

液压系统常见故障诊断分析

吴浩亮

中国船舶集团有限公司第七一三研究所 河南 郑州 450015

摘要：本文围绕液压系统常见故障诊断展开研究，先将故障按性质分为突发性与渐进性，按部位分为动力、执行、控制、辅助元件故障；再介绍感官、参数检测、逻辑分析、仪器诊断四种诊断方法；随后剖析压力、流量、动作、温度异常的核心诱因；最后从日常维护、定期检测、设计优化、操作规范提出预防策略。为液压系统故障精准诊断与可靠运行提供系统方案，可降低故障发生率，延长系统使用寿命，适用于工业领域液压设备运维。

关键词：液压系统；故障分类；故障诊断方法；故障原因分析；预防维护策略

引言：液压系统在现代工业各领域广泛应用，是设备运行的关键支撑。其稳定运行直接影响生产效率与安全。但受多种因素影响，液压系统易出现各类故障，导致设备性能下降甚至停机。准确诊断故障原因并采取有效预防维护措施，对保障液压系统可靠运行、降低维修成本、提高工业生产效益具有重要意义。

1 液压系统常见故障分类

1.1 按故障性质分类

液压系统按故障性质可分为突发性故障与渐进性故障两类。突发性故障多由外部冲击、瞬时负载过载或组件突发失效引发，发生前无明显征兆，故障出现时往往导致系统骤停或功能急剧丧失，密封件破裂会造成油液快速泄漏，直接影响系统压力维持，管路爆裂则可能引发油液喷溅与设备停机，这类故障需紧急处理以避免安全风险与进一步损坏^[1]。渐进性故障则由长期使用中的损耗累积导致，故障表现随时间逐渐显现并加重，油液污染会随使用时长增加而加剧，污染物不断侵蚀组件表面，降低密封性能与运动精度，元件磨损从初期的微小损耗逐步发展为明显失效，如泵体内部间隙增大、阀芯磨损变形，最终导致系统性能持续下降，这类故障可通过定期监测提前发现与干预。

1.2 按故障部位分类

按故障部位划分，液压系统故障可聚焦动力元件、执行元件、控制元件与辅助元件四类核心组件。动力元件故障主要集中在液压泵，作为系统动力源，液压泵故障会直接影响压力与流量输出，常见问题包括泵内转子磨损、叶片卡死等。执行元件故障涉及液压缸与液压马达，液压缸故障会导致伸缩动作异常，液压马达故障则影响旋转动力输出，两者均与系统执行精度密切相关。控制元件故障以各类阀门为核心，溢流阀、节流阀、换向阀等故障会导致压力调节失控、流量控制偏差或方向

切换延迟，破坏系统运行稳定性。辅助元件故障涵盖滤芯、油箱、管路，滤芯堵塞会导致油液过滤失效，油箱污染影响油液存储质量，管路破损则引发泄漏，这类元件故障虽不直接决定动力输出，却会间接加剧其他组件损耗。

2 液压系统故障诊断方法

2.1 感官诊断法

感官诊断法依托工作人员的直观感知判断故障，是现场初步诊断的常用手段。观察可聚焦油液颜色与泄漏点，正常油液呈透明或淡黄色，若出现发黑、乳化则提示油液变质或混入水分，泄漏点需重点检查管路接口、密封件处，油液渗出痕迹能帮助定位密封失效部位。听音需辨别异常噪声来源，液压泵运行时若出现尖锐异响可能是内部元件磨损，管路传来的振动噪声可能与管内压力波动或共振相关。触摸可感知组件温度与振动，正常运行时元件温度应处于合理范围，若液压泵、阀门表面过热可能是摩擦加剧或散热不良，异常振动则需结合部位判断是否存在元件松动或卡滞。嗅觉可识别油液变质气味，油液氧化变质会产生刺鼻异味，若闻到焦糊味可能是密封件高温碳化或元件过度磨损，这类方法无需复杂设备，能快速缩小故障排查范围。

2.2 参数检测法

参数检测法通过仪器测量系统关键参数，对比标准值定位异常。压力测试需借助压力表或压力传感器，在系统关键节点（泵出口、阀件进出口）测量压力值，若压力低于设计值可能是泵体输出不足或存在泄漏，压力过高则需检查溢流阀等压力控制元件是否失效^[2]。流量测试使用流量计监测管路内油液流量，流量不足会导致执行元件动作迟缓，需进一步排查泵体、节流阀或管路堵塞问题。温度检测可采用红外测温仪，非接触式测量液压泵、油箱、管路等部位温度，温度异常升高需分析是

否由元件摩擦、油液黏度不当或散热系统故障引发。油液分析需检测污染度、黏度与水分含量，污染度超标提示滤芯失效或外界杂质侵入，黏度异常会影响系统动力传递效率，水分超标则可能导致油液乳化、元件锈蚀，参数数据为故障诊断提供量化依据。

2.3 逻辑分析法

逻辑分析法通过梳理故障因果关系，系统化定位故障根源。故障树分析从可能的故障结果出发，逐层分解导致故障的各类因素，构建树形逻辑结构，明确各因素间的关联关系，例如“执行元件动作迟缓”这一结果，可分解为流量不足、压力过低、元件卡滞等中间事件，再进一步追溯至泵体、阀件、管路等具体原因，帮助全面排查潜在故障点。鱼骨图分析将故障结果作为“鱼头”，将故障原因分为人、机、料、法、环等类别作为“主骨”，再延伸“子骨”细化具体诱因，如“油液污染”故障，可从操作维护（人）、设备密封（机）、油液品质（料）、换油流程（法）、环境粉尘（环）等维度梳理原因，这类方法能避免诊断过程中的遗漏，提升故障定位的系统性与准确性。

2.4 仪器诊断法

仪器诊断法借助专业设备实现高精度故障检测与预测。振动分析仪可检测元件振动特性，采集液压泵、电机等旋转元件的振动信号，通过分析振动频率、幅值等参数，识别元件内部磨损、不平衡或不对中问题，早期微小故障引发的振动变化也能被精准捕捉。频谱分析仪用于噪声频率分析，将采集的噪声信号转化为频谱图，不同故障类型对应特定的频率特征，如液压阀卡滞会产生特定频率的噪声峰值，通过频谱对比可快速判断故障类型。智能诊断系统基于人工智能技术，整合传感器采集的实时数据，利用机器学习算法对系统运行状态进行分析，不仅能识别当前故障，还能通过历史数据建模预测潜在故障风险，提前发出预警，减少突发故障造成的停机损失，这类方法适用于复杂液压系统的精准诊断与健康管理。

3 液压系统典型故障原因分析

3.1 压力异常

液压系统压力异常的核心原因集中在压力生成、调节与保持环节。泵输出压力不足多由自身性能下降或外部因素干扰导致，泵内部元件长期磨损会增大间隙，降低容积效率，无法建立足够压力；泵体密封不良引发泄漏，或吸油过程中混入空气，都会破坏压力连续性，导致输出压力波动^[3]。溢流阀作为压力调节核心元件，阀芯卡滞会使阀门无法正常开启或关闭，无法实现压力溢流

稳压；调压弹簧疲劳失效或调节机构松动，会导致调压范围偏移，无法将系统压力控制在设计区间。系统泄漏分为内泄漏与外泄漏，内泄漏发生在元件内部，如液压缸活塞密封失效，导致高低压腔窜油，外泄漏出现在管路接口或密封件处，两种泄漏都会造成压力损失，使系统压力无法达到工作要求。

3.2 流量异常

流量异常主要与流量生成、控制及传输过程相关。泵流量不足可能是驱动转速低于额定值，导致单位时间内吸排油液体积减少；泵内部磨损、密封失效会降低容积效率，即使转速正常，实际输出流量也会下降。节流阀通过改变通流面积控制流量，若油液中杂质堆积造成阀芯堵塞，或调节机构卡滞导致通流面积无法按需调整，都会引发流量控制偏差。管路作为流量传输通道，过多弯头会增加局部阻力，过小管径会导致整体通流能力不足，两者共同作用会使油液流动受阻，实际流量低于需求值，影响执行元件动作速度。

3.3 动作异常

动作异常与执行元件控制、动力传递及负载适配密切相关。液压缸爬行现象多因系统混入空气，空气压缩性导致油液压力波动，推动活塞运动时出现间歇性停顿；密封件磨损或装配偏差会造成摩擦力不均，活塞受力失衡，也会引发爬行。换向阀负责控制油液流向，油液中污物附着在阀芯表面，会阻碍阀芯移动，导致换向延迟；弹簧疲劳失去弹性或断裂，无法推动阀芯复位，会使换向阀处于异常工作状态，影响执行元件动作切换。系统运行中负载突变会打破原有动力平衡，若液压冲击吸收装置缺失或失效，负载突然增大或减小会导致执行元件动作产生剧烈冲击，影响设备运行稳定性。

3.4 温度异常

温度异常主要由热量生成过多或散热不足导致。冷却系统失效会直接影响散热效果，散热器表面积尘、内部管路堵塞会降低热交换效率，风扇电机故障或转速不足会减少冷却风量，无法及时带走系统热量。油液黏度不当对温度影响显著，黏度过高会增加油液流动阻力，能量损耗转化为热量；黏度过低会加剧元件内部摩擦，同样导致热量生成增加。系统效率低下时，内泄漏严重会使大量压力能转化为热能，如液压泵、液压缸内泄漏，或阀件节流损失过大，都会造成热量累积，使系统温度超出正常运行范围。

4 液压系统故障预防与维护策略

4.1 日常维护要点

日常维护是预防液压系统故障的基础，需聚焦油

液、密封件与管路三大核心环节。油液定期更换与过滤可避免油液变质、污染引发的故障，应根据使用时长与油液状态制定更换周期，更换时需彻底排空旧油，同时清洗油箱内部，防止残留杂质混入新油；日常运行中需定期检查过滤器状态，及时更换堵塞滤芯，确保油液清洁度符合系统要求^[4]。密封件检查与更换需关注易损耗部位，如液压缸活塞杆密封、管路接口密封，定期查看密封件是否存在老化、变形、破损，发现问题及时更换，避免因密封失效引发泄漏。管路紧固与防腐蚀处理需定期检查管卡固定情况，防止管路松动产生振动或位移，对暴露在外的管路可涂抹防腐蚀涂料，避免环境因素导致管路锈蚀，延长管路使用寿命。

4.2 定期检测项目

定期检测通过精准数据监测提前发现潜在故障隐患，保障系统稳定运行。压力与流量校准需使用标准仪器，定期对系统关键节点的压力、流量参数进行检测，对比设计标准值，若存在偏差需及时调整泵、阀等元件参数，确保压力、流量处于正常工作范围，避免参数异常引发连锁故障。滤芯污染度监测需借助专用检测设备，分析滤芯拦截的杂质类型与含量，判断油液污染来源，针对性优化过滤方案，通过污染度数据评估系统清洁状态，为油液更换、元件维护提供依据。元件磨损检测需重点关注泵、阀等核心元件，通过拆解检查或无损检测技术，查看元件内部零件磨损程度，如泵内转子、叶片磨损情况，阀内阀芯、弹簧损耗状态，根据磨损程度制定维修或更换计划，避免元件过度磨损导致系统失效。

4.3 设计优化建议

设计优化从源头降低故障发生概率，提升系统整体可靠性。合理选型需确保泵、阀、缸等元件参数匹配，根据系统工作压力、流量需求选择适配规格的元件，避免元件选型过大造成能量浪费，或选型过小导致元件长期超负荷运行，同时关注元件兼容性，确保不同品牌、型号元件协同工作稳定。管路布局优化需减少不必要的弯头与管路长度，降低油液流动阻力，避免因管路设计不合理产生压力损失或流量波动；同时需考虑管路固有

频率，避免与系统振动频率接近引发共振，可通过增加管路支撑、调整管路走向实现优化。增加防护装置可提升系统抗干扰能力，在吸油口、回油口增设不同精度的过滤器，多层过滤油液杂质，在系统高温区域配置冷却器，控制油液温度，减少温度异常对元件的影响。

4.4 操作规范

规范操作可避免人为因素导致的故障，延长系统使用寿命。避免超载运行需严格遵循系统负载限制，操作时禁止超过设备额定负载，防止元件因受力过大产生变形或损坏，同时避免频繁启停、急加速急减速，减少系统冲击，保护泵、缸等元件。启动前排气处理需在系统启动初期，打开排气阀或操纵执行元件往复运动，排出系统内残留空气，防止空气混入导致动作爬行、压力波动，确保系统启动后运行平稳。温度控制范围管理需监测系统运行温度，通过冷却系统、加热装置调节油液温度，使温度维持在适宜区间，避免温度过高加速油液老化、元件磨损，或温度过低导致油液黏度增大、流动阻力增加，保障系统在最佳温度环境下运行。

结束语

液压系统故障诊断与预防维护是复杂且系统的工作。通过全面了解常见故障分类、掌握多种诊断方法、深入分析典型故障原因，并落实日常维护、定期检测、设计优化及规范操作等策略，可有效降低故障发生率，提升系统可靠性与稳定性。未来，随着技术发展，还需不断探索更先进的诊断与维护手段，以适应液压系统日益复杂的应用需求。

参考文献

- [1]刘志宏,陈晓峰.农业机械液压系统故障诊断与维护技术研究[J].农业装备与机械化,2023,45(6):112-116.
- [2]孙建国,周伟.智能监测技术在农机液压系统预防性维护中的应用[J].农机化研究,2022,44(9):98-102.
- [3]王晓峰.工程机械液压系统的维护与保养[J].设备管理与维修,2024,36(5):89-94.
- [4]刘伟.现代工程机械液压系统的故障预防与维护[J].工程技术,2023,47(4):101-106.