

发动机橡胶悬置疲劳寿命的研究进展

罗 凯

陕西德信零部件集团有限公司 陕西 西安 710200

摘要: 本文综述了近年来发动机橡胶悬置疲劳寿命研究的最新进展。重点介绍了橡胶材料的疲劳机制、疲劳寿命预测模型、实验方法以及提高疲劳寿命的策略。通过对相关文献的综合分析,旨在为橡胶悬置的设计优化和疲劳寿命提升提供理论支持和实践指导。

关键词: 发动机橡胶悬置; 疲劳寿命; 疲劳机制; 试验方法; 预测模型

引言

发动机橡胶悬置是汽车动力总成系统中的重要组成部分,其主要功能是隔离发动机的振动与噪声,保证汽车的平稳运行。然而,在实际使用过程中,橡胶悬置经常受到交变载荷的作用,导致其产生疲劳破坏,进而影响汽车的性能和安全性。因此,开展发动机橡胶悬置疲劳寿命的研究具有重要意义。

1 橡胶材料的疲劳机制

橡胶材料的疲劳机制是深入研究其疲劳寿命的关键所在。在循环载荷的持续作用下,橡胶材料会经历一个从微观裂纹萌生到宏观断裂的复杂过程。这一过程不仅受到材料内部应力集中的影响,还与裂纹扩展速率密切相关。应力集中往往发生在材料的缺陷或不规则处,这些区域在受到循环应力时更容易产生裂纹。而裂纹扩展速率则受到材料性质、载荷大小和环境因素等多重因素的共同作用。特别是在高温、低温、化学腐蚀等恶劣环境下,橡胶材料的疲劳性能会受到显著影响。高温会加速橡胶材料的老化,降低其抗疲劳性能;低温则可能使橡胶材料变硬,增加裂纹扩展的风险;化学腐蚀则可能破坏橡胶材料的分子结构,导致其性能下降。

2 疲劳试验方法

2.1 应力-寿命试验

应力-寿命试验是评估橡胶材料疲劳性能的重要手段之一。在该试验中,通过对橡胶试样施加不同幅值和频率的循环应力,模拟其在实际使用环境中受到的载荷条件。试验过程中,记录试样在不同应力水平下的疲劳寿命,即达到破坏或性能显著下降所需的循环次数。通过分析这些数据,可以建立橡胶材料的应力-寿命曲线,进而预测其在特定应力水平下的疲劳寿命。应力-寿命试验的结果对于橡胶悬置的设计和优化具有重要意义。它可以帮助工程师了解橡胶材料在不同应力条件下的疲劳性能,从而确定合适的应力水平和结构设计,以提高橡胶

悬置的耐久性和可靠性^[1]。同时,该试验还可以为橡胶材料的疲劳寿命预测模型提供实验数据支持,促进理论模型的发展和完善。

2.2 应变-寿命试验

应变-寿命试验是另一种评估橡胶材料疲劳特性的关键方法。与应力-寿命试验不同,应变-寿命试验更侧重于材料在循环应变下的响应。在此试验中,通过对橡胶试样施加预定的应变幅值和频率,观察其在不同应变水平下的疲劳表现。试验的关键在于准确控制应变的施加,并确保试样在试验过程中保持恒定的温度和环境条件。试验结束后,分析试样在不同应变水平下的疲劳寿命数据,可以绘制出橡胶材料的应变-寿命曲线。这条曲线为工程师提供了宝贵的信息,帮助他们了解橡胶材料在不同应变条件下的耐久性能。基于这些数据,可以对橡胶悬置进行优化设计,选择更合适的材料和结构,以提高其在复杂应变环境中的疲劳寿命和整体性能。

2.3 裂纹扩展试验

裂纹扩展试验是深入研究橡胶材料疲劳行为的关键手段之一。该试验专注于观察和分析橡胶中已存在裂纹在循环载荷作用下的扩展情况。通过精确制备带有初始裂纹的试样,并在控制条件下施加循环载荷,研究人员能够详细记录裂纹扩展的速率和方向。这种试验对于理解橡胶材料的断裂机制和预测其疲劳寿命至关重要。裂纹扩展试验的结果可以揭示橡胶在不同应力水平和环境条件下的裂纹扩展特性,为材料科学家和工程师提供有关材料性能和可靠性的重要信息。此外,裂纹扩展试验还有助于验证和发展橡胶材料的断裂力学模型,提高疲劳寿命预测的准确性。通过对比实验结果和模型预测,可以不断优化模型参数,增强对橡胶材料疲劳行为的理解和掌控能力,进而指导橡胶悬置等关键部件的设计和改进。

3 寿命预测模型

3.1 基于S-N曲线的寿命预测模型

S-N曲线,即应力-寿命曲线,描述了材料在循环应力作用下的疲劳寿命与应力水平之间的关系。对于橡胶材料而言,其S-N曲线通常通过实验数据拟合得到,反映了材料在不同应力幅值下的疲劳性能。在基于S-N曲线的寿命预测模型中,首先需要通过实验获取橡胶材料在不同应力水平下的疲劳寿命数据。然后,利用这些数据拟合得到材料的S-N曲线。在实际应用中,可以通过查询S-N曲线,根据橡胶悬置所受的应力水平来预测其疲劳寿命。这种方法具有简单、直观的优点,在工程实践中得到了广泛应用。然而,基于S-N曲线的寿命预测模型也存在一定的局限性。首先,S-N曲线是在特定实验条件下得到的,实际应用中可能存在差异。其次,该模型主要考虑了应力幅值对疲劳寿命的影响,而忽略了其他因素如加载频率、环境温度等的影响。因此,在使用基于S-N曲线的寿命预测模型时,需要注意其适用范围和限制条件,并结合实际情况进行修正和改进。

3.2 基于断裂力学的寿命预测模型

基于断裂力学的寿命预测模型为橡胶材料的耐久性评估提供了更为深入的理论框架。这一模型侧重于分析材料内部裂纹的萌生和扩展过程,从而预测其疲劳寿命。通过引入断裂力学参数,如应力强度因子、裂纹扩展速率等,该模型能够更准确地描述橡胶材料在复杂应力状态下的疲劳行为。在实际应用中,基于断裂力学的寿命预测模型首先需要对橡胶材料中的初始缺陷或裂纹进行量化分析。然后,结合材料的断裂韧性、应力分布等因素,计算裂纹在循环载荷作用下的扩展速率。最终,通过积分裂纹扩展速率,可以预测橡胶材料在特定载荷谱下的疲劳寿命。与基于S-N曲线的寿命预测模型相比,基于断裂力学的模型具有更强的物理意义和更广泛的适用性。它不仅能够考虑应力幅值的影响,还能兼顾加载频率、环境温度以及材料老化等多重因素^[2]。因此,在橡胶悬置等关键部件的疲劳寿命评估中,基于断裂力学的寿命预测模型具有更高的准确性和可靠性。

3.3 基于能量法的寿命预测模型

基于能量法的寿命预测模型是一种独特且有效的方法,用于评估橡胶材料的疲劳寿命。这一模型的核心思想是,材料的疲劳破坏过程可以被视为能量耗散的过程。在循环载荷作用下,橡胶材料会吸收、储存和释放能量,而疲劳损伤则与这些能量转换密切相关。在基于能量法的寿命预测模型中,关键参数是材料在循环加载过程中的能量耗散。这通常通过测量应力-应变滞回环的面积来确定,该面积代表了每个循环中材料耗散的能量。随着循环次数的增加,能量耗散逐渐累积,最终导

致材料的疲劳破坏。该模型的优点在于,它不仅能够考虑应力幅值和加载频率的影响,还能反映材料的非线性特性和损伤累积过程。这使得基于能量法的寿命预测模型在处理复杂载荷谱和多轴应力状态时具有更高的准确性。然而,该模型也存在一些挑战。例如,能量耗散与疲劳寿命之间的确切关系可能受到多种因素的影响,包括材料类型、配方、加工工艺以及环境条件等。因此,在应用基于能量法的寿命预测模型时,需要充分考虑这些因素,并结合实验数据进行验证和调整。

4 提高疲劳寿命的策略

4.1 优化橡胶材料配方

橡胶材料配方决定了其基本的物理和化学性质,进而影响到疲劳性能。因此,通过调整配方中的成分和比例,可以优化橡胶材料的力学性能、耐热性、耐寒性、耐老化性等关键指标,从而提高其抵抗疲劳破坏的能力。在优化橡胶材料配方时,首先要明确应用环境和性能要求。不同的使用条件对橡胶材料的性能要求各不相同。例如,高温环境下需要优异的耐热性和抗氧化性,而低温环境下则要求良好的耐寒性和柔韧性。因此,针对性地调整配方中的增塑剂、防老剂、补强剂等添加剂的种类和用量,可以满足特定环境下的性能需求。此外,利用现代材料科学技术,可以尝试引入新型的高性能橡胶原料和添加剂。这些新型原料和添加剂往往具有更优异的力学性能和稳定性,能够显著提升橡胶材料的疲劳寿命。例如,纳米填料的加入可以增强橡胶的力学强度和耐磨性,从而提高其抗疲劳性能。在实施优化配方策略时,还需要注意配方的可行性和成本效益。过于复杂的配方可能导致生产工艺难度增加、成本上升,甚至影响到材料的加工性能和成品率。因此,在追求高性能的同时,也要兼顾生产工艺的简便性和经济性^[3]。优化橡胶材料配方是提高橡胶悬置疲劳寿命的有效途径。通过明确应用环境、调整添加剂种类和用量、引入新型原料和添加剂等方法,可以显著提升橡胶材料的疲劳性能,为橡胶悬置的可靠运行提供有力保障。

4.2 改进悬置结构设计

改进悬置结构设计是提高橡胶悬置疲劳寿命的又一重要策略。合理的结构设计不仅能够优化悬置的力学性能,还能有效地分散和减少应力集中,从而延长橡胶材料在循环载荷作用下的使用寿命。在改进悬置结构设计时,首先要考虑的是整体布局的合理性。通过有限元分析等现代设计手段,可以对悬置在不同工况下的受力情况进行模拟和评估,从而找出潜在的应力集中区域和薄弱环节。针对这些问题,可以通过增加支撑点、改变截

面形状或优化连接方式来改善结构的应力分布。此外,减轻结构重量也是提高疲劳寿命的有效途径。过重的悬置结构不仅会增加材料的负担,还可能在动态载荷下引发更大的应力波动。因此,在保证结构强度的前提下,应尽量采用轻量化设计,如使用空心结构、优化壁厚等。同时,考虑到橡胶材料的特性,改进悬置结构设计时还需要注意避免过于复杂的几何形状和过小的圆角半径,以减少应力集中和裂纹萌生的风险。此外,合理的排气孔和流道设计也有助于提高橡胶材料的抗疲劳性能。改进悬置结构设计对于提高橡胶悬置的疲劳寿命具有重要意义。通过优化布局、减轻重量、简化形状以及考虑材料特性等方面的综合措施,可以有效地提升悬置的耐久性,确保其在长期使用中保持稳定的性能表现。

4.3 引入智能控制技术

随着科技的不断发展,智能控制技术为橡胶悬置的优化设计和使用提供了新的可能性。智能控制技术可以实时监测橡胶悬置的工作状态,包括应力、应变、温度等关键参数。通过与预设的安全范围进行比较,智能系统能够及时发现潜在的疲劳损伤和异常情况。一旦检测到问题,系统可以自动调整悬置的工作模式或发出警报,以避免进一步的损伤和事故发生。此外,智能控制技术还可以根据橡胶悬置的使用历史和工作环境,预测其疲劳寿命和剩余使用寿命。这种预测能力使得维护人员能够提前进行维护和更换,从而避免意外停机和生产损失。除了监测和预测功能,智能控制技术还可以优化橡胶悬置的工作性能。通过实时调整悬置的刚度和阻尼等参数,智能系统可以使其更好地适应不同的工作条件和载荷要求。这种动态调整不仅可以提高悬置的舒适性和稳定性,还有助于减少疲劳损伤的发生。然而,引入智能控制技术也面临一些挑战,如系统的可靠性、成本和集成难度等。因此,在实际应用中,需要综合考虑这些因素,选择合适的智能控制方案,并进行充分的测试和验证^[4]。引入智能控制技术是提高橡胶悬置疲劳寿命的一种有前景的策略。通过实时监测、预测和优化调整,智能系统能够显著提升悬置的耐久性和可靠性。

4.4 加强制造工艺控制

加强制造工艺控制对于提高橡胶悬置的疲劳寿命具有至关重要的意义。制造工艺的精细程度直接影响着橡

胶悬置的内部结构和性能表现,进而决定其在长期使用中的耐久性。首先,优质的原材料是制造工艺的基石。选择性能稳定、杂质含量低的橡胶原料,能够从根本上保证悬置的质量。同时,严格控制原料的配比和混合过程,确保各组份均匀分布,有助于形成均匀的橡胶结构和一致的物理性能。其次,硫化过程作为橡胶制品生产中的关键环节,对悬置的性能影响深远。通过精确控制硫化温度、时间和压力等参数,可以实现橡胶分子结构的优化交联,从而提高橡胶的力学性能和耐疲劳性能。此外,加强成型和加工过程中的工艺控制也至关重要。采用先进的成型技术和高精度的加工设备,能够确保悬置的尺寸精度和形状稳定性。同时,避免过度拉伸、压缩或剪切等不利变形,有助于减少内部应力和裂纹的产生。最后,严格的质量检测体系是确保制造工艺质量的最后一道屏障。通过建立完善的质量检测标准和流程,对悬置的关键性能指标进行全面、细致的检测,可以及时发现并剔除不合格产品,确保出厂的每一件悬置都符合高品质要求。

结语

我们探讨了近年来发动机橡胶悬置疲劳寿命研究的最新进展,包括橡胶材料的疲劳机制、疲劳试验方法、寿命预测模型等方面。这些研究成果为提高发动机橡胶悬置的疲劳寿命提供了有益的理论支持和实践指导。然而,由于橡胶材料的复杂性和疲劳破坏的多样性,目前的研究仍存在一些不足之处。未来,随着新材料、新工艺、新方法的不断涌现,相信发动机橡胶悬置的疲劳寿命研究会取得更加显著的成果。

参考文献

- [1]姜纪鑫;靳晓雄;殷闻.发动机橡胶悬置元件的疲劳寿命分析与预测[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2019(43):25-27.
- [2]靳晓雄;张强;单莘.发动机悬置橡胶元件疲劳特性研究进展[J].机械设计与研究,2020(02)(43):10-13.
- [3]周良生;雷盼飞.车辆橡胶悬置系统的研究进展[J].内燃机与配件,2019(43):52-53.
- [4]赵建才;陈春学;冯战勤.橡胶悬置疲劳断裂问题的理论计算和实验分析[J].中国橡胶,2021(43):33-34.