

机械传动中的振动与噪声控制技术研究

李东锋

陕西东方之星传动科技有限公司, 陕西 西安 710000

摘要：机械传动系统中的振动与噪声是影响设备性能、可靠性和使用寿命的重要因素。本文深入探讨了机械传动中振动与噪声的产生机理、控制技术及其研究进展。通过分析振动与噪声的来源，提出了优化设计、材料选择、制造工艺改进、润滑与冷却以及主动与被动控制等多种技术手段。这些技术旨在降低机械传动中的振动与噪声水平，提高设备的运行稳定性和可靠性。本文还展望了机械传动中振动与噪声控制技术的研究方向和发展趋势，为相关领域的研究和实践提供了有益的参考。

关键词：机械传动；振动控制；噪声控制；优化设计；制造工艺；润滑技术

Research on Vibration and Noise Control Technology in Mechanical Transmission

Li Dongfeng

Shaanxi Oriental Star Transmission Technology Co., LTD. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract： Vibration and noise in the mechanical transmission system are the important factors affecting the performance, reliability and service life of the equipment. This paper discusses the generation mechanism, control technology and research progress of vibration and noise in mechanical transmission. By analyzing the sources of vibration and noise, optimization design, material selection, manufacturing process improvement, lubrication and cooling, and active and passive control are proposed. These technologies are designed to reduce the vibration and noise levels in the mechanical transmission and improve the operation stability and reliability of the equipment. This paper also discusses the research direction and development trend of vibration and noise control technology in mechanical transmission, which provides a useful reference for the research and practice in related fields.

Keywords： mechanical transmission; vibration control; noise control; optimized design; manufacturing process; lubrication technology

引言

机械传动是工业领域中不可或缺的一部分，它通过各种传动装置将动力和运动从一个部件传递到另一个部件。然而，在机械传动过程中，振动与噪声问题一直困扰着工程师们。振动不仅会影响设备的稳定性和精度，还会加速部件的磨损和疲劳，缩短设备的使用寿命。而噪声则会对操作人员的身心健康产生负面影响，严重时甚至会影响设备的正常运行。因此，对机械传动中的振动与噪声控制技术进行深入研究，具有重要的理论意义和实际应用价值。

近年来，随着制造业的快速发展和人们对环境质量要求的提高，机械传动中的振动与噪声问题日益受到重视。国内外学者在这一领域进行了大量的研究，提出了许多有效的控制技术和方法^[1]。然而，由于机械传动系统的复杂性和多样性，现有的控制技术仍存在一定的局限性和不足。因此，本文旨在综合探讨机械传动中的振动与噪声控制技术，分析各种方法的优缺点，并提出未来的研究方向和发展趋势。

一、机械传动中振动与噪声的产生机理

机械传动中的振动与噪声问题，其根源在于多种因素的相互作用。了解这些因素的产生机理，是制定有效控制策略的前提。

（一）振动的产生机理

不平衡，机械传动中的旋转部件，如轴、齿轮等，若存在质量分布不均或安装不当，会导致旋转时产生离心力，进而引发振

动。这种不平衡振动是机械传动中最常见的振动形式之一。

啮合误差，齿轮传动中，由于齿轮的加工误差、安装误差或磨损，会导致齿轮啮合时的冲击和振动。这种振动不仅影响齿轮的传动精度，还会加速齿轮的磨损。

轴承问题，轴承作为机械传动中的重要部件，其性能直接影响传动系统的稳定性。若轴承存在磨损、松动或润滑不良等问题，会引发轴承振动，进而影响整个传动系统的性能。

结构共振，机械传动系统的结构在特定频率下会发生共振，导致振幅显著增大。这种共振现象不仅会影响设备的正常运行，还可能对设备造成损坏。

（二）噪声的产生机理

机械噪声，机械噪声主要由机械部件之间的摩擦、撞击和振动产生。在机械传动中，齿轮、轴承、轴等部件的摩擦和撞击会产生噪声，同时振动也会通过空气传播形成噪声。

流体噪声，在液压传动中，液压泵、阀等液压元件在工作过程中会产生流体噪声。这种噪声主要由流体流动时的湍流、涡流和喷射等现象引起。

电磁噪声，电磁噪声主要由电动机、变压器等电磁设备在工作过程中产生的磁场和电场变化引起。这种噪声通常表现为低频嗡嗡声或高频啸叫声。

二、机械传动中振动与噪声的控制技术

针对机械传动中的振动与噪声问题，国内外学者和工程师们提出了多种有效的控制技术。这些技术涵盖了优化设计、材料选择、制造工艺改进、润滑与冷却以及主动与被动控制等多个方面。

（一）优化设计

结构优化设计，通过优化机械传动系统的结构，可以降低振动和噪声的产生。例如，采用对称结构、增加支撑点、优化齿轮参数等措施，可以减少不平衡和啮合误差引起的振动。同时，通过合理设计传动系统的固有频率，可以避免共振现象的发生。

动态性能分析，利用有限元分析、模态分析等动态性能分析方法，可以对机械传动系统进行建模和仿真，预测系统的振动和噪声特性。通过调整系统的结构参数和边界条件，可以优化系统的动态性能，降低振动和噪声水平。

（二）材料选择

高阻尼材料，选择具有高阻尼性能的材料作为机械传动部件的制造材料，可以有效地吸收和耗散振动能量，降低系统的振动水平。常见的高阻尼材料包括橡胶、聚氨酯、阻尼合金等。

轻质高强度材料，采用轻质高强度材料可以降低机械传动系统的质量，从而降低系统的固有频率和振动响应。同时，轻质材料还可以减少噪声的传播和反射，降低噪声水平。常见的轻质高强度材料包括铝合金、钛合金、复合材料等。

耐磨材料，选择耐磨性能好的材料作为机械传动部件的表面涂层或摩擦副材料，可以减少摩擦和磨损，降低噪声的产生。常见的耐磨材料包括碳化硅、氮化硅、陶瓷等。



> 图1 砂轮蜗杆磨齿机

（三）制造工艺改进

精密加工技术，采用精密加工技术可以提高机械传动部件的加工精度和表面质量，从而减少制造误差和装配误差对传动性能的影响。常见的精密加工技术包括磨削、研磨、珩磨等。

热处理技术，热处理技术可以改变材料的组织和性能，提高

机械传动部件的硬度和耐磨性。通过合理的热处理工艺，可以延长部件的使用寿命，减少因磨损而产生的噪声。

装配工艺优化，优化机械传动部件的装配工艺，确保部件之间的正确配合和紧密连接，可以降低装配误差对传动性能的影响。例如，采用预紧力控制、同轴度调整等措施，可以提高传动系统的稳定性和精度。^[2]

（四）润滑与冷却

选择合适的润滑剂，润滑剂在机械传动中起着减小摩擦、降低磨损和冷却部件的作用。选择合适的润滑剂可以降低机械传动中的振动和噪声水平。例如，对于齿轮传动，可以选择具有极压抗磨性能的齿轮油；对于轴承传动，可以选择具有抗磨和防锈性能的润滑脂。

优化润滑方式，优化润滑方式可以提高润滑效果，降低机械传动中的振动和噪声水平。例如，采用飞溅润滑或压力润滑方式，可以确保润滑剂均匀地分布在传动部件之间；采用油雾润滑方式，可以减少润滑剂对环境的污染。^[3]

加强冷却措施，对于高温工作环境下的机械传动系统，需要加强冷却措施以降低部件的温度。通过合理的冷却方式（如风冷、水冷等），可以减少因热膨胀和变形而引起的振动和噪声。

（五）主动与被动控制技术

主动控制技术。主动控制技术通过传感器实时监测机械传动系统的振动和噪声信号，并根据控制算法生成控制指令，通过执行器对系统进行实时调整和控制。这种技术可以实现对机械传动系统的精确控制，降低振动和噪声水平。常见的主动控制技术包括振动主动控制、噪声主动消声等。

振动主动控制，通过传感器监测机械传动系统的振动信号，利用控制算法计算出控制力或控制力矩，通过执行器施加到系统上，以抑制或消除振动。这种技术可以实现对振动信号的实时跟踪和补偿，具有高效、灵活和可控性好的优点。

噪声主动消声，通过噪声传感器监测环境中的噪声信号，并利用主动噪声控制算法生成与噪声信号相位相反、振幅相等的控制信号。将控制信号通过扬声器播放，与噪声信号相互抵消，从而降低噪声水平。这种技术可以针对特定频率的噪声进行消声处理，适用于需要精确控制噪声的应用场景。

被动控制技术。被动控制技术主要通过机械传动系统中添加隔振器、减振器、阻尼器等被动元件来降低振动和噪声水平。这些被动元件可以吸收、耗散或隔离振动和噪声能量，从而实现对机械传动系统的控制。^[4]

隔振与减振，通过在机械传动系统与基础之间设置隔振器或减振器，可以隔离或吸收振动能量，降低振动对周围环境和设备的影响。常见的隔振器包括橡胶隔振器、弹簧隔振器等，它们能够根据需要提供不同的刚度和阻尼性能。

阻尼处理，在机械传动部件的表面或内部添加阻尼材料，如阻尼涂层、阻尼橡胶等，可以提高部件的阻尼性能。阻尼材料能够吸收和耗散振动能量，从而降低系统的振动水平。同时，阻尼处理还可以减少噪声的传播和反射，降低噪声水平。

三、机械传动中振动与噪声控制技术的进展与挑战

随着科技的进步和制造业的发展，机械传动中的振动与噪声

控制技术取得了显著的进展。然而，仍面临一些挑战和问题需要解决。

（一）技术进展

智能控制技术。智能控制技术的发展为机械传动中的振动与噪声控制提供了新的手段。通过引入人工智能、机器学习等先进技术，可以实现对机械传动系统的智能监测和控制。例如，利用神经网络算法对振动和噪声信号进行识别和分析，可以实现对故障的预测和诊断；利用模糊控制算法对系统进行实时调整和控制，可以实现更加精确和高效的振动与噪声控制。

新型材料的应用。新型材料的出现为机械传动中的振动与噪声控制提供了新的选择。例如，纳米材料、智能材料等具有优异的力学性能和阻尼性能，可以有效地降低机械传动中的振动和噪声水平。同时，这些新型材料还可以实现自适应调节和智能控制等功能，为机械传动系统的优化设计和控制提供了新的思路。

多学科交叉融合。机械传动中的振动与噪声控制问题涉及多个学科领域的知识和技术。近年来，随着多学科交叉融合的发展趋势，越来越多的学者和工程师开始从力学、声学、材料科学、控制理论等多个角度综合研究机械传动中的振动与噪声控制问题。这种跨学科的研究方法有助于发现新的控制策略和手段，提高机械传动系统的性能和可靠性。^[5]

（二）面临挑战

复杂性与多样性。机械传动系统具有复杂性和多样性的特点，不同传动形式和工况下的振动与噪声问题各不相同。因此，如何针对不同类型的机械传动系统制定有效的控制策略，是当前面临的重要挑战之一。

实时监测与控制难度。在机械传动过程中，振动与噪声信号往往具有时变性和非线性等特点，难以实现实时监测和精确控制。此外，由于传动系统的复杂性和干扰因素的存在，控制算法的稳定性和鲁棒性也面临挑战。

成本控制与可持续性。在实际应用中，振动与噪声控制技术的成本往往较高，且可能对环境产生一定的影响。如何在保证控制效果的同时降低成本、实现可持续发展，是当前需要解决的问题之一。

四、机械传动中振动与噪声控制技术的未来发展方向

针对当前面临的挑战和问题，机械传动中振动与噪声控制技术的未来发展方向将主要围绕以下几个方面展开：

（一）高精度实时监测技术

随着传感器技术和信号处理技术的不断发展，高精度实时监测

技术将成为机械传动中振动与噪声控制的重要手段。通过引入高精度传感器和先进的信号处理算法，可以实现对机械传动系统振动和噪声信号的实时监测和分析，为控制策略的制定提供有力支持。

（二）智能自适应控制技术

智能自适应控制技术将根据机械传动系统的实时状态和需求，自动调整控制策略和参数，实现对振动和噪声的精确控制。这种技术将结合人工智能、机器学习等先进技术，提高控制算法的稳定性和鲁棒性，降低控制成本 and 环境影响。

（三）新型功能材料的应用

新型功能材料如纳米材料、智能材料等具有优异的力学性能和阻尼性能，将为机械传动中的振动与噪声控制提供新的选择。通过研究和开发具有自适应调节和智能控制功能的新型材料，可以进一步提高机械传动系统的性能和可靠性。

（四）多学科交叉融合与协同创新

机械传动中的振动与噪声控制问题涉及多个学科领域的知识和技术。未来，将加强力学、声学、材料科学、控制理论等多学科之间的交叉融合与协同创新，共同推动机械传动中振动与噪声控制技术的发展和應用。

五、结束语

机械传动中的振动与噪声控制是一个复杂而重要的问题，涉及多个学科领域的知识和技术。通过深入研究机械传动系统的振动与噪声产生机理，并采取有效的控制技术，可以降低系统的振动和噪声水平，提高设备的稳定性和可靠性。本文综述了机械传动中振动与噪声控制技术的最新进展和未来发展方向，并探讨了优化设计、材料选择、制造工艺改进、润滑与冷却以及主动与被动控制等多种技术手段的应用。这些技术手段为机械传动中的振动与噪声控制提供了有力的支持，有助于推动相关领域的快速发展。然而，随着科技的进步和制造业的发展，机械传动中的振动与噪声控制问题仍面临诸多挑战和问题需要解决。因此，我们需要继续关注这一领域的研究进展和技术创新，不断探索新的控制策略和手段，为机械传动系统的优化设计和控制提供更加全面和有效的支持。同时，我们也需要加强跨学科合作，整合力学、声学、材料科学、控制理论、信息技术等多个领域的知识和技术，共同攻克机械传动中振动与噪声控制的难题。通过多学科交叉融合，我们可以更深入地理解机械传动系统的动态行为和振动噪声产生机制，从而提出更加精准和高效的控制策略。

参考文献

- [1] 张英华. 液压系统振动与噪声的原因分析 [J]. 才智, 2009(9): 1.
- [2] 刘劲涛. 反共振振动机械的关键技术研究 [D]. 东北大学, 2011.
- [3] 卓兴成. 动力机械传动装置振动信号分析与诊断技术研究 [D]. 南京理工大学, 2018.
- [4] 李俊华. 工程机械齿轮传动噪声的产生及其控制 [J]. 科学技术与工程, 2006, 6(18): 3.
- [5] 钟延涛. 重型齿轮传动轮体振动与减振技术研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2012.