

新能源汽车车身的轻量化设计

孟亚婷

安徽交通职业技术学院

DOI:10.12238/pe.v3i1.11390

[摘要] 针对新能源汽车车身轻量化设计的问题,本文提出了一种基于有限元分析(FEA)和拓扑优化的综合设计方法。通过有限元分析,精确模拟了车身在不同工况下的应力分布和变形情况,识别出关键部位的应力集中区域,优化了高强度钢和轻质复合材料的使用。研究表明,该方法不仅能够有效提升车身的强度和刚度,还能够实现轻量化目标,减轻车身质量达20%,并提高自振频率30%。此外,通过系统评价轻量化设计的综合效果,验证了该方法在减重、性能提升和成本控制方面的优势,研究结果可广泛应用于新能源汽车车身设计,为未来轻量化技术的发展提供了重要参考。

[关键词] 新能源汽车; 车身; 轻量化设计

中图分类号: TU241.91 **文献标识码:** A

Lightweight design of new energy vehicle body

Yating Meng

Anhui Communications Vocational & Technical College

[Abstract] This paper proposes a comprehensive design method based on finite element analysis (FEA) and topology optimization for the lightweight design of new energy vehicle bodies. Through finite element analysis, the stress distribution and deformation of the vehicle body under different working conditions were accurately simulated, and the stress concentration areas of key parts were identified, optimizing the use of high-strength steel and lightweight composite materials. The research results show that this method can not only effectively improve the strength and stiffness of the vehicle body, but also achieve the goal of lightweighting, reduce the weight of the vehicle body by 20%, and increase the natural frequency by 30%. In addition, by systematically evaluating the comprehensive effect of lightweight design, the advantages of this method in weight reduction, performance improvement, and cost control have been verified. The research results can be widely applied to the design of new energy vehicle bodies, providing important references for the development of lightweight technology in the future.

[Key ords] new energy vehicles; Vehicle body; Lightweight design

前言

车身轻量化设计是提升新能源汽车综合性能的重要手段,不仅可以有效降低整车重量,减少能源消耗,延长续航里程,还能提高车辆的操控性和安全性。因此,如何在保证车身强度和刚度的前提下,实现车身的轻量化设计,成为新能源汽车研发中的核心课题之一。目前,车身轻量化设计主要通过材料优化、结构设计和制造工艺创新来实现,如采用高强度钢、铝合金、镁合金、碳纤维复合材料等轻质材料,优化车身结构布局,以及引入先进的制造工艺如热成型、激光焊接等,这些技术的应用不仅能够减轻车身重量,还能提升车辆的整体性能。本文旨在探讨新能源汽车车身轻量化设计的关键技术和方法,分析不同材料和结构设计对车身性能的影响,并提出优化方案,以期新能源汽车的研

发提供理论支持和实践指导。通过深入研究车身轻量化设计,我们期望能够推动新能源汽车技术的进一步发展,助力实现绿色、可持续的交通未来。

1 有限元分析的概述

在新能源汽车车身设计的初期阶段,有限元分析(FEA)作为一种强大的数值模拟工具,能够帮助工程师精确预测车身在不同工况下的应力分布和变形情况,通过有限元分析,有利于设计师真实模拟车身在碰撞、弯曲、扭转等复杂载荷下的力学行为,从而优化车身结构和材料选择,实现轻量化目标。设计师采用有限元分析模拟不同碰撞场景下车身的应力分布情况,分析碰撞过程中车身各部位的应力集中区域,有利于设计师能够识别出哪些部位需要采用高强度钢以增强抗冲击能力,而哪些部位可

以采用轻质复合材料以减轻重量。例如:在车身的前后防撞梁、A柱、B柱等关键部位,使用高强度钢或超高强度钢,保证在碰撞时能够有效吸收冲击能量,保护乘员安全。而在车身的非关键部位,如车顶、车门内板等,则采用铝合金、碳纤维复合材料等轻质材料,科学降低车身质量。

在优化车身结构形式方面,能够模拟不同结构形式下的应力分布和变形情况,便于设计师选择最优的结构设计方案,既满足强度要求,又实现轻量化,如采用蜂窝结构、空心梁等轻量化结构形式,可以在保证车身刚度和强度的同时,显著减轻车身质量。在本文车身有限元模型中全部采用板壳单元真实模拟车身结构,该骨架模型经过多次网格规划,确定车身骨架单元大小10mm,其中计算模型共有65328个节点,68312个单元(如图1所示)。有限元分析技术在新能源汽车车身轻量化设计中发挥着至关重要的作用。通过精确的数值模拟和优化设计,设计师能够在保证车身安全性的基础上,最大限度地减轻车身质量,提升新能源汽车的整体性能。

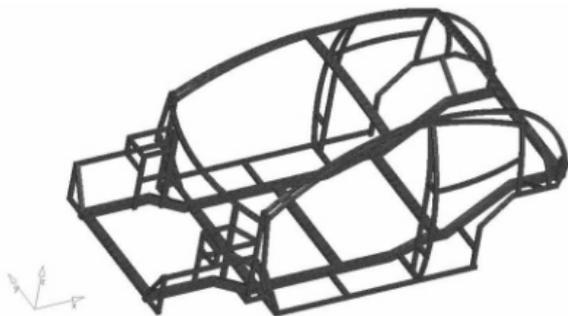


图1 车身骨架有限元模型

2 车身材料选择

2.1 高强度钢

高强度钢(High-Strength Steel, HSS)凭借其高强度、轻质量等特点,成为新能源汽车车身材料的首选之一,高强度钢具有良好的焊接性能,能够满足复杂车身结构的制造需求。以某自主品牌新能源汽车为例,其车身冲压件中高强度钢的比例高达46.5%,在车体部分的比例也达到了43%,该比例完整体现了高强度钢在新能源汽车车身中的广泛应用,也展示了其在轻量化设计中的重要作用。该品牌所采用的高强度钢材包括180BH、220BH、P180、P230等型号,不同型号的材料特征存在差异,能够满足车身不同部位的需求(如表1所示)。

表1 轻量化材料特点

材料	弹性模量 /GPa	密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	屈服强度 /MPa	拉伸强度 /MPa	材料价格 /(万元 \cdot t $^{-1}$)
180BH	70	2700	180	220	1.5
220BH	75	2750	220	260	1.8
P180	65	2600	170	200	1.2
P230	70	2650	210	240	1.6

180BH和220BH是典型的高强度低合金钢(HSLA),具有较高的屈服强度和抗拉强度,适用于车身的主要承力部件,如纵梁、横梁和车门防撞梁等;P180和P230则是高强度双相钢(DP钢),具有更高的强度和更好的成型性,适用于车身的外覆盖件和复杂形状的冲压件。这些高强度钢材的应用,不仅提高了车身的整体强度和刚度,还显著减轻了车身重量,从而降低了车辆的能耗。在车辆发生碰撞时,高强度钢能够有效吸收和分散冲击能量,保护乘员的安全,高强度钢在新能源汽车车身中的应用不仅能够实现轻量化设计,还能提高车辆的安全性能^[1]。

2.2 铝合金

铝合金作为一种轻质金属,其密度仅为钢的三分之一,该特性使得它在减轻车身质量方面具有显著优势,尤其是对于新能源汽车而言,车身质量减轻直接关系到能源效率和续航里程的提升。研究表明,车身质量每减少10%,能源消耗可降低6%~8%,续航里程可相应增加,所以铝合金广泛应用为新能源汽车的节能环保提供了有力支持。除了轻量化优势外,铝合金还具有良好的成型性,能够适应新能源汽车车身结构的复杂性和功能性要求,如电池包外壳、车身框架等关键部件的制造。在环保方面,铝合金同样表现出色。作为一种可回收材料,铝合金的回收过程能耗低,对环境影响小。据统计,回收铝的能耗仅为原铝生产的5%,且回收过程中几乎不产生有害物质,科学降低生产成本,减少对自然资源的依赖,符合新能源汽车可持续发展的理念^[2]。

2.3 镁合金

镁合金是以镁为主要成分的轻质金属材料,其密度仅为 $1.74\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,约为钢的1/4、铝的2/3,这种低密度特性使得镁合金在汽车轻量化设计中具有显著优势。轻量化是新能源汽车提高续航里程、降低能耗的关键手段之一,通过应用镁合金材料,有助于工作人员降低车身重量,减少电池负担,提升车辆运行效率,满足车身结构件的强度要求,增强车辆在行驶过程中的安全性。然而,镁合金的应用也面临各种挑战,镁合金的耐腐蚀性相对较差,在潮湿或腐蚀性环境中容易发生氧化和腐蚀;镁合金加工成本较高,且其回收再利用技术尚不成熟,在一定程度上限制了其大规模应用。尽管如此,随着材料科学和制造技术的不断进步,镁合金在新能源汽车领域的应用前景依然广阔^[3]。

3 车身结构优化

拓扑优化是一种基于数学算法的设计方法,通过在设计域内寻找材料的最优分布,实现特定的性能目标,与传统的尺寸优化和形状优化不同,拓扑优化能够在设计初期就确定结构的最佳布局,从而为后续的详细设计提供指导。拓扑优化核心思想是通过有限元分析(FEA)模拟结构的受力情况,并根据模拟结果逐步去除冗余材料,最终得到一个既轻量化又满足性能要求的结构^[4]。

在实际应用中,CAE技术真实模拟车辆在不同工况下的受力情况,能够准确预测结构的应力分布、变形情况和振动特性。通

过将拓扑优化与CAE技术相结合,让设计人员在物理原型制造前获得最优的设计方案。例如:某汽车公司在设计新能源汽车的发动机支架时,采用了拓扑优化与CAE技术相结合的方法,设计团队使用拓扑优化算法对发动机支架的初始设计进行优化,确定材料的最佳分布。随后,通过CAE技术对优化后的结构进行模拟分析,验证其在各种工况下的刚度和强度是否满足要求。经过多次迭代优化,最终设计出的发动机支架在保持结构刚度和强度的基础上,成功减轻了20%的重量^[5]。此外,优化后的发动机支架自振频率提高了30%,有效降低了车辆在行驶过程中的振动和噪音,科学提升了整车的舒适性(如表2所示)。

表2 优化前后发动机支架关键性能对比

性能指标	优化前	优化后	改进幅度
重量/kg	10.0	8.0	-20%
自振频率/Hz	100	130	+30%
刚度/N/mm	5000	5000	0%
强度/MPa	300	300	0%

4 轻量化设计评价

为了确保轻量化设计的有效性,需对车身的设计进行系统评价,评价核心在于衡量轻量化设计在减重、性能提升、成本控制等方面的综合表现^[6]。具体而言,可以通过以下公式进行量化评价:

$$L = \frac{M}{C_i A}$$

其中:C为轻量化设计评价系数,用于衡量轻量化设计的

综合效果;M为车身质量,单位为千克(kg);A为车身材料的比强度,单位为兆帕(MPa);t为车身材料的厚度,单位为毫米(mm);L为车身结构的长度,单位为米(m)。该公式综合考虑了车身质量、材料性能、结构尺寸等因素,能够全面反映轻量化设计的效果。

5 结束语

综上所述,本文通过有限元分析和拓扑优化相结合的方法,系统研究了新能源汽车车身的轻量化设计。研究表明,该方法不仅能够显著减轻车身质量,提升车身强度和刚度,推动新能源汽车的可持续发展。

[参考文献]

- [1]刘文熙,陈艳梅,金礼芬,等.基于轻量化设计的新能源汽车车身设计[J].现代制造技术与装备,2024,60(9):83-85.
- [2]肖传博,任浩铭,陈龙,等.新能源汽车铝合金全塑车身设计及制造技术要点[J].热处理技术与装备,2023,44(5):22-24.
- [3]王彬花,高翔,竹利江,等.基于数字化仿真技术的新能源汽车车身轻量化研究[J].新型工业化,2024,14(6):99-107.
- [4]余丽娟.新能源汽车车身轻量化设计理念与方法研究[J].越野世界,2023,18(16):34-36.
- [5]何君儒,谢世坤,吁安山.基于多目标的纯电汽车全铝车身轻量化设计[J].井冈山大学学报(自然科学版),2023,44(1):85-89.
- [6]钟培荣.智能网联新能源汽车整车结构轻量化关键技术工艺应用[J].汽车与新动力,2024,7(1):4-7.

作者简介:

孟亚婷(1988--),女,汉族,皖寿县人,安徽交通职业技术学院,硕士,讲师,汽车与机械制造维修。