

综采工作面机电管理智能化建设研究

张海洋

(安徽省淮北市淮北矿业许疃煤矿, 安徽 淮北 235000)

摘要 综采工作面机电管理智能化建设通过传感器网络、工业物联网与人工智能算法的系统集成, 构建设备状态全息感知与故障预测诊断体系, 为煤矿安全生产与降本增效提供技术支撑。实践案例表明, 采煤机定位精度误差控制在 4 cm 以内, 液压支架自动跟机率达 85%, 记忆截割率超 70%, 智能诊断系统基于 78 条专家规则与神经网络模型, 故障预判准确率达 98.6%, 预警时间提前 30 分钟至 90 分钟。改造后采掘工作面人均效率提高 40%, 单产效率提升 30%, 工作面作业人员从每班 20 人减至 15 人, 设备非计划停机时间下降 60% 至 80%, 维修成本降低 35%。

关键词 综采工作面; 机电管理; 智能化建设; 设备监控; 故障诊断

中图分类号: TD67

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.007

0 引言

煤炭作为我国主体能源, 其开采方式正经历从机械化向智能化的深刻变革。综采工作面机电设备种类繁多、工况复杂, 传统管理模式存在信息孤岛、人工依赖度高、故障响应滞后等弊端。国家发改委等八部委联合印发的《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》明确提出, 到 2035 年各类煤矿基本实现智能化。淮北矿业集团某矿作为安徽省首座国家级智能化示范矿井, 累计投入专项资金 2.03 亿元建设智能化项目 49 项, 通过物联网、大数据、人工智能技术的应用, 实现设备状态透明化感知、故障预测性维护、生产过程协同优化, 为综采工作面机电管理智能化建设提供工程实践参考。

1 综采工作面机电管理智能化体系构建

某矿智能化体系采用五层递进式架构, 在设备层通过部署振动、温度、压力等多类型传感器, 实现 468 项运行参数的毫秒级采集, 在数据采集层基于 EtherNet/IP 协议将 CAN、OPC UA、Modbus 等异构协议, 转换为工业以太网协议, 并构建万兆光纤环网配合 5G 基站, 实现数据传输带宽达 50 Mbps 且延迟小于 70 ms 的工作面无线通信全覆盖。在控制层构建响应时间控制在 50 ms 以内的智能化开采集控平台, 实现采煤机远程启停与液压支架群控功能, 在业务层融合 78 条专家经验规则与 K-means 聚类、神经网络等机器学习算法, 构建故障预判准确率达 98.6% 且预警时间提前 30 ~ 90 分钟的智能诊断模型。在展示层集成数字孪生仿真系统、移动互联运维系统、知识图谱决策支持系统, 形

成“运行一大脑、矿区一张网、数据一片云、资源一视图、生产一平台”的整体布局。

2 机电设备智能化技术应用实践

2.1 采煤机智能截割部署

采煤机智能截割系统的空间定位精确度对记忆截割功能发挥有决定性作用。例如: 某矿把 IMU 惯性导航与三维激光雷达两种定位技术结合起来, 成功将空间定位偏差控制在有效范围之内^[1]。

如图 1 所示, 某矿采煤机截割作业启动阶段存在约 10 cm 初始定位偏差, 随着系统自学习算法不断完善以及惯导数据持续校正, 这个定位偏差逐步减小且最终稳定在 4 cm 范围之内, 通过融合红外传感器和轴编码器双路检测机制, 能够实时获取煤机位置信息, 并结合支架位移与高度参数综合分析, 进而完成自适应截割循环操作。滚筒高度自适应调节技术把截割高度稳态重复精度控制在 4 cm 以内, 最大牵引速度可达到 12 m/min, 记忆截割成功率超过 70%, 此精度完全能够满足基于煤层厚度、倾角及滚筒高度等多维参数, 构建截割路径模型的技术标准^[2]。系统利用三维激光扫描仪获取工作面点云数据, 并与三维地质模型进行空间配准, 构建覆盖整个工作面的统一点云模型, 经动态校正算法对开采模型验证与优化之后, 系统输出精确截割指导指令, 使得综采装备具备智能决策与自主作业能力, 实现基于煤层地质条件的智能化开采, 惯性导航装置提供速度、位置及姿态数据, 与激光雷达测距信息相互融合, 构成闭环反馈控制系统。

作者简介: 张海洋 (1991-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 采煤机电。

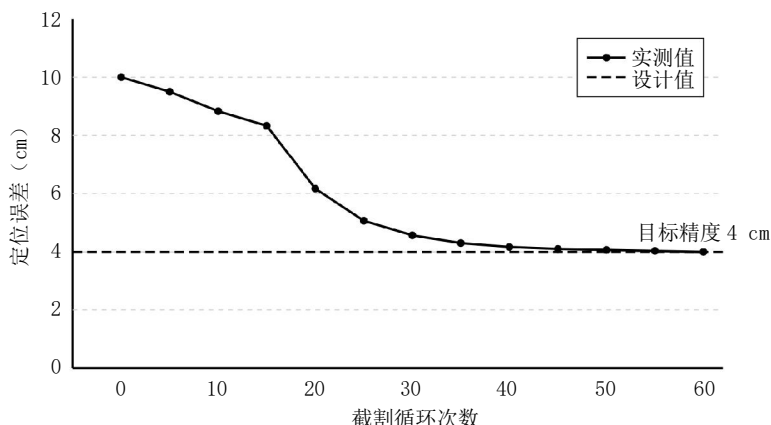


图1 采煤机截割定位精度变化曲线

2.2 液压支架群组控制实施

在某矿液压支架电液控系统自动跟机移架作业当中,单个支架完成降柱、移架、升柱完整流程所花时间是衡量该系统群体控制性能优劣的一个重要依据。依据现场采集到的实际数据显示,单架支架自动化作业的周期时长可表示为:

$$T=t_1+t_2+t_3 \quad (1)$$

式(1)中: T 代表单台支架完成一次移架的耗时(s), t_1 代表降柱耗时(s), t_2 为推移耗时(s), t_3 表示升柱耗时(s)。

某矿现场实测数据显示,单架完成自动降移全流程耗时能控制在10 s以内,三架协同作业时总耗时不会超过27 s。依托多传感器数据融合的支架姿态闭环控制技术,达成了支架倾角检测误差0.14度、行程误差6.3 mm的高精度调节,经端头斜切功能优化后的跟机算法,让液压支架自动跟机率提升到了85%。该系统通过综合分析采煤机位置信息、推移量数据以及立柱压力数据,可自主调整支架跟机姿态,革新了传统人工逐架操作模式,并大幅减轻了操作人员的劳动负担^[3]。

2.3 “三机”联动调度落地

某矿“三机”协同系统把采煤机所在坐标当作参照点来发出指令,以此引导液压支架集群依照既定流程自主完成跟机移架操作,同时还会联动刮板输送机的推溜装置来进行行程调节,其推进距离会依据采煤机割煤深度实时计算确定^[4]。工作面直线度智能调节技术借助激光测距或者惯性导航手段监测支架间位置偏差,当直线度偏差超过 ± 100 mm范围的时候,系统会自动修正各支架推移行程差值以实现工作面轨迹精准纠偏。集控平台具备一键顺序启停功能,设备启动次序是破碎机→转载机→刮板输送机→采煤机,停机次序则完全相反,并且支持故障情况下的自动顺序停机保护机

制,该一体化控制策略使工作面生产效率提升30%以上,实现“三机”设备深度协同的智能化开采目标。

系统依靠时间轴框架,结合设备传感器采集数据参数,将采煤机与液压支架动作事件关联整合。这些事件详细记录动作信息,涵盖事件名称、执行主体、指令类型、动作时长及采煤机位移动作轨迹等关键要素,以此确保设备间精准协同运行,由位移传感器、摄像设备、倾角检测装置和精密推拉机构构成三机联动系统,能高效实现刮板输送机、转载机和破碎机协同控制。在该系统里部署液压推移支架后,可以有效管控三机联动设备,完成对工作面机械装置实时监测与自动化调整,自动化传感系统运行时,各类传感器采集的数据需经平台分析处理,依据分析结果触发紧急停机、闭锁保护或报警等控制指令,方便操作人员迅速响应并处理故障^[5]。

2.4 设备故障监测诊断

某矿构建“规则+模型”双驱动运行机制,有效提高了设备故障预警的前瞻性与及时性,这成为衡量其智能运维水平高低的重要尺度。

如图2所示,某矿故障诊断系统在93次预警中,

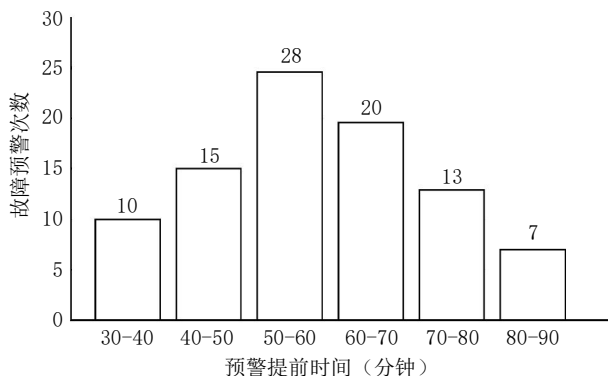


图2 设备故障预警时间分布统计

50 ~ 60 分钟区间出现 28 次, 平均预警提前 58 分钟且落点在系统设计 30 ~ 90 分钟区间内, 该系统以 9.4 亿条历史数据为基础, 运用 K-means 聚类算法识别异常状态, 再由神经网络模型精准分类故障类型, 预判准确率达 98.6%。专家规则库整合 78 条经验模型, 涵盖电机过热、液压压力异常、皮带跑偏等典型故障, 通过监测振动频率、温度曲线、电流波动等参数有效预防突发停机, 使非计划停机时间缩减 60% ~ 80%、维修成本降低 35%。系统实时推送预警信息到管理平台与移动终端, 全生命周期管理功能为备件调度与维护优化提供决策支持, 诊断结果可自动生成维修工单并分配至维护团队, 形成故障处理闭环。

3 智能化管理系统应用效果分析

3.1 生产效率与人员配置优化

某煤矿完成智能化升级改造后, 采掘工作面人员效率显著提升了 40%, 与此同时单产效率也增长了 30%, 改造之前日产量为 8 000 吨, 现在已经增加到 10 400 吨, 月度综采单产量还突破了 5 200 吨大关。在工作面配置相关方面, 每班作业人员从 30 人精简到了 15 人, 再结合压风、供电、排水、运输等辅助岗位的优化, 累计减少固定岗位人员达到了 128 名, 全矿总用工数因此减少了 169 人, 智能装车系统投入使用之后, 单车装载时长从人工操作的 8 分钟压缩到 3 分钟, 并且装车精度严格控制在 ± 0.5 吨误差范围以内。通过智慧物流系统进行部署, 井下物料运输效率提升了将近两倍, 矿车周转率同步提高了 50% 以上, 下料作业人员从 514 人减少到 312 人, 直接减少了 202 名作业人员, 这一系列优化成果充分证明, 智能化技术的深度应用不但有效提升了生产效能, 还实现了生产流程全面优化与人员配置科学化目标。

3.2 安全防护体系运行效能

某矿部署超过 300 台数字化摄像机来构建 AI 视频智能识别系统, 以此确保井下有人作业区域和无人重点区域实现全面监控, 该系统能够实时识别人员未佩戴安全帽、自救器缺失等 11 类违规行为, 并且自动发出语音警示, 还运用五级筛查机制有效遏制作业违规情况。智能供电防误操作系统支持远程漏电试验以及防越级跳闸功能, 在井下供电出现异常时可以在 0.1 s 内完成故障定位与隔离, 把供电恢复时间从小时级缩短到分钟级, 综合信息融合平台整合设备运行、人员定位、环境监测以及应急系统等多维数据, 进而构建全工况安全防护体系。在瓦斯治理领域, 采用地面 L 型多分

支井技术, 单井最大抽采纯流量能达到 $36 \text{ m}^3/\text{min}$, 抽采浓度可达 90%, 12 座瓦斯电站每年利用瓦斯 1 亿 m^3 , 发电超过 2 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$, 某矿连续安全生产周期超过 14 年, 成为安徽省首个国家级智能化示范矿井。

3.3 设备维护成本控制成效

某矿在智能化建设方面累计投入 2.03 亿元专项资金, 并且成功实施了 49 个智能化项目, 其中, 设备全生命周期管理系统让设备意外停机时长缩减 60% ~ 80%, 同时使维修支出同步降低 35%。涡北选煤厂引入数字孪生系统之后, 故障诊断与药剂添加等流程效率提高 30%, 万吨事故台时从 0.55 降至 0.08, 使得运维成本下降 35% 且药剂消耗减少 45%, 每年节省电费超 200 万元, 临涣选煤厂智能配电系统将设备停送电操作时间压缩 90% 以上。孙疃矿等 10 余处矿井应用智能选矸系统以后, 矸石含煤率被控制在 1% 以内, 矸石排出率达到 92% 以上, 通过提升煤质和精简人员每年创造上千万元经济效益, 这些成果充分证明, 智能化改造在降低运维成本时能显著提升经济效益。

4 结束语

综采工作面机电管理智能化建设通过五层架构体系与关键技术应用, 实现采煤机自主截割、液压支架群组协同、“三机”联动调度的智能化管控。该矿实践验证智能化系统使日产量由 8 000 吨提高至 10 400 吨, 全矿累计减员 169 人, 连续安全生产周期超过 14 年, 智能供电防误操作系统能在 0.1 s 内完成故障定位与隔离, AI 视频识别系统实时捕捉 11 类违章行为。面对复杂地质条件适应性、数据安全保障等挑战, 需持续深化算法优化、标准体系建设, 推动智能化建设从单点突破向系统协同发展, 为保障国家能源安全、实现双碳目标提供坚实的支撑。

参考文献:

- [1] 石斌. 智能化综采工作面自动化技术的研究与应用[J]. 矿业装备, 2022(06):22-23.
- [2] 葛世荣, 王世博, 管增伦, 等. 数字孪生-应对智能化综采工作面技术挑战[J]. 工矿自动化, 2022, 48(07):1-12.
- [3] 董红涛. 浅议综采工作面机电设备智能化管理[J]. 中国设备工程, 2022(18):46-48.
- [4] 孔庆宇. 智能化综采工作面自动化技术应用[J]. 机械管理开发, 2021, 36(12):188-189, 194.
- [5] 马桂云. 智能矿山建设环境下煤矿机电管理技术研究[J]. 工矿自动化, 2021, 47(S2):103-104, 108.