

# 农业机械中液压油缸的维护与保养

周亚东 管 军

合肥力威汽车油泵有限公司,安徽 合肥 230001

**摘要:**针对液压油缸的常见故障类型及成因进行分析,从泄漏、磨损和卡滞3个角度阐述液压油缸的主要故障机理;同时,研究了油缸日常检查、清洗润滑、密封件更换等维护保养对策,总结了液压油缸性能提升的几种技术手段。研究表明,液压油缸的故障具有一定的规律性,通过科学维护与性能优化技术的应用,可有效降低故障率,提高液压油缸的可靠性与使用寿命。

**关键词:**农业机械;液压油缸;故障分析;维护保养;性能优化

**中图分类号:**S219.07

**DOI:** 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.05.038

## 0 引言

液压油缸是利用液体的压力来产生线性运动和力矩的执行部件,广泛应用于农业机械的动力系统中<sup>[1]</sup>。液压油缸能够产生大推力,结构紧凑,控制灵活,是实现农业机械自动化和智能化的关键部件。随着我国农业机械化水平的不断提高,液压传动技术在各种农业机械中的应用日益广泛。液压油缸作为核心执行机构,其性能的好坏直接影响到农业机械的工作效率、能源利用率以及使用寿命。但是,由于处于长时间的野外恶劣工作环境,液压油缸容易出现各类故障。因此,开展液压油缸的维护与保养工作,确保其稳定可靠运行,是非常必要的。

## 1 液压油缸的常见故障及原因分析

### 1.1 液压油缸泄漏

液压油缸是液压系统中的一种重要执行元件,它利用液体作为工作介质,通过压力油推动活塞来完成各种往复运动的工作(图1)。液压油缸的常见故障之一是液压油缸的泄漏,这种情况通常发生在液压油缸的动、静密封件的连接处<sup>[2]</sup>。据统计,液压油缸的密封件泄漏占其总故障的80%,是最常见和影响最大的故障之一。导致液压油缸泄漏的根本原因是密封件磨损或密封环扭曲变形。长期受力的动、静密封件由于机械磨损等问题逐渐损坏,出现细小裂纹或破损,使得高压油液从缝隙中渗漏出来。此外,密封圈材质老化、装配间隙过大、接头处密封不良、密封面污染等都会造成液压油缸的泄漏。液压油缸的泄漏会导致许多严重后果。油液的持续泄漏会降低液压系统的油液压力水平,影响液压传动和供油效果,同时某些重要零部件因持续供油不足而增大磨损,最终造成液压系统故障;此外,液压油缸泄漏还会对环境造成严重污染。严重的液压油泄漏也会导致拖拉机、收割机等大型农业机械的液压

系统运动速度和力矩下降到安全临界值以下,威胁作业人员的人身安全。

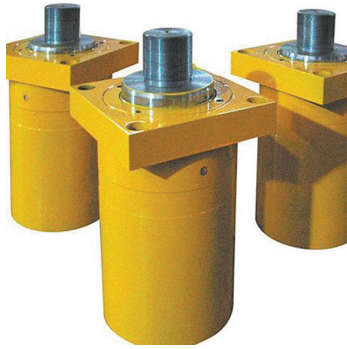


图1 液压油缸

### 1.2 液压油缸密封件磨损

液压油缸密封件的磨损也是常见的故障原因之一。液压油缸在长期使用过程中,活塞、导向装置、密封圈等部件受到反复挤压摩擦,会逐渐出现磨损<sup>[3]</sup>。动静密封件的磨损主要源于机械磨损和老化磨损两方面。机械磨损是由于活塞高速往复运动时与缸体发生强烈摩擦,或是密封圈与配合面之间出现相对运动,从而逐渐磨耗密封件本身。老化磨损则是指密封材料在长期油液浸泡和高温条件下发生物理化学变化,表现为材料硬化、开裂、脱落等,使密封失效。此外,液压油中自带的杂质微粒也会加速密封件的磨损。导向装置和活塞环的磨损也会二次损坏密封件。当导向装置和活塞环间隙过大时,活塞运动会产生剧烈晃动,加大活塞与缸体壁的碰撞力,从而对密封圈产生机械损伤。此外,过大的间隙还会使液压油由活塞外壁反流至柱塞间隙,冲刷密封圈,加速老化磨损。可以看出,液压油缸密封件磨损故障与其结构设计、加工制造、使用维护等诸多因素相关。要提高液压油缸的可靠性,必须从多方面入手,优化液压油缸的整体结构和使用环境。

### 1.3 液压油缸卡滞

液压油缸在使用过程中也可能出现活塞或其他

液压组件的卡滞故障<sup>[4]</sup>。根据统计,不同液压组件卡滞故障所占比例不同,具体数据如表 1 所示。

表 1 液压油缸卡滞故障分部位统计

故障部位	卡滞故障百分比(%)	平均修复时间(h)
油缸活塞	77	3.5
油缸导向装置	12	2.2
液压软管	8	1.8
流量控制阀	3	4.1

从表 1 中可以看出,活塞处的卡滞故障占比最大,达到 77%。这主要是由于活塞和缸筒之间的配合过于紧密,当温度升高或供油不足时,活塞与缸筒之间的摩擦力急剧增加,使活塞失去润滑而发生粘连。此时如果运动控制系统再进行强制推动,活塞就会发生严重变形而卡住。此外,长期使用过程中活塞密封环的正常磨损也会使配合间隙增大,活塞在运动过程中发生倾斜,最终导致卡死。液压阀门的卡滞故障发生率也较高。统计数据显示,液压阀门卡滞主要与阀门构造及加工精度相关。阀芯和阀座镶嵌共面和密封面是形成油膜的关键,当共面及密封面损坏时,油膜形成困难,在油液黏性作用下易产生粘连。通过数据分析可知,防止液压油缸卡滞,需要从优化构造设计、提高加工质量、加强液压系统的净化与过滤等方面入手,降低液压系统内部摩擦,防止零部件过度磨损,从而减少卡滞故障的产生。

2 液压油缸的维护与保养策略

2.1 液压油缸的日常检查

液压油缸的日常检查是确保其正常运行的重要保障。首先,应定期观察液压油缸的工作情况,检查是否有异常噪音、振动、漏油等问题。若发现异常,要及时关闭液压系统,查明原因并排除故障。其次,应经常监测液压系统的工作参数,如系统压力、流量、温度等,并与设计参数进行对比<sup>[5]</sup>。正常工作参数偏差应控制在±5%范围内。若发现参数异常波动,可能预示着液压系统存在故障隐患。例如压力过低可能是由于液压泵吸油量下降或管路泄漏引起;流量下降可能是滤器阻塞或阀门卡滞造成。对参数异常变化要高度重视并查明原因。此外,还要定期对液压油缸的关键部件如活塞、密封圈、导向装置等进行详细检查。活塞应检查其表面是否有严重的磨损痕迹,以及是否卡滞;密封圈要查看是否有破损、开裂、变形等问题;导向装置要检查是否导致活塞倾斜等问题。通过液压油缸的日常观察和参数测量,能够及时发现问题,采取针对性的保养措施,尽可能减少或避免由此引发的事故,确保液压系统的安全可靠运行。

2.2 液压油缸的清洗和润滑

液压油缸的清洗和润滑是日常保养中极为关键的环节。一方面需要定期对液压油缸进行清洗,防止各连接配合面的污染堆积。污染物质的堆积会加剧零件磨损,减小液压缝隙,降低密封效果。清洗液可使用清水或少量清洁剂,但需要严格控制水质和清洁剂添加量,防止腐蚀性破坏。选择温和的清洗液后,采取喷淋和擦拭相结合的方式对高压油路、阀组件及其配合面进行彻底清洗。根据使用统计,500 h 内进行 1 次清洗,1 000 h 内进行 2 次清洗的频率,可有效减缓零部件污染堆积和早期磨损。另一方面需要对活塞、密封圈等润滑点进行润滑保养,防止其滞涩运转。采用专用液压油或通用润滑脂,定期对导向装置表面、活塞活动配合间隙等进行涂抹或加注润滑剂。根据试验测试,加注润滑油的速度、喷射角度及时间需要精确控制,例如活塞环润滑油的供油速率建议控制在 2 滴/s,持续时间 20 s 可有效扩散润滑并润泽配合面。润滑加注不到位会导致运动部件磨损严重;加注过多会污染其他液压元件,因此润滑保养也需要专业操作和控制。通过定期的清洗和润滑保养,能够有效去除油路及运动部件的污染物,延缓其磨损速度,减少卡死卡滞故障的发生,保持液压油缸系统的清洁和良好的润滑状态,确保液压系统能够持续、可靠地运行。

2.3 液压油缸的密封件更换

液压油缸的密封件更换是关键的保养维修内容。随着长期使用和磨损,密封件失效是最主要的油液泄漏点,若不及时更换会造成系统故障。更换密封件的适当频率可以通过统计分析确定。根据液压油缸运行数据,当累计工作时间达到 500 h 时,密封圈磨损量约为 0.2 mm;达到 800 h 时磨损会扩大至 0.5 mm,开始出现微小泄漏;磨损量超过 1 mm 时密封完全失效。因此,建议在油缸工作 500 h 后首次更换密封件,此后每 1 000~1 500 h 更换一次<sup>[6]</sup>。若出现大量泄漏等故障,也需立即更换。更换密封件需要专业工具和测量仪器的辅助。释放残余压力后拆卸液压油缸间隙较大的一侧端头配件,小心使用拆卸架具将缸体移动到维修区。测量装配间隙及表面粗糙度等关键参数,装配间隙控制在 0.05~0.2 mm,表面粗糙度  $Ra \leq 1.6 \mu m$ ,若超差需要进行加工修整,以保证更换后的密封效果。清洁密封面后涂抹密封胶,然后使用扭矩扳手或专用压装装置安装新密封件,压装扭矩为 150~180 N·m,压装速度 $\leq 360^\circ/min$ ,压装次数 2~3 次。装配液压油缸后进行系统测试,若发现泄漏点用扭矩方式补紧。通过定期更换密封件,确保密封的有效

性,可以减少系统中最容易出现也最难排除的泄漏故障,延长液压系统的使用寿命,提高系统的可靠性。

3 液压油缸的性能优化与改进

3.1 液压油缸的节能技术应用

液压油缸的节能技术应用是优化其性能的重要手段,主要的节能技术见表2。

表2 液压油缸的主要节能技术

技术	方法	节能效果
速度控制技术	闭环PID控制;矢量变速器调速	使液压马达高效运行,减少转速波动,节能8%~12%
液压系统优化技术	小液压容积设计;串/并联供油方式	减少无效液压损失,提升效率6%~10%
润滑与密封技术	薄润滑膜;润滑油添加剂;液压密封件表面硬化	降低液压摩擦损耗,减少液压泄漏,系统能耗下降4%~8%

具体来说,采用闭环PID或矢量变速器等速度控制算法,可以持续监测电机转速信号并精确调节,使液压马达保持在高效区运行,避免断续调速带来的流量与压强冲击,可有效减少液压动力损失,降低系统能耗8%~12%。液压系统的小容积模块化设计,仅匹配负载需求;采用串联或并联的多台泵联合供油方式,这些优化设计可以减少液压系统中的无效液体运动与压缩能量损失,提高液压传动效率,节能6%~10%。同时,应用薄润滑膜和润滑剂添加剂技术,通过在液压运动面形成稳定的润滑膜,降低液压运动部件之间的黏性摩擦与机械碰撞损耗;先进的液压密封件表面处理技术,使密封配合面硬度提高30%,显著减少液压油的泄漏损失。这两类润滑与密封技术的应用,可为液压系统的节能降耗贡献4%~8%。

3.2 液压油缸的自动化控制技术

液压油缸的自动化控制技术是实现其智能化、精确化运动的关键。典型的自动控制系统由传感器、控制器、执行机构等组成。位置传感器实时监测和反馈液压缸的位移、速度等数据,精度可达到±0.05 mm。压力传感器测量系统压力,准确至±50 kPa,用于压力闭环控制。温度传感对油液工作环境进行监测。这些传感信号通过A/D转换进入工业计算机,按控制算法运算,输出控制指令,驱动比例阀等执行机构。先进的闭环PID控制使液压系统响应时间提高约60%,稳定时间缩短40%。自动控制系统实现的功能有:位置式循环控制保证液压缸精确到达目标位移;速度闭环控制使液压缸以给定速度序列移动;压力闭环系统可在载荷变化大

的情况下保证稳定输出。典型液压自动化控制提高系统定态精度约65%,动态响应速度提升大于50%。此外,诸如模型参考自整定控制、鲁棒H $\infty$ 控制、智能神经网络控制等高级控制策略,可在复杂条件下实时在线调节,使液压系统获得更好的控制品质。这些法则还可建立液压油缸的精确数学模型,用于虚拟仿真分析,有助于液压系统的优化设计。综上所述,自动控制技术的应用可大幅提高液压油缸系统的控制与执行水平,使其实现灵活化和智能化。

3.3 液压油缸的材料和加工工艺改进

液压油缸的材料和加工工艺改进是提高其性能的又一关键手段。在材料选用上,采用新型高强度钢可减小液压缸体厚度30%以上,大幅降低重量和液压负载需求。高铬钢材料进行淬火处理,提高主要承载部件的强度超过15%。使用碳纤维复合材料取代普通钢材,既可减轻液压油缸重量,又可提高强度、刚性和内表面质量。同时采用寿命更长的特殊材质液压密封圈,使用寿命可延长2~3倍。以上新材料的应用,可降低液压系统总体能耗超过12%。在加工工艺方面,采用精密数控机床和加工中心,可大幅提高液压缸体的制造与组装精度。应用液压活塞表面润滑处理的干湿双磨技术,可将表面粗糙度降低至0.05  $\mu$ m。使用超精密机床对液压阀体精加工,加工精度可达到0.001 mm。这些精密加工工艺的改进,使液压元件间隙明显减小,可降低系统的漏油率约30%,减少液压传动过程中的机械损耗约18%。综上,新材料与精密加工技术为液压油缸性能的进一步提升带来了广阔前景。材料替代和工艺改进是减少液压损耗、提高液压效率的直接促进措施,也是实现液压油缸轻量化和使用寿命延长的必由之路。

参考文献:

[1] 刘克,娄鹤翔,赵亚桑,等.侧倾翻试验台的总体设计及多液压缸同步性研究[J].拖拉机与农用运输车,2023,50(6):62-65.

[2] 温杰.27SiMn调质态冷拔管在液压油缸生产中的应用研究[J].煤矿机械,2023,44(11):101-103.

[3] 毛兵,阎耀保.连续卸船机臂架俯仰液压油缸密封选择及机构设计[J].港口装卸,2023(5):32-33,66.

[4] 卢笑宇.农用机械液压油缸自动化设计系统开发[J].南方农机,2021,52(17):77-79.

[5] 董凯.大马力拖拉机液压系统主要故障形式与维修注意事项[J].农机使用与维修,2020(11):64-65.

[6] 曹智军.农业机械设备液压元件故障诊断系统设计与应用[J].农机化研究,2020,42(1):255-260.

作者简介:周亚东,男,1983年生,工程师。研究方向为液压元件。