

多源融合的智慧矿山安全生产管理系统 设计与应用

Design and Application of Intelligent Mine Safety Production Management
System with Multi-source Integration

汤玲¹, 张衡², 储扬静¹, 侯晓东²

(1. 南京北斗创新应用科技研究院有限公司, 江苏 南京 211505;

2. 鄂尔多斯市腾远煤炭有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯, 017099)

摘要:针对我国露天矿安全生产信息化建设面临的严峻挑战,如信息孤岛现象普遍、多源传感器数据整合难度大及矿山运营安全隐患预警机制不完善等痛点,提出多源数据融合技术的智慧矿山安全生产管理平台理念,并在此基础上,对智慧矿山安全生产管理系统进行技术分析,从感知层、数据层、服务层、应用层和展示层5个层面进行探讨,对智慧矿山安全生产管理系统进行总体框架设计,开发了包含用户管理模块、数据监测模块、孪生底座模块、数据分析模块、报警模块、场景管理模块、数据管理模块、可视化模块等功能模块。接入鄂尔多斯市腾远煤炭有限责任公司矿区的数据中,构建的智慧矿山安全生产管理系统实现对矿山运营状态的全面感知、精准模拟与科学预测,显著提升了矿山的运营效率与安全性,提升矿山企业的竞争力,实现可持续发展具有重要意义。

关键词:多源融合; 智慧矿山; 安全生产

中图分类号: TD672

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2024)05-0022-06

Abstract: Aiming at the severe challenges facing the informationization construction of safety production in China's open-pit mines, such as the prevalence of information silos, the difficulty of integrating multi-source sensor data and the imperfect early warning mechanism of safety hazards in mine operations, put forward the concept of a smart mine safety production management platform with multi-source data fusion technology, and based on this, we carry out a technological analysis of the smart mine safety production management system, which is made from the sensing layer, the data layer, service layer, Application Layer and Presentation Layer 5 levels to explore the overall framework design of the intelligent mine safety production management system, and developed functional modules containing user management module, data monitoring module, twin base module, data analysis module, alarm module, scene management module, data management module, visualization module and so on. Accessing the data of Ordos Tengyuan Coal Co., Ltd. mine, the smart mine safety production management system constructed realizes comprehensive perception, accurate simulation and scientific prediction of mine operation status, significantly improves the operation efficiency and safety of the mine, enhances the competitiveness of the mining enterprise, and realizes the sustainable development of great significance.

Key words: multi-source fusion; intelligent mine; safety production

1 前言

近年来,得益于5G通信与大数据等先进信息技术的深度融合与快速发展,以及国家政策的积极引导和企业对生产安全需求的迫切关注,我国矿山

智能化建设进程显著加快^[1-4]。

矿山信息化建设历经单机自动化、综合自动化到数字矿山的演进,随着在矿山物联网、数字孪生、大数据及智能化技术的迅猛推动下,正加速迈向智慧矿山的全新发展阶段^[5-6]。然而,矿山数字智能

[作者简介] 汤玲(1993—),女,安徽马鞍山人,硕士,工程师,现从事智能化矿山建设管理工作。

[基金项目] 鄂尔多斯市科技重大“揭榜挂帅”项目(编号:JBGS-2023-001)。

[引用格式] 汤玲,张衡,储扬静,等.多源融合的智慧矿山安全生产管理系统设计与应用[J].中国矿山工程,2024,53(5):22-27.

化建设过程中还存在一些问题:传统的矿山安全生产各作业区域数据分散且独立,人工后台巡视安全隐患工作量大,管理效率低下等问题^[7-11]。针对上述问题,结合矿山实际生产需求,利用新技术与矿山安全管理模式有效结合,达到提高露天矿在安全生产监测水平的目的。

近年来,众多国内外研究学者在矿山安全生产管理信息化方面做了大量的研究。刘龙锦等^[12]提出基于物联网技术,构建多层次感知网络,实现对人员、环境、设备等安全状态的实时监测。石明海^[13]提出建立三维可视化矿山安全生产监控系统,通过浏览器实时查看给重要场景的安全隐患并产生报警,为安全生产隐患提供决策支持。段文权等^[14]研究开发金属矿山生产全流程协同管控平台,利用信息技术与矿山生产业务流程相结合促进矿山生产技术与安全生产管理的协同。黄斌^[15]提出综合考虑矿工、施工设备、作业条件及管理模式等多个维度,构建全面的矿山安全生产管理体系。张水平等^[16]研究开发了矿山全员安全风险管控数字化平台,融入设定的安全元素及安全管理内容,促进矿山安全生产管理水平。

针对矿山在推进安全生产信息化与智能化进程中遭遇的诸多挑战,依据矿山特有的实际需求,本文通过进一步梳理矿山安全生产需求,通过对矿山周边环境层、设备层的数据采集,研究多源异构信息加载与融合方法,构建海量数据信息处理,并对海量信息数据实时与非实时的分析挖掘,使得“人-机-环-控”感知信息能够有效的汇集,实时更新虚拟场景的操作进程,实现人-机-环-控的智能协调与有机融合,构建智慧矿山安全生产管理系统,智能化地对矿井整体环境、安全、通讯、监测数据等实时信息进行全面感知、全域融合、联动控制及分析决策,实现矿山管理的自动化、智能化、数字化和网络化。

2 系统总体设计

2.1 需求分析

结合矿山运营的实际情况,针对矿山企业数字化转型的需求分析如下。

1) 实时矿山环境和生产状况监测系统的构建

目前矿山已有视频监控数据、GNSS 监测数据、雷达监测数据以及人员和车辆定位等来自不同传感器的监测数据,现有的传统的单一传感器监测维度、精度和可靠性有限,无法实现对矿区的全方位监测,

限制了矿山企业对露天煤矿边坡失稳事件的及时识别与有效预警。如何实现将多种不同传感器数据互补,使得每个传感器采集的数据信息在同一时空基准下,因此需要构建一个平台对矿山已有的多源异构信息数据进行融合,实现全天候 24 小时智能监管,从而提高矿山安全管理水平。

2) 矿山大数据智能分析与可视化系统开发

针对矿山活动生成的多源海量监测数据,但缺乏有效的大数据智能分析技术与工具,导致难以从大量数据中充分挖掘有价值的信息,限制了矿山安全生产过程中实时交互和决策支持。因此需要一个能够存储和智能分析海量监测数据的系统,利用人工智能、大数据和物联网等技术,实现矿山安全生产过程中大数据的高效存取以及有效数据知识挖掘。该系统能够打通数字矿山多源异构数据信息壁垒,提供面向矿山感知信息的数据预处理、智能分析和数据可视化展示。

3) AI 智能安全生产预警机制的建立

由于露天矿山生产中,存在一些安全隐患,人工难以及时发现,传统的监测方式缺乏安全告警。因此需要在对露天矿生产安全全过程监测中,利用 AI 算法模型来对数据进行分析和处理,以产生结论和预测,AI 算法模型通过不断学习和优化,可以提高其准确性和效率,对生产中异常情况及时发现并进行预警和告警,提高矿山安全管理和运营效率,减少安全事故的发生。

2.2 系统架构设计

智慧矿山安全生产管理系统是基于卫星通信、北斗定位、无人机遥感、物联网等多种资源协同观测,基于多种传感器实时采集的数据有效融合,开发智慧矿山安全生产管理系统,实现矿区“监测管理-一朵云”“安全管理-张网”“生产管理-张图”,服务于矿区安全生产决策支持,将平台架构分为感知层、数据层、服务层、应用层和展示层等 5 个层次,具体架构如图 1 所示。

2.3 系统技术设计

以数字孪生技术为基础的智慧矿山系统,客户端采用 Vue 作为主要的前端框架,通过其提供的数据驱动视图的方式,实现了高效的视图层操作。同时,整合了 UE(Unreal Engine)和 Cesium 引擎,使得系统能够加载矿山仿真场景,并实时查看矿山设备状态和环境参数,以及对各种设备进行交互控制等操作,这些功能的实现为用户提供了全面的矿山设



图1 系统架构

备管理和监控体验。服务端采用 Node.js 进行开发,主要负责处理客户端请求、与数据库的交互以及返回客户端所需的数据,作为连接客户端和数据库之间的桥梁,确保客户端和数据库之间的顺畅通信和数据交换。系统采用 PostgreSQL 数据库来存储和查询各种设备、人员车辆等信息,PostgreSQL 是一款强大的开源关系型数据库管理系统^[17],为系统提供了稳定可靠的数据存储解决方案,能够满足系统对于数据安全性和一致性的要求,为系统的稳定运行提供了有力支持。智慧矿山安全生产管理系统技术架构如图2所示。

3 关键技术

3.1 多源传感器数据融合技术

多传感器的时空配准是多源传感器数据融合处理的基础,多传感器的时空配准是将多个传感器传来的信息,根据统一的时间基准和空间坐标系准则,将各个传感器在时空上相互冗长或者互补的信息进行处理,最终获得不同传感器数据信息在同一时间和同一个空间坐标系统下,进而完成多传感器数据

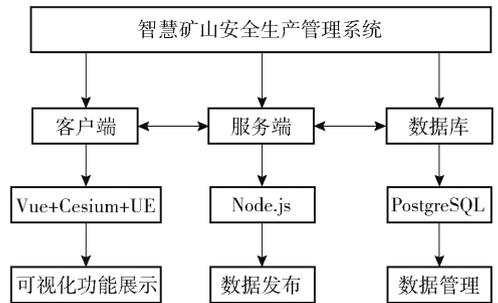


图2 系统技术设计

融合的系统目标^[18-19]。

本文系统的数据来自于雷达、GNSS、地下水位传感器数据。需要将不同传感器在不同时间和不同空间提取到的信息和数据,根据各个传感器分离的量测信息进行融合处理。按照一定的方法和准则对数据进行去重、校准、关联。进而融合处理得到更为有效的信息,克服单个传感器固有的局限性,提供准确、实时的矿山环境和生产状况的监测。

3.2 矿山实景三维建模技术

三维建模技术是物理实体转化为孪生数字体的

基础,“数字矿山”的提出使得三维建模及可视化技术被大量应用于矿山产业^[20-21],三维模型技术可以直观的反映出矿山复杂的地质结构及模拟矿区复垦场景,因此需要利用倾斜摄影测量技术对获取的航空摄影像进行三维模型的构建。

本文利用无人机进行矿山数据采集,获取到整个矿区的高分辨率倾斜影像。经过数据预处理、空中三角测量、实景三维模型构建等步骤^[22],实现构建好的矿山实景三维模型构建。

3.3 基于深度学习的预警和告警技术

深度学习是一种机器学习技术,通过多层次的神经网络模型学习数据的抽象表示,从而能够有效地解决复杂的模式识别和预测问题。系统异常区域的预警和告警利用深度学习模型的推理过程,选取当前时刻和前一时刻雷达获取到的 Tif 格式的数据,通过模型对数据进行解析,得到变化的区域。

异常区域预警:选取当前时刻和前一段时刻解析得到的变化区域结果,统计变化区域的变化程度,当发现部分区域的变化随时间推移越来越大时,产生预警,提醒矿山管理人员及时发现异常的区域。

异常区域告警:选取当前时刻解析得到的变化区域结果,计算变化区域的大小,当变化区域的大小超过阈值时,产生报警,提醒矿山及时发现异常的区域。

4 系统实现

系统基于接入不同传感器采集的多源数据,综合考虑矿山实际运营安全的痛点问题,实现矿山安全生产的 8 大基本功能,系统功能结构如图 3 所示。

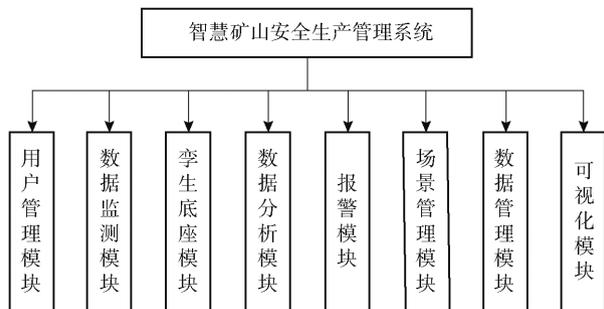


图3 系统功能模块组成

4.1 用户管理模块

用户管理模块实现对系统内所有用户的集中

化、标准化管理,依据用户的具体工作职责划分不同角色,并为每个角色量身定制一套独特的权限集合,这一设计确保了用户仅能访问其权限范围内允许的页面、数据资源,并执行相应的操作,从而极大地增强了系统的安全性及数据保护能力,有效防止了未经授权的访问与数据泄露风险。主要包括以下功能:登录验证、权限管理、角色管理、用户管理、系统配置。

4.2 数据监测模块

数据监测模块不仅实现了对多元化数据源的全面接入与实时监测,还通过高度集成化的技术手段,确保了监测数据的准确性和实时性。数据监测模块接入的数据:矿、边坡、人员、车量、各类监测设备(雷达、GNSS、摄像头、定位终端、气象设备等)基础信息。主要包括以下功能:实时监控查看、GNSS 时序、点云监测、钻孔数据监测、地下水水位监测、人员追踪、车辆追踪。

4.3 孪生底座模块

孪生底座为系统数字孪生技术的核心基础设施,其构建与维护物理世界精确数字模型,融合了先进的信息技术、空间数据处理能力以及强大的可视化引擎,来支持更复杂、更全面的应用场景。主要包括以下功能:高分卫星影像加载、三维球展示、倾斜摄影展示、DEM 地形展示和瓦片地图加载。

4.4 数据分析模块

数据分析模块主要提供强大的数据分析和挖掘功能,帮助用户从海量监测数据中提取有价值的信息,实现对矿山生产过程的智能监控和管理,为矿山安全生产过程提供决策支持。主要包括以下功能:有限元分析、剖切面分析。

4.5 报警模块

报警模块是系统中至关重要的一部分,它主要负责监测生产过程中的各种安全参数,当系统发现异常情况时及时发出报警信号,以便相关人员能够迅速采取应对措施,确保生产安全和稳定运行。主要包括以下功能:报警配置、报警通知、报警处置,其中报警配置主要包括区域屏蔽、电子围栏、阈值配置和处置流程配置功能;报警通知主要包括系统页面通知、短信通知、邮件通知、电话通知和声光设备通知。

4.6 场景管理模块

场景管理模块提供直观的图形用户界面,通过多种渠道提供系统反馈与通知。这些功能共同确保

用户能够高效、安全地与系统进行交互,获取信息并执行操作。主要包括以下功能:场景切换、场景刷新、3D截图、视角重置、测量操作、标绘操作、场景模拟、二三维切换、目标定位、图层管理。

4.7 数据管理模块

数据管理模块用于管理和维护数据,主要负责数据的收集、存储、处理、分析和保护,以确保数据的准确性、完整性和安全性。主要包括以下功能:组织管理、矿山管理、测站管理、文件管理、安全管理。其中测站管理又包括摄像头测站管理、GNSS测站管理、雷达测站管理、钻孔管理功能。确保了数据的高效存储和管理,为其他功能模块提供坚实的数据基础。

4.8 可视化模块

可视化模块,作为数据分析与决策支持体系的基石,深度融合了前沿的数据可视化技术和人性化的用户交互设计理念,构成了整个系统中最为直观且富有洞察力的界面。这一模块不仅是用户洞察现场生产动态的快捷通道,更是将传感器网络捕捉的实时数据及其设备的运行状态以直观、清晰的方式呈现于眼前,确保每一细微变化都能即时被捕捉并展现。通过这一实时且高度互动的显示界面,用户能够实现对矿山生产环境全方位、高效率的监控,确保对生产状况的最新进展了如指掌,为精准决策与快速响应提供坚实支撑。主要包括以下功能:数字看板、轮播表、二维地图、统计图、消息列表和信息卡。

5 系统应用

通过研究对矿山运营过程的监测和安全生产进行需求分析,研发多源传感器融合技术和深度学习的预警和告警技术,构建统一的矿山安全生产管理系统,在鄂尔多斯市腾远煤炭有限责任公司露天矿开展应用,具体如图4所示。通过使用融合通信网络技术,将矿山中的多源异构网络进行统一接入,通过使用网关设备、协议转换器等,以实现不同网络之间的连接和数据传输,实现对矿山感知数据的统一接入;收集和整理矿山的监测数据和相关信息,利用建模技术构建矿山生产环境的孪生模型,以模拟和预测矿山的运行状态和安全风险;基于矿山生产环境的孪生模型,为矿山安全生产过程提供实时的交互和决策支持,通过数据分析和数据挖掘技术、优化算法等,以实现矿山生产过程的智能监控和管理。

搭建的系统,有效实现对矿山“人-机-环-控”的生产智能化管理。



图4 系统应用

6 结论

本文提出以多源数据融合为核心的智慧矿山安全生产管理管理系统和方法,通过在鄂尔多斯市腾远煤炭有限责任公司矿区实际应用,将矿山中的多源异构网络感知数据的统一接入;利用建模技术构建矿山生产环境的孪生模型,并模拟和预测矿山的运行状态和安全风险;结合大数据与人工智能算法,进行数据分析和决策支持,以优化矿山管理和资源利用,构建统一的智慧矿山安全生产管理系统。能够帮助矿山实现数字化转型和智能化升级,提高矿山的生产效率、安全性和可持续发展。

[参考文献]

- [1] 刘诚,李少辉,赵奕等. 矿山工程数字化设计与交付解决方案[J]. 中国矿山工程,2022,51(3):1-6.
- [2] 葛虎胜,官福会,孙炎炎,等. 双5G网络下露天智能矿山系统构建与应用[J]. 金属矿山,2022(9):167-173.
- [3] 赵奕,何煦春,张维国等. 智能矿山大数据采集与云传输研究与应用[J]. 中国矿山工程,2022,51(3):11-19.
- [4] 鞠建华,韩见,鞠方略. 中国智能矿山发展趋势与路径分析[J]. 中国矿业,2023,32(5):1-7.
- [5] 丁恩杰,廖玉波,张雷,等. 煤矿信息化建设回顾与展望[J]. 工矿自动化,2020,46(7):5-11.
- [6] 姚江,王智强,侯卫钢,等. 基于工业互联网的露天矿数字孪生建模系统和方法[J]. 金属矿山,2023(1):161-171.
- [7] 毛善君,崔建军,王世斌,等. 煤矿智能开采信息共享管理平台构建研究[J]. 煤炭学报,2020,45(6):1937-1948.
- [8] 王国法,杜毅博,任怀伟,等. 智能化煤矿顶层设计研究与实践[J]. 煤炭学报,2020,45(6):1909-1924.

- [9] 张兵. 煤矿智能化综合管控平台研究[J]. 工矿自动化, 2022, 48(S2): 65-69.
- [10] 徐晓冬, 朱万成, 张鹏海, 等. 金属矿山采动灾害监测预警云平台搭建与初步应用[J]. 金属矿山, 2021(4): 160-171.
- [11] 陈鑫, 高峰, 谢雄辉, 等. 矿山生产技术协同平台研发与应用[J]. 黄金科学技术, 2021, 29(3): 449-456.
- [12] 刘龙锦, 沈秋彤, 李增亮, 等. 基于物联网的矿山安全监控管理信息系统设计[J]. 世界有色金属, 2023(16): 211-213.
- [13] 石海明. 三维可视化矿山安全生产监控系统总体架构设计[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(11): 101-104.
- [14] 段文权, 赵辉军, 刘敬智, 等. 金属矿山生产全流程协同管控技术与平台研究[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(12): 172-179.
- [15] 黄斌. 煤矿安全管理存在的问题及其解决策略[J]. 能源与节能, 2024(4): 35-38.
- [16] 张水平, 熊思超, 陈乐. 矿山全员安全风险管控数字化平台的研究与应用[J]. 矿业研究与开发, 2024, 44(5): 234-242.
- [17] 王美琴. 基于.NET的通用数据库转换系统的设计与实现[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2017(4): 50-53+60.
- [18] 何佳洲, 潘江怀. 多传感器时空配准问题的研究与思考[J]. 舰船科学技术, 2021, 43(15): 114-120+124.
- [19] 王志楼, 邢涛. 林木参数监测多传感器的时空配准[J]. 森林工程, 2019, 35(5): 39-42+49.
- [20] 僧德文, 李仲学, 张顺堂, 等. 数字矿山系统框架与关键技术研究[J]. 金属矿山, 2005(12): 47-50.
- [21] 赵浩雷, 张锦. 我国露天煤矿空间分布特征分析及可视化平台构建[J]. 中国煤炭, 2022, 48(12): 9-15.
- [22] 葛鹏. 无人机倾斜摄影技术在矿山测绘中的应用[J]. 测绘技术, 2023(23): 124-126.

(上接第21页)

- [2] 李光, 马凤山, 郭捷, 等. 高地应力破碎围岩巷道变形破坏特征及支护方式研究[J]. 黄金科学技术, 2020, 28(2): 238-245.
- [3] 朱友恒, 丁自伟, 刘江, 等. 深部高应力软岩巷道围岩变形机理及控制技术研究[J]. 煤炭工程, 2023, 55(10): 98-104.
- [4] 刘海东, 刘向忠, 刘伟冬. 顶板破碎围岩巷道“锚护喷注”一体化支护技术研究[J]. 煤炭工程, 2021, 53(10): 52-56.
- [5] 杨亚平, 杨有林, 穆玉生, 等. 金川矿区深部高应力破碎岩体巷道支护技术研究及应用[J]. 中国矿业, 2018, 27(11): 99-103.
- [6] 冯兴隆, 苗元丰, 李争荣, 等. 拉底过断层区喷锚支护巷道稳定性研究[J]. 采矿技术, 2021, 21(1): 58-62+69.
- [7] 吴昊燕, 张爱民, 王志远. 深井大规模进路充填开采扰动效应影响分析[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(3): 33-37+72.
- [8] 王智玉, 张帅, 王鸿宇. 破碎围岩巷道全锚索注浆联合支护技术实践[J]. 山东煤炭科技, 2023, 41(9): 1-3.
- [9] 夏方迁, 王军. 抗弯强化型钢管混凝土支架支护技术研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2020, 37(3): 490-497.
- [10] 吴昊燕, 张爱民, 王志远. 深井大规模进路充填开采扰动效应影响分析[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(3): 33-37+72.
- [11] 程勃, 徐家庆, 覃健. 沃溪坑口深井开采支护工艺优化与实践[J]. 现代矿业, 2021, 37(4): 193-196.
- [12] 丁永红. 回采巷道过断层破碎带联合支护技术研究[J]. 能源技术与管理, 2024, 49(3): 1-4.
- [13] 吴国栋. 破碎顶板巷道围岩支护技术研究[J]. 能源技术与管理, 2024, 49(3): 94-96.
- [14] 李俊. 破碎软煤大变形回采巷道稳定性分析及支护技术研究[J]. 能源与节能, 2024(6): 181-184.
- [15] 兰宇, 刁玉峰, 程戈. 兴隆庄煤矿过断层巷道围岩破坏机理及支护技术研究[J]. 山东煤炭科技, 2024, 42(5): 5-9.