

煤矿采煤机液压系统常见故障分析与处理

赵宇飞

1.中国煤炭科工集团太原研究院有限公司 山西 太原 030006

2.山西天地煤机装备有限公司 山西 太原 030006

3.煤矿采掘机械装备国家工程实验室 山西 太原 030006

【摘要】：煤矿采煤机在高负荷与复杂工况下运行，液压系统承担关键执行与传动功能，长期受污染、冲击与温升影响，易出现压力异常、执行元件失效及泄漏等问题，导致设备停机率上升。针对常见故障类型，从油液状态、元件磨损及控制回路等方面进行系统分析，提出基于状态监测、精细化维护及结构优化的处理路径，实现故障快速定位与精准处置。应用后系统运行稳定性明显提高，设备利用率与生产连续性得到有效保障。

【关键词】：采煤机液压系统；故障诊断；压力异常；泄漏控制；维护优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.059

引言

煤矿综采设备运行环境具有粉尘浓度高、冲击载荷大与连续作业时间长等特点，液压系统作为动力传递与动作控制核心，承担着支护、牵引及调节等关键功能。一旦系统运行状态失稳，往往引发连锁停机，直接影响生产节奏与安全控制。实际运行过程中，液压系统故障呈现多源叠加特征，既涉及油液污染引发的性能衰减，也与密封结构老化、控制元件响应迟滞密切相关。单一经验判断难以满足快速诊断需求，需要在故障机理识别基础上形成系统化处理思路。通过对典型故障规律进行归纳，并结合运行数据分析构建针对性处置路径，可为现场维护提供更加清晰的技术支撑，使设备运行状态保持在可控范围内。

1 液压系统运行结构与关键功能分布

1.1 动力传递单元构成特征

动力传递单元由液压泵、驱动电机、溢流阀及压力调节组件构成，形成稳定的能量输入与压力输出体系。液压泵作为核心部件，其排量匹配与容积效率直接决定系统输出能力，高压工况下对密封精度与耐磨性能提出更高要求。溢流阀承担压力限定与安全保护功能，通过设定开启压力实现系统过载释放，防止管路与元件受损。压力调节组件通过反馈控制维持输出压力稳定，使负载波动条件下仍能保持连续供能。单元内部采用模块化集成结构，减少连接节点数量，降低泄漏风险，同时提升整体刚度与抗冲击能力，满足采煤机高强度作业需求。

1.2 执行机构动作控制路径

执行机构主要由液压缸与液压马达构成，其动作过程依赖控制阀组实现油路切换与流量分配^[1]。控制路径以方向控制阀为核心，通过电液控制信号驱动阀芯位移，改变油液流向，实现伸缩与旋转等动作。节流阀与比例阀共同调节流量，实现动作速度与输出力的协调控制，保证作业过程平稳连续。控制回路中设置压力补偿结构，使负载变化情况下流量输出保持稳

定，避免动作抖动或迟滞现象。路径设计强调响应精度与同步性能，通过优化油路布局与减少局部阻力损失，提高执行机构的动态响应能力与控制精度。

1.3 油液循环与冷却调节机制

油液循环系统由油箱、过滤装置、冷却器及回油管路构成，形成闭式循环运行模式。油液在系统中承担能量传递与润滑散热双重功能，其清洁度与温度状态直接影响元件寿命与系统稳定性。过滤装置采用多级过滤结构，对不同粒径污染物进行分级拦截，防止杂质进入关键部位造成磨损。冷却器通过换热装置降低油温，维持适宜黏度区间，避免高温导致密封老化与性能衰减。循环路径中设置回油缓冲区，减少气泡混入与冲击振动，提高流动稳定性，使液压系统在连续高负荷运行条件下保持良好工作状态。

2 典型故障类型与诱发机理解析

2.1 压力异常形成原因分析

压力异常主要表现为系统压力波动幅度增大或长期偏离设定区间，其形成机制与供能不稳定及回路阻力变化密切相关。液压泵内部磨损导致容积效率下降，使输出流量无法满足负载需求，进而引发压力不足现象。溢流阀弹簧刚度衰减或阀芯卡滞，会造成开启压力偏移，形成过压或卸荷不及时问题。管路局部阻塞或节流元件开度变化，使流动阻力分布失衡，导致压力传递过程中出现滞后与突变。系统中气体混入后压缩特性增强，也会引起压力波动频繁变化，降低控制精度。多因素叠加作用下，压力场分布呈现不均匀状态，直接影响执行机构稳定运行。

2.2 液压泄漏产生机理识别

液压泄漏可分为外泄漏与内泄漏两类，其形成过程与密封结构退化及间隙变化密切相关。密封件长期处于高温高压环境中，材料性能逐渐劣化，弹性恢复能力下降，导致接触面贴合

不紧密,形成持续渗漏通道。连接部位受振动与冲击作用影响,紧固力逐步减弱,使接口处产生微小位移,扩大泄漏路径。元件配合间隙因磨损扩大,油液在高压驱动下沿间隙回流,形成内部泄漏,削弱系统有效输出^[2]。油液中固体颗粒进入密封接触面,会破坏表面光洁度,进一步加剧泄漏发展。温度变化引起材料热胀冷缩差异,使密封界面产生附加应力,促使泄漏程度持续加重。

2.3 执行元件响应失效路径

执行元件响应失效主要表现为动作迟缓、位移不准确及输出力不足,其路径涉及控制信号传递与机械执行环节的耦合问题。控制阀阀芯在污染颗粒作用下产生卡滞现象,使油路切换延迟,导致执行机构动作启动滞后。流量调节元件精度下降后,输出流量与负载需求不匹配,造成速度控制偏差。液压缸内部密封磨损引起泄漏,使有效作用压力下降,导致推力不足与行程误差。液压马达在高负荷条件下摩擦阻力增加,降低转速稳定性。信号控制系统响应迟滞也会使阀组调节不同步,形成连续动作过程中的不协调现象,进而影响整体作业精度与运行可靠性。

3 关键故障诊断方法与定位流程

3.1 基于参数监测的状态识别

基于参数监测的状态识别以压力、流量、温度及振动等关键运行参数为核心,通过多源数据采集构建系统运行特征矩阵。压力信号用于反映能量输出稳定性,异常波动可指示供能单元或控制阀组存在偏差;流量变化能够揭示回路阻力分布及执行元件负载匹配情况;温度数据直接关联油液黏度与密封性能变化,过高或波动异常均会对系统效率产生影响;振动信号则可用于识别机械磨损与冲击状态。通过建立参数间的关联模型,实现多变量协同分析,提升异常识别的准确性。数据处理过程中引入阈值分级与趋势判断机制,对短时波动与持续偏离进行区分,避免误判。结合在线监测平台,实现参数实时采集、传输与分析,形成连续诊断链条,使系统运行状态能够被动态识别与精细评估。

3.2 油液污染与磨损判别技术

油液污染与磨损判别以颗粒特征分析与物理化学指标检测为基础,通过对油液中污染物类型、浓度及分布状态进行系统识别,判断系统内部磨损程度与污染来源。颗粒计数技术可对不同粒径区间进行分级统计,反映污染程度变化趋势;金属颗粒成分分析用于识别磨损部位,通过元素类型判定对应元件材质,实现磨损源定位。油液黏度、酸值及含水量等指标的变化可揭示油品劣化程度,进而评估润滑与密封性能衰减情况^[3]。通过构建污染等级评估体系,将检测结果与运行参数进行耦合分析,形成多维诊断依据。检测过程中引入在线传感技术与实验室分析相结合的方式,实现快速识别与精细分析并行推进,

使油液状态变化能够及时反馈至维护决策层面,提升系统可靠性评估精度。

3.3 回路检测与元件排查方法

回路检测与元件排查以系统结构分区为基础,通过逐段隔离与分步检测实现故障定位精细化。检测流程以主回路与控制回路为划分依据,依次对供油路径、执行路径及回油路径进行状态确认,通过关闭或调节关键节点阀件实现回路分离,缩小故障范围。压力测试结合流量测定对各段回路进行性能评估,识别局部阻塞或泄漏位置。元件排查过程中重点关注阀芯动作灵敏度、密封件完整性及连接部位紧固状态,通过拆检与性能测试确认元件工作状态。针对复杂系统结构,引入模块化检测思路,将系统划分为若干功能单元,分别进行独立检测与综合分析,提升诊断效率。结合数字化记录手段,对检测数据进行归档与对比分析,使故障定位过程具备可追溯性与连续优化能力。

4 针对性处理技术与维护实施路径

4.1 压力系统调节与稳定控制措施

压力系统调节以供能稳定性与回路协调性为核心,通过对液压泵输出特性与控制阀参数进行系统优化,实现压力场的均衡分布。调节过程需对液压泵排量与转速进行匹配校核,确保输出流量能够满足负载变化需求,避免因供能不足引发压力波动。溢流阀设定压力需结合系统额定工况进行精确调整,通过校准弹簧刚度与阀芯启闭特性,使卸荷过程平稳连续,防止瞬时冲击对管路产生不利影响。控制回路中引入压力补偿与反馈调节结构,通过闭环控制机制对压力偏差进行实时修正,提高系统响应精度。对关键节点设置缓冲与稳压装置,削弱流体冲击效应,降低压力脉动幅度。结合数字化监测手段,对压力变化进行持续跟踪分析,使调节策略能够根据运行状态动态修正,形成稳定可控的压力运行体系。

4.2 密封修复与泄漏抑制方法

密封修复以恢复接触界面完整性与提升密封可靠性为重点,通过对密封结构材料性能与安装状态进行系统调整,实现泄漏路径有效封闭。修复过程中需对密封件进行尺寸与材质适配性评估,选用耐磨损与耐高温性能更优的材料,提升长期运行稳定性^[4]。密封接触面应进行精细处理,保证表面粗糙度处于合理范围内,减少微观间隙产生的渗流通道。连接部位通过重新紧固与结构校正,消除因振动导致的位移偏差,使接口保持稳定贴合状态。对内部泄漏问题,通过调整配合间隙与优化导向结构,降低高压油液回流概率。结合过滤系统升级,减少颗粒对密封面的损伤,延缓磨损进程。引入状态监测技术,对密封区域温度与压力变化进行跟踪,及时识别潜在泄漏风险,使抑制措施具备持续有效性。

4.3 元件更换与系统优化策略

元件更换以功能恢复与性能提升为目标,通过对关键部件运行状态进行评估,实施针对性替换与系统结构优化。更换过程中需依据故障类型对液压泵、控制阀及执行元件进行分类处理,对磨损严重或性能衰减明显的部件进行整体替换,以恢复系统输出能力。新元件选型应结合工况特征与负载需求,优化耐压等级与响应特性,提高系统适应能力。安装过程中严格控制装配精度与连接紧固状态,确保元件运行稳定。系统优化方面,通过调整管路布局减少流动阻力,优化油路走向以降低能量损失。控制系统引入智能调节单元,实现对执行过程的精细控制,提高动作协调性。结合运行数据分析,对系统结构进行持续改进,使整体性能保持在高效稳定水平,满足采煤机长期高负荷运行要求。

5 运行稳定性提升与应用成效分析

5.1 故障率变化与停机时间控制

故障率变化直接反映液压系统整体运行质量,处理措施实施后,通过对关键故障点进行针对性控制,使系统失效模式由集中爆发向分散可控转变。压力异常与泄漏问题得到抑制后,突发性故障发生频率明显降低,系统运行由不稳定状态逐步向平稳区间过渡。停机时间控制依托快速诊断与精准定位机制,通过缩短故障识别周期与检修准备时间,实现检修过程的高效衔接。关键部位状态监测数据与维护策略形成联动,使潜在故障在早期被识别并处理,避免发展为影响生产的重大故障。检修周期与运行周期之间形成合理匹配关系,减少非计划停机次数,使设备利用效率保持在较高水平。

5.2 系统响应性能与作业效率改善

系统响应性能的提升体现在控制精度与动作协调性的同

步改善,通过对压力调节与流量控制的优化,使执行机构在不同负载条件下保持稳定响应。控制信号传递路径经过优化后,阀组动作延迟明显减小,执行元件启停过程更加平顺,避免冲击与振动对系统造成额外负荷^[5]。流量分配精度提高,使多执行机构之间的动作匹配更加协调,减少因响应不一致引起的效率损失。作业效率改善依托于系统连续运行能力增强,设备在高强度作业条件下能够保持稳定输出,减少因性能波动带来的间歇性停顿。动力利用率提升后,单位时间内完成作业量增加,使整体生产节奏更加紧凑有序。

5.3 维护机制优化与长期运行保障

维护机制优化通过建立分级管理与动态调整体系,实现对液压系统运行状态的持续跟踪与精准维护。基于监测数据构建设备健康评价模型,对不同运行阶段的性能变化进行分层分析,使维护策略能够针对性调整。日常维护由单一检修模式向预防性维护转变,通过定期检测与数据分析提前识别潜在问题,降低突发故障风险。备件管理与检修流程实现标准化配置,提高维护效率并减少资源浪费。运行数据持续积累后形成历史数据库,为后续维护决策提供依据,使维护工作具备可追溯性与优化空间。长期运行过程中,系统在稳定机制支撑下保持良好状态,为采煤机持续高效运行提供可靠保障。

6 结语

采煤机液压系统运行质量直接关联综采作业连续性与安全控制水平。通过对结构特征、故障机理及诊断路径进行系统梳理,并结合针对性处理技术与维护机制优化,系统运行由波动状态逐步趋于稳定。关键参数控制精度提升,泄漏与响应失效问题得到有效抑制,设备停机频率明显下降。诊断、处理与维护之间形成协同关系,使运行状态持续处于可控区间,为高强度生产条件下的可靠运行提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 侯强.基于 LASSO-RBFNN 模型的采煤机液压系统故障诊断优化研究[J].中国机械,2025,(25):150-153.
- [2] 潘生健,李鑫,朱凯平,等.结合力矩限制和阻尼蓄能的露天采煤机液压系统改造研究[J].机械设计与制造工程,2025,54(8):87-92.
- [3] 王民,张经伦,燕林兵.基于 PCA 与改进 LM—BP 神经网络的采煤机液压系统故障诊断研究[J].工矿自动化,2025,51(S1):35-39.
- [4] 张天宇.采煤机液压调高系统的多领域耦合模型构建及故障诊断方法[D].太原理工大学,2025.
- [5] 尉凯凯.采煤机液压系统故障分析及诊断方案设计[J].机械管理开发,2025,40(2):98-100.