

现代综采机械设备维修技术及发展方向探讨

刘艳帮 凡奋元

陕煤集团神南产业发展有限公司 陕西 榆林 719300

摘要：现代综采机械设备维修技术正经历从传统模式向智能化、数字化变革。传统事后维修因停机损失大、随机性强而逐步淘汰，预防性维修虽通过定期检修降低故障率，但存在过度维修问题。预知性维修依托物联网传感器与AI算法，实现设备健康状态实时监测与预测，减少30%以上停机时间。未来发展方向聚焦智能化监测网络构建、数字孪生技术深度应用及绿色再制造工艺推广，推动维修技术向精准化、标准化、模块化及循环经济转型。

关键词：现代综采机械设备；维修技术；发展方向

引言：在煤炭行业持续追求高效、安全与可持续发展的当下，现代综采机械设备作为井下开采的核心力量，其稳定运行至关重要。传统维修模式因难以精准匹配设备实际工况，逐渐暴露出成本高、效率低等弊端。随着物联网、大数据、人工智能等前沿技术的深度融合，综采设备维修正迎来智能化变革。探讨其维修技术现状与发展方向，不仅有助于提升设备可靠性与生产效率，更是推动煤炭行业高质量发展的关键所在。

1 现代综采机械设备维修技术现状

1.1 主流维修模式分析

(1) 事后维修：作为传统维修模式，需在设备发生故障后停机检修。受井下复杂工况影响，故障发生时间与部位存在强随机性，不仅会导致生产中断，还需承担紧急维修的高额人工与备件成本。同时，故障设备可能引发溜槽卡堵、液压系统泄漏等连锁问题，存在煤尘爆炸、设备倾覆等安全隐患，已难以满足高效生产需求。

(2) 预防性维修：当前多采用“小班点检+中班巡检+大班深度检修”的定期模式，通过固定周期检查降低突发故障概率。但该模式未考虑设备实际工况差异，部分状态良好的设备仍需拆解检修，导致液压支架立柱、采煤机截齿等部件过度更换，造成材料与工时资源浪费，维修成本居高不下。(3) 预知性维修：依托先进监测技术实现动态维护，通过实时采集设备运行数据判断健康状态，仅在设备出现劣化趋势时开展维修。相比前两种模式，可减少30%以上的停机时间，同时避免过度维修造成的资源损耗，成为当前主流发展方向。

1.2 关键技术应用

(1) 状态监测技术：通过在采煤机、刮板输送机关键设备上安装振动传感器、温度传感器及油液分析装置，实时捕捉设备运行数据。例如，振动传感器可监测轴承磨损情况，温度传感器能实时追踪电机绕组温度，

油液分析则可通过检测油液中金属颗粒含量判断齿轮磨损程度，为故障预警提供数据支撑。(2) 故障诊断技术：借助深度学习、神经网络等智能算法，对传感器采集的海量数据进行分析处理。通过构建设备故障模型，可精准识别故障类型，如电机绝缘损坏、齿轮断齿等，同时预测故障发生时间，准确率可达85%以上，为维修决策提供科学依据。(3) 智能决策系统：整合设备历史维修数据、实时工况数据及生产计划信息，通过大数据分析生成最优维修方案。例如，当系统检测到液压支架立柱密封件出现老化趋势时，会结合井下生产进度，自动安排在工作面推进间隙进行更换，平衡维修需求与生产效率^[1]。

1.3 现存问题与挑战

(1) 维修标准化不足：不同厂家生产的综采设备结构存在差异，零部件规格不统一，导致互换性差。例如，不同品牌采煤机的截齿座尺寸不同，无法通用，增加了备件库存压力与维修难度，同时也影响维修效率。

(2) 井下维修空间受限：井下工作面空间狭窄，大型设备部件如采煤机摇臂、刮板输送机机头架等重量可达数吨，更换时需依赖专用吊装设备，操作难度大，不仅延长维修时间，还存在吊装安全风险，制约维修工作开展。(3) 维修人员技能水平参差不齐：智能化维修技术需操作人员具备数据分析、设备调试等综合能力，但目前部分维修人员仍停留在传统经验维修层面，对智能监测设备、算法模型的理解与应用能力不足，导致智能化技术无法充分发挥作用，技术应用滞后于设备发展。

2 现代综采机械设备维修技术发展方向

2.1 智能化与数字化

(1) 智能监测网络：将物联网传感器全面部署于综采工作面关键设备，形成覆盖采煤机、刮板输送机、液压支架等全设备的监测网络。传感器不仅能实时采集振

动、温度、压力等基础数据, 还可通过5G或井下专用通信技术实现数据高速传输, 结合边缘计算节点对数据进行初步处理, 筛选出异常信号后上传至云端平台。这种全生命周期监控模式, 能从设备安装调试、正常运行到老化报废的全过程追踪状态变化, 例如实时监测液压支架立柱的支撑力变化, 提前发现密封件渗漏隐患, 避免故障扩大化。(2) 数字孪生技术: 基于设备设计图纸、运行数据及维修记录, 构建与实体设备1:1匹配的虚拟数字模型。通过将实时监测数据输入虚拟模型, 可精准模拟设备在不同工况下的运行状态, 以及齿轮磨损、轴承老化等故障的演化过程。维修人员可在虚拟环境中开展故障模拟排查, 测试不同维修方案的效果, 如模拟更换采煤机摇臂轴承后的运行参数变化, 优化维修步骤与工具选择, 减少实体设备调试次数, 降低维修风险与成本^[2]。(3) AI驱动预测性维护: 依托大数据平台积累的设备历史运行数据、故障案例数据, 训练多维度机器学习模型。模型可自主学习设备劣化规律, 例如通过分析电机电流波动与绝缘损坏的关联关系, 提前1-2个月预警潜在故障; 同时结合井下湿度、粉尘浓度等环境数据, 动态调整预警阈值, 提升预测准确性。此外, AI模型还能根据设备重要程度与生产计划, 自动排序维修优先级, 如优先安排影响工作面推进的刮板输送机故障维修, 保障生产连续性。

2.2 标准化与模块化

(1) 制定统一的设备接口标准与维修规范: 由行业协会牵头, 联合设备制造商、煤矿企业及科研机构, 制定综采设备通用接口标准, 明确液压管路、电气连接、机械传动等关键部位的规格参数, 实现不同品牌设备零部件的互通互换。同时, 编制统一的维修操作规范, 细化设备拆解、检测、组装等各环节的技术要求与安全标准, 例如规定采煤机截齿更换的力矩参数与检测流程, 避免因操作差异导致的维修质量问题, 降低备件库存成本与维修难度。(2) 推广模块化设计: 将综采设备划分为多个独立功能模块, 如采煤机的截割模块、行走模块, 液压支架的顶梁模块、立柱模块等。各模块具备标准化的连接接口与独立的检测单元, 当设备出现故障时, 维修人员可通过快速检测定位故障模块, 直接更换备用模块, 无需对设备整体拆解。例如, 刮板输送机的减速器模块出现故障时, 仅需拆除连接螺栓即可完成模块更换, 将维修时间从传统的8小时缩短至2小时, 大幅提升维修效率。

2.3 集中化与专业化

(1) 建立区域性综采设备维修中心: 围绕煤炭主产

区, 整合区域内的维修设备、备件资源与技术人才, 建立集设备检测、维修、备件储备于一体的区域性维修中心。中心配备大型拆解设备、精密检测仪器及智能化诊断系统, 可承接区域内煤矿企业的大型设备维修任务, 如采煤机整机大修、液压支架立柱修复等。同时, 中心通过共享备件库存, 减少各煤矿企业的备件储备量, 降低资金占用, 实现资源优化配置^[3]。(2) 培育专业化维修服务团队: 组建具备设备诊断、智能技术应用、应急处理等综合能力的专业化维修团队, 团队成员需经过系统的技术培训与实践考核, 熟练掌握智能化监测设备操作、数字孪生模型应用等技能。团队实行24小时应急响应机制, 当煤矿企业出现设备故障时, 可快速抵达现场开展维修工作。此外, 团队还定期为煤矿企业提供技术指导与人员培训, 提升煤矿企业自主维修能力, 形成“专业团队+企业自主”的协同维修模式。

2.4 绿色维修与循环经济

(1) 推广再制造技术: 针对综采设备的关键零部件, 如采煤机齿轮箱、液压支架立柱、刮板输送机链轮等, 采用表面修复、性能升级等再制造技术, 恢复零部件的使用性能。再制造过程中, 通过无损检测技术筛选可修复零部件, 利用激光熔覆、等离子喷涂等先进工艺修复磨损表面, 使零部件性能达到甚至超过新件水平。例如, 对磨损的液压支架立柱进行再制造后, 使用寿命可延长至原新件的80%以上, 大幅降低设备采购成本, 延长设备全生命周期价值。(2) 采用环保材料与工艺: 在设备维修过程中, 优先选用可降解、低污染的环保材料, 如水性防锈涂料、环保型液压油等, 减少化学物质对井下环境的污染。同时, 推广绿色维修工艺, 如采用干冰清洗技术替代传统的化学清洗, 清除设备表面的油污与煤尘, 避免清洗废液排放; 对维修过程中产生的废旧零部件、金属废料进行分类回收, 通过专业机构进行再生处理, 实现资源循环利用, 减少废弃物排放, 推动煤炭行业绿色可持续发展^[4]。

3 现代综采机械设备维修技术发展的挑战与对策

3.1 技术瓶颈

(1) 传感器在高温、高湿环境下的稳定性不足, 需研发耐腐蚀、防爆型传感器。井下综采工作面环境恶劣, 温度常超过40℃, 相对湿度高达90%以上, 且存在煤尘、瓦斯等腐蚀性与爆炸性物质。现有普通传感器在该环境下易出现线路老化、信号漂移等问题, 例如温度传感器可能因湿气侵入导致测量误差超过5℃, 振动传感器在高粉尘环境中灵敏度下降30%以上, 无法精准捕捉设备劣化信号, 甚至可能因电路短路引发安全事故, 严重制

约智能监测技术的应用效果。(2)对策:与材料科学领域合作,开发新型封装工艺。联合高校材料学院与专业传感器制造商,选用聚四氟乙烯、陶瓷等耐腐蚀、耐高温材料作为传感器外壳,同时采用激光焊接密封工艺,提升传感器的防水、防尘性能;针对防爆需求,在传感器内部增设隔爆腔与本安电路设计,确保其在瓦斯环境中安全运行。此外,通过实验室模拟井下极端环境,对传感器进行长达1000小时的稳定性测试,优化电路设计与信号处理算法,使传感器在高温高湿环境下的测量误差控制在1°C以内,信号传输稳定性提升至95%以上。

3.2 人才短缺

(1)维修人员技能结构老化,缺乏智能化设备操作能力。当前多数综采设备维修人员仍依赖传统经验开展工作,熟悉机械拆解、液压系统维修等基础技能,但对智能监测设备(如振动分析仪、数据采集器)的操作、AI诊断模型的解读能力不足。例如,部分维修人员无法通过智能系统生成的故障报告判断液压支架的具体故障部位,仍需采用逐一拆解排查的方式,导致维修效率低下;同时,对数字孪生技术、物联网平台的应用能力欠缺,难以适应智能化维修技术的发展需求。(2)对策:建立“职业院校+企业”联合培养机制,推行维修工程师认证制度。联合煤炭类职业院校调整课程设置,增设智能监测技术、大数据分析、数字孪生应用等课程,安排学生到煤矿企业实习,参与实际设备维修项目,提升实践能力;企业定期组织在职维修人员开展智能化技术培训,邀请专家进行现场教学,考核合格者颁发培训证书。此外,由行业协会推行维修工程师分级认证制度,将智能化技能纳入考核指标,分为初级(掌握基础智能设备操作)、中级(能解读AI诊断报告)、高级(可运用数字孪生技术优化维修方案)三个等级,引导维修人员主动提升技能,构建专业化人才梯队。

3.3 数据安全风险

(1)维修数据泄露可能导致设备运行参数被恶意篡改。现代综采设备维修依赖海量数据,包括设备运行参

数、故障诊断数据、维修记录等,这些数据通过网络传输至云端平台或区域维修中心。若数据传输过程中未采取有效保护措施,可能被黑客拦截窃取,甚至被恶意篡改设备运行参数,例如修改采煤机的截割速度阈值,导致设备过载运行引发故障;或篡改液压支架的压力监测数据,掩盖安全隐患,严重威胁井下生产安全与设备稳定运行。(2)对策:部署加密传输与边缘计算设备,实现数据本地化处理。在井下数据采集节点与地面平台之间采用国密SM4加密算法进行数据传输,防止数据在传输过程中被窃取或篡改;同时,在井下部署边缘计算网关,对采集的原始数据进行本地化预处理,筛选出关键故障数据后再上传至云端,减少数据传输量与泄露风险。此外,建立数据访问权限管理体系,明确不同岗位人员的数据查看与操作权限,例如一线维修人员仅能查看分管设备的基础数据,技术管理人员可访问诊断报告,核心参数修改需经过多层审批,确保数据安全可控。

结束语

现代综采机械设备维修技术站在传统与智能的交汇点,智能化、标准化、绿色化等发展方向已清晰呈现。尽管目前面临传感器稳定性欠佳、专业人才匮乏、数据安全存隐患等挑战,但这些都是推动技术进步的契机。只要行业各方携手共进,强化产学研合作,突破技术难关,培养高素质人才,构建安全可靠的数据体系,就能让综采设备维修技术迈向新高度,为煤炭产业的高质量发展筑牢根基。

参考文献

- [1]王晓伟,生兆洲.机械设备管理与维修技术的现状与措施[J].2021,(03):32-33.
- [2]牛海东.机械使用与维修中的常见问题及控制措施[J].华东科技:综合,2020,(09):91-92.
- [3]马仲敏.关于煤矿机械设备管理中注油工作重要性的探讨[J].当代化工研究,2023,(11):102-104.
- [4]庄耿贤.机械设备管理中机械维护修理的重要性探析[J].江西建材,2021,(13):126-128.