

工业互联网在矿山自动化中的应用研究

李宝文

青海山金矿业有限公司, 青海 海西州 816101

[摘要] 矿山自动化是矿业高质量发展的核心路径, 工业互联网为其提供了系统性的技术架构与赋能方案。当前矿山智能化建设进入规模化落地阶段, 但仍面临数据孤岛突出、设备互联程度低、安全风险管控难等挑战。系统梳理工业互联网与矿山自动化的融合发展态势, 从网络通信、数据感知与智能分析两个维度剖析关键技术基础, 进而从智能采掘协同、全过程监测调度、安全风险预警及设备预测性维护四方面阐述典型应用场景。针对转型痛点, 提出完善基础设施、推进数据融合共享、强化安全防护及构建持续创新机制等发展策略, 为工业互联网在矿山自动化领域的深化应用提供参考。

[关键词] 工业互联网; 矿山自动化; 智能开采

DOI: 10.33142/ec.v9i7.20045

中图分类号: TD67

文献标识码: A

Research on the Application of Industrial Internet in Mine Automation

LI Baowen

Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Haixi Prefecture, Qinghai, 816101, China

Abstract: Mine automation is the core path of high-quality development of mining industry, and industrial Internet provides a systematic technical framework and enabling scheme for it. The current intelligent construction of mines has entered the stage of large-scale implementation, but still faces challenges such as prominent data silos, low degree of equipment interconnection, and difficult safety risk control. Systematically sort out the integration and development trend of industrial Internet and mine automation, analyze the key technical foundation from two dimensions of network communication, data awareness and intelligent analysis, and then elaborate typical application scenarios from four aspects of intelligent mining collaboration, whole process monitoring and scheduling, safety risk early warning and equipment predictive maintenance. In view of the transformation pain points, the development strategies such as improving infrastructure, promoting data fusion and sharing, strengthening security protection and building a sustainable innovation mechanism are proposed to provide reference for the deepening application of industrial Internet in the field of mine automation.

Keywords: industrial Internet; mining automation; intelligent mining

引言

矿产资源是国民经济发展的基本保证, 矿山行业一直存在着安全生产压力大、生产效率低、作业环境差等问题。近些年来, 以 5G、人工智能、大数据、物联网等为代表的新一代信息技术快速渗入到矿业当中, 促使矿山生产方式由机械化、自动化朝着智能化转变。工业互联网是新一代信息通信技术同工业经济深度融合发展而形成的新型基础设施, 给矿山自动化赋予了数据驱动、平台赋能的系统性解决办法。从开采设备的互联互通到全环节智能化控制, 从安全保障预警到设备的预见性维修, 工业互联网正在重新塑造矿山生产全过程各个部分。但是矿山智能化建设还存在着发展不平衡、数据孤岛严重、核心技术缺失等

难题, 需要从理论架构和应用实践两方面展开系统的探究。围绕工业互联网在矿山自动化中技术基础和典型应用展开分析, 提出相应的开发策略, 给矿山行业的智能化转型提供一定的参考。

1 工业互联网与矿山自动化技术概述

工业互联网是互联网、物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术同工业系统深度融合形成的产物, 其本质就是创建起网络、平台、安全这三个体系, 进而达成人、机、物的全方位互联以及数据的顺畅流通。工业互联网把传统的人-机交互监控模式变成传感、机器认知、机器决策的智能化监控模式, 利用物联网、工业互联网、人工智能、大数据挖掘等技术, 给矿山设备运行健康状态的实时

感知提供技术支持。

矿山自动化是从单机自动化发展为系统自动化,再到智能化的过程。早期矿山自动化是以设备级控制为主,主要目的是提高单台设备的工作效率;后来发展到子系统的自动化,例如运输系统自动化、通风系统自动化等等;目前正处在以工业互联网为基础的智能化阶段,强调全要素、全流程、全价值链的互联互通和协同优化。矿山生产机电设备是机械、电气、液压、控制等多种形式系统复杂的耦合结构,在工作过程中环境和工况条件千变万化,对自动化系统可靠性和实时性、智能化的要求非常高。工业互联网依靠泛在连接、数据融合、智能分析这些特点,成了破解矿山自动化深层次难题的重要技术途径。

2 工业互联网在矿山自动化中的关键技术基础

2.1 工业互联网网络架构与通信技术

矿山环境的特殊性给通信网络提出了很高的要求。煤矿井下星网是集通信、定位、导航、授时、计算为一体的开放式基础信息设施,用星-网-端三维融合架构给矿山人、机、物的精确定位、通信联络、装备协同作业提供一站式解决方案。5G 是矿山工业互联网的重要推动因素,利用云、边、端三者协同的架构,用井下防爆基站、可移动基站和 Mesh 自组网来克服复杂的环境信号覆盖问题^[1]。从系统架构上来说,5G 同工业互联网融合形成了 3 层 2 网 1 安全的顶层设计,边缘和设备层完成数据采集与边缘计算,企业层和产业层依靠云平台达成数据协同共享。工业以太网、SPN、TSN 等技术的加入,又形成了万兆级工业承载网、4G/5G/WiFi/UWB 融合无线全域网、末端广域网三层网络结构来满足各种接入方式的需求。

5G 适合远程控制这类低时延的场景,工业以太网做为骨干网络保证主干链路的可靠性,WiFi 6 可以满足一般的采集数据需求,UWB 主要用在高精度定位上,Mesh 自组网可以应对无覆盖区域的应急通信。多种技术共同构

建起多层次的矿山工业互联网网络体系。

2.2 数据感知、边缘计算与智能分析技术

矿山设备状态感知系统架构分为多源信息感知层、边缘智能层、大数据分析层、数据与知识共享迁移层四个层次,分别完成数据采集、预处理、深度挖掘和跨场景复用^[2]。边缘计算给矿山带来独特的价值,以 5G 有轨机车项目为例,将机车上安装的边缘计算网关用来完成轨道定位、障碍物识别等实时任务,将数据处理时延由原来云端传输中的 50ms 缩短到 8ms 左右,大部分的异常数据会传送到云端,只有 90%以上无效的数据才会被传送出去。数字孪生技术用机理模型、控制模型、孪生数据模型等构成的驱动控制架构来保证虚实交互的能力,对物理体进行运维决策。

3 工业互联网在矿山自动化中的典型应用

3.1 智能采掘装备互联与协同控制

智能采掘属于矿山自动化的重要组成部分。根据数字孪生智采工作面驱动控制架构,用数字化手段建立与实体设备对应的虚拟模型,使综采设备在作业时虚实交互、智能决策、精准控制、动态演化的过程得以实现^[3]。智采工作面数字孪生驱动的三机协同控制方法包含采煤机、液压支架、刮板输送机三者的关联关系,智能采煤控制、智能支护控制、智能运输控制,实现三机设备在作业过程中的联动、智能决策、精准控制。在掘进环节,智能掘进使用了 5G+悬臂式掘进机远程控制系统,给液压支架电液控制系统、采煤机远程操作系统提供稳定的传输通道,实现了采煤工作面少人化作业。神东保德煤矿无人化矿井示范项目采取兵团作战研发方式,研发出自动截割、梭车远程辅助驾驶、掘支锚运协同控制的智能掘进工艺,创建起智能协同、远程干预的快速掘进模式,而且创建起基于透明地质和煤矸识别技术的智能放顶煤工作面,完成智能采放、协同集控、远程干预。

表 1 矿山工业互联网主要通信技术对比

技术类型	传输速率	传输距离	时延	主要应用场景
5G	峰值 10 Gbit/s	100~300m (井下)	<10ms	远程操控、无人驾驶、高清视频回传
工业以太网	10/100/1000Mbit/s	100m (电口)/40km (光口)	<1ms	井下主干网络、固定设备互联
WiFi6	峰值 9.6Gbit/s	50~100m	10~20ms	移动终端接入、传感器数据采集
UWB	最高 6.8Mbit/s	30~50m	微秒级	高精度人员/设备定位 (厘米级)
Mesh 自组网	视协议而定	多跳扩展,单跳 100~300m	视跳数累加	应急通信、临时组网

3.2 矿山生产全过程智能监测与调度

工业互联网平台利用标准的接口和协议使不同厂家的设备可以互联互通,从而有效地解决了传统矿山信息孤岛的问题。鄂尔多斯工业互联网平台依靠华为云盘古矿山大模型,创建起中心训练、边缘推理、云边协同、边用边学、持续改善的训练体系,整理出包含综采、掘进、机电、运输、通风等 13 个关键环节的 200 多个 AI 业务场景。智能管控一体化平台把各个自动化子系统的数据融合起来,用数据挖掘建立矿石品位预测模型,在虚拟空间里对开采、运输、选矿的全流程进行模拟,采用优化爆破参数、优化运输路线等方式大大提高了矿石回收率。全时空多源异构信息实时感知,全流程人-机-环-管数字互联高效协同运转,使主要生产系统完成远程智能化控制,设备操作从井下转到地面,煤矿从高危生产转向本质安全。

3.3 矿山安全风险智能预警与应急管理

安全生产是矿山管理的第一要务。工业互联网给安全风险管控赋予了由被动应对转为主动预警的技术可能性。采用 AI 视频分析技术,对人员的违规操作进行实时识别,预警准确率可以达到 95%以上,实现生产与安全的全过程智能化管理。矿山多灾害融合预警平台实现生产集中控制与安全集中监测的融合,为全矿井工业互联及智能化应用筑牢安全基础。

在具体运用中,以矿山大模型为基础的智能化应用提高了安全监管效率。矿山大模型赋能之后,危险区域人员入侵检测、水仓入口人员入侵检测、劳动保护用品穿戴规范性监测、人员摔倒识别等场景的算法识别精度和召回率分别提升了 15%以上。系统使用矿端已有的摄像头就可以实现无死角监控,并且可以和集控系统智能联动,部署周期大大缩短,并且可以通过边用边学的方式不断进化。井下星网技术的应用又给应急救援场景赋予了准确的定位和通信保证,这是矿山人员、车辆、机器人等智能化无人化运行的信息基础。

3.4 矿山设备预测性维护与运维优化

矿山设备种类繁多、工况复杂、维修成本高,传统的事后维修、定期维修方式已经不能满足智能化生产的需要。基于工业互联网的设备预测性维护将运维模式从坏了再修升级为预测性维护,从人主导转向智能体主导、人监督。在技术实现方面,大模型技术把振动、油液、电流谱等各方面的诊断技术融合起来,创建起煤机设备垂域大模型和专业 AI 助手互相配合的智能体协同网络。当设备产生异常数据的时候,智能体就被激活了——回溯历史数据寻找根本原因,查阅知识库同十万份维修记载比较,自主产出

诊断报告及维修工单,依靠多源异构数据融合分析达成智能决定,预警精确度达到 95%。采用数字孪生技术,根据数字模型对设备性能变化做出准确的判断,从而给出预防性检修计划的依据。该方案已经在中国中煤、中国煤炭科工、国家能源等 40 多家行业的龙头企业中使用,把集团总部、技术服务公司、煤机厂以及下属煤矿的设备数据和运维知识串联成智慧网络,形成起跨层级协同的运维新体系。

4 工业互联网赋能矿山自动化的发展策略

4.1 完善矿山工业互联网基础设施建设

基础设施属于工业互联网赋能矿山自动化所必需的条件。目前我国井工矿根据基础设施情况可以分为三类,基础设施较好的大型矿具有快速推进智能化改造的条件,基础设施相对薄弱的中小型矿由于资金和技术的限制而难以转型,偏远山区矿山受地理环境的限制,通信网络覆盖不到,成为智能化升级的难点。根据不同的情况,应因地制宜地推进网络基础设施建设。对大型矿井实行 5G 专网部署和工业以太网更新,创建万兆级承载网络,对中小型矿井依靠区域级工业互联网平台达成集约化建造,防止重复投资,对偏远矿山先行处理基本通信覆盖难题,慢慢推进网络改造。鄂尔多斯工业互联网平台采取统一标准、统一架构、统一数据规范的集约化创建模式,凭借行业中心云加厂矿边缘云的架构,给全域智能化转型赋予了高效低耗的共同根基。

4.2 推进数据资源融合共享与平台协同

数据孤岛是制约矿山智能化深入发展的主要瓶颈,应该创建起包含数据治理、AI 加持、智能设备协同的系统架构,冲破子系统间的壁垒,达成全流程的数据闭环。工业互联网平台依靠数据中台把诸多来源的数据整合起来,用工业协议解析和边缘智能计算来完成实时处理。推进数据融合共享要创建统一的数据标准和接口规范,削减跨厂商兼容的成本,塑造平台化的生态运营体系,凭借应用商城给解决方案提供商赋予统一的推广途径。鄂尔多斯模式说明,平台化运作可以引来 AI 大模型服务商、矿鸿服务商等生态伙伴加入,塑造起平台加生态的协同发展态势。

4.3 加强工业互联网安全防护体系建设

随着矿山工业互联网连接规模扩大,网络安全风险同步上升。5G+工业互联网安全体系应覆盖网络、数据、应用全生命周期。区块链技术的加入可以给数据安全提供新的解决办法,区块链分布式账本和非对称加密技术能够保证交易信息不可篡改、可追溯。在设备运维管理中,区块链与物联网结合能够实现设备运行数据实时上传,当传感器采集到异常数据时系统自动触发预警且记录操作日志,

进一步避免人为篡改风险。建立矿山工业互联网安全管理制度,确定各方面的安全责任,定期开展安全风险评价和应急演练。从设备层面来讲,对井下终端设备进行安全加固、身份认证,防止非法接入;从网络层面来说,在线性光纤网络上安装安全监测与防护设备,对异常流量及时发现并加以阻止。

4.4 构建智能化矿山持续优化与创新机制

矿山智能化不是一次性的工程,是不断发展的过程。应当创建边用边学、不断改进的更新机制,用矿端传回的异常样本来加快模型的更新速度,保证人工智能的应用一直保持着进步的动力。从技术创新角度来说,要深入挖掘数字孪生、大模型、迁移学习等前沿技术在矿山场景中应用的研究,创建起机理模型、经验知识和数据深层次特征相融合的矿山设备状态诊断方式。就管理创新而言,要形成与智能化生产相适应的组织架构和人才培育体系,促使运维方式由人机互动转向智能体掌控,人对智能体加以监管。从政策上来说要健全煤矿智能化建设标准体系和评价机制,用示范项目带动、标杆引领的方式推进先进技术成果的规模化应用。

5 结语

工业互联网给矿山自动化赋予了从感知到决策、从单

机到系统、从被动响应到主动预警的全方位赋能,正在改变矿山生产组织方式和安全管理模式。伴随着 5G、人工智能大模型、数字孪生等技术的不断发展,矿山智能化建设也由原来的示范验证进入到规模化落地的新阶段,技术供给能力越来越成熟,应用场景也不断扩展。要正视目前矿山智能化发展不平衡、数据标准不统一、核心技术难突破等问题,依靠健全基础设施、推进数据融合、加强安全保障、创建创新机制等举措推动矿山行业由数字矿山向智慧矿山迈进,给矿业高质量发展提供持久的动力。

[参考文献]

- [1]范亦铭.基于物联网的矿山机械设备状态智能感知与诊断[J].世界有色金属,2024(20):32-34.
- [2]王宇,赵开功,张龙飞.基于工业互联网的煤矿智能管控一体化平台研究与应用[J].中国煤炭,2025,51(12):184-191.
- [3]文彬,韩志磊,马朝阳,等.工业互联网平台赋能智能矿山系统架构优化研究[J].有色金属(矿山部分),2026,78(3):34-40.

作者简介:李宝文(1998—),男,汉族,青海海东市人,学历本科,毕业于辽宁科技大学自动化专业,现从事机电技术员工作。