的发展趋势

未来仪器仪表技术发展的主要趋势包括:传感技术不断优化,监测参数更加全面;检测精度和稳定性不断提高,满足更高安全生产要求;仪器仪表智能化水平持续提升,实现自动诊断、远程控制等功能;监测网络进一步完善,数据采集、传输、处理一体化水平不断提高;与信息化管理系统深度融合,为精细化安全生产管理提供支撑。

尽管煤矿仪器仪表技术取得了长足进步,但仍面临一些亟待解决的问题:部分仪器仪表抗干扰能力有待提高,面临恶劣环境下的检测稳定性问题;监测网络覆盖范围还不够全面,特别是中小型煤矿的监测水平较为滞后;监测数据的深度分析应用还不够,难以充分发挥数据价值;部分仪器仪表的使用维护成本较高,限制了中小型煤矿的推广应用。

目前科技的日新月异以及仪表智能化的飞速发展,都给煤矿仪器仪表提出了更高更远的要求,而煤矿矿井智能化都建立在仪器仪表智能化的基础之上,也推动着煤矿井下仪器仪表的不断地发展。

提高煤矿仪器仪表检测技术水平,对于预防和减少生产安全事故,维护矿工生命财产安全,推进煤

矿绿色安全发展具有重要意义。未来,煤矿要进一步加大仪器仪表技术应用力度,提升监测预警能力,为实现本质安全奠定坚实基础;政府相关部门也要出台更加完善的政策措施,鼓励和支持煤矿仪器仪表技术创新发展,为这一战略性新兴产业营造良好环境。

参考文献

- [1] 王慧,刘统慧.基于人机环管的巷道掘进工作面安全系统分析[J].电子制作,2014(11):70-71.
- [2] 高荣翔.煤矿安全监控数据智能分析与处理技术研究[D]:[硕士学位论文].青岛:山东科技大学,2018.
- [3] 邱锦波,刘聪,吴昊坤,等.采煤机智能化发展现状及关键技术展望[J].工矿自动化,2024,50(7):64-78.
- [4] 吴波.矿井瓦斯智能管控系统设计研究[J].模具制造,2024,24(7):177-179.
- [5] 欧振杰,覃仕明,韦清映.自动化技术在煤矿机电设备中的应用[J].造纸装备及材料,2024,53(6):58-60.
- [6] 寇文营,徐勤成.煤矿安全监控系统的现状与发展[J].内蒙古煤炭经济,2024(7):82-84.
- [7] 李学霖.煤矿通风瓦斯安全现存问题及解决对策[J].能源与节能,2024(7):65-67.
- [8] 胡千庭.预防煤矿瓦斯灾害新技术的研究[J].矿业安全与环保,2006,33(5):1-7+89.
- [9] 王建,曹雄.国内煤矿瓦斯理论、实验及其应用技术研究现状[J].山西化工,2009,29(2):39-42.
- [10] 周鹏.煤矿井下通风系统安全管理及瓦斯治理技术研究[J].应用能源技术,2023(2):1-6.
- [11] 陆敬武.Insite系列测井仪维修检测系统的构建[J].国外油田工程,2009,25(4):49-50+54.