

船用齿轮箱噪声与振动控制技术研究

裘逸明 金淑芸 陶守勤 孙雁梁 汪淑君

杭州前进齿轮箱集团股份有限公司 浙江 杭州 311203

摘要: 船用齿轮箱作为船舶动力系统的核心组件,其运行过程中产生的噪声和振动问题一直是船舶工程领域关注的焦点。本文旨在深入探讨船用齿轮箱噪声与振动的控制技术,通过详细分析噪声与振动产生的机理,从设计、制造、使用及新型技术等多个维度提出有效的控制措施。本文旨在为相关领域的研究者和从业者提供理论支撑和实践指导,以推动船用齿轮箱技术的持续进步。

关键词: 船用齿轮箱; 噪声控制; 振动控制; 技术研究; 设计优化

引言

船用齿轮箱在船舶动力系统中扮演着举足轻重的角色,其性能优劣直接关系到船舶的运行平稳性、经济性以及船员的工作环境。然而,由于船舶运行环境的复杂性和齿轮箱内部结构的特殊性,齿轮箱在运行过程中不可避免地会产生噪声和振动。这些噪声和振动不仅会影响船员的身心健康,还可能对船舶的结构和设备造成损害。因此,对船用齿轮箱的噪声与振动控制技术进行深入研究,具有重要的理论意义和实用价值。

1 齿轮箱噪声与振动产生的原因分析

1.1 设计因素

齿轮箱的噪声与振动产生首先与设计因素密切相关。齿轮的几何参数设计是其中的关键环节,这些参数包括模数、齿数、压力角等。模数是齿轮尺寸的基础,它决定了齿轮的大小和强度。齿数则影响着齿轮的传动比和啮合平稳性,而压力角决定了齿轮啮合时的接触力和滑动速度。不合理的设计往往导致齿轮在啮合过程中产生不良的接触状态。例如,当齿轮的模数过大或过小,都可能导致齿轮在传动过程中的冲击和振动增大。齿数的不当选择也会引发问题,齿数过少可能导致传动不平稳,齿数过多则可能增加制造难度和成本,同时也可能增加振动和噪声。此外,齿轮箱的结构布局也是一个重要的设计因素。齿轮箱内部的轴承位置、齿轮的排列方式以及箱体的结构刚度等都会影响到噪声和振动的产生。例如,如果轴承位置设计不合理,可能会导致齿轮轴的偏斜,进而影响齿轮的正常啮合;齿轮的排列方式如果不当,可能会使得齿轮在传动过程中产生过大的侧隙,从而引发冲击和振动。除了上述因素外,设计过程中的一些细节问题也可能导致噪声和振动的产生^[1]。例如,齿轮的修形设计、齿面的硬度匹配、润滑方式的选择等都会影响到齿轮传动的平稳性和噪声水平。如果这

些因素在设计过程中没有得到充分地考虑和优化,那么在实际运行过程中就很可能产生较大的噪声和振动。

1.2 制造因素

制造过程中的多个环节对齿轮箱的噪声与振动有着显著影响。其中,齿轮的加工精度、表面粗糙度以及装配质量是关键因素。首先,齿轮的加工精度直接关系到其啮合性能。高精度加工的齿轮,其齿形、齿向和齿距等更为准确,这有助于减少啮合时的冲击和振动。相反,如果加工精度低,齿轮的啮合面可能不均匀,导致在传动过程中产生额外的振动和噪声。其次,齿轮的表面粗糙度也是一个重要的制造因素。粗糙的表面会导致齿轮在啮合时产生更多的摩擦和冲击,从而增加噪声和振动。为了降低这些不良影响,制造商需要确保齿轮的表面光滑度达到一定的标准。再者,装配质量对齿轮箱的性能也有显著影响。如果装配间隙过大,齿轮在啮合时会产生更多的游动,这不仅会增加冲击和振动,还可能加速齿轮的磨损。同样,如果装配过紧,也可能导致齿轮的过早磨损和噪声的增加。除了上述因素外,制造过程中的热处理、材料选择等也会对齿轮的噪声和振动产生影响。例如,不适当的热处理可能导致齿轮的硬度不均匀,从而影响其啮合性能。而材料的选择也会直接影响到齿轮的强度和耐磨性,进而影响其使用寿命和传动平稳性。

1.3 使用因素

船舶的运行环境、载荷变化以及润滑条件等使用因素对齿轮箱的噪声和振动具有显著影响。首先船舶的运行环境是一个多变且复杂的环境,船舶在其中航行时会遭遇各种海况,如涌浪、风浪等。特别是在恶劣的海况下,如大风浪、巨浪等极端天气条件,船舶会经历剧烈的摇晃和颠簸。这种不稳定的运行环境会直接导致齿轮箱受到额外的冲击和振动,从而增加噪声的产生。其

次, 载荷变化也是一个重要的使用因素。船舶在航行过程中, 由于货物的装卸、航速的变化等原因, 齿轮箱所承受的载荷会不断发生变化。当载荷突然增加或减少时, 齿轮箱的传动系统会受到相应的冲击, 这种冲击不仅会增加齿轮箱的振动, 还可能加速齿轮和轴承的磨损, 进而产生更多的噪声。最后, 润滑条件对齿轮箱的运行也至关重要。良好的润滑可以减少齿轮和轴承之间的摩擦, 降低磨损, 从而提高齿轮箱的运行平稳性。然而, 如果润滑不足或润滑油质量不佳, 就会导致摩擦增大, 进而产生更多的热量和噪声。此外, 润滑油中的杂质或颗粒物也可能对齿轮和轴承造成磨损, 进一步加剧振动和噪声的产生。

2 船用齿轮箱噪声与振动控制技术研究

2.1 设计优化

设计优化是减少船用齿轮箱噪声与振动的首要策略。这一策略的核心在于精确计算和优化关键设计参数。齿轮的模数、齿数、压力角等是设计中的关键要素。模数的选择直接影响齿轮的尺寸和承载能力, 过大或过小都可能导致不良的啮合性能和振动增加。因此, 在设计过程中, 需要综合考虑齿轮箱的传动功率、转速和使用环境等因素, 合理选择模数。齿数的多少关系到齿轮传动的平稳性和噪声水平。设计时应确保齿轮的齿数既能满足传动比的要求, 又能保持良好的啮合性能和低噪声特性。压力角的选择也会影响齿轮的啮合性能和噪声水平。较小的压力角可以提高齿轮的接触强度和传动效率, 但也可能增加噪声。因此, 设计时需要根据实际情况进行权衡。除了这些基本参数, 齿轮箱的整体结构布局同样至关重要。合理的布局可以有效分散和减少振动, 提高整体结构的稳定性。例如, 通过优化轴承位置和支撑结构, 可以减少齿轮轴的偏斜和振动传递。此外, 采用先进的齿轮设计理念和方法也是降低噪声和振动的有效途径。修形齿轮通过改变齿形来优化啮合过程, 减少冲击和振动。双圆弧齿轮则利用其特殊的齿形设计, 提高了齿轮的承载能力和传动平稳性, 从而降低噪声和振动。

2.2 制造工艺改进

制造工艺的改进对于降低船用齿轮箱的噪声和振动至关重要。提高齿轮的加工精度和表面质量, 不仅可以增强齿轮的耐磨性和使用寿命, 还能显著减少运行中的噪声和振动。为了达到这一目的, 采用先进的加工设备和工艺方法是关键。例如, 数控加工技术能够提供极高的加工精度, 确保齿轮的齿形、齿距等关键参数达到设计要求。与传统的机械加工相比, 数控加工技术更为精

确、高效, 且重复性极好, 从而大大提高了齿轮的制造精度和一致性。此外, 磨齿技术也是提高齿轮精度的有效手段。通过精细的磨削过程, 可以进一步修正齿轮的齿形和齿面粗糙度, 使其更加光滑、均匀。这不仅有助于减少齿轮在啮合过程中的摩擦和冲击, 还能显著提高齿轮的传动效率和使用寿命。除了加工技术的提升, 装配过程中的质量控制同样重要。齿轮箱的装配精度和稳定性直接影响其运行性能。因此, 在装配过程中, 必须严格控制各部件的配合间隙, 确保齿轮、轴承、箱体等之间的配合紧密、稳定。为了达到这一目的, 可以采用高精度的测量设备和专业的装配工艺, 确保每一个装配步骤都符合设计要求^[1]。同时, 对于装配过程中使用的润滑油、密封件等辅助材料, 也需要进行严格的质量控制。这些材料的质量和性能直接影响到齿轮箱的运行平稳性和噪声水平。因此, 在选择这些材料时, 必须考虑其耐高温、耐磨损、抗老化等性能, 确保其在恶劣的海洋环境中能够长时间稳定运行。

2.3 隔振技术

隔振技术是减少振动和噪声传播的重要手段, 主要分为被动隔振和主动隔振两大类。被动隔振技术主要是通过物理材料或结构来吸收、隔离振动能量, 从而减少对周围环境的影响。其中, 橡胶隔振器因其良好的弹性和阻尼性能而被广泛应用。橡胶材料不仅可以有效吸收振动能量, 还能在不同频率下提供稳定的隔振效果。此外, 阻尼材料也是被动隔振中的重要组成部分。这些材料通常具有高阻尼特性, 能够将振动能量转化为热能并耗散掉, 从而降低结构的共振幅度, 减少振动传递。与被动隔振不同, 主动隔振技术侧重于实时监测和主动控制。它通过传感器实时监测振动状态, 并通过控制系统计算出需要施加的反向振动来抵消原始振动。这种技术需要高精度的传感器、快速的控制系统以及强大的计算能力^[2]。主动隔振技术的优点在于其灵活性和适应性, 可以根据不同的振动环境和要求进行调整和优化。随着科技的进步, 主动与被动相结合的混合隔振技术正逐渐成为研究的热点。这种技术结合了被动隔振的稳定性和主动隔振的灵活性, 旨在提供更加全面和高效的隔振解决方案。例如, 可以在被动隔振的基础上加入主动控制元素, 通过实时监测和反馈调整被动隔振器的参数, 以达到更好的隔振效果。

2.4 智能化控制技术

在船舶运行与管理中, 智能化控制技术正逐渐崭露头角, 成为提高船用齿轮箱性能和减少噪声与振动的关键手段。借助物联网、传感器技术及人工智能算法等前

沿科技,我们能够实时监测齿轮箱的运行状态和性能参数,从而更加精准地管理和维护船舶设备。物联网技术的应用使得齿轮箱的每一个关键部件都能被“连接”起来,形成一个庞大的数据网络。通过安装在齿轮箱上的各类传感器,如温度传感器、振动传感器和压力传感器等,我们可以实时收集到关于齿轮箱运行状态的海量数据^[3]。这些数据不仅包括了齿轮箱的转速、温度、压力等基本信息,还能反映出齿轮箱的振动频率、噪声水平等更为细致的性能指标。而人工智能算法则是对这些数据进行深入挖掘和分析的关键。通过机器学习、深度学习等高级算法,我们可以从海量的运行数据中提炼出有价值的信息,比如齿轮箱的磨损趋势、异常振动的预警信号等。这些分析结果不仅能帮助我们及时发现潜在的噪声和振动问题,更能为后续的维护决策提供科学依据。当系统检测到异常数据时,智能化控制系统能够迅速做出反应,通过调整齿轮箱的运行参数或者触发预警机制,来避免潜在的故障发生。例如,当振动传感器检测到异常的振动频率时,系统可以自动调整齿轮的啮合角度或者润滑油的流量,以减小振动和噪声^[4]。此外,智能化控制技术还能为船舶的节能减排和智能化管理提供有力支持。通过对齿轮箱运行数据的实时监测和分析,我们可以更加精准地控制船舶的能耗,减少不必要的能源浪费。同时,智能化的管理系统还能帮助我们更加高效地调度和维护船舶设备,提高整个船队的运营效率。

3 新型控制技术的发展趋势

随着科技的日新月异和研发能力的持续增强,新型控制技术逐渐成为船用齿轮箱噪声与振动控制领域的研究热点。这些技术不仅展现了强大的应用潜力,还为船舶工业的持续发展注入了新的活力。主动控制技术是其中的佼佼者。与传统的被动控制方式不同,主动控制通过实时监测齿轮箱的运行状态,能够迅速、准确地做出反应,主动调整相关参数以抵消或减小噪声与振动。例如,当系统检测到异常的振动或噪声时,它可以迅速调整齿轮的啮合角度、润滑状态或是运行速度,以达到减振降噪的目的。这种技术的优势在于其高度的灵活性和实时性,使得齿轮箱在各种复杂环境下都能保持优良的

运行状态。与此同时,智能材料的应用也为噪声与振动控制带来了新的突破。这些材料能够根据外界环境的变化自动调整其物理属性,如形状、硬度等,从而达到控制噪声和振动的目的。例如,某些智能材料在受到振动时能够改变其刚度,从而吸收和分散振动能量^[4]。这种自适应的特性使得智能材料在船舶工业中具有广阔的应用前景。此外,结构优化也是新型控制技术的重要组成部分。通过对齿轮箱的结构进行合理的设计和 optimization,可以从根本上改善其噪声和振动的性能。这涉及材料的选择、部件的布局、连接方式等多个方面。随着计算机仿真技术和优化算法的发展,结构优化将变得更加精确和高效。展望未来,随着新材料、新工艺和智能化技术的不断进步,这些新型控制技术有望在船舶工业中发挥更大的作用。它们不仅能够提高齿轮箱的运行效率和可靠性,还能为船舶的节能减排和智能化管理提供有力支持。可以预见,在不久的将来,这些技术将成为船舶工业创新发展的重要推动力。

结语

船用齿轮箱的噪声与振动控制是一个具有挑战性和实用价值的课题。本文从设计、制造、使用及新型技术等多个角度对控制措施进行了深入探讨和分析。随着新材料、新工艺和智能化技术的不断发展以及环保法规的日益严格,未来船用齿轮箱的噪声与振动控制技术将迎来更多的创新和突破。我们期待这些技术能够在船舶工业中得到广泛应用和推广,为船舶的安全、高效、环保运行提供有力保障和支持。

参考文献

- [1]杨杰,朱如鹏,陈蔚芳,等.船用双层壳体齿轮箱柔性动力学建模及隔振性能分析研究[J].船舶力学,2024,28(02):309-318.
- [2]薛阳,姚恺涵,李亚楠,等.基于附加颗粒阻尼控制的船用齿轮箱减振方法[J].船舶工程,2023,45(11):74-84.
- [3]谢溪凌,董广明,林枫,等.船舶动力与传动装置振动控制技术发展研究[J].中国工程科学,2022,24(06):193-202.
- [4]徐新波.齿轮箱体振动分析及减振降噪结构优化研究[D].哈尔滨理工大学,2021.