

# 露天矿“空天地”一体化智慧矿山技术框架体系构建研究

周 杨,梅家争,魏惠敏,罗 盼,余婷立  
(北京洛斯塔科技发展有限公司,北京市,100088)

**摘要** 针对当前露天矿智慧矿山中存在的系统规划难、系统智能难、系统协同难等问题和挑战,开展了露天矿“空天地”一体化智能矿山技术框架体系构建研究。通过对露天矿山“生产对象、生产工具、生产过程”三大要素的分析,基于“空天地”一体化技术理念,将空中的卫星遥感、无人机测绘,地面的传感器监测等技术进行有机融合,构建了“1+3+1”的技术平台体系,包括“一个数字化基础支撑平台”“三大业务管理平台”以及“一个矿山综合管理平台”的框架体系。研究提出了露天矿“空天地”一体化智慧矿山技术框架、协同流程及关键技术,以为露天矿山的智能化建设提供理论支撑和实践指导。

**关键词** 露天矿;智慧矿山;一体化;技术框架

中图分类号:TD67 文献标识码:B  
文章编号:1008-0899(2025)12-0056-03

智慧露天矿山,即以矿山数据数字化、生产自动化、管理信息化为基础,结合新的传感器技术、网络通信技术、空间信息技术、人工智能技术等,实现矿山生产及管理的智能感知、辨识、记忆、分析计算、判断和决策、评估考核改进,达到整个矿山的无人化或少人化,实现矿山的绿色、安全、高效<sup>[1]</sup>。目前,随着科技的快速发展和工业化进程的加速,全球矿山智能化进入全面加速的新阶段。我国新质生产力的发展,正在开启矿山生产安全、高效、智能化的发展新潮流<sup>[2]</sup>。因此,对露天矿“空天地”一体化智慧矿山技术框架体系构建进行研究具有重要的意义。

## 1 露天矿“空天地”一体化智慧矿山技术框架体系构建

针对目前露天矿智能矿山存在的问题和挑战,本文提出了一种“空天地”一体化技术框架体系构建。如图1所示,该框架面向底层基础平台支撑,创新性地基于数字空间底座,从生产对象着手,对生产过程全链条进行数字化和智能化构建。通过“空

天地”(天基:卫星遥感;空基:无人机遥感;地基:地面传感器等)一体化工作模式,从不同层级、不同尺度、不同方式,对矿区“人(目标定位)、机(生产装备)、环(环境监测)”开展有效监测及数据采集,实现矿山环境的全面感知,并通过智能矿山综合管理平台<sup>[3]</sup>,对各类数据进行汇总和大数据分析,提高矿山作业的敏捷性和连续性,降低协同管理难度,将生产工具端的无人化装备与生产过程端的计划和工程管理进行融合,提升矿山开采和管控的数字化、智能化水平。

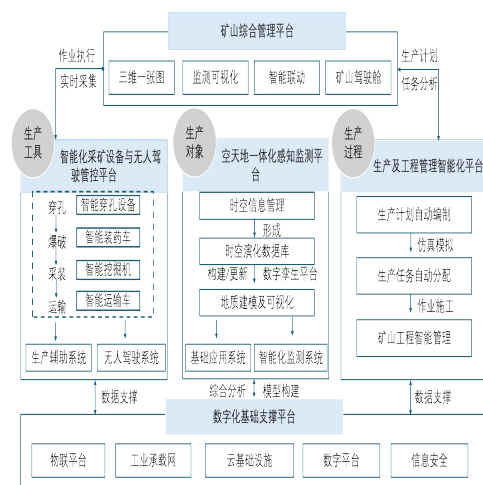


图1 露天矿“空天地”一体化智慧矿山技术架构

## 2 露天矿“空天地”一体化智慧矿山技术平台体系

### 2.1 数字化基础支撑平台

矿山数字化基础支撑平台即矿山工业互联网

作者简介:周杨(1986~),男,湖北咸宁人,硕士,高级工程师,研究方向:电气工程。

平台,是矿山实现智能化、自动化、高效化生产的重要支撑,它涵盖了物联感知、工业承载网络、云基础设施、数字平台、安全防护等多个方面。露天矿数字化基础支撑平台架构如图2所示,该架构通过集成物联网、大数据、云计算、人工智能等先进技术,统一架构、统一标准、统一数据规范,将ICT技术与矿山业务流深度融合,实现对矿山信息的感知汇聚、数据融合共享、资源优化配置与价值发掘。



图2 露天矿数字化基础支撑平台架构

## 2.2 矿山生产三要素智能化管理平台

矿山生产是一个复杂系统,涵盖生产过程、生产对象和生产工具三个核心要素。这三个要素相互关联,共同决定了矿山的生产效率、安全性和可持续发展能力。生产对象决定了矿山开采的价值所在,影响矿山的经济效益;生产工具则是实现高效、安全开采的关键,决定了矿山的技术水平和自动化程度;生产过程则是连接对象和工具的桥梁,通过优化生产流程,可以最大化地发挥矿山的潜力。露天矿智能矿山建设就是需要围绕这三个核心要素,结合矿山实际情况,利用数字化、智能化技术,进行综合分析优化,全面提升露天矿的生产效率和管理水平。

### 2.2.1 生产对象端:空天地一体化感知监测体系

露天矿山生产对象主要是矿山开采的目标资源,包括矿产资源和所属的地质环境。矿产资源的分布、储量、品质等直接影响着矿山的生产效益;地质环境的稳定性则关系到矿山的安全生产。当前,矿山生产对象智能化的核心挑战来源于多方面:一是矿山岩层结构复杂多变,地质灾害频发,环境参数众多,使得传统的单一测绘监测手段难以满足对矿山复杂地质环境及资源评估的精确需求;二是地

质环境参数的变迁往往呈现出由量变到质变的不确定性特征,加之地质灾害与生态环境变化的交互影响,表现出复杂的耦合关系。鉴于此,实现对矿山地质环境多要素的综合协同监测与智能感知,成为当前亟待克服的技术难题。

露天矿空天地一体化感知体系通过卫星、无人机、地质数据等构建数字孪生体,通过数字空间分析,为矿山全过程管理提供基于“卫星+无人机+地质测量”的空天地一体化感知监测体系。空天地一体化感知体系应用于天基系统、空基系统和地基系统,从高空、中低空、地面三个维度构建监控网络,实现对矿区地质环境的全方位、全天候监测。

### 2.2.2 生产工具端:智能化采矿设备与无人驾驶系统

露天矿开采工艺主要包括穿孔、爆破、采装和运输四个主要环节。这些环节相互衔接,共同构成了露天矿开采的完整流程。围绕着这四大开采工艺环节,其生产工具包括钻机、装药车、挖掘机、矿用卡车等设备<sup>[4]</sup>。随着科技的飞速发展,智能化、自动化技术在露天矿智能开采装备的研发与应用取得了显著进展,为矿业行业的转型升级提供了有力支撑。这些设备的性能和智能化水平直接决定了矿山的生产效率和成本。

矿山无人驾驶系统是一项集成了多项先进技术的综合系统,融合了IT、汽车、采矿等技术,通过自动化和智能化的手段,实现矿区运输的无人化操作,旨在提升矿山作业的安全性、效率和可持续性。露天矿作业场景由于其作业空间开阔, GPS信号全覆盖,定位可靠性高,其运输线路固定且速度较低,作业场景单一,交通状况简单等特点,适合于开展无人驾驶技术的应用。矿山无人驾驶系统架构呈现“3+1”的特征,云端、网端、车端/路端三大模块构成核心系统,通过先进的信息技术和智能化设备相互连接,实现矿山的智能化、无人化作业。同时,各模块通过完善的安全保障体系,确保系统运行的安全性和可靠性。

### 2.2.3 生产过程端:生产作业全流程数字化管控

露天矿山生产过程作为连接生产对象与生产工具的关键纽带,其数字化和智能化水平决定着整个智能矿山系统的数字化水平,以及是否能够达成全链条数字化的效率。

### (1) 生产计划的一体化自动编制

生产计划生成:根据地质模型和矿石储量信息,利用三维采矿设计软件进行三维矿山设计和规划,包括开采方案、巷道布局、采场设计等,快速生成生产计划。

生产计划自动优化:结合矿山资源储量、生产能力和市场需求等要素,实现生产计划的仿真模拟、动态调整,实现不同设计方案和工艺流程的模拟比较,辅助优化实时监控和设计方案,提高工程进度质量的核算和反馈频次。

### (2) 生产作业任务的标准化和自动分派

车辆智能调度:利用矿山智能化综合管控系统,实现作业任务的自动分派和调度,并下发至工程队伍的车辆和班组,优化资源配置,减少人为错误和时间浪费,提高任务调整和变动的柔性能力。

数字化作业管理:利用数字化系统,将明确生产作业的任务指标和标准,包括工作量、时间要求、质量指标等指标进行记录和监控。根据生产任务的类型、需求和优先级等信息,将任务自动分配给合适的设备或人员进行作业。系统将实时监控生产作业任务的进度和执行情况,及时发现问题并进行调整 and 跟踪。

### (3) 工程进度和质量安全管理

矿山工程管理:实现对工程的调度管理、远程遥控,并监控各生产环节的实时状态及人员情况。同时,借助平台的智能决策和设备及人员智能终端系统,辅助现场作业人员进行精准判断和有效决策,促进了矿山工程管理的一体化进程。

矿山质量管理:通过高效计量验收对工程质量进行监控和评估,以确保产品质量符合标准要求。对生产过程中的各项成本进行监控和分析,实现成本的精细管理和控制。对整个生产过程中积累的大量数据进行大数据分析和建模,深入挖掘生产数据,为提质增效等管理决策提供更为精准的信息支持。

## 2.3 露天矿智慧矿山综合管理平台

露天矿智慧矿山综合管理平台以“三维场景,海量数据,多维应用,协同分析”为特色路线,结合现场智能感知技术、实时数据采集技术、大数据分析技术等,将先进的物联网技术与现代管理流程相结合,以可视化手段提升矿山在人员配置、智能监控、安全生产、产销存协同等方面的综合决策能力。

以矿山资源与开采环境三维可视化和虚拟环境为平台,以矿山生产和安全监测数据及空间数据库为基础,利用三维GIS、虚拟现实等技术手段,将矿山矿床地质、运输道路、设备等开采环境对象以及生产过程进行三维数字化建模,实现对矿山生产环境、生产状况、安全监测、人员状态的实时三维展示,形成三维可视化的综合管理平台。

## 3 结语

本文围绕露天矿生产过程、生产对象和生产工具三个核心要素,构建了“空天地”一体化智能矿山技术框架,为露天矿智慧矿山的建设提供了新的思路和方法,具有广阔的应用前景和发展空间。通过融合卫星遥感、无人机监测、地面物联网等先进技术,实现了对露天矿区地质环境的全方位监测和智能化管理,提升了露天矿的安全生产水平、资源利用效率及环境保护能力。未来,随着技术的不断进步和应用的深入推广,智能矿山将成为矿业企业转型升级的重要方向。

## 参考文献

- [1] 孙健东,张瑞新,白润才,等.智能化露天矿的核心概念与建设战略[J].中国矿业大学学报,2024(1):23-33.
- [2] 张瑞新,毛善君,赵红泽,等.智慧露天矿山建设基本框架及体系设计[J].煤炭科学技术,2019(10):1-23.
- [3] 袁广忠,徐长友,平彦军,等.国家电投集团内蒙古能源有限公司智能化建设探索与实践[J].中国煤炭,2021(S1):45-49.
- [4] 曲福明,王怀远,柳小波,等.露天矿全流程智能开采架构与关键技术研究[J].金属矿山,2024(05):134-143.