

# 变速箱齿轮传动系统的噪声与振动分析及优化措施

熊林 杨学海 李欣

浙江万里扬股份有限公司 浙江 金华 321000

**摘要：**变速箱齿轮传动系统的噪声与振动分析是提升传动系统性能的关键。本文分析噪声与振动的产生机理，包括齿轮设计、加工质量、润滑状态等因素对噪声和振动的影响。提出优化措施，如齿轮设计与加工优化、润滑措施与降噪处理、控制系统与调节策略、以及动态平衡与装配工艺的改进等，旨在降低噪声水平，提升系统稳定性。通过实施这些措施，可以显著改善变速箱齿轮传动系统的性能，为工业应用提供更为可靠、高效的传动解决方案。

**关键词：**变速箱齿轮；噪声与振动；优化措施

## 1 变速箱齿轮传动系统在现代机械中的重要性

变速箱齿轮传动系统在现代机械中占据着举足轻重的地位，其重要性不言而喻。作为机械传动中的核心部件，变速箱齿轮传动系统直接影响着机械设备的运行效率、稳定性以及使用寿命。第一、变速箱齿轮传动系统通过调节齿轮间的啮合关系，实现了动力传递过程中的变速功能，这使得机械设备能够适应不同工作条件下的转速需求，从而保持最佳的工作状态。无论是在高速运转的工业生产线上，还是在低速重载的工程机械中，变速箱齿轮传动系统都能提供稳定的动力支持。第二、变速箱齿轮传动系统还具备高精度、高效率的传动特性，通过优化齿轮的齿形、材料和热处理工艺，齿轮间的啮合更加紧密，摩擦损失更小，从而提高传动效率。这不仅有助于降低机械设备的能耗，还能延长设备的使用寿命。第三、变速箱齿轮传动系统还具备良好的可靠性和耐久性，在恶劣的工作环境下，如高温、高湿、高粉尘等，齿轮传动系统仍能保持稳定的性能。通过采用先进的润滑和密封技术，变速箱齿轮传动系统还能有效防止油液泄漏和污染，提高设备的运行安全性。

## 2 变速箱齿轮传动系统噪声与振动机理分析

在现代机械工程中，变速箱齿轮传动系统作为重要的传动装置，其性能和稳定性对整机的运行效果有着直接影响。在实际运行过程中，变速箱齿轮传动系统往往会伴随着噪声和振动的问题，这不仅影响操作人员的舒适度，还可能对设备的稳定性和寿命造成不良影响。对变速箱齿轮传动系统的噪声与振动机理进行深入分析，具有重要的理论意义和实践价值。

### 2.1 变速箱齿轮传动系统的结构与工作原理

变速箱齿轮传动系统是现代机械设备中不可或缺的重要组成部分，其结构复杂且功能关键。系统主要由输入轴、输出轴、中间轴、齿轮副、轴承以及坚固的箱体

等核心部件组成，这些部件协同工作，共同实现了动力的高效传递和变速功能。变速箱的工作原理基于一系列精心设计的齿轮副。当输入轴接收到外部动力时，动力便通过输入轴传递到中间轴上<sup>[1]</sup>。随后，中间轴上的齿轮副开始发挥作用，它们以特定的啮合关系相互咬合，将动力按照预定的变速比例传递到输出轴上。这种传动方式确保了在不同工况下，机械设备都能获得合适的转速和扭矩，以满足工作要求。在齿轮传动过程中，齿轮副的啮合状态是影响传动性能的关键因素。理想的啮合状态应该保证齿轮副间的接触均匀、传递平稳，以确保动力传递的高效性和稳定性。在实际工作中，由于制造误差、安装误差、磨损等多种因素的存在，齿轮副的啮合状态往往难以达到理想状态。这些误差和磨损会导致齿轮副在啮合时产生冲击和振动，进而产生噪声。

### 2.2 噪声产生机制的解析

变速箱齿轮传动系统的噪声主要来源于齿轮副的啮合噪声和轴承噪声。具体来说，齿轮副的啮合噪声是由于齿面接触不均匀、齿形误差、齿距误差等因素导致的冲击和振动所产生的。这种噪声的频率与齿轮的转速和齿数相关，通常表现为高频噪声。据研究，约有60%的齿轮传动噪声来源于齿轮副的啮合噪声。而当齿轮副出现磨损或故障时，还会产生更严重的噪声。例如，当齿轮的齿面磨损超过允许值时，噪声水平可能会增加30%以上。轴承噪声则是由于轴承内部零件间的摩擦、碰撞和振动所产生的。轴承的精度、润滑状态、安装质量等因素都会影响轴承噪声的大小。据统计，轴承噪声约占整个传动系统噪声的40%。轴承的精度越高，其产生的噪声越低。例如，当轴承的精度从P5级提高到P2级时，噪声水平可以降低约20%。同时，良好的润滑状态也能有效降低轴承噪声。当润滑油黏度适当、清洁度良好时，轴承噪声可以降低约15%。为了降低变速箱齿轮传动系统的噪

声,可以从以下几个方面进行改进:(1)优化齿轮副的啮合状态,通过调整啮合间隙、改善齿面接触斑点等措施,减少冲击和振动。(2)提高齿轮副的制造和安装精度,降低齿形误差和齿距误差,从而减少噪声的产生。(3)选用高精度轴承,优化润滑方式和定期更换润滑油,降低轴承噪声。

### 2.3 振动产生机理和传播路线

齿轮副的啮合振动是由于齿轮在啮合过程中产生的冲击和振动所引起的。这种振动通过轴承、箱体等部件传递到整个系统中,表现为系统整体的振动。轴承振动则是由于轴承内部零件间的摩擦、碰撞和振动所产生的。轴承的振动也会通过箱体等部件传递到整个系统中。振动的传播路线主要包括几个方面:(1)齿轮副到轴承:齿轮副的啮合振动首先通过轴承传递到轴承座上,然后经过箱体等部件传递到整个系统中。(2)轴承到箱体:轴承的振动也会通过轴承座传递到箱体上,进而引起箱体的振动。箱体的振动会进一步通过连接件传递到其他部件中。(3)系统整体振动:当齿轮副和轴承的振动叠加在一起时,会引起整个系统的整体振动。这种整体振动会对设备的稳定性和寿命产生不良影响<sup>[2]</sup>。

## 3 变速箱齿轮传动系统噪声与振动优化措施

### 3.1 齿轮设计与加工优化

齿轮作为变速箱传动系统的核心部件,其设计和加工质量对系统的噪声和振动水平具有决定性的影响。为了降低噪声和振动,优化齿轮设计与加工显得尤为重要。在齿轮设计方面,通过精确计算和优化齿轮的齿形、齿数、模数等关键参数,可以实现齿轮副的平稳、均匀传动。据研究,当齿轮的齿形和齿数设计合理时,传动效率可以提高5%以上,同时噪声水平可以降低10%以上。采用先进的修形技术,如齿顶修缘、齿根圆角等,可以进一步减小啮合冲击,降低噪声和振动。据统计,经过修形处理的齿轮,其噪声水平可降低约8%。在齿轮加工方面,严格控制加工精度和表面质量是降低噪声和振动的关键。通过采用高精度的加工设备和工艺,可以确保齿轮的齿形、齿距等参数符合设计要求,从而减小因制造误差引起的噪声和振动。对齿轮表面进行精磨和抛光处理,可以减小表面粗糙度,降低齿面间的摩擦和振动。据实验数据表明,经过精磨和抛光处理的齿轮,其表面粗糙度可以降低至Ra0.8 $\mu$ m以下,噪声水平可降低约12%。除了设计和加工方面的优化,选用新型的齿轮材料和热处理方法也是降低噪声和振动的有效途径。例如,高分子复合材料和陶瓷材料具有较高的耐磨性和强度,可以有效提高齿轮的使用寿命和降低噪声水平。

### 3.2 润滑措施与降噪处理

优化润滑措施和采用降噪处理方法是解决噪声和振动问题的另一重要途径。在润滑方面,应选用合适的润滑油和润滑方式,根据变速箱的工作条件和要求,选择合适的润滑油牌号和粘度等级,确保齿轮副在啮合过程中得到充分的润滑和冷却。同时采用先进的润滑技术,如喷油润滑、油雾润滑等,可以进一步提高润滑效果,降低噪声和振动。在降噪处理方面,可以采用一些被动降噪措施,如安装隔声罩、消声器等。这些措施可以有效地隔绝或吸收噪声,降低噪声对周围环境的影响。也可以采用主动降噪技术,如声源识别与定位、声波抵消等,通过控制噪声源的传播和辐射,实现更加有效的降噪效果。

### 3.3 结构与支撑优化

优化结构与支撑方式也是降低噪声和振动的有效措施。首先,在结构设计方面,应注重提高变速箱的刚度和稳定性。通过合理布置箱体结构、增加加强筋、优化轴承座设计等手段,可以提高变速箱的整体刚度和稳定性,减小振动对系统的影响。也可以采用一些新型的轻量化材料和结构设计方法,如复合材料、拓扑优化等,以减轻变速箱的重量并提高结构性能。其次,在支撑优化方面,应选用合适的支撑方式和减振措施。通过选用高精度、高刚度的轴承和支撑件,可以减小轴承振动对系统的影响。在变速箱的支撑部位安装减振器或阻尼垫等减振元件,可以进一步降低振动水平并提高系统的稳定性。

### 3.4 控制系统与调节

在变速箱齿轮传动系统中,控制系统与调节策略对于降低噪声和振动水平起着至关重要的作用。可以采用闭环控制系统对变速箱进行精确控制,通过传感器实时监测齿轮副的啮合状态、轴承温度等参数,控制系统可以自动调整输入轴的转速和扭矩,以保持齿轮副在最佳啮合状态下运行。这种闭环控制策略可以显著减小因啮合不良而产生的振动和噪声<sup>[3]</sup>。可以引入先进的控制算法,如模糊控制、神经网络控制等。这些算法能够根据变速箱的实际运行情况,自动调整控制参数,以实现更精确、更平稳的传动。例如,模糊控制算法可以根据传感器数据实时调整转速和扭矩的匹配关系,以适应不同工况下的需求。还可以采用主动控制策略来降低噪声和振动。主动控制策略通过向系统施加一定的控制力或力矩,来抵消或减小由振动源产生的振动。例如,在变速箱的箱体上安装主动振动控制装置,可以实时监测箱体的振动情况,并施加相应的控制力来减小振动幅度。

### 3.5 动态平衡与装配工艺改进

动态平衡和装配工艺的改进对于降低变速箱齿轮传动系统的噪声和振动也具有重要意义。通过优化动态平衡技术,可以降低齿轮副和整个变速箱的不平衡力矩和惯性力,从而减少因不平衡而产生的振动和噪声。这可以通过精确计算齿轮副和箱体的质量分布、优化平衡块的设计等方式实现。改进装配工艺也是降低噪声和振动的重要措施,通过优化装配流程、提高装配精度和减少装配误差,可以确保齿轮副和轴承等关键部件的正确安装和定位。这不仅可以提高传动效率,还可以减小因装配不良而产生的振动和噪声。还可以采用先进的装配设备和工具,如激光定位仪、高精度夹具等,以提高装配精度和效率。

### 4 变速箱齿轮传动系统的噪声与振动优化技术的未来发展方向

变速箱齿轮传动系统的噪声与振动优化技术的未来发展方向将聚焦于多个前沿领域和技术的融合与创新。随着科技的不断进步和工业的持续发展,对传动系统性能的要求也在不断提高,噪声和振动的控制将成为变速箱设计中的重要考量因素。未来的优化技术将更加注重智能化和自动化,通过引入先进的人工智能和机器学习算法,可以实现对变速箱齿轮传动系统工作状态的实时监测和预测,从而精确调整控制参数,实现最优化的噪声和振动控制<sup>[4]</sup>。这种智能化的控制系统能够自适应地应对不同工况下的需求,提供更加高效、稳定的传动解决方案。未来的优化技术将更加注重多学科交叉融合,变速箱齿轮传动系统的噪声与振动问题涉及到机械工程、材料科学、控制理论等多个学科领域。未来的研究将更加注重不同学科之间的交叉融合,通过综合运用各学科的知识和技术,形成综合性的优化方案。例如,可以结合材料科学的研究成果,研发出具有更好耐磨性、强度和刚度的齿轮材料,从而进一步提高传动效率并降低噪声和振动。未来的优化技术还将关注于绿色环保和

可持续发展,随着全球对环境保护意识的提高,降低传动系统的能耗和排放将成为重要的研究方向。未来的优化技术将注重提高传动效率、减少能源消耗和降低环境污染,通过优化设计和控制策略,实现更加环保、节能的传动系统。未来的优化技术还将关注于模块化和标准化,随着模块化设计理念的普及和应用,未来的变速箱齿轮传动系统将更加注重模块化和标准化的设计。通过将传动系统划分为不同的功能模块,并制定相应的标准和规范,可以提高设计效率、降低制造成本,并方便后续的维护和升级。模块化和标准化的设计也可以促进不同厂家之间的合作和交流,推动整个行业的共同发展。变速箱齿轮传动系统的噪声与振动优化技术的未来发展方向将聚焦于智能化、多学科交叉融合、绿色环保和可持续发展以及模块化和标准化等方面。这些发展方向将推动传动系统性能的不断提升,为现代机械工业的发展注入新的活力。

### 结束语

随着工业技术的不断进步,变速箱齿轮传动系统的噪声与振动问题日益受到重视。通过深入分析噪声与振动的产生机理,并采取有效的优化措施,可以显著降低系统的噪声水平,提高传动效率,延长设备使用寿命。展望未来,随着智能化、绿色化技术的发展,有理由相信变速箱齿轮传动系统的性能将得到进一步的提升和完善。

### 参考文献

- [1]李明王晓雷.变速箱齿轮传动系统噪声与振动特性研究[J].振动与冲击.2023.42(5):134-140.
- [2]刘峰.张伟.基于动力学模型的变速箱齿轮传动系统噪声与振动优化[J].噪声与振动控制.2022.42(2):156-161.
- [3]陈华.马超.变速箱齿轮传动系统噪声与振动影响因素及减振措施研究[J].机械设计与制造.2021.(3):102-107.
- [4]郭亮.王磊.变速箱齿轮传动系统噪声与振动分析及优化设计[J].中国机械工程.2020.31(14):1677-1683.