

液压系统故障诊断与检修关键技术研究

周继全

宁夏英力特化工股份有限公司 宁夏 石嘴山 753202

摘要: 本文聚焦液压系统故障诊断与检修关键技术,深入剖析液压系统故障成因及诊断方法,阐述技术要点及预防性维护策略。揭示技术应用成效,旨在为液压系统可靠运行提供技术支持,降低故障率,提高设备可用性与生产效率。

关键词: 液压系统; 故障诊断; 检修技术; 预防性维护

1 引言

液压系统凭借其功率密度大、响应速度快、控制精度高等优势,成为现代工业设备的核心动力与控制单元,广泛应用于工程机械、航空航天、冶金制造等众多领域。它通过液压油传递能量与信号,实现对执行元件的精准动作控制,对设备的运行性能起着决定性作用。然而,液压系统工作环境复杂,长期承受高压、高温及高负荷运转,易出现各类故障。据统计,在工程机械领域,液压系统故障导致的设备停机时间占总停机时间的30%-40%,严重影响生产进度,增加维护成本,甚至可能引发安全事故。因此,深入研究液压系统故障诊断与检修关键技术,对于保障设备可靠运行、降低维护成本、提高生产效益具有至关重要的意义。

2 液压系统故障成因分析

2.1 液压油质量与污染问题

液压油作为液压系统的工作介质,其质量直接影响系统性能。质量差的液压油在抗乳化性、水解稳定性、抗泡性和空气释放性等方面表现不佳,易引发气穴、油液乳化、元件磨损、内泄、油温升高和润滑不良等问题。例如,某系统使用不合格液压油,运行1000小时后水分达0.5%(正常应 $< 0.1%$),导致泵内锈蚀、磨损加剧,容积效率下降10%。此外,液压油易受固体颗粒、水分和空气污染。固体颗粒会磨损元件、损坏密封、卡阻阀门。某系统检测显示颗粒浓度达每毫升30000个(ISO4406标准21/18/15),远超正常值(一般 $< \text{ISO4406}$ 标准18/16/13),造成阀芯磨损、运动阻力增大、出现卡滞。水分使油乳化、润滑性下降、金属锈蚀。空气混入会导致气泡形成,引发气穴腐蚀、振动噪声,并加快油品老化。当空气含量 $> 5%$ 时,系统压力波动显著增加,噪声上升10-15dB。

2.2 系统温度异常

液压系统温度过高或过低均会对系统性能产生不利

影响。温度过高时,油液黏度下降,润滑油膜变薄,破坏润滑链,使液动元件磨损加剧,内泄漏增加。实验表明,当油温从40℃升高至70℃时,液压油的黏度下降约50%,液压泵的容积效率降低8%-12%,执行元件的内泄漏量增加20%-30%。同时,油泵容积效率与效率降低,磨损加剧,使用寿命缩短。油温每升高10℃,液压泵的使用寿命大约缩短一半。热膨胀使配合间隙减小,导致元件失灵或卡死,密封元件变形老化,引发系统漏油^[1]。温度过低时,油液黏度增大,流动性降低,阻力上升,设备启动时需空转暖机,延长启动时间,降低生产效率。在环境温度低于-10℃时,某液压系统启动时间比正常温度下延长了3-5分钟,且系统压力建立缓慢,执行元件动作迟缓。

2.3 使用与维护不当

使用过程中超载、操控用力过猛、盲目拆卸、不按时更换滤芯及液压油、任意调整控制系统等不当操作,会增加设备故障频率,降低设备使用寿命。例如,某起重机的起吊超过额定载荷20%的重物时,液压系统压力瞬间升高至30MPa(额定压力为25MPa),导致液压泵内部零件损坏,压力控制阀失效,系统无法正常工作。维护方面,若未按照规范进行定期检查、保养与维修,不能及时发现并处理潜在故障,也会导致故障扩大,影响设备正常运行。据统计,因未按时更换滤芯导致的液压系统故障占总故障数的25%-30%。滤芯堵塞后,液压油的通过阻力增大,系统压力升高,容易引发液压泵过载、密封件损坏等问题。

3 液压系统故障诊断关键技术

3.1 仪表测量检查法

压力测量:液压系统压力测量一般选择泵的出口、执行元件的入口、多回路系统中每个回路的入口、故障可疑元件的出入口等关键点进行。将所测数据与液压系统原理图上标注的相应点数据对照,可判定所测点前后

油路上的故障情况。测量时需准备不同量程的压力表，以提高测量准确性，量程过大测量精度不够，量程过小则会损坏压力表；同时，要准备多种常用测压接头，满足与系统中元件、油管接口连接的需要。例如，在测量某液压系统的泵出口压力时，选用量程为0-40MPa的压力表，测量值为22MPa，而该系统泵出口的正常压力应为25MPa，由此判断泵出口压力偏低，可能存在泵内部泄漏或压力控制阀故障。

流量测量：流量大小可通过执行元件动作快慢做出粗略判断，但元件内泄漏只能通过流量测量来判断。由于液压系统所设测压接头较少，测量流量时可能需制作相应测压接头。在某液压系统中，执行元件动作缓慢，通过流量测量发现，实际流量仅为额定流量的70%，进一步检查发现是液压阀内泄漏严重导致。

油温测量：使用温度计测量液压液体温度，判断温度是否在正常范围内。温度过高或过低均会影响系统性能，需结合系统运行工况与冷却、加热系统状态，分析温度异常原因并采取相应措施^[2]。在某液压系统中，测量得到油温为80℃，而该系统正常工作油温范围为50-70℃，分析可能是冷却系统故障导致油温过高。检查冷却系统发现，冷却风扇损坏，无法正常散热，更换冷却风扇后，油温恢复正常。

3.2 逻辑分析法

随着液压技术发展，液压系统日益复杂精密，逻辑分析法在故障诊断中作用凸显。逻辑分析法以机器本身情况查看液压系统执行机构工作情况，分析故障是否由外部因素造成，缩小故障排查范围。确定为液压系统内部故障后，综合考虑液压、机械、电子等多学科因素，列出可能故障原因，对液压系统各个部件进行仔细检查，查看各回路是否正常，有无渣子堵塞油管。根据检查结果，针对每个可能出现故障的零件进行检查，最终确定故障部位。例如，某液压设备执行元件动作异常，首先检查外部负载情况，发现负载正常。然后分析液压系统，列出可能故障原因，如液压泵故障、液压阀故障、油管堵塞等。通过测量压力、流量等参数，发现液压泵出口压力正常，但执行元件入口压力偏低，进一步检查发现油管存在堵塞现象，清理油管后，执行元件动作恢复正常。诊断完成后，需总结经验，为后续维护提供参考。

3.3 对比替换检查法

两台机械对比试验：用两台型号、性能参数相同的机械进行对比试验，对可疑元件用新件或完好机械的元件进行代换，再开机试验，如性能变好，则故障元件确

定；否则，继续检查其余部件。例如，在某生产线上的两台相同型号的液压机中，一台出现压力不足故障，另一台正常。将两台液压机的液压泵进行互换，开机后发现故障液压机压力恢复正常，而正常液压机出现压力不足现象，由此确定原故障液压机的液压泵损坏。

双泵或多泵双回路系统对比替换：对于采用双泵或多泵双回路系统的机械，替换法更为方便。许多系统的连接采用高压软管，为替换法实施提供了便利条件。遇到可疑元件，更换另一回路的完好元件时，只需更换相应的软管接头即可。例如，交换两回路的液压泵软管接头，一次就可排除其存在故障的可能性^[3]。在某双泵双回路液压系统中，一个回路压力异常，通过交换两回路液压泵的软管接头，发现压力异常现象随之转移，从而确定是原回路液压泵故障。

3.4 基于信号处理与深度学习的方法

基于信号处理的方法：通过振动、声音、温度和压力等状态信号，利用特征提取和模式识别技术提取关键故障特征。该方法在智能故障诊断中应用广泛，尤其是在深度学习技术的支持下，可实现对液压系统异常或故障状态的及时准确诊断。例如，对液压系统的振动信号进行分析，提取不同故障类型的特征频率。当液压泵出现轴承故障时，其振动信号中会出现特定的特征频率，通过傅里叶变换等信号处理技术，将时域信号转换为频域信号，分析频率成分，可准确判断轴承故障。结合模式识别算法，如支持向量机（SVM）、人工神经网络（ANN）等，对提取的特征进行分类识别，判断故障部位与程度。

基于深度学习的方法：利用深度信念网络（DBN）等深度学习模型，结合滑动窗口频谱特征，实现对液压系统异常或故障状态的及时准确诊断。深度学习模型可处理大量复杂数据，自动学习故障特征与模式，提高故障诊断的准确性与效率。例如，收集液压系统在不同工况下的振动、声音、压力等信号数据，构建深度学习模型训练集。将数据输入深度信念网络进行训练，模型自动学习正常状态与各种故障状态下的特征模式。在实际诊断中，将实时采集的信号数据输入训练好的模型，模型输出诊断结果，判断系统是否存在故障及故障类型。实验表明，基于深度学习的方法在液压系统故障诊断中的准确率可达90%以上。

4 液压系统检修关键技术

4.1 分解检修注意事项

工作场所清洁：分解检修工作场所应保持清洁，最好在净化车间内进行，防止杂质混入液压系统。空气中

灰尘颗粒浓度应控制在每立方米不超过1000个。

油管编号与包扎：分解比较复杂的管路时，在每根油管的连接处扎上有编号的白铁皮片或塑料片，便于装配，防止装错。拆卸油管时，事先将油管连接部位周围清洗干净，分解后在油管开口部位用干净的塑料制品或石蜡纸包扎好，不能用棉纱或破布堵塞，避免杂质混入。

工具使用与零件保存：分解时最好用适当的工具，以免将内六角和尖角弄破或将螺钉拧断等。各液压元件和其零部件应妥善保存和放置，不要丢失。对于精密零件，要放在专用的零件盒内，避免碰撞和划伤。

清洗与装配要求：分解后再装配时，各零部件必须清洗干净。装配前，O形密封圈或其他密封件应浸放在油液中，以待使用，装配时或装配好以后，密封圈不应有扭曲现象，且要保证滑动过程中的润滑性能。安装或检修时，应将O形密封圈或其他密封件相接触部件的尖角修钝，以免划伤密封圈。

拧紧力控制：在安装液压系统元件或管接头时，不要用过大的拧紧力，尤其要防止液压元件壳体变形，滑阀的阀芯不能滑动、接合部位漏油等现象。不同规格的螺栓和螺母有不同的拧紧力矩要求，例如，M10的螺栓拧紧力矩一般为25-35N·m。

4.2 关键元件检修

液压泵检修：检查液压泵内部零件磨损情况，如齿轮泵的齿轮、轴向柱塞泵的柱塞与缸体等。对于磨损严重的零件，需及时更换。同时，检查液压泵的密封性能，修复或更换损坏的密封件，确保液压泵正常工作。例如，齿轮泵齿轮端面磨损超过0.1mm时，应进行修复或更换；轴向柱塞泵柱塞与缸体配合间隙超过0.03mm时，需进行修复或更换。

液压阀检修：液压阀是液压系统控制元件，易出现卡阻、泄漏等问题。检修时，需清洗液压阀内部，去除杂质与污垢。检查阀芯与阀体配合间隙，如间隙过大，需进行修复或更换。对于损坏的弹簧等零件，也需及时更换^[4]。例如，液压阀阀芯与阀体配合间隙一般应控制在0.01-0.02mm，当间隙超过0.03mm时，会影响阀的正常工作。

液压缸检修：检查液压缸活塞密封件磨损情况，更换老化或损坏的密封件，防止内泄漏。同时，检查液压缸缸筒内壁磨损与划伤情况，如磨损严重，需进行修复或更换液压缸。例如，活塞密封件磨损后，内泄漏量超

过额定流量的5%时，应更换密封件；缸筒内壁划伤深度超过0.1mm时，需进行修复。

4.3 预防性维护策略

定期检查与保养：制定详细的定期检查与保养计划，按照计划对液压系统进行全面检查，包括液压油质量检测、元件外观检查、压力与流量测量等。及时更换老化或损坏的零件，清洗或更换滤芯，保持液压系统清洁。例如，液压油每运行2000-3000小时应进行一次质量检测，根据检测结果决定是否更换；滤芯每运行500-1000小时应进行清洗或更换。

液压油管理：选择质量合格的液压油，严格按照规定更换液压油，避免不同品牌、型号的液压油混用。定期监测液压油中水分、杂质含量，当水含量或杂质含量超标时，及时进行处理。同时，注意液压油的储存与使用环境，防止油液受到污染。例如，液压油的储存温度应控制在5-40℃，避免阳光直射和潮湿环境。

操作培训与规范：加强对操作人员的培训，使其熟悉液压系统的工作原理、操作规程与维护要点。规范操作行为，避免超载、操控用力过猛等不当操作，减少因人为因素导致的故障。例如，操作人员应严格按照设备的额定载荷进行操作，起吊重物时不得超过额定载荷的90%。

结语

液压系统故障诊断与检修技术对保障设备可靠运行、降低维护成本、提高生产效益至关重要。通过分析故障类型与成因，掌握仪表测量、逻辑分析、对比替换及信号处理与深度学习等关键技术，可提升诊断与检修的效率与准确性。实际应用中应灵活运用各类技术。随着液压技术的发展，诊断技术也将持续完善，以适应更复杂系统的需求。

参考文献

- [1] 栗琦,徐海龙,张丽丽.工程机械液压系统故障诊断与智能监测研究[J].机械管理开发,2025,40(04):92-94.
- [2] 王海涛.液压系统油液分析信息融合故障诊断模型研究[J].液压气动与密封,2025,45(03):83-89.
- [3] 刘骏.液压系统压力异常故障诊断方法研究与应用[J].今日制造与升级,2024,(07):112-114.
- [4] 李国昌.液压传动系统常见故障诊断与维修策略探析[J].中国机械,2024,(20):109-112.