

煤矿掘进机机电系统日常保养与故障防控

著跃文

中国平煤神马控股集团有限公司机电设备维修分公司 河南 平顶山 467000

摘要：煤矿掘进机机电系统是巷道掘进作业的核心动力与控制载体，井下高粉尘、高湿、强冲击的复杂工况极易引发电气、液压、机械传动多类故障，制约生产效率与作业安全。本文剖析掘进机机电系统结构原理与工况影响，构建分级标准化日常保养体系，梳理各类典型故障成因，从技术、管理、人员、应急多维度制定防控优化策略，可为煤矿掘进设备运维管理提供实操参考。

关键词：煤矿掘进机；机电系统；日常保养；故障防控

引言：巷道掘进是煤矿开采的关键前置工序，掘进机机电系统的稳定运行是保障矿井连续高效生产的核心基础。井下恶劣作业环境易造成设备部件磨损、线路老化、系统失效，突发故障不仅会造成掘进作业中断，还易引发井下安全事故。为降低设备故障率、延长设备使用寿命、规避安全风险，亟需规范日常保养流程，精准排查设备故障，搭建系统化的故障防控体系，助力煤矿安全生产提质增效。

1 煤矿掘进机机电系统组成及工作原理

1.1 机电系统整体结构构成

(1) 电气控制系统作为整机的控制核心，主要由防爆型主电机、可编程逻辑控制器(PLC)、各类传感器及防爆电气组件构成。主电机为截割、行走、装运等执行机构提供动力输出；PLC负责逻辑判断与指令下发；传感器实时采集压力、温度、电流等状态参数；防爆组件确保系统在井下甲烷环境中安全运行。(2) 液压传动系统由液压泵、控制阀组、连接管路、冷却装置及执行油缸组成。液压泵将机械能转化为液压能，控制阀组调节油液流向与压力，管路完成能量传输，冷却装置控制油温，执行油缸将液压能转化为直线或回转运动，驱动各执行机构动作^[1]。(3) 机械传动系统包括截割部、行走部、装运部及减速传动机构。截割部完成煤岩破碎，行走部实现整机移动，装运部负责物料收集与转运，减速机构匹配转速与转矩，保证各部获得适宜工作参数。

1.2 核心系统工作原理

(1) 电气控制系统通过隔爆型电缆引入三相电源，经变压器降压为PLC及传感器供电。PLC接收操作台指令与传感器信号，经逻辑运算后输出指令，驱动接触器、电磁阀等执行元件，实现主电机启停、截割升降、

行走转向的精确控制。(2) 液压系统由变量柱塞泵供油，经多路换向阀分配至各油缸和马达。溢流阀设定最高压力，负载敏感阀按工况自动调节流量，实现压力自适应。液压能转化为机械能，驱动截割臂摆动、升降及铲板收放。(3) 机电协同遵循“电气指令—液压驱动—机械执行”链路。PLC根据截割负载自动调节行走速度，实现功率匹配；装运机构与截割部联动，保证连续转运；各系统经总线实时交换状态数据，形成闭环调节，确保掘进作业全过程协同高效。

1.3 井下复杂工况对机电系统的影响

(1) 粉尘在潮湿环境下易吸附于电气部件表面，形成导电通路，降低绝缘电阻，引发漏电或短路故障；粉尘积聚于传感器检测面，直接导致压力、位置等信号失真，影响控制精度。(2) 截割过程中煤岩硬度突变产生的强烈冲击载荷，易造成截齿磨损加剧、减速器齿轮断齿及轴承疲劳剥落；液压系统长期高压运行，油液污染加速阀芯磨损，密封件在高温高压下老化硬化，导致内泄增加、系统压力下降。(3) 井下巷道断面狭小，设备布置紧凑，检修空间极为有限，大型部件拆装困难，故障定位与更换耗时显著增加；同时，照明不足、通风受限进一步恶化了排查作业环境，迫使故障处理高度依赖远程监测数据与操作人员经验判断，制约了运维效率。

2 煤矿掘进机机电系统日常标准化保养体系

2.1 电气系统日常保养规范

(1) 日常点检：每班检查动力及控制线缆完整性，确认无破损、挤压、过热变色；检查防爆接线箱、控制箱盖板螺栓紧固度及密封圈老化情况，确保隔爆间隙合格；测试急停按钮及复位功能，观察指示灯状态是否与实际工况一致，异常及时上报。(2)

定期养护：每月用干燥压缩空气或防爆吸尘器清理电控柜内部导电粉尘；用 500V 兆欧表检测主回路及控制回路绝缘电阻，低于规定值需干燥处理；每季度检查接触器、继电器触头磨损并校验动作电压，不合格更换同型号器件。（3）专项维护：每半年用标准信号源校准 PLC 模拟量模块零点与满度，确保采样误差不超限；对压力、温度、位移传感器采用比对法校验精度，超差调整或更换；用综合保护器测试仪模拟过载、短路、漏电故障，验证保护动作值与动作时间满足设定要求^[2]。

2.2 液压系统日常保养规范

（1）基础巡检：每班检查油箱液位计，油面应保持在上下刻度线之间，不足时补充同牌号液压油；通过油标观察油液颜色、透明度，判断有无乳化或污染变质迹象；沿管路全面排查高压胶管及接头处有无渗油漏油现象，监听泵站运行有无异常噪声，判断吸油管路密封状态。（2）定期养护：首次运行 200 小时后更换吸油及回油滤芯，此后每 500 小时定期更换；每季度拆洗冷却器，清除水道内水垢及风道表面煤尘，恢复冷却效能；采用专用清洗剂对阀组阻尼孔进行浸泡清洗并用压缩空气吹通，严禁金属物硬性疏通以免损伤精密配合表面。（3）工况调试：使用精密压力表校准安全阀开启压力至设计值 $\pm 0.5\text{MPa}$ 范围内，采用流量计检测各执行回路流量分配均衡性，调节节流阀使动作速度符合要求；分别在空载及模拟截割负载条件下检测压力波动、流量稳定性及油缸动作响应时间，调试结果记录存档。

2.3 机械传动系统日常保养规范

（1）外观检查：每班检查截齿磨损及缺失情况，齿体磨损超过直径三分之一或合金头脱落时立即更换，检查齿座焊缝有无开裂；观察履带板、链轨节是否断裂变形，测量履带垂度并调整至规定范围；使用力矩扳手抽检关键连接螺栓预紧力，结构件目视检查有无裂纹和明显变形。（2）润滑养护：截割减速器及行走减速器每周检查油位、每季度彻底更换齿轮油；各销轴铰接点及回转支承每日加注锂基润滑脂直至旧脂挤出为止；润滑脂严禁不同牌号混用，冬季和夏季应选择适宜黏度等级的油脂，保证各摩擦副始终处于良好润滑状态。（3）磨损检测：每月采集减速箱油样进行铁谱分析，监测齿轮齿面点蚀及轴承磨损趋势；每季度拆检引导轮、支重轮并测量外径磨损量，超限时成对更换；对截割臂升降油缸、转向油缸等执行元件检查活塞杆表面划痕及密封状况，及时更换磨损或老化的密封组件。

2.4 日常保养管理制度与流程

（1）分级保养机制：建立日检、周检、月检、年检四级差异化养护标准。日检由操作司机执行，周检由检修班组集中处理，月检由技术人员主持深度检测，年检结合矿井停产窗口实施全面拆检及大修更换，各级项目清单明确具体内容和责任人，形成闭环管理。（2）保养台账记录：每次保养后如实填写记录台账，内容包括保养日期、执行人员、更换配件编号、异常情况及处理措施，台账随设备全生命周期保存，为故障趋势分析、寿命预测和配件计划编制提供可靠数据支撑，实现运行状态可追溯管理^[3]。（3）保养作业安全规范：作业前必须执行停电挂牌和闭锁程序，严格坚持“谁停电、谁送电”原则；井下开盖检修电气设备前测定瓦斯浓度确认安全后方可作业；液压系统拆卸前先卸压，严禁带压操作；起吊大件使用合格吊具并设专人指挥，作业结束清点工具、清理杂物，确保防爆与人身安全。

3 煤矿掘进机机电系统典型故障分析与防控策略

3.1 电气系统典型故障及成因分析

（1）供电异常、线路短路与绝缘失效故障：供电异常多因电网电压波动或变压器抽头接触不良，致电机启动困难或运行中突然失电；线路短路常因落石砸压或频繁弯折使电缆绝缘破损，相间或对地短接产生强电弧，烧毁熔断器与开关触头；绝缘失效源于高湿度环境下水分侵入接线盒，煤尘附着形成导电桥路，绝缘电阻下降，轻则漏电保护频繁动作，重则击穿变压器，甚至引发电气火灾及瓦斯事故。（2）传感器失灵、控制器指令异常故障：压力传感器膜片被煤尘堵塞或受潮结露后信号漂移，PLC 误判负载，发出失当调速或换向指令；温度传感器热敏元件老化致阻值偏离，引起超温保护误动或拒动；位置传感器因支架松动、感应面污染造成到位信号丢失，控制器无法判断油缸行程，多执行机构时序错乱，引发机械干涉与结构件损坏。（3）防爆电气部件失效故障：隔爆接线箱和电磁起动器频繁开盖检修中，隔爆面划痕或锈蚀致间隙超限，丧失防爆性能；橡胶密封圈长期受压变形硬化，在潮湿含硫环境中龟裂老化，潮气渗入使接线端子氧化、接触电阻增大，通电发热加剧，最终烧蚀断路，既失效又构成重大安全隐患。

3.2 液压系统典型故障及成因分析

（1）液压系统压力波动、流量不足故障：油液氧化产生胶质沉积物，配合金属磨粒逐渐堆积于节流小孔和阻尼通道，通流面积减小造成压力损失增大、流量分配失衡；油质劣化主要表现为水分混入乳化后润滑性下

降,颗粒杂质加剧柱塞-缸体配合副磨损,内部泄漏增加、容积效率降低,系统最高压力无法建立,执行油缸动作迟缓无力。(2)液压油温过高、冷却失效故障:板式冷却器水侧结垢严重或油侧通道被油泥堵塞使换热效率大幅下降;同时系统长期高压大流量运行、安全阀频繁溢流,多余液压能持续转化为热量,油温超限后黏度降低、润滑膜强度不足,加剧内部磨损,高温还加速密封件老化脆裂,引发多处渗漏,形成热-损-漏恶性循环,严重时导致系统瘫痪^[4]。(3)管路泄漏、阀芯卡滞故障:高压胶管在脉冲压力作用下钢丝层疲劳断裂、内胶层龟裂,管接头O型圈磨损或压紧螺母松动造成外泄漏;多路换向阀阀芯与阀体配合间隙中侵入固体颗粒后换向阻力剧增,出现卡死或复位不到位,对应执行机构无法正常换向,设备操控完全失控,作业中断。

3.3 机械传动系统典型故障及成因分析

(1)截割部磨损、振动异响故障:截割头切入煤岩时承受交变冲击载荷,截齿合金头崩裂脱落、齿座磨损变形后截割阻力分布严重不均,引起截割臂剧烈振动;减速器齿轮副在冲击载荷下齿面产生接触疲劳,早期出现麻点剥落,随损伤面积扩大啮合时产生周期性尖锐冲击声,严重时发生断齿造成截割部完全失效。(2)行走与装运机构卡顿、运转异常故障:履带过度张紧或过松致驱动链轮与链轨啮合不良,出现跳齿卡链,引导轮轴承磨损后转动阻力增大,马达扭矩不足时单侧卡滞导致整机行走跑偏;装运刮板链在运输大块煤岩时卡入溜槽与刮板间造成链条绷断,或从动链轮磨损变尖致脱链,物料堆积后电机过载保护频繁动作。(3)减速箱异响、温升超标故障:齿轮齿面疲劳点蚀与胶合损伤,轴承滚动体磨损后游隙增大,运转时产生周期性冲击异响;润滑油含水量超标或金属磨屑污染使黏度下降、极压抗磨性能丧失,齿轮轴承处于边界润滑甚至干摩擦状态,摩擦热急剧积累,箱体温度超限,高温加速油质劣化,故障持续恶化直至损毁。

3.4 全方位故障防控优化策略

(1)技术防控:搭建基于工业以太网与现场总线的智能监测预警系统,在减速器、电机及泵站关键部位加装振动加速度、红外温度及高压压力传感器,实时采集

振动频谱、绕组温度、系统压力及油液污染度参数,上传地面集控中心进行趋势分析与预警,推动计划维修向预知状态检修转变。(2)管理防控:完善运维责任制度,明确操作司机、检修班组及技术人员分级职责与考核标准,严格执行保养项目清单与故障排查流程标准化;建立设备全生命周期档案,关联运行时长、保养履历、故障记录及配件更换信息,科学制定大修周期与储备计划,杜绝超期服役和带病运行^[5]。(3)人员防控:强化作业人员专业技能培训,重点提升防爆电气、液压原理及故障诊断能力,定期组织岗位练兵与故障模拟演练,增强对异响、温升、泄漏等早期征兆的识别敏锐度和应急处置水平,强化安全规程意识,确保操作规范。(4)应急防控:针对电气失爆、液压喷油、截割卡死等典型故障编制专项快速处置预案,明确判定标准、处置流程、人员分工与安全事项,井下储备关键配件及应急工具,定期组织实战演练,确保故障时快速判断、精准处置,最大限度压缩停机时间、降低生产损失。

结束语

本文系统梳理了煤矿掘进机电系统的组成原理与工况影响,明确了电气、液压、机械系统的标准化日常保养规范,深度剖析各类型故障的诱发成因,形成全方位的故障防控体系。通过落实分级保养、智能监测、人员赋能与应急管控等举措,可有效改善设备运行状态,减少故障停机问题,提升掘进作业安全性与稳定性,对煤矿掘进设备精细化运维与安全管控具有重要实践价值。

参考文献

- [1] 刘晓峰.煤矿掘进机电系统故障分析与维护保养对策[J].煤矿现代化,2025,17(01):56-59.
- [2] 郭文强.煤矿井下掘进机电故障诊断与维护技术研究[J].能源与节能,2024,35(08):204-206.
- [3] 孟铁柱.矿用掘进机电机常见故障诊断及保养优化技术[J].装备制造技术,2024,29(07):136-138.
- [4] 赵肖敏.悬臂式掘进机电系统运行参数监测与维护策略[J].煤矿机械,2024,45(04):121-124.
- [5] 王鹏.煤矿掘进机电设备日常保养存在的问题及改进措施[J].煤炭技术,2023,42(09):189-191.