

煤矿皮带输送机托辊疲劳寿命分析及优化

李 浩

山西焦煤山煤国际庄子河煤业有限公司 山西 长治 046400

摘 要：煤矿皮带输送机是煤矿开采的核心设备，负责煤炭的高效运输。托辊作为其关键组件，性能优劣直接关系到输送机的运行效率与寿命。然而，托辊常因重载及恶劣环境而面临疲劳寿命短的问题，这不仅推高了维护成本，还可能扰乱煤矿生产节奏。因此，深入分析托辊的疲劳寿命并采取优化措施至关重要，旨在延长其使用寿命，降低故障率，从而确保煤矿生产的连续性和高效性，同时有效控制运营成本，提升整体经济效益。

关键词：煤矿皮带输送机；托辊；疲劳寿命分析；优化

引言

托辊作为皮带输送机的核心支撑部件，在煤炭运输过程中承担着至关重要的角色，其承受的阻力高达总阻力的70%以上。鉴于托辊性能对煤矿生产效率和维护成本的直接影响，深入分析其疲劳寿命并采取相应的优化措施显得尤为重要。通过科学的分析与合理的改进，旨在提升托辊的耐用性，延长使用寿命，进而减少设备故障，提高生产效率，为煤矿企业降低维护成本，实现可持续发展奠定坚实基础。

1 托辊的结构和工作原理

托辊是皮带输送机中的关键部件，主要用于支撑输送带和物料，减少输送带运行时的摩擦阻力，确保输送带平稳运行。其结构主要由辊筒、轴承、密封装置和轴组成。辊筒通常由钢管制成，表面经过处理以增强耐磨性和抗腐蚀性；轴承安装在辊筒内部，用于支撑辊筒的旋转；密封装置则防止灰尘和水分进入轴承，延长使用寿命；轴贯穿辊筒和轴承，固定在输送机架上。

托辊的工作原理基于滚动摩擦。当输送带运行时，托辊在输送带的带动下旋转，通过滚动摩擦减少输送带与托辊之间的滑动摩擦，从而降低能耗和磨损。托辊的旋转速度与输送带的速度基本一致，确保输送带平稳运行，避免打滑或跑偏。此外，托辊的布置方式（如平行托辊、槽形托辊等）根据输送带的宽度和物料的特性进行设计，以提供足够的支撑力和稳定性。

托辊的性能直接影响皮带输送机的运行效率和寿命。因此，优化托辊的结构设计、材料选择和制造工艺，对于提高输送机的整体性能具有重要意义。

作者简介：李浩（1989年8月-），男，汉族，山西省长治市人，大专，助理工程师，主要从事工作为煤矿机电运输系统方面。

2 托辊疲劳寿命的影响因素

2.1 材料性能问题

托辊的材料性能是影响其疲劳寿命的核心因素之一。目前，许多托辊采用普通钢材制造，其强度、韧性和耐磨性有限，难以满足煤矿高强度、高磨损的工作环境需求。材料内部可能存在微观缺陷，如夹杂物、气孔等，这些缺陷在反复应力作用下会成为裂纹的起源，加速疲劳失效。此外，材料的耐腐蚀性不足，在煤矿潮湿、酸性环境中容易发生腐蚀，进一步降低材料的疲劳强度。材料的表面硬度不足也会导致托辊在运行过程中因磨损而失效，缩短使用寿命。因此，材料性能的不足是托辊疲劳寿命短的主要原因之一。

2.2 结构设计问题

托辊的结构设计不合理会直接影响其疲劳寿命。例如，托辊的壁厚设计不当，可能导致应力集中，在反复载荷作用下容易产生裂纹。轴承与辊筒的配合精度不足，会导致轴承在运行中承受不均匀载荷，加速轴承的疲劳失效。此外，托辊的支撑结构设计不合理，可能导致托辊在运行中发生偏斜或振动，增加额外的动态载荷，加速疲劳损伤。密封装置的设计缺陷也会导致灰尘和水分进入轴承内部，造成轴承的早期失效。因此，结构设计的不完善是托辊疲劳寿命短的另一重要原因。

2.3 工作环境与载荷问题

煤矿的工作环境对托辊的疲劳寿命有显著影响。煤矿环境通常具有高湿度、高粉尘和腐蚀性气体，这些因素会加速托辊材料的腐蚀和磨损，降低其疲劳强度。此外，托辊在运行中承受的载荷条件复杂，包括静态载荷、动态载荷和冲击载荷。动态载荷和冲击载荷会加剧托辊的疲劳损伤，尤其是在输送带启动、停止或负载变化时，托辊承受的应力波动较大，容易引发疲劳裂纹。载荷分布不均匀也会导致托辊局部应力过高，加速疲劳

失效。因此,恶劣的工作环境和复杂的载荷条件是托辊疲劳寿命短的关键问题。

3 托辊疲劳寿命的试验与验证

3.1 疲劳试验方法与设备

托辊疲劳寿命的试验通常采用模拟实际工况的疲劳试验机进行。试验机能够模拟托辊在皮带输送机运行中的载荷条件,包括静态载荷、动态载荷和冲击载荷。试验过程中,托辊被安装在试验机上,通过施加周期性载荷,观察其疲劳失效的过程。常用的试验方法包括旋转弯曲疲劳试验、轴向疲劳试验和复合载荷疲劳试验。旋转弯曲疲劳试验主要用于模拟托辊在旋转过程中承受的弯曲应力;轴向疲劳试验则模拟托辊在轴向载荷下的疲劳行为;复合载荷疲劳试验结合了多种载荷条件,更接近实际工况。试验设备的精度和稳定性对试验结果的准确性至关重要,因此需要选择高精度、高可靠性的试验设备,并定期进行校准和维护。

3.2 试验数据的分析与处理

疲劳试验过程中会产生大量的数据,包括载荷大小、循环次数、裂纹扩展情况等。这些数据需要通过科学的方法进行分析和处理,以评估托辊的疲劳寿命。常用的数据分析方法包括应力-寿命曲线(S-N曲线)分析、裂纹扩展速率分析和疲劳损伤累积理论。S-N曲线分析通过绘制应力幅值与疲劳寿命的关系曲线,确定托辊的疲劳极限;裂纹扩展速率分析则通过监测裂纹的长度变化,评估裂纹扩展的速率和规律;疲劳损伤累积理论通过计算不同载荷条件下的疲劳损伤累积量,预测托辊的疲劳寿命。数据分析过程中需要考虑试验数据的离散性和不确定性,采用统计方法进行数据处理,以提高分析结果的可靠性。

3.3 试验结果的验证与应用

疲劳试验结果的验证是确保试验数据准确性和可靠性的关键步骤。验证方法包括对比试验、实际工况验证和数值模拟。对比试验通过在不同试验条件下重复试验,验证试验结果的一致性和可重复性;实际工况验证通过将试验结果与托辊在实际使用中的疲劳寿命进行对比,评估试验方法的有效性;数值模拟通过建立托辊的有限元模型,模拟其在不同载荷条件下的应力分布和疲劳行为,验证试验结果的合理性。验证过程中需要综合考虑试验条件、材料性能、结构设计等因素,确保试验结果能够真实反映托辊的疲劳寿命。验证后的试验结果可以用于指导托辊的设计优化、材料选择和制造工艺改进,为提高托辊的疲劳寿命提供科学依据。

4 托辊疲劳寿命的优化策略

4.1 材料选择与优化

托辊的材料选择是提高其疲劳寿命的关键。传统托辊多采用普通钢材,其强度、韧性和耐磨性有限,难以满足高强度、高磨损的煤矿环境需求。优化材料选择时,应考虑使用高强度合金钢、不锈钢或复合材料。高强度合金钢具有更高的屈服强度和抗疲劳性能,能够有效延长托辊的使用寿命。不锈钢具有良好的耐腐蚀性,适用于潮湿、酸性环境,减少因腐蚀导致的疲劳失效。复合材料则结合了高强度和轻量化的特点,能够降低托辊的整体重量,减少运行中的动态载荷。此外,材料的微观结构对疲劳性能也有重要影响,通过热处理、表面硬化等工艺优化材料的微观结构,可以提高其抗疲劳性能。材料选择与优化需要综合考虑成本、性能和制造工艺,以实现最佳的经济效益和技术效果。

4.2 结构设计优化

托辊的结构设计直接影响其疲劳寿命。优化设计时,应重点考虑应力分布、载荷传递和支撑结构。通过有限元分析(FEA)模拟托辊在不同载荷条件下的应力分布,识别应力集中区域,优化壁厚、过渡圆角等设计参数,减少应力集中现象。轴承与辊筒的配合精度对托辊的疲劳寿命至关重要,优化轴承座的设计,提高轴承的安装精度和稳定性,可以延长轴承的使用寿命。此外,托辊的支撑结构设计应确保其在运行中的稳定性,减少振动和偏斜,降低额外的动态载荷。密封装置的设计也需要优化,采用多重密封或新型密封材料,防止灰尘和水分进入轴承内部,延长托辊的使用寿命。结构设计优化需要结合实际工况和制造工艺,确保设计方案的可行性和有效性。

4.3 制造工艺改进

制造工艺的改进对提高托辊的疲劳寿命具有重要意义。传统的制造工艺可能存在缺陷,如焊接缺陷、表面粗糙度高等,这些缺陷会成为疲劳裂纹的起源,显著降低托辊的使用寿命。优化制造工艺时,应采用先进的焊接技术,如激光焊接、电子束焊接等,这些技术能够提高焊接接头的强度和韧性,减少焊接缺陷,从而增强托辊的整体性能。表面处理工艺的改进也是关键,例如喷丸处理和表面硬化技术,可以有效提高托辊表面的硬度和抗疲劳性能,减少因磨损导致的疲劳失效。此外,精密加工技术的应用,如数控加工和磨削加工,能够显著提高托辊的尺寸精度和表面质量,减少应力集中现象,进一步延长疲劳寿命。制造工艺的改进需要结合材料特性和结构设计,确保工艺方案的可行性和经济性,从而实现托辊性能的全面提升和成本的有效控制。

4.4 工作环境与载荷优化

工作环境和载荷条件对托辊的疲劳寿命有显著影响。优化工作环境时,应采取防护措施,如安装防尘罩、使用防腐涂层等,减少灰尘、水分和腐蚀性气体对托辊的侵蚀,从而延缓材料老化和疲劳失效。载荷条件的优化包括减少动态载荷和冲击载荷,避免输送带在启动、停止或负载变化时产生过大的应力波动。通过优化输送带的张紧装置、安装缓冲装置等措施,可以有效降低托辊承受的冲击载荷,延长其使用寿命。此外,载荷分布的均匀性对托辊的疲劳寿命至关重要,通过优化托辊的布置方式,如增加托辊数量、调整托辊间距等,可以改善载荷分布,减少局部应力过高现象,避免因应力集中导致的疲劳裂纹。工作环境与载荷优化需要结合实际工况和设备配置,确保优化措施的有效性和可操作性,从而为托辊的长期稳定运行提供保障。

4.5 智能化监测与维护

智能化监测与维护是提高托辊疲劳寿命的重要手段。通过安装传感器和监测系统,实时监测托辊的运行状态,包括振动、温度、载荷等参数,可以及时发现异常情况,预防疲劳失效。数据分析技术的应用,如大数据分析、机器学习等,可以对监测数据进行深度分析,预测托辊的疲劳寿命,制定科学的维护计划。预防性维护策略的实施,如定期更换轴承、润滑保养等,可以延长托辊的使用寿命,减少意外停机。此外,智能化监测与维护还可以与设备管理系统集成,实现托辊的全生命周期管理,提高设备管理的效率和水平。智能化监测与维护需要结合先进的传感器技术和数据分析方法,确保监测系统的可靠性和准确性。

4.6 疲劳寿命预测与评估

疲劳寿命预测与评估是优化托辊设计和使用的重要依据。通过建立托辊的疲劳寿命预测模型,结合材料性能、结构设计、工作环境和载荷条件等因素,可以预测托辊的疲劳寿命。常用的预测方法包括基于S-N曲线的疲劳寿命预测、基于裂纹扩展速率的疲劳寿命预测和基于疲劳损伤累积理论的疲劳寿命预测。S-N曲线法通过绘制应力幅值与疲劳寿命的关系曲线,确定托辊的疲劳极

限;裂纹扩展速率法通过监测裂纹的长度变化,评估裂纹扩展的速率和规律;疲劳损伤累积理论通过计算不同载荷条件下的疲劳损伤累积量,预测托辊的疲劳寿命。疲劳寿命的评估需要通过试验和实际使用数据进行验证,确保预测模型的准确性和可靠性。此外,疲劳寿命的预测与评估还可以与设备管理系统集成,实现托辊的寿命预测和健康管理,提高设备管理的科学性和效率。疲劳寿命预测与评估需要结合先进的建模技术和数据分析方法,确保预测结果的准确性和实用性。

结束语

煤矿皮带输送机托辊的疲劳寿命分析及优化是提升设备运行效率和可靠性的关键。通过材料选择与优化、结构设计改进、制造工艺提升、工作环境与载荷优化以及智能化监测与维护等多方面的综合措施,可以有效延长托辊的使用寿命,降低设备故障率,减少维护成本。疲劳寿命的预测与评估为托辊的设计和使用提供了科学依据,而标准化与规范化管理则为托辊的生产和维护提供了保障。未来,随着新材料、新工艺和智能化技术的不断发展,托辊的疲劳寿命优化将迎来更多创新和突破,为煤矿皮带输送机的高效、安全运行提供坚实的技术支持。

参考文献

- [1]徐猛,刘正英.皮带机输送带撕裂产生的原因分析及预防[J].科技风,2025,(05):163-165
- [2]郝科.煤矿皮带输送机常见故障分析及处理[J].中国设备工程,2025,(03):173-175.
- [3]郑晓锋.矿用带式输送机托辊更换机械手设计与研究[J].煤矿机械,2025,46(02):32-34.
- [4]李兆众.选煤厂带式输送机综合防尘技术探索与研究[J].矿山机械,2025,53(01):30-33.
- [5]宁少慧,张少鹏,段攀龙,等.带式输送机智能托辊设计与仿真[J].起重运输机械,2024,(24):38-43+90.
- [6]王善忠.皮带机运行中托辊作用力及变形特性研究[J].中国设备工程,2023,(21):114-116.
- [7]吴珊.带式输送机托辊性能的分析及优化[J].机械管理开发,2023,38(10):43-45.