

Finite Element Analysis and Optimization Design of Front Axle for Electric Freight Vehicles

Huanwei Liu Yunhui Ma

Taishan University of Science and Technology, Tai'an, Shandong, 217000, China

Abstract

With the continuous improvement of environmental protection awareness and the booming rise of the new energy vehicle market, electric truck, as an environmentally friendly and efficient means of transportation, is increasingly widely concerned. This paper focuses on an in-depth finite element analysis of the front axle of electric trucks. In this paper, we elaborate the 3D model of the front axle and accurately determine the mechanical property parameters of the materials used. The analysis results show that the optimized front axle achieves significant lightweight in structure, while maintaining excellent strength and stiffness, perfectly meeting the strict requirements of electric trucks in practical application. This result not only highlights the effectiveness of the optimized design, but also provides strong support for the lightweight and performance improvement of electric trucks.

Keywords

optimization design; finite element; truck

电动载货汽车前轴有限元分析及优化设计

刘焕伟 马芸慧

泰山科技学院, 中国·山东 泰安 217000

摘要

随着环境保护意识的不断提升和新能源汽车市场的蓬勃兴起, 电动载货汽车作为环保且高效的交通运输工具, 正日益受到广泛关注。论文专注于对电动载货汽车前轴进行深入的有限元分析, 利用先进的有限元方法, 精心构建了前轴的三维模型, 并精确测定了所用材料的力学性能参数。分析结果显示, 优化后的前轴在结构上实现了显著的轻量化, 同时保持了卓越的强度和刚度, 完美满足了电动载货汽车在实际应用中的严苛要求。这一成果不仅彰显了优化设计的有效性, 更为电动载货汽车的轻量化与性能提升提供了有力支持。

关键词

优化设计; 有限元; 载货汽车

1 引言

随着全球经济的蓬勃跃进与物流行业的日新月异, 电动载货汽车如同一股清新的绿色旋风, 以其高效环保的特性, 在全球舞台上大放异彩, 成为货运领域一颗璀璨的明星。因此, 面对电动载货汽车的广阔前景与潜在挑战, 我们亟须聚焦其关键部件的性能提升与设计优化, 以科技创新为引擎, 推动整个行业破浪前行, 共创绿色、高效、智能的物流新时代。

Shwetank Avikal 指出前轴是车辆非常重要的部件, 由于发动机振动、路面颠簸等各种因素, 它承受疲劳载荷, 因此设计和分析车轴的疲劳寿命变得非常重要^[1]。前轴作为电

动载货汽车的关键承载和传动部件, 承担着车辆行驶过程中的主要载荷和传递驱动力的重要任务。

国内研究更侧重于前轴的性能分析和仿真模拟, 通过有限元分析等手段, 研究前轴在不同工况下的受力情况和振动特性, 周智等人^[2]指出前轴是汽车簧下的主要承重件之一, 在汽车的底盘系统中占有很大一部分质量。陈长波等人^[3]采用有限元的方法, 对前轴进行了静力学分析及轻量化设计。因此, 有限元的设计方法在前轴优化设计中是一种可行的方法。在电动载货汽车前轴的设计中, 有限元分析的应用具有显著的优势。通过有限元分析, 在设计阶段预测前轴在各种工况下的性能表现, 从而及时发现并改进潜在的结构问题。通过有限元分析结果指导优化设计, 可以提升前轴结构的强度和刚度, 提高车辆的燃油经济性和行驶性能。

本研究旨在通过有限元分析, 确定优化设计的目标和约束条件, 选择合适的优化方法, 对前轴进行结构优化。优化设计的目标是提高前轴的结构强度, 减少应力集中现象,

【基金项目】泰山科技学院 2024 年度校级一流本科课程《机械原理》。

【作者简介】刘焕伟 (1986-), 男, 中国山东泰安人, 硕士, 讲师, 从事机械工程研究。

增强前轴的承载能力和使用寿命，从而提升整车的安全性和稳定性。

2 前轴建模

在进行有限元分析之前，应针对前轴几何模型进行适当的模型简化工作，这种简化的核心目的在于剔除那些对最终分析结果产生较小影响的细节部分，从而大幅度地提升计算的效率。本研究还会合并或简化那些相邻且尺寸较小的特征。这样做不仅可以降低模型的复杂度，使得分析过程更为流畅，同时还能减少计算所需的资源，进一步提高分析的效率^[4]。在整个简化过程中，需要始终确保模型的主要承载结构和关键的力学特性不受影响。因此在本文建模过程中，忽略了小孔和圆角。

常用的网格类型有四面体、楔形和六面体等，在本文中选择了四面体网格。

尽管六面体网格的计算误差小、计算量小，但是几何结构必须是映射体。而前轴的形状复杂，理论上可以切割成映射体，但是切割起来很复杂，现有软件四面体网格的计算精度能达到要求，故本文选取的是四面体网格。主销孔以及板簧安装孔处的节点分别用 RBE2 刚性单元连接到一个节点上，以便施加边界条件，最后生成 75215 个节点、297185 个单元，网格质量检查合格，网格划分好之后的有限元模型如图 1 所示。



图 1 前轴有限元模型

3 有限元分析

有限元方法，简称 FEM，是工程和科学领域中广泛采用的一种高效数值分析技术。为了提高整车的安全性，论文选取了两种边界条件来模拟典型行驶工况即紧急制动和侧滑工况下车辆前轴的受力情况。

当车辆紧急制动时，其减速的突然性使得车内的人员和货物由于惯性作用会向前方猛烈冲击。这种冲击会大幅增加前轴所承受的载荷，而这种载荷并非单一方向，而是包括垂直向下的重力、向前冲的拉力以及因制动时轮胎与地面摩擦产生的扭矩。在钢板弹簧座处，同时施加了三种不同类型的力：垂直方向的压力，模拟车重和车内人员、货物的重力；前后方向的拉力，模拟因惯性造成的冲击；以及因制动而产生的扭矩^[5]。特别是扭矩的模拟，通过在钢板弹簧座的四个螺栓孔中心施加方向相反的集中力来实现，这种方法可以更加逼真地反映出扭矩对前轴的实际影响。在进行这些力的施加的同时，充分考虑到了模型的稳定性。

当汽车处于紧急制动工况时，前轴的应力与变形量的有限元仿真结果如图 2 所示。该工况下，因前轴的弯脖与拳部过渡部分壁厚较小，故应力最大，最大值为 633MPa，工字梁与板簧座部分较厚，故应力较小。最大变形量发生在工字梁的中间，最大值为 7.03mm，拳部被主销约束，故变形量最小。应力与位移呈左右对称分布。

当汽车处于侧滑工况时，前轴的应力与变形量的仿真分析结果如图 3 所示。该工况下汽车有向左侧翻的趋势，前轴左右载荷不对称，故应力分布也不对称，左侧应力与变形量大于右侧，最大应力发生在弯脖与拳部过渡的上方，最大值为 417MPa，最大变形量发生在左侧板簧座与工字梁过渡处，最大值为 1.75mm。

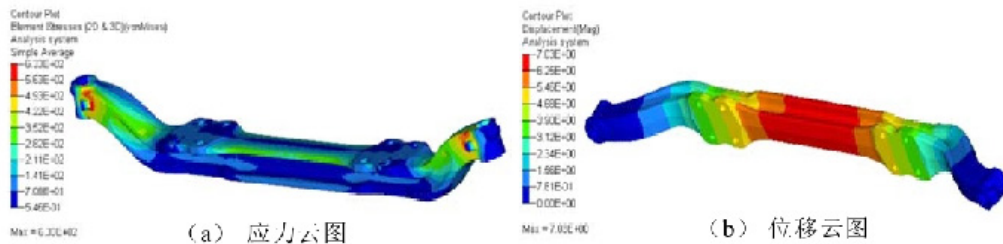


图 2 紧急制动工况前轴应力云图

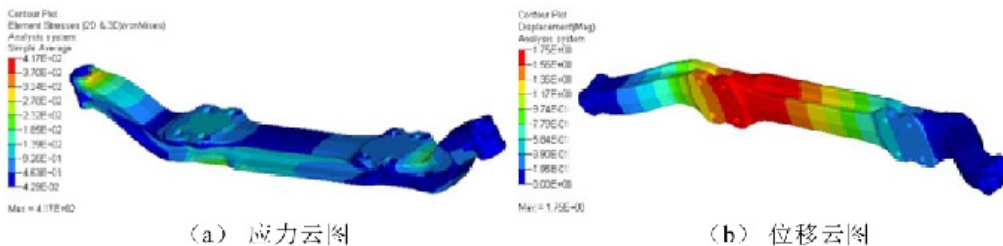


图 3 侧滑工况前轴应力云图 (a) 与位移云图 (b)

根据对前轴在两种危险工况下的有限元分析结果可知,前轴在紧急制动工况下受到的应力和位移最大,最大应力为663MPa,最大位移为7.03mm,前轴材料的屈服极限为930MPa,最大应力远远小于其材料的许用应力,材料没有充分发挥其承载作用,说明该前轴具有很大的轻量化潜力,为了提高前轴的轻量化水平,需要对其进行轻量化设计。

4 优化设计

在电动载货汽车前轴的优化设计中,减小最大应力值是设计的中中之重。当车辆在极端工况下行驶时,前轴所承受的应力会大幅增加,这可能导致疲劳断裂或塑性变形等严重问题。为了避免这些潜在的安全隐患,必须降低这些关键区域的最大应力值。在紧急制动和侧滑等情况下,前轴的变形可能会影响车轮的定位精度,进而影响到整车的操控性。因此,论文的设计需要确保在这些特定工况下,前轴的变形量能够被有效地控制在一定范围内。除了提高前轴的机械性能外,重量优化也是不可忽视的一个方面。在满足强度和刚度要求的基础上,应尽可能地减轻前轴的重量。

针对电动载货汽车前轴优化设计的目标和约束条件,本文针对紧急制动和侧滑等关键工况进行了有限元模拟和分析。通过这些模拟,得到了前轴在各种工况下的应力分布和变形数据。根据分析结果,针对应力集中的区域,本文考虑改变截面形状或增加加强筋来分散应力;对于变形较大的区域,则通过调整材料分布或增加支撑结构来提高刚度。然后,在有限元模型中逐一实施了这些优化方案,并进行了多次迭代计算。

通过实验数据的对比和分析,验证了优化设计的有效性,也为后续的产品开发和改进提供了有力的数据支持。优化结果如图4所示。

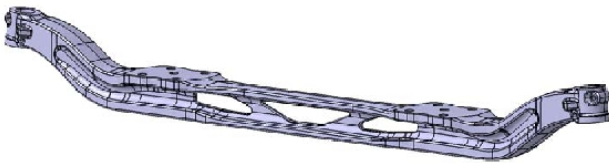


图4 优化后前轴3维模型

相比轻量化前,轻量化后前轴各个工况下应力水平都有提高,材料得到更合理地利用,轻量化后应力分布更均匀,最大应力发生在紧急制动工况下,为663MPa,并未超出材料的屈服极限,静强度设计满足要求。轻量化前、后前轴在各工况下应力与变形量结果统计如表1所示。相比轻量化前,应力变化量最大为126MPa,发生在侧滑工况下,变形量最大量为1.26mm,发生在紧急制动工况下,变化不大,满足

前轴刚度设计要求。

表1 优化前后前轴各工况下应力与位移对比

工况	优化前最大应力 (MPa)	优化后最大应力 (MPa)	优化前最大位移 (mm)	优化后最大位移 (mm)
紧急制动	633	663	7.03	8.29
侧滑	417	543	1.75	2.23

经过精心优化设计后,在相同的运行条件下,前轴的变形量实现了显著缩减,这一改进极大地增强了车辆在行驶途中的稳定性,并使其操控性能跃升至新高度。尤为值得一提的是,前轴的重量得到了有效减轻。在确保满足必要的强度和刚度标准的基础上,通过细致的结构调整与精选材料的应用,我们成功地实现了前轴的重量优化。这一变革不仅直接促进了车辆能耗的降低,显著提升了燃油效率,还进一步挖掘了车辆的动力潜能。轻量化后的前轴,使得车辆在加速、减速及转向操作中展现出更为敏捷的反应,为驾驶者带来了更为流畅与愉悦的驾驶体验。对比优化前后的前轴性能指标,优化设计的卓越成效一目了然,充分彰显了技术创新带来的深远影响。

5 结论

本研究对象是电动载货汽车前轴。为了实现电动载货汽车前轴的优化设计,综合运用了有限元分析和结构优化技术。通过建立精确的有限元模型,能够模拟前轴在垂直弯曲、紧急制动、侧滑等多种极端工况下的应力分布和变形情况。

通过对比分析优化前后的关键性能指标,发现优化后的前轴在最大应力值、最大变形量和重量等方面均取得了显著的改进。这些结果充分验证了本文的优化设计思路和方法的有效性和可行性,为电动载货汽车的整体性能提升提供了有力的技术支持。

参考文献

- [1] Avikal S, Bisht A, Sharma D, et al. Design and fatigue analysis of front axle beam of a heavy duty truck using ansys[J]. Materials Today: Proceedings, 2020.
- [2] 周智,秦训鹏,詹军.重型汽车前轴多工况结构轻量化设计研究[J].工程机械,2020(5):44-51.
- [3] 陈长波,冯美波,高洋,等.基于静载荷下应变数据的汽车前轴轻量化设计[J].农业装备与车辆工程,2022,60(8):162-165.
- [4] 孔德利,冯美波,陈长波,等.某汽车前轴轻量化及有限元分析[J].农业装备与车辆工程,2020,58(3):135-137.
- [5] 郭小龙,夏华,朱雄.重载汽车前轴成形数值模拟分析[J].模具制造,2013,13(9):21-24.