

高速箱噪声控制与降噪技术研究

陈伟男

南京高精齿轮集团有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/ME.2024080009

摘要：随着工业技术的快速发展，高速箱作为众多机械设备中的关键组件，其运行效率和稳定性对整体系统性能至关重要。然而，高速箱在运行过程中产生的噪声不仅影响操作人员的身心健康，还可能对周围环境造成干扰，甚至影响设备的长期可靠性。因此，开展高速箱噪声控制与降噪技术研究具有重要意义。本文首先综述了噪声测量与评估方法，包括先进的测量技术、噪声评估标准及指标，以及数据分析与噪声特性建模。接着，深入探讨了主动噪声控制技术、被动噪声控制策略及混合降噪技术的原理与应用。在高速箱降噪设计部分，本文详细阐述了结构优化设计、隔音材料应用以及减振与隔振系统设计等具体措施。最后，通过实验验证降噪技术的有效性。

关键词：高速箱；噪声控制；降噪技术原理；降噪设计

Research on Noise Control and Noise Reduction Technology of High-Speed Boxes

Chen Weinan

Nanjing High Precision Gear Group Co., LTD. Nanjing, Jiangsu 210000

Abstract： With the rapid development of industrial technology, high-speed boxes, as key components among numerous mechanical equipment, their operational efficiency and stability are crucial to the overall system performance. However, the noise generated by the high-speed box during operation not only affects the physical and mental health of the operators, but may also cause interference to the surrounding environment and even affect the long-term reliability of the equipment. Therefore, it is of great significance to carry out research on noise control and noise reduction technology for high-speed boxes. This paper first reviews the methods of noise measurement and assessment, including advanced measurement techniques, noise assessment standards and indicators, as well as data analysis and noise characteristic modeling. Then, the principles and applications of active noise control technology, passive noise control strategies and hybrid noise reduction technology were deeply discussed. In the noise reduction design section of high-speed boxes, this paper elaborates in detail on specific measures such as structural optimization design, application of sound insulation materials, and design of vibration reduction and isolation systems. Finally, the effectiveness of the noise reduction technology is verified through experiments.

Keywords： high-speed box; noise control; the principle of noise reduction technology; noise reduction design

一、噪声测量与评估方法

（一）测量技术与设备

在研究高速箱噪声控制与降噪技术的过程中，测量技术与设备是基础，它们用于准确评估噪声源和噪声传播特性。例如，使用高精度的声级计可以测量不同工况下高速箱产生的噪声级，确保数据的可靠性和一致性。此外，频谱分析仪的应用能够分析噪声的频率成分，帮助我们识别主要的噪声贡献源。同时，采用先进的噪声测量麦克风阵列，可以定位噪声源，实现空间噪声分布的可视化，这对于后续的降噪设计至关重要。另外，为了获取更全面的噪声数据，还会用到实时数据采集系统，该系统能够连续记录噪声水平，便于后续的深入分析和处理。

（二）噪声评估标准与指标

在噪声测量与评估方法中，明确噪声评估标准与指标同样至关重要。这些标准和指标为我们提供了一个衡量噪声水平及其影响的基准。常见的噪声评估标准包括国际标准化组织制定的 ISO 3891 等标准，它们详细规定了噪声测量的方法和环境要求。此外，针对不同应用场景，如工业、交通、居住等，还有相应的国家或地区性噪声控制标准，以确保噪声水平在可接受范围内。

在评估指标方面，我们主要关注噪声级、频率特性、噪声持续时间以及噪声对人体的潜在影响。噪声级通常以分贝为单位表示，是衡量噪声大小的基本指标。频率特性则揭示了噪声中不同频率成分的分布，有助于识别主要的噪声源。^[1] 噪声持续时间反映了噪声的持续性，对于评估长期暴露于噪声环境下的人员健康

风险尤为重要。同时，我们还需要考虑噪声对人体的潜在影响，如听力损伤、心理压力等，这通常需要通过专业的健康评估来实现。

（三）数据分析与噪声特性建模

在噪声控制与降噪技术的研究中，数据分析与噪声特性建模是至关重要的步骤。通过对实际噪声环境的详细测量，我们可以收集大量的声学数据，如频谱特性、声压级、相位信息等。例如，使用高精度的声级计和频谱分析仪在不同工况下对高速箱的噪声进行记录。这些数据随后会被用于构建噪声源的数学模型，帮助我们理解噪声产生的物理机制。

在数据分析阶段，可能需要应用到各种统计和信号处理技术，如快速傅里叶变换来分析噪声的频域特性，或者使用滤波器来识别特定频率的噪声源。^[2]此外，通过对比不同工况下的噪声数据，可以识别出影响噪声的关键参数，如转速、载荷或机械振动模式等。

噪声特性建模则基于这些分析结果，将复杂的噪声现象简化为数学表达式或计算机模拟，以便我们能够预测和评估不同降噪措施的效果。建模过程可能包括建立噪声传递路径的模型，分析噪声在不同介质中的传播特性，以及预测噪声在不同距离和方向上的衰减规律。这些模型不仅可以用于指导降噪设计，还可以为后续的降噪技术实验验证提供理论基础和预测依据。

二、降噪技术原理

（一）主动噪声控制技术

主动噪声控制技术是一种先进的噪声抑制策略，它通过生成与噪声波形相位相反的声波来抵消噪声，从而实现降噪目标。在高速箱噪声控制中，主动噪声控制技术的应用尤为关键，因为它可以针对特定频段的噪声进行精确抑制。例如，可以采用微型麦克风阵列来捕捉箱体内部的噪声信号，然后通过高速信号处理器实时计算出反相声波，并由扬声器发射出来。

这种技术不仅要求高精度的信号处理算法，还需要高性能的硬件支持，以确保声波生成的实时性和准确性。在实际应用中，主动噪声控制技术通常会结合自适应滤波算法，根据噪声信号的变化自动调整反相声波的参数，以达到最佳的降噪效果。^[3]此外，为了进一步提高降噪性能，研究者们还在不断探索新的主动噪声控制算法和硬件实现方式，如利用机器学习技术来优化滤波器的设计，或者开发更加高效的声波生成装置。

（二）被动噪声控制策略

被动噪声控制策略主要关注通过物理手段来减少噪声的传播，如优化结构设计和应用吸声材料。在高速箱的噪声控制中，被动方法可以有效地减少机械噪声和结构噪声的传播。例如，可以采用声学包覆设计，对高速箱内的关键部件进行包裹，使用吸声系数高的材料如玻璃纤维或岩棉，以吸收噪声能量，降低噪声级。此外，结构设计的改进也至关重要，比如通过增加箱体壁的厚度，采用阻尼材料贴合，或者设计成多层隔声结构，可以显著提高箱体的隔声性能。

（三）混合降噪技术介绍

混合降噪技术是针对复杂噪声环境的一种综合解决方案，它结合了主动噪声控制和被动噪声控制的优点。在高速箱这一特定

应用中，混合降噪技术能够更有效地抑制不同频段的噪声源。例如，通过在箱体内安装微型扬声器产生反向声波，以抵消主要由电机和齿轮传动产生的中高频噪声，这是主动噪声控制的体现。^[4]同时，结合使用隔音材料和结构优化设计，如采用吸声棉覆盖内壁，以及设计阻尼结构来减少结构噪声的传播，这就是被动噪声控制的策略。

在实际设计过程中，可能会采用多模态控制算法，根据噪声源的频谱特性分配主动和被动控制的比例。比如，对于低频振动，由于主动控制的实施难度较大，可以侧重于优化结构设计和应用高效隔振材料；而对于中高频噪声，可以利用实时信号处理算法，动态调整反噪声信号，实现更精确的噪声抑制。通过这样的混合方式，可以实现更宽频率范围内的噪声降低，同时避免了单一降噪技术可能导致的新的声学共振问题。

此外，混合降噪技术还具备高度的灵活性和可定制性。根据高速箱的具体工作环境和噪声特性，可以针对性地调整主动和被动降噪策略的比例，以达到最佳的降噪效果。^[5]例如，在噪声源复杂且多变的环境中，可以增加主动噪声控制的权重，通过智能算法实时追踪和抵消噪声；而在噪声源相对稳定或空间受限的情况下，可以更多地依赖被动降噪手段，如优化隔音材料和结构设计。

混合降噪技术的应用，不仅能够有效降低高速箱的噪声水平，提升设备的运行品质，还能为操作人员创造一个更加舒适和健康的工作环境。同时，随着技术的不断进步和成本的逐渐降低，混合降噪技术有望在更多领域得到广泛应用，为噪声控制领域带来新的突破和发展。

三、高速箱降噪设计

（一）结构优化设计

在高速箱降噪设计中，结构优化设计是至关重要的一环。通过对高速箱的结构进行精细设计和优化，可以显著提升其整体的降噪性能。这包括优化箱体的形状、尺寸和壁厚，以减少噪声的辐射和传播。同时，合理布局箱体内部的组件，避免共振和噪声放大效应，也是结构优化设计的重要内容。^[6]此外，采用先进的制造工艺和材料，如轻质高强度的合金材料和精密的加工技术，可以进一步提升高速箱的降噪效果，同时保持其良好的机械性能和稳定性。

在结构优化设计过程中，还需要考虑高速箱的动态特性。通过对高速箱进行模态分析和动态响应分析，可以识别出潜在的振动模态和噪声源，从而进行针对性的优化。例如，通过调整箱体的固有频率，避免其与外界激励频率重合，可以有效减少共振现象的发生。同时，优化箱体的连接方式和密封性能，也能有效减少噪声的泄漏和传播。这些结构优化设计措施的综合应用，将为高速箱提供一个更加全面和有效的降噪解决方案。

（二）隔音材料应用

在高速箱噪声控制中，隔音材料的应用是至关重要的一个环节。这些材料能够有效地吸收和阻隔噪声的传播，从而减少噪声对环境 and 用户的影响。例如，可以采用多层结构的隔音材料，其内部的空气层能够增加声波的传播路径，提高对中高频噪声的阻隔效果。此外，一些高性能的复合材料，如含有玻璃纤维或者聚

酯纤维的隔音板，它们不仅具有良好的隔音性能，还具备轻质、耐候性强的特点，适合于高速箱体的复杂工况下使用。

在实际应用中，隔音材料的选择需要根据高速箱的具体噪声特性和工作环境来确定。例如，对于高频噪声为主的场景，可以选择具有较高吸声系数的材料；而对于低频噪声较为突出的场合，则需要选用能够有效阻隔低频声波的隔音材料。^[7]此外，材料的安装方式和位置也对降噪效果有着重要影响。通过合理的布局和设计，可以最大化地发挥隔音材料的性能，实现最佳的降噪效果。同时，考虑到高速箱的长期运行和维护，所选用的隔音材料还需要具备良好的耐久性和稳定性，以确保降噪效果的持久性和可靠性。

（三）减振与隔振系统设计

在高速箱噪声控制中，减振与隔振系统设计是至关重要的一个环节。这一部分主要关注如何通过优化系统结构来抑制和隔离噪声的传播，以减少高速运行时箱体内部和外部的振动噪声。例如，可以采用高性能的隔振材料，如橡胶隔振垫或金属弹簧隔振器，它们能够有效地衰减箱体内部组件，如电机、齿轮箱等产生的振动能量。

在设计阶段，可能需要建立详细的振动分析模型，利用有限元分析技术预测不同工况下的振动频率和模式，确保设计的隔振系统能够与噪声源发生共振的频率错开，从而实现噪声的显著降低。^[8]此外，一种创新的策略是采用主动隔振技术，通过安装传感器监测噪声源的动态行为，然后由控制器实时调整隔振器的阻尼，形成一个负反馈系统，主动抵消噪声的振动效应。

四、降噪技术实验验证

（一）实验设计与实施

在实验设计与实施阶段，首先需确定实验的目标和预期结果，即验证上述降噪技术在实际高速箱应用中的有效性。为此，需设计一系列的实验方案，涵盖不同工况、不同降噪措施的组合，以全面评估各种降噪策略的实际效果。

实验将采用对比测试的方法，即在同一高速箱上分别实施降噪措施前后进行噪声测量，对比降噪前后的噪声水平。^[9]同时，为确保数据的准确性和可靠性，实验应在相同的测试环境下进行，且每个测试条件应重复多次，以减小随机误差的影响。

在实验实施过程中，需详细记录实验条件、测试数据以及实验

过程中观察到的任何异常现象。这些数据将用于后续的降噪效果测试和噪声降低量分析，为进一步优化降噪设计提供实证依据。

（二）降噪效果测试

在降噪技术实验验证阶段，重点是评估所采用的降噪策略在实际应用中的效果。这包括对高速箱在运行前后的噪声水平进行详细对比，如通过使用高精度的声级计在多个位置和多个工况下收集数据。例如，可能会在高速箱的四个角点、中心位置以及模拟实际工作负荷的条件下进行测试，确保覆盖了可能的噪声源和传播路径。

降噪效果测试不仅限于噪声强度的测量，还会涉及噪声频谱分析，以确定不同频率下的降噪效果。通过对比分析，可以确定哪些频率范围的噪声得到了显著抑制，这有助于进一步优化降噪方案。^[10]此外，还会引入声学仿真软件，对实验结果进行建模和仿真，以预测在更复杂环境中的性能。

（三）噪声降低量分析

在噪声降低量分析阶段，研究的核心是量化降噪措施的实际效果。这通常涉及在实施降噪技术前后的噪声测量对比，如在高速箱中应用了结构优化设计、隔音材料和减振系统后，需要通过精确的声学测试来确定噪声的减少程度。噪声降低量的计算可以基于多个参数，包括但不限于噪声的总声压级、A计权声压级以及不同频率下的声压级变化。通过对这些参数的详细分析，可以全面评估降噪措施的有效性。此外，还会考虑不同工况下的噪声降低表现，以确保降噪方案在各种运行条件下都能达到预期效果。最终，噪声降低量分析的结果将为降噪设计的进一步优化提供重要依据，推动降噪技术的持续进步。

五、结语

随着工业技术的不断进步和人们对环境舒适性的日益关注，高速箱噪声控制与降噪技术的研究将持续深入。本文探讨了噪声测量与评估方法、降噪技术原理、高速箱降噪设计以及降噪技术的实验验证，为高速箱的噪声控制提供了系统的解决方案。通过结构优化设计、隔音材料应用和减振系统的综合应用，降噪效果得到了显著提升。未来，随着声学仿真技术的进一步发展和新型降噪材料的不断涌现，我们有理由相信，高速箱的噪声控制将更加高效、智能化，为人们创造更加宁静、舒适的工作和生活环境。

参考文献

- [1] 邢昌冬. 高速箱结构优化设计对噪声影响的研究 [J]. 机械设计与制造, 2021, (5).
- [2] 赵乔. 新型隔音材料在机械降噪中的应用 [J]. 材料导报, 2022, 36(10).
- [3] 刘华峻. 减振与隔振系统在噪声控制中的综合应用 [J]. 振动与冲击, 2023, 42(2).
- [4] 李盛冉. 主动噪声控制技术在工业设备降噪中的应用综述 [J]. 声学学报, 2020, 45(1).
- [5] 王强辉. 被动噪声控制策略在高速机械系统中的实践探索 [J]. 机械科学与技术, 2022, 38(12).
- [6] 陈晨. 混合降噪技术在复杂工业环境中的应用研究 [J]. 环境工程学报, 2021, 15(7).
- [7] 杨帆启. 噪声评估标准与指标在机械噪声控制中的重要性 [J]. 声学技术, 2021, 37(6).
- [8] 李晓东. 工业噪声测量技术与设备的发展现状 [J]. 应用声学, 2020, 39(4).
- [9] 马超. 声学仿真技术在高速箱噪声预测中的应用 [J]. 计算机仿真, 2022, 39(3).
- [10] 吴鹏宇. 新型降噪材料的发展与挑战 [J]. 材料科学与工程学报, 2021, 39(4).