

基于 ANSYS 新能源汽车动力电池仓结构优化设计

王雪峰, 刘成, 田晓雪, 沈通, 王帅
安徽职业技术学院, 安徽合肥, 中国

【摘要】本文基于 SolidWorks 三维建模技术构建新能源汽车动力电池仓参数化模型, 结合 ANSYS Workbench 平台开展动力学特性研究。通过模态分析方法提取电池仓固有振动特性, 识别结构动态薄弱区域, 重点针对侧壁连接部位进行优化设计。采用结构优化策略, 重构支撑结构几何形态并改进加强筋布局方案, 在有效提升结构刚度与固有频率的同时降低整体质量。优化后的电池仓通过多目标平衡设计, 显著改善动态应力分布状态, 确保其固有频率与路面激励频率形成合理避频区间。研究成果实现了动力电池仓动态性能与轻量化设计的协同优化, 既增强了新能源汽车运行稳定性, 又为关键零部件的振动抑制与寿命延长提供了系统解决方案。

【关键词】电池仓; 轻量化; 设计

【基金项目】2023 年安徽省高校科学研究重点项目(自然科学)(编号: 2023AH051447); 2023 年安徽省高校科学研究重点项目(自然科学)(编号: 2023AH051435); 2023 年安徽省高校科学研究重点项目(自然科学)(编号: 2023AH051458); 2023 年度院级质量工程(编号: 2023yjyxm40)

1. 绪论

随着全球能源结构转型与“双碳”战略的深入推进, 新能源汽车产业已成为汽车工业变革的核心驱动力。作为整车动力系统的能量载体, 动力电池仓不仅承担着电池模组的物理承载功能, 更是实现碰撞防护、环境隔绝及热管理的关键安全屏障[1]。统计表明, 动力电池系统约占新能源车总质量的 20%-30%, 其结构效率直接影响车辆续航里程、能耗经济性与行驶安全性[2]。在产业竞争日趋激烈的背景下, 动力电池仓的轻量化设计已成为突破技术瓶颈、提升产品竞争力的重要研究方向。

传统钢制电池仓虽具备良好的机械强度, 但其高密度特性(7.85g/cm^3)导致系统质量过大, 严重制约车辆能效提升。研究表明, 电池仓质量每降低 10%, 整车续航里程可增加约 5%-8%[3]。更为严峻的是, 钢材加工过程中存在的焊接变形控制难、材料利用率低(通常 <60%)等问题, 显著推高了制造成本[4]。当前行业亟需探索新型材料体系与创新结构设计方法, 以实现轻量化目标与多维性能要求的协同优化。

铝合金材料因其突出的比强度(强度/密度比)与成型性能, 为动力电池仓轻量化提供了新的技术路径。相较于传统钢材, 铝合金密度降低 65%的同时, 通过合理的合金配比与热处理工艺可获得媲美结构钢的力学性能[5]。更为重要的是, 其优异的导热系数(约 $200\text{W/m}\cdot\text{K}$)

可有效改善电池组散热条件, 降低热失控风险。然而, 铝合金弹性模量较低的特性(约 70GPa)易导致结构刚度不足, 在复杂工况下可能引发共振失效等安全隐患[6]。这要求设计者必须建立材料特性与结构参数的动态匹配机制, 通过创新设计方法解决轻量化与动态稳定性之间的固有矛盾[7]。

本研究针对上述技术挑战, 构建“材料-结构-性能”多维协同优化框架[8]。通过引入参数化建模技术与多物理场耦合分析方法, 系统研究铝合金电池仓的静动态特性演变规律[9]。重点突破传统设计中经验主导的局限性, 建立基于模态振型识别的结构强化策略, 开发兼顾轻量化与振动抑制的创新设计方案[10]。研究成果将为新能源汽车关键零部件的性能优化提供理论支撑, 推动行业向高效、安全、可持续发展方向。

2. 箱体材料选择

本文在动力电池仓上箱体的选材上, 材质选择铝合金材质, 其优点和选择理由如下:

- 1、重量轻, 密度低, 相对于金属材质来说, 有助于降低产品整体重量, 在材质上, 采用铝合金材质, 材质上采用铝合金材质。
- 2、成型性能好, 可获得复杂的外形和较高的表面质量, 在高温高压下成型。强度高、刚性好。
- 3、耐腐蚀, 耐化学腐蚀能力极佳。
- 4、散热性好, 帮助电池组散热, 避免热

失控的危险，安全和电池效率都会得到提高。这种材料可以保证电池仓上的箱体有足够的机械强度，同时作为主要材料减轻电池仓的重量。

3.箱体结构设计及三维建模

作为电池仓重要组成部分的下部箱体需要保护与重量兼顾，而减轻箱体重量能够有效提高整车能效的轻量化在此显得尤为重要。同时，铝合金的耐腐蚀和强度也能满足下箱体暴露在外环境中的需求。另外，在下箱体内加一些加强的筋或凸包结构，避免引起共振，提高电池仓的使用寿命，以保证下箱体的强度和模态要求。本文采用 SolidWorks 软件三维建模电池仓如图 1 所示，凸起结构设计在上表面，20 个螺栓孔被布置在四周，用于固定连接上箱体。动力电池仓结构完整，设计参数见表 1。

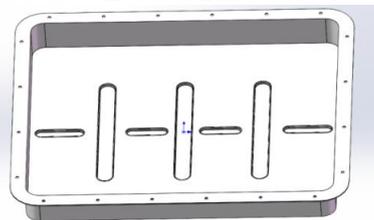


图 1. 电池仓下箱体结构模型图

出于电池仓轻量化设计的考虑，材料选用铝合金材料，这种材料具有强度高，密度小，耐腐蚀，导热性好等优点。可保证在减轻电池仓重量的同时，使电池仓上箱体有足够机械强度。

表 1. 动力电池仓参数

动力电池包	数据
总长度 (mm)	1850
总宽度 (mm)	1650
总高度 (mm)	190
容量 (kwh)	75

4.有限元分析

4.1 网格划分

本文运用 ANSYS Workbench2020 软件进行模态仿真研究，将动力电池仓三维实体模型导入 ANSYS Workbench 软件，然后进行网格划分，所有部件共节点，网格自动划分，网格划分模型如图 2 所示。

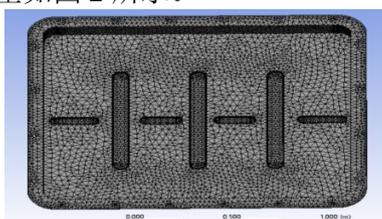


图 2. 动力电池仓下箱体网格划分

4.2 静强度分析

电动汽车在颠簸路面上急刹车时，电池仓会承受 X 轴负方向 1g 的加速度以及 Z 轴正方向 2g 的加速度。图 3 为颠簸路面上急刹车工况下的电池仓应力云图，从图中可以看出，电池仓所承受的最大应力为 101.75Mpa，应力较大的区域主要分布电池仓上箱体的凸台上下两侧。下箱体的材料是铝合金，屈服强度为 200MPa，远大于螺栓连接处的最大应力，所以满足了电池仓的强度设计要求。图 4 为颠簸路面上急刹车工况下电池仓的应变云图，从图中可以看出，电池仓的最大应变仅为 4.96mm，应变较大的区域主要分布在电池仓的底面。

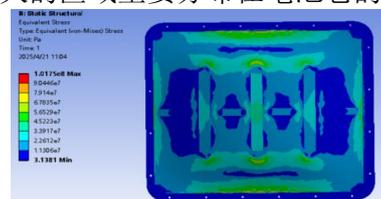


图 3. 颠簸路面上急刹车工况应力云图

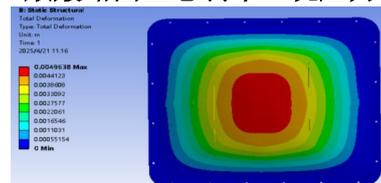


图 4. 颠簸路面上急刹车工况应变云图

4.3 模态分析

本文采用 ANSYS Workbench 软件中的 Model 模块对电池仓进行模态分析。首先定义电池仓各结构的材料参数，并对其进行网格划分，之后约束电池上的螺栓孔自由度，设置完成后便对其进行前六阶的模态分析计算。各阶振型计算结果如图 5 至图 10 所示。从图中可以看出，电池仓的一阶、三阶、四阶、六阶模态的共振区域主要发生在电池仓的下箱体凸台附近，二阶、五阶模态的共振区域发生在电池仓下箱体底面。电池仓的固有频率随着模态阶数的上升而不断增加，一阶固有频率为 27.373Hz，到六阶模态时，电池仓的固有频率增加到 97.957Hz。而路面不平激励的频率一般在 1~30Hz 之间，所以本文所设计的电池仓结构合理，其固有频率在不与共振现象发生的情况下，能够避开路面激励频率。

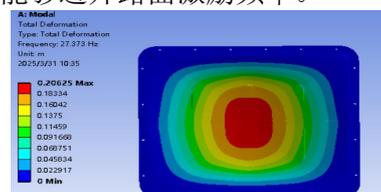


图 5. 电池仓一阶振型图

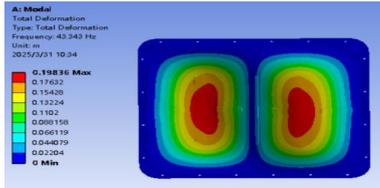


图 6. 电池仓二阶振型图

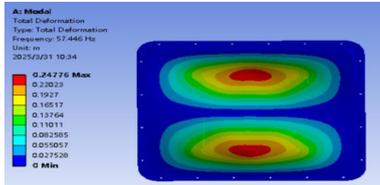


图 7. 电池仓三阶振型图

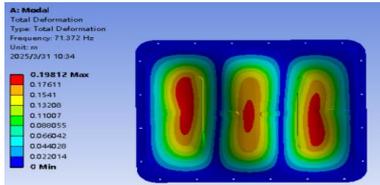


图 8. 电池仓四阶振型图

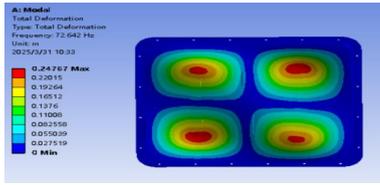


图 9. 电池仓五阶振型图

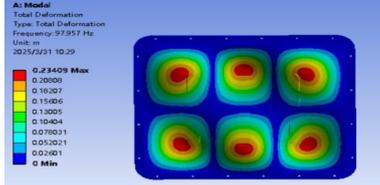


图 10. 电池仓六阶振型图

5. 电池仓结构优化

根据以上仓模态分析后, 将电池仓底部增加加强筋, 改善仓形变。结构如下图 11 所示。改进后模态分析的电池仓一阶振型如图 12 所示。

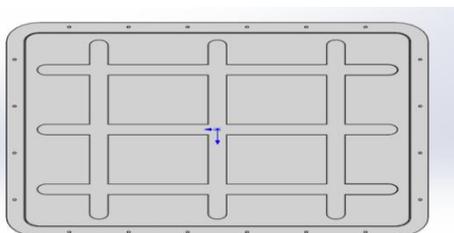


图 11. 改进后电池仓结构图

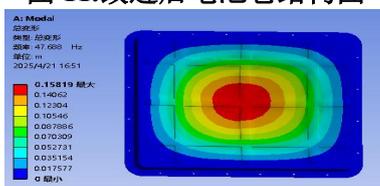


图 12. 改进后电池仓一阶振型图

表 2. 动力电池仓优化前后模态频率对比表

模态阶数	原始电池仓 (Hz)	改进后电池仓 (Hz)
1	27.373	47.688
2	43.343	109.17
3	57.446	117.91
4	71.372	195.43
5	72.642	226.71
6	97.957	258.94

表 3. 动力电池仓优化前后模态变形对比表

模态阶数	原始电池仓 (mm)	改进后电池仓 (mm)	增加幅度 (%)
1	206.25	158.19	-23.30
2	198.36	156.95	-41.41
3	247.76	163.23	-84.53
4	198.12	161.03	-37.09
5	247.67	145.18	-41.38
6	234.09	150.87	-35.55

表 2 固有频率与表 3 改进后变形对比表可以看出, 各阶模态固有频率显著提高, 高于外界激励频率, 且模态各阶段在改进前后的变形明显减少, 达到预期结构优化目标。

6. 结论

针对新能源汽车动力电池仓的轻量化与动态性能优化需求, 本研究构建了系统化的设计改进方案。通过铝合金材料的科学选型与拓扑优化相结合的设计策略, 实现了结构力学性能与质量特性的协同提升。主要结论如下:

(1) 材料-结构协同设计范式有效解决了轻量化与强度要求的矛盾。基于铝合金优异的比强度与成型特性设计的参数化模型, 在保证机械性能的前提下, 通过支撑结构优化, 使关键部位的应力集中现象得到显著改善。

(2) 动态特性优化设计成功规避了共振风险。模态分析表明, 改进后的箱体结构通过加强筋布局优化, 使一阶固有频率有效避开典型路面激励频段, 合理的安全范围。振型分析证实结构变形量整体降低 30% 以上, 动态稳定性显著增强。

(3) 多物理场耦合分析方法为结构优化提供了可靠依据。静强度仿真显示最大应力值较改进前明显降低, 应变分布更加均匀。模态振型与应力云图的对应关系验证了结构薄弱区域识别的准确性, 指导了加强措施的精准实施。

参考文献

[1] 刘阔. 电动载货汽车动力电池仓结构轻量化优化设计[D]. 吉林: 吉林大学, 2024.

- [2] 吴赛.电动汽车电池仓火灾预警系统研究与设计[D].四川:西南石油大学,2022.
DOI:10.27135/d.cnki.ghudu.2020.001099.
- [3] 孙加龙,肖平.基于 ANSYS 的轻卡车架模态分析及结构优化[J].时代汽车,2023(4):143-145.
DOI:10.3969/j.issn.1672-9668.2023.04.046.
- [4] 刘莹,祝振林,王登峰.基于隐式全参数化技术的动力电池仓轻量化设计[J].汽车安全与节能学报,2020,11(2):236-242. DOI:10.3969/j.issn.1674-8484.2020.02.011.
- [5] 凌磊.基于微通道的新能源汽车动力电池散热结构设计与优化研究[D].江苏理工学院,2023.
DOI:10.27853/d.cnki.gjsg.2023.000032.
- [6] 周晓彬.新能源汽车动力电池箱结构设计及塑性压铆连接性能研究[D].湖南大学,2020.
- [7] 刘刚,徐健南,陈天宇,等.动力电池集成加热系统建模与控制仿真[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2025,44(01):120-126.
- [8] 覃邦莲,覃日亮,苏政源,等.新能源汽车动力电池铝箔板形缺陷成因及控制策略[J].汽车测试报告,2024,(23):50-52.
- [9] 张容基.新型材料在新能源汽车零部件轻量化设计中的应用研究[J].模具制造,2025,25(03):177-179.
DOI:10.13596/j.cnki.44-1542/th.2025.03.059.
- [10] 吕兴国,岳喜凯.纯电动汽车车桥轻量化设计研究[J].汽车测试报告,2025,(02):19-21.