露天矿山基础数字化的技术研究与工程实践*

边璟洋，李杰，王杰栋，钱荣荣，徐佳阳

（浙江省测绘科学技术研究院， 浙江 杭州 311100）

摘要：为响应浙江省全面推进矿山数字化建设的号召，致力于实现矿山数字化转型升级，助推企业高质量发展。针对中小型露天矿山基础数字化的体系建设要求，引入实景三维、数字孪生、物联网和人工智能等现代信息技术，深入分析并研究了系统架构、关键技术以及核心模块等内容，构建了具备跨时空、全周期、多领域数据融合的矿山基础数字化管理系统，并在浙江临海市、温岭市的多个中小型露天矿山进行应用，其强大的数据融合能力和智能化管理水平推动了矿山企业从“碎片化”管理向“一体化”管理的转型，实现了数据资源向数据资产的转化，引导了企业从传统思维向现代系统思维的转变，同时，也为全国中小型矿山的数字化建设和智能化升级提供了借鉴。

关键词：露天矿山；数字化建设；实景三维；物联网；智能视频分析

中图分类号：TD76 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-2763(2025)05-0207-07

Technical Research and Engineering Practice of Foundation Digitization of Open-Pit Mine

BIAN Jingyang, LI Jie, WANG Jiedong, QIAN Rongrong, XU Jiayang

(Zhejiang Institute of Surveying and Mapping Science and Technology, Hangzhou, Zhejiang 311100, China)

Abstract: In response to the call of Zhejiang Province to comprehensively promote the digital construction of mines, it is committed to realizing the digital transformation and upgrading of mines and promoting the high-quality development of enterprises. Aiming at the system construction requirements of basic digitization in small and medium-sized open-pit mines, modern information technologies such as real three-dimensional, digital twin, the Internet of Things and artificial intelligence were introduced. The system architecture, key technologies and core modules were deeply analyzed and studied. A mine basic digital management system with cross-temporal, full-cycle and multi-domain data fusion was constructed and applied in many small and medium-sized open-pit mines in Linhai City and Wenling City, Zhejiang Province. Its powerful data fusion ability and intelligent management level have promoted the transformation of mining enterprises from “fragmented” management to “integrated” management, realized the transformation of data resources to data assets, and have guided the transformation of enterprises from traditional thinking to modern system thinking. At the same time, it also provides a reference for the digital and intelligent upgrading of small and medium-sized mines in China.

Key words: Open-pit mine, Digital construction, Real three-dimensional, The Internet of Things, Intelligent video analysis

0 引言

矿业是国家和地区经济增长的重要支柱之一，而绿色矿山建设作为推动行业可持续发展的重要举措，正逐渐成为矿产资源发展的新趋势，对国家构建新型工业化道路和高质量发展起着至关重要的支撑作用。自2010年国家首次明确提出“绿色矿山”建设要求[1]以来，绿色矿山建设的政策环境进一步完善，国内诸多研究人员基于国家“绿色矿山”建设发展目标，为更好地推动矿山智能化建设，实现矿山高质量发展，从制度理念、技术装备、数据安全等多方面做了大量研究工作。张立[2]以国外矿业公司的矿山数字化转型为例，结合国内实际分析了矿山数字化转型与智能化管理为矿山产业带来的优势与潜在价值。刘庆斌等[3]提出“端、边、云、应用”4个建设模块，为绿色矿山的数字化提供了系统全面的建设思路。袁亮等[4]利用物联网技术的多学科交叉融合特性提出了实现“人-机-环”状态信息的实时精准感知的解决方案，有效提升了矿山安全预防水平。郝跃[5]在实际智能矿山建设项目中借助大数据技术构建了智能化

* **收稿日期**：2024-08-21

基金项目：浙江省自然资源厅2022年度科技项目(2022-47)

作者简介：边璟洋(1993—)，男，浙江诸暨人，硕士，工程师，主要从事实景三维平台、矿山数字化平台等方面的研发工作。E-mail：2465218726@qq.com

选煤厂系统以取代传统矿山安全生产方式、安全监测管理。王鹏等[6]研究并提出一套应用于智能化矿山数据融合共享规范体系,通过统一数据存储和共享的安全标准,规范了数据编码、采集、治理、安全和应用等建设过程,提升了矿山数据安全共享水平。

在前述研究的基础上,本文结合浙江省全面推进矿山数字化建设的实际要求,进一步探索矿山数字化改革特点并梳理出浙江省绿色矿山建设路径,自2005年浙江就率先在全国范围内探索绿色矿山建设,积极响应"绿水青山就是金山银山"的理念,通过《绿色矿山建设三年专项行动方案》和《绿色矿山质量再提升三年行动方案》等相关政策[7]的引导,不仅实现了全省范围内的绿色矿山建设,还以"互联网+矿业"赋能绿色矿山[8]为突破口,在智能化绿色矿山建设方面进行了积极探索,采取了分类推进的策略[9],根据不同矿山的具体情况分别开展了智能化绿色矿山"164"体系基础数字化矿山"142"体系,智能化绿色矿山"164"体系包括1个三维地质孪生模型,越界开采预警、智能卡车调度、全方位视频监控、粉尘实时监测、人员车辆实时定位和自动化智能配矿等6套系统,数据集成、决策服务、智能管控和场景应用等4大平台;基础数字化矿山"142"体系包括1个三维地质模型,越界开采预警、全方位视频监控、粉尘实时监测和人员车辆实时定位跟踪等4套系统,数据集成和场景应用2大平台。截止2024年4月,浙江省已建成19家智能化绿色矿山,为全国的绿色矿山建设提供了宝贵的经验和示范。

针对中小型露天矿山基础数字化的"142"体系建设要求,结合矿山实际业务,应用实景三维、数字孪生、物联网、人工智能等技术手段,建设跨时空、全周期、多领域数据融合的矿山基础数字化管理系统[10-13],并在浙江临海市、温岭市的多个中小型露天矿山投入使用。最终,不仅实现了生产要素中视频信息、环境信息、实时定位信息、预警信息等数据信息自动归集、实时共享、互联互通,还实现了矿山企业生产经营管理方式从"碎片化"管理向"一体化"管理的转变,数据资源向数据资产的转变,传统思维向现代系统思维的转变,以数字化转型助推企业高质量发展。

1 系统架构设计

矿山基础数字化管理系统采用B/S架构,基于Cesium框架,集成实景三维、地质模型、物联感知等多源数据,服务于矿山企业实现"一体化"管理。系统架构分为感知层、网络层、数据层、服务层、业务层以及用户层,如图1所示。

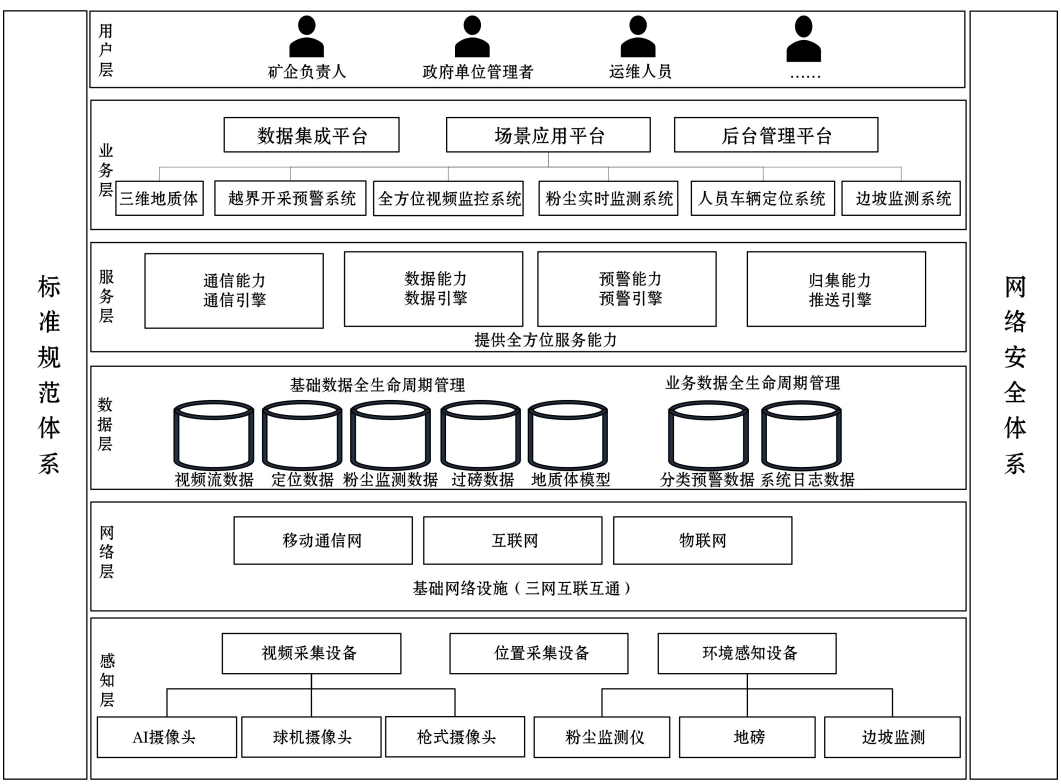


图1 系统架构

Fig.1 System architecture

(1) 感知层,包含了矿山数字化建设的基础硬件,主要分为 3 大类:以摄像机为主的视频采集设备、以北斗导航定位模块为主的位置采集设备和以粉尘监测为主的环境传感器。

(2) 网络层,通过整合多种通信技术和网络资源来实现各类数据(视频流、定位数据、粉尘监测数据等)的高效采集、传输和处理。

(3) 数据层,进行数据的存储和管理,统一汇聚矿山数据,实现对基础数据与业务数据全生命周期的管理。

(4) 服务层,作为整个系统的核心,它通过提供关键服务能力,确保了矿山运营的安全、高效和智能化。数据能力主要提供数据的计算与使用,实现矿山各业务系统物联数据时空融合,并深度挖掘数据价值。预警能力利用智能视频分析算法,自动辨识安全帽佩戴、人员跌倒、驾驶员疲劳驾驶、接打手持电话等违反安全生产的行为,并通过现场声光提醒、短信下发等方式传达给相关人员,形成快速响应机制,确保问题及时整改。通信能力借助移动通信网、物联网、互联网等网络为矿山提供实时监控、远程操作和紧急响应等功能,确保矿山安全生产,预防和应对突发事件;归集能力利用推送引擎,依据数据标准规范自动归集、上报和实时共享数据,为数据分析、决策支持和跨部门协作提供了便利。

(5) 业务层,旨在构建高效、智能的业务处理框架,包括数据集成平台、场景应用平台和后台管理平台 3 大核心平台。数据据集成平台作为业务层的基石,负责数据的采集、清洗、存储和管理,确保数据的准确性和实时性,平台汇聚了来自矿山各系统的数据,包括但不限于三维地质体信息、开采数据、环境监测数据等,形成统一的数据资源池,为后续的数据分析和业务应用提供支持。场景应用平台聚焦于业务场景的智能化应用,该平台集成了越界开采预警、全方位视频监控、粉尘实时监测、人员车辆实时定位跟踪等多个子系统。后台管理平台负责系统的配置、运维和安全管理,管理人员可以通过此平台进行数据权限设置、系统状态监控、日志审计等操作,确保系统的稳定运行和数据安全。

(6) 用户层,旨在为矿企负责人、政府职能部门管理者等提供精准、高效的服务。

2 系统涉及的关键技术

2.1 矿山实景三维建模与渲染技术

矿山三维地质孪生模型是实现矿山数字化、自动化和智能化管理的重要基础。运用实景三维建模、数字孪生等技术,构建出矿山立体、真实的三维空间信息,实现矿产资源的整体展示,推动了矿山管理从传统二维平面向三维空间的升级。具体包括以下两部分。

(1) 地上地下一体化建模[14]。地表模型采用无人机倾斜摄影技术[15]从不同的角度拍摄矿山的高清晰度图片,通过实景三维建模技术得到高精度的三维模型,从而实现矿山实景的三维再现。地质模型则以地形地貌、地质矿产、探矿工程等静态要素为基础,依据地质勘查报告、矿山储量年报等资料反映的关键地质要素,结合开发利用方案和开采现状进行模型构建,具体分为初始模型、动态储量模型和终了模型。

(2) 地质孪生模型的融合渲染[16]。以 Cesium 作为开发平台,WebGL 作为 3D 渲染引擎的系统能够高效处理和渲染三维数据,实现实时、交互式的三维可视化。其中 WebGL 是一种基于 JavaScript 的 3D 图形 API,它能够在 Web 浏览器中直接渲染复杂的三维场景,无需任何插件。Cesium 提供了丰富的 API 和开发工具,允许开发者添加自定义功能,如动画、交互和实时数据流,使矿山三维地质孪生模型成为一个立体的、可交互的数字孪生基底。

2.2 物联感知与数据时空关联融合技术

物联感知技术在矿山数字化中的应用,是推动矿业智能化、安全化和高效化的重要力量。通过部署各种物联网传感器和设备[17],可以实时采集和监测矿山环境、设备状态和人员安全等关键数据,从而实现矿山运营的全面感知和智能管理。将物联感知设备分为人员感知、设备感知[18]和环境感知,具体实现方式如下。

(1) 人员感知。通过“安全帽+定位模块”或“工牌+定位模块”等便携组合,实时追踪矿山人员的位置,实现矿山人员的精细化管理与安全监控。

(2) 环境感知。通过粉尘环境监测仪、边坡监测仪等传感器,实时监测矿山范围内的 $PM_{2.5}$、PM_{10}、噪声、雨量、位移等环境指标,及时预警潜在的危险,提升矿山安全水平。

(3) 设备感知。通过定位模块、行车记录仪等传感器,实时监控矿山设备的运行状态,实现设备状态的智能诊断以及调度策略的优化。

物联感知技术的应用使矿山数字化建设不再局限于数据的收集,而是实现了数据的智能分析和决策,其中时空关联与融合技术将在定位设备、粉尘监

测设备、边坡监测设备、地磅传感器等多个异构传感器收集的数据中提取时空信息,然后将这些信息整合到一个统一的时空框架中,以提供更全面、更准确的数据分析和决策支持。主要包括以下过程。

(1) 数据预处理。对传感器收集到的原始数据(包括位置信息、粉尘 $PM_{2.5}$、PM_{10} 浓度、温度、湿度等)进行数据预处理,包括数据清洗、格式转换和时间同步,确保数据的质量和一致性。

(2) 坐标统一。由于不同传感器可能位于不同的地理位置,采集时间也可能不同,因此需要进行时空对齐,将来自不同传感器的数据映射到统一时空的 World Geodetic System-1984 (WGS-84) 坐标系中。

(3) 时空融合分析。对统一的时空坐标系的数据集进行时空分析、趋势预测和异常预警,为决策提供支持。例如,系统通过监测环境参数的时空分布与趋势预测,实现粉尘超标、边坡位移等预警功能。

2.3 智能视频分析技术

智能视频分析技术[19-20]为矿山的安全管理和效率提升提供了新的解决方案。它能够从大量的视频数据中自动抽取出行为特征,通过机器学习模型进行模式识别和预测,从而实现自动辨识安全帽佩戴、人员跌倒、驾驶员疲劳驾驶、接打手持电话等行为。

本研究基于海康威视 NVR 超脑和高清车载摄像机智能终端,针对矿山场景开展应用研究,这些设备内置智能模块与深度学习算法,支持视频流的本地实时分析,无需依赖云端处理。

3 系统的核心模块设计

3.1 越界开采判断模块设计

基于采矿许可证载明的坐标范围建立矿区电子围栏,通过北斗导航定位模块实时获取矿山开采设备的精确位置信息,并利用越界开采计算模型进行实时预警。但在矿山实际应用中发现原有边界设置不合理,导致误判频发,现对越界开采判断逻辑进行如下改进。

(1) 建立合理越界判断范围。利用测绘地理信息技术,将采矿许可证载明的坐标范围作为开采边界,并向外扩展 200 m 缓冲带形成最大越界判断边界,开采边界与最大越界判断边界之间形成的环状区域即为最大越界判断范围(如图 2 中的紫色区域,颜色标识见电子版),通过设定最大越界判断范围,可有效避免因车辆非作业性越界、程序性越界而触发预警,例如:车辆年度检查,车辆需短暂驶出开采区域等。

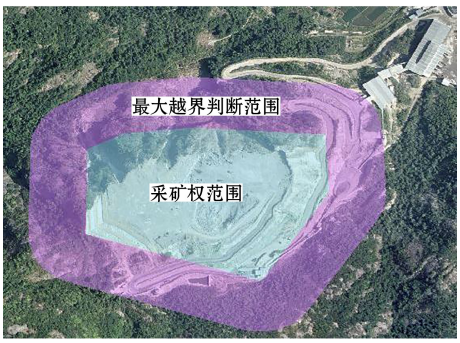


图 2 越界判断范围示意

Fig.2 Schematic of cross-border judgment range

(2) 剔除必要性作业区域,得到优化后最大越界判断范围(如图 3 中的紫色区域,颜色标识见电子版)。即使在越界判断范围内,仍有车辆因合规性或必要性越界而触发的预警,例如车辆在矿区运输道路上而触发的越界预警。对此可以剔除运输道路、生活区等范围来进一步优化越界判断范围。

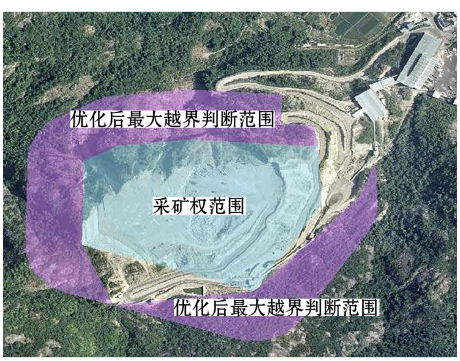


图 3 优化后的越界判断范围示意

Fig.3 Schematic of optimized cross-border judgment range

3.2 事件预警及闭环处理机制

为系统解决矿山安全“防范、监测、发现、核查”全周期技术管理难题,通过研发越界开采预警、全方位视频监控、粉尘实时监测系统实现智能巡检、事件预警、多样化报警及自动派单等功能,显著提升矿山安全监管的智能化水平和处置效率。

同时,对每一类预警进行分级分类,可有助于构建更加智能、高效和安全的预警管理体系,提升事件预警系统的合理性和有效性。

(1) 越界开采分级预警规则。基于北斗导航定位模块实时采集的高精度定位数据,通过越界开采

分析模型实现分级预警。当采矿车辆或设备明显超出开采区域,且持续时间较长时(超过 60 min),系统立即触发一级预警(严重越界),这类预警需要立即响应,停止越界作业,进行核查并采取纠正措施。当车辆或设备临近边界 5 m 范围,但仍在限制开采范围内时,触发二级预警(轻微越界),这类预警主要用于提醒操作人员提高注意,避免潜在的越界风险。

(2) 环境粉尘监测的分级预警规则。根据矿山粉尘浓度达标比值法(计算公式见式(1))以及阈值设定危害程度分级,详见表 1。算法思路为:对每小时统计的矿区粉尘浓度进行综合计算,当达标比值 K 在 1~4 mg/m^3 范围内时,触发超标预警,此时相关人员需立即检查原因,评估是否需要调整作业模式,并加强现场的防尘措施;当达标比值 K 大于 4 mg/m^3 时,则触发严重超标预警,此时需停止相关作业,启动应急响应程序,增加喷雾除尘措施,部署紧急净化设备,保护现场作业人员安全。

$$K=c/n$$

式中:K 为矿山粉尘浓度达标比值,mg/m^3;c 为测尘点的粉尘浓度之和,mg/m^3;n 为测尘点数,单位为个。

表 1 达标比值 K 的危害程度判定

Table 1 Determination of the hazard degree of the standard ratio K

达标比值/(mg/m^3)	危害程度分级
$K\leqslant 1$	达标
$1<K\leqslant 4$	超标
$K>4$	严重超标

多样化的预警能力和闭环处理机制可有效预防和控制矿山生产过程中的安全风险,是矿山安全生产的重要保障。

(1) 现场声光预警机制。引入智能视频分析技术后,能实现自动辨识安全帽佩戴、人员跌倒、驾驶员疲劳驾驶、接打手持电话等行为并触发现场声光报警,对违规人员进行警示。

(2) 管理系统预警机制。针对矿山作业过程中出现的安全、环境问题,及时发现、记录和处理。当触发预警时,平台会自动记录预警信息,包括预警的类型、等级、时间、内容、详情和状态等,为后续的预警溯源及闭环处理提供依据。

(3) 短信预警机制。作为多样化预警的另外一个重要组成部分,能够确保预警信息的及时传达,尤其是在紧急情况下,能够迅速通知到相关管理人员,并快速做出响应。短信预警机制不仅提高了预警响应的效率,还通过动态调整短信接收人,确保预警信息能够精准传达给最相关的责任人,从而加速预警的处置流程。

4 矿山基础数字化管理系统的工程实践

在浙江温岭市某矿山企业开展工程实践(详见图 4)。基于因矿制宜、充分利旧的原则,结合矿山的实际需求和已有设备,运用矿山实景三维建模与渲染、物联感知与数据时空关联融合、智能视频分析等技术,构建了矿山基础数字化管理系统,有效满足了矿企生产要素数字化、应用场景可视化、管理决策智能化的基础数字化矿山建设要求。



图 4 系统的工程实例

Fig.4 Engineering example of the system

实践得出,通过对矿山三维地质孪生模型的构建,实现了矿产资源的整体展示,推动了矿山管理从传统二维平面向三维空间的升级。建立的越界开采预警系统可对挖掘机、铲车等开采设备所在位置实现精准监控与研判,提高了矿山开采的透明度,有效防止了越界开采行为。通过部署全方位视频监控系统,结合智能视频分析算法,实现了采矿区违法、违规行为的自动识别和预警处理,提升了安全监管的智能化水平。通过粉尘、边坡实时监测系统可以实现对粉尘浓度、边坡位移的实时监测及趋势分析,有助于矿企及时了解矿山的环境情况,以便及时采取应对措施。而人员车辆实时定位跟踪系统的建立可有效实现人员和车辆的实时跟踪、安全管理、生产调度等,提高了生产效率。通过数据集成、场景应用和后台管理 3 大平台,不仅实现了生产数据、安全生产以及生态环保等领域的信息集中管理、历史抽取、多方共享,也为矿山的资源精细化管理提供了有力支持。

5 结论

本文提出的矿山基础数字化管理系统严格遵循浙江省基础数字化矿山"142"体系的建设要求,集成实景三维建模、数字孪生、物联网感知和人工智能等技术,重点研发了越界开采判断、事件预警及闭环处理机制等核心算法,构建了完善的矿山数字化管理解决方案。该系统目前已在浙江临海市、温岭市的多个中小型露天矿山成功部署,通过实时监控、智能预警、闭环处理的全流程管理机制,显著提升了矿山的安全生产水平和运营效率,为全国中小型矿山的数字化、智能化改造升级提供了借鉴。

参考文献(References):

[1] 郭冬艳,吴尚昆,杨繁,等.中国绿色矿山建设成效和政策建议[J].自然资源情报,2024(2):21-26.
GUO Dongyan, WU Shangkun, YANG Fan, et al. Effectiveness and policy suggestions for the construction of green mines in China[J]. Natural Resources Information, 2024(2):21-26.

[2] 张立.矿山数字化转型与智能化管理[J].世界有色金属,2023(12):232-234.
ZHANG Li. Digital transformation and intelligent management of mines[J]. World Nonferrous Metals, 2023(12):232-234.

[3] 刘庆斌,高杰,宋晓峰,等.露天绿色矿山数字化建设多维分析与思考[J].世界有色金属,2023(12):159-162.
LIU Qingbin, GAO Jie, SONG Xiaofeng, et al. Multi-dimensional analysis and thinking on digital construction of open-pit green mines[J]. World Nonferrous Metals, 2023(12):159-162.

[4] 袁亮,俞啸,丁恩杰,等.矿山物联网人-机-环状态感知关键技术研究[J].通信学报,2020,41(2):1-12.
YUAN Liang, YU Xiao, DING Enjie, et al. Research on key technologies of human-machine-environment states perception in mine internet of things[J]. Journal on Communications, 2020, 41(2):1-12.

[5] 郝跃.智能矿山大数据关键技术与发展研究[J].世界有色金属,2022(4):15-17.
HAO Yue. Research on key technology and development of big data in intelligent mine[J]. World Nonferrous Metals, 2022(4):15-17.

[6] 王鹏,胡而已,徐金陵,等.智能化矿山数据融合共享规范体系研究[J].中国煤炭,2022,48(6):19-27.
WANG Peng, HU Eryi, XU Jinling, et al. Research on data fusion and sharing standard system of intelligent mine[J]. China Coal, 2022, 48(6):19-27.

[7] 程远哲,孟祥随,彭兴华,等.浙江水泥智能化绿色矿山建设实践介绍[J].中国水泥,2023(9):40-48.
CHENG Yuanzhe, MENG Xiangsui, PENG Xinghua, et al. Introduction to the intelligent and green mining practices in Zhejiang's cement industry[J]. China Cement, 2023(9):40-48.

[8] 王琼杰.以"互联网+矿业"赋能[N].中国矿业报,2023-11-21(002).
WANG Qiongjie. Empowering with "Internet + Mining"[N]. China Mining News, 2023-11-21(002).

[9] 李风.绿色矿山的新风景:浙江省智能化绿色矿山建设纪略[J].浙江国土资源,2023(12):21-22.
LI Feng. A new landscape of green mining: a record of intelligent green mine construction in zhejiang province[J]. Zhejiang Land & Resources, 2023(12):21-22.

[10] 鲁丽,杨超超,唐雅梅.露天矿山数字化三维可视化监管平台技术应用研究[J].安徽地质,2024,34(2):182-185+192.
LU Li, YANG Chaochao, TANG Yamei. Digital 3D visualization supervision platform technology applied to open pit mining[J]. Geology of Anhui, 2024, 34(2):182-185+192.

[11] 陶洪明,魏星,张翼翔,等.矿山智能化监察平台研究和分析[J].采矿技术,2023,23(5):189-193.
TAO Hongming, WEI Xing, ZHANG Yixiang, et al. Research and analysis of the intelligent mine inspection platform[J]. Mining Technology, 2023, 23(5):189-193.

[12] 刘德利.矿山数字化信息服务平台的开发与应用[J].内蒙古煤炭经济,2022(12):166-168.
LIU Deli. Development and application of the digital information service platform for mines[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2022(12):166-168.

[13] 顾陈浩.基于GIS的矿产资源开发利用监管信息化平台建设研究[J].测绘与空间地理信息,2023,46(6):144-147.

GU Chenhao. Research on the construction of mineral resources exploitation and utilization supervision information platform based on GIS[J].Geomatics & Spatial Information Technology,2023,46(6):144-147.

[14] 太浩宇.多源数据融合的矿山地上地下三维实体模型构建方法研究[D].昆明:昆明理工大学,2023.
TAI Haoyu. Research on the construction method of above ground and underground 3D solid mine model based on multi source data fusion[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology,2023.

[15] 周建基.无人机遥感技术支持下的矿山地质精细化测绘方法研究[J].世界有色金属,2023(19):214-216.
ZHOU Jianji. Research on fine surveying and mapping method of mine geology supported by unmanned aerial vehicle remote sensing technology[J]. World Nonferrous Metals,2023(19):214-216.

[16] 王金娜,焦学军,宋会传,等.基于CESIUM的露天矿山实景三维智能监管技术研究[J].地理空间信息,2021,19(8):93-96.
WANG Jinna, JIAO Xuejun, SONG Huichuan, et al. Research on real-scene 3d jntelligent supervision technology of open-pit mines based on cesium [J]. Geospatial Information,2021,19(8):93-96.

[17] 陈公领.物联网的矿山装备数字化运维研究与应用分析[J].世界有色金属,2023(19):1-3.
CHEN Gongling. Research and application analysis on digital operation and maintenance of mining equipment based on the internet of things[J].World Nonferrous Metals,2023(19):1-3.

[18] KUMAR A T, MANGALPADY A, SATYAJEET P, et al. Integrated smart dust monitoring and prediction system for surface mine sites using iot and machine learning techniques [J].Scientific Reports,2024,14(1):7587.

[19] 杨洋.AI智能视频识别分析技术在智能化掘进的研究与应用[J].工矿自动化,2023,49(增刊1):26-28+46.
YANG Yang. Research and application of AI intelligent video recognition analysis technology in intelligent excavation[J].Journal of Mine Automation,2023,49(Suppl.1):26-28+46.

[20] 王晓光,梁皓越,赵忠山,等.露天矿山违章行为智能视频系统研究[J].采矿技术,2022,22(4):225-229.
WANG Xiaoguang, LIANG Haoyue, ZHAO Zhongshan, et al. research on the intelligent video system for violation detection in open-pit mines[J].Mining Technology,2022,22(4):225-229.