

★ 科技引领 ★



移动扫码阅读

引用格式: 钮涛, 张铁聪, 董佳. 矿井灾害智能监测平台研究与应用 [J]. 中国煤炭, 2025, 51 (2): 143—148.

DOI: 10.19880/j.cnki.ccm.2025.02.016

NIU Tao, ZHANG Tiecong, DONG Jia. Research and application of intelligent monitoring platform for mine disasters [J]. China Coal, 2025, 51 (2): 143—148. DOI: 10.19880/j.cnki.ccm.2025.02.016

矿井灾害智能监测平台研究与应用

钮涛, 张铁聪, 董佳

(国家能源集团宁夏煤业有限责任公司金凤煤矿, 宁夏回族自治区吴忠市, 751504)

摘要 为了提高矿井灾害监测报警能力与效率、降低矿井灾害事故的发生率, 研究了一种以水灾、火灾、瓦斯灾害、粉尘灾害和顶板灾害为监测对象的矿井灾害智能监测平台。介绍了该平台的总体架构设计, 详细阐述了灾害监测数据分布采集技术, 并结合监测数据构建了灾害预警模型。该平台通过智能传感技术和物联网技术, 将采集参数进行分析并结合矿井实际情况进行分级预警, 实现矿井灾害智能化监测。通过在金凤煤矿现场试验应用表明, 该智能化监测平台能够精确地对工作面各项参数进行测量, 实现灾害有效监测报警。

关键词 矿井灾害; 煤矿安全; 灾害预警模型; 智能监测平台

中图分类号 TD76 **文献标志码** A

Research and application of intelligent monitoring platform for mine disasters

NIU Tao, ZHANG Tiecong, DONG Jia

(Jinfeng Coal Mine, China Energy Ningxia Energy Co., Ltd., Wuzhong, Ningxia 751504, China)

Abstract In order to improve the monitoring and alarm capabilities and efficiency of mine disasters, and reduce the incidence of mine disasters and accidents, an intelligent monitoring platform for mine disasters was studied, focusing on monitoring floods, fires, gas disasters, dust disasters, and roof disasters. The overall architecture design of the platform was introduced, and the distribution and collection technology of disaster monitoring data was elaborated in detail. A disaster warning model was constructed based upon the monitoring data. This platform analyzed collected parameters and conducted graded warnings based upon the actual situation of the mines by using intelligent sensing technology and internet of things technology, achieving intelligent monitoring of mine disasters. According to on-site testing and application in Jinfeng Coal Mine, it has been shown that the intelligent monitoring platform can accurately measure various parameters of the working face and achieve effective disasters monitoring and alarm.

Keywords mine disasters; coal mine safety; disaster alarm model; intelligent monitoring platform

0 引言

随着煤矿开采深度和开采规模的不断增加, 矿井灾害监测和治理工作难度也相应地增大^[1]。我国

主要矿井灾害有水灾、火灾、瓦斯灾害、粉尘灾害和顶板灾害, 目前, 对于煤矿智能监测主要运用参数监测和灾害前兆监测法, 即通过对某一种可能导致矿井灾害的参数进行监测, 或对某一种灾害的发

作者简介: 钮涛 (1977—), 男, 蒙古族, 内蒙古阿拉善左旗人, 高级工程师, 主要从事煤矿机电管理及智能化建设方面的工作。E-mail: nx-niutao@163.com

生前兆进行观察,实现灾害监测预警。然而,该方法仅能实现某一种灾害或某一种参数的监测,难以对矿井可能潜在的灾害进行同时监测,具有一定局限性^[2-5]。本文结合矿井安全管理需求,以金凤煤矿为研究对象,通过对多种参数进行耦合处理,并结合矿井历史数据设定参数阈值,对水灾、火灾、瓦斯、粉尘和顶板灾害进行全方位监测,建立了矿井灾害智能监测平台,为矿井安全生产提供数据

支持。

1 矿井灾害智能监测平台架构设计

矿井灾害智能监测平台将矿井五大灾害关键影响因素与大数据相结合,深入分析每种灾害发生的影响因素变化趋势及阈值,从而实现对矿井灾害的监测。该平台由设备层、传输层、分析层和控制层

组。矿井灾害智能监测平台架构如图 1 所示。

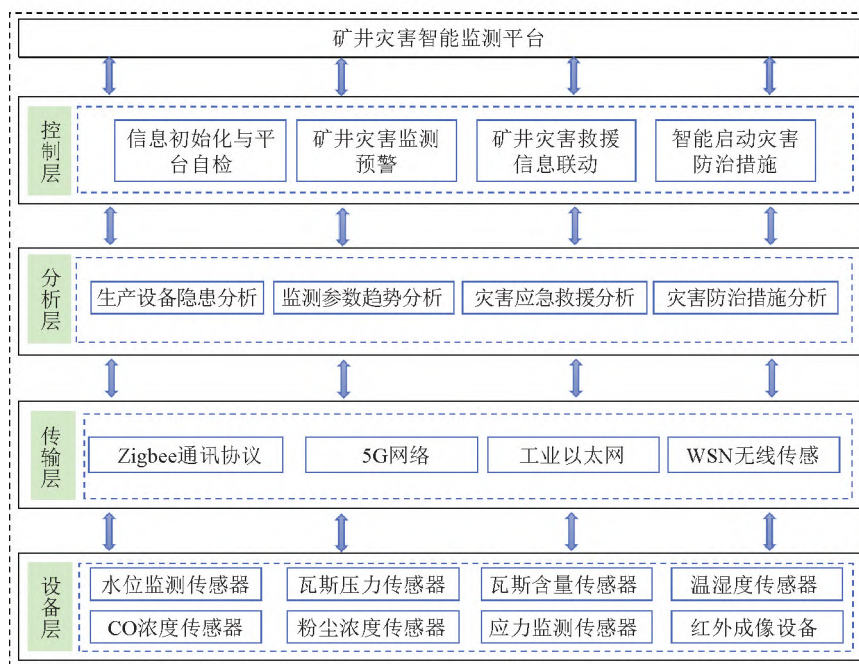


图 1 矿井灾害智能监测平台架构

Fig. 1 Architecture of intelligent monitoring platform for mine disasters

(1) 设备层。该层为矿井灾害智能监测平台的数据监测层,主要是依据各类传感器对水灾、火灾、瓦斯灾害、粉尘灾害和顶板灾害的数据进行实时监测采集,为后续数据分析提供基础数据。主要包含水位监测传感器、瓦斯压力传感器、瓦斯含量传感器、温湿度传感器、CO 浓度传感器、粉尘浓度传感器、应力监测传感器和红外成像传感器。上述传感器中红外成像传感器较为特殊,主要对灾害发生前的一些地质现象如“挂汗”“挂红”、底板起鼓等因素进行观察监测^[6],而其余传感器则用于直接监测相关参数,通过内置监测方法将参数信息量化,从而为矿井灾害监测及分析提供准确的一线数据。

(2) 传输层。该层是智能矿山数据传输的重要层级,矿井监测数据主要通过该层的 Zigbee 通讯

协议、5G 网络、工业以太网和 WSN 无线传感技术传输至分析层。

(3) 分析层。该层为矿井灾害智能监测平台的算力中心,通过矿井监测数据与历史数据结合分析的形式,对生产设备潜在隐患、监测数据变化趋势、灾害应急救援预案等方面进行分析,确定矿井灾害发生的可能性,从而为控制层提供准确的矿井灾害监测预警信号。在系统数据分析潜在灾害发生的基础上,该层级针对水灾、瓦斯灾害、火灾、顶板灾害和煤尘灾害制定不同的灾害防治措施,结合应急救援分析功能,最大限度化解矿井灾害所造成的负面影响。

(4) 控制层。该层直接调度整个矿井灾害智能监测平台,利用信息初始化功能对各个层级参数进行设置,结合矿井生产阶段合理进行数字化安全管

理。此外，控制层还包括矿井灾害自动监测预警功能、矿井灾害救援信息联动功能和智能启动灾害防治功能，当分析层判定矿井短时间内可能发生灾害事故时，会第一时间进行井上下灾害预警，并结合监测到的灾害种类，在短时间内智能启动应急预案与灾害防治功能，最大限度降低灾害事故带来的损失^[7]。

2 关键技术

在煤矿领域，各项监测分析工作主要基于大量准确的现场数据，通过探究参数阈值、变化规律、数据相关性等技术手段，从而达到对煤矿现场情况准确监测的目的。本研究中的矿井灾害智能监测平

台涵盖了对煤矿水灾、火灾、瓦斯灾害、煤尘灾害、顶板灾害和矿井生产设备隐患等方面的监测预警，其主要依赖数据分布采集技术和多参数并集监测预警技术实现。

2.1 数据分布采集技术

由于每个矿井地质条件和开采条件不同，相应的矿井灾害发生的条件也不尽相同，为了实现“一矿一测”，切实结合矿井实际条件精准对矿井灾害进行监测和报警，本研究建立了不同的矿井参数数据库，通过大数据分析挖掘可能导致矿井灾害发生的各种参数和现场实际情况的关系，实现矿井灾害的监测和报警^[8-10]。灾害监测数据分布采集原理如图 2 所示。

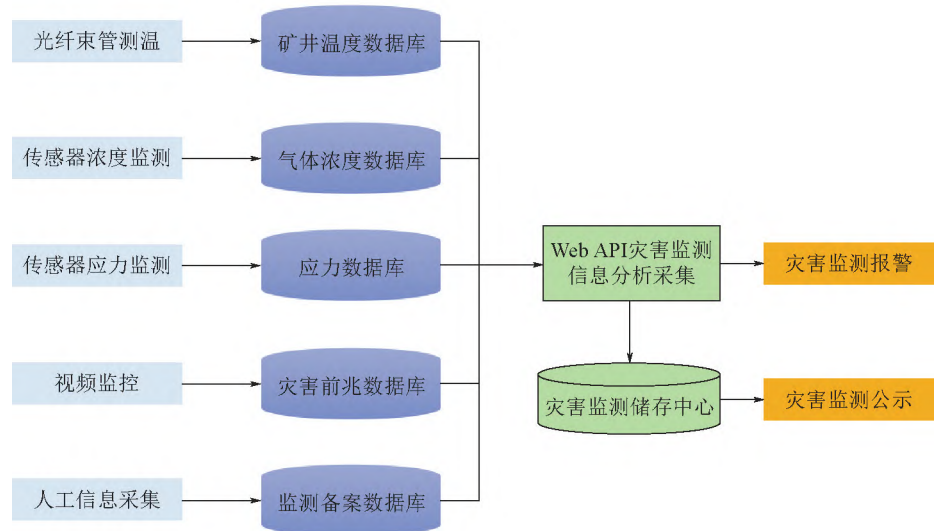


图 2 灾害监测数据分布采集原理

Fig. 2 Distribution and collection principle of disaster monitoring data

光纤束管测温采用聚乙烯光纤束管，对于煤矿综采工作面煤体温度和采空区、含水层的积水温度进行实时监测，主要针对火灾和水灾的监测进行报警；传感器浓度监测包含一氧化碳浓度、甲烷浓度、乙烷和乙烯等烷烯气体浓度监测及粉尘浓度监测，传感器须为矿用本安型传感器，矿井可针对具体监测需求选择传感器具体型号^[11-12]；传感器应力监测包含巷道顶底板应力监测、围岩应力监测和锚杆应力监测，主要为了对水灾和顶板灾害进行预防，通过传感器实时监测应力数据掌握顶底板周期来压情况，将来压规律和应力数据库的数据进行对比分析，及时掌握水灾和顶板灾害发生的可能性，供矿井调度系统采取相应的措施。

除了上述 3 个部分，视频监控和人工信息采集是需要人为完成 2 个监测模块，主要是对无法量化的矿井灾害现象进行观测和测量，如煤与瓦斯突出前兆、富水区水质、设备运行情况等，将采集到的数据情况和视频监控情况输入对应的数据库，运用 WebAPI 协议将相关监测数据进行采集，对比矿井五大灾害参数阈值综合进行分析，对矿井灾害进行监测并对灾害监测情况进行公示。

2.2 多参数并集监测预警技术

由于本研究系统涉及的参数监测较多，复杂情况下可能需同时监测几十种参数，因此利用并集监测原理对数据进行处理，即同时对多参数进行监测，并实时分析计算每种参数的变化趋势和距离阈

值的百分比,按“危险性”由大到小进行排序,最接近阈值的参数危险性最大,因此作为监测系统的首要指标,当进行多种参数监测时,只要有一种参数达到灾害事故发生临界阈值,则认定该矿井具有

灾害发生的风险,即可启动灾害防治功能与应急救援功能,这种能够实现多种参数同时监测预警的技术被称为“多参数并集监测报警”,其报警原理如图 3 所示。

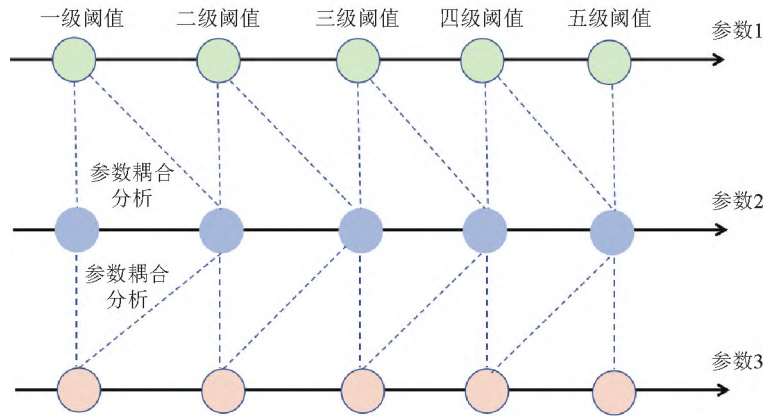


图 3 多参数并集监测报警原理

Fig. 3 Principle of multi parameter convergence monitoring and alarm

由图 3 可知,报警系统对 3 个参数进行监测,根据矿井实际情况和历史数据设定五级阈值,以 3 个参数中距离本级阈值百分比最接近的为首要监测指标,当首要监测指标达到本级阈值时,无论其他指标情况如何,系统会自动判定触发本级报警,并发出报警讯号。图中的实线箭头示意阈值升级方向,参数点之间的虚线示意参数之间的耦合分析关系。在多参数并集报警过程中,根据监测报警等级不同,报警讯号传递的区域及路线也不同,其中一级报警仅传输至安全员,二级报警传输至安全员并在井下巷道显示大屏进行公示,三级报警则上传至调度中心并在本矿井线上安全日志永久留痕,四级报警则在对应的危险区域发出警报,并将该信息传输至调度中心后以短信形式通知,五级报警一般被认为重大灾害事故,系统直接上报矿井所在的集团

或应急管理部门,由相应的专业指导小组进行现场灾害处理工作。多参数并集监测报警系统通过分级预警,实现了矿井灾害事故的多维度监测预警,达到安全生产的目的。

3 应用情况

金凤煤矿位于宁夏回族自治区东部吴忠市盐池县,该矿井设计生产能力为 4.0 Mt/a,主采 3 号、4 号、6 号、12 号、17 号等煤层。该矿井井下监测系统较为完善,对粉尘、水灾、火灾、瓦斯和顶板灾害事故监测预防方面有完整的流程体系,但该矿井智能化设备运用比例不高,随着矿井产能的扩大和开采深度的增加,拟定在该矿井进行灾害智能监测平台现场试验,选取 011810 工作面为试验区,具体二级指标及分级阈值见表 1。

表 1 二级指标及分级阈值

Table 1 Secondary indicators and grading thresholds

参数名称	涌水量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	CO 浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	甲烷浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	温度 / $^{\circ}\text{C}$	粉尘浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	液压支架阻力 /MPa
一级阈值	355	5	8.2	24	1.0	25.2
二级阈值	380	8	20.0	24	1.5	28.5
三级阈值	400	10	30.0	25	2.0	30.0
四级阈值	420	12	35.0	26	2.5	32.5
五级阈值	450	18	40.0	27	3.0	35.0

由表 1 可见,金凤煤矿 011810 工作面试验区

选取涌水量、CO 浓度、甲烷浓度、温度、粉尘浓

度和液压支架阻力 6 个参数为监测指标，其中涌水量由井下工作人员利用流速仪和水标定位法 2 种方法进行测量，在水位未超限时测量时间间隔为 3 h；CO 浓度和甲烷浓度分别采用 GTH1000 矿用 CO 传感器和 GJC4 低浓度甲烷传感器；粉尘浓度利用 P-5L2C 粉尘浓度测量仪，液压支架阻力利用 GMY400 矿用本安型应力传感器，并根据矿井历史监测数据设定分级监测阈值，阈值设定标准以矿井灾害发生参数临界值为五级阈值，即若检测指标达到五级阈值，则根据矿井历史数据和工作面概况，有极大概率发生矿井灾害，一~四级阈值是根据历史数据对应的灾害突出前兆设定，即在历史数据库中，达到相应的阈值时，有不同程度的矿井灾

害发生前兆或现象产生，综合考虑矿井条件将预警余量设置为 5%，以对现场灾害情况进行预警，为了同时考察该平台的监测功能与预警模型的实际运用效果，本次触发预警条件后不采取应急救援措施。

在试验开始前进行全面导水、通风和瓦斯抽采工作，确保各项观测参数均在一级阈值以下，在工作面正常生产期间进行为期 30 d 的现场试验，试验结果显示，在试验期间共计触发监测报警 4 次，报警前预警讯号正常发出，在未采取应急救援措施的情况下，分别触发 2 次一级报警、1 次二级报警、1 次三级报警，4 次报警时参数监测情况见表 2。

表 2 试验期间监测报警参数情况
Table 2 Monitoring and alarm parameters during the experimental period

报警次数	涌水量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	CO 浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	甲烷浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	温度 / $^{\circ}\text{C}$	粉尘浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	液压支架阻力 /MPa
第 1 次报警	311	5.2	7.7	23	0.85	19.2
第 2 次报警	311	4.1	8.1	23	0.85	19.2
第 3 次报警	311	4.1	20.1	23	0.85	19.2
第 4 次报警	311	4.1	30.2	23	0.85	19.2

在金风煤矿 011810 工作面进行试验期间，4 次报警涉及 CO 浓度和甲烷浓度 2 种指标超限，其余指标均保持在一级阈值以下。其中，第 1 次报警时 CO 浓度为 5.2 mg/L，工作面加大通风量报警当场解除，安全员在现场连续观察 4 h 无瓦斯超限报警事故发生，其余 3 次监测报警原因均为甲烷浓度超限，其浓度分别为 8.1、20.1、30.2 mg/L，分别触发一级、二级、三级报警，经现场排查原因为现场为取样测量，连续施工 9 个穿层钻孔获取煤样，现场未对钻孔进行有效封闭且未加大通风量，导致连续触发三级报警，且相关安全报警记录在系统永久性留痕，金风煤矿已会安全员进行重新学习教育。综合试验结果，金风煤矿 011810 工作面 30 d 的现场工程试验准确的对矿井潜在灾害进行检测报警，有效防止了安全灾害事故的发生，确保的工作面安全生产。

通过在金风煤矿 011810 工作面进行现场试验应用，经测算在矿井灾害智能监测平台投入使用后，巡检安全员和工人由原来的 14 人减少至 3 人，调度室工人由 4 人减少至 1 人，试验区共计减少人员投入 14 人，综合全矿井预计可减少人员投入 110 人，则每年直接节约人工成本 994.88 万元。

4 结语

通过现场试验应用表明，矿井灾害智能监测平台能够精确地对工作面各项参数进行测量，并实现了灾害有效监测报警。经过在试验前对安全员及调度中心工作人员进行安全培训，相关工作人员能够熟练掌握平台操作要点及指令。根据矿井历史数据和灾害发生情况，该平台构建了智能化多参数并集监测报警系统和灾害预警模型，同时构建了金风煤矿以水灾、火灾、瓦斯、粉尘和顶板为主要灾害的分级阈值监测体系，实现了灾害智能监测分级报警，有效避免了各类安全事故的发生。

参考文献 (References):

[1] 杜兰宝. 煤矿隐蔽致灾因素可视化在矿井灾害治理中的应用[J]. 陕西煤炭, 2024, 43(7): 132—137.
DU Lanbao. Application of visualization of hidden disaster factors in coal mine disaster management[J]. Shaanxi Coal, 2024, 43(7): 132—137.

[2] 翟小伟, 周翔, 宋波波, 等. 基于 ARIMA 模型的矿井灾害预测方法研究[J]. 煤炭技术, 2024, 43(6): 165—168.
ZHAI Xiaowei, ZHOU Xiang, SONG Bobo, et al.

- Research on mine disaster prediction method based on ARIMA model[J]. Coal Technology, 2024, 43(6): 165–168.
- [3] 张景钢,王清焱,何鑫. 矿井智能通风现状与智能控制系统构建[J]. 矿业安全与环保, 2023, 50(5): 37–42.
ZHANG Jinggang, WANG Qingyan, HE Xin. Research status and system design of intelligent mine ventilation[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2023, 50(5): 37–42.
- [4] 丁江明,马伟,张宝鹏. 小保当二号煤矿多灾害监测系统数据集成及安全风险分析系统建设[J]. 智能矿山, 2023, 4(10): 60–65.
DING Jiangming, MA Wei, ZHANG Baopeng. Construction of data integration and safety risk analysis system for multi-hazard monitoring system of Xiaobao-dang No. 2 Coal Mine[J]. Intelligent Mine, 2023, 4(10): 60–65
- [5] 李志勇,郭曼,马索尼,等. 无线电波透视技术在矿井地质构造探测中的应用[J]. 能源研究与管理, 2023(3): 131–136.
LI Zhiyong, GUO Man, MA Suoni, et al. Application of in radio wave perspective technology in detection of geological structures in mines[J]. Energy Research and Management, 2023(3): 131–136.
- [6] 匡真鸿. 基于 GIS 的矿井灾害动态监控与智能预警综合系统研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(7): 57–59.
KUANG Zhenhong. Research on comprehensive system of dynamic monitoring and intelligent early warning of mine disasters based on GIS[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2023(7): 57–59.
- [7] 张秉德,魏金鹿,连鸿全,等. 矿井动力灾害应力在线监测适用性研究[J]. 煤炭科技, 2023, 44(1): 11–15.
ZHANG Bingde, WEI Jinlu, LIAN Hongquan, et al. Study on applicability of stress on-line monitoring for mine dynamic disasters [J]. Coal Science & Technology Magazine, 2023, 44(1): 11–15.
- [8] 宋晓艳,李忠辉. “矿井灾害应急救援与处理”教学改革与实践——以应用型二学位人才培养为例[J]. 科教导刊, 2023(5): 130–132.
SONG Xiaoyan, LI Zhonghui. Teaching reform and practice of mine disaster emergency rescue and treatment—taking the cultivation of applied second degree talents as an example[J]. The Guide of Science & Education, 2023(5): 130–132.
- [9] 刘程,孙东玲,邓飞,等. 煤矿多灾害智能防治与智能监控技术[J]. 智能矿山, 2022, 3(7): 105–114.
- [10] 孙海朋,窦桂东,吴章涛,等. 综放工作面过断层的灾害防治综合技术[J]. 陕西煤炭, 2022, 41(3): 90–93.
SUN Haipeng, DOU Guidong, WU Zhangtao, et al. Research on comprehensive disaster prevention and control technology of fully mechanized caving face passing through fault [J]. Shaanxi Coal, 2022, 41(3): 90–93.
- [11] 李宛桐,夏方方,朱旖旎,等. 基于机器学习的煤与瓦斯突出危险性评估和预警研究进展[J]. 中国煤炭, 2024, 50(7): 52–62.
LI Wantong, XIA Fangfang, ZHU Yini, et al. Research progress on coal and gas outburst risk assessment and early warning based on machine learning [J]. China Coal, 2024, 50(7): 52–62.
- [12] 陈祖国,张宁博,高园园,等. 基于多传感器信息融合的煤与瓦斯突出预警模型研究[J]. 中国煤炭, 2024, 50(6): 67–73.
CHEN Zuguo, ZHANG Ningbo, GAO Yuanyuan, et al. Research on early warning model of coal and gas outburst based on multi-sensor information fusion [J]. China Coal, 2024, 50(6): 67–73.

(责任编辑 路 强)