

基于 Ansys Workbench 的动力电池箱体有限元分析

Finite Element Analysis of Battery Box Based on Ansys Workbench

冯富春, 史晓妍, 刘丽荣, 赵晓军
力神动力电池股份有限公司 (天津, 300384)
Feng Fuchun, Shi Xiaoyan, Liu Lirong, Zhao Xiaojun
Lishen Power Battery Co., Ltd. (Tianjin, 300384)

摘要: 电池箱是动力电池系统的核心部件, 是保证动力电池及其内部器件安全的屏障。本文基于 Proe 进行三维建模, 采用 Ansys Workbench 对电池箱在颠簸路况极限载荷下的结构强度, 进行有限元分析及优化设计, 使箱体的应力分布更为合理, 达到提高箱体结构强度的目的。通过模态分析, 研究了电池箱在自由状态和预应力状态下的固有频率和振型, 结果表明, 电池箱的前 6 阶频率均大于路面激励频率, 抗震性能良好。

关键词: 电池箱 结构优化 模态分析 Workbench

Abstract: Battery box is the core component of battery power system, which can ensure the safety of the battery and other components. Based on Ansys Workbench, structural strength of the battery box under the limit load has been analyzed, which makes stress distribution of battery box more reasonable. Furthermore, the modal analysis has been carried out on the battery box in the free state and prestressed state, the natural frequencies and mode shapes have been obtained. The results indicate that first six frequencies of the battery box are larger than the road excitation frequency, seismic performance of the battery box is well.

Keywords: Battery box, Structural optimization, Modal analysis, Workbench

[中图分类号] T M912.9 [文献标识码] A 文章编号: 1561-0349 (2014) 11-0033-03

1 引言

随着能源的紧缺及环境污染问题的日益加剧, 新能源汽车成为当今汽车领域研究的热点, 安全、节能和环保已成为当前汽车工业发展的三大趋势。和其他交通工具一样, 电动汽车必须综合考虑各部件的安全性及使用寿命等方面的要求^[1]。电池箱作为电动汽车的重要组成部分, 是保证电池安全使用的主要部件, 因此, 对电池箱的安全性和使用寿命具有较高要求。随着计算机技术和数值计算方法的快速发展, 基于有限元理论的 CAE 分析技术在汽车领域得到了广泛应用。对动力电池箱来说, CAE 分析技术, 主要用于电池箱在极限载荷下的静力学分析、振动冲击等动力学分析, 以及基于拓扑优化和形貌优化的结构优化设计。

本文针对国内某电动汽车电池箱进行有限元分析, 研究了电池箱在颠簸路况极限载荷下的结构强度并进行了优化设计, 达到提高结构强度及减重的目的。此外, 对电池箱进行模态分析, 得到了电池箱在自由状态和预应力状态下的固有频率和振型, 电池箱的固有频率均大于路面激励频率, 具有较好的抗震性能。

2 电池箱几何模型

电池箱采用 Proe 进行三维建模, 模型如图 1 所示。箱体长 1854mm, 宽 906mm, 除托脚处钢板厚度取 3mm 外, 其余结构钢板厚度均取 1.5mm。托脚、托架和梁通过焊接和底板连接, 整个箱体通过 8 个 M10 的螺钉与车体固定。经过估算, 整个电池箱约重 250kg (包括电池、箱体、线束、BMS、接插件等)。

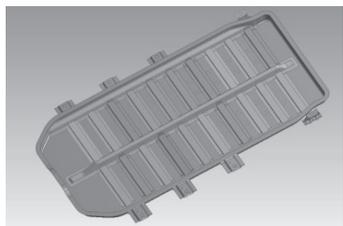


图1 电池箱模型

3 有限元模型

为了保证模拟的准确性，没有对箱体进行几何简化，先将模型转化为 Parasolid 格式，再导入到 Workbench 中。应用 Ansys Workbench 中的 DM 模块对模型进行抽中面处理，并对不闭合和残缺的面进行修补。采用四面体壳单元对模型进行划分，共离散 603423 个单元、650721 个节点，划分网格后的局部放大图如图 2 所示。设定托脚、托架、梁和底板为绑定约束，螺栓孔采用固定约束，限制其 6 个方向的自由度。按厂家要求，电池箱体在颠簸路况下需能承受 5g 重力加速度载荷，即极限载荷为 12.25kN，载荷均匀的施加在箱体底部的 20 根梁上。箱体所用钢材为 Q235 结构钢板，其材料属性如表 1 所示。

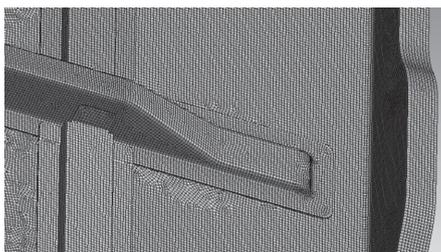


图2 网格局部放大图

表1 Q235 钢材料属性

材料名称	弹性模量 (N/m ²)	泊松比	密度 (kg/m ³)	屈服强度 (Mpa)
Q235	2.12E+11	0.288	7 860	235

4 结构模拟分析

经计算后，整个电池箱及电池箱底板的等效应力云图如图 3 所示。



图3 优化前箱体等效应力云图：(a) 整体；(b) 底板

从图中可以看出，整个箱体的最大应力出现在螺栓连接

处，最大应力为 216.1Mpa，虽然小于 Q235 的屈服强度，但安全系数较低。底板处的应力分布比较均匀，在梁和底板接触的部位应力较大，最大应力为 122.9Mpa，与螺栓连接处的最大应力相差 106.8Mpa，可见整个电池箱应力分布不是很合理。为了提高箱体安全系数，以及减轻箱体重量，对托脚和底板的钢板厚度进行调整。将托脚钢板厚度由 3.0mm 增加为 3.5mm，底板厚由 1.5mm 减为 1.2mm，箱体其他部分材料保持原厚度，设置相同的边界条件进行重新模拟计算。模拟后，电池箱及底板的等效应力云图如图 4 所示。从图中可看出，螺栓连接处最大应力由原来的 216.1Mpa 降为 185.3Mpa，底板处最大应力由 122.9Mpa 增加到 141.2Mpa，应力差值由原来的 106.8Mpa 减小到 44.1Mpa。

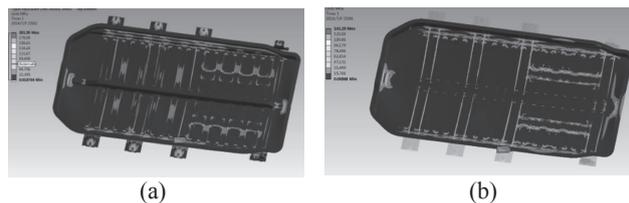


图4 优化后箱体等效应力云图：(a) 整体；(b) 底板

钢板厚度调整后电池箱的位移云图如图 5 所示。从图中可以看出，箱体的最大位移均出现在箱体中间部位，最大位移由原来的 1.56mm 增大到 1.62mm，位移变化很小，不影响箱体的安全使用。可见，通过调整托脚和底板处的钢板厚度，不但降低了螺栓处的最大应力，同时使箱体的应力分布更为合理，达到了提高箱体结构强度的目的。

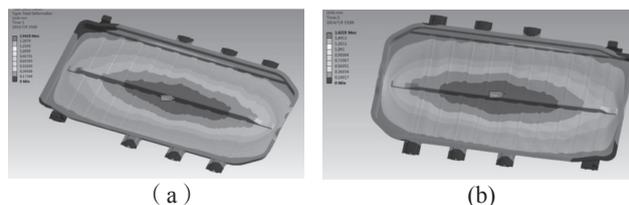


图5 电池箱位移云图：(a) 优化前；(b) 优化后

5 模态模拟分析

在车辆行驶时，电池箱将承受路面载荷和电机振动载荷等多种激励的共同作用。当激励频率与电池箱固有频率接近时，就会发生共振现象，从而引起电池振动，严重影响电池寿命和电池系统的安全性。电池箱的振动特性是评价动力电池系统安全性的重要指标，通过模态分析研究，电池箱的振动特性对于保证电池寿命及系统安全具有重要意义。

结构的低阶模态，多表现为整体或局部的大规模振动，其特点是振型的节点少，如果与外界发生共振，结构会产生很大变形，所以模态分析主要是计算结构的低阶模态。本文基于 Ansys Workbench 进行求解，得到电池箱在自由状态和预应力状态下的前 6 阶固有频率，电池箱固有频率如表 2 所示，

电池箱在自由状态下的振型如图 6 所示。

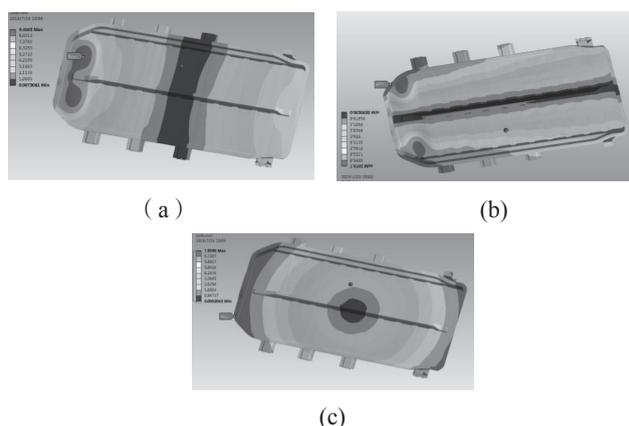


图 6 自由振动振型：(a)4 阶振型；(b)5 阶振型；(c)6 阶振型

表 2 电池箱固有频率

振动阶数	自由频率 /Hz	频率 /Hz
1	0	82.0
2	2.1×10^{-3}	94.0
3	7.1×10^{-3}	113.9
4	47.3	120.6
5	57.7	134.9
6	71.6	156.2

在电池箱自由振动时，前 3 阶固有频率为零或接近于零，其余频率都在 47 Hz 以上。从图中可以看出，箱体在自由状态下的振动表现为箱体全局振动，其中箱体头部位置及头尾侧围处振型较大。

电池箱在预应力状态下的前 6 阶固有频率及振型分别见表 2 和图 7 所示。

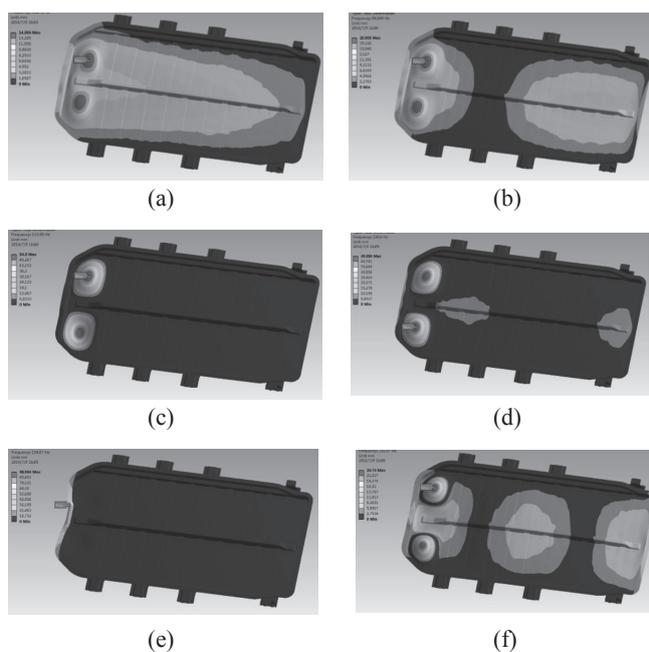


图 7 预应力振动振型：(a) 1 阶振型；(b) 2 阶振型；(c) 3 阶振型；(d) 4 阶振型；(e) 5 阶振型；(f) 6 阶振型

汽车行驶中受到的激励，一般分为车轮不平衡激励、路面激励、传动轴激励、发动机激励等。路面激励一般是由道路条件决定，在高速公路和一般城市路面上，激励频率通常为 $(1\sim 3)$ Hz^[2,3]，当车速达到 85 km/h 左右时，因车轮不平衡产生的周期性激励频率一般不大于 11 Hz。在预应力状态下模拟所得的振动频率最小为 82Hz，远离共振频率，可见所设计的电池箱在汽车行驶的过程中不会产生共振，抗振性能较好。从电池箱的各阶振型图来看，除第 5 阶模态振型表现为箱体头部侧围的局部振动外，其他阶次的振型都出现在箱体底板头部的振动，而且振动幅值较大，刚性较差。因此，可以在箱体底板头部处增加一根加强梁，以增加该处的局部刚度。

6 结论

本文基于 Ansys Workbench 对动力电池箱进行极限工况下的静力学和模态分析，得出以下结论。

(1) 所设计的箱体在颠簸路况下能够承受 5g 重力加速度载荷，所选用的 Q235 钢板能够满足使用要求。

(2) 通过调整托脚和底板处的钢板厚度降低了螺栓处的最大应力，使箱体的应力分布更为合理，达到了提高箱体结构强度的目的，并在一定程度上减轻了箱体重量。

(3) 电池箱的前 6 阶振动频率都远高于路面振动频率，在汽车行驶过程中电池箱不会产生共振，箱体的抗振性能良好。

(4) 电池箱的振动主要集中在箱体底板头部处，该处刚度较差，可以在箱体底板头部处增加一根加强梁，以增加局部刚度。

参考文献

- [1] 张立军, 陈华杰, 刁坤等. 电动汽车动力电池振动与冲击问题研究综述 [J]. 电源技术, 2013, 137(5): 156-160
- [2] 顾响中. ZGT6739DS 城市客车车身结构模态分析 [J]. 客车技术与研究, 2012, (5): 22-23.
- [3] 池振坤, 杨俊智, 周强. 等. 基于 ANSYS Workbench 的大板式方舱模态分析 [J]. 汽车工程学报, 2011, (3): 24-27.

作者简介

冯富春 (1988-), 男, 汉族, 工学硕士, 天津力神电池股份有限公司, 从事动力电池系统结构优化及热管理研究。

史晓妍, 女, 汉族, 工学硕士, 天津力神电池股份有限公司。

刘丽荣, 男, 汉族, 高级工程师, 天津力神电池股份有限公司。

赵晓军, 男, 汉族, 助理工程师, 天津力神电池股份有限公司。