

# 智能化矿山建设中机电技术的发展趋势分析

郭超

(山西省工程职业技术学院, 山西 大同 037006)

**摘要** 随着煤矿生产方式由机械化向数字化、网络化、智能化不断推进,机电技术成了智能化矿山建设的关键支撑。本文以智能采掘、机电运输、状态感知、远程集控、安全保障等主要场景为依托,结合典型应用实践,对智能化矿山建设过程中机电技术的现实应用及未来发展方向进行系统的整理。结果表明,机电技术正在促使矿山生产组织由单机自动化向系统协同化转变,由人工经验控制向数据驱动决策转变,由故障后检修向全过程预警处置转变,在减员增效、节能降耗、安全稳产等各方面具有明显的优势。未来相关技术会向着自主协同、柔性联动、精准感知、少人值守、主动防控的方向不断深入,给矿山安全高效运行提供更好的支持。

**关键词** 智能化矿山; 机电技术; 协同控制; 远程集控; 安全防护

中图分类号: TD63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.17.008

## 0 引言

随着矿山开采强度不断增大,安全生产要求也越来越高,传统的机电系统已经不能满足高效协同、实时感知、智能决策的要求。5G、工业互联网、人工智能、物联网和边缘计算等技术不断渗入矿山的生产体系当中,使采掘、运输、监测、运维以及安全等各方面的作业方式发生了深刻的改变<sup>[1]</sup>。机电技术已经由原来的单一设备运行保障变成一种联系装备、数据、控制和管理纽带的纽带。基于此,本文根据智能化矿山建设的实际需要,对机电技术的典型应用进行归纳,分析其发展趋势,为矿山机电系统优化升级提供参考。

## 1 智能化矿山建设中机电技术概述

智能化矿山建设中机电技术就是指把机械装备、电气控制、自动化系统和信息通信技术有机融合起来,为矿山采掘、运输、通风、排水、供电、安全等全过程服务的技术体系。其核心已经不再是保证设备的正常运转,而是依靠传感感知、数据采集、智能控制、远程通信以及协同决策,使设备运行状态可以实时知道、生产过程可以动态控制、关键环节的风险可以预警。伴随着5G、工业互联网、人工智能、边缘计算等技术的快速渗透到矿山中,机电技术也从以前的单机控制、局部自动化向系统集成、全流程智能协同转变,已经成为提高矿山安全水平、生产效率、精细化管理水平的基础性技术<sup>[2]</sup>。

## 2 智能化矿山建设中机电技术的应用

### 2.1 智能采掘协同应用

智能采掘协同系统利用5G+工业互联网技术,把采煤机、液压支架、刮板输送机等主要设备的运行数据以低时延网络的形式传送到地面控制中心,从而达到对开采参数进行毫秒级实时调节的目的。系统安装有AI视觉识别模块,可以对煤层厚度变化做实时监测,煤层厚度发生变化时,自动调节采煤机滚筒高度,保证工作面采高误差不超过±5厘米,回采率达到95%以上<sup>[3]</sup>。系统自带的协同作业算法可以依据液压支架的支护状况,自行调节刮板输送机的速度,防止出现过载停机的情况。在晋能控股集团塔山煤矿,该系统使用后把工作面生产班操作人员由原来的12人减少到3人,单班产量保持在1.2万吨,综合能耗降低18%。利用三维激光扫描和惯性导航技术对井下进行实时的地质建模,指导采煤机进行“记忆割煤”,一刀割煤量达到5500吨,原煤日产量超过3万吨。本项目改善巷道布置,减小煤柱损失50万吨以上,年节省掘进成本超过2600万元,达成安全、高效、效益三者兼顾的目的。

### 2.2 机电运输联动应用

机电运输联动体系就是对核心运输设备进行智能化改造,创建出高效输送、智能控制、安全预警的综合管理系统。该系统采用永磁同步电机和智能变频控制方式,可以达到精确控制的目的,不但可以解决重

作者简介: 郭超(1989-),男,本科,工程师,研究方向: 机电及矿山机电教学研究。

载启动难的问题,而且使运行能耗降低 12%,还可以延长设备的检修周期。系统所搭载的智能监控平台可以实时采集到 12 个主要的运行参数,在出现异常情况的时候能够发出预警并启动保护,多次成功地避免了故障的发生。在晋能控股赵庄煤业,西胶大巷皮带驱动系统升级改造后,皮带运行速度提高 39%,运煤能力提高 25%,可以满足多工作面同时推进时的集中运输需求。

### 2.3 设备状态感知应用

设备状态感知系统在关键位置设置高精度传感器,对振动、温度、电参数等各方面信号进行实时采集,利用智能算法建立故障预警模型和专家知识库,从而达到隐患早发现、早预警、快定位的目的。该系统把物联网、大数据、人工智能等先进技术融合起来,以精准建模为依托,在设备参数出现微小趋势性变化的时候,就能立即察觉、秒级诊断,准确找到问题所在并加以剖析,给出解决方案<sup>[4]</sup>。山西焦煤西山煤电马兰矿机电设备在线监测和故障诊断系统投入使用后,矿井设备非计划停机次数明显减少,检修时间缩短近一半,关键设备寿命明显提高。系统可以实时监测预警,并且可以自动生成周期性的诊断报告,从而形成一个监测、预警、处置、验收的全过程闭环管理。

### 2.4 远程集控运维应用

远程集控运维体系依靠创建云端管理平台同智能终端之间的协同网络,实现对全部矿产设备的集中监控和远程操控。该系统使用 5G 混合专网架构,把 UPF/MEC 边缘节点下沉到矿区,使数据本地卸载和低时延传输得以实现,传输延迟控制在 50 ms 之内,保证远程操作的实时性、稳定性。系统配备有多个模态的智能分析平台,可以对视觉、声音、文本等各种各样的数据实施跨模态融合分析,依靠自身研发的算法来对大量的数据展开精确识别和深入研判,算法的识别准确率不得低于 90%。在晋能控股装备制造集团供电分公司,智慧巡检和安全管控项目实施后,单座变电站运维人员从原来的 12 人减少到现在的 4 人,每年节约的人力成本约为 64 万元,并且实现了“7×24 小时无人值守巡检”。另外,晋控电力长治发电公司把门禁、监控系统与智慧电厂物联网平台高效地整合在一起,形成了一个 24 小时不间断的“多屏联机”生产现场全方位监控系统。

### 2.5 安全保障闭环应用

安全保障闭环体系创建起“实时监控—智能告警—闭环处置”的全流程管控体系,把安全管理由原来的“被动应对”转变为“主动预警”。该系统依靠 5G、AI 技

术禀赋,创建起多模态智能剖析平台,可以实现视觉、声音、文本等数据的跨模态融合剖析,借助自研算法对海量数据展开精准识别和深入研判,算法识别准确率不低于 90%。系统 24 小时不间断工作,可以很好地解决人工监管的不足,促使煤矿安全管理工作由“人防为主、技防为辅”转变为“智防为主、人防为辅”<sup>[5]</sup>。在吕梁市鑫岩煤矿上搭建起通用基础模型,把单一场景下的 AI 模型训练数据量由原来的 5 000 张减少到现在的 100 张左右,训练时间由原来的 1 周缩短到现在的 1 天。系统可以对皮带的运行情况进行实时监测,可以准确地发现各种隐患并发出预警,联动相关设备进行停机处理,既保证了运输的安全,又减轻了人工巡检的工作量。

## 3 智能化矿山建设中机电技术的发展趋势

### 3.1 采掘系统自主协同

随着智能化矿山的不断深入,采掘系统机电技术也从原来的“设备联动控制”向现在的“自主感知、自主决策、自主执行”一体化协同迈进。未来的发展重点已经从单台采煤机、液压支架或者输送设备之间参数的匹配,转向覆盖工作面装备群、地质模型、生产任务和环境状态的统一协同控制体系。机电系统要将惯性导航、激光扫描、煤岩识别、姿态反馈、负载变化等信息及时传送到控制中枢,根据实时计算出的工作面推进速度、割煤轨迹、支护顺序、运输接续能力等来生成最优作业指令。这样一来,采掘作业就逐渐脱离了对固定程序以及经验调整的依赖,形成了对煤层起伏、顶板变化、设备波动具有自适应能力的作业方式。从另一个角度看,采掘系统会向着“群控化”方向发展,即把单工作面的优化拓展到多工作面协同,用上位调度平台统筹回采、掘进、运输和通风约束关系,使机电设备不再只是完成局部作业,而是参与到整个矿井生产组织优化当中来。其实质趋势就是把采掘机电系统由自动化执行单元变成具有连续学习、动态协同能力的智能作业主体。

### 3.2 运输链路柔性协同

机电运输系统在实现集中控制、联动运行之后,未来发展趋向于突出“柔性协同”的特点,也就是运输链路可以按照产量波动、线路负荷、设备健康状况以及作业组织等变化而做出相应的调整。传统的运输控制重视稳定的输送和单线的效率,接下来更重视各个节点、各个设备、各个任务之间的动态耦合能力。胶带输送机、转载机、提升设备、轨道运输、辅助运输车辆等将逐步纳入统一调度体系,依靠分布式控制

器、数字孪生模型、边缘协同算法来识别堵煤、偏载、空载、冲击启动、局部瓶颈等问题并主动调节启停顺序、速度曲线、功率分配。该运输体系不是简单的运转，而是具有按需配置的能力，根据采掘推进节奏和井下物流任务的变化，可以对运输资源进行快速重组。尤其在多工作面并行、峰谷负荷交替明显的矿井里，运输链路会越来越像一个可以调度、可以分流、可以自平衡的机电网络。其后续发展会和能源管理相结合，在保证运力的同时考虑峰值削减和能耗优化，把运输系统从单纯的生产配套环节变成具有效率调节、负荷协调、成本控制功能的智能支撑链。

### 3.3 感知监测精准融合

设备状态监测已经由原来的在线采集向在线诊断转变，未来更深层次的发展方向就是感知监测的精准融合，也就是把分散的参数监测整合成多源信息耦合的全景认知系统。单一温度、振动或者电流数据只能反映出局部异常的征兆，下一阶段机电监测会更加重视跨设备、跨系统、跨场景的数据联合解析，把视觉图像、声纹信号、电气波形、液压参数、工况记录和维修履历统一纳入分析框架，建立与设备寿命、负载规律、故障机理相对应的高精度识别模型。由此形成的监测体系，并不是简单的找出有无问题，而是可以判定出问题从何而来、将往何处发展、何时需要干预。伴随随机电装备数量不断增多，感知系统也会由点状布置变成网络化覆盖，利用边缘感知节点和云端模型的协同工作来达到井上井下、动设备和静设备、主系统和辅助系统之间的信息互通。进一步的方向就是将监测结果直接作为生产决策、检修决策的输入，让感知系统由技术的附属模块变为矿山运行调度的重要输入源。

### 3.4 集控运维少人值守

远程集控能大大减少现场值守岗位，但是其发展并不仅仅是简单的人员数量减少，而是一种由“远程取代人工操作”向“系统主导、人工决策兜底”少人值守新形态的转变。机电运维体系将依靠云边协同平台，把供电、排水、压风、提升、运输、通风和附属设施纳入同一个集控逻辑里，在同一个界面上实现状态总览、异常研判、工单生成、策略下发和处置反馈的闭环贯通。伴随着智能识别和规则引擎的不断发展，很多以前依靠人工巡检、人工确认、人工记录来完成的运维工作，将会逐渐被系统所代替，即异常筛选、优先级排序、检修窗口建议、操作风险校核等。少人值守的趋势就是重新塑造岗位的功能，把现场人员由常规的盯守者变为复杂的处理者，把地面调度人员由

设备的监看者变为系统的优化者。这就对机电技术提出了更高的要求，即控制系统要具有更强的稳定性、容错性以及可追溯性，在网络波动、局部故障或者极端工况下仍然可以保持基本运行。

### 3.5 安全防控主动演进

安全保障闭环应用日渐完善之后，机电技术的发展重点就会转移到更加前瞻的主动防控体系上，即把安全管理从事件响应型控制转变为风险孕育期干预。未来安全防控不再只是对违章行为、设备异常或者局部隐患进行识别告警，而是在人员行为、设备运行、环境参数、工艺状态和历史事故数据的基础上建立可以识别风险演化链条的主动防控模型。机电系统所起的作用也由原来执行保护命令转变为参与风险推演、预控决策。运输负荷异常、设备振动变化、巷道环境波动、人员活动轨迹有相关性的时候，系统可以提前判定出潜在的风险等级，并且会自动执行限速、降载、隔离、停机或者重新安排任务等一系列的操作，从而将事故消灭在萌芽状态之中。伴随着模型训练和规则不断的完善，安全控制会由原来的单点识别变成系统的预判，从即时处理变成全过程管控。

## 4 结束语

随着智能化矿山建设的不断发展，机电技术的功能边界也在发生变化，并且它的应用形式也越来越多。从采掘协同、运输联动、状态感知、远程集控到安全闭环防控，机电技术已经由原来的保障手段变成矿山智能运行体系的主要支撑。根据目前的应用效果可以发现，机电技术在提高生产效率、降低运行能耗、提高安全保障能力等方面有明显的优势。未来需要从系统自主协同、数据深度整合、运维模式重塑、风险主动防控四个方面不断努力，推动矿山机电系统向智能化、集约化、本质安全方向发展。

### 参考文献:

- [1] 徐记全,张雪山.智能化矿山机电设备中PLC技术的应用探究[J].机电产品开发与创新,2025,38(05):65-66,70.
- [2] 张振龙.智能矿山建设下煤矿机电管理[J].内蒙古煤炭经济,2024(09):169-171.
- [3] 霍建良.基于智能化矿山的煤矿机电设备安全技术管理措施研究[J].中国设备工程,2023(18):28-30.
- [4] 李红勇,张俊峰,马忠强.基于智能矿山建设环境的煤矿机电管理技术研究[J].自动化应用,2023,64(10):195-197.
- [5] 薛飞.浅析PLC技术在智能化矿山机电设备中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2021(08):153-154.