Modeling and Simulation 建模与仿真, 2024, 13(2), 1662-1672
Published Online March 2024 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/mos
https://doi.org/10.12677/mos.2024.132157

基于ANSYS的车轮轮毂动态分析

左江涛

上海理工大学机械工程学院，上海

收稿日期：2024年2月7日；录用日期：2024年3月21日；发布日期：2024年3月28日

摘　要

本文基于ANSYS对轮毂做了静态分析、模态分析及谐波响应分析，得到车轮轮毂的总变形云图、前6阶的固有频率及其振型云图，并对轮毂固定约束状态下进行模态频率分析，并分析轮毂的振幅和扫描相位，得出其最大位移和形变等有效信息。

关键词

轮毂，ANSYS，静态分析，模态分析，谐波响应分析

Dynamic Analysis of Wheel Hub Based on ANSYS

Jiangtao Zuo

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

Received: Feb. 7th, 2024; accepted: Mar. 21st, 2024; published: Mar. 28th, 2024

Abstract

This article conducts static analysis, modal analysis, and harmonic response analysis on the wheel hub based on ANSYS, obtaining the total deformation cloud map of the wheel hub, the first 6 natural frequencies and their vibration mode cloud maps. Modal frequency analysis is conducted on the fixed constraint state of the wheel hub, and the amplitude and scanning phase of the wheel hub are analyzed to obtain effective information such as maximum displacement and deformation.

Keywords

Wheel Hub, ANSYS, Static Analysis, Modal Analysis, Harmonic Response Analysis

文章引用: 左江涛. 基于 ANSYS 的车轮轮毂动态分析[J]. 建模与仿真, 2024, 13(2): 1662-1672.
DOI: 10.12677/mos.2024.132157

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

随着汽车保有量不断地提升，截止 2019 年民用汽车拥有量 25376.38 万辆，据国家统计局统计 2018 年用于交通运输、仓储和邮政业汽油消费总量达到 2.2739 亿吨，与 2017 年相比增加了 3% [1]。如今汽车已不仅是一项交通工具，它的制造水平被看成衡量一个国家的现代化水平的标志之一[2]。据统计，到 2016 年全世界重载汽车产量突破 9000 万辆，相应的轮毂的生产量也十分巨大，在汽车整个产业中占相当大的比重。

汽车车轮对汽车车体有承载作用，可以将发动机的动力转化为驱动汽车前进的力。在汽车前进的过程中，车轮不但起着传递动力的作用，还能兼顾降低路面冲击的减震作用，同时还要受到驾驶人对汽车的转向、制动等工况带来的冲击，因此，车轮的设计性能将直接影响着汽车的舒适性、安全性及耐用性[3]。

轮毂是汽车车轮总成的重要组成部件，作为车轮的“骨架”，其同样要承受车辆重力的作用以及车辆行驶过程中各种工况下带来的作用力[4]。由于轮毂受力较为苛刻以及结构比较复杂，给轮毂的设计开发带来较大难度。本文将从静态、模态、谐波响应三态对汽车轮毂进行仿真从而分析轮毂的合理性。

2. 研究内容

此次研究对象选取汽车轮毂，下方是用 ug 对汽车轮毂进行的三维建模，见图 1：

Figure 1. ug 3d modeling
图 1. ug 三维建模

3. 静态分析

对轮毂施加约束和力之后进行静态分析可以得到它所受到的最大应力和应变程度，其分析步骤和结果如下所示：

使用 mesh 进行网格划分，见图 2，采用四面体网格，网格密度为默认 10 mm 网格：

节点数	132,634
单元数	73,353

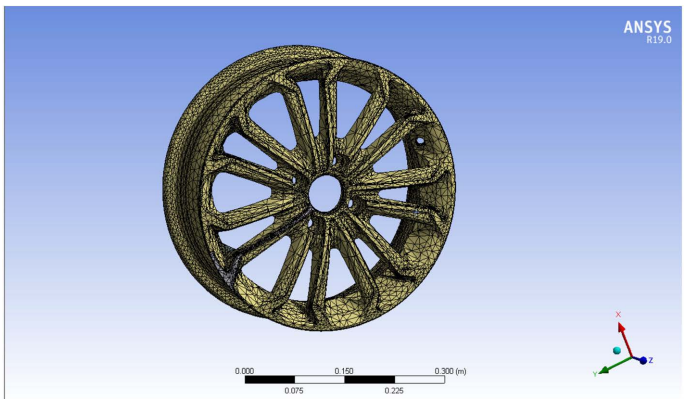

Figure 2. Mesh
图 2. 网格划分

网格划分完之后，点击 Static Structural 模块中的 Insert，添加一个固定约束 Fixed Support，将约束添加在四个用于固定轮毂的螺栓处，再添加一个远程力 Remote Force，将力添加在轮毂最内侧部位，力的大小设置为 400 N，再添加一个外部压力 Force，将力添加在轮毂外侧，方向设置在外圈任意一面，大小设置为 800 N，然后点击添加 Total Deformation 和 Equivalent Stress，最后点击 Solve 求解，求解结果如下图所示(应力图见图 3，总应变见图 4)：

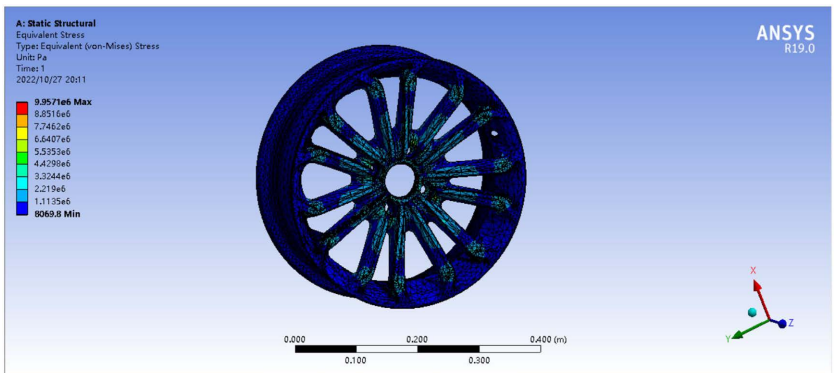

Figure 3. Stress
图 3. 应力图

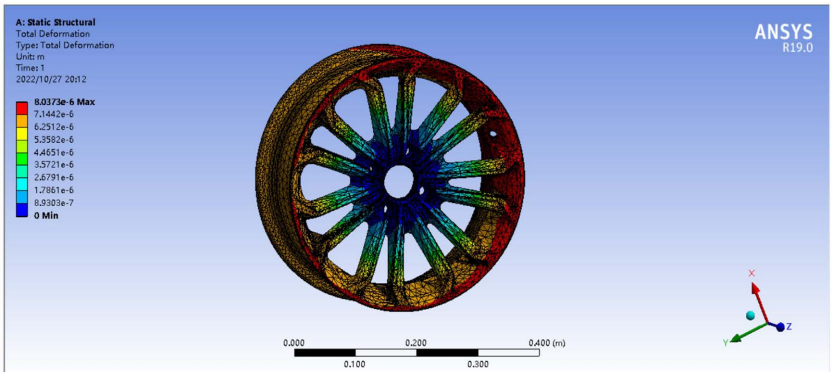

Figure 4. Total strain
图 4. 总应变

4. 模态分析

模态是机械结构的固有振动特性之一，结构的每一个模态都有其特定的固有频率、阻尼比以及振型。这些参数对于分析以及评价机床结构的动态性能，指导机械结构优化设计都具有重要的指导意义；此外共振有时会造成结构的振动或疲劳，从而破坏结构，所以了解结构本身所具有的刚独特性(结构的固有频率、振型)，就可避免该结构在使用过程中因共振因素造成的不必要的损失。本章将采用有限元法对本论文所设计的机床进行模态分析，为机床的可靠性研究提供重要的理论依据[4] [5] [6] [7]。

本节所分析的模型是简化后的汽车轮毂模型，首先利用 ug 进行三维建模，然后将其以 xt 文件格式导入 workbench，对其进行静态、模态以及谐波响应分析。ANSYS 提供了 7 种模态计算方法：子空间法，分块法，缩减法，动态功率法，非对称法，阻尼法，QR 阻尼法。对于大多数分析来说，选用的都是子空间法，分块法和缩减法[8] [9] [10]。

4.1. 轮毂的自由模态分析

首先使用通过 Geometry 导入轮毂三维模型图，然后用 Modol 模块对轮毂进行自由模态分析，分析过程及结果如下所示：

用 mesh 进行网格划分，见图 5，采用四面体网格：

节点数	142,395
单元数	78,645

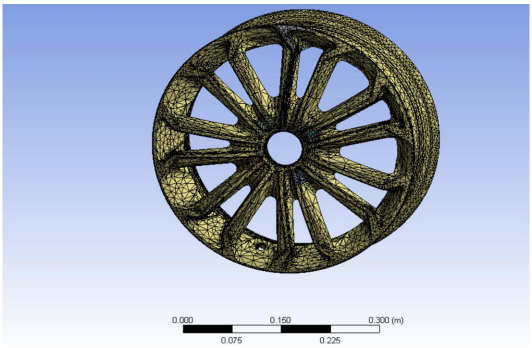

Figure 5. Mesh
图 5. 网格划分

网格划分完成之后在 analysis settling 里选择 6 阶模态，然后进行求解。求解得到机床的前 6 阶频率与如图 6 所示：

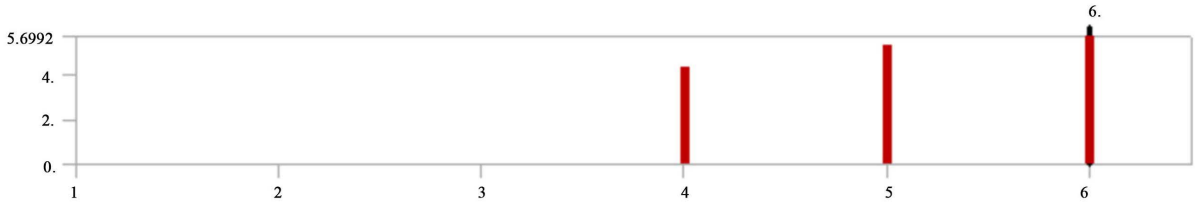

Figure 6. The first six frequencies
图 6. 前六阶频率

如下图为汽车轮毂的前六阶振型的总体位移云图(见图 7~12)：

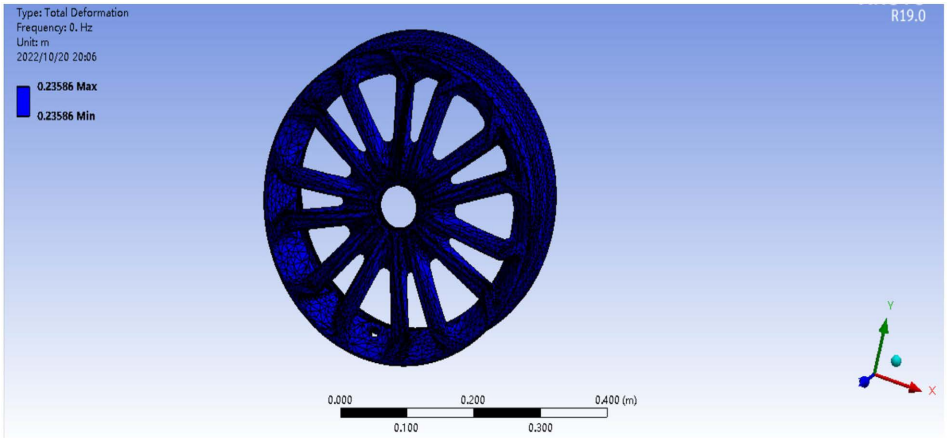

Figure 7. First order vibration mode
图 7. 一阶振型

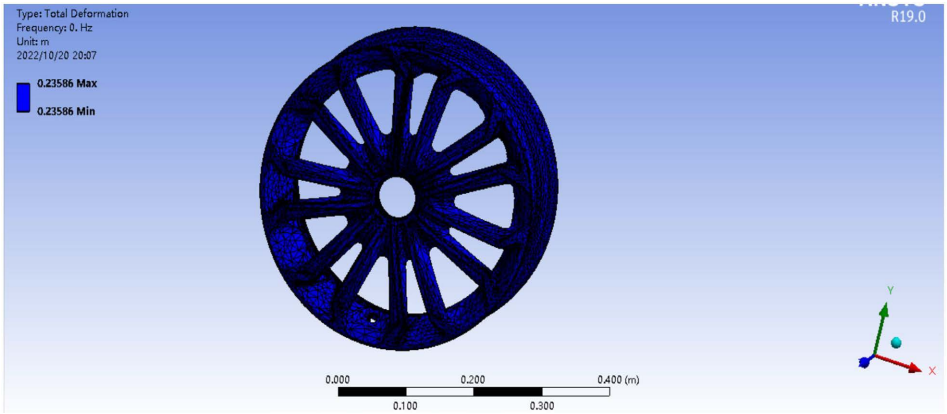

Figure 8. Second order vibration mode
图 8. 二阶振型

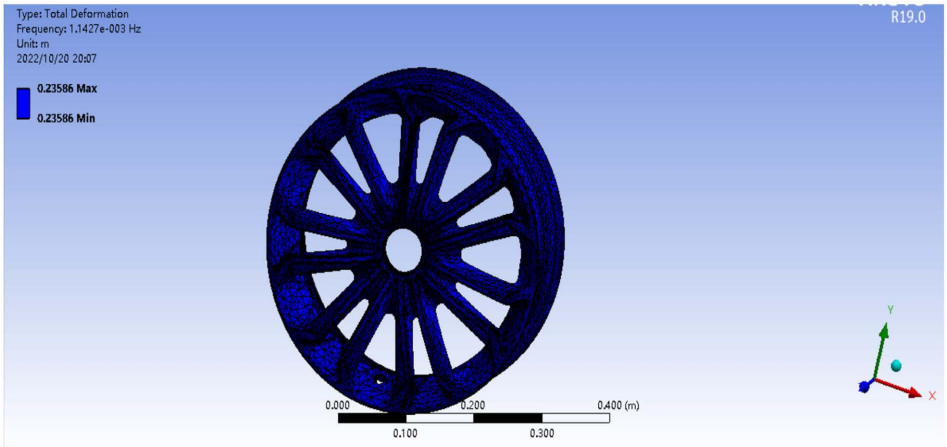

Figure 9. Third order vibration mode
图 9. 三阶振型

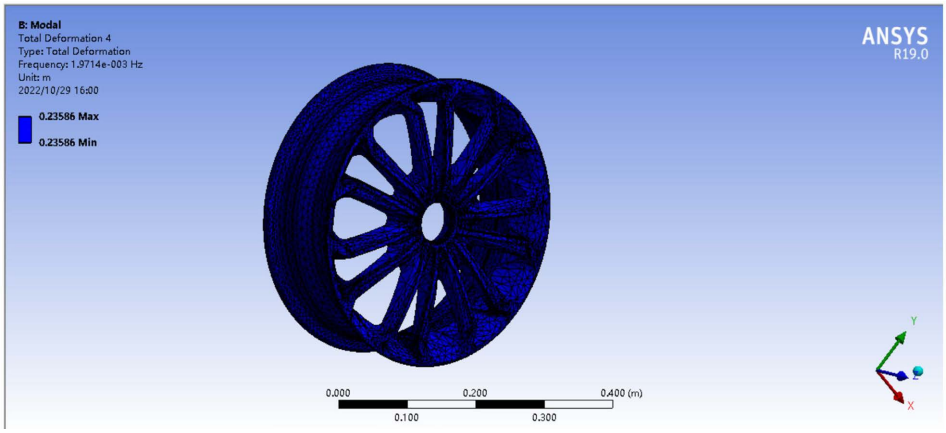

Figure 10. Fourth order vibration mode
图 10. 四阶振型

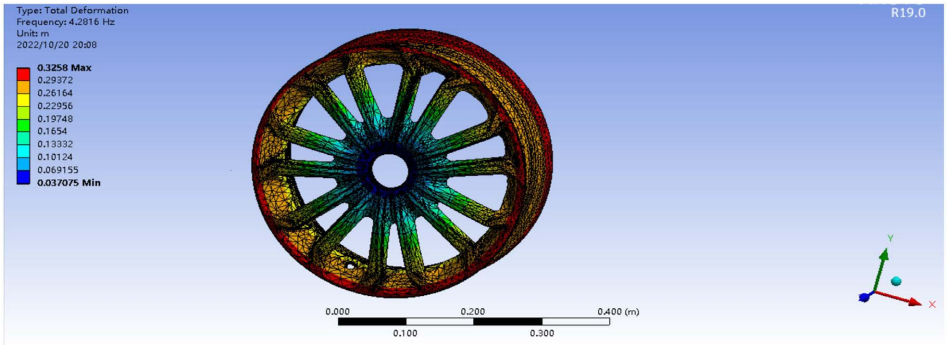

Figure 11. Fifth order vibration mode
图 11. 五阶振型

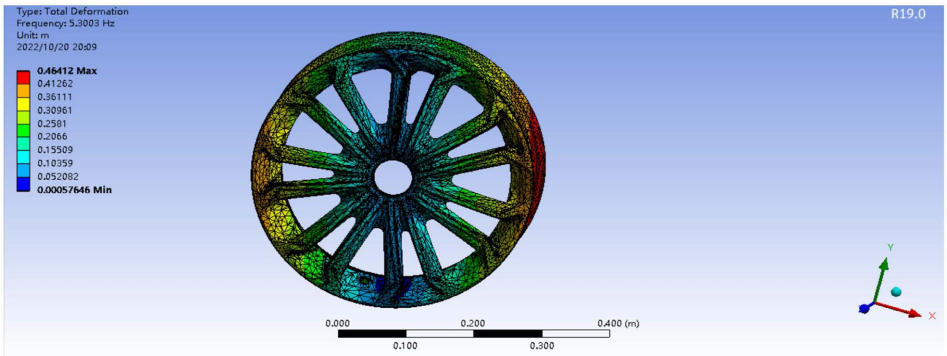

Figure 12. Sixth order vibration mode
图 12. 六阶振型

汽车轮毂前六阶自由模态频率与最大位移表

阶数	1	2	3	4	5	6
频率/Hz	0	$1.1427*10^{-3}$	$1.9714*10^{-3}$	4.2816	5.3003	5.6992
最大位移/m	0.23586	0.23586	0.23586	0.23586	0.3258	0.46412

由以上六阶振频移云图可以看出，前六阶自由模态中，振动频率最大与位移最大皆发生在第六阶，由此可见，第六阶振动频率状态下对轮毂的影响是最大的。

4.2. 轮毂的预应力模态分析

与自由模态一样，首先使用通过 Geometry 导入轮毂三维模型图，然后用 Modol 模块对轮毂进行自由模态分析，先对轮毂进行网格划分，见图 13：

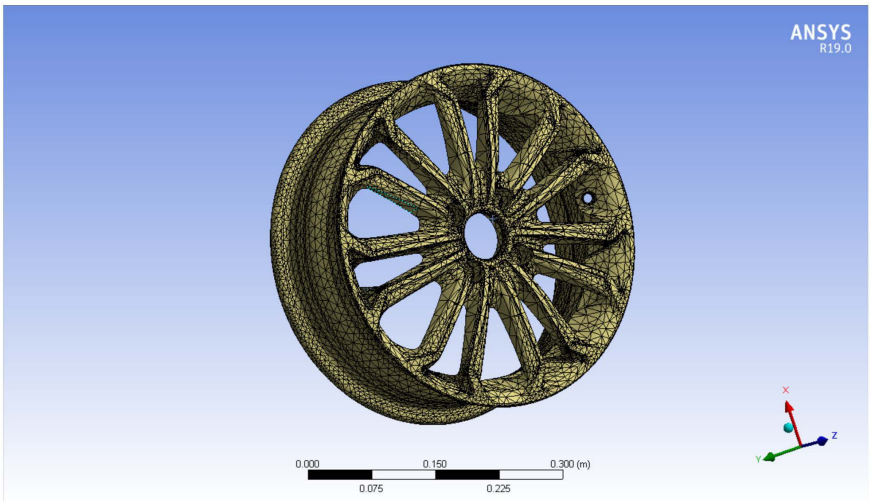

Figure 13. Mesh
图 13. 网格分布

在静态分析模块，选择轮毂的四个螺栓处施加固定约束，如图 14 所示：

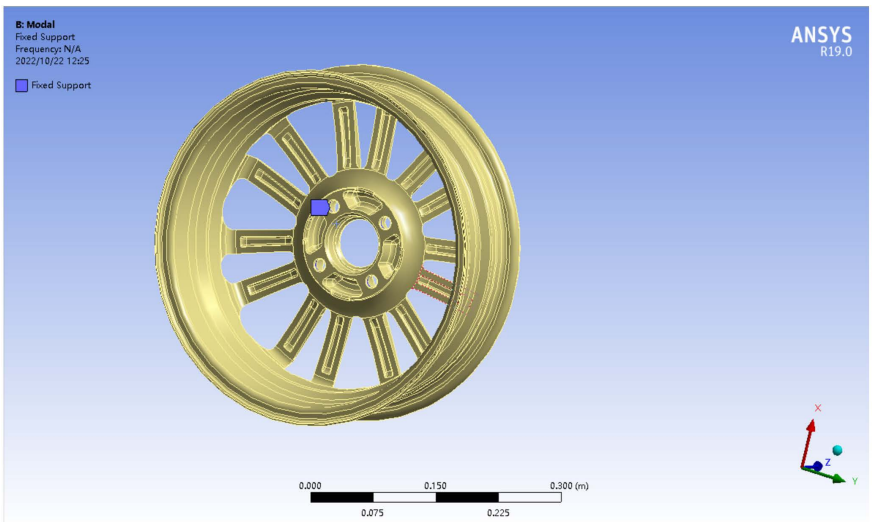

Figure 14. Apply fixed constraints
图 14. 施加固定约束

施加完约束以及载荷后，同样取前 6 阶预应力模态，进行求解，结果如图 15 所示：

Figure 15. The first six frequencies
图 15. 前六阶频率

与自由模态频率对比可以发现，施加载荷后的预应力模态的频率要大得多，然后求解轮毂预应力模态的总体位移，结果如下图所示(图 16~21)：

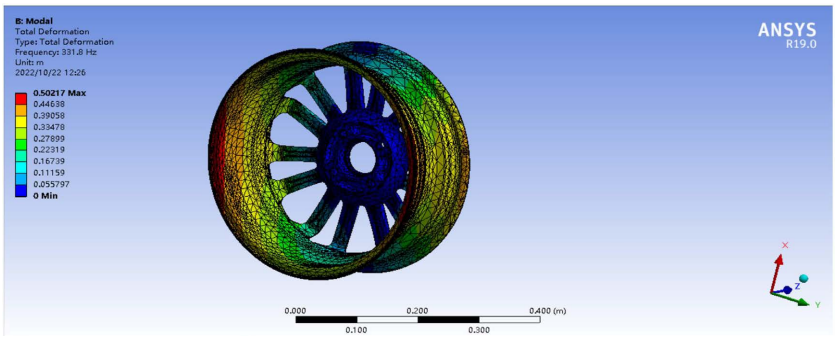

Figure 16. First order vibration mode of prestressed mode
图 16. 预应力模态一阶振型

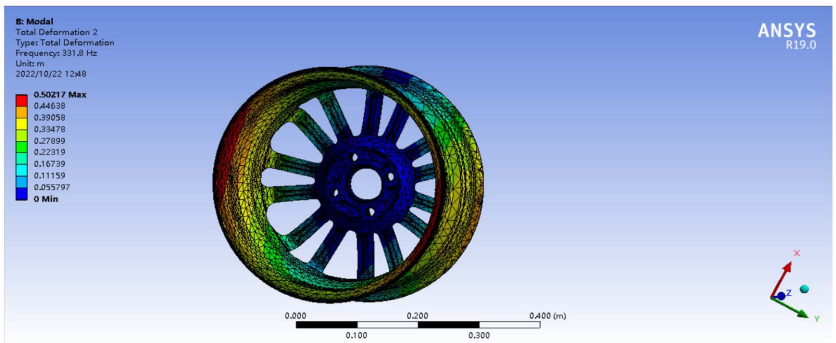

Figure 17. Second order vibration mode of prestressed mode
图 17. 预应力模态二阶振型

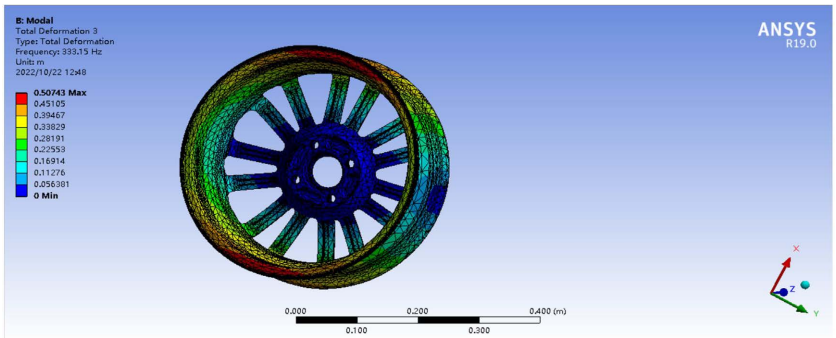

Figure 18. Third order vibration mode of prestressed mode
图 18. 预应力模态三阶振型

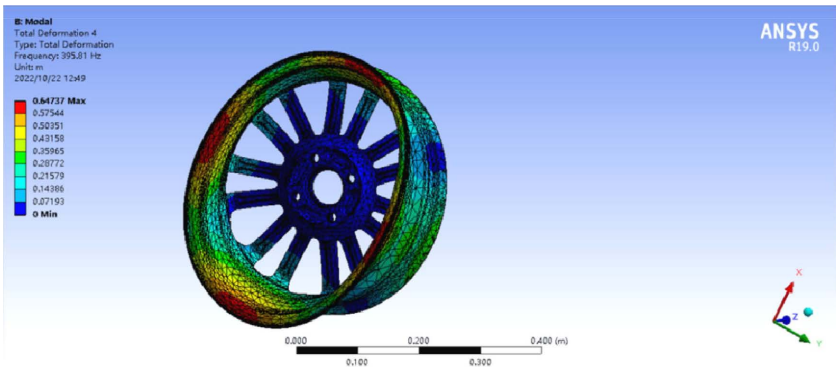

Figure 19. Fourth order vibration mode of prestressed mode
图 19. 预应力模态四阶振型

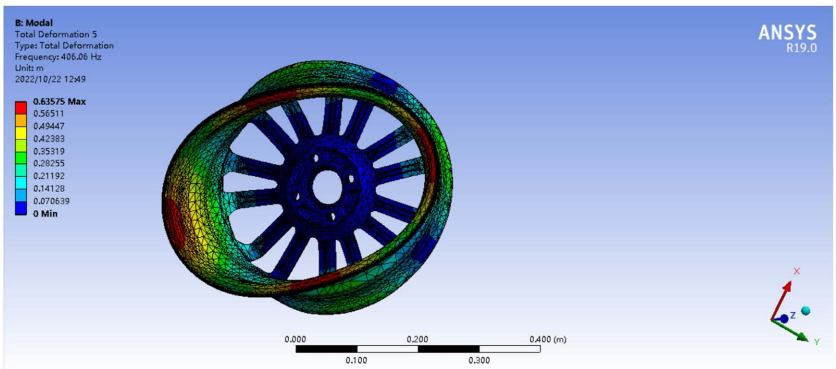

Figure 20. Fifth order vibration mode of prestressed mode
图 20. 预应力模态五阶振型

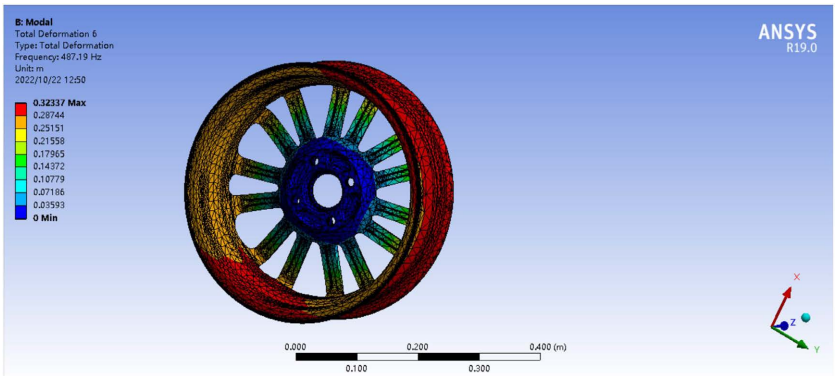

Figure 21. Sixth order vibration mode of prestressed mode
图 21. 预应力模态六阶振型

轮毂前 6 阶预应力模态频率与最大位移表

阶数	1	2	3	4	5	6
频率/Hz	331.8	333.15	395.81	406.06	487.19	533.6
最大位移/m	0.50217	0.50217	0.50743	0.64737	0.63575	0.32337

预应力模态下最大位移发为 0.64737，发生在四阶振动频率下，与自由模态相比，预应力模态分析下的位移明显增大，并且最大位移发生的阶数也发生了改变。

5. 轮毂的谐波响应模态分析

谐波响应分析模块也需要在模态分析的基础上进行分析，因此在进行谐波响应分析之前需要先对轮毂进行模态分析施加约束，而约束的施加也需要有一定前提，此处选择将约束施加在螺栓连接处。

选择轮毂上的螺栓连接处，点击 Fixed Support 施加约束，然后点击 apply，便可以成功施加约束，然后点击 Hamonic Response，在施加一个力，力的大小设置为 400 N，方向延轮毂向里，点击 apply，添加位移相关的 frequency response，将 maximum frequency 设置为 100，添加位移相关的相位相应 phase response，点击 frequency 设置为 100，然后点击求解，求解结果如图 22~25 所示：

	Mode	Frequency [Hz]
1	1.	332.28
2	2.	333.29
3	3.	396.3
4	4.	406.28
5	5.	487.77
6	6.	533.37

Figure 22. Fixed constrained modal frequency
图 22. 固定约束模态频率

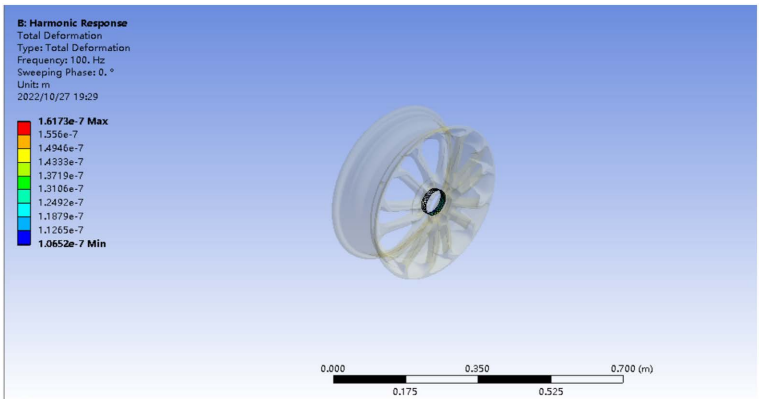

Figure 23. Wheel hub vibration mode at 100 Hz
图 23. 100 Hz 时轮毂振型

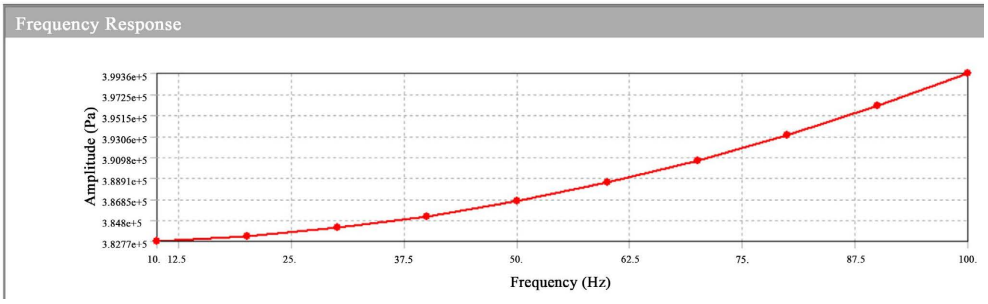

Figure 24. Hub amplitude
图 24. 轮毂振幅

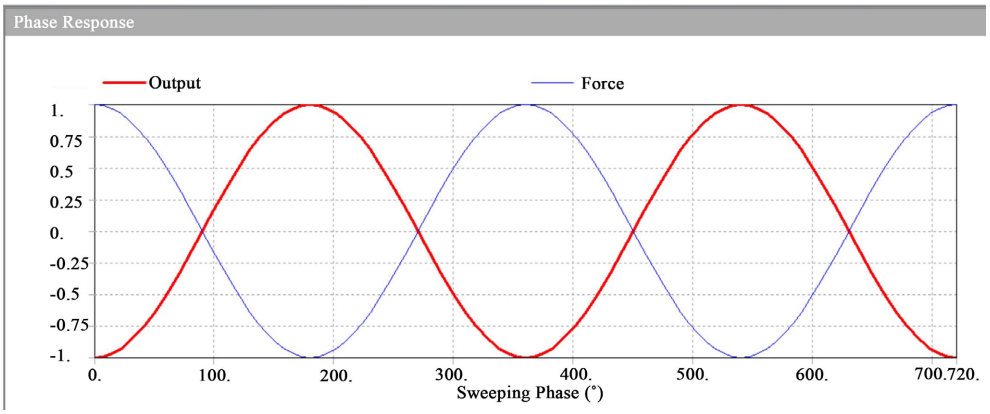

Figure 25. Scanning phase
图 25. 扫描相位

6. 结论

运用 ANSYS Workbench 对汽车车轮轮毂进行三态的分析，可以得到以下结论：

1) 通过有限元静态分析可以得到车轮轮毂受到 800 N 的外侧纵向应力时，总应变为 8.04e−6。再将轮毂假设以中心固定进行模态分析，得到前 6 阶固有频率及其振型云图。轮毂的自由模态分析中，前六阶自由模态中，振动频率最大与位移最大皆发生在第六阶，由此可见，第六阶振动频率状态下对轮毂的影响是最大的，在轮毂设计时常用的激励频率应该避开这些频率，以免发生共振。

2) 轮毂的谐波响应分析下，在 100 Hz 频率下的峰值位移响应发生在 100 Hz 处，最小位移响应发生在 10 Hz 处，结合云图分析可知，轮毂的最大位移和振型特征通常随着阶数及频率的增大而增大，且主要集中在轮毂侧面滚筒处，故在轮毂设计时应当加强其刚度和强度，以免在使用过程中发生大幅度形变从而影响使用。

参考文献

[1] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
[2] 杨磊. 镁合金汽车轮毂的轻量化设计及有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 山东科技大学, 2011.
[3] 靖娟, 王友华. 汽车轮毂模态及刚度性能有限元分析[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(19): 112-115.
[4] 李剑乔. 基于 ABAQUS 的汽车轮毂模态分析[J]. 内燃机与配件, 2020(5): 42-44.
[5] (2019) BP Statistical Review of World Energy 2019. BP, London.
[6] 王霄峰, 王波, 赵震伟. 汽车轮毂结构强度分析[J]. 机械强度, 2002, 34(1): 66-69.
[7] 龚雅琪, 刘晓虎, 杨文兵. 基于 ANSYS 的桥梁参数化建模[J]. 中南公路工程, 2006, 31(4): 77-79+92.
[8] 吴鲁宁, 鲁植雄, 杨会亮, 等. 基于 ANSYS Workbench 的本田节能车车架优化设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2014, 52(2): 14-17.
[9] 朱晓鹏, 张纪鹏, 程联军, 等. 基于 ANSYS Workbench 的某轻型货车车架轻量化设计[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2014, 29(3): 70-75.
[10] 丁涛, 于少春. 基于 ANSYS 的框架结构模态数值模拟分析[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2010(1): 43-44.