

液压油对液压系统性能的影响分析

骆萌繁 程来星 王金锋 王 宁

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘 要：液压油作为液压系统的核心介质，其性能直接影响系统的稳定性、效率和寿命。合适的液压油能够确保系统有效传递能量，减少能量损失，并通过良好的润滑性能减少元件磨损，延长系统寿命。黏度、润滑性、抗氧化性等关键性能指标均需严格把控，以维持系统稳定运行。同时，液压油污染也是导致系统故障的主要因素，需采取有效措施进行预防和控制。

关键词：液压油；液压系统性能；影响

引言：在现代机械传动领域中，液压系统凭借其高效、平稳和精确控制的特性，扮演着不可替代的角色。而液压油作为液压系统的“血液”，其品质与性能直接关系到系统的运行效率、稳定性和使用寿命。因此，深入探讨液压油对液压系统性能的影响，不仅是提升机械设备效能的关键，也是保障生产安全、降低维护成本的重要途径。

1 液压系统与液压油概述

1.1 液压系统工作原理及特点

1.1.1 液压传动的基本原理

液压传动基于帕斯卡原理，即密闭容器中施加于液体的压力能等值传递到各个方向。该原理通过液压泵将机械能转化为液压能，进而驱动液压系统中的执行元件（如液压缸和液压马达）。这些执行元件将液压能转换回机械能，实现力的传递和运动控制。液压传动具有高效、平稳和易于控制的特点，广泛应用于各种机械设备中。

1.1.2 液压系统的组成及功能

一个完整的液压系统主要由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件和液压油五部分组成。动力元件（如液压泵）负责将机械能转换为液体的压力能。执行元件（如液压缸和液压马达）则将液压能转换为机械能，驱动负载进行直线或旋转运动。控制元件（如各种液压阀）用于调节液体的压力、流量和方向，以实现精确的运动控制。辅助元件包括油箱、滤油器、冷却器等，它们为液压系统提供必要的辅助功能。液压油作为传递能量的工作介质，在系统中起着至关重要的作用^[1]。

1.2 液压油的基本性能及作用

1.2.1 液压油的分类与选用原则

液压油按其组成可分为矿物油型、合成烃型、抗燃液等多种类型。不同类型的液压油具有不同的性能特点，适用于不同的液压系统。在选用液压油时，需要

考虑系统的工作压力、温度、工作环境以及液压元件的材料等因素。正确的液压油选择对于确保液压系统的正常运行和延长使用寿命至关重要。

1.2.2 液压油在液压系统中的作用

液压油在液压系统中主要承担传递动力、润滑元件、冷却系统和防止腐蚀等作用。作为传递能量的工作介质，液压油能够确保液压系统的平稳运行。同时，它还能润滑液压元件，减少摩擦和磨损。通过循环流动，液压油还能带走热量，维持系统的温度稳定。此外，液压油中的添加剂还能防止金属表面的腐蚀，保护液压系统的正常运行。

2 液压油性能对液压系统性能的影响分析

2.1 黏度对液压系统性能的影响

（1）黏度的定义与测量：黏度是液压油的一项重要物理性质，它描述了液体抵抗流动的能力。黏度通常以动力黏度或运动黏度来表示，单位分别为帕斯卡·秒（ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ）和平方毫米每秒（ mm^2/s ）。测量黏度的常用方法有毛细管黏度计法、旋转黏度计法等。在液压系统中，黏度的选择对于确保系统的稳定运行至关重要。

（2）黏度对系统效率、润滑效果及元件磨损的影响：黏度直接影响液压系统的效率和元件的磨损情况。黏度过高会增加流动阻力，导致系统压力损失增大，泵的输出功率降低，从而影响系统效率。同时，高黏度液压油在低温下难以流动，可能引发启动困难或泵吸空等问题。相反，黏度过低则可能导致泄漏增加，降低系统的容积效率。此外，适宜的黏度是保证良好润滑效果的关键，它能够形成足够的油膜厚度，减少液压元件间的摩擦和磨损^[2]。（3）合适黏度的选择与调整：选择合适的液压油黏度需考虑系统的工作压力、温度范围、元件材质及运行条件。通常，系统的工作压力越高，所需的黏度也应越大，以提供足够的润滑和密封效果。同时，黏度

还应随系统温度的升高而适当降低,以保持流动性和效率。在实际应用中,可通过更换不同黏度的液压油或使用黏度指数改进剂来调整黏度,以适应不同的工作环境和需求。

2.2 润滑性对液压系统性能的影响

(1) 润滑性的重要性及评价指标: 润滑性是液压油的关键性能之一,它直接关系到液压元件的磨损程度和使用寿命。良好的润滑性能够减少元件间的直接接触,降低摩擦系数和磨损速率。评价液压油润滑性的指标包括极压性、抗磨性等。(2) 润滑性不良对液压元件的磨损及性能降低的影响: 润滑性不良的液压油可能导致液压元件表面磨损加剧,甚至出现划伤、咬死等严重故障。这会导致系统效率下降,噪声增大,甚至引发元件失效和系统停机。长期运行于润滑不良状态下的液压系统,其维护成本和更换元件的频率将显著增加。(3) 提高液压油润滑性的方法: 提高液压油的润滑性可通过添加极压抗磨添加剂、改善基础油的品质或使用高性能合成油等方式实现。极压抗磨添加剂能够在高压和高温条件下形成保护膜,减少元件间的直接接触和磨损。同时,选择品质优良的基础油也是提高润滑性的关键。

2.3 抗氧化性对液压系统性能的影响

(1) 抗氧化性的定义及影响因素: 抗氧化性是指液压油抵抗氧化分解的能力。液压油在高温、高压和金属催化作用下易发生氧化反应,生成油泥、沉积物和酸性物质等有害副产物。这些副产物会污染系统,降低油的性能,甚至引发元件故障。(2) 液压油氧化对系统性能的危害: 液压油氧化会导致油质变差,润滑性能下降,加速元件磨损。同时,生成的油泥和沉积物会堵塞滤油器、阀芯等关键部件,影响系统的正常运行。酸性物质的积累还会腐蚀金属表面,进一步加剧元件的损坏。(3) 增强液压油抗氧化性的措施: 增强液压油的抗氧化性可通过添加抗氧化剂、使用高质量基础油或合成油以及优化系统设计等方式实现。抗氧化剂能够捕获自由基,中断氧化链反应,从而延长液压油的使用寿命。同时,高质量的基础油和合成油具有更好的热稳定性和抗氧化性能,有助于减少氧化产物的生成^[3]。

2.4 其他性能对液压系统性能的影响

2.4.1 抗剪切安定性、防锈防腐性、抗泡沫性、空气释放性等性能的作用及影响

(1) 抗剪切安定性: 确保液压油在高剪切应力下保持稳定的黏度,防止因黏度下降而导致的泄漏和效率降低。(2) 防锈防腐性: 保护液压系统中的金属部件免受水分、氧气和其他腐蚀性物质的侵害,防止元件锈蚀

和腐蚀,延长系统的使用寿命。(3) 抗泡沫性: 减少液压油在使用过程中因混入空气而形成的泡沫,防止泡沫影响液压油的正常流动和润滑效果,同时减少因泡沫破裂而产生的气蚀现象,保护液压元件不受损害。(4) 空气释放性: 确保液压油中溶解的空气能够迅速、完全地释放出来,防止空气在液压系统中形成气泡,影响系统的稳定性和响应速度。

2.4.2 这些性能不佳对液压系统性能的具体危害

(1) 抗剪切安定性不足: 会导致液压油在高剪切应力下黏度急剧下降,使得系统泄漏量增加,元件间的润滑效果减弱,进而影响系统的效率和稳定性。(2) 防锈防腐性不良: 会使液压系统中的金属部件易受腐蚀和锈蚀,导致元件表面粗糙度增加,摩擦阻力增大,加速元件磨损,严重时甚至引发元件失效和系统故障。(3) 抗泡沫性不佳: 会使得液压油在使用过程中产生大量泡沫,这些泡沫会占据油道空间,影响液压油的正常流动,降低系统的响应速度和稳定性。同时,泡沫破裂时产生的气蚀现象会对液压元件造成严重的冲击和损伤。(4) 空气释放性差: 会导致液压油中溶解的空气无法及时释放,形成气泡在系统中流动。这些气泡会干扰液压油的流动和润滑效果,降低系统的效率和精度。严重时,气泡还可能堵塞油道和控制阀,引发系统故障。

3 液压油污染对液压系统性能的影响

3.1 液压油污染来源及类型

液压油污染是液压系统性能下降的主要诱因之一。污染来源主要分为两大类: 外部污染和内部污染。外部污染主要源自工作环境,如空气中的尘土、水分、微生物等,它们可通过油箱呼吸器、油管接头等进入液压系统。其中,水分是最常见的外部污染物,它不仅能稀释液压油,降低其润滑性能,还能加速油液的氧化,导致油质恶化。内部污染则主要源于系统内部元件的磨损、腐蚀及油液的氧化分解。例如,金属元件的磨损会产生金属磨屑,这些微小的颗粒在油液中循环,不断磨损系统内的其他元件,形成恶性循环。此外,油液在高温、高压条件下容易氧化,生成氧化物、胶质物等内部污染物,进一步加剧系统污染。

3.2 液压油污染对液压系统性能的危害

液压油污染对液压系统的危害不容忽视。首先,污染物会加速液压元件的磨损,导致元件间隙增大,泄漏量增加,从而降低系统效率。其次,污染油液中的颗粒会堵塞滤油器、控制阀等关键部件,影响系统的正常流动和控制精度。此外,污染物还可能引起油液的乳化、变质,降低其润滑性能,进一步加速元件磨损和系统老

化。严重时,污染还可能引发系统故障,如泵卡死、阀失效等,严重影响设备的稳定运行和生产效率。

3.3 液压油污染控制与预防措施

(1) 定期检测与更换液压油:定期对液压油的清洁度和理化性能进行检测,一旦发现污染超标或油质恶化,应立即更换新油。同时,根据设备的使用频率和工作条件,制定合理的换油周期,确保液压油的清洁度和性能始终处于最佳状态。(2) 使用优质滤清器及保持系统清洁:选用高质量的滤清器,确保油液在循环过程中得到有效过滤,去除杂质和颗粒。同时,加强系统的日常维护和清洁工作,定期清洗油箱、油管等部件,防止外部污染物进入系统。对于工作环境恶劣的设备,还应采取额外的防护措施,如加装呼吸器滤清器等,以减少外部污染物的侵入^[4]。

4 提升液压系统性能的液压油使用策略

4.1 选用高质量液压油

高质量液压油是液压系统稳定、高效运行的基础。在选择液压油时,应充分考虑系统需求、油的性能稳定性与兼容性。(1) 根据系统需求选择合适的液压油类型与规格:不同的液压系统对液压油的需求不同,如重载设备可能要求液压油具有较高的抗磨性和极压性,而精密控制设备则可能更注重油的粘度和流动性。因此,在选择液压油时,需先了解系统的具体需求,包括工作压力、温度范围、元件材质等,再选择合适的液压油类型和规格。(2) 考虑液压油的性能稳定性与兼容性:高性能液压油应具有良好的热稳定性、抗氧化性、抗泡性和防锈性等特性,以确保在不同工况下都能保持稳定的性能。同时,液压油与系统中其他材料的兼容性也至关重要,以避免产生化学反应导致元件损坏或油液变质。因此,在选用液压油时,应进行充分的试验和评估,确保其性能稳定且与系统兼容。

4.2 加强液压油维护与管理

液压油的维护与管理是确保其性能稳定、延长使用寿命的关键。这包括定期检查液压油质量及污染程度,以及合理控制油温及压力范围。(1) 定期检查液压油质量及污染程度:通过定期检测液压油的粘度、闪点、酸值、水分和颗粒污染度等指标,可以及时了解油液的状态。一旦发现油质恶化或污染超标,应立即采取措施

进行处理,如更换新油、加强过滤或进行油液净化等。

(2) 合理控制油温及压力范围:油温过高会加速液压油的氧化变质,降低其润滑性能和密封性能;而压力过高则可能导致油液泄漏、元件损坏等问题。因此,应合理设置系统的油温和压力范围,通过增加散热器、优化冷却系统等方式降低油温,同时确保系统压力在安全范围内波动。

4.3 优化液压系统设计与操作

除了选用高质量的液压油和加强维护管理外,优化液压系统设计与操作也是提升性能的重要途径。(1) 改进系统结构以减少液压油污染:通过优化油箱设计、增加密封元件、改善油液循环路径等方式,可以有效减少液压油在系统运行过程中的污染。同时,定期清洗油箱和油管,保持系统内部的清洁度,也是降低污染的重要措施。(2) 规范操作人员行为以降低人为因素导致的污染:操作人员的行为对液压油的污染程度有着直接影响。因此,应加强对操作人员的培训和教育,使其了解液压油的重要性和污染的危害性,掌握正确的操作方法和维护技能。同时,建立严格的污染防控制度,规范操作人员的行为,确保液压系统在运行过程中始终保持清洁和稳定。

结束语

综上所述,液压油在液压系统中扮演着至关重要的角色,其性能直接影响着系统的稳定性、效率和寿命。通过科学合理地选择液压油、加强维护管理以及优化系统设计,可以显著提升液压系统的整体性能。未来,随着液压技术的不断发展,对液压油性能的要求也将日益提高,我们需要持续关注并研究液压油的新技术、新材料,以推动液压系统的持续进步。

参考文献

- [1] 么凯宁.液压油对汽车液压系统性能的影响分析[J].汽车维修技师,2024,(04):41-42.
- [2] 李伟,赵智姝,武书阁,等.油液中混入气泡对液压系统性能的影响分析[J].机床与液压,2019,(08):78-79.
- [3] 余正根,李春旭.液压油对液压系统工作影响的分析[J].农业与技术,2009,(13):129-130.
- [4] 陈欣,唐联彬.液压油对液压系统性能的影响分析[J].建筑技术科学,2025,(10):102-103.