

基于ANSYS汽车轮毂的建模——以比亚迪秦PLUS车型为例

蓝勇飞^{1,2}, 何喜娟², 蓝李娇², 宋文杰², 曹夏丽^{1,2*}

¹广西中国 - 东盟综合交通国际联合重点实验室, 广西 南宁

²南宁学院交通运输学院, 广西 南宁

收稿日期: 2025年7月14日; 录用日期: 2025年8月6日; 发布日期: 2025年8月14日

摘要

本研究以比亚迪秦PLUS车型为例, 综合运用ANSYS和CATIA软件对铝合金汽车轮毂进行建模与优化。通过有限元和模态分析技术, 成功提升了铝合金轮毂的刚度和强度, 同时减轻了其重量。研究首先利用CATIA创建三维模型, 继而借助ANSYS进行分析验证, 特别是对弯曲疲劳和冲击载荷进行了仿真。结果显示, 优化后的轮毂在不同载荷下性能稳定可靠。此外, 镁合金轮毂的设计也同步得到了优化。镁合金凭借其重量轻、强度高的优势, 通过改变材料的方式, 有效改善了应力分布和刚度, 为实际应用奠定了基础; 其选材与分析过程同样经由ANSYS软件完成。最终的数据对比表明, 镁合金轮毂在弯曲应力、位移及冲击载荷应力等方面的表现均优于铝合金轮毂。因此, 该研究不仅有力证实了ANSYS和CATIA在汽车轮毂设计中的价值, 更为汽车轻量化轮毂设计提供了重要参考, 预示着未来汽车轮毂将朝着更安全、可靠和高效的方向发展。

关键词

ANSYS, 汽车轮毂, 建模, CATIA

Finite Element Modeling and Optimization of Vehicle Wheel Hub Using ANSYS: A Case Study of BYD Qin PLUS

Yongfei Lan^{1,2}, Xijuan He², Lijiao Lan², Wenjie Song², Xiali Cao^{1,2*}

¹Guangxi Key Laboratory of International Joint for China-ASEAN Comprehensive Transportation, Nanning Guangxi

²College of Traffic and Transportation, Nanning University, Nanning Guangxi

Received: Jul. 14th, 2025; accepted: Aug. 6th, 2025; published: Aug. 14th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 蓝勇飞, 何喜娟, 蓝李娇, 宋文杰, 曹夏丽. 基于 ANSYS 汽车轮毂的建模——以比亚迪秦 PLUS 车型为例[J]. 传感器技术与应用, 2025, 13(5): 715-721. DOI: 10.12677/jsta.2025.135069

Abstract

This study takes the BYD Qin PLUS model as an example, comprehensively utilizing ANSYS and CATIA software for modeling and optimization of an aluminum alloy automotive wheel hub. Through finite element and modal analysis techniques, the stiffness and strength of the aluminum alloy wheel hub were successfully enhanced while its weight was reduced. The research initially employed CATIA to create a three-dimensional model, subsequently leveraging ANSYS for analytical validation, with particular focus on simulating bending fatigue and impact loads. The results demonstrate that the optimized hub exhibits stable and reliable performance under various loading conditions. Additionally, the design of the magnesium alloy wheel hub was concurrently optimized. Capitalizing on its advantages of lightweight and high strength, the magnesium alloy effectively improved stress distribution and stiffness through material substitution, laying a foundation for practical application; its material selection and analysis process were likewise completed using ANSYS software. Final comparative data indicate that the magnesium alloy wheel hub significantly outperformed its aluminum alloy counterpart in terms of bending stress, displacement, and impact load stress. Consequently, this research not only robustly validates the value of ANSYS and CATIA in automotive wheel hub design but also provides a crucial reference for lightweight automotive wheel hub development, foreshadowing a future trend towards wheel hubs characterized by enhanced safety, reliability, and efficiency.

Keywords

ANSYS, Automotive Wheel Hub, Design Optimization, CATIA

Copyright © 2025 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. 前言

汽车轮毂承担着支撑轮胎、缓冲冲击、确保胎路接触、保障行驶性能的核心功能[1][2]。这一圆柱形金属组件传递着车轮与路面的作用力，驱动车辆前进，因此其强度与稳定性对行车安全至关重要。尽管汽车轻量化趋势势不可挡[3][4]，但材料的机械性能必须满足严苛要求。当前核心挑战在于平衡成本与轻量化——通过优化材料配方与加工工艺，实现高性能与低成本的统一，推动汽车产业向资源节约、环境友好的绿色方向转型。

自 19 世纪末 20 世纪初起，汽车轮毂的优化研究便持续开展。伴随中国汽车制造业的崛起，对轮毂实用性的需求不断提升，推动研究者深入探索其设计与结构的优化，以全面提升性能与安全性。

如今，铝合金轮毂凭借轻质、高强、耐腐蚀以及美观安全等综合优势[5]，已成为市场主流。其制造主要依靠低压铸造与锻造两种工艺：前者成本低、效率高，但结构相对简单且可能存在缺陷；后者则能实现更复杂结构，强度和刚度更高，然而成本也显著增加[6]。因此，如何在保证性能的前提下有效控制成本，是铝合金轮毂设计的关键课题。

在轮毂设计建模领域，有限元分析发挥着关键作用：它通过评估轮毂的应力、振动和热特性来验证设计合理性[7]。得益于计算机技术的飞速发展，有限元分析的精度与效率不断提升[8][9]，为轮毂结构优化提供了强大支撑[10][11]。

与此同时，新型材料与创新技术正广泛应用于轮毂生产。例如，镁合金轮毂兼具更高强度、硬度和更轻重量[12]；碳纤维复合材料轮毂则以其极致轻量化和优异抗腐蚀性展现出卓越潜力。这些创新将显著提升轮毂的设计与优化水平。

随着汽车产业快速发展及消费者对车辆性能、造型要求的日益严苛，轮毂作为关键部件，对汽车的性能与外观影响显著。为此，研究人员不仅追求更高的车速，更注重提升经济性、安全性与舒适性，这直接驱动了轮毂设计的持续优化与减重[13]-[15]。具体而言，轮毂需具备足够刚度以抑制变形、维持车轮圆度，在保障舒适性与操控性的同时提升安全指标。此外，开发更美观的轮毂也有助于刺激汽车消费市场。在设计开发与开发过程中，首要目标是确保轮毂具备充足的力学性能，并以轻量化为核心理念[16]，同时兼顾其他性能要求，最终打造出更高质量的轮毂[17]。综上所述，轮毂的设计、建模与优化工作意义重大。

2. 研究内容

当前研究内容包括以下两个方面。

通过所学知识对比亚迪——秦 PLUS 的轮毂进行分析[18]，了解轮毂的结构组成和工作原理；测量轮毂的大小尺寸[19]，通过网上收集各种参数，根据所收集信息进行三维建模。

使用 CATIA 三维软件将轮毂进行建模[20] [21]，并将所得模型装配成一个模型。

本文研究比亚迪秦 PLUS 这款车的型号为 17x7J 的 17 寸轮毂，使用 CATIA P3V5R21 这款三维设计软件来完成三维建模，具体情况如表 1 所示。

Table 1. BYD Qin PLUS wheel hub parameters
表 1. 比亚迪秦 PLUS 轮毂参数

轮胎	轮毂孔距	轮毂螺栓尺寸	中心孔距(mm)	轮辋厚度(mm)
215/55R17	5x114.3	M12x1.5	64.1 mm	5 mm

【数据来源】根据互联网搜集整理而得。

2.1. 轮毂建模步骤

(1) 轮辋的设计

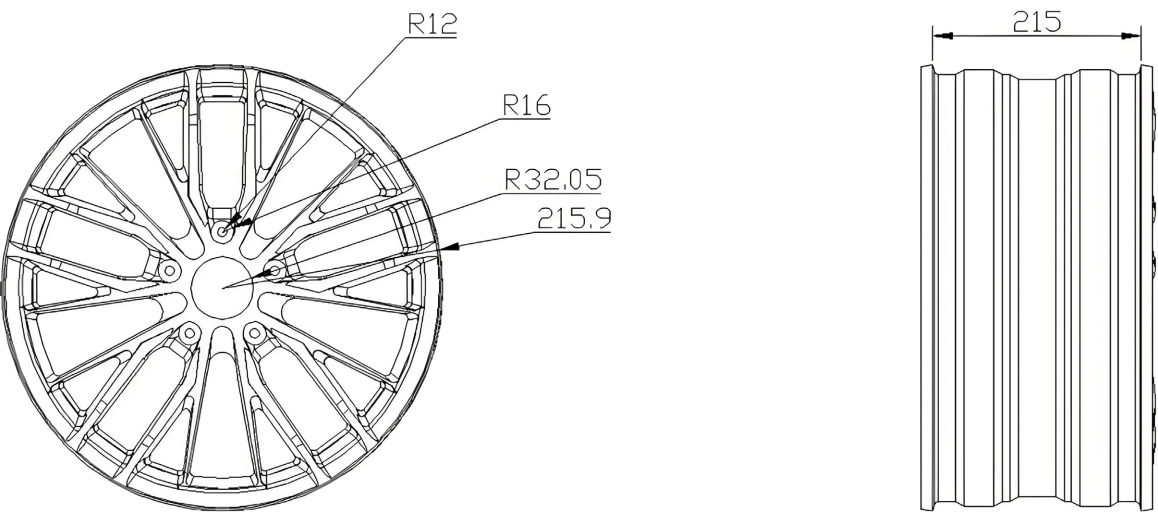


Figure 1. Modeling diagram
图 1. 建模图

首先打开 CATIA P3V5R21 软件, 随后点击“开始”的菜单, 跟着一级一级地选取“机械设计”菜单下的“零件设计”功能, 便可启动一个黄色“新建零部件”对话框。在对话框内输入待创建零件的名称不能使用中文, 然后点击“确定”按钮, 就可以进入我们所需要的草图环境。

然后在草图页面的左上角选 xy 平面作为设计面, 根据前面所设计得知的偏置距, 进行定位, 使用直线、约束命令对线条的长度, 角度进行约束, 绘制出轮辋的宽度简易的模型图。

在使用约束命令, 对所需要固定的位置大小及尺寸进行约束, 必要时将多余的约束命令进行删除。

退出草绘工作台, 使用旋转命令, 会弹出一个旋转曲面定义窗口, 以水平轴为旋转中心, 角限制为 360° 。点击确定出现一个简易轮辋的模型, 下一步在工具栏中找到加厚曲面的命令, 点击出现一个定义厚曲面的窗口, 第一偏移为 5 mm, 即是轮辋的厚度为 5 mm, 点击确定就生成模型, 如图 1 所示。

(2) 创建阵列轮辐

在轮辋建完之后, 选取 zx 作为草绘平面, 然后进入草图编辑器, 选择直线根据前面所知的数据进行绘画一个曲线, 该曲线以轴口为中心, 向外延伸直到轮辋的内壁, 使用约束命令对曲线进行约束大小, 并将其固定。

退出草图后, 点击旋转体命令, 弹出定义旋转体对话框, 在限制里第一个条件设置第一角度为 360° , 在旋转轴线的设定上, 选择中心轴线作为基准, 确认无误后, 一个实体轮辐即被创建。

以实心的轮辐进行作为参考面, 进行绘制轮辐的空心部分, 选择 zx 为平面, 进入草图编辑器, 选择直线根据前面所知的数据进行绘画出轮辐空心部分的草图模型, 在绘画过程结束之后, 对尺寸及位置实施约束命令, 确保准确无误, 然后退出草图编辑功能。

在开始菜单下选择形状, 在选择创成式外形设计, 在工具栏中点击拉伸命令, 弹出拉伸曲面定义, 方向为 y 部件, 限制 1, 拉伸限制类型为尺寸, 尺寸为 60 mm, 限制 2, 类型选择尺寸, 尺寸为 10 mm, 选择确定就会生成一个实心零部件, 使用拔模命令, 在弹窗定义拔模角度为 5° , 方向向上, 在使用分割, 倒圆角, 圆形阵列等命令生成轮辐。

(3) 创建螺栓孔

在选择 zx 平面进入, 草图编辑器, 选择画圆命令, 绘画一个螺栓孔, 直径为 24 mm, 退出草图编辑器, 选择凹槽命令, 弹出定义凹槽窗口, 第一限制类型为“直到最后”点击确定就会生成一个圆孔, 然后在使用圆形阵列对刚刚画好的圆孔进行阵列。在进行圆形阵列的选择时, 首先弹出定义圆形阵列的窗口, 其中轴向参考包括实例以及角度间距。具体设置为实例 5, 角度间距 75° , 参考方向为 y 轴, 确定即可生成 5 个螺栓孔, 在执行圆形倒圆角操作时, 首先弹出倒圆角定义窗口, 将倒角半径调整至 2.5 mm。接着, 选取刚刚绘制的五个螺栓孔作为圆角化对象, 设定其为相切模式。最后, 点击确认以生成倒圆角。

在以 zx 平面进入草图编辑器, 选择圆命令绘画出一个轴孔, 半径为 32.05 mm, 在完成草图编辑后, 执行凹槽指令, 对刚才绘制的模型实施空洞处理。将凹槽的第一限制类型设定为持续至末端, 便移位 0 mm, 点击确定就会生成轴孔。经过以上步骤整个轮毂的创建以完成, 如图 2 所示。

利用 CATIA P3V5R21 建立了汽车轮毂的三维模型, 在建完模型之后, 可以保存的文件格式类型 CATPart, igs, model 等, 其中 CATPart 为默认的保存格式。选择不同文件保存格式会对三维模型的载入有着非常大的联系。所以选择 CATPart 格式为最佳方案, 可以实现模型顺利将模型导入 ANSYS 软件。

2.2. 图片中轮毂的真实验证与分析

2.2.1. 真实验证

(1) 图像内容与特征提取

从图中可提取轮毂相关视觉信息：呈现为数字化界面里的 3D 模型，具备典型汽车轮毂结构——中心孔、辐条、轮辋等清晰可见，表面有金属质感渲染，体现工业设计阶段的模型特征。结合界面文字“进

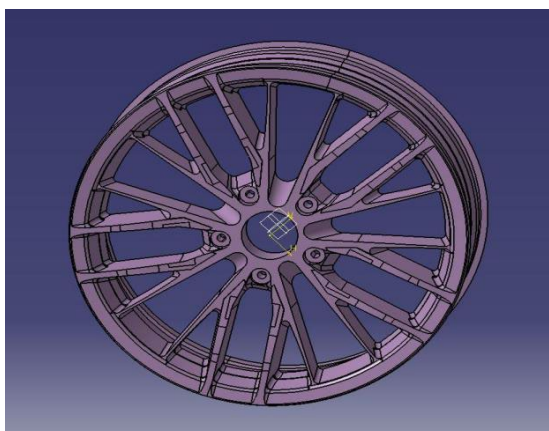


Figure 2. 3D Solid model of wheel hub

图 2. 轮毂三维实体图



Figure 3. Automotive wheel hub model format interaction diagram, experimental validation and analysis

图 3. 汽车轮毂模型格式交互图、真实验证与分析

前期的设计型轮毂模型文件”，可初步判定这是工业产品设计流程中，处于设计前期阶段的数字化轮毂模型。

(2) 真实性关联验证

由于是数字化模型截图,若要深度验证真实性,需关联工业设计软件环境(如 CAD、CAE 等工具)。可从模型文件格式适配性(查看是否与“SpaceCanm/模块 Sanim”等程序菜单适配)、设计流程逻辑(前期设计模型是否具备该阶段几何特征、精度标准)判断。从界面呈现看,符合工业数字化设计平台对模型文件的展示逻辑,暂可认定为真实反映工业设计前期的轮毂数字模型,若需精准验证,需调取对应软件内模型源文件、设计参数等原始数据。

2.2.2. 分析

(1) 工业设计流程维度

作为“进前期的设计型轮毂模型文件”，处于产品研发前端环节。此阶段模型承担概念验证、造型迭代功能，通过数字化平台展示，便于设计团队快速评估轮毂外观(如辐条造型美学、尺寸比例合理性)、初步模拟力学性能(虽图中未体现模拟数据，但前期模型是 CAE 分析基础)，助力并行工程开展，缩短从设计到量产的周期，体现数字化设计在工业流程中的效率价值，见图 3。

(2) 数字化孪生与智能制造维度

该轮毂数字模型是产品数字孪生的基础单元。在智能制造体系中，前期设计模型可向下游环节(如工艺规划、生产制造)传递精准数据，实现虚拟模型与物理产品的映射。通过平台化管理(图中“应用程序菜单文件”体现平台逻辑)，利于打通设计-生产数据链路，为轮毂从虚拟设计到实体制造的一体化、智能化生产提供支撑，契合工业 4.0 时代产品全生命周期数字化管理趋势。

(3) 设计美学与工程适配性维度

从设计美学看，轮毂 3D 模型的辐条布局、曲面过渡体现工业设计对造型美观、空气动力学(潜在需求)的考量；从工程适配性看，中心孔、螺栓孔(虽图中细节有限，但工业轮毂必备)的预留，反映设计需兼容车辆底盘结构、装配工艺要求。数字化模型可直观呈现这些维度的设计成果，方便多专业协同评审(如设计、工程、市场团队基于同一模型沟通)，优化设计方案的综合适配性。

综上，图中轮毂数字模型，是工业数字化设计流程的典型产物，从设计流程、智能制造、多维度适配性等层面，为研究工业产品设计数字化转型、数字孪生应用等论文方向，提供具象化分析素材，后续可结合实际设计项目数据(如模型迭代次数、协同效率提升值)，深化论证其在工业实践中的价值。

基金项目

本研究由中国-东盟综合交通国际联合实验室建设项目(AD20297125)提供经费支持，同时获得广西科技基地和人才专项：广西交通新技术转移中心平台建设(AD23026029)的资助，并得到南宁市科研与技术开发计划项目“交通基础设施智慧运维与健康监测平台”(20223230)的补充支持，还得到广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2025KY1204)的重要支撑。

参考文献

- [1] 庄文钊. 微型货车驱动桥壳三维建模和有限元分析[J]. 汽车维修与保养, 2025(6): 71-72.
- [2] 胡磊, 陈君宝. 考虑运输工况的重型载货汽车车架有限元分析及优化设计[J]. 中国设备工程, 2025(10): 111-115.
- [3] 李国明, 臧立彬, 李珺, 等. 基于 ANSYS 有限元分析的巨胎侧板轻量化研究[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2025, 40(2): 61-66.
- [4] 莫艳芳, 玉立新, 邓剑锋. 基于 ANSYS 的新能源变速器壳体优化设计研究[J]. 时代汽车, 2025(7): 117-119.
- [5] 孙涛, 谢显晨. 基于 ANSYS 的新能源轻型商用车动力总成悬置支架结构优化设计[J]. 商用汽车, 2025(1): 55-57.
- [6] 郑艳文. 基于 ANSYS Workbench 的锂电池方型卷针的结构仿真及优化设计[J]. 机械工程师, 2024(11): 138-141.
- [7] 彭志波, 姚贞铭. 电动小型货车驱动桥壳的有限元分析[J]. 时代汽车, 2024(17): 76-78.
- [8] 胡磊. 重型载货汽车车架轻量化优化设计研究[D]: [硕士学位论文]. 十堰: 湖北汽车工业学院, 2024.
- [9] 于晓燕. 基于 ANSYS 的某车架有限元分析和轻量化设计[J]. 内燃机与配件, 2024(11): 63-66.
- [10] 王光越, 张炜. 基于 ANSYS 的一种悬臂结构抗冲击优化设计[J]. 机械研究与应用, 2024, 37(1): 45-47.
- [11] 柯铁铭, 郭江, 徐喻琼. 基于 Ansys Workbench 的悬臂结构直接优化设计[J]. 舰船科学技术, 2024, 46(21): 54-57.
- [12] 甄隽葳, 李航名, 谢坤燕, 等. 基于 ANSYS Workbench 的 FSEC 赛车后立柱结构优化设计[J]. 科技与创新, 2024(17): 53-55.

-
- [13] 张平, 莫伟锴. 基于有限元的纯电动货车车架结构优化设计[J]. 广东技术师范大学学报, 2023, 44(3): 44-52.
 - [14] 赵洪兵, 贾士强. 基于 ANSYS 的新能源汽车仪表板结构优化设计[J]. 汽车测试报告, 2023(7): 31-33.
 - [15] 蒲晓林. 发动机曲轴参数化建模及有限元分析[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西华大学, 2023.
 - [16] 杨国营. 基于概念设计的汽车轮毂轻量化设计[J]. 机电工程技术, 2023, 52(6): 257-262.
 - [17] 陈思, 张勇乐. 汽车轮毂结构优化与有限元分析研究[J]. 汽车与驾驶维修(维修版), 2025(4): 64-66.
 - [18] 陈文娟. 镁合金汽车轮毂真空高压铸造的开发与设计[J]. 商用汽车, 2025(1): 52-54.
 - [19] 汪磊, 赵燕伟, 任设东, 等. 基于强化学习和拓扑优化的汽车轮毂概念设计方案生成[J]. 高技术通讯, 2024, 34(9): 1003-1012.
 - [20] 赵俊, 唐宏政, 付霞. 基于 ANSYS 的麦弗逊悬架下摆臂结构优化设计[J]. 内燃机与配件, 2024(22): 67-69.
 - [21] 李新君. 基于 ANSYS 的半挂车某承力轴优化设计分析[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(7): 60-61, 65.