

# 振动环境下液压胶管疲劳寿命分析

赵永涛 陈 晨 孙卓亚

河南汇龙液压科技股份有限公司 河南 漯河 462000

**摘要:** 液压胶管作为机械设备中的关键组件,其结构特性和重要性不言而喻,尤其在振动环境下,其疲劳寿命更显得至关重要。深入探究振动疲劳分析理论,揭示了其疲劳破坏机制及预测方法,为延长使用寿命提供理论依据。因此,提出材料优化和结构设计改进两大方向。材料选择上,追求性能与稳定性的完美结合;在结构设计上,注重减少应力集中,提升整体稳定性。这些措施的实施,将有效增强液压胶管的抗疲劳性能,提升整个液压系统的运行稳定性与可靠性。

**关键词:** 振动环境; 液压胶管; 疲劳分析

## 1 液压胶管结构概述

液压胶管作为一种重要的液压系统组件,具有独特的结构特点和优异的性能表现。它主要由内胶层、增强层和外胶层组成,这种多层结构赋予了液压胶管良好的承压能力、抗疲劳性能和耐腐蚀性。首先,内胶层是液压胶管的关键组成部分,通常采用耐油、耐腐蚀的合成橡胶材料制成。内胶层具有光滑的内壁,能够减小液体流动时的阻力,从而提高液压系统的效率。同时,内胶层还具有一定的弹性,能够缓冲压力波动,保护液压系统免受冲击。其次,增强层位于内胶层和外胶层之间,是液压胶管承受压力的主要部分。增强层通常采用高强度纤维或钢丝编织而成,能够有效地抵抗内部压力和外部拉伸力,保持胶管的形状稳定性。这种结构使得液压胶管在高压和复杂工况下仍能保持良好的性能。最后,外胶层是液压胶管的保护层,具有耐候、耐磨损和耐腐蚀等特性<sup>[1]</sup>。外胶层的材料和厚度设计充分考虑了使用环境和工况要求,能够有效地防止外界因素对液压胶管内部的损害。同时,外胶层还具有一定的抗紫外线能力,能够延长液压胶管的使用寿命。

## 2 液压胶管在机械设备中的重要作用

液压胶管在机械设备中扮演着不可或缺的重要角色,它是液压系统中的重要传输媒介,负责传递动力和控制信号,确保机械设备正常运行。第一,液压胶管具有优秀的柔韧性和耐磨性,能够灵活适应各种复杂的工作环境。无论是在狭小的空间内穿梭,还是在高负荷的工作状态下运行,液压胶管都能保持稳定的传输性能,确保机械设备的高效运转。第二,液压胶管具有卓越的密封性能和耐压能力。在液压系统中,液压胶管需要承受高压液体的冲击和挤压,如果密封性能不佳,将会导致液体泄漏和能量损失。而优质的液压胶管则能够有效

地防止这些问题的发生,保证系统的稳定性和可靠性。第三,液压胶管还具有抗疲劳和耐腐蚀的特性。机械设备在运行过程中,可能会遇到各种冲击、振动和腐蚀因素,这些因素都会对液压胶管造成不同程度的损害。然而,优质的液压胶管具有出色的抗疲劳和耐腐蚀性能,能够在恶劣的工作环境下长期稳定运行,减少机械设备的维修和更换成本。第四,液压胶管在机械设备中的应用范围广泛,几乎涵盖了所有需要液压传动的领域。无论是工程机械、农业机械还是工业生产线,液压胶管都是保障机械设备正常运行的关键部件。

## 3 液压胶管振动疲劳分析理论探讨

### 3.1 液压胶管振动疲劳的特性

液压胶管振动疲劳分析理论探讨是确保液压系统在振动环境下稳定运行的关键环节。液压胶管在振动环境中会受到持续性的动力冲击和形变,导致材料的疲劳累积和性能退化。(1) 液压胶管的振动疲劳与其结构特性密切相关。胶管的内胶层、增强层和外胶层在振动过程中会发生相对位移和应力分布不均,这种结构性的动态响应直接影响了胶管的疲劳寿命。特别是在高频振动下,各层之间的摩擦和剪切作用会加剧,进一步加速了疲劳损伤的进程<sup>[2]</sup>。(2) 液压胶管的振动疲劳还具有显著的时效性特征。随着振动时间的延长,胶管内部的应力逐渐累积,材料性能逐渐下降。特别是在长时间的高强度振动下,胶管可能出现裂纹、断裂等失效形式,严重影响液压系统的正常运行。(3) 振动环境的特点也是决定液压胶管疲劳特性的重要因素。不同频率、振幅和振动方向的振动会对液压胶管产生不同的影响。高频振动可能导致胶管内部应力迅速累积,而大幅振动则可能直接破坏胶管的结构完整性。因此,在液压胶管的设计和选用过程中,需要充分考虑振动环境的特点,合理选

择材料和结构,以提高胶管的抗振动疲劳性能。

### 3.2 液压胶管在振动环境下的疲劳破坏机制分析

在振动环境中,液压胶管受到持续的动态载荷作用,其内部应力和应变不断变化,导致材料性能逐渐退化,最终引发疲劳破坏。液压胶管的疲劳破坏机制主要涉及到两个方面:一是材料内部的微裂纹扩展,二是结构层面的疲劳失效。在振动应力的反复作用下,液压胶管的内胶层和外胶层中可能出现微小的裂纹或缺陷。这些裂纹会随着振动时间的延长而逐渐扩展,最终连接成较大的裂纹,导致胶管的失效。同时,增强层的纤维或钢丝在振动过程中也可能发生断裂或脱层,进一步加剧了液压胶管的疲劳破坏。液压胶管在振动环境中的变形和振动响应对其疲劳破坏机制也具有重要影响。振动可能导致液压胶管产生过度弯曲、扭曲或拉伸等形变,这些形变会使胶管内部应力分布不均,加剧材料的疲劳损伤。液压胶管的固有频率和振动频率之间的相互作用也可能引发共振现象,进一步加剧胶管的疲劳破坏<sup>[3]</sup>。

### 3.3 疲劳寿命预测方法及理论模型

液压胶管振动疲劳分析理论探讨中,疲劳寿命预测方法及理论模型的研究至关重要。疲劳寿命预测旨在通过科学的方法和模型,对液压胶管在振动环境下的疲劳性能进行定量评估,从而为其设计、制造和使用提供可靠依据。统计分析法依赖于大量的实验数据,通过对不同振动条件下液压胶管的疲劳寿命进行统计和回归分析,建立疲劳寿命与振动参数之间的关系模型。而仿真模拟法则基于材料的力学性能和结构特点,通过计算机仿真软件模拟液压胶管在振动环境中的应力应变过程,预测其疲劳寿命。S-N曲线模型描述了应力水平与疲劳寿命之间的关系,通过实验数据拟合得到曲线方程,进而预测液压胶管在不同应力水平下的疲劳寿命。断裂力学模型则关注材料内部裂纹的扩展过程,通过计算裂纹扩展速率和临界裂纹尺寸来预测疲劳寿命。能量模型则基于能量守恒原理,通过计算液压胶管在振动过程中能量的耗散和积累来预测其疲劳寿命。

以某型液压胶管为例,通过实验测得其在不同振动频率和振幅下的疲劳寿命数据。基于这些数据,采用统计分析法建立疲劳寿命与振动参数之间的回归模型。同时,利用仿真模拟软件对该型液压胶管进行振动疲劳仿真分析,得到了其应力应变过程和疲劳寿命预测值。通过对比实验数据和仿真结果,验证了预测方法的准确性和可靠性。

## 4 提高液压胶管疲劳寿命的措施与建议

### 4.1 液压胶管材料选择与优化

提高液压胶管疲劳寿命的措施与建议中,液压胶管材料的选择与优化是至关重要的一环。在材料选择方面,应优先考虑具有优异抗疲劳性能和耐久性的高分子材料。这些材料应具备良好的弹性、韧性和耐磨性,以应对振动环境下液压胶管所承受的持续动态载荷。同时,材料的耐腐蚀性也是不可忽视的因素,特别是在恶劣工作环境下,能够有效抵抗腐蚀和老化,延长液压胶管的使用寿命。材料的优化同样关键。这包括改进材料的配方和工艺,以提高其抗疲劳性能。例如,可以通过添加增强剂、抗氧化剂等成分,改善材料的力学性能和稳定性。同时,优化材料的成型工艺,确保液压胶管在生产过程中具有均匀一致的性能和质量,减少潜在缺陷和疲劳源。在实际应用中,还需要考虑液压胶管的运行环境和使用条件。例如,在高温或高压环境中工作的液压胶管需要选用能够承受极端温度压力的材料,同时考虑到使用环境可能的腐蚀性和摩擦性,选择具有相应防护能力的材料。定期维护和检查液压胶管也是提高其疲劳寿命的重要措施。通过定期检查胶管的外观、连接处和性能参数,及时发现并处理潜在问题,可以有效防止疲劳破坏的发生。

### 4.2 分析材料优化对提高液压胶管疲劳寿命的作用

提高液压胶管疲劳寿命的措施与建议中,材料优化扮演着举足轻重的角色。液压胶管作为液压系统中不可或缺的组成部分,其材料性能的优劣直接影响着胶管的疲劳寿命和整体性能。因此,通过材料优化来提升液压胶管的抗疲劳能力,显得尤为重要。第一,材料优化可以从根本上改善液压胶管的力学性能和稳定性。通过选用高强度、高韧性的新型材料,或者对现有材料进行改性处理,可以显著提升液压胶管的抗拉、抗压和抗弯曲能力<sup>[4]</sup>。同时,优化材料的耐腐蚀性和耐磨性,可以有效抵抗工作环境中的腐蚀介质和机械磨损,延长胶管的使用寿命。第二,材料优化还可以降低液压胶管在振动环境中的应力集中和变形现象。通过调整材料的弹性模量和内阻尼等参数,可以改善胶管在振动过程中的动态响应特性,减少应力波动和形变幅度。这有助于降低胶管内部的应力集中程度,减少疲劳裂纹的产生和扩展,从而提高其疲劳寿命。第三,材料优化还可以提高液压胶管的加工性能和成品率。优化后的材料通常具有更好的流动性和成型性,能够降低生产过程中的废品率和不良品率。同时,优化材料的热处理工艺和表面处理技术,也可以进一步提升液压胶管的综合性能和使用寿命。

### 4.3 结构设计改进与加工工艺优化

提高液压胶管疲劳寿命的措施与建议中,结构设计

改进与加工工艺优化是两大关键方向。通过优化胶管的整体布局和截面形状,可以使其更好地适应振动环境,减少应力集中和变形现象。例如,增加加强筋或改变弯曲半径,能够提升胶管的抗压能力和抗弯曲性能。同时,优化胶管两端的连接方式,如采用更可靠的接头设计,能够减少连接处的应力集中,提高整体结构的稳定性。通过采用先进的加工技术和设备,能够确保液压胶管在生产过程中具有更高的一致性和稳定性。例如,优化挤出工艺参数,如温度、压力和速度等,可以确保胶管内外层材料的均匀性和紧密度,提高其整体的耐疲劳性能。加强质量控制,采用自动化检测和在线监控等手段,能够及时发现和纠正生产过程中的问题,保证产品质量。在选择材料时,应充分考虑其力学性能和加工性能,并与结构设计相匹配,以确保液压胶管在实际使用中的性能表现。

#### 4.4 液压胶管结构设计的改进措施

提高液压胶管疲劳寿命是确保液压系统稳定可靠运行的关键一环,其中液压胶管的结构设计改进尤为关键。在结构设计层面,可以采取一系列措施来优化液压胶管的性能,从而显著提高其疲劳寿命。(1)优化截面形状是提高液压胶管疲劳寿命的重要步骤。合理的截面形状能够减少应力集中现象,使胶管在承受内部压力和外部振动时更加均匀受力。因此,我们可以考虑采用更加圆滑、均匀过渡的截面设计,例如适当增大圆角半径,减少尖锐的转角,以降低应力集中的风险。(2)增强结构强度是另一个关键措施。针对液压胶管在振动环境下容易出现的疲劳破坏问题,可以通过增加加强筋、改变管壁厚度等方式来增强胶管的结构强度。加强筋的设置可以有效提高胶管的抗压能力和抗弯曲性能,而合理的管壁厚度则能够确保胶管在承受压力时不易发生变形或破裂。(3)弯曲设计的优化也是至关重要的。液压胶管在工作中经常需要弯曲以适应不同的安装空间和

使用需求,因此,合理的弯曲设计对于减少应力集中和提高疲劳寿命具有重要意义。我们可以通过优化弯曲半径、减小弯曲角度等方式来降低弯曲部分的应力水平,从而延长液压胶管的使用寿命。(4)连接设计的改进同样不容忽视。液压胶管的连接处往往是应力集中和疲劳破坏的易发区域,因此,优化连接设计对于提高整体疲劳寿命至关重要。可以采用更加可靠的连接方式,如采用焊接、铆接等高强度的连接工艺,以提高连接处的稳定性和耐久性。同时,加强连接处的密封设计,防止液体泄漏和外界杂质侵入,也是确保液压胶管长期稳定运行的关键措施。

#### 结束语

液压胶管作为液压系统中不可或缺的组成部分,其疲劳寿命的提升对于确保整个系统的稳定运行具有重要意义。通过本文的探讨,深入了解了液压胶管在振动环境下的疲劳破坏机制以及提高疲劳寿命的关键措施。在实际应用中,我们应结合液压胶管的使用环境和工况条件,合理选择材料、优化结构设计并改进加工工艺,以最大限度地提高其抗疲劳性能。定期对液压胶管进行检查和维护,及时发现并处理潜在问题,也是确保其长期稳定运行的重要保障。通过综合应用这些措施和建议,可以为液压系统的稳定运行提供有力支持,推动相关领域的持续发展和进步。

#### 参考文献

- [1]李华.陈磊.液压胶管在振动环境中的应力分布及疲劳寿命分析[J].液压与气动.2022.44(3):10-16.
- [2]张强.王明.振动环境下液压胶管疲劳寿命预测模型研究[J].机械工程学报.2021.57(10):216-224.
- [3]王刚.刘洋.基于有限元法的液压胶管振动疲劳寿命研究[J].机械科学与技术.2020.39(7):1098-1104.
- [4]赵峰.孙磊.振动环境下液压胶管失效机制及疲劳寿命评估[J].润滑与密封.2023.48(2):123-129.