

文章编号:1671-251X(2024)S2-0019-04

煤矿灾害预警系统与应急响应机制构建研究

单耀^{1,2}, 王艺岚¹

(1. 华北科技学院, 河北 廊坊 065201;

2. 河北省多场景水害链生事故智慧应急技术创新中心, 河北 廊坊 065201)

摘要:针对煤矿预警数据使用率不高、灾害数据挖掘不明显、需求分析不到位、预警与响应脱节等问题,设计了煤矿灾害预警与应急响应系统及机制,充分利用大数据、云计算、仿真分析等手段,融合原有矿井基础地质数据、生产数据、监测数据,完成对灾害的预警及风险设备防控联动,及时发布预警信息,具有良好的地质适应性,判断精准,为水文、地质等其他领域的灾害风险预警提供决策理论和方法。

关键词:煤矿; 灾害预警; 应急响应; 监测

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Research on the construction of coal mine disaster early warning
system and emergency response mechanism

SHAN Yao^{1,2}, WANG Yilan¹

(1. North China University of Science and Technology, Langfang 065201, China;

2. Multi-Scene Water Chain Accident Wisdom Emergency Technology Innovation Center of Hebei,
Langfang 065201, China)

0 引言

煤矿灾害严重威胁到人民的财产安全及生命安全。尽管全球各国已制定了一系列煤矿安全管理措施,但瓦斯事故和煤矿电力故障等灾害的频繁发生,揭示了传统预警防治方法的局限性^[1]。传统预警机制存在缺陷,如信息数据传输的滞后性、预测范围的狭窄性以及反馈信号的不准确性,这些因素均导致了预警效果的不显著。因此,迫切需要引入高效的预警系统并进行应急响应^[2]。通过结合智能算法与先进技术,实现对煤矿数据的稳定监测,并将煤矿开采活动产生的灾害隐患数据上传至控制服务端,使得管理人员能够更快、更准确地掌握煤矿井下的实时信息。这在增强煤矿各部门预警协同性方面发挥了重要作用^[3]。

鉴于我国煤炭资源的特定国情,煤矿灾害主要包括顶板事故、火灾、粉尘与瓦斯爆炸及冲击地压等^[4]。当前,大多煤矿企业都已建立了灾害监测系统,这些系统汇集了关于灾害的记录、来源、机构和

成因等多维度数据^[5]。然而,目前存在一些问题,如煤矿预警数据的使用率偏低、灾害数据挖掘不够深入、需求分析不够充分、预警与响应之间存在脱节等^[6]。针对上述问题,本文设计了一套煤矿灾害预警与应急响应系统及其机制。该系统充分利用大数据、云计算、仿真分析等先进技术手段,整合了原有的矿井基础地质数据、生产数据和监测数据,实现了对灾害的预警和风险设备防控的联动,能够及时发布预警信息,并实时向上级部门反馈监测信息。

1 煤矿灾害预警应急响应机制系统设计

为提升煤矿灾害预警系统的精确性,必须整合多源异构数据信息。鉴于数据格式的多样性、数据来源的广泛性及数据所涉及的空间和时间维度的差异性,预警处理信息的质量往往较低,有效预警信息的可利用性不足,这导致了应急响应的不准确性。基于多层架构体系的煤矿灾害预警平台集应用层、数据源层、服务层、边缘计算和平台层于一体,如图1所示。

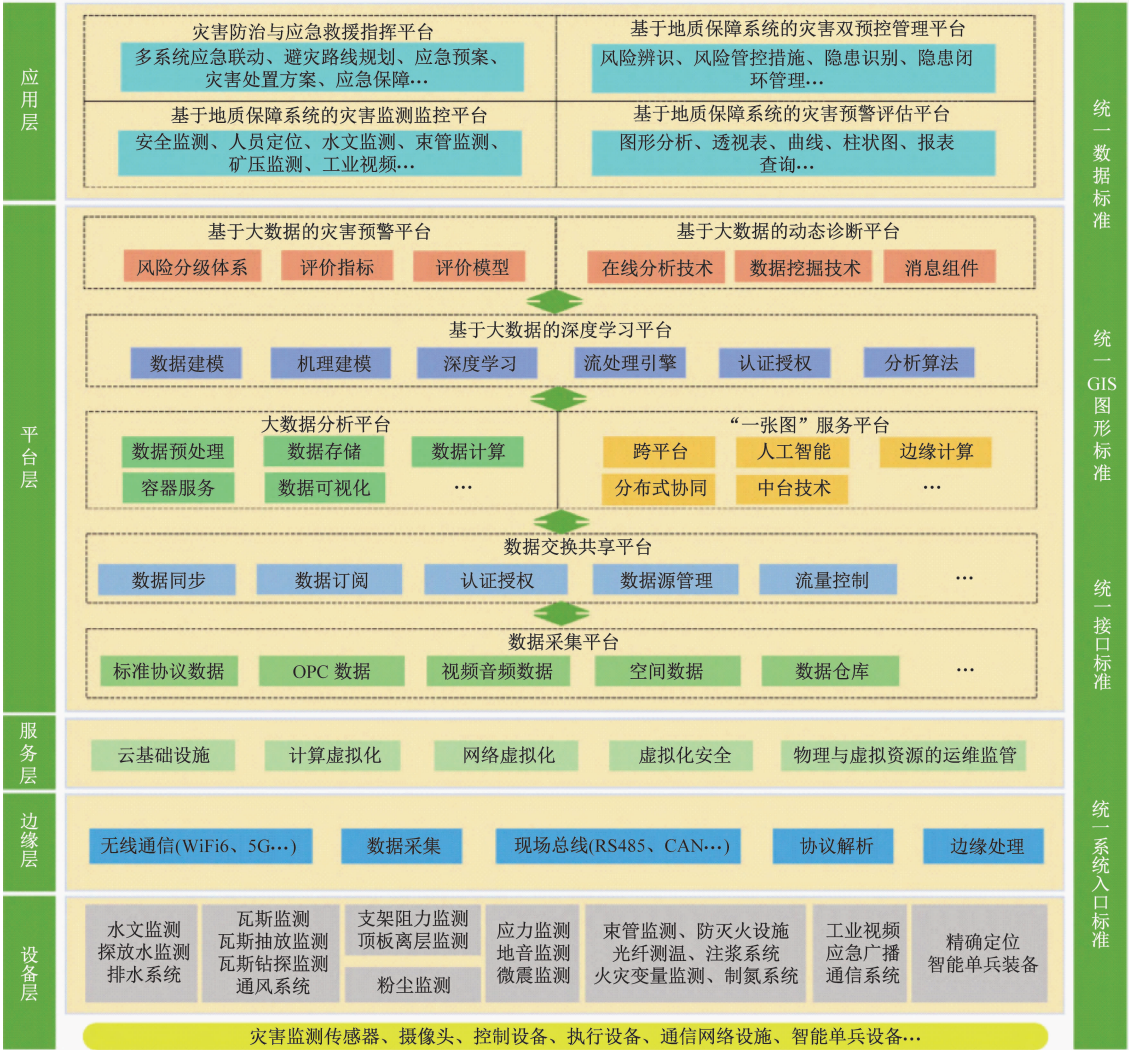


图 1 煤矿灾害预警应急响应机制系统平台设计

从数据的汇集、融合、质量、指标等方面完善煤矿灾害预警监测数据,完成多源异构数据的采集,建立煤矿灾害大数据仓库,基于知识图谱对煤矿灾害数据信号特征进行构建、提取、分析、推理、决策,为应急响应提供风险趋势预测技术。

在煤矿灾害监测与预警系统中,数据源层负责采集瓦斯、矿压、声电等关键数据信号,并上传人员位置坐标,构建灾害感知数据集,为集成管理预警信号提供丰富的数据库支持。设备层则承担控制自动化装备设施的任务,针对提及的灾害类型,设计了相应的传感器,并与监控设施协同,通过通信网络实时汇集数据,构成安全运行管控的基础。边缘层执行数据的预警计算功能,实时构建智能辨识预警模型,结合多参数算法,将数据源层提供的实时数据作为参数输入,生成安全风险模型,并将计算结果上传至云中心,经过应急响应后作出相应的决策。平台层在多种大数据平台工具的辅助下,设计了多源异构结构数据和时序数据的存储方式,以促进开发准确、完整的灾害数据中心。服务层负责对灾害数据进行资产规划,开放并共享数据服务网关,利用知识图谱

技术构建煤矿灾害核心特征的分析模型,同时结合云边协同技术,建立风险趋势预测模型,实现与边缘侧数据的调用和交互。应用层则对数据进行加工处理,结合灾害类型构建服务集市,实现智能服务数据,建立灾害动力演化机理,在统一数据标准、统一系统接入标准、统一图形标准的配置下,拟合仿真灾情辅助感知决策系统,推动实现多维辅助救援与智能决策。

表达矿井安全生产信息的一项最直接最直观的方式是矿图,本文建立了“一张图”平台,作为预警机制的基础。地质测量部门首先将矿图信息初始化,在矿图上描绘地质基础信息,更新数据后上传到服务端,同步共享至各客户端,完成各部门在统一底图平台上的协同配合,判断当下是否存在灾情,将计算结果作为预警模型的基本来源。

2 核心关键技术研究

2.1 多参量联合分析

针对煤矿灾害的耦合发生,即灾害表征多种多样,并非在同一时间出现单独灾害类型,突破数据多

维挖掘技术,建立煤矿灾害中台服务,将多灾种监测预警指标进行汇总加权,建立健全数据、模型、决策三级驱动的灾害联动控制策略,完成对于耦合灾种的联动响应预警,对推动集中监测起到了推动作用,明显提升灾害处理效率,以多参量联合分析方法为基础,开发权重可动态变化的预警算法,结合在不同监控区域内的矿井特征差异,将“智能预警为主、人工预警为辅”的预警机制不断完善,对多维参量进行统筹分析预警,具体算法如图 2 所示。

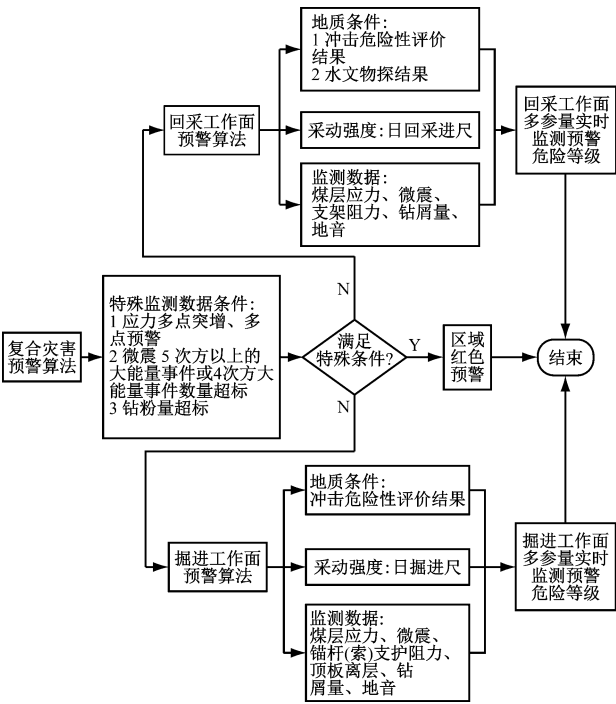


图 2 多参量联合分析算法

2.2 基于规则集的预警模型及指标阈值设置

结合煤矿历史灾害数据,建立以多指标为基础的规则集。综合将不同种类灾害进行加权求解,评分超过阈值时以预警方式提示上级。同时还融入指标间的协同效应,如煤矿温度急剧升高且伴有瓦斯浓度大幅提升引起地质监测参数的变化,两种灾害效应相互作用,达到良好预警效果,制定数据关联规则,不断在应用中调整优化规则集,满足规则便提交预警信号,辅以基于规则集的高并发数据处理技术,监测时序数据,利用时序数据的相关属性搭建对象模型,以 JSON 序列化技术转换数据表模型实现对象模型,促使数据的快速查询与记录。同样在对模拟量数据进行压缩时,结合监测值类型判定数据变化区间,约定记录时间,若在规定时间内未触发预警规则,则自动记录数据。

2.3 微震监测预警方式

微震监测技术是借助地震波原理完成对煤矿的

灾害监测,对煤矿地质变化进行监测,可以利用微震数据分析动态的地质变化,完成灾害的实时预警。

煤矿微震监测系统的核心部位是传感器,考虑煤矿这一地形条件面积广阔,应适用于远距离数据传输,选用灵敏度为 $43.3 \text{ V}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 及频率为 $15 \sim 1\,000 \text{ Hz}$ 的地震检波器为传感设备,然后设计分布方式及位置,要兼顾地质条件和监测对象。搭建了微震监测系统拓扑网络结构,数据由传感器经由电路系统发送至工作站,在巷道内再沿着光纤将数据送至注浆站,最后再把数据汇总处理发送至相关单位。微震监测系统如图 3 所示。

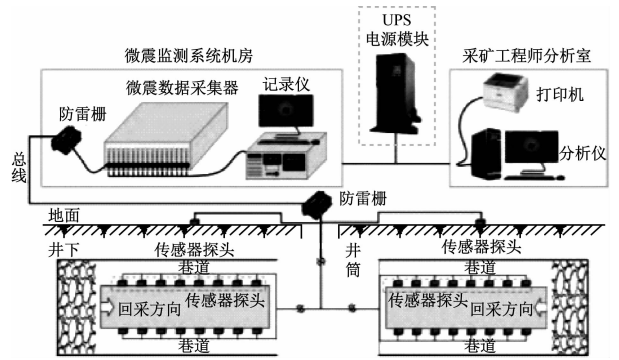


图 3 微震监测系统

拾震传感器、微震信号记录仪和信号采集器构成了系统的硬件部分,而软件部分用于对信号的可视化分析和提取、筛选分离波群,可以对灾害发生区域进行三维定位同时计算振动参数为应急响应决策提供能量值等相关数据信息,本文设计的微震监测系统在安装时,采用的布置方式是三分量传感器多点布置配合单分量传感器成网布置结合的方式进行部署,既可以降低设备检测成本,又能提高信息提取精度。

3 预警平台应用智能服务

以某煤矿为例,结合其所处的地质位置条件划分地质单元,结合不同单元的特征确定预警模型,在煤矿采掘作业时其灾害指标出现超限隐患时,灾害综合预警应急响应平台实时播报预警信息,以短信和播报的方式同时进行,系统对数据录入、地质条件、通风、煤层结构等进行隐患分析,结合触发的相应预警规则进行应急响应。预警结果以颜色显示为标志,绿色、黄色、红色分别表示可以继续作业、应排除灾害隐患、立即停止作业。根据预警结果,职能部门对应急措施开展决策和评价,根据实际结果采取对应措施。预警协同机制如图 4 所示,本文设计的预警响应机制系统与其他平台的对比见表 1。

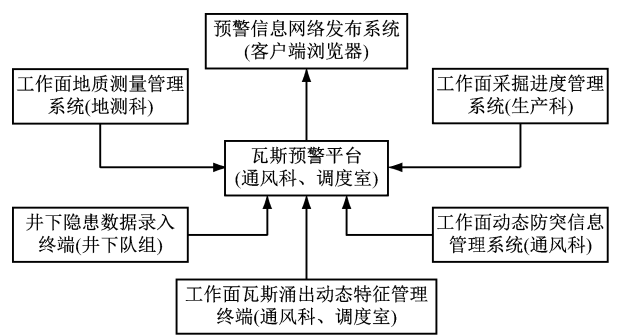


图 4 预警协同机制

表 1 本文设计的预警响应机制系统与其他平台的对比

对比参数	其他平台的 技术指标	本文设计的预警响应 机制系统技术指标
灾害掌控 模式	单灾害独立掌控	水、火、瓦斯、粉尘等灾害一体化掌控
跨平台 性能	只支持国际主流数据库或仅在 Windows 系统下操作	可以跨平台,国内外主流数据库下均能运行,且可在麒麟操作系统下运行,有更高的自主安全性,适用范围广
数据运算 能力	5 万点/矿	10 万点/矿

4 结语

基于煤矿地质特征的深入分析,并针对现行监

测预警系统的缺陷,构建了一套煤矿灾害预警与应急响应系统及其运行机制。该系统充分利用了大数据、云计算、仿真分析等先进技术,整合了煤矿水灾、火灾、瓦斯泄漏、顶板塌陷等多种灾害的管控预警响应模块,通过实现对复合灾害的预警和处理规划,对多参数的灾害数据进行了集成和综合预警处理,有效解决了传统煤矿灾害预警系统在数据处理效率方面的不足,显著提高了煤矿灾害预警与响应的效能。

参考文献:

[1] 丁震,李浩荡,张庆华. 煤矿灾害智能预警架构及关键技术研究[J]. 工矿自动化,2023,49(4):15-22.

[2] 邢震,韩安,陈晓晶,等. 基于工业互联网的智能矿山灾害数字孪生研究[J]. 工矿自动化,2023,49(2):23-30,55.

[3] 张庆华,马国龙. 我国煤矿重大灾害预警技术现状及智能化发展展望[J]. 智能矿山,2020,1(1):52-62.

[4] 魏卉子. 煤矿安全融合知识图谱构建研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2020.

[5] 田建设,韦宝宁,陈劭. 槽波地震勘探技术在煤矿灾害探测中的应用[C]. 陕西省煤炭学会 2019 学术年会暨第三届“绿色勘查科技论坛”,西安,2019.

[6] 王延生. 煤矿灾害安全结构模型的构建及其主动管控应用研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2019.

[73] 俞维露. 大模型时代下城市耦合预警响应机制研究[J]. 中国安防,2023(10):47-50.

[74] 王连聪,梁运涛,罗海珠. 我国矿井热动力灾害理论研究进展与展望[J]. 煤炭科学技术,2018,46(7):1-9.

[75] 刘合,任义丽,李欣,等. 油气行业人工智能大模型应用研究现状及展望[J]. 石油勘探与开发,2024,51(4):910-923.

[76] 陈立峰. ChatGPT 助推汽车智能化发展辨析[J]. 汽车维护与修理,2023(9):4-7.

[77] 梁猛. 大模型技术在发电行业的应用[J]. 中国电力企业管理,2024(3):60-62.

[78] 况杰. 大模型破局之赋能产业园区高质量可持续发展[J]. 科技与金融,2023(7):53-54.

[79] 陈艳波,方哲,张宁,等. 基于大语言模型绿电预测和绿电交易的园区综合能源系统集群多目标协同运行方法[J]. 高电压技术,2024,50(7):2849-2863.

[80] 马杰. 电力市场营销应用 GPT 的前景分析[J]. 能源科技,2024,22(2):52-55.

(上接第 11 页)

[68] LI Luxi, LI Yuchen, ZHANG Xiaotong, et al. Embodied intelligence in mining: leveraging multi-modal large language models for autonomous driving in mines [J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2024, 9(5): 4831-4834.

[69] 柳顺政,柴新夏,周峰,等. 大语言模型地质学知识测评与数据集构建[J/OL]. 自然资源信息化,2024 (2024-08-02). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1797.N.20240902.1150.004.html>.

[70] 杨鸿渐. AIGC 大模型在汽车维修中的应用研究[J]. 汽车维修,2024(3):10-14.

[71] 申海亭. AI 大模型与机电设备运维智慧融合的应用研究[C]//山东省首席数据官联盟. 2023 山东省首席数据官优秀论文集,2023. DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.120052.

[72] 本刊讯. 应急管理“久安”大模型正式发布[J]. 中国安全生产,2024,19(8):4.