

电磁换向阀阀芯卡滞故障的原因分析及预防措施研究

谢欣 田燕宾 王清山

石家庄海山实业发展总公司 河北石家庄 050200

摘要: 电磁换向阀作为液压传动与控制系统中的关键控制元件,其工作可靠性直接影响整个系统的运行稳定性。阀芯卡滞是电磁换向阀常见且危害较大的故障类型,不仅会导致阀件功能失效,还可能引发整个液压系统的停机故障,造成经济损失。本文以电磁换向阀阀芯与阀套的相互作用关系为核心研究切入点,深入剖析阀芯卡滞故障的形成机理与关键影响因素,从设计、制造、安装、使用及维护等多个环节,系统提出针对性的预防措施,旨在为提升电磁换向阀的运行可靠性、减少卡滞故障发生率提供理论支撑与实践参考。

关键词: 电磁换向阀; 阀芯卡滞; 故障原因; 预防措施; 阀芯阀套

引言

在现代工业领域,液压传动与控制系统凭借其功率密度大、控制精度高、响应速度快等优势,被广泛应用于工程机械、机床设备、冶金机械、航空航天等诸多领域。电磁换向阀作为液压系统中的“神经中枢”,承担着控制液压油液流向、压力及流量的重要职能,其工作性能直接决定了液压系统的整体运行效果。然而,在实际运行过程中,电磁换向阀易受多种因素影响出现各类故障,其中阀芯卡滞故障最为典型。阀芯卡滞会导致阀件无法按照控制信号正常切换工作位置,轻则造成系统动作延迟、精度下降,重则引发设备停机、生产中断,甚至引发安全事故。

一、电磁换向阀阀芯卡滞故障的原因分析

(一) 阀芯与阀套配合精度不足

阀芯与阀套的配合精度是决定阀芯运动灵活性的核心,其配合间隙、形位公差及表面质量若不达标,易直接引发卡滞。制造环节中,若阀芯外圆与阀套内孔尺寸公差失控,会导致配合间隙异常:间隙过小会显著增大摩擦阻力,低温环境下油液黏度升高更会加剧这一问题,使阀芯难以移动;间隙过大虽能减少摩擦,但会增加油液泄漏量,且杂质颗粒更易进入间隙,随阀芯运动形成“研磨效应”,破坏配合面光滑度,甚至导致阀芯卡死^[1]。此外,阀芯直线度、圆柱度及阀套同轴度若存在偏差,会使阀芯运动时出现局部接触应力集中,长期往复运动下,配合面易出现磨损、刮伤,形成不规则凸起或凹陷,进一步增大摩擦;若配合面表面粗糙度不达标,微小凸起

在无油膜润滑时易产生“咬合”,迅速发展为卡滞故障。

(二) 油液污染导致配合面损伤

液压油兼具动力传递与配合面润滑、冷却、防锈功能,一旦污染,其含有的杂质颗粒、水分、氧化产物会破坏配合面状态,诱发卡滞。杂质颗粒是最常见污染物,来源包括安装残留的金属碎屑、焊渣,元件磨损产生的颗粒及油液储运过程中混入的杂质。当颗粒尺寸与配合间隙接近时,会卡在配合面之间,随阀芯运动划伤、研磨配合面,形成沟槽或麻点,既增大摩擦阻力,又加剧油液泄漏,形成“污染—损伤—卡滞”的恶性循环。水分进入油液会破坏润滑性能,使配合面难以形成油膜,导致干摩擦或边界摩擦,摩擦阻力骤增;同时,水分与油液添加剂反应生成的酸性物质会腐蚀阀芯、阀套金属表面,形成锈蚀斑点,改变配合面形貌,增大运动阻力,严重时还会导致阀芯与阀套“粘连”。此外,油液氧化产生的胶质、沥青质会附着在配合面上,形成黏稠沉积物,堵塞配合间隙,阻碍阀芯运动。

(三) 温度变化引起配合状态异常

温度变化会通过影响阀芯、阀套材质及液压油性能,改变二者配合状态。阀芯与阀套多采用不同材质,线膨胀系数差异较大:系统温度升高时,若阀芯线膨胀系数大于阀套,配合间隙会缩小,温度过高时甚至可能出现过盈配合,使摩擦阻力急剧增大,阀芯无法正常运动;温度降低时,油液黏度显著升高,流动性变差,配合间隙内油液流动阻力增大,若阻力超过电磁铁驱动力,阀芯会出现运动迟缓或卡滞。同时,温度升高会降低油液黏度,减薄油膜厚度,当油膜无法完全分隔配合面时,

会出现局部金属接触，加剧摩擦磨损；温度剧烈波动还会导致配合面出现热疲劳损伤，产生微小裂纹，这些裂纹易附着杂质颗粒，进一步加剧卡滞风险。

（四）安装与维护不当破坏配合关系

安装质量与维护水平直接影响阀芯与阀套配合关系。安装时，若阀件安装不平整、与其他元件连接存在同轴度偏差，会使阀芯承受额外径向力，导致阀芯与阀套内壁局部挤压，增大摩擦阻力，长期运行下配合面会出现不均匀磨损，破坏配合精度；若安装前未彻底清洗液压系统，管道内残留的杂质会进入阀件，污染油液并损伤配合面，为卡滞埋下隐患。维护环节中，未定期更换液压油和滤芯会导致油液污染加剧，杂质在配合间隙积累，加剧磨损；选用错误牌号的液压油，其黏度、润滑性等无法满足要求，会破坏配合面润滑状态；随意拆卸阀件且未按正确工艺组装，可能导致阀芯与阀套相对位置偏移，或在配合面混入杂质；长期不检测阀件性能，无法及时发现阀芯灵活性下降、油液泄漏等问题，会使故障逐渐积累，最终引发卡滞。

（五）电磁铁驱动力不足或性能衰退

电磁铁为阀芯运动提供动力，需克服摩擦阻力、油液阻力等，若驱动力不足或性能衰退，会间接导致阀芯卡滞。驱动力不足的原因包括：电磁铁设计参数不合理，电磁吸力无法达标；线圈出现短路、断路或绝缘老化，导致电流减小、吸力下降；工作电压不稳定且低于额定值，或铁芯与阀芯连接间隙过大，降低吸力传递效率，使实际作用于阀芯的驱动力不足。电磁铁性能衰退多因长期运行中线圈发热导致绝缘层老化，或铁芯表面锈蚀、磨损，影响吸力产生与传递。随着性能衰退，驱动力逐渐减小，当小于阀芯运动所需总阻力时，阀芯会出现运动迟缓、停滞；若电磁铁衔铁本身卡滞，也会间接导致阀芯无法正常运动，表现为阀芯卡滞故障。

二、电磁换向阀阀芯卡滞故障的预防措施

（一）优化阀芯与阀套的设计与制造工艺

优化阀芯与阀套的设计参数和制造工艺是保证二者配合精度、预防卡滞故障的基础。设计时，必须根据电磁换向阀工作压力、流量、工作温度等工况条件，合理确定阀芯与阀套的配合间隙：对高压、高精度的阀件，配合间隙要小的，以保证密封性和控制精度，但要求在工作温度范围内，配合间隙不会因热胀冷缩而消失；对于低压、大流量的阀件，配合间隙可适当增大，以减少摩擦阻力，降低卡滞风险。同时，要合理选择阀芯与阀

套的材质，优先选择线膨胀系数相近的材料，减少温度变化对配合间隙的影响，如阀芯选用1Cr18Ni9Ti不锈钢，阀套选用QT450-10球墨铸铁，两者线膨胀系数差别较小，可以减少温度引起的卡滞。在制造过程中，应严格控制阀芯与阀套的尺寸公差、形位公差、表面质量：用数控车床、磨床等高精度加工设备加工阀芯外圆和阀套内孔，尺寸公差符合设计要求，圆柱度误差小于0.005mm，直线度误差小于0.003mm/m；配合面进行精密磨削、抛光，表面粗糙度Ra控制在0.2-0.4 μ m之间，减少摩擦阻力和杂质颗粒的附着；利用先进的检测设备，如三坐标测量仪、表面粗糙度仪等对加工后的零件进行全方位检测，保证不合格零件不进入装配环节。此外，可在阀芯表面采用化学镀镍磷合金、氮化等表面处理工艺，提高配合面的硬度、耐磨性和耐腐蚀性，延长阀芯与阀套的使用寿命，减少卡滞故障的发生。

（二）加强液压油污染控制

加强液压油污染控制，保持油液清洁，是防止阀芯卡滞故障的措施。首先，在液压系统的设计阶段，合理配置过滤系统：在液压泵的吸油口设置粗过滤器，防止大颗粒杂质进入泵体；在系统的压力油路上设置精过滤器，过滤精度不低于10 μ m，确保进入电磁换向阀的油液清洁度符合要求；在系统的回油路上设置回油过滤器，过滤油液中的杂质颗粒，防止污染油液循环使用。同时，选用过滤性能好、纳污容量大、抗压性强的过滤器，定期检查过滤器的工作状态，及时更换滤芯，防止滤芯堵塞造成油液污染。其次，在液压油的储存、运输和加注过程中，要采取有效的防污染措施：液压油应储存于清洁、干燥、通风的环境中，不得有阳光直射和雨淋；储存容器应密封良好，避免灰尘、水分等杂质混入；在加注油液前，应对加油设备、加油口进行彻底的清洁，避免杂质随油液进入系统；加注的油液应经过过滤，确保油液的清洁度符合系统要求。另外，还应对液压油的性能进行经常性的检测，如粘度、水分、污染度、氧化程度等指标，一旦油液性能超标，应及时更换新油，避免因油液性能劣化而引起配合面的损伤和卡滞故障。

（三）控制工作温度稳定

控制液压系统的工作温度稳定，减少温度波动对阀芯与阀套配合关系的影响，是预防卡滞故障的重要措施。在液压系统的设计阶段，必须合理地配置冷却、加热装置：对于大功率、高发热的系统，要设置冷却装置，如风冷式冷却器、水冷式冷却器等，将系统的工作温度控

制在30~50℃的最佳范围内；对于在低温环境下工作的系统，要设置加热装置，如电加热管等，在系统启动前对油液进行加热，使油液的黏度降到合适的范围内，防止低温启动时阀芯卡滞。同时，在系统中应设置温度传感器，对油液温度进行实时监测，通过控制系统自动调整冷却或加热装置的工作状态，确保温度稳定。在系统运行过程中，应避免长时间超负荷运行，减少系统发热；合理安排设备的工作周期，避免设备连续长时间满负荷工作，给系统留出散热时间；定期检查冷却装置的工作状态，清理冷却器表面的灰尘、油污，保证冷却效果；如发现系统温度异常升高，应及时停机检查，排除故障，避免温度过高导致配合间隙减小或油液性能劣化。另外，可在液压油中添加抗磨剂、黏度指数改进剂等，以改进油液高温润滑性及低温流动性，降低温度变化对阀芯运动的影响。

（四）规范安装与维护流程

规范电磁换向阀安装与维护流程，避免人为因素破坏阀芯与阀套的配合关系，是防止卡滞故障的重要保证。在安装过程中要严格按照安装说明书的要求进行操作：首先对液压系统的管道、阀块进行彻底的清洗，将管道内的金属碎屑、焊渣、灰尘等杂质洗掉，清洗后用压缩空气吹干，确保管道的清洁；其次检查电磁换向阀的型号、规格是否符合设计要求，检查阀芯、阀套的配合精度，确保阀件完好无损；阀件安装要保证安装位置平整，与管道的连接同轴度偏差不大于0.1mm/m，避免阀芯产生额外的径向力；安装完成后，应对系统进行排气和空载试运行，检查阀芯运动是否灵活，有无卡滞、泄漏等现象，确认无误后再投入正常运行。在维护过程中要做好维护计划，定期检查维护电磁换向阀：按周期更换液压油及滤芯，更换前对系统进行清洗，避免旧油中的杂质污染新油；定期检查阀件外观及连接部位，看有无泄漏、松动等现象，发现泄漏及时更换密封件；定期对电磁铁的性能进行检测，测得线圈的电阻值、工作电压、电流，看衔铁的运动是否灵活，发现电磁铁性能衰退及时维修或更换。

（五）提升电磁铁性能与可靠性

提高电磁铁的性能与可靠性，保证它有足够的驱动力，是防止阀芯卡滞故障的重要环节。在电磁铁的设计

与制造过程中要优化设计参数，提高电磁吸力：合理确定线圈匝数、导线截面积和铁芯尺寸，使电磁铁的额定电磁吸力满足阀芯运动的需要；铁芯选用高强度、高导磁率的材料，减少磁阻，提高电磁吸力的传递效率；对线圈进行绝缘处理，选择耐高温、耐老化的绝缘材料，提高线圈的绝缘性能和使用寿命。

结论

电磁换向阀阀芯卡滞故障是由于阀芯与阀套配合关系破坏和油液污染、温度变化、安装维护不当、电磁铁性能衰退等多种因素导致的。其中阀芯与阀套配合精度是影响阀芯运动灵活性的核心因素，其余因素均通过影响二者配合状态间接或直接诱发卡滞。所以，要预防阀芯卡滞故障，必须以保障阀芯和阀套的良好配合为核心，从全生命周期视角构建多维度防控体系。从实践应用来看，优化阀芯与阀套的设计制造工艺是基础保障，通过精准控制配合间隙、形位公差与表面质量，可从源头减少卡滞隐患；加强油液污染控制与温度稳定控制，是维持配合面良好工作状态的关键手段，能有效避免外部环境因素对配合关系的破坏；规范安装与维护流程，可规避人为操作失误对配合精度的损害；提升电磁铁性能，则能确保阀芯运动获得充足动力，避免因驱动力不足导致配合面摩擦阻力相对过大而引发卡滞。

参考文献

- [1] 史衍可.HXD1型交流电力机车高速电磁阀故障原因分析及改进措施[J].科技创新与应用, 2024, 14(26): 142-145.
- [2] 刘嘉成, 汪庆云, 李宇飞, 张光艺.纯电动商用车电磁阀阀芯失效故障分析[J].汽车电器, 2024, (08): 28-30.
- [3] 戚振红, 唐剑锋, 范建强, 孙坚.工程机械先导集成阀组阀杆卡滞故障排查及改进措施[J].工程机械与维修, 2024, (07): 10-12.
- [4] 刘健伯.比例阀卡滞故障模型与诊断方法研究[D].大连海事大学, 2023.
- [5] 刘洪越.航空变量柱塞泵中开关电磁阀的故障诊断研究[D].中国民航大学, 2023.