

机电工程液压系统泄漏检测与故障定位技术研究进展

孙 莉

浙江晨欧机电工程有限公司 浙江杭州 310000

摘 要: 本文对机电工程液压系统泄漏检测与故障定位技术的研究进展进行了综述。介绍了液压系统泄漏的危害和检测定位的重要性,详细分析了当前主要的泄漏检测技术,包括基于压力、流量、温度等物理参数的检测方法,以及基于声发射、红外热成像等无损检测技术;探讨了故障定位技术,如基于传感器网络、专家系统和机器学习的定位方法。总结了各种技术的优缺点和适用范围,并对未来的研究方向进行了展望。

关键词: 机电工程; 液压系统; 泄漏检测; 故障定位

引言

液压系统在机电工程中应用广泛,具有功率密度大、响应速度快、控制精度高等优点。然而,液压系统的泄漏问题一直是影响其可靠性和工作效率的重要因素。泄漏不仅会导致液压油的浪费、环境污染,还可能引发系统压力不稳定、执行元件动作异常等故障,严重时甚至会影响整个机电设备的正常运行。因此,准确、及时地检测液压系统的泄漏并进行故障定位,对于保障液压系统的安全可靠运行具有重要意义。

一、液压系统泄漏的危害

(一) 环境污染

液压油泄漏到环境中危害极大。它会渗入土壤,改变土壤结构与成分,影响植被生长;流入水源后,会造成水体污染,破坏水生态平衡。在食品加工、制药这类对环境要求严苛的行业,哪怕微量液压油泄漏都可能混入产品,导致产品污染,严重影响产品质量,损害企业辛苦建立的声誉。

(二) 能源浪费

液压油泄漏意味着系统能量的无谓损失。液压系统运行时需耗费大量能量维持压力和流量,而泄漏使部分能量以热能形式散失^[1]。这不仅降低了系统能量利用效率,还显著增加了能源消耗,提高了企业的运行成本,长期来看是一笔不小的开支。

(三) 系统性能下降

泄漏会破坏系统压力的稳定性,致使执行元件动作出现偏差。以工程机械为例,液压系统泄漏可能让起重臂动作变得迟缓、不灵活,工作装置运动速度不一致,严重影响系统的控制精度和工作效率,降低了设备的作

业质量和生产效率。

(四) 设备损坏

长期泄漏会使液压系统内液压油不断减少,致使油泵吸空,加速油泵、油缸等液压元件的磨损,大幅缩短设备使用寿命。同时,泄漏的液压油会侵蚀设备的密封件、管道等部件,使泄漏问题愈发严重,甚至可能引发安全事故,危及操作人员的生命安全。

二、液压系统泄漏检测技术

(一) 基于物理参数的检测方法

1. 压力检测法

压力在液压系统里是极为关键的物理参数,监测系统压力变化能判断有无泄漏。据相关研究,在一些常见的工业液压系统中,正常工作压力范围通常在10~20MPa。当液压系统发生泄漏时,系统压力会下降。压力检测法一般采用压力传感器实时监测系统压力,并把压力信号传输到控制系统分析处理。若压力下降超过设定阈值,就判定系统存在泄漏。例如,某液压系统设定压力阈值为正常压力的90%,当压力从15MPa下降到13.5MPa以下时,就可判断系统可能有泄漏。

该方法原理简单、成本低,适用于大多数液压系统。压力传感器价格相对较为便宜,一般普通工业用压力传感器价格在几百元左右。然而,它只能检测较大的泄漏,对于微小泄漏检测灵敏度低,且无法准确确定泄漏位置。研究表明,当泄漏量小于系统流量的5%时,压力变化可能不明显,难以通过压力检测法发现^[2]。

2. 流量检测法

流量检测法是通过测量液压系统中流体流量判断是否泄漏。正常情况下,液压系统流量相对稳定,如某液压系统正常流量为50L/min。当发生泄漏时,系统实际流

量会大于理论流量。流量检测法通常用流量计测量系统流量,并与理论流量比较。若实际流量与理论流量差值超过一定范围,就判断系统存在泄漏。比如,当该系统实际流量达到55L/min且理论流量无变化时,可能存在泄漏。

此方法能检测出微小泄漏,检测精度较高。但流量计安装和维护成本较高,一台高精度的流量计价格可能在数千元甚至上万元。并且在一些复杂液压系统中,由于流量波动大,可能影响检测准确性。在一些具有多个执行元件频繁动作的液压系统中,流量波动可能达到10-15L/min,这就增加了判断泄漏的难度^[3]。

3. 温度检测法

液压系统工作时会产生热量,正常情况下系统温度分布相对稳定。以某液压系统为例,正常工作时整体温度维持在40-60℃。当发生泄漏时,泄漏点附近液压油与周围环境热交换,导致泄漏点附近温度升高。温度检测法通过温度传感器测量系统温度,并将温度信号传输到控制系统分析处理。若某个部位温度升高异常,就判断该部位可能存在泄漏。比如,某部位温度从正常的50℃突然升高到70℃,则可能有泄漏。

温度检测法可检测到一些隐藏泄漏点,适用于不易直接观察的部位。但温度变化受环境因素影响大,检测结果可靠性相对较低。在高温环境下,环境温度可能使系统整体温度升高10-20℃,这就增加了判断泄漏导致温度异常升高的难度。

(二) 无损检测技术

1. 声发射检测技术

声发射是材料受力变形或断裂过程中产生弹性波的现象。当液压系统发生泄漏时,泄漏的液压油与周围介质摩擦和碰撞,产生声发射信号。声发射检测技术通过安装在液压系统表面的声发射传感器接收声发射信号,并对信号分析处理,判断是否存在泄漏。

该方法能实时监测系统泄漏情况,检测灵敏度高,可检测到微小泄漏。在实际应用中,能检测到泄漏量仅为系统流量1%左右的微小泄漏。但声发射信号易受外界噪声干扰,信号处理和分析难度大,需专业技术人员操作。在工厂车间等嘈杂环境中,外界噪声强度可能达到80-90dB,会严重干扰声发射信号的检测^[4]。

2. 红外热成像检测技术

红外热成像检测技术利用红外热像仪检测物体表面红外辐射能量,并转换为温度图像。当液压系统发生泄漏时,泄漏点附近温度升高,在红外热像图上会显示明显热异常区域。通过分析红外热像图,可快速准确确定

泄漏位置。

该方法检测速度快、直观,能检测到一些隐藏泄漏点,适用于大面积泄漏检测。例如,在对一个大型液压设备进行检测时,能在短时间内扫描较大面积。但红外热像仪价格较高,一台高性能的红外热像仪价格可能在数万元。且在一些复杂环境中,由于温度不均匀分布,可能影响检测准确性。在有阳光直射或周围有高温设备的环境中,温度不均匀可能导致热像图出现误判。

3. 超声波检测技术

超声波检测技术利用超声波在介质中传播时遇到界面会发生反射和折射的原理检测泄漏。当液压系统发生泄漏时,泄漏的液压油形成泄漏通道,超声波传播中遇到泄漏通道会反射,通过接收反射波并分析其特征,判断是否存在泄漏。

该方法检测灵敏度高,可检测到微小泄漏,对检测环境要求较低。能够检测到直径小于1mm的泄漏通道。但超声波在传播过程中会受介质影响,检测结果准确性可能受一定影响。在含有气泡或杂质较多的液压油中,超声波传播会受到干扰,影响检测结果。

三、液压系统故障定位技术

(一) 基于传感器网络的定位方法

基于传感器网络的定位方法是在液压系统中布置多个传感器,实时监测系统各部位物理参数,如压力、流量、温度等。通过对传感器数据的分析和处理,建立系统状态模型,根据模型判断系统是否存在故障以及故障位置。

该方法能全面、实时监测系统运行状态,定位精度较高。在一个有多个液压回路的系统中,能准确判断出具体哪个回路出现故障。但传感器网络建设和维护成本较高,布置一套完整的传感器网络可能需要数万元。且需要大量传感器数据进行分析处理,对数据处理和分析能力要求较高。一个中等规模的液压系统,每天产生的传感器数据量可能达到数GB。

(二) 基于专家系统的定位方法

专家系统是基于知识的智能系统,将领域专家知识和经验以规则形式存储在知识库中,通过推理机对输入的故障信息进行推理和判断,确定故障位置和原因。基于专家系统的故障定位方法是将液压系统故障诊断知识和经验总结成规则,建立专家系统知识库。当系统发生故障时,将故障信息输入专家系统,专家系统通过推理机分析处理,并根据知识库规则给出故障定位结果和解决方案^[5]。

该方法能充分利用领域专家知识和经验,诊断结果可靠性较高。在处理常见的液压系统故障时,准确率可达80%以上。但专家系统知识库需要不断更新和完善,以适应不断变化的液压系统故障情况,且知识获取和规则表示难度较大。随着液压系统技术的不断发展,每年可能会出现5-10种新的故障类型,需要及时更新知识库。

(三) 基于机器学习的定位方法

机器学习是让计算机通过数据学习自动提高性能的技术。基于机器学习的故障定位方法利用大量液压系统故障数据进行训练,建立故障预测模型。当系统发生故障时,将故障数据输入训练好的模型,模型通过学习和推理给出故障定位结果。常用机器学习算法包括神经网络、支持向量机、决策树等。

该方法能自动从大量数据中学习故障特征,具有较强自适应能力和泛化能力。在处理不同工况下的液压系统故障时,都能有较好的表现。但需要大量故障数据进行训练,训练时间较长,且模型解释性较差。训练一个复杂的神经网络模型可能需要数周甚至数月时间,并且难以直观解释模型是如何得出故障定位结果的。

四、研究展望

(一) 多传感器融合技术

单一的检测技术往往存在一定的局限性,无法满足复杂液压系统泄漏检测和故障定位的需求。未来的研究可以将多种检测技术进行融合,如将压力检测、精准感知压力变化以判断系统压力异常;流量检测,通过分析流量波动明确流体输送状态;声发射检测,捕捉泄漏产生的声信号等技术相结合。充分发挥各传感器的优势,不同传感器从不同维度获取信息,相互补充,提高检测的准确性和可靠性。同时,通过多传感器融合技术可以获得更全面的系统信息,涵盖压力、流量、声音等多方面,为故障定位提供更丰富的依据。

(二) 智能诊断技术的发展

随着人工智能技术的不断发展,智能诊断技术在液压系统故障诊断中的应用将越来越广泛。未来的研究可以进一步深入探索机器学习、深度学习等智能算法在液压系统故障诊断中的应用,提高故障诊断的智能化水平。例如,利用深度学习算法对大量的故障数据进行学习和分析,深度学习具有强大的特征提取和模式识别能力,能从海量数据中挖掘潜在规律,建立更加准确的故障预测模型,实现对液压系统故障的自动诊断和预警,提前发现故障迹象,减少故障损失。

(三) 在线监测与远程诊断技术

为了提高液压系统的可靠性和维护效率,未来的研

究可以加强在线监测与远程诊断技术的开发。通过建立液压系统的在线监测平台,实时采集系统的运行数据,如压力、温度、流量等关键参数,并将数据传输到远程服务器进行分析处理。技术人员可以通过互联网随时随地对液压系统的运行状态进行监测和诊断,无需现场操作,及时发现潜在的故障隐患,并采取相应的措施进行处理,提高维护的及时性和针对性。

(四) 微泄漏检测技术的研究

微小泄漏是液压系统泄漏检测中的难点问题,目前的检测技术对微小泄漏的检测灵敏度还不够高。未来的研究可以重点关注微泄漏检测技术的开发,提高检测微小泄漏的能力。例如,研究基于纳米传感器、具有超高灵敏度可检测极微小变化;光纤传感器,能利用光信号准确感知微小泄漏等新型传感器的微泄漏检测技术,以及开发更加先进的信号处理和分析算法,以提高微泄漏检测的准确性和可靠性,有效解决微小泄漏难以检测的难题。

结论

本文对机电工程液压系统泄漏检测与故障定位技术的研究进展进行了全面的综述。分析了液压系统泄漏的危害,介绍了当前主要的泄漏检测技术和故障定位技术,并总结了各种技术的优缺点和适用范围。随着科技的不断发展,液压系统泄漏检测与故障定位技术也在不断进步。未来的研究应朝着多传感器融合、智能诊断、在线监测与远程诊断以及微泄漏检测等方向发展,以提高液压系统的可靠性和安全性,降低运行成本,推动机电工程领域的发展。

参考文献

- [1] 孙洁, 许清河, 孙晔, 等. 基于物联网技术的动态GRNN模型的液压系统故障检测研究(英文)[J]. 机床与液压, 2020, 48(18): 8.
- [2] 刘水明, 陈晨, 周方云, 等. 辅助液压系统失效的高效故障诊断技术的应用研究[J]. 新技术新工艺, 2022(10): 102-108.
- [3] 张晓娟. 飞机电传刹车系统失控故障诊断研究[J]. 机床与液压, 2020(10).
- [4] 范伟军, 翟俭超, 李君, 等. 电动助力器传动故障在线振动检测系统的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2020(3): 6.
- [5] 冯蕴雯, 潘维煌, 路成, 等. 基于逻辑图的国产民机液压系统故障诊断与定位[J]. 西北工业大学学报, 2022(004): 040.