

基于ANSYS Workbench的涡轮减速器箱体有限元分析

侯重阳¹, 王海¹, 张钊瑜²

¹上海理工大学机械工程学院, 上海

²桂林电子科技大学材料科学与工程学院, 广西 桂林

收稿日期: 2024年6月20日; 录用日期: 2024年7月14日; 发布日期: 2024年7月22日

摘要

箱体作为涡轮减速器的关键基础零部件, 为其内部齿轮系统提供了结构支撑和保护功能, 因此需确保其具有较高的稳定性和可靠性。本研究利用SolidWorks软件建立齿轮箱体的三维模型, 并将该模型导入到ANSYS Workbench中进行静力学分析、模态分析及谐响应分析。通过上述分析, 为涡轮减速器箱体的结构优化设计提供进一步的理论依据和实践指导。

关键词

涡轮减速器箱体, 静力学分析, 模态分析, 谐响应分析

Finite Element Analysis of the Turbine Reducer Housing Based on ANSYS Workbench

Chongyang Hou¹, Hai Wang¹, Zhaoyu Zhang²

¹School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

²School of Materials Science and Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi

Received: Jun. 20th, 2024; accepted: Jul. 14th, 2024; published: Jul. 22nd, 2024

Abstract

As a critical foundational component of the turbine reducer, the housing provides structural support and protection for the internal gear system. Therefore, it must ensure high stability and re-

liability. This study uses SolidWorks software to create a 3D model of the gearbox housing, which is then imported into ANSYS Workbench for static analysis, modal analysis, and harmonic response analysis. These analyses provide further theoretical basis and practical guidance for the structural optimization design of the turbine reducer housing.

Keywords

Turbine Reducer Housing, Static Analysis, Modal Analysis, Harmonic Response Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

涡轮减速器在现代工业设备中扮演着重要的角色，其主要功能是通过减速齿轮组降低输入转速，以实现输出的高扭矩和低转速[1]。这一功能在各类机械传动系统中广泛应用，如风力发电机、船舶推进器以及工业机器人等[2]。作为涡轮减速器的重要组成部分，箱体不仅为内部齿轮系统提供了必要的结构支撑和保护，还在运行过程中承受着复杂的载荷和振动。因此，箱体的结构设计直接影响整个涡轮减速器的性能和寿命。

确保涡轮减速器箱体的稳定性与可靠性是设计过程中必须解决的关键问题。传统的设计方法已无法满足现代工业对高性能和高可靠性设备的需求，因此，采用先进的计算机辅助设计和仿真技术已成为趋势。在本研究中，我们首先利用 SolidWorks 软件建立齿轮箱体的三维模型，随后，我们将三维模型导入 ANSYS Workbench 中进行静力学分析、模态分析和谐响应分析[3] [4]。静力学分析主要用于评估箱体在不同载荷条件下的应力和变形情况；模态分析用于确定箱体的固有频率和振型，以避免共振现象；谐响应分析则用于研究箱体在周期性载荷作用下的动态响应特性。

通过上述一系列分析手段，我们不仅可以深入了解涡轮减速器箱体的力学性能，还可以发现其结构设计中的潜在问题，从而为进一步的结构优化提供理论依据。将有助于推动涡轮减速器技术的发展，提高工业设备的整体性能和可靠性。

2. 涡轮减速器箱体结构模型的建立

本文选取市面上常见的涡轮减速器箱体作为设计原型，利用 SolidWorks 软件进行三维建模。设计的箱体模型尺寸为：长度 512 mm，宽度 316 mm，高度 382 mm，上轴孔直径为 140 mm，下轴孔直径为 180 mm。通过精确的参数设定和详细的结构设计，建立了符合实际使用要求的涡轮减速器箱体三维模型，如下图 1。

2.1. 静力学分析

静力学分析是通过对结构进行细致的网格划分，能够精确计算其内部的应力分布[5]。该分析方法可以深入了解材料在长期使用中的疲劳性能，并且预估其使用寿命，从而提供关键的设计依据。在静力学分析中，主要评估结构在静态载荷作用下的响应情况，重点关注位移、应力和应变等关键参数。

通过将涡轮减速器箱体的设计与静力学分析紧密结合，可以在设计初期及时发现和解决潜在问题，从而提高产品的可靠性和耐久性。静力学分析是涡轮减速器箱体设计中不可或缺的一部分，对于实现高效、可靠和经济的产品设计具有重要意义。

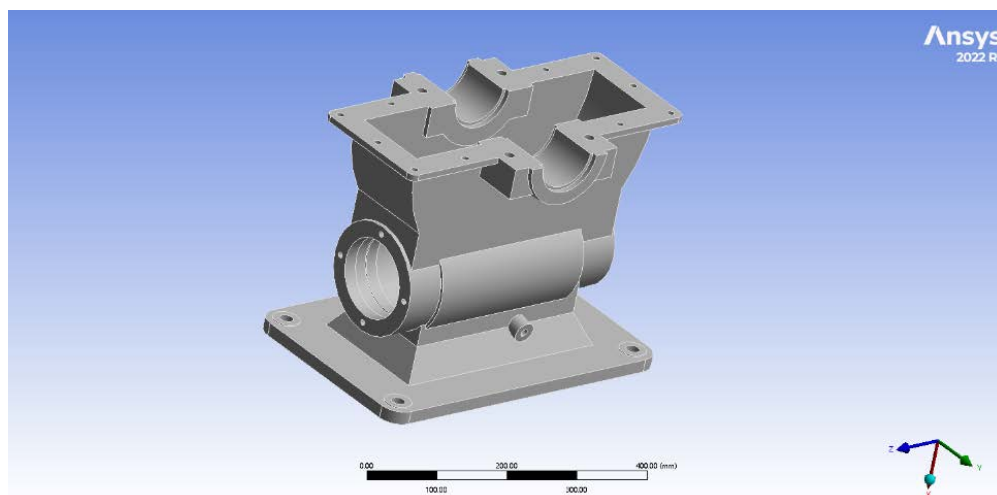


Figure 1. Turbine reducer housing model

图 1. 涡轮减速器箱体模型

2.2. 材料设置和网格划分

完成建模后(如图 1 所示), 将涡轮减速器箱体模型导入 ANSYS Workbench, 并设置材料属性。选用灰铸铁作为整个减速器箱体的材料, 其密度为 7200 kg/m^3 , 杨氏模量为 $1.1\text{e}+05 \text{ MPa}$, 泊松比为 0.28, 极限压缩强度为 820 MPa , 极限拉伸强度为 240 MPa 。在完成材料属性设置后, 利用 ANSYS Workbench 软件的自动网格划分功能, 对箱体进行网格划分。最终生成了 29,786 个单元和 54,257 个节点, 确保了模型的精度和计算的有效性。划分后的网格图如下图 2。

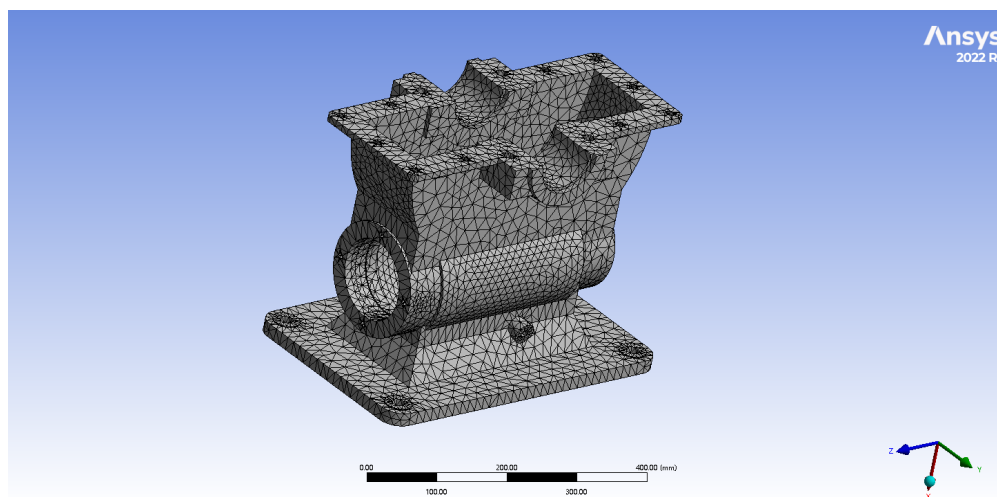


Figure 2. Grid division results

图 2. 网格划分结果

2.3. 施加约束和载荷

在实际工况中, 减速器通过螺栓固定在设备上, 因此需要在减速器箱体的四个引脚处设置固定约束。除了自身的载荷外, 减速器箱体还受到额外的外力作用。在上轴孔内壁施加 800 N 的力, 在下轴孔内壁施加 1000 N 的力。这些载荷和边界条件的设定能够准确模拟减速器箱体在实际工作环境中的受力情况。

2.4. 静力学结果分析

从图 3 的等效应力分布图中可以看出，箱体的最大应力为 2.1612 MPa，位于靠近上轴孔的壳体上；最小应力为 2.5681×10^{-7} MPa，出现在箱体的底部。其最大变形也发生在靠近上轴孔的壳体上，变形量为 2.2281×10^{-5} mm。其余部位的应力分布较为均匀，受力情况较为理想，变形量较小。这些分析结果表明，箱体的大部分区域能够承受工作载荷，仅在局部区域需要进一步优化，以提高整体结构性能和可靠性。

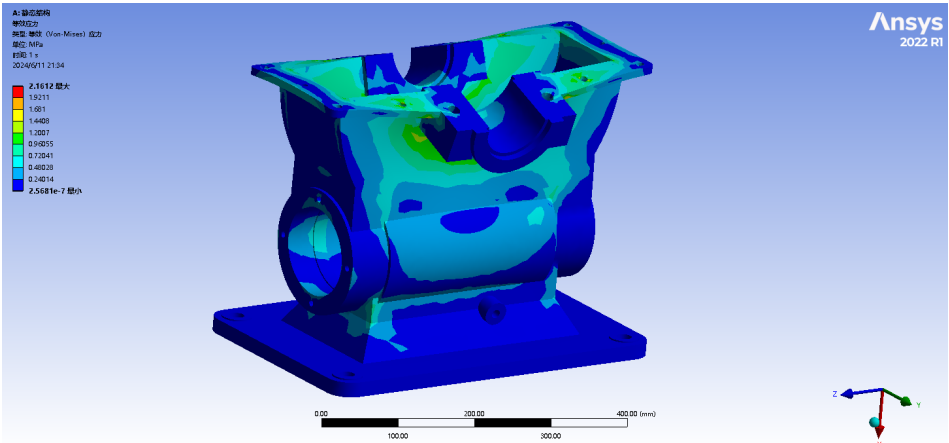


Figure 3. Stress distribution diagram of the housing
图 3. 箱体应力分布图

3. 模态分析

模态分析是一种重要的技术方法，通过研究结构在自由振动状态下的固有频率和振型，可以深入了解结构的动力学特性和潜在的共振问题[6]。本研究利用 ANSYS Workbench 对涡轮减速器箱体进行模态分析，提取前六阶的固有频率和振型。通过这些分析，我们能够识别出结构在工作环境中的振动特性，从而为优化设计提供理论依据。通过求解器计算出箱体的前六阶固有频率和对应的振型。观察图 4~9，结果显示，减速器箱体的前六阶固有频率分别为：第一阶 260.2 Hz，第二阶 390.14 Hz，第三阶 476.95 Hz，第四阶 499.64 Hz，第五阶 507.27 Hz，第六阶 568.7 Hz。各阶固有频率下的振型图表明，低阶振型主要集中在上轴孔附近和其他关键部位，这些区域在实际工作中可能更容易产生振动和应力集中。

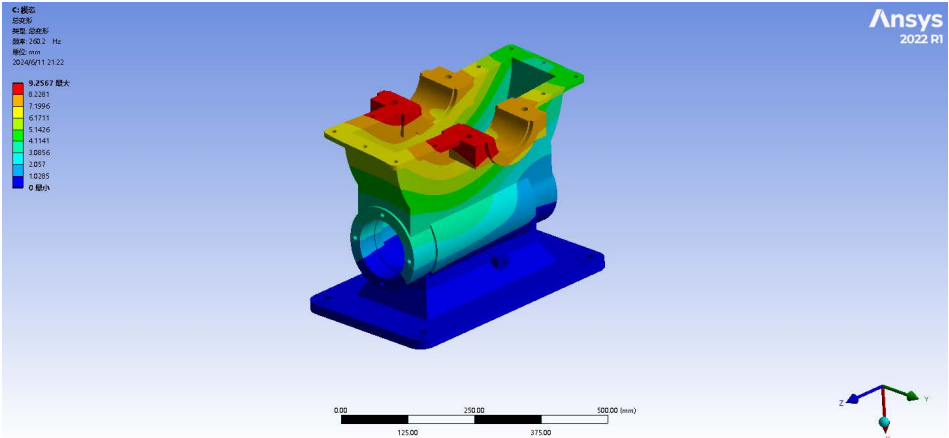


Figure 4. First mode shape diagram
图 4. 一阶变形图

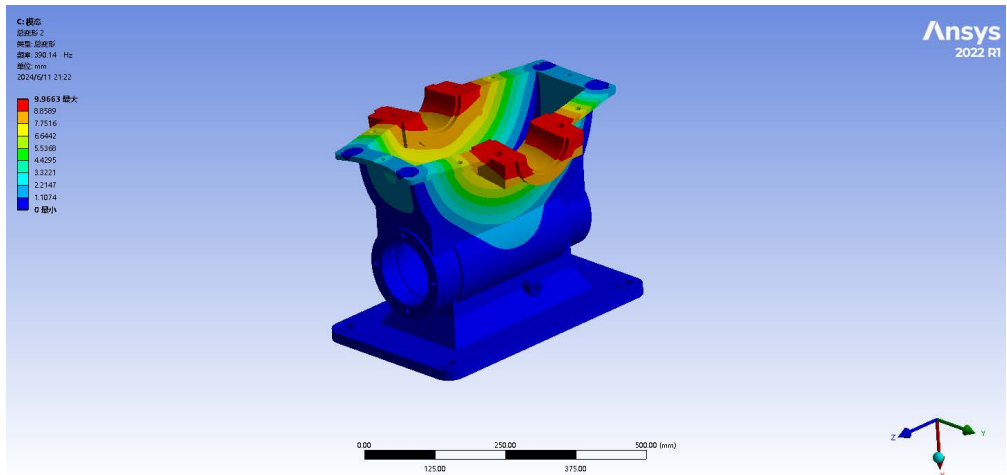


Figure 5. Second mode shape diagram
图 5. 二阶变形图

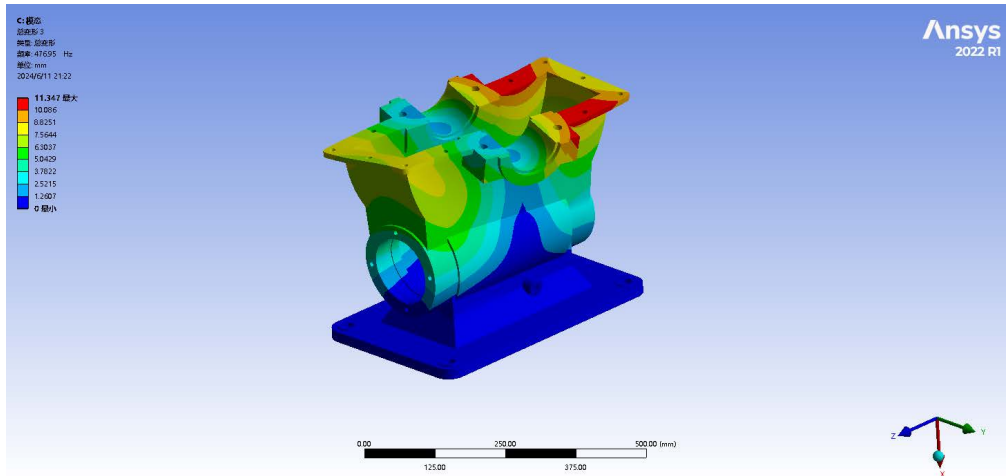


Figure 6. Third mode shape diagram
图 6. 三阶变形图

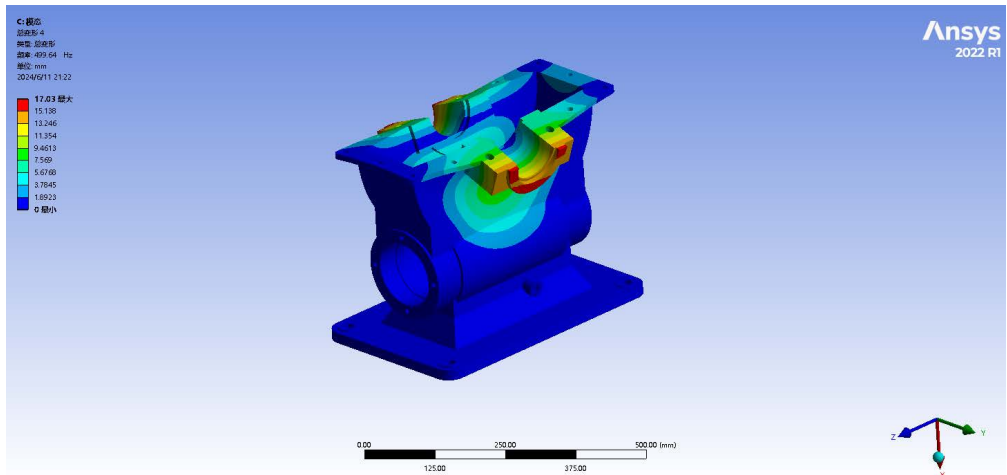


Figure 7. Fourth mode shape diagram
图 7. 四阶变形图

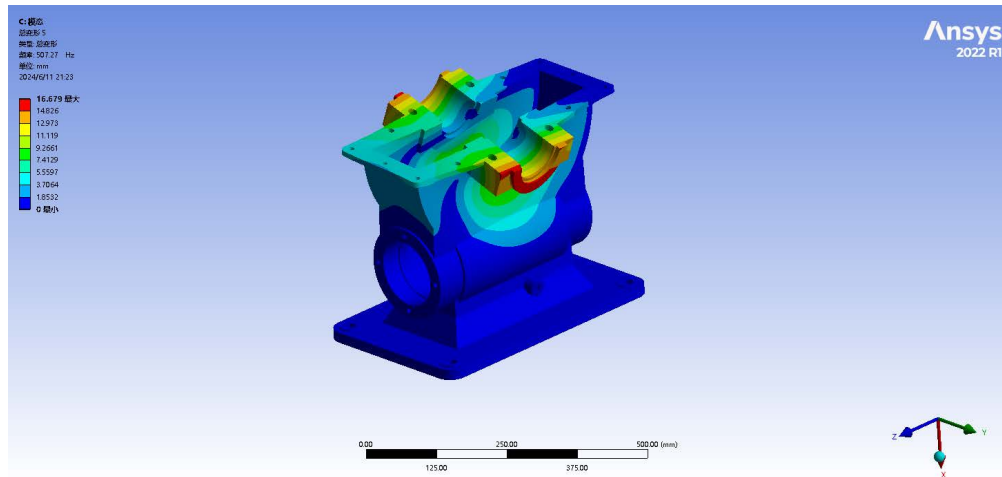


Figure 8. Fifth mode shape diagram
图 8. 五阶变形图

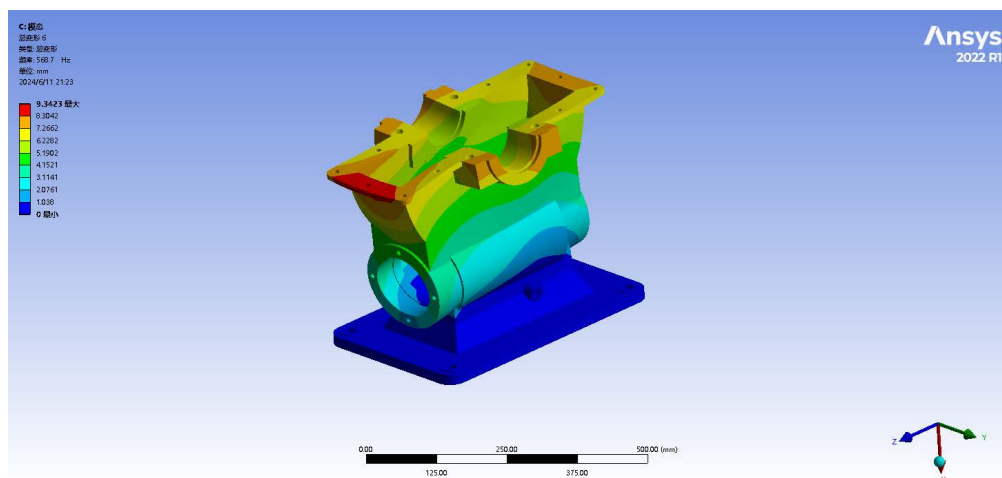


Figure 9. Sixth mode shape diagram
图 9. 六阶变形图

固有频率的范围反映了结构的刚度和质量分布情况。频率较低的模态通常对应大范围的整体运动，而较高的模态则对应局部的细微振动。该模型的前六阶固有频率均处于 0~570 Hz 范围内，表明其具有较高的刚度和良好的动力学特性。

4. 谐响应分析

为了进一步评估涡轮减速器箱体在周期性载荷作用下的动态响应，本研究利用 ANSYS Workbench 对其进行了谐响应分析。谐响应分析是一种重要的动力学分析方法，能够模拟结构在不同频率的周期性外力作用下的响应情况，从而评估其振动特性和结构耐久性。频率范围设定为 200 到 600 Hz，以涵盖前六阶固有频率的范围，确保对所有可能的共振情况进行评估。

箱体谐响应分析结果如图 10 所示，可知在 x 方向 200 Hz 时，振幅最小，在 500 Hz 时振幅最大，因此在工作时应尽量避免外界振动达到 500 Hz；箱体 y 方向谐响应结果如图 11 所示，可知箱体在 260 Hz，振幅达到最大，在 600 Hz 时，振幅最小；在箱体 z 方向谐响应结果如图 12 所示，振幅达到最大时的频率为 500 Hz，在 200 Hz 时，振幅最小。

5. 总结

通过本研究的静力学分析、模态分析和谐响应分析，对涡轮减速器箱体的力学性能进行了全面的评估。静力学分析表明，减速器箱体在工作载荷下的应力分布和变形情况良好，仅在局部区域存在应力集中现象，需要进一步优化。模态分析结果显示，箱体的前六阶固有频率均处于合理范围内，表明其具有较高的刚度和稳定性，有助于避免在工作中发生共振现象。谐响应分析进一步确认了箱体在周期性载荷作用下的动态响应特性，并识别出在特定频率下可能出现的振动问题。

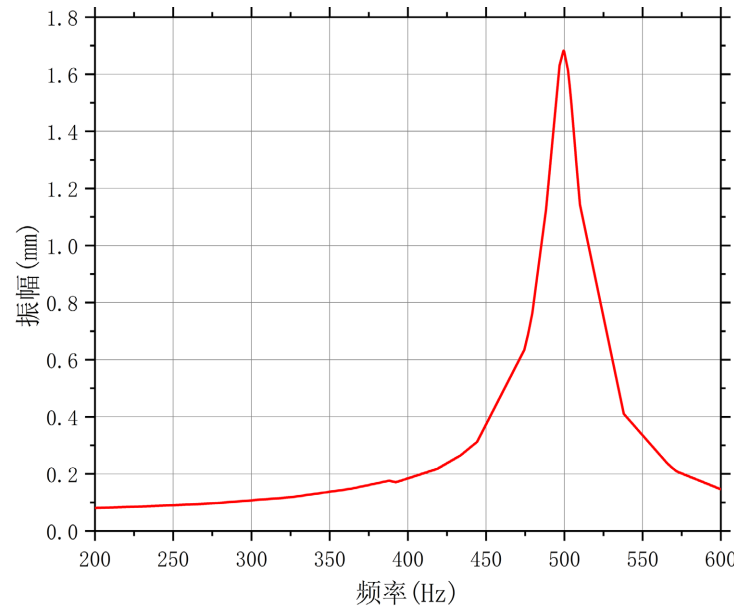


Figure 10. Frequency response curve in the X direction
图 10. X 方向频率响应曲线

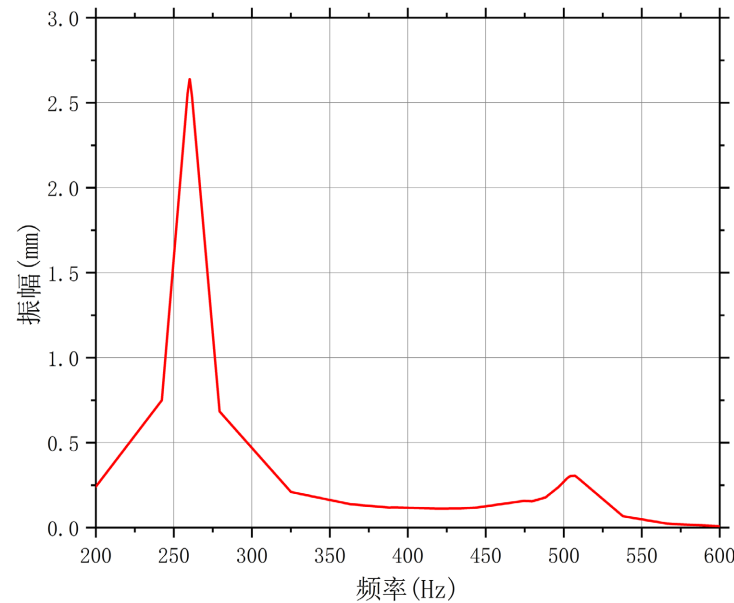


Figure 11. Frequency response curve in the Y direction
图 11. Y 方向频率响应曲线

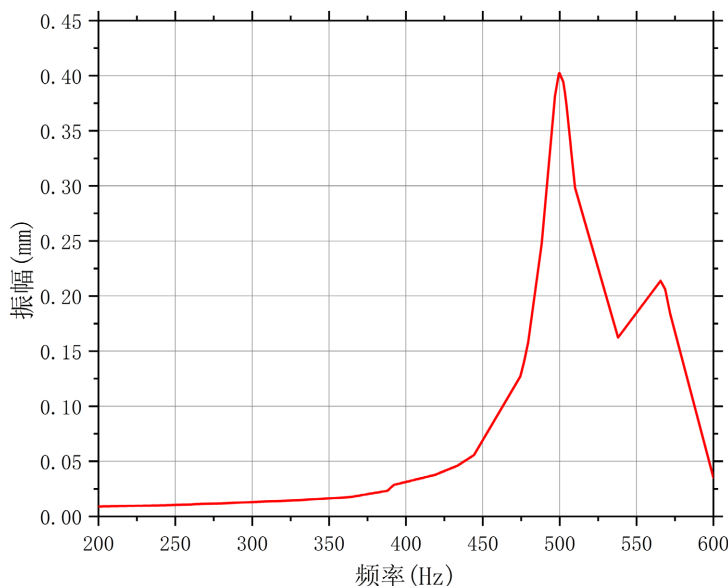


Figure 12. Frequency response curve in the Z direction

图 12. Z 方向频率响应曲线

综合分析结果,可以得出结论:涡轮减速器箱体的设计在大多数工况下具有良好的力学性能和稳定性。通过进一步优化设计,特别是针对应力集中区域进行结构改进,可以显著提升减速器箱体的整体性能和使用寿命。这些分析方法和结果为涡轮减速器箱体的优化设计提供了重要的理论依据和实践指导,有助于提高产品的可靠性。

参考文献

- [1] 韩翠红,张海刚,尹起,王志蒙,王宇璞. 涡轮减速器壳体铸造模拟及工艺优化[J]. 热加工工艺, 2018, 47(21): 112-114+118.
- [2] 袁光前,李金库,胡云波. 我国陆用燃气轮机齿轮箱发展及关键技术研究现状[J]. 机械传动, 2020, 44(7): 163-170.
- [3] 王利鹤,赵永来,崔红梅,李颖,胡树平. 基于 ANSYS Workbench 的深松机机架静力学分析及轻量化设计[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2019, 33(2): 87-93.
- [4] 刘昌领,罗晓兰. 基于 ANSYS 的六缸压缩机连杆模态分析及谐响应分析[J]. 机械设计与制造, 2013(3): 26-29.
- [5] 曲海波,梁艺瀚,方跃法,周益林. 4-RRS 冗余球面并联机构的静力学与刚度分析[J]. 机械工程学报, 2015, 51(11): 8-15.
- [6] 付晓莉,田国政,张伟杰,刘忠明,丁炜. 高速列车齿轮箱箱体结构设计与静、动态分析[J]. 机床与液压, 2022, 50(5): 155-160.