

智能化背景下煤矿机电一体化升级方案研究

宋满刚 马建鹏

宁夏银星煤业有限公司 宁夏 银川 750408

摘要:为顺应煤矿智能化发展趋势,解决传统机电系统协同性弱、能耗较高、运维滞后与安全管控不足等问题,本文梳理煤矿机电一体化与智能化核心理论及关键支撑技术,总结当前行业发展现状,深入剖析设备老旧、数据孤岛、技术适配不足、专业人才短缺等突出问题。结合矿井生产实际,构建全链条智能化升级体系,提出设备改造、平台搭建及多维保障措施,有效提升煤矿生产安全与运行效能,为矿山智能化升级提供可行参考。

关键词:智能化背景;煤矿机电一体化;升级方案

引言:煤炭是我国重要的基础能源,机电一体化系统是煤矿安全生产运行的核心支撑。在智能化技术快速普及的行业背景下,传统煤矿机电自动化模式弊端日益凸显,设备智能化程度低、多系统联动性差、数据融合不足等问题,制约了煤矿高效、安全、绿色发展。为突破现有技术瓶颈,推动机电系统数字化转型,本文依托智能感知、5G通信与大数据技术,针对性开展机电一体化智能化升级方案研究,助力矿井智能化建设落地。

1 智能化与煤矿机电一体化相关理论与核心技术

1.1 煤矿机电一体化与智能化核心内涵

(1) 煤矿机电一体化概念,是指将机械、电子、自动化控制、通信与信息技术深度融合,应用于煤矿采掘、运输、提升、通风、排水等主要生产与辅助系统的设备设计、运行与管理中,形成设备与系统高效协同的管控模式。其本质是通过机械与电子的有机结合,实现设备功能的集成化与控制的自动化,为智能化升级奠定物理与数据基础。(2) 煤矿智能化核心定义,是指以机电一体化为物理载体,借助智能感知、高速数据传输、云计算与人工智能算法,使煤矿机电系统具备环境自感知、状态自分析、决策自执行、故障自预警、运维自优化的能力,最终实现从单机自动化向全矿井系统智能化的跨越,达成安全、高效、绿色、可持续发展的矿山发展目标。(3) 机电一体化智能化升级的核心特征可概括为“五化”。数字化,指设备与生产过程全要素数字建模与数据可采集;协同化,指多系统、多设备间信息共享与联动控制;无人化,指在危险区域或常态作业中实现少人或无人值守;可视化,指依托三维仿真与数字孪生技术实现运行状态透明化;可预判化,指基于数据分析实现设备故障与安全风险的超前预警与主动干预^[1]。

1.2 智能化升级关键支撑技术

(1) 智能感知技术是智能化的前提基础,主要通过

部署高精度甲烷、一氧化碳、粉尘等环境传感器,以及振动、温度、电流、位移等设备状态监测装置,实时采集矿井环境参数与机电设备运行工况数据,为后续分析与决策提供准确、可靠的数据来源。(2) 高速通信技术是数据传输的神经网络,依托矿井5G专网、万兆工业以太环网及OPCUA统一架构协议,构建低延时、高带宽、高可靠性的井下数据传输通道,确保海量感知数据实时上传与控制指令精准下发。(3) 大数据与人工智能技术是智能决策的核心引擎,通过对海量历史数据与实时数据进行深度挖掘,建立设备健康度评价模型与故障诊断知识库,采用机器学习算法实现运行参数的自适应优化与设备异常模式的智能识别。(4) 云边协同管控技术是分层管控的系统架构,在云端部署矿山工业互联网平台,承担全局数据汇聚、模型训练与业务编排功能;在边缘侧部署边缘计算节点,就近完成数据预处理、实时控制与快速响应,实现“云端智能决策、边缘实时执行”的高效协同管控。

1.3 煤矿机电一体化智能化升级总体要求

(1) 安全性要求是智能化建设的首要前提。系统设计须具备完善的故障保护、冗余切换与紧急停机机制,通过智能预警手段有效规避机电设备运行风险,显著提升井下作业安全管控水平。(2) 高效性要求是智能化建设的核心目标。应通过智能调速、负载均衡与能耗优化算法,持续优化机电设备运行效率,有效降低人工巡检运维成本与无效电能消耗。(3) 兼容性要求是智能化建设的关键保障。技术选型须支持新旧设备融合改造,通信接口与数据标准应具备开放性,确保多系统间数据互通与业务协同,避免形成信息孤岛。

2 智能化背景下煤矿机电一体化发展现状及现存问题

2.1 煤矿机电一体化发展现状

(1) 设备层面,当前煤矿采掘、运输、通风、排水

等核心机电设备已普遍实现基础自动化控制。采掘工作面广泛应用电液控液压支架与智能采煤机,主运输系统采用变频调速与集控启停技术,通风与排水系统基本实现远程集中监控,设备本体自动化水平显著提升。(2)系统层面,多数矿井已建成独立的机电设备监控系统、安全监测监控系统以及设备全生命周期运维管理平台,实现了设备运行参数实时采集、环境瓦斯浓度在线监测与设备维护保养工单电子化管理,系统功能日益完善。

(3)技术层面,部分大型煤矿已在采掘工作面部署惯性导航、煤岩识别等智能感知技术,利用工业互联网平台开展设备健康状态评估与预警应用,无人化采掘工作面、智能主煤流运输系统等示范工程取得阶段性成效,但整体推广规模仍有限。

2.2 机电设备智能化水平不足的问题

(1)老旧设备占比高。大量中小型煤矿仍使用传统机电设备,缺乏嵌入式的智能传感器与可编程控制接口,智能化改造技术难度大、改造成本高,导致感知层数据采集能力严重不足,设备自主调控能力薄弱。(2)设备协同性差。采掘、运输、通风、排水等机电系统长期各自独立运行,不同厂家设备之间通信协议互不兼容,缺乏跨系统的一体化联动管控机制,难以实现基于全矿生产工况的协同优化控制。(3)能耗管控粗放。机电设备运行参数多依靠人工经验设定,无法根据载荷变化、作业环境变化进行实时智能调节,大型设备轻载或空载运行现象普遍,无效电能消耗与机械磨损问题突出^[2]。

2.3 智能化管控体系存在的缺陷

(1)数据孤岛问题严重。各机电子系统数据独立存储、格式各异,缺乏统一的数据采集与集成管理平台,设备数据、生产数据、安全数据相互隔离,难以支撑大数据分析 with 跨系统智能决策。(2)智能运维能力薄弱。设备维护仍以人工定时巡检和事后维修为主,在线状态监测点位覆盖不足,缺少基于数据驱动的故障预判与远程诊断手段,突发性机电事故时有发生。(3)管控架构不完善。当前多数矿井管控系统仍采用传统的单一服务器集中部署模式,缺乏云边端一体化的分层智能管控架构,边缘侧实时响应能力不足,难以满足智能化场景下高频、低时延的控制需求。

2.4 技术与人才保障短板

(1)核心技术适配性不足。通用物联网、人工智能等技术在煤矿井下高粉尘、高湿度、强电磁干扰的恶劣环境中可靠性下降,适用于煤矿特殊工况的高精度传感器与防爆智能终端产品匮乏。(2)专业人才匮乏。煤矿从业人员中精通传统机电技术的人员较多,而同时具备

大数据分析、人工智能算法应用与矿井工艺知识的复合型技术人才严重短缺,制约智能化建设进程。(3)运维管理制度滞后。现行机电管理制度多基于传统设备管理模式制定,在岗位设置、操作规范、维护流程等方面尚未适应智能化机电系统远程运维、数据驱动决策等新要求,制度性障碍明显。

3 智能化背景下煤矿机电一体化升级优化方案

3.1 升级总体思路与设计原则

(1)总体思路:以安全高效、提质降本为核心目标,坚持问题导向与系统观念,搭建覆盖“感知-传输-平台-应用”全链条的智能化机电一体化体系。通过感知层精准采集、传输层高速互联、平台层数据融合、应用层智能决策的纵向贯通,实现机电系统从单机自动化向全矿井智能协同的全面升级。(2)设计原则:坚持安全优先原则,所有升级方案须以提升作业安全水平为首要约束,智能化功能不得降低设备固有安全性能;坚持兼容适配原则,确保新系统与既有设备、协议、管理流程有效衔接;坚持经济实用原则,合理控制改造成本,优先实施投资回报率高的升级项目;坚持迭代升级原则,采用模块化、可扩展的技术架构,分阶段推进、持续优化。(3)升级目标:经过分步实施,最终实现采掘、运输、通风、排水等核心机电设备的智能化自主运行,多系统间一体化协同管控,机电故障从事后处理向事前智能预警转变,设备运维从纸质台账向全生命周期数字化管理转变,全面提升矿井机电系统智能化水平。

3.2 核心机电设备智能化升级方案

(1)采掘机电设备升级。对采煤机加装煤岩界面识别传感器、截割部振动监测仪及高精度惯导定位装置,配合电液控系统升级,实现采煤机自动调高、自适应截割与工作面直线度自动校正;对掘进机升级视觉导航与位姿感知系统,增加截割断面成形控制功能,实现掘进路径自主规划与断面一次成形,大幅减少人工操作干预。(2)辅助机电设备升级。主通风系统配置智能风量调节装置与在线监测单元,实现按需供风、风压自动调节及故障自动倒机;排水系统配置水位联动控制器与泵组智能轮换程序,实现涌水量动态变化下的节能优化运行;主运输系统推广永磁直驱或变频调速技术,结合煤流载荷感知实现运量自适应调速;压风系统配置压力闭环智能调控模块,根据用风负荷自动调节设备运行台数与输出压力,有效降低空载损耗^[3]。(3)老旧设备迭代优化。建立老旧设备分级评估体系,按照设备剩余寿命、改造技术可行性、投入产出比等指标综合评定,对具备改造价值的设备制定加装智能传感器、更换可编

程控制器的标准化改装方案；对服役年限长、能效水平低、安全可靠性能差且无改造经济性的设备，制定强制淘汰更新计划，分批次更换为具备标准智能化接口的新型高效节能机电设备。

3.3 一体化智能管控系统搭建方案

(1) 感知层优化。在采掘工作面、运输系统关键节点、变电所、水泵房、主要通风机房等区域全域部署高精度振动、温度、电流、电压、流量、瓦斯浓度等智能传感器，关键设备关键部位实现冗余感知配置，确保机电设备运行状态与井下环境参数实时、连续、精准采集，全面消除感知盲区。(2) 传输层升级。构建井下5G专网与万兆工业以太环网深度融合的冗余通信网络，主干链路采用光纤工业环网确保高可靠与低延时，采掘工作面等移动区域采用5G实现灵活接入与无缝覆盖，全矿统一采用OPCUA通信协议，彻底解决多厂家设备协议互不兼容的传输瓶颈^[4]。(3) 平台层建设。搭建煤矿机电一体化大数据管控平台，建立统一数据接口标准与存储规范，将设备状态数据库、安全监测数据库、运维管理数据库集成融合，实现多源异构数据的清洗、关联、挖掘与可视化集中监控，为各智能应用提供统一、开放、可靠的数据服务。(4) 应用层开发。基于平台层统一数据底座，重点开发四大核心应用功能：一是故障智能诊断应用，实现设备异常自动识别、预警推送与根因定位；二是能耗优化分析应用，实现设备运行参数在线寻优与能效评价；三是远程协同运维应用，支持专家远程指导与移动端工单闭环处理；四是生产协同调度应用，实现采掘、运输、通风、排水等多系统按需联动与协同控制。

3.4 升级方案实施保障措施

(1) 技术保障。针对煤矿井下高粉尘、高湿度、强电磁干扰等恶劣环境，开展传感器防护等级提升、通信设备抗干扰优化等核心技术适配攻关，建立地面模拟联调与井下试点验证相结合的迭代测试机制，确保每项新技术、新设备入井前经过充分验证。(2) 人才保障。联

合高等院校与科研院所开展定向委托培养与联合攻关，组织现有机电技术人员参加智能化技能专项提升培训，面向社会引进具备大数据分析、人工智能算法应用与煤矿机电复合背景的紧缺专业技术人才。(3) 制度保障。修订完善覆盖智能化机电设备操作规范、远程运维管理标准、在线监测预警响应流程、数据质量管理要求等各环节的管理制度，建立与智能化运行水平相挂钩的绩效量化考核体系^[5]。(4) 资金保障。统筹安全改造专项资金、企业自有资金及政策性补贴，设立智能化升级专项预算，按照“先急后缓、示范先行、分步推广”的原则合理规划年度改造与建设投入，确保升级资金保障到位、使用高效。

结束语

本文围绕智能化背景下煤矿机电一体化升级展开系统性研究，明确了升级核心思路与实施路径，针对性解决了设备老旧、管控滞后、技术适配性差等行业痛点。通过设备智能化改造、一体化管控平台搭建、多维度保障体系构建，可有效提升矿井机电系统运行效率与安全水平。后续可结合不同矿井工况差异，持续迭代优化升级方案，深化云边协同、AI智能决策技术应用，推动煤矿机电一体化向全域智能、无人高效、绿色低碳的方向持续发展。

参考文献

- [1]葛世荣,尤秀松,郭一楠.智采工作面机电装备数字孪生协同控制架构[J].煤炭学报,2024,49(07):3265-3275.
- [2]崔耀,叶壮.基于5G+云边端协同的煤矿机电智能控制系统设计[J].煤炭科学技术,2023,51(06):205-216.
- [3]郑启跃.智能化视角下煤矿机电设备一体化升级关键技术研究[J].山东煤炭科技,2025,43(03):189-194.
- [4]周爱平,曹正远.煤矿机电运输系统智能化升级改造设计与实践[J].工矿自动化,2023,49(S2):13-17.
- [5]任万杰.标准化管理下煤矿机电一体化设备智能化升级路径[J].大众标准化,2024,7(18):98-102.